

ارزیابی شاخص‌های رقابتی و اقتصادی کشت مخلوط کلزا (*Brassica napus* L.) و نخود فرنگی (*Pisum sativum* L.) تحت مقادیر مختلف کود نیتروژن

سیف‌اله فلاح^{1*}، سوسن بهارلویی² و علی عباسی سورکی³

تاریخ دریافت: 1392/04/29

تاریخ پذیرش: 1392/09/01

چکیده

این آزمایش به منظور ارزیابی شاخص‌های رقابتی و اقتصادی کشت مخلوط کلزا (*Brassica napus* L.) و نخود فرنگی (*Pisum sativum* L.) تحت مقادیر مختلف کود نیتروژن بصورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار، در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهرکرد در سال زراعی 91-1390 اجرا گردید. تیمارهای آزمایش شامل کشت مخلوط کلزا و نخودفرنگی با نسبت 2:1، 1:1 و 1:2 و تک کشتی هر یک از دو گیاه به عنوان عامل اول و میزان مصرف نیتروژن (100، 75 و 50 درصد نیاز کودی هر یک از دو گیاه) به عنوان عامل دوم بودند. شاخص‌های ارزیابی کشت مخلوط شامل نسبت برابری زمین (LER)، ضریب ازدحام نسبی (K)، شاخص تولید سیستم (SPI)، کاهش یا افزایش عملکرد واقعی (AYL)، نسبت رقابت (CR) و شاخص‌های اقتصادی شامل مزیت پولی (MAI)، و سودمندی کشت مخلوط (IA) محاسبه شدند. نتایج نشان داد که تقریباً همه شاخص‌های رقابتی و اقتصادی در سطح کودی 50% بیشترین میزان را به خود اختصاص دادند. مقادیر شاخص‌های AYL و SPI و شاخص‌های اقتصادی MAI و IA برای همه نسبت‌های مخلوط بیشتر از یک به دست آمد که نشان دهنده برتری کشت مخلوط نسبت به تک کشتی هر یک از دو گیاه بود. مثبت بودن مقادیر شاخص غالبیت و بزرگ‌تر از یک بودن مقادیر نسبت رقابت برای گیاه کلزا، بیانگر برتری رقابتی کلزا نسبت به نخودفرنگی یا استفاده بهتر این محصول از نهاده‌ها در کشت مخلوط بوده است. بنابراین، ارزیابی شاخص‌های رقابتی و اقتصادی به خوبی مزیت کشت مخلوط کلزا با نخود فرنگی در شرایط کاهش مصرف نهاده نیتروژن را تشریح می‌نماید.

واژه‌های کلیدی: شاخص تولید بوم‌نظام، ضریب ازدحام نسبی، غالبیت، مزیت پولی، نسبت برابری زمین

مقدمه

Chapman, 1988; Bauman et al., 2000; Hatcher & Melander, 2003) و ارتقاء بهره‌برداری از منابع زیست‌محیطی موجود، در مقایسه با بوم‌نظام‌های زراعی تک‌کشتی یاد شده است (Arnon, 1992; Park et al., 2002).

در بوم‌نظام کشت مخلوط، هر دو جمعیت گیاهی برای بهره‌برداری از منابع یکسان یا مشابه رقابت دارند. در این خصوص مفاهیم ریاضی می‌توانند به محققان در خلاصه‌بندی، تفسیر و تشریح نتایج رقابت‌های گیاهی کمک کنند. این مفاهیم می‌توانند جوانب مختلف رقابت در جوامع گیاهی، از قبیل شدت رقابتی، تأثیرات رقابتی و بازده رقابت را تفسیر کنند؛ همچنین می‌توانند برای تفسیر اطلاعات پیچیده به محقق کمک کنند و امکان مقایسه نتایج تحقیقات مختلف را فراهم سازند (Litourgidis et al., 2011).

در اغلب موارد متداول‌ترین شاخص برای تفسیر مزایای کشت

در سال‌های اخیر با روشن‌تر شدن مشکلات کشاورزی تک‌کشتی از جمله آلودگی آب‌ها، خاک و همچنین کاهش توان تولید زمین‌های زراعی، توجه محققین بیش از پیش به حفظ ثبات و باروری نظام‌های تولید کشاورزی معطوف شده است (Bedoussac et al., 2010). یکی از راهکارهای افزایش ثبات، ایجاد تنوع از طریق به‌کارگیری نظام‌های چندکشتی است. در این رابطه، از کشت مخلوط به دلیل قابلیت کاهش معضل آفات و علف‌های هرز، به عنوان ابزاری سودمند جهت افزایش عملکرد یک یا تمام گونه‌های همراه (Kenny &

1، 2 و 3- به ترتیب دانشیار، استادیار و دانشجو سابق کارشناسی ارشد و استادیار اکولوژی گیاهان زراعی دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد
* - نویسنده مسئول: (Email: Falah1357@yahoo.com)

کلزا یکی از گیاهان روغنی مهم کشور است که سطح زیر کشت آن رو به افزایش است به طوری که سطح زیر کشت آن از 135 هکتار در سال 1373 به 1800 هکتار در سال زراعی 91-1390 رسیده است (Statistical data of Jihad Keshavarzi Ministry, 2013). از آنجا که کمبود نیتروژن قابل دسترس از عوامل مهم محدودکننده عملکرد کلزا می‌باشد و تأمین نیاز نیتروژنی این محصول از منبع کودهای شیمیایی نیتروژن، آلودگی‌های زیست‌محیطی را به همراه دارد (Ratkhe et al., 2006)، استفاده از دیگر راهکارها از جمله کشت مخلوط آن با گیاهان تثبیت‌کننده نیتروژن می‌تواند در کاهش نیاز به نیتروژن شیمیایی بسیار مؤثر باشد (Soon et al., 2004)، اما تحت این شرایط وضعیت رقابتی دو گونه نامشخص است. بنابراین، در تحقیق حاضر مزیت کشت مخلوط کلزا- نخودفرنگی تحت مقادیر مختلف کود نیتروژن، بر اساس شاخص‌های رقابتی و اقتصادی مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به صورت فاکتوریل، در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهرکرد با عرض جغرافیایی 33 درجه و 21 دقیقه شمالی و طول جغرافیایی 50 درجه و 49 دقیقه شرقی و ارتفاع 2116 متر از سطح دریا در سال زراعی 91-1390 اجرا شد. تیمارهای کشت مخلوط کلزا و نخودفرنگی با نسبت 2:1، 1:1 و 1:2 و تک کشتی هر یک از دو گیاه به عنوان عامل اول و میزان مصرف نیتروژن (100%، 75% و 50% نیاز) برای دو گونه نخود فرنگی و کلزا به عنوان عامل دوم بودند. بر اساس آزمون خاک، نیتروژن مورد نیاز برای کلزا و نخود فرنگی، به ترتیب 150 و 80 کیلوگرم در هکتار از منبع اوره در نظر گرفته شد، که یک سوم نیتروژن همزمان با کاشت در شیارهایی روی خطوط کاشت، و یک سوم، در مرحله ساقه رفتن و یک سوم باقیمانده قبل از گلدهی، به صورت سرک به خاک اضافه شد. هر کرت شامل شش خط کاشت به فاصله 40 سانتی‌متر در نظر گرفته شد. نخود فرنگی نیمه اول مهر و کلزا نیمه دوم اسفند با تراکم بالا کشت شد. سه هفته بعد از کاشت بوته‌های کلزا و نخود فرنگی تنک شد تا فاصله روی ردیف دو و هفت سانتی‌متر به ترتیب برای کلزا و نخود فرنگی بدست آید (Shojaie Ghaddykaie, 2010). وجین علف‌های هرز دو هفته بعد از کاشت هر گونه با دست انجام شد و در طول رشد گیاه تا بسته شدن پوشش

مخلوط نسبت برابری زمین¹ (LER) است که مبین مقدار زمین مورد نیاز برای رشد محصول مورد نظر در تک کشتی می‌باشد تا عملکردی مشابه کشت مخلوط داشته باشد. زمانی که تراکم بوته در کشت خالص و کشت مخلوط برابر است، مقدار نسبت برابری زمین از لحاظ عددی برابر با عملکرد نسبی کل می‌باشد و امکان بررسی دقیق‌تر کارایی نظام کشت مخلوط را در مقایسه با تک کشتی فراهم می‌آورد (Anthony et al., 2006). برخی محققین عملکرد زیست‌توده و توانایی تثبیت نیتروژن نخود سبز (*Pisum sativum* L.) و شبدر قرمز (*Trifolium pretense* L.) را به صورت تک کشتی و مخلوط با چاودار (*Secale cereal* L.) به مدت پنج سال مورد آزمایش قرار دادند. در این بررسی LER مخلوط نخود سبز و چاودار 1/2 و LER مخلوط شبدر قرمز و چاودار 1/3 به دست آمد. آنان مشاهده کردند، زیست‌توده و عملکرد در کشت مخلوط بیشتر بود؛ همچنین میزان نیتروژن در زمان رشد کامل برای نخود سبز و شبدر قرمز به ترتیب 242 و 178 کیلوگرم نیتروژن در هکتار به ازای زیست‌توده موجود به دست آمد (Karpenstein & Stuelpnagel, 2000).

نسبت رقابت² (CR) نیز بیانگر میزان تفاوت ماده خشک هر گونه، هنگامی که به صورت مخلوط کشت شده در مقایسه با کشت خالص آن می‌باشد و با استفاده از سهم نسبی آنها در حالت مخلوط تصحیح می‌گردد. به این ترتیب می‌توان سطح رقابت را تعیین نمود (Mead & Willey, 1980). همچنین ضریب ازدحام نسبی³ (K) برای ارزیابی تأثیرات رقابت استفاده می‌شود. هازور و همکاران (Hazor et al., 2009) در بررسی کشت مخلوط گیاه جو (*Hordeum vulgare* L.) با گیاه عدس (*Lend culinaris Medic.*)، کلزا (*Brassica napus* L.)، کتان (*Linum usitatissimum* L.)، شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum* L.) و نخود (*Cicer arietinum* L.) نشان دادند که در بین گیاهان مخلوط شده گیاه کلزا، بیشترین میزان غالبیت (0/43)، ضریب ازدحام نسبی (7/83) و نسبت رقابت (3/29) را به خود اختصاص داد و به خوبی با جو رقابت کرد، در حالی که در سایر تیمارها جو غالب بود. از دیگر شاخص‌های ارزیابی کشت مخلوط می‌توان به شاخص‌های اقتصادی اشاره نمود که در آنها مزایای پولی سیستم کشت مخلوط سنجیده می‌شود (Litourgidis et al., 2011).

1- Land equivalent ratio

2- Competition ratio

3- Relative crowding coefficient

کشت مخلوط با نخود فرنگی، Z_{pi} : فراوانی گونه نخود فرنگی در کشت مخلوط با کلزا، P_p : قیمت هر کیلوگرم نخود فرنگی = 30000 ریال و P_c : قیمت هر کیلوگرم کلزا = 60000 ریال می‌باشد. داده‌های حاصل از آزمایش و میانگین شاخص‌های اندازه‌گیری شده با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (V.9) مورد تجزیه واریانس قرار گرفتند. اثرات متقابل معنی‌دار تیمارهای آزمایشی نیز توسط نرم-افزار MSTAT-C مقایسه شدند. مقایسه میانگین تیمارها با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

همان‌طور که در جدول 1 مشاهده می‌شود، عملکرد نسبی نخود فرنگی، کلزا و LER مجموع دو گیاه به طور معنی‌داری تحت تأثیر کود نیتروژن و نسبت مخلوط قرار گرفت، ولی اثر متقابل این دو عامل آزمایشی فقط برای عملکرد نسبی نخود فرنگی معنی‌دار بود. با توجه به شکل 1 نسبت

گیاهی ادامه یافت. برداشت هر دو گیاه به طور هم‌زمان و در اواسط تیرماه انجام گرفت. با حذف اثر حاشیه‌ای از هر کرت آزمایشی، گیاهان برداشت و دانه‌ها جدا شدند. سپس نمونه‌هایی از عملکرد هر کرت تا رسیدن به وزن ثابت، در دمای 75 درجه سانتی‌گراد آن خشک گردیدند و عملکرد دانه بر اساس رطوبت 14% محاسبه شد.

برای ارزیابی کارایی و سودمندی کشت مخلوط از معیارهای نسبت برابری زمین (Mead & Willey, 1980)، ضریب ازدحام نسبی (Ghosh, 2004)، غالبیت (Agegnehu et al., 2006)، نسبت رقابت (Dhima et al., 2007)، شاخص تولید سیستم¹ (Agegnehu et al., 2006)، عملکرد از دست رفته واقعی² (Banik et al., 2000) و سودمندی کشت مخلوط³ از معادلات (1) تا (16) استفاده شد (Banik et al., 2000; Ghosh, 2004).

که در این معادلات، Y_{Ci} : عملکرد دانه کلزا در شرایط کشت مخلوط با نخود فرنگی، Y_C : عملکرد کلزا در شرایط تک‌کشتی، Y_{Pi} : عملکرد دانه نخود فرنگی در شرایط کشت مخلوط با کلزا، Y_P : عملکرد نخود فرنگی در شرایط تک‌کشتی، Z_{ci} : فراوانی گونه کلزا در

$$\begin{aligned} LER &= LER_C + LER_P \\ LER_C &= Y_{Ci}/Y_C \\ LER_P &= Y_{Pi}/Y_P \\ CR_C &= (LER_C/LER_P) \times (Z_{Pi}/Z_{Ci}) \\ CR_P &= (LER_P/LER_C) \times (Z_{Ci}/Z_{Pi}) \\ K &= K_p K_c \\ K_C &= Y_{ci} Z_{pi} / (Y_C - Y_{Ci}) \times Z_{Ci} \\ K_P &= Y_{pi} Z_{ci} / (Y_P - Y_{Pi}) \times Z_{Pi} \\ SPI &= (Y_P/Y_C) Y_{Ci} + Y_{Pi} \\ AYL &= AYL_P + AYL_C \\ AYL_C &= \{[(Y_{Ci}/Z_{Ci}) \div (Y_C/Z_C)] - 1\} \\ AYL_P &= \{[(Y_{Pi}/Z_{Pi}) \div (Y_P/Z_P)] - 1\} \\ IA &= IA_C + IA_P \\ IA_C &= AYL_C P_C \\ IA_P &= AYL_P P_P \end{aligned}$$

$$MAI = \text{Value of combined intercrops} \times (LER-1/LER)$$

- معادله (1) نسبت برابری زمین مجموع
- معادله (2) عملکرد نسبی یا نسبت برابری زمین کلزا
- معادله (3) عملکرد نسبی یا نسبت برابری زمین نخود فرنگی
- معادله (4) نسبت رقابت کلزا
- معادله (5) نسبت رقابت نخود فرنگی
- معادله (6) ضریب ازدحام نسبی
- معادله (7) ضریب ازدحام نسبی کلزا
- معادله (8) ضریب ازدحام نسبی نخود فرنگی
- معادله (9) شاخص تولید بوم نظام
- معادله (10) عملکرد از دست رفته واقعی مجموع
- معادله (11) عملکرد از دست رفته واقعی کلزا
- معادله (12) عملکرد از دست رفته واقعی نخود فرنگی
- معادله (13) سودمندی کشت مخلوط مجموع
- معادله (14) سودمندی کلزا در کشت مخلوط
- معادله (15) سودمندی نخود فرنگی در کشت مخلوط
- معادله (16) شاخص مزیت پولی⁴

1- System productivity index
2- Actual yield loss
3- Intercropping advantage
4- Monetary advantage index

برابری زمین در تمامی نسبت‌های مخلوط تحت سطوح 50% و 75% نیاز کودی و نسبت مخلوط کلزا-نخودفرنگی (1:2) با تأمین 100% نیاز کودی نسبت به تک‌کشتی هر یک افزایش داشت ($LER > 1$)، به طوری که بیشترین نسبت برابری زمین در نسبت مخلوط کلزا-نخودفرنگی (2:1) با سطح کودی 50% نیاز گیاه به میزان 1/17 به دست آمد. افزایش LER مخلوط نسبت به تک‌کشتی توسط محققین زیادی گزارش شده است (Litourgidis et al., 2011; Bedoussac et al., 2010; Jahani et al., 2008).

بررسی عملکرد نسبی دو محصول (شکل 1) حاکی است که در تمام نسبت‌های مخلوط در سطح کودی 50 و 75% نیاز، نسبت برابری زمین برای کلزا افزایش نشان داد. این بدین معنی است که گیاه کلزا از مزایای کشت مخلوط به نحو مطلوبی استفاده کرده و این در حالی است که گیاه همراه با کلزا نیز با مقدار کمی نوسان دارای عملکردی تقریباً برابر با تک‌کشتی است. یعنی کشت مخلوط علاوه بر اینکه عملکرد کلزا را افزایش داده است، از عملکرد معمول نخود فرنگی نسبت به تک‌کشتی نکاسته و همین برتری نسبی برای توصیه مخلوط این دو گیاه در شرایط کمبود نیتروژن کافی است. ضمن اینکه اگر به نمودار LER کل توجه شود (شکل 1)، بالاتر بودن عملکرد کل نسبت به تک‌کشتی بیانگر همین نکته است. با توجه به شکل 1 میزان LER کلزا حتی در شرایط کاهش مصرف نیتروژن به میزان 50 و 25% نسبت به 100% کاربرد نیتروژن حفظ شده است.

در استفاده از نیتروژن، بالاتر علاوه بر اینکه عملکرد کلزا افزایش محسوسی نداشت، حتی در برخی نسبت‌های مخلوط دارای کاهش نسبی بود (شکل 1). نخود فرنگی نیز بخصوص در تراکم‌های (نسبت) بالاتر، کاهش شدیدتری نشان داد که ممکن است مربوط به مصرف بیش از حد نیتروژن به ویژه در اوایل رشد، افزایش رشد رویشی و احتمالاً گستردگی گیاه روی زمین و حالتی شبیه ورس در غلات باشد که متعاقباً عملکرد نخود فرنگی و نیز کلزا را در مراحل بعدی نسبت به تیمارهای استفاده از نیتروژن کم کاهش می‌دهد و لذا مزیت نسبی کشت مخلوط در این حالت پایین می‌آید. این امر ممکن است مرتبط با کاهش کارایی تثبیت نیتروژن نخود فرنگی و تبیل شدن گرهک‌ها در نیتروژن بالا هم باشد که احتمالاً پتانسیل بعدی گیاه را در تثبیت نیتروژن برای خود یا گیاه همراه تحت تأثیر قرار می‌دهد (Hauggard et al., 2003).

ضریب ازدحام نسبی نخود فرنگی (K_p)، ضریب ازدحام نسبی کلزا (K_c) و ضریب ازدحام نسبی کل (K_t)، تحت تأثیر میزان کود نیتروژن و نسبت مخلوط قرار گرفت ولی اثر متقابل آنها فقط برای نخود فرنگی معنی‌دار شد (جدول 2). میانگین بیشترین ضریب تراکم نسبی جزء کلزا، جزء نخود فرنگی و کل برای میزان کود 50% به ترتیب به میزان 1/95، 1/03 و 1/89 بود و با افزایش میزان کود نیتروژن این شاخص ابتدا کاهش غیرمعنی‌داری نشان داد، ولی در 100% نیاز کودی بطور معنی‌داری کاهش یافت (جدول 3).

جدول 1- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) نسبت برابری زمین کلزا و نخودفرنگی در تیمارهای کشت مخلوط و مقادیر نیتروژن

Table 1- Analysis of variance (mean square) for land equivalent ratio of canola and pea under intercropping treatments and nitrogen rates

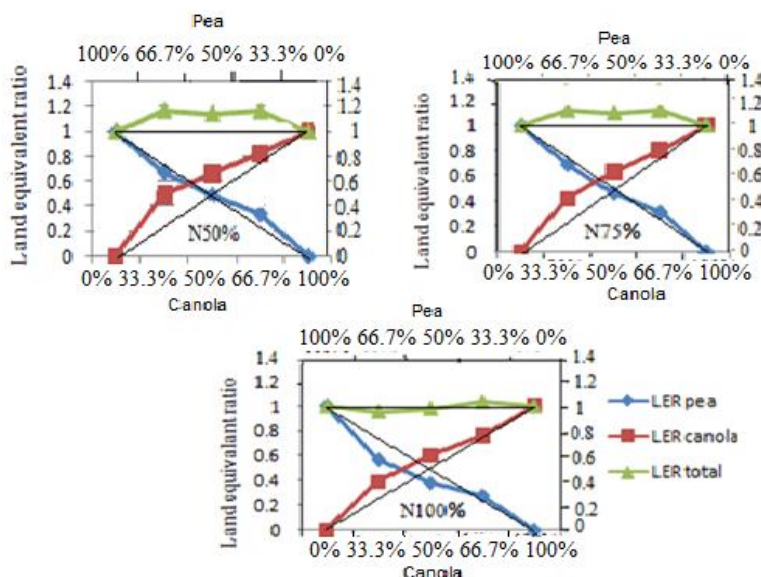
منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	نسبت برابری زمین نخودفرنگی	نسبت برابری زمین کلزا	نسبت برابری زمین مجموع
		Land equivalent ratio of pea	Land equivalent ratio of canola	Total land equivalent ratio
		LERp	LERc	LERt
تکرار Replication	2	0.001 ^{ns}	0.003 ^{ns}	0.008 ^{ns}
Nitrogen (N) سطح نیتروژن level (N)	2	0.014 ^{**}	0.008 [*]	0.04 ^{**}
(I) نسبت مخلوط Intercropping ratio (I)	4	1.26 ^{**}	1.31 ^{**}	0.02 ^{**}
N × I	8	0.003 ^{**}	0.002 ^{ns}	0.007 ^{ns}
خطا Error	28	0.0008	0.002	0.005

ns و **: به ترتیب نشانگر غیر معنی‌دار بودن، معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشند.

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

LERp, LERc and LERt به ترتیب بیانگر نسبت برابری زمین نخودفرنگی، نسبت برابری زمین کلزا و نسبت برابری کل زمین می‌باشند.

LERp, LERc, and LERt are represented the land equivalent ratio of pea and canola and both crops, respectively.



شکل 1- نسبت برابری زمین کشت مخلوط کلزا- نخود فرنگی در سطوح مختلف نیتروژن

Fig. 1- Land equivalent ratio of canola-pea intercropping in different levels of nitrogen

LERp, LERc and LERt: are represented the land Equivalent ratio for pea, canola and the sum of two plants, respectively. N50%, N75% and N100% are represented 50%, 75% and 100% of the nitrogen fertilizer requirement for canola and pea, respectively.

به ترتیب بیانگر نسبت برابری زمین برای نخود فرنگی، کلزا و مجموع دو گیاه می‌باشند. N50%، N75% و N100%: به ترتیب بیانگر میزان 50%، 75% و 100% نیاز کود نیتروژن برای کلزا و نخود فرنگی می‌باشند.

موسویان و همکاران (Mousavian et al., 2010) نیز بیشترین ضریب تراکم نسبی برای کشت مخلوط ذرت (*Zea mays* L.) و آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) را در سطوح کود کمتر به‌دست آوردند.

جدول 2- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) ضریب تراکم نسبی کلزا و نخود فرنگی تحت نسبت‌های کشت مخلوط و مقادیر نیتروژن

Table 2- Analysis of variance (mean square) for relative crowding coefficient of canola and pea under intercropping ratios and nitrogen rates

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی جزء Partial df	درجه آزادی کل Total df	ضریب نسبی تراکم نخودفرنگی Relative crowding coefficient of pea	ضریب نسبی تراکم کلزا Relative crowding coefficient of canola	ضریب نسبی تراکم مجموع Total relative crowding coefficient
			Kp	Kc	Kt
تکرار Replication	2	2	0.04 ^{ns}	0.93*	1.87 ^{ns}
سطح نیتروژن Nitrogen level (N)	2	2	0.24**	1.07*	2.82**
نسبت مخلوط Intercropping ratio (I)	3	4	0.05*	1.94**	1.85*
N × I	6	8	0.04 ^{ns}	0.19 ^{ns}	0.58 ^{ns}
خطای آزمایشی Error	22	28	0.02	0.36	0.59

ns و **: به ترتیب نشانگر غیر معنی‌دار بودن، معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشند.

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

Kp, Kc, and Kt: are represented the relative crowding coefficient of pea and canola and both crops, respectively.

Kp, Kc, and Kt: are represented the relative crowding coefficient of pea and canola and both crops, respectively.

جدول 3- مقایسه میانگین ضریب تراکم نسبی کلزا، نخودفرنگی و مجموع دو گیاه، در سطوح مختلف نیتروژن

Table 3- The mean comparison for relative crowding coefficient of canola, pea and sum of two plants in different rates of nitrogen

تیمار Treatment	ضریب تراکم نسبی نخودفرنگی Relative crowding coefficient of pea Kp	ضریب تراکم نسبی کلزا Relative crowding coefficient of canola Kc	ضریب تراکم نسبی کل Total relative crowding coefficient Kt
سطح نیتروژن Nitrogen level			
50% نیاز N50%	1.03a	1.95a	1.89 a
75% نیاز N75%	0.98a	1.53ab	1.40ab
100% نیاز N100%	0.76b	1.37b	1.03b
نسبت مخلوط Intercropping ratio			
نخودفرنگی Pea	1a	-	1b
کلزا Canola	-	1c	1b
نخودفرنگی - کلزا (2:1) Pea-Canola (2:1)	0.96a	1.57ab	1.58ab
نخودفرنگی - کلزا (1:1) Pea-Canola (1:1)	0.61ab	1.79a	1.53ab
نخودفرنگی - کلزا (1:2) Pea-Canola (1:2)	0.82b	2.10a	2.08a

در هر گروه و در هر ستون، میانگین‌های دارای حرف مشترک فاقد تفاوت آماری معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد می‌باشند.

Within each group and each column, means with similar letter, are not significantly different ($p \leq 0.05$) based on LSD test.

Kp, Kc, و Kt به ترتیب بیانگر ضریب تراکم نسبی نخودفرنگی، ضریب تراکم نسبی کلزا و ضریب تراکم نسبی کل می‌باشند.

Kp, Kc, and Kt: are represented the relative crowding coefficient of pea and canola and both crops, respectively.

بالتر بودن شاخص CR برای مخلوط کلزا نسبت به تک‌کشتی آن است، این در حالی است که این شاخص برای مخلوط نخود فرنگی کمتر از یک شده است. بیشترین نسبت رقابتی برای کلزا و کمترین میزان آن برای نخود فرنگی در نسبت مخلوط نخود-کلزا (1-1) با سطح 100% نیاز کودی به ترتیب به میزان 1/59 و 0/83 حاصل شد (شکل 2). از آنجا که طول دوره رشد، سرعت رشد گیاه، تراکم زراعی، تفاوت در عمق توسعه و تراکم ریشه از عواملی هستند که بر میزان رقابت بین اجزای کشت مخلوط در مصرف عناصر غذایی تأثیر می‌گذارد. بنابراین، کلزا که در مقایسه با لگوم‌ها دارای ارتفاع بیشتر و سیستم ریشه‌ای گسترده‌تر می‌باشد، در جذب برخی از عناصر قدرت رقابتی بیشتری دارد (Eskandar & Ghanbari, 2011). مطالعه انجام شده در رابطه با تولید پایدار رازیانه (*Foeniculum vulgare* L.) و شوید (*Anethum graveolens* L.) حاکی است که کارآمدترین بوم‌نظام زراعی مورد استفاده، کشت مخلوط با نسبت

کشت مخلوط، ضریب تراکم نسبی نخود فرنگی را کاهش و میانگین ضریب تراکم نسبی کلزا و کل را نسبت به تک‌کشتی افزایش داد و ضریب نسبی تراکم کل، بیشتر تحت تأثیر ضریب نسبی تراکم کلزا قرار گرفت به طوری که نسبت مخلوط نخود-کلزا (2-1) بیشترین Kp به میزان 2/08 را به خود اختصاص داد (جدول 3). از طرفی، مشاهده شد که میانگین ضریب تراکم نسبی کل در همه نسبت‌های مخلوط نسبت به تک‌کشتی افزایش داشت که این امر بیانگر سودمندی کشت مخلوط این دو گیاه بود (Litourgidis et al., 2011).

با توجه به جدول تجزیه واریانس (جدول 4)، نسبت رقابت نخود فرنگی (CRp) برای میزان کود نیتروژن و نسبت مخلوط و همچنین اثر متقابل آنها معنی‌دار بود اما نسبت رقابت کلزا (CRC) تحت تأثیر میزان کود نیتروژن و اثر متقابل میزان کود با نسبت مخلوط قرار گرفت ($p \leq 0/01$). میانگین نسبت رقابت در شکل 2 نشان دهنده

بالاتر رازیا نه بود که در این بوم‌نظام، مقدار نسبت رقابت محاسبه شده برای شویید به 1/9 رسید (Carruba et al., 2008).

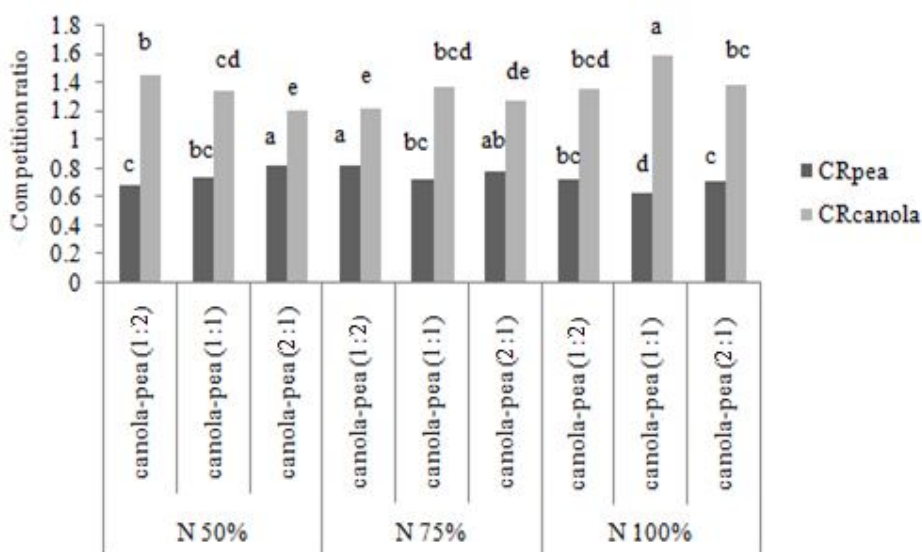
جدول 4- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) شاخص‌های رقابتی تحت نسبت‌های کشت مخلوط و مقادیر نیتروژن
Table 4- Analysis of variance (mean square) for competitive indices in intercropping ratio and nitrogen rates

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	نسبت رقابت Competition ratio		شاخص تولید سیستم System production index	عملکرد از دست رفته واقعی Actual yield loss		
		CR _p	CR _c	SPI	AYL _p	AYL _c	AYL _t
تکرار Replication	2	0.0003 ^{ns}	0.002 ^{ns}	170051*	0.01 ^{ns}	0.08 ^{ns}	0.11 ^{ns}
سطح نیتروژن Nitrogen level (N)	2	0.01**	0.05**	130135 ^{ns}	0.09**	0.25**	0.59**
نسبت مخلوط Intercropping ratio (I)	2	0.01**	0.05**	26790 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.06 ^{ns}
N × I خطای آزمایشی Error	4	0.008**	0.03**	17338 ^{ns}	0.002 ^{ns}	0.04 ^{ns}	0.05 ^{ns}
	16	0.001	0.003	42435	0.01	0.07	0.09

ns و **: به ترتیب نشانگر غیر معنی‌دار بودن، معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشند.

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

CR_p, CR_c, IAP, AYL_p, AYL_c, and AYL_t: are represented the pea competition ratio, canola competition ratio, system production index, actual yield loss of pea and canola and both crops, respectively.



شکل 2- مقایسه میانگین نسبت رقابت کلزا و نخودفرنگی در سطوح مختلف نیتروژن

Fig. 2- The means comparison for competition ratio of canola and pea in different levels of nitrogen.

CR_{pea} و CR_{canola} به ترتیب بیانگر نسبت رقابت گیاه نخودفرنگی و کلزا می‌باشند.

CR_{pea} and CR_{canola} are represented the competition ratio of pea and canola, respectively.

میانگین‌های دارای حرف مشترک فاقد تفاوت آماری معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد می‌باشند.

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

سبب تثبیت بیشتر نیتروژن مولکولی هوا نسبت به تک‌کشتی آن شد و با شیب بیشتری عملکرد را افزایش داد (Bedoussac et al., 2010). شاخص مزیت مخلوط (IA) گیاه کلزا، نخود فرنگی و مجموع دو گیاه فقط برای عامل کود نیتروژن معنی‌دار شد (جدول 6). مقایسه میانگین مزیت مخلوط در سطوح مختلف کودی در جدول 7 ارائه شده است. میانگین IA گیاه نخود فرنگی در سطوح کودی به استثناء 50% نیاز کودی و نسبت‌های مختلف مخلوط منفی بود ولی برای گیاه کلزا و مجموع دو گیاه مثبت بود (جدول 7). برخی محققین علت بالا رفتن شاخص مزیت مخلوط را استفاده بهتر از منابع موجود مانند نور، آب و مواد غذایی معرفی کرده‌اند (Litourgidis et al., 2011). با توجه به این که نیتروژن یکی از منابع اساسی رشد گیاه می‌باشد، به نظر می‌رسد در سطوح کودی پایین‌تر، انتقال نیتروژن از گیاه نخود فرنگی به کلزا بهتر صورت گرفته است (Ahmadi et al., 2010) و سبب افزایش سودمندی مخلوط نسبت به تک‌کشتی شده است.

شاخص تولید بوم‌نظام برای هیچ یک از عوامل آزمایشی معنی‌دار نشد (جدول 4). در مقایسه میانگین‌ها مشاهده شد که سطح نیتروژن 75% نیاز گیاه از شاخص تولید بالایی برخوردار بود و اختلاف آن نیز با سطح نیتروژن 50 درصد نیاز گیاه معنی‌دار نبود (جدول 5). عملکرد از دست رفته واقعی (AYL) نخود فرنگی، کلزا و مجموع دو گیاه برای کود نیتروژن در سطح احتمال 1 درصد معنی‌دار شد (جدول 4). بیشترین میزان میانگین AYL در سطح کودی 50% و 75% به دست آمد و با افزایش کود نیتروژن عملکرد واقعی جزء نخود فرنگی منفی‌تر شد. همچنین اختلاف معنی‌داری بین مقادیر میانگین AYL در نسبت مخلوط مشاهده نشد (جدول 5). با توجه به مثبت بودن مقادیر AYL در تمامی نسبت‌های مخلوط و سطوح 50% و 75% نیاز کودی (جدول 5)، کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی هر یک از این دو گیاه سودمند بوده و دارای رعایت اصل تولید حمایتی است (Ahmadi et al., 2010). محققان نیز مشاهده نمودند که کشت مخلوط گندم دوروم و نخود فرنگی در تیمار کودی حداقل

جدول 5- مقایسه میانگین‌های شاخص تولید بوم‌نظام و عملکرد از دست رفته واقعی کلزا و نخودفرنگی تحت نسبت‌های کشت مخلوط و مقادیر نیتروژن

Table 5- The mean comparisons for system production index and actual yield loss of canola and pea in intercropping ratios and nitrogen rates

تیمار Treatment	شاخص تولید بوم‌نظام System production index SPI	عملکرد از دست رفته واقعی Actual yield loss		
		AYL _p	AYL _c	AYL _t
سطح نیتروژن Nitrogen level				
نیاز 50% N50%	3268ab	0.02a	0.49a	0.51a
نیاز 75% N75%	3473a	-0.02a	0.26ab	0.23ab
نیاز 100% N100%	3262b	-0.18b	0.18b	-0.003b
نسبت مخلوط Intercropping ratio				
نخودفرنگی - کلزا (2:1) Pea-Canola (2:1)	3306a	-0.02a	0.32a	0.3a
نخودفرنگی - کلزا (1:1) Pea-Canola (1:1)	3300a	-0.11b	0.27a	0.16a
نخودفرنگی - کلزا (1:2) Pea-Canola (1:2)	3397a	-0.06ab	0.35a	0.29a

در هر گروه و هر ستون، میانگین‌های دارای حرف مشترک فاقد تفاوت آماری معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد می‌باشند. Within each group and each column, means with similar letter, are not significantly different ($p \leq 0.05$) based on LSD test. IAp, AYLp, AYLc, and AYLt: are represented the system production index, actual yield loss of pea and canola and both crops, respectively.

جدول 6- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) شاخص‌های سودمندی تحت نسبت‌های کشت مخلوط و مقادیر نیتروژن
 Table 6- Analysis of variance (mean square) for advantage indices in intercropping ratios and nitrogen rates

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	شاخص سودمندی مخلوط Intercropping advantage			شاخص مزیت پولی Monetary advantage index
		IA _p	IAC	IA	MAI
تکرار Replication	2	7584092 ^{ns}	276281279 ^{ns}	329681010 ^{ns}	12221812 ^{ns}
سطح نیتروژن (N) Nitrogen level (N)	2	86266264**	881013203*	1421310337*	103233975**
نسبت مخلوط (I) Intercropping ratio (I)	2	1658550 ^{ns}	54416610 ^{ns}	112145760 ^{ns}	10064190 ^{ns}
N × I	4	2309196 ^{ns}	145635331 ^{ns}	154393948 ^{ns}	1410732 ^{ns}
خطای آزمایشی Error	16	6636648	243839478	276616266	11410541

ns, * و ** به ترتیب نشانگر غیر معنی‌دار بودن، معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشند.

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

IAP, IAC, IA and MAI: are represented the intercropping advantage of pea and canola and both crops, and monetary advantage index, respectively.

در بررسی کشت‌های ترکیبی نخود با گندم، برنج و تریتیکاله در (20:80) و نخود-گندم (20:80) بود (Litourgidis et al., 2011).
 نسبت‌های مختلف، بالاترین سود اقتصادی مربوط به نخود-تریتیکاله

جدول 7- مقایسه شاخص‌های سودمندی مخلوط کلزا و نخود فرنگی تحت نسبت‌های کشت مخلوط و مقادیر نیتروژن
 Table 7- The mean comparisons for intercropping advantage indices of canola and pea in intercropping ratios and nitrogen rates

تیمار Treatment	شاخص سودمندی مخلوط Intercropping advantage			شاخص مزیت پولی Monetary advantage index
	IA _p	IA _c	IA	MAI
<u>سطح نیتروژن</u> Nitrogen level				
50% نیاز N50%	460a	29681a	30141a	6055a
75% نیاز N75%	-728a	15535ab	14806ab	4437a
100% نیاز N100%	-5397b	10625b	5229b	450b
<u>نسبت مخلوط</u> Intercropping ratio				
نخودفرنگی - کلزا (2:1) Pea-Canola (2:1)	-613a	18991a	18378a	2624a
نخودفرنگی - کلزا (1:1) Pea-Canola (1:1)	-3316b	15988a	12672a	2857a
نخودفرنگی - کلزا (1:2) Pea-Canola (1:2)	-1736ab	20862a	19126a	4561a

در هر گروه و در هر ستون، میانگین‌های دارای حرف مشترک فاقد تفاوت آماری معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد می‌باشند.

Within each group and each column, means with similar letter, are not significantly different ($p \leq 0.05$) based on LSD test.

IAP, IAC, IA and MAI: are represented the intercropping advantage of pea and canola and both crops, and monetary advantage index, respectively.

شیمیایی می‌تواند در ارتقاء جنبه اکولوژیکی سیستم زراعی نیز مؤثر باشد.

نتیجه‌گیری

به طور کلی، کاهش 25 تا 50 درصد نیتروژن مورد نیاز دو گیاه کلزا و نخود فرنگی تحت سیستم کشت مخلوط موجب افزایش شاخص‌های رقابتی شد و با افزایش عملکرد واقعی و شاخص تولید سیستم برای همه نسبت‌های مخلوط منجر به برتری شاخص‌های اقتصادی نسبت به تک‌کشتی هر یک از این دو گیاه شده است. بنابراین، ارزیابی شاخص‌های رقابتی و اقتصادی به خوبی مزیت کشت مخلوط کلزا با نخود فرنگی در شرایط کاهش مصرف نیتروژن و در نتیجه تحقق اهداف کشاورزی پایدار را تشریح می‌نماید.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از حمایت‌های مالی دانشگاه شهرکرد در اجرای این پژوهش قدردانی به عمل می‌آید.

اگرچه شاخص مزیت مخلوط جزء و کل از لحاظ آماری تحت تأثیر نسبت‌های مخلوط قرار نگیرد ولی مقادیر این شاخص برای مجموع دو گیاه در تمام نسبت‌های مخلوط دارای مقادیر مثبت بود (جدول 7). مثبت بودن شاخص مزیت پولی نشان‌دهنده برتری کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی هر یک از دو گیاه می‌باشد (Litourgidis et al., 2011). بالا بودن LER و K به ترتیب در شکل 1 و جدول 3 تحت تیمار 50 تا 75% نیاز کودی گیاه موجب افزایش مزیت پولی این تیمارها شده است (Ghosh, 2004). علاوه بر این، مزایای تنوع در سیستم اکولوژیکی می‌تواند ارزش بسیار زیادی داشته باشد که محاسبه آن در معنی‌داری شدن شاخص مزیت مخلوط نیز دخیل خواهد بود.

شاخص مزیت پولی (MAI) به طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمار کودی قرار گرفت اما نسبت مخلوط و اثر متقابل میزان کود با نسبت مخلوط بر این صفت معنی‌دار نشد (جدول 6). این شاخص در شرایط کاهش 25 تا 50% نیتروژن مورد نیاز برتری بسیار معنی‌داری در مقایسه با مصرف کامل نیتروژن مورد نیاز گیاه داشت (جدول 7). این شرایط به دلیل بهره‌گیری سیستم کشت کلزا-نخود فرنگی از تثبیت نیتروژن مولکولی هوا بوده است که با جایگزینی بخشی نهاده کود

منابع

- 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* 25: 202-207.
- Ahmadi, A., Dabbagh Mohammadi Nasab, A., Zehtab Salmasi, S., Amini, R., and Janmohammadi, H. 2010. Evaluation of yield and advantage indices in barley and vetch intercropping. *Agricultural Science and Sustainable Production* 20(2): 76-87. (In Persian with English Summary)
- Anthony, R., Szumigalski, A.R., and Van Aoker, R.C. 2006. Nitrogen yield and land use efficiency in annual sole crops and intercrops. *Agronomy Journal* 98: 1030-1040.
- Arnon, I. 1992. *Agriculture in dry land, principles and practice: Climatic factors and their effect on crop production*. Amsterdam: Elsevier Science Publishers B.V.
- Banik, P., Midya, A., Sarkar, B.K., and Ghoshe, S.S. 2006. Wheat and chickpea intercropping systems in an additive series experiment: advantages and weeds mothering. *European Journal of Agronomy* 24: 325-332.
- Baumann, D.T., Kropff, M.J., and Bastiaans, L. 2000. Intercropping leeks to suppress weeds. *Weed Research* 40: 359-374.
- Bedoussac, L., and Justes, E. 2010. Dynamic analysis of competition and complementarity for light and N use to understand the yield and the protein content of a durum wheat-winter pea intercrop. *Plant and Soil* 330: 37-54.
- Carruba, A., La Torre, R., Saiano, F., and Aiello, P. 2008. Sustainable production of fennel and dill by intercropping. *Agronomy for Sustainable Development* 28: 247-256.
- Dhima, K.V., Lithourgidis, A.S., Vasilakoglou, I.B., and Dordas, C.A. 2007. Competition indices of common vetch and cereal intercrops in two seeding ratio. *Field Crops Research* 100: 249-256.
- Eskandar, H., and Ghanbari, A. 2011. Evaluation of competition and complementarity of corn (*Zea mays*) and cowpea (*Vigna sinensis*) intercropping for nutrient consumption. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*

- 21(2): 67-75. (In Persian with English Summary)
- Ghosh, P.K. 2004. Growth, yield, competition and economics of groundnut/cereal fodder intercropping systems in the semi-arid tropics of India. *Field Crops Research* 88: 227-237.
- Hatcher, P.E., and Melander, B. 2003. Combining physical, cultural and biological methods prospects for integrated non-chemical weed management strategies. *Weed Research* 43: 303-322.
- Hauggard-Nielsen, H. Ampus, P., and Jenssen, E.S. 2003. The comparison of nitrogen use and leaching in sole cropped versus intercropped pea and barley. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 65: 289-300.
- 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)
- Karpenstein-Machan, M., and stuelpnagel, R. 2000. Biomass yield and nitrogen fixation of legumes monocropped and intercropped with rye and rotation effects on a subsequent maize crop. *Plant and Soil* 218: 215-232.
- Kenny, G.J., and Chapman, R.B., 1988. Effects of an intercrop on the insect pests, yield and quality. *New Zealand Journal of Experimental Agriculture* 16: 67-72.
- Lithourgidis, A.S., Vlachostergios, D.N., Dordasc, C.A., and Damalas, C.A. 2011. Dry matter yield, nitrogen content, and competition in pea-cereal intercropping systems. *European Journal of Agronomy* 34: 287-294.
- Mead, R., and Willey, R.W. 1980. The concept of a 'land equivalent ratio' and advantages in yields from intercropping. *Experimental Agriculture* 16: 217-228.
- Mousavian, S.N., Lorzadeh, S., Ebrahimipur, F., and Mohammadi, S.A. 2010. Effect of nitrogen levels and cropping ratios on yield of intercropping corn and sunflower in Khuzestan conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research* 8: 708-716. (In Persian with English Summary)
- Park, S.E., Benjamin, L.R., and Watkinson, A.R. 2002. Comparing biological productivity in cropping system a competition approach. *Journal of Applied Ecology* 39: 416-426.
- Rtkhe, G.W., Bhrens, T., and Diepenbrock, W. 2006. Integrated nitrogen management strategies to improve seed yield, oil content and nitrogen efficiency of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.): A review. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 117: 80-108.
- Soon, Y.K., Harker, K.N., and Clayton, G.W. 2004. Plant competition effects on the nitrogen economy of field pea and the subsequent crop. *Soil Science Society of America Journal* 68: 552-557.
- Statistical data of Jahad Keshavarzi Ministry. 2013. Available online at: <http://www.maj.ir/portal/Home/Default>
- Wahla, I.H., Ahmad, R., Ehsanullah, Ahmad, E.A., and Jabbar, A. 2009. Competitive functions of Components crops in some barley based intercropping systems. *International Journal of Agriculture and Biology* 11: 69-72.
- Willey, R.W., and Rao, M.R. 1980. A competitive ratio for quantifying competition between intercrops. *Experimental Agriculture* 16: 117-125.