نشریه تولید گیاهان زراعی
جلد نهم، شماره چهارم، زمستان ۹۵
۱۵۵-۱۷۸
http://ejcp.gau.ac.ir

تأثیر قارچ *Piriformospora indica* بر عملکرد سویا و ارزن در کشت مخلوط از طریق شاخص‌های رقابتی

گودرز احمدوند[1*] و سمیه حاجی‌نیا[2]

۱دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا،
۲دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا

تاریخ دریافت: ۹٤/۷/۱۵ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱/۲۷

چکیده

سابقه و هدف: امروزه استفاده از سیستم‌های زراعی کم‌نهاده و ابداع شیوه‌های نوین مدیریت بهره‌برداری از منابع به‌منظور دست‌یابی به اهداف کشاورزی پایدار اهمیت ویژه‌ای پیدا کرده است. کاربرد کودهای زیستی به همراه کشت مخلوط از جمله راهکارهای مناسب جهت نیل به اهداف کشاورزی اکولوژیکی است، که می‌تواند تولیدات کشاورزی را در مکان و زمان افزایش دهند. استفاده از کودهای زیستی در کشت مخلوط ضمن افزایش حاصلخیزی خاک و کاهش مصرف کودهای شیمیایی، می‌تواند منجر به بهبود عملکرد کمی و کیفی گیاهان زراعی شود. قارچ‌های اندوفیت از مهم‌ترین ریزجانداران خاک محسوب می‌شوند که با ایجاد تغییرات فیزیولوژیکی و اکولوژیکی در گیاهان میزبان خود، عملکرد آن‌ها را در واحد سطح افزایش می‌دهند. این پژوهش با هدف، تأثیر قارچ *Piriformospora indica* بر عملکرد، اجزای عملکرد و غلظت فسفر دانه سویا و ارزن در کشت مخلوط اجرا شد.

مواد و روش‌ها: آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹٤ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی‌سینا انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل کاربرد قارچ *P. indica* در دو سطح (تلقیح و عدم‌تلقیح) و الگوی کاشت جایگزینی در پنج سطح (تک‌کشتی سویا (100S)، تک‌کشتی ارزن (100M)، کشت مخلوط جایگزینی ۳۳ درصد سویا + ٦۷ درصد ارزن (33S:67M)، ۵۰ درصد سویا + ۵۰ درصد ارزن (50S:50M) و ٦۷ درصد سویا + ۳۳ درصد ارزن

* مسئول مکاتبه: gahmadvand@basu.ac.ir

(67S:33M) بودند. الگوهای مختلف کشت مخلوط به روش جایگزینی انجام شد و نسبت‌های کاشت با تغییر تعداد ردیف‌های کشت تنظیم گردید.

یافته‌ها: نتایج نشان داد در الگوهای مختلف کشت مخلوط، بیش‌ترین غلظت فسفر دانه سویا و ارزن به‌ترتیب ۰/۳۹ و ۰/۳۲ درصد در نسبت 50S:50M به‌دست آمد. تلقیح با قارچ *P. indica* غلظت فسفر دانه سویا و ارزن را به‌ترتیب ۳۱/٦ و ۲۲/۹ درصد نسبت به گیاهان تلقیح نشده افزایش داد. قارچ *P. indica* موجب افزایش تعداد خوشه در بوته ارزن در الگوهای مختلف کشت مخلوط گردید. تلقیح با قارچ *P. indica*، موجب افزایش تعداد خوشه در بوته ارزن در نسبت 50S:50M در مقایسه با تیمار شاهد (عدم‌تلقیح) به‌میزان ۲۸/۳ درصد گردید. بیش‌ترین تعداد غلاف در بوته سویا در نسبت‌های 50S:50M و 33S:67M (به‌ترتیب ٥٤/۰ و ۵۳/۸ غلاف در بوته) در شرایط تلقیح با قارچ *P. indica* به‌دست آمد. تلقیح با قارچ *P. indica* موجب افزایش تعداد دانه در غلاف سویا به‌میزان ١٦/٤ درصد در مقایسه با گیاهان شاهد شد. ارزیابی نسبت برابری زمین نشان‌دهنده برتری تمام نسبت‌های کشت مخلوط سویا و ارزن بر تک‌کشتی آن‌ها بود و تیمار 50S:50M بیش‌ترین نسبت برابری زمین (١/١٤) در تلقیح با قارچ *P. indica* را به خود اختصاص داد. محاسبه ضریب غالبیت نشان داد که ارزن از غالبیت بیش‌تری نسبت به سویا برخودار بود.

نتیجه‌گیری: کاربرد قارچ *P. indica* و کشت مخلوط جایگزینی ارزن و سویا با افزایش کارایی جذب عناصر غذایی باعث بهبود عملکرد و شاخص‌های مختلف سودمندی کشت مخلوط ارزن و سویا گردیدند.

واژه‌های کلیدی: فسفر، قارچ اندوفیت، کشت مخلوط، نسبت برابری زمین

مقدمه

امروزه استفاده از سیستم‌های زراعی کم‌نهاده و ابداع شیوه‌های نوین مدیریت بهره‌برداری از منابع به‌منظور دست‌یابی به اهداف کشاورزی پایدار اهمیت ویژه‌ای پیدا کرده است. یکی از ارکان اصلی در کشاورزی پایدار استفاده از کودهای زیستی در اکوسیستم‌های زراعی با هدف حذف یا کاهش قابل‌ملاحظه‌ای در مصرف نهاده‌های شیمیایی است (۳۱). قارچ‌های اندوفیت به‌عنوان یکی از مهم‌ترین ریزجاندارن مفید خاک، با ایجاد تغییرات ژنتیکی، فیزیولوژیکی و اکولوژیکی در گیاهان میزبان خود، عملکرد آن‌ها را در واحد سطح افزایش می‌دهند و امکان توسعه کشت آن‌ها را در خاک‌هایی با شرایط نامساعد محیطی و تغذیه‌ای فراهم می‌آورند (۳۲). وارما و همکاران (۱۹۹۸) با کشف و معرفی قارچ اندوفیت جدیدی به نام *Piriformospora indica* از خاک ریزوسفری گیاهان خشکی‌پسند کهور (*Prosopis juliflora*) و کُنار (*Zizyphus nummularia*) از صحرای تار در کشور هندوستان که قادر به رشد در محیط‌های کشت مصنوعی است، نقطه روشنی در علم میکوریز ایجاد کردند و پژوهشگران فعال در عرضه میکوریز را امیدوار به کشت و تکثیر قارچ‌های میکوریز بدون نیاز به کشت همراه با گیاهان میزبان نمودند (۳۳ و ۳۰). قارچ *P. indica* از نظر ویژگی‌های مورفولوژیک، مولکولی و فیزیولوژیک شباهت‌های بسیار با جنس‌های متعلق به قارچ‌های میکوریز آربوسکولار دارد، به‌طوری‌که آن را قارچ شبه‌میکوریز می‌نامند (۳۸ و ۳۰). قارچ *P. indica* دارای رابطه همزیستی با ریشه اغلب گیاهان زراعی بوده و از طریق افزایش جذب عناصر غذایی مانند فسفر و برخی عناصر کم‌مصرف باعث افزایش رشد و عملکرد گیاهان می‌شود (۳۱). اثر تحریک‌کنندگی رشد این قارچ بر گیاهان بقولات شامل نخود (*Cicer arietinum* L.)، نخودفرنگی (*Pisum sativum* L.) و سویا (*Glycine max* L.) نیز اثبات شده است (٣٤). والر و همکاران (۲۰۰۵) نیز نشان دادند تلقیح گیاه جو (*Hordeum vulgare* L.) با قارچ *P. indica* باعث افزایش ۱۱ درصدی عملکرد دانه نسبت به گیاهان شاهد گردید (۳۵).

همزیستی بقولات- ریزوبیوم به‌میزان زیادی تحت‌تأثیر قارچ‌های میکوریز قرار می‌گیرد (٢٦). از آن جایی که همزیستی ریزوبیوم بستگی به غلظت فسفر دارد، افزایش میزان فسفر در اثر فعالیت میکوریز می‌تواند منجر به افزایش میزان گره‌دهی و تثبیت نیتروژن مولکولی گردد (۳ و ٤٠). سویا از قدیمی‌ترین گیاهان زراعی محسوب می‌شود و با دارا بودن ۲۰ درصد روغن و ٤٠ درصد پروتئین، یکی از منابع عمده تولید روغن و پروتئین گیاهی است، که به‌دلیل قدرت تثبیت نیتروژن در ریشه،

امکان بهره‌برداری مناسب از عناصر غذایی را برای اجزای کشت مخلوط فراهم می‌آورد (۳٦). بنابراین پتانسیل زیادی برای گسترش کشت این گیاه در الگوی کشت مخلوط وجود دارد. پژوهش‌ها نشان داده است که در بیش‌تر موارد کشت مخلوط بقولات با گیاهان علوفه‌ای ضمن تولید علوفه با کیفیت، حفاظت فیزیکی بوته‌ها از خطر ورس و کنترل رشد علف‌های‌هرز بقولات، در افزایش عملکرد دانه این گیاهان مؤثر می‌باشد (۱۹).

در بسیاری موارد، کشت مخلوط بقولات و غلات با بهره‌گیری از سیستم ریشه‌ای و برگی متفاوت کارایی استفاده از نور و زمین را افزایش داده و سبب افزایش عملکرد گیاهان در کشت مخلوط می‌شود (۱۱ و ۱۹). در این سیستم کاشت، نیتروژن تثبیت‌شده به‌وسیله بقولات به گیاهان همراه آن‌ها منتقل می‌شود و می‌تواند به پایداری عملکرد در کشاورزی کم‌نهاده کمک کند (٤).

بهره‌گیری از کودهای زیستی در کشت مخلوط ضمن افزایش حاصلخیزی خاک و کاهش مصرف کودهای شیمیایی موجب افزایش عملکرد کمی و کیفی گیاهان در این سیستم‌های کاشت می‌شود (۲٤ و ۲۸). نتایج آزمایش انجام شده در کشت مخلوط ذرت (*Zea mays* L.) و کاساوا (*Manihot esculenta* L.) نشان داد که بالاترین عملکرد ذرت از تیمار تلفیق کودهای ارگانیک و شیمیایی حاصل شد (۲). در مطالعه دیگری روی کشت مخلوط ذرت و سویا مشخص گردید که کاربرد تلفیق کودهای زیستی و شیمیایی ضمن افزایش عملکرد دو گونه، مصرف کودهای شیمیایی را نیز کاهش داد (۲٤). رضوانی‌مقدم و مرادی (۲۰۱۲) نیز در بررسی اثر کودهای زیستی بر کشت مخلوط شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum* L.) و زیره‌سبز (*Cuminum cyminum* L.) گزارش کردند که تیمار کودی سودوموناس نسبت برابری زمین بیش‌تری نسبت به تیمار نیتروکسین و شاهد داشت (۲۷). نقی‌زاده و همکاران (۲۰۱۲) در بررسی اثر کاربرد کود زیستی فسفر بارور (II) بر کشت مخلوط ذرت و خلر (*Lathyrus sativus* L.) مشاهده کردند که بیش‌ترین عملکرد خلر و بیش‌ترین نسبت برابری زمین در تیمار کودی ۵۰ درصد فسفات بارور (II)+ ۵۰ درصد کود فسفر شیمیایی مشاهده شد (۲۵). بنابراین، بهره‌گیری از قارچ‌های میکوریز و کشت مخلوط بقولات با غلات می‌تواند جایگزین شایسته‌ای برای کودهای شیمیایی باشد (۹).

یکی از راهکارهای بررسی بهره‌وری کشت مخلوط، استفاده از شاخص‌های سودمندی است. در این میان نسبت برابری زمین در ارزیابی مزیت سیستم کشت مخلوط به تک‌کشتی، بیش‌ترین کاربرد را دارد و توانایی رقابت گونه‌ها در این نوع سیستم کشت اغلب با برآورد غالبیت نسبی تعیین و گونه غالب مشخص می‌گردد (٤ و ۱۰).

با توجه به اهمیت کشت مخلوط و کودهای زیستی در جهت تحقق اهداف کشاورزی پایدار، این پژوهش با هدف تأثیر قارچ *P. indica* بر عملکرد، اجزای عملکرد و غلظت فسفر دانه سویا و ارزن در کشت مخلوط اجرا شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش مزرعه‌ای در بهار سال ١٣٩٤ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی‌سینا همدان واقع در روستای دستجرد با عرض جغرافیایی ٣٥ درجه و ١ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ٤٨ درجه و ٣١ دقیقه شرقی و ارتفاع ١٦٩٠ متر از سطح دریا، اجرا گردید. بافت خاک محل آزمایش لومی و سال قبل از اجرای آزمایش به‌صورت آیش بود. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک آزمایش در جدول (١) ارائه شده است.

جدول ١- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش (عمق ٣٠-٠ سانتی‌متری خاک).

Table 1. Soil physical and chemical characteristics of experimental site 0-30 cm depth.

بافت خاک Soil Texture	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC ($dS\ m^{-1}$)	اسیدیته pH	کربن آلی (درصد) Organic Carbon (%)	فسفر قابل‌جذب (پی‌پی‌ام) Available Phosphorous (ppm)	پتاسیم قابل‌جذب (پی‌پی‌ام) Available Potassium (ppm)	نیتروژن کل (درصد) Total N (%)
لومی (Loam)	0.18	8.00	0.75	11.00	326.00	0.02

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل قارچ *P. indica* در دو سطح (تلقیح و عدم تلقیح) و الگوی کاشت جایگزینی در پنج سطح (تک‌کشتی سویا (100S)، تک‌کشتی ارزن (100M)، کشت مخلوط جایگزینی ٣٣ درصد سویا + ٦٧ درصد ارزن (33S:67M)، ٥٠ درصد سویا + ٥٠ درصد ارزن (50S:50M) و ٦٧ درصد سویا + ٣٣ درصد ارزن (67S:33M) بودند.

عملیات کاشت سویا و ارزن معمولی به‌صورت هم‌زمان در اول خردادماه در کرت‌هایی شش ردیفه با طول چهار متر و فاصله بین ردیف ٥٠ سانتی‌متر انجام شد. فاصله نهایی بوته‌ها روی خطوط کاشت در هر دو گیاه، پنج سانتی‌متر بود. الگوهای مختلف کشت مخلوط به روش جایگزینی انجام شد

و نسبت‌های کاشت با تغییر تعداد ردیف‌های کشت تنظیم گردید. در نسبت کاشت 33S:67M چهار ردیف ارزن و دو ردیف سویا و در نسبت 67S:33M دو ردیف ارزن و چهار ردیف سویا منظور شد و نسبت کاشت 50S:50M شامل کشت یک در میان ارزن با سویا بود. در تک‌کشتی سویا و ارزن، شش ردیف به کشت خالص هر کدام از آن‌ها اختصاص یافت.

بذر مورد استفاده ارزن (رقم KCM) از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی همدان و بذر سویا (رقم M9) از مرکز تحقیقات دانه‌های روغنی الشتر (لرستان) تهیه شده بود. کاشت بذر با تراکم بیش‌تر از حد موردنظر انجام و برای دست‌یابی به تراکم مطلوب سویا و ارزن (٤٠ بوته در مترمربع) گیاهان در مرحله چهار تا شش‌برگی تنک شدند (۲۰).

جدایه قارچ *P. indica* (تهیه شده توسط پروفسور کوگل، رئیس موسسه بیماری‌شناسی و جانورشناسی کاربردی دانشگاه گیسن آلمان) در ارلن‌های حاوی ۵۰۰ میلی‌لیتر محیط کشت مایع اختصاصی Complex medium (CM)، کشت و بر روی شیکر با دور 100 rpm قرار گرفت و پس از ۲۰ روز اقدام به جمع‌آوری کلامیدوسپورها شد. در نهایت ۱۰ گرم از اندام‌های قارچی (کلامیدوسپور و اسپور) با ۱۰۰ گرم ماسه بادی استریل مخلوط و به‌عنوان مایه تلقیح استفاده شد (۳۵). تکثیر قارچ در آزمایشگاه‌های گروه گیاهپزشکی، زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا صورت گرفت. جهت اعمال تیمار قارچ، بذرهای هر دو گیاه با مایه تلقیح (به‌میزان ۱۰۰ گرم مایه تلقیح به‌ازای هر کیلوگرم بذر) آغشته و بلافاصله اقدام به کشت گردید. اولین آبیاری پس از کاشت و آبیاری‌های بعدی به فاصله هر هفت روز یک‌بار به‌صورت جوی و پشته‌ای (نشتی) انجام گرفت.

برای تعیین عملکرد بیولوژیکی و دانه، ارزن در تاریخ ۱۵ شهریور و سویا در ۱۰ مهر با لحاظ حاشیه، سطحی معادل دو مترمربع برداشت شد. قبل از برداشت، تعداد ۱۰ بوته از هر گیاه و از هر واحد آزمایشی به‌طور تصادفی برداشت شده و صفاتی از قبیل تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن صددانه در سویا و تعداد خوشه در بوته، تعداد دانه در خوشه و وزن هزاردانه در ارزن، اندازه‌گیری و تعیین گردید. همچنین میزان فسفر دانه ارزن و سویا با استفاده از روش رنگ‌سنجی (رنگ زرد مولیبدات- وانادات) تعیین گردید (۸).

برای محاسبه میزان سودمندی کشت مخلوط در مقایسه با تک‌کشتی و هم‌چنین بررسی اثرات رقابتی بین گیاهان سویا و ارزن در کشت مخلوط، از شاخص‌های مختلف ارزیابی کشت مخلوط و رقابت به‌شرح ذیل استفاده شد (۱۰).

معادله (١) نسبت برابری زمین (Land equivalent ratio (LER)

$$LER = \frac{Y_{sm}}{Y_{ss}} + \frac{Y_{ms}}{Y_{mm}}$$

که در آن، Y_{sm} و Y_{ss} به‌ترتیب عملکرد سویا در کشت مخلوط و خالص و Y_{ms} و Y_{mm} به‌ترتیب عملکرد ارزن در کشت مخلوط و خالص می‌باشد. در صورتی‌که LER=1 باشد کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی برتری ندارد. در صورتی‌که LER>1 باشد کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی دارای برتری می‌باشد. در حالتی که LER<1 باشد کشت مخلوط در مقایسه با تک‌کشتی از عملکرد کم‌تری برخودار است (٤ و ١٠).

معادله (٢) شاخص غالبیت ((Aggressivity (A)

$$A_{soybean} = \frac{Y_{sm}}{Y_{ss} \times Z_{sm}} - \frac{Y_{ms}}{Y_{mm} \times Z_{ms}} \qquad A_{millet} = \frac{Y_{ms}}{Y_{mm} \times Z_{ms}} - \frac{Y_{sm}}{Y_{ss} \times Z_{sm}}$$

این شاخص اغلب بیانگر این است که افزایش عملکرد نسبی یک گیاه در کشت مخلوط به چه میزان بیش‌تر از گیاه دیگر می‌باشد. چنان‌چه مقدار این شاخص مساوی صفر باشد نشان می‌دهد که هر دو گیاه توان رقابتی یکسانی دارند. مثبت یا منفی بودن این شاخص به‌ترتیب بیانگر غالب یا مغلوب بودن گونه گیاهی مورد نظر در کشت مخلوط خواهد بود (١٠).

تجزیه آماری داده‌های آزمایش با نرم‌افزار SAS 9.2 (٢٩) و مقایسه میانگین‌ها نیز با روش حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. تجزیه و تحلیل برای دو گیاه ارزن و سویا به‌صورت جداگانه، برای هر گیاه انجام گرفت. عملکرد ارزن و سویا به روش جایگزینی بررسی گردید. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده گردید.

نتایج و بحث

غلظت فسفر دانه سویا و ارزن: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر قارچ *P. indica* و کشت مخلوط جایگزینی بر غلظت فسفر دانه سویا و ارزن در سطح یک درصد معنی‌دار گردید. اما اثر متقابل تیمارها بر غلظت فسفر دانه سویا و ارزن معنی‌دار نبود (جدول ٢).

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر قارچ *P. indica* و الگوهای مختلف کشت مخلوط جایگزینی بر غلظت فسفر دانه سویا و ارزن.

Table 2. Analysis of variance (mean squares) for the effect *P. indica* and different replacement intercropping patterns on grain phosphorus concentration of soybean and millet.

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	سویا Soybean	ارزن معمولی Millet
بلوک Block	2	0.0003^{ns}	0.0006^{ns}
کشت مخلوط Intercropping	3	0.0023**	0.0087**
قارچ Fungus	1	0.0600**	0.0182**
کشت مخلوط × قارچ Intercropping × Fungus	3	0.0003^{ns}	0.0003^{ns}
خطا Error	14	0.0004	0.0002
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	5.1	5.1

** معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، ^{ns} غیرمعنی‌دار.

** Significant at 1% probability levels, ^{ns} non significant.

در الگوهای مختلف کشت مخلوط بیش‌ترین غلظت فسفر دانه ارزن در نسبت 50S:50M به‌دست آمد. میزان افزایش غلظت فسفر ارزن در نسبت 50S:50M در مقایسه با تیمار کشت خالص به‌ترتیب معادل ۳۶/۹ درصد بود (جدول ۳). بیش‌ترین میزان فسفر دانه سویا در نسبت 50S:50M مشاهده شد که ۱۳ درصد در مقایسه با کشت خالص سویا بیش‌تر بود (جدول ۳).

بیش‌ترین غلظت فسفر دانه سویا و ارزن در تلقیح با *P. indica* حاصل گردید. تلقیح با قارچ *P. indica* غلظت فسفر دانه سویا و ارزن را نسبت به گیاهان تلقیح‌نشده به‌ترتیب ۳۱/۶ و ۲۲/۹ درصد افزایش داد (جدول ۳).

جدول ٣- اثر قارچ *P. indica* و الگوهای مختلف کشت مخلوط جایگزینی بر غلظت فسفر دانه سویا و ارزن.

Table 3. The effect of *P. indica* and different replacement intercropping patterns on grain phosphorus concentration of soybean and millet.

نسبت‌های کاشت Planting ratios	سویا Soybean	ارزن معمولی Millet
100S: 0M	0.35	-
0S: 100M	-	0.23
67S: 33M	0.36	0.28
50S: 50M	0.39	0.32
33S: 67M	0.36	0.25
LSD (0.05)	0.02	0.02
قارچ Fungus		
با قارچ Fungus (+)	0.41	0.29
بدون قارچ Fungus (-)	0.31	0.24
LSD (0.05)	0.02	0.01

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون و در سطوح هر عامل، بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

Means followed by the same letters in each column are not significantly different according to Least Significant Difference (LSD) test (P<0.05).

بیش‌ترین غلظت فسفر دانه در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط حاصل گردید که می‌تواند به‌علت اختلافات فیزیولوژی و مورفولوژی بین دو گیاه ارزن و سویا باشد. وقتی دو گیاه با اختلافات فیزیولوژی و مورفولوژی متفاوت (از جمله خصوصیات ریشه) به‌صورت مخلوط با یکدیگر کشت می‌شوند قادر خواهند بود از عوامل محیطی (آب، مواد غذایی و نور) استفاده بهینه نمایند و به همین دلیل میزان تولید نسبت به کشت خالص افزایش می‌یابد. جذب بیش‌تر عناصر غذایی در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص توسط پژوهشگران دیگر نیز گزارش شده است (٧). در کشت مخلوط ترشحات ریشه دو گیاه با هم مخلوط شده و فراهمی عناصر در ریزوسفر افزایش می‌یابد. بنابراین، جذب فسفر به‌وسیله ریشه گیاه و غلظت آن در دانه افزایش می‌یابد. آینال و همکاران (٢٠٠٧) نشان دادند که محیط ریزوسفر به‌وسیله ریشه‌های ذرت و بادام‌زمینی (*Arachis hypogaea* L.) در کشت مخلوط اصلاح شده و سبب افزایش قابلیت جذب فسفر می‌شود (١٥).

مطالعات انجام گرفته نشان داده است قارچ *P. indica* با تولید اسید فسفاتاز موجب افزایش انتقال فسفات از ریزوسفر به ریشه گیاهان می گردد (۳٤). افزایش در میزان جذب فسفر سویا و ارزن را می‌توان به توسعه و افزایش سطح جذب ریشه گیاه در اثر تلقیح گیاه با قارچ نسبت داد. به‌طوری‌که سایر پژوهشگران در پژوهش‌های خود افزایش جذب عناصر غذایی در گیاهان تلقیح‌شده با قارچ *P. indica* را به افزایش سطح جذب، توسعه ریشه و تولید هورمون‌های افزاینده رشد نسبت دادند (١٦). آکارتز و همکاران (۲۰۱۰) نشان دادند که تلقیح قارچ *P. indica* با گیاه جو، سبب بهبود تغذیه فسفر شد (۱). یادوا و همکاران (۲۰۱۰) نیز اثر افزایشی این قارچ بر جذب و انتقال فسفر توسط گیاهان میزبان را گزارش کردند (۳۷).

اجزای عملکرد دانه سویا و ارزن: نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر قارچ *P. indica* و کشت مخلوط جایگزینی و اثر متقابل آن‌ها بر تعداد غلاف در بوته سویا، تعداد خوشه در بوته و تعداد دانه در خوشه ارزن در سطح یک درصد معنی‌دار گردید. همچنین تأثیر قارچ بر تعداد دانه در غلاف و وزن صددانه سویا و وزن هزاردانه ارزن در سطح پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ٤).

جدول ٤- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر قارچ *P. indica* و الگوهای مختلف کشت مخلوط جایگزینی بر اجزای عملکرد دانه سویا و ارزن.

Table 4. Analysis of variance (mean squares) for the effect *of P. indica* and different replacement intercropping patterns of soybean and millet on grain yield components.

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	سویا Soybean			ارزن معمولی Millet		
		تعداد غلاف در بوته Number of pod per Plant	تعداد دانه در غلاف Number of seeds per pod	وزن صددانه 100-seed weight	تعداد خوشه در بوته Number of panicles per Plant	تعداد دانه در خوشه Number of seed per panicles	وزن هزاردانه 1000-seed weight
بلوک Block	2	2.7^{ns}	0.011^{ns}	0.560**	1.29**	823^{ns}	0.195^{ns}
کشت مخلوط Intercropping	3	686.3**	0.006^{ns}	3.680*	9.38**	11051**	1.283*
قارچ Fungus	1	25.9**	1.063**	0.008^{ns}	1.15**	2951**	0.006^{ns}
کشت مخلوط × قارچ Intercropping× Fungus	3	11.5**	0.065^{ns}	0.022^{ns}	0.38*	12876**	0.006^{ns}
خطا Error	14	1.2	0.027	0.510	0.10	422	0.170
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	2.4	10.7	5.1	4.9	4.0	7.0

* و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد، ^{ns} غیرمعنی‌دار.

* and ** Significant at 5 and 1% probability levels, respectively, ^{ns} non significant.

قارچ *P. indica* موجب افزایش تعداد خوشه در بوته ارزن در الگوهای مختلف کشت مخلوط گردید. تلقیح با قارچ *P. indica* تعداد خوشه در بوته ارزن در نسبت‌های 67S:33M، 50S:50M و 33S:67M در مقایسه با تیمار شاهد (عدم تلقیح) به‌ترتیب معادل ٢٦/٤، ٢٨/٣ و ٢٨/٣ درصد افزایش داد. همچنین، قارچ *P. indica* موجب افزایش ٢٠ درصدی تعداد خوشه در بوته ارزن در کشت خالص در مقایسه با تیمار شاهد (عدم تلقیح) شد (جدول ٥).

بیش‌ترین تعداد دانه در خوشه ارزن (به‌ترتیب ٥٥٥ و ٥٤٤ دانه در خوشه) در تیمار 67S:33M و 50S:50M با تلقیح قارچ *P. indica* به‌دست آمد. تلقیح با قارچ *P. indica* تعداد دانه در خوشه ارزن در نسبت‌های 50S:50M و 67S:33M در مقایسه با تیمار شاهد (عدم تلقیح) به‌ترتیب ٩/١ و ٩/٢ درصد افزایش داد (جدول ٥).

به‌نظر می‌رسد تراکم‌های پایین ارزن در کشت مخلوط فضایی بیش‌تری را در اختیار گیاه برای گسترش تعداد پنجه قرار داده است. کاهش رقابت درون‌گونه‌ای، توزیع مناسب‌تر نفوذ نور و استفاده بیش‌تر از نیتروژن به‌ویژه در نسبت‌های 67S:33M و 50S:50M وضعیت مناسبی برای تعداد خوشه در بوته و دانه در خوشه ارزن فراهم کرده است.

می‌توان افزایش تعداد خوشه و تعداد دانه در خوشه ارزن در اثر تلقیح با قارچ *P. indica* را به بهبود جذب عناصر غذایی، افزایش جذب آب و افزایش فتوسنتز نسبت داد. همچنین گزارش‌ها نشان داده که قارچ *P. indica* با بهبود شرایط جذب فسفر، تعداد دانه در خوشه ارزن را افزایش داد (٣٤ و ٣٥).

بیش‌ترین تعداد غلاف در بوته سویا در نسبت‌های 50S:50M و 33S:67M (به‌ترتیب ٥٤/٠ و ٥٣/٨ غلاف در بوته) در شرایط تلقیح با قارچ *P. indica* به‌دست آمد (جدول ٥). میزان افزایش تعداد غلاف در بوته سویا در تلقیح با قارچ *P. indica* در مقایسه با تیمار شاهد (عدم تلقیح) در نسبت‌های 50S:50M و 33S:67M به‌ترتیب معادل ٢٨/٦ و ٢٩/٦ درصد بود (جدول ٥).

تعداد غلاف در بوته مهم‌ترین و تأثیرگذارترین جزء عملکرد در سویا می‌باشد. افزایش تعداد غلاف در بوته سویا در کشت مخلوط می‌تواند به‌دلیل کاهش رقابت درون‌گونه‌ای باشد. کاهش تعداد غلاف در تک‌کشتی سویا می‌تواند به‌علت افزایش سایه‌اندازی بوته‌ها روی یکدیگر و کاهش نفوذ نور باشد. در این زمینه مظاهری و همکاران (٢٠٠٢) گزارش کردند که با افزایش تراکم، تعداد غلاف در بوته سویا به‌علت رقابت درون‌گونه‌ای به‌شدت کاهش یافته است (٢٢). بنابراین به‌نظر می‌رسد که

نسبت کاشت 50S:50M با ایجاد ساختار کانوپی موجی و وجود فضای مناسب در الگوهای مختلف کشت مخلوط، سبب استفاده بهینه از عوامل محیطی و در نتیجه افزایش تعداد غلاف در بوته شده است. که با نتایج سایر پژوهشگران مطابقت داشت (۱۲). افزایش تعداد غلاف در شرایط تلقیح با قارچ *P. indica* می‌تواند به‌دلیل تأمین مواد غذایی مانند فسفر و در نتیجه رشد بهتر گیاهان تلقیح شده در مقایسه با گیاهان تلقیح نشده باشد. افزایش تعداد غلاف در بوته ماش در تلقیح با قارچ *P. indica* توسط پژوهشگران دیگر گزارش گردید (۱۷).

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل قارچ *P. indica* و الگوهای مختلف کشت مخلوط جایگزینی بر اجزای عملکرد دانه سویا و ارزن.

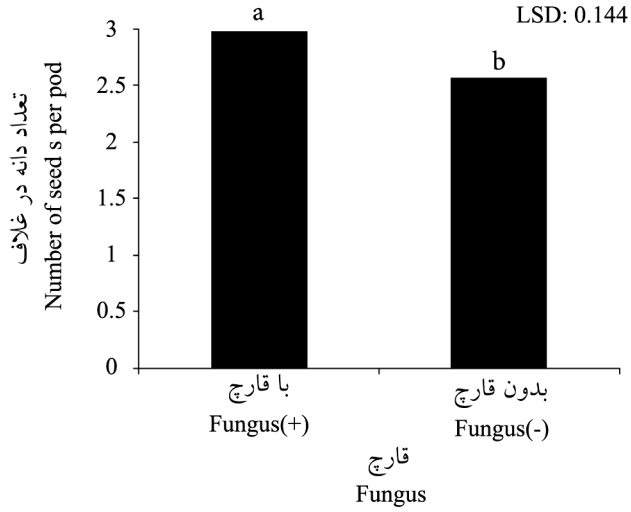
Table 5. Mean comparison of interaction effects of *P. indica* and different replacement intercropping patterns of soybean and millet on grain yield components.

تیمارها Treatments		سویا Soybean	ارزن معمولی Millet	
قارچ Fungus	نسبت‌های کاشت Planting ratios	تعداد غلاف در بوته Number of pods pet Plant	تعداد خوشه در بوته Number of panicles per Plant	تعداد دانه در خوشه Number of seed per panicles
با قارچ Fungus (+)	100S: 0M	47	-	-
	0S: 100M	-	6.3	499
	67S: 33M	50	7. 7	555
	50S: 50M	54	7. 7	544
	33S: 67M	53	6. 7	530
بدون قارچ Fungus (-)	100S: 0M	38	-	-
	0S: 100M	-	5.3	461
	67S: 33M	40	6.0	508
	50S: 50M	42	6.0	496
	33S: 67M	41	5.3	491
LSD(0.05)		1.9	0. 6	36

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون و در سطوح هر عامل، بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

Means followed by the same letters in each column are not significantly different according to Least Significant Difference (LSD) test (P<0.05).

بیش‌ترین تعداد دانه در غلاف سویا (٢/٩ دانه در غلاف) در تلقیح با قارچ *P. indica*، مشاهده شد. تلقیح با قارچ *P. indica* موجب افزایش تعداد دانه در غلاف سویا به‌میزان ١٦/٤ درصد در مقایسه با گیاهان تلقیح نشده شد (شکل ١).

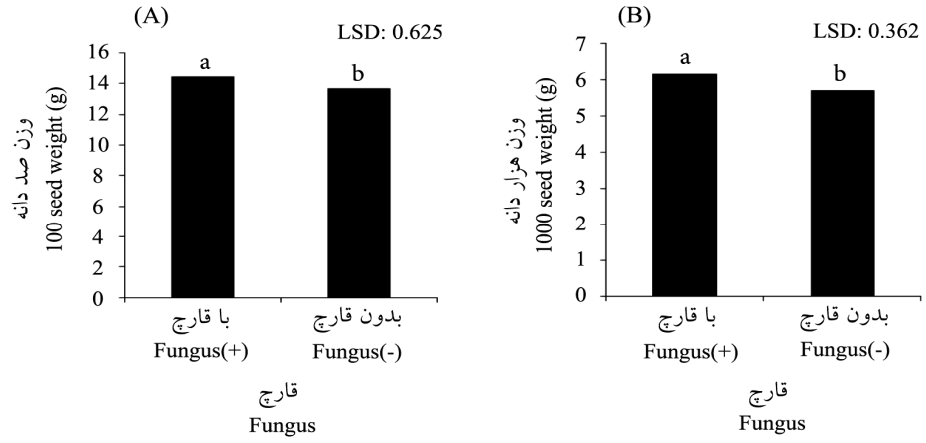


شکل ١- اثر قارچ *P. indica* بر تعداد دانه در غلاف سویا.

Figure 1. The effect of fungus *P. indica* on number of seeds per pod soybean.

قارچ *P. indica* اثر مثبت و معنی‌داری بر وزن صد دانه سویا و وزن هزاردانه ارزن داشت، به‌طوری‌که تلقیح با قارچ *P. indica* موجب افزایش وزن صددانه سویا و وزن هزاردانه ارزن به‌ترتیب ٥/٧٢ و ٨/١٠ درصد نسبت به گیاهان شاهد گردید (شکل ٢).

می‌توان افزایش وزن صد دانه در اثر تلقیح قارچ *P. indica* را به افزایش فتوسنتز و انتقال شیره پرورده بیش‌تر به دانه در مرحله پرشدن دانه در اثر بهبود جذب آب و عناصر غذایی توسط قارچ دانست به‌طوری‌که با یافته‌های دیگر پژوهشگران مطابقت دارد (١٤). کشت مخلوط اثر معنی‌داری بر وزن صد دانه سویا و وزن هزاردانه ارزن نداشت، منجیت کومار و همکاران (٢٠٠٩) نیز بیان داشتند که نسبت‌های مختلف کشت مخلوط اثر معنی‌داری بر وزن صد دانه نداشت (٢١).



شکل ۲- اثر قارچ *P. indica* بر وزن صددانه سویا (الف) و وزن هزاردانه ارزن (ب).

Figure 2. The effect fungus *P. indica* on 100-seeds weight soybean (A) and 1000-seeds weight millet (B).

عملکرد ارزن و سویا: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر قارچ *P. indica* و الگوهای کشت مخلوط جایگزینی بر عملکرد بیولوژیک و دانه سویا و ارزن در سطح یک درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل تیمارها بر عملکرد بیولوژیکی و دانه ارزن معنی‌دار شد. شاخص برداشت تحت‌تأثیر تیمارهای تلقیح با قارچ *P. indica* و کشت مخلوط جایگزینی قرار نگرفت (جدول ٦).

بررسی عملکرد دانه و بیولوژیک ارزن و سویا در کشت خالص و مخلوط از طریق روش جایگزینی در شکل‌های (۳) و (٤) نشان داده شده است. براساس نتایج به‌دست آمده، تحت شرایط تلقیح با قارچ *P. indica* عملکرد دانه ارزن در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط بیش‌تر از عملکرد پیش‌بینی شده آن بود. بیش‌ترین عملکرد دانه ارزن در نسبت‌های 67S:33M و 50S:50M به‌دست آمد که ۲۳/۸ و ۲۱/۱ درصد بیش‌تر از عملکرد پیش‌بینی شده بود. در مقابل، عملکرد دانه سویا در همه نسبت‌های کشت مخلوط تقریباً با عملکرد پیش‌بینی شده برابر بود. بنابراین، افزایش مجموع عملکرد دانه در کشت مخلوط به‌طور عمده ناشی از افزایش عملکرد ارزن در کشت مخلوط نسبت به مقدار پیش‌بینی شده بوده است (شکل ۳ الف).

عملکرد دانه در شرایط عدم تلقیح با قارچ *P. indica* روند تقریباً مشابهی را با کاربرد قارچ نشان داد. افزایش عملکرد ارزن در بین نسبت‌های کشت مخلوط در مقایسه با سویا بیش‌تر بود. به‌طوری‌که در نسبت‌های 67S:33M و 50S:50M عملکرد دانه ارزن نسبت به عملکرد پیش‌بینی شده به‌ترتیب ۲۲/۲ و ۲۰/۱ درصد افزایش نشان داد. همچنین نتایج نشان داد که در الگوی کاشت 50S:50M و

33S:67M با افزایش جذب نور، کاهش رقابت و افزایش تعداد غلاف، عملکرد دانه سویا ٥/٧ و ٦/٩ درصد افزایش یافت (شکل ٣ ب).

مقایسه میزان عملکرد بیولوژیکی ارزن و سویا در الگوهای کشت مخلوط با عملکرد مورد پیش‌بینی شده تحت شرایط تلقیح و عدم تلقیح با قارچ *P. indica* نشان از برتری کشت مخلوط ارزن و سویا نسبت به کشت خالص دارد. در شرایط تلقیح با قارچ *P. indica* سویا و ارزن در الگوی کاشت 50S:50M بیش‌ترین افزایش عملکرد بیولوژیکی را (٣/٨ و ١٦/٨ درصد به‌ترتیب) در مقایسه با عملکرد پیش‌بینی شده داشتند (شکل ٤ الف). در شرایط عدم تلقیح با قارچ، بیش‌ترین عملکرد بیولوژیکی سویا و ارزن در نسبت 50S:50M به‌دست آمد که به‌ترتیب ٥/١ و ١٤/٢ درصد بیش‌تر از عملکرد بیولوژیک پیش‌بینی شده بود (شکل ٤ ب).

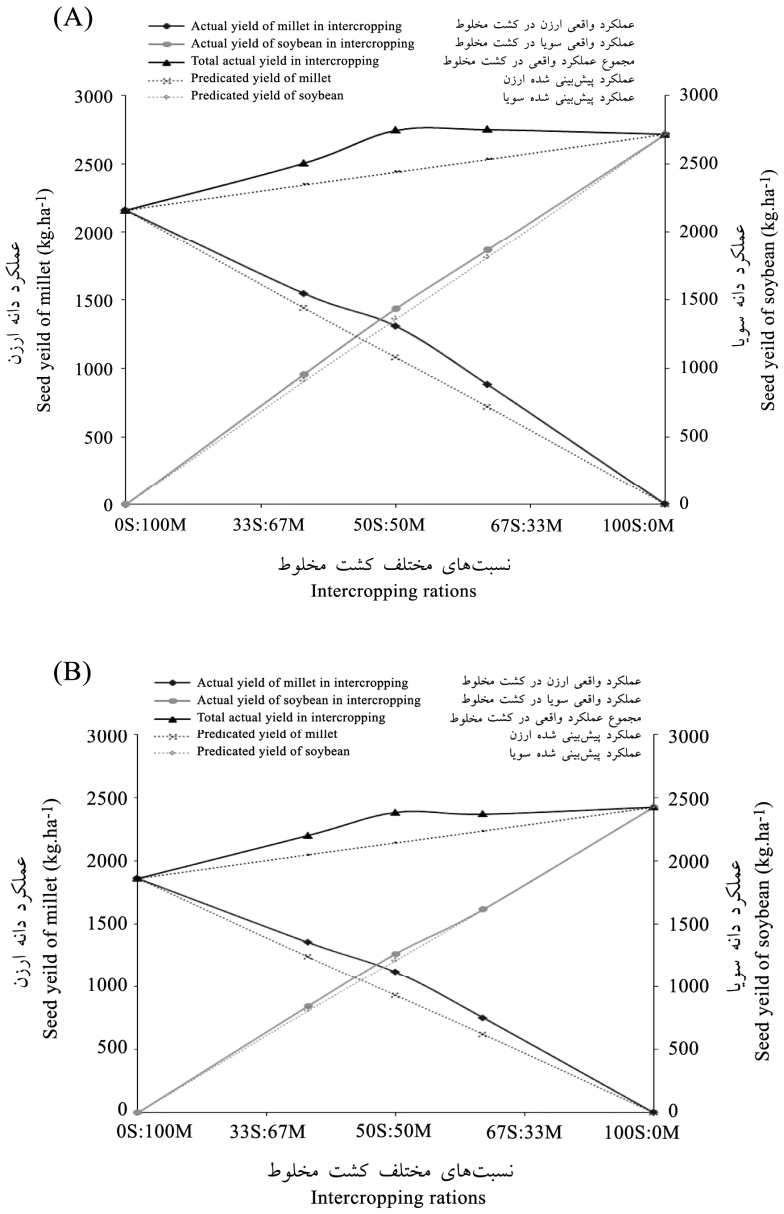
جدول ٦- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر قارچ *P. indica* و الگوهای مختلف کشت مخلوط جایگزینی بر عملکرد بیولوژیکی، عملکرد دانه و شاخص برداشت سویا و ارزن.

Table 6. Analysis of variance (mean squares) for the effect of *P.indica* fungus and different replacement intercropping patterns of soybean and millet on biological yield, grain yield, harvest index (HI).

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	سویا Soybean			ارزن معمولی Millet		
		عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Grain yield	شاخص برداشت HI	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Grain yield	شاخص برداشت HI
بلوک Block	2	22857^{ns}	43376^{ns}	56.97*	27391^{ns}	253^{ns}	2.34^{ns}
کشت مخلوط Intercropping	3	21873462**	3010271**	1.48^{ns}	12358263**	1495364**	3.12^{ns}
قارچ Fungus	1	1067786**	253998**	9.37^{ns}	2016834**	249206**	0.35^{ns}
کشت مخلوط × قارچ Intercropping × Fungus	3	60305^{ns}	9737^{ns}	0.69^{ns}	67964*	17364*	0.21^{ns}
خطا Error	14	112956	23929	20.77	15199	2904	3.60
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	7.6	9.4	12.1	3.4	3.9	5.2

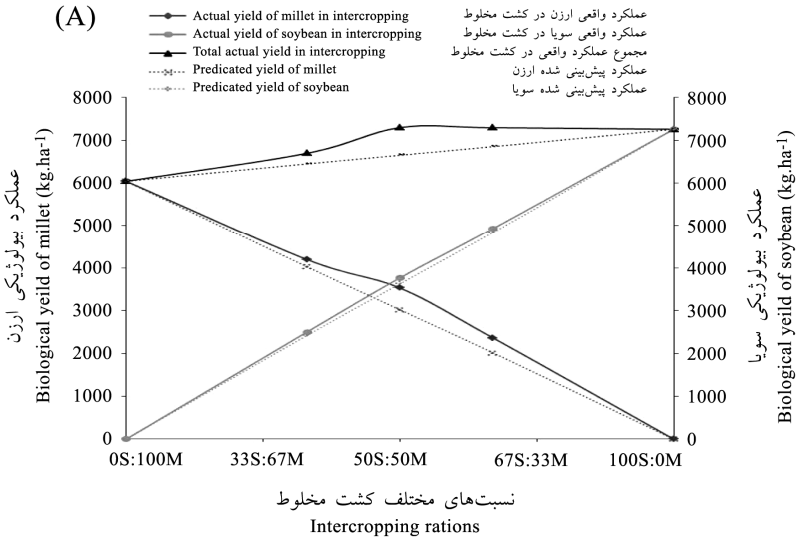
* و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد، ns غیرمعنی‌دار.

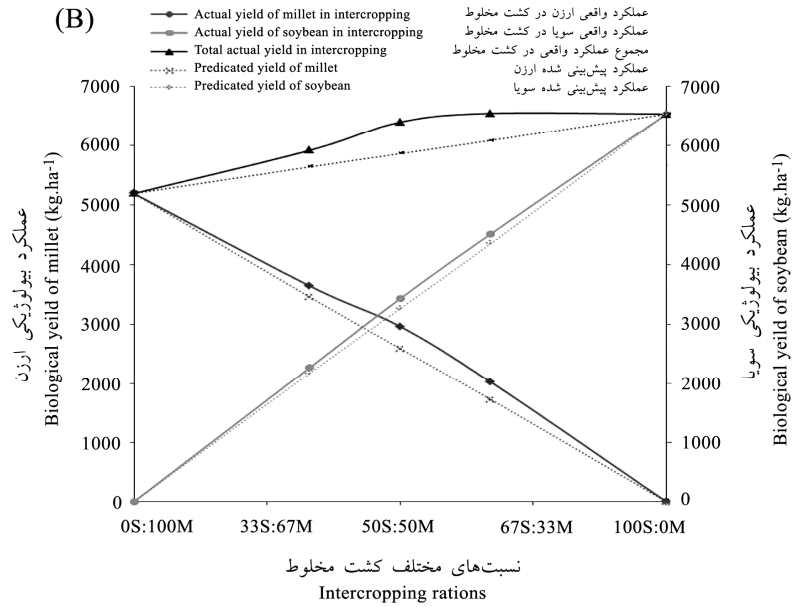
* and ** Significant at 5 and 1% probability levels, respectively, ns non significant.



شکل ۳- اثر الگوهای مختلف کشت مخلوط جایگزینی بر عملکرد دانه سویا و ارزن با قارچ *P. indica* (الف) و بدون قارچ (ب).

Figure 3. The effect of different replacement intercropping patterns on the seed yield of soybean and millet with *P. indica* (A) and no *P. indica* (B).





شکل ٤- اثر الگوهای مختلف کشت مخلوط جایگزینی بر عملکرد بیولوژیک سویا و ارزن با قارچ *P. indica* (الف) و بدون قارچ (ب).

Figure 4. The effect of different replacement intercropping patterns on the biological yield of soybean and millet with *P. indica* (A) and no *P. indica* (B).

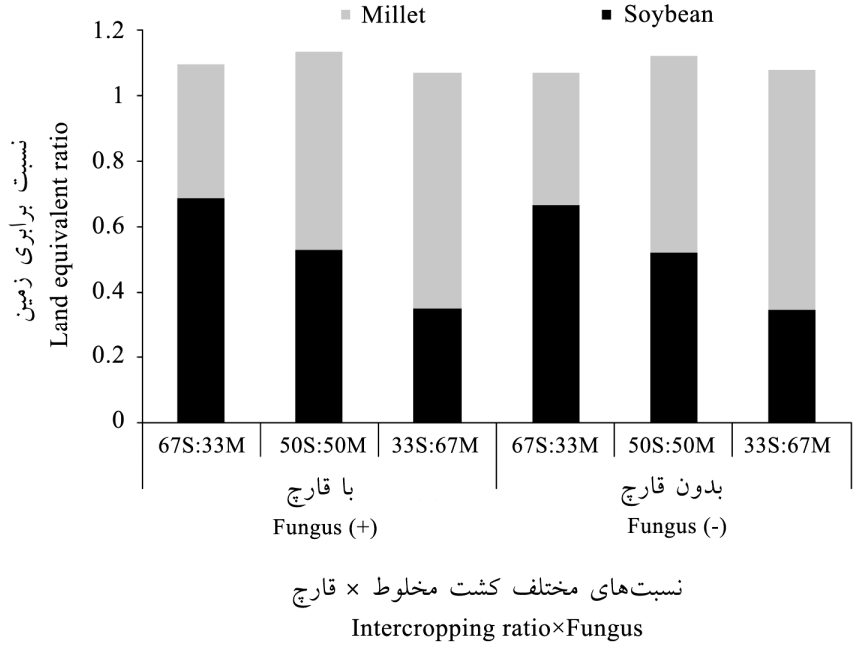
در ارزیابی کشت مخلوط از نظر اثرات متقابل بر روی عملکرد دو گیاه می‌توان نتیجه گرفت که ارزن تحت شرایط کشت مخلوط اثرات مثبت از سویا پذیرفته است، چون که افزایش عملکرد آن بیش از عملکرد پیش‌بینی شده بوده است، اما عملکرد سویا، تقریباً روند مشابهی با عملکرد پیش‌بینی شده دارد. به این معنی که اثرات مثبت کم‌تری از کشت مخلوط با ارزن پذیرفته است. دلیل این امر را می‌توان به غالبیت گیاه ارزن در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط و استفاده بهتر آن از شرایط محیطی نسبت داد. با توجه به این‌که عملکرد واقعی گیاهان ارزن و سویا در کشت مخلوط بیش‌تر از میزان پیش‌بینی شده بوده، بر اساس، طبقه‌بندی تأثیر رقابت در زراعت مخلوط می‌توان بیان نمود که تأثیر رقابت دو گیاه در کشت مخلوط از نوع مکملی مثبت (سودبری دو جانبه) بوده است. افزایش نفوذ نور به درون پوشش گیاهی حاصل از کشت مخلوط و استفاده از نیتروژن آلی تثبیت شده در خاک می‌تواند عامل موثری در افزایش عملکرد ارزن در کشت مخلوط با سویا باشد.

با توجه به اثرات مثبت قارچ *P. indica* بر اجزای عملکرد دانه ارزن و سویا بدیهی است که عملکرد دانه در گیاهان تلقیح‌شده نسبت به گیاهان تلقیح‌نشده افزایش یابد. به‌طوری‌که در اثر تلقیح قارچ در کشت خالص، عملکرد دانه ارزن و سویا به‌ترتیب ١٦/١ و ١٣/٤ درصد افزایش یافت. همچنین، می‌توان افزایش عملکرد در اثر همزیستی قارچ با گیاه را به مکانیزم عملکرد این قارچ در جذب فسفر و آب نسبت داد. بررسی قارچ *P. indica* بر گیاه جو نشان داده که کاربرد این قارچ توانست عملکرد دانه جو را نسبت به گیاهان شاهد در شرایط مزرعه افزاش دهد (٣٥). تلقیح قارچ *P. indica* بر عملکرد بیولوژیک ارزن و سویا نیز اثر مثبتی داشت و موجب افزایش عملکرد بیولوژیک ارزن و سویا به‌میزان ١٦/٨ و ١٠/١ درصد نسبت به گیاهان شاهد شد، که این نتایج با نتایج بلترانو و رونکو (٢٠٠٨) مطابقت دارد (٥).

در مطالعات بسیاری، برتری کشت مخلوط بر تک‌کشتی نشان داده شده است (٤ و ٢٥). به‌نظر می‌رسد که در کشت مخلوط به‌دلیل سیستم ریشه‌ای متفاوت ارزن و سویا، این دو گیاه از عناصر غذایی موجود در اعماق مختلف خاک، بهتر استفاده کرده و عملکرد نسبی بهتری را نسبت به کشت خالص نشان دادند. نقی‌زاده و همکاران (٢٠١٢) در کشت مخلوط ذرت و خلر (*Lathyrus sativus* L.) بیان داشتند که بیش‌ترین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک ذرت در کاربرد توأم کود زیستی و شیمیایی مشاهده شد (٢٥). سلیم و همکاران (٢٠١١) ضمن بررسی کشت مخلوط ذرت با دو گونه از ماش (*Vigna radiate* (L.) R. Wilczek) گزارش کردند که بیش‌ترین عملکرد دانه و عملکرد

بیولوژیک ذرت از تیمار تلفیقی کود آلی + کود شیمیایی + کود زیستی به‌دست آمد (٢٨). بیگناه و همکاران (٢٠١٤) گزارش کرده‌اند که برتری عملکرد در کشت مخلوط ممکن است بر اثر تلفیقی از عوامل مختلف هم‌چون استفاده بهتر از رطوبت خاک نور و عناصر غذایی باشد، آن‌ها وجود اختلاف در ساختار ریشه، توزیع کانوپی و احتیاجات غذایی گیاهان در کشت مخلوط را علت این کارآمدی تشخیص داده‌اند (٦). توسلی و همکاران (٢٠١٠) گزارش کردند در کشت مخلوط ارزن و لوبیا کودهای دامی و شیمیایی عملکرد علوفه و دانه ارزن را تحت‌تأثیر قرار داده و باعث افزایش عملکرد شدند (٣٢).

نسبت برابری زمین: نسبت برابری زمین به‌عنوان یک شاخص مهم جهت ارزیابی کارایی کشت مخلوط مورد استفاده قرار می‌گیرد. نتایج این آزمایش نشان داد که در تمام نسبت‌های مختلف کشت مخلوط جایگزینی ارزن و سویا در شرایط تلقیح و عدم تلقیح با قارچ *P. indica* مقدار این شاخص بیش‌تر از یک بود که این امر نشان‌دهنده سودمندی اجرای این الگوی کشت مخلوط در افزایش بهره‌وری از منابع می‌باشد (شکل ٥). نتایج نشان داد که در شرایط تلقیح با قارچ تیمار 50S:50M بالاترین نسبت برابری زمین ١/١٤ را به خود اختصاص داد. در این الگوی کشت، عملکرد نسبی ارزن برابری ٠/٦١ و سویا ٠/٥٣ بود، در واقع در الگوی 50S:50M، عملکرد ارزن ٦١ درصد حالت تک‌کشتی و عملکرد سویا به اندازه ٥٣ درصد حالت تک‌کشتی بوده که در مجموع، ارزن اثر بیش‌تری از کشت مخلوط پذیرفته است. در شرایط عدم تلقیح با قارچ نیز بیش‌ترین نسبت برابری زمین در ترکیب 50S:50M به‌دست آمد که معادل ١٢ درصد افزایش سودمندی زراعی نسبت به کشت خالص دو گونه بود. نتایج مشابهی توسط بانیک و همکاران (٢٠٠٦) گزارش شده است (٤). لیتورجیدس و همکاران (٢٠٠٧) در کشت‌های مخلوط عملکرد نسبی گندمیان را بیش‌تر از بقولات گزارش کرده‌اند (١٨). در کشت مخلوط یولاف (*Avena sativa* L.) با عدس (*Lens culinaris* L.) بیش‌ترین عملکرد نسبی کل به کشت مخلوط ردیفی مربوط بود و عملکرد نسبی جزیی عدس و یولاف به‌ترتیب ٠/٥٥ و ٠/٧٤ به‌دست آمد که نشان‌دهنده بالا بودن عملکرد نسبی یولاف نسبت به عدس بود (٢٣). تفاوت در ریشه‌دهی و ساختار کانوپی ارزن با سویا و در نتیجه ایجاد لایه‌های مختلف و استفاده بهتر از منابع از جمله نور و مواد غذایی در عمق‌های مختلف خاک می‌تواند دلیل بالا بودن نسبت برابری زمین بزرگ‌تر باشد که نشان می‌دهد در کشت مخلوط، ارزن و سویا مکمل هم بوده‌اند.



شکل ۵- اثر الگوهای مختلف کشت مخلوط جایگزینی سویا با ارزن و قارچ *P. indica* بر نسبت برابری زمین.

Figure 5. The effect of different replacement intercropping patterns of soybean with millet and fungus *p. indica* on land equivalent ratio.

شاخص غالبیت: با توجه به این‌که ضریب غالبیت گونه با علامت مثبت بیانگر غالبیت آن گونه در کشت مخلوط می‌باشد (۳۹)، بنابراین بر اساس داده‌های جدول (۷) مشاهده می‌شود که در تمام الگوهای کشت مخلوط و در شرایط تلقیح و عدم تلقیح با قارچ *P. indica* گیاه ارزن نسبت به گیاه سویا دارای غالبیت بالاتر و قدرت رقابتی بیش‌تری بود. غالبیت ارزن در کشت مخلوط نشان‌دهنده توانایی بالاتر آن در بهره‌برداری از منابع در ارتباط با سویا بوده، که در پژوهش‌های سایر پژوهشگران نیز در مورد تهاجم ارزن‌مرواریدی در کشت مخلوط با بادام‌زمینی نیز گزارش شده است (۱۳). نتایج مشابه مبنی بر غالبیت گندمیان در کشت مخلوط با بقولات گزارش شده است (۳۹). بنابراین، با بررسی شاخص‌های رقابتی مطرح شده در این آزمایش می‌توان رقابت دو گونه را در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط، دقیق‌تر مطالعه نمود.

جدول ۷- ضریب غالبیت در الگوهای مختلف کشت جایگزینی مخلوط سویا و ارزن.

Table 7. Aggressivity (A) in different replacement intercropping patterns of soybean and millet.

تیمارها Treatments		ضریب غالبیت Aggressivity (A)	
قارچ Fungus	نسبت‌های کاشت Planting ratios	سویا Soybean	ارزن Millet
با قارچ Fungus (+)	67S:33M	-0.21	0.21
	50S:50M	-0.15	0.15
	33S:67M	0	0
با قارچ Fungus (-)	67S:33M	-0.23	0.23
	50S:50M	-0.16	0.16
	33S:67M	-0.03	0.03

نتیجه‌گیری کلی

عملکرد ارزن و سویا تحت‌تأثیر الگوهای مختلف کشت مخلوط و قارچ *P. indica* قرار گرفت. به‌طوری‌که بیش‌ترین عملکرد دانه ارزن و سویا در نسبت 50S:50M و تلقیح با قارچ *P. indica* به‌دست آمد. بررسی شاخص غالبیت نشان داد که در همه الگوهای کشت مخلوط، ارزن گیاه غالب و سویا گیاه مغلوب بود، که این نتیجه بیانگر توانایی رقابتی بیش‌تر ارزن نسبت به بقولات و در نتیجه جذب بیش‌تر منابع محیطی توسط آن می‌باشد. چنین به‌نظر می‌رسد که استفاده از قارچ *P. indica* در کشت مخلوط یکی از راهکارهای مناسب برای دسترسی به عملکرد مطلوب با حداقل مصرف نهاده‌های خارجی است که در بلندمدت می‌تواند منجر به کاهش نیاز سیستم‌های زراعی به نهاده‌های شیمیایی در راستای کشاورزی پایدار شود.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از جناب آقای دکتر دوستمراد ظفری به‌دلیل همکاری‌های ارزنده در تهیه قارچ اندوفیت *Piriformospora indica* صمیمانه تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

1.Achatz, B., Ruden, S., Andrade, D., Neumann, E., Kuhnemann, J., Kogel, K.H., Franken, F., and Waller, F. 2010. Root colonization by *piriformospora indica* enhances grain yield in barley under diverse nutrient regimes by accelerating plant development. Plant Soil, 333: 59-70.

2.Ayoola, O., and Makinde, T.E.A. 2011. Cassava-maize intercrop performance and soil nutrient changes with fertilizers. J. Agri. Sci., 3: 4. 136-140.

3.Azcon-Aguilar, C., Jaizme-Vega, M.C., and Calvet, C. 2002. The Contribution of Arbuscular Mycorrhizal Fungi for Bioremediation, P 187-197, In: Gianinazzi, S., H. Schuepp, J.M. Barea and K. Haselwandter (Eds.) Mycorrhizal Technology in Agriculture. From Genes to Bioproducts. Birkhauser Verlag, Berlin.
4.Banik, P., Midya, A., Sarkar, B.K., and Ghose, S.S. 2006. Wheat and chickpea intercropping systems in an additive series experiment: Advantages and weed smothering. Europ. J. Agron., 24: 325-332.
5.Beltrano, J., and Ronco, M.G. 2008. Improved tolerance of wheat plants (*Triticum aestivum* L.) to drought stress and rewatering by the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus claroideum*: effect on growth and cell membrane stability. Braz. Soc. Plant Physiol., 20: 1. 29-37.
6.Bigonah., R., Rezvani Moghaddam, P., and Jahan, M. 2014. Effects of Intercropping on Biological Yield, Percentage of Nitrogen and Morphological Characteristics of Coriander and Fenugreek. Iran. J. Field Crops Res., 12: 3. 369-377. (In Persian)
7.Carrubba, A., Torre, R., Saiano, F., and Aiello, P. 2008. Sustainable production of fennel and dill by intercropping. Agron. Sustain. Dev., 28: 247-256.
8.Cottenie, A. 1980. Soil and Plant Testing. FAO Soils Bulletin, No. 38: 2. 94-100.
9.Dahmardeh, M., Ghanbari, A., Syahsar, B.A., and Ramrodi, M. 2010. The role of intercropping maize (*Zea mays* L.) and Cowpea (*Vigna unguiculata* L.) on yield and soil chemical properties. J. Agric. Res., 5: 8. 631-639.
10.Dhima, K.V., Lithourgidis, A.S., Vasilakoglou, I.B., and Dordas, C.A. 2007. Competition indices of vetch and cereal intercrops in two ratios. Field Crops Res., 100: 249-256.
11.Echarte, L., Della Maggiora, A., Cerrudo, D., Gonzalez, V.H., Abbate, P., Cerrudo, A., Sadras, V.O., and Calvino, P. 2011. Yield response to plant density of maize and sunflower intercropped with soybean. Field Crops Res., 121: 423-429.
12.Egli, D.B., and Bruening, W.P. 2005. Shade and temporal distribution of pod production and set in soybean. Crop Sci., 45: 1764-1769.
13.Ghosh, P.K. 2004. Growth, yield, competition and economics of groundnut-cereal fodder intercropping systems in the semi-arid tropics of India. Field Crops., 88: 227-237.
14.Ilbas, A.I., and Sahin, S. 2007. *Glomus fasiculatum* inoculation improves soybean production. Acta Agric. Soil and Plant, 55: 287-292.
15.Inal, A., Gunes, A., Zhang, F., and Cakmak, I. 2007. Peanut/maize intercropping induced changes in rhizosphere and nutrient concentrations in shoots. Plant Physiol. Biochem., 20: 1-7.
16.Jahandideh Mahjen Abadi, V., Sepehri, M., Khoshgoftarmanesh, A.H., Eshghizadeh, H.R., and Rahmani Iranshahi, D. 2015. Inoculation Effects of Endophytic Fungus *Piriformospora Indica* and *Pseudomonas putida bacteria* on Growth and Nutrient Uptake of Wheat Plants under Zinc Deficiency Condition. J. Water Soil Sci., 91: 71. 191-203. (In Persian)

17. Kumar, V., Sarma, K., Krishna, S., Rashmi, S., Lalit, K., Vikram, S., Bisaria, V.S., and Sharma, A.K. 2012. Effect of formulated root endophytic fungus *Piriformospora indica* and plant growth promoting rhizobacteria fluorescent pseudomonads R62 and R81 on *Vigna mungo*. World J. Microbiol. Biotechnol., 28: 595-603.
18. Lithourgidis, A.S., Dhima, K.V., Vasilakoglou, I.B., Dordas, C.A., and Yiakoulaki, M.D. 2007. Sustainable production of barley and wheat by intercropping common vetch. Agron. Sustain. Develop., 27: 95-99.
19. Lithourgidis, A.S., Vlachostergios, D.N., Dordas, C.A., and Damalas, C.A. 2011. Dry matter yield, nitrogen content, and competition in pea-cereal intercropping systems. Eur. J. Agron., 34: 287-294.
20. Malmir, A. 2014. The effect of irrigation and mycorrhizal fungi on growth and grain yield and phosphorus use efficiency in millet. M.Sc. Thesis. Bu-Ali Sina Agricultural Faculty. 100p.
21. Manjith Kumar, B.R., Chidenand, M., Mansur, P.M., and Salimath, S.C. 2009. Influence of different row proportions on yield components and yield of rabi crops under different intercropping systems. Karnataka J. Agric. Sci., 22: 5. 1087-1089.
22. Mazaheri, D., Pasarive, S., and Peyghambari, A. 2002. Study and investigation growth analysis in monoculture and multicultural of soybean cultures. J. Pajouhesh va Sazandegi, 54: 37-54. (In Persian)
23. Mirela Dusa, E., and Valentin Roman, G. 2009. Researches regarding the productivity of oat-lentil intercropping in the organic agriculture system. Res. J. Agric. Sci., 41: 1.22-27.
24. Muyayabantu, G.M., Kadiata, B.D., and Nkongolo, K.K. 2013. Assessing the effects of ntegrated soil fertility management on biological efficiency and economic advantages of intercropped maize (*Zea mays* L.) and soybean (*Glycine max* L.). Congo., 3: 3. 520-541.
25. Naghizadeh, M., Ramroodi, M., Galavi, M., Siahsar, B., Heydari, M., and Maghsoodi, A. 2012. The effects of various phosphorus fertilizers on yield and yield components of maize and grass pea intercropping. Iran. J. Field Crop Sci., 2: 203-215. (In Persian)
26. Paulitz, T.C. 1991. Mycorrhiza interactions with soil organisms, P 77-129, In: Arora, D.K and B, Rai, K.G. Mukerji and G.R. Knudsen, Handbook of applied mycology vol. 1. Soil and plants; Marcel Dekker, INC.
27. Rezvani Moghadam, P., and Moradi, R. 2012. Evaluation of planting date, biological fertilizer and intercropping on yield and essence quantity of cumin (*Cuminum cyminum* L.) and fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). J. Field Crop Sci., 43: 2. 217-230. (In Persian)
28. Saleem, R., Zammurad, I.A., Ahmed, M., Muhammad, A., Muhammad, A.M., Muhammad, S., and Muhammad, A.K.H. 2011. Response of maize-legume intercroppoing system to different fertility sources under rained conditions. J. Agric., 4: 27. 503-511.

29. SAS Institute Inc. 2011. SAS/STAT user's guide, second edition. SAS institute Inc. Cary, Nc.
30. Sepahri, M., Saleh Rastin, N., Hossieni Salkedeh, G., and Khayam Nekouie, K. 2009. Effect of endophytic fungus, *Piriformospora indica*, on growth and resistance of *Hordeum vulgare* L. to salinity stress. Rangeland, 3: 3. 508-518. (In Persian)
31. Sharma, A.K. 2002. Biofertilizers for Sustainable Agriculture. Agro-bios, India, 300p.
32. Tavassoli, A., Ghanbari, A., Ahmadi, M.M., Heydari, M. 2010. The effect of fertilizer and anure on forage and grain yield of millet (*Panicum miliaceum*) and bean (*Phaseolus vulgaris*) in intercropping. Iran. J. Agro. Res., 8: 2. 96-114. (In Persian)
33. Verma, S., Varma, A., Rexer, K.H., Hassel, A., Kost, G., Sarbhoy, A., Bisen, P., Bütehorn, B., and Franken, P. 1998. *Piriformospora indica*, gen. etsp. nov., a new root-colonizing fungus. Mycologia., 90: 896-903.
34. Varma, A., Abbott, L., Werner D., and Hampp, R. 2004. Plant Surface microbiology. Springer, Berlin Heidelberg New York, Pp: 238-265.
35. Waller, F., Achatz, B., Baltruschat, H., Fodor, J., Becker, K., Fischer, M., Heier, T., Huckelhoven, R., Neumann, C.H., Wettstein, D., Franken, P., and Kogel, K.H. 2005. The endophytic fungus *Piriformospora indica* reprograms barley to salt-stress tolerance, disease resistance, and higher yield. Proc. Natl. Acad. Sci. USA., 102: 13386-13391.
36. Whitehead, M., and Isaac, M.E. 2012. Effects of shade on nitrogen and phosphorus acquisition in Cereal-Legume intercropping systems. Agriculture, 2: 12-24.
37. Yadav, V., Kumar, M., Deep, D.K., Kumar, H., Sharma, R., Tripathi, T., Tuteja, N., Saxena, A.K., and Johri, A.K. 2010. A phosphate transporter from the root endophytic fungus *Piriformospora ndica* plays a role in phosphate transport to the host plant. J. Biol. Chem., 285: 26532-26544.
38. Yaghoubian, Y., Pirdashti, H., Mohammadi Goltapeh, M., Feiziasl, V., and Esfandiari, E. 2012. Investigation of dryland wheat (*Triticum aestivum* L.) plants response to symbiosis with arbuscular mycorrhiza and mycorrhiza like fungi under different levels of drought stress. J. Agroecol., 4: 1. 63-73. (In Persian)
39. Yilmaz, S., Atak, M., and Erayman, M. 2008. Identification of advantages of maize-legume intercropping over solitary cropping through competition indices in the east Mediterranean region. Turk. J. Agric., 32: 111-119.
40. Zarinjoob, H., Zarea, M.J., Mohammadi Goltapeh, E., Hatami, A., and Porsiabidi, M. 2012. Effect of the various sources of phosphorus on yield and nutrient uptake of sunflower under two cropping system. E. J. C. P., 5: 3. 9-114. (In Persian)