

پاسخ کشت مخلوط سیب زمینی (*Solanum tuberosum* L.) با باقلا (*Vicia faba* L.) و نخودفرنگی (*Pisum sativum* L.) تحت نظام های کودی مختلف

رمضان سرپرست^۱، فائزه زعفریان^۲، همت الله پیردشتی^۳ و مجتبی محمودی^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۱۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۲/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۱۵

چکیده

به منظور بررسی عملکرد و اجزای کشت خالص و مخلوط سیب زمینی با باقلا و نخودفرنگی تحت تاثیر کودهای زیستی، آلی و شیمیایی آزمایشی دو ساله (سال های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۷) به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی قراخیل (قائم شهر) انجام گردید. تیمارها شامل الگوهای مختلف کشت (تک کشتی سیب زمینی، باقلا و نخودفرنگی و مخلوط سیب زمینی + باقلا و سیب زمینی + نخودفرنگی) و عامل دوم کاربرد انواع نظام های کودی در هفت سطح شامل عدم استفاده از کود (شاهد)، کاربرد کود زیستی ازتوباکتر، کاربرد کود آلی بیوچار، کاربرد کود شیمیایی اوره، کاربرد تلفیقی ۵۰٪ کود زیستی ازتوباکتر + ۵۰٪ کود آلی، کاربرد تلفیقی ۵۰٪ کود زیستی ازتوباکتر + ۵۰٪ کود شیمیایی و کاربرد تلفیقی ۵۰٪ کود شیمیایی + ۵۰٪ کود آلی اجرا گردید. عملکرد سیب زمینی، باقلا و نخودفرنگی در الگوی کشت مخلوط نسبت به کشت خالص برتری داشت. نظام های کودی اثر بسیار معنی داری بر عملکرد غده سیب زمینی در دو سال آزمایش داشت؛ به طوریکه نتایج مقایسه میانگین نشان داد که کاربرد تلفیقی کود زیستی + کود آلی سبب افزایش عملکرد سیب زمینی به ترتیب ۲۹۷۷۲ و ۳۶۱۷۸ کیلو گرم در هر هکتار در سال های اول و دوم آزمایش گردید. بیشترین صفات مربوط به باقلا نظیر تعداد دانه در غلاف، تعداد غلاف در بوته، طول غلاف، ارتفاع بوته و عملکرد غلاف سبز باقلا طی دو سال در الگوی کاشت مخلوط باقلا + سیب زمینی به دست آمد. همچنین نتایج گویای این مطلب بود که در سال اول و دوم بالاترین عملکرد غلاف سبز باقلا (به ترتیب ۲۰۸۰۴/۲ و ۲۲۸۰۱/۳ کیلوگرم در هکتار) با کاربرد تلفیقی کود زیستی + کود آلی و بیشترین عملکرد نخودفرنگی در سال اول و دوم (به ترتیب ۱۲۱۰۴/۶ و ۱۱۸۰۶/۳ کیلوگرم در هکتار) از الگوی کاشت مخلوط نخودفرنگی + سیب زمینی به همراه کاربرد تلفیقی کود شیمیایی + کود زیستی به دست آمد. باتوجه به نتایج این آزمایش، کشت مخلوط و نظام کوددهی تلفیقی سبب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد هر سه گونه زراعی می شود.

واژگان کلیدی: ازتوباکتر، بیوچار، عملکرد، تنوع زیستی

۱- دانشجوی دکتری، گروه زراعت، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

۲- استاد، گروه زراعت، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

۳- استاد، گروه زراعت، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

۴- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران

مقدمه

نظام‌های کشت مبتنی بر کشاورزی پایدار مانند کشت مخلوط که نظام‌هایی با ویژگی‌هایی مانند تنوع زیاد گونه‌های گیاهی، چرخه تقریباً بسته عناصر غذایی، شیوع کمتر آفات، کنترل بهتر فرسایش خاک، عملکردی باثبات و استفاده کارآمد و بهتر از منابع تولید می‌باشند (Echarte et al., 2011). در الگوهای کشت مخلوط، هر چه قدر شباهت گیاهان موجود از نظر اکولوژیکی، مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی کمتر باشد، میزان استفاده از منابع محیطی مانند نور به حداکثر رسیده و کارایی مصرف نور نیز افزایش می‌یابد، به طوری که تسهیم مواد فتوسنتزی به غلاف‌ها بیشتر و در نتیجه عملکرد افزایش می‌یابد (Gao et al., 2010). عقیده بر این است که علت افزایش عملکرد کشت مخلوط بقولات و غیربقولات متفاوت بودن تغذیه آنها از نیتروژن است. بدین ترتیب که بقولات از نیتروژن جوی و غیربقولات از نیتروژن موجود در خاک تغذیه می‌کنند و در نتیجه رقابت دو گونه از لحاظ نیتروژن کاهش می‌یابد (Haugaard-Nielsen et al., 2009). از جمله راه‌هایی که می‌تواند سبب افزایش ثبات و تنوع در بوم‌نظام‌های زراعی گردد؛ استفاده از لگوم‌ها می‌باشد. به نظام‌های کشت مخلوطی که در آنها یکی از گونه‌های مخلوط شونده قادر به تثبیت بیولوژیکی نیتروژن باشد، کشت مخلوط کلاسیک گفته می‌شود (Gao et al., 2009). در الگوهای کشت مخلوط، هر چه قدر شباهت گیاهان موجود از نظر اکولوژیکی، مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی کمتر باشد، میزان استفاده از منابع محیطی مانند نور به حداکثر رسیده و کارایی مصرف نور افزایش می‌یابد، به طوری که تسهیم مواد فتوسنتزی به غلاف‌ها بیشتر و در نتیجه

عملکرد افزایش می‌یابد (Gao et al., 2010). حبوبات به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع گیاهی غنی از پروتئین بوده و بعد از غلات دومین منبع مهم غذایی انسان به‌شمار می‌آیند. حبوبات از جمله باقلا (*Vicia faba* L.) و نخودفرنگی (*Pisum sativum* L.) با تثبیت زیستی نیتروژن ضمن بهبود حاصل‌خیزی خاک، به‌صورت گیاهان پوششی و یا در تناوب با بسیاری از گیاهان زراعی در جلوگیری از فرسایش خاک مؤثر بوده و نقش مهمی در پایداری نظام‌های کشت ایفا می‌نمایند. سیبزمینی با نام علمی *Solanum tuberosum* L. گیاهی است یک‌ساله از تیره بادمجان (*Solanaceae*) و یکی از بارزترین محصولات کشاورزی در جهان می‌باشد. در مقایسه با حالت تک‌کشتی، برتری عملکرد کل در نظام‌های کشت مخلوط لگوم با غیرلگوم‌ها نظیر باقلا و جو (Vandermeer, 1990)، یونجه و ذرت (Hamzei, 2012)، نخود و جو (Hamzei and Babaei, 2015) گزارش شده است. در مخلوط باقلا و ذرت، مشاهده گردید، باقلا از طریق تثبیت نیتروژن می‌تواند H^+ به محیط تراوش کند. اسیدی شدن ریزوسفر حلالیت فسفر را در خاک با pH بالا افزایش می‌دهد (Li et al., 2005). عملکرد در نظام کشت مخلوط در گرو انتخاب ژنوتیپ‌های سازگار و واجد صفات مناسب برای ایجاد حداقل رقابت و حداکثر همیاری و به کارگیری عملیات زراعی مناسب از جمله تراکم کاشت، نسبت اختلاط و الگوی کشت مخلوط کشت می‌باشد (Mutungamiri et al., 2001). مونتی و همکاران (Monti et al., 2016) کشت مخلوط را یک روش اقتصادی جهت عملکرد بالاتر با سطوح نهاده‌های خارجی کمتر می‌دانند. برای توسعه کشاورزی پایدار، اجرای نظام‌های کشاورزی با نهاده کافی

کشاورزی پایدار و اهمیت سیب‌زمینی و حبوباتی نظیر باقلا و نخودفرنگی، این پژوهش با هدف بررسی واکنش این گیاهان به کشت خالص و مخلوط تحت تاثیر نظام‌های کودی آلی، زیستی و شیمیایی در شرایط آب و هوایی مازندران به‌اجرا درآمد.

مواد و روش‌ها

آزمایش طی دو سال زراعی ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی قراخیل (قائم‌شهر) با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۷ دقیقه شمالی و طول ۵۲ درجه و ۵۳ دقیقه شرقی، با ارتفاع ۱۴ متر از سطح دریا و میزان بارش سالانه حدود ۶۱۴ میلی‌متر اجرا گردید. تیمارها شامل الگوی‌های مختلف کشت (شامل تک‌کشتی سیب‌زمینی (M_1)، تک‌کشتی باقلا (M_2)، تک‌کشتی نخودفرنگی (M_3)، مخلوط سیب‌زمینی + باقلا (M_4) و مخلوط سیب‌زمینی + نخودفرنگی (M_5) و عامل دوم، کاربرد انواع نظام-های کودی در هفت سطح (عدم کاربرد کود (F_1)، کاربرد کود زیستی ازتوباکتر (F_2)، کاربرد کود آلی بیوپار (F_3)، کاربرد کود شیمیایی اوره (F_4) و کاربرد تلفیقی ۵۰٪ کود زیستی + ۵۰٪ بیوپار (F_5)، کاربرد تلفیقی ۵۰٪ کود زیستی + ۵۰٪ کود شیمیایی (F_6)، کاربرد تلفیقی ۵۰٪ کود شیمیایی + ۵۰٪ بیوپار (F_7)). قبل از اجرای آزمایش از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌برداری انجام و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک تعیین شد (جدول ۱). همچنین، اطلاعات آب و هوایی محل در سال‌های اجرای آزمایش در جدول شماره ۲ آورده شده است. تمام عملیات کاشت، داشت و برداشت به‌صورت دستی انجام گرفت. کاشت همزمان سیب‌زمینی، باقلا و نخودفرنگی به

به‌صورت تلفیق مصرف کودهای شیمیایی، زیستی و آلی به‌منظور تولید محصول و حفظ عملکرد در سطح قابل قبول، راهکاری مؤثر می‌باشد (Sharma, 2003). کودهای زیستی قادرند طی چندین فرایند زیستی، عناصر غذایی را از شکل غیرقابل استفاده به شکل قابل استفاده برای گیاه تبدیل کنند و کمبود نیاز غذایی گیاهان برای افزایش عملکرد را تا حد زیادی جبران نمایند (Aseretal, 2008). کودهای بیولوژیک در حقیقت ماده‌ای شامل انواع مختلف ریزموجودات آزادی بوده که توانایی تبدیل عناصر غذایی اصلی را از فرم غیرقابل دسترس طی فرایندهای بیولوژیکی داشته و منجر به توسعه نظام ریشه‌ای و جوانه‌زنی بهتر بذور می‌گردند (Vessey, 2003). باکتری-های جنس ازتوباکتر، آزوسپیریلوم و سودوموناس از مهم‌ترین باکتری‌های افزایش‌دهنده رشد گیاه می‌باشند (Azadi et al., 2013). بیوپار یک ترکیب کربنی آلی عمدتاً پایدار و مقاوم است که از حرارت دادن زیست توده (Feedstock) در دماهای بین ۳۰۰ تا ۱۰۰۰ درجه سلسیوس تحت اکسیژن کم (ترجیحاً) نبود اکسیژن) تولید می‌شود (Lehmann et al., 2009). تحقیقات نشان داده است که بیوپار با بهبود نگهداشت آب خاک و راندمان استفاده از مواد مغذی از طریق تغییر خواص شیمیایی، زیستی و فیزیکی خاک سبب افزایش توان باروری و حاصلخیزی خاک می‌شود (Farrell et al., 2013). مصرف کودهای شیمیایی و زیستی با افزایش میزان نیتروژن در گیاه باعث افزایش میزان کلروفیل‌ها و کارتنوئیدها شده که به‌دنبال آن سبزی‌نگی، توانایی جذب نور خورشید، تولید مواد فتوسنتزی و در نهایت رشد و عملکرد گیاه افزایش می‌یابد. با توجه به گسترش نظام‌های

نسبت ۱:۱ (در کشت مخلوط) و کشت هر سه گیاهان به صورت جوی و پشته‌ای در تاریخ اول آذرماه و برداشت از اواخر خرداد ماه (برای باقلا و نخودفرنگی) تا اوایل تیرماه (برای سیب‌زمینی) انجام گرفت. ۳۵ تیمار در زمینی به مساحت ۱۸۰۰ متر مربع اجرا شد. مساحت هر کرت با توجه به تیمارها متفاوت بود، ولی در تمامی کرت‌ها شش ردیف کاشت به طول شش متر و فاصله بین ردیف ۷۰ سانتی‌متر برای هر سه گیاه (سیب‌زمینی، باقلا و نخودفرنگی) و فاصله روی ردیف ۲۵ سانتی‌متر برای سیب‌زمینی و ۱۰ سانتی‌متر برای باقلا و نخودفرنگی در نظر گرفته شدند و تراکم کاشت نیز در سیب‌زمینی ۵/۳ بوته و برای باقلا و نخودفرنگی ۲۴ بوته در مترمربع منظور شد. در بین کرت‌ها یک ردیف نکاشت به عنوان فاصله در نظر گرفته شد. بذر باقلا، رقم لوزودی اوتونو، رقم نخودفرنگی وولف و رقم سیب‌زمینی استفاده شده سانتی (رقم نیمه‌زودرس و با عملکرد بالا) نام داشت. غده‌های سیب‌زمینی قبل از کاشت با قارچ‌کش مانکوزب پودر و تابل ۸۰٪ به نسبت دو در هزار مخلوط شده و بذور باقلا و نخودفرنگی با سم کربوکسی تیرام به میزان دو در هزار، ضدعفونی گردیدند و در ردیف‌های ایجاد شده در عمق کاشت چهار تا شش سانتی‌متر برای باقلا و نخودفرنگی و ۱۰ سانتی‌متر برای سیب‌زمینی کاشته شد. آبیاری به روش جوی پشته و براساس نیاز آبی گیاه در طول فصل رشد انجام گرفت و در طول دوره رشد و در مواقع لازم، علف‌های هرز به صورت دستی کنترل شدند. مصرف کود براساس نتایج آزمون خاک و توصیه مؤسسه تحقیقات خاک و آب صورت گرفت. میزان مصرف کود شیمیایی اوره (حاوی ۴۶ درصد نیتروژن) نیز، به میزان توصیه شده در دو نوبت، زمان سبز شدن و

۵۰ درصد در زمان تشکیل غده) برای سیب‌زمینی اعمال گردید. برای اعمال تیمار کود زیستی ازتوباکتر (*Azotobacter chroococcum*) مایه تلقیحی میکروبی با غلظت نهایی $10^9 \times \text{CFU ml}^{-1}$ (۱۰۰۰ گرم در هکتار) از بخش تحقیقات خاک و آب مرکز تحقیقات کشاورزی گلستان تهیه شد. مقدار اعمال بیوچار به میزان ۱۰ تن در هکتار بود که در داخل شیار در عمق ۱۵ سانتی‌متری در زیر بذر و غده قرار داده شد و با خاک مخلوط گردید. به منظور اندازه‌گیری صفات مربوطه در پایان فصل رشد تعداد ۱۰ بوته از هر کرت انتخاب و بعد از اندازه‌گیری ارتفاع بوته، اجزای عملکرد هر یک از گیاهان اندازه‌گیری شد. به‌طوری‌که در گیاه سیب‌زمینی تعداد غده در بوته، تعداد انشعاب (ساقه)، طول استولن و عملکرد غده و در گیاهان باقلا و نخود نیز طول غلاف، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک اندازه‌گیری گردید. دو هفته قبل از برداشت سیب‌زمینی اندام‌های هوایی قطعی و وزن غده‌های بالاتر از ۳۵ گرم به عنوان عملکرد بازارپسند در نظر گرفته شد. برای تعیین عملکرد دانه (غلاف) و غده پس از حذف دو ردیف حاشیه و نیم متر از بالا و پایین هر کرت آزمایشی، از چهار خط میانی محصول برداشت گردید. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها پس از تست نرمال بودن داده‌ها و یکنواختی واریانس (آزمون بارتلت) با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه 9.2 و مقایسه میانگین داده‌ها از طریق آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

با توجه به نتایج آزمون بارتلت و غیریکنواخت بودن واریانس خطای آزمایش،

داده‌های دو سال به صورت جداگانه تجزیه و تحلیل شد (داده‌ها نشان داده نشد).

سیب‌زمینی

ارتفاع بوته: نتایج تجزیه واریانس نشان

داد، در هر دو سال اثر ساده الگوی کشت و نظام-های کودی بر ارتفاع بوته سیب‌زمینی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۳). مقایسه میانگین ارتفاع سیب‌زمینی در مجموع دو سال در کشت مخلوط با لگوم (باقلا و نخودفرنگی) نشان داد که بالاترین ارتفاع بوته در سال اول (۴۱/۲۳ سانتی‌متر) و سال دوم (۳۸/۶۶ سانتی‌متر) مربوط به تیمار کشت مخلوط سیب-زمینی + نخودفرنگی بود که با تیمار کشت مخلوط سیب‌زمینی + باقلا تفاوت چندانی به لحاظ آماری نداشت، همچنین کمترین ارتفاع بوته در سال اول و دوم (به ترتیب ۳۷/۴۲ و ۳۳/۶۶ سانتی‌متر) به کشت خالص سیب‌زمینی اختصاص داشت (جدول ۴). دلیل این امر را می‌توان به عامل رقابت نسبت داد که باعث افزایش توان گیاه در جهت تولید زیست توده بیشتر برای افزایش ارتفاع بوته‌های سیب‌زمینی با سایر گونه‌ها گردید. تونا و اوراک (Tuna and Orak, 2007) در کشت مخلوط ماشک (*Vicia sativa* L.) با یولاف (*Avena sativa* L.) گزارش کرده‌اند که کاهش یا افزایش ارتفاع بوته گیاهان به شدت رقابت بین دو گیاه بستگی دارد. در مقایسه ارتفاع سیب‌زمینی تحت تاثیر نظام‌های کودی مختلف طی دو سال مشخص شد که بالاترین ارتفاع سیب‌زمینی در سال اول در نظام کودی متعلق به تیمار کاربرد تلفیقی کود زیستی + کود آلی بیوچار به مقدار ۴۵/۳۸ سانتی‌متر بود. در سال دوم تیمار کاربرد تلفیقی کود شیمیایی + کود آلی بیوچار موجب افزایش معنی‌دار ارتفاع سیب‌زمینی (۴۳/۱۱)

سانتی‌متر) نسبت به سایر تیمارهای کودی گردید (جدول ۴). تاثیر کودهای تلفیقی شیمیایی به همراه کودهای آلی و زیستی بر ارتفاع بوته در سیب‌زمینی مثبت است زیرا این امر سبب شد تا مواد غذایی بیشتری در اختیار گیاه سیب‌زمینی قرار گیرد و گیاه از رشد رویشی بهتری برخوردار شود و به دنبال آن ارتفاع افزایش یابد.

تعداد غده در بوته: در صفت تعداد غده در

بوته، تیمارهای الگوی کاشت و نظام‌های کودی دارای اختلاف معنی‌دار بودند (جدول ۳). نتایج جدول مقایسه میانگین نشان داد که در سال اول و دوم تیمار الگوی کاشت مخلوط سیب‌زمینی + باقلا به ترتیب با ۱۱/۳۷ و ۱۳/۱۲ غده در بوته، بیشترین تعداد غده در بوته تولید کرد (جدول ۴). همچنین در سال اول و دوم بیشترین تعداد غده در بوته در بین تیمارهای نظام‌های کودی به ترتیب با ۱۲/۸۰ و ۱۴/۴۱ غده در بوته مربوط به کاربرد تلفیقی کود زیستی + کود آلی بود (جدول ۴). هرچند بیشینه این صفت در سال اول با کود شیمیایی + بیوچار و در سال دوم با کود شیمیایی + زیستی تفاوت معنی‌داری نداشتند. معنی‌دار شدن تیمارهای کود زیستی + کود آلی در صفت تعداد غده در بوته نشان می‌دهد که افزایش میزان ازتوباکتر و بیوچار باعث دسترسی بهتر گیاه به عناصر غذایی مورد نیاز خود شده و در نتیجه گیاه با افزایش رشد، می‌تواند تعداد غده بیشتری در بوته تولید کند. همچنین این کودها حاوی عناصر مغذی لازم برای تولید محصول مناسب و سالم، عناصر اصلی غذایی مانند نظیر نیتروژن، فسفر و پتاسیم می‌باشد. حسن‌پناه و حسن‌آبادی (Hassanpanah and Hassanabadi, 2011) نشان

دادند که پایداری عملکرد بیشتر ارقام سیب‌زمینی با تعداد و متوسط اندازه غده ارتباط زیادی دارد که با نتایج پژوهش حاضر هماهنگی دارد. آتیه و همکاران گزارش کردند که استفاده از کود آلی علاوه بر افزایش تعداد غده و تعداد ساقه اصلی تعداد ساقه‌های فرعی را در سیب‌زمینی به‌طور معنی‌داری افزایش می‌دهد (Atiyeh et al., 2000). تیمار کاربرد کود شیمیایی اوره در سال اول و دوم به‌ترتیب با ۸/۷۵ و ۹/۸۶ غده در بوته کمترین رتبه را به‌دست آورد (جدول ۴). دلیل کاهش تعداد غده با افزایش مقدار نیتروژن می‌تواند ناشی از این باشد که سطوح بالای نیتروژن موجب تحریک بیش از حد رشد اندام‌های هوایی می‌شود که این امر باعث برهم‌خوردن توازن انتقال مواد فتوسنتزی و تخصیص بیشتر این مواد برای رشد قسمت‌های هوایی می‌شود و غده-بندی را به تأخیر می‌اندازد و در نتیجه باعث کاهش تعداد غده‌های تولیدی می‌شود (Fernie and Willmitzer, 2001).

تعداد ساقه در بوته: از لحاظ تعداد ساقه در بوته، نتایج جدول تجزیه واریانس نمایانگر آن است که الگوی مختلف کاشت و نظام‌های کودی اثر معنی‌داری بر تعداد ساقه در بوته داشتند (جدول ۳). تولید ساقه در هر بوته به فضای کافی، نور، رطوبت و مواد غذایی نیاز دارد و در کشت مخلوط علاوه بر افزایش رقابت درون و برون‌گونه‌ای، از ایجاد ساقه‌های جدید در بوته سیب‌زمینی کاسته می‌شود. در این آزمایش کشت مخلوط سیب‌زمینی + باقلا سبب کاهش تعداد ساقه در بوته در سیب‌زمینی گردید و تیمار کاشت خالص سیب‌زمینی در سال اول و دوم به‌ترتیب با

۶/۶۶ و ۶/۴۲ ساقه بیشترین مقدار را به‌دست آورد (جدول ۴). مشاهده شد که در سال اول و دوم کاربرد تلفیقی کود زیستی + کود آلی سبب بیشترین تعداد ساقه در بوته (به‌ترتیب ۶/۴۴ و ۶/۵۵) در سیب‌زمینی گردید که با تیمار کاربرد تلفیقی کود شیمیایی + کود آلی و همچنین تیمار کود آلی بیوچار تفاوت چندانی به لحاظ آماری نداشت (جدول ۴). کمترین تعداد ساقه فرعی در هر دو سال مربوط به تیمار شاهد بدون کود (به‌ترتیب ۳/۷۷ و ۳/۸۸) بود (جدول ۴). گزارش شده که باکتری ازتوباکتر با تولید هورمون‌های اکسین، جیبرلین، سیتوکینین و اتیلن که به‌عنوان چهار هورمون مورد نیاز فرآیندهای بیوشیمیایی اصلی گیاهی شناخته می‌شوند باعث توسعه سیر فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی گیاه می‌گردد (Pereyra et al., 2010). مشابه با نتایج این آزمایش سینگ و کاپور (Singh and Kapoor, 1998) با مطالعه تأثیر کودهای بیولوژیک بر نخود گزارش کردند که بیشترین تعداد شاخه جانبی در نخود در تیمارهای تلقیح شده با ازتوباکتر به‌دست آمد که با نتایج یاساری و پادوردهان (Yasari and Patwardhan, 2007) در گیاه کلزا هم‌راستا می‌باشد.

طول استولن: در سیب‌زمینی با توجه به اهمیت فراوان تعداد ساقه و نقش آن در ایجاد استولن‌ها و نهایتاً تشکیل غده و تأثیر بر عملکرد غده، این صفت بیشترین تأثیر را در ایجاد تنوع بین ارقام سیب‌زمینی دارد. تجزیه واریانس طول استولن در بوته سیب‌زمینی نشان داد در هر دو سال اثر ساده الگوی کاشت و نظام‌های کودی اختلاف معنی‌داری بر این صفت داشت (جدول ۳).

با مقایسه طول استولن گیاه سیبزمینی در کشت خالص و مخلوط با لگوم (باقلا و نخودفرنگی) نتایج نشان داد بیشترین طول استولن در سال اول و دوم (به ترتیب ۱۱/۳۰ و ۱۰/۷۸ سانتی متر) مربوط به تیمار مخلوط سیبزمینی + باقلا بود که با تیمار کشت مخلوط سیبزمینی + نخودفرنگی در یک گروه آماری قرار گرفت (جدول ۴). در مقایسه تیمار سطوح مختلف نظام‌های کودی در سال اول و دوم کاربرد تلفیقی کود زیستی + بیوجار توانست به ترتیب با ۱۲/۲۲ و ۱۳/۶۱ سانتی متر بالاترین رتبه را به دست آورد (جدول ۴). که در سال اول با سایر تیمارهای تلفیقی و کود شیمیایی و آلی تفاوت معنی دار نداشت. افزودن کود آلی به خاک زراعی ممکن است نه تنها فراهمی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه را افزایش داده باشد بلکه با بهبود شرایط فیزیکی و فرآیندهای حیاتی خاک ضمن ایجاد یک محیط مناسب برای رشد استولن، موجبات افزایش عملکرد کل غده را نیز فراهم می‌کند. به عبارت دیگر مصرف مقادیر مناسبی از کودهای آلی و زیستی از طریق بهبود فعالیت‌های میکروبی در خاک و تولید تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه توسط میکروارگانیسم‌ها و نیز فراهمی جذب بیشتر عناصر غذایی، سبب افزایش میزان فتوسنتز و ماده خشک گیاهی شده که این مسئله در نهایت به افزایش استولن می‌انجامد (Alam et al., 2007).

عملکرد: تجزیه واریانس عملکرد

سیبزمینی تحت تأثیر الگوی کشت و نظام‌های کودی در کشت مخلوط در دو سال آزمایش معنی دار گردید (جدول ۳). به نظر می‌رسد که شرایط حاکم بر آزمایش از لحاظ آب و هوایی و

مدیریتی در دو سال اجرای آزمایش حاصل تفاوت‌ها و تغییرات ایجاد شده ناشی از اثر تیمارهای آزمایشی بود. با توجه به مساعد بودن شرایط آب و هوایی آزمایش در سال دوم، عملکرد نسبت به سال اول افزایش داشته است. مقایسه عملکرد سیبزمینی در سال اول و دوم در تیمار الگوی کاشت نشان داد که بالاترین عملکرد سیبزمینی از الگوی کاشت مخلوط سیبزمینی + باقلا به ترتیب به مقدار ۲۶۱۶۱ و ۳۴۴۰۹ کیلوگرم در هکتار به دست آمد که نسبت به کشت خالص سیبزمینی افزایش ۱۷/۴۸ و ۱۹/۰۴ درصدی نشان داد (جدول ۴). تأثیر معنی دار عملکرد غده سیبزمینی در کشت مخلوط با گیاهان لگوم نظیر باقلا و نخودفرنگی که ارتفاع بلندتری دارند توسط سایر محققان نیز گزارش شده است (Rezaei Chalk, 2011). چالک و اسمیت (Chianeh et al., 2011) و اسمیت (Chalk, 2011) اظهار داشتند، برتری عملکرد گیاهان در کشت مخلوط نتیجه تثبیت و انتقال نیتروژن لگوم‌ها در زراعت مخلوط است. معنی دار شدن تیمارهای کشت مخلوط سیبزمینی با ذرت توسط جمشیدی و همکاران (Jamshidi et al., 2008) بالاترین عملکرد سیبزمینی در نظام‌های کودی در سال اول و دوم به ترتیب به مقدار ۲۹۷۷۲ و ۳۶۱۷۸ کیلوگرم در هکتار متعلق به تیمار کاربرد تلفیقی کود زیستی + کود آلی بود که با سایر نظام‌های تلفیقی کودی تفاوت معنی داری نداشتند (جدول ۴). در طی بررسی انجام شده اثرات کود آلی بر عملکرد و اجزای عملکرد سیبزمینی توسط زالر (Zaller, 2007) مشخص شد که با افزایش مقدار مصرف کودهای آلی، ارتفاع بوته و در نتیجه مقدار زیست توده و

عملکرد غده‌ها نیز افزایش یافت. الام و همکاران (Alam et al., 2007) بیان داشتند مصرف همزمان کاربرد تلفیقی کود زیستی و آلی بیوپچار بالاترین عملکرد غده در سیب‌زمینی را به‌دنبال دارد زیرا کود آلی بیوپچار به‌دلیل افزایش عمق مؤثر و در دسترس قرار دادن آب و هوا در منطقه ریشه بر رشد گیاه تأثیر مستقیم داشته و با تولید انرژی، اصلاح خاک، افزایش عملکرد گیاه را سبب می‌شود. فارکوارسون و همکاران (Farquharson et al., 2003) نیز نشان دادند، استفاده تلفیقی از کودهای شیمیایی و کودهای آلی همچون کودهای دامی، ورمی‌کمپوست و کودهای زیستی (مدیریت تلفیقی مواد غذایی) نه‌تنها منجر به حفظ حاصلخیزی خاک و فعالیت زیستی آن می‌شود، بلکه منجر به بهبود خواص فیزیکی خاک نیز شد.

باقلا

ارتفاع بوته: طبق جدول نتایج تجزیه واریانس اثر ساده الگوی کشت و نظام‌های کودی بر ارتفاع بوته باقلا طی هر دو سال معنی‌دار گردید (جدول ۵). میانگین دمای ماهانه در طول فصل رشد در سال اول آزمایش بیشتر از سال دوم بود، بدین سبب رشد رویشی در سال اول، تحت تأثیر شرایط اقلیمی مطلوب‌تر، بیشتر از سال دوم زراعی بود (جدول ۲). بیشترین ارتفاع بوته در سال اول و دوم به‌ترتیب با ۸۳/۶۰ و ۷۵/۷۵ سانتی‌متر در تیمار الگوی کاشت مخلوط سیب‌زمینی + باقلا حاصل شد (جدول ۴). همچنین در سال اول و دوم بیشترین ارتفاع بوته باقلا در بین تیمارهای نظام‌های کودی مربوط به کاربرد تلفیقی کود زیستی ازتوباکتر + کود شیمیایی به‌ترتیب به‌میزان

۸۷/۶۱ و ۸۲/۱۰ سانتی‌متر بود. عدم کاربرد کود با ۷۵/۷۳ و ۶۱/۲۸ سانتی‌متر کمترین ارتفاع بوته را به‌ترتیب در سال اول و دوم به خود اختصاص داد (جدول ۶). احتمالاً تلقیح بذور با کودهای زیستی سبب افزایش توسعه ریشه و جذب بهتر آب و مواد غذایی گردیده و همین مسئله سبب بهبود رشد رویشی گیاه و افزایش ارتفاع بوته‌ها می‌شود (Skinner et al., 1987). یکی از دلایل اصلی افزایش ارتفاع بوته بر اثر کاربرد کودهای بیولوژیک مربوط به بیشتر شدن طول میانگره‌های گیاه است که این امر می‌تواند به‌دلیل تحریک تولید هورمون‌های محرک رشد گیاه توسط این کودها باشد (Nagananda et al., 2010). استولز و ناداو (Stoltz and Nadeau, 2014) نتایج مشابهی را مبنی بر افزایش ارتفاع بوته باقلا تا ۲۵ درصد در کشت مخلوط با ذرت گزارش کرده‌اند.

طول غلاف: طول غلاف یکی از مهم‌ترین

صفات تعیین‌کننده میزان محصول در باقلا محسوب می‌شود. معمولاً ارقام با طول غلاف-های بلندتر به‌طور معنی‌داری محصول بیشتری نسبت به ارقام با طول غلاف کوتاه‌تر تولید می‌کنند. نتایج تجزیه واریانس طول غلاف باقلا تحت تأثیر الگوی کشت و نظام‌های کودی غیرمعنی‌دار گردید (جدول ۵). هر چند در هر دو سال طول غلاف در کشت مخلوط بیشتر از کشت خالص باقلا بود (جدول ۶). افزایش طول غلاف در تیمارهای کشت مخلوط را می‌توان به تراوش H^+ از ریشه باقلا و اسیدی شدن محیط ریزوسفر نسبت داد که باعث می‌شود جذب فسفر و سایر عناصر غذایی در خاک‌های قلیایی افزایش یابد (Bakheit and Glala, 2014). همچنین در هر دو

سال نظام‌های تلفیقی کودی نیز موجب حصول افزایش طول غلاف باقلا شدند (جدول ۶).

غلاف در بوته: نتایج تجزیه واریانس باقلا

در دو سال آزمایش نشان داد صفت تعداد غلاف در بوته تحت تأثیر الگوی کشت و نظام‌های کودی معنی‌دار گردید (جدول ۵). نتایج حاصل از مقایسه میانگین الگوهای کشت نشان داد بیشترین تعداد غلاف در بوته در سال اول و دوم در کشت مخلوط سیب‌زمینی + باقلا به‌ترتیب با تعداد ۱۴/۱۱ و ۱۲/۸۷ غلاف در بوته به‌دست آمد (جدول ۶). غلاف‌ها دربرگیرنده دانه‌ها بوده و از طرفی تولید کننده مواد فتوسنتزی مورد نیاز دانه‌ها هم می‌باشند. دیواره غلاف‌ها به‌عنوان مقصد موقت، با ذخیره مواد فتوسنتزی و سپس انتقال آنها به دانه‌ها، تا حدودی در عملکرد دانه گیاه مشارکت دارند (Amirmardfar et al., 2015). در کشت خالص به‌دلیل کاهش جذب نور توسط پوشش گیاهی و افزایش غالبیت انتهایی، از تعداد شاخه‌های فرعی در ساقه و تعداد غلاف در بوته کاسته شد. زیرا افزایش درصد نور دریافتی در کشت‌های مخلوط نسبت به کشت خالص موجب رشد رویشی و شاخص سطح برگ بیشتر می‌شود (Rezaei-chiyaneh et al., 2011). به‌احتمال زیاد گیاه باقلا در کنار سیب‌زمینی از طریق تثبیت زیستی نیتروژن و افزایش جذب تشعشع توسط کانوپی مخلوط، سبب افزایش آسیمیلایون مواد فتوسنتزی از طریق افزایش سطح برگ و به‌تبع آن بهبود ظرفیت فتوسنتزی شده و تعداد غلاف در بوته افزایش پیدا کرده است. سخاوی و همکاران (Sakhavi et al., 2017) در ارزیابی کشت مخلوط باقلا و زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) مشاهده کردند که الگوی کشت مخلوط اثر معنی‌داری بر تعداد دانه

در بوته باقلا داشت و کشت مخلوط باعث افزایش آن نسبت به تک کشتی شد. نتایج نشان داد در نظام‌های کودی بالاترین تعداد غلاف در بوته (سال اول: ۱۶/۰۶ و سال دوم: ۱۴/۸۸ غلاف در بوته) متعلق به تیمار کاربرد تلفیقی کود شیمیایی + کود آلی بود که با تیمار کود تلفیقی زیستی + آلی تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۶). کمترین میزان این صفت نیز (سال اول: ۱۰/۴۶ و سال دوم: ۸/۸۷ غلاف در بوته) با عدم کاربرد کود به‌دست آمد (جدول ۶). در کل، مصرف تلفیقی کودهای زیستی و شیمیایی در مقادیر توصیه شده از طریق تأثیر مثبت بر جذب عناصر ماکرو و میکرو و بهبود جذب آب به سبب توسعه نظام ریشه‌ای، عملکرد و اجزای عملکرد گیاهان را افزایش می‌دهد (Narula and Dunning, 2007).

تعداد دانه در غلاف: تجزیه واریانس

داده‌های به‌دست آمده از آزمایش نشان داد که اثر ساده الگوی کاشت و نظام‌های کودی در تعداد دانه در غلاف باقلا در سطح احتمال یک درصد اثر معنی‌داری داشت (جدول ۵). نتایج به‌دست آمده از این پژوهش نشان داد که تیمار الگوی کاشت مخلوط سیب‌زمینی + باقلا در سال اول و دوم به‌ترتیب با ۴/۹۰ و ۴/۹۴، بیشترین تعداد دانه در غلاف را تولید کرد و نسبت به تیمار کشت خالص افزایش ۲۷/۹۳ و ۹/۷۷ درصدی از خود نشان داد (جدول ۶). همچنین در سال اول و دوم بیشترین تعداد دانه در غلاف به‌ترتیب با ۵/۵۱ و ۵/۸۵ دانه در غلاف در بین تیمار نظام‌های کودی مربوط به کاربرد تلفیقی کود زیستی + کود آلی بود (جدول ۶). به‌نظر می‌رسد، حضور گیاه سیب‌زمینی از طریق کاهش رقابت درون‌گونه‌ای بین بوته‌های باقلا باعث بهبود عملکرد و اجزای عملکرد باقلا شده است. در شرایطی که رقابت بین‌گونه‌ای

کمتر از درون‌گونه‌ای باشد، گیاهان در کشت مخلوط برای آشیان‌های یکسان رقابت نکرده و عملکرد و اجزای عملکرد افزایش می‌یابد (Hauggard-Nielsen *et al.*, 2009). علاوه بر این، نتایج برخی مطالعات نشان داده در کشت مخلوط، تثبیت نیتروژن بقولات به دلیل اثرات مکملی، در نتیجه افزایش وزن خشک و تعداد گره‌های فعال، بیشتر شده و این منجر به بهبود رشد و عملکرد بقولات می‌شود (Hauggard-Nielsen *et al.*, 2009). افزایش تعداد دانه در غلاف در تیمار کاربرد تلفیقی کود زیستی + کود آلی را می‌توان به نقش موثر باکتری محرک رشد ازتوباکتر در تثبیت نیتروژن و رهاسازی آن در مراحل حساس نیاز کودی نیز مرتبط دانست که سبب افزایش نیتروژن قابل مصرف در مراحل حساس رشدی می‌شود. مشخص شده که باکتری ازتوباکتر علاوه بر کمک به جذب عنصر نیتروژن، موجب جذب سایر عناصر، کاهش بیماری‌ها و بهبود ساختمان خاک و در نتیجه تحریک بیشتر رشد گیاه و افزایش کمی و کیفی محصول می‌شود (Welbaum *et al.*, 2004). همکاران (Porte *et al.*, 2017) مطابقت دارد.

عملکرد: نتایج تجزیه واریانس عملکرد باقلا تحت تأثیر اثر ساده الگوی کشت و نظام‌های کودی و همچنین اثر متقابل الگوی کشت × نظام‌های کود در مجموع دو سال آزمایش معنی‌دار گردید (جدول ۵). در بررسی اثر متقابل تیمارهای آزمایش نتایج گویای این مطلب بود که در سال اول و دوم بالاترین عملکرد غلاف سبز باقلا (۲۰۸۰۴/۲ و ۲۲۸۰۴/۲ کیلوگرم در هکتار) از الگوی کاشت مخلوط سیب‌زمینی + باقلا و نظام کودی کاربرد تلفیقی کود زیستی + کود آلی به‌دست آمد (شکل ۱). شایان ذکر است که کاربرد

تلفیقی کودها باعث افزایش عملکرد نسبت به کاربرد جداگانه کودها در هر دو سال آزمایش شد (شکل ۱). همچنین، کمترین عملکرد غلاف سبز باقلا در سال اول (۱۲۸۶۹/۲ کیلوگرم در هکتار) و سال دوم (۱۷۸۶۹/۲ کیلوگرم در هکتار) در تیمار کشت خالص باقلا و عدم کاربرد کود مشاهده گردید (شکل ۱). به‌نظر می‌رسد که شرایط حاکم بر آزمایش از لحاظ آب و هوایی و مدیریتی در دو سال اجرای آزمایش حاصل تفاوت‌ها و تغییرات ایجاد شده ناشی از اثر تیمارهای آزمایشی بود. با توجه به مساعد بودن شرایط آب و هوایی آزمایش در سال دوم، عملکرد نسبت به سال اول افزایش داشته است (جدول ۲). جهان‌سوز و همکاران (Jahansooz *et al.*, 2007) و نصیری محلاتی (Nasiri Mahallati *et al.*, 2015) بهبود عملکرد در نظام‌های کشت مخلوط نسبت به کشت خالص را به توانایی بهتر گیاهان در جذب نور و استفاده حداکثری از منابع زیست محیطی و انتقال نیتروژن تثبیت شده از لگوم ذکر کردند. در واقع، کشت مخلوط استفاده درست از روابط متقابل گیاهان برای حداکثرسازی رشد و قدرت تولید گیاهان زراعی است. در مقایسه با حالت تک‌کشتی، برتری عملکرد کل در نظام‌های کشت مخلوط لگوم با غیر لگوم نظیر باقلا و جو (Trydemanknudsen *et al.*, 2007)، گاودانه و جو (Hamzei, 2012) و نخود و جو (Hamzei and Babaei, 2015) گزارش شده است. در کشت مخلوط جو و باقلا، آگنهو و همکاران (Agegnehu *et al.*, 2006) مشاهده کردند که با افزایش تراکم باقلا از ۱۲/۵ تا ۶۲/۵ درصد، عملکرد باقلا افزایش یافت که دلیل این امر را به اصل تولید رقابتی و استفاده حداکثری از منابع محیطی نسبت دادند. لاتاتی و همکاران (Latati *et al.*, 2015) نیز نتایج مشابهی را گزارش کردند.

(Bedoussac and Justes, 2010) مشاهده شد که کشت مخلوط نخودفرنگی و گندم در اوایل گلدهی نخودفرنگی سبب افزایش ارتفاع کانوبی نخودفرنگی از ۵۶ به ۵۸ سانتی‌متر نسبت به تک‌کشتی گردید. بالاترین ارتفاع نخودفرنگی در نظام‌های کودی در سال اول (۸۷/۸۶ سانتی‌متر) و در سال دوم (۹۰/۹۱ سانتی‌متر) متعلق به تیمار کاربرد تلفیقی کود شیمیایی + کود زیستی بود که در سال اول با دو کود تلفیقی دیگر و در سال دوم با کود تلفیقی زیستی + آلی تفاوت معنی‌دار نداشت (جدول ۸). (Abayomi, 2000)، گزارش کرد از آنجا که میزان نیتروژن خاک بر رشد رویشی و در نتیجه افزایش ارتفاع گیاه مؤثر است و نخودفرنگی به‌عنوان گیاه تثبیت کننده نیتروژن توانست عناصر لازم برای رشد و فتوسنتز را تأمین کرده و ارتفاع نخودفرنگی افزایش پیدا کرده است.

طول غلاف: نتایج به‌دست آمده از جدول

تجزیه واریانس نشان داد که طی دو سال آزمایش اثر ساده الگوی کاشت بر طول غلاف نخودفرنگی غیرمعنی‌دار بود ولی اثر نظام‌های کودی بر این صفت تاثیر معنی‌داری داشت (جدول ۷). با مقایسه تیمار سطوح مختلف نظام‌های کودی در سال اول و دوم کاربرد تلفیقی کود شیمیایی + کود زیستی توانست به‌ترتیب با ۸/۵۶ و ۸/۵۲ سانتی‌متر بالاترین رتبه را به‌دست آورد که با سایر کودهای تلفیقی و همچنین کود شیمیایی نیتروژن به تنهایی در هر دو سال تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۸).

تعداد غلاف در بوته: تعداد غلاف در بوته

نخودفرنگی به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر الگوی

(*al.*, 2016) افزایش زیست توده ریشه و اندام هوایی ذرت در کشت مخلوط را به اثر مساعدتی و مکملی باقلا نسبت دادند. در کل، مصرف تلفیقی کودها در مقادیر توصیه شده از طریق تاثیر مثبت بر جذب عناصر ماکرو، میکرو و بهبود جذب آب به‌سبب توسعه نظام ریشه‌ای، عملکرد و اجزای عملکرد گیاهان را افزایش می‌دهد (Narula and Dunning, 2007). سخاوی و همکاران (Sakhavi *et al.*, 2017) در مطالعه کشت مخلوط باقلا و زیره سبز تحت تاثیر تیمارهای مختلف کود آلی و زیستی مشاهده کردند که کشت مخلوط بیشترین عملکرد دانه باقلا را به‌خود اختصاص داد. باکتری-های موجود در کودهای زیستی افزون بر تثبیت نیتروژن هوا و محلول کردن فسفر خاک، با تولید و ترشح مواد محرک رشد گیاه، اسیدهای آمینه و آنتی‌بیوتیک‌ها، می‌توانند شرایط مطلوبی را برای انجام بهتر فرآیندهای بیوشیمیایی در گیاه فراهم سازند.

نخودفرنگی

ارتفاع بوته: نتایج تجزیه واریانس

نخودفرنگی نشان داد ارتفاع بوته تحت تأثیر الگوی کشت و نظام‌های کودی معنی‌دار گردید (جدول ۷). نتایج مقایسه میانگین اثر ساده الگوی کاشت نشان داد ارتفاع بوته نخودفرنگی در سال اول و دوم (به‌ترتیب با ۷۹/۸۷ و ۸۰/۷۱ سانتی‌متر) در کشت مخلوط سیب‌زمینی + نخودفرنگی نسبت به کشت خالص آن که به‌ترتیب ۸/۵۳ و ۶/۳۷ درصد بود، بیشتر بود (جدول ۸). آزمایش سیدی و همکاران (Seyedi *et al.*, 2012) نشان داد، ارتفاع بیشتر نخود در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص جو، به‌علت طولیل شدن طول دوره رویشی نخود بوده است. در پژوهش بدوساک و جاستس

کاشت و نظام‌های کودی طی دو سال آزمایش قرار گرفت (جدول ۷). کشت مخلوط سیب‌زمینی + نخودفرنگی توانست تعداد غلاف در بوته نخودفرنگی بیشتری را (سال اول و دوم به‌ترتیب به‌ترتیب ۱۰/۱۶ و ۱۱/۹۷ غلاف در بوته) نسبت به کشت خالص نخودفرنگی طی دو سال آزمایش (به‌ترتیب ۸/۶۶ و ۱۰/۶۳ غلاف در بوته) موجب شود (جدول ۸). به نظر می‌رسد در کشت خالص نخودفرنگی، افزایش رقابت درون‌گونه‌ای (رقابت بر سر جذب نور، فضا و مواد غذایی) بین بوته‌ها به‌خصوص در مراحل رشد رویشی و اوایل رشد زایشی که طرح اولیه اندام زایشی ریخته می‌شود اجازه رشد مطلوب به گیاه را نداد و تعداد گل‌های بارور در گیاه و در نتیجه تعداد غلاف در بوته کاهش یافت که با نتایج نخزری‌مقدم و همکاران (Nakhzari Moghaddam et al., 2019) مطابقت دارد. نتایج جدول مقایسه میانگین (جدول ۸) نشان داد که کاربرد تلفیقی کود شیمیایی + کود زیستی توانست در سال اول به‌میزان ۱۰/۸۱ و در سال دوم به‌میزان ۱۳/۱۲ تعداد غلاف در بوته را ارتقاء دهد. عزیزی (Azisi et al., 1999) اظهار نمود از آنجا که افزایش سطح نیتروژن باعث افزایش تعداد غلاف در بوته شده است، در این شرایط وجود مخزن قوی موجب تقاضای بیشتر برای مواد فتوسنتزی شده و در نتیجه فراهمی نیتروژن با تقویت فتوسنتز گیاه خود می‌تواند در افزایش پر شدن دانه‌ها مؤثر باشد.

دانه در غلاف: نتایج تجزیه واریانس تعداد

دانه در غلاف نخودفرنگی تحت تأثیر الگوی کاشت و نظام‌های کودی قرار گرفت (جدول ۷)؛ با بررسی الگوی کشت مشخص شد که کشت مخلوط

سیب‌زمینی + نخودفرنگی نسبت به کشت خالص نخودفرنگی در سال اول و دوم به‌ترتیب ۱۷/۸۷ و ۱۸/۵۷ درصد افزایش داشت (جدول ۸). در سال اول و دوم کاربرد تلفیقی کود شیمیایی + کود زیستی (به‌ترتیب ۶/۸۴ و ۷/۴۲ دانه در غلاف) حداکثر مقدار این صفت را نشان داد (جدول ۸). عزیزی (Azizi, 1999) اظهار نمود افزایش سطح نیتروژن موجب افزایش تعداد دانه در غلاف نخود شد.

عملکرد: نتایج تجزیه واریانس نخودفرنگی

در مجموع دو سال آزمایش نشان داد اثر ساده الگوی کشت و نظام‌های کودی تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر صفت عملکرد داشت (جدول ۷)؛ همچنین برهمکنش تیمارهای آزمایش اثر معنی‌داری بر عملکرد غلاف در هر دو سال آزمایش نشان داد (جدول ۷). بیشینه عملکرد نخودفرنگی در سال اول و دوم به‌ترتیب به‌مقدار ۱۲۱۰۴/۲ و ۱۱۸۰۴/۲ کیلوگرم در هکتار از الگوی کاشت مخلوط نخودفرنگی + سیب‌زمینی به‌همراه کاربرد تلفیقی کود شیمیایی + کود زیستی به‌دست آمد (شکل ۲). نتیجه بررسی کشت مخلوط کلزا و نخودفرنگی توسط فلاح و همکاران (Fallah et al., 2014) نشان داد که کشت مخلوط نسبت به کشت خالص هر یک از دو گیاه از بسیاری جهات برتر بود. کشت مخلوط جو و نخودفرنگی باعث افزایش جذب نیتروژن، فسفر، پتاسیم و آهن توسط جو و جذب روی و منگنز توسط نخود فرنگی گردید (Corre-Hellou et al., 2016). پژوهش‌های بسیاری نشان داده‌اند که استفاده تلفیقی از کودهای زیستی و شیمیایی می‌تواند بهتر از کاربرد هر یک از آنها به‌تنهایی

عمل کند، به طوری که استفاده تلفیقی از این منابع، آثار زیان بار کاربرد کودهای شیمیایی را کاهش می دهد و نیز سبب افزایش عملکرد می شود.

نتیجه گیری کلی

در مجموع در پژوهش حاضر، کشت مخلوط سیب زمینی با لگوم (باقلا و نخودفرنگی) افزون بر ایجاد تنوع در بوم نظام های کشاورزی و همچنین ایجاد پایداری و ثبات تولید، می تواند در افزایش درآمد اقتصادی و بهره وری استفاده از زمین های کشاورزی به طور چشمگیری مؤثر باشد. عملکرد سیب زمینی، باقلا و نخودفرنگی در الگوی کشت مخلوط نسبت به کشت خالص برتری داشت. بیشترین عملکرد سیب زمینی در الگوی کشت، مربوط به کاشت مخلوط سیب زمینی + باقلا به ترتیب ۲۶۱۶۱ و ۳۴۴۰۹ کیلوگرم در هکتار در سال های اول و دوم کاشت به دست آمد. اثر نظام های کودی بر عملکرد غده سیب زمینی اثر بسیار معنی داری داشت. نتایج مقایسه میانگین داده ها نشان داد، کاربرد تلفیقی کود زیستی (ازتوباکتر) +

کود آلی (بیوجار) سبب افزایش عملکرد (به ترتیب ۲۹۷۷۲ و ۳۶۱۷۸ کیلوگرم در هکتار) در سال های اول و دوم آزمایش در سیب زمینی گردید. بیشترین صفات مربوط به باقلا نظیر تعداد دانه در غلاف، تعداد غلاف در بوته، طول غلاف و ارتفاع بوته و عملکرد غلاف سبز باقلا طی دو سال در الگوی کاشت مخلوط باقلا + سیب زمینی به دست آمد و بالاترین عملکرد غلاف سبز باقلا به ترتیب با ۲۰۸۰۴/۲ و ۲۲۸۰۱/۳ کیلوگرم در هکتار در نظام کودی کاربرد تلفیقی کود زیستی + کود آلی به دست آمد. همچنین، بیشینه عملکرد نخودفرنگی در سال اول و دوم به ترتیب به مقدار ۱۲۱۰۴/۲ و ۱۱۸۰۴/۲ کیلوگرم در هکتار از الگوی کاشت مخلوط نخودفرنگی + سیب زمینی به همراه کاربرد تلفیقی کود شیمیایی + کود زیستی به دست آمد. باتوجه به نتایج این آزمایش، کشت مخلوط و کاربرد تلفیقی کودها سبب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد هر سه گونه زراعی شد.

جدول ۱ - برخی پارامترهای هواشناسی در ایستگاه تحقیقات کشاورزی قراخیل در سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸

Table 1- Meteorological statistics of the growing season at the Agricultural Research Stations of Gharakhail in 2018 and 2019

سال Year	ماه Month	میانگین دما Mean temperature (°C)	بارش ماهانه Monthly precipitation (mm)	مجموع ساعات آفتابی در ماه Sum of monthly of sunny hours	رطوبت نسبی Relative humidity (%)	تبخیر ماهانه Monthly evaporation (mm)
2019-۱۳۹۸	آذر	12	66.3	94.7	83	25.2
2018-۱۳۹۷	Dec.-Jan.	10.6	43.7	137	81	33.7
2019-۱۳۹۸	دی	9.3	112.2	143.8	78	25
2018-۱۳۹۷	Jan.-Feb.	9.3	16.6	136.3	81	28.5
2019-۱۳۹۸	بهمن	9.3	116.9	141.3	81	35.6
2018-۱۳۹۷	Feb.-Mar.	8.7	110	170.5	76	36.5
2019-۱۳۹۸	اسفند	10.5	95.7	148.9	77	48.8
2018-۱۳۹۷	Mar.-Ap.	10.4	73.7	132.7	78	37.7
2019-۱۳۹۸	فروردین	14.1	82.5	140.8	83	70.6
2018-۱۳۹۷	Ap.-May.	13.6	81.6	124.6	81	62.6
2019-۱۳۹۸	اردیبهشت	19.8	50.3	203.9	77	108.3
2018-۱۳۹۷	May.-Jun.	19.3	35.9	169.9	78	115.2
2019-۱۳۹۸	خرداد	25.4	3	276.1	70	197.9
2018-۱۳۹۷	Jun.-jul.	25	11.4	278.8	72	183.7
2019-۱۳۹۸	تیر	27.2	58.6	191.6	77	151
2018-۱۳۹۷	Jul.-Aug.	26.9	41.2	270.8	73	177.8

جدول ۲ - مشخصات فیزیکوشیمیایی خاک تحت آزمایش در ایستگاه تحقیقات کشاورزی قراخیل در سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸

۱۳۹۸

Table 2- Soil physico-chemical characteristics at the agricultural research stations of Gharakhail in 2018 and 2019

سال زراعی	بافت خاک Soil texture	نیتروژن Nitrogen (%)	ماده آلی Organic Matter (%)	کربن آلی Organic Carbon (%)	پتاسیم قابل جذب Absorbable K (mg.kg ⁻¹)	فسفر قابل جذب Absorbable P (mg.kg ⁻¹)	هدایت الکتریکی EC (ds.m ⁻¹)	اسیدیته pH
۱۳۹۷ 2018	لومی Loam	0.163	2.24	1.30	193	11.1	0.68	7.6
۱۳۹۸ 2019	لومی Loam	0.160	2.20	1.28	118	13.3	0.58	7.80

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس صفات مربوط به سیب زمینی تحت تأثیر الگوی کشت و نظام‌های کودی طی دو سال
Table 3- Analysis of variance of potato traits as affected by planting pattern and fertilizer systems in two years

منبع تغییرات S. O. V.	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Square					
		ارتفاع بوته Plant height		تعداد غده در بوته Tuber number per plant		تعداد ساقه اصلی در بوته Number of main stems per plant	
		سال اول Year 1	سال دوم Year 2	سال اول Year 1	سال دوم Year 2	سال اول Year 1	سال دوم Year 2
تکرار Replication	2	135.76	81.44	6.12	10.53	2.68	2.47
الگوی کاشت Planting pattern	2	78.47**	148.01**	9.01*	10.50*	30.92**	22.61**
نظام‌های کودی Fertilizer systems	6	138.16**	174.94**	20.85**	19.40**	6.58**	6.38**
الگوی کاشت × نظام‌های کودی	12	14.88 ^{ns}	13.10 ^{ns}	0.81 ^{ns}	1.01 ^{ns}	0.36 ^{ns}	0.48 ^{ns}
Planting pattern × Fertilizer systems							
اشتباه Error	40	11.65	9.24	2.18	2.04	1.28	1.67
ضریب تغییرات (C.V. %)	-	8.63	8.28	13.92	11.61	21.49	24.71

^{ns} و *، ** به ترتیب بیانگر اختلاف غیرمعنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشد.

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

ادامه جدول ۳-

Table 3- Continued

منبع تغییرات S. O. V.	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Square			
		طول استولون Stolon length		عملکرد غده Tuber yield	
		سال اول Year 1	سال دوم Year 2	سال اول Year 1	سال دوم Year 2
تکرار Replication	2	33.30	3.20	58586426.3	311225316.9
الگوی کاشت Planting pattern	2	67.05**	26.51**	81091128.1*	159646901.1*
نظام‌های کودی Fertilizer systems	6	18.25*	45.51**	143517014.2**	154420279.0**
الگوی کاشت × نظام‌های کودی	12	0.75 ^{ns}	3.94 ^{ns}	11753376.4 ^{ns}	10392885.9 ^{ns}
Planting pattern × Fertilizer systems					
اشتباه Error	40	5.97	4.96	18368998	45381303
ضریب تغییرات (C.V. %)	-	23.82	22.25	17.58	21.34

^{ns} و *، ** به ترتیب بیانگر اختلاف غیرمعنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشد.

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

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات سیب‌زمینی طبق الگوی کشت و نظام کودی طی دو سال

Table 4- Mean comparison of potato trait as affected by planting pattern & fertilizer system in 2 years

تیمار Treatment	ارتفاع بوته Plant height (cm)		تعداد غده در بوته Tuber number per plant		تعداد ساقه اصلی در بوته Number of main stems per plant	
	سال اول Year 1	سال دوم Year 2	سال اول Year 1	سال دوم Year 2	سال اول Year 1	سال دوم Year 2
	Year 1	Year 2	Year 1	Year 2	Year 1	Year 2
الگوی کاشت Planting pattern						
خالص سیب‌زمینی Sole potato	37.42 ^b	33.66 ^b	10.12 ^b	11.83 ^b	6.66 ^a	6.42 ^a
مخلوط سیب‌زمینی + باقلا Potato+ faba bean intercropping	39.90 ^a	37.71 ^a	11.37 ^a	13.12 ^a	4.47 ^b	4.52 ^b
مخلوط سیب‌زمینی + نخودفرنگی Potato+ pea intercropping	41.23 ^a	38.66 ^a	10.39 ^b	11.98 ^b	4.66 ^b	4.76 ^b
نظام‌های کودی Fertilizer systems						
عدم کاربرد کود Control	33.88 ^e	29.66 ^e	9.07 ^{cd}	10.14 ^c	3.77 ^c	3.88 ^c
ازتوباکتر Azetobacter	41.33 ^{bc}	36.77 ^{bc}	10.31 ^{bc}	12.31 ^b	5.11 ^b	5 ^{bc}
بیوچار Biochar	39.77 ^{bc}	38.88 ^b	10.71 ^b	12.70 ^b	5.55 ^{ab}	5.33 ^{ab}
کود شیمیایی Chemical fertilizer	35.66 ^{de}	33.11 ^d	8.75 ^d	9.86 ^c	5 ^b	4.77 ^{bc}
ازتوباکتر + بیوچار Azetobacter + Biochar	45.38 ^a	39.44 ^b	12.80 ^a	14.41 ^a	6.44 ^a	6.55 ^a
ازتوباکتر + کود شیمیایی Azetobacter + Chemical fertilizer	38.50 ^{cd}	35.77 ^{cd}	10.36 ^{bc}	14.40 ^a	5 ^b	5.22 ^b
کود شیمیایی + بیوچار Chemical fertilizer+ Biochar	42.11 ^b	43.11 ^a	12.38 ^a	12.36 ^b	6 ^{ab}	5.88 ^{ab}

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر در سطح احتمالی ۵ درصد ندارند.

Means by the uncommon letter in each column are significantly ($p \leq 0.05$) different.

ادامه جدول ۴ -

Table 4- Continued

تیمار Treatment	طول استولون Stolon length (cm)		عملکرد غده Tuber yield (kg.ha ⁻¹)	
	سال اول Year1	سال دوم Year2	سال اول Year1	سال دوم Year2
	Year1	Year2	Year1	Year2
الگوی کاشت Planting pattern				
خالص سیب‌زمینی Sole potato	8.19 ^b	8.71 ^b	22267 ^b	28905 ^b
مخلوط سیب‌زمینی + باقلا Potato+ faba bean intercropping	11.30 ^a	10.78 ^a	26161 ^a	34409 ^a
مخلوط سیب‌زمینی + نخودفرنگی Potato+ pea intercropping	11.27 ^a	10.52 ^a	24675 ^{ab}	31354 ^{ab}
نظام‌های کودی Fertilizer systems				
عدم کاربرد کود Control	7.66 ^c	6.67 ^e	19008 ^d	23918 ^c
ازتوباکتر Azetobacter	9.45 ^{bc}	8.40 ^{de}	22209 ^{cd}	30854 ^{ab}
بیوچار Biochar	10.75 ^{ab}	10.58 ^{bc}	20488 ^{cd}	33763 ^{ab}
کود شیمیایی Chemical fertilizer	10.38 ^{ab}	8.81 ^{cd}	24362 ^{bc}	29172 ^{bc}
ازتوباکتر + بیوچار Azetobacter + Biochar	12.22 ^a	13.61 ^a	29772 ^a	36178 ^a
ازتوباکتر + کود شیمیایی Azetobacter + Chemical fertilizer	11.10 ^{ab}	11.05 ^b	27225 ^{ab}	31987 ^{ab}
کود شیمیایی + بیوچار Chemical fertilizer+ Biochar	10.22 ^{ab}	10.91 ^{bc}	27510 ^{ab}	35020 ^{ab}

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر در سطح احتمالی ۵ درصد ندارند.

Means by the uncommon letter in each column are significantly ($p \leq 0.05$) different.

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس صفات مربوط به باقلا تحت تأثیر الگوی کشت و نظام‌های کودی طی دو سال
Table 5 - Analysis of variance of faba bean traits as affected by planting pattern and fertilizer systems in two years

منبع تغییرات S. O. V.	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Square					
		ارتفاع بوته Plant height		طول غلاف Pod length		تعداد غلاف در بوته Pod number per plant	
		سال اول Year 1	سال دوم Year 2	سال اول Year 1	سال دوم Year 2	سال اول Year 1	سال دوم Year 2
تکرار Replication	2	1.61	138.13	0.61	0.60	7.31	25.99
الگوی کاشت Planting pattern	1	62.90*	1061.02**	2.82 ^{ns}	3.04 ^{ns}	67.33**	28.17*
نظام‌های کودی Fertilizer systems	6	83.21**	251.46**	3.98 ^{ns}	4.55 ^{ns}	22.87**	29.17**
الگوی کاشت × نظام‌های کودی Planting pattern × Fertilizer systems	6	2.51 ^{ns}	74.20 ^{ns}	1.90 ^{ns}	2.16 ^{ns}	0.32 ^{ns}	3.33 ^{ns}
اشتباه Error	26	13.25	38.20	4.39	2.42	5.07	4.84
ضریب تغییرات (%) C.V.	-	4.42	8.73	14.58	9.90	17.53	18.25

^{ns} و *، ** به ترتیب بیانگر اختلاف غیرمعنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشد.

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

**ادامه جدول ۵-
Table 5- Continued**

منبع تغییرات S. O. V.	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Square			
		تعداد دانه در غلاف Seed number per pod		عملکرد غلاف Pod yield	
		سال اول Year 1	سال دوم Year 2	سال اول Year 1	سال دوم Year 2
تکرار Replication	2	0.08	0.06	673585.3	598769.83
الگوی کاشت Planting pattern	1	12.05**	2.05**	95144595.5**	18287940.72**
نظام‌های کودی Fertilizer systems	6	2.87**	2.71**	17311788.0**	10044218.55**
الگوی کاشت × نظام‌های کودی Planting pattern × Fertilizer systems	6	0.25 ^{ns}	0.05 ^{ns}	3007598.9*	2775541.35*
اشتباه Error	26	0.33	0.24	1036441.9	1077677.7
ضریب تغییرات (%) C.V.	-	13.24	10.38	6.02	5.11

^{ns} و *، ** به ترتیب بیانگر اختلاف غیرمعنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشد.

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

جدول ۶- مقایسه میانگین صفات باقلا طبق الگوی کشت و نظام‌های کودی طی دو سال

Table 6- Mean comparisons of faba bean traits as affected by planting pattern and fertilizer in two years systems

تیمار Treatment	ارتفاع بوته Plant height (cm)		طول غلاف Pod length (cm)	
	سال اول Year 1	سال دوم Year 2	سال اول Year 1	سال دوم Year 2
الگوی کاشت Planting pattern				
خالص باقلا Sole faba bean	81.15 ^b	65.70 ^b	14.10 ^a	15.44 ^a
مخلوط سیب‌زمینی + باقلا Potato+ faba bean intercropping	83.60 ^a	75.75 ^a	14.62 ^a	15.98 ^a
نظام‌های کودی Fertilizer systems				
عدم کاربرد کود Control	75.73 ^c	61.28 ^c	12.93 ^b	14.31 ^b
ازتوباکتر Azetobacter	80.63 ^b	69.68 ^b	14.46 ^{ab}	15.71 ^{ab}
بیوچار Biochar	81.91 ^b	69.88 ^b	14.46 ^{ab}	15.18 ^b
کود شیمیایی Chemical fertilizer	82.03 ^b	68.46 ^{bc}	13.95 ^{ab}	15.66 ^{ab}
ازتوباکتر + بیوچار Azetobacter + Biochar	84.83 ^{ab}	75.26 ^{ab}	15.45 ^a	17.18 ^a
ازتوباکتر + کود شیمیایی Azetobacter + Chemical fertilizer	87.61 ^a	82.10 ^a	15.10 ^{ab}	16.08 ^{ab}
کود شیمیایی + بیوچار Chemical fertilizer+ Biochar	83.86 ^{ab}	68.40 ^{bc}	14.21 ^{ab}	15.86 ^{ab}

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر در سطح احتمالی ۵ درصد ندارند.

Means by the uncommon letter in each column are significantly ($p \leq 0.05$) different.

ادامه جدول ۶-

Table 6- Continued

تیمار Treatment	تعداد غلاف در بوته Pod number per plant		تعداد دانه در غلاف Seed number per pod	
	سال اول Year 1	سال دوم Year 2	سال اول Year 1	سال دوم Year 2
الگوی کاشت Planting pattern				
خالص باقلا Sole faba bean	11.58 ^b	11.23 ^b	3.83 ^b	4.50 ^b
مخلوط سیب‌زمینی + باقلا Potato+ faba bean intercropping	14.11 ^a	12.87 ^a	4.90 ^a	4.94 ^a
نظام‌های کودی Fertilizer systems				
عدم کاربرد کود Control	10.46 ^d	8.87 ^c	3.63 ^d	3.78 ^e
ازتوباکتر Azetobacter	11.75 ^{cd}	10.73 ^{bc}	4.28 ^{cd}	4.43 ^{cd}
بیوچار Biochar	11.87 ^{cd}	10.09 ^c	3.81 ^{cd}	4.30 ^{de}
کود شیمیایی Chemical fertilizer	11.82 ^{cd}	12.77 ^{ab}	3.85 ^{cd}	4.55 ^{cd}
ازتوباکتر + بیوچار Azetobacter + Biochar	14.70 ^{ab}	14.10 ^a	5.51 ^a	5.85 ^a
ازتوباکتر + کود شیمیایی Azetobacter + Chemical fertilizer	16.06 ^a	14.88 ^a	4.50 ^{bc}	4.93 ^{bc}
کود شیمیایی + بیوچار Chemical fertilizer+ Biochar	13.26 ^{bc}	12.91 ^{ab}	5.01 ^{ab}	5.20 ^b

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر در سطح احتمالی ۵ درصد ندارند.

Means by the uncommon letter in each column are significantly ($p \leq 0.05$) different.

جدول ۷- نتایج تجزیه واریانس صفات مربوط به نخودفرنگی تحت تأثیر الگوی کشت و نظام‌های کودی طی دو سال

Table 7- Analysis of variance of pea traits as affected by planting pattern and fertilizer systems in two years

منبع تغییرات S. O. V.	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Square					
		ارتفاع بوته Plant height		طول غلاف Pod length		تعداد غلاف در بوته Pod number per plant	
		سال اول Year 1	سال دوم Year 2	سال اول Year 1	سال دوم Year 2	سال اول Year 1	سال دوم Year 2
تکرار Replication	2	214.30	18.00	0.89	0.11	10.32	22.11
الگوی کاشت Planting pattern	1	415.10*	357.29*	0.06 ^{ns}	0.004 ^{ns}	20.58**	18.76**
نظام‌های کودی Fertilizer systems	6	406.48**	439.22**	1.09**	1.25*	5.96**	7.48**
الگوی کاشت × نظام‌های کودی Planting pattern × Fertilizer systems	6	11.24 ^{ns}	6.71 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.12 ^{ns}	0.78 ^{ns}	0.32 ^{ns}
اشتباه Error	26	82.84	74.72	0.23	0.39	0.71	1.06
ضریب تغییرات (C.V. %)	-	11.86	11.11	6.03	7.89	9.003	9.12

^{ns} و *، ** به ترتیب بیانگر اختلاف غیرمعنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشد.

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

ادامه جدول ۷-

Table 7- Continued

منبع تغییرات S. O. V.	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Square			
		تعداد دانه در غلاف Seed number per pod		عملکرد غلاف Pod yield	
		سال اول Year 1	سال دوم Year 2	سال اول Year 1	سال دوم Year 2
تکرار Replication	2	0.56	2.20	960015.5	333763.87
الگوی کاشت Planting pattern	1	10.63**	13.24**	38850372.1**	17634024.05**
نظام‌های کودی Fertilizer systems	6	1.40**	2.88**	22982938.3**	13556974.50**
الگوی کاشت × نظام‌های کودی Planting pattern × Fertilizer systems	6	0.16 ^{ns}	0.19 ^{ns}	2844774.2**	2299805.23*
اشتباه Error	26	0.34	0.37	702582.4	834120.5
ضریب تغییرات (C.V. %)	-	9.57	9.23	9.74	9.79

^{ns} و *، ** به ترتیب بیانگر اختلاف غیرمعنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشد.

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

جدول ۸- مقایسه میانگین صفات مربوط به نخودفرنگیتحت تاثیر الگوی کشت و نظام‌های کودی طی دو سال
Table 6- Mean comparisons of pea traits as affected by planting pattern and fertilizer in two years systems

تیمار Treatment	ارتفاع بوته Plant height (cm)		طول غلاف Pod length (cm)	
	سال اول Year 1	سال دوم Year 2	سال اول Year 1	سال دوم Year 2
الگوی کاشت Planting pattern				
خالص باقلا Sole faba bean	73.59 ^b	74.87 ^b	8.05 ^a	7.91 ^a
مخلوط سیب‌زمینی + باقلا Potato+ faba bean intercropping	79.87 ^a	80.71 ^a	8.13 ^a	7.94 ^a
نظام‌های کودی Fertilizer systems				
عدم کاربرد کود Control	64.96 ^c	65.36 ^d	7.33 ^c	7.22 ^c
ازتوباکتر Azetobacter	69.30 ^c	72.15 ^{cd}	8.09 ^{ab}	7.66 ^{bc}
بیوچار Biochar	74.10 ^{bc}	73.93 ^{cd}	7.80 ^{bc}	7.59 ^{bc}
کود شیمیایی Chemical fertilizer	74.98 ^{bc}	76.71 ^{bc}	8.49 ^a	8.29 ^{ab}
ازتوباکتر + بیوچار Azetobacter + Biochar	83.75 ^{ab}	85.55 ^{ab}	8.31 ^{ab}	8 ^{ab}
ازتوباکتر + کود شیمیایی Azetobacter + Chemical fertilizer	87.86 ^a	90.91 ^a	8.56 ^a	8.52 ^a
کود شیمیایی + بیوچار Chemical fertilizer+ Biochar	82.17 ^{ab}	79.91 ^{bc}	8.05 ^{ab}	8.20 ^{ab}

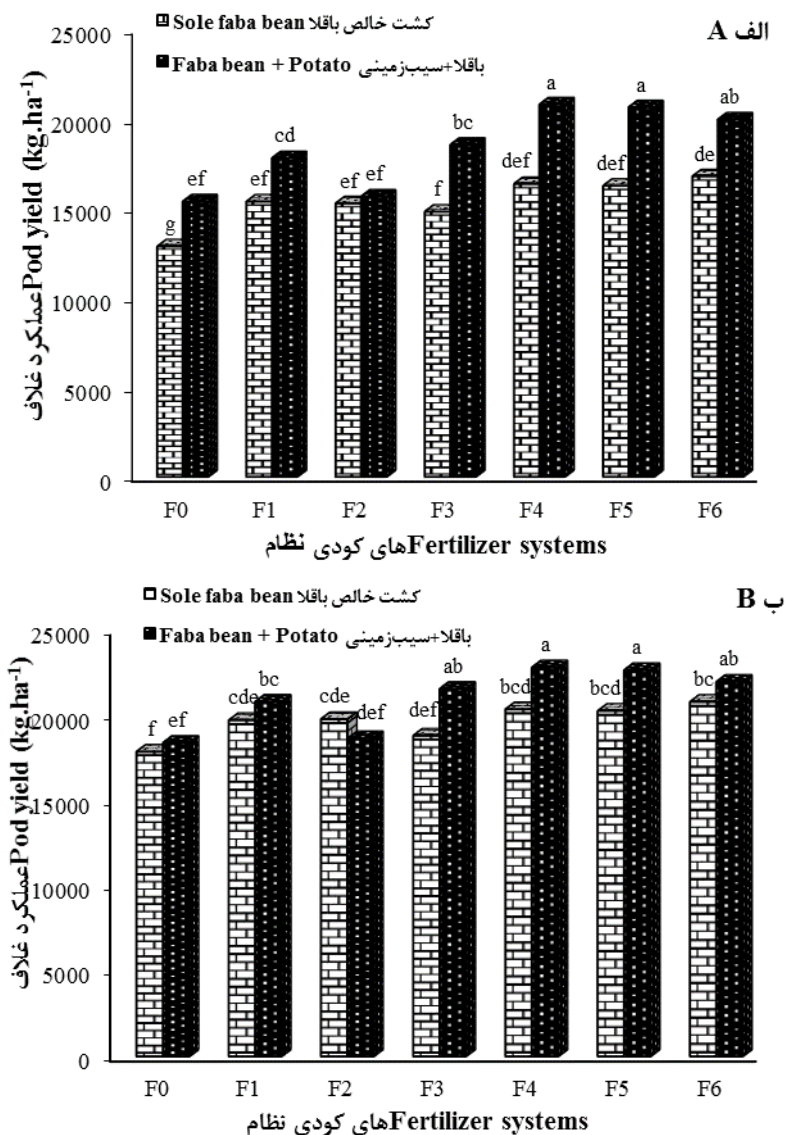
در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر در سطح احتمالی ۵ درصد ندارند.
 Means by the uncommon letter in each column are significantly ($p \leq 0.05$) different.

ادامه جدول ۸-
Table 8- Continued

تیمار Treatment	تعداد غلاف در بوته Pod number per plant		تعداد دانه در غلاف Seed number per pod	
	سال اول Year 1	سال دوم Year 2	سال اول Year 1	سال دوم Year 2
الگوی کاشت Planting pattern				
خالص باقلا Sole faba bean	8.66 ^b	10.63 ^b	5.65 ^b	6.03 ^b
مخلوط سیب‌زمینی + باقلا Potato+ faba bean intercropping	10.06 ^a	11.97 ^a	6.66 ^a	7.15 ^a
نظام‌های کودی Fertilizer systems				
عدم کاربرد کود Control	7.65 ^d	9.45 ^c	5.31 ^c	5.19 ^c
ازتوباکتر Azetobacter	8.70 ^c	10.72 ^b	6.05 ^b	6.45 ^b
بیوچار Biochar	9.18 ^{bc}	11.10 ^b	5.92 ^{bc}	6.60 ^b
کود شیمیایی Chemical fertilizer	9.65 ^{bc}	11.45 ^b	6.37 ^{ab}	6.73 ^{ab}
ازتوباکتر + بیوچار Azetobacter + Biochar	9.90 ^{ab}	11.36 ^b	6.50 ^{ab}	6.71 ^{ab}
ازتوباکتر + کود شیمیایی Azetobacter + Chemical fertilizer	10.81 ^a	13.12 ^a	6.84 ^a	7.42 ^a
کود شیمیایی + بیوچار Chemical fertilizer+ Biochar	9.63 ^{bc}	11.88 ^b	6.11 ^b	7.04 ^{ab}

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر در سطح احتمالی ۵ درصد ندارند.
 Means by the uncommon letter in each column are significantly ($p \leq 0.05$) different.

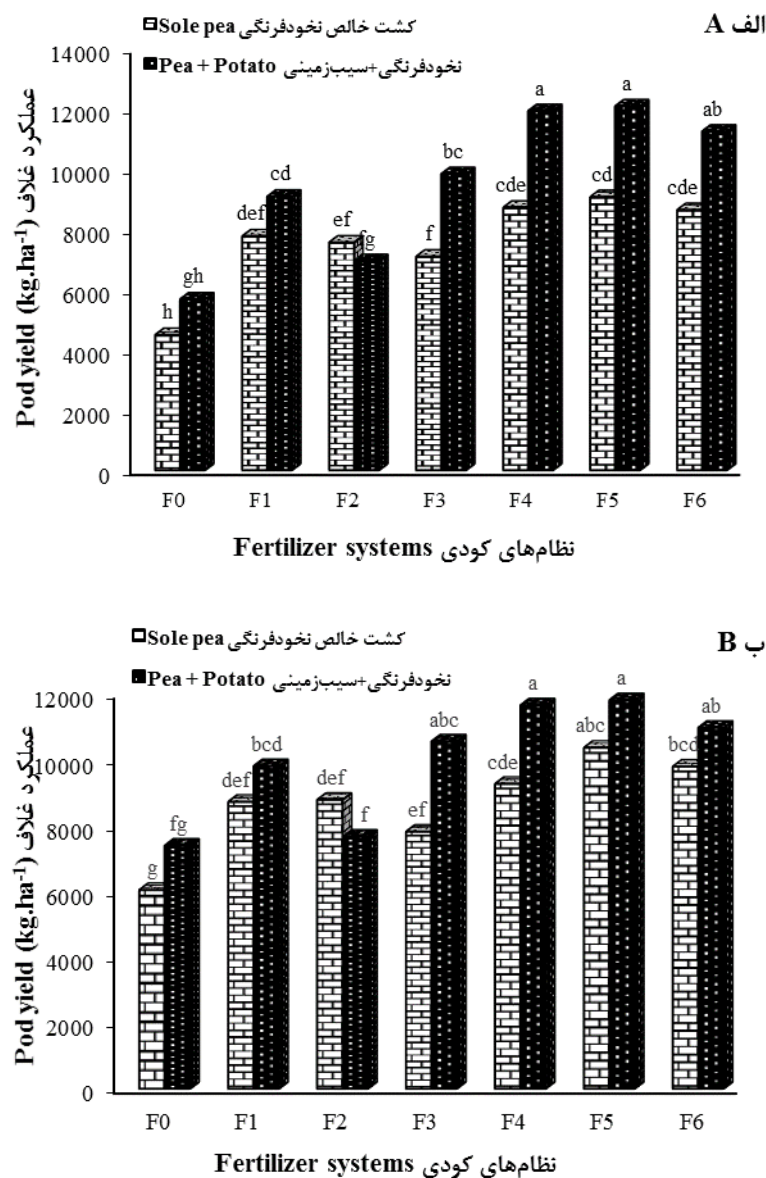
شکل ۱- تاثیر الگوی کشت و نظام‌های کودی در سال اول (الف) و سال دوم (ب) بر عملکرد غلاف باقلا
Figure 1- The effect of planting pattern and fertilizer systems in first year (A) and second year (B) on pod yield of faba bean



میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.
 Means in each column were compared at 5% level of probability according to LSD test.

F0: شاهد، F1: ازتوباکتر، F2: بیوچار، F3: کود شیمیایی، F4: ازتوباکتر + بیوچار، F5: ازتوباکتر + کود شیمیایی، F6: کود شیمیایی + بیوچار
 F0: Control, F1: Azetobacter, F2: Biochar, F3: Chemical fertilizer, F4: Azetobacter + Biochar, F5: Azetobacter + Chemical fertilizer, F6: Chemical fertilizer+ Biochar

شکل ۲- تاثیر الگوی کشت و نظام‌های کودی در سال اول (الف) و سال دوم (ب) بر عملکرد غلاف نخودفرنگی
Figure 2- The effect of planting pattern and fertilizer systems in first year (A) and second year (B) on pod yield of pea



میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.
 Means in each column were compared at 5% level of probability according to LSD test.

F₀: شاهد، F₁: ازتوباکتر، F₂: بیوچار، F₃: کود شیمیایی، F₄: ازتوباکتر + بیوچار، F₅: ازتوباکتر + کود شیمیایی، F₆: کود شیمیایی + بیوچار
 F₀: Control, F₁: Azetobacter, F₂: Biochar, F₃: Chemical fertilizer, F₄: Azetobacter + Biochar, F₅: Azetobacter + Chemical fertilizer, F₆: Chemical fertilizer+ Biochar

References

منابع مورد استفاده

- Abayomi, Y.A. 2000. Influence of height of maize variety on the productivity of intercropped maize (*Zea mays* L.) and cowpea (*Vigna unguiculata* L.). *Ghana Journal of Agricultural Science*. 33 (2):199-206.
- Agegnehu, G., A. Ghizaw, and W. Sinebo. 2006. Yield performance and land-use efficiency of barley and faba bean mixed cropping in Ethiopian highlands. *European Journal of Agronomy*. 22: 202-207.
- Alam, M.N., M.S. Jahan., M.K. Ali., M.A. Ashraf, and M.K. Islam. 2007. Effect of Vermicompost and chemical Fertilizers on Growth, Yield and Yield Components of Potato in Baring Soils of Bangladesh. *Journal of Applied Sciences Research*. 3(12): 1897-1888.
- Amirmardfar, A., A. Dabbagh Mohammadi Nasab, Y. Raei., S. Khaghaninia, and S. Amini Tabataba Vakili. 2015. Evaluation of yield and yield components of oil seed rape in the wheat-oil seed rape strip intercropping influenced by chemical and biological fertilizers. *Journal of Crop Ecophysiology*. 8(4): 437-450. (In Persian).
- Aseretal, G.K. 2008. Biofertilizers improve plant growth, fruit yield, nutrition, and metabolism and rhizosphere enzyme activities of Pomegranate (*Punica granatum* L.). *Bioresource Technology*. 97(6): 98-109.
- Atiyeh, R.M., N.Q. Arancon, C.A. Edwards, and J.D. Metzger. 2000. Influences of earthworm-processed pig manure on the growth and yield of greenhouse tomatoes. *Bio Resource Technology*. 526-542.
- Azadi, S., S.A. Siyadat, R. Naseri, A. Soleimani Fard, and A. Mirzaei. 2013. Effect of integrated application of Azotobacter chroococcum and Azospirillum brasilense and nitrogen chemical fertilizers on qualitative and quantitative of durum wheat. *Journal of Crop Ecophysiology*. 7(2): 129-146. (In Persian)
- Azisi, K.K., D.H. Putnam., C.P. Vance., M.P. Russelle, and D.L. Allen. 1999. Strip intercropping and nitrogen effect on seed, oil and protein yields of canola and soybean. *Journal of Agronomi*. 89:23-39. (In Persian)
- Bakheit, B.R., and A.Y. Glala. 2014. Intercropping fababean with some legumes crops for control Orobanch crenata. *Acta Agronomy Hungar*. 50(1): 1-60.
- Bedoussac, L., and E. Justes. 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 intercropping. *Plant and Soil Journal*. 330: 37-54.
- Chalk, M., and J. Smith. 2017. 15N methodologies for estimating the transfer of N from legumes to non-legumes in crop sequences. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 107: 279-301.
- Corre-Hellou, G., J. Fustec, and Y. Crozat. 2016. Interspecific competition for soil N and its interaction with N₂ fixation, leaf expansion and crop growth in pea-barley intercrops. *Plant and Soil Journal*. 282 (1): 195-208.
- Echarte, L., A. Della Mggiora, D. Cerrudo, V.H. Gonzalez, P. Abbate, A. Cerrudo, V.O. Sadras, and P. Calvino. 2011. Yield response to plant density of maize and sunflower intercropped with soybean. *Field crop research Journal*. 121: 423-429.
- Fallah, A., M. Abdi Najad Kshtly, and H. Elyasi. 2014. Evaluation effects of different temperature levels and duration on seedling growth of five rice varieties. *New Finding in Agriculture*. 7(2): 149-159.

- Farquharson, R.J., G.D. Schwenke, and J.D. Mullen. 2003. Should we manage soil organic carbon in vertisols in the northern region of Australia?. *Australian Journal of Experimental Agronomy*. 43: 261-270.
- Farrell, M., G. Rangott, and E. Krull. 2013. Difficulties in using soil-based methods to assess plant availability of potentially toxic elements in biochars and their feedstocks. *Journal of Hazardous Materials*. 250: 29-36.
- Fernie, A.R., and L. Willmitzer. 2001. Molecular and biochemical triggers of tuber development. *Plant Physiology*. 127: 1459-1465.
- Gao, Y., A. Duan, J. Sun, F. Li, H. Liu, and Z. Liu. 2009. Crop coefficient and water-use efficiency of winter wheat/spring maize strip intercropping. *Field Crops Research J*. 111: 65-73.
- Gao, Y., A. Duana, X. Qiua, Z. Liua, J. Suna, J. Zhang, and H. Wanga. 2010. Distribution of roots and root length density in a maize/soybean strip intercropping system. *Agricultural Water Management J*. 98: 199-212.
- Hamzei, J. 2012. Evaluation of yield, SPAD index, landuse efficiency and system productivity index of barley (*Hordeum vulgare* L.) intercropped with bitter vetch (*Vicia ervilia* L.). *Journal of Crop Production and Processing*. 2(4): 79-92. (In Persian).
- Hamzei, J., and M. Babaei. 2015. Study of canopy growth indices in mono and intercropping of chickpea and barley under weed competition. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*. 24(4): 75-90. (In Persian).
- Hassanpanah, D., and H. Hassanabadi. 2011. Quantitative and qualitative characteristics of advanced potato clones in Ardabil region. *Journal of Modern Sustainable Agriculture Knowledge*. 1: 37-48. (In Persian).
- Hauggaard-Nielsen, H., M. Gooding, P. Ambus, G. Corre-Hellou, Y. Crozat, C. Dahlmann, A. Dibet, P. Fragstein, A. Pristeri, M. Monti, and E.S. Jensen. 2009. Pea-barley intercropping for efficient symbiotic N₂-fixation, soil N acquisition and use of other nutrients in European organic cropping systems. *Field Crops Research Journal*. 113: 64-71.
- Jahansooz, M.R., I.A.M. Yunusa, D.R. Coventry, A.R. Palmer, and D. Eamus. 2007. Radiation-and water-use associated with growth and yields of wheat and chickpea in sole and mixed crops. *European Journal of Agronomy*. 26 (3): 275-282
- Jamshidi, K., D. Mazaheri, and J. Saba. 2008. An evaluation of yield in intercropping of maize and potato. *Desert*. 12: 105-111. (In Persian).
- Latati, M., A. Bargaz., B. Belarbi, and M. Lazali. 2016. The intercropping common bean with maize improves the rhizobial efficiency, resource use and grain yield under low phosphorus availability. *European Journal of Agronomy*. 72: 80-90.
- Lehmann, J., C. Czimnik., B. Laird, and S. Sohi. 2009. Biochar for Environmental Management. Science, Technology and Implementation. London: Earthscan, pp: 183-264.
- Li, W., L. Li, J. Sun, T. Guo, F. Zhang, X. Bao, A. Peng, and C. Tang. 2005. Effects of intercropping and nitrogen application on nitrate present in the profile of an Orthic Anthrosol in Northwest China. *Agriculture Ecosystem and Environment Journal*. 105: 483-491.

- Monti, M., A. Pellicano., C. Santonoceto., G. Preiti, and A. Pristeri. 2016. Yield components and nitrogen use in cereal- pea intercrops in Mediterranean environment. *Field Crops Research Journal*. 196: 379-388.
- Mutungamiri, A., I.K. Margia, and O.A. Chivinge. 2001. Evaluation of maize (*Zea mays* L.) cultivars and density for dryland maize-bean intercropping. *Tropical Agricultural*. 78(1): 8-12.
- Nagananda, G.S., A. Das, S. Bhattacharya, and T. Kalpana. 2010. In vitro studies on the effects of bio-fertilizers (Azotobacter and Rhizobium) on seed germination and development of *Trigonella foenum-graecum* L. using a novel glass marble containing liquid medium. *International Journal of Botany*. 6: 394-403.
- Nakhzari Moghaddam, A., M. Salehi Sheikhi., A. Rahemi Karizaki, and M. Mohammad Esmaili. 2019. Investigating the yield and seed protein of pea cultivars, total yield, and LER, intercropped with spinach. *Journal of Crops Improvment*. 21(4): 435-445. (In Persian)
- Narula, R., and J.H. Dunning. 2007. Industrial development, globalization and multinational enterprises: new realities for developing countries. *Oxford Development Studies*. 28 (2): 141-167.
- Nasiri Mahallati, M., A. Koocheki, F. Mondani, Sh. Amirmoradim, and H. Feizi. 2015. Evaluation of maize (*Zea mays* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.) growth indices in strip intercropping. *Iranian Journal of Field Crops Research*. 13(1): 14-23. (In Persian).
- Pereyra, C.M., N.A. Ramella, M.A. Pereyra, C.A. Barassi, and C.M. Creus. 2010. Changes in cucumber hypocotyl cell wall dynamics caused by Azospirillum brasilense inoculation. *Plant Physiology and Biochemistry Journal*. 48: 62-69.
- Porte, D., S.B. Gupta, A.K. Singh, T. Chowhury, D. Dash, and R. Soni. 2017. Evaluation of non-symbiotic nitrogen fixing bacterial influence on rhizobium nodulation behaviour in bacterial consortia. *International Journal of Crop Research*. 5(4): 1598-1602.
- Rezaei Chianeh, E., A. Dabbagh Mohammadi Nassab, M.R. Shakiba, K. Ghassemi Golezan., S. Aharizad, and F. Shekari. 2011. Intercropping of maize (*Zea mays* L.) and faba bean (*Vicia faba* L.) in different plant population densities. *African Journal Agriculture Research*. 6(7): 1786-1793.
- Sakhavi, S., R. Amini, M.R. Shakiba, and A. Dabbagh Mohammadi-Nasab. 2017. Effect of bio- and chemical fertilizers on grain and essential oil yield of cumin (*Cuminum cyminum* L.) in intercropping with faba bean (*Vicia faba* L.). *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*. 27(2): 49-63. (In Persian).
- Seyedi, M., J. Hamzei, G. Ahmadvand, and M.A. Abutalebian. 2012. The evaluation of weed suppression and crop production in barley-chickpea intercrops. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*. 22(3): 101-115.
- Singh, S., and K.K. Kapoor. 1998. Effects of inoculation of phosphatesolubilizing microorganisms and an arbuscular mycorrhizal fungus on mungbean grown under natural soil conditions. *Mycorrhiza*. 7: 249-253.
- Skinner, F.A., R.M. Boddey, and F. Ferninik. 1987. Nitrogen fixation with non-legumes. Kluwer Academic Publishers, Netherlands. Pp 230.
- Sharma, A.K. 2003. Biofertilizer for sustainable agriculture. Agrobios Publication, India.

- Stoltz, E., and E. Nadeau. 2014. Effects of intercropping on yield, weed incidence, forage quality and soil residual N in organically grown forage maize (*Zea mays* L.) and faba bean (*Vicia faba* L.). *Field Crops Research Journal*. 169: 21-29.
- Sullivan, P. 2003. Applying the principle of sustainable farming ATTRA national sustainable agriculture information service. Tehran Jihad Daneshgahi Press. 45 pp. (In Persian).
- Trydemanknudsen, E., K. Marsal, and D. Ley. 2007. Cognitive function in young adults following intrauterine growth restriction with abnormal fetal aortic blood flow. *Ultrasound Obstet Gynecol*. 29(6): 614-618.
- Tuna, C., and A. Orak. 2007. The role of intercropping on yield potential of Common vetch/oat cultivated in pure stand and mixtures. *Journal of Agricultural and Biological Science*. 2: 14-19.
- Vandermeer, J. 1990. The Ecology of Intercropping. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 237.
- Vessey, J.K. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizer. *Plant and Soil Journal*. 255: 571-86.
- Welbaum, G.E., A.V. Sturz., Z. Dong, and J. Nowak. 2004. Managing soil microorganisms to improve productivity of agro-ecosystems. *Critical Reviews in Plant Science*. 23: 175-193.
- Yasari, E., and A.M. Patwardhan. 2007. Effects of Azotobacter and Azospirillum inoculations and chemical fertilizers on growth and productivity of canola. *Asian Journal of Plant Science*. 6: 77-82.
- Zaller, B.Z. 2007. Vermicomposting as a substitute for peat in potting media: Effect on germination, biomass allocation, yields and fruit quality of three tomato varieties. *Science Horticulture*. 112: 191-199.

Research Article

DOI:

Response of Intercropping of Potato (*Solanum tuberosum* L.) with Faba Bean (*Vicia faba* L.) and Pea (*Pisum sativum* L.) under Different Fertilizer Systems

R. Sarparast¹, F. Zaefarian^{2*}, H. Pirdashti³ and M. Mahmoudi⁴

Received: June 2022, Revised: 29 April 2023, Accepted: 6 August 2023

Abstract

In order to evaluate of yield and its components in the monocropping and intercropping of potato with faba beans and peas under the application of biofertilizers, organic and chemical fertilizers, a two-year field experiment (years 2018 and 2019) was carried out as a factorial based on RCB design with three repetitions at Gharakhil Agricultural Research Station. Treatments include different cultivation patterns (potato, faba bean and pea monocropping and intercropping of potato+faba bean and potato+pea) and the second factor was the application of fertilizer systems at seven levels including no fertilizer, application of Azotobacter as a biofertilizer, biochar as a organic fertilizer and urea as a chemical fertilizer, integrated application of 50% Azotobacter biofertilizer + 50% organic fertilizer, integrated application of 50% Azotobacter biofertilizer + 50% chemical fertilizer and integrated application of 50% chemical fertilizer + 50% organic fertilizer. Yields of potatoes, faba beans and peas in intercropping were superior to that of monocropping. Fertilizer systems had a very significant effect on potato tuber yields in two years of experiment, when the results of the mean comparison showed that the integrated application of biofertilizer + organic fertilizer caused increasing potato yield (29772 and 36178 kg.ha⁻¹, respectively) in the first and second years of the experiment. The most traits attributed to faba beans such as the number of seeds in a pod, number of pods in a plant, length of pods, plant height and the yield of green pods of faba beans were obtained in the planting pattern of intercropping of faba beans + potatoes during two years. In addition, the results showed that in the first and second year, the highest yield of green bean pods (20804.2 and 22801.3 kg.ha⁻¹, respectively) was obtained in integrated application of biological fertilizer + organic fertilizer and the highest pea yields in the first and second year (12104.6 and 11806.3 kg.ha⁻¹, respectively) were obtained from the intercropping planting pattern of peas + potatoes along with the integrated application of chemical fertilizer + biological fertilizer. According to the results of this experiment, intercropping and integrated application of fertilizer increases the yield and yield components of all three agricultural species.

Key words: Azotobacter, Biochar, Yield, Biodiversity.

1- Ph.D. student of Agronomy, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

2- Professor of Agronomy, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

3- Professor of Agronomy, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

4- Research Assistant Professor, Soil and Water Research Department, Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Sari, Iran.

*Corresponding Authors: fa_zaefarian@yahoo.com