نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۵، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۶، ص. ۷۰۸-۶۹۱

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 15, No. 3, Fall. 2017, p. 691-708

اثر ترکیب‌های مختلف کاشت و کود زیستی بر کارآیی مصرف آب و نیتروژن در کشت مخلوط ارزن معمولی (*Panicum miliaceum* L.) و لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata* L.)

اسداله خاکی نجف آبادی[۱]- محسن جهان[۲*]- علیرضا کوچکی[۳]- مهدی نصیری محلاتی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۰/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۷/۰۶

چکیده

به‌منظور ارزیابی اثر کشت مخلوط ارزن معمولی و لوبیا چشم‌بلبلی و استفاده از کود زیستی برکارآیی مصرف آب و نیتروژن، آزمایشی طی سال ۱۳۹۳ در نجف‌آباد اصفهان به‌صورت کرت‌های خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. دو سطح کود زیستی فسفاته بارور۲ به‌عنوان عامل کرت اصلی و شش ترکیب کاشت شامل: کشت خالص ارزن معمولی، کشت خالص لوبیا چشم‌بلبلی و نسبت‌های مخلوط سری‌های افزایشی شامل: ۱۰۰٪ ارزن+ ۲۵٪ لوبیا چشم‌بلبلی، ۱۰۰٪ ارزن+ ۵۰٪ لوبیا چشم‌بلبلی، ۱۰۰٪ ارزن+ ۷۵٪ لوبیا چشم‌بلبلی و ۱۰۰٪ ارزن+ ۱۰۰٪ لوبیا چشم‌بلبلی، به‌عنوان عامل کرت فرعی در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که اثر کود زیستی بر کارآیی مصرف آب، کارآیی‌های نیتروژن شامل: کارآیی جذب، کارآیی فیزیولوژیک و کارآیی مصرف نیتروژن معنی‌دار بود. نسبت‌های کاشت نیز اثر معنی‌داری بر کارآیی مصرف آب و شاخص‌های کارآیی نیتروژن داشتند، به‌طوری‌که بیشترین کارآیی مصرف آب (۰/۷۰۴، ۰/۴۷۳ و ۰/۷۸۴ کیلوگرم دانه بر متر مکعب آب) به‌ترتیب برای ارزن در تیمار ۱۰۰٪ ارزن +۲۵٪ لوبیا چشم‌بلبلی، برای لوبیا چشم‌بلبلی در کشت خالص و برای مجموع دو گونه در تیمار ۱۰۰٪ ارزن+ ۲۵٪ لوبیا چشم‌بلبلی حاصل شد. همچنین بیشترین کارآیی جذب نیتروژن (۷۷/۷، ۱۰۱/۷ و ۱۲۰/۲ درصد)، کارآیی فیزیولوژیک نیتروژن (۵۵/۳، ۳۷ و ۶۶/۸کیلوگرم دانه به‌ازای هر کیلوگرم نیتروژن زیست توده) و کارآیی مصرف نیتروژن (۴۳/۲، ۳۷/۷ و ۴۸/۱ کیلوگرم دانه به‌ازای هر کیلوگرم نیتروژن خاک) به‌ترتیب برای ارزن در تیمار ۱۰۰٪ ارزن+ ۲۵٪ لوبیا چشم‌بلبلی، برای لوبیا در کشت خالص آن و برای مجموع دو گونه نیز در تیمار ۱۰۰٪ ارزن + ۲۵٪ لوبیا چشم‌بلبلی به‌دست آمد. لذا چنین استنباط می‌شود که مدیریت مبتنی بر درک صحیح از اصول و مبانی اکولوژیکی سیستم‌های کشت مخلوط و استفاده از کودهای زیستی می‌تواند رهیافتی جهت بهره‌وری و استفاده بهینه از منابع (آب و نیتروژن) به‌منظور تولید مطلوب، کاهش هزینه‌ها و وابستگی به منابع گران قیمت، کاهش آلودگی‌ها و فشارهای زیست محیطی در سامانه‌های کشاورزی پایدار باشد.

واژه‌های کلیدی: سری‌های افزایشی، عملکرد دانه، کارآیی مصرف نیتروژن، کود زیستی فسفره

مقدمه

افزایش جمعیت جهان، تخریب منابع طبیعی و به دنبال آن نیاز مبرم به افزایش تولیدات غذایی از چالش‌های اساسی دنیای امروز به‌شمار می‌رود (Javanshir *et al*., 2000). این چالش‌ها در مناطقی که ویژگی‌های اقلیمی و محیطی، محدودکننده‌ی تولیدات کشاورزی هستند، مانند مناطق خشک و نیمه‌خشک اهمیت دوچندان پیدا کرده‌است (Mahdavi- Damghani *et al*., 2007). شیوه‌های کشاورزی رایج، تولید آینده را به قیمت افزایش تولید فعلی به خطر انداخته‌اند، به‌طوری‌که علایم زوال و نابودی شرایط موردنیاز برای تولید پایدار در گذر زمان بیش از پیش آشکار شده‌است (Gliessman, 1998; Nasiri- Mahallati *et al*., 2001). از این‌رو، بازنگری در شیوه‌های متداول کشاورزی و راهکارهای مربوط به استفاده بهینه از زمین و افزایش تولید، اهمیت خود را بیشتر نمایان می‌کند. یکی از

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی دکتری بوم‌شناسی زراعی، دانشیار و استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: (Email: jahan@um.ac.ir
DOI: 10.22067/gsc.v15i3.52944

شیوه‌های هم‌راستا با اهداف اکولوژیک، کشت مخلوط است که کشت همزمان دو یا چند محصول را در یک مزرعه ممکن می‌سازد. کشت مخلوط در مناطق و اقلیم‌های مختلف توانسته است عملکرد کل را در واحد سطح در مقایسه با کشت خالص افزایش دهد. این سیستم علاوه بر حفظ تعادل اکولوژیک و ثبات سیستم، اهدافی نظیر بهره‌برداری حداکثر از منابع محیطی مثل آب، خاک، موادغذایی، افزایش کمی و کیفی عملکرد، کاهش خسارات ناشی از آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز و بالاخره بهبود شرایط اجتماعی نظیر ثبات بیشتر اقتصادی و تغذیه مناسب انسان را دنبال می‌کند (Javanshir *et al*., 2000). کشت مخلوط نمودی از یک نظام پایدار کشاورزی است که دارای اهمیت فراوانی از جمله استفاده بهینه از تمامی منابع مانند نور، آب و عناصر غذایی خاک می‌باشد (Koocheki, 2001). به‌طور کلی، بررسی عملکرد در سیستم‌های کشت مخلوط در گرو انتخاب گیاهان سازگار و واجد صفات مناسب برای ایجاد حداقل رقابت و حداکثر همیاری و به‌کارگیری عملیات زراعی مناسب می‌باشد (Nachigera *et al*., 2008; Najafi *et al*., 2015). کشت مخلوط غلات- حبوبات (غیرلگوم ـ لگوم) یکی از قدیمی‌ترین و معمول‌ترین انواع زراعت مخلوط است که در بسیاری از نقاط جهان گسترش یافته‌است (Francis, 1986; Francis, 1996; Papendick *et al*., 1983; Touzi *et al*., 2010; Wahuma and Miller, 1987). ارزن در مناطق گرمسیری نیمه‌خشک غرب آفریقا به‌طور سنتی به‌صورت مخلوط کشت می‌گردد. در نیجریه بیشتر از ۸۷ درصد از اراضی به‌صورت مخلوط کشت می‌شوند. در بسیاری از موارد کشت مخلوط ارزن با لوبیا چشم‌بلبلی، سورگوم (*Sorghum bicolor* L.)، ذرت (*Zea mays* L.) و بادام‌زمینی (*Arachis hypogaea* L.) صورت می‌گیرد. در هند، ارزن به‌ندرت به‌صورت خالص کشت می‌شود. در کشت مخلوط ارزن و لوبیا قرمز مشاهده کردند که عملکرد گونه غله در کشت مخلوط به مراتب بالاتر از کشت‌های خالص بود، آن‌ها این برتری را به کارآیی بهتر استفاده از منابع مانند جذب آب، عناصر غذایی و جذب مؤثر نور در کانوپی گیاهان تشکیل‌دهنده‌ی زراعت نسبت دادند (Tavassoli *et al.,* 2010). در سیستم کشت مخلوط ارزن نوتریفید با ماشک (*Vicia sativa* L.) نیز گزارش شد که عملکرد مخلوط در مقایسه با کشت خالص نسبت برابری زمین بالاتری دارد، آن‌ها این امر را به بهره‌گیری ارزن از بقایای نیتروژن ماشک و کاهش رقابت درون‌گونه‌ای نسبت دادند (Sirousmehr *et al*., 2003).

نیتروژن و فسفر از عناصر پرمصرف و مؤثر در بهبود رشد و عملکرد گیاهان زراعی است. مشکلات زیست‌محیطی ناشی از کاربرد بی‌رویه کودهای شیمیایی، هزینه‌های تولید و مصرف آن‌ها و اثرات منفی که بر چرخه‌های زیستی و خودپایداری بوم‌نظام‌های زراعی دارند از یک سو و مسئله تأمین غذای کافی و با کیفیت مناسب برای جمعیت روزافزون جهان از دیگر سو، تجدیدنظر در روش‌های افزایش تولید محصولات زراعی را ضروری ساخته است (Najafi *et al*., 2015). مدیریت صحیح حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه علاوه‌بر کاهش آلودگی‌های شیمیایی و حفظ تنوع زیستی با اجتناب از کاربرد غیر ضروری و بی‌رویه عناصر غذایی، هزینه‌ها را به حداقل رسانده و کارآیی نهاده‌ها را افزایش می‌دهد (Koocheki *et al*., 2010). استفاده از انواع کودهای زیستی و آلی با هدف حذف یا کاهش چشمگیر در مصرف نهاده‌های شیمیایی، یک راه‌حل مناسب جهت غلبه بر این نگرانی‌ها در کشاورزی پایدار به‌شمار می‌رود (Saleh Rastin, 2001). کودهای زیستی، حاوی مواد نگه‌دارنده با جمعیت متراکم یک چند نوع ریزجاندار مفید خاک‌زی و فرآورده‌های متابولیک این موجودات هستند که به‌منظور بهبود حاصلخیزی خاک و عرضه مناسب عناصر غذایی موردنیاز گیاه در یک سیستم کشاورزی پایدار به‌کار می‌روند (Jahan and Nasiri Mahallati, 2010). باکتری‌های محرک رشد از طریق تأثیر بر فیزیولوژی و مورفولوژی ریشه گیاهان تلقیح شده موجب افزایش جذب عناصر غذایی و رشد بیشتر گیاهان می‌شوند (Mahdavipur *et al*., 2001). کودزیستی فسفر بارور۲ حاوی باکتری‌هایی از دو جنس *Bacillus*, *Pseudomonas* است که با استفاده از دو سازوکار ترشح اسیدهای آلی و آنزیم فسفاتاز، فسفر نامحلول خاک را به شکل قابل جذب برای گیاه در می‌آورند (Hosseinzadeh, 2005). Madani *et al,* (2006) گزارش کردند که عملکرد دانه، زیست‌توده و وزن خشک بوته لوبیا ۴۰ روز پس از کاشت تحت تأثیر انواع مختلف کودزیستی فسفر قرار گرفت. محققین بیان کردند که باکتری‌های حل‌کننده‌ی فسفات و میکوریزا، عملکرد دانه، وزن هزاردانه و تعداد دانه در بلال را در ذرت دانه‌ای رقم سینگل کراس ۷۰۴ افزایش دادند (Sani *et al.,* 2008). Dileep-Kumar *et al,* (2007) گزارش کردند که تلقیح بذرهای نخود با باکتری *Pseudomonas fluorescens* منجر به افزایش ارتفاع ساقه، طول ریشه و وزن خشک گیاه نسبت به شاهد شد.

بهبود کارآیی نیتروژن یک استراتژی اساسی جهت ارتقاء سیستم‌های کشاورزی پایدار است (Sharpe *et al*., 2001). محققین اظهار داشتند که اگر خاک به لحاظ نیتروژن آلی و زیست‌توده میکروبی غنی باشد، بدون کاربرد کود نیتروژن می‌توان عملکرد بالایی به‌دست آورد (Huggins and Pan, 1993). از جمله عوامل مدیریتی مؤثر در افزایش کارآیی عناصر غذایی در نظام‌های زراعی می‌توان به مواردی نظیر بهره‌گیری از سیستم‌های کشت مخلوط، تناوب زراعی و کود سبز اشاره کرد. نظام‌های چند کشتی در مقایسه با کشت خالص، منابع از جمله نیتروژن را با کارآیی بیشتری مورد بهره‌برداری قرار می‌دهند که دلیل این امر، افزایش بازیافت نیتروژن و تولید ماده خشک و همچنین تنوع بالاتر و در پی آن کارآیی بیشتر و استفاده بهتر از منابع است (Koocheki *et al*., 2010). فراهم‌سازی شرایط

لازم برای استفاده بیشتر از فرآیندهای طبیعی مانند تثبیت زیستی نیتروژن، یکی از راهکارهای تولید بهینه محصول و مهم‌تر از آن حفظ سلامت محیط‌زیست است (Vessey, 2003). بیشترین میزان نیتروژن تثبیت شده به روش زیستی در کشاورزی توسط ریزوبیوم‌ها در همزیستی با ریشه لگوم‌ها تولید می‌شود (Chabot and Antoun, 1996). استفاده از نیتروژن تثبیت‌شده بقولات توسط غلات عمدتاً به‌عنوان مهم‌ترین مزیت کشت مخلوط غلات- بقولات ذکر گردیده‌است (Francis, 1986; Francis, 1996; Papendick *et al*., 1983; Touzi *et al*., 2010; Wahuma and Miller, 1987)، زیرا نیتروژنی که توسط فرآیند تثبیت‌زیستی تولید و فراهم می‌شود، به دلیل این‌که به‌طور تدریجی آزاد می‌شود و میزان فراهمی آن نیز تا حد زیادی با نیاز گیاه غیر لگوم منطبق است، به مراتب تأثیر بسیار بیشتری بر کارآیی نیتروژن و عملکرد محصول خواهد داشت (Roy and Tripathi, 2005). در کشت مخلوط لگوم- غیرلگوم احتمالاً رقابت برای جذب نیتروژن نیز کاهش می‌یابد، چون لگوم متکی به نیتروژن تثبیت شده اتمسفری است در حالی‌که گونه غیرلگوم از نیتروژن معدنی موجود در خاک استفاده می‌کند (Ghosh, 2004). ضمن بررسی کارآیی زراعی، کارآیی فیزیولوژیک و بازیافت ظاهری نیتروژن در کانوپی کشت مخلوط افزایشی ذرت- لوبیا، مشاهده شد که با افزایش میزان تراکم لوبیا چشم‌بلبلی به کشت ذرت در ترکیب‌های افزایشی، میزان کارآیی زراعی، کارآیی فیزیولوژیکی و بازیافت ظاهری نیتروژن نیز افزایش یافت (Salemzade *et al*., 2014). آن‌ها اظهار نمودند که لوبیا چشم‌بلبلی از طریق تثبیت زیستی، توانست مقداری از نیتروژن مورد نیاز گیاه ذرت را با حداقل تلفات در اختیار ریشه آن قرار داده و ریشه نیز با جذب آن، باعث افزایش عملکرد دانه و کارآیی‌های نیتروژن گردد. در مطالعه‌ای مشاهده گردید که عملکرد دانه و پروتئین خام ذرت در کشت مخلوط به‌طور معنی‌داری بیشتر از کشت خالص ذرت بود که دلیل این افزایش جذب بیشتر نیتروژن در سیستم کشت مخلوط، می‌تواند باشد (Dahmardeh *et al*., 2011).

پی‌آمدهای ناشی از کاهش منابع آبی و خشک‌سالی‌های متوالی در مقیاس جهانی باعث شده که اکثر رویکردهای پژوهشی و مطالعاتی به استفاده کاراتر از منابع اختصاص یابد. بهبود کارآیی استفاده از آب، به‌ویژه در زمینه کشاورزی که بیشترین مصرف آب را در بین بخش‌های مختلف دارد، از ضروری‌ترین و مهم‌ترین مواردی است که باید به آن پرداخته شود (Mirzaei and Jokar, 2014). تعیین الگوی بهینه کاشت محصولات زراعی بر اساس ویژگی‌های اکولوژیکی هر منطقه، یکی از راهکارهای مؤثر جهت افزایش کارآیی مصرف آب است، که باید به‌عنوان یک استراتژی کاربردی مورد توجه قرار گیرد. سیستم‌های کشت مخلوط، الگویی مناسب و عملی برای افزایش کارآیی مصرف آب در کشاورزی است. این امر به دلیل اختلاف مورفولوژیک و فیزیولوژیک بین گونه‌ها است که باعث اشغال آشیان‌های اکولوژیکی متفاوت می‌گردد. برتری بیولوژیک زراعت مخلوط نتیجه استفاده کامل‌تر از منابع است (Tavassoly *et al*., 2010). در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران که آب عامل محدودکننده است، می‌توان با استفاده از نظام‌های چندکشتی، کارآیی مصرف آب را افزایش داد (Mazaheri, 1994). Francis (1996) معتقد است که در شرایط محدودیت آب، کشت مخلوط از نظر کارآیی مصرف آب مزیت دارد. بسیاری از مطالعات نشان می‌دهد که با انجام درست کشت مخلوط، افزایش کارآیی استفاده از تابش، کارآیی استفاده از عناصر غذایی، کارآیی استفاده از آب و کارآیی استفاده از زمین حاصل می‌شود (Gao *et al*., 2009). طی مطالعه‌ای ۳ساله در ناحیه‌ای خشک گزارش شد که به احتمال زیاد، زمانی‌که سیستم سورگوم و لوبیا سبز (*Phaseolus vulgaris* L.) / لوبیا چشم‌بلبلی به‌جای سیستم سنتی آیش-گندم (*Triticum aestivum* L.) به‌کار گرفته‌شود، تولید و کارآیی مصرف آب افزایش می‌یابد (Tanwar *et al*., 2014). محققین بیان کردند که چندکشتی غلات- بقولات در مناطق کم آب در تولید غذا موفق‌تر از کشت خالص آن‌ها بوده‌است (Tsubo *et al*., 2001).

باتوجه به اهمیت اکولوژیکی، زراعی و زیست‌محیطی نظام‌های چندکشتی و کودهای زیستی و نیز لزوم ارزیابی دقیق این نظام‌ها و نهاده‌ها از حیث شاخص‌های علمی، این تحقیق با هدف ارزیابی نظام‌های کشت خالص و مخلوط دو محصول با ارزش ارزن معمولی و لوبیا چشم‌بلبلی و نقش کود زیستی به‌منظور دستیابی به مناسب‌ترین ترکیب‌های کشت این دو گونه و توصیه‌های کودی از نظر عملکرد مطلوب و کارآیی استفاده از منابع، انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

آزمایش طی سال ۱۳۹۳ در مزرعه‌ای واقع در نجف‌آباد اصفهان با عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۲۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۳۶ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۶۳۰ متر از سطح دریا، در قالب کرت‌های خردشده بر پایه‌ی طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عامل کرت اصلی کود زیستی فسفاته بارور۲ در دو سطح a_1 (استفاده از کود زیستی دارای باکتری‌های دو جنس *Bacillus* و *Pseudomonas* با فرمولاسیون مایع و CFU برابر با 10^8) و a_2 (بدون کاربرد کود زیستی به‌عنوان شاهد) و عامل کرت فرعی نسبت‌های مختلف کشت مخلوط به‌صورت سری‌های افزایشی شامل: b_1 (کشت خالص ارزن)، b_2 (۱۰۰درصد ارزن+ ۲۵ درصد لوبیا)، b_3 (۱۰۰درصد ارزن+ ۵۰ درصد لوبیا)، b_4 (۱۰۰درصد ارزن+ ۷۵درصد لوبیا)، b_5 (۱۰۰درصد ارزن+ ۱۰۰درصد لوبیا) و b_6 (کشت خالص لوبیا) بود که در ۲۰ خرداد ماه ۱۳۹۴همزمان به‌صورت نمکاری

کشت شدند. رقم ارزن پشاهنگ و رقم لوبیا کامران بود که از مرکز تحقیقات جهاد کشاورزی کرج تهیه گردید. بذور مربوط به تیمارهای دارای کود زیستی، بلافاصله قبل از کاشت مطابق روش استاندارد با کود زیستی به‌طور کامل آغشته شدند (Jahan and Nasiri Mahallati, 2012). فاصله ردیف‌ها در کلیه تیمارها ۵۰ سانتی‌متر و فاصله دو بوته بر روی ردیف‌های کشت خالص ارزن ۸/۶ و لوبیا ۱۰/۷ سانتی‌متر با تراکم ۲۰۰ هزار و ۱۶۰ هزار بوته در هکتار در نظر گرفته‌شد. در نسبت‌های افزایشی، فواصل بوته‌ها بر روی ردیف برای ارزن به‌عنوان گیاه ثابت ۶ سانتی‌متر و برای لوبیا به‌عنوان گیاه همراه در نسبت‌های ۱۰۰درصد ارزن+ ۵۰،۲۵، ۷۵ و ۱۰۰درصد لوبیا چشم‌بلبلی به‌ترتیب با تراکم ۴، ۸، ۱۲و ۱۶ بوته در مترمربع ۲۱/۴، ۱۰/۷، ۷/۱ و ۵/۴ سانتی‌متر بود که به‌صورت یک ردیف در میان با ارزن قرار گرفت. خاک محل آزمایش لومی سیلت و سال قبل از آزمایش تحت آیش قرار داشت. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی محل آزمایش

Table 1- Some physical and chemical soil properties in experimental site

عمق Depth	بافت Texture	وزن مخصوص ظاهری Specific gravity (g cm^{-3})	هدایت الکتریکی EC (dS m^{-1})	pH اسیدیته	کربن آلی OM (%)	نیتروژن N	فسفر P	پتاسیم k
						(mg kg^{-1})		
(30cm)	لومی سیلت Lomy-silt	1.4	0.92	7.2	0.83	16.2	15.5	234

همچنین جهت ارزیابی میزان تغییرات نیتروژن خاک در طول دوره رشد گیاهان، قبل از انجام عملیات کاشت و در پایان دوره اقدام به نمونه‌برداری تصادفی از عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک هر کرت شد. آبیاری به روش نشتی و براساس عرف محل با دور هفت روز یک‌بار صورت گرفت. برای تعیین مقدار کل آب مصرفی از کنتور حجمی با دقت ۰/۰۰۰۱ متر مکعب به‌طور مستقل برای هر تیمار در مجموع مراحل آبیاری استفاده‌شد. در زمان آماده‌سازی زمین و در طول دوره رشد از هیچ‌گونه کود و یا سموم شیمیایی استفاده نشد. کنترل علف‌های هرز به‌صورت دستی و همزمان با تنک کردن در دو مرحله انجام شد.

به‌منظور ارزیابی کارآیی مصرف آب و کارآیی‌های نیتروژن در تیمارهای آزمایش در پایان فصل رشد، با حذف حاشیه‌ها از هر کرت، بوته‌های واقع در ۴/۵ متر مربع باقی‌مانده برداشت شد. پس از شمارش تعداد پانیکول‌های هر بوته ارزن و تعداد دانه‌های هر پانیکول و همچنین تعداد نیام‌های هر بوته لوبیا و تعداد دانه در هر نیام، پانیکول‌های ارزن و نیام‌های لوبیا جدا و نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد خشک و سپس توزین و درنهایت عملکرد دانه و ماده‌ی خشک اندازه‌گیری و ثبت شد (جدول‌های ۲ و ۳).

برای اندازه‌گیری میزان نیتروژن قابل دسترس خاک، میزان نیتروژن دانه و زیست‌توده ارزن و لوبیا به‌ترتیب از نمونه‌های خاک برداشت شده در ابتدا و انتهای آزمایش و نمونه دانه و زیست‌توده خشک‌شده مربوط به هر کرت، مقدار ۱۰۰ گرم نمونه تهیه و در آزمایشگاه با استفاده از دستگاه میکرو کجلدال عیارسنجی شد (Biari *et al.*, 2007) (جدول‌های ۳ و ۴). تغییرات نیتروژن خاک در ابتدا و انتهای آزمایش به‌عنوان میزان نیتروژن قابل دسترس گیاه در طول دوره رشد در نظر گرفته شد (Ameri *et al.*, 2007; Parsa *et al.*, 2009) (جدول ۵).

کارآیی مصرف آب آبیاری براساس عملکرد دانه از نسبت عملکرد دانه به مجموع آب مصرفی در طول دوره رشد از معادله ۱ به‌دست آمد (Taei *et al.*, 2008; Tavassoly *et al.*, 2010).

معادله (۱) $$\text{کارآیی مصرف آب آبیاری (WUE)} = \frac{\text{عملکرد دانه } (kg/ha)}{\text{مجموع آب مصرفی } (m^3/ha)}$$

کارآیی جذب، فیزیولوژیک و مصرف نیتروژن، به‌ترتیب با استفاده از معادلات (۲)، (۳) و (۴) محاسبه شد (Daneshmand *et al.*, 2006; Parsa *et al.*, 2009; Taei *et al.*, 2008).

معادله (۲) $$\text{کارآیی جذب نیتروژن (درصد)} = \frac{\text{عملکرد نیتروژن زیست توده } (kg/ha)}{\text{تغییرات نیتروژن خاک در طول دوره رشد } (kg/ha)}$$

معادله (۳) $$\text{کارآیی فیزیولوژیک نیتروژن} = \frac{\text{عملکرد دانه } (kg/ha)}{\text{تغییرات نیتروژن زیست توده } (kg/ha)}$$

معادله (۴) $$\text{کارآیی مصرف نیتروژن} = \frac{\text{عملکرد دانه } (kg/ha)}{\text{تغییرات نیتروژن خاک در طول دوره رشد } (kg/ha)}$$

داده‌های به‌دست آمده با استفاده از نرم‌افزارهای MSTAT-C, SAS 9.1 تجزیه آماری شدند و مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام گردید.

نتایج و بحث

کارآیی مصرف آب آبیاری براساس عملکرد دانه

نتایج نشان داد که کود زیستی فسفاته بارور ۲ تأثیر معنی‌داری بر کارآیی مصرف آب ارزن، لوبیا چشم بلبلی و مجموع دو گونه داشت ($P\leq0.05$). به‌طوری‌که برتری کارآیی مصرف آب براساس عملکرد دانه ارزن، لوبیا چشم‌بلبلی و مجموع دوگونه در تیمار استفاده از کود زیستی نسبت به شاهد به‌ترتیب ۳۳، ۳۶ و ۳۴ درصد بود (جدول ۲). دلیل این برتری به فعالیت‌های متابولیکی باکتری‌های حل‌کننده‌ی فسفات در آزادسازی فسفر از منابع غیر محلول به شکل قابل دسترس برای گیاه و سایر جانداران خاک‌زی، تجزیه مواد آلی و تسریع در چرخه عناصر غذایی اصلی و بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی خاک، افزایش مقاومت گیاه در مقابل عوامل بیماری‌زا و تولید هورمون‌های مختلف گیاهی مربوط می‌شود (Javanshir *et al*., 2000). در منابع متعدد (Francis, 1996; Gliessman, 1997; Wallace, 2001) به تأثیر کودهای زیستی بر افزایش کارآیی منابع تأکید شده‌است. در آزمایشی مشاهده شد که کمبود فسفر سبب کاهش فتوسنتز و کارآیی مصرف آب در گیاه *Pseudotsuga menziesii* گردید (Guehl and Garbaye, 1991). در پژوهشی گزارش شد که کارآیی مصرف آب در گندم میکوریزایی نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری را داشت (Ghazi and Al- karaka, 1998). محققین گزارش کردند که تلقیح دوگانه‌ی گیاه *Retama sphaerocarpa* با باکتری باسیلوس و قارچ گلوموس مقدار آب لازم برای تولید ۱ گرم ماده خشک اندام هوایی را به مقدار ۴۲ درصد کاهش داد (Marulanda *et al*., 2006).

اثر نسبت‌های کاشت نیز بر کارآیی مصرف آب ارزن، لوبیا و مجموع دو گونه معنی‌دار بود ($P\leq0.05$). در این آزمایش بیشترین کارآیی مصرف آب (۰/۷۰۴، ۰/۴۷۳ و ۰/۷۸۴ کیلوگرم دانه بر مترمکعب آب) و کمترین کارآیی مصرف آب (۰/۲۶۱، ۰/۰۸۰ و ۰/۴۴۹کیلوگرم دانه بر متر مکعب آب) به‌ترتیب برای ارزن در تیمارهای مخلوط (۱۰۰ درصد ارزن+ ۲۵ درصد لوبیا چشم‌بلبلی و ۱۰۰ درصد ارزن+ ۱۰۰درصد لوبیا چشم‌بلبلی)، برای لوبیا چشم‌بلبلی به‌ترتیب در تیمارهای کشت خالص و مخلوط (۱۰۰ درصد ارزن+ ۲۵ درصد لوبیا) و برای مجموع دو گونه در تیمارهای مخلوط (۱۰۰درصد ارزن+ ۲۵ درصد لوبیا چشم‌بلبلی و ۱۰۰ درصد ارزن+ ۱۰۰درصد لوبیا چشم‌بلبلی) حاصل شد (جدول ۲). کارآیی مصرف آب ارزن در دو تیمار ۱۰۰ درصد ارزن+ ۲۵ و ۵۰ درصد لوبیا چشم‌بلبلی نسبت به کشت خالص آن افزایش و در دو تیمار ۱۰۰ درصد ارزن +۷۵ و ۱۰۰ درصد لوبیا چشم‌بلبلی در مقایسه با کشت خالص ارزن کاهش دارد (شکل۱- الف و ب). دلایل این وضعیت، احتمالاً کاهش رقابت بین‌گونه‌ای نسبت به رقابت درون‌گونه‌ای ناشی از تراکم مطلوب به علت تسخیر آشیان‌های اکولوژیکی متفاوت توسط دو گونه گیاهی و استفاده بهینه از عوامل محیطی رشد و همچنین بهره‌جویی ارزن از همراهی گیاه لوبیا در تثبیت زیستی نیتروژن و در نتیجه افزایش عملکرد دانه در دو نسبت کاشت ۱۰۰ درصد ارزن+ ۲۵ و ۵۰ درصد لوبیا چشم‌بلبلی نسبت به کشت خالص ارزن بود. در حالی‌که در ترکیب‌های ۱۰۰ درصد ارزن+ ۷۵ و ۱۰۰ درصد لوبیا چشم‌بلبلی به لحاظ افزایش سهم لوبیا و رسیدن تراکم مخلوط به حد بحرانی خود، تشدید رقابت بین‌گونه‌ای و درون‌گونه‌ای ناشی از آن باعث گردیده که بیشتر منابع جهت حفظ برتری رقابتی صرف رشد رویشی گردد و در نتیجه کاهش عملکرد دانه در این دو ترکیب نسبت به کشت خالص ارزن باعث کاهش کارآیی مصرف آب شد. کارآیی مصرف آب در کشت خالص لوبیا چشم‌بلبلی در مقایسه با کلیه ترکیب‌های مخلوط آن دارای برتری معنی‌دار بود و دلیل این برتری نبود رقابت بین‌گونه‌ای (همچنین تراکم مطلوب) در کشت خالص است که باعث استفاده بهینه از عوامل محیطی رشد به‌خصوص نور، آب، عناصر غذایی و همچنین آسیمیلاسیون بیشتر مواد فتوسنتزی و افزایش عملکرد دانه به‌ازای هر واحد آب مصرف شده گردید. با کاهش سهم لوبیا در نسبت‌های مخلوط، به تبع کاهش عملکرد دانه، کارآیی مصرف آب نیز کاهش یافت که این امر دلیل وابستگی شدید عملکرد دانه و کارآیی مصرف آب به تراکم بوته است. در این آزمایش مجموع کارآیی مصرف آب دوگونه براساس عملکرد دانه در نسبت‌های مخلوط ۱۰۰ درصد ارزن+۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد لوبیا چشم‌بلبلی بیشتر از کشت خالص هر دو گونه بود. دلیل این برتری می‌تواند مربوط به کاهش رقابت بین‌گونه‌ای ناشی از افزایش سطح تراکم مطلوب دو گونه در این نسبت‌ها به علت اشغال آشیان‌های اکولوژیکی متفاوت و همچنین بهره‌گیری مساعدتی دو گونه از همجواری با یکدیگر باشد. کارآیی مصرف آب براساس مجموع عملکرد دانه دو گونه‌ی گیاهی در مخلوط ۱۰۰ درصد ارزن+ ۱۰۰ درصد لوبیا چشم‌بلبلی نسبت به کشت خالص هر دو گونه کاهش داشت. این امر نشان از رسیدن تراکم به حد بحرانی خود و عدم تکافوی منابع و در نتیجه تشدید رقابت بین گونه‌ای و صرف بیشتر مواد فتوسنتزی در توسعه رشد رویشی جهت برتری در رقابت در این نسبت از مخلوط بود. در این پژوهش سهم کارآیی مصرف آب ارزن در مجموع کارآیی مصرف آب دو گونه، بیشتر از سهم کارآیی مصرف آب لوبیا چشم‌بلبلی بود، که این موضوع مرتبط با مسیر فتوسنتزی گیاهان می‌باشد. در مطالعات مختلف مشاهده شد که عوامل مدیریتی از قبیل استفاده از کود مناسب، تراکم گیاهی مطلوب و سیستم‌های چندکشتی از طریق تأثیر بر عملکرد یا تبخیر و تعریق و یا هر دو، بر کارآیی مصرف آب تأثیر می‌گذارند (Payne, 1997; Richards *et al*., 2002; Mutungamiri *et al*., 2001; Tsubo *et al*., 2005). در آزمایشی روی کشت مخلوط ذرت – لوبیا چشم بلبلی گزارش کردند که در صورت تأمین آب خاک به مقدار کافی، کارآیی مصرف آب در کشت مخلوط بیشتر از کشت خالص دو گونه است (Hulugulle and Lal, 1986). در آزمایشی روی کشت مخلوط گندم و کتان (*Linum usitatissimum* L.) دریافتند که کارآیی مصرف آب در سیستم کشت مخلوط بیشتر از کارآیی مصرف

آب در کشت خالص همان گیاهان بود (Singh *et al*., 1992). در ارزیابی کارآیی مصرف آب در سیستم‌های تک کشتی و کشت مخلوط ارزن مرواریدی و لوبیا قرمز، گزارش کردند که بالاترین کارآیی مصرف آب ارزن و لوبیا از نسبت‌های مختلف کشت مخلوط و کمترین مقدار کارآیی مصرف آب از تیمار کشت خالص لوبیا حاصل شد (Tavassoly *et al*., 2010). آنها علت این برتری را وجود سیستم ریشه‌ای متفاوت دو گونه بیان کردند که سبب می‌شود جذب آب و عناصر غذایی از حجم بیشتری از خاک صورت گرفته و موجب افزایش عملکرد و در نتیجه باعث افزایش کارآیی مصرف آب در سیستم مخلوط در مقایسه با تک کشتی همان گیاهان شود. محققین نیز در ارزیابی راندمان جذب، مصرف و بهره‌وری آب در سیستم‌های کشت خالص و چند کشتی کلزا، لوبیا و ذرت پی‌بردند که کارآیی مصرف آب براساس عملکرد دانه در کشت خالص کلزا (*Brassica napus* L.)، لوبیا و ذرت بیشترین مقادیر را به خود اختصاص داد (Najibnia *et al*., 2014). آن‌ها یکی از دلایل کاهش کارآیی مصرف آب در الگوها و ترکیب‌های مختلف مخلوط را، سایه‌اندازی کلزا روی گیاهچه‌های جوان لوبیا و ذرت ذکر کردند.

جدول ۲- مقادیر کارآیی مصرف آب ارزن، لوبیا چشم‌بلبلی و مجموع دو گونه تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی

Table 2- Water use efficiency of millet, Cowpea and total of two species

کارآیی مصرف آب Water use efficiency (kg_{grain}/m^3_{water})			
تیمار Treatment	ارزن Millet	لوبیا Cowpea	مجموع دوگونه Total
کود زیستی (A)			
استفاده از کود (a_1)	0.471a	0.211a	0.682a
شاهد (a_2)	0.317b	0.135b	0.453b
نسبت‌های کاشت (B)			
(b_1) 100+0	0.508c	0f	0.508c
(b_2) 100+25	0.704a	0.080e	0.784a
(b_3) 100+50	0.540b	0.133d	0.673b
(b_4) 100+75	0.354d	0.166c	0.520c
(b_5) 100+100	0.261e	0.188b	0.449e
(b_6) 0+100	0f	0.473a	0.473d
اثر متقابل (A × B)			
کود زیستی (a_1b)			
(a_1b_1) 100 + 0	0.60c	0i	0.60d
(a_1b_2) 100+25	0.84a	0.09g	0.93a
(a_1b_3) 100+50	0.64b	0.16e	0.80b
(a_1b_4) 100+75	0.42e	0.20d	0.62c
(a_1b_5) 100+100	0.31g	0.23c	0.54f
(a_1b_6) 0+100	0j	0.57a	0.57e
بدون کود زیستی (a_2b)			
(a_2b_1) 100+0	0.41f	0i	0.41h
(a_2b_2) 100+25	0.56d	0.06h	0.62c
(a_2b_3)100+50	0.43e	0.10g	0.53f
(a_2b_4) 100+75	0.28h	0.14f	0.42g
(a_2b_5) 100+100	0.20i	0.15e	0.35j
(a_2b_6) 0+100	0j	0.38b	0.38i

در هر ستون و برای هر عامل، میانگین‌های با حروف مشترک، از نظر آماری در آزمون چند دامنه‌ای دانکن با یکدیگر اختلاف معنی‌دار ($P\leq0.05$) ندارند.

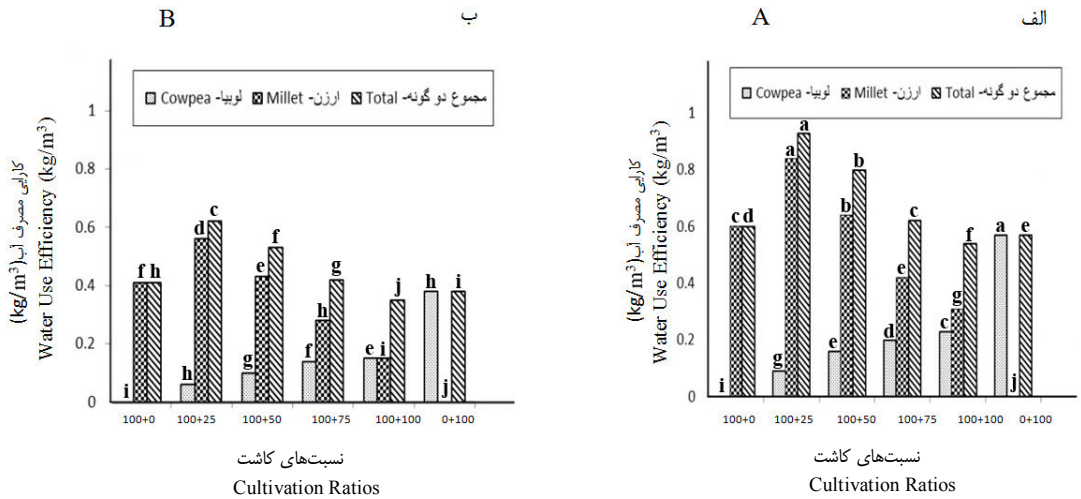
Means in each column for each factor, followed by the same letters are not significantly different ($P\leq0.05$).

کارآیی جذب (بازیافت)[1] نیتروژن

کارآیی جذب نیتروژن که براساس نسبت نیتروژن کل اندام‌های هوایی گیاه (جدول ۳ و ۴) به نیتروژن قابل دسترس گیاه در خاک

1- Nitrogen recovery efficiency

(جدول ۵) تعریف می‌شود تحت تأثیر معنی‌دار ($P\leq0.05$) کود زیستی قرار گرفت (جدول ۶)، به‌طوری‌که برتری کارآیی جذب نیتروزن ارزن، لوبیا و مجموع دو گونه در تیمار استفاده از کود زیستی نسبت به شاهد به‌ترتیب ۱۳/۴، ۱۵/۴ و ۱۴/۴درصد بود.



شکل ۱- تغییرات کارآیی مصرف آب ارزن و لوبیا تحت تأثیر تیمارها، الف- استفاده از کود زیستی فسفره، ب- شاهد (بدون کود)

میانگین‌های دارای حروف مشترک، از نظر آماری در آزمون چند دامنه‌ای دانکن با یکدیگر اختلاف معنی‌دار ($P\leq0.05$) ندارند.

Figure 1- Changing of water use efficiency of millet and cowpea as affected by treatments A- Applying phosphorus biological fertilizer, B- Control (without fertilizer)

دلیل اصلی این افزایش به نقش باکتری‌های حل‌کننده‌ی فسفات مربوط می‌شود که توانستند از طریق انحلال مواد معدنی فسفردار و تجزیه مواد آلی خاک و فراهمی عناصر اصلی غذایی در محیط ریشه گیاه، باعث افزایش عملکرد بیولوژیک و کارآیی جذب نیتروژن از خاک گردند. محققین در آزمایشی روی کارآیی آب و نیتروژن در دو رقم کلزا، بیان کردند که کارآیی جذب نیتروژن تابع قانون بازده نزولی است به‌طوری‌که در سطوح پایین تا متوسط مقادیر نیتروژن خاک، کارآیی جذب، افزایش و در سطوح بالاتر کاهش می‌یابد (Daneshmand *et al*., 2006). محققین دیگر (Parsa *et al*., 2009; Ameri *et al*., 2007) نیز در این زمینه نتایج مشابهی را گزارش کردند. در آزمایشی مشاهده شد که تلقیح ذرت با ازتوباکتر موجب افزایش وزن کل بوته و مقدار نیتروژن دانه در مقایسه با شاهد گردید (Biari *et al*., 2007).

براساس نتایج، اثر نسبت‌های کاشت برکارآیی جذب نیتروژن توسط ارزن، لوبیا چشم‌بلبلی و مجموع دو گونه نیز معنی‌دار بود ($P\leq0.05$)، به‌طوری‌که بیشترین کارآیی جذب نیتروژن (۷۷/۷، ۱۰۱/۷ و ۱۲۰/۶درصد) و کمترین آن (۴۷/۷، ۴۲/۵ و ۶۶/۷درصد) به‌ترتیب توسط ارزن در تیمارهای مخلوط (۱۰۰درصد ارزن+ ۲۵ درصد لوبیا و ۱۰۰درصد ارزن +۱۰۰ درصد لوبیا چشم بلبلی)، برای لوبیا چشم‌بلبلی به‌ترتیب درکشت خالص و کشت مخلوط (۱۰۰ درصد ارزن+ ۲۵ درصد لوبیا) و برای مجموع دو گونه در تیمار مخلوط (۱۰۰ درصد ارزن+ ۲۵ درصد لوبیا) و کشت خالص ارزن حاصل شد.

همان‌گونه که در شکل ۲-الف و ب ملاحظه می‌شود، کارآیی جذب نیتروژن توسط ارزن در تیمارهای ۱۰۰ درصد ارزن+ ۲۵ و ۵۰ درصد لوبیا چشم‌بلبلی بیشتر از کشت خالص ارزن و در دو تیمار ۱۰۰ درصد ارزن+ ۷۵ و ۱۰۰ درصد لوبیا چشم‌بلبلی کمتر از کشت خالص آن بود. یکی از دلایل وجود تفاوت در کارآیی جذب نیتروژن در ترکیب‌های مختلف مخلوط نسبت به کشت خالص ارزن، تسخیر آشیان‌های اکولوژیکی متفاوت توسط دو گونه و بالاتر بودن حد تراکم مطلوب و درنتیجه کاهش رقابت بین‌گونه‌ای و همچنین بهره‌گیری از اثرات مثبت همجواری با لوبیا چشم‌بلبلی در تثبیت بیولوژیکی نیتروژن و استفاده بهینه از منابع رشد در نسبت‌های مخلوط ۱۰۰ درصد ارزن+ ۲۵ و ۵۰ درصد لوبیا بود. در حالی‌که افزایش رقابت بین‌گونه‌ای ناشی از رسیدن تراکم به حد بحرانی خود به‌علت افزایش بیشتر سهم لوبیا در نسبت‌های مخلوط۱۰۰ درصد ارزن+ ۷۵ و ۱۰۰ درصد لوبیا و همچنین سایه‌اندازی دو گیاه بر یکدیگر و کاهش عملکرد اندام‌های هوایی نسبت به کشت خالص ارزن باعث کاهش نیتروژن اندام‌های هوایی گیاه به‌ازای هر واحد نیتروژن قابل دسترس گیاه در خاک شد.

در این آزمایش کارآیی جذب نیتروژن در تک‌کشتی لوبیا چشم‌بلبلی نسبت به ترکیب‌های مخلوط افزایش معنی‌داری داشت (جدول ۶). یکی از دلایل این برتری، بالاتر بودن عملکرد بیولوژیک لوبیا و به‌تبع آن نیتروژن زیست توده ناشی از تراکم مطلوب و استفاده

بهینه از عوامل محیطی رشد در کشت خالص و دیگری کاهش میزان جذب نیتروژن از خاک در این تیمار نسبت به تیمارهای مخلوط به دلیل تأمین قسمت اعظم نیاز نیتروژنی لوبیا از طریق فرآیند تثبیت بیولوژیکی نیتروژن اتمسفری توسط باکتری‌های ریزوبیوم همزیست با لوبیا چشم‌بلبلی بود. با کاهش سهم لوبیا در ترکیب‌های مخلوط از کارآیی جذب نیتروژن به دلیل کاهش عملکرد بیولوژیک و در نتیجه کاهش نیتروژن زیست‌توده به‌ازای هر واحد از نیتروژن قابل دسترس خاک کاسته شد. مجموع کارآیی جذب نیتروژن دو گونه در کلیه ترکیب‌های مخلوط نسبت به تک کشتی هر دو گیاه افزایش معنی‌داری نشان داد (شکل ۲). افزایش مجموع کارآیی جذب نیتروژن مخلوط در دو تیمار ۱۰۰درصد ارزن+ ۲۵ و ۵۰ درصد لوبیا عمدتاً ناشی از برتری کارآیی جذب نیتروژن ارزن در مقایسه با لوبیا بود، در حالی‌که این برتری در دو تیمار ۱۰۰ درصد ارزن+ ۷۵ و ۱۰۰ درصد لوبیا چشم‌بلبلی ناشی از برتری کارآیی جذب نیتروژن لوبیا در مقایسه با ارزن است، زیرا کارآیی جذب نیتروژن ارزن با افزایش سهم لوبیا در مخلوط کاهش داشت و کارآیی جذب نیتروژن لوبیا برعکس روند تغییرات ارزن با افزایش سهم لوبیا در نسبت‌های مخلوط افزایش پیدا کرد.

جدول ۳- عملکرد دانه و بیولوژیک و محتوای نیتروژن دانه و زیست‌توده ارزن معمولی تحت تأثیر سطوح مختلف کود و نسبت‌های کاشت

Table 3- Seed and biological yield, and seed and biomass nitrogen content of millet as affected by different levels of biofertilizers and cultivation ratios

تیمار Treatment	عملکرد Yield		نیتروژن Nitrogen				LER (جزئی)
			دانه Grain		زیست توده Biomass		
	دانه Grain ($kg\ ha^{-1}$)	بیولوژیک Biologic ($kg\ ha^{-1}$)	غلظت Viscosity (%)	میزان Amount ($kg\ ha^{-1}$)	غلظت Viscosity (%)	میزان Amount ($kg\ ha^{-1}$)	
کود زیستی (A)							
استفاده از کود (a_1)	1449.86a	4223.44a	0.78a	13.16a	0.60a	30.19a	0.79a
شاهد (a_2)	972.04b	3189.95b	0.79a	8.96b	0.61a	23.24b	0.77b
نسبت‌های کاشت (B)							
(b_1) 100+ 00	1557c	4590c	0.86c	13c	0.70c	32	1.0c
(b_2) 100+ 25	2169a	5735a	0.85d	18a	0.68d	39a	1.39a
(b_3) 100+ 50	1660b	4828b	0.86c	14b	0.70c	34b	1.07b
(b_4) 100+ 75	1068d	3829d	1.00b	10d	0.76b	28d	0.69d
(b_5) 100+ 100	792e	3253e	1.08a	8e	0.79a	25e	0.51e
(b_6) 00+ 100	0f	0f	0e	0f	0e	0f	0f
اثر متقابل (A × B) کود زیستی و نسبت های مخلوط (a_1b)							
(a_1b_1)100+ 00	1850c	5186c	0.87e	16.11c	0.70d	36.22c	1e
(a_1b_2)100+ 25	2594a	6540a	0.84f	22.2a	0.68f	44.26a	1.41a
(a_1b_3)100+ 50	1983b	5442b	0.87e	17.38b	0.70d	38.82b	1.08c
(a_1b_4)100+ 75	1308e	4415e	0.99c	13.01e	0.74c	32.53e	0.71f
(a_1b_5)100+100	962g	3755h	1.07b	10.028h	0.78b	29.29g	0.52i
(a_1b_6) 00+ 100	0j	0k	0g	0k	0g	0j	0j
شاهد بدون کود زیستی(a_2b)							
(a_2b_1)100+ 00	1264f	3994g	0.87e	11.02g	0.70d	28.02g	1e
(a_2b_2)100+ 25	1743d	4934d	0.85ef	15.10d	0.69e	34.19d	1.38b
(a_2b_3)100+ 50	1338e	4214f	0.89d	11.99f	0.71d	29.83f	1.06d
(a_2b_4)100+ 75	864h	3244i	1.01c	8.77i	0.77b	25.06h	0.68g
(a_2b_5)100+ 100	621i	2751j	1.10a	6.85j	0.81a	22.36i	0.49h
(a_2b_6)00+ 100	0j	0k	0g	0k	0g	0j	0j

در هر ستون و برای هر عامل، میانگین‌های با حروف مشترک در آزمون چند دامنه‌ای دانکن با یکدیگر اختلاف معنی‌دار ندارند. ($P\leq0.05$)

Means followed by the same letters in each column for each factor are not significantly different. ($P\leq0.05$)

جدول ٤- عملکرد دانه و بیولوژیک و محتوای نیتروژن دانه و زیست‌توده لوبیا چشم بلبلی تحت تأثیر سطوح مختلف کود و نسبت‌های کاشت

Table 4- Seed and biological yield, and seed and biomass nitrogen content of cowpea as affected by different levels of biofertilizers and cultivation ratios

تیمار Treatment	عملکرد Yield		نیتروژن Nitrogen				LER (جزئی)
	دانه Grain	بیولوژیک Biologic	دانه Grain		زیست توده Biomass		
	(kg ha^{-1})	(kg ha^{-1})	غلظت Viscosity (%)	میزان Amount (kg ha^{-1})	غلظت Viscosity (%)	میزان Amount (kg ha^{-1})	
کود زیستی (A)							
استفاده از کود (a_1)	654.36a	3196.85a	2.31a	16.31a	0.91a	30.31a	0.37a
شاهد (a_2)	416.75b	2437.45b	2.36a	9.96b	0.90a	21.92b	0.36b
نسبت‌های کاشت (B)							
(b_1) 100+ 00	0f	0f	0e	0f	0f	0f	0f
(b_2) 100+ 25	248e	1182e	4.21a	10e	1.81a	21e	0.17e
(b_3) 100+ 50	409d	2237d	3.00b	11d	1.19b	26d	0.28d
(b_4) 100+ 75	512c	3247c	2.46c	12c	1.00c	32c	0.35c
(b_5) 100+ 100	580b	4295b	2.25cd	13b	0.82d	35b	0.39b
(b_6) 00+ 100	1462a	5941a	2.08d	30a	0.67e	40a	1.0a
اثر متقابل (A × B)							
کود زیستی و نسبت‌های مخلوط (a_1b)							
(a_1b_1)100+ 00	0j	0k	0f	0i	0j	0j	0h
(a_1b_2)100+ 25	305h	1360i	4.39a	13e	1.84a	25i	0.17g
(a_1b_3)100+ 50	510e	2592g	2.85b	14d	1.18c	30e	0.29f
(a_1b_4)100+ 75	643d	3743e	2.47c	15c	1.01e	37c	0.36d
(a_1b_5)100+100	706c	4703c	2.29d	16c	0.87f	41b	0.40b
(a_1b_6) 00+ 100	1759a	6799a	2.14e	37a	0.69h	47a	1.0a
شاهد بدون کود زیستی (a_2b)							
(a_2b_1)100+ 00	0j	0k	0f	0i	0j	0j	0h
(a_2b_2)100+ 25	192.07i	1003j	4.32b	8.30h	1.79b	17i	0.16g
(a_2b_3)100+ 50	307h	1881h	2.80bc	8.68h	1.16d	22h	0.26f
(a_2b_4)100+ 75	381g	3750f	2.25d	9.32g	1.00e	27g	0.33e
(a_2b_5)100+ 100	454f	3886d	2.20de	9.98f	1.78g	29f	0.39c
(a_2b_6)00+ 100	1164b	5102b	2.02e	23.49b	0.65i	33d	1.0a

در هر ستون و برای هر عامل، میانگین‌های با حروف مشترک در آزمون چند دامنه‌ای دانکن با یکدیگر اختلاف معنی‌دار ندارند. (P≤0.05)

Means followed by the same letters in each column for each factor are not significantly different. (P≤0.05)

طی آزمایشی روی تأثیر کشت مخلوط تأخیری گندم و ذرت بر کارآیی جذب و مصرف نیتروژن، Koocheki *et al,* (2010) مشاهده کردند که بیشترین و کمترین کارآیی جذب نیتروژن برای گندم و ذرت به‌ترتیب در کشت مخلوط و کشت خالص حاصل شد. آن‌ها علت این موضوع را فراهم‌شدن شرایطی برای جذب مطلوب نیتروژن خاک توسط گونه‌ها در کشت مخلوط و در نتیجه افزایش کارآیی جذب در مخلوط در مقایسه با تک‌کشتی بیان‌کردند

در بررسی کشت مخلوط گندم و فستوک قرمز (*Festuca rubra* L.)، پی بردند که آبشویی نیتروژن در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص گندم کاهش داشت (Touzi *et al*., 2010). در آزمایشی روی اثر مقادیر مختلف نیتروژن و تراکم بوته بر کارآیی نیتروژن، گزارش شد که کارآیی جذب نیتروژن با افزایش تعداد بوته در واحد سطح تا حد تراکم مطلوب افزایش داشت (Ameri *et al*., 2007). محققین دیگر نیز (Aggawell *et al*., 1992; Richards *et al*., 2002) در

مطالعات خود پی بردند که کارآیی جذب نیتروژن در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص برتری دارد.

جدول ۵- نیتروژن قابل دسترس خاک تحت تأثیر سطوح مختلف کودی و نسبت‌های کاشت

Table 5- Available nitrogen of soil as affected by different levels of biofertilizers and cultivation ratios

تیمار Treatment				نیتروژن خاک Nitrogen of soil		
بلوک Block	کود زیستی Biofertilizer	نسبت‌های کاشت Cultivation ratio		قبل از کاشت Before planting (kg/ha)	بعد از برداشت After harvesting (kg/ha)	تفاوت Difference (kg/ha)
	استفاده از کود	ارزن Millet	لوبیا Cowpea			
	Appling	100	00+100	59.3	7.0	52.3
		100	25+100	59.2	4.7	54.5
		100	50+100	59.4	3.59	55.81
۱		100	75+100	59.1	2.16	56.5
		100	100+100	59	1.0	58
		00	100+100	59.5	14.5	45
	شاهد					
	Control	100	00+100	59.1	12.8	46.3
		100	25+100	59.4	10.9	48.5
		100	50+100	59.2	9.9	49.3
		100	75+100	59	8.5	50.5
		100	100+100	59.2	7.2	52
		00	100+100	58.9	23.1	35.8
۲	استفاده از کود					
	Appling	100	00+100	58.8	7.5	51.3
		100	25+100	59.0	5.4	53.60
		100	50+100	59.2	4.2	55.0
		100	75+100	59.2	3.7	55.5
		100	100+100	59.4	2.4	57
		00	100+100	59.0	15	44
	شاهد					
	Control	100	00+100	59.3	13.8	45.5
		100	25+100	59.5	11.9	47.6
		100	50+100	59.3	11.1	48.2
		100	75+100	59.2	9.6	49.6
		100	100+100	59.1	8.1	51.0
		00	100+100	58.9	24.1	34.8
۳	استفاده از کود					
	Appling	100	00+100	58.9	8.1	50.8
		100	25+100	59.0	5.9	53.1
		100	50+100	59.2	4.7	54.5
		100	75+100	59.0	4	55.0
		100	100+100	59.3	2.8	56.5
		00	100+100	59.2	15.7	43.5
	شاهد					
	Control	100	00+100	59.1	14.1	45
		100	25+100	59.4	12.3	47.1
		100	50+100	59.1	11.4	47.70
		100	75+100	59.3	10.2	49.1
		100	100+100	59.0	8.5	50.5
		00	100+100	59.5	25.2	34.3

کارآیی فیزیولوژیک نیتروژن

کارآیی فیزیولوژیک نیتروژن که به‌صورت نسبت عملکرد اقتصادی (دانه) به نیتروژن زیست‌توده تعریف می‌گردد، تحت تأثیر معنی‌دار ($P\leq0.05$) کود زیستی قرارگرفت، به‌طوری‌که برتری کارآیی فیزیولوژیک نیتروژن ارزن، لوبیا و مجموع دو گونه در تیمار استفاده از کود زیستی نسبت به شاهد به‌ترتیب ۱۲/۶، ۱۳/۴ و ۱۲/۹درصد بود

(جدول ۶). این امر می‌تواند دلیل اصلی افزایش عملکرد دانه گیاهان به‌ازای هر واحد از نیتروژن کل گیاه در مقایسه با تیمار شاهد باشد (جدول‌های ۳ و ۴). علت این برتری به فرآیندهای متابولیکی باکتری‌های باسیلوس و سودوموناس، در آزادسازی فسفر، بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک، فراهمی عناصر اصلی غذایی، تولید هورمون‌های محرک و تنظیم‌کننده‌ی رشد و افزایش عملکرد دانه مربوط می‌شود (Jahan and Nasiri Mahallati, 2012).

در این آزمایش اثر نسبت‌های کاشت بر کارآیی فیزیولوژیک نیتروژن ارزن، لوبیا و مجموع دو گونه معنی‌دار بود. بیشترین کارآیی فیزیولوژیک نیتروژن (۵۵/۳، ۳۷ و ۶۶/۸ کیلوگرم دانه به‌ازای هر کیلوگرم نیتروژن زیست توده) و کمترین آن (۳۰/۸، ۱۱/۵ و ۳۷ کیلوگرم دانه به‌ازای هر کیلوگرم نیتروژن زیست‌توده) به‌ترتیب برای ارزن در تیمارهای مخلوط (۱۰۰درصد ارزن + ۲۵ درصد لوبیا و ۱۰۰درصد ارزن+ ۱۰۰ درصد لوبیا چشم‌بلبلی)، برای لوبیا در کشت خالص و کشت مخلوط (۱۰۰درصد ارزن+ ۲۵ درصد لوبیا) و برای مجموع دو گونه در کشت مخلوط (۱۰۰درصد ارزن+ ۲۵درصد لوبیا چشم‌بلبلی) و کشت خالص لوبیا چشم‌بلبلی به‌دست آمد (جدول ۶).

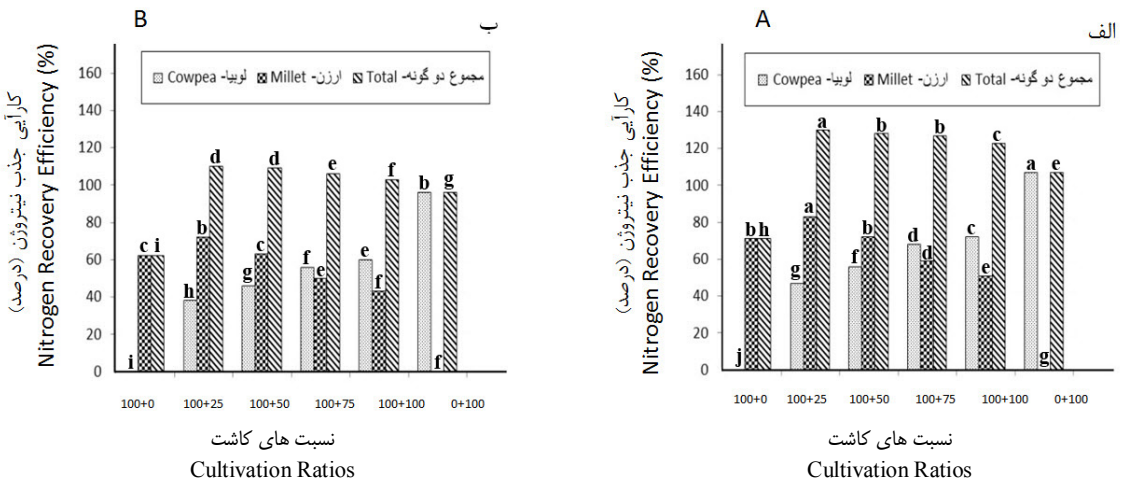
جدول ٦- مقادیر کارآیی‌های جذب، فیزیولوژیک و مصرف نیتروژن ارزن، لوبیا چشم‌بلبلی و مجموع دو گونه گیاهی

Table 6- Nitrogen recovery, physiological and use efficiencies of millet, cowpea and total two species

تیمار Treatment	کارآیی جذب Recovery efficiency (%)			کارآیی فیزیولوژیک Physiologic efficiency (kg/kg)			کارآیی مصرف Use efficiency (kg/kg)		
	ارزن Millet	لوبیا Cowpea	دو گونه Total	ارزن Millet	لوبیا Cowpea	دو گونه Total	ارزن Millet	لوبیا Cowpea	دو گونه Total
کود زیستی (A)									
استفاده از کود (a_1)	56 a	58.5 a	114.5 a	39.4 a	17.1 a	56.5 a	27.3 a	13.6 a	40.9 a
شاهد (a_2)	48.5 b	49.5 b	98 b	34.4 b	14.8 b	49.2 b	20.8b	10.2 b	31.0 b
نسبت‌های کاشت (B)									
(b_1) 100+ 0	66.7 b	0 f	66.67 f	48.6 c	0 f	48.6 c	32.5 b	0 f	32.5 d
(b_2) 100+ 25	77.7 a	42.5 e	120.2 a	55.3 a	11.5 e	66.8 a	43.2 a	4.9 e	48.1 a
(b_3) 100+ 50	66.8 b	52.2 d	118.4 b	48.9 b	15.2 c d	64.1a b	32.8 b	8.0 d	40.8 b
(b_4) 100+ 75	55.1 c	62.1 c	117 c b	37.8 c	15.7 b c	53.5 b	21 c	9.8 c	30.8 e
(b_5) 100+ 100	47.7 d	65.9 b	113.6 d	30.8 d	16.3 b	47.1 c	14 d	10.8 b	24.8 f
(b_6) 0+ 100	0 e	101.7 a	101.7 e	0 e	37 a	37 d	0 e	37.7 a	37.7 c
اثر متقابل (A × B)									
کود زیستی (a_1b)									
(a_1b_1)100+ 0	71 b	0 j	71 h	51 b	0 h	51 e	36 b	0 h	36 d
(a_1b_2)100+ 25	83 a	47 g	130 a	59 a	12.3 f	71.3 a	49 a	6 f	55 a
(a_1b_3)100+ 50	72 b	56 f	128 b	52 b	17 c	69 b	37 b	9 d	46 b
(a_1b_4)100+ 75	59 d	68 d	127 b	41 d	17 c	58 d	24 d	12 c	36 d
(a_1b_5)100+100	51 e	72 c	123 c	33 e	18 c	51 e	17 e	13 c	30 e
(a_1b_6) 0+ 100	0 g	107 a	107 e	0 g	39 a	39 h	0 g	41 a	41 c
بدون کود زیستی (a_2b)									
(a_2b_1)100+ 0	62 c	0 i	62i	45 c	0 h	45 h	28c	0 h	28 e
(a_2b_2)100+ 25	72 b	38 h	110 d	51 b	11 g	62 c	37 b	4 g	41 c
(a_2b_3)100+ 50	63 c	46 g	109 d	46 c	14 e	60 c	29 c	6 f	35 d
(a_2b_4)100+ 75	50 e	56 f	106 e	35 e	14 e	49 f	18 d	8 e	26 f
(a_2b_5)100+ 100	43 f	60 e	103 f	28 f	15 d	43 g	13 f	9 d	22 g
(a_2b_6)0+ 100	0g	96 b	96 g	0 g	34 b	34 i	0 g	33 b	33 d

در هر ستون و برای هر عامل، میانگین‌های با حروف مشترک در آزمون چند دامنه‌ای دانکن با یکدیگر اختلاف معنی‌دار ندارند. ($P\leq0.05$)

Means followed by the same letters in each column for each factor are not significantly different. ($P\leq0.05$)



شکل ۲- تغییرات کارآیی جذب نیتروژن ارزن و لوبیا چشم بلبلی تحت تأثیر تیمارها، الف- استفاده از کود زیستی فسفاته، ب- شاهد (بدون کود)

میانگین‌های دارای حروف مشترک، از نظر آماری در آزمون چند دامنه‌ای دانکن با یکدیگر اختلاف معنی‌دار ($P\leq0.05$) ندارند.

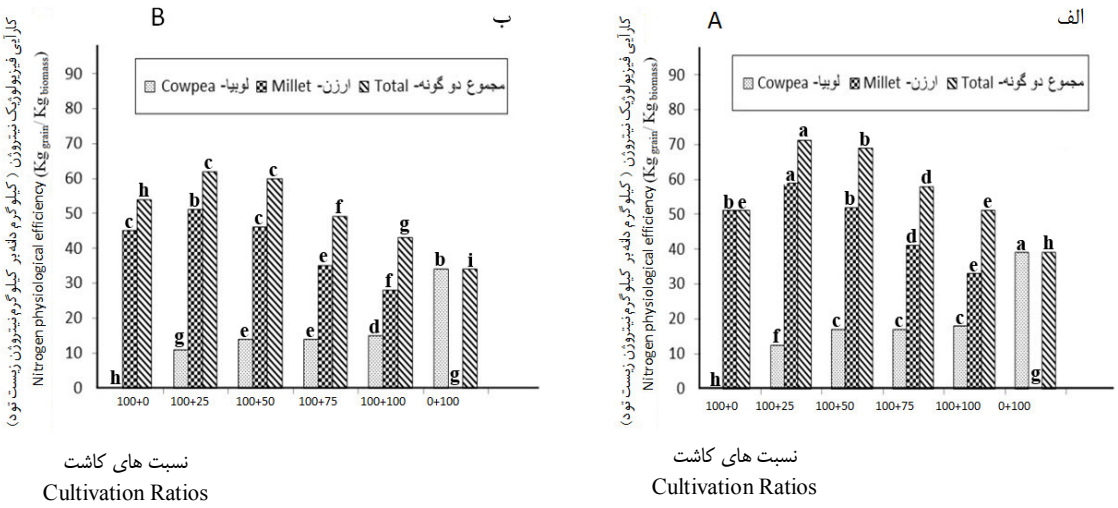
Figure 2- Changing of nitrogen recovery efficiency of millet and cowpea as affected by treatments: A- applying phosphorus biological fertilizer, B- Control (without fertilizer)

شکل ۳- الف و ب نشان می‌دهد که کارآیی فیزیولوژیک نیتروژن ارزن در تیمارهای ۱۰۰درصد ارزن+ ۲۵و ۵۰درصد لوبیا چشم‌بلبلی بیشتر از کشت خالص ارزن و در دو تیمار ۱۰۰درصد ارزن+۷۵ و ۱۰۰درصد لوبیا چشم‌بلبلی کمتر از کشت خالص آن است. علت وجود این تفاوت در کارآیی فیزیولوژیک نیتروژن نسبت به کشت خالص مربوط به کاهش رقابت بین‌گونه‌ای ناشی از اشغال آشیان‌های اکولوژیکی متفاوت و افزایش حد تراکم مطلوب و آسیمیلاسیون بیشتر مواد فتوسنتزی و در نتیجه افزایش عملکرد دانه به‌ازای هر واحد از نیتروژن اندام‌های هوایی ارزن در دو نسبت مخلوط ۱۰۰درصد ارزن+ ۲۵و ۵۰درصد لوبیا می‌باشد، در حالی‌که افزایش رقابت بین‌گونه‌ای و درون‌گونه‌ای ناشی از رسیدن تراکم به حد بحرانی در دو نسبت ۱۰۰درصد ارزن +۷۵ و ۱۰۰درصد لوبیا و صرف بیشتر مواد فتوسنتزی برای رشد رویشی جهت کسب قدرت برتری در رقابت و در نتیجه کاهش عملکرد دانه در این دو نسبت در مقایسه با کشت خالص باعث کاهش کارآیی فیزیولوژیک نیتروژن شد.

در این آزمایش کارآیی فیزیولوژیک نیتروژن لوبیا چشم‌بلبلی در کشت خالص نسبت به کلیه تیمارهای مخلوط افزایش معنی‌داری را نشان داد (شکل ۳). همچنین با کاهش سهم لوبیا در مخلوط، از کارآیی فیزیولوژیک نیتروژن آن کاسته شد، اگرچه بین اکثر تیمارهای مخلوط این تفاوت معنی‌دار نبود. علت برتری این فرآیند در کشت خالص لوبیا می‌تواند مربوط به استفاده بهتر از عوامل محیطی رشد و افزایش عملکرد ناشی از وجود تراکم گیاهی مطلوب در مقایسه با ترکیب‌های مخلوط باشد. در این آزمایش مجموع کارآیی فیزیولوژیک نیتروژن در اکثر نسبت‌های مخلوط بیشتر از کشت خالص دو گونه بود. افزایش مجموع کارآیی فیزیولوژیک نیتروژن در مخلوط عمدتاً ناشی از برتری سهم کارآیی فیزیولوژیک نیتروژن ارزن در نسبت‌های مخلوط بود (شکل ۳). در آزمایشی روی مقادیر مختلف نیتروژن و تراکم بوته برکارآیی مصرف نیتروژن، مشاهده شد که کارآیی فیزیولوژیک نیتروژن گیاه تابع تغییرات تراکم بود (Ameri *et al.*, 2007). به‌طوری‌که با افزایش تعداد بوته در واحد سطح کارآیی فیزیولوژیک نیتروژن به لحاظ افزایش عملکرد اقتصادی افزایش یافت.

کارآیی مصرف نیتروژن

اثر کود زیستی بر کارآیی مصرف نیتروژن که به‌صورت نسبت عملکرد دانه به میزان نیتروژن موجود در خاک تعریف می‌شود، معنی‌دار بود ($P\leq0.05$) (جدول ۶). کارآیی مصرف نیتروژن برای ارزن، لوبیا و مجموع دو گونه در گیاهان تحت تأثیر تیمار کود زیستی نسبت به شاهد به‌ترتیب ۲۳/۸، ۲۵ و ۲۴/۲ درصد افزایش داشت. احتمالاً فعالیت‌های متابولیکی باکتری‌های حل‌کننده‌ی فسفات که بذر گیاهان با آن تلقیح شده بود در فراهم شدن شرایط محیطی بهتر برای رشد، عامل اصلی این برتری بود. نسبت‌های کاشت نیز بر کارآیی مصرف نیتروژن ارزن، لوبیا و مجموع دو گونه اثر معنی‌داری اعمال کرد (جدول ۶).



شکل ۳- تغییرات کارآیی فیزیولوژیک نیتروژن ارزن و لوبیا تحت تأثیر تیمارها: الف- استفاده از کود زیستی فسفره، ب- شاهد (بدون کود)

میانگین‌های دارای حروف مشترک، از نظر آماری در آزمون چند دامنه‌ای دانکن با یکدیگر اختلاف معنی دار ($P\leq0.05$) ندارند.

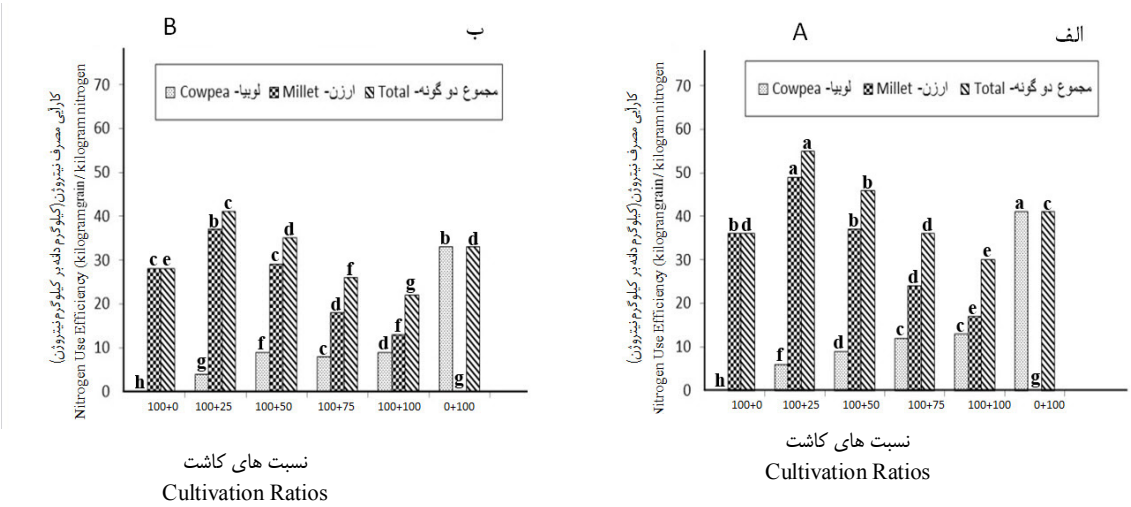
Figure 3- Changing of nitrogen physiological efficiency of millet and cowpea as affected by treatments: A- Applying phosphorus boifertilizer, B- Control (without fertilizer)

در این آزمایش بیشترین کارآیی مصرف نیتروژن (۴۳/۲، ۳۷/۷ و ۴۸/۱ کیلوگرم دانه بر کیلوگرم نیتروژن خاک) و کمترین آن (۱۴، ۴/۹ و ۲۴/۸ کیلوگرم دانه بر کیلوگرم نیتروژن خاک)، برای ارزن به‌ترتیب در نسبت‌های مخلوط (۱۰۰ درصد ارزن+ ۲۵ درصد لوبیا چشم‌بلبلی و ۱۰۰ درصد ارزن+ ۱۰۰ درصد لوبیا چشم‌بلبلی)، برای لوبیا چشم‌بلبلی از تیمارهای کشت خالص و مخلوط (نسبت مخلوط ۱۰۰ درصد ارزن+ ۲۵ درصد لوبیا چشم‌بلبلی) و برای مجموع دو گونه نیز از تیمارهای مخلوط (۱۰۰ درصد ارزن+ ۲۵ درصد لوبیا چشم‌بلبلی و ۱۰۰ درصد ارزن+ ۱۰۰ درصد لوبیا چشم‌بلبلی) حاصل شد. شکل ۴ نشان می‌دهد که کارآیی مصرف نیتروژن ارزن در دو تیمار مخلوط (۱۰۰درصد ارزن+ ۲۵ و ۵۰ درصد لوبیا) بیشتر از کشت خالص ارزن و در دو تیمار دیگر مخلوط (۱۰۰درصد ارزن + ۷۵ و ۱۰۰درصد لوبیا چشم‌بلبلی) کمتر از کشت خالص آن است. دلیل این وضعیت، افزایش حد تراکم مطلوب ناشی از دستیابی دو گونه به آشیان‌های اکولوژیکی متفاوت و درنتیجه کاهش رقابت بین‌گونه‌ای در دو نسبت (۱۰۰درصد ارزن+ ۲۵ و ۵۰ درصد لوبیا) و استفاده بهتر از منابع رشد و افزایش عملکرد به‌ازای هر واحد از نیتروژن قابل دسترس خاک است. (جدول ۵). در حالی‌که افزایش رقابت بین‌گونه‌ای ناشی از افزایش سهم لوبیا در مخلوط و رسیدن به حد تراکم بحرانی و صرف بیشتر منابع در توسعه رشد رویشی جهت حفظ برتری در رقابت در دو نسبت (۱۰۰ درصد ارزن +۷۵ و ۱۰۰درصد لوبیا) باعث کاهش عملکرد دانه در مقابل هر واحد نیتروژن قابل دسترس خاک شد.

در این آزمایش کارآیی مصرف نیتروژن لوبیا چشم‌بلبلی در کشت خالص در مقایسه با کلیه نسبت‌های مخلوط افزایش معنی‌داری داشت (جدول ۶). علت این برتری، افزایش عملکرد دانه ناشی از تراکم مطلوب و استفاده بهینه از عوامل محیطی رشد به‌خصوص نور، آب و عناصر غذایی بود (جدول ۳). با افزایش سهم لوبیا در نسبت‌های مخلوط به علت افزایش عملکرد دانه، کارآیی مصرف نیتروژن نیز افزایش یافت. این امر حاکی از آن است که عملکرد دانه و کارآیی مصرف نیتروژن لوبیا در مخلوط شدیداً تابع تعداد بوته در واحد سطح است که با یافته‌های (Ameri *et al*., 2007) در آزمایش بررسی اثر مقادیر مختلف نیتروژن و تراکم بر کارآیی مصرف نیتروژن گیاه همیشه بهار مطابقت دارد.

مجموع کارآیی مصرف نیتروژن دو گونه در نسبت‌های مخلوط (۱۰۰درصد ارزن+ ۲۵ و ۵۰ درصد لوبیا چشم‌بلبلی) به‌ترتیب نسبت به کشت خالص ارزن ۳۲/۴ و ۲۰/۳ درصد و نسبت به کشت خالص لوبیا ۲۱/۶ و ۷/۹۹ درصد افزایش داشت. دلیل برتری کارآیی مصرف نیتروژن دو گونه در کشت مخلوط، احتمالاً کاهش رقابت دو گونه برای جذب منابع در اثر اشغال آشیان‌های اکولوژیکی متفاوت و افزایش حد تراکم مطلوب در این‌دو نسبت در مقایسه با کشت خالص است. همچنین علت برتری کارآیی مصرف نیتروژن در کشت خالص لوبیا نسبت به کشت خالص ارزن می‌تواند مربوط به جذب کمتر نیتروژن خاک توسط لوبیا چشم‌بلبلی در مقایسه با ارزن به علت تأمین بیشتر نیاز نیتروژنی گیاه لوبیا از طریق فرآیند تثبیت بیولوژیکی نیتروژن در لوبیا و در نتیجه افزایش کارآیی مصرف نیتروژن باشد. در پژوهشی اثر مقادیر نیتروژن و تراکم بر کارآیی مصرف نیتروژن

بررسی و مشاهده شد که با مصرف بیشتر نیتروژن، کارآیی مصرف آن کاهش یافت (Ameri *et al*., 2007). با توجه به این‌که کارآیی مصرف نیتروژن تحت تأثیر دو عامل کارآیی جذب و کارآیی فیزیولوژیک قرار دارد، افزایش در یک جزء باعث کاهش جزء دیگر و روند تغییرات آن نیز تابع روند تغییرات این دو عامل بود.



شکل ٤- تغییرات کارآیی مصرف نیتروژن ارزن و لوبیا چشم بلبلی تحت تأثیر تیمارها: الف- استفاده از کود زیستی فسفره، ب- شاهد (بدون کود)

میانگین‌های دارای حروف مشترک، از نظر آماری در آزمون چند دامنه‌ای دانکن با یکدیگر اختلاف معنی‌دار ($P\leq0.05$) ندارند.

Figure 4- Changing of nitrogen use efficiency of millet and cowpea as affected by treatments: A- Applying of phosphorus biofertilizer, B- Control (without fertilizer)

در آزمایش حاضر، سهم کارآیی جذب در حصول کارآیی مصرف بیشتر از سهم کارآیی فیزیولوژیک بود که با یافته‌های محققین دیگر (Ameri *et al*., 2007; Parsa *et al*., 2009) مطابقت دارد. در آزمایشی روی تأثیر کشت مخلوط تأخیری گندم و ذرت بر کارآیی جذب و مصرف نیتروژن، (Koocheki *et al*., 2010) دریافتند که کارآیی مصرف نیتروژن در کشت مخلوط گندم و ذرت بیشتر از کشت خالص هر دو گونه بود، آن‌ها دلیل این برتری را عدم رقابت دو گونه در زمان یکسان برای جذب منابع غذایی و ایجاد حالت تکمیل‌کنندگی در تسخیر منابع از طریق ساختار ریشه و فنولوژی، کارآیی مصرف منابع در کشت مخلوط درمقایسه با کشت خالص بیان‌کردند. (Li *et al*., 2009) نیز در بررسی کشت مخلوط تأخیری گندم- ذرت و گندم- سویا (*Glycine max* L.) گزارش کردند که کارآیی مصرف نیتروژن ذرت و سویا قبل از برداشت گندم به دلیل سایه‌اندازی شدید گندم به‌طور چشمگیری کمتر از خالص این دو گونه بود، در حالی‌که پس از برداشت گندم، کارآیی مصرف و جذب نیتروژن برای گونه‌های باقی‌مانده در مخلوط بین ۴۰-۳۰ درصد افزایش یافت.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج این آزمایش نشان‌داد که استفاده از کود زیستی حل‌کننده‌ی فسفات توأم با بهره‌گیری از سیستم کشت مخلوط در محدوده‌ی نسبت‌های ۱۰۰درصد ارزن معمولی+ ۲۵ تا ۵۰ درصد لوبیا چشم‌بلبلی در شرایط این آزمایش می‌تواند باعث افزایش کارآیی مصرف آب و کارآیی‌های نیتروژن در مقایسه با کشت خالص آن‌ها گردد. با توجه به این‌که در این آزمایش از هیچ‌گونه نهاده شیمیایی استفاده نشد، این نتایج می‌تواند در کاهش وابستگی به نهاده‌های گران‌قیمت، کاهش آلودگی‌ها و فشارهای زیست‌محیطی و بهره‌وری بهینه از منابع محیطی رشد جهت تولید مطلوب و سالم راهگشا باشد.

References

1. Aggawell, P. K., Garrity, D. P., Liboon, S. P., and Morris, R. A. 1992. Resource use and interaction in a rice mungbean intercrop. Agronomy Journal 84: 71-78.
2. Ameri, A., Nasiri Mahallati, M., and Rezvani Moghadam, P. 2007. Effects of different nitrogen levels and plant density on flower, essential oils and extract production and nitrogen use efficiency of Marigold (*Calendula officinalis*). Iranian Journal of Field Crops Research 5 (2): 315- 325. (in Persian with English abstract).

3. Biari, A., Gholami, A., and Asadi Rahmani, A. 2007. Sustainable production and improving uptake of nutrients of corn in response, to seed fecundation through instigator growth bacteria. 2th National Conference of Agriculture and Ecology of Iran, Gorgan.
4. Chabot, R., and Antoun, H. 1996. Growth promotion of maize and lectuce by phosphate- solubilizing Rhizobium leguminosarum biovar phaseoli. Plant and Soil 184: 311-321.
5. Dahmardeh, M., Ghanbari, A., Siahsar, B. A., and Ramroudi, M. 2011. Evaluation of forge yield and protein content of maize and cowpea (*Vigna unguiculata* L.) in intercropping. Iranian Journal of Crop Science 13 (4): 658-670.
6. Daneshmand, A., Shirani-rad, A. H., Noormohammadi, Gh., Zarei, Gh., and Daneshian, J. 2006. Effect of water stress and different levels of nitrogen fertilizer on seed yield and its components, nitrogen uptake and water use and nitrogen utility efficiency in two rapeseeds (*Brassica napus* L.) cultivars. Iranian Journal of Crop Science 8 (4): 323- 342. (in Persian with English abstract).
7. Dileep-Kumar, S. B., Berggren, I., and Martensson, A. M. 2007. Potential for improving pea production by coinculation with *Fluorescent Pseudomonas* and *Rhizobium*. Plant and Soil 229: 25-34.
8. Francis, C. A. 1986. Multiple Cropping system. Macmillan publishing company.
9. Francis, C. A. 1996. Biological efficiencies in multiple-cropping systems Advances in Agronomy. 42: 21-42.
10. Gao, Y. A., Duan, J., Sun, F., Li, Z., and Liu, H. 2009. Crop coefficient and water use efficiency of winter wheat/ spring maize strip intercropping. Field Crops Research 111: 65-73.
11. Ghazi, N., and Al- karaki, G. N. 1998. Benefit, cost and water use efficiency of arbuscular mycorrhiza of durum wheat grown under drought stress. Mycorrhiza 8: 41-45.
12. Ghosh, P. K. 2004. Growth, yield, competition and economics of groundnut cereal fodder intercropping system in the semi-arid tropics of India. Field Crop Research 88: 227-237.
13. Gliessman, S. R. 1997. Agroecology: Ecological processes in sustainable Agriculture. Arbor press.
14. Gliessman, S. R. 1998. Agroecology: Ecological Processes in sustainable Agriculture. CRC press. ISBN: 1-575. 4-043-3.
15. Guehl, I. M., and Garbaye, J. 1991. The effects of ectomycorrhizal status on carbon dioxide assimilation capacity, water use efficiency and response to transplanting in seedlings of *Pseudotsuge menziesii* (mirb) franco. American Journal of Science 21: 551-563.
16. Hosseinzadeh, H. 2005. Report of effect Barvar 2 biofertilizer on yield grain legume. Tehran Daneshgahi Jehad and fannavari Sabz publication, Tehran.
17. Huggins, D. R., and Pan, W. L. 1993. Nitrogen efficiency component analysis: an evaluation of cropping system differences in productivity. Agronomy Journal 85: 898-905.
18. Hulugulle, N., and Lal, R. 1986. Soil water balance of intrtcropped maize and cowpea grown in tropical hydromorphic soil Western Nigeria. Agronomy Journal 75: 86-90.
19. Jahan, M., and Nasiri Mahallati, M. 2012. Soil Fertility and Biofertilizers (An Agroecological Approach). Ferdowsi University of Mashhad press publication.
20. Javanshir, A., Dabbagh, A., Hamidi, A., and Gholipour, M. 2000. The Ecology of Intercropping, Jahad-e Daneshgahi of Mashhad Press publication.
21. Koocheki, A., Nasiri- Mahallati, M., Borumand-Rezazadeh, Z., and Khorramdel, S. 2010. Effect of delayed, intercropping wheat and corn on nitrogen use and utility efficiency. 1th Iranian Conference of sustainable agricultural and healthy crop production. Agricultural and Natural Resources Research Center, Isfahan, Iran.
22. Koocheki, A. Sustainable agriculture. 2001. Jahad-e Daneshgahi of Mashhad Press. (in Persian).
23. Li, L., Sun, J., Zhang, F., Li, X., Yang, S., and Rengel, Z. 2009. Wheat/maize or wheat/ soybean strip intercropping yield advantage and interspecific interactions on nutrient. Field Crops Research 71 (2): 123-137.
24. Madani, H., Melbobi, M. A., and Omidi, M. 2006. Applying of phosphorus biofertilizer on cultivation of bean. 1th Iranian Creals Congress, Mashhad, Iran.
25. Mahdavi- Damghani, A., Deihimfard, R., and Mirzaei- Talarposhti, R. 2007. Sustainable Soils; The placement of organic matter in sustaining soils and their productivity. Shahid Beheshti University press publication.
26. Mahdavipur, A., Rezaei, M., Asgharzadeh, A., and Cherati, A. 2001. Effect of different substances of Barady-rhizobiom Japonicum bacteria on uptake of micronutrients in forage and grain yield on soybeen plant. Iranian Journal of plant Sciences Research 16 (4): 218-232.
27. Marulanda, A., Barea, J. M., and Azcon, R. 2006. An indigenous drought- tolerant strain of Glomus intraradices associated with a native bacterium improves water transport and root development in Retama Spaero carpa. FEMS Microbiology Ecology 52: 670-678.
28. Mazaheri, D. 1994. Intercropping. Tehran University.
29. Mirzaei, A., and Jokar, M. 2014. Water use efficiency in plants crop and its ecological approaches. National Conference on energy consumption optimization in Science and Engineering. Kome Elmavaran danesh. R. S. Institute.
30. Mutungamiri, A, Margia, I. K., and Chivinge, O. A. 2001. Evaluation of maize (*Zea mays* L.) cultivars and density

for dryland maize-bean intercropping. Tropical Agriculture 78 (1) 8-12.
31. Nachigera, G. M., Ledent, J. F., and Draye, X. 2008. Shoot and root competition in potato/maize intercropping: effects on growth and yield. Environmental and Experimental Botany.
32. Najafi, N., Mostafaii, M., Ousting, Sh., and Dabagh-e- mohamadi Nasb, A. 2015. Effect of manure application and intercropping of corn, bean, and biter vetch on macronutrients content in maize shoot. 12th Iranian Crop Sciences Congress. Karaj Brach, Islamic Azad University, Karaj, Iran.
33. Najibnia, S., Koocheki, A., Nasiri Mahallati, M., and Porsa, H. 2014. Comparision of water uptake, use and productivity efficiency in sole and multiple cropping systems of rapeseed (*Brassica napus* L.), bean and corn. Iranian Journal of Field Crops Research 12 (2): 153-163.
34. Nasiri Mahallati, M., Koocheki, A., Rezvani- Moghadam, P., and Beheshti, A. 2001. Agroecology. Ferdowsi University of Mashhad, Publication.
35. Papendick, R. I., Sanchez, D. A., and Triplet, G. B. 1983. Multiple cropping. American Society of Agronomy (ASA).
36. Parsa, S., Kafi, M., and Nasiri Mahallati, M. 2009. Effects of salinity and nitrogen Levels on nitrogen content of wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 7 (2): 327-355. (in Persian with English abstract).
37. Payne, W. A. 1997. Managing yield and water use of pearl millet in the Sahel. Agronomy Journal 89: 481-490.
38. Richards, R. A., Rebetzke, G. J., Condon, A. G., and Vanher- warden, A. F. 2002. Breeding opportunities for increasing the efficiency of water use and crop yield in temperate cereals. Crop Science 42: 111-121.
39. Roy, R. K., and Tripathi, R. S. 2005. Effect of irrigation and fertlizer on yield water use efficiency and nutrient concentration in winter maize. Indian Journal of Agronomy 32: 314-318.
40. Saleh Rastin, N. 2001. Biofertilizers and their role in achiving sustainable agriculture. Collection of articles about the necessity of industrial production of biofertilizers in contry 1-54.
41. Salemzade, A., Siyadat, S. A., and Nouriyani, H. 2014. Evaluation of agronomic efficiency, physiological efficiency and utilization of nitrogen in the canopy additive intercropping Corn-bean in Dezful region. 1st International and 13th Iranian Crop Science Congress, 3th Iranian Seed Science and Technology Conference. Seed and Plant Improvement Institute Karaj, Iran. (in Persian with English abstract).
42. Sani, B., Rajabzadeh, F., Liaghati, H., Ghushchi, F., and Karvar, M. 2008. Effect of biofertilizers on quality and quantily indexes of maize at agroecosystem, 2th Iranian Agroecological conferences, Gorgan, Iran.
43. Sharpe, R., Harper, L. A., Giddens, J. E., and Langdale, G. W. 2001. Nitrogen use efficiency and nitrogen budget for conservation tilled wheat. Soil Science Society of America Journal 52: 1349-1398.
44. Singh, A., Turkhade, B. B., Prasad, R., Singh. R. K., and Bhargava, S. C. 1992. Effect of wheat +Linseed intercropping on moisture use. Indian Journal of Agronomy 37: 142-143.
45. Sirousmehr, A., Javanshir, A., Rahimzadeh Khoyei, F., and Moghaddam, M. 2003. Pearl millet and common vetch intercropping. Iranian Journal of Beiabane 5 (2). (in Persian with English abstract).
46. Taei, J., Ghanbari, A., and Jokar, M. 2008. Intercropping an approache for increasing water use efficiency. The 1th International Conference of water Crisis, University of Zabol, Zabol, Iran.
47. Tanwar, S. P .S., Rao, S. S., Regar, P. L., Datt, Sh., Kumar, P., Jodha, B. S., Santra, P., Kumar, R., and Ram, R. 2014. Improving water and Land use efficiency of fallow- wheat system in shallow lithic calciorthid soils of arid region: Introduction of bed planting and rainy season sorghum legume intercropping. Soil &Tillage Research 138: 44-55.
48. Tavassoly, A., Ghanbari, A., and Amiri, A. 2010. Calculation of water use efficiency on sole cropping and intercropping systems of millet and pea in Sistan area. 1th Iranian Conference of sustainable agriculture and healthy crop production. Isfahan Agriculture and Natural Resources Research Center, Isfahan, Iran.
49. Tavassoli, A., Ghanbari, A., Ahmadi, M. M., and Heydari, M. 2010. The effect of fertilizer and manure on forage and grain yield of millte (*panicum miliaceum*) and bean (*phaseolus vulgaris*) in intercropping- Iranian Journal of Agronomy Research 8 (2): 1-11. (in Persian with English abstract).
50. Touzi, I. S., Tourdonnet, De., Launay, M., and Dore, T. 2010. Does intercropping winter wheat (*Triticum aestivum*) with red fescue (*Festuca rubra*) as a cover crop improve agronomic and environmental performance? A modeling approach. Field Crops Research 116: 218- 229.
51. Tsubo, M., Walker, S., and Mukhala, E. 2001. Comparisons of radiation use efficiency of mono / intercropping system with different row orientation. Field Crop Research 71: 17-29.
52. Tsubo, M., Walker, S., and Ogindo, H. 2005. A simulation model of cereal- legume intercropping systems for semi-arid regionsI. model development. Field Crop Research 93: 10-22.
53. Vessey, J. K. 2003. Plant growth promoting rizobacteria as biofertilizer. Plant and Soil 255: 571-586.
54. Wahuma, T. A. T., and Miller, D. A. 1987. Effects of intercropping on soybean N2 fixation composition on associated sorghum and soybean. Agronomy Journal 70: 292- 295.
55. Wallace, J. 2001. Organic Field Crop Handbook. Pub. Canadian Organic Growers. Ottanan, Onta.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 15, No. 3, Fall. 2017, p. 691-708

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۵، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۶، ص. ۷۰۸-۶۹۱

Effects of Intercropping of Common Millet (*Panicum miliaceum* L.) – Cowpea (*Vigna unguiculata* L.) and Biological Fertilizer inoculation on Water and Nitrogen Use Efficiencies

A. Khaki Najafabadi[1]- M. Jahan[2*]- A. Koocheki[3]- M. Nassiri Mahalati[3]

Received: 12-01-2016
Accepted: 27-09-2016

Introduction

Nowadays, increasing world population, destruction of natural resources followed by the confirmed need to increase food production are the basic challenges of the world. The appropriate solution for this challenge is sustainable agriculture based on consuming different kinds of biological and organic fertilizers, with the purpose of elimination and considerable decrease of agrochemicals. Phosphorus biological fertilizer consisted of two genus of bacteria, *Bacillus* spp. and *Pseudomonas* spp., helps plants to absorb phosphorus dissolved in soil by two mechanisms, excreting organic acids and phosphate enzyme.

Improving nitrogen use efficiency is a principle strategy to increase sustainability in agricultural systems. Some of management options which are effective on increasing nutrients efficiency in agro–systems are intercropping, rotation and green manure application. Utilizing fixed nitrogen of legumes by cereals is the advantage of intercropping legumes and cereals. Intercropping systems are practical and suitable samples for increasing water use efficiency in agriculture. Francis (9) believes that in case of water limitation, the best way to improve water use efficiency is intercropping.

The purpose of the present study was evaluating sole cropping system, intercropping common millet (*Panicum miliaceum* L.) and cowpea (*Vigna unguiculata* L.) and the role of biological fertilizer to achieve the most suitable combination of growing these two species crops and fertilizing recommendations with the purpose of suitable yield and resources use efficiency.

Materials and Methods

This experiment was conducted at a farm in Najafabad-Isfahan, during growing season of year 2013-2014. The experimental treatments were arranged in split plots based on a randomized complete block design with three replications. Two levels of phosphorus biofertilizer a_1 (seed inoculation with *Bacillus* spp. and *Pseudomonas* spp. rhizobacteria as Barvar 2 biofertilizer®) and a_2 (control=no inoculation) were assigned to main plots. The sub-plots including b_1 (sole cropping of millet), b_2 (millet100%+ cowpea25%), b_3 (millet100%+ cowpea50%), b_4 (millet100%+ cowpea75%), b_5 (millet100%+ cowpea100%) and b_6 (sole cropping of cowpea). The distances between the rows in all treatments were 50 centimeters and the distance between two plants on each row of the sole millet was 8.6, for sole cowpea was 10.7 centimeters (with density of 200 and 160 thousand plants per hectare). In additive ratios the distances between the plants on all rows were 4.3 centimeters for millet as the fixed plant and 21.4, 10, 7, 7.1 and 5.4 cm for cowpea (with density of 4, 8, 12 and 16 plants per m^2) which were on the parallel rows with millet.

Water use efficiency for grain yield was calculated from equation 1(8) and nitrogen efficiencies (including: recovery, Physiological and use) also were calculated by using the equation 2, 3 and 4 respectively.

1, 2, 3- PhD Student in Agroecology, Associate Professor, and Professor, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran, respectively.
(Corresponding Author Email: jahan@um.ac.ir)

$$WUE = \frac{Y_{g\,(kg/ha)}}{W_{(m^3/ha)}}$$ Equation 1

$$NRE(\%) = \frac{N_{Dm\,(kg/ha)}}{N_{s\,(kg/ha)}}$$ Equation 2

$$NPE = \frac{Y_{g\,(kg/ha)}}{N_{Dm\,(kg/ha)}}$$ Equation 3

$$NUE = \frac{Y_{g\,(kg/ha)}}{N_{s\,(kg/ha)}}$$ Equation 4

Results and Discussion

The results of this experiment showed that the effect of Barvar 2 biofertilizer® on WUE, NRE, NPE and NUE was significant ($P \leq 0.05$). In addition, the effect of cropping ratios on all measured traits was significant so that the most (0.704, 0.473 and 0.784 $kg.m^{-3}$) water use efficiency, nitrogen recovery efficiency (77.7, 101.7 and 120.6%), nitrogen physiological efficiency (55.3, 37 and 66.8 $kg.kg^{-1}$) and nitrogen use efficiency (43.2, 37.7 and 48.7 $kg.kg^{-1}$) observed respectively for millet in ratio of millet 100%+ cowpea25%, for cowpea in sole cropping and for total two species also in ratio of millet100%+ cowpea25% was obtained.

Conclusions

The results of this experiment showed that the management based on true understanding of ecological basis and principles of intercropping systems and application of biofertilizers could be an ecological approach for increasing productivity and best usage of resources (water and nitrogen) in order to achieve suitable production, decrease expenses and dependence to expensive foreign inputs, eliminate pollution and bioenvironmental pressures on sustainable agricultural systems.

Acknowledgements The authors are sincerely grateful to all the respectable anonymous persons that supported this research.

Keywords: Additional of series, Grain yield, Nitrogen use efficiency, Phosphorus biological fertilizer