"مجله علوم زراعی ایران"
جلد بیستم، شماره ٤، زمستان ۱۳۹۷

اثر نسبت‌های جایگزینی کشت مخلوط ذرت (*Zea mays* L.) و لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) بر عملکرد دانه و شاخص‌های کارایی مصرف نیتروژن

Effect of intercropping replacement ratios of maize (*Zea mays* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.) on yield and nitrogen use efficiency indices

صغری حسین زاده[۱]، محسن جهان[۲]، مهدی نصیری محلاتی[۳] و کمال حاج محمدنیا قالیباف[۴]

چکیده

حسین زاده، ص.، م. جهان، م. نصیری محلاتی و ک. حاج محمدنیا قالیباف. ۱۳۹۷. اثر نسبت‌های جایگزینی کشت مخلوط ذرت (*Zea mays* L.) و لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) بر عملکرد دانه و شاخص‌های کارایی مصرف نیتروژن. **مجله علوم زراعی ایران. ۲۰(٤): ۲۸۷-۲٦۷.**

به منظور ارزیابی کارایی مصرف نیتروژن در کشت مخلوط ردیفی جایگزینی دو گیاه ذرت و لوبیا، آزمایشی به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در دو سال زراعی ۹٤-۱۳۹۳ و ۹۵-۱۳۹٤ اجرا شد. نسبت‌های کاشت شامل کشت مخلوط ردیفی ذرت و لوبیا با نسبت ۵۰ :۵۰، ذرت و لوبیا با نسبت ٦۷ : ۳۳ و ذرت و لوبیا با نسبت ۳۳ : ٦۷ و کشت خالص ذرت و لوبیا، به عنوان کرت اصلی و مصرف کود نیتروژن (۵۵ کیلوگرم در هکتار) و عدم مصرف کود نیتروژن به عنوان کرت فرعی در نظر گرفته شدند. عملکرد دانه و زیست توده دو گیاه اندازه‌گیری و کارایی جذب، تبدیل و مصرف (بهره‌وری) نیتروژن و سهم هر یک از اجزای بهره‌وری محاسبه شدند. نتایج نشان داد که نسبت‌های کشت مخلوط ذرت و لوبیا و مصرف کود نیتروژن، اثر معنی‌داری بر عملکرد دانه و زیست توده هر دو گیاه داشتند. حداکثر عملکرد دانه و زیست توده لوبیا (به ترتیب ۳٤٦۲/۱ و ۱۰۱۲٤/۵ کیلوگرم در هکتار) و ذرت (به ترتیب ۵۹۷٤/۱ و ۱۸۳۲۱/۲ کیلوگرم در هکتار) در کشت‌های خالص لوبیا و ذرت بدست آمد. ارزیابی بهره‌وری نیتروژن بر اساس عملکرد دانه نشان داد که در کلیه تیمارها، کارایی تبدیل نیتروژن سهم بالاتری داشت. در تیمار مصرف کود نیتروژن، مخلوط ردیفی۵۰ :۵۰ لوبیا و ذرت از کارایی جذب بالاتری برای هر دو گونه برخوردار بود. بالاترین نسبت برابری زمین بر اساس عملکرد دانه (۱/۱۰)، بر اساس کارایی جذب نیتروژن (۲/۳۰) و بر اساس بهره‌وری نیتروژن (بر حسب عملکرد دانه: ۱/۹۸ و بر حسب عملکرد زیست‌توده: ۲/۰۲) مربوط به نسبت کاشت ۵۰ :۵۰ ذرت و لوبیا بود. بر اساس نتایج این آزمایش به نظر می‌رسد که کشت مخلوط ردیفی ذرت و لوبیا، راه حل بوم‌سازگار مناسبی جهت کاهش تلفات نیتروژن، بهبود کارایی جذب نیتروژن، اجتناب از مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی و بهبود بهره‌وری کودهای شیمیایی در بوم نظام‌های زراعی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: ذرت، زیست توده، کارایی جذب نیتروژن، کشت مخلوط ردیفی و لوبیا.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۲/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۱۲ این مقاله مستخرج از رساله دکتری نگارنده اول می‌باشد.

۱- دانشجوی دکتری دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد.

۲- دانشیار دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد. (مکاتبه کننده) (پست الکترونیک: jahan@ferdowsi.um.ac.ir)

۳- استاد دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد.

۴- استادیار دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد.

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1397.20.4.1.0]

مقدمه

گزارش‌های سازمان خوار و بار و کشاورزی سازمان ملل متحد در ۴۰ سال اخیر حاکی از آن است که ۳۳ تا ۶۰ درصد افزایش عملکرد محصولات کشاورزی حاصل مصرف نهاده‌های شیمیایی است و بر این اساس از کود به عنوان کلید امنیت غذایی نام برده شده است (Ahmadi *et al.,* 2018). در ایران نیز طی چند دهه گذشته فشرده‌سازی در کشاورزی مورد توجه قرار گرفته و باعث بهبود قابل توجه عملکرد گیاهان زراعی شده است، اما این موضوع افزایش مصرف انواع نهاده‌های شیمیایی را به همراه داشته است (Tavakkoli Kakhki, 2016). مصرف کودهای شیمیایی در ایران طی ۴۰ سال گذشته به بیش از نه برابر رسیده است. این افزایش سریع نگرانی‌هایی را از نظر آلودگی‌های محیطی ایجاد کرده است (Nassiri Mahallati and Koocheki, 2017). کودهای نیتروژنی بیش از ۶۱ درصد از مصرف کودهای شیمیایی را در کشور به خود اختصاص داده و کود اوره با سهم ۹۰ درصد، حائز رتبهٔ اول مصرف کودهای نیتروژنی می‌باشد. در سال زراعی۹۲- ۱۳۹۱ از مجموع ۱/۲ میلیون تن فروش کل کودهای شیمیایی در کشور، در حدود ۹۵ درصد مربوط به کودهای نیتروژنی بوده است (Tavakkoli Kakhki, 2016). در مقیاس جهانی ۵۰ تا ۷۰ درصد از نیتروژن خاک، از دسترس خارج شده و جذب گیاه نمی‌شود که حاصل آن علاوه بر آلودگی محیط، کاهش کارایی مصرف این آن است. برای مثال کارایی مصرف نیتروژن برای ذرت در آمریکا ۵۸، در اروگوئه ۴۵۰ و در نیجریه ۲۴۲ کیلوگرم دانه به ازای هر کیلوگرم نیتروژن است، در حالی که در آمریکا مصرف کود در هر هکتار مزرعه ذرت، ۱۵۰ کیلوگرم، در اروگوئه ۱۰ و در نیجریه ۶ کیلوگرم است (Doberman and Cassman, 2002). در ایران میانگین کارایی مصرف نیتروژن برای ذرت ۲۸/۶ کیلوگرم دانه برکیلوگرم نیتروژن گزارش شده است (Tavakkoli Kakhki, 2016). نیتروژن کلیدی‌ترین عنصر تامین کننده حاصلخیزی خاک و بهبود تولید محصولات کشاورزی است. فراهم بودن نیتروژن برای گیاه باعث افزایش تولید ماده خشک و عملکرد دانه، توسعه ریشه‌ها و جذب بیشتر رطوبت از خاک می‌شود. به علاوه نیتروژن باعث تسریع رشد سبزینه‌ای، افزایش حجم بخش هوایی گیاه و افزایش تبخیر و تعرق می‌شود(Haghjoo and Bahrani, 2014).

کشت مخلوط و زراعت‌های چند کشتی از جمله رهیافت‌های بوم سازگار جهت ارتقای کارکردهای اکولوژیکی بوم‌نظام‌های زراعی است که با افزایش تنوع در کنار بسیاری از مزایای زراعی، باعث بهبود کارایی استفاده از منابع، از جمله کود نیتروژن می‌شود (Ghosh *et al.,* 2009). در کشت‌های مخلوط، اغلب از گیاهان خانواده بقولات مانند لوبیا (*Phaseolus vulgaris*) و سویا (*Glycine max*) به علت قابلیت تثبیت بیولوژیک نیتروژن آن‌ها استفاده می‌شود. با توجه به اینکه ذرت یک گیاه چهار کربنه و لوبیا گیاهی سه کربنه است، کشت مخلوط این دو گونه، یکی از گزینه‌های مناسب جهت افزایش کارایی استفاده از منابع (تابش، آب و نیتروژن) می‌باشد.

کارایی مصرف نیتروژن (Nitrogen Use Efficiency) به صورت عملکرد دانه تولید شده به ازای واحد نیتروژن قابل دسترس تعریف می‌شود. کارایی مصرف (بهره‌وری) حاصلضرب دو شاخص فیزیولوژیکی؛ یعنی کارایی بازیافت یا جذب نیتروژن (Nitrogen Uptake Efficiency) و کارایی تبدیل نیتروژن (Nitrogen Utilization Efficiency) می‌باشد (Moll *et al.,* 1982; Dordas, 2011). کارایی جذب، میزان نیتروژن جذب شده توسط گیاه به ازای واحد نیتروژن قابل دسترس و کارایی تبدیل میزان عملکرد دانه تولید شده به ازای واحد نیتروژن جذب شده توسط گیاه می‌باشد (Moll *et al.,* 1982). تفاوت در کارایی مصرف نیتروژن در سطوح مختلف مصرف نیتروژن

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1397.20.4.1.0]

می‌تواند به دلیل تفاوت در یکی از این اجزاء یا هر دوی آنها باشد. سهم هر یک از این دو جزء بسته به ژنوتیپ، فصل رشد و میزان مصرف نیتروژن متفاوت است (Dordas, 2011). سهم نسبی هر کدام از دو جزء کارایی جذب و کارایی تبدیل نیتروژن، به میزان مصرف نیتروژن بستگی دارد. بدون در نظر گرفتن میزان مصرف نیتروژن، برای افزایش عملکرد در غلات، کارایی تبدیل نیتروژن سهم بیشتری نسبت به کارایی جذب نیتروژن دارد. چنانچه کارایی مصرف نیتروژن در غلات در مقیاس جهانی تنها ۰/۱ تا ۰/۴ درصد در سال افزایش یابد، غله مورد نیاز برای سال ۲۰۲۵ میلادی تامین خواهد شد (Doberman and Cassman, 2002).

با توجه به نقش ضروری نیتروژن و اهمیت افزایش کارایی مصرف نیتروژن در تولید محصولات کشاورزی و همچنین نظر به اینکه در مطالعات مربوط به تعیین سهم اجزای کارایی مصرف نیتروژن، معمولا بر کشت‌های خالص تاکید شده و این نوع ارزیابی در کشت‌های مخلوط کمتر مورد توجه قرار گرفته، این آزمایش با هدف ارزیابی انواع کارایی‌های مصرف نیتروژن شامل؛ کارایی جذب، تبدیل و مصرف و همچنین محاسبه و مقایسه سهم هر یک از اجزای کارایی استفاده از نیتروژن در کشت مخلوط ذرت و لوبیا طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، واقع در ۱۰ کیلومتری جنوب شرقی مشهد با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۳۸ دقیقه شرقی و ارتفاع ۹۸۵ متری از سطح دریا، طی دو سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ و ۹۵-۱۳۹۴ انجام شد. نوع اقلیم منطقه بر اساس تقسیم‌بندی آمبرژه، سرد و خشک می‌باشد. بر اساس آمار دراز مدت، حداکثر و حداقل دمای مطلق روزانه به ترتیب ۴۳/۸ و ۲۸- درجه سانتی‌گراد و میانگین بارندگی سالانه ۲۵۵/۲ میلی‌متر می‌باشد. در این پژوهش از بذر ذرت هیبرید سینگل کراس ۷۰۴ (SC704) با دوره رسیدگی ۱۱۰ تا ۱۳۰ روز و بذر لوبیا قرمز رقم درخشان (k-r-d-26) با دوره رسیدگی ۹۰ تا ۱۱۰ روز استفاده شد. نسبت‌های کشت مخلوط شامل: کشت مخلوط جایگزینی ردیفی ذرت و لوبیا با نسبت ۵۰:۵۰ درصد،کشت مخلوط ذرت و لوبیا با نسبت ۶۷ : ۳۳ درصد (۲ ردیف ذرت: ۱ ردیف لوبیا)، کشت مخلوط ذرت و لوبیا با نسبت ۳۳ : ۶۷ درصد (۱ ردیف ذرت: ۲ ردیف لوبیا) و کشت‌های خالص ذرت و خالص لوبیا، به عنوان کرت اصلی و مصرف و عدم مصرف کود نیتروژن به عنوان کرت‌های فرعی در نظر گرفته شدند. قرار دادن نیتروژن به عنوان کرت فرعی جهت اجتناب از کاهش درجه آزادی خطای کرت اصلی بوده و با در نظر گرفتن فاصله کافی بین کرت‌های فرعی، احتمال جاجایی کود به حداقل تقلیل داده شد. در هر دو سال قبل از اجرای آزمایش، جهت تعیین خصوصیات خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری (مرکب) انجام شد که نتایج آن در جدول ۱ ارائه شده است. پس از آماده‌سازی زمین، کاشت در نیمه دوم اردیبهشت سال ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ به صورت دستی انجام شد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 1. Physical and chemical properties of the soil at experimental site

سال Year	بافت Texture	نیتروژن Nitrogen (%)	فسفر Phosphorus (%)	پتاسیم Potassium (%)	ماده آلی Organic matter (%)	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)
۹۴-۱۳۹۳ 2014-2015	لوم- سیلتی Silty-loam	0.058	0.002	0.03	0.25	7.5	2.9
۹۵-۱۳۹۴ 2015-2016	لوم- سیلتی Silty-loam	0.067	0.001	0.02	0.44	7.8	2.4

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1397.20.4.1.0]

ابعاد کرت‌های آزمایشی ۵ × ۳ متر بود. فاصله بین ردیف‌ها در همه نسبت‌های مخلوط برای گیاه ذرت و لوبیا ۷۰ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف برای ذرت ۱۶ و برای لوبیا ۷ سانتی‌متر در نظر گرفته شد، در نتیجه تراکم مطلوب مورد استفاده در کشت خالص برای ذرت ۹ بوته و برای لوبیا ۲۰ بوته در مترمربع بود. جهت جلوگیری از جابجایی یا انتقال احتمالی نیتروژن بین کرت‌های فرعی یک متر فاصله در نظر گرفته شد. کود نیتروژن به میزان ۵۵ کیلوگرم در هکتار (از منبع اوره) برای هر دو گیاه به طور یکسان و به صورت یک‌جا پس از کاشت در کرت‌های مربوطه به خاک اضافه شد. کنترل علف‌های هرز تا قبل از بسته شدن پوشش گیاهی، به صورت وجین دستی انجام شد. برای تعیین عملکرد در نیمه دوم شهریور سال ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵، در هر کرت ردیف‌های کناری و نیم متر از ابتدا و انتهای کرت به عنوان حاشیه حذف و در سطح باقیمانده کرت عملکرد زیست توده و عملکرد دانه (اقتصادی) ذرت و لوبیا تعیین شد.

به منظور تعیین میزان نیتروژن اندام‌های هوایی و محاسبه شاخص‌های کارایی، ابتدا نمونه‌های گیاهی در ۸۰ درجه سانتی‌گراد خشکانده شده و سپس آسیاب و محتوای نیتروژن آنها با روش هضم تر و با استفاده از سیستم کجلدال اندازه‌گیری شد (Dordas, 2011). محاسبه شاخص‌های کارایی نیتروژن با استفاده از رابطه‌های ۱ تا ۵ انجام شد (Bingham *et al.*, 2012):

$$NupE = (N_{off} / N_s) \times 100 \quad \text{(رابطه ۱)}$$

$$NutE_b = B / N_{off} \quad \text{(رابطه ۲)}$$

$$NutEg = G_w / N_{off} \quad \text{(رابطه ۳)}$$

$$NUE_b = B / N_s \quad \text{(رابطه ۴)}$$

$$NUE_g = G_w / N_s \quad \text{(رابطه ۵)}$$

در این رابطه‌ها NupE: کارایی جذب (بازیافت) نیتروژن، N_{off}: نیتروژن موجود در زیست توده (گرم در مترمربع)، N_s: نیتروژن موجود در خاک شامل نیتروژن اولیه خاک، نیتروژن تثبیت شده و نیتروژن مصرف شده (گرم در مترمربع)، $NutE_b$: کارایی تبدیل (فیزیولوژیک) نیتروژن بر حسب عملکرد زیست توده، B: عملکرد زیست توده (گرم بر مترمربع)، NutEg: کارایی تبدیل (فیزیولوژیک) نیتروژن بر حسب عملکرد دانه، G_w: عملکرد دانه (گرم بر متر مربع)، NUE_b: کارایی مصرف (بهره‌وری) نیتروژن بر حسب عملکرد زیست توده و NUE_g: کارایی مصرف (بهره‌وری) نیتروژن بر حسب عملکرد دانه می‌باشند. کارایی مصرف (بهره‌وری) نیتروژن دارای دو جزء اصلی یعنی کارایی جذب و کارایی تبدیل است که نشان می‌دهد چه مقدار از نیتروژن جذب شده به دانه‌ها اختصاص یافته است (Dordas, 2011). در گیاه لوبیا میزان تثبیت بیولوژیک نیتروژن در طی فصل رشد ۸۰ کیلوگرم در هکتار است (Jahan *et al.*, 2017) و با مصرف کود شیمیایی این مقدار به طور خطی کاهش می‌یابد. از کل نیتروژن تثبیت شده بیولوژیک توسط باکتری همزیست لوبیا در طی فصل رشد، ۷۵ درصد به گیاه لوبیا و ۲۵ درصد به گیاه ذرت اختصاص یافته و در نسبت‌های مختلف کاشت، نیتروژن به نسبت سهم هر گونه در کل زیست‌توده، به ذرت و لوبیا تخصیص می‌یابد (Khaki Najafabadi *et al.*, 2017). در این پژوهش از سه منبع نیتروژن (خاک+ کود+ تثبیت بیولوژیک) برای محاسبه شاخص‌های کارایی نیتروژن استفاده شد. در مدل‌های شبیه‌سازی رقابت برای نیتروژن، تخصیص نیتروژن بین گونه‌ها معمولاً بر اساس طول نسبی ریشه‌ها انجام می‌شود، ولی با توجه به اینکه اندازه‌گیری طول ریشه در طی فصل رشد دشوار و با خطای زیاد همراه است، وزن خشک قسمت هوایی را نیز می‌توان بعنوان مبنایی برای تخصیص این نهاده مورد استفاده قرار داد (Kropff, 1993).

به منظور تعیین سهم نسبی هر یک از اجزای کارایی مصرف نیتروژن (کارایی جذب و کارایی تبدیل)، از روش آنالیز اجزاء استفاده شد (Moll *et al.*, 1982). آنالیز اجزاء شامل خطی کردن روابط ضرب پذیر با

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1397.20.4.1.0]

استفاده از تبدیل لگاریتمی و سپس تعیین سهم هر جزء می‌باشد. این نوع آنالیز، سهم خالص هر جزء یا صفت جزئی را به طور مستقیم و یا غیر مستقیم در میان صفات دیگر مشخص می‌کند (Dordas, 2011).

$$\text{Log (NUE)} = \log (\text{NupE}) + \log (\text{NutE}) \quad \text{(رابطه ۶)}$$

در این رابطه چنانچه $\log(NUE)$, $\log(NupE)$, $\log(NutE)$ به ترتیب y, x_1, x_2 باشند، سهم کارایی جذب در کارایی مصرف از رابطه ۷ بدست می‌آید (Moll *et al.*, 1982).

$$\sum x_i y / \sum y^2 = (ryx_i)\, Sx_i / Sy \quad \text{(رابطه ۷)}$$

ryx_i، ضریب همبستگی x_i و y و Sx_i و Sy به ترتیب انحراف معیار x_i و y می‌باشند. سهم کارایی تبدیل نیتروژن نیز از تفاضل سهم کارآیی جذب از یک به دست آمد.

به منظور تعیین مزیت کشت مخلوط، از شاخص نسبت برابری زمین (LER) استفاده شد. این شاخص مجموع عملکردهای نسبی گونه‌های مخلوط است که با استفاده از رابطه (۸) محاسبه شد (Pahlevanloo *et al.*, 2015). ابتدا نسبت برابری زمین برای عملکرد محاسبه شده و سپس از همین شاخص برای محاسبه کارایی‌ها نیز استفاده گردید.

$$LER = \sum_{n=1}^{m} Y_i / Y_{ii} \quad \text{(رابطه ۸)}$$

Y_i: عملکرد دانه و یا کارایی جذب، تبدیل و مصرف (بهره‌وری) نیتروژن (بر حسب عملکرد زیست توده یا دانه) یک گونه (در واحد سطح) در کشت مخلوط می‌باشد و Y_{ii}: عملکرد دانه و یا کارایی جذب، تبدیل و مصرف (بهره‌وری) نیتروژن (بر حسب عملکرد زیست توده یا دانه) همان گونه (در واحد سطح) در کشت خالص می‌باشد.

تجزیه داده‌های حاصل از دو سال آزمایش به روش تجزیه واریانس مرکب با استفاده از نرم افزار Minitab 17.1 و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون توکی برای مقایسه همزمان چندین میانگین (Dodge, 2008) در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج نشان داد که اثر نسبت‌های کشت مخلوط و مصرف کود نیتروژن در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد دانه لوبیا و ذرت معنی‌دار بودند، اما اثر متقابل این دو عامل معنی‌دار نبود. با وجود این، بیشترین عملکرد دانه و زیست توده لوبیا (به ترتیب ۳۴۶۲/۱ و ۱۰۱۲۴/۵ کیلوگرم در هکتار) و ذرت (به ترتیب ۵۹۷۴/۱ و ۱۸۳۲۱/۲ کیلوگرم در هکتار) در کشت‌های خالص لوبیا و ذرت بدست آمد و کمترین عملکرد دانه و زیست توده لوبیا (به ترتیب ۱۴۸۲/۳ و ۴۸۴۳/۰ کیلوگرم در هکتار) در نسبت ۶۷ درصد ذرت: ۳۳ درصد لوبیا (۲ ردیف ذرت: ۱ ردیف لوبیا) و ذرت (به ترتیب ۲۲۰۴/۷ و ۶۷۴۴/۳ کیلوگرم در هکتار) برای نسبت ۳۳ درصد ذرت: ۶۷ درصد لوبیا (۱ ردیف ذرت: ۲ ردیف لوبیا) بدست آمد (جدول‌های ۲ و ۳). بالاتر بودن عملکرد ماده خشک و دانه در کشت خالص گونه‌ها در مقایسه با مخلوط آنها در بسیاری از آزمایش‌ها گزارش شده است (Farid and Navabi, 2015). در کشت مخلوط ذرت و پنبه نیز عملکرد وش پنبه و ذرت در کلیه تیمارهای مخلوط به طور معنی‌داری کمتر از کشت خالص آنها بود. افزایش عملکرد این دو گیاه در کشت خالص به تراکم بیشتر آنها نسبت داده شد (Koocheki *et al.*, 2015). همانطور که قبلاً بیان شد، بیشتر بودن عملکرد زیستی و اقتصادی در کشت خالص مربوط به تراکم بیشتر گونه‌ها در کشت خالص در مقایسه با کشت مخلوط است. بعلاوه مصرف کود نیتروژن از طریق تحریک رشد باعث افزایش معنی‌دار عملکرد هر دو گونه شد (جدول‌های ۲ و ۳). لک و همکاران (Lack *et al.*, 2006) گزارش دادند که با افزایش مصرف نیتروژن از ۱۴۰ به ۲۲۰ کیلوگرم در هکتار، عملکرد ماده خشک کل ذرت ۶۰۳ گرم در مترمربع بهبود یافت. در یک آزمایش گزارش شد که افزایش مصرف کود نیتروژن تا سطح ۲۵۰ کیلوگرم در

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1397.20.4.1.0]

هکتار، باعث افزایش عملکرد دانه شد و به ازای هر کیلوگرم افزایش مصرف کود نیتروژن، عملکرد دانه هشت کیلوگرم در هکتار، افزایش یافت. مصرف کود نیتروژن در تیمارهایی که تحت شرایط کمبود آب بودند تا حدودی عملکرد دانه را افزایش داد، به طوری که در تیمارهایی که کمبود آب وجود داشت، افزایش مصرف نیتروژن تا ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار، عملکرد دانه نسبت به شاهد ۱۷ درصد افزایش داشت (Haghjoo and Bahrani, 2014). گزارش شده است که در کشت مخلوط لوبیا و کنجد، بیشترین عملکرد دانه و ماده خشک لوبیا در کشت خالص بدست آمد و در کشت جایگزینی و افزایشی با افزایش سهم کنجد، از میزان عملکرد لوبیا کاسته شد. این موضوع نشان دهنده تأثیر رقابت بین گونه‌ای حاصل از حضور کنجد در کنار کاهش تراکم لوبیا است (Ghale Noyee *et al.,* 2017).

نتایج نشان داد که اثر نسبت‌های کشت مخلوط ذرت و لوبیا و مصرف کود نیتروژن و همچنین اثر متقابل این دو عامل بر کارایی جذب نیتروژن لوبیا و ذرت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، اما کوچکی و همکاران (Koocheki *et al.,* 2015) اظهار داشتند که در کشت مخلوط ذرت و پنبه، اثر متقابل سطوح نیتروژن و الگوی کاشت اثر معنی‌داری بر میزان جذب نیتروژن نداشت و اظهار داشتند که میزان جذب نیتروژن بیشتر تحت تاثیر عملکرد دانه و بیولوژیک ذرت قرار می‌گیرد. بیشترین و کمترین میزان جذب نیتروژن هم در دانه و هم در زیست توده به ترتیب در تیمارهای کودی ۱۵۰ و صفر کیلوگرم نیتروژن در هکتار مشاهده شد. گالایس و کوکه (Gallais and Coque, 2005) همبستگی مثبتی بین عملکرد و میزان جذب نیتروژن در ذرت گزارش کردند.

همانطور که در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است، در هر دو گیاه لوبیا و ذرت، در کلیه نسبت‌های مخلوط، کارایی جذب نیتروژن بیشتر از کشت خالص آنها بوده و با مصرف کود نیتروژن، کارایی جذب نیتروژن افزایش یافت. بیشترین و کمترین کارایی جذب نیتروژن لوبیا به ترتیب برای نسبت مخلوط ۲ ردیف ذرت: ۱ ردیف لوبیا و کشت خالص لوبیا (به‌ترتیب ۵۳/۸ و ۴۰/۹ درصد) بدست آمد (جدول ۲). بیشترین و کمترین کارایی جذب نیتروژن ذرت به ترتیب برای کشت خالص ذرت و نسبت مخلوط ۱ ردیف ذرت: ۲ ردیف لوبیا (به‌ترتیب ۶۸/۸ و ۵۳/۸ درصد) بدست آمد (جدول ۳). در مجموع کارایی جذب نیتروژن در ذرت بیشتر از لوبیا بود. غلات در استفاده از نیتروژن کارایی پایینی دارند و برآوردها در مقیاس جهانی نشان می‌دهد که در غلات به طور متوسط در حدود ۳۳ درصد از نیتروژن مصرف شده به وسیله دانه بازیافت می‌شود. میانگین کارایی جذب در ۵۵ مزرعه واقع در کمربند ذرت آمریکا با مصرف ۱۰۲ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، از ۳۷ درصد تجاوز نکرد (Doberman and Cassman, 2002). در آزمایش حاضر میزان کارآیی جذب نیتروژن در ذرت بیشتر از میانگین جهانی (۳۳ درصد) بدست آمد. این افزایش را می‌توان به افزایش عملکرد نیتروژن ناشی از افزایش میزان محتوای نیتروژن در ماده خشک و نیز افزایش عملکرد بیولوژیک ذرت نسبت داد. گزارش شد که در کشت مخلوط ذرت و سویا، کارایی جذب نیتروژن تحت تأثیر شیوه کاشت، مقدار نیتروژن مصرفی و اثر متقابل هر دو قرار گرفت، به نحوی که بیشترین کارایی جذب نیتروژن در کشت خالص ذرت در تیمار مصرف ۱۰۰ درصد نیتروژن (۱/۵ کیلوگرم بر کیلوگرم) و کمترین کارایی جذب نیتروژن در تیمار ۱۰۰ درصد ذرت + ۲۵ درصد سویا بدون مصرف کود (۰/۴ کیلوگرم بر کیلوگرم) مشاهده شد (Pahlevanloo *et al.,* 2015). گزارش شده که واکنش به مصرف نیتروژن در کشت خالص ذرت بیش از نظام‌های کشت مخلوط ذرت و سویا است، به طوری که مصرف ۱۰۰ درصد توصیهٔ

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1397.20.4.1.0]

جدول ۲- مقایسه میانگین عملکرد دانه و شاخص‌های کارایی مصرف نیتروژن (بر اساس عملکرد دانه و زیست توده لوبیا) در نسبت‌های کاشت مخلوط با ذرت و مصرف کود نیتروژن

Table 2. Mean comparison for yield and nitrogen use efficiency indices (based on seed yield and biological yield of common bean) in intercropping ratios with maize and nitrogen fertilizer

Treatments	تیمارهای آزمایشی	عملکرد زیست توده Biological yield (kg.ha^{-1})	عملکرد دانه Seed yield (kg.ha^{-1})	کارایی جذب نیتروژن NupE (%)	کارایی تبدیل نیتروژن NutE (kg.kg^{-1})		کارآیی مصرف نیتروژن NUE (kg.kg^{-1})	
					عملکرد زیست توده Biological yield	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد زیست توده Biological yield	عملکرد دانه Seed yield
Main plots	کرت‌های اصلی							
Sole bean	کشت خالص لوبیا	10124.5a	3462.0a	40.94b	32.96a	95.75a	13.33a	39.08d
50% Bean:50%Maize	٪۵۰ ذرت: ٪۵۰ لوبیا	6164.2b	1854.3c	53.41a	26.30c	87.34b	14.14a	46.74a
33% Bean:67%Maize	٪۶۷ ذرت:٪۳۳ لوبیا	4843.0c	1482.3d	53.78a	25.69c	82.77c	13.93a	44.67b
67%Bean:33%Maize	٪۳۳ ذرت:٪۶۷ لوبیا	6531.1b	2234.1b	49.62a	29.80b	86.60b	14.77a	43.01c
Sub plots	کرت‌های فرعی							
With N fertilizer (55 kg.ha^{-1})	مصرف کود نیتروژن	7451.1a	2504.4a	52.68a	30.94a	93.08a	16.04a	48.59a
Without N fertilizer	بدون مصرف کود نیتروژن	6374.2b	2023.0b	46.20b	26.43b	83.15b	12.04b	38.16b

* در هر ستون و برای هر عامل، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

Means in each column and for each factor followed by similar letter(s), are not significantly different at 5% probability level, using Tukey's test

جدول ۳- مقایسه میانگین عملکرد دانه و شاخص‌های کارایی مصرف نیتروژن (بر اساس عملکرد دانه و زیست توده ذرت) در نسبت‌های کاشت مخلوط با ذرت و مصرف کود نیتروژن

Table 3. Mean comparison for yield and nitrogen use efficiency indices (based on seed yield and biological yield of maize) in intercropping ratios with bean and nitrogen fertilizer

Treatments	تیمارهای آزمایشی	عملکرد زیست توده Biological yield (kg.ha^{-1})	عملکرد دانه Grain yield (kg.ha^{-1})	کارایی جذب نیتروژن NupE (%)	کارایی تبدیل نیتروژن NutE (kg.kg^{-1})		کارآیی مصرف نیتروژن NUE (kg.kg^{-1})	
					عملکرد زیست توده Biological yield	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد زیست توده Biological yield	عملکرد دانه Grain yield
Main plots	کرت‌های اصلی							
Sole maize	کشت خالص ذرت	18321.2a	5974.1a	68.83a	41.06a	125.03a	28.54a	86.55a
50% Bean:50%Maize	٪۵۰ لوبیا:٪۵۰ ذرت	9107.3c	3283.1c	65.50b	37.85b	104.22d	24.67b	68.07c
33% Bean:67% Maize	٪۳۳ لوبیا:٪۶۷ ذرت	11045.1b	4045.2b	62.69c	41.23a	112.39b	25.77b	70.29b
67% Bean:33% Maize	٪۶۷ لوبیا:٪۳۳ ذرت	6744.3d	2204.7d	53.84d	36.00c	111.22c	19.40c	59.62d
Sub plots	کرت‌های فرعی							
With N fertilizer (55 kg.ha^{-1})	مصرف کود نیتروژن	12722.3a	4341.2a	63.86a	37.40b	107.98b	23.83b	68.78b
Without N fertilizer	بدون مصرف کود نیتروژن	9854.4b	3414.5b	61.57b	40.67a	118.46a	25.36a	73.49a

* در هر ستون و برای هر عامل، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

Means in each column and for each factor followed by similar letter(s), are not significantly different at 5% probability level, using Tukey test

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1397.20.4.1.0]

کودی نیتروژن (۲۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره) در کشت خالص ذرت باعث افزایش کارایی جذب نیتروژن (۱۳۶ درصد) نسبت به تیمار شاهد شد. با وجود این در تیمارهای کشت مخلوط نیز با افزایش مصرف نیتروژن، کارایی جذب نیتروژن بهبود یافت (Pahlevanloo *et al.,* 2015).

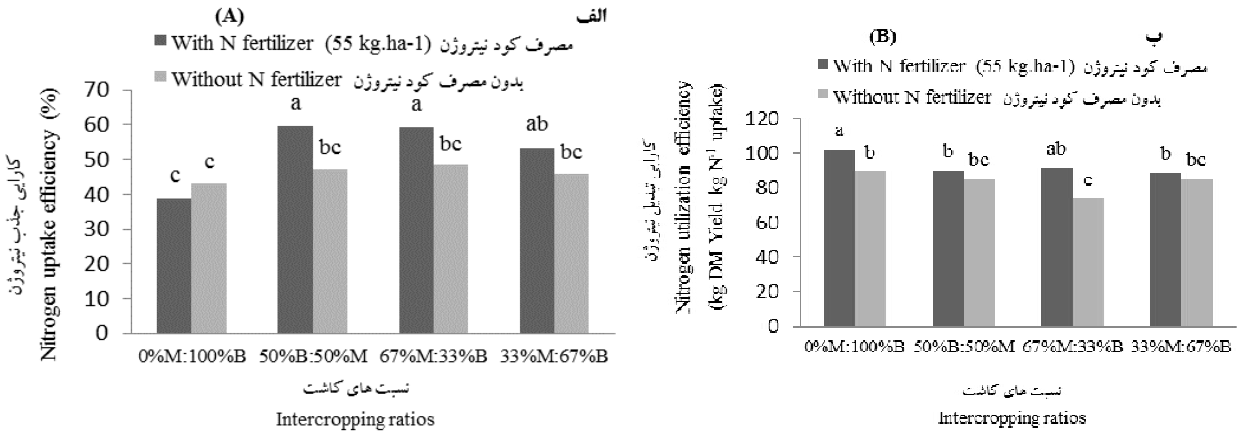
مجاورت و ارتباط ریشه‌های دو گیاه ذرت و لوبیا در زیر خاک در کشت مخلوط نقش مهمی در افزایش جذب نیتروژن دارد، بنابراین به نظر می‌رسد که انتقال نیتروژن تثبیت شده به وسیله لوبیا به ذرت باعث افزایش جذب نیتروژن ذرت شده است (Zhang *et al.*, 2012). یکی از دلایل تفاوت در کارآیی جذب نیتروژن در ترکیب‌های مختلف مخلوط ارزن (*Panicum miliaceum* L.) و لوبیا چشم بلبلی (*Vigna unguiculata* L.) نسبت به کشت خالص ارزن، اشغال آشیانه‌ای اکولوژیک متفاوت توسط دو گونه و بالاتر بودن حد تراکم مطلوب و در نتیجه کاهش رقابت بین گونه‌ای و همچنین بهره‌گیری از اثرات مثبت همجواری ارزن با لوبیا چشم بلبلی در تثبیت بیولوژیکی نیتروژن و استفاده بهینه از منابع رشد نسبت داده شده است (Khaki Najafabadi *et al.,* 2017).

در کشت مخلوط ذرت و پنبه، به دلیل بیشتر بودن تراکم در کشت خالص هر دو گیاه نسبت به کشت مخلوط، کارایی جذب نیتروژن در کشت مخلوط کمتر از کشت خالص دو گونه بود (Koocheki *et al.,* 2015)، اما در کشت مخلوط تأخیری گندم و ذرت، به دلیل فراهم شدن شرایط برای جذب مطلوب نیتروژن خاک توسط گونه‌ها در کشت مخلوط و در نتیجه افزایش کارایی جذب در مخلوط، در مقایسه با کشت خالص، بیشترین و کمترین کارایی جذب نیتروژن برای گندم و ذرت به‌ترتیب در کشت مخلوط و کشت خالص حاصل شد (Koocheki *et al.,* 2010). در آزمایشی روی پنبه (*Gossypium hirsutum* L.) گزارش شد که با افزایش کود نیتروژن مصرفی از صفر تا ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار، کارایی جذب نیتروژن به طور معنی‌داری کاهش یافت (Zhang *et al.,* 2012). سینگ (Singh, 2012) گزارش کرد که کارایی جذب نیتروژن با افزایش سطح کودی کاهش یافت. در کشت مخلوط ذرت و پنبه، در هر دو گیاه با افزایش سطوح نیتروژن از صفر به ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار، کارایی جذب نیتروژن به طور معنی‌داری کاهش یافت و در کلیه سطوح آزمایشی، کارایی جذب نیتروژن در ذرت بالاتر از پنبه بود و با توجه به اینکه ذرت نسبت به پنبه دارای سیستم ریشه‌ای گسترده‌تر است، بنابراین بالا بودن کارایی جذب آن طبیعی به نظر می‌رسد (Koocheki *et al.,* 2015).

نتایج نشان داد که اثر نسبت‌های کشت مخلوط ذرت و لوبیا بر کارایی تبدیل نیتروژن (بر اساس عملکرد دانه و عملکرد زیست توده) لوبیا و ذرت در سطح احتمای یک درصد معنی‌دار بود. بیشترین مقدار این شاخص براساس عملکرد دانه و عملکرد زیست توده برای لوبیا به‌ترتیب ۳۲/۹ و ۹۵/۷ کیلوگرم عملکرد به ازای کیلوگرم نیتروژن جذب شده در کشت خالص لوبیا بدست آمد که با سایر نسبت‌های مخلوط اختلاف معنی‌داری داشت (جدول ۲). دلیل اصلی این برتری، بالاتر بودن عملکرد در کشت خالص به دلیل تراکم بالاتر نسبت به کشت‌های مخلوط بود. بیشترین مقدار کارایی تبدیل نیتروژن، براساس عملکرد دانه و عملکرد زیست توده در ذرت، ۴۱/۲ و ۱۲۵/۱ کیلوگرم دانه و ماده خشک به ازای کیلوگرم نیتروژن جذب شده (به‌ترتیب در مخلوط ۲ ردیف ذرت: ۱ ردیف لوبیا و کشت خالص ذرت) بدست آمد (جدول ۳). در مجموع در گیاه لوبیا با مصرف کود نیتروژن، شاخص کارایی تبدیل نیتروژن به طور معنی‌داری بیشتر از شرایط عدم مصرف کود بود (جدول ۲). به نظر می‌رسد که دلیل افزایش کارایی تبدیل نیتروژن لوبیا در شرایط مصرف کود نیتروژن، به افزایش عملکرد در واحد سطح آن

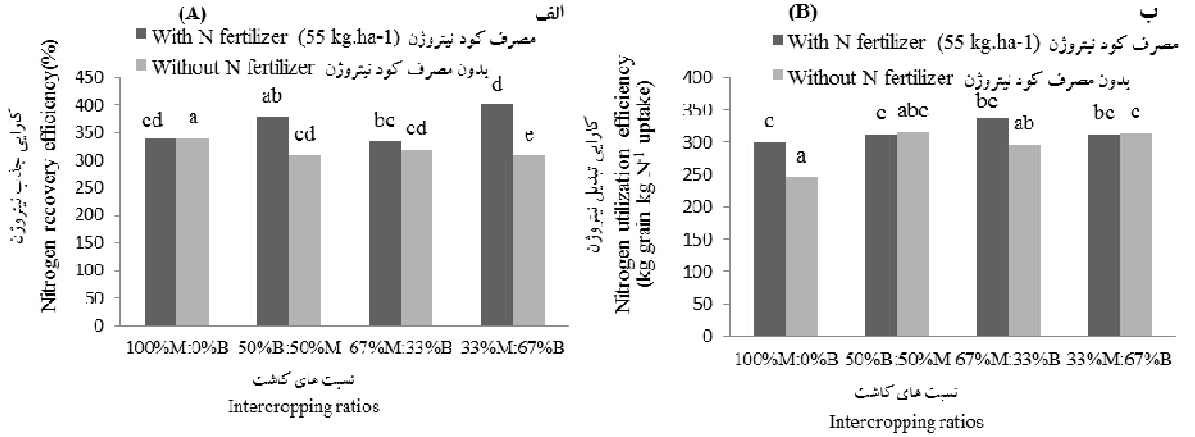
[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1397.20.4.1.0]



شکل ۱- کارایی جذب نیتروژن (الف) و کارایی تبدیل نیتروژن (بر اساس عملکرد بیولوژیک) (ب) لوبیا (B) در نسبت‌های کاشت مخلوط با ذرت (M) و مصرف کود نیتروژن. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند

Fig. 1. Nitrogen uptake efficiency (A) and nitrogen utilization efficiency (based on biological yield) (B) of bean (B) in intercropping ratios with maize (M) and nitrogen fertilizer. Means with similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level



شکل ۲- کارایی جذب نیتروژن (الف) و کارایی تبدیل نیتروژن (براساس عملکرد دانه) (ب) ذرت (M) در نسبت‌های کاشت مخلوط با لوبیا (B) و مصرف کود نیتروژن. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند

Fig. 2. Nitrogen uptake efficiency (A) and nitrogen utilization efficiency (based on grain yield) (B) of maize (M) in intercropping ratios with bean (B) and nitrogen fertilizer. Means with similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level

مربوط است. از طرف دیگر در شرایط مصرف کود در لوبیا، فعالیت همزیستی با باکتری تثبیت کننده نیتروژن متوقف شده و انرژی که قرار بود جهت همزیستی مصرف شود، صرف تبدیل نیتروژن جذب شده به دانه می‌شود، اما در مورد گیاه ذرت با مصرف کود نیتروژن، کارایی تبدیل نیتروژن به طور معنی‌داری کمتر از شرایط عدم مصرف کود بود (جدول ۳). لک و همکاران (Lack *et al.*, 2006) نیز گزارش

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1397.20.4.1.0]

دادند که با افزایش مصرف نیتروژن، کارایی تبدیل نیتروژن در ذرت کاهش یافت. احمدی و همکاران (Ahmadi *et al.,* 2018). اظهار داشتند که با توجه به رابطه غیر مستقیم کارایی تبدیل نیتروژن با میزان کود نیتروژن، مصرف بالای نیتروژن، کارایی تبدیل را کاهش داد که البته این موضوع در بین ارقام ذرت تا حدودی متفاوت بود. در لوبیا اثر متقابل دو عامل (نسبت‌های کشت و مصرف کود نیتروژن) بر کارایی تبدیل نیتروژن بر اساس عملکرد بیولوژیک معنی‌دار بود، ولی در ذرت بر کارایی تبدیل نیتروژن بر اساس عملکرد دانه معنی دار بود.

همانطور که در شکل ۱- ب ملاحظه می‌شود در گیاه لوبیا، در تمام نسبت‌های کاشت، با مصرف کود نیتروژن، کارایی تبدیل نیتروژن (بر اساس عملکرد زیست توده) به طور معنی‌داری افزایش یافت، اما در ذرت در تمام نسبت‌های کاشت، با مصرف کود نیتروژن، کارایی تبدیل نیتروژن (بر اساس عملکرد دانه) به طور معنی‌داری کمتر از عدم مصرف کود نیتروژن بود (شکل ۲- ب). احمدی و همکاران (Ahmadi *et al.,* 2018) گزارش دادند که با افزایش مصرف کود نیتروژن از ۴۰ به ۱۴۰ درصد نیاز گیاهی ذرت، کارایی تبدیل نیتروژن با ۲۲/۲ درصد کاهش، از ۳۸/۸ به ۳۰/۲ کیلوگرم دانه بر کیلوگرم نیتروژن تنزل کرد. رقم ۷۰۴ در سطح کودی ۴۰ و ۱۴۰ درصد به ترتیب دارای بیشترین و کمترین کارایی تبدیل نیتروژن بود.

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها برای لوبیا نشان داد که اثر نسبت‌های کاشت تنها بر شاخص بهره‌وری نیتروژن بر اساس عملکرد زیست توده لوبیا معنی‌دار بود و بر شاخص بهره‌وری نیتروژن بر اساس عملکرد دانه لوبیا اثر معنی‌داری نداشت. با توجه به این که شاخص بهره‌وری نیتروژن بر اساس عملکرد دانه لوبیا از نسبت عملکرد دانه لوبیا بر میزان نیتروژن موجود در خاک (خاک + کود+ تثبیت بیولوژیک) حاصل می‌شود و از طرفی در بین نسبت‌های مختلف کاشت، با افزایش سهم حضور لوبیا در هر نسبت کاشت، عملکرد دانه لوبیا در آن نسبت کاشت نیز افزایش می‌یابد و همچنین در اثر افزایش تراکم لوبیا در همان نسبت کاشت، همزیستی بیولوژیک نیز بیشتر شده و محتوای نیتروژن خاک از طریق تثبیت بیولوژیکی افزایش می‌یابد و به بیان دیگر صورت و مخرج کسر بهره‌وری به یک میزان تغییر می‌کنند، بنابراین نسبت عملکرد دانه به میزان نیتروژن موجود در خاک تغییر چندانی نمی‌کند، به همین دلیل بین نسبت‌های مختلف کاشت از لحاظ شاخص بهره‌وری نیتروژن (بر اساس عملکرد دانه) تفاوت قابل توجهی مشاهده نشد، اما در مورد ذرت تأثیر نسبت‌های مختلف کاشت بر هر دو شاخص بهره‌وری نیتروژن در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل دو عامل (نسبت‌های کاشت و مصرف کود نیتروژن) نیز بر کارایی مصرف نیتروژن در هر دو گیاه ذرت و لوبیا معنی‌دار بود. بیشترین مقدار این شاخص بر اساس عملکرد دانه و زیست توده در لوبیا (به‌ترتیب ۱۴/۸ و ۴۶/۷ کیلوگرم عملکرد به ازای کیلوگرم نیتروژن خاک) در مخلوط ۱ ردیف ذرت: ۲ ردیف لوبیا و مخلوط ۱ ردیف ذرت: ۱ ردیف لوبیا بدست آمد (جدول ۲). بیشترین مقدار این شاخص بر اساس عملکرد دانه و زیست توده در ذرت (به‌ترتیب ۲۸/۶ و ۸۶/۶ کیلوگرم عملکرد به ازای کیلوگرم نیتروژن خاک) در کشت خالص ذرت حاصل شد (جدول ۳). علت این موضوع را می‌توان به عملکرد بالاتر ذرت به دلیل تراکم بالاتر در کشت خالص نسبت به مخلوط دانست. گزارش شده است که در کشت مخلوط ذرت و پنبه، کارایی مصرف نیتروژن در کشت مخلوط کمتر از کشت خالص هر دو گیاه بود و این موضوع از تراکم کمتر پنبه و ذرت در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص هر دو گیاه ناشی می‌شود و باعث کاهش عملکرد و در نتیجه کاهش کارایی مصرف نیتروژن می‌گردد (Koocheki *et al.,* 2015). لک و همکاران (Lack *et al.,* 2006) گزارش دادند که بیشترین کارایی

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1397.20.4.1.0]

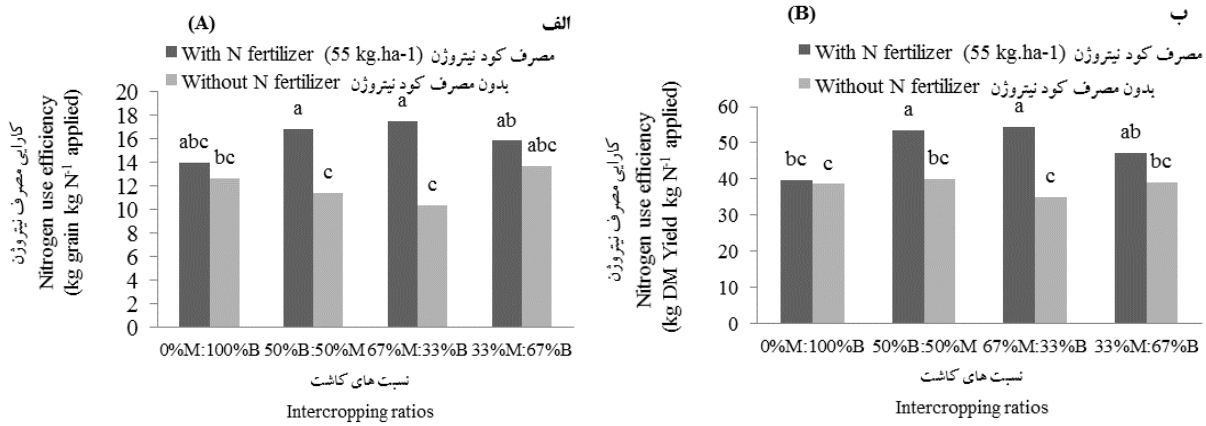
مصرف نیتروژن در ذرت به بیشترین تراکم تعلق داشت که نشان دهنده توانایی بالای هیبرید ۷۰۴ برای استفاده بهینه از نیتروژن و تولید دانه در تراکم‌های بوته بالاتر می‌باشد.

مصرف کود نیتروژن اثر معنی‌داری بر هر دو شاخص بهره‌وری نیتروژن (براساس عملکرد دانه و زیست توده) در هر دو گونه لوبیا و ذرت داشت، به طوری که در لوبیا، با مصرف کود نیتروژن، شاخص بهره‌وری نیتروژن بر اساس عملکرد دانه، ۳۳ درصد و شاخص بهره‌وری نیتروژن بر اساس عملکرد زیست توده، ۲۷ درصد افزایش داشت (جدول ۲)، اما در ذرت، با مصرف کود نیتروژن، هر دو شاخص بهره‌وری نیتروژن ۶ درصد کاهش یافت (جدول ۳). گزارش شده است که در کشت مخلوط ذرت و پنبه، در هر دو گیاه با افزایش سطوح نیتروژن، کارایی مصرف نیتروژن کاهش معنی‌داری داشت، به طوری که افزایش میزان مصرف کود نیتروژن از صفر به ۱۵۰ کیلوگرم، کارایی مصرف نیتروژن در ذرت و پنبه به‌ترتیب ۵۵ و ۳۵ درصد کاهش یافت (Koocheki *et al.*, 2015). نصیری محلاتی و کوچکی (Nassiri Mahallati and Koocheki, 2017) اظهار داشتند که در طی ۴۰ سال گذشته کارایی جذب نیتروژن در نظام‌های تولید گندم کشور کاهش و در مقابل کارایی تبدیل آن افزایش یافته است، ولی چون سرعت کاهش بازیافت بر سرعت افزایش کارایی تبدیل غلبه داشته و پایین بودن بازیافت نیتروژن را جبران نکرده است، کارایی مصرف نیتروژن روند نزولی داشته است. آنها همچنین بیان داشتند که کاهش کارایی مصرف نیتروژن در پاسخ به مصرف کود عمدتاً ناشی از کاهش کارایی جذب بوده است. گزارش شده است که در ذرت بیشترین کارایی مصرف نیتروژن (۳۱/۸ کیلوگرم دانه بر کیلوگرم نیتروژن فراهمی خاک و مصرف شده) مربوط به تیمار ۷۰ درصد نیاز گیاهی بود که با تیمارهای ۴۰ و ۱۰۰ درصد تفاوت معنی‌داری نداشت و کمترین آن (۲۴/۹ کیلوگرم دانه بر کیلوگرم نیتروژن فراهمی خاک و مصرف شده) نیز در تیمار ۱۴۰ درصد به دست آمد. این بدین معنی است که در تیمار ۱۴۰ درصد، گیاه به تناسبی که مصرف کود نیتروژن افزایش یافت، دانه تولید نکرد. به عبارت دیگر، واکنش تولید عملکرد دانه به نیتروژن با افزایش کود نیتروژن منفی بوده است (Ahmadi *et al.*, 2018). میانگین کارایی مصرف نیتروژن در گندم، ۱۵/۸ کیلوگرم دانه به ازای نیتروژن مصرف شده گزارش شده است که با افزایش مصرف کود به طور معنی‌داری کاهش یافت (Nassiri Mahallati and Koocheki, 2017). در ایران میانگین کارایی مصرف نیتروژن برای ذرت ۲۸/۶ کیلوگرم دانه بر کیلوگرم نیتروژن گزارش شده و بیشترین کارایی مصرف نیتروژن برای ذرت به ترتیب به شهرهای قزوین، کرمان، شیراز به ترتیب با ۴۰/۳۰، ۳۳/۳۴ و ۳۰/۸۹ و کمترین مقدار آن مربوط به دزفول و همدان با ۱۷/۰۲ و ۲۱/۳۸ کیلوگرم دانه به ازای کیلوگرم نیتروژن مشاهده شد (Tavakkoli Kakhki, 2016).

در کلیه نسبت‌های کاشت، با مصرف کود نیتروژن، کارایی مصرف نیتروژن (براساس عملکرد دانه و زیست توده) لوبیا به طور معنی‌داری بیشتر از عدم مصرف کود بود (شکل ۳)، اما در مورد ذرت نتایج متفاوتی مشاهده شد، به طوری که شاخص بهره‌وری نیتروژن در کشت خالص ذرت در شرایط عدم مصرف کود نیتروژن بیشتر از مخلوط‌ها بود (شکل ۴). نتایج یک آزمایش نشان داد که کارایی مصرف (بهره‌وری) نیتروژن و اجزای آن تحت تأثیر مصرف کود شیمیایی نیتروژن قرار می‌گیرند، به طوری که کارایی مصرف، کارایی جذب و کارایی تبدیل نیتروژن در شرایطی که ۴۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار مصرف شد، بالاتر از مصرف ۸۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بود. این موضوع نشان می‌دهد که در صورت افزایش فراهمی نیتروژن در خاک، کارایی مصرف نیتروژن کاهش می‌یابد (Dordas, 2011).

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-25]

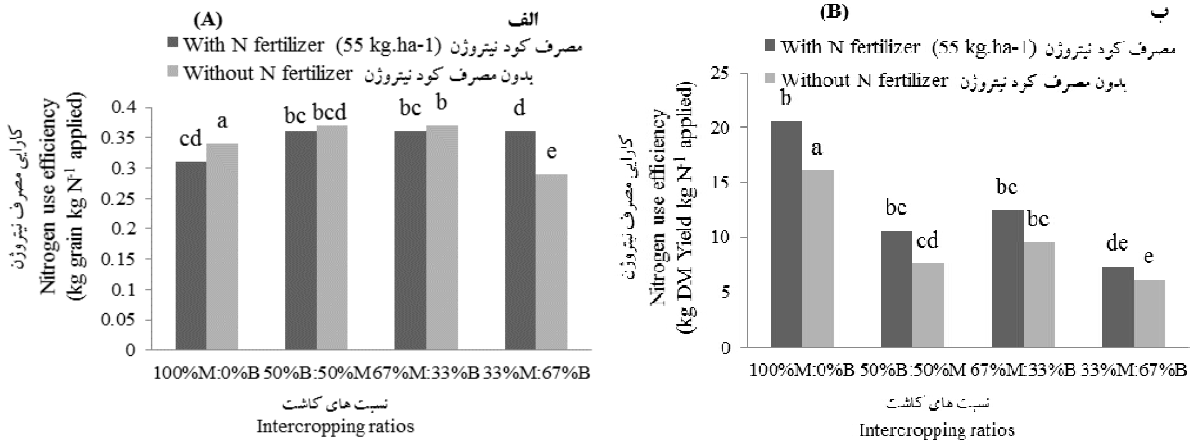
[DOR: 20.1001.1.15625540.1397.20.4.1.0]



شکل ۳- کارایی مصرف نیتروژن بر اساس عملکرد دانه (الف) و بر اساس عملکرد بیولوژیک (ب) لوبیا (B) در نسبت‌های کاشت مخلوط با ذرت (M) و مصرف کود نیتروژن. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال پنج درصد، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند

Fig. 3. Nitrogen use efficiency based on seed yield (A) and based on biological yield (B) of bean (B) in intercropping ratios with maize (M) and nitrogen fertilizer. Means with similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level

با توجه به قانون بازده نزولی مبنی بر اینکه واحدهای اولیه کود مصرفی تأثیر بیشتری روی افزایش رشد و بهبود عملکرد دارند، انتظار می‌رود که هر قدر مصرف نیتروژن افزایش یابد، کارایی استفاده از آن کاهش یابد (Ameri *et al.*, 2007). بهره‌وری نیتروژن تحت تأثیر دو عامل کارایی جذب و کارایی تبدیل قرار دارد که افزایش در یک جزء باعث کاهش جزء دیگر می‌شود و روند تغییرات آن نیز تابع روند تغییرات این دو جزء است. با افزایش مصرف نیتروژن، هر دو جزء بهره‌وری نیتروژن کاهش می‌یابند، ولی شدت کاهش کارایی جذب بیشتر از کارایی تبدیل نیتروژن می‌باشد (Khaki Najafabadi *et al.*, 2017).



شکل ۴- کارایی مصرف نیتروژن بر اساس عملکرد دانه (الف) و بر اساس عملکرد بیولوژیک (ب) ذرت (M) در نسبت‌های کاشت مخلوط با لوبیا (B) و مصرف کود نیتروژن. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال پنج درصد، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند

Fig. 4. Nitrogen use efficiency based on grain yield (A) and based on biological yield (B) of maize (M) in intercropping ratios with bean (B) and nitrogen fertilizer. Means with similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1397.20.4.1.0]

در پژوهشی روی برنج گزارش شد که مصرف تلفیقی کود اوره همراه با کود دامی در مقایسه با استفاده جداگانه از کود اوره، باعث افزایش بهره‌وری نیتروژن گردید که دلیل این موضوع به کاهش تلفات نیتروژن و همچنین وجود سایر عناصر مغذی (به جز نیتروژن) در کود دامی نسبت داده شد که تحریک رشد و در نتیجه افزایش عملکرد گیاه را به دنبال داشت (Bandyopadhyay and Sarkar, 2005). بدین ترتیب، به نظر می‌رسد هر عاملی عملکرد را بهبود دهد، افزایش شاخص بهره‌وری نیتروژن را نیز به دنبال خواهد داشت. گاجو و همکاران (Gaju *et al.*, 2011) با ارزیابی صفات مرتبط با کارایی مصرف نیتروژن در ژنوتیپ‌های گندم نشان دادند که دامنه کارایی فیزیولوژیکی نیتروژن از تنوع زیادی برخوردار بوده و در ۱۶ ژنوتیپ در چهار منطقه انگلستان بین ۳۴ تا ۵۲ کیلوگرم دانه به ازای کیلوگرم نیتروژن جذب شده متغیر بود. این محققان نتیجه‌گیری کردند که کارایی مصرف نیتروژن عمدتاً تابع کارایی تبدیل نیتروژن است. باراکلو و همکاران (Barraclough *et al.*, 2010) نیز با ارزیابی ۳۹ ژنوتیپ گندم طی چهار سال در مقادیر نیتروژن صفر تا ۳۵۰ کیلوگرم در هکتار نشان دادند که کارایی مصرف نیتروژن در تمام سطوح نیتروژن تابع کارایی تبدیل آن بوده و اظهار داشتند که کارایی فیزیولوژیکی نیتروژن نیز نقش کلیدی در شکل‌گیری عملکرد دانه دارد.

نتایج نشان داد که در هر دو گیاه لوبیا (جدول ۴) و ذرت (جدول ۵)، بهره‌وری نیتروژن بر اساس عملکرد زیست توده، در کلیه نسبت‌های مخلوط، کارایی جذب نیتروژن از سهم بالاتری برخوردار بود، اما در محاسبه بهره‌وری نیتروژن بر اساس عملکرد دانه، کارایی جذب نیتروژن از اهمیت کمتری برخوردار بوده و نقش کمتری در بهره‌وری نیتروژن داشت. با توجه به اینکه بهره‌وری نیتروژن بر اساس عملکرد زیست توده، رابطه مستقیمی با عملکرد زیست توده دارد و کارایی جذب نیتروژن نیز رابطه مستقیمی با محتوای نیتروژن زیست توده دارد، علت بالاتر بودن سهم کارایی جذب را در بهره‌وری نیتروژن بر اساس عملکرد زیست توده، می‌توان به همین موضوع نسبت داد. بینگهام و همکاران (Bingham *et al.*, 2012) طی آزمایشی روی ۱۵ رقم جو در اسکاتلند، سهم کارایی تبدیل و کارایی جذب را در کارایی مصرف نیتروژن ارقام مورد بررسی در تمام سطوح نیتروژن را به ترتیب ۶۰ و ۴۰ درصد برآورد کردند. البته گالایس و کوکه (Gallais and Coque, 2005) نشان دادند که در ذرت کارایی مصرف نیتروژن در مقادیر بالای مصرف کود به کارایی جذب وابسته بوده، در حالی که در سطوح کم نیتروژن، کارایی جذب و تبدیل، سهم یکسانی در توصیف کارایی مصرف نیتروژن دارند. با توجه به سهم نسبی کارایی جذب (۰/۸۳) از تغییرات کل کارایی مصرف نیتروژن در ذرت و رابطه مستقیم کارایی جذب با کارایی مصرف نیتروژن، به نظر می‌رسد که تغییرات کارایی جذب بر کارایی مصرف بسیار موثر است، بنابراین احتمال دارد که مدیریت زراعی از ابتدای کاشت تا قبل از رسیدگی فیزیولوژیکی، به طور مستقیم بر کارایی جذب و به طور غیر مستقیم بر کارایی مصرف نیتروژن موثر باشد (Tavakkoli Kakhki, 2016).

شاخص بهره‌وری نیتروژن بر اساس عملکرد دانه در هر دو گیاه لوبیا (جدول ۴) و ذرت (جدول ۵)، در کلیه نسبت‌های مخلوط، کارایی تبدیل نیتروژن از سهم بیشتری برخوردار بود، اما در بهره‌وری نیتروژن بر اساس عملکرد زیست توده، کارایی تبدیل نیتروژن از اهمیت کمتری برخوردار بوده و نقش ضعیفی در بهره‌وری نیتروژن داشت. با توجه به اینکه بهره‌وری نیتروژن بر اساس عملکرد دانه، رابطه مستقیمی با عملکرد دانه داشته و کارایی تبدیل نیتروژن (بر اساس عملکرد دانه) نیز رابطه مستقیمی با عملکرد دانه دارد، در ارزیابی بهره‌وری نیتروژن بر اساس عملکرد دانه، کارایی تبدیل نقش موثری در میزان بهره‌وری نیتروژن (بر اساس عملکرد دانه) داشته و از سهم بالاتری برخوردار است.

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1397.20.4.1.0]

جدول ۴- سهم اجزای شاخص بهره‌وری نیتروژن بر اساس عملکرد دانه و زیست توده لوبیا در نسبت‌های کاشت مخلوط با ذرت و مصرف کود نیتروژن

Table 4. Contribution of components of nitrogen productivity index based on seed yield and biological yield of bean in intercropping ratios with maize and nitrogen fertilizer

کرت‌های اصلی Main plots	کرت‌های فرعی Sub plots	سهم کارایی جذب نیتروژن Contribution of NupE		سهم کارایی تبدیل نیتروژن Contribution of NutE	
		عملکرد زیست توده Biological yield (kg.ha^{-1})	عملکرد دانه Seed yield (kg.ha^{-1})	عملکرد زیست توده Biological yield (kg.ha^{-1})	عملکرد دانه Seed yield (kg.ha^{-1})
خالص لوبیا Sole bean	مصرف کود نیتروژن With N fertilizer (55 kg.ha^{-1})	0.84	0.39	0.16	0.61
	بدون مصرف کود نیتروژن Without N fertilizer	0.73	0.12	0.27	0.88
۵۰٪ لوبیا : ۵۰٪ ذرت 50% Bean :50% Maize	مصرف کود نیتروژن With N fertilizer (55 kg.ha^{-1})	0.62	0.17	0.38	0.83
	بدون مصرف کود نیتروژن Without N fertilizer	0.93	0.25	0.07	0.75
۳۳٪ لوبیا:۶۷٪ ذرت 33% Bean :67% Maize	مصرف کود نیتروژن With N fertilizer (55 kg.ha^{-1})	0.80	0.16	0.20	0.84
	بدون مصرف کود نیتروژن Without N fertilizer	0.72	0.25	0.28	0.75
۶۷٪ لوبیا:۳۳٪ ذرت 67% Bean :33% Maize	مصرف کود نیتروژن With N fertilizer (55 kg.ha^{-1})	0.85	0.31	0.15	0.69
	بدون مصرف کود نیتروژن Without N fertilizer	0.96	0.10	0.04	0.90

جدول ۵- سهم اجزای شاخص بهره‌وری نیتروژن بر اساس عملکرد دانه و زیست توده ذرت در نسبت‌های کاشت مخلوط با لوبیا و مصرف کود نیتروژن

Table 5. Contribution of components of nitrogen productivity index based on grain yield and biological yield of maize in intercropping ratios with bean and nitrogen fertilizer

کرت‌های اصلی Main plots	کرت‌های فرعی Sub plots	سهم کارایی جذب نیتروژن Contribution of NupE		سهم کارایی تبدیل نیتروژن Contribution of NutE	
		عملکرد زیست توده Biological yield (kg.ha^{-1})	عملکرد دانه Grain yield (kg.ha^{-1})	عملکرد زیست توده Biological yield (kg.ha^{-1})	عملکرد دانه Grain yield (kg.ha^{-1})
خالص ذرت Sole Maize	مصرف کود نیتروژن With N fertilizer (55 kg.ha^{-1})	0.68	0.07	0.32	0.93
	بدون مصرف کود نیتروژن Without N fertilizer	0.63	0.20	0.37	0.80
۵۰٪ لوبیا:۵۰٪ ذرت 50% Bean :50% Maize	مصرف کود نیتروژن With N fertilizer (55 kg.ha^{-1})	0.76	0.37	0.24	0.63
	بدون مصرف کود نیتروژن Without N fertilizer	0.96	0.36	0.04	0.64
۳۳٪ لوبیا:۶۷٪ ذرت 33% Bean :67% Maize	مصرف کود نیتروژن With N fertilizer (55 kg.ha^{-1})	0.74	0.31	0.26	0.69
	بدون مصرف کود نیتروژن Without N fertilizer	0.56	0.32	0.44	0.68
۶۷٪ لوبیا:۳۳٪ ذرت 67% Bean :33% Maize	مصرف کود نیتروژن With N fertilizer (55 kg.ha^{-1})	0.81	0.31	0.19	0.69
	بدون مصرف کود نیتروژن Without N fertilizer	0.84	0.38	0.16	0.62

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1397.20.4.1.0]

اثر تفاوت‌های ژنتیکی در بهره‌وری نیتروژن، در جذب مقدار نیتروژن یا تفاوت در میزان تبدیل و استفاده از نیتروژن جذب شده ظاهر می‌شود، در شرایط پایین بودن میزان نیتروژن، کارایی جذب نیتروژن، اهمیت بیشتری در مقدار بهره‌وری آن دارد و با افزایش مقدار نیتروژن مصرفی، اهمیت نسبی کارایی جذب نیتروژن کاهش و اهمیت نسبی کارایی مصرف نیتروژن، افزایش پیدا می‌کند (Inthapanya *et al.,* 2000). کارایی تبدیل نیتروژن، جزء مهم‌تر کارایی مصرف نیتروژن بوده و در اکثر موارد باعث ایجاد بیشترین تفاوت در کارایی مصرف نیتروژن می‌شود (Dordas, 2011). نتایج تجزیه اجزاء در کرمان، شیراز، قزوین، پارس‌آباد و کرمانشاه نشان داد که با مدیریت مصرف نیتروژن در دامنه ۲۲۰ تا ۲۸۰ کیلوگرم در هکتار (برای بیش از ۷۰ درصد مناطق مورد مطالعه)، سهم نسبی کارایی جذب و تبدیل نیتروژن از کارایی مصرف در ذرت به ترتیب ۰/۶۸ و ۰/۳۲ بود (Tavakkoli Kakhki, 2016).

سینبو و همکاران (Sinebo *et al.,* 2004) اظهار داشتند که در سطوح پایین نیتروژن، همبستگی عملکرد دانه جو با جذب نیتروژن، قوی‌تر از ارتباط آن با کارایی تبدیل نیتروژن بود که این موضوع نشان دهنده اهمیت بیشتر جذب نیتروژن از خاک نسبت به انتقال آن از اندام‌های هوایی در افزایش عملکرد دانه است. آنها همچنین بیان داشتند که اهمیت نسبی کارایی جذب نیتروژن و کارایی تبدیل نیتروژن، بستگی به سطح نیتروژن در دسترس داشته و تفاوت ژنوتیپ‌ها در کارایی مصرف نیتروژن در شرایط نیتروژن کم، احتمالا مربوط به تفاوت در کارایی جذب نیتروژن است، در حالی که در شرایط بالا بودن نیتروژن، تفاوت‌ها به دلیل اختلاف در کارایی تبدیل نیتروژن است. میزان فراهمی نیتروژن می‌تواند بر شاخص‌های کارایی نیتروژن تاثیر داشته باشد و از آنجایی که کارایی تبدیل نیتروژن نشان دهنده توانایی گیاه در استفاده از نیتروژن مصرفی است، بنابراین در شرایط کمبود نیتروژن، کارایی جذب آن اهمیت زیادی خواهد داشت (Moll *et al.,* 1982). در کشت مخلوط ذرت و سویا مشاهده شد که در کشت خالص واکنش به مصرف نیتروژن کودی کمتر بود، در حالی که در کشت مخلوط ذرت و سویا با نسبت ۱:۱ و ۲:۱ کارایی مصرف نیتروژن بیش از دو برابر (۱۳۱ درصد) افزایش یافت. از آنجا که کارایی مصرف نیتروژن از حاصل ضرب دو مؤلفهٔ کارایی جذب نیتروژن و کارایی تبدیل نیتروژن بدست می‌آید، می‌توان گفت که کارایی زیاد مصرف نیتروژن ناشی از برتری کارایی تبدیل نیتروژن در این شیوه کشت بود (Pahlevanloo *et al.,* 2015). چنانچه جزء غالب کارایی جذب باشد، مدیریت‌های زراعی و در صورت غالب بودن کارایی تبدیل، استفاده از روش‌های اصلاحی به عنوان رهیافت‌های پیشنهادی جهت بهبود کارایی مصرف نیتروژن مورد توجه می‌باشند (Tavakkoli Kakhki, 2016).

اثر نسبت‌های کاشت مخلوط ذرت و لوبیا، تنها بر نسبت برابری زمین کل بر اساس کارایی تبدیل نیتروژن (بر حسب عملکرد دانه) معنی‌دار بود و بر سایر شاخص‌های کارایی مصرف نیتروژن و عملکرد اقتصادی اثر معنی‌داری نداشت. در بین نسبت‌های کاشت، بیشترین نسبت برابری زمین بر اساس کارایی تبدیل نیتروژن (بر حسب عملکرد دانه)، مربوط به نسبت ۳۳ درصد ذرت : ۶۷ درصد لوبیا (۱/۸۳) بود. با مصرف کود نیتروژن، نسبت برابری زمین کل بر اساس کارایی جذب و بهره‌وری نیتروژن (بر حسب عملکرد زیست توده)، به طور معنی‌داری افزایش یافت، اما اثر متقابل دو عامل اصلی و فرعی تأثیر معنی‌داری بر نسبت برابری زمین کل نداشتند. از لحاظ عملکرد دانه، بیشترین نسبت برابری زمین کل (۱/۱۰) مربوط به نسبت کاشت ۱ ردیف ذرت : ۱ ردیف لوبیا، بود (جدول ۶)، به طوری که سهم هر دو گونه در نسبت برابری زمین کل مساوی و برابر ۰/۵۵ بود. علت این موضوع را می‌توان به درصد حضور مساوی هر دو گونه ذرت و لوبیا در این نسبت

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1397.20.4.1.0]

جدول ۶- مقایسه میانگین نسبت برابری زمین کل بر اساس عملکرد و شاخص‌های کارایی نیتروژن در نسبت‌های کاشت مخلوط لوبیا با ذرت و کود نیتروژن

Table 6. Mean comparisons for total land equivalent ratio (LER) based on yield and nitrogen efficiency indices of bean in intercropping ratios with maize and nitrogen fertilizer

تیمارهای آزمایشی Treatments	نسبت برابری زمین (LER) عملکرد دانه (kg.ha^{-1}) Seed yield	کارایی جذب نیتروژن NupE (%)	کارایی تبدیل نیتروژن NutE (kg.kg^{-1}) عملکرد دانه Seed yield (kg.ha^{-1})	کارایی تبدیل نیتروژن NutE (kg.kg^{-1}) عملکرد زیست توده Biological yield (kg.ha^{-1})	کارآیی مصرف نیتروژن NUE (kg.kg^{-1}) عملکرد دانه Seed yield (kg.ha^{-1})	کارآیی مصرف نیتروژن NUE (kg.kg^{-1}) عملکرد زیست توده Biological yield (kg.ha^{-1})
کرت‌های اصلی Main plots						
۵۰٪ ذرت:۵۰٪ لوبیا 50% Bean:50%Maize	1.10a	2.30a	1.74a	1.75a	1.98a	2.02a
۶۷٪ ذرت:۳۳٪ لوبیا 33% Bean:67%Maize	1.09a	2.25a	1.18b	1.77a	1.98a	1.99a
۳۳٪ ذرت:۶۷٪ لوبیا 67%Bean:33%Maize	1.03a	2.03a	1.83a	1.80a	1.85a	1.82a
کرت‌های فرعی Sub plots						
مصرف کود نیتروژن With N fertilizer (55 kg.ha^{-1})	1.08a	2.28a	1.75a	1.78a	1.98a	2.03a
بدون مصرف کود نیتروژن Without N fertilizer	1.07a	2.06b	1.83a	1.77a	1.86a	1.82b

* در هر ستون و برای هر عامل، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

Means in each column and for each factor followed by similar letter(s), are not significantly different at 5% probability level, using Tukey test

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1397.20.4.1.0]

کاشت، نسبت داد. در کشت مخلوط ذرت و پنبه، در کلیه سطوح نیتروژن (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) نسبت برابری زمین (بر اساس عملکر دانه) بیشتر از یک بود و این موضوع نشان‌دهنده اثر مثبت کشت مخلوط بر عملکرد دو گیاه بوده است. در سطح کودی صفر، احتمال دارد که به دلیل کمبود عنصر نیتروژن و غالب بودن ذرت، گیاه پنبه با کمبود نیتروژن مواجه شده و عملکرد نسبی آن نسبت به خالص کاهش یافته باشد، ولی به دلیل بالاتر بودن عملکرد نسبی ذرت در این تیمار، در کل نسبت برابری زمین برای عملکرد بالاتر از یک به دست آمد و سطح کودی ۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، بالاترین نسبت برابری زمین (۱/۱۱) را داشت (Koocheki *et al.,* 2015). گزارش شده است که در کشت مخلوط ذرت و سیب‌زمینی، گیاه ذرت بر سیب‌زمینی غالب بوده و بالاترین نسبت برابری زمین (۱/۴۲) برای تیمارهای مخلوط ردیفی با نسبت کاشت سیب‌زمینی یک و ذرت دو و مخلوط ردیفی سیب‌زمینی دو و ذرت سه و ۱/۳۹ برای تیمار مخلوط ردیفی سیب‌زمینی دو و ذرت دو بدست آمد و در شرایطی که ذرت به عنوان گیاه اصلی در نظر گرفته شد، در تیمار مخلوط ردیفی با نسبت کاشت سیب‌زمینی یک و ذرت دو، حدود ۶۰ درصد و در تیمار مخلوط ردیفی سیب‌زمینی دو و ذرت سه، حدود ۶۳ درصد و در تیمار مخلوط ردیفی سیب‌زمینی دو و ذرت دو، حدود ۶۲ درصد کشت مخلوط به نفع ذرت بود. در صورتی که سیب‌زمینی به عنوان محصول اصلی در نظر گرفته شد، در تیمار مخلوط ردیفی با نسبت کاشت سیب‌زمینی یک و ذرت دو، حدود ۱۰ درصد و در تیمار مخلوط ردیفی سیب‌زمینی دو و ذرت سه، حدود ۹ درصد و در تیمار مخلوط ردیفی سیب‌زمینی دو و ذرت دو، حدود ۱۰ درصد کشت مخلوط به نفع سیب‌زمینی بود و در مجموع ترکیب‌های مختلف کشت‌های مخلوط به نفع ذرت بود (Afsharmanesh., 2013). کشت مخلوط ذرت و لوبیا چشم بلبلی نسبت به تک کشتی آنها برتری داشت و ترکیب ۱۰۰ درصد ذرت + ۱۰۰ درصد لوبیا چشم بلبلی، ۲۱ و ۴۹ درصد از تک‌کشتی ذرت و ۳۰ و ۶۶ درصد از تک کشتی لوبیا چشم بلبلی (به‌ترتیب از لحاظ علوفه خشک و تر) برتری داشت (Dahmardeh *et al.,* 2012).

نسبت برابری زمین کل در تمام شاخص‌های کارایی نیتروژن بالاتر از یک بود و این موضوع نشان دهنده برتری کشت مخلوط نسبت به کشت خالص از جهت استفاده بهتر از نیتروژن بود. در بین شاخص‌های کارایی نیتروژن، نسبت برابری زمین کل بر اساس کارایی جذب از بالاترین مقدار برخوردار بود (جدول ۶). محاسبه نسبت برابری زمین برای کارایی مصرف نیتروژن در کشت مخلوط ذرت و پنبه نشان داد که در کلیه سطوح نیتروژن (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار)، کارایی مصرف نسبی نیتروژن در هر دو گیاه ذرت و پنبه (بجز پنبه در سطح صفر) بیشتر از ۰/۵ بود. همچنین نسبت برابری زمین کل برای کارایی مصرف نیتروژن در کلیه سطوح کودی بالاتر از ۱ بود. این موضوع نشان‌دهنده نقش مثبت کشت مخلوط در استفاده بهتر از نیتروژن مصرفی است. در آزمایش یاد شده سطح کودی ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، بالاترین نسبت برابری زمین را برای کارایی مصرف نیتروژن (۱/۱۰) دارا بود (Koocheki *et al.,* 2015). محاسبه نسبت برابری زمین برای کارایی جذب نیتروژن نشان داد که کشت مخلوط دو گونه به ازای واحد سطح، نیتروژن مصرفی را با کارایی بالاتری جذب کرد، به طوری که در تمامی سطوح کودی مورد استفاده، نسبت برابری زمین کل برای کارایی جذب نیتروژن بالاتر از ۱ بود و گیاه پنبه در سطح کودی ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار، دارای بالاترین (۰/۵۷) کارایی نسبی جذب نیتروژن بود، ولی در سطح کودی صفر، به دلیل کمبود نیتروژن، ذرت با جذب سهم زیادی از آن، باعث شد که پنبه با کاهش نیتروژن مواجه شده و

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1397.20.4.1.0]

موجب کاهش کارایی جذب نسبی پنبه (۰/۴۷) و افزایش آن در ذرت (۰/۵۵) شود. بررسی نسبت برابری زمین برای کارایی تبدیل نیتروژن، در کشت مخلوط ذرت و پنبه، نشان داد که هر دو گیاه پنبه و ذرت در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص، نیتروژن جذب شده را با کارایی بالاتری به عملکرد اقتصادی تبدیل کردند (Koocheki *et al.*, 2015).

نتیجه‌گیری

نتایج این آزمایش نشان داد که در هر دو گیاه لوبیا و ذرت وقتی که کارآیی مصرف (بهره‌وری) نیتروژن بر اساس عملکرد دانه محاسبه شد، در کلیه تیمارها کارایی تبدیل نیتروژن از سهم بیشتری برخوردار بود، اما در بهره‌وری نیتروژن بر اساس عملکرد زیست توده، کارایی تبدیل نیتروژن از اهمیت کمتری برخوردار بوده و نقش ضعیفی در بهره‌وری نیتروژن داشت. در شرایط مصرف کود نیتروژن، از بین نسبت‌های کاشت، مخلوط ردیفی (۵۰: ۵۰) لوبیا و ذرت از کارایی جذب بالاتری برای هر دو گونه برخوردار بود. در مجموع نسبت کاشت ۱ ذرت: ۱ لوبیا (۵۰ درصد ذرت : ۵۰ درصد لوبیا) دارای بالاترین نسبت برابری زمین کل (۱/۱۰) بود، بنابراین به نظر می‌رسد که استفاده از کشت مخلوط ردیفی ذرت و لوبیا، راه حل مناسبی برای پایداری در جهت کاهش تلفات نیتروژن و بهبود کارایی جذب آن و در نتیجه جلوگیری از مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی و بهبود بهره‌وری این نهاده در بوم نظام‌های زراعی باشد.

منابع مورد استفاده

References

Afsharmanesh, Gh.R. 2013. Effect of maize and potato intercropping on yield and yield components in early spring planting in Jiroft region. Iran. J. Crop Sci. 14(4): 333-345. (In Persian with English abstract).

Ahmadi, M., F. Mondani, M. Khoramivafa, G. R. Mohammadi and A. Shirkhani. 2018. Evaluation of nitrogen uptake and productivity of maize cultivars(*Zea mays* L.) under Kermanshah climate conditions. J. Agroecol. 10(1): 234-247.

Ameri, A., M. Nassiri Mahallati and P. Rezvani Moghadam. 2007. Effects of different nitrogen levels and plant density on flower, essential oils and extract production and nitrogen use efficiency of marigold (*Calendula officinalis*). Iran. J. Field Crops Res. 5(2): 315-325. (In Persian with English abstract).

Bandyopadhyay, K. K. and M. C. Sarkar. 2005. Nitrogen use efficiency, ^{15}N balance, and nitrogen losses in flooded rice in an inceptisol. Commun. Soil Sci. Plant. 36: 1661-1679.

Barraclough, P. B., J. R. Howarth, J. Jones, R. Lopez-Bellido, S. Parmar, C. E. Shepherd and M. J. Hawkesford. 2010. Nitrogen efficiency of wheat: genotypic and environmental variation and prospects for improvement. Agron. J. 33: 1-11.

Bingham, I. J., A. J. Karley, P. J. White, W. T. B. Thomas and J. R. Russell. 2012. Analysis of improvements in nitrogen use efficiency associated with 75 years of spring barley breeding. Agron. J. 42: 49-58.

Dahmardeh, M., A. Ghanbari, B. A. Siahsar and M. Ramroudi. 2012. Evalution of forage yield and protein content of maize and cowpea (*Vigna unguiculata* L.) intercropping. Iran. J. Crop Sci. 13(4): 658-670. (In Persian with English abstract).

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1397.20.4.1.0]

Doberman, A. and K. G. Cassman. 2002. Plant nutrient management for enhanced productivity in intensive gain production systems for the United States and Asia. Plant Soil. 247: 247-278.

Dodge, Y. 2008. The Concise Encyclopedia of Statistics. Springer Science & Business Media, LLC, 616 p.

Dordas, C. A. 2011. Nitrogen nutrition index and its relationship to N use efficiency in linseed. Agron. J. 34: 124–132.

Farid, M. and A. Navabi. 2015. N_2 fixation ability of different dry bean genotypes. Can. J. Plant Sci. 95: 1243_1257.

Gaju, O., V. Allard, P. Martre, J. W. Snape, E. Heumez, J. LeGouis, D. Moreau, M. Bogard, S. Griffiths, S. Orford, S. Hubbart and M. J. Foulkes. 2011. Identification of traits to improve the nitrogen-use efficiency of wheat genotypes. Field Crops Res. 123: 139-152.

Gallais, A. and M. Coque. 2005. Genetic variation and selection for nitrogen use efficiency in maize, a synthesis. Maydica, 50: 531-547.

Ghale Noyee, Sh., A. Koocheki, M. T. Naseri Poor Yazdi and M. Jahan. 2017. Effect of different treatments of mixed and row intercropping on yield and yield components of sesame and bean. Iran. J. Field Crops Res. 15(3): 588- 602. (In Persian with English abstract).

Ghosh, P. K., A. K. Tripathi, K. K. Bandyyopadhyay and M. C. Manna. 2009. Assessment of nutrient competition and nutrient requirement in soybean/sorghum intercropping system. Eur. J. Agron. 31: 43-50.

Haghjoo, M. and A. Bahrani. 2014. Effect of irrigation and nitrogen fertilizer on grain yield, yield components and dry matter remobilization of maize *cv*. SC 260. Iran. J. Crop Sci. 16(4): 278-292. (In Persian with English abstract).

Inthapanya, P., P. Sihavong, V. Sihathep, M. Chanfengasy, S. Fukai and J. Basnayake. 2000. Genotype performance under fertilized and non-fertilized condition in rainfed lowland rice. Field Crops Res. 65: 1-14.

Jahan, M., J. Azimzadeh and M. Abdollahi. 2017. Handbook of biofertilizers and microbial pesticides for sustainable agriculture. Education and Agricultural Promotion Press (In Persian).

Khaki Najafabadi, A., M. Jahan, A. Koocheki and M. Nassiri Mahalati. 2017. Effects of intercropping of common millet (*Panicum miliaceum* L.) – cowpea (*Vigna unguiculata* L.) and biological fertilizer inoculation on water and nitrogen use efficiencies. Iran. J. Field Crops Res. 17(3): 691- 708. (In Persian with English abstract).

Koocheki, A., M. Nassiri Mahallati, R. Moradi and Y. Alizadeh. 2015. Evaluation of yield and nitrogen use efficiency of maize and cotton intercropping under different nitrogen levels**.** Iran. J. Field Crops Res. 13(1): 1- 13. (In Persian with English abstract).

Koocheki, A., M. Nassiri Mahallati, Z. Borumand Rezazadeh and S. Khorramdel. 2010. Effect of delayed, intercropping wheat and corn on nitrogen use and utility efficiency. 1th Iranian Conference of Sustainable Agricultural and Healthy Crop Production. 10-11 November. Agricultural and Natural Resources Research Center, Isfahan, Iran. (In Persian).

Kropff, M. J. 1993. Mechanisms of Competition for Nitrogen. *In:* Kropff, M. J. and van Laar, H. H. (Eds.). Modelling Crop-Weed Interactions. CAB International.

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1397.20.4.1.0]

Lack, S., A. Naderi, S. Siadat, A. Ayenehband and G. Noormohammadi. 2006. Effect of different levels of nitrogen and plant density on grain yield, its components and water use efficiency in maize (*Zea mays* L.) cv. SC. 704 under different moisture conditions in Khuzestan. Iran. J. Crop Sci. 8: 153-170. (In Persian with English abstract).

Moll, R. H., E. J. Kamprath and W. A. Jackson. 1982. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. Agron. J. 74: 562–564.

Nassiri Mahallati, M. and A. Koocheki. 2017. Trend analysis of nitrogen use and productivity in wheat (*Triticum aestivum* L.) production systems. J. Agroecol. 9(2): 360- 378. (In Persian with English abstract).

Pahlevanloo, P., M. Rahimizadeh and M. R. Tookalloo. 2015. Evaluation of nitrogen use efficiency in intercropping of maize and soybean. J. Crop Improv. 17(4): 967-978. (In Persian with English abstract).

Sinebo, W., R. Gretzmacher and A. Edelbauer. 2004. Genotypic variation for nitrogen use efficiency in Ethiopian barley. Field Crops Res. 85: 43-60.

Singh, M. 2012. Influence of organic mulching and nitrogen application on essential oil yield and nitrogen use efficiency of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.). Arch. Agron. Soil Sci. 59: 273-279.

Tavakkoli Kakhki, H. R. 2016. Zoning and evaluation of nitrogen use efficiency and nitrogen balance for wheat and corn cropping systems of Iran by using simulation model and GIS. Ph.D Dissertation. Ferdowsi University of Mashhad. (In Persian with English abstract).

Zhang, D., W. Li, C. Xin, W. Tang, A. E. Eneji and H. Dong. 2012. Lint yield and nitrogen use efficiency of field-grown cotton vary with soil salinity and nitrogen application rate. Field Crops Res. 138: 63-70.

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1397.20.4.1.0]

Effect of intercropping replacement ratios of maize (*Zea mays* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.) on yield and nitrogen use efficiency indices

Hosseinzadeh, S. [1], M. Jahan[2], M. Nassiri Mahallati[3] and K. Haj Mohammadnia Ghalibaf [4]

ABSTRACT

Hosseinzadeh, S., M. Jahan, M. Nassiri Mahallati and K. Haj Mohammadnia Ghalibaf. 2019. Effect of intercropping replacement ratios of maize (*Zea mays* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.) on yield and nitrogen use efficiency indices**. Iranian Journal of Crop Sciences. 20(4): 267-287. (In Persian).**

To evaluate nitrogen use efficiency in intercropping replacement ratios of maize and bean, an experiment was conducted during two successive cropping years of 2014-2015 and 2015-2016 at Agricultural Research Station, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. Experimental factors were arranged as split plots in randomized complete block design with three replications. The main plots consisted of sole culture of maize and bean, row intercropping with ratios of 50%:50%, 67%:33% (2 rows of maize: 1 row of bean) and 33%: 67% (1 row of maize: 2 rows of bean). Application and no-application of nitrogen (N) fertilizer (55 $kg.ha^{-1}$) were assigned to sub plots. The results showed that different ratios of maize and bean intercroppings and application of nitrogen fertilizer had significant effects on grain yield and biomass as well as nitrogen use efficiency indices (such as uptake, utilization and productivity). Maximum grain yield and biomass of bean (3462.1 and 10124.5 $kg.ha^{-1}$ respectively) and maize (5974.1 and 18321 $kg.ha^{-1}$, respectively) were obtained from sole cropping of bean and maize. In both crops, N utilization efficiency was higher in all treatments when nitrogen productivity was calculated using grain yield. In nitrogen application treatment, the row intercropping ratio of 50:50 of bean and maize had higher nitrogen uptake efficiency for both crops. Also, the ratio of planting 1 maize: 1 bean (50% maize: 50% bean) had the highest total land equivalent ratio (1.10) using grain yield, nitrogen uptake efficiency (2.30) and nitrogen productivity efficiency (using grain yield (1.98) and biological yield (2.02)). Therefore, it can be concluded that the use of maize and bean row intercropping is an environmental friendly cfrop management pratctice to reduce nitrogen losses and improve its uptake efficiency, and to prevent the excessive use of chemical fertilizers and improve the productivity of these inputs in agroecosystems.

Key words: Bean, Biological yield, Maize, Nitrogen uptake efficiency and Row intercropping.

Received: May, 2018 **Accepted: January, 2019**

1. Ph.D. Student, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
2. Associate Prof. Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran (Corresponding author)(Email: jahan@ferdowsi.um.ac.ir)
3. Professor, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
4. Assistant Prof. Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1397.20.4.1.0]