نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۷، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۴، ص. ۳۹۶-۳۸۱

Journal of Agroecology
Vol. 7, No. 3, Fall 2015, p. 381-396

بررسی خصوصیات زراعی و شاخص‌های سودمندی در کشت مخلوط افزایشی نخود (*Cicer arietinum* L.) و سیاهدانه (*Nigella sativa* L.)

اسماعیل رضایی چیانه[1*] و اسماعیل قلی‌نژاد[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۳/۱۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۵/۱۱

چکیده

به منظور بررسی عملکرد کمی و کیفی نخود (*Cicer arietinum* L.) و سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) در کشت مخلوط افزایشی، آزمایشی در مزرعه‌ای واقع در استان آذربایجان غربی- شهرستان نقده در سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به اجرا در آمد. تیمارهای آزمایشی شامل کشت مخلوط ۱۰۰٪ سیاهدانه + ۱۰٪ نخود، ۱۰۰٪ سیاهدانه + ۲۰٪ نخود، ۱۰۰٪ سیاهدانه + ۳۰٪ نخود، ۱۰۰٪ سیاهدانه + ۴۰٪ نخود و ۱۰۰٪ سیاهدانه + ۵۰٪ نخود و کشت خالص نخود و سیاهدانه بود. نسبت‌های مختلف کاشت اثر معنی‌داری ($p\leq$۰/۰۱) بر صفات مورد مطالعه دو گیاه نخود و سیاهدانه (به جز عملکرد اسانس سیاهدانه) داشت. بیشترین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی نخود از تیمار کشت خالص به ترتیب برابر با ۱۱۰۵ و ۴۴۷۹ کیلوگرم در هکتار حاصل شد. نتایج در مورد گیاه سیاهدانه نشان داد که بیشترین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی از کشت خالص به ترتیب برابر با ۷۵۰ و ۲۳۱۰ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. بالاترین درصد پروتئین دانه نخود (۲۳ درصد) و درصد اسانس سیاهدانه (۱/۴۷ درصد) مربوط به نسبت کاشت ۵۰٪ نخود + ۱۰۰٪ سیاهدانه بود. بر اساس نتایج این آزمایش، بیشترین نسبت برابری زمین (LER=۱/۷۴)، افت واقعی عملکرد (AYL=۶/۴۵) و میزان سودمندی کشت مخلوط (IA =۱/۷۰) از تیمار افزایشی ۱۰٪ نخود + ۱۰۰٪ سیاهدانه به دست آمد. لذا چنین می‌توان استنباط کرد که تیمارکشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ سیاهدانه + ۱۰٪ نخود برای افزایش درآمد اقتصادی و بهره‌وری استفاده از زمین به طور قابل ملاحظه‌ای مؤثر باشد.

واژه‌های کلیدی: اسانس، افت واقعی عملکرد، پروتئین دانه، سودمندی کشت مخلوط، نسبت برابری زمین

مقدمه

برخی از نتایج تحقیقات علمی حاکی از تأثیر منفی به کارگیری کودها و سموم شیمیایی بر کمیت و کیفیت گیاهان دارویی دارد (Griffe et al., 2003). رویکردهای جدیدی مثل کشت مخلوط که در فرآیند تولید اولویت را به استفاده از روش‌های اکولوژیکی و سازگار با محیط زیست می‌دهند، در رابطه با تولیداین محصولات از اهمیتی دو چندان برخوردار است (Rezaei-Chiyaneh et al., 2014; Koocheki et al., 2012).

کشت مخلوط به عنوان یکی از سیستم‌های کشاورزی قابل اجرا در بسیاری از کشورهای توسعه یافته شناخته شده است که به جهت تنوع محصولات و افزایش سود حاصله در واحد سطح و زمان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Vandermeer, 1990). بر اساس نتایج تحقیقات انجام شده، هنگامی که دو گونه با خصوصیات رشدی متفاوت در کشت مخلوط قرار گیرند، کمترین رقابت را با یکدیگر ایجاد می‌کنند و این موضوع باعث افزایش کارآیی مصرف منابع (نور، آب و عناصر غذایی) و عملکرد کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص می‌شود (Neumann et al., 2009). با توجه به محدودیت اراضی قابل کشت در دنیا، سیستم کشت مخلوط با تولید دو یا چند گیاه زراعی در یک قطعه زمین و در یک سال زراعی در جهت تأمین اهداف کشاورزی پایدار مطرح است (Banik et al., 2006).

پورامیر و همکاران (Pooramir et al., 2010) در بررسی اثر

۱ و ۲- به ترتیب استادیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه و استادیار گروه علمی علوم کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران
(*- نویسنده مسئول: Email: ismaeil.rezaei@gmail.com)

ترکیب‌های مختلف کشت بر عملکرد و اجزای عملکرد کنجد (*Sesamus indicum* L.) و نخود (*Cicer arietinum* L.) در کشت مخلوط سری‌های افزایشی نشان دادند که بیشترین مقادیر عملکرد دانه و بیولوژیک نخود از کشت خالص و کمترین عملکرد بیولوژیک و دانه از نسبت کاشت ۱۰۰٪ کنجد + ۱۰٪ نخود به دست آمد. این محققان علت کاهش عملکرد را به دلیل کاهش نسبت نخود در مخلوط گزارش کردند. در بررسی اکولوژیک الگوهای مختلف کشت مخلوط ردیفی گاوزبان اروپایی (*Borago officinalis* L.) و لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) مشخص شد که بیشترین عملکرد اقتصادی لوبیا و گاوزبان اروپایی از کشت خالص و کمترین مقدار آن‌ها از الگوی چهار ریف لوبیا و گاوزبان (۴:۴) به دست آمد. اما، بالاترین نسبت برابری زمین[1] (LER) در الگوی کشت نواری ۲:۲ مشاهده گردید (Koocheki et al., 2012).

حسن زاده اول و همکاران (Hasanzadeh Aval et al., 2012) در بررسی کشت مخلوط مرزه (*Satureja hortensis* L.) و شبدر ایرانی (*Trifolium respinatum* L.) بیان داشتند که وزن خشک اندام‌های رویشی مرزه در کشت خالص بیشتر از کشت مخلوط بود. متقیان و همکاران (Motaghian et al., 2014) در بررسی کشت مخلوط ریحان (*Ocimum basilicum* L.) و کنجد دریافتند که وزن هزار دانه ریحان در کشت مخلوط بیشتر از کشت خالص بود. جهان (Jahan, 2004) جنبه‌های اکولوژیکی کشت مخلوط بابونه (*Matricaria chamomilla* L.) و همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.) را در واکنش به کود دامی، بررسی کرد و عنوان داشت که بالاترین میزان اسانس را نسبت‌های کمتر از ۵۰:۵۰ و مصرف کود دامی تا سطح ۴۰ تن در هکتار دارد. نتایج یک تحقیق در کشت مخلوط نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) و سویا (*Glycine max* L.) نشان داد که عملکرد نعناع فلفلی حدود ۵۰ درصد افزایش پیدا می‌کند و در ضمن درصد منتول بالاتر و درصد منتوفوران و منتیل اکتات کمتر می‌شود که از لحاظ کیفیت اسانس با اهمیت تلقی می‌شوند (Maeffei & Mucciarelli, 2003).

قنبری و همکاران (Ghanbari et al., 2010) در بررسی کشت مخلوط ذرت (*Zea may* L.) و کدو (*Cucurbita pepo* L.) اظهار داشتند که در کلیه تیمارهای کشت مخلوط نسبت برابری زمین بزرگتر از یک بوده و به کشت خالص برتری داشتند. احمدی و همکاران (Ahmadi et al., 2010) در ارزیابی عملکرد و شاخص‌های سودمندی در کشت مخلوط جو (*Hordium vulgare* L.) و ماشک گل خوشه‌ای (*Vicia villosa* L.) گزارش کردند که سودمندی کشت مخلوط[2] (IA) این دو گیاه بیشتر از کشت خالص آن‌ها می‌باشد و نسبت برابری زمین (LER) در تمامی تیمارهای مخلوط بیشتر از یک بود و شاخص افت واقعی عملکرد[3] (AYL) نیز در هیچ یک از ترکیب‌های کشت مخلوط با تراکم‌های مورد بررسی افت عملکرد نداشت که بیان‌گر سودمندی کشت مخلوط به تک‌کشتی بود.

تولید ارگانیک گیاهان دارویی، تضمین‌کننده سلامت و ایمنی محصولات و داروهای تولید شده از آن‌ها می‌باشد، با توجه به اهمیت اکولوژیکی و زراعی نظام‌های کشت مخلوط و نیز با توجه به لزوم ارزیابی دقیق این نظام‌ها از حیث شاخص‌های علمی، این آزمایش با هدف بررسی تعیین بهترین نسبت کشت مخلوط افزایشی نخود و سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) در مقایسه با تک‌کشتی از لحاظ حصول حداکثر عملکرد کمی و کیفی دو گونه و امتیازات کشت مخلوط در شرایط آب و هوایی نقده اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

به منظور ارزیابی عملکرد کمی و کیفی نخود و سیاهدانه در کشت مخلوط افزایشی، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه‌ای واقع در استان آذربایجان غربی- شهرستان نقده در سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ با طول جغرافیایی ۴۵ درجه و ۲۳ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۵۷ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۲۹۰متر از سطح دریا و با میانگین‌های متوسط دما و بارندگی سالیانه در طی یک دوره ده ساله به ترتیب برابر ۱۲/۴۰ درجه سانتی‌گراد و ۳۲۳ میلی‌متر به اجرا در آمد. تیمارهای آزمایش شامل کشت خالص نخود، کشت خالص سیاهدانه، ۱۰۰٪ سیاهدانه + ۱۰٪ نخود، ۱۰۰٪ سیاهدانه + ۲۰٪ نخود، ۱۰۰٪ سیاهدانه + ۳۰٪ نخود، ۱۰۰٪ سیاهدانه + ۴۰٪ نخود و ۱۰۰٪ سیاهدانه+ ۵۰٪ نخود بر اساس سری‌های افزایشی بود.

بذر مورد استفاده سیاهدانه از توده بومی سمیرم اصفهان که از شرکت پاکان بذر اصفهان و بذر مورد استفاده نخود رقم ILC 482 بود که از سازمان تحقیقات دیم مراغه تهیه شده بود. هر کرت شامل

1- Land equivalent ratio

2- Intercropping advantage

3- Actual yield loss

هشت ردیف کاشت به طول چهار متر و فاصله بین ردیف ۴۰ سانتی‌متر بود.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده

Table 1- Physical and chemical characteristics of the soil

بافت Texture	شن (درصد) Sand (%)	سیلت (درصد) Silt (%)	رس (درصد) Clay (%)	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC × 10 ^{3} ($dS.m^{-1}$)	نیتروژن کل (درصد) Total N (%)	درصد ماده آلی O.C (%)	فسفر قابل جذب (پی‌پی‌ام) Available P (ppm)	پتاسیم قابل جذب (پی‌پی‌ام) Available K (ppm)
رس- سیلتی Silty- clay	5	45	50	7.5	0.34	0.11	1.27	14.1	467

فاصله روی ردیف برای نخود هفت سانتی‌متر و برای سیاهدانه پنج سانتی‌متر در نظر گرفته شد. در نتیجه تراکم نهایی در کشت خالص برای نخود ۳۶۰ هزار و برای سیاهدانه ۵۰۰ هزار بوته در هکتار به دست آمد. در نسبت‌های کشت مخلوط افزایشی فواصل بوته‌های نخود روی ردیف‌های سیاهدانه برای نسبت‌های ۱۰۰٪ سیاهدانه + ۱۰٪ نخود، ۱۰۰٪ سیاهدانه + ۲۰٪ نخود، ۱۰۰٪ سیاهدانه + ۳۰٪ نخود، ۱۰۰٪ سیاهدانه + ۴۰٪ نخود و ۱۰۰٪ سیاهدانه + ۵۰٪ نخود به ترتیب برابر با ۷۰، ۳۴/۷، ۲۳/۱۵، ۱۷/۳۶ و ۱۳/۸ سانتی‌متر بود.

محصول قبلی مزرعه قبل از اجرای آزمایش ذرت دانه‌ای بود. عملیات کاشت سیاهدانه و نخود به صورت همزمان در پنج فروردین ماه به صورت جوی و پشته انجام شد. بذور نخود قبل از کاشت با باکتری *ریزوبیوم لگومینوزاروم*[1] آغشته گردید. بذور قبل از کاشت جهت حفاظت و پیشگیری در برابر بیماری‌های قارچی توسط سم کاربندازیم ضد عفونی شدند. عملیات وجین علف‌های هرز به طور مرتب به صورت دستی و در هنگام لزوم انجام شد و آبیاری بر حسب شرایط اقلیمی منطقه به طور متوسط هر ۱۰ روز یک‌بار به طریقه آبیاری جوی و پشته انجام گرفت. کود گاوی پوسیده قبل از کاشت به میزان ۲۰ تن در هکتار به طور یکنواخت در سطح کرت‌ها پخش و سپس در عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری توسط رتیواتور با خاک مخلوط شد. اما به منظور بررسی آزمایش در شرایط کم‌نهاده و بیشتر نمود پیدا کردن تأثیر تثبیت نیتروژن گیاه نخود در زمان آماده‌سازی زمین و در طول دوره رشد از هیچ‌گونه کود و سم شیمیایی در تیمارها استفاده نشد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در جدول ۱ آورده شده است.

در پایان فصل رشد هر دو گیاه، ابتدا از هر کرت به طور تصادفی تعداد ۱۰ بوته انتخاب و صفاتی نظیر ارتفاع بوته، تعداد فولیکول در بوته، تعداد دانه در فولیکول و وزن هزار دانه برای سیاهدانه و برای گیاه نخود صفاتی نظیر ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن هزار دانه اندازه‌گیری شدند. برای تعیین وزن هزار دانه هر دو گونه، از هر واحد آزمایشی هشت نمونه ۱۰۰ تایی شمارش و با میانگین‌گیری وزن آن‌ها، وزن هزار دانه محاسبه شد.

جهت محاسبه عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی نخود و سیاهدانه پس از حذف دو خطوط کناری و نیم متر از انتهای هر واحد آزمایشی به عنوان اثر حاشیه‌ای از سطحی معادل ۴/۸ مترمربع صورت گرفت. برای تعیین عملکرد بیولوژیکی، پس از جدا نمودن بذور نخود و سیاهدانه، نمونه‌ها در دمای اتاق و تحت شرایط سایه خشک شدند و هنگامی که تغییرات وزن طی ۲۴ ساعت مشاهده نگردید، اعداد حاصل از توزین به عنوان وزن خشک نمونه‌ها ثبت گردید. برداشت نخود ۱۰ تیر ماه سال ۹۲ زمانی که رنگ غلاف‌ها زرد شده بود، صورت گرفت. برداشت سیاهدانه ۱۵ مرداد ماه سال ۹۲ هنگامی‌که رنگ بوته‌ها متمایل به زرد شده، ولی هنوز فولیکول‌ها شکاف بر نداشته بودند، انجام شد.

درصد پروتئین دانه نخود نیز با روش کجلدال و با استفاده از دستگاه اتوماتیک مدل K-370 اندازه‌گیری شد. استخراج اسانس سیاهدانه به روش تقطیر با آب و توسط دستگاه کلونجر انجام شد. بدین منظور، ۳۰ گرم نمونه بذری از هر کرت وزن گردید و پس از آسیاب شدن مختصر در ۳۰۰ میلی‌لیتر آب در داخل دستگاه کلونجر به مدت سه ساعت جوشانده شد تا اسانس آن استخراج شود

1- *Rhizobium leguminozarum*

(Clevenger, 1928). پس از تعیین درصد اسانس، عملکرد اسانس بر اساس عملکرد دانه × درصد اسانس محاسبه شد (Rezaei-chiyaneh et al., 2014).

از طریق معادله های زیر شاخص‌های ارزیابی کشت مخلوط به دست آمد:

الف) شاخص نسبت برابری زمین (بر اساس عملکرد دانه) طبق معادله (۱) استفاده گردید (Vandermeer, 1990):

$$LER = \frac{Y_1}{C_1} + \frac{Y_2}{N_2}$$ معادله (۱)

در این معادله ،Y_1 وY_2 به ترتیب عملکرد گونه‌های اول و دوم در مخلوط و C_1 و N_2 نیز عملکرد خالص گونه اول و دوم است.

ب) افت واقعی عملکرد (AYL) اطلاعات ارزشمندی در مورد رقابت رفتار هر گونه در مخلوط به دست می‌دهد. از شاخص AYL جزئی می‌توان کاهش یا افزایش عملکرد را به دست آورد. در صورتی که LER جزئی مربوط به هر گونه چنین قابلیتی ندارد که با استفاده از معادله (۴) محاسبه گردید (Banik et al., 2006):

$$AYLa = [LERa \times (\frac{100}{Zab}) - 1] \quad (۲)$$

$$AYLb = [LERb \times (\frac{100}{Zba}) - 1] \quad (۳)$$

$$AYL = AYLa + AYLb \quad (۴)$$

Zab: درصد گونه a در کشت مخلوط، Zba: درصد گونه b در کشت مخلوط

ج) شاخص سودمندی کشت مخلوط[1] از معادله (۵) محاسبه شد (Vandermeer, 1990) :

(۵)

$$IA = [(\frac{Pa}{pa + Pb}) \times AYLa + (\frac{Pb}{pb + Pa}) \times AYLb]$$

Pa: قیمت واحد محصول a، Pb: قیمت واحد محصول b، AYLa: افت واقعی عملکرد جزء a و AYLb: افت واقعی عملکرد جزء b می‌باشد.

جهت تجزیه و تحلیل داده‌های به دست آمده از نرم‌افزار SPSS 16 و مقایسه میانگین‌های به دست آمده آماری توسط روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

1- Intercropping advantage

جدول ۳- مقایسه میانگین عملکرد کمی و کیفی نخود در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط

Table 3- Mean comparison of quantity and quality yield of chickpea in different intercropping ratios

نسبت کاشت Planting ratio	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	تعداد غلاف در بوته Number of pod per plant	تعداد دانه در غلاف No. of seed per pod	وزن هزار دانه (گرم) 1000- seed weight (g)	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار) Biological yield (kg.ha^{-1})	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Seed yield (kg.ha^{-1})	درصد پروتئین دانه Percentage of seed protein
کشت خالص Sole cropping	*42^{a}	36^{a}	1.40^{a}	253^{a}	4479^{a}	1105^{a}	16^{c}
۱۰٪ نخود + ۱۰۰٪ سیاهدانه 100% Black cumin + chickpea 10%	36^{b}	31^{b}	1.37^{a}	227^{b}	4030^{b}	866^{b}	16^{c}
۲۰٪ نخود + ۱۰۰٪ سیاهدانه	34 ^{bc}	29^{b}	1.34^{a}	224^{b}	3966^{b}	836^{b}	17^{bc}
100% Black cumin + chickpea 20%							
۳۰٪ نخود + ۱۰۰٪ سیاهدانه 100% Black cumin + chickpea 30%	33^{bc}	28^{bc}	1.24^{ab}	221^{bc}	3569^{bc}	820^{bc}	19^{bc}
۴۰٪ نخود + ۱۰۰٪ سیاهدانه 100% Black cumin + chickpea 40%	31^{bc}	24^{c}	1.16^{b}	213^{bc}	3290^{c}	773^{bc}	20^{b}
۵۰٪ نخود + ۱۰۰٪ سیاهدانه 100% Black cumin + chickpea 50%	29^{c}	24^{c}	1.13^{b}	197^{c}	3134^{c}	716^{c}	23^{a}

* میانگین‌های با حروف متفاوت در هر ستون، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصددارند

* Means with different letters in each column are significantly different based on Duncan's multiple range test p≤0.05.

جدول ۲- تجزیه واریانس عملکرد کمی و کیفی نخود در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط

Table 2- Analysis of variance for quantity and quality yield of chickpea in different intercropping ratios

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	تعداد غلاف در بوته No. of pod per plant	تعداد دانه در بوته No. of seed per plant	وزن هزار دانه 1000- seed weight	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Seed yield	درصد پروتئین دانه Percentage of seed protein
تکرار Replication	2	14^{ns}	9^{ns}	0.027*	139^{ns}	768674^{ns}	1295^{ns}	3.8^{ns}
نسبت‌های کاشت Planting ratios	5	59 **	58**	0.038**	104783**	101664**	54190**	19**
خطا Error	10	8.7	6.4	0.007	18850	60089	3556	2.5
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	8.47	8.78	6.59	6.17	6.54	7	8.60

ns ، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

ns, * and **: Non significant, significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

نتایج و بحث

عملکرد کمی و کیفی نخود

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر نسبت‌های مختلف کاشت بر ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و درصد پروتئین دانه نخود معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۱) بود (جدول ۲).

مقایسه میانگین نشان داد بیشترین (۴۲ سانتی‌متر) و کمترین (۲۹ سانتی‌متر) ارتفاع بوته به ترتیب از کشت خالص نخود و تیمار کشت مخلوط افزایشی ۵۰٪ نخود + ۱۰۰٪ سیاهدانه حاصل شد (جدول۳). به نظر می‌رسد که علت کاهش ارتفاع بوته نخود در کشت مخلوط افزایشی به دلیل رقابت بین بوته‌ها بر سر آب، مواد غذایی و فضای زیستی بوده که سبب کاهش جذب نور و کاهش رشد و فتوسنتز نخود شده و به دنبال آن ارتفاع آن را در کشت مخلوط کاهش داده است.

در این راستا آگگنهو و همکاران (Agegnehu et al., 2006) در کشت مخلوط جو و باقلا (*Vicia faba* L.) نشان دادند که ارتفاع بوته باقلا در کشت مخلوط به دلیل رقابت برون‌گونه‌ای به طور معنی-داری کاهش یافت.

بیشترین تعداد غلاف در بوته (۲۹ عدد) و کمترین تعداد غلاف در بوته (۱۷ عدد) به ترتیب از نسبت‌های کاشت خالص و تیمار ۵۰٪ نخود + ۱۰۰٪ سیاهدانه به دست آمد. هر چند نسبت کاشت ۵۰٪ نخود + ۱۰۰٪ سیاهدانه با تیمار ۴۰٪ نخود + ۱۰۰٪ سیاهدانه از نظر تعداد غلاف در بوته اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۳).

در بین نسبت‌های کاشت نیز هر چقدر بر نسبت نخود در کشت مخلوط افزوده شد به دلیل کمتر شدن فواصل بوته‌های نخود روی ردیف‌های کاشت، رقابت برای کسب منابع افزایش یافت و در نتیجه کمبود منابع مؤثر در رشد و در نتیجه کمبود مواد فتوسنتزی و اختصاص این مواد به رشد رویشی به منظور باقی ماندن در رقابت باعث کاهش اجزای عملکرد به ویژه تعداد غلاف در گیاه شد که با نتایج اسلامی خلیلی و همکاران (Aslami Khalili et al., 2011) در کشت مخلوط جو و باقلا و حمزه‌ئی و همکاران (Hamzei et al., 2012) در نخود و جو مطابقت دارد. سیدی و همکاران (Sayedi et al., 2012) در کشت مخلوط نخود و جو علت کاهش تعداد غلاف در بوته را در کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص به سبب کاهش منابع محیطی در دسترس گیاهان گزارش کرده‌اند.

بیشترین تعداد دانه در غلاف (۱/۴۰ عدد) و کمترین تعداد دانه در غلاف (۱/۱۳ عدد) به ترتیب از نسبت‌های کاشت خالص و تیمار ۵۰٪ نخود + ۱۰۰٪ سیاهدانه به دست آمد. بین کشت خالص نخود با تیمارهای ۱۰٪ نخود + ۱۰۰٪ سیاهدانه، ۲۰٪ نخود + ۱۰۰٪ سیاهدانه و ۳۰٪ نخود + ۱۰۰٪ سیاهدانه از نظر تعداد دانه در غلاف اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳). تعداد دانه در غلاف، در حقیقت ظرفیت مخزن گیاه را تعیین می‌کند و هر چه تعداد دانه بیشتر باشد، گیاه دارای مخزن بزرگتری برای دریافت مواد فتوسنتزی بوده و در نهایت افزایش این صفت منجر به افزایش عملکرد دانه خواهد شد. در تحقیقی دیگر مشخص شد که رقابت برون‌گونه‌ای در کشت مخلوط زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) و عدس (*Lens culinaryis* L.) سبب کاهش تعداد دانه در غلاف عدس شد (Jahani et al., 2008).

کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2010) در کشت مخلوط ذرت و لوبیا نیز گزارش کردند که تعداد دانه لوبیا در کشت مخلوط به طور معنی‌داری کاهش یافت. پورامیر و همکاران (Pooramir et al., 2010) نیز در مطالعه خود روی ارزیابی عملکرد و اجزای عملکرد کنجد و نخود در کشت مخلوط اظهار داشتند که تعداد دانه در غلاف نخود در کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی کاهش معنی‌داری نشان داد.

بیشترین و کمترین وزن هزار دانه در کشت خالص نخود با میانگین ۲۵۳ گرم وزن دانه و کمترین آن در نسبت کاشت ۵۰٪ نخود + ۱۰۰٪ سیاهدانه با میانگین ۱۹۷ گرم وزن دانه مشاهده شد (جدول ۳). وزن هزار دانه تابع توانایی گیاه در تأمین مواد پرورده برای مخزن-ها و شرایط محیطی در زمان پر شدن دانه می‌باشد. دلیل کاهش وزن هزار دانه در کشت‌های مخلوط نسبت به کشت خالص به دلیل وجود رقابت برون‌گونه‌ای و تولید آسیمیلاسیون کمتر بوده است که با نتایج پور امیر و همکاران (Pooramir et al., 2010) در کشت مخلوط نخود و کنجد و توسلی و همکاران (Tavassoli et al., 2010) در کشت مخلوط ارزن (*Panicum miliaceum* L.) و لوبیا مطابقت داشت.

بیشترین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی نخود از کشت خالص به ترتیب برابر با ۱۱۰۵ و ۴۴۷۹ کیلوگرم در هکتار و کمترین مقادیر عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی از نسبت کاشت ۵۰٪ نخود +

۱۰۰٪ سیاهدانه به ترتیب برابر با ۷۱۶ و ۳۱۳۴ کیلوگرم در هکتار حاصل شد. از نظر آماری نسبت کاشت ۵۰٪ نخود + ۱۰۰٪ سیاهدانه تفاوت معنی‌داری با تیمارهای ۴۰٪ نخود + ۱۰۰٪ سیاهدانه و ۳۰٪ نخود + ۱۰۰٪ سیاهدانه نشان نداد (جدول ۳).کاهش عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی نخود با افزایش نسبت کاشت را می‌توان به افزایش رقابت نخود با سیاهدانه نسبت داد که باعث کاهش رشد، کاهش تعداد نیام، کاهش تعداد دانه در نیام، وزن دانه و ریزش گل-های بارور گردید. در واقع اجزای عملکرد این گیاه کاملاً تحت تأثیر نسبت کاشت قرار گرفت و به موازات افزایش سهم نخود، رقابت بین گونه‌ای در مقایسه با رقابت درون‌گونه‌ای بین بوته‌های دو گونه نهایتاً سبب کاهش عملکرد نهایی نخود گردید.

حمزه‌ئی و همکاران (Hamzei et al., 2012) در بررسی کشت مخلوط نخود و جو اعلام کردند که بیشترین میزان عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه از کشت خالص نخود به دست آمد و در تیمارهای کشت مخلوط بیشترین عملکرد دانه نخود و جو به ترتیب به تیمار ۱۰۰٪ نخود + ۲۵٪ جو و ۱۰۰٪ نخود + ۱۰۰٪ جو مربوط بود. در تحقیقات سایر محققان نیز کاهش عملکرد دانه در کشت مخلوط گندم و نخود توسط بانیک و همکاران (Banik et al., 2006)، نخود و جو توسط سیدی و همکاران (Sayedi et al., 2012)، ذرت و لوبیا توسط منصوری و همکاران (Mansouri et al., 2013) و زیره‌سبز و عدس توسط رضائی چیانه و همکاران (Rezaei- et al., 2014 chiyaneh) نسبت به کشت خالص گزارش شده است.

بیشترین درصد پروتئین دانه (۲۳ درصد) از نسبت کاشت نسبت کاشت ۵۰٪ نخود + ۱۰۰٪ سیاهدانه و کمترین مقدار آن (۱۶/۱۷ درصد) از تیمار کشت خالص حاصل شد (جدول ۳). برخی از محققان نشان داده اند که در اثر رقابت شدید بین دو گونه اغلب اندازه و وزن دانه کاهش و غلظت پروتئین در واحد وزن افزایش می‌یابد. در تحقیق حاضر نیز در نسبت کاشت ۵۰٪ نخود + ۱۰۰٪ سیاهدانه وزن دانه نسبت به سایر تیمارها پایین‌تر بود. از طرفی نتایج برخی مطالعات (Hauggard-Nielson et al., 2001) نشان داده است که وقتی بقولات در کنار گونه دیگر به صورت کشت مخلوط قرار می‌گیرند، به دلیل اثر مکملی جزء بقولات جهت تثبیت نیتروژن مقدار بیشتری از نیتروژن تحریک می‌گردد و در نتیجه تعداد گره فعال و سرعت و تشکیل آن‌ها افزایش می‌یابد و به دلیل افزایش ثبیت نیتروژن حاصل از جزء بقولات سبب افزایش درصد پروتئین دانه نیز می‌شود.

شاکر کوهی و همکاران (Shaker-Koohi et al., 2014) در کشت مخلوط سورگوم (*Sorghum bicolor* L.) و ماش (*Vigna radiate* L.) دریافتند که میزان پروتئین دانه در هر دو گونه در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص افزایش یافت. خداحامی و همکاران (Khodahami et al., 2010) در کشت مخلوط جو با ماش علوفه‌ای و جوانمرد و همکاران (Javanmard et al., 2013) در کشت مخلوط ذرت با برخی لگوم‌ها (ماشک گل خوشه‌ای، لوبیا، شبدر برسیم (*Trigonella foenum-graecum* L.) و گاودانه (*Vicia ervilia* L.) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند.

عملکرد کمی و کیفی سیاهدانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد ارتفاع بوته، تعداد فولیکول در بوته، تعداد دانه در فولیکول، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و درصد اسانس سیاهدانه تحت تأثیر نسبت‌های مختلف کاشت قرار گرفتند ($p\leq$۰/۰۱)، اما تأثیر نسبت‌های مختلف کاشت بر عملکرد اسانس از نظر آماری معنی‌دار نبود (جدول ۴).

بیشترین ارتفاع بوته (۵۲ سانتی‌متر) از کشت خالص سیاهدانه به دست آمد که تفاوت معنی‌داری با تیمارهای کشت مخلوط افزایشی ۱۰٪ نخود + ۱۰۰٪ سیاهدانه و ۲۰٪ نخود + ۱۰۰٪ سیاهدانه نداشت و کمترین ارتفاع بوته بوته (۳۰ سانتی‌متر) از نسبت کشت ۵۰٪ نخود + ۱۰۰٪ سیاهدانه به دست آمد (جدول ۵). به نظر می‌رسد که سیاهدانه در نسبت کشت ۵۰٪ نخود + ۱۰۰٪ سیاهدانه فشار رقابتی بیشتری را متحمل شده و به دلیل محدودیت تولید مواد فتوسنتزی باعث کاهش رشد رویشی و در نتیجه ارتفاع آن شده است. حمزه‌ئی (Hamzei, 2012) در بررسی کشت مخلوط جو و گاودانه اظهار داشت که بیشترین ارتفاع بوته به کشت خالص جو تعلق داشت و کمترین ارتفاع از کشت مخلوط حاصل شد که این اختلاف را به رقابت برون‌گونه‌ای نسبت داد.

بیشترین تعداد فولیکول در بوته (۲۱ عدد) و کمترین تعداد فولیکول در بوته (۱۲ عدد) به ترتیب از کاشت خالص و نسبت‌های کاشت ۵۰٪ نخود + ۱۰۰٪ سیاهدانه به دست آمد (جدول ۵). تعداد فولیکول بیشتر در تیمار کشت خالص می‌تواند به علت عدم رقابت برون‌گونه‌ای در کشت خالص باشد که منجر به افزایش عملکرد این گیاه نسبت به سایر نسبت‌های مختلف کشت مخلوط گردید.

جدول ٤- تجزیه واریانس عملکرد کمی و کیفی سیاهدانه در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط

Table 4- Analysis of variance for quantity and quality yield of black cumin in different intercropping ratios

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	تعداد فولیکول در بوته Number of follicule per plant	تعداد دانه در فولیکول Number of seed per follicule	وزن هزار دانه 1000- seed weight	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Seed yield	درصد اسانس Essential oil percentage	عملکرد اسانس Essential oil yield
تکرار Replication	2	50^{*}	2^{ns}	54^{*}	0.058^{ns}	40953^{ns}	5392^{ns}	0.12^{**}	1.6^{ns}
نسبت‌های کاشت Planting ratios	5	246^{**}	41^{**}	172^{**}	0.50^{**}	541551^{**}	55312^{**}	0.15^{**}	0.54^{ns}
خطا Error	10	7	1.66	9	0.066	21532	2700	0.01	1.14
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	6.58	7.45	8	11.28	7.98	8.48	9.7	15.98

ns ، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

ns, * and **: Non significant, significant at 5% and 1% probability levels, respectively

جدول ٥- مقایسه میانگین عملکرد کمی و کیفی سیاهدانه در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط

Table 5- Mean comparison of quantity and quality yield of black cumin in different intercropping ratios

نسبت‌های کاشت Planting ratios	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	تعداد فولیکول در بوته Number of follicule per plant	تعداد دانه در فولیکول Number of seed per follicule	وزن هزار دانه (گرم) 1000- seed weight (g)	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار) Biological yield ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Seed yield ($kg.ha^{-1}$)	درصد اسانس Essential oil percentage
کشت خالص Sole cropping	52.6^{a*}	21^{a}	47^{a}	2.63^{a}	2310^{a}	750^{a}	0.93^{b}
۱۰٪ نخود + ۱۰۰٪ سیاهدانه 100% Black cumin + chickpea 10%	51^{a}	20^{a}	45^{a}	2.60^{a}	2225^{a}	736^{a}	0.99^{b}
۲۰٪ نخود + ۱۰۰ ٪ سیاهدانه 100% Black cumin + chickpea 20%	48^{a}	19^{ab}	42^{a}	2.47^{a}	1920^{b}	688^{ab}	0.97^{b}
۳۰٪ نخود + ۱۰۰٪ سیاهدانه 100% Black cumin + chickpea 30%	37.6^{b}	17^{b}	34^{b}	2.40^{ab}	1888^{b}	600^{b}	1.08^{b}
۴۰٪ نخود + ۱۰۰٪ سیاهدانه 100% Black cumin + chickpea 40%	36^{b}	13^{c}	30^{b}	1.97^{bc}	1462^{c}	449^{c}	1.37^{a}
۵۰٪ نخود + ۱۰۰٪ سیاهدانه 100% Black cumin + chickpea 50%	30^{c}	12^{c}	29^{b}	1.60^{c}	1221^{c}	453^{c}	1.47^{a}

* میانگین‌های با حروف متفاوت در هر ستون، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصددارند

* Means with different letters in each column are significantly different based on Duncan's multiple range test $p \leq 0.05$.

در تحقیق حاضر با افزایش نسبت نخود، سیاهدانه به علت رقابت شدید بر سر منابع محیطی از قبیل نور دریافتی با سیاهدانه قادر به افزایش تعداد فولیکول نبوده و بیشتر مواد فتوسنتزی خود را صرف افزایش وزن دانه نموده است. رضوانی‌مقدم و مرادی (Rezvani Moghaddam & Moradi, 2012) نیز در کشت مخلوط زیره سبز و شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum* L.) دریافتند که تعداد نیام در بوته شنبلیله در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص کاهش یافت که با نتیجه آزمایش حاضر مطابقت دارد.

مقایسه میانگین نشان داد بیشترین تعداد دانه در فولیکول (۴۷ عدد) و کمترین تعداد دانه در فولیکول (۲۹/۶۷ عدد) به ترتیب از کشت خالص و نسبت کشت ۵۰٪ نخود + ۱۰۰٪ سیاهدانه به دست آمد (جدول ۵). کاهش تعداد دانه در فولیکول همچنین کاهش تعداد فولیکول در بوته در تیمارهای مخلوط نسبت به تیمار کشت خالص را می‌توان به دلیل همزمانی بیشتر دوره رشدی سیاهدانه با نخود نسبت داد که سبب رقابت بین‌گونه‌ای بیشتر بین این تیمارها شده است. سوبکوویز (Sobkowicz, 2006) در کشت مخلوط تریتیکاله (*Tritico secale* L.) با باقلا گزارش کرد که تعداد دانه در سنبله تریتیکاله با افزایش تراکم باقلا به طور معنی‌داری کاهش یافت. وی علت این امر را به دلیل رقابت دو گونه بر سر منابع محیطی از قبیل نور، آب و مواد غذایی نسبت داد.

بیشترین وزن هزار دانه سیاهدانه (۲/۶۳ گرم) از کشت خالص به دست آمد که از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با تیمارهای کاشت مخلوط افزایشی ۱۰٪ نخود + ۱۰۰٪ سیاهدانه و ۲۰٪ نخود + ۱۰۰٪ سیاهدانه نداشت و کمترین وزن هزار دانه (۱/۶۰ گرم) از کشت مخلوط افزایشی ۵۰٪ نخود + ۱۰۰٪ سیاهدانه حاصل شد (جدول ۵). در کشت مخلوط با افزایش تراکم، گیاه به عوامل محیطی (نور، مواد غذایی و رطوبت) کمتری دسترسی دارد و در نهایت مواد فتوسنتزی کمتری را به دانه منتقل می‌سازد که این امر منجر به کاهش وزن هزار دانه می‌شود (Hamzei et al., 2012).

بیشترین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی به ترتیب به میزان ۷۵۰ و ۲۳۱۰ کیلوگرم در هکتار از کشت خالص و کمترین مقدار عملکرد دانه از نسبت کشت مخلوط افزایشی ۴۰٪ نخود + ۱۰۰٪ سیاهدانه به میزان ۴۴۹ کیلوگرم در هکتار حاصل شد که با تیمار مخلوط ۵۰٪ نخود + ۱۰۰٪ سیاهدانه تفاوت آماری نداشت. کمترین مقدار عملکرد بیولوژیکی نیز از نسبت کشت مخلوط افزایشی ۵۰٪ نخود + ۱۰۰٪ سیاهدانه به میزان ۱۲۲۱ کیلوگرم در هکتار به دست آمد که با تیمار مخلوط ۴۰٪ نخود + ۱۰۰٪ سیاهدانه تفاوت آماری نداشت (جدول ۵). در واقع اجزای عملکرد سیاهدانه کاملاً تحت تأثیر نسبت‌های کشت قرار گرفتند و به موازات افزایش سهم نخود، به خاطر کاهش فضای لازم برای رشد و به دنبال آن افزایش رقابت بین گونه‌ای در مقایسه با رقابت درون‌گونه‌ای بین بوته‌های دو گونه تعداد فولیکول، تعداد دانه در فولیکول و وزن هزار دانه کاهش یافت که نهایتاً منجر به کاهش عملکرد نهایی گردید.

افوری و استرن (Ofori & Stern, 1987) نشان دادند که در شرایطی که کشت دو گیاه همزمان انجام شود رقابت برای منابع رشد شدیدتر است لذا کاهش عملکرد دانه و بیولوژیک در این گونه سیستم‌ها بیشتر به چشم می‌خورد. بر اساس تحقیق کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2010) بیشترین و کمترین میزان عملکرد به ترتیب از کشت خالص زعفران (*Crocus sativus* L.) و کشت مخلوط آن با زنیان (*Carum copticum* L.) به دست آمد. این محققان دلیل بیشتر بودن عملکرد زعفران در کشت خالص را به افزایش تعداد گل در بوته نسبت دادند. طبق نتایج تحقیقات قنبری و همکاران (Ghanbari et al., 2010) در کشت مخلوط ذرت و کدو و رضایی چیانه و همکاران (Rezaei-Chiyaneh et., 2014) در کشت مخلوط زیره سبز و عدس نیز عملکرد دانه درکشت مخلوط نسبت به کشت خالص کاهش یافته است.

بیشترین درصد اسانس از کشت مخلوط ۵۰٪ نخود + ۱۰۰٪ سیاهدانه به میزان ۱/۴۷ درصد به دست آمد که از نظر آماری با تیمار کشت مخلوط افزایشی ۴۰٪ نخود + ۱۰۰٪ سیاهدانه (۱/۳۷ درصد) معنی‌دار نبود. کمترین مقدار درصد اسانس نیز از نسبت کشت خالص به میزان ۰/۹۳ درصد حاصل شد که با تیمارهای کشت مخلوط افزایشی ۱۰٪ نخود + ۱۰۰٪ سیاهدانه، ۲۰٪ نخود + ۱۰۰٪ و ۳۰٪ نخود + ۱۰۰٪ سیاهدانه تفاوت معنی‌داری نشان نداد (جدول ۵). از آن‌جا که نیتروژن یکی از عناصر غذایی مؤثر بر میزان فعالیت آنزیم های فتوسنتزی گیاهان است. چنین به نظر می‌رسد که وجود شرایط مناسب برای رشد بوته‌های سیاهدانه از جمله فراهم شدن نیتروژن در شرایط مخلوط با نخود باعث بهبود رشد و فتوسنتز و به تبع آن افزایش میزان اسانس در مقایسه با کشت خالص شده است.

جدول ٦- نتایج شاخص‌های سودمندی کشت مخلوط نخود و سیاهدانه

Table 6- Results of advantages indices of chickpea and black cumin intercropping

نسبت کاشت Planting ratio	نسبت برابری زمین جزئی نخود Partial land equivalent ratio of chickpea	نسبت برابری زمین جزئی سیاهدانه Partial land equivalent ratio of black cumin	نسبت برابری زمین کل Total land equivalent ratio (LER)	کاهش یا افزایش عملکرد واقعی نخود Actual yield loss of chickpea	کاهش یا افزایش عملکرد واقعی سیاهدانه Actual yield loss of black cumin	کاهش یا افزایش عملکرد واقعی کل Actual yield loss	سودمندی کشت مخلوط Intercropping advantage (IA)
٪۱۰۰ نخود + ۰٪ سیاهدانه	0.76^{ab*}	0.98^{a}	1.74^{a}	6.60^{a}	-0.15^{d}	6.45^{a}	1.70^{a}
100% Black cumin + chickpea 10% ٪۱۰۰ نخود + ٪۲۰ سیاهدانه	0.78^{a}	0.91^{ab}	1.69^{a}	2.93^{b}	-0.016^{c}	2.91^{b}	1.17^{a}
100% Black cumin + chickpea 20% ٪۱۰۰ نخود + ٪۳۰ سیاهدانه	0.74^{ab}	0.77^{c}	1.51^{b}	1.48^{c}	0.06^{c}	1.54^{c}	0.7^{ab}
100% Black cumin + chickpea 30% ٪۱۰۰ نخود + ٪۴۰ سیاهدانه	0.70^{bc}	0.58^{d}	1.28^{c}	0.75^{d}	0.17^{b}	0.92^{cd}	0.12^{b}
100% Black cumin + chickpea 40% ٪۱۰۰ نخود + ٪۵۰ سیاهدانه	0.65^{c}	0.58^{d}	1.23^{c}	0.3^{d}	0.3^{a}	0.6^{d}	0.85^{ab}
100% Black cumin + chickpea 50%							

* میانگین‌های با حروف متفاوت در هر ستون، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد دارند.

* Means with different letters in each column are significantly different based on Duncan's multiple range test p≤0.05.

محققان دیگری نیز در کشت مخلوط نعناع و سویا اظهار داشتند که کیفیت و درصد اسانس نعناع در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص افزایش یافت (Maeffei & Mucciarelli, 2003). در بررسی الگوهای مختلف کشت مخلوط زیره‌سبز و عدس در کشت دوم مشخص داد که در بین الگوهای مختلف کشت، بیشترین درصد اسانس زیره‌سبز از کشت مخلوط روی ردیف‌های کاشت و کشت تک ردیفی به دست آمد (Rezaei- chiyaneh et., 2014).

شاخص‌های ارزیابی کشت مخلوط

نسبت برابری زمین

حداکثر LER جزئی نخود در نسبت کشت ۲۰٪ نخود + ۱۰۰٪ سیاهدانه (LER_a= ۰/۷۸) و حداکثر LER جزئی سیاهدانه در نسبت کشت ۱۰٪ نخود + ۱۰۰٪ سیاهدانه (LER_b= ۰/۹۸) مشاهده شد. به طور کلی، LER جزئی در سیاهدانه بالاتر از نخود بود که می‌توان چنین نتیجه‌گیری نمود که سیاهدانه از کشت مخلوط با نخود اثر مثبت بیشتری پذیرفته است (جدول ۶).

با توجه به نتیجه آزمایش نسبت برابری زمین کل در تمامی تیمارهای مخلوط بیشتر از یک بود که نشان‌دهنده برتری کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی در این الگوهای کشت می‌باشد.

کشت مخلوط افزایشی ۱۰٪ نخود + ۱۰۰٪ سیاهدانه بیشترین (۱/۷۴) میزان نسبت برابری زمین کل را در بین الگوهای مختلف کشت مخلوط به خود اختصاص داد که معادل ۷۴ درصد افزایش در بهره‌وری استفاده از زمین نسبت به کشت خالص دو گونه بود (جدول ۵). کشت مخلوط زمانی سودمند است که عملکرد دانه مخلوط، بیشتر از حداکثر محصول تک‌کشتی باشد. اضافه عملکرد به دست آمده را می‌توان به استفاده بهتر از منابع موجود توسط دو گیاه و اختلافات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی بین آن‌ها و کمتر بودن علف‌هرز در سیستم کشت مخلوط نسبت داد (Vandermeer, 1989). محققان دیگری در کشت مخلوط بابونه و همیشه‌بهار (*alendula officinalis* L.) (Jahan, 2004)، زیره‌سبز و شنبلیله (Rezvani Moghaddam & Moradi, 2012)، سویا و همیشه‌بهار (Allahdadi et al., 2013) و زیره‌سبز و عدس (Rezaei-Chiyaneh et al., 2014) مقدار LER را در تمام تیمارهای مخلوط بالاتر از یک گزارش کردند که این امر نشان‌دهنده برتری کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص است.

افت واقعی عملکرد

محاسبه میزان افت واقعی عملکرد کل (جدول ۶) در مورد گونه‌های مذکور نشان داد که هیچ یک از تیمارهای کشت مخلوط افت عملکرد دانه نداشت و تمامی مقادیر AYL عددی مثبت داشتند که نشان از سودمندی کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی هر یک از این دو گیاه است. کمترین میزان افت واقعی عملکرد کل (AYL=۰/۶) مربوط به تیمار افزایشی ۵۰٪ نخود + ۱۰۰٪ سیاهدانه بود و بیشترین مقدار این شاخص (AYL=۶/۴۵) از کشت مخلوط افزایشی۱۰٪ نخود + ۱۰۰٪ سیاهدانه به دست آمد که بیان‌گر سودمندی کشت مخلوط در استفاده بهینه از منابع موجود با حداقل رقابت بین‌گونه‌ای و درون‌گونه‌ای است اصل تولید مساعدتی ضمن همراهی با اصل تولید رقابتی وقتی مطرح است که گیاهان زراعی محیط‌های یکدیگر را در جهت مثبت تغییر دهند.

بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که کشت مخلوط سیاهدانه و نخود در کلیه نسبت‌های مخلوط دارای اصل تولید مساعدتی یا تسهیل شده بود و به عبارت دیگر مساعدت در کلیه تیمارها وجود داشت که با نتایج احمدی و همکاران (Ahmadi et al., 2010) در کشت مخلوط جو و ماشک گل خوشه‌ای و لامعی هروانی (Lamei Haravani, 2012) در کشت مخلوط خلر (*Lathyrus sativus* L.) با جو و تریتیکاله مطابقت داشت. شایگان و همکاران (Shaygan et al., 2008) در کشت مخلوط ذرت و ارزن گزارش کردند که بالاترین میزان افت واقعی عملکرد (AYL=۹/۴۵) از تیمار افزایشی ۱۰۰٪ ذرت + ۱۲/۵ ٪ به دست آمد. اما با افزایش تراکم ارزن به دلیل افزایش رقابت دو گیاه مقادیر AYL کاهش یافت.

سودمندی کشت مخلوط

همان‌طور که در جدول ۶ مشاهده می‌شود، بیشترین میزان سودمندی کشت مخلوط (IA =۱/۷۰) متعلق به تیمار کشت مخلوط ۱۰٪ نخود + ۱۰۰٪ سیاهدانه بود که با تیمار کشت مخلوط افزایشی ۲۰٪ نخود + ۱۰۰٪ سیاهدانه تفاوت معنی‌داری نشان نداد که این امر احتمالاً ناشی از استفاده بهتر از منابع موجود مانند نور، آب و مواد غذایی در این تیمارها می‌باشد. آینه بند و بهروز (Ayneband & Behrooz, 2011) در کشت مخلوط ذرت و ماش بیان کردند در

صورتی که ترکیب گونه‌ای در کشت مخلوط مناسب نباشد به دلیل افزایش رقابت مواد غذایی و نور میزان سودمندی کشت مخلوط کاهش می‌یابد. بانیک و همکاران (Banik et al., 2006) در کشت مخلوط گندم و نخود، احمدی و همکاران (Ahmadi et al., 2010) در کشت مخلوط جو و ماشک گل خوشه‌ای و لامعی هروانی (Lamei Haravani, 2012) در کشت مخلوط بقولات علوفه‌ای یک‌ساله و جو نتایج مشابهی به دست آوردند و اعلام کردند سودمندی اقتصادی کشت مخلوط این دو گیاه بیشتر از کشت خالص آن‌ها می‌باشد.

نتیجه‌گیری

نتایج آزمایش حاضر نشان داد که عملکرد و اجزای عملکرد هر دو گونه تحت تأثیر نسبت‌های مختلف کاشت قرار گرفت. با افزایش نسبت کاشت به دلیل کاهش اثرات تسهیل و تکمیل‌کنندگی دو گونه و افزایش رقابت برون‌گونه‌ای، عملکرد و LER در هر دو گونه کاهش پیدا کرد. با افزایش سهم نخود، درصد اسانس سیاهدانه احتمالاً به دلیل افزایش غلظت نیتروژن و دسترسی سیاهدانه به این عنصر غذایی افزایش یافت. محاسبه شاخص‌های سودمندی در کشت مخلوط نشان داد که نسبت کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ سیاهدانه + ۱۰٪ نخود از لحاظ اقتصادی تیمار برتر بود و این تیمار می‌تواند برای ایجاد پایداری و ثبات تولید در افزایش درآمد اقتصادی و بهره‌وری استفاده از زمین‌های کشاورزی به طور قابل ملاحظه‌ای مؤثر باشد.

منابع

1- Agegnehu, G., Ghizaw, A., and Sinebo, W. 2006. Yield performance and land-use efficiency of barley and faba bean mixed cropping in Ethiopian highlands. European Journal of Agronomy 22: 202-207.

2- Ahmadi, A., Dabbagh Mohammdi Nasab, A., Zehtab Salmasi, S., Amini, R., and Janmohammadi, H. 2010. Evaluation of yield and advantage indices in barley and vetch intercropping. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 20(4): 77-87. (In Persian with Enghlish Summary)

3- Alizadeh, Y., Koocheki, A., and Nassiri Mahallati, M. 2010. Evaluation of agronomic traits, yield, yield components and weed control of beans (*Phaseolus vulgaris* L.) and basil (*Ocimum basilicum* L.) in intercropping conditions. Journal of Agroecology 2(3): 383-397. (In Persian with English Summary)

4- Allahdadi, M., Shakiba, M.R., Dabbagh Mohammadi Nasab, A., and Amini, R. 2013. Evaluation of Yield and Advantages of Soybean (*Glycine max* L. Merrill.) and calendula (*Calendula officinalis* L.) intercropping systems. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 23(3): 47-58. (In Persian with Enghlish Summary)

5- Aslami Khalili, F., Pirdashti, H., and Motaghian, A. 2011. Evaluation of barely (H*ordeum vulgare* L.) and bean (*Vicia faba* L.) yield in different plant density and combinations of intercropping by competition indices. Journal of Agroecology 3(1): 94-105. (In Persian with Enghlish Summary)

6- Ayneband, A., and Behrooz, M. 2011. Evaluation of cereal- legume and cereal-pseudocereal intercropping systems through forage productivity and competition ability. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science 10 (4): 675-683.

7- Banik, B., Midya, A., Sarkar, B.K., and Ghose, S.S. 2006. Wheat and chickpea intercropping systems in an additive series experiment: Advantages and weed smothering. European Journal of Agronomy 24: 325-332.

8- Clevenger, J.F. 1928. Apparatus for determination of essential oil. Journal of the American Pharmacists Association 17: 346-349.

9- Ghanbari, A., Ghadiri, H., Ghaffari Moghadam, M., and Safari, M. 2010. Evaluation of intercropping maize (*Zea mays* L.) and squash (*Cucurbita* sp.) and effect on weeds control. Iranian Journal of Crop Science 41(1): 43-55. (In Persian with Enghish Summary)

10- Griffe, P., Metha, S., and Shankar, D. 2003. Organic Production of Medicinal, Aromatic and Dye-Yielding Plants (MADPs): Forward, Preface and Introduction, FAO.

11- Hamzei, S. 2012. Evaluation yield, SPAD index, land equnalent ratio, system efficiency index in intercropping bitter vetch (*Vicia ervilia*) and barely (*Hordeum vulgare*). Journal of Crop Production and Processing 4: 79-91. (In Persian with Enghlish Summary)

12- Hamzei, S., Sayedi, M., Ahmadvand, G., and Abotalebian, M.A. 2012. The effect of addititive intercropping on

removal weeds, yield and components yield of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) and barely (*Hordeum vulgare*). Journal of Crop Production and Processing 3: 43-55. (In Persian with Enghlish Summary)

13- Hasanzadeh Aval, F., Koocheki, A., Khazaei, H.R., and Nassiri Mahallati, M. 2012. Effect of plant density on physiological indices of savory (*Satureja hortensis* L.) and Persian clover (*Trifolium respinatum* L.) in intercropping. Iranian Journal of Field Crops Research 10(1): 75-83.

14- Hauggard-Nielson, H., Ambus, P., and Jenson, E.S. 2001. Interspecific competition, N use and interference with weeds in pea-barley intercropping. Field Crops Research 70: 101-109.

15- Jahan, M. 2004. Study of Ecological aspects intercropping of chamomile (*Matricaria chamomile*) and ever green (*Calendula officinalis*) with manure. MSc dissertation, Faculty of Agriculture Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary)

16- Jahani, M., Koocheki, A., and Nassiri Mahallati, M. 2008. Comparison of different intercropping arrangements of cumin (*Cuminum cyminum*) and lentil (*Lens culinaris*). Iranian Journal of Field Crops Research 6(1): 67-78. (In Persian with English Summary)

17- Javanmard, A., Dabbagh Mohammadi Nasab, A., Javanshir, A., Moghaddam, M., and Janmohammade, H. 2013. Effects of maize intercropping with legumes on forage yield and quality. Journal of Agriculture Science and Sustainable Production 22(3): 137-149. (In Persian with English Summary)

18- Khodahami, G., Habibian, S.H., and Habibian, S.M. 2010. Evaluation of effect of seed different ratios on forage yield in intercropping barley (*Hordeum vulgare*) and mung bean (*Vicia villosa*). Journal of Range 3(1): 79-89. (In Persian with English Summary)

19- Koocheki, A., Najibnia, S., and Lalehgani, B. 2010. Evaluation of saffron yield (*Crocus sativus* L.) in intercropping with cereals, pulses and medicinal plants. Iranian Journal of Field Crops Research 7(1): 173-182. (In Persian with English Summary)

20- Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Feizi, H., Amirmoradi, S., and Mondani, F. 2010. Effect of strip intercropping of maize (*Zea mays* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.) on yield and land equivalent ratio in weedy and weed free conditions. Journal of Agroecology 2(2): 225-235. (In Persian with English Summary)

21- Koocheki, A., Shabahang, J., Khorramdel, S., and Amin-Ghafouri, A. 2012. Row intercropping of borage (*Borago officinalis* L.) with bean (*Phaseolus vulgaris* L.) on possible evaluating of the best strip width and assessing of its ecological characteristics. Journal of Agroecology 4(1): 1-11. (In Persian with English Summary)

22- Lamei Haravani, J. 2012. Technical and economic evaluation of intercropping green pea with barley and triticale under rainfed conditions in Zanjan. Journal of Crop production and processing 4: 93-102. (In Persian with Enghlish Summary)

23- Maeffei, M., and Mucciarelli, M. 2003. Essential oil yield in peppermint/ soybean strip intercropping. Field Crops Research 84: 229-240.

24- Mansouri, H., Mansouri, L., Jamshidi, K.H., Rastgho, M., and Moradim, R. 2013. Absorption and light use efficiency in additive intercropping maize-bean in Zanjan. Journal of Crop Production and Processing 9: 15-26. (In Persian with English Summary)

25- Motaghian, A., Pirdashti, H., Akbarpour, V., Serajpour, G., Yaghobi Khanghahi, M., and Shariatnezhad, S. 2014. Evaluation of yield Basil (*Ocimum basilicum* L.) and sesame (*Sesamum indicum* L.) in different intercropping combinations by competitive indices. Journal of Agroecology 5(3): 243-254. (In Persian with English Summary)

26- Neumann, A., Werner, J., and Rauber, R. 2009. Evaluation of yield-density relationships and optimization of intercrop compositions of field-grown pea-oat intercrops using the replacement series and the response surface design. Field Crops Research 114: 286-294.

27- Ofori, F., and Stern, W.R. 1987. Cereal-legume intercropping systems. Advanced in Agronomy 41: 41-90.

28- Pooramir, F., Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., and Ghorbani, R. 2010. Effect of different planting combinations on yield and yield components of sesame and peas intercropping in additive series. Iranian Journal of Field Crops Research 8(3): 393-402. (In Persian with English Summary)

29- Rezaei-Chiyaneh, E., Tajbakhsh, M., Valizadegan, O., and Banaei-Asl, F. 2014. Evaluation of different intercropping patterns of cumin (*Cuminum cyminum* L.) and lentil (*Lens culinaris* L.) in double crop. Journal of Agroecology 5(4): 462-472. (In Persian with English Summary)

30- Rezvani Moghaddam, P., and Moradi, R. 2012. Assessment of planting date, biological fertilizer and intercropping on yield and essential oil of cumin and fenugreek. Iranian Journal of Crop Sciences 2: 217-230. (In Persian with

English Summary)
31- Sayedi, M., Hamzei, J., Ahmadvand, G., and Abutalebian, M.A. 2012. The Evaluation of Weed Suppression and Crop Production in Barley-Chickpea Intercrops. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 22(3): 101-114. (In Persian with Enghlish Summary)
32- Shaker-Koohi, S., Nasrollahzadeh, S., and Raei, Y. 2014. Evaluation of chlorophyll value, protein content and yield of sorghum (*Sorghum bicolor* L.)/ mungbean (*Vigna radiate* L.) intercropping. International Journal of Biosciences 136-143.
33- Shaygan, M., Mazaheri, D., Rahimian Mashhadi, H., and Peyghambari, S.A. 2008. Effect of planting date and intercropping maize (*Zea mays* L.) and foxtail millet (*Setaria italica* L.) on their grain yield and weeds control. Iranian Journal of Crop Science 10(1): 31-46. (In Persian with Enghish Summary)
34- Sobkowicz, P. 2006. Competition between triticale (*Tritico scalewitt*) and field beans (*Vicia faba* L.) in additive intercrops. Plant, Soil and Environment 52: 42-54.
35- Tavassoli, A., Ghanbari, A., Ahmadi, M.M., and Heydari, M. 2010. The effect of fertilizer and manure on forage and grain yield of millet (*panicum miliaceum*) and bean (*phaseolus vulgaris*) in intercropping. Iranian Journal Agronomy Research 8(2): 96-114. (In Persian with English Summery)
36- Vandermeer, J.H. 1989. The Ecology of Intercropping, Cambridge. University Press 297 pp.

Journal of Agroecology
Vol. 7, No. 3, Fall 2015, p. 381-396

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۷، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۴، ص. ۳۹۶-۳۸۱

Agronomic characteristics of intercropping of additive series of chickpea (*Cicer arietinum* L.) and black cumin (*Nigella sativa* L.)

E. Rezaei-Chiyaneh[1*] and E. Gholinezhad[2]
Submitted: 02-06-2014
Accepted: 02-08-2014

Introduction

Intercropping as a cropping method for sustainable agriculture is simultaneous growing of two or more crops during a given season on same location. Such a method enable to utilize common limiting resources more efficient than the species grown separately. Using two species with different growth habits and the least competitive characteristics in intercropping, increases the efficiency of resources (light, water and nutrients) absorbtion in comparison with the sole cropping. Pooramir et al. (2010) investigated the effects of planting different ratios of two crops on yield and yield components of sesame (*Sesamum indicum* L.) and chickpea (*Cicer arietinum* L.). The results of intercropping of additive series showed that the highest grain and biological yield of chickpea were obtained through monoculture and the lowest grain and biological yield of chickpea achieved by planting ratio of 100% sesame and 10% chickpea. Koocheki et al. (2012) studied the intercropping of borage (*Borago officinalis* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and reported that the highest economic yield was achieved in monoculture and the lowest economic yield was obtained in four rows of borage plus four rows of bean, but the maximum land equivalent ratio was calculated in 2:2 intercropping. The aim of current study was to determine the best combination and efficiency of resource utilization in intercropping of additive series of chickpea and black cumin. It is compared to respective monoculture and the advantage of intercropping.

Materials and methods

A field experiment was conducted based on randomized complete block design with three replications in West Azerbaijan province- city Nagadeh, Iran in 2012-2013. Treatments included 100% black cumin +10% chickpea, 100% black cumin + 20% chickpea, 100% black cumin + 30% chickpea, 100% black cumin + 40% chickpea and 100% black cumin + 50% chickpea and monoculture of chickpea and black cumin. The experimental plot size was 4 m × 3.2 m involving 8 rows with inter–row spacing of 0.4 m. There were 7 and 5 cm distance between chickpea and black cumin seeds sown on rows, respectively. Cow manure (20 $t.ha^{-1}$) without any chemical fertilizer, were distributed and plowed into the upper 20 cm of the soil before sowing time. Weeds were controlled by hand, several times during growing season. Black cumin was harvested when they turned brown, dried and shelled, and chickpea was harvested when the first pod of the plants was fully matured and dried. The essential oil of black cumin seeds (v/w) was isolated from 30 g of air-dried and powdered seeds with 300 ml distilled water by conventional hydro-distillation for 3 h using a Clevenger-type apparatus (Clevenger, 1928). Grain protein content was also measured using Kejeldahl.

Land equivalent ratio (LER)

Land equivalent ratio of black cumin and chickpea was calculated using equation 1 (Vandermeer, 1990):

$$LER = \frac{Y_1}{L_1} + \frac{Y_2}{I_2}$$

Where Y_1 and Y_2 represent chickpea and black cumin yield in intercropping and L_1 and I_2 represent chickpea and black cumin yield in mono-culture, respectively.

Actual yield loss (AYL)

The Actual yield loss (AYL) index provides more accurate information about the competition than the other indices. The AYL is calculated according to the following formula (Equations 2, 3 and 4):

1 and 2- Assistant Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Urmia, Iran and Assistant Professor, Department of Agronomy, University of Payame Noor, Tehran, Iran respectively.
(*- Corresponding author Email: ismaeil.rezaei@gmail.com)

$$AYLa = [LERa \times (\frac{100}{Zab}) - 1]$$

$$AYLb = [LERb \times (\frac{100}{Zba}) - 1]$$

$$AYL = AYLa + AYLb$$

Intercropping advantage (IA)

Intercropping advantage (IA) was estimated as IA = AYL × Price of cumin or chickpea. Intercropping advantage (IA) of the intercropped components was calculated as (Vandermeer, 1989) (Equation 5):

$$IA = [(\frac{Pa}{pa + Pb}) \times AYLa + (\frac{Pb}{pb + Pa}) \times AYLb]$$

Where P_a is the price of cumin and P_b is the price of chickpea (Vandermeer, 1989).

Statistical analyses

SPSS 16 software was used for statistical analysis. To compare the means, Duncan's multiple range test at 5% probability level was used.

Results and discussion

Different planting ratios had significant effects on study traits of chickpea and black cumin (except essential oil yield of black cumin). The highest seed and biological yield of chickpea were achieved through monoculture with 1105 and 14479 kg ha^{-1}, respectively. The results showed that the maximum seed and biological yield of black cumin were obtained at monoculture with 750 and 2310 $kg.ha^{-1}$, respectively. The highest percentage of grain protein (23%) and essential oil percentage (1.47%) were related to the treatment of 100% black cumin +50% chickpea, respectively. Results showed that LER values were greater than one in all the intercropping combinations of black cumin and chickpea. Land equivalent ratio (LER=1.74) was recorded considering the treatment of 100% black cumin+10% chickpea, indicating additional 0.79 unit of land would have been needed to get equal yield to planting black cumin and chickpea in monoculture. The highest actual yield loss (AYL=6.45) and intercropping advantage (IA=1.70) obtained employing 100% black cumin+10% chickpea, respectively. It seems that 100% black cumin+10% chickpea is remarkably effective in increasing the economic income and land use efficiency.

Conclusion

The results showed that yield and yield components of both species were affected by planting ratio. By increasing the planting ratio, yield and LER of both species decreased due to complementary and facilitative effects in intercropping. Increasing the planting ratio of chickpea, increased the essential oil percentage of black cumin that was probably due to nitrogen concentration. Results of advantages indices showed that intercropping treatment of 100% black cumin+10% chickpea was suitable for increasing the income of farmers and land use efficiency.

Keywords: Actual Yield Loss, Essential oil, Intercropping advantage, Land equivalent ratio, Seed protein

References

Koocheki, A., Shabahang, J., Khorramde, S., and Amin-Ghafouri, A. 2012. Row intercropping of borage (*Borago officinalis* L.) with bean (*Phaseolus vulgaris* L.) on possible evaluating of the best strip width and assessing of its ecological characteristics. Journal of Agroecology 4(1): 1-11. (In Persian with English Summary)

Pooramir, F., Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., and Ghorbani, R. 2010. Effect of different planting combinations on yield and yield components of sesame and peas intercropping in additive series. Iranian Journal of Field Crops Research 8(3):393-402. (In Persian with English Summary)