نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۱، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۸، ص ۱۴۲۲-۱۴۰۹

Journal of Agroecology
Vol. 11, No.4, Winter 2020, p. 1409-1422

اثر کشت مخلوط افزایشی لوبیا سبز (*Phaseolus vulgaris* L.) بر رشد، عملکرد معادل و کارایی استفاده از زمین سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) تحت سطوح مختلف کود نیتروژنه

جواد حمزه‌ئی[1*] و جواد صدیقی کامل[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۷/۱۵

حمزه‌ئی، ج. و صدیقی کامل، ج. ۱۳۹۸. اثر کشت مخلوط افزایشی لوبیا سبز (*Phaseolus vulgaris* L.) بر رشد، عملکرد معادل و کارایی استفاده از زمین سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) تحت سطوح مختلف کود نیتروژنه. بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۱ (۴): ۱۴۲۲-۱۴۰۹.

چکیده

یکی از راهکارهای حرکت به‌سمت کشاورزی پایدار، ایجاد تنوع و به‌کارگیری کشت مخلوطی از گیاهان، ارقام و یا ایزولاین‌های مختلف در زراعت است. هم‌چنین جهت افزایش بهره‌وری در نظام کشاورزی، مدیریت منابع و نهاده‌ها نیز نقش اساسی دارند. به همین دلیل در این آزمایش واکنش سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) به الگوهای مختلف کشت (کشت خالص سیب‌زمینی و کشت‌های مخلوط افزایشی لوبیا سبز (*Phaseolus vulgaris* L.) در بین ردیف‌های سیب‌زمینی، روی ردیف‌های سیب‌زمینی و بین و روی ردیف‌های سیب‌زمینی) و سطوح نیتروژن (صفر، ۸۰ و ۱۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار) بررسی شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا و در سال زراعی ۱۳۹۵ اجرا شد. ویژگی‌های زراعی، اجزای عملکرد و عملکرد سیب‌زمینی، عملکرد معادل سیب‌زمینی، عملکرد غلاف لوبیا سبز، نسبت برابری زمین و مجموع ارزش نسبی اندازه‌گیری و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. بیش‌ترین عملکرد غده سیب‌زمینی (۴۲/۵۰ تن در هکتار) از تیمار کشت مخلوط بین‌ردیفی لوبیا سبز با دریافت ۱۶۰ کیلوگرم نیتروژن به‌دست آمد که با تیمار کشت مخلوط بین‌ردیفی لوبیا سبز با دریافت ۸۰ کیلوگرم نیتروژن (با عملکرد معادل ۴۱/۵۱ تن در هکتار)، اختلاف معنی‌داری نداشت. هم‌چنین، بالاترین عملکرد غلاف لوبیا سبز (۵۱۵ گرم در مترمربع)، نسبت برابری زمین (۱/۵۳)، مجموع ارزش نسبی (۱/۴۵) و بالاترین عملکرد معادل سیب‌زمینی (۵۴/۳۸ تن در هکتار) از تیمار کشت مخلوط بین‌ردیفی لوبیا سبز با دریافت ۸۰ کیلوگرم نیتروژن به‌دست آمد. بنابراین، تیمار کشت مخلوط بین‌ردیفی لوبیا سبز با دریافت ۸۰ کیلوگرم نیتروژن از نظر رشد، عملکرد غده، بهبود کارایی استفاده از زمین و کارایی مصرف نیتروژن مناسب‌ترین تیمار بود. در کل، کشت لوبیا سبز در بین ردیف‌های سیب‌زمینی به‌دلیل تعلق آن‌ها به دو تیره مختلف و تفاوت‌های اکولوژیکی، مورفولوژیکی و تغذیه‌ای، جنبه‌های هم‌یاری و مکملی مناسبی در کشت مخلوط دارند. این امر موجب افزایش بهره‌وری بهتر از زمین، نور و مواد غذایی موجود در واحد سطح و نیز افزایش تنوع در اکوسیستم‌های کشاورزی می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: چند کشتی، کارایی مصرف منابع، لگوم، مجموع ارزش نسبی، نسبت برابری زمین

مقدمه

ازدیاد جمعیت و تأمین غذا، تخریب محیط‌زیست و پایین بودن راندمان تولید در واحد سطح، همواره به‌عنوان یکی از مهم‌ترین و نگران‌کننده‌ترین چالش‌های جامعه بشری در کشاورزی مطرح است (Li et al., 2006). بنابراین، بازنگری در روش‌های متداول زراعت و راهکارهای مربوط به استفاده بیش‌تر و بهینه از زمین و افزایش تولید، اهمیت خود را بیش از پیش نمایان می‌سازند. یکی از شیوه‌های زراعی هم‌راستا با اهداف اکولوژیک کشت مخلوط می‌باشد که کشت همزمان

۱ و ۲- به‌ترتیب دانشیار و دانش‌آموخته کارشناسی ارشد زراعت، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: j.hamzei@basu.ac.ir)
Doi: 10.22067/jag.v11i4.70706

دو و یا چند محصول در یک مزرعه است و در بسیاری از مناطق دنیا اجرا می‌گردد. کشت مخلوط در مناطق و اقلیم‌های مختلف، توانسته است عملکرد کل را در واحد سطح در مقایسه با تک‌کشتی افزایش دهد (Raei et al., 2011). سیستم‌های کشت مخلوط ثبات عملکرد را بهبود می‌بخشند و پایداری بیش‌تری در عملکرد نشان می‌دهند. این سیستم علاوه بر حفظ تعادل اکولوژیک و ثبات سیستم، اهدافی نظیر بهره‌برداری حداکثری از منابع محیطی نظیر آب، خاک، مواد غذایی، افزایش کمّی و کیفی عملکرد، کاهش خسارات ناشی از آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز و بالاخره بهبود شرایط اجتماعی نظیر ثبات بیش‌تر اقتصادی و تغذیه مناسب انسان را دنبال می‌کند. از مهم‌ترین دلایل افزایش تولید درکشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی، استفاده بهینه از عوامل محیطی مانند نور، آب، زمین و مواد غذایی موجود در خاک ذکر شده است (Hamzei & Seyedi, 2012; Mariotti et al., 2009; Ren et al., 2016). محققان اظهار داشتند که در کشت مخلوط سیب‌زمینی و کلم (*Brassica oleracea* L.)، بیماری زنگ کلم به‌طور معنی‌داری کاهش و به‌دلیل تفاوت در ساختار کانوپی، مقدار عملکرد در واحد سطح افزایش یافت (Bindera et al., 2005). رقابت گیاهی در مخلوط سیب‌زمینی و ذرت (*Zea mayes* L.) کم‌تر از تک‌کشتی آن‌ها بوده و این دو گیاه به‌دلیل کاهش شدت رقابت و یا هم‌یاری دوجانبه از عوامل محیطی بهتر استفاده کردند و در نتیجه عملکرد نهایی آن‌ها از تک‌کشتی بیش‌تر گردید (Hosseinpanahi et al., 2010). امروزه روند مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی و سایر نهاده‌ها منجر به بروز مشکلاتی مثل آلودگی منابع آب، خاک و محیط زیست شده است. کشت مخلوط یک روش اقتصادی جهت تولید بالاتر با مصرف کم‌تر نهاده‌های خارجی و کاهش مشکلات زیست‌محیطی، مطرح شده است (Mulugeta et al., 2000). لگوم‌ها توانایی تثبیت نیتروژن را دارند و قرار دادن آن‌ها در زراعت مخلوط به جهت تثبیت نیتروژن می‌تواند در کاهش مصرف نیتروژن مؤثر باشد (Larbi et al., 2011). گزارش شده است که استفاده از گیاهان تیره لگومینوز در کشت مخلوط، به‌دلیل ویژگی منحصربه‌فرد آن‌ها در تثبیت بیولوژیکی نیتروژن و تولید پروتئین بالا، کارآیی سیستم افزایش می‌یابد (Javanshir et al., 2000; Hamzei & Seyedi, 2016). کشت مخلوط سیب‌زمینی با لگوم‌ها از جمله لوبیا جزء شیوه‌های معمول در اغلب نواحی گرمسیری و نیمه‌گرمسیری آمریکای لاتین و آسیا است (Monti et al., 2016). در آزمایشی، برتری عملکرد کلزا (*Brassica napus* L.) در کشت مخلوط با لگوم‌ها (شبدر (*Trifolium incarnatum* L.)، ماشک (*Vicia sativa* L.) و لوپن (*Lupinus albus* L.)) به تثبیت و انتقال نیتروژن توسط لگوم نسبت داده شده است (Génard et al., 2017). طی آزمایشی با کشت مخلوط سیب‌زمینی و لوبیا سبز، مقدار نسبت برابری زمین (LER[1]) در کلیه حالات کشت مخلوط، بیش‌تر از یک گردید و عملکرد در واحد سطح افزایش یافت و سودمندی آن بیش‌تر از تک‌کشتی شد (Dua et al., 2005). هم‌چنین، در کشت مخلوط نخودفرنگی (*Pisum sativum* L.) با سیب‌زمینی کلیه الگوهای کشت مخلوط به کشت خالص برتری داشتند و بیش‌ترین مقدار LER برابر ۱/۳۶ گزارش شد (Barmaki, 2001). در مطالعه‌ای دیگر با کشت مخلوط سیب‌زمینی و شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum* L.) عملکرد سیب‌زمینی حدود ۲/۵ تن در هکتار افزایش یافت (Prasad et al., 2001). هم‌چنین، درکشت مخلوط جایگزینی سیب‌زمینی و لوبیا سبز، عملکرد غده در بوته سیب‌زمینی بیش‌تر از کشت خالص آن گزارش شد (Dua et al., 2005). این امر از کاهش رقابت برون‌گونه‌ای نسبت به رقابت درون‌گونه‌ای در کشت مخلوط جایگزینی و تثبیت نیتروژن توسط لوبیا سبز ناشی شده بود.

در مطالعات پیشین صرفاً کشت مخلوط سیب‌زمینی با گیاهان لگوم و غیرلگوم بررسی شده است و تاکنون حداقل در سطح کشور به نقش لگوم در کاهش مصرف نیتروژن در زراعت سیب‌زمینی و نیز به نحوه قرارگیری لگوم (لوبیا سبز) در مزرعه سیب‌زمینی و به عبارتی آرایش کاشت در کشت مخلوط، پرداخته نشده است. لذا با عنایت به موارد ذکر شده در خصوص کشت مخلوط و نقش آن در ایجاد تنوع و سیستم کشاورزی پایدار، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی اثرات کشت مخلوط افزایشی لوبیا سبز بر رشد، اجزای عملکرد و عملکرد غده سیب‌زمینی، عملکرد معادل سیب‌زمینی، عملکرد غلاف لوبیا سبز، نسبت برابری زمین، مجموع ارزش نسبی و امکان کاهش مصرف کود نیتروژن در زراعت سیب‌زمینی توسط لگوم (لوبیا سبز) طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی

1- Land equivalent ratio

در سه تکرار در سال زراعی۹۶- ۱۳۹۵ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا با طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۱ دقیقه شرقی، ۳۵ درجه و ۱ دقیقه عرض شمالی و در ارتفاع ۱۶۹۰ متری از سطح دریا اجرا شد. نتایج آزمون، بافت خاک را لومی با اسیدیته ۷/۵ نشان داد. نتایج آنالیز خاک محل آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است. عامل اول الگوهای مختلف کاشت در چهار سطح کشت خالص سیب‌زمینی، کشت مخلوط افزایشی لوبیا سبز بین ردیف‌های سیب‌زمینی، کشت مخلوط افزایشی لوبیا سبز روی ردیف‌های سیب‌زمینی و کشت مخلوط افزایشی لوبیا سبز بین و روی ردیف‌های سیب‌زمینی و عامل دوم کود نیتروژن در سه سطح صفر، ۸۰ و ۱۶۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار بودند. در تیمارهای کشت خالص و مخلوط سیب‌زمینی، نیتروژن مورد نظر در هر واحد آزمایشی در دو نوبت (۵۰ درصد در زمان کاشت و ۵۰ درصد در اوایل گل‌دهی سیب‌زمینی) مصرف شد. هم‌چنین، جهت محاسبه شاخص‌های ارزیابی سودمندی کشت مخلوط، لوبیا سبز نیز به‌صورت خالص در سه تکرار کشت شد. در کشت خالص لوبیا سبز نیز ۴۵ کیلوگرم کود اوره (حدود ۲۰ کیلوگرم نیتروژن خالص) در هکتار به‌صورت سرک و در زمان کشت به زمین اضافه شد. کرت‌های آزمایشی هرکدام به‌طول شش متر و عرض سه متر (۱۸ مترمربع) تهیه شد. فاصله بین کرت‌ها در هر بلوک و فاصله بین بلوک‌ها ۱/۵ متر در نظر گرفته شد. در هر کرت پنج ردیف سیب‌زمینی با فاصله بین ردیف ۶۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها روی ردیف ۲۸ سانتی‌متر (تراکم شش بوته در مترمربع) کشت شد. تراکم لوبیا سبز در کشت خالص ۲۴ بوته در مترمربع در نظر گرفته شد و در تمامی تیمارهای کشت مخلوط، ۵۰ درصد آن (۱۲ بوته در مترمربع) به کشت خالص سیب‌زمینی اضافه شد. قبل از کشت، بذور لوبیا سبز با باکتری ریزوبیوم (*Rhizobium phaseoli*) تلقیح شد. برای سیب‌زمینی از رقم آگریا (رقمی میان‌رس) و برای لوبیا سبز از بذر تجاری (محصول کشور آمریکا با تیپ رشدی ایستاده) استفاده شد. عملیات کاشت سیب‌زمینی و لوبیا سبز به‌طور هم‌زمان و در تاریخ ۲/۳۰/ ۱۳۹۵ صورت گرفت. کشت به‌صورت دستی انجام شد و بلافاصله آبیاری به‌صورت بارانی صورت گرفت. در طول فصل رشد و طی سه نوبت علف‌های هرز به‌صورت دستی وجین شدند. در پایان فصل رشد، پس از حذف اثر حاشیه عملکرد سیب‌زمینی با برداشت دو مترمربع از هر واحد آزمایشی تعیین شد. تعداد غده‌ها در بوته بر اساس میانگین تعداد غده حاصل از پنج بوته تعیین گردید. غلاف‌های سبز لوبیا نیز در سه مرحله برداشت شد و مجموع آن‌ها به‌عنوان عملکرد لوبیا سبز در هر کرت لحاظ شد. برای محاسبه شاخص برداشت (HI) سیب‌زمینی از معادله $HI=(EY/BY)\times100$ استفاده شد. در این معادله، HI: شاخص برداشت بر حسب درصد،EY: عملکرد اقتصادی (ماده خشک غده سیب‌زمینی) و BY: عملکرد بیولوژیک (مجموع ماده خشک اندام هوایی و غده سیب‌زمینی) می‌باشند.

جهت ارزیابی سودمندی کشت مخلوط نسبت به کشت خالص از شاخص‌های نسبت برابری زمین (LER)، مجموع ارزش نسبی (RVT) و عملکرد معادل سیب‌زمینی در کشت مخلوط (PEY; Potato equivalent yield) محاسبه شد.

شاخص LER نشان‌دهنده درجه رقابت یا هم‌یاری در کشت مخلوط است و از معادله $LER= (Y_{AB}/Y_{AA}) + (Y_{BA}/Y_{BB})$ محاسبه شد که در این معادله، Y_{AB} و Y_{AA}: به‌ترتیب عملکرد گونه A درکشت مخلوط و خالص و Y_{BA} و Y_{BB}: به‌ترتیب عملکرد گونه B درکشت مخلوط و کشت خالص است. اگر این شاخص برابر یک باشد بیانگر آن است که بر اساس عملکرد تولیدی کشت مخلوط با کشت خالص برابر است، ولی اگر مقدار LER از یک بزرگ‌تر باشد، کشت مخلوط برتری دارد و اگر مقدار آن از یک کوچک‌تر باشد، کشت خالص بهتر است. برای محاسبه مجموع ارزش نسبی از معادله $RVT= (P_1Y_1+P_2Y_2)/P_1Y_3$ استفاده شد. در این معادله، P_1: قیمت سیب‌زمینی، P_2: قیمت لوبیا سبز، Y_1: عملکرد سیب‌زمینی در کشت مخلوط، Y_2: عملکرد لوبیا سبز در کشت مخلوط و Y_3: عملکرد سیب‌زمینی در کشت خالص است. قیمت هر کیلوگرم سیب‌زمینی و غلاف لوبیا سبز در بازار در سال ۱۳۹۵ به‌ترتیب برابر با ۸۰۰۰ و ۲۰۰۰۰ ریال بود. عملکرد معادل سیب‌زمینی (بر حسب تن در هکتار) با تبدیل عملکرد لوبیا سبز در کشت مخلوط بر اساس قیمت‌های ذکر شده و از معادله $PEY= Y_1 + ((Y_2\times P_2)/P_1)$ محاسبه گردید. در این معادله، Y_1 و Y_2: به‌ترتیب عملکرد غده سیب‌زمینی و عملکرد لوبیا سبز بر حسب تن در هکتار و P_1 و P_2: نیز به‌ترتیب قیمت غده سیب‌زمینی و لوبیا سبز می‌باشند.

تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.1 انجام شد. جهت مقایسه میانگین‌ها نیز از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد استفاده گردید.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش
Tabel 1- Soil physical and chemical properties of the experimental site

رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)	بافت Texture	فسفر قابل‌جذب Available P (ppm)	پتاسیم قابل جذب Available K (ppm)	نیتروژن کل Total N (%)	کربن آلی Organic C (%)	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)
25	46	29	Loam	10.6	210	0.10	0.9	7.5	0.76

نتایج و بحث

ارتفاع بوته سیب‌زمینی

اثر الگوی کشت و نیتروژن به‌ترتیب در سطح احتمال پنج و یک درصد و اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال پنج درصد بر ارتفاع بوته سیب‌زمینی معنی‌دار شد (جدول ۲). کم‌ترین ارتفاع بوته (۷۴/۳ سانتی‌متر) به تیمار $M_1 \times N_0$ (کشت خالص بدون مصرف نیتروژن) تعلق گرفت. بیش‌ترین ارتفاع بوته (۹۲/۶ سانتی‌متر) نیز با ۲۵ درصد افزایش نسبت به تیمار $M_1 \times N_0$ از تیمار $M_3 \times N_{160}$ (کشت لوبیا سبز روی ردیف‌های سیب‌زمینی با مصرف ۱۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار) حاصل شد. تیمارهای $M_1 \times N_{160}$، $M_3 \times N_{80}$ و $M_2 \times N_{160}$ به‌ترتیب با ۹۱/۶، ۸۹/۶ و ۸۸/۲ سانتی‌متر ارتفاع بوته اختلاف معنی‌داری با تیمار $M_3 \times N_{160}$ نداشتند (جدول ۳). به نظر می‌رسد در تیمارهای مذکور فراوانی نیتروژن و در تیمار کشت لوبیا سبز روی ردیف‌های سیب‌زمینی نیز افزایش رقابت برای دریافت نور باعث افزایش ارتفاع بوته شده است. به‌طوری‌که تیمارهایی که ۱۶۰ کیلوگرم نیتروژن دریافت کرده بودند نسبت به سایر تیمارها ارتفاع بیش‌تری داشتند و سیب‌زمینی توانست به اندازه کافی اندام هوایی خود را توسعه دهد. در تیمارهای مخلوط، سطح ۸۰ کیلوگرم نیتروژن در مقایسه با سطح کودی ۱۶۰ کیلوگرم نیتروژن تفاوتی در ارتفاع بوته نداشت، ولی در کشت خالص، بین این دو سطح کودی از نظر ارتفاع بوته سیب‌زمینی اختلاف آماری وجود داشت. هم‌چنین، در تیمارهای مخلوط بدون مصرف نیتروژن ارتفاع بوته سیب‌زمینی نسبت به کشت خالص بدون مصرف نیتروژن بیش‌تر شد که به نظر می‌رسد تثبیت نیتروژن توسط لوبیا سبز در کشت مخلوط توانسته تا حدی رقابت برای نیتروژن را کاهش دهد و به توسعه اندام‌های هوایی و ارتفاع بوته سیب‌زمینی کمک کند. پیش‌تر از این نیز افزایش ارتفاع بوته گیاهان در کشت مخلوط در اثر فراهمی زیاد نیتروژن (Geren et al., 2008) و نیز افزایش تراکم بوته در واحد سطح (Seyedi et al., 2012) گزارش شده است.

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر الگوی کشت مخلوط با لوبیا سبز و نیتروژن بر رشد و عملکرد سیب‌زمینی
Table 2- Variance analysis (mean of squares) of the effects of intergropping patterns with green bean and nitrogen on growth and yield of potato

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	ارتفاع بوته Plant height	عملکرد غده Tuber yield	تعداد غده در بوته Number of tuber.plant^{-1}	وزن خشک غده Tuber dry matter	شاخص برداشت Harvest index
تکرار Replication	2	25.13 ^{ns}	9.84 ^{ns}	0.07 ^{ns}	7000 ^{ns}	26.81 ^{ns}
الگوی کشت Planting pattern	3	50.12*	101.85**	0.43 ^{ns}	59115**	4.92 ^{ns}
نیتروژن Nitrogen	2	374.94**	486.00**	0.49 ^{ns}	151320**	51.54**
اثر متقابل Planting pattern×Nitrogen	6	37.32*	11.52*	0.32 ^{ns}	6828*	15.11 ^{ns}
خطا Error	22	13.25	3.84	0.52	2648	8.26
ضریب تغییرات CV (%)		4.54	9.56	12.14	7.50	4.98

*، ** وns: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، یک درصد و غیرمعنی‌دار
*, ** and ns: significant at 5%, 1% and non significant, respectively

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل الگوی کشت در نیتروژن بر ارتفاع بوته، عملکرد و ماده خشک غده سیب‌زمینی

Table 3- Mean comparisons for the effects of of intercropping patterns with green bean × nitrogen interaction on plant height, tuber yield and tuber dry matter of potato

تیمار Treatment	ارتفاع بوته Plant height (cm)	عملکرد غده Tuber yield ($t.ha^{-1}$)	وزن خشک غده Tuber dry matter ($g.m^{-2}$)
$M_1 \times N_0$	74.33 ^{h}	23.67 ^{f}	487 ^{g}
$M_1 \times N_{80}$	84.62 ^{cde}	33.49 ^{c}	642 ^{ef}
$M_1 \times N_{160}$	91.59 ^{ab}	37.67 ^{b}	720 ^{cd}
$M_2 \times N_0$	83.01 ^{def}	31.02 ^{cd}	636 ^{def}
$M_2 \times N_{80}$	85.81 ^{bcd}	41.51 ^{a}	874 ^{a}
$M_2 \times N_{160}$	88.22 ^{abc}	42.50 ^{a}	877 ^{a}
$M_3 \times N_0$	76.84 ^{gh}	27.33 ^{e}	597 ^{f}
$M_3 \times N_{80}$	89.59 ^{abc}	34.17 ^{c}	735 ^{bc}
$M_3 \times N_{160}$	92.63 ^{a}	33.70 ^{c}	647 ^{cd}
$M_4 \times N_0$	78.48 ^{fgh}	28.53 ^{de}	609 ^{ef}
$M_4 \times N_{80}$	80.52 ^{ef}	37.51 ^{b}	763 ^{b}
$M_4 \times N_{160}$	84.42 ^{def}	41.67 ^{a}	876 ^{a}

M_1، M_2، M_3 و M_4: به‌ترتیب کشت خالص سیب‌زمینی، کشت لوبیا سبز بین ردیف‌های سیب‌زمینی، روی ردیف‌های سیب‌زمینی و بین و روی ردیف‌های سیب‌زمینی و N_0، N_{80} و N_{160}: به‌ترتیب صفر، ۸۰ و ۱۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار.

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند، اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD ندارند.

M_1, M_2, M_3 and M_4: sole cropping of potato, green bean intercrops between potato rows, within potato rows and between and within potato rows, respectively, and N_0, N_{80} and N_{160}: 0, 80 and 160 kg N ha^{-1}, respectively.

In each column, averages with at least one common alphabet have no significant difference based on LSD test.

عملکرد غده سیب‌زمینی

اثرات اصلی الگوی کشت و نیتروژن در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال پنج درصد بر عملکرد غده سیب‌زمینی معنی‌دار شد (جدول ۲). بیش‌ترین عملکرد غده سیب‌زمینی (۴۲/۵۰ تن در هکتار) از تیمار $M_2 \times N_{160}$ (کشت لوبیا سبز بین ردیف های سیب زمینی با مصرف ۱۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار) به‌دست آمد، ولی عملکرد غده سیب‌زمینی در این تیمار با تیمارهای $M_4 \times N_{160}$ (کشت لوبیا سبز بین و روی ردیف‌های سیب‌زمینی با مصرف ۱۶۰ کیلوگرم نیتروژن) و تیمار $M_2 \times N_{80}$ (کشت لوبیا سبز بین ردیف های سیب زمینی با مصرف ۸۰ کیلوگرم نیتروژن) که به‌ترتیب دارای عملکرد غده ۴۱/۶۷ و ۴۱/۵۱ تن در هکتار بودند تفاوت معنی‌دار نداشت (جدول ۳). احتمال می‌رود حداکثر فاصله بوته‌های دو گونه در کشت لوبیا سبز بین ردیف‌های سیب‌زمینی و هم‌چنین تثبیت نیتروژن توسط لوبیا سبز در تیمار $M_2 \times N_{80}$ توانسته تا حدودی رقابت برای منابع را کم‌تر کند و لذا عملکرد در این تیمار نیز افزایش یافته است. از طرفی، در این دو الگوی کشت لوبیا سبز توانست حدفاصل بین ردیف‌های سیب‌زمینی را پوشش داده و فضای‌های خالی را پر کند و در نتیجه، منجر به بهبود شرایط میکروکلیمایی، کاهش تبخیر رطوبت از سطح خاک و دمای داخل کانوپی شود که حفظ رطوبت از عوامل مؤثر در بهبود عملکرد می‌باشد. این نتایج با یافته‌های گابلس و ددیو (Gubbles & Dedio, 2004) مطابقت دارد. نتایج تحقیقات پیشین در مورد کشت مخلوط ذرت با سیب‌زمینی نیز حاکی از این است که کشت مخلوط سیب-زمینی با ذرت نسبت به تک‌کشتی آن‌ها سودمند بوده و این برتری را به بهبود شرایط میکروکلیمایی در کشت مخلوط و کاهش تبخیر از سطح خاک و کاهش دمای داخل کانوپی نسبت دادند که این امر به افزایش کارایی مصرف آب نیز منجر خواهد شد (Jamshidi et al., 2008; Afsharmanesh, 2013; Al–Dalain, 2009). کم‌ترین عملکرد غده سیب‌زمینی (۲۳/۶۷ تن در هکتار) نیز به تیمار $M_1 \times N_0$ (کشت خالص سیب‌زمینی بدون مصرف کود نیتروژن) تعلق گرفت (جدول ۳). تیمارهای $M_2 \times N_{160}$ و $M_2 \times N_{80}$ در مقایسه با تیمار $M_1 \times N_0$ عملکرد غده سیب‌زمینی را به‌ترتیب ۷۹/۶ و ۷۵/۴ درصد افزایش دادند. در همه الگوهای کشت مخلوط بدون و با مصرف کود نیتروژن، عملکرد غده سیب‌زمینی به‌طور معنی‌داری نسبت به کشت خالص آن و بدون مصرف نیتروژن ($M_1 \times N_0$)، بیش‌تر بود. دلیل افزایش عملکرد در مخلوط، تعلق دو گونه سیب‌زمینی و لوبیا سبز به دو خانواده مختلف و وجود هم‌یاری و همزیستی مکملی به همراه تثبیت نیتروژن توسط لوبیا سبز بود. در تیمار $M_2 \times N_{80}$ در مقایسه با دو تیمار $M_2 \times N_{160}$ و $M_4 \times N_{160}$ مقدار مصرف نیتروژن نصف شد. به نظر می‌رسد تثبیت نیتروژن توسط لوبیا سبز توانسته کاهش مصرف

نیتروژن در تیمار $M_2 \times N_{80}$ را جبران کند و مانع از افت عملکرد در این تیمار شود. نتیجه به‌دست‌آمده از این آزمایش با یافته‌های برخی از پژوهشگران (Javanshir et al., 2000; Dua et al., 2005; Nassiri Mahallati et al., 2015; Prasad et al., 2001) هماهنگ است. نام‌بردگان علت برتری عملکرد گیاهان در مخلوط با لگوم‌ها را تثبیت نیتروژن توسط لگوم بیان کردند. لاربی و همکاران (Larbi et al., 2011) بیان کردند سهم زیادی از نیتروژن گیاهان غیرلگوم در کشت مخلوط از لگوم‌ها تأمین می‌شود. نتایج مشابهی نیز توسط ناچیگرا و همکاران (Nachigera et al., 2008) در کشت مخلوط ذرت با سیب زمینی و میرزاخانی و همکاران (Mirzakhani & Davari, 2017) در کشت مخلوط ذرت با گاودانه گزارش شده است. بنابراین، به نظر می رسد وجود لوبیا سبز با قدرت تثبیت بیولوژیکی نیتروژن در سیستم، رقابت را برای نیتروژن کاهش داده و ضمن تأمین نیتروژن کافی برای سیب‌زمینی، از افت عملکرد سیب-زمینی در اثر کمبود نیتروژن در تیمارهایی که ۸۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن دریافت کرده بودند، جلوگیری کرد.

تعداد غده در بوته سیب‌زمینی

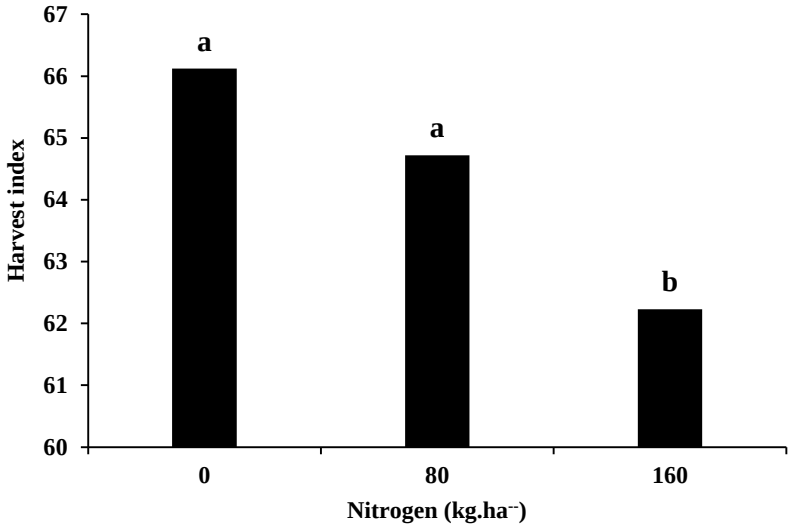
تعداد غده در بوته سیب‌زمینی تحت تأثیر اثرات اصلی و اثر متقابل تیمارها قرار نگرفت (جدول ۲). به نظر می‌رسد تعداد غده در بوته بیش‌تر تحت تأثیر ژنتیک و رقم بوده و معمولاً همبستگی مثبت با تعداد ساقه اصلی در بوته دارد و تحت تأثیر محیط، رقابت و منابع قرار نمی‌گیرد. نتایج مطالعات متعدد حاکی از این است که تعداد غده در بوته سیب‌زمینی تحت تأثیر کشت مخلوط با لوبیا چیتی (Nasrollahzadeh et al., 2012)، مصرف کود نیتروژن (Arshadi et al., 2013) و تراکم بوته (Gebremedhin, 2001) قرار نگرفت. در این آزمایشات، تغییرات عملکرد در بوته سیب‌زمینی را بیش‌تر به وزن غده‌ها نسبت داده‌اند و بیان کرده‌اند که تعداد غده در بوته بر عملکرد تأثیری ندارد.

وزن خشک غده و شاخص برداشت

وزن خشک غده سیب‌زمینی در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر الگوی کشت و نیتروژن و در سطح احتمال پنج درصد تحت تأثیر اثر متقابل آن‌ها قرار گرفت (جدول ۲). تیمار $M_2 \times N_{160}$ (کشت لوبیا سبز بین ردیف‌های سیب‌زمینی با مصرف ۱۶۰ کیلوگرم نیتروژن) بیش‌ترین میزان ماده خشک غده (۸۷۷ گرم در مترمربع) را داشت که با تیمارهای $M_4 \times N_{160}$ و $M_2 \times N_{80}$ به‌ترتیب با تولید ماده خشک غده ۸۷۶ و ۸۷۴ گرم در مترمربع، اختلاف معنی‌داری نداشت. کم‌ترین میزان ماده خشک غده (۴۸۷ گرم در مترمربع) به تیمار $M_1 \times N_0$ تعلق گرفت (جدول ۳). تیمار $M_2 \times N_{160}$ در مقایسه با تیمار $M_1 \times N_0$ از افزایش ۸۰ درصدی در تولید ماده خشک غده برخوردار بود. شاخص برداشت سیب‌زمینی تنها تحت تأثیر نیتروژن قرار گرفت (جدول ۲). بیش‌ترین شاخص برداشت (۶۶ درصد) به تیمار N_0 (عدم مصرف نیتروژن) تعلق گرفت. تیمار N_{80} با شاخص برداشت معادل ۶۴/۷ درصد در جایگاه بعدی قرار گرفت که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با تیمار N_0 نداشت و کم‌ترین شاخص برداشت (۶۲ درصد) به تیمار N_{160} اختصاص یافت (شکل ۱). به نظر می‌رسد با افزایش مصرف نیتروژن تا حدی می‌توان عملکرد اقتصادی را افزایش داد. در این آزمایش با کاربرد ۱۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، عملکرد خیلی افزایش نیافت ولی رشد رویشی اندام‌های هوایی بیش‌تر تحت تأثیر قرار گرفت و در نتیجه باعث به‌وجود آمدن رقابت بین آن‌ها و اندام‌های ذخیره‌ای (غده‌ها) برای فتوآسیمیلات‌ها شد و لذا عملکرد اقتصادی نسبت به عملکرد بیولوژیک کاهش یافت. این نتایج با یافته‌های ارشدی و همکاران (Arshadi et al., 2013) هماهنگ است.

تعداد غلاف در بوته، عملکرد غلاف و عملکرد بیولوژیک لوبیا سبز

اثرات اصلی الگوی کشت و نیتروژن و اثر متقابل آن‌ها بر تعداد غلاف در بوته لوبیا سبز معنی‌دار (جدول ۴). بیش‌ترین تعداد غلاف در بوته (۱۰/۷ غلاف در بوته) در تیمار $M_2 \times N_{80}$ (کشت لوبیا سبز بین ردیف‌های سیب‌زمینی با مصرف ۸۰ کیلوگرم نیتروژن) مشاهده شد (جدول ۵). تیمار $M_3 \times N_{160}$ نیز با ۶/۳ غلاف در بوته و با ۴۱ درصد کاهش نسبت به تیمار $M_2 \times N_{80}$ در پایین‌ترین سطح قرار گرفت. اثر الگوی کشت و کود نیتروژن در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال پنج درصد بر عملکرد غلاف لوبیا سبز معنی‌دار شد (جدول ۴).



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر نیتروژن بر شاخص برداشت سیب‌زمینی

Fig. 1- Mean comparison for the effect of nitrogen on potato harvest index

در تیمارهای کشت مخلوط بیش‌ترین عملکرد غلاف لوبیا سبز (۵۱۵ گرم در مترمربع) از تیمار $M_2 \times N_{80}$ به‌دست آمد و کم‌ترین عملکرد لوبیا سبز (۲۶۰ گرم در مترمربع) به تیمار $M_3 \times N_{160}$ (کشت لوبیا سبز روی ردیف‌های سیب‌زمینی با مصرف ۱۶۰ کیلوگرم نیتروژن) تعلق گرفت (جدول ۵). تیمار $M_2 \times N_{80}$ در مقایسه با تیمار $M_3 \times N_{160}$ عملکرد لوبیا سبز را ۴۹ درصد افزایش داد. اثرات اصلی و اثر متقابل الگوی کشت در نیتروژن بر عملکرد بیولوژیک لوبیا سبز نیز معنی‌دار بود (جدول ۴). بیش‌ترین عملکرد بیولوژیک لوبیا سبز (۲۵۴ گرم در مترمربع) از تیمار $M_2 \times N_{80}$ مشاهده شد. تیمار $M_3 \times N_{160}$ با ۱۲۴/۷ گرم ماده خشک در مترمربع و با ۵۱ درصد کاهش نسبت به تیمار $M_2 \times N_{80}$ پایین‌ترین سطح عملکرد بیولوژیک را داشت (جدول ۵). به نظر می‌رسد عامل اصلی که منجر به افزایش این ویژگی‌ها در تیمار $M_2 \times N_{80}$ شده است، کشت لوبیا سبز بین ردیف‌های سیب‌زمینی است. در این الگوی کشت حداکثر فاصله بین بوته‌های دو گونه به‌وجود آمد و لذا رقابت بین گونه‌ای برای منابع محیطی به‌خصوص نور کم‌تر شد. از طرفی مصرف ۸۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار در این تیمار اندام هوایی سیب‌زمینی را نسبت به مصرف کود نیتروژن ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار، کم‌تر افزایش داد و باعث نفوذ بیش‌تر نور به داخل کانوپی شد. لذا لوبیا سبز که نسبت به سیب‌زمینی ارتفاع بوته کم‌تری داشت و توانایی رقابت با سیب‌زمینی برای دسترسی به نور را نداشت در این تیمار وضعیت بهتری داشت و توانست شاخص سطح برگ و رشد خود را افزایش دهد. افزایش سطح برگ و افزایش ظرفیت فتوسنتزی به افزایش عملکرد بیولوژیک، عملکرد غلاف و تعداد غلاف در بوته منجر شد. از آنجایی‌که در کلیه واحدهای آزمایشی علف‌های هرز در طول دوره رشد کنترل شدند، بنابراین، تنها رقابت درون‌گونه‌ای (در کشت‌های خالص) و رقابت درون و بین گونه‌ای (در الگوهای کشت مخلوط) وجود داشت. در الگوی کشت لوبیا سبز روی ردیف‌های سیب‌زمینی، تراکم روی ردیف‌ها بالاتر بود و به‌دلیل رقابت شدید بین گونه‌ایی، عمدتاً عملکرد لوبیا سبز نسبت به دو الگوی کشت مخلوط دیگر کم‌تر شد. هم‌چنین، کود نیتروژن تأثیر بیش‌تری بر توسعه اندام‌های هوایی سیب‌زمینی داشت که این امر سایه‌اندازی بیش‌تری بر روی بوته لوبیا سبز را به دنبال داشت. در نتیجه، کم‌ترین عملکرد غلاف، کم‌ترین تعداد غلاف در بوته و پایین‌ترین عملکرد بیولوژیک لوبیا سبز به تیمار $M_3 \times N_{160}$ (کشت لوبیا سبز روی ردیف‌های سیب‌زمینی با مصرف ۱۶۰ کیلوگرم نیتروژن) تعلق گرفت (جدول ۵). کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2012) بیان کردند در کشت مخلوط اگر ساختار کانوپی به‌نحوی طراحی گردد که منجر به نفوذ نور بیش‌تری به داخل کانوپی شود، گونه‌های گیاهی نور بیش‌تری می‌توانند جذب کنند و قادر خواهند بود عملکرد را افزایش دهند. در کشت مخلوط نخود (*Cicer arietinum* L.) و جو (*Hordeum vulgare* L.) نیز علت عملکرد بالاتر نخود در الگوهای کشت مخلوط با تراکم پایین‌تر نسبت به الگوهای کشت با تراکم بالاتر، دسترسی بیش‌تر به منابع محیطی به‌ویژه نور گزارش شده است (Seyedi et al., 2012). بنابراین، الگو و نحوه آرایش

کشت گیاهان در مخلوط بر عملکرد و اجزای عملکرد تأثیرگذار است (Rezaei-Chianeh et al., 2011; Allahdadi et al., 2013).

جدول ٤- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر الگوی کشت مخلوط با سیب‌زمینی و نیتروژن بر عملکرد غلاف سبز، تعداد غلاف در بوته و عملکرد بیولوژیک لوبیا سبز

Table 4- Variance analysis (mean of squares) of the effects of intercropping patterns with patato and nitrogen on green pod yield, number of pods per plant and biological yield of green bean

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	عملکرد غلاف سبز Green pod yield	تعداد غلاف در بوته Number of pods.plant^{-1}	عملکرد بیولوژیک Biological yield
تکرار Replication	2	1286 ^{ns}	0.44 ^{ns}	315 ^{ns}
الگوی کشت Planting pattern	2	38331**	7.44**	10125**
نیتروژن Nitrogen	2	21574**	8.11**	5280**
اثر متقابل Planting pattern×Nitrogen	6	3632*	2.05*	907**
خطا Error	16	919	0.61	223
ضریب تغییرات CV (%)		9.25	10.13	8.51

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

*, ** and ns: significant in 5%, 1% and non-significant, respectively.

جدول ٥- مقایسه میانگین اثر متقابل الگوی کشت مخلوط با سیب‌زمینی در نیتروژن بر عملکرد غلاف سبز، تعداد غلاف در بوته و عملکرد بیولوژیک لوبیا سبز

Table 5- Mean comparisons for the effect of planting pattern with patato ×nitrogen interaction on green pod yield, number of pods per plant and biological yield of green bean

تیمار Treatment	عملکرد غلاف سبز Green pod yield (g.m^{-2})	تعداد غلاف در بوته Number of pods.plant^{-1}	عملکرد بیولوژیک Biological yield (g.m^{-2})
$M_2\times N_0$	432 ^{b*}	9.01 ^{b}	213.02 ^{b}
$M_2\times N_{80}$	515 ^{a}	10.72 ^{a}	254.00 ^{a}
$M_2\times N_{160}$	345 ^{cd}	7.29 ^{cd}	170.11 ^{cd}
$M_3\times N_0$	316 ^{d}	7.71 ^{bcd}	153.95 ^{d}
$M_3\times N_{80}$	328 ^{d}	7.73 ^{bcd}	158.69 ^{d}
$M_3\times N_{160}$	260 ^{e}	6.33 ^{d}	124.71 ^{e}
$M_4\times N_0$	331 ^{d}	7.02 ^{d}	161.33 ^{d}
$M_4\times N_{80}$	390 ^{bc}	8.69 ^{bc}	189.69 ^{bc}
$M_4\times N_{160}$	333 ^{d}	7.74 ^{bcd}	162.32 ^{d}

M_2، M_3 و M_4: به‌ترتیب کشت لوبیا سبز بین ردیف‌های سیب‌زمینی، روی ردیف‌های سیب‌زمینی و بین و روی ردیف‌های سیب‌زمینی و N_0، N_{80} و N_{160}: به‌ترتیب صفر، ۸۰ و ۱۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار.

* در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند، اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD ندارند.

M_2, M_3 and M_4: green bean intercrops between potato rows, within potato rows and between and within potato rows, respectively, and N_0, N_{80} and N_{160}: 0, 80 and 160 kg N ha^{-1}, respectively.

* In each column, averages with at least one common alphabet have no significant difference based on LSD test.

نسبت برابری زمین، مجموع ارزش نسبی و عملکرد معادل سیب‌زمینی

در این آزمایش کشت خالص سیب‌زمینی با دریافت ۱۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار ($M_1\times N_{160}$)، عملکرد ۳۷/۶۷ تن غده و کشت خالص لوبیا سبز با تراکم ۲۴ بوته در مترمربع، عملکرد ۱۲ تن غلاف لوبیا سبز در هکتار داشتند. نسبت برابری زمین (LER) در کلیه تیمارهای کشت مخلوط به‌غیر از تیمار $M_3\times N_0$ (کشت لوبیا سبز روی ردیف‌های سیب‌زمینی بدون مصرف نیتروژن) بیش‌تر از یک شد

(جدول ۶). بالاترین LER (۱/۵۳) به تیمار $M_2 \times N_{80}$ (کشت لوبیا سبز بین ردیف‌های سیب‌زمینی با مصرف ۸۰ کیلوگرم نیتروژن) و کم‌ترین آن (۰/۹۹) به تیمار $M_3 \times N_0$ تعلق گرفت. در تیمار $M_2 \times N_{80}$ عملکرد نسبی سیب‌زمینی ۱/۱۰ و عملکرد نسبی لوبیا سبز ۰/۴۳ بود. در واقع، سودمندی استفاده از زمین در این تیمار ۵۳ درصد بیش‌تر از کشت خالص آن‌ها شد. در این آزمایش عملکرد نسبی سیب‌زمینی در کشت لوبیاسبز بین ردیف‌های سیب‌زمینی در دو سطح کودی ۸۰ و ۱۶۰ کیلوگرم نیتروژن بالاتر از یک و در کشت لوبیا سبز روی ردیف-های سیب‌زمینی، کم‌تر از یک شد (جدول ۶). در واقع، در الگوی کشت M_2، تراکم کم‌تر روی ردیف‌های سیب‌زمینی منجر به کاهش رقابت و نیز اشغال فضای بین ردیف‌های سیب‌زمینی توسط لوبیا سبز باعث کاهش تبخیر، استفاده بهینه از آب و در نتیجه افزایش عملکرد نسبی سیب‌زمینی در مقایسه با تیمار M_3 شد. بنابراین، انتخاب الگوی مناسب در کشت مخلوط بسیار مهم و مؤثر در عملکرد خواهد بود. گزارش شده است که وجود تفاوت‌های فیزیولوژیک، مورفولوژیک و نیز آشیان اکولوژیک بین دو گونه در کشت مخلوط منجر به استفاده متفاوت اجزای کشت مخلوط از منابع مورد نیاز در رشد و کاهش رقابت می‌شود که این امر در نهایت موجب بهره‌برداری بهینه از منابع و تولید بیش‌تر در واحد سطح می‌شود (Banik et al., 2006). وجود و نقش تفاوت‌های مورفولوژیک، فیزیولوژیک، سیستم تثبیت و جذب نیتروژن و بالاتر بودن LER در سیستم‌های کشت مخلوط سیب‌زمینی با لوبیا (Nasrollahzadeh et al., 2012; Raei et al., 2011)، سیب‌زمینی با لوبیا سبز (Bindera & Thakur, 2005; Dua et al., 2005)، نخود با جو (Seyedi et al., 2012)، سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) و ریحان (*Ocimum basilicum* L.) با لوبیا (Rezaei–Chianeh et al., 2011)، ذرت با سیب‌زمینی (Hosseinpanahi et al., 2010)، آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) با لوبیا (Hamzei & Babaei, 2017) و سویا با ذرت (Piri et al., 2017) گزارش شده است. مجموع ارزش نسبی نیز در همه تیمارها به‌غیر از دو تیمار $M_3 \times N_0$ و $M_4 \times N_0$ بالاتر از یک شد که این امر بیانگر برتری کشت مخلوط از نظر اقتصادی است (جدول ۶). بیش‌ترین RVT (۱/۴۵) به تیمار $M_2 \times N_{80}$ و کم‌ترین آن (۰/۹۴) به تیمار $M_3 \times N_0$ تعلق گرفت. تیمار $M_2 \times N_{80}$ در مقایسه با تک‌کشتی، ۴۵ درصد سودمندی اقتصادی را افزایش داد. گزارش شده است کشت مخلوط علاوه‌بر ایجاد تنوع و پایداری تولید در اکوسیستم‌های زراعی، درآمد اقتصادی و بهره‌وری از زمین را به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای افزایش می‌دهد (Hamzei & Seyedi, 2012).

عملکرد معادل سیب‌زمینی در تیمارهای مخلوط به‌جز دو تیمار $M_3 \times N_0$ و $M_4 \times N_0$ بیش‌تر از کشت خالص سیب‌زمینی با ۱۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بود (جدول ۷). بیش‌ترین عملکرد معادل سیب‌زمینی (۵۴/۳۸ تن در هکتار) از تیمار $M_2 \times N_{80}$ حاصل شد.

جدول ٦- مقادیر شاخص‌های نسبت برابری زمین و مجموع ارزش نسبی در کشت مخلوط لوبیا سبز و سیب‌زمینی

Table 6- Values of land equivalent ratio (LER) and relative value total (RVT) indices in intercropping of green bean and potato

تیمار Treatment	نسبت برابری زمین LER	عملکرد نسبی لوبیا سبز $LER_{green\ bean}$	عملکرد نسبی سیب‌زمینی LER_{potato}	مجموع ارزش نسبی RVT
$M_2 \times N_0$	1.18	0.36	0.82	1.11
$M_2 \times N_{80}$	1.53	0.43	1.10	1.45
$M_2 \times N_{160}$	1.42	0.29	1.13	1.36
$M_3 \times N_0$	0.99	0.26	0.73	0.94
$M_3 \times N_{80}$	1.18	0.27	0.91	1.13
$M_3 \times N_{160}$	1.09	0.22	0.88	1.05
$M_4 \times N_0$	1.03	0.28	0.76	0.98
$M_4 \times N_{80}$	1.32	0.33	1.00	1.26
$M_4 \times N_{160}$	1.38	0.28	1.11	1.33

M_2، M_3 و M_4: به‌ترتیب کشت لوبیا سبز بین ردیف‌های سیب‌زمینی، روی ردیف‌های سیب‌زمینی و بین و روی ردیف‌های سیب‌زمینی و N_0، N_{80} و N_{160}: به‌ترتیب صفر، ۸۰ و ۱۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار

M_2, M_3 and M_4: green bean intercrops between potato rows, within potato rows and between and within potato rows, respectively, and N_0, N_{80} and N_{160}: 0, 80 and 160 kg N ha^{-1}, respectively

جدول ۷- عملکرد غده سیب‌زمینی، غلاف لوبیا سبز و عملکرد معادل سیب‌زمینی در تیمارهای مختلف آزمایش

Table 7- Potato tuber yield, green bean pod yield and potato equivalent yield in different experimental treatments

تیمار Treatment	عملکرد معادل سیب‌زمینی Potato tuber yield (ton.ha^{-1})	عملکرد غلاف لوبیا سبز Green bean pod yield (ton.ha^{-1})	عملکرد غده سیب‌زمینی Potato equivalent yield (ton.ha^{-1})
$M_1 \times N_0$	23.67	-	23.67
$M_1 \times N_{80}$	33.50	-	33.50
$M_1 \times N_{160}$	37.67	-	37.67
$M_2 \times N_0$	41.80	4.32	31.00
$M_2 \times N_{80}$	54.38	5.15	41.50
$M_2 \times N_{160}$	51.13	3.45	42.50
$M_3 \times N_0$	35.23	3.16	27.33
$M_3 \times N_{80}$	42.37	3.28	34.17
$M_3 \times N_{160}$	39.48	2.61	32.97
$M_4 \times N_0$	36.82	3.32	25.53
$M_4 \times N_{80}$	47.25	3.90	37.50
$M_4 \times N_{160}$	50.00	3.33	41.67

M_1، M_2، M_3 و M_4: به‌ترتیب کشت خالص سیب‌زمینی، کشت لوبیا سبز بین ردیف‌های سیب‌زمینی، روی ردیف‌های سیب‌زمینی و بین و روی ردیف‌های سیب‌زمینی و N_0، N_{80} و N_{160}: به‌ترتیب صفر، ۸۰ و ۱۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار

M_1, M_2, M_3 and M_4: sole cropping potato, green bean intercrops between potato rows, within potato rows and between and within potato rows, respectively, and N_0, N_{80} and N_{160}: 0, 80 and 160 kg N ha^{-1}, respectively

این تیمار عملکرد معادل سیب‌زمینی را ۳۰/۷۳ درصد در مقایسه با تیمار $M \times N_{160}$ افزایش داد. آدین و همکاران (Uddin et al., 2009) عملکرد معادل ذرت را در کشت مخلوط با سیب‌زمینی و اسفناج و سارکر و همکاران (Sarker et al., 2013) عملکرد معادل ذرت در کشت مخلوط با آفتابگردان، نخودفرنگی و لوبیا را بالاتر از تک‌کشتی ذرت گزارش دادند.

نتیجه‌گیری

به نظر می رسد کشت مخلوط لوبیا سبز در بین ردیف‌های سیب-زمینی دارای مزیت‌هایی مانند تثبیت نیتروژن، استفاده بهتر از زمین، نور، مواد غذایی موجود و آب باشد. در واقع، لوبیا سبز و سیب‌زمینی به‌علت تعلق آن‌ها به دو تیره مختلف و وجود تفاوت‌های اکولوژیکی و مورفولوژیکی و نیازهای متفاوت، جنبه‌های هم‌یاری و مکملی مناسبی در کشت مخلوط دارند. در این آزمایش عملکرد سیب‌زمینی و سرعت تجمع ماده خشک غده سیب‌زمینی در کشت مخلوط بیش‌تر بود. انتخاب الگوی کشت در مخلوط بسیار مهم می‌باشد، به‌طوری‌که در این آزمایش الگوی کشت لوبیا سبز بین ردیف‌های سیب‌زمینی به‌علت حداکثر فاصله بوته‌ها نسبت به همدیگر باعث کاهش رقابت برای جذب نور و منابع شد و در نتیجه عملکرد سیب‌زمینی و لوبیا سبز افزایش یافت. لوبیا سبز در رقابت با سیب‌زمینی مغلوب بوده و لذا در این الگوی کشت که رقابت کم‌تر بود توانست بهتر رشد کند و تثبیت نیتروژن را افزایش دهد. در نتیجه، علاوه بر تأمین نیتروژن مورد نیاز خود مصرف نیتروژن در سیب‌زمینی را تا ۵۰ درصد کاهش داد و در واقع، کارایی زارعی مصرف نیتروژن به‌واسطه تثبیت نیتروژن در کشت مخلوط برای سیب‌زمینی و کانوپی افزایش یافت. شاخص‌های نسبت برابری زمین و مجموع ارزش نسبی در تمامی تیمارها به غیر از تیمار کشت مخلوط لوبیا سبز روی ردیف سیب‌زمینی بدون دریافت نیتروژن بالاتر از یک شد، به‌طوری‌که در تیمار کشت مخلوط بین ردیفی لوبیا سبز با دریافت ۸۰ کیلوگرم نیتروژن نسبت برابری زمین و مجموع ارزش نسبی به‌ترتیب به ۱/۵۳ و ۱/۴۵ رسید و هم‌چنین عملکرد معادل سیب‌زمینی نیز در این تیمار برابر با ۵۴/۳۸ تن در هکتار شد. در مجموع کشت لوبیا سبز در بین ردیف‌های سیب‌زمینی و مصرف ۸۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌دلیل عملکرد بالاتر، کاهش مصرف نیتروژن، استفاده بهینه از آب و زمین و کاهش هزینه تولید، به‌عنوان تیمار برتر شناخته شد.

References

Afsharmanesh, G.H.R., 2013. Effect of maize and potato intercropping on yield and yield components in early

springplanting in Jiroft region. Iranian Journal of Crop Sciences 14(4):333–345. (In Persian with English Summary)

Al–Dalain, S.A., 2009. Effect of intercropping of maize with potato (*Solanum tuberosum* L.) on potato growth and on the productivityand land equivalent ratio of potato and maize. Agricultural Journal 4(3):164–170.

Allahdadi, M., Shakiba, M.R., Dabbagh Mohammadi Nasab, A., and Mini, R., 2013. Evaluation of competition, yield quantity and quality of soybean (*Glycine max* Merr.) and calendula (*Calendula officinalis* L.) in intercropping systems. Journal of Agroecology 7(1): 38–51. (In Persian with English Summary)

Arshadi, M.J., Khazaei, H.R., and Kafi, M., 2013. Evaluation of effect of nitrogen topdress fertilizer application by using chlorophyll meter on yield, yield components and growth indices of potato. Iranian Journal of Field Crops Research 11(4):573–582. (In Persian with English Summary)

Banik, P., Midya, A., Sarkar, B.K., and Ghose, S.S., 2006. Wheat and chickpea intercropping systems inadditive series experiment: Advantages and smothering. European Journal of Agronomy 24: 324–332.

Barmaki, M., 2001. Intercropping of potatoes and peas in Ardabil. MSc Thesis, University of Tabriz, Pp: 88. (In Persian with English Summary)

Bindera, A.D. and Thakur, V.S., 2005. Legume intercropping with potato based cropping system at varied fertility levels under high hills dry temperate conditions of Himachal Pradesh. Indian Journal of Agricultural Sciences 8:488–498.

Dua, V.K., Lal, S.S., and Govindakrishnan, P.M., 2005. Production potential and competition indices in potato + French bean intercropping system in Shimla Hills. Indian Journal of Agricultural Science 75:321-323.

Gebremedhin, W., 2001. Effects of spatial arrangement on tuber yields of some potato. African Crop Science Journal 9:67–76.

Génard, T., Etienne, P., Diquélou, S., Yvin, J., Revellin, C., and Laîné, P., 2017. Rapeseed-legume intercrops: plant growth and nitrogen balance in early stages of growth and development. Heliyon 3(3):1–20.

Geren, H., Avcioglu, R., Soya, H., and Kir, B., 2008. Intercropping of corn with cowpea and bean: Biomass yield and silage quality. Biotechnology 22:4100-4104.

Gubbles, G.H., and Dedio, W.I., 2004. Intercropping of weat and safflower genotypes. Canadian Journal of Plant Science 3:521–527.

Hamzei, J., and Babaei, M., 2017. Study of quality and quantity of yield and land equivalent ratio of sunflower in intercropping series with bean. Journal of Agroecology 8(4):490–504. (In Persian with English Summary)

Hamzei, J., and Seyedi, M., 2012. Determination of the best intercropping combination of wheat and rapeseed basedon agronomic indices, total yield and land use equivalent ratio. Journal of Crop Production and Processing 2:109–130. (In Persian with English Summary)

Hamzei, J., and Seyedi, M., 2016. Energy use and input–output costs for sunflower production in sole and intercropping with soybean under different tillage systems. Soil and Tillage Research 157:73–82.

Hosseinpanahi, F., Koochehi, A.R., Nassiri Mohallati, M., and Ghorbani, R., 2010. Evaluation of radiation absorption and use efficiency in potato-corn intercropping. Journal of Agroecology 2(1):50–60. (In Persian with English Summary)

Jamshidi, K., Mazaheri, D., and Saba, J., 2008. An evaluation of yield in intercropping of maize and potato. Desert 12:105–111. (In Persian with English Summary)

Javanshir, A., Dabbagh Mohammady Nassab, A., Hamidi, A., and Gholipoor, M., 2000. Ecology of intercropping. Ferdowsi University of Mashhad Press. Pp: 224.

Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Feizi, H., Amirmoradi, S., and Mondani, F., 2012. Effect of strip intercroppingof maize (*Zea mays* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.) on yield and land equivalent ratio in weedy and weed freeconditions. Journal of Agroecology, 2(2): 225–235. (In Persian with English Summary)

Larbi A., El-Moneim, A.M.A., Nakkoul, H., Jammal, B., and Hassan, S., 2011. Intra-species variations in yield and quality determinates in *Vicia* species: 3. Common vetch (*Vicia sativa* ssp. *sativa* L.). Animal Feed Science and Technology 164:241–251.

Li, L., Sun, J., Zhang, F., Guo, T., Bao, X., Smith, F.A., and Smith. S.E., 2006. Root distribution and interactions between intercropped species. Oecologia 147:280–290.

Mariotti, M., Masoni, A., Ercoli, L., and Arduini, I., 2009. Above- and below-ground competition between barley, wheat, lupin and vetch in a cereal and legume intercropping system. Grass ana Forage Science 64:401–412.

Mirzakhani, M., and Davari, M.R., 2017. The effect of inoculation with *Azotobacter* and nitrogen levels on grain and

corn (*Zea mays* L.) yield components at simultaneous cropping system with legumes. Journal of Agroecology 9(1): 63–75. (In Persian with English Summary)

Monti, M., Pellicano, A., Santonoceto, C., Preiti, G., and Pristeri, A., 2016. Yield components and nitrogen use in cereal- pea intercrops in Mediterranean environment. Field Crops Research 196:379–388.

Mulugeta, D., and Boerboom, C.M., 2000. Critical time of weed removal in glyphosate resistant soybean (*Glycin max*). Weed Science 48:856–870.

Nachigera, G.M., Ledent, J.F, and Draye, X., 2008. Shoot and root competition in potato/maize intercropping: Effects on growth and yield. Environmental and Experimental Botany 64:180–188.

Nasiri Mahallati, M., Koocheki, A., Mondani, F., Feizi, H., and Amirmoradi, S., 2015. Determination of optimal strip width in strip intercropping of maize (*Zea mays* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in Northeast Iran. Journal of Cleaner Production 106:343–350. (In Persian with English Summary)

Nasrollahzadeh Asl, A., Dabbagh Mohammadi, A., Zehtab S., Moghadam, M., and Jamshir, A., 2012. Evaluation of potato and pinto bean intercropping. Journal of Crops Ecophysiolog 2(22):111–126. (In Persian with English Summary)

Piri, I., Zendehdel, B., and Tavassoli, A., 2017. Study of agronomical and ecological parameters of additive and replacement intercropping systems of corn (*Zea maize* L.) and soybean (*Glycine max* L. Merr.). Journal of Agroecology 9(3): 705–721. (In Persian with English Summary)

Prasad, R., Sing, S., and Pal, M., 2001. Studies on intercropping potato with fenugreek. Acta Agronomiea Hungarica 49:189–192.

Raei, Y., Bolandnazar, S.A., and Dameghsi, N., 2011. Evaluation of common bean and potato densities effects on potato tuber yield in mono-cropping and intercropping systems. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 21(2):131–142. (In Persian with English Summary)

Ren, Y., Liuc, J., Wangd, Z., and Zhanga, S., 2016. Planting density and sowing proportions of maize–soybean intercrops affected competitive interactions and water-use efficiencies on the Loess Plateau, China. European Journal of Agronomy 72:70–79.

Rezaei–Chianeh, E., Dabbagh Mohammadi Nassab, A., Shakiba, M.R., Ghassemi–Golezan, K., Aharizad, S., and Shekari, F., 2011. Intercropping of maize (*Zea mays* L.) and faba bean (*Vicia faba* L.) in different plant population densities. Journal of Agricultural Research 6(7):1786–1793. (In Persian with English Summary)

Sarker, U.K, Dey, S., Kundu, S., and Awal, M.A., 2013. On-farm study on intercropping of hybrid maize with short duration vegetables. Journal of Bangladesh Agricultural University 11(1):1–4.

Seyedi, M., Hamzei, J., Ahmadvand, G., and Abutalebian, M.A., 2012. The evaluation of weed suppression and crop production in barley-chickpea intercrops. Journal of Agricultural Science 22(3):101–115. (In Persian with English Summary)

Uddin, J.M., Quayyum, M.A, and Salahuddin, K.M., 2009. Intercropping of hybrid maize with short duration vegetables at hill valleys of bandarban. Bangladesh Journal of Agricultural Research 34(1):51–57.

Yang, F., Huang, S., Gao, R., Liu, W., Yong, T., Wang, X., Wu, X., and Yang, W., 2014. Growth of soybean seedling in relay strip intercropping systems in relation to light quantity and red: far- red ratio. Field Crops Research 155: 245-253.

Journal of Agroecology
Vol. 11, No.4, Winter 2020, p. 1409-1422

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۱، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۸، ص ۱۴۲۲-۱۴۰۹

Effect of Green Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Additive iIntercropping on Growth, Potato (*Solanum tuberosum* L.) Equivalent Yield and Land Use Efficiency under Different Levels of N Fertilizer

J. Hamzei[1*] and J. Sedighi Kamel[2]
Submitted: 02-02-2018
Accepted: 07-10-2018

Hamzei, J., and Sedighi Kamel, J. 2020. Effect of green bean (*Phaseolus vulgaris* L.) additive intercropping on growth, potato (*Solanum tuberosum* L.) equivalent yield and land use efficiency under different levels of N fertilizer. Journal of Agroecology. 11 (4):1409-1422.

Introduction
One of the ways to move towards sustainable agriculture is to create diversity and using intercropping of crops, cultivars and / or different isolines in agriculture. In order to increase productivity in the agricultural system, resource management and inputs also play a key role. In addition, to preserve ecological balance and stability of the system, the main goals in the intercropping systems are maximum exploitation of environmental resources such as water, soil, food, the quantitative as well as qualitative increase of yield, and reduction of damage from pests, diseases, and weeds. In addition, improvement social conditions, such as greater economic stability and adequate nutrition for humans are pursued. Therefore, the present study aimed to exploit the agro-ecological benefits of additive intercropping of green bean in reduction of nitrogen consumption in potato cultivation and improving the land use efficiency and potato equivalent yield.

Materials and Methods
In order to evaluate the effects of additive intercropping of green bean on potato growth, tuber yield, nitrogen use efficiency, land use efficiency, and potato equivalent yield as well as green bean yield, an experiment was conducted at the Farm Research of Faculty Agriculture (latitude 35˚1ˈN, longitude 48˚31ˈE and 1690 m altitude), Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran, in the growing season of 2016. Experiment was laid out as a factorial based on randomized complete block design with three replications. Four planting patterns including sole cropping of potato (M_1), green bean intercrops between potato rows (M_2), green bean intercrops within potato rows (M_3) and green bean intercrops between and within potato rows (M_4) were applied in combination with three levels of nitrogen fertilizer (N_0, N_{80} and N_{160}: 0, 80 and 160 kg N ha^{-1}, respectively). Intercropping system was done using additive design. So that, the potato density was kept constant and in all cropping patterns, 50% sole green bean planting density was added to potato plots. Traits of plant height (PH), tuber yield (TY), number of tuber per plant (NTP), tuber dry matter (TDW), harvest index (HI), and potato equivalent yield (PEY) for potato, and green bean pod yield (GPY), number of pods per plant (NPP), and biological yield (BY) for green bean were evaluated. Land equivalent ratio (LER), relative value total (RVT) indices were also studied.

Results and Discussion
Results demonstrate that planting pattern and N had the strongest influence on tuber equivalent yield as well as tuber yield of winter wheat followed by interactions between these treatment factors. Accordingly, when normal and high N levels were applied, potato equivalent yield values were comparable to, or higher than, those obtained without consumption of N. The highest potato tuber yield (42.50 $t.ha^{-1}$) was revealed at the treatment of green bean intercrops between potato rows with consumption of 160 kg N ha^{-1}. This treatment did not show significant difference with the treatment of green bean intercrops between potato rows with consumption of 80 kg N ha^{-1}, which had a yield of 41.51 $t.ha^{-1}$. Also, the highest values for yield of green beans (515 $g.m^{-2}$), the land equivalent ratio (1.50), total relative value (1.45) and the highest potato equivalent yield (54.38 $t.ha^{-1}$) were obtained at $M_2 \times N_{80}$ (green bean cultivation between potato rows with consumption of 80 kg N ha^{-1}) treatment. Legumes have the ability to nitrogen fixation and using of them in intercropped systems can be suitable for reduce nitrogen use as well as environmental problems. Therefore, in

1 and 2- Associate Professor and Former MSc Student, Department of Crop Production and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: j.hamzei@basu.ac.ir)
Doi: 10.22067/jag.v11i4.70706

terms of growth, tuber yield, land use efficiency and nitrogen utilization efficiency, treatment of green bean intercrops between potato rows with consumption of 80 kg N ha^{-1} was the best treatment for potato production.

Conclusion

In general, the cultivation of green beans between potato rows due to ecological, morphological and nutritional differences has cooperation aspects in intercropping. This will increase the productivity of the land, the light and food in the unit area and the diversity in agricultural ecosystems.

Keywords: Land equivalent ratio, Legume, Multiple cropping, Relative value total, Resource use efficiency, Tuber