نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد 2، شماره 3، پاییز 1389، ص. 511-502

Journal of Agroecology
Vol. 2, No. 3, Fall 2010, p. 502-511

ارزیابی کارایی نیتروژن در ژنوتیپ‌های سورگوم دانه‌ای (*Sorghum bicolor* L. Moench)

مصطفی جعفریانی[1]، سید علیرضا بهشتی[2*] و قدیر طاهری[3]

تاریخ دریافت: 89/7/7
تاریخ پذیرش: 89/9/24

چکیده

افزایش عملکرد محصولات زراعی توأم با حفظ محیط زیست و سلامت انسان مرهون استفاده و کاربرد صحیح کود های نیتروژنه است. دراین مطالعه اثر سطوح مختلف مصرف نیتروژن برکارایی نیتروژن در ژنوتیپ‌های سورگوم دانه‌ای (*Sorghum bicolor* L. Moench) در سال زراعی 88-1387 درمرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی بررسی شد. آزمایش بصورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. ژنوتیپ ها شامل (رقم سپیده ودو لاین امید بخش M_2 و M_5) در کرت‌های اصلی و سطوح مختلف نیتروژن (0، 100 و 200 کیلوگرم در هکتار از منبع اوره) و تیمار وضعیت فتوسنتز جاری (اختلال و عدم اختلال در فتوسنتز جاری) بصورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی قرار داشتند. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی نیتروژن برکارایی جذب (بازیافت)، مصرف (فیزیولوژیک)، استفاده (زراعی)، عملکرد دانه و شاخص برداشت معنی دار ($P\leq 0/01$) بود. کارایی بازیافت نیتروژن در تیمارعدم مصرف و مصرف 100 کیلوگرم نیتروژن در هکتار به ترتیب 82/34 و 68/31 درصد حاصل شد و به میزان 43/05 و 18/67 درصد نسبت به تیمار 200 کیلوگرم نیتروژن در هکتار افزایش نشان داد. بیشترین درصد کارایی فیزیولوژیک به میزان 43/45 (گرم دانه برگرم نیتروژن) در تیمار عدم مصرف نیتروژن بدست آمد و نسبت به تیمار 200 کیلو گرم در هکتار با کمترین مقدار 30/38 (گرم دانه بر گرم نیتروژن) اختلاف معنی‌داری داشت. بیشترین کارایی زراعی نیز در تیمار عدم مصرف نیتروژن به میزان 36/23 (گرم دانه بر گرم نیتروژن) حاصل شد. افزایش 107 و 43/02 درصد نسبت به تیمار مصرف 100 و200 کیلو نیتروژن در هکتار نشان داد. علیرغم کاهش کارایی نیتروژن (هر سه شاخص) با افزایش مصرف نیتروژن بیشترین عملکرد دانه در تیمار 100 کیلوگرم نیتروژن در هکتار به میزان 6/47 تن در هکتار بدست آمد که اختلاف معنی داری با تیمار عدم مصرف نیتروژن داشت. اثر ساده وضعیت فتوسنتزی بر صفت کارایی زراعی و فیزیولوژیک در سطح ($P\leq 0/01$) و برکارایی بازیافت در سطح ($P\leq 0/05$) معنی‌دار بود. تیمار عدم اختلال در فتوسنتز جاری بیشترین میزان کارایی را در صفات کارایی بازیافت، فیزیولوژیک و زراعی به ترتیب به میزان 33/ 72 درصد، 39/55 گرم دانه بر گرم نیتروژن و29/26 گرم دانه بر گرم نیتروژن نشان داد و اختلاف معنی‌داری با تیمار اختلال در فتوسنتز جاری داشت.

واژه‌های کلیدی: اختلال در فتوسنتز جاری،کارایی بازیافت نیتروژن، کارایی زراعی نیتروژن، کارایی فیزیولوژیک نیتروژن، وضعیت فتوسنتزی

مقدمه

بررسی‌های سازمان جهانی فائو در 40 سال اخیر حاکی است که 33 الی 60 درصد افزایش عملکرد محصولات کشاورزی در کشورهای مختلف مرهون مصرف کودهای شیمیایی بوده و این سازمان از کود به عنوان کلید امنیت غذایی نام برده است (Hamdallah, 2000). نیتروژن یکی ازعوامل عمده محدودکننده تولید محصولات زراعی می‌باشد. میانگین مقدار این عنصر در ماده خشک تولیدی گیاهان 1-2 درصد است که گاهی به 6-4 درصد نیز می‌رسد. در رابطه با کل مقدارنیتروژن مورد نیاز برای تولید محصول، نیتروژن در بین 16 عنصر اصلی در مرتبه چهارم قرار دارد Koocheki & Sarmadnia, (1999). در ایران از چهار میلیون تن کود مصرفی در سال 1385 بیش از 2/4 میلیون تن را کودهای نیتروژنه تشکیل داده اند (Malakuoti & Nafisi, 1992). کارایی استفاده از نیتروژن[4] در محصولات دانه‌ای (گندم (*Triticum aestivum* L.)، ذرت (*Zea mays* L.) و برنج (*Oryza sativa* L.)) در کشورهای پیشرفته 15 کیلوگرم دانه به ازای هر کیلوگرم مصرف نیتروژن است. کارایی جهانی بازیافت کودهای نیتروژنی[5] 33 درصد در غلات گزارش شده

1، 2 و 3- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد نیشابور، عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی و عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد نیشابور
(*- نویسنده مسئول: Email :arbeheshti81@yahoo.com)

4- Nitrogen Use Efficiency (NUE)
5- Nitrogen Apparent Recovery Fraction (NARF)

است که این میزان برای کشورهای در حال توسعه و پیشرفته به ترتیب 29 و 42 درصد می‌باشد (Raun & Janson, 1999). و بقیه به طرق مختلفی از قبیل آبشویی، تصعید و رواناب سطحی، هدر رفته که ارزش اقتصادی معادل 15/9 میلیارد دلار دارد. با افزایش یک درصد کارایی در غلات در دنیا می‌توان 239 میلیون دلار صرفه جویی اقتصادی کرد (Fan et al., 2004; Raun & Janson, 1999).

طبق آمار های موجود 40 تا 60 در صد کود نیتروژن اضافه شده به خاک از طریق محصولات کشاورزی از خاک خارج می‌شود و این مقدار با افزایش کاربرد کود کاهش می‌یابد، در نتیجه میزان باقی مانده کود در خاک افزایش یافته که علاوه بر کاهش کارایی مصرف نیتروژن ، می تواند به راحتی شسته شده و باعث آلودگی بیشتر منابع شود. لذا بکارگیری میزان مناسب کود نیتروژن می تواند در مرحله نخست با افزایش کارایی تثبیت کربن و در نتیجه افزایش تولید ماده خشک و در مرحله بعدی از طریق تغییر الگوی توزیع ونهایتاً درافزایش شاخص برداشت مؤثر واقع شود (Ortiz et al., 1997; Foulkes et al., 1998). استفاده از ارقام با کارایی فیزیولوژیک و زراعی بالا، تناوب زراعی، مدیریت صحیح مصرف کود های نیتروژنی از راههای افزایش کارایی کود های نیتروژنی است. از این طرق ضمن استفاده مؤثر گیاهان از کودهای نیتروژنی، مخاطرات زیست محیطی این کودها به طور چشمگیری کاهش می‌یابد (Sepehr et al., 2008). ایران در منطقه خشک و نیمه خشک قرار دارد و مقدار مواد آلی خاکهای آن پائین بوده و اغلب گیاهان دچار کمبود نیتروژن می‌باشند. اگر چه این مشکل با استفاده از کودهای نیتروژنی بر طرف می‌شود. متاسفانه کود های نیتروژنی به صورت مؤثر استفاده نشده و کارایی آنها پائین می‌باشد (Malakuoti & Nafisee, 1982). نیتروژن نقش اساسی در دستیابی به عملکرد بالای کمی وکیفی در محصولات زراعی ایفا می‌کند، در عین حال این عنصر به آسانی از داخل خاک شسته شده و باعث آلودگی سفره‌های آب می‌شود. تولید ماده خشک گیاهی تابعی از نور جذب شده و راندمان استفاده از نور در طول دوره رشد گیاهی است (Beheshti & Behbodi Fard, 2010; Beheshti & Barooee, 2010); Bonhomme, 2000). یکی از پیش شرطهای لازم برای دستیابی به عملکرد بالا، تأمین شرایط مطلوب از جمله تأمین کافی نیتروژن بمنظور استفاده از تشعشع موجود جهت تولید بهینه مواد فتوسنتزی است. تولید این مواد نیز تحت تاثیر میزان نیتروژن موجود در گیاه برای فعالیت های متابولیکی است. در واقع رقابت در جهت کسب نور نوعی رقابت مستقیم برای کسب منابع محیطی بصورت آنی می‌باشد که به علت عدم ذخیره منبع در محیط مهمترین عامل ایجاد رقابت در اکثر سیستم‌های زراعی می‌باشد Beheshti& Behbodi Fard, 2010;Spiters et al., 1986).

فتو سنتز و تولید ماده خشک تابعی از نور جذب شده است که به خصوصیات ساختاری کانوپی و خصوصیات فتوسنتزی گونه‌های گیاهی بستگی دارد (Beheshti& Behbodi Fard, 2010). این دو خصوصیت هر دو به شدت تحت تاثیر نیتروژن در خاک و اندام‌های گیاهی قراردارند. به طور عمده عملکرد، به انتقال مجدد مواد فتوسنتزی به دانه قبل از گرده افشانی بستگی دارد زیرا سهم عمده ای از مقدار ماده خشک و نیتروژن تجمع یافته در اکثر محصولات زراعی قبل از مرحله گرده افشانی وابسته است، تخصیص و تجمع مواد ذخیره شده در دانه‌ها، از سه منبع عمده شامل فتوسنتز جاری برگ، فتوسنتز جاری اندام‌های سبز به غیر از برگ و انتقال مجدد موادفتوسنتزی ذخیره شده درسایر اندام‌های گیاه تأمین می‌شوند. سهم هر یک از این منابع در تولید نهایی به ژنوتیپ و شرایط محیطی بستگی دارد (Beheshti& Koocheki & Sarmadnia, 1989); Behbodi Fard, 2010). توسعه سیستم‌های کشت و استفاده مؤثر از نیتروژن در کاهش هزینه و آلودگی نیتراتی مؤثر است. اختلاف در کارایی نیتروژن تابع ژنوتیپ، زمان مصرف، سایر عوامل و اجزاء سیستم مدیریت کشت برای افزایش کارایی نیتروژن می‌باشد (Huggins & Pan, 1993). مدیریت کارایی نیتروژن علاوه برتضمین عملکرد اقتصادی بیشتر در بهبود استفاده از آب نیز مؤثر است (Campbell et al., 1993). کارایی نیتروژن شامل کارایی جذب (بازیافت)کارایی مصرف (فیزیو لوژیک) و کارایی استفاده از نیتروژن (زراعی) می‌باشد. کارایی زراعی حاصلضرب کارایی جذب و مصرف نیتروژن می‌باشد (Timsina et al., 2001; Xie et al., 2006). کارایی جذب نیتروژن، نسبت مبان نیتروژن موجود در زیست توده به نیتروژن موجود در خاک است و نشان دهنده این است که از مجموع کود نیتروژن بکار رفته، چه میزان از آن در بیوماس محصول تجمع یافته و به صورت در صد بیان می شود. کارایی مصرف نیتروژن ،میزان تولید اندام اقتصادی در هر واحد نیتروژن بازیافت شده در زیست توده می‌باشد (Moles et al., 1984). درنهایت، کارایی استفاده از نیتروژن، میزان تولید اندام اقتصادی به ازای نیتروژن موجود در خاک می‌باشد. کارایی استفاده از نیتروژن همبستگی مثبتی با کارایی جذب و مصرف نیتروژن دارد، اما کارایی جذب و مصرف ،همبستگی منفی ضعیفی با یکدگر دارند (Moles et al., 1984). درکشت محصول برنج در تناوب با لوبیا که در این محصول 40 کیلوگرم نیتروژن نشان دار در هکتار مصرف شده بود بیشتر از 94 درصد کود نیتروژن در محصول برنج بازیافت شد (Motior Rahman et al., 2009). در آزمایشی که بر گندم دوروم (*Triticum aestivum* L.) انجام شد، کارایی استفاده نیتروژن با مصرف مقادیر مختلف سطوح نیتروژن معنی‌دارنبود؛ اما تیمار شاهد کارایی بیشتری نسبت به تیمار مصرف150 کیلوگرم در هکتار داشت (Lopez et al., 2006). کارایی جذب نیتروژن نسبت به کارایی مصرف نیتروژن تاثیر نسبی بیشتری بر کارایی استفاده از نیتروژن (زراعی) در عملکرد دانه

غلات دارد. در سایر مطالعات، سهم نسبی هر کدام از دو جزءکارایی استفاده از نیتروژن (کارایی جذب و کارایی مصرف) بستگی به میزان استفاده از نیتروژن داشته است، گرچه اهمیت بیشتر کارایی مصرف نیتروژن در ایجاد عملکرد بالا در غلات بدون توجه به میزان کاربرد نیتروژن خاطر نشان شده است(Alfered et al., 2000). هدف از این مطالعه ارزیابی کارایی بازیافت، فیزیولوژیک و زراعی نیتروژن در ارقام و لاین‌های سورگوم تحت تاثیر مقادیر مختلف نیتروژن و وضعیت متفاوت فتوسنتزی و نیز بررسی نقش فتوسنتز جاری و اثرات متقابل وضعیت فتوسنتزی و میزان نیتروژن مصرفی برمیزان کارایی نیتروژن در ژنوتیپ‌های سورگوم دانه‌ای (*Sorghum bicolor* L. Moench) بود.

مواد وروش‌ها

مکان اجرای آزمایش

این آزمایش به صورت کرت های خرد شده بر پایه طرح بلوک-های کامل تصادفی با سه تکرار و در سال زراعی 1388 در ایستگاه تحقیقات کشاورزی طرق مشهد به طول جغرافیایی 59 و38 شرقی وعرض جغرافیایی 16و36 شمالی با ارتفاع 985 متر از سطح دریا به اجرا درآمد. سه ژنوتیپ سورگوم دانه ای شامل رقم سپیده ودو لاین امید بخش M_2 و M_5 استحصالی از آزمایشات به نژادی در مشهد در کرت های اصلی قرار گرفتند. رقم سپیده و لاین امید بخش M_5 با عملکرد بالا در شرایط مطلوب و لاین M_2 ضمن عملکرد بالا در شرایط مطلوب در شرایط مواجه با تنش خشکی عملکرد مطلوب و پایداری داشته و از کارایی انتقال مجدد مواد فتوسنتزی بالا تری در شرایط تنش ونرمال برخورداراست (Beheshti& Behbodi Fard, 2010) . درکرت‌های فرعی فاکتوریل سه سطح مصرف نیتروژن (0،100 و200 کیلوگرم در هکتار از نوع اوره) و تیمار وضعیت فتوسنتز جاری در دو سطح شامل عدم اختلال در فتوسنتز جاری (شرایط معمولی) و اختلال در فتوسنتز جاری به وسیله آبکشیدگی برگ‌ها و اندام‌های سبزینه‌ای با استفاده از یدید پتاسیم بود. حدود 10-8 روز پس از گرده افشانی که مصادف با انتهای دوره کند رشد دانه‌ها[1] و آغاز مرحله رشد خطی پر شدن دانه‌ها است، با پاشیدن محلول باغلظت 0/4 درصد ماده مؤثره یدید پتاسیم برروی کلیه اندامهای گیاه از فتوسنتز جاری جلوگیری بعمل آمد (Nikolas & Turner, 1993).

عملیات آماده سازی بستر کاشت دراردیبهشت ماه صورت گرفت. کاشت در نیمه دوم اردیبهشت بصورت خشکه کاری وآبیاری بصورت نشتی با استفاده از لوله‌های هیدرو فیکس انجام شد. یک نمونه خاک مرکب قبل از اجرای آزمایش برای تعیین عناصر موجود در خاک تهیه و به آزمایشگاه ارسال شد (جدول 1). تمامی کود پایه بر اساس آزمون خاک (فسفر و پتاس) قبل از کاشت به میزان 250 کیلوگرم فسفات تریپل و150 کیلوگرم سولفات پتاسیم مصرف شد. یک سوم کود نیتروژن درهر تیمار در مرحله چهار برگی پس از عملیات وجین و تنک و یک سوم دیگر در مرحله هشت برگی و یک سوم باقی مانده در مرحله آغاز گلدهی بصورت سرک به روش نواری در پای بوته ها به عمق 5 سانتیمتر زیر خاک در تیمار های مربوطه مصرف شد. هر رقم بر روی چهار ردیف شش متری به فاصله 75 سانتی متر کاشت شد. تراکم نهایی برای همه ارقام 13بوته در متر مربع پس از عملیات تنک تنظیم شد

نمونه برداری و اندازه گیری

نمونه برداری تخریبی به منظور تعیین وزن خشک اندام هوایی، 40 روز پس از سبز شدن و به فاصله هر هفت روز تا پایان دوره رشد انجام شد. برای خشک کردن نمونه‌ها از آون با دمای 76 درجه و به مدت 48 ساعت استفاده شد و پس از آن نمونه های خشک شده توزین شدند. برای اندازه گیری صفات مورفولوژیک وفیزیولوژیک از هر کرت 5 بوته تصادفی با نصب اتیکیت مشخص شد. این صفات شامل قطر، ارتفاع، تعداد برگ، طول خوشه، طول پانیکول، تعداد پنجه، زمان به خوشه رفتن، زمان 50% گلدهی و رسیدگی فیزیولوژیک بودند. نمونه‌های خشک شده جهت تعیین میزان نیتروژن به آزمایشگاه ارسال شدو با استفاده از دستگاه میکروکجلدال، مقدار نیتروژن نمونه‌ها تعیین گردید (Xie et al., 2006).

کارایی جذب، فیزیولوژیک و زراعی نیتروژن به ترتیب از طریق معادلات 1 تا 4 محاسبه شد (Xie et al., 2006 ; Timsina et al., 2001).

$$NER\ \% = BNY \times 100/N \quad \text{معادله (1)}$$

NRE که در آن، کارایی جذب یا بازیافت نیتروژن (درصد)، BNY: میزان نیتروژن در بیو ماس گیاهان کرت و N میزان کود نیتروژن استفاده شده می باشد.

$$PNE(g.g^{-1}) = FYLD/BNY \quad \text{معادله (2)}$$

که در آن معادله PNE: کارایی مصرف نیتروژن، $FYLD_f$ عملکرد کرت کود داده شده (گرم درمتر مربع) و BNY_f : میزان نیتروژن در بیوماس (گرم در متر مربع)

$$ANUE(g.g^{-1}) = FYLD/N \quad \text{معادله (3)}$$

که درآن ANUE کارایی استفاده از نیتروژن، FYLD عملکرد کرت کود داده شده (گرم درمتر مربع) و میزان نیتروژن استفاده شده (گرم در متر مربع) می‌باشد.

کارایی زراعی استفاده از نیتروژن نیز از حاصلضرب کارایی فیزیولوژیک و جذب برابر معادله (4) قابل محاسبه شد.

1 - Lag phase

معادله (4) ANUE= PNE* NRE

تجزیه و تحلیل داده‌ها

جهت انجام محاسبات وتجزیه وتحلیل آماری داده‌ها و نیز رسم نمودارها از نرم افزار های Sigmaplot ver 7، Mstat-C وEXCEL انجام شد. مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن در سطح احتمال 5% انجام شد.

نتایج و بحث

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد (جدول2) که اثرات ساده وضعیت فتوسنتزی و کاربردکود نیتروژن بر صفت عملکرد دانه معنی دار 0/01 ($P\leq$) بود. مقایسه میانگین‌ها نشان دادکه بیشترین عملکرد دانه به میزان6/47 و6/12 تن در هکتاردر تیمار مصرف 100 و200کیلوگرم نیتروژن در هکتار بدست آمد واز نظرآماری تفاوت معنی دار با تیمار عدم مصرف کود نیتروژن با عملکرد دانه5/44 تن در هکتارداشت. نتایج مطالعه عسگری و همکاران (Asgharee et al., 2006) نشان داد که با افزایش میزان نیتروژن از صفر به 150 کیلوگرم، عملکرد دانه سورگوم از 4/35 به 8/56 تن در هکتار افزایش یافت و در برهمکنش بین ارقام و سطوح نیتروژن بیشترین عملکرد دانه در سطح 150 کیلوگرم نیتروژن در رقم بومی بدست آمد.

ایکه و همکاران (Oikeh et al., 2007) گزارش کردند که با مصرف 120 کیلو گرم نیتروژن در هکتار، افزایش عملکرد دانه و میزان نیتروژن در دانه ذرت نسبت به سورگوم بین 54 تا275 درصد بود، اما در مقادیر بیشتر نیتروژن و عدم مصرف نیتروژن بیوماس سرپا دو تا سه مرتبه و میزان جذب نیتروژن 165 تا 230 درصد در سورگوم بیشتر از ذرت بود.

عملکرد دانه در تیمار عدم اختلال در وضعیت فتوسنتز جاری به میزان 24% نسبت به اختلال در فتوسنتز جاری افزایش نشان داد و از 6/67 به 5/36 تن در هکتار رسید (جدول3). این کاهش عملکرد دانه به میزان 38/82 درصد (Beheshti & Behbodi Fard, 2010)، 47% در آزمایشات رویو و بلانکو (Royo & Blanco, 1999)، 32% در آزمایشات نیکلاس و ترنر (Nikolas & Turner, 1993)، 42% در گزارش بلام و همکاران (Blum et al., 1983) عنوان شده است. کمبود و کاهش نیتروژن در هر یک از مراحل رشد باعث اختلال در سنتز مواد می‌شود و کاهش در ظرفیت فتوسنتزی به عنوان یک اصل مهم در محدود شدن عملکرد و اجزاء عملکرد محسوب می‌شود. با مصرف کود نیتروژن برگ‌ها مدت طولانی تری سبزباقی می‌ماند و ریزش برگ‌ها کاهش می‌یابد و همچنین باعث افزایش فعالیت فتوسنتزی برگ‌ها می‌شود. نیتروژن در بین عناصر غذایی بیشترین تأثیر را بر فتوسنتز دارد. کمبودآن در هر یک از مراحل رشد باعث اختلال در سنتز مواد می‌شود. همبستگی مثبت و معنی‌داری بین مصرف نیتروژن و نیتروژن ویژه برگ وجود دارد. با افزایش محتوای نیتروژن برگ، فعالیت فتوسنتزی در برگ‌ها در ارقام مورد مطالعه زیاد شد، در نتیجه میزان عملکرد افزایش یافته است (Bonhomme, 2000; Evans, 1993).

شاخص برداشت

نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول2) نشان دادکه اثرات سطوح مختلف نیتروژن و وضعیت فتوسنتزی بر شاخص برداشت معنی دار (0/01 $\geq P$) بود.

بیشترین درصد شاخص برداشت به میزان 43/15 در تیمارعدم اختلال در فتوسنتز و کمترین آن به میزان 39/65 درصد در تیماراختلال در فتوسنتز جاری مشاهده شد (جدول3). یکی از راهکارهای افزایش کارایی نیتروژن، افزایش شاخص برداشت در گیاهان است. زیاد بودن شاخص برداشت نشان‌دهنده افزایش عملکرد اقتصادی گیاه نسبت به عملکرد بیولوژیک می باشد به عبارت دیگر، گیاه توانسته با افزایش سرعت و میزان مواد فتوسنتزی بیشتر و نیز انتقال مجدد مواد ذخیره‌ای را به دانه در طی پر شدن دانه افزایش دهد. کاهش شاخص برداشت در تریتیکاله به میزان 38 درصد در تیمار اختلال در فتوسنتز جاری که بوسیله استفاده از یدید پتاسیم انجام شد گزارش شده است (Royo & Blanco, 1999).

جدول 1– نتایج آنالیز خاک محل انجام آزمایش

Table 1- Soil profile analysis at Torogh station in 2009 year

مشخصات اعماق خاک (سانتی‌متر) Characteristics of soil depths (cm)	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی Ec ds.m^{-1}	کل مواد خنثی شونده (%) T.N.V (%)	کربن آلی O.C %	شن (%) Sand %	سیلت (%) Silt %	رس (%) Clay %	نیتروژن (ppm) N (ppm)	فسفر (ppm) P (ppm)	پتاسیم (ppm) K (ppm)
0-30	7.8	1.07	19.21	0.56	33	46	21	0.047	15.6	190
30-60	7.8	0.77	19.46	0.60	31	48	21	0.051	12.4	168

جدول2- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات کارایی بازیافت، فیزیولوژیک و زراعی نیتروژن

Table 2- Analysis of variance (mean of square) of characteristics of recovery (NR), physiological (PNE) and agronomy nitrogen use efficiency (ANUE)

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	عملکرد دانه Grain yield	شاخص برداشت HI	کارایی بازیافت NRE	کارایی مصرف PNE	کارایی زراعی ANUE
تکرار Rep	2	7.55ns	119.03ns	869.23ns	18.8ns	205.78ns
ژنوتیپ Genotypes	2	3.39ns	136.73ns	729.23ns	21.04ns	72.96ns
خطا Error	4	6.47	209.37	701.64	39.69	149.09
نیتروژن N	2	4.92**	170.95**	2755.63**	772.47**	1593.5**
رقم*نیتروژن N.G	4	1.08ns	37.6ns	90.2ns	17.59ns	37.63ns
وضعیت فتوسنتز Photosynthesis status	1	23.39**	165.55**	474.6*	302.17**	441.18**
رقم*فتوسنتز G.P	2	0.47ns	16.8ns	36.69ns	8.72ns	16.82ns
نیتروژن*فتوسنتز N.P	2	0.47ns	12.53ns	14.84ns	7.10ns	16.79ns
رقم*نیتروژن*فتوسنتز G.N.P	4	0.21ns	6.69ns	35.79ns	4.01ns	9.34ns
خطا Error	30	0.83	15.23	101.88	10.04	33.12
ضریب تغییرات C.V	%	15.15	9.43	14.55	8.25	21.27

ns، * و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال 5 و 1 درصد.

ns and ** are non- significant and significantly at α=0.01, respectively.

جدول3- مقایسه میانگین ارقام، سطوح نیتروژن و وضعیت فتوسنتزی مورد بررسی در کارایی‌های بازیافت، فیزیولوژیک و زراعی

Table 3- Mean comparison of genotypes, nitrogen levels and photosynthesis status on investigating traits (nitrogen recovery, physiological and agronomy nitrogen use efficiency)

تیمار Treatment / ژنوتیپ Genotypes	شاخص برداشت Hi (%)	عملکرد دانه Grain yield ($t.ha^{-1}$)	کارایی بازیافت (درصد) NRE (%)	کارایی فیزیولوژیک (گرم دانه در گرم نیتروژن) PNE ($g.g^{-1}$)	کارایی زراعی (گرم دانه در گرم نیتروژن) ANUE ($g.g^{-1}$)
Sepideh	38.61a*	6.19a	68.53a	38.15a	26.86a
M_2	44.12a	6.34a	76.11a	36.02a	28.31a
M_5	41.46a	5.52a	63.47a	37.4a	24.33a
نیتروژن (کیلوگرم در هکتار) N ($kg.ha^{-1}$)					
0	42.42a	5.44b	82.34a	43.45a	36.23a
100	43.85a	6.47a	68.31b	37.73b	25.84b
200	37.94b	6.12a	57.56c	30.38c	17.44c
وضعیت فتوسنتزی جاری Current Photosynthesis status					
عدم اختلال در فتوسنتز جاری Non disturbance	43.15a	6.67a	72.33a	39.55a	29.26a
اختلال در فتوسنتز جاری disturbance	39.65b	5.36b	66.4b	34.82b	23.64b

* میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال 5 درصد ندارند.

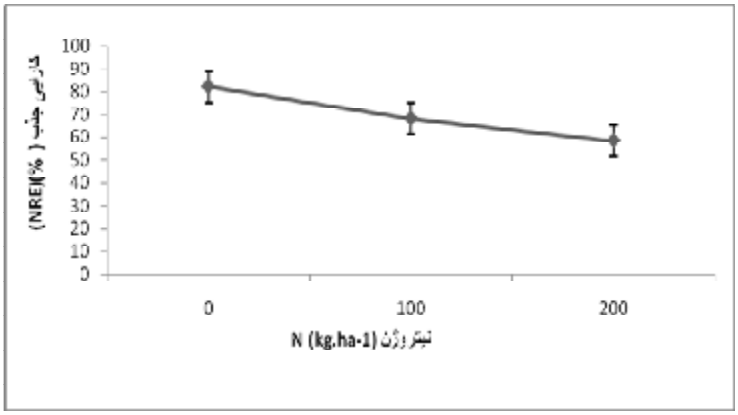
* Means within a column followed by the same letters are not significantly different at α=0.05.

با افزایش سطوح نیتروژن، شاخص برداشت کاهش یافت و این میزان کاهش در تیمار مصرف 200 کیلوگرم در هکتار نسبت به تیمار 100 کیلوگرم در هکتار 13/47درصد بود. کاهش درصد شاخص برداشت با افزایش کود نیتروژنه ، وزن خشک و تر، عملکرد دانه و بطور کلی تجمع ماده خشک افزایش می‌یابد، اما افزایش تولید بیوماس نسبت به افزایش دانه بیشتر است و در نتیجه شاخص برداشت کاهش می یابد (Behshti & Behbodi Fard, 2010). در مطالعه براس و همکاران (Borras et al., 2004) در شرایط مصنوعی، مشاهده شد که افزایش تعداد دانه ارتباط شدیدی با کاهش شاخص برداشت داشت. پاپونوف و همکاران (Paponov et al., 2005) در آزمایشی که بر دو ژنوتیپ ذرت رابطه محکمی بین شاخص برداشت و تغییر کربو هیدارت‌ها و ذخیره نیتروژن مشاهده کردند. متغییر بودن شاخص برداشت در گیاهان به تفاوت و میزان تولید و ساخت اسیمیلات‌ها در طی پر شدن دانه و انتقال مجدد اسیمیلات‌ها قبل از گرده افشانی هر ژنوتیپ و قوی بودن مخزن نیز وابسته است (Hammer et al., 2003 ; Paponov et al., 2005). در تحقیق دیگری در تیمار عدم مصرف کود نیتروژن، بیشترین شاخص برداشت بدست آمد و این مقدار بین 38/5 تا 45/5 در گندم دوروم بود (Lopez et al., 2006). همچنین بر طبق گزارش عهدیه و همکاران (Ahdaie et al., 2001) کمترین مقدار شاخص برداشت در تیمار بیشترین مصرف نیتروژن در گندم حاصل شد.

کارایی جذب نیتروژن

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر نیتروژن و وضعیت فتوسنتزی برکارایی جذب نیتروژن به ترتیب در سطح احتمال 1 و 5 درصد معنی‌دار بود (جدول 2). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که کارایی جذب نیتروژن با مقدار کود نیتروژن به کار رفته نسبت عکس داشت، به گونه‌ای که با افزایش میزان کود، کارایی جذب کاهش معنی‌داری یافت. هنگامی که 200 کیلوگرم در هکتار نیتروژن به کار برده شد، درصد جذب نیتروژن 57/56 درصد بود، اما موقعی که کاربرد کود نیتروژن به100 کیلوگرم در هکتار کاهش یافت، درصد جذب نیتروژن به 68/31% افزایش یافت که نسبت به تیمار 200 کیلوگرم 18/67 درصد افزایش نشان داد (شکل1). با افزایش مصرف نیتروژن میزان جذب نیتروژن توسط گیاه کاهش یافته است. به نظر می‌رسد که توانایی گیاه برای جذب بیشتر نیتروژن در مقادیر بیشتر مصرف نیتروژن تحت فرایندهای متابولیکی درون گیاه و شرایط محیطی می باشد و مصرف زیادتر نیتروژن موجب هدر رفت نیتروژن از طریق آبشویی، تصعید و یا هر دو می‌شود که در نهایت موجب کاهش کارایی بازیافت شده است.

نتایج مطالعه‌ای که بر برنج (*Oriza sativa* L.) انجام شد نشان داد که کارایی بازیافت نیتروژن با افزایش مصرف نیتروژن هنگامی که مصرف نیتروژن از 95 کیلوگرم به 135 کیلوگرم در هکتار افزایش داشت، کاهش یافت و از 52/7 درصد به 47/2 درصد رسید (Timsina et al., 2001). همچنین در مطالعه گواردا و همکاران (Guarda et al., 2004) بر محصول گندم مشاهده شد که با افزایش کاربرد کود نیتروژن از 80 به 160 کیلوگرم در هکتار، کارایی بازیافت نیتروژن از 56 درصد به 34 کاهش یافت.



شکل 1- اثر سطوح نیتروژن ($kg.ha^{-1}$) بر کارایی جذب نیتروژن (درصد) سورگوم دانه‌ای

Fig. 1- Effect of N applied levels ($kg.ha^{-1}$) on NRE (%) of sorghum

میانگین‌های دارای همپوشانی یکسان، بر اساس خطای استاندارد تفاوت معنی‌دار ندارد.

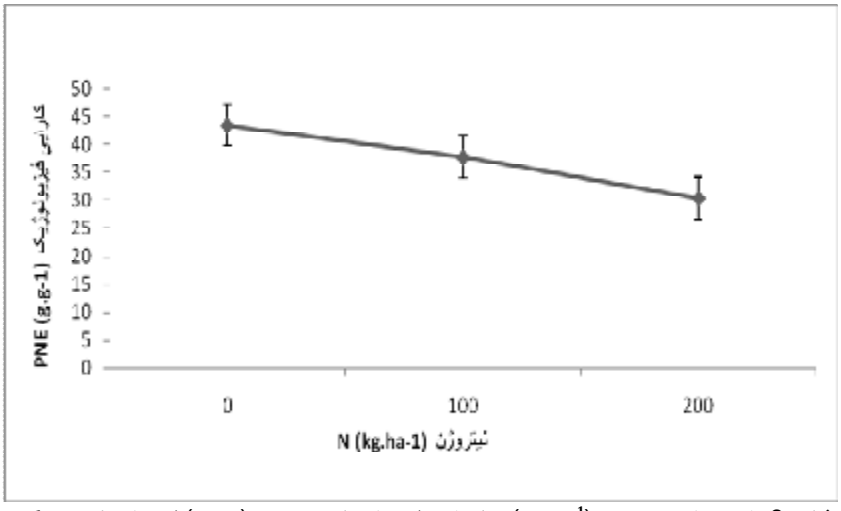
There are no significant differences between averages with similar overlap according to standard error.

مقایسه میانگین وضعیت فتوسنتزی نشان داد که عدم اختلال در فتوسنتز جاری باعث افزایش کارایی بازیافت نیتروژن به میزان 72/33 درصد شد که نسبت به تیمار اختلال 8/3 درصد افزایش نشان داد (جدول3). فتوسنتز جاری به عنوان یکی از مهمترین منابع آسیمیلات برای پر شدن دانه‌ها به حساب می‌آید که به جذب مؤثر نور بوسیله سطح سبز گیاه پس از مرحله گرده افشانی وابسته است (Araus et al., 2002). اختلال در فتو سنتز موجب شد که تأمین آسیمیلات‌ها و تخصیص آنها به اندام‌ها و در نتیجه میزان محتوای نیتروژن در بافت های گیاهی تقلیل یابد لذا میزان بازیافت نیتروژن کاهش یافت.

کارایی فیزیولوژیک نیتروژن

نتایج تجزیه واریانس نشان داد (جدول 2)که اثر کاربرد سطوح مختلف کود نیتروژن و وضعیت فتوسنتزی برکارایی فیزیو لوژیک نیتروژن معنی داربود ($P\leq 0/01$). با فزایش کاربرد کود نیتروژن در هکتار، میزان کارایی مصرف نیتروژن کاهش داشت بطوریکه در تیمار عدم مصرف کود نیتروژنه، بیشترین کارایی با مقدار43/45 (گرم دانه بر گرم نیتروژن) وکمترین به ترتیب در تیمار کاربرد 200 و 100کیلوگرم در هکتار کود نیتروژنه با مقدار (30/38 و 37/73 گرم دانه بر گرم نیتروژن) بدست آمد (شکل2). با افزایش مصرف نیتروژن نسبت تولید دانه به میزان محتوای نیتروژن در بافت‌های گیاهی کاهش یافت. با مصرف زیاتر نیتروژن رشد رویشی تحریک و میزان زیادتری از نیتروژن در بافت‌های رویشی ذخیره و مواد فتو سنتزی کمتری به دانه‌ها منتقل شده است. نتایج مطالعه‌ای که بر روی گیاه همیشه بهار (*Calendula officinalis* L.) انجام شد نشان داد کارایی فیزیولوژیک با مصرف بیشتر نیتروژن کاهش داشت به طوری که مصرف 50 کیلوگرم نیتروژن در هکتار کارایی فیزیولوژیک 19/33 گرم گل خشک بود. اما موقعی که مصرف نیتروژن به 100 و 150 کیلوگرم در هکتار افزایش یافت، میزان کارایی فیزیولوژیک 13/9 و 12/44 گرم گل خشک بود (Ameri et al., 2007). در آزمایشی بر روی گیاه کنتاکی بلوگراس (*Poa pratensis* L.) معلوم شد، با افزایش کاربرد کود نیتروژن، کارایی فیزیولوژیک نیتروژن کاهش یافت (Jiang & Hul, 1998) در محصول برنج با افزایش میزان کاربرد نیتروژن از 90 کیلوگرم به 135 کیلوگرم در هکتار، کارایی فیزیولوژیک نیتروژن از 27/5 به 11/9 کیلوگرم دانه در کیلوگرم نیتروژن در هکتار کاهش یافت (Timsina et al., 2001) .

مقایسه میانگین وضعیت فتوسنتزی نشان داد که عدم اختلال در فتوسنتز جاری باعث افزایش کارایی فیزیولوژیک نیتروژن به میزان 39/55 (گرم دانه برگرم نیتروژن) شد که نسبت به تیمار اختلال درفتوسنتز جاری 11/83درصد برتری نشان داد(شکل2). فتوسنتز جاری به عنوان یکی از مهمترین منابع هیدروکربن برای پر شدن دانه ها به حساب می‌آید که به جذب مؤثر نور بوسیله سطح سبز گیاه پس از مرحله گرده افشانی وابسته است (Araus et al., 2002; Gambin& Borras, 2007).



شکل 2- اثر سطوح نیتروژن ($kg.ha^{-1}$) بر کارایی فیزیولوژیک نیتروژن (درصد) فیزیولوژیک سورگوم

Fig. 2- Effect of N applied levels ($kg.ha^{-1}$) on PNE (%) of sorghum

میانگین‌های دارای همپوشانی یکسان، بر اساس خطای استاندارد تفاوت معنی‌دار ندارد.

There are no significant differences between averages with similar overlap according to standard error.

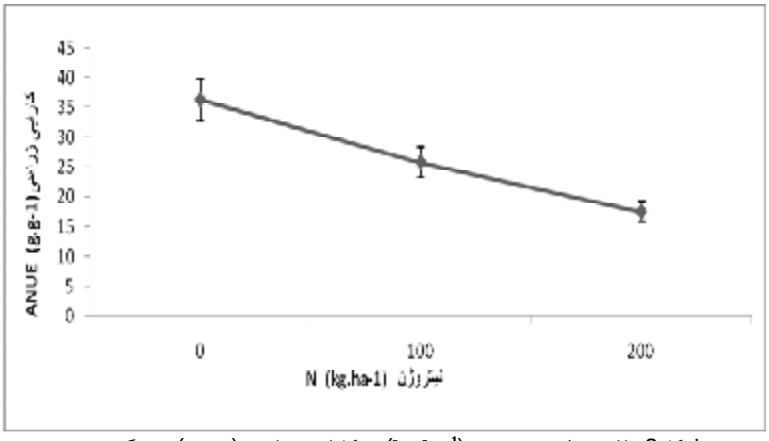
کاهش در ظرفیت فتوسنتزی موجب محدود شدن منبع در ژنوتیپ های سورگوم و کاهش عملکرد دانه به عنوان مخزن شد.

ظرفیت فتوسنتزی کمتر کانوپی منجر به کاهش عملکرد در گیاه می شود (Kumudini et al., 2002; Beheshti & Behboudee, 2010). با کاهش عملکرد دانه در صورت اختلال در فتوسنتز اگر چه میزان کل نیتروژن در بافتها نیز کاهش یافت اما میزان کاهش در عملکرد دانه بیشتر و در نهایت میزان کارایی فیزیولوژیک کاهش یافت.

کارایی زراعی نیتروژن

نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول2) نشان دادکه اثراصلی کاربرد سطوح مختلف نیتروژن و اثر وضعیت فتوسنتزی بر کارایی استفاده از نیتروژن معنی دار ($P\leq 0/01$) بود. کاربرد 200 و 100 کیلوگرم نیتروژن در هکتار به ترتیب با تولید 17/44 و 25/84 (گرم دانه در گرم نیتروژن) تفاوت معنی‌داری از نظر کارایی زراعی نیتروژن نداشتند (شکل3). تیمار عدم کاربرد نیتروژن بامقدار 36/32 گرم دانه در گرم نیتروژن از نظر آماری در گروه جداگانه‌ای قرارگرفت (شکل 3).کارایی زراعی نیتروژن حاصلضرب کارایی بازیافت و فیزیولوژیک است و همبستگی مثبتی با این دو کارایی دارد (Timsina et al., 2001). نتایج این مطالعه حاکی است که کارایی جذب نیتروژن نسبت به کارایی مصرف نیتروژن تاثیر نسبی بیشتری بر کارایی زراعی دارد. مقایسه داده‌های بدست آمده از این دو شاخص (شکل های 1و2) نشان داد که در همه تیمارهای مصرف نیتروژن مقادیر کارایی بازیافت بزرگتر از کارایی مصرف بود. در مطالعه‌ای دیگر، با کاهش استفاده نیتروژن از 150 به 100 کیلوگرم در هکتار، کارایی زراعی بترتیب از مقدار 6/84 به 8/52 (گرم گل خشک بر گرم نیتروژن) رسیدو افزایشی برابر 22/77 درصد داشت (Ameri et al., 2007).

افزایش مصرف نیتروژن از 90 کیلوگرم به 135 کیلوگرم باعث کاهش کارایی زراعی نیتروژن از 8/9 (کیلوگرم دانه برکیلوگرم نیتروژن) به 5/6 (کیلوگرم دانه برکیلوگرم نیتروژن) در گیاه برنج شد (Timsina et al., 2001). در همین آزمایش اما بر روی گندم مشاهده شد که کارایی زراعی فقط درزمانی که مزرعه آبیاری شد معنی دار بود و این کاهش در زمانی که120 کیلوگرم نیتروژن در هکتار مصرف شد بین 27-20 کیلوگرم دانه بود. با افزایش نیتروژن به 180 کیلوگرم در هکتار کاهش دانه بین 15 تا21 کیلو متغیر بود. زی و همکاران (Xie et al., 2006) کارایی زراعی را دردو رقم برنج بین 7/96 و 14/97 (کیلوگرم دانه در کیلوگرم نیتروژن) گزارش کردند. در هماهنگی با نتایج این مطالعه آنها گزارش کردند که شاخص کارایی نیتروژن با افزایش مصرف نیتروژن کاهش یافت. مقادیر کارایی بازیافت از 45 به 63 درصد وکارایی فیزیولوژیک از محدوده 51-40 کیلوگرم دانه در مصرف 120 کیلونیتروژن به 35 تا 40گیلوکرم دانه در مصرف 180 کیلوکرم نتیتروژن کاهش یافت .مقایسه میانگین وضعیت فتوسنتزی نشان داد که تیمار عدم اختلال و اختلال بر فتوسنتز جاری به ترتیب به میزان 29/26 و 23/46 (گرم دانه در گرم نیتروژن در متر مربع) اختلاف معنی داری داشتند و در تیمار عدم اختلال در فتو سنتز جاری میزان مواد فتوسنتزی انتقال یافته به دانه 19/83 درصدنسبت به تیمار اختلال در فتوسنتز جاری بیشتر بود (جدول3).



شکل3- اثر سطوح نیتروژن ($kg.ha^{-1}$) بر کارایی زراعی (درصد) سورگوم

Fig. 3- Effect of N applied levels ($kg.ha^{-1}$) on ANUE (%) of sorghum

میانگین‌های دارای همپوشانی یکسان، بر اساس خطای استاندارد تفاوت معنی‌دار ندارد.

There are no significant differences between averages with similar overlap according to standard error.

نتیجه‌گیری

از آنجا که نیتروژن از عناصر تشکیل دهنده اسیدهای نوکلئیک است و این اسیدها نقش مهمی در میزان مواد انتقال یافته به دانه‌ها بعهده دارند با کاربرد مواد بازدارنده فتوسنتز میزان فتوسنتز گیاه کاهش یافته و در نهایت میزان کارایی زراعی نیتروژن با توجه به کاهش بیشتر دانه در مقایسه با کاهش کل آسیمیلات‌ها در گیاه کاهش می‌یابد.

منابع

1- Alfred, E. H., Johnston, M., Sullivanc, J.N. O., and Polomad, S. 2000. Nitrogen use efficiency of taro and sweet potato in the humid lowlands of Papua New Guinea. Agriculture, Ecosystems and Environment 79 :21-280
2- Ameri, A., Nassiri 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 Summary)
3- Araus, J.L. A., Slafer, G., Reynolds, M.P., and Royo, C. 2002. Plant breeding and drought in C_3 cereals: what should we breed for? Annals of Botany 89: 925-940.
4- Asghari, E., Razmjoo, K., and Mazaheri tehrani, M. 2006. Effect of nitrogen rates on yield, yield components and grain protein of grain sorghum (*sorghum bicolor* L.). Journal of Agricultural Sciences and Natural Resourses from Azerbaijan Province. EJCP, 1(1): 82- 100. (In Persian with English Summary)
5- Beheshti, A. R., and Baroeei, Z. 2010. Yield associations with morph- physiological traits on drought stress in grain sorghum genotypes (*sorghum bicolor* L. Monech). Iranian Journal of Field Crops Research in Press. (In Persian with English Summary)
6- Beheshti, A.R., and Behboodi, B. 2010. Dry matter accumulation and remobilization in grain sorghum genotypes (*sorghum bicolor* L. Monech) under normal and water stress condition. Iranian Journal of Field Crops Research In Press. (In Persian with English Summary)
7- Beheshti, A.R., and Behboodi, B. 2010. Dry matter accumulation and remobilization in grain sorghum genotypes (*sorghum bicolor* L. Monech) under drought stress condition. Australian Journal of Crop Science 4(3):185-189.
8- Blum,A. Mayer, J., and Golan, G. 1983. Chemical desiccation of wheat plants as simulator of post-an thesis stress II Relation to drought stress. Field Crops Research 6: 149-155.
9- Bonhomme, R. 2000. Be ware of comparing RUE values calculated from PAR vs. solar radiation or absorbed vs. intercepted radiation. Field Crops Research 68: 247 – 252.
10- Borra´ S. L., Maddonni, G.A., and Otegui, M.E. 2003. Leaf senescence in maize hybrids: plant population, row spacing and kernel set effects. Field Crops Research 82: 13–26.
11- Campbell, C. A., Zentner, R.P., Selles, F., Mc Conkey, B.G., and Dyck, F.B. 1993. Nitrogen management forspring wheat grown annually on zero- tillage: Yield and nitrogen use efficiency. Agronomy Journal 85: 107-114.
12- Ehdaie, B., and Waines, J.G. 2001. Sowing date and nitrogen rate effects on dry matter and nitrogen partitioning in bread and durum wheat. Field Crops Research 73: 47-61.
13- Evans, I.T. 1993. Crop Evaluation, Adaptation and Yield. Cambridge University Press, Cambridge. 500pp.
14- Fan, X., Li, F., Lin, F., and Kumar, D. 2004. Fertilization with a new type of coated urea: Evaluation for nitrogen efficiency and yield in winter wheat. Plant Nutrition 25: 853-865.
15- Foulkes, M.J., Sylvester, R., Bradly, R., and Scot, K. 1998. Evidence for differences between winter wheat cultivars in acquisition of soil mineral nitrogen and uptake and utilization nitrogen. Jornal of Agricultural Sciences of Cambridge 130: 29-44.
16- Gambin, B.L., and Borras, L. 2007. Plasticity of sorghum kernel weight to increase assimilates availability. Field Crops Research 100: 272-284
17- Guarda, G., Padovan, S., and Delogu, G. 2004. Grain yield, nitrogen use efficiency and baking quality of old and modern Italian bred- wheat cultivars grown at different nitrogen levels. European. Journal of Agronomy 21: 181-192.
18- Hamdallah, G. 2000. Soil fertility management: the need for new concepts in the region. A paper presented at regional workshop on Soil Fertility Management through Farmer Fileld Schools in the Near East, Amman, Jordan.
19- Hammer, G.L, and Broad, I.J. 2003. Genotype and environment effects on dynamics of harvest index during grain filling in sorghum. Journal of Agronomy 95: 199-206.
20- Huggins, D. R., and Pan, W.L. 1993. Nitrogen efficiency component analysis: an evaluation of cropping system differences in productivity. Agronomy Journal 85: 895-905.
21- Jiang, Z., and hull, R. J. 1998. Interrelationships of nitrate uptake, nitrate reductase, and nitrogen use efficiency in selected Kentucky bluegrass cultivars. Crop Science 38: 1623-1632.

22- Koocheki, A., and Sarmadnia, G. 1999. Physiology of crop plants. Publication Jihad Daneshghhi Mashhad, Iran. 400pp. (In Persian)
23- Kumudini, S, D., Hume, J., and Chu, G. 2002. Genetic improvement in short-season Soybeans: II. Nitrogen accumulation, remobilization, and partitioning. Crop Science 42: 141-145
24- Lopez-Bellido, L., Lopez –Bellido, R.J., and Lopez-Bellido, F. 2006. Fertilizer nitrogen efficiency in durum wheat under Rainfed mediterrean conditions: effect of split application. Agronomy Journal 98: 55-62.
25- Malakuoti, M.J., and Nafisi, M. 1992. Fertilization of dry matter and irrigation soils. A Publication of Tarbiat Modarres. pp: 342 (In Persian).
26- Moles, D. J., Rangai, S.S., Bourke, R. M., and Kasamani C. T. 1984. Fertilizer response of taro in Papua New Guinea. In: S. Chandra (Ed), Edible Aroids. Clarendon Press, Oxford, Pp: 64-71.
27- Motior Rahman, M., Amano, T., and Shiraiwa, T. 2009. Nitrogen use efficiency and recovery from N fertilizer under rice-based cropping systems. Australian Journal of Crop Science 3(6): 336-351.
28- Nikolas, M.E., and Turner, N.C. 1993. Use of chemical desiccants and senescing agents to select wheat lines maintaining stable grain size during post-anthesis drought. Field crops Research 31:155- 171.
29- Oikeh, S., Chude, O.V., Kling, G.J., and Host, W.J. 2007.Comparative productivity of nitrogen – use efficiency and nitrogen- inefficient maize cultivars and traditional grain sorghum in the moist Savanna of West Africa. Africa journal of Agricultural Research 2(3): 112-118.
30- Ortiz, M.J.I., Sayre, K.D., Rsjaram, S., and Mcmahon, M. 1997.Genetic progress in wheat yield and nitrogen use efficiency under four nitrogen rate. Crop Science 37: 897-904.
31- Paponov, I.A., Sambo, P., Schulte, G., Presterl, T., Geiger, H.H., and Engels, C. 2005. Grain yield and kernel weight of two maize genotypes differing in nitrogen use efficiency at various levels of nitrogen and carbohydrate availability during flowering and grain filling. Plant and Soil 272: 111–123
32- Raun, W. R., and Johnson, G. V. 1999. Improving nitrogen use efficiency for cereal production. Agronomy Journal 91: 357-363.
33- Royo, C., and Blanco, R. 1999. Use of potassium iodide to mimic drought stress in triticale .Field Crops Research 59: 201-212.
34- Sepehr, E., Malakouti, M. J., and Nougolipour, F. 2008. Evaluation of phosphorus efficiency in Iranian cereal in a deficient calcareous soil. Eurosoil 2008 International Conference (Soil- Society-Environment). Book of abstracts: Pp. 182.In: W. E. H. for daily light partitioning in multispeciec canopies. Agricultural Forest and Meteorology 101: 251-263.
35- Spiters, C. J., Toussaint, J.M., and Goudriaan, J. 1986. Separating the diffuse and direct component of global radiation and its implication for modeling canopy photosynthesis. Components of incoming radiation. Agricultural Forest and Meteorology 38: 217-22.
36- Timsina, J., Singh, U., Badaruddin, M., Meisner C., and Amin, M.R. 2001. Cultivar, nitrogen, and water effects on productivity, and nitrogen – use efficiency and balance for rice – wheat sequences of Bangladesh. Field Crops Research 72: 43-161.
37- Xie, W., Guang-huo, W., Qi-chun, Z., and Hai-chao, G. 2006. Effects of nitrogen fertilization strategies on nitrogen use efficiency in physiology, recovery, and agronomy and redistribution of dry matter accumulation and nitrogen accumulation in two typical rice cultivars in Zhejiang, China. Journal of Zhejiang Universal Science 8(3): 208-216.