نشریه علمی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد هفدهم، شماره ۳(۶۷)، پاییز ۱۴۰۲، صفحه ۲۹۶-۲۷۵

مقاله پژوهشی DOI:

کشت مخلوط ذرت- بادام‌زمینی تحت تلقیح با ازتوباکتر کروکوکوم (*Azotobacter chroococcum*)

سیاوش پورجانی[۱]، هاشم امین‌پناه[۲*] و محمدنقی صفرزاد ویشکایی[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۶/۲۰ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۲/۶

چکیده

استفاده از کشت مخلوط و باکتری‌های محرک رشد گیاه منجر به افزایش پایداری نظام‌های کشاورزی می‌گردد. به‌منظور بررسی اثر ازتوباکتر بر عملکرد بادام‌زمینی و ذرت در کشت مخلوط، یک آزمایش دو ساله به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در آستانه اشرفیه، استان گیلان، انجام شد. عامل اول شامل باکتری ازتوباکتر کروکوکوم (تلقیح و عدم تلقیح) و عامل دوم شامل الگوی کشت مخلوط در ۸ سطح شامل کشت خالص ذرت، کشت خالص بادام‌زمینی، الگوهای کشت مخلوط افزایشی (۱۰۰ درصد بادام‌زمینی+۱۰۰ درصد ذرت، ۱۰۰ درصد بادام‌زمینی+ ۵۰ درصد ذرت و ۱۰۰درصد ذرت+۵۰ درصد بادام‌زمینی) و الگوهای کشت مخلوط جایگزینی (۵۰ درصد ذرت+۵۰ درصد بادام‌زمینی، ۶۷ درصد ذرت+۳۳ درصد بادام‌زمینی و ۳۳ درصد ذرت+۶۷ درصد بادام‌زمینی) بودند. نتایج نشان داد عملکرد دانه ذرت و بادام‌زمینی به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر ازتوباکتر و نسبت کشت مخلوط قرار گرفت. کاربرد ازتوباکتر سبب افزایش عملکرد دانه ذرت و بادام‌زمینی به‌ترتیب به میزان ۱۶ و ۱۰ درصد گردید. حداکثر و حداقل نسبت برابری زمین به‌ترتیب در الگوی کشت مخلوط ۱۰۰ درصد بادام‌زمینی+۵۰ درصد ذرت و ۵۰ درصد ذرت+۵۰ درصد بادام‌زمینی مشاهده شد و کاربرد ازتوباکتر سبب افزایش نسبت برابری زمین بین ۱۲ تا ۱۶ درصد در الگوهای مختلف کشت مخلوط گردید. با توجه به عدم امکان کنترل ماشینی علف‌های‌هرز در الگوهای کشت مخلوط افزایشی، در صورت آلودگی کم مزرعه به علف‌های‌هرز، الگوی کشت ۱۰۰ درصد بادام‌زمینی+۵۰ درصد ذرت همراه با کاربرد ازتوباکتر مناسب خواهد بود. در غیراین‌صورت، با توجه به نسبت برابری زمین و عملکرد بادام زمینی، الگوی کشت مخلوط ۶۷ درصد بادام‌زمینی+۳۳ درصد ذرت همراه با کاربرد ازتوباکتر مناسب خواهد بود.

واژگان کلیدی: باکتری‌های محرک رشد گیاه، کشاورزی پایدار، کشت مخلوط غلات- بقولات، عملکرد، نسبت برابری زمین.

۱- دانشجوی دکتری زراعت، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران.
۲- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران.
نگارنده مسئول aminpanah@iaurasht.ac.ir

مقدمه

کشت مخلوط یک راهکار مدیریتی مهم برای افزایش کارایی استفاده از منابع و عملکرد محصولات زراعی از طریق تغییر آگاهانه روابط متقابل بین گونه‌ای می‌باشد (Hauggaard-Nielsen *et al*., 2009). کشت مخلوط به‌خاطر استفاده مؤثر از عناصر غذایی موجود در خاک و کاهش اتکا به کودهای شیمیایی می‌تواند یک استراتژی امیدبخش جهت بهبود تولید پایدار محصولات زراعی و حفظ امنیت غذایی باشد (Xiong *et al*., 2013). کشت مخلوط غلات-بقولات یک نظام کشت متداول در مناطق در حال توسعه از قبیل هند، جنوب آسیا، آفریقا آمریکای لاتین می‌باشد. در ایران نیز به‌ویژه در مناطقی با وسعت کم زمین‌های کشاورزی، این نظام کشت کم‌وبیش توسط کشاورزان محلی انجام می‌شود.

بادام‌زمینی (*Arachis hypogaea* L.) یک محصول مهم از تیره‌ی بقولات است که توانایی تثبیت زیستی نیتروژن را دارد. دانه‌های بادام‌زمینی منبع غنی از پروتئین و روغن می‌باشد که از ارزش غذایی بسیار بالایی برخوردار است. ذرت (*Zea mays* L.) گیاهی از تیره‌ی غلات است که بعد از گندم و برنج سومین محصول زراعی دنیا از نظر سطح زیر کشت و دومین محصول بعد از گندم از نظر میزان تولید می‌باشد. کشت مخلوط ذرت- بادام‌زمینی یک راهکار مهم جهت افزایش عملکرد برای کشاورزان خرده مالکی می‌باشد. پژوهش‌ها نشان داده است که کشت مخلوط ذرت و بادام‌زمینی به طرق مختلف سبب افزایش عملکرد می‌گردد. گزارش شده است که تعامل بین ریشه‌های ذرت و بادام‌زمینی در کشت مخلوط سبب افزایش جذب عناصر غذایی از قبیل آهن (Zuo *et al*., 2004)، روی، فسفر و پتاسیم (Inal *et al*., 2007) در ذرت می‌گردد. ضمن اینکه کارایی مصرف نیتروژن هم در بادام‌زمینی و هم در ذرت در کشت مخلوط بهبود می‌یابد. همچنین گزارش شده است که جذب فسفر به‌وسیله ذرت در کشت مخلوط تسهیل می‌یابد (Li *et al*., 2014). در عین حال، عملکرد بالاتر و سودمندی بیشتر کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص می‌تواند به دلیل استفاده تکمیلی از منابع رشد به‌وسیله اجزای کشت مخلوط نیز باشد (Franco *et al*., 2018). تفاوت در کسب و استفاده از نور، آب و مواد غذایی به‌وسیله گونه‌های مختلف موجود در کشت مخلوط (اجزای مخلوط) باعث می‌شود که رقابت بین گونه‌ای کمتر از رقابت درون گونه‌ای گردد. در ضمن، استفاده تکمیلی از منابع در کشت مخلوط می‌تواند به‌خاطر تفاوت زمانی در حداکثر نیاز به منابع، تفاوت در کانوپی و ساختار ریشه در بین اجزای مخلوط باشد (Franco *et al*., 2018). ضمن این‌که در کشت مخلوط غلات-بقولات، غلات بیشتر از نیتروژن موجود در خاک استفاده می‌کنند، درحالی‌که بقولات بیشتر به نیتروژن حاصل از تثبیت زیستی متکی هستند. همچنین، سرکوب علف‌های هرز و نیز آفات و بیماری‌ها معمولا در کشت مخلوط بهتر از کشت خالص صورت می‌گیرد (Boudreau, 2013).

استفاده از باکتری‌های محرک رشد گیاه راهکار دیگری جهت نیل به کشاورزی پایدار و افزایش عملکرد محصولات زراعی می‌باشد. تحقیقات درباره نقش ازتوباکتر در تولیدات زراعی نشان داده است که این باکتری‌ها از طریق تثبیت نیتروژن مولکولی هوا (Saha *et al*., 2017) و در نتیجه کاهش نیاز گیاه به کودهای شیمیایی (Wani *et al*., 2016; Bageshwar *et al*., 2017)،

تولید هورمون‌های گیاهی از قبیل اکسین، سیتوکنین و جیبرلین (Aasfar *et al*., 2021)، تولید ویتامین‌ها و مواد مؤثر در جوانه‌زنی (Aasfar *et al*., 2021)، تولید آنتی‌بیوتیک و در نتیجه کاهش مرگ و میر گیاهچه‌ها و افزایش مقاومت گیاه در برابر عوامل بیماری‌زای گیاهی (Viscardi *et al*., 2016)، افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش‌های محیطی (Latef *et al*., 2020)، تحریک فعالیت میکروارگانیسم‌های مفید اطراف ریشه، افزایش حلالیت فسفر (Hafez *et al*., 2016) و افزایش توانایی گیاه در جذب نیتروژن و فسفر (Wani *et al*., 2016) سبب بهبود رشد و افزایش عملکرد (تا ۴۰ درصد) در تعداد زیادی از گیاهان مهم زراعی از جمله غلات و بقولات می‌شوند (Aasfar *et al*., 2021). ازتوباکتر در اسیدیته ۸/۴-۵/۸ رشد می‌کند و عملکرد مطلوبی در تثبیت نیتروژن در اسیدیته ۷/۵-۷/۰ دارد (Dilworth *et al*., 1988). در مقابل، گیاهان نیز از طریق ترشحات ریشه‌ای می‌توانند بر جمعیت میکروبی اطراف ریشه مؤثر باشند (Kourtev *et al*., 2003). تغییر جامعه میکروبی خاک می‌تواند به علت تفاوت در مقدار و کیفیت ترشحات ریشه‌ای در کشت مخلوط و کشت خالص باشد (Bainard *et al*., 2013). گزارش شده است که ازتوباکتر کروکوکوم آنتی‌بیوتیکی تولید می‌کند که سبب جلوگیری از رشد قارچ‌های بیماری‌زای گیاهی می‌گردد و درنتیجه سبب کاهش مرگ و میر گیاهچه‌ها می‌شود.

اگرچه اطلاعات کافی درباره کشت مخلوط غلات-بقولات و اثرات مثبت ازتوباکتر بر رشد و عملکرد محصولات مختلف زراعی در کشت خالص وجود دارد، اما در حال حاضر اطلاعات بسیار کمی درباره اثر ازتوباکتر بر رشد و عملکرد ذرت و بادام‌زمینی در نظام کشت مخلوط وجود دارد. در عین حال، با توجه به تأثیرپذیری بیشتر رشد و عملکرد غلات به تلقیح با ازتوباکتر در مقایسه با بقولات، انتظار می‌رود که کاربرد ازتوباکتر در کشت مخلوط سبب تغییر بر رقابت بین‌گونه‌ای غلات - بقولات گردد و در نتیجه سودمندی کشت مخلوط در شرایط تلقیح نسبت به شرایط عدم تلقیح تغییر یابد. بنابراین، مهم‌ترین اهداف این آزمایش، بررسی اثر کاربرد باکتری ازتوباکتر بر رشد و عملکرد ذرت و بادام‌زمینی در شرایط کشت مخلوط و نیز بررسی اثر این باکتری بر سودمندی کشت مخلوط ذرت - بادام‌زمینی بود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق مزرعه‌ای در سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ در استان گیلان، آستانه اشرفیه، با طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۵۸ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۳۴ دقیقه شمالی شد. قبل از انجام آزمایش، از خاک مزرعه جهت تعیین برخی از ویژگی‌های خاک نمونه‌برداری صورت گرفت. نتایج تجزیه خاک نشان داد pH خاک مزرعه برابر ۷/۳۲، ماده آلی خاک برابر ۲/۰۸ درصد، هدایت الکتریکی آن برابر با ۰/۶ دسی زیمنس بر متر، مقدار نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم قابل جذب به‌ترتیب برابر ۰/۱۱ درصد، ۱۲ و ۱۹۵ میلی‌گرم در کیلوگرم و مقدار رس، سیلت و شن آن به‌ترتیب برابر با ۶، ۶۸ و ۲۶ درصد بود.

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به اجرا در آمد. عامل‌های آزمایش شامل کاربرد باکتری ازتوباکتر کروکوکوم (تلقیح و عدم تلقیح) و الگوی کشت مخلوط در ۸ سطح (کشت خالص ذرت، کشت خالص بادام‌زمینی، ۱۰۰ درصد بادام‌زمینی +۱۰۰ درصد ذرت، ۱۰۰ درصد

بادام‌زمینی + ۵۰ درصد ذرت، ۱۰۰ درصد ذرت + ۵۰ درصد بادام‌زمینی، ۵۰ درصد ذرت + ۵۰ درصد بادام‌زمینی، ۶۷ درصد ذرت + ۳۳ درصد بادام‌زمینی و ۳۳ درصد ذرت + ۶۷ درصد بادام‌زمینی) بودند. هر کرت شامل ۸ خط کاشت به طول ۴ متر بود. فاصله بین کرت‌ها یک متر و فاصله بین تکرارها دو متر در نظر گرفته شد. فاصله بین ردیف‌های کاشت در کشت خالص هر کدام از گونه‌ها ۷۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. در هر دو گونه، فاصله بین بوته ها در روی ردیف کاشت، ۲۵ سانتی متر در نظر گرفته شد.

در هر دو سال، زمین مورد نظر در نیمه اول فروردین ۱۳۹۷و ۱۳۹۸ شخم و دیسک زده شد و سپس در اواسط اردیبهشت سال ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ پس از خرد کردن کلوخه‌ها تسطیح گردید. در هر دو سال، کاشت بذور بادام‌زمینی (NC2) و ذرت (سینگل کراس ۷۰۴) در تاریخ ۱۵ اردیبهشت انجام شد. بذور بادام‌زمینی و ذرت بر اساس دستورالعمل مربوطه با باکتری ازتوباکتر کروکوکوم (با تراکم جمعیت ۵×۱۰^{۸} CFU بر گرم به‌ازای هر میلی‌لیتر مایه تلقیح) که از مؤسسه تحقیقات خاک و آب کرج تهیه شده بود، آغشته و سپس در سایه خشک گردیدند و پس از آن در کرت‌های مربوطه کاشته شدند. با توجه به آزمایش خاک، نیمی از کود نیتروژن (۱۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار) و تمامی کود فسفر (۱۰۰ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل در هکتار) در مراحل انتهایی آماده سازی زمین به خاک داده شد و مابقی کود نیتروژنه نیز به‌صورت سرک (۱۰۰ کیلوگرم اوره) در مرحله ۶ الی ۸ برگی ذرت به خاک داده شد.

در سال ۱۳۹۷، برداشت بادام‌زمینی در تاریخ ۱۹ مرداد و برداشت ذرت در تاریخ ۱۸ شهریور و در سال ۱۳۹۸ برداشت بادام‌زمینی در تاریخ ۲۲ مرداد و برداشت ذرت در تاریخ ۲۰ شهریور انجام شد. در هنگام رسیدگی محصول، نمونه‌برداری از چهار ردیف میانی هر کرت با حذف نیم متر حاشیه از ابتدا و انتهای هر کرت انجام شد. بدین منظور تعداد ۱۰ بوته از بادام‌زمینی و ۱۰ بوته از ذرت به‌صورت تصادفی انتخاب و عملکرد و اجزای عملکرد دانه شامل تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته و وزن هزار دانه (برای بادام‌زمینی) و تعداد بلال در بوته، تعداد دانه در بلال و وزن هزار دانه (برای ذرت) اندازه‌گیری شد. همچنین، میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئیدها در برگ‌های ذرت و بادام‌زمینی با استفاده از دستگاه اسپکتوفتومتر و بر طبق دستورالعمل مربوطه اندازه‌گیری شد (Arnon, 1949).

برای ارزیابی کشت مخلوط نسبت به کشت خالص، شاخص نسبت برابری زمین (Land Equivalent Ratio) با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد (Dhima *et al*., 2007):

$$LER= (Y_{cp}/Y_{c})_{+} (Y_{pc}/Y_{p})$$

که در آن، Y_{cp} بیانگر عملکرد ذرت در کشت مخلوط با بادام‌زمینی، Y_{c} بیانگر عملکرد ذرت در کشت خالص، Y_{pc} بیانگر عملکرد بادام‌زمینی در کشت مخلوط با ذرت، Y_{p} بیانگر عملکرد بادام‌زمینی در کشت خالص می‌باشد.

تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS (ver.9.1) و بر اساس آزمایش فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی انجام شد و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد (Anonymous, 2004). قابل ذکر است که فرض نرمال بودن داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار مذکور و

با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف مورد بررسی قرار گرفت و نرمال بودن داده‌ها تأیید شد.

نتایج و بحث

ویژگی‌های ذرت

تعداد بلال در بوته: تعداد بلال در بوته تنها تحت تأثیر معنی‌دار نسبت کشت مخلوط قرار گرفت و اثر اصلی سال و ازتوباکتر و همچنین کلیه اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه بر تعداد بلال در بوته معنی‌دار نبود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین نشان داد حداکثر تعداد بلال در بوته در الگوی کشت مخلوط ۶۷ درصد بادام‌زمینی + ۳۳ درصد ذرت (۱/۷۲ بلال) مشاهده گردید، هرچند که از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با الگوهای کشت مخلوط ۶۷ درصد ذرت + ۳۳ درصد بادام‌زمینی (۱/۶۵ بلال) و ۵۰ درصد ذرت + ۵۰ درصد بادام‌زمینی (۱/۵۴ بلال) و کشت خالص ذرت (۱/۵۹ بلال) نداشت. در مقابل، حداقل تعداد بلال در بوته در الگوی کشت مخلوط ۱۰۰ درصد ذرت+ ۱۰۰ درصد بادام‌زمینی (۱/۳۱ بلال) مشاهده گردید (جدول ۲). کاهش معنی‌دار تعداد بلال در بوته در الگوی کشت ۱۰۰ درصد ذرت+ ۱۰۰ درصد بادام‌زمینی احتمالا به دلیل بالا بودن تراکم کل گیاهی (تراکم ذرت و بادام‌زمینی) بود که منجر به رقابت شدید درون گونه‌ای و بین گونه‌ای بر سر آب، نور و عناصر غذایی گردید. دهمرده و کشته‌گر (Dahmardeh and Keshtegar, 2014) گزارش کردند که حداکثر تعداد بلال در بوته در کشت مخلوط ۵۰ درصد ذرت + ۵۰ درصد بادام‌زمینی و حداقل تعداد بلال در بوته در کشت خالص ذرت مشاهده شد. همچنین، حداکثر تعداد بلال در بوته در کشت مخلوط ذرت-لوبیا در الگوی کشت سه ردیف لوبیا: یک ردیف ذرت گزارش شده است (Charani *et al*., 2017).

تعداد دانه در بلال و تعداد دانه در بوته: اثرات اصلی ازتوباکتر و نسبت کشت مخلوط بر تعداد دانه در بلال معنی‌دار بود. در مقابل، اثر اصلی سال و کلیه اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه بر تعداد دانه در بلال معنی‌دار نبود (جدول۱). حداکثر و حداقل تعداد دانه در بلال به‌ترتیب در الگوی کشت ۶۷ درصد بادام‌زمینی + ۳۳ درصد ذرت (۵۳۲/۳ دانه در بلال) و ۱۰۰ درصد ذرت + ۱۰۰ درصد بادام‌زمینی (۴۶۱/۲ دانه در بلال) مشاهده گردید (جدول ۲). در آزمایشی، حداکثر تعداد دانه در بلال در کشت مخلوط ۵۰ درصد ذرت + ۵۰ درصد بادام‌زمینی و حداقل تعداد دانه در بلال در کشت خالص ذرت گزارش شد (Dahmardeh and Keshtegar, 2014). افزایش معنی‌دار تعداد دانه در بلال به میزان ۱۴ درصد در بوته‌های تلقیح شده با ازتوباکتر کروکوکوم در مقایسه با بوته‌های شاهد عدم تلقیح مشاهده گردید (جدول۳). گزارش شده است که تلقیح بذر ذرت با ازتوباکتر کروکوکوم سبب افزایش معنی‌دار تعداد ردیف دانه در بلال گردید (Gao *et al*., 2020).

تجزیه واریانس همچنین نشان داد تعداد دانه در بوته ذرت تنها تحت تأثیر معنی‌دار ازتوباکتر و نسبت کشت مخلوط قرار گرفت (جدول ۱). حداکثر تعداد دانه در بوته به‌ترتیب در الگوهای کاشت۶۷ درصد بادام‌زمینی + ۳۳ درصد ذرت (۹۲۱ دانه در بوته)، ۶۷ درصد ذرت + ۳۳ درصد بادام‌زمینی (۸۷۴/۷ دانه در بوته)، ۵۰ درصد ذرت + ۵۰ درصد بادام‌زمینی (۸۱۶/۵ دانه در بوته) و کشت خالص ذرت (۸۰۵/۷ دانه در بوته) مشاهده گردید که از لحاظ آماری تفاوت

معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. حداقل تعداد دانه در بوته به‌ترتیب در الگوهای کاشت ۱۰۰ درصد ذرت + ۱۰۰ درصد بادام‌زمینی (۵۹۸/۳ دانه در بوته) و ۱۰۰ درصد ذرت + ۵۰ درصد بادام‌زمینی (۶۵۹/۵ دانه دربوته) مشاهده گردید که از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (جدول ۲). به نظر می‌رسد که با توجه به تراکم بالای گیاهی (تراکم ذرت +تراکم بادام‌زمینی) در الگوهای کشت مخلوط افزایشی وقوع رقابت بین گونه‌ای و درون گونه‌ای منجر به کاهش تعداد دانه در الگوهای کشت مذکور گردید. همچنین، نتایج مقایسه میانگین نشان داد با کاربرد ازتوباکتر، تعداد دانه در بوته به‌طور معنی‌داری افزایش یافت و از ۷۰۸ دانه به ۸۴۶ دانه در بوته رسید (جدول ۳). در آزمایشی گزارش شده است که تعداد دانه در خوشه در بوته‌های برنج تلقیح شده با ازتوباکتر کروکوکوم نسبت به شاهد عدم تلقیح به میزان ۱۱ درصد افزایش افزایش یافت (Shirzad Chenari *et al.*, 2017).

وزن هزار دانه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر اصلی نسبت کشت مخلوط بر وزن هزار دانه ذرت معنی‌دار بود. در مقابل، اثر اصلی سال و ازتوباکتر و همچنین اثرات متقابل دوگانه سال × ازتوباکتر، سال × نسبت کشت مخلوط، ازتوباکتر × نسبت کشت مخلوط و اثر متقابل سه‌گانه سال × ازتوباکتر × نسبت کشت مخلوط بر وزن هزار دانه ذرت معنی‌دار نبود (جدول ۱). وزن هزار دانه ذرت در الگوی کشت ۱۰۰ درصد ذرت + ۱۰۰ درصد بادام‌زمینی به میزان ۱۱ درصد کمتر از مقدار آن در کشت خالص ذرت بود و در سایر الگوهای کشت مخلوط تفاوت معنی‌داری با کشت خالص ذرت نداشت (جدول ۲). با توجه به بالا بودن تراکم گیاهی (تراکم ذرت+ بادام‌زمینی) در الگوی کشت ۱۰۰ درصد ذرت + ۱۰۰ درصد بادام‌زمینی به نظر می‌رسد که وقوع رقابت بین گونه‌ای ذرت-بادام‌زمینی و درون گونه‌ای ذرت-ذرت بر سر منابع (آب، نور و مواد غذایی) سبب کاهش وزن هزار دانه گردید. دهمرده و کشته‌گر (Dahmardeh and Keshtegar, 2014) کاهش وزن هزار دانه ذرت در نظام کشت خالص ذرت را نسبت به نظام کشت مخلوط ۵۰ درصد ذرت + ۵۰ درصد بادام‌زمینی گزارش کردند و دلیل این امر را به افزایش رقابت درون گونه‌ای در کشت خالص نسبت دادند. گزارش شده است که وزن صد دانه ذرت در کشت خالص به‌طور معنی‌داری کمتر از مقدار آن درکشت مخلوط بود (Charani *et al.*, 2017). نتایج تجزیه واریانس همچنین نشان داد اثر ازتوباکتر بر وزن هزار دانه ذرت معنی‌دار نبود (جدول ۱). گزارش شده است که کاربرد ازتوباکتر منجر به افزایش معنی‌دار وزن هزار دانه در برنج شده است (Banik *et al.*, 2018).

عملکرد دانه ذرت: اثر اصلی سال، ازتوباکتر و نسبت کشت مخلوط بر عملکرد دانه ذرت معنی‌دار بود، درحالی‌که کلیه اثرات متقابل دو گانه و سه‌گانه بر عملکرد دانه معنی‌دار نبودند (جدول ۱). عملکرد دانه ذرت در سال اول به میزان ۱۴ درصد بیشتر از مقدار آن در سال دوم بود. حداکثر عملکرد دانه ذرت (۶۸۹۶/۷ کیلوگرم در هکتار) در کشت خالص ذرت مشاهده شد که البته از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با عملکرد دانه ذرت در کشت مخلوط ۱۰۰ درصد ذرت + ۵۰ درصد بادام‌زمینی (۶۴۴۹/۵ کیلوگرم در هکتار) نداشت (جدول ۲). در عین حال، عملکرد دانه ذرت در کشت مخلوط ۱۰۰ درصد ذرت + ۱۰۰ درصد بادام‌زمینی (۶۴۴۹/۵ کیلوگرم در

هکتار) به میزان ۱۹ درصد در مقایسه با کشت خالص کاهش یافت که این موضوع نشاندهنده اثر منفی افزایش تراکم کل (تراکم ذرت+ بادام‌زمینی) بر عملکرد ذرت در این الگوی کشت است. با کاهش نسبت ذرت در سایر الگوهای کشت مخلوط، عملکرد دانه ذرت نیز بر طبق انتظار کاهش یافت، به‌طوری‌که حداقل عملکرد دانه ذرت در الگوی کشت ۶۷ درصد بادام‌زمینی + ۳۳ درصد ذرت به میزان ۲۹۰۳/۷ کیلوگرم در هکتار مشاهده گردید (جدول ۲). به عبارت دیگر، با کاهش تراکم ذرت به میزان ۶۷ درصد در الگوی کشت مذکور نسبت به کشت خالص ذرت، عملکرد دانه ذرت در الگوی کشت مذکور به میزان ۵۵ درصد نسبت به کشت خالص ذرت کاهش یافت. دهمرده و کشته‌گر (Dahmardeh and Keshtegar, 2014) مشاهده کردند که اثر نظام‌های مختلف کشت بر عملکرد ذرت معنی‌دار بود و حداکثر عملکرد ذرت را در کشت خالص ذرت و حداقل عملکرد ذرت را در الگوی کشت ۱۰۰ درصد ذرت + ۱۰۰ درصد بادام‌زمینی گزارش کردند. همچنین، نتایج نشان داد کاربرد ازتوباکتر سبب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه ذرت به میزان ۱۶ درصد گردید (جدول ۴). گزارش شده است که عملکرد شلتوک برنج به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تلقیح با ازتوباکتر کرکوکوم قرار گرفت و کاربرد ازتوباکتر سبب افزایش عملکرد شلتوک به میزان ۱۶ درصد گردید (Shirzad Chenari *et al*., 2017). پژوهش‌گران دریافتند که باکتری ازتوباکتر کروکوکوم با تأمین نیتروژن گیاه و احتمالا تولید برخی متابولیت‌ها مانند سیدروفور و مواد تنظیم‌کننده رشد گیاهی مانند اکسین (Gao *et al*., 2020) و سیتوکینین سبب افزایش رشد گیاه و عملکرد آن می‌گردد. ضمن این‌که این باکتری‌ها توانایی افزایش حلالیت فسفر و پتاسیم را دارا هستند و امر سبب افزایش جذب آنها به‌وسیله گیاه و در نتیجه سبب بهبود رشد گیاه می‌شود (El-Sawah *et al*., 2018). همچنین، گزارش شده است که تولید مواد محرک رشد به‌وسیله باکتری‌های مفید مانند ازتوباکتر سبب توسعه ریشه گیاه می‌گردد و این امر به‌نوبه خود سبب افزایش جذب آب و عناصر غذایی به‌وسیله گیاه و در نهایت افزایش رشد و عملکرد گیاه می‌گردد (Gao *et al*., 2020).

کلروفیل a و b: نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثرات اصلی سال، ازتوباکتر، نسبت کشت مخلوط و نیز اثر متقابل بین سال و نسبت کشت مخلوط بر میزان کلروفیل a معنی‌دار بود، درحالی‌که مقدار کلروفیل b تنها تحت تأثیر معنی‌دار ازتوباکتر قرار گرفت (جدول ۱). حداکثر میزان کلروفیل a در سال ۱۳۹۷ در الگوهای کشت مخلوط ۳۳ درصد ذرت + ۶۷ درصد بادام‌زمینی، ۶۷ درصد ذرت + ۳۳ درصد بادام‌زمینی و ۵۰ درصد ذرت + ۱۰۰ درصد بادام‌زمینی مشاهده شد، درحالی‌که در سال ۱۳۹۸ حداکثر میزان کلروفیل a در الگوهای کشت مخلوط ۵۰ درصد ذرت + ۱۰۰ درصد بادام‌زمینی، ۵۰ درصد ذرت + ۵۰ درصد بادام‌زمینی و ۳۳ درصد ذرت + ۶۷ درصد بادام‌زمینی مشاهده شد (جدول ۵). در عین حال، نتایج مقایسه میانگین نشان داد در هر دو سال میزان کلروفیل a در برگ ذرت در الگوهای مختلف کشت مخلوط از لحاظ آماری همیشه بزرگتر یا برابر با مقدار آن در کشت خالص ذرت بود (جدول ۵). به نظر می‌رسد که با توجه به توانایی بادام‌زمینی در تثبیت زیستی نیتروژن، دستیابی بیشتر ذرت به نیتروژن در کشت مخلوط

سبب افزایش میزان کلروفیل در برگ ذرت گردید. نیتروژن یکی از عناصر مهم در ساختار کلروفیل است و گزارش شده است که بهبود وضعیت نیتروژن در گیاه منجر به افزایش میزان کلروفیل در برگ می‌گردد (Gao *et al*., 2020). افزایش میزان کلروفیل در برگ به‌نوبه خود منجر به افزایش میزان فتوسنتز (Barrios-Masias *et al*., 2014) و در نهایت سبب افزایش میزان عملکرد می‌شود (Ainsworth and Long, 2005). در آزمایشی مشاهده شد که مقدار کلروفیل a و b در فلفل در کشت مخلوط آن با سیر در مقایسه با مقدار آن در کشت خالص فلفل به‌طور معنی‌داری بالاتر بود (Ahmad *et al*., 2013). کاربرد ازتوباکتر سبب افزایش معنی‌دار کلروفیل a و b به‌ترتیب به میزان ۷ و ۹ درصد گردید (جدول ۴). همچنین، گزارش شده است که تلقیح ذرت با برخی جدایه‌های ازتوباکتر کروکوکوم سبب افزایش معنی‌دار میزان کلروفیل گردید (Leylasi Marand and Sarikhani, 2018). در تحقیق دیگری مشاهده شد که تلقیح با ازتوباکتر سبب افزایش معنی‌دار کلروفیل a در ذرت گردید، درحالی‌که اثر معنی‌داری بر میزان کلروفیل b در ذرت نداشت (Latef *et al*., 2020). افزایش معنی‌دار میزان کلروفیل در بوته‌های گندم تلقیح شده با ازتوباکتر به اثرات احتمالی این باکتری در تولید هورمون‌های گیاهی از جمله سیتوکنین نسبت داده شده است (Hajeeboland *et al*., 2004)، که ضمن تحریک رشد ریشه، پس از انتقال به اندام‌های هوایی تولید کلروفیل را تحریک می‌کند. همچنین، گزارش شده است که تیمار بذرهای ذرت با ازتوباکتر کروکوکوم ممکن است سبب ایجاد تغییراتی در ساختار دیواره سلولی و فرآیندهای فیزیو-بیوشیمایی شود که این امر ممکن است سبب ساخت پروتئین‌ها و آنزیم‌های مرتبط با پایداری رنگیزه‌ها گردد (Enebe and Babalola, 2018). همچنین، نتایج مطالعات قبلی نشان می‌دهد که باکتری‌های محرک رشد گیاه با تولید اکسین به توسعه سیستم ریشه‌ای گیاه و در نتیجه به فراهمی بیشتر آب و عناصر غذایی در اندام‌های هوایی کمک می‌کنند و بنابراین میزان تولید رنگیزه‌ها افزایش می‌یابد و همچنین انتقال مواد فتوسنتزی در گیاه تسهیل می‌شود (Ahmed and Hasnain, 2014).

کاروتنوئیدها: مقدار کاروتنوئید در برگ ذرت تحت تأثیر معنی‌دار سال، ازتوباکتر، نسبت کشت مخلوط و نیز اثر متقابل سال × نسبت کشت مخلوط قرار گرفت و سایر اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه بر مقدار کاروتنوئید برگ ذرت معنی‌دار نبود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین نشان داد در سال ۱۳۹۷، حداکثر محتوای کاروتنوئید در برگ ذرت در الگوهای کشت مخلوط ۳۳ درصد ذرت + ۶۷ درصد بادام‌زمینی، ۵۰ درصد ذرت + ۱۰۰ درصد بادام‌زمینی، ۵۰ درصد ذرت + ۵۰ درصد بادام‌زمینی مشاهده شد (جدول ۵). در سال ۱۳۹۸، کلیه الگوهای کشت به غیر از الگوی کشت ۱۰۰ درصد ذرت + ۱۰۰ درصد بادام‌زمینی از لحاظ محتوای کاروتنوئید برگ ذرت در کلاس آماری مشابه قرار گرفتند (جدول ۵). همچنین، مقدار کاروتنوئید برگ در بوته‌های ذرت تلقیح شده با ازتوباکتر به میزان ۶ درصد بیشتر از مقدار آن در بوته‌های شاهد عدم تلقیح بود (جدول ۴). گزارش شده است که کاربرد ازتوباکتر در گندم سبب افزایش معنی‌دار میزان کاروتنوئید برگ در مقایسه با بوته‌های شاهد عدم تلقیح گردید (Al-Erwy *et al*., 2016). در مقابل،

برخی از پژوهش‌گران گزارش کردند که که تلقیح با ازتوباکتر سبب افزایش معنی‌دار کاروتنوئید در ذرت نگردید (Latef *et al*., 2020). در آزمایش دیگری مشاهده شد میزان کاروتنوئید در ذرت در گیاهان تلقیح شده با میکوریزا به‌طور معنی‌داری نسبت به گیاهان شاهد افزایش یافت (Khorshidi *et al*., 2014). کاروتنوئیدها یکی از رنگیزه‌های مهم در گیاه می‌باشند که از طریق چرخه گزانتوفیل و واکنش‌های اپوکسیداسیون و دپوکسیداسیون سبب کاهش مصرف اکسیژن شده و از کلروفیل در برابر اکسیداسیون نوری محافظت می‌کنند (Sairam *et al*., 1998).

ویژگی‌های بادام‌زمینی

تعداد غلاف در بوته: تعداد غلاف در بوته به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر نسبت کشت مخلوط و ازتوباکتر قرار گرفت و سایر اثرات اصلی و متقابل بر تعداد غلاف در بوته معنی‌دار نبودند (جدول ۶). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیشترین تعداد غلاف در بوته در کشت خالص بادام‌زمینی مشاهده شد و در کلیه الگوهای کشت مخلوط تعداد غلاف در بوته به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. بیشترین میزان کاهش تعداد غلاف در بوته نسبت به کشت خالص بادام‌زمینی در الگوهای کاشت ۱۰۰ درصد ذرت + ۱۰۰ درصد بادام‌زمینی و ۱۰۰ درصد ذرت + ۵۰ درصد بادام‌زمینی به‌ترتیب با ۷۳ و ۶۹ درصد مشاهده شد، که این امر به‌خاطر اثرات سوء رقابت ذرت بر بادام‌زمینی می‌باشد. در سایر الگوهای کشت مخلوط نیز میزان کاهش تعداد غلاف در بوته نسبت به کشت خالص بادام‌زمینی بین ۱۳-۱۲ درصد متفاوت بود که این میزان کاهش از لحاظ آماری معنی‌دار بود (جدول ۷). کاهش تعداد غلاف در بوته بادام‌زمینی در الگوهای کشت مخلوط مذکور نشان‌دهنده وجود رقابت بین گونه‌ای شدیدتر در کشت مخلوط نسبت رقابت درون گونه‌ای بین بوته‌های بادام‌زمینی در کشت خالص می‌باشد و بیانگر غالب بودن ذرت نسبت به بادام‌زمینی در کشت مخلوط است. مطابق با نتایج این آزمایش، کشته‌گر و همکاران (Keshtegar *et al*., 2016) اعلام کردند که تعداد غلاف در بوته در کشت خالص بادام‌زمینی به‌طور معنی‌داری بیشتر از مقدار آن در الگوهای مختلف کشت مخلوط بود. نتایج مقایسه میانگین نشان داد کاربرد ازتوباکتر سبب افزایش معنی‌دار تعداد غلاف در بوته بادام‌زمینی به میزان ۹ درصد گردید (جدول ۸). برخلاف نتایج این آزمایش، گزارش شده است که تعداد غلاف در بوته در سویا تحت تأثیر معنی‌دار تلقیح با باکتری‌های محرک رشد گیاه (ازتوباکتر+ آزوسپریلوم) قرار نگرفته است (Dabaghian *et al*., 2015). همچنین، تعداد غلاف در بوته در لوبیا قرمز نیز تحت تأثیر معنی‌دار تلقیح با ازتوباکتر کروکوکوم قرار نگرفت (Khavarii and Shakarami, 2019).

تعداد دانه در بوته: بر طبق نتایج تجزیه واریانس، تنها اثرات اصلی ازتوباکتر و نسبت کشت مخلوط بر تعداد دانه در بوته بادام‌زمینی معنی‌دار بود (جدول ۶). بیشترین تعداد دانه در بوته پس از کشت خالص بادام‌زمینی با ۱۰۱/۲ دانه در بوته، در کشت‌های مخلوط ۶۷ درصد ذرت + ۳۳ درصد بادام‌زمینی و ۳۳ درصد ذرت + ۶۷ درصد بادام‌زمینی به‌ترتیب با ۹۳/۷ و ۹۳/۲ دانه در بوته مشاهده شد که البته اختلاف معنی‌داری با همدیگر نداشتند (جدول ۷). کمترین تعداد دانه در بوته نیز در الگوهای کشت ۱۰۰ درصد ذرت + ۱۰۰ درصد بادام‌زمینی و ۱۰۰ درصد ذرت + ۵۰ درصد بادام‌زمینی به‌ترتیب با ۳۱ و ۲۷ دانه در بوته مشاهده شد. این نتایج نیز بیانگر رقابت شدید

بین بوته‌های ذرت و بادام‌زمینی بر سر آب، مواد غذایی و نور می‌باشد که با توجه به تراکم بالای گیاهی (ذرت +بادام‌زمینی) در الگوهای کشت مخلوط افزایشی این امر منطقی به نظر می‌رسد. به‌طور کلی، برای گونه مغلوب در کشت مخلوط حداکثر عملکرد و اجزای عملکرد در واحد تک‌بوته در کشت خالص مشاهده می‌شود. در آزمایشی، حداکثر تعداد دانه در نیام در کشت خالص بادام‌زمینی و الگوی کشت ۱۰۰ درصد ذرت + ۱۰۰ درصد بادام‌زمینی مشاهده شد (Keshtegar *et al.*, 2015). تعداد دانه در بوته بادام‌زمینی در صورت تلقیح با ازتوباکتر به میزان ۸ درصد در مقایسه با بوته‌های تلقیح نشده افزایش نشان داد (جدول ۸). نتایج تحقیقی نشان داد تعداد دانه در غلاف در لوبیا قرمز در اثر تلقیح با ازتوباکتر به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (Khavarii and Shakarami, 2019). به‌نظر می‌رسد که بهبود وضعیت تغذیه‌ای و نیز افزایش میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی در گیاهان تلقیح شده با ازتوباکتر منجر به بهبود رشد رویشی گیاه و در ادامه افزایش تعداد غلاف و تعداد دانه در بوته گردید.

وزن صد دانه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر اصلی نسبت کشت مخلوط و اثر متقابل سال × نسبت کشت مخلوط بر وزن صد دانه معنی‌دار بود، درحالی‌که سایر اثرات اصلی و متقابل بر وزن صد دانه معنی‌دار نبود (جدول ۶). در سال ۱۳۹۷، حداکثر وزن دانه بادام‌زمینی در کشت خالص و در کشت‌های مخلوط ۳۳ درصد ذرت + ۶۷ درصد بادام‌زمینی، ۶۷ درصد ذرت + ۳۳ درصد بادام‌زمینی و ۵۰ درصد ذرت + ۵۰ درصد بادام‌زمینی مشاهده شد، درحالی‌که در سال ۱۳۹۸ حداکثر وزن دانه بادام‌زمینی در کشت خالص و کشت مخلوط ۵۰ درصد ذرت + ۵۰ درصد بادام‌زمینی مشاهده شد (جدول ۵). مشابه سایر اجزای عملکرد بادام‌زمینی، حداقل وزن هزار دانه در هر دو سال در الگوی کشت ۱۰۰ درصد ذرت + ۱۰۰ درصد بادام‌زمینی ثبت گردید (جدول ۵). همان‌طوری که ذکر شد با توجه به تراکم بالای گیاهی در الگوی کشت مخلوط ۱۰۰ درصد ذرت + ۱۰۰ درصد بادام‌زمینی، وقوع رقابت شدید بین ذرت و بادام‌زمینی منجر به کاهش معنی‌دار وزن هزار دانه بادام‌زمینی در الگوی کشت مذکور در مقایسه با سایر الگوهای کشت گردید. نتایج این آزمایش نشان داد کاربرد ازتوباکتر کروکوکوم اثر معنی‌داری بر وزن هزار دانه بادام‌زمینی نداشت (جدول ۶). عدم افزایش معنی‌دار وزن هزار دانه در گیاهان تلقیح شده با باکتری‌های محرک رشد (ازتوباکتر+ آزوسپریلوم) در سویا (Dabaghian *et al.*, 2015) و نیز در گیاهان تلقیح شده با ازتوباکتر کروکوکوم در لوبیا قرمز (Khavarii and Shakarami, 2019) نیز گزارش شده است.

عملکرد دانه: ازتوباکتر، نسبت کشت مخلوط و سال × نسبت کشت مخلوط اثر معنی‌داری بر عملکرد دانه داشتند، درحالی‌که اثر اصلی سال و سایر اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه بر عملکرد دانه بادام‌زمینی معنی‌دار نبود (جدول ۶). بیشترین میزان عملکرد دانه در سال ۱۳۹۷ مربوط به کشت خالص بادام‌زمینی با ۲۵۱۳/۸ کیلوگرم در هکتار و کشت مخلوط ۱۰۰ درصد بادام‌زمینی + ۵۰ درصد ذرت با ۲۵۰۵ کیلوگرم در هکتار بود، درحالی‌که در سال ۱۳۹۸ بالاترین میزان عملکرد دانه (۳۰۳۹/۳ کیلوگرم در هکتار) به کشت خالص بادام‌زمینی اختصاص داشت (جدول ۵). حداقل عملکرد دانه بادام‌زمینی در سال ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ به‌ترتیب به میزان ۵۶۰/۸ و

۳۶۸ کیلوگرم در هکتار به کرت ۵۰ درصد بادام‌زمینی + ۱۰۰ درصد ذرت اختصاص داشت. به عبارت دیگر، عملکرد دانه در نسبت کشت ۵۰ درصد بادام‌زمینی + ۱۰۰ درصد ذرت در سال ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ به‌ترتیب به میزان ۷۷ و ۸۷ درصد نسبت به مقدار آن در کشت خالص بادام‌زمینی کمتر بود (جدول ۵). در آزمایشی، حداکثر عملکرد اقتصادی بادام‌زمینی در کشت مخلوط بادام‌زمینی- ذرت را در کشت خالص بادام‌زمینی و حداقل عملکرد بادام‌زمینی را در الگوی کشت ۵۰ درصد بادام‌زمینی + ۵۰ درصد ذرت گزارش شد (Keshtegar *et al*., 2015). کاربرد ازتوباکتر سبب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه بادام‌زمینی به میزان ۱۰ درصد گردید (جدول ۸). گزارش شده است که کاربرد ازتوباکتر و آزوسپریلوم سبب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه در سویا گردید (Dabaghian *et al*., 2015). افزایش عملکرد گیاهان زراعی تلقیح شده با باکتری‌های محرک رشد گیاه به توانایی این باکتری‌ها در تثبیت زیستی نیتروژن و در نتیجه بهبود وضعیت نیتروژن در گیاه (Saha *et al*., 2017)، افزایش مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی مانند کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئیدها در گیاه (Ahmed and Hasnain 2014; Latef *et al*., 2020)، تولید هورمون‌های گیاهی از قبیل اکسین، سیتوکینین و جیبرلین (Aasfar *et al*., 2021)، تولید مواد آنتی‌بیوتیک و در نتیجه افزایش مقاومت گیاه در برابر عوامل بیماری‌زای گیاهی (Viscardi *et al*., 2016) و تنش‌های محیطی (Latef *et al*., 2020)، افزایش حلالیت فسفر و بهبود جذب فسفر به‌وسیله گیاه (Hafez *et al*., 2016; Wani *et al*., 2016) و توسعه رشد ریشه‌ها از طریق تولید هورمون‌های گیاهی و در نتیجه جذب بیشتر آب و عناصر غذایی (Aasfar *et al*., 2021) نسبت داده شده است.

کلروفیل a و b: نتایج تجزیه واریانس نشان داد تنها اثرات اصلی ازتوباکتر و نسبت کشت مخلوط بر میزان کلروفیل a و کلروفیل b در بادام‌زمینی معنی‌دار بود (جدول ۶). میزان کلروفیل a در الگوهای کشت مخلوط ۵۰ درصد بادام‌زمینی + ۱۰۰ درصد ذرت و ۱۰۰ درصد بادام‌زمینی + ۱۰۰ درصد ذرت به‌طور معنی‌داری کمتر از مقدار آن در سایر الگوهای کشت مخلوط و کشت خالص بادام‌زمینی بود (جدول ۷). میزان کلروفیل b در نسبت‌های کشت مخلوط ۱۰۰ درصد بادام‌زمینی + ۵۰ درصد ذرت و ۵۰ درصد بادام‌زمینی + ۵۰ درصد ذرت به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر نسبت‌های کشت مخلوط و نیز کشت خالص بادام‌زمینی بود (جدول ۷). راعی و همکاران (Raei *et al*., 2020) گزارش کردند که حداکثر شاخص کلروفیل برگ لوبیا چیتی در شرایط کشت مخلوط آن با خردل سیاه در تیمار کودهای زیستی + ۱۰۰ درصد کود شیمیایی توصیه شده مشاهده گردید. به نظر می‌رسد که افزایش جذب نیتروژن و در نتیجه افزایش محتوی نیتروژن برگ در گیاهان تیمار شده با ازتوباکتر کروکوکوم سبب فراهمی پیش سازهای کلروفیل و همچنین افزایش ساخت پروتئین‌ها و اسیدهای آمینه به عنوان پیش‌سازهای اصلی ساختمان و فعالیت کلروپلاست شد که این امر در نهایت سبب افزایش میزان کلروفیل برگ گردید (Raei *et al*., 2020). در عین حال، این باکتری در تولید هورمون‌های گیاهی از جمله سیتوکنین نقش دارد که ضمن تحریک رشد ریشه، پس از انتقال به اندام‌های هوایی تولید کلروفیل را تحریک می‌کند (Hajeeboland *et al*., 2004). کاربرد ازتوباکتر

سبب افزایش معنی‌دار مقدار کلروفیل a و b در بادام‌زمینی به‌ترتیب به‌میزان ۱۱ و ۱۰ درصد در بوته‌های تلقیح شده نسبت به بوته‌های تلقیح نشده گردید (جدول ۹). افزایش میزان کلروفیل a و b در گیاهان بادام‌زمینی تلقیح شده با باکتری‌های محرک رشد گیاه نیز گزارش شده است (Mathivanan *et al*., 2017).

کاروتنوئید: مقدار کاروتنوئید در بادام‌زمینی تحت تأثیر معنی‌دار ازتوباکتر و نسبت کشت مخلوط قرار گرفت و اثر اصلی سال و سایر اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه بر مقدار کاروتنوئید برگ بادام‌زمینی معنی‌دار نبود (جدول ۶). مقدار کاروتنوئید در الگوهای کشت مخلوط ۳۳ درصد ذرت + ۶۷ درصد بادام‌زمینی کمتر از سایر الگوهای کشت مخلوط بود و تفاوت معنی‌داری بین مقدار کاروتنوئید در کشت خالص بادام‌زمینی و کلیه الگوهای کشت مخلوط مشاهده نشد (جدول ۷). مقدار کاروتنوئید در بوته‌های تلقیح شده با ازتوباکتر ۹ درصد بیشتر از مقدار آن در بوته‌های تلقیح نشده بود (جدول ۹). تلقیح بادام‌زمینی با گونه‌های مختلف میکروارگانیسم‌های محرک رشد گیاه سبب افزایش معنی‌دار میزان کاروتنوئید در مقایسه با گیاهان شاهد گردید (Mathivanan *et al*., 2017). همچنین، گزارش شده است که تلقیح سویا با باکتری‌های محرک رشد گیاه منجر به افزایش معنی‌دار میزان کاروتنوئید گردید (Dwivedi and Gopal, 2013).

نسبت برابری زمین: مقادیر نسبت برابری زمین در الگوهای مختلف کشت مخلوط ذرت- بادام‌زمینی در تیمارهای تلقیح شده و تلقیح نشده در سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ به‌صورت جداگانه و نیز میانگین دوساله آن در جدول ۱۰ ارایه شده است. نکته قابل توجه در جدول مذکور این است که مقدار نسبت برابری زمین در اغلب الگوهای کشت مخلوط بالاتر از یک بود که این امر نشان‌دهنده برتری کشت مخلوط ذرت-بادام‌زمینی نسبت به کشت خالص هر یک از آنها می‌باشد. همچنین، این موضوع نشان می‌دهد که تسهیل بین گونه‌ای بیشتر از رقابت بین گونه‌ای است (Zhang and Li, 2003). سودمندی و برتری کشت مخلوط ذرت- بادام‌زمینی (Keshtegar *et al*., 2016) و ذرت-لوبیا (Charani *et al*., 2017) نسبت به تک‌کشتی هر کدام از گونه‌ها گزارش شده است. هم در شرایط کاربرد ازتوباکتر و هم در شرایط عدم کاربرد ازتوباکتر، کمترین نسبت برابری زمین در الگوی کاشت یک ردیف ذرت + یک ردیف بادام‌زمینی مشاهده شد (جدول ۱۰). در شرایط عدم کاربرد ازتوباکتر، حداکثر نسبت برابری زمین در هر دو سال در الگوی کاشت مخلوط ۱۰۰ درصد بادام‌زمینی + ۵۰ درصد ذرت و پس از آن در الگوی کاشت ۶۷ درصد بادام‌زمینی + ۳۳ درصد ذرت به‌ترتیب به مقدار ۱/۵۲ و ۱/۱۷ مشاهده شد (جدول ۱۰)، که مشخص می‌کند الگوهای کشت مذکور به‌ترتیب باعث افزایش ۵۲ و ۱۷ درصدی استفاده از زمین نسبت به کشت خالص شده است. به عبارت دیگر، برای دستیابی به عملکرد معادل کشت مخلوط به‌ترتیب به ۰/۵۲ و ۰/۱۷ واحد زمین بیشتری در نظام تک‌کشتی نیاز است. به نظر می‌رسد که علاوه بر توانایی بادام‌زمینی به عنوان یک لگوم در تثبیت زیستی نیتروژن و بهبود حاصلخیزی خاک و در نتیجه ایجاد شرایط مطلوب برای رشد ذرت، وجود اختلافات مورفولوژیک و فیزیولوژیک بین بادام‌زمینی و ذرت و در نتیجه ایجاد اشکوب‌های اکولوژیکی مختلف مطابق با اصل تولید رقابتی، باعث شده است که بهره‌برداری از منابع محیطی

مانند نور، آب و عناصر غذایی را به نحو کارآمدتری صورت گیرد و در نهایت سبب افزایش نسبت برابری زمین گردد (Javanmard *et al*., 2019). همچنین، پژوهش‌گران گزارش کردند که افزایش تعامل بین ریشه‌های ذرت و بادام‌زمینی در کشت مخلوط و در نتیجه افزایش جذب عناصر غذایی از قبیل آهن (Zuo *et al*., 2004)، روی، فسفر و پتاسیم (Inal *et al*., 2007) و همچنین استفاده تکمیلی از منابع رشد به‌وسیله اجزای کشت مخلوط (Franco *et al*., 2018) می‌تواند سبب افزایش نسبت برابری زمین گردد. استفاده تکمیلی از منابع مورد نیاز گیاه در کشت مخلوط می‌تواند به‌خاطر تفاوت زمانی در حداکثر نیاز به منابع، تفاوت در کانوپی و ساختار ریشه در بین اجزای مخلوط باشد (Franco *et al*., 2018)، که تفاوت در ساختار کانوپی ذرت و بادام‌زمینی به‌خوبی مشهود است. گزارش شده است که نسبت برابری زمین در الگوی کشت مخلوط ۱۰۰ درصد بادام‌زمینی + ۱۰۰ درصد ذرت (۱/۳۶) به‌طور معنی‌داری بیشتر از مقدار آن در الگوی کشت مخلوط ۵۰ درصد بادام‌زمینی + ۵۰ درصد ذرت (۱/۱) بود (Dahmardeh and Keshtegar, 2014). نتایج این تحقیق همچنین نشان داد نسبت برابری زمین در الگوهای کشت مخلوط افزایشی اغلب بیشتر از مقدار آن در الگوهای کشت مخلوط جایگزینی بود (جدول ۱۰). پژوهشگران معتقدند که الگوهای کشت مخلوط افزایشی از نسبت برابر زمین بالاتری در مقایسه با الگوهای کشت مخلوط جایگزینی برخوردارند (Nakhzari Moghadam *et al*., 2010, Raei *et al*., 2020) که دلیل آن می‌تواند استفاده بهینه‌تر از منابع و انتقال بهتر نیتروژن در نظام‌های کشت مخلوط غلات- بقولات باشد. کاربرد ازتوباکتر سبب افزایش نسبت برابری زمین در تمامی الگوهای کشت مخلوط گردید و در نتیجه حداکثر نسبت برابری زمین در کرت‌های تلقیح شده با ازتوباکتر نیز در الگوی کاشت مخلوط ۱۰۰ درصد بادام‌زمینی + ۱۰۰ درصد ذرت و پس از آن در الگوی کاشت ۶۷ درصد بادام‌زمینی + ۳۳ درصد ذرت به‌ترتیب به مقدار ۱/۷۰ و ۱/۳۳ مشاهده شد (جدول ۱۰). راعی و همکاران (۲۰۲۰) نیز گزارش کردند که حداکثر نسبت برابری زمین در کشت مخلوط لوبیا چیتی- خردل سیاه در تیمار استفاده از کود زیستی + ۱۰۰ درصد کود شیمیایی توصیه شده مشاهده گردید.

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج این تحقیق، در الگوهای کشت مخلوط مصرف ازتوباکتر سبب افزایش شاخص نسبت برابری زمین گردید، که این امر بیانگر اثرات مثبت ازتوباکتر کروکوکوم در افزایش سودمندی کشت مخلوط ذرت- بادام‌زمینی است. بیشترین میزان نسبت برابری زمین در الگوی کشت ۱۰۰ درصد بادام‌زمینی + ۵۰ درصد ذرت همراه با کاربرد ازتوباکتر کروکوکوم مشاهده شد. در استان گیلان، آستانه اشرفیه، کنترل علف‌های هرز مزارع بادام‌زمینی اغلب به‌وسیله کولتیواتورهایی صورت می‌گیرد که علف‌های هرز موجود در بین ردیف‌های بادام‌زمینی را کنترل می‌کنند که انجام این کار در الگوی کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰ درصد بادام‌زمینی+ ۵۰ درصد ذرت فقط در بین ردیف‌های بادام‌زمینی- بادام‌زمینی (فاصله بین ردیف ۷۵ سانتی‌متر) امکان‌پذیر است و امکان آن در بین ردیف‌های بادام‌زمینی- ذرت (فاصله بین ردیف ۳۷/۵ سانتی‌متر) وجود ندارد. در نتیجه، این موضوع می‌تواند تا حدودی مانع از پذیرش کشت مخلوط ۱۰۰ درصد بادام‌زمینی +

۵۰ درصد ذرت توسط کشاورزان گردد. بنابراین، درصورتی‌که آلودگی مزرعه به علف‌های هرز شدید نباشد و یا وجین علف‌های هرز با دست انجام شود، الگوی کشت مخلوط ۱۰۰ درصد بادام‌زمینی + ۵۰ درصد ذرت مناسب خواهد بود. در غیر این‌صورت، با توجه به شاخص نسبت برابری زمین و همچنین عملکرد بادام‌زمینی، الگوی کشت مخلوط ۶۷ درصد بادام‌زمینی + ۳۳ درصد ذرت مناسب خواهد بود.

جدول ۱- تجزیه واریانس مرکب (میانگین مربعات) برای تعداد بلال در بوته، تعداد دانه در بلال، تعداد دانه در بوته، وزن هزاردانه، عملکرد دانه، محتوی کلروفیل a و b و کاروتنوئید برگ در ذرت تحت تأثیر کشت مخلوط و ازتوباکتر

Table 1- Mean squares from the combined analysis of variance for cob number per maize plant (CNM), grain number per cob (GNCM), grain number per plant (GNPM), 1000-grain weight (GWM), grain yield (GYM), chlorophyll a (Chl a), chlorophyll b (Chl b), Carotenoids (Crts) and land equivalent ratio (LER) as affected by intercropping (I) and Azotobacter (A) inoculation

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	CNM	GNCM	GNPM	GWM	GYM	Chl a	Chl b	Crts
Year (Y)	1	0.012^{ns}	394^{ns}	1^{ns}	66^{ns}	8698511^{**}	1.094^{**}	0.009^{ns}	708^{**}
R (Y)	4	0.065	793	26215	69	894371	0.002	0.002	10
Azotobacter (A)	1	0.037^{ns}	125898^{**}	400200^{**}	10^{ns}	12098460^{**}	0.858^{**}	0.858^{**}	385^{**}
A×Y	1	0.001^{ns}	403^{ns}	1542^{ns}	31^{ns}	41^{ns}	0.001^{ns}	0.001^{ns}	1^{ns}
Intercropping (I)	6	0.281^{**}	9115^{**}	156926^{**}	917^{**}	26978722^{**}	0.165^{**}	0.008^{ns}	34^{**}
I×Y	6	0.052^{ns}	292^{ns}	13763^{ns}	8^{ns}	1423500^{ns}	0.058^{**}	0.010^{ns}	59^{**}
I×A	6	0.001^{ns}	94^{ns}	12025^{ns}	12^{ns}	204018^{ns}	0.002^{ns}	0.009^{ns}	1^{ns}
I×A×Y	6	0.001^{ns}	348^{ns}	1685^{ns}	15^{ns}	50272^{ns}	0.004^{ns}	0.001^{ns}	2^{ns}
Error	52	0.066	3171	22005	103	928481	0.010	0.011	10
C.V. (%) درصد تغییرات		16.9	11.0	19.0	5.5	19.2	3.6	7.0	4.1

*, **: significant at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.
ns, not significant at the 0.05 probability level.

جدول ۲- مقایسه میانگین تعداد بلال در ذرت، تعداد دانه در بلال، تعداد دانه در بوته، وزن هزار دانه و عملکرد دانه ذرت تحت تأثیر نسبت کشت مخلوط

Table 2- Mean comparison of cob number per maize plant (CNM), grain number per cob (GNCM), grain number per plant (GNPM), 1000-grain weight (GWM) and grain yield (GYM) as affected by intercropping pattern

Intercropping patterns	CNM ($No.plant^{-1}$)	GNCM ($No.cob^{-1}$)	GNPM ($No.plant^{-1}$)	GWM (g)	GYM ($kg.ha^{-1}$)
Maize Sole Cropping	1.59ab	501.9abc	805.7ab	184.5a	6896.7a
100%P:100%M	1.31d	461.2 c	598.3d	164.6b	5561.3b
100%P:50%M	1.45 bcd	527.7ab	769.3bc	190.2a	3773.3c
50%P:100%M	1.35 cd	485.3bc	659.5dc	186.7a	6449.5a
50%P:50%M	1.54abc	527.5 ab	816.5ab	185.6a	3890.4c
67%P:33%M	1.72 a	532.3 a	921.0a	189.1a	2903.7d
33%P:67%M	1.65 ab	529.6 ab	874.7ab	186.8a	5588.2b
LSD (0.05)	0.21	46.1	121.5	8.3	789.3

P, Peanut; M, Maize

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون برای هر صفت از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری (LSD≤0.05) با یکدیگر ندارند.

Means in a column within the same traits followed by the same letter do not have significantly difference at the 5% level of LSD test.

جدول ۳- مقایسه میانگین تعداد بلال در ذرت، تعداد دانه در بلال، تعداد دانه در بوته در ذرت تحت تأثیر تلقیح با ازتوباکتر کروکوکوم

Table 3- Mean comparison of cob number per plant, grain number per cob, and grain number per plant as affected by inoculation with *Azotobacter chroococcum*

	Cob number.plant^{-1}	Grain number. cob^{-1}	Grain number.plant^{-1}
Inoculation	1.54^{a}	548.1^{a}	846.9 ^{b}
Non-inoculation	1.50^{a}	470.6^{b}	708.8 ^{b}
LSD (0.05)	0.11	24.6	64.9

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون برای هر صفت از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری (LSD≤0.05) با یکدیگر ندارند.

Means in a column within the same traits followed by the same letter do not have significantly difference at the 5% level of LSD test.

جدول ۴- مقایسه میانگین عملکرد دانه، مقدار کلروفیل **a**، کلروفیل **b** و کاروتنوئید در ذرت تحت تأثیر تلقیح با ازتوباکتر کروکوکوم

Table 4- Mean comparison of grain yield, chlorophyll a, chlorophyll b, carotenoids in maize as affected by inoculation with *Azotobacter chroococcum*

	Grain yield of maize (kg.ha^{-1})	Chlorophyll a (mg.g^{-1})	Chlorophyll b (mg.g^{-1})	Carotenoids (mg.g^{-1})
Inoculation	5388.5^{a}	3.01 ^{a}	1.59 ^{a}	79.2 ^{a}
Non-inoculation	629.5^{b}	2.81 ^{b}	1.46 ^{b}	75.0 ^{b}
LSD (0.05)	421.9	0.04	0.04	1.3

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون برای هر صفت از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری (LSD≤0.05) با یکدیگر ندارند.

Means in a column within the same traits followed by the same letter do not have significantly difference at the 5% level of LSD test.

جدول ۵- مقایسه میانگین برای اثر متقابل بین الگوی کشت و سال بر کلروفیل a و کاروتنوئید در ذرت و وزن صد دانه و عملکرد دانه در بادام‌زمینی

Table 5- Mean comparison for the interaction effect between intercropping patterns and year on chlorophyll a and carotenoids of maize, peanut 100-grain weight (GWP), and peanut grain yield (PGY)

Intercropping patterns	Chlorophyll a of maize (mg g^{-1})		Carotenoids of maize (mg g^{-1})		GWP (kg ha^{-1})		PGY (kg ha^{-1})	
	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019
Maize Sole Cropping	2.96bc	2.64bc	75.8c	76.0a	63.7a	67.3a	2513.8a	3039.3a
100%P:100%M	2.91c	2.69bc	77.3bc	71.8b	46.4d	43.5e	1008.8d	593.1f
100%P:50%M	3.07ab	3.02a	84.0a	73.6ab	61.1b	58.5c	2505.0a	2757.3b
50%P:100%M	2.98bc	2.62c	76.8bc	76.1a	48.9c	52.0d	560.8e	368.0g
50%P:50%M	3.00bc	2.96a	83.5a	73.6ab	62.2ab	65.7ab	1358.5c	1190.3d
67%P:33%M	3.16a	2.95a	84.0a	74.0ab	63.2a	64.7b	1979.5b	1862.6c
33%P:67%M	3.08ab	2.70b	78.8b	74.3ab	62.7ab	64.3b	932.0d	903.0e
LSD (0.05)	0.12	0.08	1.8	3.9	1.7	1.9	260.3	189.5

P, Peanut; M, Maize

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون برای هر صفت از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری (LSD≤0.05) با یکدیگر ندارند.

Means in a column within the same traits followed by the same letter do not have significantly difference at the 5% level of LSD test.

جدول ۶- تجزیه واریانس مرکب (میانگین مربعات) برای تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته، وزن صد دانه، عملکرد دانه، محتوی کلروفیل a و b ، کاروتنوئید برگ در بادام‌زمینی تحت تأثیر کشت مخلوط و ازتوباکتر کروکوکوم

Table 6- Mean squares from the combined analysis of variance for pod number per peanut plant (PNPP), grain number per plant (GNPP), 100-grain weight (GWP), grain yield (GYP), chlorophyll a (Chl a), chlorophyll b (Chl b), and carotenoids (Crts) as affected by intercropping (I) and Azotobacter (A) inoculation.

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	PNPP	GNPP	GWP	GYP	Chl a	Chl b	Crts
Year (Y)	1	2.3^{ns}	30.9^{ns}	24.4^{ns}	8969^{ns}	0.003^{ns}	0.001^{ns}	0.1^{**}
R (Y)	4	141.4	679	3.4	328818	0.024	0.022	10.3
Azotobacter (A)	1	177.1^{**}	680^{**}	20.9^{ns}	452320^{**}	1.188^{**}	0.288^{**}	66.8^{**}
A×Y	1	0.1^{ns}	1^{ns}	0.2^{ns}	893^{ns}	0.031^{ns}	0.001^{ns}	0.1^{ns}
Intercropping (I)	6	12945.8^{**}	71336^{**}	767.1^{**}	10052086^{**}	0.141^{**}	0.055^{**}	2.4*
I×Y	6	262.8^{ns}	1650^{ns}	23.3^{**}	294783^{**}	0.010^{ns}	0.003^{ns}	0.3^{ns}
I×A	6	30.6^{ns}	132^{ns}	0.4^{ns}	25344^{ns}	0.009^{ns}	0.004^{s}	0.2^{ns}
I×A×Y	6	3.8^{ns}	20^{ns}	0.3^{ns}	1957^{ns}	0.003^{ns}	0.001^{ns}	0.3^{ns}
Error	52	21.6	135	6.5	78354	0.013	0.008	11.1
C.V. (%) درصد تغییرات		14.3	15.6	4.3	18.1	5.3	7.0	4.8

*, **: significant at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.
ns, not significant at the 0.05 probability level.

جدول ۷- مقایسه میانگین تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته، محتوی کلروفیل a و b و کاروتنوئید برگ در بادام‌زمینی تحت تأثیر نسبت کشت مخلوط

Table 7- Mean comparison of pod number per plant of peanut (PNPP), grain number per plant of peanut (GNPP), chlorophyll a (Chl a), chlorophyll b (Chl b), and carotenoids (Crts) as affected by intercropping patterns

Intercropping patterns	PNPP ($No.plant^{-1}$)	GNPP ($No.plant^{-1}$)	Chl a ($mg.g^{-1}$)	Chl b ($mg.g^{-1}$)	Crts ($mg.g^{-1}$)
Peanut Sole Cropping	44.6a	101.2a	2.21a	1.10b	67.9ab
100%P:100%M	12.1c	27.0 c	1.97b	1.03b	68.6a
100%P:50%M	38.8 b	90.6b	2.18a	1.22a	69.6a
50%P:100%M	13.7c	31.0c	1.97b	1.07b	68.8a
50%P:50%M	39.3b	84.7b	2.16a	1.20a	70.5a
67%P:33%M	38.7 b	93.2ab	2.20a	1.09b	65.7b
33%P:67%M	38.8 b	93.7ab	2.20a	1.08b	68.5a
LSD (0.05)	3.8	9.5	0.09	0.07	2.7

P, Peanut; M, Maize

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون برای هر صفت از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری (LSD≤0.05) با یکدیگر ندارند.

Means in a column within the same traits followed by the same letter do not have significantly difference at the 5% level of LSD test.

جدول۸- مقایسه میانگین تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته و وزن صد دانه در بادام‌زمینی تحت تأثیر تلقیح با ازتوباکتر کروکوکوم

Table 8- Mean comparison of pod number per plant, grain number per plant, and 100-grain weight in peanut as affected by inoculation with *Azotobacter chroococcum*

	Pod number.plant^{-1}	Grain number.plant^{-1}	100 grain weight (g)
Inoculation	33.7^{a}	77.3^{a}	59.4 ^{a}
Non-inoculation	30.8^{b}	71.6^{b}	58.4 ^{b}
LSD(0.05)	2.0	5.1	1.1

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون برای هر صفت از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری (LSD≤0.05) با یکدیگر ندارند.

Means in a column within the same traits followed by the same letter do not have significantly difference at the 5% level of LSD test.

جدول ۹- مقایسه میانگین عملکرد دانه، محتوی کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئید برگ در بادام‌زمینی تحت تأثیر تلقیح با ازتوباکتر کروکوکوم

Table 9- Mean comparison of grain yield, chlorophyll a (Chl a), chlorophyll b (Chl b), and carotenoids (Crts) in peanut as affected by inoculation with *Azotobacter chroococcum*

	Grain yield (kg.ha^{-1})	Chlorophyll a (mg.g^{-1})	Chlorophyll b (mg.g^{-1})	Carotenoids (mg.g^{-1})
Inoculation	1614.2^{a}	2.21 ^{a}	1.17 ^{a}	71.5 ^{a}
Non-inoculation	1467.5^{b}	2.01 ^{b}	1.06 ^{b}	65.5 ^{b}
LSD(0.05)	122.5	0.05	0.04	1.4

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون برای هر صفت از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری (LSD≤0.05) با یکدیگر ندارند.

Means in a column within the same traits followed by the same letter do not have significantly difference at the 5% level of LSD test.

جدول ۱۰ - مقدار نسبت برابری زمین در الگوهای مختلف کشت مخلوط ذرت و بادام‌زمینی تحت تلقیح با ازتوباکتر کروکوکوم

Table 10- Land equivalent ratio values of different intercropping patterns of peanut and maize affected by inoculation with *Azotobacter chroococcum*

	Year	Intercropping patterns					
		100%P: 100%M	100%P: 50%M	50%P: 100%M	50%P: 50%M	67%P: 33%M	33%P: 67%M
Non-inoculation	2018	1.27	1.53	1.15	1.10	1.17	1.19
	2019	0.95	1.51	1.06	1.00	1.09	1.15
Two years' average		1.11	1.52	1.11	1.05	1.13	1.17
Inoculation	2018	1.49	1.75	1.30	1.25	1.33	1.33
	2019	1.10	1.65	1.27	1.14	1.26	1.33
Two years' average		1.30	1.70	1.29	1.20	1.30	1.33

P, Peanut; M, Maize

References منابع مورد استفاده

- Aasfar, A., A. Bargaz, K. Yaakoubi, A. Hilali, I. Bennis1, Y. Zeroua, and I.M. Kadmiri. 2021. Nitrogen fixing azotobacter species as potential soil biological enhancers for crop nutrition and yield stability. *Frontiers in Microbiology.* 12: 628379
- Ahmad, I., Z. Cheng, H. Meng, T. Liu, W.C. Nan, , M.A. Khan, H. Wasila, and A.R. Khan. 2013. Effect of intercropped garlic (*Allium sativum*) on chlorophyll contents, photosynthesis and antioxidant enzymes in pepper. *Pakistan Journal of Botany.* 45: 1889–1896.
- Ahmed, A., and S. Hasnain. 2014. Auxins as one of the factors of plant growth improvement by plant growth promoting rhizobacteria. *Polish Journal of Microbiology.* 63: 261–266.
- Ainsworth, E.A., and S.P. Long. 2005. What have we learned from 15 years of free-air CO_2 enrichment (FACE)? A meta-analytic review of the responses of photosynthesis, canopy properties and plant production to rising CO_2. *New Phytologist.* 165: 351–372.
- Al-Erwy, A. S., A. Al-Toukhy, and S.O. Bafeel. 2016. Effect of chemical, organic and bio fertilizers on photosynthetic pigments, carbohydrates and minerals of wheat (*Triticum aestivum*. L.) irrigated with sea water. *International Journal of Advanced Research in Biological Sciences.* 3(2): 296-310.
- Anonymous. 2004. SAS Institute, version 9.1.3. Cary, NC, USA.
- Arnon, D. 1949. Copper enzymes isolated chloroplasts, polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology.* 24: 1–15.
- Bageshwar, U. K., M. Srivastava, P. Pardha-Saradhi, and S. Paul. 2017. An environmentally friendly engineered Azotobacter strain that replaces a substantial amount of urea fertilizer while sustaining the same wheat yield. *Applied and Environmental Microbiology.* 83: e00590-17.
- Bainard, L., A. Koch, A. Gordon, and J. Klironomos. 2013. Growth response of crops to soil microbial communities from conventional monocropping and tree-based intercropping systems. *Plant and Soil.* 363: 345–356.
- Banik, A., G.K., Dash, P.Swain, and U. Kumar,. 2018. and pplication of rice (Oryza sativa L.) root endophytic diazotrophic *Azotobacter* sp. strain Avi2 (MCC 3432) can increase rice yield under green house and field condition. *Microbiological Research.* 219: 56-65.
- Barrios-Masias, F.H., R.T. Chetelat, N.E. Grulke, and L.E. Jackson. 2014. Use of introgression lines to determine the ecophysiological basis for changes in water use efficiency and yield in California processing tomatoes. *Functional Plant Biology.* 41: 119-132.
- Boudreau, M.A., 2013. *Diseases in intercropping systems*. Annual Review of Phytopathology. 51: 499–519.
- Charani, E., P. Sharifi, and H. Aminpanah. 2017. Evaluation of grain yield and yield components in intercropping of maize and bean. *Biharean Biologist.* 11 (1): 37–42.

- Dabaghian, Z., H. Pirdashti, A. Abasian, and S. H. Bahari Saravi. 2015. The effect of biofertilizers, Thiobacillus, Azotobacter, Azospirillum and organic sulfur on nodulation process and yield of soybean (*Glycine Max* L. Merr.) *Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi).* 107: 17-25. (In Persian).
- Dahmardeh, M. and A. Keshtegar. 2014. Evaluation of yield and yield components of maize (*Zea mays* L.) in intercropping with peanuts (*Arachis hypogaea* L.). *Journal of Agroecology.* 6: 311-323. (In Persian).
- Dhima, K.V., A.A. Lithourgidis, I.B. Vasilakoglou, and C.A. Dordas. 2007. Competition indices of common vetch and cereal intercrops in two seeding ratio. *Field Crops Research.* 100: 249–256
- Dilworth. M.J., R.R. Eady, and M.E. Eldridge. 1988. The vanadium nitrogenase of Azotobacter chroococcum Reduction of acetylene and ethylene to ethane, *Biochemical Journal.* 249: 745–751
- Dwivedi, S.K. and R. Gopal. 2013. Effect of plant Growth promoting rhizobacteria and P2O5 on soybean (*Glycine max* L.) crop. *International Journal of Biological and Pharmaceutical Research.* 4(12): 1270-1276.
- El-Sawah, A.M.; F.I.A. Hauka, and H. Afify Aida. 2018. Dual inoculation with Azotobacter chroococcum MF135558 and Klebsiella oxytoca MF135559 enhance the growth and yield of wheat plant and reduce N-fertilizers usage. *Journal of Food Dairy Science.* 10: 67–76.
- Enebe, M.C. and O.O. Babalola. 2018 The influence of plant growth-promoting rhizobacteria in plant tolerance to abiotic stress: A survival strategy. *Applied Microbiology and Biotechnology.* 102:7821–7835.
- Franco, J.G., S.R. King, and A. Volder. 2018. Component crop physiology and water use efficiency in response to intercropping. *European Journal of Agronomy.* 93: 27-39.
- Gao, C., A.M. El-Sawah, D.F.I. Ali, Y.A. Hamoud, H. Shaghaleh, and M.S. Sheteiwy. 2020. The integration of bio and organic fertilizers improve plant growth, grain yield, quality and metabolism of hybrid maize (*Zea mays* L.). *Agronomy.* 10: 319.
- Hafez, M., Elbarbary, T. A., Ibrahim, I., and Abdel-Fatah, Y. 2016. Azotobacter vinelandii evaluation and optimization of Abu Tartur Egyptian phosphate ore dissolution. *Saudi Journal of Pathology and Microbiology.* 1: 80–93.
- Hajeeboland, R., N. Aliasgharzadeh, and Z. Mehrfar. 2004. Ecological study of azotobacter in two pasture lands of the north-west Iran and its inoculation effect on growth and mineral nutrition of wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Omid) plants. *Journal of Water and soil Science.* 8(2): 75–90. (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 and short-term subsequent crop effects across European organic cropping conditions. *Nutrient Cycling in Agroecosystems.* 85: 141–155.

- Inal, A, A. Gunes, F. Zhang, and I. Cakmak. 2007. Peanut/maize intercropping induced changes in rhizosphere and nutrient concentrations in shoots. *Plant Physiology and Biochemistry.* 45: 350–356.
- Javanmard, A., M. Amani Machiani, and H. Eskandari. 2019. Evaluation of forage quantity and quality of barley (*Hordeum vulgare* L.) and pea (*Pisum sativum* L.) intercropping system in Maragheh rainfed conditions. *Journal of Agroecology.* 11(2): 435–452. (In Persian).
- Keshtegar, A., M. Dahmardeh, M. Galavi, and I. Khammari, 2016. Study of the pattern of intercropping and monoculture of maize (*Zea mays* L.) and peanuts (*Arachis hypogaea* L.) on weed properties. *Iranian Journal of Filed Crop Science.* 46 (4): 547–558. (In Persian).
- Keshtegar, A., M. Dahmardeh, M. Galavi, and I. Khammari. 2015. Evaluation of yield and yield components of peanuts (*Arachis hypogaea* L.) in intercropping with maize (*Zea mays* L.). *Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi).* 107: 115-123. (In Persian).
- Khavarii, H., and Gh. Shakarami. 2019. Role of arbuscular mycorrhizal and azotobacter chroococcum on growthand yield of red bean cultivars (*Phaseolus vulgaris* L.). *Plant Echophysiology Journal.* 38:118-131. (In Persian).
- Khorshidi, M., B. Bicharanlou, and M. Bagheri. 2014. Elevated the tolerance of maize plants to temperature changes through symbiosis with three species of mycorrhiza. *Agricultural Science and Sustainable Production.* 23: 187–200. (In Persian)
- Kourtev, P., J. Ehrenfeld, and M. Häggblom. 2003. Experimental analysis of the effect of exotic and native plant species on the structure and function of soil microbial communities. *Soil Biology and Biochemistry.* 35: 895–905.
- Latef, A.A.H.A., M.F.A., Alhmad, M. Kordrostami, A.B.A.E. Abo-Baker, and A. Zakir. 2020. Inoculation with *Azospirillum lipoferum* or *Azotobacter chroococcum* reinforces maize growth by improving physiological activities under saline conditions. *Journal of Plant Growth Regulation.* 39: 1293–1306.
- Leylasi Marand, M., and M. Sarikhani. 2018. Investigation of nitrogen fixation efficiency of some azotobacter isolates by maize inoculation. *Agricultural Science and Sustainable Production.* 51–63. (In Persian).
- Li, L., D. Tilman, H. Lambers, and F.S. Zhang. 2014. Plant diversity and over yielding: Insights from belowground facilitation of intercropping in agriculture. *New Phytologist.* 203: 63–69.
- Mathivanan, S., A.A. Chidambaram, G.A. Robert, and R. Kalaikandhan. 2017. Impact of PGPR inoculation on photosynthetic pigment and protein contents in *Arachis hypogaea* L. *Journal of Scientific Agriculture.* 1:29–36.
- Nakhzari Moghadam, A., M. Chaeichi, D. Mazaheri, H. Rahimian Mashhadi, N. Majnoon Hosseini, and A. Noorinia. 2010. Effect of intercropping of maize with mung bean on yield and land equivalent ratio and some characteristics of forage quality. *Iranian Journal of Field Crops Research.* 40(4): 151–159. (In Persian).
- Raei, Y., M. Sayyadi Ahmadabad, K. Ghassemi-Golezani, and S. Ghassemi. 2020. The effect of biological and chemical nitrogen fertilizers on pinto bean (*Phaseolus*

vulgaris L.) and black mustard (*Brasassica nigra* L.) intercropping. *Agricultural Science and Sustainable Production.* 30(3):21–40. (In Persian).

- Saha, B., S. Saha, A. Das, P. Bhattacharyya, N. Basak, and A. Sinha. 2017. Biological nitrogen fixation for sustainable agriculture. In: Agriculturally Important Microbes for Sustainable Agriculture. Meena, V.S., P.K. Mishra, J.K. Bisht, and A. Pattanayak (eds.). pp: 81–128. Springer, Singapore.
- Sairam, R.K., P.S. Deshmukh, and D.C. Saxena. 1998. Role of antioxidant systems in wheat, genotype tolerance to water stress. *Biologia Plantarum.* 41(3): 387–394.
- Shirzad Chenari, A., H. Aminpanah, and P. Sharifi. 2017. Application of herbicide in paddy fields inoculated with azotobacter chroococcum. *Journal of Crop Ecophysiology.* 11: 211–228. (In Persian).
- Viscardi, S., V. Ventorino, P. Duran, A. Maggio, S. De Pascale, M.L. Mora, and O. Pepe. 2016. Assessment of plant growth promoting activities and abiotic stress tolerance of *Azotobacter chroococcum* strains for a potential use in sustainable agriculture. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition.* 16(3): 848–863.
- Wani, S.A., S. Chand, M.A. Wani, M. Ramzan, and K.R. Hakeem. 2016. Azotobacter chroococcum – a potential biofertilizer in agriculture: An overview. In: Soil Science: Agricultural and Environmental Prospectives. Hakeem, K.R., J. Akhtar, and Sabir, M. (eds.). pp: 333–348. Cham: Springer.
- Xiong, H., Y. Kakei, T. Kobayashi, X. Guo, M. Nakazono, H. Takahashi, H. Nakanishi, H. Shen, F. Zhang, N.K. Nishizawa, and Y. Zuo. 2013. Molecular evidence for phytosiderophore- induced improvement of iron nutrition of peanut intercropped with maize in calcareous soil. *Plant, Cell and Environment.* 36: 1888–1902.
- Zhang, F., and L. Li. 2003. Using competitive and facilitative interactions in intercropping systems enhances crop productivity and nutrient-use efficiency. *Plant and Soil*. 48: 305–312.
- Zuo, Y.M., Y.X. Liu, F.S. Zhang, and C. Peter. 2004. Studies on the improvement iron nutrition of peanut intercropping with maize on nitrogen fixation at early stages of growth of peanut on a calcareous soil. *Soil Science and Plant Nutrition.* 50:1071–1078.

Research Article DOI:

Maize- Peanut Intercropping Under Inoculated with *Azotobacter chroococcum*

Siavash Pourjani[1], Hashem Aminpanah[2*] and Mohamad Naghi Safarzad Vishkaei[2]

Received: September 2021 , Revised: 14 April 2022, Accepted: 26 April 2022

Abstract

Intercropping and plant growth-promoting rhizobacteria improve sustainability of agro-ecosystems. To evaluate the effect of Azotobacter (*Azotobacter chroococcum)* inoculation on productivity of a peanut /maize intercropping system, a two-year study was design as a randomized complete block in a factorial arrangement with three replicates at Astaneh-ye Ashrafiyeh, Guilan province. Factors were Azotobacter inoculation [control (non-inoculated) and inoculated with *Azotobacter chroococcum*) and intercropping pattern (Sole cropping of peanut and maize, additive intercropping pattern at three levels (100% peanut + 100% maize, 100% peanut + 50% maize, and 50% peanut + 100% maize), and replacement intercropping pattern at three levels (50% peanut + 50% maize, 67% peanut +33% maize, and 33% peanut + 67% maize). Results showed that gain yields of maize and peanut were significantly affected by Azotobacter inoculation and intercropping pattern. Inoculation with *Azotobacter chroococcum* significantly increased grain yields of peanut and maize by 10% and 16%, respectively. Maximum and minimum of land equivalent ratio (LER) were observed at 100% peanut + 50% maize and 50% peanut + 50% maize, respectively and inoculated intercropped plots with *Azotobacter chroococcum* had 12-16% grater LER that non-inoculated ones. Regards to impossibility of mechanical weed control by machines in additive intercropping patterns, to obtain the highest productivity in maize/peanut intercropping system, intercropping pattern of 100% peanut + 50% maize along with Azotobacter application will be suitable in fields with low weed density. Otherwise, based on LER and grain yield of peanut, the intercropping pattern of 67% peanut + 33% maize along with Azotobacter application will be suitable.

Key words: Land equivalent ratio, Legume-cereal intercropping, Plant growth-promoting rhizobacteria, Sustainable agriculture, Yield.

1-Ph.D. Student of Agronomy, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran.
2- Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran.
Corresponding Authors: aminpanah@iaurasht.ac.ir*