Iranian Journal of Field Crop Science
Vol 54, No 1, Spring 2023 (1-10)
DOI: 10.22059/IJFCS.2021. 324886.654833

علوم گیاهان زراعی ایران
دورهٔ ۵۴، شمارهٔ ۱، بهار ۱۴۰۲ (ص ۱۰-۱)

Effect of soybean and sesame intercropping on grain yield and yield components under the low-nitrogen condition

Rahmat Abbasi*[1] and Meisam Namdari [2]
1,2. Department of Agronomy, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.
(Received: June 1, 2021 - Accepted: July 28, 2021)

ABSTRACT

A field experiment was carried out as a randomized complete block design with four replications to investigate the agronomic traits and grain yields of sesame and soybean intercropping at Research Farm of Sari Agricultural Science and Natural Resources University for two years (2018-2019). The mixing ratios were 25:75, 50:50, 75:25 (soybean: sesame, respectively), and monoculture of two crops. Results showed sesame monoculture had the highest branches and capsules per plant. In the Soybean crop, the mixing ratio of 50:50 was more successful in producing the branches and pods per plant than other mixing ratios. Also, sesame and soybean monocultures had the highest grain yield with an average of 2077.43 and 4365.32 kg. ha^{-1}, respectively,. The mixing ratio of 50:50 and 75:25 (1.17 and 1.01 in average, respectively) had higher LER than one. Finally, the more significant contribution of complementary effect (83.98 %) and selective effect (76.73 %) on grain yield at 50:50 and 75:25 mixing ratio increased the productivity of the intercropping system, respectively. Meanwhile, the little increase in efficiency in the 75:25 mixing ratio was related to the 76.73% contribution of the selective effect and the competitive dominance of soybeans in the intercropping.

Keywords: Complementarity effect, LER, mixing ratio, number of pods, selection effect.

تاثیر کشت مخلوط کنجد و سویا بر عملکرد دانه و اجزای عملکرد تحت شرایط کمبود نیتروژن

رحمت عباسی*[۱] و میثم نامداری [۲]
۱و۲- استادیار و دانشجو، گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، مازندران،
(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۳/۱۱ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۵/۶)

چکیده

به منظور بررسی ویژگی‌های زراعی و بهره‌وری در کشت مخلوط کنجد (*Sesamum indicum* L.) با سویا (*Glycine max* L. merr.) به روش جایگزینی، آزمایشی در دو سال زراعی (۱۳۹۸-۱۳۹۶) به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار، در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل نسبت‌های اختلاط ۲۵:۷۵، ۵۰:۵۰، ۷۵:۲۵ (به‌ترتیب کنجد-سویا) و تک‌کشتی هر یک از دو گیاه بود. نتایج نشان داد که کشت خالص کنجد، دارای بیشترین میانگین شاخه فرعی و کپسول در بوته بود. در سویا نیز نسبت اختلاط ۵۰:۵۰ از نظر تولید تعداد شاخه فرعی و غلاف در بوته موفق‌تر بود. همچنین بالاترین عملکرد دانه از کشت خالص کنجد و سویا به‌ترتیب با میانگین ۲۰۷۷/۴۳ و ۴۳۶۵/۳۲ کیلوگرم در هکتار حاصل شد. نسبت اختلاط ۵۰:۵۰ و ۷۵:۲۵ به‌ترتیب با میانگین ۱/۱۷ و ۱/۰۱، دارای نسبت برابری زمین بالاتر از یک بودند. در نهایت نسبت اختلاط ۵۰:۵۰ به دلیل سهم ۵۳/۹۸ درصدی اثر مکملی گیاهان مورد مطالعه بر عملکرد دانه، دارای بیشترین بهره‌وری در سیستم کشت مخلوط بود. این در حالی است که افزایش ناچیز کارایی در نسبت اختلاط ۷۵:۲۵، به سهم ۷۶/۷۳ درصدی اثر انتخابی و تسلط رقابتی سویا در کشت مخلوط تعلق داشت.

واژه‌های کلیدی: اثر انتخابی، اثر مکملی، تعداد غلاف در بوته، نسبت اختلاط، نسبت برابری زمین.

مقدمه

اثرات زیست محیطی کشاورزی صنعتی از جمله انتشار قابل توجه گازهای گلخانه‌ای، کاهش تنوع زیستی، حاصلخیزی و تخریب خاک، آلودگی گسترده ناشی از کاربرد کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها و خطرات آن برای سلامت بشر، باعث توجه بیشتر به طراحی مجدد سامانه‌ها و مدیریت کشاورزی بر طبق اصول زیست محیطی شده است. نخستین گام در اجرای چنین سیستمی، کاهش وابستگی به نهاده‌های ورودی است

* Corresponding author E-mail: r.abasi@sanru.ac.ir

(Delong *et al.*, 2016). در این میان، کشت مخلوط؛ راهبرد مناسبی برای افزایش بهره‌وری زراعت در واحد سطح است، زیرا بر اساس جذب منابع مبتنی بر سازو-کارهای زیست محیطی قرار دارد (Yu *et al.*, 2015). مزیت استفاده از کشت مخلوط این است که رقابت دو گونه در کشت مخلوط به‌دلیل ایجاد آشیان‌های اکولوژیک متفاوت، برای یک منبع تقلیل می‌یابد و از این رو گونه‌ها تمایل دارند که از منابع به روش مکملی استفاده کنند (Bedoussac & Justec, 2011). از نظر اکولوژیک، استفاده مکملی از منابع به معنی کاهش همپوشانی آشیان‌های اکولوژیک و رقابت بین گونه‌ها در کشت مخلوط است که اجازه می‌دهد گونه‌ها در کشت مخلوط ،دارای محدوده وسیع‌تر و مقدار بیشتری از منابع در مقایسه با کشت خالص باشند (Stomph *et al.*, 2020). این گونه روابط معمولا به دلیل تفاوت در ویژگی‌های ریخت‌شناسی گونه‌ها (از قبیل ارتفاع بوته، سطح برگ، شاخه‌های فرعی و ساختمان ریشه) و یا طول دوره رشد متفاوت ایجاد می‌شود (Bedoussac & Justec, 2011).

در این رابطه برخی از پژوهشگران، ضمن مطالعه کشت مخلوط آفتابگردان (*Helianthus annus* L.)، لوبیا قرمز (*Phaseolus calcaratus* L.) و کنجد (*Sesamum indicum* L.) در شهر مشهد بیان داشتند که برخلاف گیاه آفتابگردان، بیشترین میانگین ویژگی‌های رویشی، اجزای عملکرد و عملکرد دانه، متعلق به کشت خالص کنجد و لوبیا قرمز است؛ آن‌ها دلیل این امر را به کانوپی غالب آفتابگردان و سایه-اندازی آن بر دیگر گونه‌ها در الگوی کشت مخلوط نسبت دادند (Koocheki *et al.*, 2016). همچنین نتایج مطالعه کشت مخلوط کنجد و نخود (*Cicer aritinum* L.) به‌صورت جایگزینی در شهر مشهد نشان داد که کنجد در نسبت کشت ۵۰:۵۰، دارای بیشترین میانگین تعداد شاخه‌های فرعی، و کپسول در بوته و وزن هزار دانه است (Pouramir *et al.*, 2011). در این زمینه، سایر پژوهشگران نیز ضمن بررسی کشت مخلوط لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) و کنجد در شهر مشهد بیان داشتند که کنجد در نسبت کشت ۲۵:۷۵ دارای بیشترین میانگین وزن هزار دانه و تعداد دانه در کپسول و کپسول در بوته است (Ghale Noyee *et al.*, 2017). همچنین در بررسی نسبت‌های گوناگون کشت مخلوط سویا (*Glycine max* L.) و ارزن (*Panicum miliaceum* L.) به‌صورت جایگزینی در شهر همدان مشخص شد که بیشترین تعداد غلاف و دانه در بوته سویا در نسبت کشت ۵۰:۵۰ مشاهده شد (Ahmadvand & Hajinia, 2016). در همین راستا و بر اساس مطالعات انجام شده در کشور بنگلادش، با افزایش تعداد ردیف‌های کشت کنجد در کشت مخلوط، تعداد کپسول در بوته کاهش و صفات ارتفاع ساقه، تعداد شاخه‌های فرعی، وزن هزار دانه، تعداد کپسول در بوته و عملکرد دانه افزایش یافت (Islam *et al.*, 2012). برخی از پژوهشگران نیز ضمن بررسی کشت مخلوط سویا و آفتابگردان در شهر مراغه دریافتند که نسبت کشت ۷۵:۲۵ دارای بیشترین نسبت برابری زمین (۱/۶۷) بود؛ همچنین مشاهده شد که شاخص رقابت آفتابگردان در کشت مخلوط بیشتر از سویا است (Javanmard *et al.*, 2018). نتایج مطالعه نسبت‌های مختلف کشت مخلوط ردیفی لوبیا و کنجد در شهر مشهد نیز نشان داد که بیشترین میزان شاخص نسبت برابری زمین (۱/۵۹) به نسبت کشت ۵۰:۵۰ تعلق داشت (Nurbaksh *et al.*, 2016). در نهایت کشت مخلوط گیاه بقوله و غیر بقوله به‌صورت جایگزینی می‌تواند از طریق ایجاد رابطه مکملی مثبت، باعث افزایش عملکرد، اجزای عملکرد و شاخص‌های سودمندی در کشت مخلوط شود (Namdari & Mahmoodi, 2013).

کنجد گیاهی دانه روغنی و مقاوم به گرما است که به دلیل اهمیت میزان عملکرد دانه و کیفیت روغن، مورد توجه بیشتر پژوهشگران و کشاورزان قرار گرفته است (Uzun & Cagirgan, 2006) و به‌دلیل ساختار ریشه، ارتفاع بوته و قابلیت شاخه‌دهی متفاوت (Koocheki *et al.*, 2016)، توانایی رقابت با بقولات گرمسیری را در الگوی کشت مخلوط دارد. همچنین در بین بقولات زراعی یک‌ساله، سویا دارای بیشترین سطح زیر کشت ارگانیک در جهان است (Willer & Lernoud, 2017).

با وجود مناسب بودن شرایط آب و هوایی و خاک برای رشد سویا در استان مازندران، میانگین عملکرد محصول سویا ۳۰ درصد کمتر از متوسط جهانی است (Akbari Nodehi, 2012). با توجه به اهمیت تولید و نقش گیاه همراه در ایجاد رابطه مکملی و افزایش کارایی در سیستم کشت مخلوط، تحقیق حاضر با هدف ارزیابی تاثیر رقابت سویا و کنجد در نسبت‌های اختلاط به‌صورت جایگزینی بر عملکرد، اجزای عملکرد و شاخص‌های سودمندی کشت مخلوط انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در طی دو سال زراعی (۱۳۹۶-۹۸) در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۳ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۳ درجه و سه دقیقه شرقی و ارتفاع ۴۳ متر از سطح دریا انجام شد. آزمایش به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی در پنج تیمار و چهار تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل نسبت‌های اختلاط کنجد:سویا به روش جایگزینی شامل ۲۵:۷۵، ۵۰:۵۰، ۷۵:۲۵ و تک‌کشتی هر یک از آن‌ها بود. ترکیب‌های صفر: ۱۰۰ و ۱۰۰: صفر به‌ترتیب کشت خالص کنجد و سویا را تشکیل دادند. در ترکیب‌های ۲۵:۷۵ و ۷۵:۲۵ نیز به‌ترتیب سه ردیف کنجد - یک ردیف سویا و یک ردیف کنجد - سه ردیف سویا در نظر گرفته شد. ترکیب ۵۰:۵۰ نیز شامل کشت متوالی دو ردیف کنجد و سویا بود. بذر سویا رقم ساری از مرکز تحقیقات شرکت توسعه کشت دانه‌های روغنی ساری و بذر کنجد رقم ناز چند شاخه از موسسه تحقیقات اصلاح نهال و بذر شهرستان کرج تهیه شد. عملیات کشت در ۱۵ اردیبهشت به‌صورت هیرم‌کاری و به روش دستی و تلقیح بذرهای سویا پیش از کشت با باکتری رایزوبیوم ژاپونیکوم (با تراکم سلولی ۲×۱۰^{۷}) انجام شد. تعداد خط‌های کشت در هر کرت ۱۲، فاصله بین خط‌ها ۳۵ سانتیمتر، طول خط‌ها چهار متر و تراکم نهایی بوته برای هر دو گیاه به‌صورت ثابت ۲۸ بوته در مترمربع بود. پیش از کشت و با توجه به نتایج آزمایش خاک (جدول ۱)، مقدار کود توصیه شده در محدوده مورد نیاز گیاه سویا و کنجد با تخمین متوسط عملکرد دانه گیاهان مورد مطالعه و نوع آزمایش عناصر غذایی (به‌طور مثال، فسفر به روش اولسن) از طریق روابط و ضرایب موجود در راهنمای توصیه کاربرد کود شیمیایی (Gerwing & Gelderman, 2019) محاسبه و تامین شد.

جدول ۱- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1. The chemical and physical properties of the experimental soil

Year	Depth (cm)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Soil Texture	OM (%)	N (%)	P_2O_5 ($mg.kg^{-1}$)	K_2O ($mg.kg^{-1}$)	EC ($dS.m^{-1}$)	pH
1397	0-30	28	39	33	C.L.	1.21	0.06	1.3	95	0.51	8.04
1398	0-30	26	40	34		1.83	0.09	4	163	0.61	7.74

بدین ترتیب در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶، میزان ۹۰ کیلوگرم فسفر و ۶۶ کیلوگرم پتاس و در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ نیز مقدار ۳۳ کیلوگرم فسفر استفاده شد. منابع مورد استفاده برای تامین عناصر فسفر و پتاس مورد نیاز به‌ترتیب سوپرفسفات تریپل و سولفات پتاسیم بود. قابل ذکر است که آزمایش در سال زراعی دوم نیز در زمین کشت شده در سال اول انجام شد. با توجه به اهمیت قابلیت تثبیت زیستی سویا در این پژوهش، از کود نیتروژن‌دار به دلیل اثر منفی بر فرآیند مذکور استفاده نشد. آبیاری گیاهان به‌صورت قطره‌ای و با اندازه‌گیری پتانسیل ماتریک توسط دستگاه تانسیومتر در ۰/۴ – بار و عملیات وجین به‌صورت دستی در چهار مرحله و با فاصله زمانی ۱۴ روز انجام شد. عملیات برداشت کنجد و سویا به‌ترتیب در تاریخ ۱۲ مهر و پنج آبان ماه با رعایت اثرات حاشیه (۰/۵ متر از دو طرف هر کرت) با دست و به‌وسیله قیچی باغبانی از چهار ردیف میانی به تفکیک گیاه مورد نظر و نسبت اختلاط صورت گرفت. همزمان با عملیات برداشت، پنج بوته از هر یک از گیاهان به‌صورت تصادفی انتخاب و برای تعیین اجزای عملکرد و اندازه-

گیری ویژگی‌های مورفولوژیکی گیاه برداشت شد. همچنین برای تعیین وزن خشک نهایی ساقه نیز ابتدا پس از جداسازی اندام‌های زایشی از ساقه و قرار دادن آن‌ها بدر پاکت‌های ویژه جداگانه، نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون الکتریکی تهویه‌دار با دمای ۷۰ درجه-سانتیگراد قرار خشک شدند و سپس بلافاصله پس از خروج از آون، با ترازوی دیجیتال با دقت یک‌هزارم، وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری شد. محاسبه نسبت برابری زمین (Mead & Willey, 1980)، نسبت رقابت (Willey & Rao, 1980) و اثرات خالص، مکملی و انتخابی (Loreau & Hector, 2001) به‌ترتیب از طریق روابط زیر اندازه‌گیری شد.

رابطه (۱)
$$LER = \left(\frac{Yi_a}{Ym_a} + \frac{Yi_b}{Ym_b}\right)$$

رابطه (۲)
$$CR_a = \left(\frac{LER_a}{LER_b}\right)\left(\frac{Zi_b}{Zi_a}\right) \qquad CR_b = \left(\frac{LER_b}{LER_a}\right)\left(\frac{Zi_a}{Zi_b}\right)$$

رابطه (۳)
$$NE=CE + SE= (N\times \Delta\bar{R}Y\times \bar{M}) + (N\times \text{cov}(\Delta RY, M))$$

که در آن‌ها، Yi_a و Yi_b: عملکرد گیاه a و b در کشت مخلوط، Ym_a و Ym_b: عملکرد گیاه a و b در کشت خالص، LER_a و LER_b: نسبت برابری زمین گیاه a و b، Zi_a و Zi_b: سهم گیاه a و b در کشت مخلوط، NE: اثر خالص، CE: اثر مکملی، SE: اثر انتخابی، N: تعداد گونه در کشت مخلوط، $\Delta\bar{R}Y$: میانگین عملکرد نسبی دو گونه، $\bar{M}$: میانگین عملکرد گیاهان در کشت خالص و cov(ΔRY,M): کوواریانس بین عملکرد نسبی به‌دست آمده در کشت مخلوط و خالص می‌باشد.

در نهایت و به‌منظور تجزیه آماری داده‌ها و مقایسه میانگین‌ها، از نرم افزار سیستم آنالیز آماری (۹/۱) SAS استفاده شد. مقایسه‌های میانگین داده‌ها با آزمون کم‌ترین تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح پنج درصد و رسم نمودارها به‌کمک نرم‌افزار Excel (۲۰۱۹) و Sigma Plot (۱۴) انجام شد.

نتایج و بحث

نسبت‌های اختلاط، اثر معنی‌داری بر میانگین ارتفاع نهایی ساقه سویا و کنجد داشتند (جدول ۲، ۳). در مورد سویا، کشت خالص (صفر:۱۰۰) و نسبت اختلاط ۵۰:۵۰ به‌ترتیب با میانگین ۶۵/۳۷ و ۴۹/۹۲ سانتیمتر دارای بیشترین و کمترین ارتفاع ساقه بودند.

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب (میانگین مربعات) صفات مورفولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد کنجد تحت تاثیر نسبت‌های اختلاط با سویا

Table 1. Variance analysis (mean squares) of different soybean and sesame intercropping ratio effects on on morphological traits, yield and yield components of sesame

S.O.V	df	Plant height (cm)	No. of branch per plant	No. of capsules per plant	1000 -grain weight (g)	Grain yield (kg. ha^{-1})
Year	1	5565.12	0.03	1582.03	1.67	75152.72
Rep (year)	6	63.81	0.28	20.82	0.08	18147.56
Treatment	3	1692.92 **	10.77 **	7339.11 **	0.45 **	5400568.59 **
Treatment x Year	3	64.21 ns	0.18 ns	83.53 ns	0.03 ns	6740.06 ns
Residual	18	114.81	0.24	81.48	0.06	11168.
Total	31	428.58	1.26	820.71	0.15	535709.44
CV (%)		7.64	19.79	12.27	6.89	9.25

ns، * و ** به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

ns, * and **: Not significant and significant at 5% and 1% of probability levels, respectively

نسبت اختلاط ۷۵:۲۵ (کنجد-سویا) نیز از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با کشت خالص سویا نداشت (جدول ۴). در بین نسبت‌های اختلاط، با کاهش سهم ردیف کشت سویا، میزان ارتفاع ساقه سویا به‌طور ثابت افزایش پیدا نکرد، به شکلی که ارتفاع ساقه سویا در نسبت اختلاط ۲۵:۷۵ (کنجد-سویا) در مقایسه با نسبت اختلاط ۵۰:۵۰ به‌طور میانگین ۱۰/۹۲ درصد بیشتر بود. به‌نظر می‌رسد که سویا در نسبت اختلاط ۲۵:۷۵ (کنجد-سویا)، بیشتر تحت تاثیر تاج‌پوشش کنجد قرار گرفته است. همچنین با کاهش تعداد ردیف

کشت کنجد در نسبت‌های اختلاط، میزان ارتفاع ساقه کنجد نیز افزایش یافت. بیشترین ارتفاع ساقه کنجد (۱۵۲/۳۷ سانتی‌متر) به نسبت اختلاط ۷۵:۲۵ (کنجد-سویا) تعلق داشت.

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب (میانگین مربعات) صفات مورفولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد سویا تحت تاثیر نسبت‌های اختلاط با کنجد

Table 2. Variance analysis (mean squares) of different soybean and sesame intercropping ratio effects on on morphological traits, yield and yield components of soybean

S.O.V	df	Plant height (cm)	No. of branch per plant	No. of pod per plant	1000 -grain weight (g)	Grain yield (kg. ha^{-1})
Year	1	40.12	0.89	552.77	196.35	1488798.07
Rep (year)	6	14.81	0.25	127.92	696.95	283614.45
Treatment	3	453.37 **	12.26 **	4398.47 **	1127.06 **	16025266.73 **
treatment x Year	3	8.98 ^{ns}	0.43 ^{ns}	444.79 ^{ns}	70.27 ^{ns}	96353.77 ^{ns}
Residual	18	13.62	0.17	116.27	133.64	285054.21
Total	31	56.71	1.17	578.81	334.70	1828591.04
CV (%)		6.27	15.07	14.28	5.90	16.28

ns، * و ** به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

ns, * and **: Not significant and significant at 5% and 1% of probability levels, respectively

ارتفاع ساقه کنجد در نسبت‌های اختلاط ۵۰:۵۰ و ۲۵:۷۵ (کنجد-سویا) نیز به‌ترتیب ۲۴/۴۲ و ۱۲/۲۶ درصد بیشتر از کشت خالص (۱۰۰: صفر) بود (جدول ۴). به‌طورکلی، کاهش میزان تابش دریافتی توسط تاج‌پوشش در الگوی کشت مخلوط و کاهش نسبت نور قرمز به قرمز دور، نقش مهمی در افزایش ارتفاع ساقه دارد (Yang *et al.*, 2014; Stomph *et al.*, 2020).

جدول ۴- مقایسه میانگین‌های صفات مورفولوژیک و اجزای عملکرد در نسبت‌های اختلاط کنجد-سویا

Table 3. Mean comparisons of morphological traits and yield components in different soybean-sesame intercropping ratios

mixing ratio (Soybean-Sesame)	Sesame				Soybean			
	Plant height (cm)	No. of branch per plant	No. of capsules per plant	1000 - grain weight (g)	Plant height (cm)	No. of Branch per plant	No. of pod per plant	1000 - grain weight (g)
0 : 100	121.37 c±12.80	3.62 a±0.74	96.63 a±10.75	4.07 a±0.37	-	-	-	-
25 : 75	136.37 b±19.94	3.31 a±0.46	95.62 a±18.05	3.66 bc±0.23	55.37 b±3.37	1.92 b±0.71	62.04 b±18.05	186.08 b±18.37
50 : 50	151.37 a±17.22	1.87 b±0.35	69.62 b±11.09	3.78 b±0.25	49.92 c±5.12	4.54 a±0.94	109.83 a±11.09	191.86 b±15.94
75 : 25	152.37 a±17.73	1.18 c±0.26	32.25 c±12.62	3.51 c±0.47	64.81 a±3.03	2.37 b±0.58	70.87 b±12.62	213.15 a±4.57
100 : 0	-				65.37 a±3.15	2.01 b±0.53	59.12 b±18.05	192.07 b±19.57
LSD	11.25 **	0.52 **	9.48 **	0.26 **	1.85 **	0.43 **	11.33 **	12.14 **
C.V (%)	7.63	19.79	12.27	6.89	6.28	15.06	14.28	5.91

* و ** :به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد. در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک، بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار و در سطح احتمال پنج درصد، تفاوت معنی‌داری با هم ندارند. اعداد پس از میانگین، نشان دهنده انحراف استاندارد است

* and **: Significant at 5% and 1% of probability levels, respectively. Means followed by the same latter(s) in the same column are not significantly different (LSD 5%). Values are means±standard deviation ($\bar{X}$±SD)

نسبت‌های اختلاط، اثر معنی‌داری بر میانگین تعداد شاخه فرعی سویا و کنجد داشتند (جدول ۲، ۳). سویا در نسبت اختلاط ۵۰:۵۰ و ۲۵:۷۵ (کنجد-سویا) به‌ترتیب با میانگین ۴/۵۴ و ۱/۹۲، دارای بیشترین و کمترین تعداد شاخه‌فرعی بود؛ هر چند از لحاظ آماری نسبت‌های ۷۵:۲۵ (کنجد-سویا) و کشت خالص سویا (صفر: ۱۰۰) تفاوت معنی‌داری با نسبت اختلاط ۲۵:۷۵ (کنجد-سویا) نداشتند (جدول ۴). همچنین کشت خالص کنجد (۱۰۰: صفر) در بین نسبت‌های اختلاط، دارای بیشترین تعداد شاخه فرعی (۳/۶۲) بود. کاهش تعداد ردیف کشت کنجد در نسبت‌های اختلاط و افزایش رقابت با سویا، باعث کاهش معنی‌دار

تعداد شاخه‌های فرعی کنجد شد. میزان این کاهش در نسبت‌های اختلاط ۲۵:۷۵، ۵۰:۵۰ و ۷۵:۲۵ (کنجد-سویا) در مقایسه با کشت خالص به‌ترتیب ۸/۵۶، ۴۸/۳۴ و ۶۷/۴۰ درصد بود (جدول ۴). به‌طورکلی، ساز و کار جبرانی در گیاه سویا، با نسبت نور قرمز به قرمز دور در پوشش گیاهی در طول مراحل ابتدایی رشد فعال می‌شود و تخصیص ماده خشک به شاخه‌های فرعی را افزایش می‌دهد (Luca *et al.*, 2014; Corassa *et al.*, 2018). بنابراین به‌نظر می‌رسد که سازوکار خودتنظیمی گیاه سویا در نسبت-های ۵۰:۵۰ و ۷۵:۲۵ (کنجد-سویا)، نقش مهمی در افزایش کارایی استفاده از عوامل محیطی و همچنین توسعه شاخه‌های فرعی داشته است؛ هر چند کنجد نیز در کشت مخلوط می‌تواند اثرات تراکم بوته را با افزایش شاخه‌دهی جبران نماید (Pour Amir *et al.*, 2011; Mohamadian *et al.*, 2013)، اما به دلیل تاج-پوشش سنگین گیاه سویا در الگوی کشت مخلوط، کنجد قادر به افزایش تعداد شاخه‌های فرعی نبود. این موضوع یکی از مهم‌ترین دلایل کاهش تعداد شاخه-های فرعی کنجد، به‌ویژه در نسبت اختلاط ۷۵:۲۵ (کنجد-سویا) است.

میانگین تعداد غلاف در سویا نیز تحت تاثیر نسبت-های اختلاط قرار گرفت (جدول ۳). بیشترین تعداد غلاف در بوته، به نسبت اختلاط ۵۰:۵۰ تعلق داشت؛ هر چند سایر نسبت‌های اختلاط از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (جدول ۴). همان‌طور که اشاره شد، سازوکار جبرانی در گیاه سویا، نقش مهمی در تخصیص ماده خشک به شاخه‌های فرعی و تعداد غلاف‌ها در بوته دارد (Corassa *et al.*, 2018)؛ بنابراین افزایش تعداد غلاف‌ها در بوته می‌تواند ناشی از در اختیار داشتن فضای مناسب گیاه سویا در الگوی کشت مذکور باشد؛ این نتایج در مورد نسبت اختلاط ۷۵:۲۵ (کنجد-سویا) نیز صادق بود. مقدار افزایش تعداد غلاف در بوته سویا در نسبت‌های اختلاط ۷۵:۲۵، ۵۰:۵۰ و ۲۵:۷۵ (کنجد-سویا) به‌ترتیب ۱۹/۸۷، ۸۵/۷۷ و ۴/۹۴ درصد در مقایسه با کشت خالص سویا (صفر : ۱۰۰) بود. افزایش رقابت و ارتفاع تاج‌پوشش کنجد در نسبت اختلاط ۲۵:۷۵ (کنجد-سویا)، باعث تولید تعداد غلاف کمتر شد. به‌طورکلی، آستانه تحمل سایه‌دهی در سویا در الگوی کشت مخلوط، ۲۰ تا ۳۰ درصد می‌باشد (Khalid *et al.*, 2018)؛ بنابراین به‌نظر می‌رسد که افزایش سایه‌دهی توسط گیاه کنجد به‌ویژه در مرحله رشد زایشی گیاه سویا، نقش مهمی در کاهش تعداد غلاف در بوته داشته است.

همچنین نسبت اختلاط، اثر معنی‌داری بر میانگین تعداد کپسول در بوته کنجد داشت (جدول ۲). کشت خالص کنجد (۱۰۰: صفر) و نسبت اختلاط ۷۵:۲۵ (کنجد-سویا) به‌ترتیب با میانگین ۹۶/۶۳ و ۳۲/۲۵ دارای بیشترین و کمترین تعداد کپسول در بوته بودند (جدول ۴). به‌طورکلی، با کاهش سهم کشت کنجد در کشت مخلوط، تعداد کپسول در بوته کاهش یافت و مقدار آن در نسبت ۵۰:۵۰ و ۷۵:۲۵ (کنجد-سویا) به‌ترتیب ۲۷/۹۵ و ۶۶/۶۲ درصد کمتر از کشت خالص (۱۰۰: صفر) بود (جدول ۴). به‌نظر می‌رسد که کاهش تعداد شاخه‌های فرعی کنجد در نسبت‌های مذکور، نقش تاثیرگزاری در این زمینه داشته است.

نسبت اختلاط اثر معنی‌داری بر وزن هزار دانه سویا و کنجد داشتند (جدول ۲، ۳). نتایج نشان داد که سویا در نسبت اختلاط ۷۵:۲۵ (کنجد-سویا) با میانگین ۲۱۳/۱۵ گرم، دارای بالاترین وزن هزار دانه بود؛ این در حالی است که سایر نسبت‌های اختلاط از لحاظ صفت مذکور، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. در مورد کنجد نیز کشت خالص (۱۰۰: صفر) و نسبت ۷۵:۲۵ (کنجد-سویا) به‌ترتیب با میانگین ۴/۰۷ و ۳/۵۱ گرم، دارای بیشترین و کمترین وزن هزار دانه بودند (جدول ۴). تنظیم دقیق سازوکارهای منبع-مخزن در مراحل گوناگون رشد، نقش مهمی در تامین مواد فتوسنتزی، سرعت رشد گیاه و تخصیص آن به اندام‌های گوناگون گیاه دارد (Luca *et al.*, 2014; Stomph *et al.*, 2020). از این رو به‌نظر می‌رسد که ایجاد رقابت بین‌گونه‌ای در الگوی کشت مخلوط، باعث اختصاص کمتر مواد فتوسنتزی به دانه‌ها شده است. کاهش وزن هزار دانه گیاه زراعی در سیستم کشت

مخلوط توسط سایر پژوهشگران نیز بیان شده است (Ehsanifar *et al.*, 2015; Zhu *et al.*, 2016). در این میان، برخی از پژوهشگران، افزایش وزن هزار دانه گیاه زراعی را در کشت مخلوط (Hanming *et al.*, 2012) و تعدادی دیگر، عدم تاثیر نسبت‌های مختلف کشت مخلوط را بر وزن هزار دانه گزارش کردند (Namdari *et al.*, 2012; Nurbaksh *et al.*, 2016). همان‌طور که اشاره شد، توان رقابتی گیاه در کشت مخلوط، تولید و اختصاص مواد فتوسنتزی به‌ویژه در مراحل رشد زایشی گیاه، نقش مهمی در تغییر میزان وزن هزار دانه گیاه زراعی دارد.

نسبت اختلاط، اثر معنی‌داری بر عملکرد دانه سویا و کنجد داشتند (جدول ۲، ۳). بیشترین عملکرد دانه سویا (۴۳۶۸/۳۲ کیلوگرم در هکتار) در کشت خالص (صفر: ۱۰۰) بود و با کاهش سهم کشت گیاه سویا در نسبت‌های اختلاط، مقدار عملکرد دانه کاهش یافت؛ هر چند عملکرد دانه سویا در نسبت ۷۵:۲۵ (کنجد-سویا) از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با کشت خالص سویا (صفر: ۱۰۰) نداشت (جدول ۵).

جدول ۵- مقایسه میانگین‌های عملکرد دانه در نسبت‌های اختلاط کنجد-سویا

Table 4. Mean comparisons of grain yield in different soybean-sesame intercropping ratios

mixing ratio (Soybean-Sesame)	Sesame			Soybean			Total grain yield (kg.ha-1)
	Actual grain yield ($kg.ha^{-1}$)	Expected grain yield ($kg.ha^{-1}$)	Actual grain yield : Expected yield	Actual grain yield ($kg.ha^{-1}$)	Expected grain yield ($kg.ha^{-1}$)	Actual grain yield : Expected yield	
0 : 100	2077.43 ^{a}±166.92	2077.43 ^{a}±166.92	-			-	2077.43 ^{c}±166.92
25 : 75	1516.75 ^{b}±139.86	1558.07 ^{b}±125.19	- 2.65	1228.93 ^{c}±232.96	1138.52 ^{d}±208.16	+ 7.94	2745.67^{b}±292.14
50 : 50	763.87 ^{c}±95.29	1038.71 ^{c}±83.46	- 26.49	3480.17 ^{b}±465.46	2277.03 ^{c}±416.33	+ 52.83	4244.05^{a}±483.44
75 : 25	210.99 ^{d}±37.33	519.35 ^{d}±41.73	- 59.37	4040.32 ^{ab}±667.544	3415.55 ^{b}±624.49	+ 18.29	4251.31^{a}±653.79
100 : 0	-	-	-	4368.32 ^{a}±716.61	4368.32 ^{a}±716.61	-	4368.32 ^{a}±716.61
LSD	52.84 **	52.81 **	-	560.84 **	437.15 **	-	509.70 **
C.V (%)	9.25	3.87		16.28	14.86		13.96

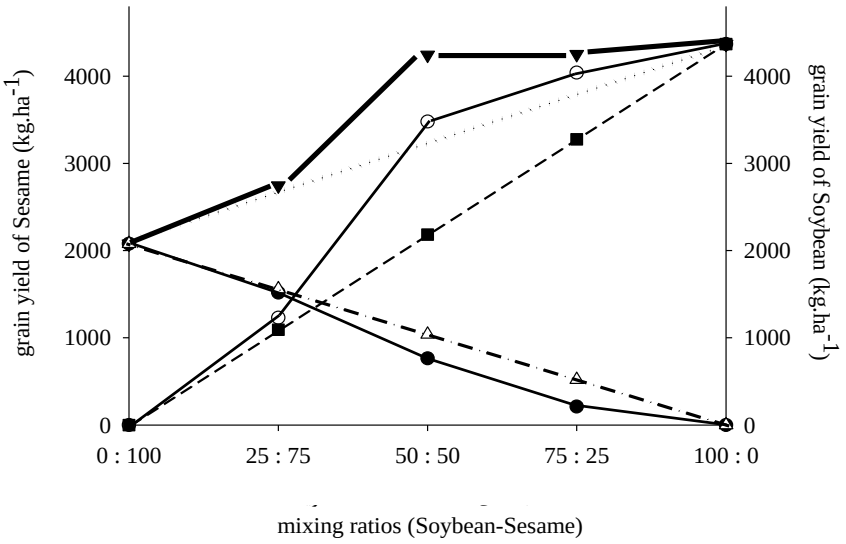
* و ** : به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد. در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک، بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار و در سطح احتمال پنج درصد، تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.

* and **: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively. Means followed by the same latter(s) in the same column are not significantly different (LSD 5%). Values are means±standard deviation ($\bar{X}$±SD)

این نتایج در مورد عملکرد دانه کنجد در نسبت‌های اختلاط نیز صادق بود، به‌طوری‌که با کاهش سهم کنجد در الگوی کشت، مقدار عملکرد دانه به شدت کاهش یافت. بدین ترتیب نسبت ۷۵:۲۵ (کنجد-سویا) با میانگین ۲۱۰/۹۹ کیلوگرم در هکتار، بیشترین کاهش (۵۹/۳۷- درصد) را در مقایسه با مقادیر قابل انتظار نشان داد (جدول ۵). با توجه به روند نزولی عملکرد دانه کنجد با کاهش سهم ردیف کشت در الگوهای کشت مخلوط نسبت به مقادیر قابل انتظار، می‌توان بیان داشت که سویا در کشت مخلوط به دلیل نوع تاج‌پوشش، از تسلط رقابتی بیشتری برخوردار بوده است. در مجموع بالاترین عملکرد دانه سویا و کنجد (۴۲۵۱/۳۱ کیلوگرم در هکتار) در بین نسبت‌های اختلاط، به نسبت ۷۵:۲۵ (کنجد-سویا) تعلق داشت؛ هر چند نسبت ۵۰:۵۰ نیز با میانگین تولید ۴۲۴۴/۰۴ کیلوگرم در هکتار از لحاظ آماری، تفاوت معنی‌داری با نسبت اختلاط مذکور نداشت (جدول ۵). بررسی الگوی تاثیر رقابت بر عملکرد دانه کنجد و سویا نیز نشان داد که میزان عملکرد دانه سویا در نسبت‌های اختلاط بر خلاف کنجد، در مقایسه با مقادیر قابل پیش‌بینی افزایش یافت، به‌طوری‌که مقدار افزایش محصول سویا در نسبت‌های اختلاط، بیش از کاهش محصول کنجد بود (شکل ۱). با توجه به نتایج مذکور، تاثیر رقابت کنجد و سویا در کشت مخلوط، از نوع مکملی مثبت می‌باشد. نزدیکی برآیند مجموع عملکرد دانه گیاهان در نسبت ۲۵:۷۵ (کنجد-سویا) به عملکرد آن‌ها در کشت خالص، نشان‌دهنده موقعیت جبرانی گیاهان در الگوی کشت مذکور است. بنابراین در

نسبت اختلاط ۲۵:۷۵ (کنجد-سویا)، کنجد استفاده بیشتری از عوامل محیطی رشد کرده است.

علاوه بر آن و در بین نسبت‌های اختلاط، نسبت کشت ۵۰:۵۰ و ۷۵:۲۵ (کنجد-سویا) به‌ترتیب با میانگین ۱/۱۷ و ۱/۰۱ دارای نسبت برابری زمین بالاتر از یک بودند (جدول ۶) و این موضوع نشان دهنده برتری نسبت اختلاط مذکور بر کشت خالص گیاهان مورد مطالعه است. نسبت اختلاط ۲۵:۷۵ (کنجد-سویا) نیز با نسبت برابری زمین ۰/۹۵، فاقد سودمندی لازم در مقایسه با کشت خالص کنجد و سویا بود. علاوه بر آن، بررسی نسبت رقابت در کشت مخلوط نیز نشان داد با افزایش سهم کشت سویا در کشت مخلوط، قدرت رقابت گیاه در کشت مخلوط افزایش می‌یابد (جدول ۶).



شکل ۱- تاثیر رقابت دو گیاه کنجد و سویا بر میانگین عملکردهای دانه گیاه در نسبت اختلاط و در دو سال زراعی (● : عملکرد دانه گیاه کنجد، ○ : عملکرد دانه گیاه سویا، ▼: مجموع عملکرد دانه دو گیاه، Δ: مقدار پیش بینی شده گیاه کنجد و ■ : مقدار پیش بینی شده گیاه سویا می‌باشد)

Figure 1- Effect of Sesame and Soybean competition on the mean grain yields in different intercropping ratios in two years (●: Actual grain yield of sesame, ○: Actual grain yield of soybean, ▼: Total actual yield of sesame and soybean in intercropping, Δ Expected of grain yield in sesame, ■: Expected of grain yield in soybean)

این در حالی است که نسبت رقابت کنجد تنها در نسبت ۲۵:۷۵ (کنجد-سویا) بیشتر از واحد بود؛ بنابراین توان رقابتی کنجد در کشت مخلوط با کاهش سهم ردیف کشت به شدت کاهش می‌یابد. یکی از دلایل برتری نسبت ۵۰:۵۰ و ۷۵:۲۵ (کنجد-سویا) می‌تواند ایجاد رابطه مکملی مثبت و افزایش بهره-برداری از عوامل محیطی به‌ویژه توسط سویا در الگوی کشت مخلوط باشد. همچنین نتایج نشان داد که افزایش عملکرد در نسبت اختلاط ۷۵:۲۵ (کنجد-سویا) به‌علت افزایش اثر انتخابی و قابلیت تسلط رقابتی سویا در کشت مخلوط بوده است، به‌طوریکه در نسبت اختلاط مذکور، ۷۶/۷۳ درصد از سهم عملکرد دانه به علت تسلط رقابتی و مابقی (۲۳/۲۷ درصد) مربوط به اثر مکملی در رقابت می‌باشد (جدول ۶). این در حالی است که در نسبت اختلاط ۵۰:۵۰، نقش اثر مکملی و تعدیل رقابت در مقایسه با اثر انتخابی پر رنگ‌تر بود. به‌طورکلی، عملکرد دانه به‌طور بالقوه تحت تاثیر ایجاد تعادل در رقابت بین‌گونه‌ای از طریق ایجاد رابطه مکملی و یا تسلط رقابت توسط گونه پر بازده است و تقویت رابطه مکملی، رابطه مستقیمی با

افزایش کارایی استفاده از منابع دارد (Loreau & Hector, 2001). بر این اساس و در نسبت اختلاط ۵۰:۵۰، سهم اثر مکملی در افزایش عملکرد دانه کنجد و سویا ۵۳/۹۸ درصد بود (جدول ۶). همانطور که اشاره شد، برتری سازوکار جبرانی سویا در مقایسه با کنجد، نقش مهمی در افزایش اثر مکملی و کاهش اثر غالبیت در سیستم رقابت در الگوی کشت مخلوط دارد.

جدول ۶- اثر نسبت‌های اختلاط بر کارایی کشت مخلوط کنجد-سویا

Table 5. Effect of intercropping ratios on the soybean - sesame intercropping efficiency

mixing ratio (soybean-sesame)	Li seasame	Li soybean	LER	CR seasame	CR soybean	Net effect (NE)	Complementarity effect (CE)	Selection effect (SE)
75 : 25	0.08	0.93	1.01	0.28	3.64	455.72	106.05	349.66
50 : 50	0.37	0.80	1.17	0.46	2.18	1021.16	551.19	469.97
25 : 75	0.67	0.28	0.95	2.44	1.27	95.52	46.97	48.55

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد که تسهیل در نسبت اختلاط از طریق ایجاد رابطه مکملی مثبت، نقش مهمی در افزایش شاخص سودمندی، عملکرد و اجزای عملکرد کنجد و سویا دارد؛ در این بین، نقش تسلط رقابتی سویا در الگوی کشت مخلوط، بیشتر از کنجد بود. هر چند رقابت گیاه کنجد در نسبت ۲۵:۷۵ (کنجد-سویا) نیز مانع افزایش بیشتر عملکرد دانه سویا در مقایسه با مقادیر قابل انتظار شد، اما در نهایت بر خلاف کنجد، عملکرد دانه سویا در نسبت‌های اختلاط بیشتر از مقادیر قابل انتظار بود. افزایش معنی‌دار تعداد شاخه‌های فرعی و تعداد غلاف در بوته گیاه سویا در الگوی کشت مخلوط، نقش مهمی در این زمینه داشت. علاوه بر مطالب گفته شده، بیشترین شاخص بهره‌وری کشت مخلوط، به نسبت ۵۰:۵۰ با میانگین نسبت برابری زمین ۱/۱۷ تعلق داشت. بر این اساس، نسبت ۵۰:۵۰ با ایجاد تاج‌پوشش مناسب و افزایش کارایی استفاده از عوامل محیطی، ضمن تولید مواد فتوسنتزی بیشتر و توسعه شاخه‌های فرعی، در تولید عملکرد و اجزای عملکرد موفق‌تر بوده است. این موضوع به دلیل ایجاد رابطه مکملی و کاهش میزان رقابت در مقایسه با سایر نسبت‌های کشت مخلوط بود که در نهایت منجر به افزایش ۱۷ درصدی بهره‌وری عملکرد دانه شده است.

سپاسگزاری

اعتبار این پژوهش از محل پژوهه طرح شماره ۱۳-۱۴۰۲-۰۱ مصوب تاریخ ۱۴۰۲/۶/۶ از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری تأمین شده است که بدین وسیله سپاسگزاری می گردد.

REFRENCES:

Ahmadvand, G. & Hajinia, S. (2016). Ecological aspects of replacement intercropping patterns of soybean (*Glycine max* L.) and millet (Panicum miliaceum L.). *Journal of Agroecology*, 7(4), 485-498. (In Persian with English abstract)

Akbari Nodehi, E (2012). Assessing the relations between soybean yield and water consumption. *Journal of Water and Soil Resources Conservation*, 1(2), 51-59. (In Persian with English abstract)

Bedoussac, L. & Justec, E. (2011). A comparison of commonly used indices for evaluating species interactions and intercrop efficiency: Application to durum wheat–winter pea intercrops. *Field Crop Research*, 124, 25-36.

Corassa, G. M., Amado, T. J. C., Strieder, M. L., Schwalbert, R., Pires, J. L. F., Carter, P. R. & Ciampitti, I. A. (2018). Optimum soybean seeding rates by yield environment in southern brazil. *Agronomy Journal*, 110(6), 1-9.

Delong, M. S., Miles, A. & Carlisle, I. (2016). Investing in the transition to sustainable agriculture. *Environmental Science and Policy*, 55, 266-273.

Ehsanifar, A. R., Dahmardeh, M. & Khamari, I. (2015). Effect of different tillage systems on yield and yield components in cowpea-millet intercropping. *Indian Journal of Science and Technology*, 8(11), 1-8.

Gerwing, J. & Gelderman, R. (2019). Fertilizer recommendation guide. (Annual Report EC750). U.S. Department of Agriculture, South Dakota State University. 27.

Ghale Noyee, S., Koocheki, A., Naseri Poor Yazdi, M. T. & Jahan, M. (2017). Effect of different treatments of mixed and row intercropping on yield and yield components of sesame and bean. *Iranian*

Journal of Field Crops Research, 15 (3), 588-602. (In Persian with English abstract)
Hanming, H. E., Lei, Y., Lihua, Z., Han, W., Liming, F., Yong, X., Youyong, Z. & Chengyun, L. (2012). The Temporal-Spatial Distribution of Light Intensity in Maize and Soybean Intercropping Systems. *Journal of Resources and Ecology*, 3(2), 169-173.
Islam, M. R., Mian, M. A. K. & Rahman, M. T. (2012). Suitability of intercropping sesame with mukhikachu. *Bangladesh Journal Agricultural Research*, 37(4), 625-634.
Javanmard, A., Amani Machiani, A., Ostadi, A., Seifi, A. & Khodayari, S. (2018). Evaluation of land productivity, competition and insect diversity in different intercropping patterns of sunflower (*Helianthus annus* L.) and soybean (*Glycin max* L.) under low input condition. *Iran Agricultural Research*, 37(2), 105-116.
Khalid, M. H. B., Reza, M. A., Yu, H. Q., Sum, F. A., Zhang, Y. Y., Lu, F. Z., Iqbal, N., Khan, I., Fu, F. L & Li, W. C. (2018). Effect of shade treatments on morphology, photosynthetic and chlorophyll flurescence characteristics of soybeans (*Glycine max* L. merr.). *Applied Ecology and Environmental Research*, 17(2), 2551-2569.
Koocheki, A., Zarghani, H. & Noroozian, A. (2016). Comparison of yield and yield components of sunflower (*Helianthus annus* L.), sesame (*Sesamum indicum* L.) and red bean (*Phaseolus calcaratus* L.) under different intercropping arrangements. *Iranian Journal of Field Crop Research,* 14(2), 226-243. (In Persian with English abstract)
Loreau, M. & Hector, A. (2001). Partitioning selection and complementarity in biodiversity experiments. *Nature*, 412, 72–76.
Luca, M. J. D. & Hungria, M. (2014). Plant densities and modulation of symbiotic nitrogen fixation in soybean. *Scientia Agricola*, 71(3), 181-187.
Mead, R. & Willey, R. W. (1980). The concept of a land equivalent ratio and advantages in yields for intercropping. *Experimental Agriculture*, 16, 217–228.
Mohamadian, M., Rezvani Moghaddam, P., Zarghani, H. & Yanegh, A. (2013). Study the Effect of Intercropping of three Sesame Genotypes on Morphological and Physiological Indice. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 11(3), 421-429. (In Persian with English abstract)
Namdari, M. & Mahmoudi, S. (2013). Evaluation of yield and productivity indices in planting ratios of intercropping of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) and Canola (*Brassica napus* L.). *Iranian Journal of Crop Science*, 14(4), 346-357. (In Persian with English abstract)
Namdari, M., Behdani, M. A. & Arab, G. H. (2012). Effect of yield, yield components and seed quality of intercropping soybean cultivars in Gaem Shahr weather conditions. *The Plant Production*, 34(2): 13-26. (In Persian with English abstract)
Nurbaksh. F., Koocheki, A. & Mahallati, M. N. (2016). Evaluation of yield, yield components and different intercropping indices in mixed and row intercropping of sesame (*Sesamum indicum* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Iranian Journal of Pulses Reseach*, 6(2), 73-86. (In Persian with English abstract)
Pour Amir, F., Nassiri Mahallati, M., Koocheki, O. & Ghrbani, R. (2011). Evaluation the effect of different planting ratios on yield and yield components of intercropping sesame and chickpea in additive series. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 8(3), 393-402. (In Persian with English abstract)
Stomph, T., Dordas, C., Baranger, A., de Rijk, J., Dong, B., Evers, J., Gu, C., Li, L., Simon, J., Jensen, E. S., Wang, Q., Wang, Y., Wang, Z., Xu, H., Zhang, C., Zhang, L., Zhang, W., Bedoussac, L. & Werf, W. V. (2020). Designing intercrops for high yield, yield stability and efficient use of resources: Are there principles? In: D.L. Sparks (Ed.), *Advances in Agronomy*. (pp. 1-50) Elsevier Inc.
Uzun, B. & Cagirgan, M. I. (2006). Comparison of determinate and indeterminate lines of sesame for agronomic traits. *Field Crop Research*, 96, 13-18.
Willer, H. & Lernoud, J. (2017). *The world of organic agriculture. Statistics and emerging trends*. (1th ed.) FiBL and IFOAM- Organic International.
Willey, R. W. & Rao, M. R. (1980). A competitive ratio for quantifying competition between intercrops. *Experimental Agriculture*, 16, 117-125.
Yang, F., Huang, S., Gao, R., Liu, W., Yong, T., Wang, X., Wu, X. & Yang, W. (2014). Growth of soybean seedlings in relay strip intercropping systems in relation to light quantity and red:far-red ratio. *Field Crop Research*, 155, 245-253.
Yu, Y., Stomph, T. J., Makowski, D. & Werf, W. V. (2015). Temporal niche differentiation increases the land equivalent ratio of annual intercrops: A meta-analysis. *Field Crop Research*, 184, 133-144.
Zhu, J., Werf, W., Vos, J., Anten, N. P. R., Putten, P. E. L. & Evers, J. B. (2016). High productivity of wheat intercropped with maize is associated with plant architectural responses. *Annals of Applied Biology*, 168, 357-372.