

اثر کشت مخلوط لوبیا سبز با سیب زمینی بر شاخص‌های رشد، عملکرد و کل خروجی زمین در سطوح مختلف نیتروژن

جواد صدیقی کامل^۱، جواد حمزه‌ئی^{۲*}، طاهره صدرا^۳

تاریخ دریافت: ۹۸/۸/۱۲ تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۰/۲۱

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد زراعت، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا،

همدان، ایران

۲- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

۳- دانشجوی دکتری اکولوژی گیاهان زراعی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا،

همدان، ایران

*مسئول مکاتبه: Email: j.hamzei@basu.ac.ir

چکیده

اهداف: عملکرد کم و بهره‌وری کل زمین از عمده‌ترین چالش‌های مرتبط با کشاورزی در کشورهای در حال توسعه است. تنوع گیاهان زراعی با معرفی حبوبات در کشت مخلوط می‌تواند به کاهش این چالش‌ها کمک کند. از این رو، بررسی اثرات کشت مخلوط لوبیا سبز با سیب زمینی (رقم آگریا) بر شاخص‌های رشد، عملکرد و کل خروجی زمین (TLO) از مهمترین اهداف این پژوهش بود.

مواد و روش: آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۵ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا انجام گرفت. آزمایش به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۲ تیمار در سه تکرار اجرا شد. تیمارها شامل چهار الگوی کشت خالص سیب‌زمینی (M_1)، کشت لوبیا سبز بین ردیف‌های سیب‌زمینی (M_2)، کشت لوبیا سبز روی ردیف‌های سیب‌زمینی (M_3) و کشت لوبیا سبز بین و روی ردیف‌های سیب‌زمینی (M_4) و سه سطح کود نیتروژن (N_0)، N_{80} و N_{160} : به ترتیب معادل صفر، ۸۰ و ۱۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار) بودند.

یافته‌ها: نتایج آزمایش در مورد گیاه سیب زمینی نشان داد بیشترین تجمع ماده خشک اندام هوایی (۵۲۹ گرم در متر مربع) و شاخص سطح برگ (۴/۸۶) از تیمار $M_1 \times N_{160}$ و بیشترین سرعت رشد محصول (۲۱/۷۲ گرم بر متر مربع در روز) از الگوی کشت M_2 به دست آمد. بیشترین تجمع ماده خشک در غده (۸۷۷ گرم در متر مربع)، سرعت رشد غده (۲۴/۵۰ گرم در متر مربع در روز) و عملکرد غده (۴۲/۴۸ تن در هکتار) از تیمار $M_2 \times N_{160}$ حاصل شد. در لوبیا سبز بیشترین تجمع ماده خشک، شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول و بیشترین عملکرد نیام سبز از تیمار $M_2 \times N_{80}$ به دست آمد. در سطح کانوپی نیز بیشترین تجمع ماده خشک، سطح برگ، LER و TLO به تیمار $M_2 \times N_{80}$ تعلق گرفت. تیمار $M_2 \times N_{80}$ در مقایسه با تیمار $M_1 \times N_0$ (کشت خالص سیب زمینی بدون دریافت نیتروژن) مقدار TLO را ۴۳ درصد افزایش داد.

نتیجه‌گیری: در مجموع کشت لوبیا سبز بین ردیف‌های سیب زمینی و کاربرد ۸۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار علاوه بر ایجاد تنوع زیستی و پایداری اکوسیستم باعث حداکثر بهره‌وری از زمین می‌شود.

واژه‌ی کلیدی: نسبت برابری زمین، شاخص‌های رشد، کشت مخلوط، کل خروجی زمین، سیب زمینی

Effect of Green Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Intercropping with Potato (*Solanum tuberosum* L.) On Growth Indices, Yield and Total Land Output in Different Nitrogen Levels

Javad Sedighi Kamel¹, Javad Hamzei^{2*}, Tahereh Sadra³

Received: November 3, 2019 Accepted: January 10, 2021

1- Former MSc Student, Dept. of Crop Production and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

2- Assoc. Prof., Dept. of Crop Production and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

3- PhD Student of Crop Ecology, Dept. of Crop Production and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

*Corresponding Author Email: j.hamzei@basu.ac.ir

Abstract

Background and Objective :Low yield and total land productivity are the main challenges related to agriculture in developing countries. Crop diversification can help reduce these challenges by introducing legumes in intercropping. Therefore, evaluation of the effects of green bean intercropping with potato (*Agria* cultivar) on physiological indices, yield and total land output (TLO), were important objectives of this study.

Materials and Methods: Experiment was conducted at the Agricultural Research Station, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University in 2016 growing season. 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), cropping green bean between rows of potato (M_2), cropping green bean on rows of potato (M_3) and cropping green bean between and on rows of potato (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).

Results: The results showed that the highest above ground dry matter accumulation (529 g.m⁻²) and leaf area index (4.86) were obtained at $M_1 \times N_{160}$ treatment. The highest crop growth rate (21.72 g.m⁻².day⁻¹) was achieved at M_2 treatment. Maximum tuber dry matter accumulation (877 g.m⁻²), tuber growth rate (24.50 g.m⁻².day⁻¹), and tuber yield (42.48 t.ha⁻¹) were obtained at $M_2 \times N_{160}$ treatment. In green bean, the highest dry matter accumulation, LAI, CGR and number of green pods per plant were obtained from $M_2 \times N_{80}$ treatment. At the canopy level, the highest accumulation of dry matter, LAI, LER and TLO were observed at $M_2 \times N_{80}$ treatment. Treatment of $M_2 \times N_{80}$ in comparison with $M_1 \times N_0$ treatment (sole cropping of potato without nitrogen consumption), increased TLO up to 43 percentage.

Conclusion: The cultivation of green beans between rows of potato and the application of 80 kg of nitrogen per hectare, in addition to creating biodiversity and ecosystem stability, causes maximum land productivity.

Keywords: Land Equivalent Ratio, Growth Indices, Intercropping, Total Land Output, Potato

مقدمه

در سالهای اخیر شکاف بین تقاضا و تولید مواد غذایی ناشی از افزایش جمعیت و کاهش اراضی قابل کشت در کره زمین به دلیل شهرنشینی افزایش یافته است. بنابراین، افزایش تولید محصولات زراعی با حداقل خسارت زیست محیطی امری ضروری می‌باشد (زاو و همکاران ۲۰۱۸). افزایش تولیدات کشاورزی در طی قرن بیستم حاصل فناوری و مصرف زیاد نهاده‌ها است، ولی این کشاورزی فشرده موجب برخی اثرات جانبی نظیر فرسایش خاک، آلودگی محیطی توسط مواد شیمیایی کشاورزی و مصرف بی‌رویه کودها و ظهور جمعیت‌های علف‌هرز و آفات مقاوم به سموم شیمیایی گردیده است (قاسمی و همکاران ۲۰۱۶). لذا تنوع سیستم‌های زراعی به عنوان راه‌حل مناسبی جهت رفع برخی از مشکلات کشاورزی مدرن پیشنهاد و مطرح شده است یکی از راهکارهای افزایش تنوع، استفاده از کشت مخلوط می‌باشد (رازدوزمان و جنز ۲۰۱۷). این سیستم علاوه بر حفظ تعادل اکولوژیک و ثبات سیستم (دانشنیا و همکاران ۲۰۱۵)، اهدافی نظیر بهره‌برداری حداکثری از منابع محیطی نظیر آب، خاک، مواد غذایی، افزایش کمی و کیفی عملکرد (لاتاتی و همکاران ۲۰۱۷)، 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 (یانگ و همکاران ۲۰۱۴). امروزه روند مصرف بی‌رویه کود-های 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 سطوح کمتر نهاده‌های خارجی و کاهش مشکلات زیست محیطی مناسب است (مونتای و همکاران ۲۰۱۶). در میان ترکیبات کشت مخلوط، انتخاب لگوم و غیر لگوم یکی از معمول‌ترین الگوهای مخلوط می‌باشد. گیاهان لگوم علاوه بر تثبیت نیتروژن به کاهش مصرف نیتروژن نیز کمک می‌کنند (نونچانزتر و همکاران ۲۰۱۵). در کنار این خصوصیات، انتخاب گیاهانی با صفات

فیزیولوژی و مورفولوژی متفاوت باعث کاهش رقابت برای جذب منابع می‌شود و هر یک از گیاهان از منابع محیطی کارآمدتر استفاده می‌کنند (کوچکی و همکاران ۲۰۱۵). در نتیجه افزایش عملکرد و سودمندی کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص حاصل می‌گردد (کرما و همکاران ۲۰۱۷). در کشت مخلوط سویا و ذرت در شرایط کم‌نهاده، برتری کشت مخلوط در استفاده بهینه از نیتروژن و در نتیجه آن برتری عملکرد در کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص گزارش شده است (چن و همکاران ۲۰۱۷). حمزه‌ئی و سیدی (۲۰۱۲) طی آزمایشی در کشت مخلوط نخود و جو بهاره، افزایش عملکرد محصول را گزارش کردند. رقابت گیاهی در کشت مخلوط سیب‌زمینی و ذرت کمتر از تک کشتی آن‌ها بود. این دو گیاه به دلیل هم‌پاری دو جانبه از منابع محیطی بهتر استفاده کردند و در نتیجه عملکرد نهایی آنها بیشتر از تک کشتی بود (حسین پناهی و همکاران ۲۰۱۲). کشت مخلوط سیب‌زمینی با لگوم‌ها از جمله لوبیا از روش‌های رایج کشت مخلوط در اغلب نواحی گرمسیری و نیمه گرمسیری آمریکای لاتین و آسیا است (مونتای و همکاران ۲۰۱۶). مبصر و همکاران (۲۰۱۸) در بررسی کشت مخلوط ذرت با سیب‌زمینی، دوا و همکاران (۲۰۰۵) در کشت مخلوط سیب‌زمینی با لوبیا سبز و برمکی (۲۰۰۱) در کشت مخلوط سیب‌زمینی با نخود فرنگی، مقدار نسبت برابری زمین در کلیه حالات مخلوط را بیشتر از یک گزارش کردند و نیز افزایش عملکرد در واحد سطح را تأیید کردند. همچنین در کشت مخلوط جایگزینی سیب‌زمینی با لوبیا سبز، عملکرد غده در بوته سیب‌زمینی بیشتر از کشت خالص گزارش گردید که این امر از کاهش رقابت بین گونه‌ای نسبت به رقابت درون گونه‌ای در کشت مخلوط جایگزینی و تثبیت نیتروژن توسط لوبیا سبز ناشی می‌شود (دوا و همکاران ۲۰۰۵). علاوه بر نسبت برابری زمین، شاخص بهره‌وری کشت مخلوط نیز از نظر خروجی کل زمین (TLO) ارزیابی می‌شود. بطوری‌که تیمار دارای TLO بالاتر عملکرد بالاتر را نیز نشان می‌-

محیطی، سلامت انسان را تهدید میکند. بنابراین کشت سیب‌زمینی در کنار حبوباتی مانند لوبیا سبز به واسطه حضور گیاهان متفاوت، احتمالاً از کارایی بالای برخوردار باشد و در استفاده از کود نیتروژن صرفه جویی شود. به همین منظور این آزمایش، با هدف بررسی شاخص‌های رشد و سودمندی عملکرد سیب‌زمینی در حضور لوبیا سبز انجام شد.

مواد و روش

این آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۵ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا واقع در روستای دستجرد اجرا شد. نتایج آنالیز خاک محل آزمایش و ویژگی‌های آب و هوایی محل اجرای آزمایش در جدول ۱ و ۲ ارایه شده است.

دهد. تجندرا و همکاران (۲۰۱۸) در کشت مخلوط ذرت با لوبیا چشم بلبلی نسبت به کشت خالص، افزایش کل خروجی زمین را گزارش کردند. کشاورزی رایج با نگرش بر تولید حداکثر به واسطه استفاده حداکثر از کودهای شیمیایی، پیامدهای منفی زیادی داشته است. بنابراین، استفاده از روش‌های سازگار با طبیعت مانند کشت مخلوط اهمیت بسیاری دارد. از این رو، افزایش تنوع زیستی از طریق کشت مخلوط یکی از مهم‌ترین راهکارهای پایدار افزایش کارایی مصرف نهاده‌ها از جمله نیتروژن محسوب می‌شود. با توجه به اهمیت حفظ منابع تولید به ویژه خاک در طول مراحل تولید پایدار محصول، به کارگیری کشت مخلوط و کاهش مقادیر کود نیتروژن ضروری می‌باشد. امروزه کاشت گیاه سیب‌زمینی با تکیه بر استفاده بی‌رویه از کود نیتروژن صورت می‌گیرد. بطوری‌که علاوه بر مخاطرات زیست

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۵

رس (%)	سیلت (%)	شن (%)	بافت خاک	فسفر قابل جذب (ppm)	پتاسیم جذب قابل (ppm)	نیتروژن کل (%)	کربن آلی (%)	pH	هدایت الکتریکی (dS.m ⁻¹)	کربنات کلسیم (%)
۲۵	۴۶	۲۹	لومی	۱۰/۶	۲۱۰	۰/۱۰	۰/۹	۷/۵	۰/۷۶	۸/۸

جدول ۲- خصوصیات آب و هوایی محل اجرای آزمایش در طول فصل رشد در سال ۱۳۹۵

فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
۲/۰	۶/۶	۸/۸	۱۵/۳	۱۴/۷	۱۱/۳
۱۴/۹	۲۳/۷	۲۸/۵	۳۵/۱	۳۵/۱	۳۲/۱
۶۰/۴	۵۴/۰	۳۳/۴	۲۰/۶	۲۰/۶	۲۲/۴
۳/۲	۰/۷	۰/۴	۰/۰	۰/۰	۰/۰
حداقل دما (درجه سانتی‌گراد)					
حداکثر دما (درجه سانتی‌گراد)					
رطوبت نسبی (درصد)					
بارندگی (میلی‌متر)					

آزمایش به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار اجرا شد. عامل اول الگوهای مختلف کاشت در چهار سطح، کشت خالص سیب‌زمینی (M₁)، کشت مخلوط افزایشی لوبیا سبز بین ردیف‌های سیب‌زمینی (M₂)، کشت مخلوط افزایشی لوبیا سبز روی ردیف‌های سیب‌زمینی (M₃) و کشت مخلوط افزایشی لوبیا سبز بین و روی ردیف‌های سیب‌زمینی (M₄) و عامل دوم کود نیتروژن در سه سطح صفر

(N₀)، (N₈₀) و (N₁₆₀) کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار بودند. در تیمارهای کشت خالص و مخلوط سیب‌زمینی، نیتروژن مورد نظر در هر واحد آزمایشی به صورت سرک در دو نوبت (نیمی از آن را بعد از کاشت و نیمی دیگر ۶۰ روز بعد از کاشت) به خاک اضافه شد. همچنین جهت محاسبه شاخص‌های ارزیابی سودمندی کشت مخلوط، لوبیا سبز نیز به صورت خالص در سه تکرار کشت شد. برای کشت خالص لوبیا سبز نیز ۴۵

دستی انجام شد و بلافاصله آبیاری به صورت بارانی و هر شش روز یکبار تا پایان دوره رشد صورت گرفت. در طول دوره رشد سه بار به صورت دستی علف‌های هرز وجین شدند. به منظور اندازه‌گیری شاخص‌های رشد، ۴۰ روز بعد از سبز شدن به فاصله هر ۱۰ روز یک بار نمونه برداری انجام شد. در هر نمونه برداری سه بوته در هر کرت برداشت شد و وزن خشک برگ و ساقه، سطح برگ، سرعت رشد محصول، سرعت جذب خالص، سرعت رشد نسبی، اندازه‌گیری شد. برای بدست آوردن وزن خشک، نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. در طول دوره رشد، نیام‌های سبز لوبیا زمانی که بذر در داخل نیام نارس تشکیل شد و نیام‌ها سبز، جوان، آبدار، ترد و شکننده بودند در سه مرحله برداشت شد و مجموع آن‌ها به عنوان عملکرد لوبیا سبز در هر کرت لحاظ شد. عملکرد سیب‌زمینی نیز در آخر دوره رشد مصادف با اواخر مهر ماه با برداشت ۲ مترمربع از هر واحد آزمایشی محاسبه گردید. برای اندازه‌گیری و تجزیه و تحلیل شاخص‌های رشد از معادلات ذیل استفاده شد (هوازین و همکاران ۲۰۰۷؛ تجندرا و همکاران ۲۰۱۸).

کیلوگرم کود اوره در هکتار به صورت سرک هنگام کاشت استفاده شد. کرت‌های آزمایشی هر کدام به طول ۶ متر و عرض ۳ متر (۱۸ مترمربع) و فاصله بین کرت‌ها در هر بلوک و فاصله بین بلوک‌ها ۱/۵ متر در نظر گرفته شد. در هر کرت ۵ ردیف سیب‌زمینی با فاصله بین ردیف ۶۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها روی ردیف ۲۸ سانتی‌متر (تراکم ۶ بوته در مترمربع) کشت شد. تراکم لوبیا سبز در کشت خالص ۲۴ بوته در مترمربع در نظر گرفته شد و در 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*) که از موسسه تحقیقات آب و خاک کرج تهیه شده بود، تلقیح شدند. در هر گرم از مایه تلقیح تعداد 2×10^8 باکتری وجود داشت. آلوده سازی بذور به باکتری، در تاریکی و با استفاده از محلول ۱۰ درصد شکر صورت گرفت و بلافاصله کشت انجام شد. رقم سیب‌زمینی آگریا بود که رقمی میان‌رس و مناسب برای شرایط آب هوایی منطقه و برای لوبیا سبز از بذر تجاری وارداتی (بذر آمریکایی و دارای تیپ رشدی ایستاده) استفاده شد.

عملیات کاشت سیب‌زمینی و لوبیا سبز به طور هم‌زمان در مورخ ۳۰ اردیبهشت سال ۱۳۹۵ به صورت

$$LAI=L/GA$$

$$CGR=(1/GA) \times (W_2 - W_1) / (T_2 - T_1)$$

$$NAR=((W_2 - W_1) / (T_2 - T_1)) \times ((\ln LA_2 - \ln LA_1) / (LA_2 - LA_1))$$

$$RGR=(\ln W_2 - \ln W_1) / (T_2 - T_1)$$

$$TLO (t ha^{-1}) = \text{Crop 1 yield (non-legume or main crop, } t ha^{-1}) + \text{Crop 2 yield (legume or intercrop, } t ha^{-1})$$

$$LER = (Y_{ab} / Y_{aa}) + (Y_{ba} / Y_{bb})$$

(رابطه ۱) شاخص سطح برگ

(رابطه ۲) سرعت رشد محصول

(رابطه ۳) سرعت جذب خالص

(رابطه ۴) سرعت رشد نسبی

(رابطه ۵) عملکرد کل خروجی

(رابطه ۶) نسبت برابری زمین

عملکرد گونه a در کشت مخلوط و خالص است. Y_{ba} و Y_{bb} به ترتیب عملکرد گونه b در کشت مخلوط و کشت خالص می‌باشد. تجزیه واریانس داده‌ها توسط نرم‌افزار آماری SAS صورت گرفت و برای مقایسه

در این معادله‌ها L سطح برگ، GA سطح زمین اشغال شده توسط گیاه، W وزن خشک اندام هوایی بر حسب گرم، WT وزن خشک غده سیب‌زمینی بر حسب گرم و T زمان بر حسب روز، Y_{aa} و Y_{ab} به ترتیب

با مصرف ۸۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بالاترین روند تجمع ماده خشک را در سه الگوی کشت مخلوط داشتند که احتمالاً دلیل آن توسعه متعادل‌تر شاخ و برگ سیب‌زمینی و رقابت کمتر برای جذب نور نسبت به تیمارهایی که ۱۶۰ کیلوگرم نیتروژن دریافت کرده بودند و همچنین عدم رقابت برای نیتروژن نسبت به تیمارهای عدم مصرف نیتروژن بود. همین‌طور حداکثر ماده خشک در کانوپی در تیمارهایی که نیتروژن دریافت نکردند در مقایسه با تیمارهایی که نیتروژن دریافت کردند پایین‌تر بود. در کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص با سطوح نیتروژن یکسان حداکثر تجمع ماده خشک بالاتر بود که علت آن استفاده و جذب بیشتر منابع و بالا بودن کارایی مصرف منابع در کشت مخلوط می‌باشد. لاری و همکاران (۲۰۱۱) اظهار کردند لگوم‌ها N_2 اتمسفری را تثبیت نموده و ضمن کاهش مصرف نیتروژن، باعث افزایش عملکرد نیز می‌شوند.

تجمع ماده خشک اندام‌های هوایی سیب‌زمینی، لوبیاسبز و کانوپی تحت تأثیر الگوی کشت و نیتروژن و اثر متقابل آن‌ها معنی‌دار شد. بطوری‌که بیشترین ماده خشک اندام هوایی (۵۲۹ گرم در مترمربع) در تیمار $M_1 \times N_{160}$ و کمترین ماده خشک (۲۵۸ گرم در مترمربع) در تیمار $M_1 \times N_0$ مشاهده شد. در بررسی الگوهای کشت مخلوط، تیمارهای $M_2 \times N_{80}$ و $M_2 \times N_{160}$ با تجمع حداکثر ماده خشک به ترتیب ۶۲۴ و ۴۸۰ گرم در متر مربع، بالاترین سطح را داشتند و بین این دو تیمار اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. به نظر می‌رسد تیمار $M_2 \times N_{80}$ که یک‌دوم تیمار $M_2 \times N_{160}$ ، نیتروژن دریافت کرده بود به علت تثبیت نیتروژن توسط لوبیاسبز تا اندازه‌ای رقابت را برای مواد غذایی کاهش داده و توانسته ماده خشک را افزایش دهد. بیشترین تجمع ماده خشک در سطح کانوپی (۷۱۶ گرم در مترمربع) مربوط به تیمار $M_2 \times N_{80}$ بود و کمترین تجمع ماده خشک (۲۵۸ گرم در مترمربع) به تیمار $M_1 \times N_0$ تعلق گرفت. درواقع، کشت لوبیاسبز بین ردیف‌های سیب‌زمینی منجر به توزیع بهتر بوته‌های دو گونه با حداکثر فاصله از

میانگین داده‌ها از آزمون LSD در سطح آماری ۵٪ استفاده شد. رسم نمودارها نیز با نرم‌افزار اکسل انجام شد.

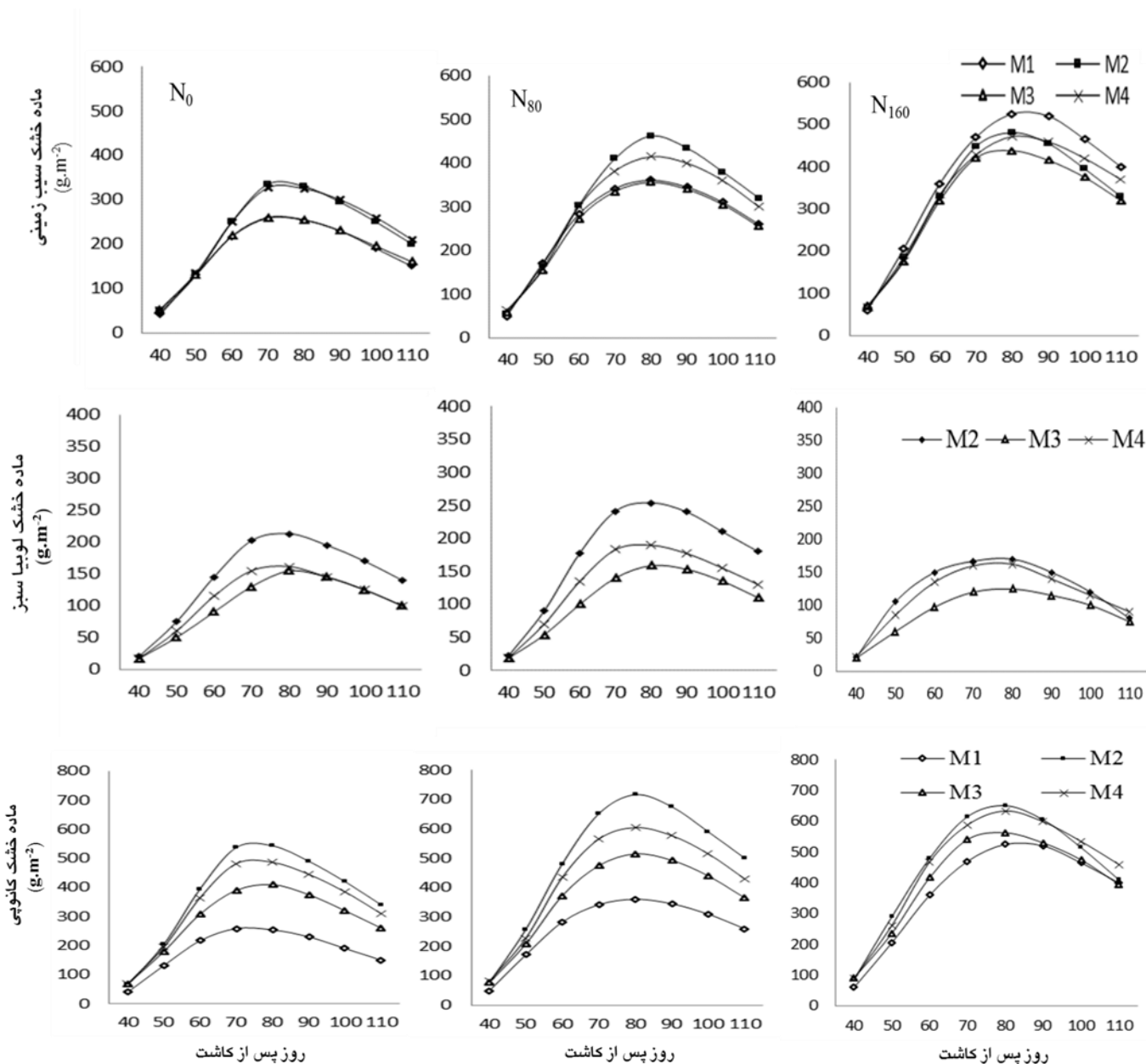
نتایج و بحث

تجمع ماده خشک

روند تجمع ماده خشک اندام‌های هوایی در تمام تیمارهای سیب‌زمینی، لوبیا سبز و کانوپی به صورت سیگموئیدی بود. در ابتدای فصل رشد به علت توسعه کمتر شاخ و برگ این روند از سرعت کمتری برخوردار بود و به تدریج سرعت تجمع ماده خشک بیشتر شد. در اواخر دوره رشد به علت ریزش برگ‌های هر دو گونه گیاهی و وجود رقابت با غده در سیب‌زمینی برای جذب مواد غذایی کاهش یافت (شکل ۱). در گیاه سیب زمینی تیمارهایی که نیتروژن دریافت نکردند، در همه الگوهای کشت در نمونه‌برداری ۷۰ روز بعد از کشت حداکثر تجمع ماده خشک را دارا بودند ولی تیمارهایی که نیتروژن دریافت کرده بودند، ماده خشک سیب‌زمینی نه تنها در سطح بالایی بود بلکه حداکثر آن نیز در ۸۰ روز بعد از کاشت به دست آمد. درواقع، مصرف نیتروژن تجمع ماده خشک را در سیب‌زمینی افزایش داد. ارشدی و همکاران (۲۰۱۴) بیان کردند بوته‌های سیب‌زمینی که نیتروژن بالایی دریافت کردند نسبت به بوته‌هایی که نیتروژن کمتری دریافت کردند از سرعت رشد و تجمع ماده خشک بیشتری برخوردار بودند. در گیاه لوبیا سبز تیمارهایی که ۱۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار دریافت کردند در مقایسه با سایر تیمارها، در ابتدای دوره سرعت تجمع ماده خشک در اندام‌های هوایی لوبیا سبز بیشتر بود ولی در نمونه‌برداری ۶۰ روز بعد از کاشت این سرعت تجمع کمتر از سایر تیمارها شد. دلیل این امر جذب بیشتر نیتروژن توسط سیب‌زمینی بود که منجر به توسعه بیشتر شاخ و برگ و سایه‌اندازی بیشتر بر روی لوبیا سبز شد و به دلیل دسترسی کمتر به نور سرعت تجمع ماده خشک لوبیا سبز کاهش یافت (ارشدی و همکاران ۲۰۱۴). تیمارهای

جبران کرده و به عملکرد بیشتر منجر شده است (جدول ۳).

همدیگر شده و در نتیجه رقابت برای دسترسی به نور و مواد غذایی را کاهش داد. از طرفی، به نظر می‌رسد تثبیت N_2 توسط لوبیاسبز کمبود نیتروژن را تا حدی



شکل ۱- روند تجمع ماده خشک اندام‌های هوایی سیب‌زمینی، لوبیاسبز و کانوپی در چهار الگوی کشت خالص سیب‌زمینی (M_1)، کشت لوبیا سبز بین ردیف سیب‌زمینی (M_2)، کشت لوبیا سبز روی ردیف سیب‌زمینی (M_3) و کشت لوبیا سبز بین و روی ردیف سیب‌زمینی (M_4) در سه سطح کود نیتروژن (N_0 ، N_{80} و N_{160} : به ترتیب صفر، ۸۰ و ۱۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار).

جدول ۳- مقایسه میانگین ترکیبات تیماری الگوی کشت در نیتروژن برای تجمع ماده خشک اندام هوایی سیب‌زمینی، لوبیا سبز و کانوپی

تیمار	سیب‌زمینی	لوبیا سبز	کانوپی
$M_1 \times N_0$	۲۵۸ ^e	-	۲۵۸ ^g
$M_1 \times N_{80}$	۳۶۰ ^{cd}	-	۳۶۰ ^f
$M_1 \times N_{160}$	۵۲۹ ^a	-	۵۲۹ ^{de}
$M_2 \times N_0$	۳۳۴ ^d	۲۱۳ ^b	۵۴۷ ^{dc}
$M_2 \times N_{80}$	۴۶۲ ^{ab}	۲۵۴ ^a	۷۱۶ ^a
$M_2 \times N_{160}$	۴۸۰ ^{ab}	۱۷۰ ^{cd}	۶۵۰ ^{ab}
$M_3 \times N_0$	۲۶۰ ^e	۱۵۴ ^d	۴۱۴ ^f
$M_3 \times N_{80}$	۳۵۶ ^{dc}	۱۵۸/۷ ^d	۵۱۴ ^d
$M_3 \times N_{160}$	۴۳۸ ^b	۱۲۴/۷ ^e	۵۶۲ ^{cd}
$M_4 \times N_0$	۳۲۸ ^d	۱۶۱ ^d	۴۸۹ ^e
$M_4 \times N_{80}$	۴۱۴ ^{bc}	۱۸۹/۷ ^{bc}	۶۰۴ ^{bc}
$M_4 \times N_{160}$	۴۷۱ ^{ab}	۱۶۲ ^d	۶۳۳ ^b

M_1, M_2, M_3 و M_4 : به ترتیب کشت خالص سیب‌زمینی، کشت لوبیا سبز بین ردیف‌های سیب‌زمینی، کشت لوبیا سبز روی ردیف‌های سیب‌زمینی و کشت لوبیا سبز بین و روی ردیف‌های سیب‌زمینی و N_0, N_{80} و N_{160} : به ترتیب صفر، ۸۰ و ۱۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار. در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند، اختلاف معنی‌داری معنی‌دار ندارند.

شاخص سطح برگ

روند شاخص سطح برگ سیب‌زمینی، لوبیا سبز و کانوپی در ابتدای دوره رشد با گذشت زمان به کندی افزایش یافت ولی در ادامه روند خطی پیدا کرد و در اواخر دوره به دلیل ریزش برگ‌ها و وجود رقابت بین غده سیب‌زمینی با اندام‌های هوایی برای مواد پرورده این روند کاهشی شد (شکل ۲). در گیاه سیب‌زمینی حداکثر شاخص سطح برگ در تیمارهای بدون دریافت نیتروژن در نمونه برداری ۷۰ روز بعد از کاشت به دست آمد ولی در تیمارهایی که نیتروژن دریافت کردند در نمونه برداری ۸۰ روز بعد از کاشت به دست آمد. در واقع، فقدان نیتروژن باعث کاهش توسعه سطح برگ شد. پاولا و همکاران (۲۰۱۷) بیان کردند نیتروژن باعث افزایش شاخص سطح برگ در سیب‌زمینی شد و حداکثر شاخص سطح برگ دیرتر از تیمار شاهد (عدم دریافت نیتروژن) افتاد (شکل ۲). حداکثر شاخص سطح برگ سیب‌زمینی، لوبیا سبز و کانوپی تحت تأثیر

الگوی کشت و نیتروژن و اثر متقابل آن‌ها معنی‌دار شد. بطوری‌که، بیشترین شاخص سطح برگ (۴/۸۶) در تیمار $M_1 \times N_{160}$ حاصل شد. قابل ذکر است که تیمارهای $M_2 \times N_{160}$ و $M_2 \times N_{80}$ با تیمار $M_1 \times N_{160}$ تفاوت معنی‌داری نداشتند. تیمار $M_3 \times N_0$ با شاخص سطح برگ ۲/۴ در پایین‌ترین سطح قرار گرفت. پایین بودن شاخص سطح برگ در تیمار $M_3 \times N_0$ نسبت به تیمار $M_1 \times N_0$ به دلیل وجود تراکم بالاتر بر روی ردیف‌های کشت سیب‌زمینی بود که احتمالاً باعث ایجاد رقابت و محدودیت در دسترسی به منابع غذایی شد (بورگی و همکاران ۲۰۱۳). در الگوی کشت لوبیا سبز بین ردیف‌های سیب‌زمینی، فاصله بوته‌ها از همدیگر بیشتر و تراکم و توزیع یکنواخت بوته‌ها در واحد سطح نسبت به الگوی کشت لوبیا سبز روی ردیف‌ها بهتر بود که این یکنواختی بوته‌ها باعث دسترسی بهتر به نور و رقابت کمتر برای مواد غذایی شد و گیاه لوبیا سبز توانست تا حدی سطح برگ خود را توسعه دهد. به طوری که در

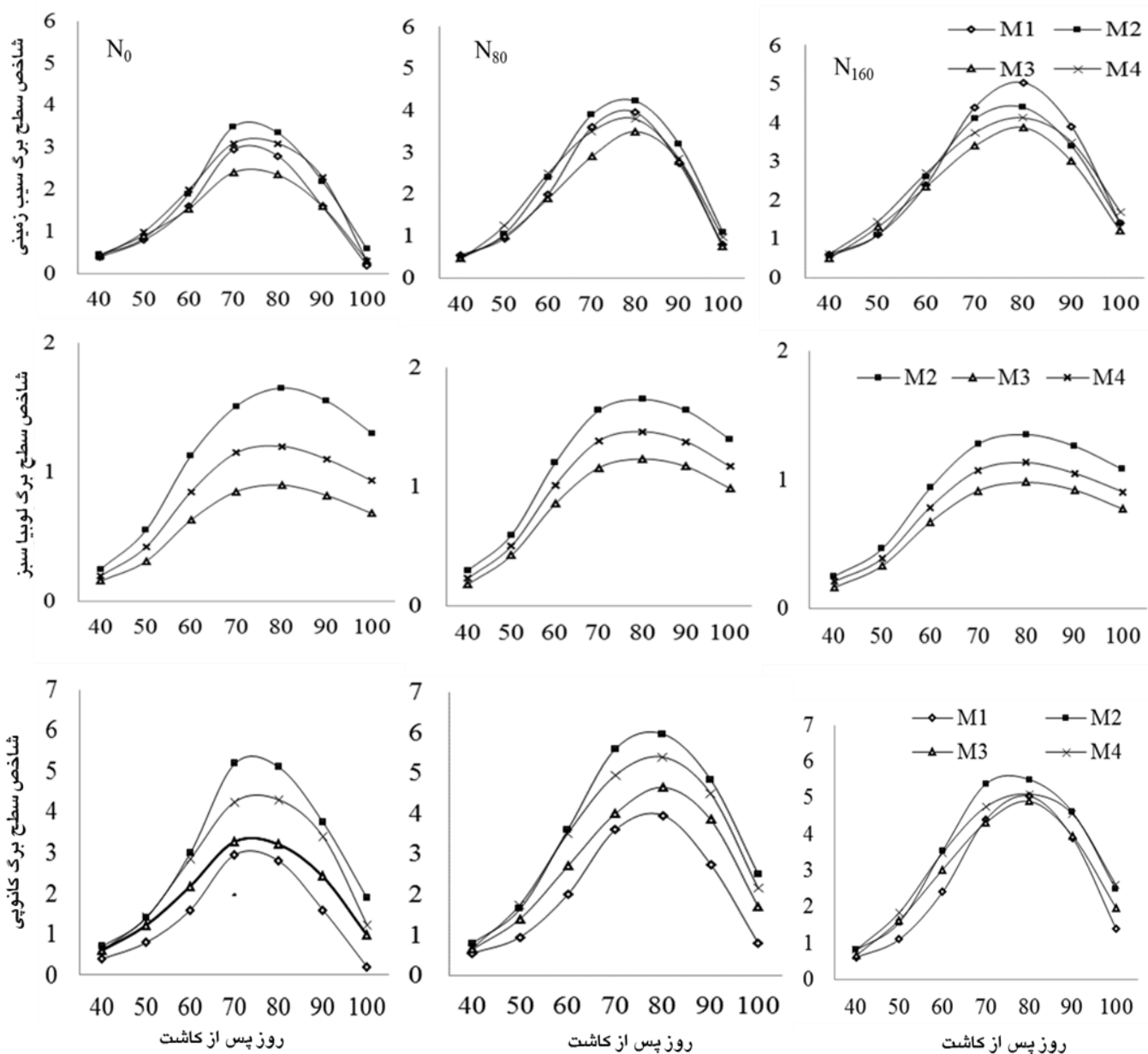
سطح برگ کانوپی در تیمار $M_2 \times N_{80}$ در مقایسه با تیمار $M_1 \times N_0$ ۹۹ درصد افزایش یافت. به نظر می‌رسد تراکم و پراکنش مناسب‌تر بوته‌ها در الگوی کشت مخلوط لوبیاسبز بین ردیف‌های سیب‌زمینی نسبت به سه الگوی کشت دیگر منجر به رشد و توسعه بهتر سطح برگ در دو گونه شده است و تیمار $M_2 \times N_{80}$ با دریافت ۸۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و توسعه مطلوب سطح برگ هر دو گونه گیاهی سیب‌زمینی و لوبیا سبز بیشترین سطح برگ کانوپی را داشت (شکل ۲). زعفریان و همکاران (۲۰۰۹) در کشت مخلوط سویا با گاوزبان اروپایی و ریحان گزارش دادند تراکم مناسب باعث افزایش سطح برگ در کشت مخلوط شد و در نتیجه عملکرد افزایش یافت.

دو تیمار $M_2 \times N_0$ و $M_2 \times N_{80}$ به نظر می‌رسد که رقابت بین گونه‌ای برای نور و مواد غذایی کمتر شده است و از طرفی تثبیت نیتروژن توسط لوبیا سبز کمبود نیتروژن در تیمار $M_2 \times N_0$ را جبران کرده و در نتیجه سطح برگ آن افزایش یافته است. سطح برگ لوبیا سبز در تیمارهایی که ۱۶۰ کیلوگرم نیتروژن دریافت کرده بودند به دلیل توسعه بیشتر سطح برگ سیب‌زمینی و سایه اندازی بیشتر بر بوته لوبیا سبز کمتر از تیمارهایی بود که ۸۰ کیلوگرم نیتروژن دریافت کرده بودند. مونتای و همکاران (۲۰۱۶) طی تحقیقات خود گزارش کردند در کشت مخلوط لگوم‌ها با گراس‌ها به دلیل رشد سریع و سایه اندازی گراس‌ها شاخص سطح برگ لگوم‌ها و رشد آن‌ها محدود می‌گردد. شاخص

جدول ۴- مقایسه میانگین ترکیبات تیماری الگوی کشت در نیتروژن برای بیشینه شاخص سطح برگ سیب زمینی، لوبیاسبز و کانوپی

بیشینه شاخص سطح برگ (LAI)			
تیمار	سیب زمینی	لوبیا سبز	کانوپی
$M_1 \times N_0$	۳/۰۰ ^{de}	-	۳/۰۰ ^d
$M_1 \times N_{80}$	۳/۹۶ ^{bc}	-	۳/۹۶ ^c
$M_1 \times N_{160}$	۴/۸۶ ^a	-	۴/۸۶ ^b
$M_2 \times N_0$	۳/۵۰ ^{cd}	۱/۷۰ ^a	۵/۲۰ ^{ab}
$M_2 \times N_{80}$	۴/۲۳ ^{ab}	۱/۷۳ ^a	۵/۹۷ ^a
$M_2 \times N_{160}$	۴/۳۷ ^{ab}	۱/۳۵ ^{bc}	۵/۴۲ ^{ab}
$M_3 \times N_0$	۲/۴۰ ^e	۰/۹۳ ^f	۳/۳۴ ^{cd}
$M_3 \times N_{80}$	۳/۵۰ ^d	۱/۲۳ ^{cd}	۴/۷۴ ^b
$M_3 \times N_{160}$	۳/۸۸ ^{bc}	۰/۹۷ ^{ef}	۴/۸۴ ^b
$M_4 \times N_0$	۳/۶۳ ^c	۱/۱۷ ^d	۴/۸۰ ^b
$M_4 \times N_{80}$	۳/۸۹ ^{bc}	۱/۴۶ ^b	۵/۳۵ ^{ab}
$M_4 \times N_{160}$	۴/۰۵ ^{bc}	۱/۱۳ ^{de}	۵/۱۹ ^b

M_1, M_2, M_3 و M_4 : به ترتیب کشت خالص سیب‌زمینی، کشت لوبیا سبز بین ردیف‌های سیب‌زمینی، کشت لوبیا سبز روی ردیف‌های سیب‌زمینی و کشت لوبیا سبز بین و روی ردیف‌های سیب‌زمینی و N_0, N_{80} و N_{160} : به ترتیب صفر، ۸۰ و ۱۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار. در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند، اختلاف معنی‌داری ندارند.



شکل ۲- روند تغییرات شاخص سطح برگ سیب زمینی، لوبیا سبز و کانوپی در چهار الگوی کشت خالص سیب زمینی (M_1)، کشت لوبیا سبز بین ردیف سیب زمینی (M_2)، کشت لوبیا سبز روی ردیف سیب زمینی (M_3) و کشت لوبیا سبز بین و روی ردیف سیب زمینی (M_4) در سه سطح کود نیتروژن (N_{160} و N_{80} و N_0 : به ترتیب صفر، ۸۰ و ۱۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار).

سرعت رشد محصول

علت پیری اندام‌های فتوسنتز کننده، سایه‌اندازی و وجود رقابت بوته‌ها، کاهش یافت و در انتهای فصل رشد منفی شد (شکل ۳). نتایج این آزمایش با یافته‌های سیدی و حمزهئی (۲۰۱۵) مطابقت دارد. همه الگوهای کشت مخلوط نسبت به کشت خالص از سرعت رشد

روند تغییرات سرعت رشد سیب زمینی، لوبیا سبز و کانوپی در تمامی تیمارها ابتدا به دلیل کمتر بودن اندام‌های فتوسنتزی کم بود و با رشد و توسعه کانوپی سرعت رشد بیشتر شد و پس از به حداکثر رسیدن به

مصرف ۸۰ کیلوگرم نیتروژن (N_{80}) و کمترین آن (۵/۵) گرم بر مترمربع در روز) در عدم مصرف نیتروژن به دست آمد. مقایسه میانگین الگوهای مختلف کشت مؤید این بود که بیشترین سرعت رشد کانوپی (۲۹/۸۲) گرم بر مترمربع در روز) به M_2 و کمترین سرعت رشد کانوپی (۱۸/۱۷) گرم بر مترمربع در روز) به M_0 تعلق گرفت. تیمار M_2 در مقایسه با تیمار M_1 حداکثر سرعت رشد را ۶۴ درصد افزایش داد. در بین سطوح کود نیتروژن نیز بیشترین سرعت رشد کانوپی (۲۹/۶۶) گرم بر مترمربع در روز) به تیمار N_{160} تعلق گرفت که با تیمار N_{80} اختلاف معنی‌داری نداشت. کمترین سرعت رشد کانوپی (۲۳/۲۸) گرم بر مترمربع در روز) نیز به تیمار N_0 تعلق گرفت. تیمار N_0 در مقایسه با تیمار N_{160} ، سرعت رشد کانوپی را ۲۲ درصد کاهش داد.

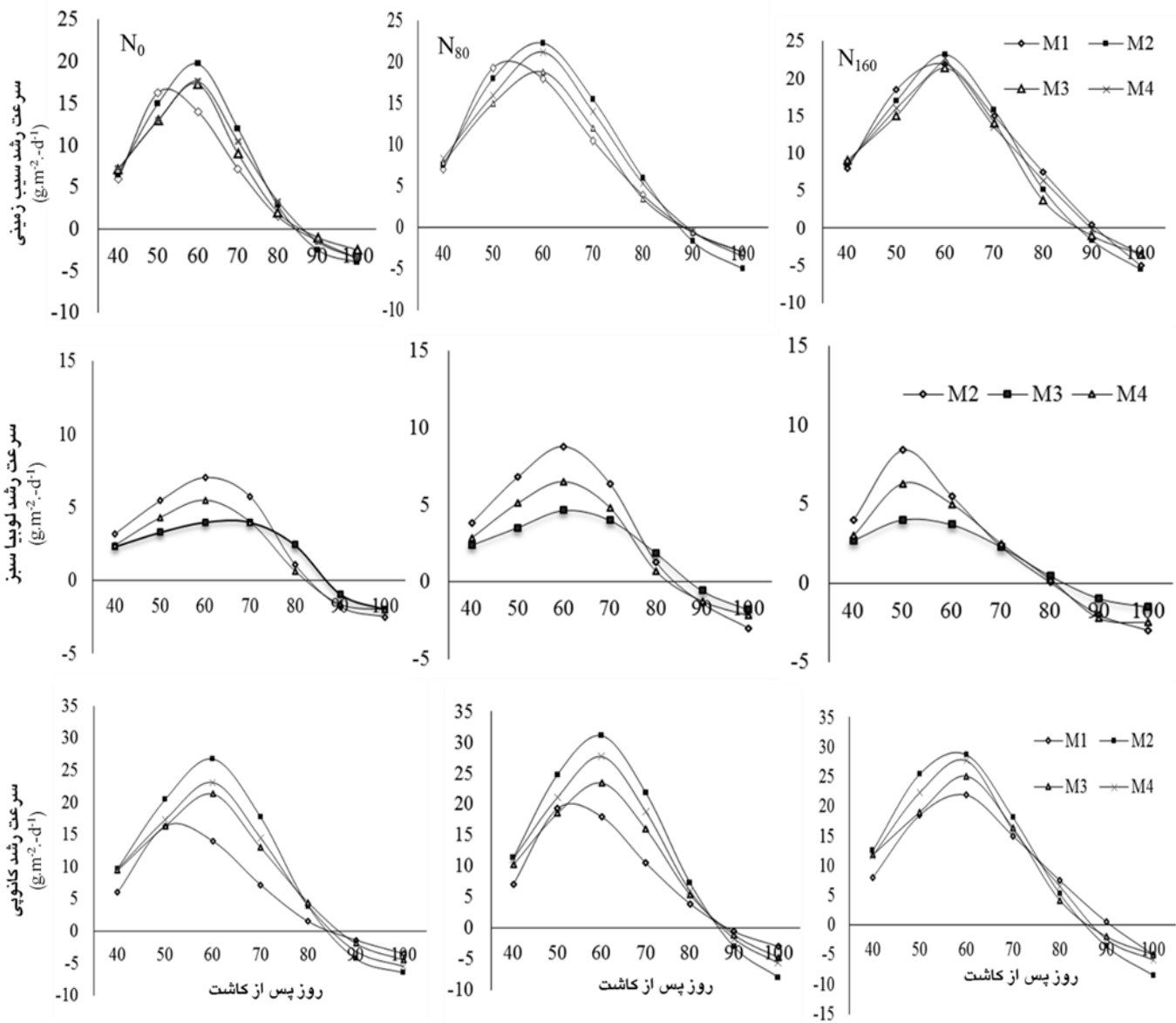
سرعت جذب خالص

روند سرعت جذب خالص سیب‌زمینی، لوبیا سبز و کانوپی در تمامی تیمارها در اوایل دوره رشد با شیب ملایمی صعودی بود و تقریباً در نمونه‌برداری ۵۰ روز بعد از کاشت به حداکثر رسید و در ادامه دوره رشد به دلیل افزایش شاخ و برگ‌ها، برگ‌های بیشتری در سایه قرار گرفتند و سرعت جذب خالص کاهش یافت (شکل ۴). در گیاه لوبیا سبز در تیمار N_{160} سرعت جذب خالص بالاتر از دو تیمار کودی دیگر در کشت‌های مخلوط شد و روند کاهشی آن نیز با شیب تندتری اتفاق افتاد. در واقع، در ابتدای دوره رشد در این تیمارها به دلیل دریافت نیتروژن بیشتر و عدم سایه‌اندازی و جوان بودن اندام‌های فتوسنتزی، سرعت جذب خالص در لوبیا سبز بیشتر شده اما در ادامه دوره رشد به دلیل رشد و توسعه بیشتر سیب‌زمینی در اثر فراهمی نیتروژن، سایه‌اندازی و غلبه بر لوبیا سبز بیشتر شد و لذا سرعت جذب خالص لوبیا سبز با سرعت بیشتری کاهش یافت. ولی در تیمار کودی ۸۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، به نظر می‌رسد به علت مصرف بهینه کود نیتروژنه و نیز

بیشتری برخوردار بودند و لذا کشت مخلوط اثر مثبت بر سرعت رشد کانوپی داشت. در سه الگوی کشت مخلوط با مصرف ۱۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار حداکثر سرعت رشد لوبیا سبز در نمونه برداری ۵۰ روز بعد از کاشت به دست آمد ولی در سطح ۸۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و سطح بدون مصرف نیتروژن حداکثر سرعت رشد در نمونه‌برداری ۶۰ روز بعد از کاشت بدست آمد. علت کاهش سرعت رشد محصول در سطح ۱۶۰ کیلوگرم نیتروژن، رشد بیشتر شاخ و برگ سیب‌زمینی به دلیل فراهمی نیتروژن بود و باعث سایه‌اندازی بیشتر بر لوبیا سبز شد. علیراده و همکاران (۲۰۱۰) نیز در بررسی کشت مخلوط ریحان و لوبیا، علت کاهش سرعت رشد ریحان را به سایه‌اندازی لوبیا نسبت دادند. اختلاف سرعت رشد اندام‌های هوایی سیب‌زمینی، لوبیا سبز و کانوپی تحت تأثیر الگوی کشت و نیتروژن معنی‌دار شد ولی اثر متقابل الگوی کشت در نیتروژن بر سرعت رشد محصول معنی‌دار نشد. بیشترین سرعت رشد محصول سیب‌زمینی تحت تأثیر الگوی کشت (۲۱/۷۲) گرم بر مترمربع در روز) در تیمار M_2 و کمترین (۱۸/۱۷) گرم بر مترمربع در روز) در تیمار M_1 حاصل شد. الگوی کشت M_2 نسبت به الگوی کشت M_1 ، افزایش سرعت رشد ۲۰ درصدی داشت. بیشترین سرعت رشد محصول تحت تأثیر نیتروژن (۲۳/۴۳) گرم بر مترمربع در روز) به مصرف ۱۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (N_{160}) و کمترین (۱۷/۷۴) گرم بر مترمربع در روز) به عدم مصرف نیتروژن (N_0) تعلق گرفت. مصرف ۱۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در مقایسه با عدم مصرف کود نیتروژن سرعت رشد محصول را ۳۲ درصد افزایش داد. بیشترین سرعت رشد محصول لوبیا سبز تحت تأثیر الگوی کشت (۸/۱) گرم بر مترمربع در روز) در تیمار M_2 و کمترین آن (۴/۲۷) گرم بر مترمربع در روز) در تیمار M_3 به دست آمد. بیشترین سرعت رشد محصول لوبیا سبز تحت تأثیر نیتروژن (۶/۶۸) گرم بر مترمربع در روز) در سطح

سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد، ولی اثر الگوی کشت و اثر متقابل الگوی کشت در نیتروژن بر سرعت جذب خالص معنی‌دار نشد. بیشترین سرعت

فراهمی تدریجی آن توسط لوبیا سبز، توسعه شاخ و برگ سیب‌زمینی متعادل‌تر صورت گرفته و در نتیجه سرعت جذب خالص لوبیا سبز با شیب کمتری کاهش یافت. در سیب زمینی اثر نیتروژن بر این صفت در



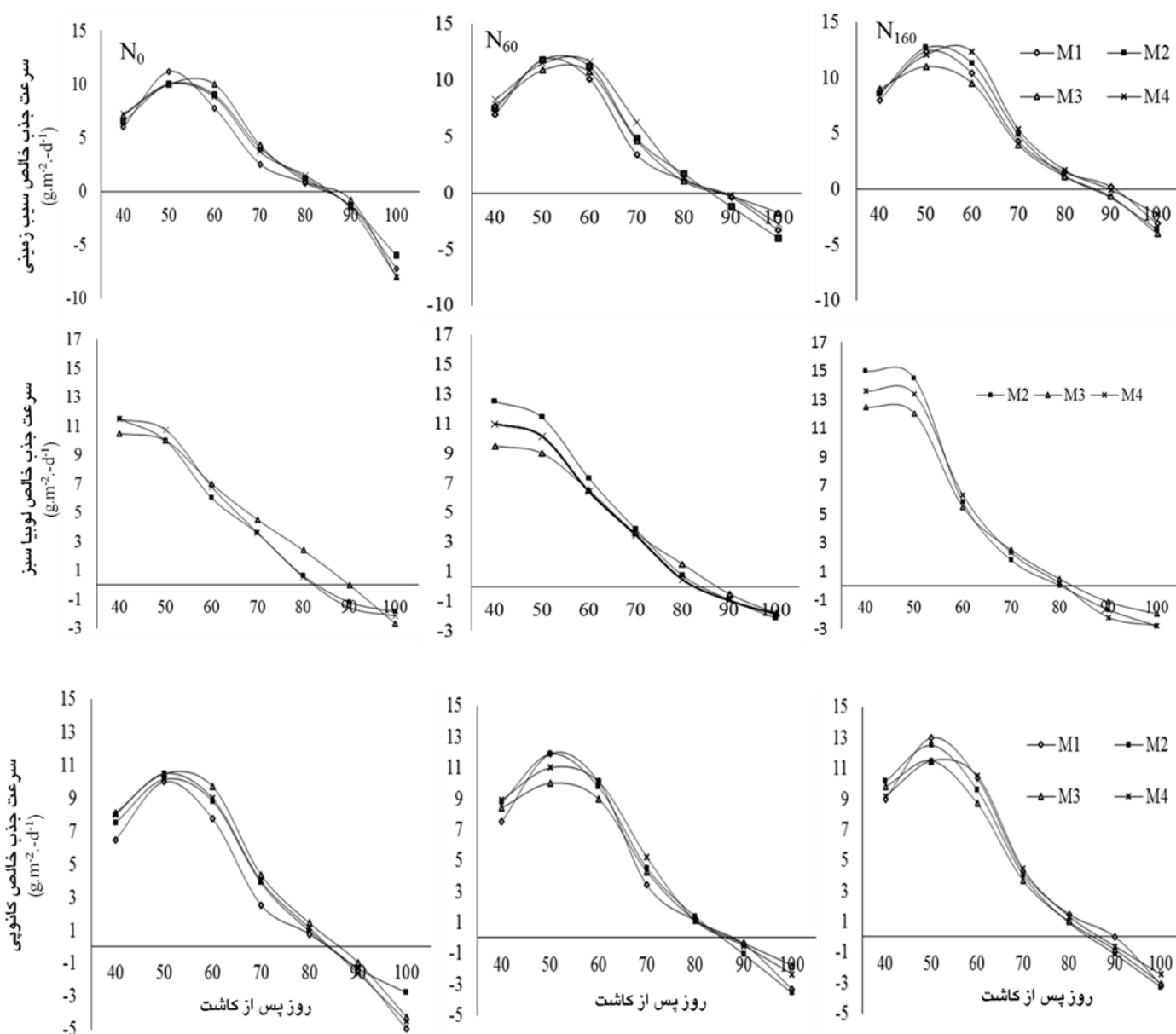
شکل ۳- روند سرعت رشد محصول سیب‌زمینی، لوبیا سبز و کانوپی در چهار الگوی کشت خالص سیب‌زمینی (M₁)، کشت لوبیا سبز بین ردیف سیب‌زمینی (M₂)، کشت لوبیا سبز روی ردیف سیب‌زمینی (M₃) و کشت لوبیا سبز بین و روی ردیف سیب‌زمینی (M₄) در سه سطح کود نیتروژن (N₀، N₈₀ و N₁₆₀: به ترتیب صفر، ۸۰ و ۱۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار).

تیمار N₈₀ از نظر سرعت جذب خالص سیب‌زمینی تفاوت نداشتند. سرعت جذب خالص در تیمار N₀ نسبت به تیمار N₁₆₀، ۱۵ درصد کاهش یافت. سرعت جذب خالص

جذب خالص (۱۲/۰۹ گرم در مترمربع در روز) به تیمار N₁₆₀ و کمترین آن (۱۰/۲۹ گرم در مترمربع در روز) به تیمار N₀ تعلق داشت. قابل ذکر است که تیمار N₁₆₀ با

گرفت. بیشترین سرعت جذب خالص تحت تأثیر نیتروژن (N_{160} و کمترین (N_0 ۱۳/۵۰ گرم بر متر مربع در روز) به تیمار N_{160} و کمترین (N_0 ۱۱/۱۸ گرم بر متر مربع) به تیمار N_0 تعلق گرفت. به نظر می‌رسد تراکم بیشتر روی ردیف‌ها در تیمار M_3 منجر به سایه اندازی بیشتر روی لوبیا سبز شده و منجر به کاهش کارایی فتوسنتز شده است. یانگ و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند در کشت

لوبیا سبز در کشت مخلوط در سطح احتمال پنج درصد تحت تأثیر الگوی کشت و در سطح یک درصد تحت تأثیر نیتروژن قرار گرفت ولی اثر متقابل آن‌ها بر سرعت جذب خالص معنی‌دار نشد. در الگوی کشت بیشترین سرعت جذب خالص (۱۲/۹۶ گرم در مترمربع در روز) به تیمار M_2 و کمترین سرعت جذب خالص (۱۰/۸۵ گرم در متر مربع در روز) به تیمار M_3 تعلق



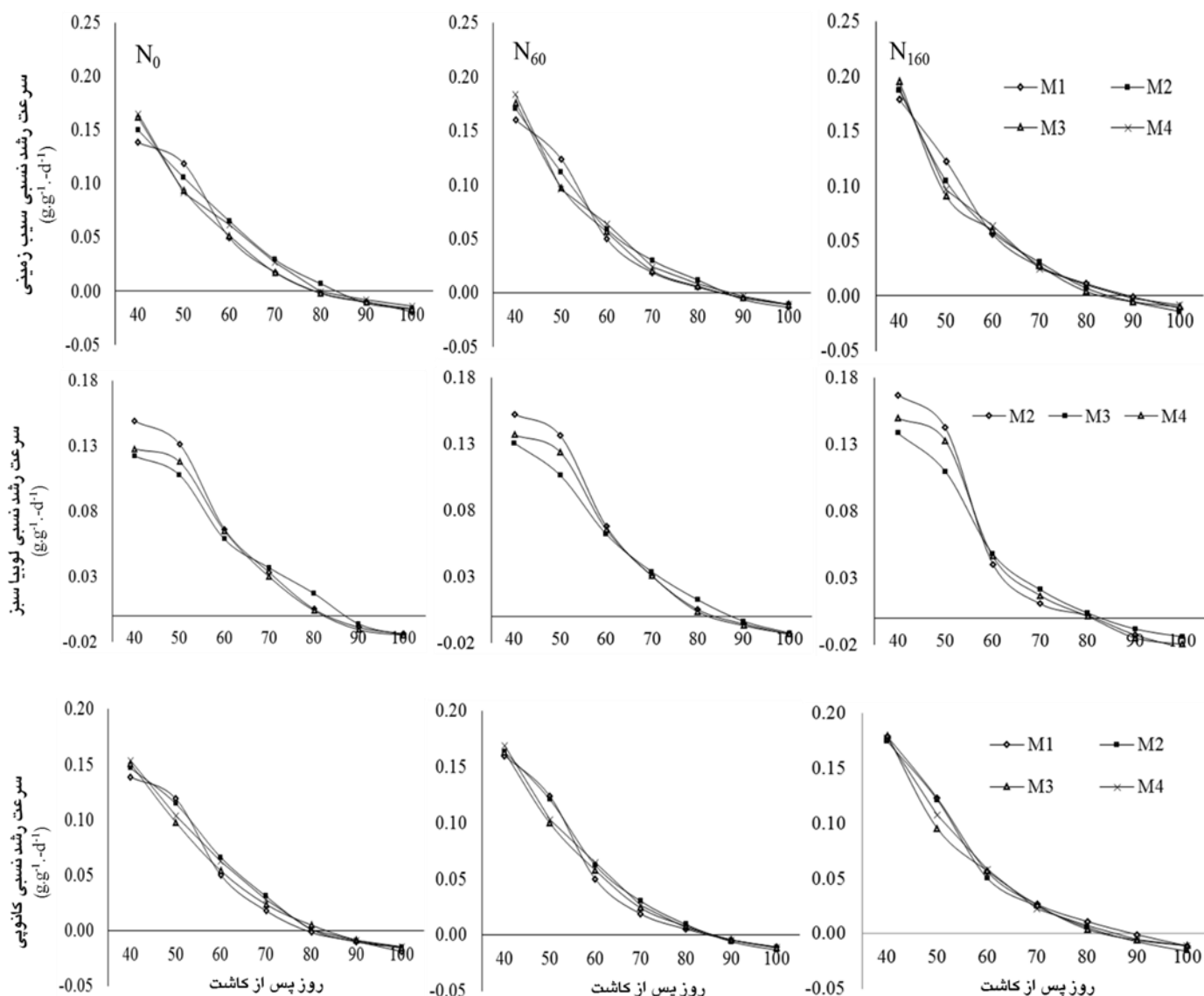
شکل ۴- روند سرعت جذب خالص (NAR) سیب‌زمینی، لوبیاسبز و کانوپی در چهار الگوی کشت و در سه سطح کود نیتروژن

مخلوط لگوم‌ها با گراس‌ها، به دلیل رشد سریع و سایه اندازی گراس‌ها جذب نور و کارایی فتوسنتز و سرعت جذب خالص کاهش می‌یابد. سرعت جذب خالص در کانوپی تحت تأثیر الگوی کشت قرار نگرش ولی تحت تأثیر تیمار نیتروژن قرار گرفت و اثر متقابل الگوی کشت در نیتروژن نیز بر سرعت جذب خالص کانوپی معنی‌دار نشد. بیشترین سرعت جذب خالص کانوپی تحت تأثیر نیتروژن ($12/13$ گرم در مترمربع در روز) در تیمار N_{160} و کمترین آن ($10/29$ گرم در مترمربع در روز) در تیمار N_0 حاصل شد. تیمار N_{160} در مقایسه با تیمار N_0 از افزایش ۱۸ درصدی سرعت جذب خالص برخوردار بود. منصوری‌فر و همکاران (۲۰۱۰) دلیل افزایش عملکرد به موازات مصرف نیتروژن را افزایش میزان کلروفیل در برگ گیاهان ذکر کردند که منجر به تولید ماده خشک بیشتر در برگ در واحد زمان می‌گردد.

سرعت رشد نسبی

روند سرعت رشد نسبی سیب‌زمینی، لوبیا سبز و کانوپی در این آزمایش از ابتدا تا آخر فصل رشد کاهشی بود. در واقع، به دلیل در سایه قرار گرفتن برگ‌های پایین بوته‌ها، کاهش توان فتوسنتزی برگ‌ها و افزایش اندام‌های غیر فتوسنتزی، سرعت رشد نسبی روند کاهشی داشت (شکل ۴). این روند در اواخر فصل رشد به دلیل ریزش برگ‌ها منفی شد. جراند و همکاران (۲۰۱۷) در کشت مخلوط کلزا با لگوم‌ها نیز علت روند کاهشی سرعت رشد نسبی را به وجود آمدن رقابت برای منابع محیطی، در سایه قرار گرفتن برگ‌های پایین بوته‌ها، بالا رفتن سن برگ‌ها و کاهش کارایی

فتوسنتزی آن‌ها بیان کردند. اثر الگوی کشت بر سرعت رشد نسبی سیب‌زمینی معنی‌دار شد ولی اثر نیتروژن و اثر متقابل الگوی کشت در نیتروژن بر این صفت معنی‌دار نشد. مقایسه میانگین الگوهای کشت حاکی از این بود که بیشترین سرعت رشد نسبی سیب‌زمینی ($0/117$ گرم بر گرم در روز) از تیمار M_1 و کمترین میزان آن ($0/0897$ گرم بر گرم در روز) از تیمار M_2 حاصل شد. تیمارهای M_3 و M_4 تفاوت معنی‌داری با تیمار M_2 نداشتند. در واقع، اختلاف معنی‌داری بین الگوهای کشت مخلوط از نظر سرعت رشد نسبی سیب‌زمینی مشاهده نشد. سرعت رشد نسبی لوبیا سبز نیز تحت تأثیر الگوی کشت قرار نگرش، ولی تحت تأثیر نیتروژن قرار گرفت. سطح 160 کیلوگرم نیتروژن در هکتار با سرعت رشد نسبی $0/0975$ گرم بر گرم در روز بیشترین شد و با سطح 80 کیلوگرم نیتروژن در هکتار اختلاف معنی‌داری نداشت و تیمار بدون مصرف نیتروژن با $0/0874$ گرم بر گرم در روز کمترین سرعت رشد نسبی را داشت. اثر اصلی الگوی کشت بر سرعت رشد نسبی کانوپی معنی‌دار شد، ولی اثر نیتروژن و اثر متقابل الگوی کشت در نیتروژن بر سرعت رشد نسبی کانوپی معنی‌دار نشد. سرعت رشد نسبی کانوپی در کشت‌های مخلوط در مقایسه با کشت خالص کمتر بود. به طوری‌که، سرعت رشد نسبی کانوپی در تیمار M_2 در مقایسه با کشت خالص سیب‌زمینی ۲۶ درصد کاهش یافت. علت کاهش سرعت رشد نسبی در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص را در سایه قرار گرفتن برگ‌های پایین بوته و کاهش کارایی فتوسنتز آنها می‌باشد.



شکل ۵- روند تغییرات رشد نسبی (RGR) سیب‌زمینی، لوبیا سبز و کندوی در چهار الگوی کشت خالص سیب‌زمینی (M_1)، کشت لوبیا سبز بین ردیف سیب‌زمینی (M_2)، کشت لوبیا سبز روی ردیف سیب‌زمینی (M_3) و کشت لوبیا سبز بین و روی ردیف سیب‌زمینی (M_4) در سه سطح کود نیتروژن (N_0 ، N_{80} و N_{160} : به ترتیب صفر، ۸۰ و ۱۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار)

تجمع ماده خشک در غده سیب‌زمینی

رشد غده حدوداً ۴۰ روز بعد از سبز شدن شروع شد و روند افزایش ماده خشک در غده سیب‌زمینی در تمامی تیمارها در ابتدا به دلیل رشد و توسعه کمتر اندام‌های هوایی به آرامی شروع شد و هم‌زمان با توسعه اندام‌های هوایی افزایش ماده خشک در غده سیب‌زمینی سرعت بیشتری گرفت و اواخر دوره به دلیل از بین رفتن اندام‌های هوایی متوقف شد. حتی آخر دوره به دلیل وجود تنفس که فرایندی انرژی بر می‌باشد

این روند، مقداری کاهش پیدا کرد. در سطح کودی ۱۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (N_{160}) در همه الگوهای کشت روند تجمع ماده خشک غده در ابتدای دوره سرعت کمتری نسبت به دو سطح کودی N_0 و N_{80} داشت. علت آن نقش نیتروژن در توسعه اندام‌های رویشی بود که باعث افزایش رقابت با غده برای مواد پرورده شده و لذا منجر به کاهش سرعت تجمع ماده خشک غده شد ولی در ادامه سرعت تجمع ماده خشک غده در این سطح کودی به دلیل توسعه بیشتر اندام‌های

۷۰ روز بعد از کاشت، به دست آمد ولی در تیمارهای کودی روند افزایش سرعت رشد غده ادامه داشته و در نمونه برداری ۸۰ روز بعد از کاشت به دست آمد. مقایسه سرعت رشد اندام‌های هوایی با غده نشان داد زمانی که سرعت رشد غده در تیمارها به حداکثر رسید، سرعت رشد اندام‌های هوایی روندی کاهشی داشت که احتمالاً به علت وجود رقابت برای مواد پرورده باشد. چنین رابطه‌ای بین سرعت رشد اندام‌های هوایی و غده توسط دارابی و افتخاری (۲۰۱۴) در سیب‌زمینی گزارش شده است. سرعت رشد غده سیب‌زمینی تحت تاثیر الگوی کشت و نیتروژن و اثر متقابل آن‌ها معنی‌دار شد. بیشترین سرعت رشد غده (۲۴/۵۰ گرم بر مترمربع در روز) به تیمار $M_2 \times N_{160}$ تعلق گرفت و کمترین آن (۱۳/۳۱ گرم بر مترمربع در روز) به تیمار $M_1 \times N_0$ تعلق گرفت (جدول ۵).

عملکرد غده سیب‌زمینی

عملکرد غده سیب‌زمینی تحت تاثیر الگوی کشت و نیتروژن و اثر متقابل آن‌ها معنی‌دار شد. بیشترین عملکرد غده سیب‌زمینی (۴۲/۵ تن در هکتار) از تیمار $M_2 \times N_{160}$ به دست آمد، ولی عملکرد غده سیب‌زمینی در این تیمار با تیمارهای $M_4 \times N_{160}$ و تیمار $M_2 \times N_{80}$ که به ترتیب دارای عملکرد غده ۴۱/۲۷ و ۴۱/۵ تن در هکتار بودند تفاوت معنی‌دار نداشت. 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 لذا عملکرد در این تیمار افزایش یافته است. از طرفی در این دو الگوی کشت، لوبیا سبز توانست حداقل بین ردیف‌های سیب‌زمینی را پوشش داده و فضای‌های خالی را پر کند و در نتیجه، منجر به بهبود شرایط میکروکلیمایی و کاهش تبخیر رطوبت از سطح خاک شده. افشارمنش (۲۰۱۱) در کشت‌های مخلوط ذرت و سیب‌زمینی بالاترین عملکرد غده سیب‌زمینی را در الگوی کشت مخلوط سه ردیف

فتوسنتزی به غیر از تیمار $M_3 \times N_{160}$ افزایش یافت. چاپگین (۲۰۱۶) به نقش نیتروژن در توسعه اندام‌های هوایی و تاخیر در غده‌بندی اشاره کرده است. روند تجمع ماده خشک غده همبستگی مثبتی با روند تجمع ماده خشک اندام‌های هوایی داشت. اثر الگوی کشت، نیتروژن و اثر متقابل آن‌ها بر تجمع ماده خشک در غده سیب‌زمینی معنی‌دار بود. در 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. در الگوهای کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص، تجمع ماده خشک بیشتر بود و در الگوی کشت M_2 این روند بیشتر از سایر الگوهای مخلوط بود. در واقع، نقش مساعدتی لوبیا سبز به دلیل تثبیت نیتروژن، رقابت کمتر برای مواد غذایی به دلیل توزیع و تراکم مناسب‌تر بوته‌ها و از طرفی پوشش فضاهای خالی بین ردیف‌های سیب‌زمینی در این الگوی کشت نیز منجر به کاهش تبخیر شد و در نهایت مجموع این عوامل منجر به افزایش تجمع ماده خشک در غده سیب‌زمینی شد. راعی و همکاران (۲۰۱۰) نیز در کشت مخلوط لوبیا سبز و سیب‌زمینی بیان کردند، افزایش عملکرد به دلیل انتخاب الگوی کشت مناسب که منجر به توزیع یکنواخت بوته‌ها در ردیف‌های کشت مخلوط و پوشش مناسب‌تر بستر کشت بود که باعث استفاده مؤثرتر از منابع و کاهش رقابت و کاهش تبخیر شد.

سرعت رشد غده سیب‌زمینی

روند سرعت رشد غده سیب‌زمینی در تیمارهای مختلف در ابتدای شروع دوره غده‌زایی به دلیل رشد اندام‌های هوایی و وجود رقابت با غده از سرعت کمتری برخوردار بود که به تدریج با به حداکثر رسیدن اندام‌های هوایی سرعت رشد غده نیز افزایش یافت و در انتهای دوره رشد به دلیل از بین رفتن اندام‌های هوایی روندی کاهشی داشت. حداکثر سرعت رشد غده در تیمارهایی که نیتروژن دریافت نکرده بودند به دلیل رشد و توسعه کمتر اندام‌های هوایی در نمونه برداری

جدول ۵- مقایسه میانگین ترکیبات تیماری الگوی کشت در نیتروژن برای تجمع ماده خشک، سرعت رشد غده سیب‌زمینی، نسبت برابری زمین، عملکرد و کل خروجی زمین

تیمار	تجمع ماده خشک غده سیب‌زمینی (g.m ⁻²)	سرعت رشد غده سیب‌زمینی (g.m ⁻² .d ⁻¹)	عملکرد غده (t.ha ⁻¹)	عملکرد نیام سبز (g.m ⁻²)	کل خروجی زمین TLO (t.ha ⁻¹)	نسبت برابری زمین (LER)
M ₁ ×N ₀	۴۸۷ ^g	۱۳/۳۱ ^f	۲۳/۶۷ ^f	-	-	-
M ₁ ×N ₈₀	۶۴۲ ^{ef}	۲۰/۶۷ ^{cd}	۳۳/۵۲ ^c	-	-	-
M ₁ ×N ₁₆₀	۷۲۰ ^{cd}	۱۹/۷۰	۳۷/۶۷ ^b	-	-	-
M ₂ ×N ₀	۶۳۶ ^{def}	۱۹/۰۰ ^d	۳۱/۰۲ ^{cd}	۴۳۲ ^b	۳۱/۰۶	۱/۱۸
M ₂ ×N ₈₀	۸۷۴ ^a	۲۳/۸۳ ^{ab}	۴۱/۵۱ ^a	۵۱۵ ^a	۴۱/۵۶	۱/۵۳
M ₂ ×N ₁₆₀	۸۷۷ ^a	۲۴/۵۰ ^a	۴۲/۴۸ ^a	۳۴۵ ^{cd}	۴۲/۵۱	۱/۴۲
M ₃ ×N ₀	۵۷۹ ^f	۱۴/۶۷ ^e	۲۷/۳۳ ^e	۳۱۶ ^d	۲۷/۳۶	۰/۹۹
M ₃ ×N ₈₀	۷۳۵ ^{bc}	۲۱/۰۳ ^{bcd}	۳۴/۱۷ ^c	۳۲۸ ^d	۳۴/۲۰	۱/۱۸
M ₃ ×N ₁₆₀	۶۴۷ ^{cd}	۲۱/۱۷ ^{bcd}	۳۳/۷۳ ^c	۲۶۰ ^e	۳۳/۷۴	۱/۰۹
M ₄ ×N ₀	۶۰۹ ^{ef}	۱۵/۱۶ ^e	۲۸/۵۳ ^{de}	۳۳۱ ^d	۲۸/۵۶	۱/۰۳
M ₄ ×N ₈₀	۷۶۳ ^b	۲۱/۰۰ ^{bcd}	۳۷/۴۸ ^b	۳۹۰ ^{bc}	۳۷/۵۱	۱/۳۲
M ₄ ×N ₁₆₀	۸۷۶ ^a	۲۴/۲۵ ^a	۴۱/۶۷ ^a	۳۳۳ ^d	۴۱/۷۰	۱/۳۸

M₁، M₂، M₃ و M₄: به ترتیب کشت خالص سیب‌زمینی، کشت لوبیا سبز بین ردیف‌های سیب‌زمینی، کشت لوبیا سبز روی ردیف‌های سیب‌زمینی و کشت لوبیا سبز بین و روی ردیف‌های سیب‌زمینی و N₀، N₈₀ و N₁₆₀: به ترتیب صفر، ۸۰ و ۱۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار. در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند، اختلاف معنی‌داری ندارند.

همراه تثبیت نیتروژن توسط لوبیا سبز بود. در تیمار M₂×N₈₀ در مقایسه با دو تیمار M₂×N₁₆₀ و M₄×N₁₆₀ مقدار مصرف نیتروژن نصف شد. در واقع، این تیمار توانست مصرف نیتروژن را ۵۰ درصد کاهش دهد. به نظر می‌رسد تثبیت نیتروژن توسط لوبیا سبز توانسته کمبود نیتروژن را در تیمار M₂×N₈₀ جبران کند و مانع از افت عملکرد در این تیمار شود. نتیجه به‌دست‌آمده با یافته‌های نصیری محلاتی و همکاران (۲۰۱۵) مطابقت دارد. آن‌ها در تحقیقات خود علت برتری عملکرد گیاهان در مخلوط با لگوم‌ها را تثبیت نیتروژن توسط لگوم بیان کردند. رولمن و اشتیمک (۲۰۱۵) نیز بیان کردند سهم زیادی از نیتروژن گیاهان گرامینه در کشت مخلوط از لگوم‌ها تأمین می‌شود. بنابراین، وجود لوبیا سبز در سیستم با تثبیت بیولوژیکی نیتروژن، رقابت را برای

سیب‌زمینی با یک ردیف ذرت به دست آوردند و دلیل آن را وجود شرایط میکروکلیمای مناسب‌تر توسط این الگوی کشت بیان کردند که منجر به کاهش تبخیر و کاهش دما شد. کمترین عملکرد غده سیب‌زمینی (۲۳/۶۷) تن در هکتار) نیز به تیمار (M₁×N₀) تعلق گرفت تیمار M₂×N₁₆₀ در مقایسه با تیمار شاهد M₁×N₀ عملکرد غده سیب‌زمینی را ۷۹/۶ درصد افزایش داد. در همه الگوهای کشت مخلوط بدون مصرف کود نیتروژن، عملکرد غده سیب‌زمینی به طور معنی‌داری نسبت به کشت خالص آن و بدون مصرف نیتروژن بیشتر بود. حتی در تیمارهایی که نیتروژن نیز دریافت کرده بودند، عملکرد غده سیب‌زمینی در کشت‌های مخلوط بیشتر از تیمار شاهد (M₁×N₀) بود. دلیل این افزایش عملکرد در مخلوط، تعلق دو گونه سیب‌زمینی و لوبیا سبز به دو خانواده مختلف و وجود همیاری و همزیستی مکملی به

(۰/۹۹) به تیمار $M_3 \times N_0$ تعلق گرفت. در تیمار $M_2 \times N_{80}$ که بالاترین LER را داشت عملکرد نسبی سیب‌زمینی $1/10$ و عملکرد نسبی لوبیا سبز $0/43$ بود. در واقع، سودمندی استفاده از زمین در این تیمار ۵۳ درصد بیشتر از کشت خالص آن‌ها شد. در این تیمار لوبیا سبز باعث افزایش عملکرد نسبی سیب‌زمینی شد. فان و همکاران (۲۰۱۶) در بررسی کشت مخلوط ذرت و سیب‌زمینی، نسبت برابری زمین را در الگوهای مخلوط بیشتر از یک گزارش کردند. وجود و نقش اختلافات مورفولوژی، فیزیولوژیکی، سیستم تثبیت و جذب نیتروژن و بالاتر بودن نسبت برابری زمین توسط نصراله زاده اصل و همکاران (۲۰۱۲) در کشت مخلوط سیب‌زمینی و لوبیاچیتی، بادلی و همکاران (۲۰۱۵) در کشت مخلوط سیب‌زمینی و لوبیا سبز و حمزه‌ئی و سیدی (۲۰۱۷) در کشت مخلوط آفتابگردان و لوبیا گزارش شده است.

نتیجه‌گیری

در مجموع کشت لوبیا سبز بین ردیف‌های سیب‌زمینی به علت حداکثر فاصله بوته‌ها نسبت به یکدیگر به همراه تیمار کودی ۸۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار دارای بالاترین عملکرد غده سیب‌زمینی و نیام لوبیا سبز بود که این امر از بهبود شاخص‌های رشدی هر دو گونه در این تیمار آزمایشی ناشی می‌شود. در واقع، وجود تفاوت‌های فیزیولوژیک و مورفولوژی بین دو گونه منجر به اشغال آشیان‌های اکولوژیک متفاوت شده و بنابراین رقابت بین گونه‌ای کمتر و کارایی استفاده از منابع مانند آب، نور، مواد غذایی و زمین افزایش یافته است. لوبیا سبز توانایی تثبیت و استفاده نیتروژن اتمسفری (N_2) را دارد، در نتیجه علاوه بر تأمین نیتروژن مورد نیاز خود، مصرف نیتروژن در سیب‌زمینی را کاهش داد. بنابراین، الگوی کشت لوبیا سبز در بین ردیف‌های سیب‌زمینی، علاوه بر ایجاد تنوع زیستی و پایداری اکوسیستم باعث حداکثر بهره‌وری از زمین نیز می‌شود.

نیتروژن کمتر کرده و نیتروژن بیشتری در اختیار سیب‌زمینی قرار گرفت و عملکرد بیشتر شد.

عملکرد نیام لوبیا سبز

عملکرد نیام لوبیا سبز تحت تاثیر الگوی کشت و کود نیتروژن و اثر متقابل آن‌ها قرار گرفت. در تیمارهای کشت مخلوط بیشترین عملکرد نیام لوبیا سبز (۵۱۵ گرم در مترمربع) از تیمار $M_2 \times N_{80}$ به دست آمد و کمترین عملکرد لوبیا سبز (۲۶۰ گرم در مترمربع) به تیمار $M_3 \times N_{160}$ تعلق گرفت. تیمار $M_2 \times N_{80}$ نسبت به تیمار $M_3 \times N_{160}$ از افزایش ۹۸ درصدی برخوردار بود (جدول ۵). به نظر می‌رسد علت افزایش عملکرد نیام در این تیمار استفاده کارآمد از منابع محیطی در مقایسه با سایر تیمارها می‌باشد (چن و همکاران ۲۰۱۷). محققین در بررسی کشت مخلوط گوجه فرنگی و لوبیا سبز به نتایج مشابه دست یافته‌اند (کوچکی و همکاران ۲۰۱۹).

کل خروجی زمین

در تیمارهای کشت مخلوط بیشترین خروجی زمین (۴۲/۵۱ تن در هکتار) از تیمار $M_2 \times N_{160}$ به دست آمد و کمترین خروجی (۲۷/۳۶ تن در هکتار) به تیمار $M_3 \times N_0$ تعلق گرفت (جدول ۳). شایان ذکر است که تیمار $M_2 \times N_{80}$ با TLO برابر ۴۱/۵۶ تن در هکتار با تیمار $M_2 \times N_{160}$ تفاوتی نداشت. تیمار $M_2 \times N_{80}$ در مقایسه با تیمار $M_1 \times N_0$ (کشت خالص سیب‌زمینی بدون دریافت نیتروژن) مقدار TLO را $43/05$ درصد افزایش داد. چاپگین و ریسمان (۲۰۱۵) کل عملکرد خروجی زمین در کشت مخلوط گندم با لوبیا را (۴/۴ تن در هکتار) و در کشت مخلوط جو با نخود را (۵/۹ تن در هکتار) بدست آوردند که نسبت به تک‌کشتی هر یک از گیاهان بالاتر بود. لی و همکاران (۲۰۱۴) نیز علت افزایش TLO در کشت مخلوط را استفاده بهتر از منابع ذکر شده.

نسبت برابری زمین

نسبت برابری زمین در کلیه تیمارهای کشت مخلوط به غیر از تیمار $M_3 \times N_0$ بیشتر از یک شد (جدول ۳). بیشترین LER (۱/۵۳) به تیمار $M_2 \times N_{80}$ و کمترین آن

سیاسگزاری

همکاری را با ما داشتند، صمیمانه تشکر و قدردانی

می‌شود.

از سرپرست و کارکنان مزرعه آموزشی- پژوهشی دانشگاه بوعلی سینا که در اجرای این طرح نهایت

منابع مورد استفاده

- Afsharmanesh GHR, 2013. Effect of maize and potato intercropping on yield and yield components in early spring planting in Jiroft region. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 14(4):333-345. (In Persian).
- Ansarul S, Joseph Korieng K, Shiekh TA, Bahar FA, Khurshid A, Rayees A and Khuroo NS, 2018. Yield and quality of winter cereal-legume fodder mixtures and their pure stand under temperate conditions of Kashmir Valley, India. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(2): 3626-3631.
- Arshadi M, Khazaei HR and Kafie, M, 2014. The effects of nitrogen road fertilizer using chlorophyll meter, yield, components and potato growth indicets. *Iranian Journal of Field Crops Research* 11(4): 573-582.
- Baddeley JA, Jones S, Topp CFE, Watson CA, Helming J and Stoddard FL, 2014. Biological nitrogen fixation (BNF) in Europe. *Legume Futures Report*. Available from www.legumefutures.
- Barmaki M, 2001. Intercropping of potatoes and peas in Ardabil. MSc Thesis, University of Tabriz, Pp: 88. (In Persian).
- Borghia E, Cruscio CAC, Nascente AS, Sousa VV and Martins PO, 2013. Sorghum grain yield, forage biomass production and revenue as affected by intercropping time. *European Journal of Agronomy*, 51: 130-139.
- Chapagain T and Riseman A, 2015. Nitrogen and carbon transformations, water use efficiency and ecosystem productivity in monocultures and wheat-bean intercropping systems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 101(1): 107-121.
- Chen P, Du Q, Zhou L, Hussain S, Lei L, Song C, Wang X, Liu W, Yang F, Shu K, Liu J, Du J, Yang W and Yong T, 2017. Effects of reduced nitrogen inputs on crop yield and nitrogen use efficiency in a long-term maize-soybean relay strip intercropping system. *PLoS ONE*, 12(9): 1-19.
- Daneshnia F, Amini A and Chaichi MR, 2015. Surfactant effect on forage yield and water use efficiency for berseem clover and basil in intercropping and limited irrigation treatments. *Agricultural Water Management*, 160: 57-63.
- Darabi A and Eftekhari, A, 2014. Investigation in to the phenology stages, some growth indices and qualitative and quantitative characteristics of three potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars, *Plant Physiology Science Journal of Agriculture*, 37: 53-67.
- Dua VK, Lal SS and Govindakrishnan PM, 2005. Production potential and competition indices in potato + french bean intercropping system in Shimla Hills. *Indian Journal of Agricultural Science*, 75: 321-323.
- Fan Z, An T, Wu K, Zhou F, Zi S, Yang Y, Xue G and Wu B, 2016. Effects of intercropping of maize and potato on sloping land on the water balance and surface run off. *Agriculture Water Management*, 166: 9-16.
- Ghale Noyee Sh, Koocheki A, Naseri Poor M, Yazdi T and Jahan M. 2017. Effect of different treatments of mixed and row intercropping on yield and yield components of sesame and bean. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 15(3): 588-602. (In Persian).
- Ghasemi A, Ghanbari A, Fakheri BA and Fanaei HA, 2016. Effect of different fertilizer resources on yield and yield components of grain maize (*Zea mays* L.) influenced by tillage managements. *Journal of Agroecology*, 7: 499-512 (In Persian).

- 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).
- Hamzei J and Seyedi M, 2012. Determination of the best intercropping combination of wheat and rapeseed based on agronomic indices, total yield and land use equivalent ratio. *Journal of Crop Production and Processing*, 2:109–130. [In Persian]
- Harun I, Gitari N, Karanja C, Gachene KK, Solomon K, Kalpana Sh and Schulte-Geldermann E, 2018. Nitrogen and phosphorous uptake by potato (*Solanum tuberosum* L.) and their use efficiency under potato-legume intercropping systems. *Field Crops Research*, 222:78-84.
- Hosseinpanahi F, Koochehi AR, 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).
- Kermah M, Franke AC, Adjei-Nsiah S, Ahiabor BDK, Abaidoo RC and Giller KE, 2017. Maize-grain legume intercropping for enhanced resource use efficiency and crop productivity in the Guinea savanna of northern Ghana. *Field Crop Research*, 213: 38-50.
- Koochehi A, Ghorbani A and Bagheri-Shirvan M, 2019. Evaluation of yield, yield components and nutrient use efficiency in triple intercropping of cucumber, green bean and tomato. *Iranian Journal of Field Crop Research*, 15(2): 20-41. (In Persian).
- Koochehi A, Nassiri Mahallati M, Moradi R and Alizadeh Y, 2015. Evaluation of yield and nitrogen use efficiency of maize and cotton intercropping under different nitrogen levels. *Iranian Journal of Field Crop Research*, 13(1): 1-13. (In Persian).
- Larbi A, El-Moneim AMA, 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.
- Latati M, Aouiche A, Tellah S, Laribi A, Benlahrech S, Kaci G, Ouarem F and Mohamed Ounane S, 2017. Intercropping maize and common bean enhances microbial carbon and nitrogen availability in low phosphorus soil under Mediterranean conditions. *European Journal of Soil Biology*, 80: 9-18.
- Li L, Tilman D, Lambers H and Zhang FS, 2014. Plant diversity and overyielding: insights from belowground facilitation of intercropping in agriculture. *New Phytologist*, 203: 63–69.
- Mansouri-Far C, Modarres Sanavy SAM and Saberli SF, 2010. Maize yield response to deficit irrigation during low-sensitive growth stages and nitrogen rate under semi-arid climatic conditions. *Agricultural Water Management*, 97: 12–22. (In Persian).
- 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*, 379-388.
- Nasiri Mahallati M, Koochehi 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).
- Nasrollahzadeh-Asl A, Dabbag - Mohammadi Nassab A, Zehtab – Salmasi S, Mogaddam M and Javanshir A, 2012. Evaluation of potato and pinto bean intercropping. *Journal of Crop Ecophysiology*, 6 (2):111-126.
- Neuschwandtner RW and Kaul HP, 2015. Nitrogen uptake, use and utilization efficiency by oat-pea intercropping. *Field Crop Research*, 179: 113-119.
- Piri I, Zendehtdel B and Tavasoli A, 2017. Study of agronomical and ecological parameters of additive and replacement intercropping systems of Corn (*Zea mays* L.) and Soybean (*Glycine max* L. Merr). *Journal of Agroecology*, 9(3): 705-721. (In Persian).
- Poggio SL, 2005. Structure of weed communities occurring in monoculture and intercropping of field pea and barley. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 109: 48-58.

- Raei Y, Bolandnaza SA and Dameghsi N, 2010. 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).
- Raseduzzaman M and Jensen ES, 2017. Does intercropping enhance yield stability in arable crop production? A meta-analysis. *European Journal of Agronomy*, 91: 25–33.
- Rühlemann L and Schmidtke K, 2015. Evaluation of monocropped and intercropped grain legumes for cover cropping in no-tillage and reduced tillage organic agriculture. *European Journal of Agronomy*, 65: 83–94.
- Sarkar BK and Ghose SS, 2006. Wheat and chickpea intercropping systems in additive series experiment: Advantages and smothering. *European Journal of Agronomy*, 24: 324–332.
- Tejender CH, Pudasaini R, Ghimire B, Gurung Kh, Choi K, Rai L, Magar S, Bk B and Raizada M, 2018. Intercropping of maize, millet, mustard, wheat and ginger increased land productivity and potential economic returns for smallholder terrace farmers in Nepal. *Field Crops Research*, 227: 91-101.
- Wen F, Ellis H, Long L and John S, 2014. Intercropping enhances soil carbon and nitrogen. *Global Change Biology*, 21(4):1715-1726.
- 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.
- Zaefarian F, Aghaalikhani M, Rahimian Mashadi H, Zand E and Rezvani M, 2009. Yield and growth indices of corn/soybean intercrops undersimultaneous competition of redroot pigweed and jimsonweed. *Iran Journal of Weed Science*, 5: 107-125. (In Persian).
- Zhao JH, Sun JH and Li WQ, 2018. Effect of maize sowing date on yield and interspecific competition in soybean/maize intercropping system. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 26(11): 1634–1642.