نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۲ شماره ۲/ سال ۱۴۰۱ صفحات ۴۶-۳۱

Effect of Competition on Nitrogen Status in Soybean (*Glycine max* (L) Merrill) and Millet (*Panicum miliaceum* L.) Intercropping under Low Input Agricultural System

Meysam Namdari[1], Rahmat Abbasi[2], Hemmatolaah Pirdashti[2], Faezeh Zaefarian[2]

Received: 11 May 2021 Accepted: 16 July 2021
1-PhD Student of Agronomy, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran
2-Assist. Prof., Prof. and Assoc. Prof., Agronomy, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran.
*Corresponding Author Email: r.abasi@sanru.ac.ir

Abstract

Background and Objective: This study was conducted to investigate the effect of interspecific competition on the biological nitrogen fixation of soybean and the role of millet in improving the nitrogen efficiency index in different planting patterns of intercropping culture.

Materials and Methods: The experiment was carried out as a randomized complete block design with four replications at the research farms of Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources in two years (2018-19). The experimental treatments were 0:100, 25:75, 50:50, 75:25, and 100:0 (Millet: Soybean respectively) based on replacement method.

Results: The different planting ratios significantly affected the average percentage of nitrogen derived from the atmosphere (Ndfa), the millet root activity (TTC), nitrogen harvest index, nitrogen nutrient index, and nitrogen yield content. The Ndfa percentage in different planting ratios was higher than the pure stand in the different growth stages. The nitrogen uptake index of millet improved with increasing the number of planting rows in different intercropping ratios. Increasing the Selection Effect (SE) of soybean at planting ratios of 25:75 and 50:50 (millet-soybean) reduced the nitrogen uptake efficiency of millet. Also, the planting ratio of 25:75 (millet-soybean) in the 90-day stage after planting had the lowest TTC. The contribution of millet from the total amount of grain nitrogen in the planting ratio of 25:75 (millet-soybean) was less than one percent. Also, among the different intercropping ratios, the planting ratio of 75:25 (millet-soybean) with an average of 1.23 had a land equivalent ratio higher than one.

Conclusion: Increasing the Complementary Effect (CE) on interspecific competition plays a significant role in improving intercropping efficiency and the competition of the component crop in intercropping can alter the biological stabilization efficiency of soybean during different growth stages.

Keywords: Biological Nitrogen Fixation, Complementarity Effect, LER, Nitrogen Efficiency Index, Planting Ratio

اثر رقابت بر وضعیت نیتروژن درکشت مخلوط سویا (*Glycine max* (L.) Merrill) و ارزن (*Panicum miliaceum* L.) تحت سیستم کشاورزی کم نهاده

میثم نامداری[۱]، رحمت عباسی[۲]، همت الله پیردشتی[۲]، فائزه زعفریان[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۲/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۴/۲۵

۱- دانشجوی دکتری زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
۲- به ترتیب استادیار، استاد و دانشیار گروه زراعت دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
*مسئول مکاتبه: E-mail: r.abasi@sanru.ac.ir

چکیده

اهداف: این پژوهش به منظور بررسی اثر رقابت بین‌گونه‌ای بر میزان فعالیت تثبیت بیولوژیکی سویا و نقش گیاه ارزن در بهبود شاخص کارایی نیتروژن در کشت مخلوط سویا و ارزن انجام شد.

مواد و روش‌ها: آزمایش به‌صورت طرح بلوک کامل تصادفی با چهار تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری در دو سال ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل نسبت‌های کاشت ۱۰۰:۰، ۲۵:۷۵، ۵۰:۵۰، ۷۵:۲۵ و ۰:۱۰۰ (به ترتیب ارزن-سویا) به روش جایگزینی بودند.

یافته‌ها: نسبت‌های مختلف کاشت اثر معنی‌داری بر درصد نیتروژن حاصل از تثبیت بیولوژیکی گیاه سویا، فعالیت ریشه گیاه ارزن، شاخص‌های جذب و برداشت نیتروژن و عملکرد نیتروژن داشتند. در طی مراحل مختلف رشد نسبت‌های مختلف کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص دارای قابلیت تثبیت بیولوژیکی نیتروژن بیشتری بودند. شاخص جذب نیتروژن گیاه ارزن با افزایش سهم کاشت آن در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط بهبود یافت و افزایش شاخص رقابتی گیاه سویا در نسبت‌های کاشت ۷۵:۲۵ و ۵۰:۵۰ (ارزن-سویا) باعث کاهش کارایی جذب این عنصر در گیاه ارزن شد. همچنین نسبت کاشت ۷۵:۲۵ (ارزن-سویا) در مرحله ۹۰ روز پس از کاشت دارای کمترین میزان فعالیت ریشه بود. با کاهش تعداد ردیف کاشت گیاه ارزن در الگوی کشت مخلوط سهم مشارکت آن از کل نیتروژن دانه بر خلاف گیاه سویا، به شدت کاهش یافت. در بین نسبت‌های مختلف کشت مخلوط، نسبت کاشت ۲۵:۷۵ (ارزن-سویا) با میانگین ۱/۲۳ نسبت برابری زمین بالاتر از یک داشتند.

نتیجه‌گیری: گیاه ارزن با ایجاد تعادل در رقابت بین گونه‌ای از طریق افزایش سهم اثر مکملی نقش مهمی در افزایش سودمندی کشت مخلوط دارد و رقابت این گیاه در طی مراحل مختلف رشد می‌تواند باعث تغییر در کارایی تثبیت بیولوژیکی گیاه سویا در کشت مخلوط شود.

واژه‌های کلیدی: اثر مکملی، نسبت کشت، تثبیت بیولوژیکی نیتروژن، شاخص کارایی نیتروژن، نسبت برابری زمین

مقدمه

امروزه تولید مواد غذایی برای جمعیت در حال رشد مستلزم ایجاد پایداری در سیستم‌های کشاورزی از طریق کاهش تأثیرات منفی زیست‌محیطی است. بنابراین افزایش پایداری و مدیریت سازگار بوم‌شناختی در سیستم تولید محصولات زراعی لازم و ملزوم

یکدیگرند (فینلی و راین ۲۰۱۸). در این بین کشت مخلوط راهبردی مناسب برای افزایش بهره‌وری کشاورزی در واحد سطح است، زیرا برای جذب منابع مبتنی بر ساز و کارهای زیست محیطی می‌باشد (یو و همکاران ۲۰۱۵). از آنجا که اثرات متقابل و کارایی بخش زیرزمینی در ارتباط با موجودات زنده متاثر از سیستم‌های کشت و شرایط محیطی رشد می‌باشد، لذا کاربرد گیاه لگوم در کشت مخلوط می‌تواند ضمن افزایش کارایی تثبیت بیولوژیکی، رویکردی پایدار برای برطرف کردن نیازهای نیتروژن گیاه زراعی باشد (اسلام و ادجسیورو ۲۰۱۸). ترکیبات اصلی نیتروژن که توسط ریشه‌های لگوم آزاد می‌شوند، شامل آمونیوم، اسید آمینه و اورئید است (فوستک و همکاران ۲۰۱۰) به نحوی‌که در لگوم معتدله (نظیر یونجه) بیشتر ترکیبات آزاد شده شامل آمینو-نیتروژن و آمونیوم است و در لگوم گرمسیری (مانند سویا) عمده ترکیبات آزاد شده را اورئید تشکیل می‌دهد (یونکوویچ و همکاران ۲۰۰۸). با توجه به نسبت پایین کربن به نیتروژن در ترکیب اورئید سنتز شده در گره‌های نثبیت‌کننده گیاهان لگوم گرمسیری مانند سویا، میزان کارایی تثبیت بیولوژیک در این دسته از گیاهان بیشتر از سایر گیاهان تثبیت کننده نیتروژن می‌باشد (هانگریا و همکاران ۲۰۰۶).

بر این اساس نتایج مطالعه بلندمدت کانگ و همکاران (۲۰۱۴) در خصوص کشت مخلوط لگوم با غلات، افزایش ۱۱ درصدی میزان نیتروژن آلی، تثبیت بیولوژیکی نیتروژن، میانگین زیست‌توده ریشه و مقدار کربن آلی خاک را در کشت مخلوط نشان داد. نوگشوانتر و کائول (۲۰۱۵) ضمن مطالعه نسبت‌های مختلف کاشت نخودفرنگی و یولاف بصورت جایگزینی بیان داشتند در کشت مخلوط، یولاف گیاه غالب بوده و میزان نیتروژن دانه یولاف با کاهش سهم کاشت آن در الگوی کشت مخلوط افزایش یافت؛ در حالیکه نسبت‌های کاشت اثری بر میزان نیتروژن نخودفرنگی نداشت. نتایج مطالعه آنگلاد و همکاران (۲۰۱۵) همبستگی شدید و معنی‌داری بین تجمع نیتروژن کل در وزن خشک ساقه و تثبیت بیولوژیکی نیتروژن در علوفه و دانه لگوم را نشان داد. بطور کلی استفاده از گیاهان لگوم در تناوب و یا کشت مخلوط امروزه به عنوان یک راه جایگزین و پایدار برای معرفی نیتروژن به سیستم‌های تولید کم نهاده در نظر گرفته می‌شود. علاوه بر آن افزایش خصوصیات کیفی و جذب عناصر غذایی گیاه همراه نیز در کشت مخلوط با گیاهان لگوم توسط برخی از محققان گزارش شده است (اسکندری و قنبری ۲۰۱۱؛ اسکندری و جوانمرد ۲۰۱۴ و سعیدی و همکاران ۲۰۱۸). در ادامه نتایج مطالعه زانگ و همکاران (۲۰۱۳) نشان داد با جداسازی ریشه‌های گیاهان در کشت مخلوط میزان فعالیت ریشه گیاه کاهش و مقدار فعالیت ریشه با افزایش مقدار نیتروژن خاک افزایش یافت. در نهایت بر اساس نتایج بدست آمده در کشت مخلوط یکساله غلات-لگوم، اثر آشیان‌های اکولوژیکی به افزایش بیشتر عملکرد بخصوص در گونه‌های غیر تثبیت کننده کمک می‌کند. همچنین در این سیستم کاشت میزان نیتروژن حاصل از تثبیت بیولوژیکی در مقایسه با کشت خالص افزایش می‌یابد (کرهالو و همکاران ۲۰۰۶) و این سطح از تثبیت بیولوژیکی می‌تواند در سیستم‌های کشت کم‌نهاده بهبود یافته و منجر به ثبات بیشتر عملکرد در محیط‌های محدودکننده شود.

بطور کلی تشخیص مناسب و صحیح تثبیت بیولوژیکی نیتروژن برای ارزیابی امکان تنوع در سیستم کاشت بر اساس گیاه لگوم ضروری است و همانطور که اشاره شد، موفقیت سیستم‌های کشت مخلوط در ابتدا به افزایش کارایی تثبیت نیتروژن و افزایش میزان نیتروژن سهل‌الوصول در محیط ریزوسفر بستگی دارد، لذا بررسی میزان نیتروژن تثبیت شده در طی مراحل مختلف رشد گیاهان لگوم در سیستم کشت مخلوط می‌تواند در این زمینه راه‌گشا باشد (پرهوفروالزل و راسموزن ۲۰۱۲). از آنجا که استفاده از گیاهان لگوم سه کربنه در کشت مخلوط با غلات چهار کربنه می‌تواند باعث افزایش کارایی استفاده از منابع در اراضی کشاورزی شود (یو و همکاران ۲۰۱۵) و با توجه به مسیر فتوسنتزی و خصوصیات فیزیولوژیکی متفاوت گیاه ارزن و اهمیت گیاه سویا به دلیل قابلیت بالای تثبیت بیولوژیکی نیتروژن، این پژوهش با هدف بررسی وضعیت نیتروژن گیاهان

مذکور در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط به صورت جایگزینی در انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در طی دو سال زراعی (۱۳۹۷-۹۸ و ۹۷-۱۳۹۶) در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری با عرض جغرافیایی ′۳۳، °۳۶ شمالی و طول جغرافیایی ′۰۳، °۵۳ شرقی و ارتفاع ۴۳ متر از سطح دریا انجام شد. تغییرات میانگین درجه‌حرارت و بارندگی ماهانه محل انجام آزمایش طی دوره رشد گیاه در سال‌های مورد مطالعه در جدول ۱ نشان داده شده است. آزمایش بصورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی در پنج تیمار و چهار تکرار انجام و تیمارهای آزمایش شامل نسبت‌های مختلف کاشت به روش جایگزینی بر اساس درصد شامل ۱۰۰:۰، ۲۵:۷۵، ۵۰:۵۰، ۷۵:۲۵ و ۱۰۰:۰ (به ترتیب ارزن-سویا) بودند. ترکیب‌های ۱۰۰:۰ و ۰:۱۰۰ به ترتیب کشت خالص گیاه ارزن و سویا را تشکیل دادند. همچنین ترکیب‌های ۲۵:۷۵ و ۷۵:۲۵ نیز به ترتیب سه ردیف گیاه ارزن-یک ردیف سویا، یک ردیف گیاه ارزن-سه ردیف سویا در نظر گرفته شد و ترکیب ۵۰:۵۰ نیز شامل کشت متوالی دو ردیف از گیاه ارزن و سویا بود. بذر سویا رقم ساری از مرکز تحقیقات شرکت توسعه کشت دانه‌های روغنی شهرستان ساری و بذر گیاه ارزن رقم پیشاهنگ از موسسه تحقیقات اصلاح نهال و بذر شهرستان کرج تهیه گردید. عملیات کاشت در تاریخ ۱۵ اردیبهشت به‌صورت هیرم‌کاری و به طریقه دستی انجام شد. بذور سویا پیش از کاشت با باکتری رایزوبیوم ژاپونیکوم (با تراکم سلولی ۲×۱۰^{۷}) تلقیح گردید. تعداد خطوط کاشت در هر کرت ۱۲، فاصله بین خطوط ۳۵ سانتیمتر، طول خطوط چهار متر و تراکم نهایی برای هر دو گیاه بطور ثابت ۲۸ بوته در مترمربع بود.

جدول ۱- تغییرات میانگین درجه‌حرارت و بارندگی ماهانه محل انجام آزمایش

	سال	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان
درجه حرارت (°C)	۱۳۹۷	۲۰/۳۹	۲۴/۱۴	۲۹/۴۹	۲۹/۰۴	۲۸/۰۵	۲۱/۳۷	۱۶/۳۷
	۱۳۹۸	۲۰/۵۵	۲۶/۵۳	۲۸/۰۱	۲۷/۷۸	۲۵/۰۳	۲۱/۹۱	۱۵/۵۴
بارندگی (mm)	۱۳۹۷	۱۸/۶۰	۱۲/۰۱	۷/۴۰	۷۲/۶۰	۱۱/۹۰	۱۷۹/۱۰	۵۷/۸۰
	۱۳۹۸	۵۱/۱۰	۱/۰۱	۶۹/۹۰	۲۲/۳۰	۴۵/۲۰	۸۰/۶۰	۲۲۸/۴۰

قبل از کاشت کود مورد نیاز با توجه به نتایج تجزیه و تحلیل آزمون خاک (جدول ۱) در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ به میزان ۹۰ کیلوگرم فسفر و ۶۶ کیلوگرم پتاس و در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ به میزان ۳۳ کیلوگرم فسفر به ترتیب از منبع سوپرفسفات تریپل و سولفات پتاسیم تامین شد. آبیاری گیاهان بصورت قطره‌ای به کمک دستگاه تانسیومتر در پتانسیل ماتریک ۰/۴- بار و عملیات وجین به‌صورت دستی در چهار مرحله و با فاصله زمانی ۱۴ روز انجام شد. عملیات برداشت برای گیاه ارزن و سویا به ترتیب در تاریخ ۲۲ مرداد و ۵ آبان ماه با رعایت اثرات حاشیه (۰/۵ متر از دو طرف هر کرت) با دست از چهار ردیف میانی به تفکیک گیاه زراعی انجام شد.

جدول ۲- نتایج تجزیه خاک مزرعه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

سال	عمق نمونه برداری (cm)	شن ٪	سیلت ٪	رس ٪	بافت	ماده آلی ٪	نیتروژن $Mg.kg^{-1}$	فسفر $Mg.kg^{-1}$	پتاسیم $Mg.kg^{-1}$	هدایت الکتریکی ($dS.m^{-1}$)	اسیدیته
۱۳۹۷	۳۰ - ۰	۲۸	۳۹	۳۳	لوم	۱/۲۱	۰/۰۶	۱/۳	۹۵	۰/۵۱	۸/۰۴
۱۳۹۸		۲۶	۴۰	۳۴	رسی	۱/۸۳	۰/۰۹	۴	۱۶۳	۰/۶۱	۷/۷۴

جهت محاسبه درصد نیتروژن حاصل از تثبیت بیولوژیکی گیاه سویا از تکنیک استخراج اورئید از آوند چوب (یونکوویچ و همکاران ۲۰۰۸) استفاده شد. این عملیات در طی شش مرحله از زمان ۴۵ روز پس از کاشت با فاصله زمانی ۱۵ روز یکبار انجام و نمونه‌ها پس از جداسازی اندام‌های مختلف در آون الکتریکی تهویه‌دار با درجه حرارت ۷۰ درجه سانتیگراد بمدت ۴۸ ساعت خشک شدند. بطور خلاصه جهت انجام عملیات مذکور، ابتدا ساقه‌های با قطر بیشتر از سه میلی‌متر، نزدیک به سطح زمین قطع و بلافاصله ساقه جدا شده به درون لوله‌های لاستیکی سیلیکون یا لاتکس با قطر داخلی کوچکتر از ساقه وارد و با استفاده از یک اتصال‌دهنده با اندازه مناسب روی یک سوزن سرنگ دو طرفه قرار گرفت. سپس سوزن از طریق پیستون لاستیکی به لوله آزمایش پنج میلی‌لیتری که از طریق یک اتصال سوزن سرنگ و یک خط پلاستیکی لوله انعطاف-پذیر متصل به یک پمپ خلاء وارد و سپس خلاء (۶۰-۷۰ کیلو پاسکال) اعمال و نمونه‌های شیره آوند چوب استخراج شد. بطور خلاصه سنجش میزان اورئید با دستگاه اسپکتوفتومتر (Hanon, i3) با طول موج ۵۲۵ نانومتر به کمک ترسیم منحنی استاندارد آلانتوئین از روش یانگ و کان‌وی (۱۹۴۲)، آمینو-نیتروژن با معرف نین‌هیدرین در طول موج ۵۷۰ نانومتر و به کمک ترسیم منحنی استاندارد آسپاراژین/گلوتامین با روش اصلاح شده توسط هیریدج (۱۹۸۴)، و در نهایت نیترات نیز در طول موج ۴۱۰ نانومتر و به کمک ترسیم منحنی استاندارد نیترات پتاسیم از منبع کاتالدو و همکاران (۱۹۷۵) تعیین گردید. سپس مقدار اورئید، آمینو ونیترات از رابطه ۱، فراوانی اورئید از رابطه ۲ و نیتروژن حاصل از تثبیت بیولوژیکی در مراحل مختلف با کالیبراسیون میزان فراوانی نسبی اورئید در مراحل مختلف رشد با مقادیر ایزوتوپ نیتروژن ۱۵ از طریق رابطه ۳ تعیین شد (یونکوویچ و همکاران ۲۰۰۸).

$$Sa_C = St_{C.} \times (O.D_S / O.D.s) \times D \quad \text{(رابطه ۱)}$$

$$Ru\text{-}N\ (\%) = [4\times ureide / (4\times ureide + nitrate + amino\text{-}N)] \times 100 \quad \text{(رابطه ۲)}$$

$$Ru\text{-}N(\%) = 0.64\ Ndfa + 7.7 \text{ (گلدهی)} \qquad Ru\text{-}N(\%) = 0.64\ Ndfa + 15.9 \text{ (پس از گلدهی)} \quad \text{(رابطه ۳)}$$

در روابط فوق $Sa_{.C.}$ غلظت نمونه، $St_{.C.}$ غلظت استاندارد، $O.D_{.Sa}$ تراکم بصری نمونه، $O.D_{.St}$ تراکم بصری استاندارد، D_i غلظت محلول رقیق شده، Ru-N فراوانی نسبی اورئید و Ndfa درصد نیتروژن حاصل از تثبیت بیولوژیکی.

جهت تعیین مقدار نیتروژن دانه و ساقه گیاه سویا و ارزن همزمان با عملیات برداشت نمونه‌برداری از پنج بوته از هر گیاه در کرت‌های مورد مطالعه انجام، و نمونه‌ها به تفکیک در آون الکتریکی تهویه‌دار با درجه حرارت ۷۰°C به مدت ۴۸ ساعت خشک و پس از آن به کمک ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ توزین شدند. در نهایت آماده سازی نمونه‌ها در طی مراحل مختلف رشد به کمک آسیاب آزمایشگاهی[1] انجام و مقدار نیتروژن توسط دستگاه نیتروژن دوماس آنالایزر[2] اندازه‌گیری شد. عملکرد نیتروژن ساقه یا دانه گیاه ارزن و سویا در نسبت‌های مختلف کاشت و همچنین نیتروژن گیاه سویا در طی مراحل مختلف رشد بر اساس کیلوگرم در هکتار از حاصل‌ضرب میزان ماده خشک نهایی در مقدار نیتروژن (گرم در گرم ماده خشک) تعیین گردید.

شاخص برداشت نیتروژن (سینبو و همکاران ۲۰۰۴) و شاخص عنصر نیتروژن (گرین‌وود و همکاران ۱۹۹۰) به ترتیب از طریق روابط ۴ و ۵ محاسبه شد:

[1] A11, IKA, rpm 28000

$$NHI=\frac{GNC\times YLD}{(GNC\times YLD)+(STNC\times STR)}$$ (رابطه ۴)

$$NNI = Na / Nc \qquad Nc=aW^{-b}$$ (رابطه ۵)[۱]

در روابط فوق GNC درصد نیتروژن دانه، YLD میزان عملکرد دانه، STNG درصد نیتروژن در بقایای گیاه، STR عملکرد بقایای گیاه، Na جذب نیتروژن توسط گیاه زراعی و Nc جذب بحرانی نیتروژن، a و b ضرایب به ترتیب ۴/۱ و ۰/۵- و W مقدار ماده خشک کیلوگرم در هکتار است.

جهت اندازه‌گیری میزان فعالیت ریشه در گیاه همراه نیز ۴۵ روز پس از کاشت نمونه‌برداری از تیمارهای کشت خالص و مخلوط با فاصله زمانی ۱۵ روز طی پنج مرحله انجام شد. بدین منظور ابتدا پس از انجام عملیات آبیاری تعداد دو گیاه از هر تیمار انتخاب و با توجه به نوع ریشه گیاه ارزن، به کمک بیلچه و فشار کنترل شده آب، ریشه‌ها از خاک مرطوب جدا و سپس برای پاک کردن خاک چسبیده به آن به دقت شسته شدند. در نهایت عملیات شستشوی نهایی نیز با آب مقطر انجام شد. تعیین میزان فعالیت ریشه به کمک روش احیای تری‌فنیل‌تترازولیوم کلراید[۲] انجام شد (زانگ و همکاران ۲۰۱۳). بدین منظور ۰/۵ گرم از ریشه پس از جداسازی در پنج میلی لیتر محلول بافر فسفات و پنج میلی‌لیتر محلول تری‌فنیل‌تترازولیوم کلراید چهار درصد به مدت سه ساعت در دمای ۳۷ درجه سانتیگراد نگهداری شد. سپس جهت توقف واکنش دو میلی‌لیتر از اسید سولفوریک یک مولار با آن مخلوط گردید. پس از آن ریشه‌ها با کاغذ صافی خشک و به درون لوله آزمایش منتقل و ۱۰ میلی‌لیتر استیل استات به آن اضافه شد. همچنین محلول آب مقطر به عنوان بلانک در نظر گرفته شد. تراکم بصری توسط دستگاه اسپکتوفتومتر در طول موج ۴۸۵ نانومتر اندازه‌گیری و به کمک ترسیم منحنی استاندارد ثبت گردید. در نهایت فعالیت ریشه از مقدار احیای تری‌فنیل‌تترازولیوم‌کلراید بر وزن ریشه در مدت زمان انکوباسیون تعیین شد.

محاسبه نسبت برابری زمین (مید و وایلی ۱۹۸۰)، اثر خالص، اثر مکملی و اثر خالص (لورئو و هکتور ۲۰۰۱) از طریق روابط زیر اندازه‌گیری شد.

$$LER_a=\left(\frac{Yi_a}{Ym_a}\right) \quad LER_b=\left(\frac{Yi_b}{Ym_b}\right) \qquad LER = (LER\ a + LER\ b)$$ (رابطه ۶)

$$NE = CE + SE$$ (رابطه ۷)

$$CE = N\times\Delta\overline{RY}\times\overline{M}$$ (رابطه ۸)

$$SE = N\times cov(\Delta RY.M)$$ (رابطه ۹)

در روابط فوق Y_{ia} و Y_{ib} به ترتیب عملکرد گیاه a و b در کشت مخلوط، Y_{ma} و Y_{mb} عملکرد گیاه a و b در کشت خالص، NE اثر خالص، CE اثر مکملی، SE اثر انتخابی، N تعداد گونه در کشت مخلوط، ΔRY میانگین عملکرد نسبی دو گونه، M میانگین عملکرد گیاهاندر کشت خالص، cov(ΔRY,M) کوواریانس بین عملکرد نسبی بدست آمده در کشت مخلوط و خالص می‌باشد.

در نهایت جهت تجزیه آماری داده‌ها و مقایسه میانگین‌ها از نرم افزار سیستم آنالیز آماری SAS نسخه ۹/۱ استفاده شد. مقایسات میانگین داده‌ها با آزمون کم‌ترین تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح پنج درصد و رسم نمودارها به‌کمک نرم‌افزار Excel 2013 و Sigma Plot 11 انجام شد.

نتایج و بحث

بر اساس یافته‌ها، نسبت‌های مختلف کاشت اثر معنی‌داری بر درصد تثبیت بیولوژیکی سویا در مراحل

[۲] NDA 701, Dumas Nitrogen Analyzer

[۳] TTC

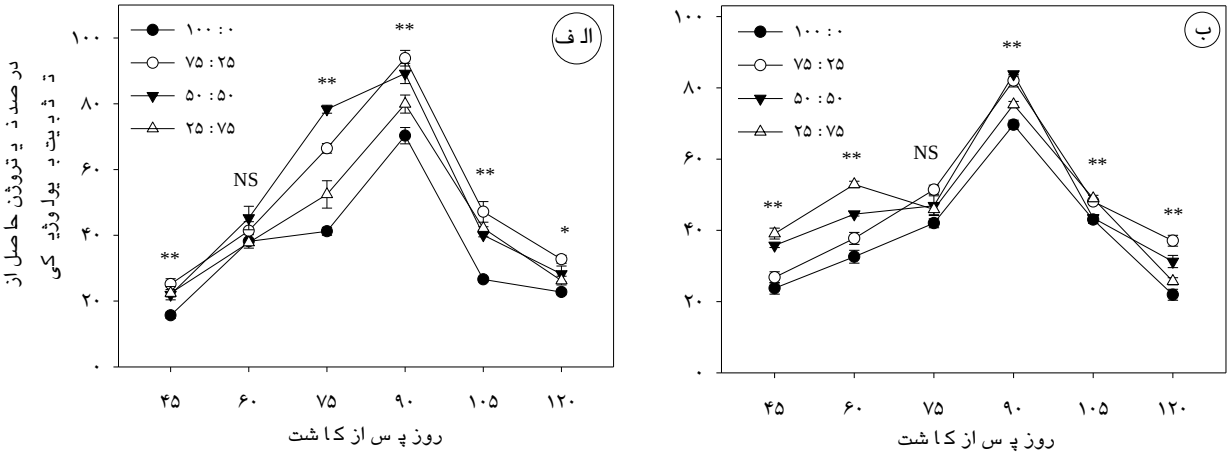
مختلف رشد داشتند (شکل ۱). بیشترین افزایش درصد نیتروژن حاصل از تثبیت بیولوژیکی در هر دو سال زراعی مربوط به مرحله آغاز غلاف‌دهی سویا (۹۰ روز پس از کاشت) بود. تمامی نسبت‌های مختلف کشت مخلوط در مقایسه با تیمار کشت خالص قابلیت تثبیت بیولوژیکی نیتروژن بیشتری داشتند. در هر دو سال زراعی تا مرحله ۷۵ روز پس از کاشت بیشترین درصد تثبیت بیولوژیکی مربوط به نسبت‌های کاشت ۲۵:۷۵ (ارزن-سویا) و ۵۰:۵۰ بود. اما در مرحله ۹۰ روز پس از کاشت مقدار تثبیت بیولوژیکی نیتروژن در نسبت‌های کاشت ۵۰:۵۰ و ۷۵:۲۵ (ارزن-سویا) در سال‌های ۹۷ و ۹۸ به ترتیب ۲۰/۳۸، ۱۷/۷۵ و ۱۷/۷۵، ۲۰/۳۸ درصد بیشتر از کشت خالص بود و این روند تا مرحله ۱۲۰ روز پس از کاشت ادامه داشت (شکل ۱). هر چند در مراحل پایانی رشد به دلیل افزایش سن گره‌ها درصد تثبیت بیولوژیکی نیتروژن، کاهش یافت اما درصد نیتروژن حاصل از تثبیت بیولوژیک در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط بیشتر از کشت خالص بود به نحوی که مقدار آن در نسبت کاشت ۷۵:۲۵ (ارزن-سویا) در سال‌های ۹۷ و ۹۸ به ترتیب ۴۳/۸۷ و ۶۹/۱۴ درصد بیشتر از کشت خالص سویا (۱۰۰:۰) بود. بطور کلی حداکثر فعالیت تثبیت بیولوژیکی در گیاه سویا مربوط به مرحله آغاز غلاف‌دهی (R_3) است و این قابلیت پس از مرحله آغاز دانه‌بندی کاهش می‌یابد (سالواگیوتی و همکاران ۲۰۰۸). به نظر می‌رسد کاهش درصد تثبیت بیولوژیکی نسبت کاشت ۲۵:۷۵ (ارزن-سویا) در مراحل پایانی رشد بدلیل کاهش توان رقابتی و شروع رسیدگی گیاه ارزن می‌باشد. همچنین با افزایش سهم تعداد ردیف سویا در بین نسبت‌های مختلف کاشت، توانایی گیاه در حفظ قابلیت تثبیت بیولوژیکی در مراحل ۱۰۵ و ۱۲۰ روز پس از کاشت افزایش یافت (شکل ۱). جامونت و همکاران (۲۰۱۳) کاهش قابلیت تثبیت بیولوژیکی گیاه لگوم در کشت مخلوط را پس از گلدهی گزارش کردند. بطور کلی بهبود قابلیت تثبیت بیولوژیکی گیاه لگوم در کشت مخلوط توسط سایر پژوهشگران نیز گزارش شده است (روهلمان و همکاران ۲۰۱۵؛ هیو و همکاران ۲۰۱۶؛ مایکوری و همکاران ۲۰۱۶). در این بین نامبیار و همکاران (۱۹۸۳) کاهش تثبیت بیولوژیکی گیاه لگوم در کشت مخلوط را گزارش کرده و دلیل آن را به سایه-اندازی گیاه همراه نسبت دادند. در مجموع کشت مخلوط لگوم-غیر لگوم می‌تواند کارایی استفاده از نیتروژن را به علت استفاده گیاه زراعی همراه از نیتروژن معدنی خاک و قابلیت تثبیت بیولوژیکی نیتروژن در گیاه لگوم افزایش دهد و باعث تسهیل رقابت بین گونه‌ای شود. بطور کلی درصد نیتروژن حاصل از تثبیت بیولوژیکی تحت تاثیر اثر متقابل بخش زیرزمینی در کشت مخلوط قرار دارد (دیو و همکاران ۲۰۱۹).

بر اساس نتایج عملکرد نیتروژن حاصل از تثبیت بیولوژیکی سویا (کیلوگرم در هکتار) در طی دوره رشد نیز مشخص گردید تمامی نسبت‌های مختلف کاشت (به غیر از نسبت کاشت ۵۰:۵۰ در سال ۱۳۹۷) مقدار نیتروژن بیشتری را در مقایسه مقدار قابل انتظار تولید کردند (شکل۲). بیشترین مقدار افزایش تثبیت بیولوژیکی سویا (کیلوگرم در هکتار) مربوط به مرحله ۹۰ روز پس از کاشت بود (جدول ۳). در این مرحله میزان درصد افزایش نیتروژن حاصل از تثبیت بیولوژیکی در مقایسه با مقادیر پیش‌بینی شده در نسبت‌های کاشت ۷۵:۲۵، ۵۰:۵۰ و ۲۵:۷۵ (ارزن-سویا) در سال۱۳۹۷ به ترتیب ۵۴/۷۹، ۵۸/۵۵، ۴۳/۶۵ و در سال۱۳۹۸ بطور میانگین ۳۴/۷۷، ۴۷/۸۶، ۳۹/۰۲ درصد بود. بطور کلی افزایش سهم ردیف کاشت سویا در کشت مخلوط باعث افزایش عملکرد مقدار نیتروژن حاصل از تثبیت بیولوژیکی در هکتار پس از مرحله ۶۰ روز پس از کاشت (آغاز گلدهی) شد (جدول ۳). به نظر می‌رسد افزایش کارایی استفاده از منابع محیطی مانند نور در افزایش میزان ماده خشک و توان فتوسنتزی گیاه سویا پس از مرحله گلدهی در نسبت کاشت ۷۵:۲۵

(ارزن-سویا) نقش مهمی در افزایش درصد نیتروژن حاصل از تثبیت بیولوژیکی در مقایسه با مقادیر قابل انتظار داشته است (شکل ۲). علاوه بر مطالب مذکور گیاهان چهار کربنه بدلیل قابلیت تبعیض کمتر برای کربن ۱۳، می‌توانند مشارکت بیشتری از نظر اختصاص کربن به ترشحات ریشه داشته باشند (میلر و کرامر

۲۰۰۵). بنابراین به نظر می‌رسد افزایش مقدار نیتروژن حاصل از تثبیت بیولوژیکی در نسبت کاشت ۲۵:۷۵ (ارزن–سویا) می‌تواند مربوط به اصلاح محیط ریزوسفر برای میکروارگانیسم‌های خاک، افزایش فعالیت میکروبی و اثرات باکتری‌های تقویت کننده رشد جهت دستیابی به نیتروژن مورد نیاز گیاه باشد. سایر پژوهشگران نیز افزایش قابلیت تثبیت بیولوژیکی گیاه لگوم را در کشت مخلوط با گیاهان چهار کربنه گزارش کردند (لایک و همکاران ۲۰۱۴؛ داراپونی و همکاران ۲۰۱۸؛ اقبال و همکاران ۲۰۱۹).

نسبت‌های مختلف کاشت اثر معنی‌داری بر عملکرد نیتروژن گیاه سویا و ارزن داشتند (جدول ۴). در بین نسبت‌های مختلف کاشت بیشترین میزان نیتروژن ساقه متعلق به نسبت ۷۵:۲۵ (ارزن–سویا) و کشت خالص سویا (۱۰۰:۰)



شکل ۱- میانگین درصد نیتروژن حاصل از تثبیت بیولوژیکی سویا در طی دوره رشد و در نسبت‌های مختلف کاشت (به ترتیب ارزن–سویا)

خطوط عمودی بر روی نقاط نشان دهنده خطای استاندارد (SE)، حروف الف و ب به ترتیب سال ۱۳۹۷ و سال ۱۳۹۸ و ns، * و ** نیز به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد می‌باشد

به‌ترتیب با میانگین ۱۴/۰۲ و ۱۳/۹۸ کیلوگرم در هکتار بود و کشت خالص گیاه ارزن (۰:۱۰۰) با میانگین ۵/۱۷ کیلوگرم در هکتار کمترین مقدار عملکرد نیتروژن را در اختیار داشت. همچنین سهم مشارکت گیاه ارزن از نظر میزان نیتروژن ساقه در نسبت‌های کاشت ۲۵:۷۵، ۵۰:۵۰ و ۷۵:۲۵ (ارزن–سویا) به ترتیب ۴۰/۹۵، ۱۵/۵۷ و ۴/۹۹ درصد بود (جدول ۴). نتایج نشان داد با کاهش تعداد ردیف کاشت گیاه در نسبت‌های مختلف مقدار نیتروژن ساقه کاهش یافت. میزان این کاهش در گیاه ارزن در مقایسه با گیاه سویا بیشتر بود. به نحوی که مقدار نیتروژن ساقه ارزن در نسبت کاشت ۷۵:۲۵ (ارزن–سویا) ۸۷/۸۶ درصد و مقدار نیتروژن ساقه سویا در نسبت کاشت ۲۵:۷۵ (ارزن–سویا) ۵۷/۵۱ درصد به ترتیب در مقایسه با کشت خالص گیاه ارزن (۰:۱۰۰) و سویا (۱۰۰:۰) کاهش یافت. بطور کلی در گیاه سویا انتقال نیتروژن به ساقه‌ها تنها در زمانی انجام می‌شود که مقدار نیتروژن بیشتر از نیاز ریشه باشد و این موضوع نشان می‌دهد که در میان بخش‌های مختلف گیاه، ریشه در زمان کمبود نیتروژن دارای بیشترین اولویت برای استفاده از آن می‌باشد (میلر و کرامر ۲۰۰۵). بنابراین افزایش قابلیت تثبیت بیولوژیکی در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط علاوه بر بهبود ظرفیت فتوسنتز و ماده خشک، باعث رفع محدودیت نیتروژن در بخش زیرزمینی می‌شوند. همچنین کشت خالص سویا (۱۰۰:۰) و کشت خالص ارزن (۰:۱۰۰) به ترتیب با میانگین ۱۵۹/۸۲ و ۲۰/۵۶ دارای بیشترین و کمترین میزان عملکرد نیتروژن دانه در هکتار بودند. در بین نسبت‌های مختلف کشت مخلوط نیز، نسبت کاشت

۷۵:۲۵ (ارزن–سویا) با میانگین ۱۴۲/۱۵ کیلوگرم در هکتار دارای بیشترین مقدار نیتروژن دانه بود (جدول ۴). سهم مشارکت گیاه ارزن از نیتروژن دانه با کاهش تعداد ردیف کاشت گیاه به شدت کاهش یافت و در نسبت کاشت ۷۵:۲۵ (ارزن–سویا) به کمتر از یک درصد رسید. اما در مقابل سهم مشارکت گیاه سویا در نسبت کاشت ۲۵:۷۵ (ارزن–سویا) ۸۳/۱۶ درصد بود. افزایش سهم مشارکت گیاه سویا در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط می‌تواند به دلیل برتری در قابلیت تثبیت بیولوژیک نیتروژن باشد. همانطور که اشاره شد قابلیت تثبیت بیولوژیکی گیاه سویا در نسبت کاشت ۲۵:۷۵ (ارزن–سویا) نقش مهمی در افزایش سهم مشارکت گیاه ارزن و سویا در مقدار نیتروژن موجود در ساقه و دانه دارد.

در مجموع مقدار عملکرد کل نیتروژن (دانه و ساقه) گیاه سویا در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط در مقایسه با مقادیر پیش‌بینی شده افزایش یافت (شکل ۳). مقدار این افزایش در نسبت‌های کاشت ۷۵:۲۵، ۵۰:۵۰ و ۲۵:۷۵ (ارزن–سویا) به ترتیب ۱۸/۳۵، ۵۴/۸۲ و ۹۱/۹۸ درصد در مقایسه با مقادیر قابل پیش‌بینی بود. هر چند این نتایج در خصوص گیاه ارزن صادق نبود به نحوی

جدول۳- اثر نسبت‌های مختلف کشت مخلوط بر عملکرد نیتروژن حاصل از تثبیت بیولوژیکی گیاه سویا در سال‌های مورد مطالعه

نسبت‌های کاشت	روز پس از کاشت سال ۱۳۹۸					روز پس از کاشت سال ۱۳۹۷				
(ارزن–سویا)	۱۰۵	۹۰	۷۵	۶۰	۴۵	۱۰۵	۹۰	۷۵	۶۰	۴۵
۱۰۰ : ۰	۸۰/۲۹^{a} ±۸/۱	۱۴۰/۶۰^{a} ±۱۲/۸	۶۷/۰۹^{a} ±۱۱/۲	۳۵/۴۴^{a} ±۱۱/۳	۱۶/۴۷^{a} ±۱/۶	۷۳/۴۶^{b} ±۹/۵	۱۴۰/۷۴^{b} ±۱۳/۹	۶۱/۷۷^{b} ±۳/۶	۳۳/۷۶^{a} ±۳/۴	۵/۲۶^{b} ±۰/۶
۷۵ : ۲۵	۷۳/۳۷^{b} ±۱/۵	۱۴۲/۱۱^{a} ±۳/۷	۶۶/۷۹^{a} ±۳/۹	۲۷/۳۰^{a} ±۳/۷	۱۶/۴۹^{a} ±۴/۷	۱۱۱/۳۴^{a} ±۱۸/۵	۱۶۳/۳۸^{a} ±۱۴/۱	۸۲/۱۰^{a} ±۱۱/۷	۲۷/۹۷^{b} ±۴/۴	۷/۳۵^{a} ±۱/۱
۵۰ : ۵۰	۵۷/۱۱^{c} ±۱/۴	۱۰۳/۹۵^{b} ±۱۴/۱	۴۹/۳۶^{b} ±۱/۲	۲۷/۲۷^{a} ±۰/۸	۱۲/۴۲^{b} ±۱/۲	۷۲/۶۹^{b} ±۸/۴	۱۱۱/۵۷^{c} ±۱۳/۱	۷۷/۷۶^{a} ±۴/۱	۷/۷۸^{c} ±۰/۸	۳/۸۵^{c} ±۰/۹
۲۵ : ۷۵	۴۱/۹۵^{d} ±۱/۵	۴۸/۸۶^{c} ±۸/۹	۲۸/۳۶^{c} ±۱/۴	۱۶/۱۴^{b} ±۱/۲	۸/۰۶^{c} ±۰/۵	۳۹/۰۴^{c} ±۵/۲	۵۰/۵۴^{d} ±۴/۷	۲۹/۸۷^{c} ±۸/۳	۹/۶۵^{c} ±۱/۲	۱/۹۶^{d} ±۰/۴
حداقل اختلاف معنی-داری)	۶/۸۴ **	۱۷/۴۰ **	۹/۷۷ **	۹/۶۰ *	۳/۸۰ **	۱۹/۱۸ **	۱۹/۷۷ **	۱۲/۴۳ **	۴/۴۵ *	۱/۳۷ **
ضریب تغییرات (٪)	۶/۷۶	۹/۹۹	۱۱/۵۴	۱۲/۶۳	۱۷/۸۰	۱۶/۱۸	۱۰/۶۱	۱۲/۳۶	۱۴/۰۵	۱۸/۶۳

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد می‌باشد.

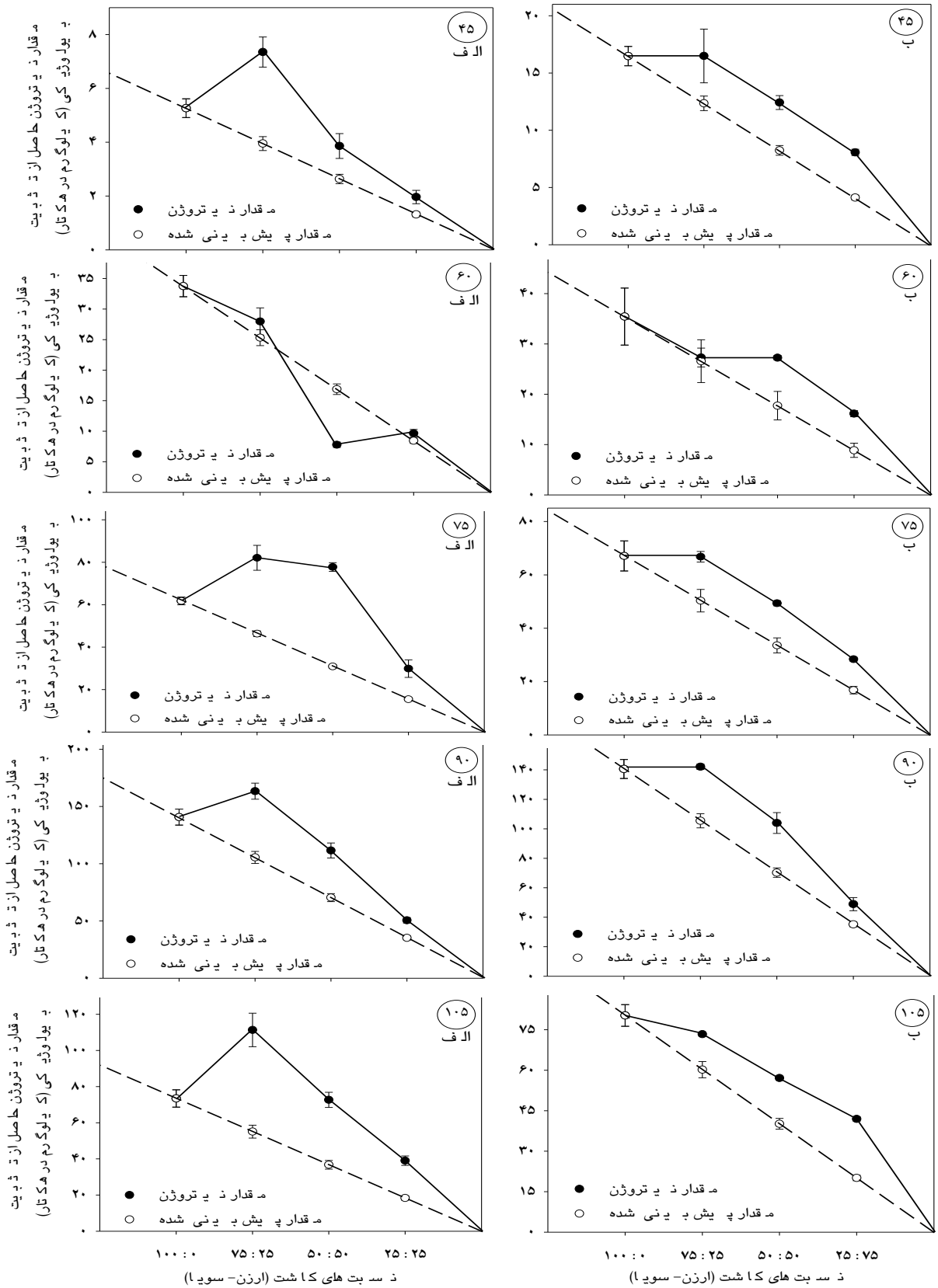
در هر ستون اختلاف میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند، معنی‌دار نیست و اعداد پس از میانگین نشان دهنده انحراف استاندارد است ($\bar{X}$±SD)

جدول ۴- مقایسه میانگین عملکرد نیتروژن ساقه و دانه گیاه سویا و ارزن در نسبت‌های مختلف کاشت

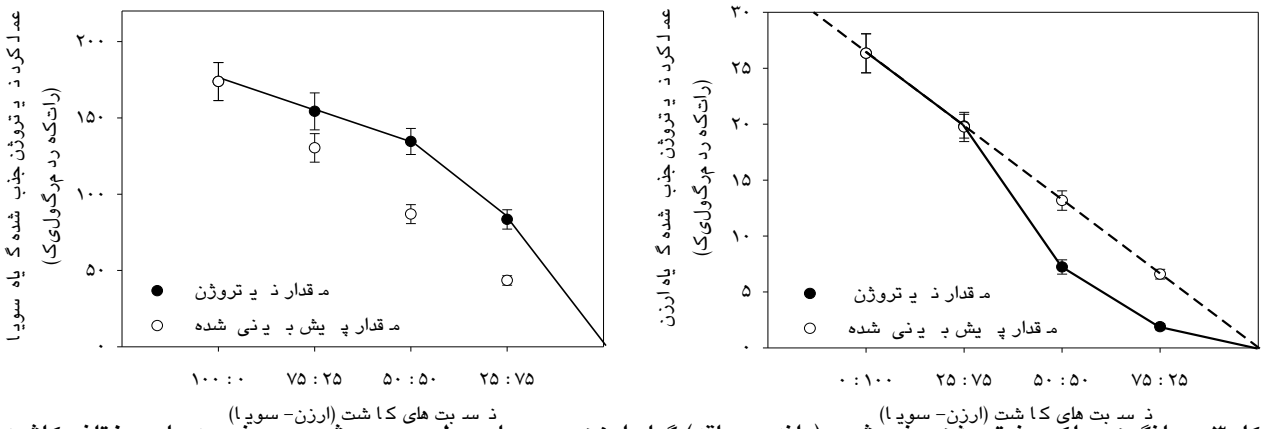
نسبت کاشت	عملکرد نیتروژن ساقه (kg.ha^{-1})				عملکرد نیتروژن دانه (kg.ha^{-1})			
(ارزن–سویا)	ارزن	سویا	مجموع	مشارکت ارزن (٪)	ارزن	سویا	مجموع	مشارکت ارزن (٪)
۱۰۰ : ۰	۵/۷۷ ^{a} ± ۱/۹	–	۵/۷۷ ^{c} ± ۲/۳	–	۲۰/۵۴ ^{a} ± ۲/۹	–	۲۰/۵۴ ^{e} ± ۲/۹	–
۷۵ : ۲۵	۴/۱۲ ^{b} ± ۱/۱	۵/۹۴ ^{c} ± ۲/۴	۱۰/۰۶ ^{b} ± ۳/۲	۴۰/۹	۱۵/۷۰ ^{b} ± ۲/۴	۷۷/۴۸ ^{d} ± ۱۵/۸	۹۳/۱۸ ^{d} ± ۱۶/۹	۱۶/۸۴
۵۰ : ۵۰	۱/۷۴ ^{c} ± ۰/۴	۹/۴۳ ^{b} ± ۲/۲	۱۱/۱۷ ^{b} ± ۲/۴	۱۵/۵	۵/۴۹ ^{c} ± ۱/۶	۱۲۵/۱۱ ^{c} ± ۲۲/۲	۱۳۰/۶۰ ^{c} ± ۲۳/۳	۴/۲۰
۲۵ : ۷۵	۰/۷۰ ^{d} ± ۰/۲	۱۳/۳۲ ^{a} ± ۴/۷	۱۴/۰۲ ^{a} ± ۴/۷	۴/۹	۱/۱۸ ^{d} ± ۰/۶	۱۴۰/۹۶ ^{b} ± ۲۹/۷	۱۴۲/۱۵ ^{b} ± ۳۰/۳	۰/۸۳
۱۰۰ : ۰	–	۱۳/۹۸ ^{a} ± ۴/۷	۱۳/۹۸ ^{a} ± ۴/۷	–	–	۱۵۹/۸۲ ^{a} ± ۳۱/۳	۱۵۹/۸۲ ^{a} ± ۳۱/۳	–
حداقل تفاوت معنی‌داری	۰/۵۱ **	۱/۷۲ **	۱/۹۲ **		۱/۸۳ **	۱۱/۶۶ **	۱۱/۱۲ **	
ضریب تغییرات (٪)	۱۵/۹۳	۱۵/۳۲	۱۶/۹۶		۱۶/۲۱	۸/۸۲	۹/۸۶	

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد می‌باشد

در هر ستون اختلاف میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند، معنی‌دار نیست و اعداد پس از میانگین نشان دهنده انحراف استاندارد است ($\bar{X}$±SD)



شکل ۲ - میانگین عملکرد نیتروژن حاصل از تثبیت بیولوژیکی سویا در طی دوره رشد و در نسبت‌های مختلف کاشت با گیاه ارزن (خطوط عمودی بر روی نقاط نشان دهنده خطای استاندارد (SE)، اعداد داخل دایره مربوط به تعداد روز پس از کاشت و حروف الف و ب نیز به ترتیب نشان دهنده سال ۱۳۹۷ و سال ۱۳۹۸ می‌باشد)



شکل ۳- میانگین عملکرد نیتروژن جذب شده (دانه و ساقه) گیاه ارزن و سویا در طی دوره رشد و در نسبت‌های مختلف کاشت (خطوط عمودی بر روی نقاط نشان دهنده خطای استاندارد (SE) است)

که با کاهش سهم ردیف کاشت گیاه ارزن در کشت مخلوط عملکرد نیتروژن در مقایسه با مقدار پیش‌بینی-شده کاهش یافت (شکل ۳). بیشترین میزان کاهش نیز متعلق به نسبت کاشت ۷۵:۲۵ (ارزن–سویا) با میانگین ۷۱/۳۷ درصد بود. بطور کلی در بین نسبت‌های مختلف کشت مخلوط، مقدار عملکرد نیتروژن جذب شده (دانه و ساقه) گیاه ارزن در نسبت کاشت ۲۵:۷۵ (ارزن–سویا) بیشتر از مقدار قابل انتظار بود هر چند میزان این افزایش کمتر از یک درصد (۰/۳۵) بود (شکل ۳). بطور کلی ایجاد شرایط مناسب برای تثبیت بیولوژیکی نیتروژن گیاه لگوم نکته کلیدی در پویایی تعامل بین گونه‌ای است و این سطح از تثبیت بیولوژیکی می‌تواند در سیستم‌های کشت کم‌نهاده بهبود یافته و منجر به ثبات بیشتر عملکرد در محیط‌های محدودکننده شود (جامونت و همکاران ۲۰۱۳). افزایش مقدار جذب نیتروژن در کشت مخلوط بر پایه گیاه لگوم توسط سایر محققان نیز گزارش شده است (چاپاگین و ریسمن ۲۰۱۴؛ زنگ و همکاران ۲۰۱۵).

همچنین نسبت‌های مختلف کاشت اثر معنی‌داری بر فعالیت ریشه گیاه ارزن در سال‌های مورد مطالعه داشتند (جدول ۶). نسبت کاشت ۷۵:۲۵ (ارزن–سویا) در سال‌های مورد مطالعه به ترتیب با میانگین ۱۱۸/۴۵ و ۹۴/۴۶ دارای بیشترین میزان فعالیت ریشه در مرحله ۴۵ روز پس از کاشت بود. بطور کلی میزان فعالیت ریشه گیاه ارزن با گذشت زمان در طی مراحل مختلف رشد کاهش یافت. در مرحله ۶۰ روز پس از کاشت (آغاز گلدهی) نسبت کاشت ۷۵:۲۵ (ارزن–سویا) و ۵۰:۵۰ به ترتیب در سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ دارای بیشترین میزان فعالیت ریشه بودند و سایر نسبت‌های کاشت از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. اما در مرحله ۷۵ و ۹۰ روز پس از کاشت میزان فعالیت ریشه در نسبت کاشت ۷۵:۲۵ (ارزن–سویا) در سال‌های مورد مطالعه کاهش یافت (جدول ۶). این موضوع می‌تواند به علت افزایش سایه‌انداز گیاه سویا و اختصاص بیشتر مواد فتوسنتزی به اندام‌های زایشی نسبت به اندام زیرزمینی باشد. کاهش فعالیت ریشه در سیستم کشت مخلوط پس از گلدهی توسط سایر محققان نیز گزارش شده است (گاش و همکاران ۲۰۰۹؛ کانگ و همکاران ۲۰۱۶). بطور کلی تعاملات در کشت مخلوط و افزایش میزان نیتروژن قابل دسترس در محیط ریزوسفر نقش مهمی در افزایش میزان فعالیت ریشه در کشت مخلوط دارد (زانگ و همکاران ۲۰۱۳). همانطور که اشاره شد غلات در مقایسه با گیاهان لگوم به دلیل سرعت بیشتر رشد ریشه و تقاضای بیشتر نیتروژن در ابتدای چرخه محصول، رقابت کننده قویتری برای نیتروژن معدنی خاک می‌باشند (بدوساک و جاستز ۲۰۱۱). این فرآیند، گیاهان لگوم در کشت مخلوط را مجبور می‌کند برای تامین نیتروژن مورد نیاز خود به ایجاد رابطه همزیستی از طریق تثبیت بیولوژیکی تکیه کنند. در نتیجه سهم جذب نیتروژن گیاه از طریق تثبیت بیولوژیکی در کشت مخلوط افزایش می-یابد. لذا یکی از مهمترین دلایل افزایش نیتروژن حاصل از تثبیت بیولوژیکی در نسبت کاشت ۲۵:۷۵ (ارزن–سویا) در مراحل ابتدایی رشد (سال ۱۳۹۸) می‌تواند

افزایش فعالیت ریشه گیاه ارزن باشد. نتایج مطالعه دو و همکاران (۲۰۱۹) نشان داد رقابت بین گیاهی برای جذب نیتروژن در کشت مخلوط، باعث افزایش فعالیت تثبیت بیولوژیکی در گیاه سویا و کاهش استفاده از نهاده‌های نیتروژن‌دار می‌شود.

جدول ۵- مقایسه میانگین عملکرد دانه و شاخص‌های کارایی نیتروژن در نسبت‌های مختلف کاشت و در سال‌های مورد مطالعه

نسبت کاشت (ارزن-سویا)	عملکرد دانه ارزن ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد دانه سویا ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد کل ($kg.ha^{-1}$)		شاخص عنصر نیتروژن ارزن	شاخص برداشت نیتروژن ارزن		شاخص برداشت نیتروژن سویا
			۱۳۹۸	۱۳۹۷		۱۳۹۸	۱۳۹۷	
۰ : ۱۰۰	۱۲۷۳/۶۳ ^{a} ± ۱۳۳/۹	–	۱۱۶۸/۱۴ ^{f} ± ۲۰۴/۸	۱۳۷۹/۱۲ ^{f} ± ۷۸/۳	۰/۲۷^{b} ±۰/۱	۰/۷۴^{ab} ±۰/۰۴	۰/۸۳^{a} ±۰/۰۴	–
۲۵ : ۷۵	۹۵۰/۹۴ ^{b} ± ۱۷۰/۹	۲۲۴۹/۱۶ ^{d} ± ۱۹۳/۱	۳۲۴۶/۶۳ ^{e} ± ۱۷۳/۷	۳۱۵۵/۳۹ ^{e} ± ۱۲۱/۸	۰/۳۰^{a} ±۰/۱	۰/۷۷^{ab} ±۰/۱	۰/۸۲^{a} ±۰/۱	۰/۹۲^{ab} ±۰/۰۱
۵۰ : ۵۰	۳۱۰/۸۳ ^{c} ± ۹۱/۱	۳۶۱۸/۷۶ ^{c} ± ۳۲۴/۵	۴۰۲۲/۲۳ ^{cd} ± ۳۵۶/۲	۳۸۳۶/۹۷ ^{d} ±۴۷۲/۳	۰/۲۱^{c} ±۰/۱	۰/۷۳^{ab} ±۰/۱	۰/۷۷^{ab} ±۰/۱	۰/۹۱^{b} ±۰/۰۱
۷۵ : ۲۵	۶۸/۵۵ ^{d} ± ۳۳/۱	۴۲۰۰/۶۳ ^{b} ± ۶۰۳/۱	۴۷۳۱/۶۳ ^{ab} ± ۲۳۰/۱	۳۸۰۶/۷۲ ^{d} ±۵۴۹/۱	۰/۱۷^{d} ±۰/۱	۰/۶۸^{b} ±۰/۱	۰/۵۰^{c} ±۰/۲	۰/۹۳^{a} ±۰/۰۱
۱۰۰ : ۰	–	۴۶۷۹/۱۶ ^{a} ± ۴۳۱/۹	۴۹۶۳/۹۶ ^{a} ± ۲۰۴/۷۷	۴۳۹۴/۳۶^{bc} ± ۴۵۶/۳۴	–	–	–	۰/۹۳^{a} ±۰/۰۲
حداقل اختلاف معنی-دار	۱۰۰/۶۴ **	۳۲۱/۷۵ **	۴۶۷/۸۷ *		۰/۰۲ **	۰/۱۴ *		۰/۰۱ *
ضریب تغییرات (٪)	۱۴/۶۴	۸/۳۱	۹/۲۳		۹/۳۶	۱۲/۷۴		۱/۱۹

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد می‌باشد می‌باشد

در هر ستون اختلاف میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند، معنی‌دار نیست و اعداد پس از میانگین نشان دهنده انحراف استاندارد است ($\bar{X}$±SD)

نتایج حاصل از بررسی شاخص جذب عنصر غذایی نیتروژن در نسبت‌های مختلف کاشت نیز نشان داد با افزایش سهم کاشت گیاه ارزن در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط مقدار جذب نیتروژن توسط گیاه مذکور افزایش می‌یابد (جدول ۵). به نحوی که میزان شاخص مذکور در نسبت کاشت ۲۵:۷۵ (ارزن-سویا) در مقایسه با کشت خالص ارزن (۰:۱۰۰) بطور میانگین ۱۱/۰۲ درصد بیشتر بود. نسبت‌های کاشت ۵۰:۵۰ و ۷۵:۲۵ (ارزن-سویا) به دلیل کاهش توانایی رقابت دارای شاخص جذب نیتروژن کمتری (به ترتیب ۲۲/۷۸- و ۳۳/۴۷- درصد) در مقایسه با کشت خالص گیاه ارزن بودند (جدول ۵). همانطور که اشاره شد افزایش سایه-انداز و تسلط رقابتی گیاه سویا در الگوی کاشت ۷۵:۲۵ (ارزن-سویا) نقش مهمی در کاهش فعالیت ریشه به خصوص در مراحل میانی رشد داشته است. در نهایت بهبود شاخص جذب عنصر غذایی نیتروژن در کشت مخلوط توسط برخی دیگر از پژوهشگران نیز گزارش شده است (لاتاتی و همکاران ۲۰۱۶).

جدول ۶- مقایسه میانگین میزان فعالیت ریشه گیاه ارزن (TTC reduction (µg). root FW. (g).h^{-1}) در نسبت‌های مختلف کاشت و در سال‌های مورد مطالعه

نسبت‌های کاشت (ارزن-سویا)	روز پس از کاشت سال ۱۳۹۸				روز پس از کاشت سال ۱۳۹۷		
	۹۰	۷۵	۶۰	۴۵	۹۰	۶۰	۴۵
۰ : ۱۰۰	۴۲/۰۷^{a} ±۱/۲	۴۴/۷۵^{a} ±۵/۷	۳۴/۸۱^{b} ±۰/۷	۶۸/۷۸^{c} ±۲/۸	۳۵/۳۴^{a} ±۴/۱	۸۰/۶۳^{a} ±۱۲/۱	۵۲/۸۵^{b} ±۵/۶	۹۴/۲۸^{b} ±۶/۸
۲۵ : ۷۵	۴۲/۹۳^{a} ±۱/۷	۴۳/۸۲^{a} ±۲/۷	۳۴/۹۹^{b} ±۱/۲	۸۲/۸۸^{b} ±۳/۲	۴۸/۰۵^{a} ±۸/۱	۸۰/۷۳^{a} ±۱۱/۲	۵۷/۷۴^{b} ±۲/۶	۸۱/۹۵^{c} ±۳/۷
۵۰ : ۵۰	۴۴/۱۵^{a} ±۵/۷	۴۱/۲۷^{a} ±۲/۱	۵۶/۳۵^{a} ±۰/۷	۸۴/۰۶^{b} ±۷/۹	۴۹/۷۴^{a} ±۷/۵	۵۸/۳۵^{b} ±۶/۲	۵۱/۶۹^{b} ±۲/۶	۴۴/۷۴^{d} ±۳/۶
۷۵ : ۲۵	۳۶/۲۱^{b} ±۱/۶	۴۲/۷۶^{a} ±۵/۸	۳۴/۳۶^{b} ±۱/۲	۹۴/۴۵^{a} ±۹/۴	۴۳/۱۷^{a} ±۴/۱	۸۲/۷۲^{a} ±۸/۹	۹۰/۶۶^{a} ±۳/۸	۱۱۸/۴۵^{a} ±۷/۹
حداقل اختلاف معنی‌دار	۴/۶۰ *	۷/۴۰ ^{ns}	۱/۶۵ **	۹/۴۲ **	۱۱/۱۰ ^{ns}	۱۳/۲۷ **	۷/۰۶ **	۷/۹۲ **
ضریب تغییرات (٪)	۶/۹۷	۱۰/۷۳	۲/۵۸	۷/۱۳	۱۵/۷۴	۱۱/۰۱	۶/۹۸	۵/۸۳

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد می‌باشد.

در هر ستون اختلاف میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند، معنی‌دار نیست و اعداد پس از میانگین نشان دهنده انحراف استاندارد است ($\bar{X}$±SD)

علاوه بر مطالب مذکور مقدار نیتروژن جذب شده توسط دانه به کل نیتروژن ماده خشک بخش بالای زمین در بین نسبت‌های مختلف کاشت نیز معنی‌دار بود (جدول ۵). در مورد گیاه سویا، با کاهش سهم ردیف کاشت در کشت مخلوط میزان شاخص برداشت نیتروژن افزایش یافت. به نحوی که مقدار این افزایش در نسبت کاشت ۲۵:۷۵ (ارزن–سویا) و ۵۰:۵۰ به ترتیب ۱/۰۸ و ۰/۹۷ درصد بیشتر از کشت خالص سویا (۱۰۰:۰) بود. هر چند از لحاظ آماری نسبت‌های کاشت مذکور تفاوت معنی‌داری با کشت خالص سویا نداشت. همچنین شاخص مذکور در نسبت کاشت ۷۵:۲۵ (ارزن–سویا) نیز با کشت خالص سویا تفاوت معنی‌داری نشان نداد (جدول ۵). افزایش قابلیت تثبیت بیولوژیکی نیتروژن در نسبت کاشت ۷۵:۲۵ (ارزن–سویا) می‌تواند یکی از عوامل افزایش سهم بیشتر میزان نیتروژن موجود در ساقه گیاه سویا باشد. اما این نتایج در خصوص گیاه ارزن صادق نبود و با افزایش سهم ردیف کاشت گیاه در کشت مخلوط در سال‌های مورد مطالعه، میزان نیتروژن اختصاص یافته به دانه نیز افزایش یافت. مقدار افزایش سهم نیتروژن به دانه‌ها در نسبت کاشت ۷۵:۲۵ (ارزن–سویا) در سال‌های مورد مطالعه به ترتیب ۳۹/۸۵ و ۱۰/۹۱ درصد بیشتر از نسبت کاشت ۷۵:۲۵ (ارزن–سویا) بود. همانطور که اشاره شد طول دوره رشد کوتاه و سرعت رشد بالا در گیاه ارزن باعث مدیریت بیشتر در اختصاص کربوهیدرات حاصل از مواد فتوسنتزی به بخش‌های مختلف گیاه می‌شود. در نتیجه با افزایش توان رقابتی در گیاه ارزن در کشت مخلوط مقدار نیتروژن بیشتری به دانه‌ها اختصاص یافت.

نسبت‌های مختلف کاشت در سال‌های مورد مطالعه اثر معنی‌داری بر عملکرد دانه داشتند (جدول ۵). به نحوی که کشت خالص سویا و ارزن در سال‌های مورد مطالعه دارای بیشترین و کمترین مقدار عملکرد دانه بودند. در بین نسبت‌های مختلف کشت مخلوط نیز نسبت کاشت ۷۵:۲۵ (ارزن–سویا) در سال ۱۳۹۸ با میانگین ۴۷۳۱/۶۳ کیلوگرم در هکتار از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با کشت خالص گیاه سویا (۱۰۰:۰) نداشت. همچنین در بین نسبت‌های مختلف کشت مخلوط، نسبت کاشت ۲۵:۷۵ (ارزن–سویا) و ۵۰:۵۰ به ترتیب با میانگین ۱/۲۳ و ۱/۰۲ دارای نسبت برابری زمین بالاتر از یک بودند و این موضوع نشان دهنده برتری نسبت کاشت مذکور بر کشت خالص گیاهان مورد مطالعه است (جدول ۷). نسبت کاشت ۷۵:۲۵ (ارزن–سویا) نیز با نسبت برابری زمین ۰/۹۵ فاقد سودمندی لازم در مقایسه با کشت خالص گیاه ارزن و سویا بود. نتایج بررسی اجزای اثر خالص بر عملکرد دانه نیز نشان داد با افزایش سهم ردیف کشت گیاه سویا در الگوی کشت مخلوط سهم تسلط رقابتی در مقایسه با رابطه مکملی در کشت مخلوط افزایش می‌یابد (جدول ۷). به عبارت دیگر در این حالت عملکرد دانه در کشت مخلوط بیش از پیش وابسته به گونه‌ای است که در کشت خالص عملکرد بیشتری داشته است. بیشترین اثر انتخابی و تسلط رقابتی گیاه سویا مربوط به نسبت کاشت ۷۵:۲۵ (ارزن–سویا) بود. این موضوع یکی از مهمترین دلایل کاهش چشمگیر عملکرد دانه گیاه ارزن و عدم بهره‌وری نسبت کاشت مذکور از نظر شاخص برابری زمین می‌باشد. اما در نسبت کاشت ۵۰:۵۰ و ۲۵:۷۵ (ارزن–سویا) به ترتیب ۹۴/۰۱، ۳۷/۷۵ درصد از عملکرد دانه مربوط به اثر انتخابی و در نتیجه تسلط رقابتی گیاه سویا در کشت مخلوط بود. این در حالی است که در بین نسبت‌های مختلف کشت مخلوط نسبت کاشت ۲۵:۷۵ (ارزن–سویا) دارای بیشترین میزان تعادل در رقابت بین گونه‌ای بود. زیرا ۶۲/۲۴ درصد از عملکرد دانه مربوط به ایجاد رابطه مکملی و به عبارت دیگر تسهیل در رقابت بین گیاهی بود. بنابراین افزایش میزان رابطه مکملی در مقایسه با تسلط رقابتی در نسبت کاشت ۲۵:۷۵ (ارزن–سویا) نقش مهمی در بهبود شاخص برابری زمین (۱/۲۳) داشت.

جدول ۷- اثر نسبت‌های مختلف کاشت بر کارایی کشت مخلوط ارزن-سویا

نسبت‌های کاشت (ارزن-سویا)	نسبت جزئی برابری زمین گیاه سویا	نسسبت جزئی برابری زمین گیاه ارزن	نسبت برابری زمین	اثر خالص	اثر مکملی	اثر انتخابی
۲۵ : ۷۵	۰/۴۸	۰/۷۵	۱/۲۳	۱۰۷۵/۷۲	۶۶۹/۵۷	۴۰۶/۱۵
۵۰ : ۵۰	۰/۷۷	۰/۲۵	۱/۰۲	۹۵۳/۲۰	۵۷/۰۷	۸۹۶/۱۳
۷۵ : ۲۵	۰/۹۰	۰/۰۵	۰/۹۵	۴۴۱/۴۱	-۱۳۶/۲۶	۵۷۵/۲۵

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج بدست آمده کشت مخلوط گیاه لگوم (سویا)-غیر لگوم (ارزن) می‌تواند کارایی استفاده از نیتروژن را به علت استفاده گیاه زراعی همراه از نیتروژن معدنی خاک و تاثیر متقابل آن بر قابلیت تثبیت بیولوژیکی نیتروژن در گیاه لگوم افزایش دهد. لذا این موضوع باعث تسهیل رقابت بین گونه‌ای، افزایش سهم ۶۲/۲۴ درصدی رابطه مکملی بر عملکرد دانه و در نهایت بهبود ۲۳ درصدی بهره‌وری تولید در نسبت کاشت ۲۵:۷۵ (ارزن-سویا) شد. از آنجا که ایجاد شرایط مناسب برای افزایش قابلیت تثبیت بیولوژیکی نیتروژن گیاه لگوم، نکته کلیدی در پویایی تعامل بین گونه‌ای در کشت مخلوط می‌باشد لذا توجه به گیاه مکمل، خصوصیات فیزیولوژیک، قابلیت رقابت و الگوی مناسب در کشت مخلوط می‌تواند در این زمینه راه‌گشا باشد.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از راهنمایی جناب آقای دکتر میر احمد موسوی شلمانی در پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای و همچنین مساعدت آقای دکتر حجت قربانی واقعی عضو هیئت علمی دانشگاه گنبد کاووس و مدیر عامل شرکت اندیشه ورزان آب نما گستر صمیمانه تشکر می‌نمایم.

منابع مورد استفاده

Angland J, Billen G and Garnier J. 2015. Relationships for estimating N2 fixation in legumes: incidence for N balance of legume-based cropping systems in Europe. Ecosphere, 6(3): 1-24.

Cataldo DA, Haroon M, Schrader LE and Youngs VL. 1975. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 6: 71–80.

Chapagain T and Riseman A. 2014. Intercropping wheat and beans: effects on agronomic performance and land productivity. Crop Science, 54: 2285-2293.

Cong WF, Hoffland E, Li L, Six J, Haosun J, Bao X, Zhang F and Werf W. 2014. Intercropping enhances soil carbon and nitrogen. Global Change Biology, 21(4): 1715-1726.

Corre-Hellou G, Brisson N, Launay M, Fustec J and Crozat Y. 2007. Effect of root depth penetration on soil N sharing and dry matter in pea-barley intercrops given different soil N supplies. Field Crop Research, 103: 76–85.

Darapuneni MK, Angadi SV and Umesh MR. 2018. Canopy development of annual legumes and forage sorghum intercrops and its relation to dry matter accumulation. Agronomy Journal, 110 (3): 939-949.

Du Q, Zhou L, Chen P, liu X, Song C, Yang F, Wang X, Liu W, Sun X, Du J, Liu J, Shu K, Yang W and Yong T. 2019. Relay-intercropping soybean with maize maintains soil fertility and increases nitrogen recovery efficiency by reducing nitrogen input. The Crop Journal, 8(1): 140-152.

Eskandari H and Ghanbari A. 2011. Evaluation of competition and complementarity of Corn (*Zea mays*) and Cowpea (*Vigna sinensis*) intercropping for nutrient consumption. Agricultural Science and Sustainable Production, 21(2): 67-75. (In Persian).

Eskandari H and Javanmatd A. 2014. Evaluation of forage yield and quality in intercropping patterns of Maize (*Zea mays*) and Cow pea (*Vigna sinensis*). Agricultural Science and Sustainable Production, 23(4): 101-110. (In Persian).

Finley KAB and Ryan MR. 2018. Advancing intercropping research and practices in industrialized agricultural landscapes. Agriculture, 8(80): 1-24.

Fustec J, Lesuffleur F, Mahieu S and Cliquet JB. 2010. Nitrogen rhizodeposition of legumes. A review. Agronomy for Sustainable Development, 30: 57-66.

Ghosh PK, Tripathi AK, Bandyopadhyay KK and Manna MC. 2009.Assessment of nutrient competition and nutrient requirement intercropping system. European Journal of Agronomy, 31: 43-50.

Greenwood DJ, Lemaire G, Gossee G, Cruz P, Draycott A and Neeteson JJ. 1990. Decline in percentage N of C3 and C4 crops with increasing plant mass. Annals of Botany, 66: 425-436.

Herridge DF. 1984. Effects of nitrate and plant development on the abundance of nitrogenous solutes in root-bleeding and vacuum extracted exudates of soybean. Crop Science, 25: 173-179.

Hungria M, Franchini JC, Campo RJ, Crispino CC, Moraes JZ, Sibaldelli RNR, Mendes IC and Arihara J. 2006. Nitrogen nutrition of soybean in Brazil: contributions of biological N2 fixation and of N fertilizer to grain yield. Canadian Journal of Plant Science, 86: 927-939.

Igbal MA, Hamid A, Hussain I, Siddiqui MH, Ahmad T, Khaliq A and Ahmad Z. 2019. Competitive indices in cereal and legume mixtures in a south Asian environment, 111 (1): 1-8.

Islam MA and Adjesiwor AT. 2018. Nitrogen fixation and transfer in agricultural production systems. Pp. 95-110. In: Khan A. and Fahad S (eds). Nitrogen in Agriculture. INTECH- London.

Jamont M, Guillaume P and Fustec J. 2013. Sharing N resources in the early growth of rapeseed intercropped with faba bean: does N transfer matter? Plant and Soil, 371 (1-3): 651-653.

Kong L, Xie Y, Hu L, Feng B and Li S. 2016. Remobilization of vegetative nitrogen to developing grain in wheat, review. Field crop Research, 196: 134-144.

Latati M, Bargaz A, Belarbi B, Lazali M, Benlahrech S, Tellah S, Kaci G, Drevon J and Ounane S. 2016. The intercropping common bean with maize improves the rhizobial efficiency, resource use and grain yield under low phosphorus availability. European Journal of Agronomy, 72: 80-90.

Layek J, Shivakumar BG, Rana DS, Munda S, Lakshman K, Das A and Ramkrushna GI. 2014. Soybean–Cereal intercropping systems as influenced by nitrogen nutrition. Agronomy Journal, 106 (6): 1933-1946.

Loreau M and Hector A. 2001. Partitioning selection and complementarity in biodiversity experiments. Nature, 412: 72‑76.

Mead R and RW Willey. 1980. The concept of a land equivalent ratio and advantages in yields for intercropping. Experimental Agriculture, 16: 217–228.

Miller AJ and Cramer MD. 2005. Root nitrogen acquisition and assimilation. Pp. 1-36. In: Lambers H and Colmer TD (eds). Root physiology: from gene to function. Springer- Dordrecht.

Neugschwandtner RW and Kaul HP. 2015. Nitrogen uptake, use and utilization efficiency by oat–pea intercrops. Field Crop Research, 179: 113-119.

Prihofer-walzl K. and Rasmussen J. 2012. Nitrogen transfer from forage legumes to nine neighbouring plants in a multi-species grassland. Plant Soil, 350: 71-84.

Saedi M, Raei Y, Amini R, Taghizadeh A and Pasban Eslam B. 2018. Evaluation of yield and protein content of Safflower (*Carthamus tinctorius*) in intercropping with Faba bean (*Vicia faba* L.) under biological and chemical fertilizers. Agricultural Science and Sustainable Production, 28(4): 247-260. (In Persian).

Sinebo W, Gretzmacher R and Edelbauer A. 2004. Genotypic variation for nitrogen use efficiency in Ethiopian barely. Field Crops Research, 85(1): 43-60.

Unkovich M, Herridge DF, Peoples M, Cadisch G, Boddey B, Giller K, Alves B and Chalk P. 2008. Measuring plant-associated nitrogen fixation in agricultural systems. Australian Center for International Agricultural Research (ACIAR).

Young EG and Conway CF. 1942. On the estimation of allantoin by the Rimini-Schryver reaction. Journal of Biological Chemistry, 142: 839–853.

Yu Y, Stomph TJ, Makowski D and Werf WV. 2015. Temporal niche differentiation increases the land equivalent ratio of annual intercrops: A meta-analysis. Field Crop Research, 184: 133-144.

Zang H, Yang X, Feng X, Qian X, Hu Y, Ren C and Zeng Z. 2015. Rhizodeposition of nitrogen and carbon by Mungbean (*Vigna radiate* L.) and its contribution to intercropped oats (*Avena nuda* L.). PLOS One, 10(5): 1-14.

Zhang X, Huang G, Bian X and Zhao Q. 2013. Effects of root interaction and nitrogen fertilization on the chlorophyll content, root activity, photosynthetic characteristics of intercropped soybean and microbial quantity in the rhizosphere. Plant Soil Environment, 59(2): 80-88.