تولیدات گیاهی (مجله علمی کشاورزی)، جلد ۳۶ شماره ۴، زمستان ۹۲

مقایسه اثر گیاهان مختلف کودسبز و سطوح نیتروژن در گندم (*Triticum aestivum* L.) با استفاده از شاخص های کارایی نیتروژن

فرزاد گرامی[1]*، امیر آینه بند[2] و اسفندیار فاتح[3]

۱*- **نویسنده مسؤول:** دانشجوی کارشناسی ارشد زراعت، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز (gerami.farzad@gmail.com)

۲ و ۳- به ترتیب دانشیار و استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ دریافت:۹۰/۹/۲۷ تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۱/۱۷

چکیده

این تحقیق با هدف بررسی اثر مقادیر مختلف نیتروژن و نوع گیاهان کودسبز با استفاده از شاخص‌های کارایی نیتروژن، به‌صورت کرت‌های یک‌بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی، در سه تکرار در سال زراعی ۹۰-۱۳۸۹ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده‌ی کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شد. تیمار اصلی شامل مقادیر مختلف نیتروژن در چهار سطح (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) و تیمار فرعی شامل گیاهان کود سبز ارزن، سسبانیا، آمارانت، لوبیا چشم‌بلبلی، ماش و تیمار آیش بود. نتایج نشان داد که گیاهان کودسبز اثر معنی‌دار بر عملکرد کمی (۱۶/۳۵ درصد) و کیفی (۱۲/۰۱ درصد) دانه گندم داشتند. با افزایش مقدار نیتروژن مصرفی هم از میزان اثرگذاری گیاهان کودسبز و هم کلیه شاخص‌های کارایی بجز شاخص اتکا به نیتروژن (۸۲/۳۵ درصد افزایش) کاهش یافتند. درحالی که در بسیاری موارد عملکرد و درصد پروتئین دانه تفاوت معنی‌دار نداشتند. مناسب‌ترین شاخص‌ها برای ارزیابی تیمار نیتروژن به ترتیب عبارتند از شاخص‌های موازنه نیتروژن، اتکا به نیتروژن و کارایی مصرف نیتروژن و برای تیمار گیاهان مختلف کودسبز بهترین شاخص‌ها به‌ترتیب عبارتند از شاخص موازنه نیتروژن، کارایی جذب نیتروژن و کارایی برداشت نیتروژن. بیشترین شاخص موازنه نیتروژن و کارایی جذب نیتروژن در تیمار لوبیا چشم‌بلبلی (۱/۹۳، ۰/۷۱ کیلوگرم بر کیلوگرم) و بیشترین مقدار کارایی برداشت نیتروژن در تیمار آمارانت (۸۹/۱۸ درصد) مشاهده شد. شاخص اتکا به نیتروژن بیشترین (۰/۷۷) همبستگی مثبت با عملکرد دانه را دارا بود. با توجه به نتایج این پژوهش صرفاً توجه به معیارهای سنتی تولید مانند عملکرد دانه کافی نبوده و باید به‌طور همزمان معیارهای اکولوژیکی تولید مانند شاخص‌های کارایی نیز مورد توجه قرار گیرند.

کلید واژه‌ها: گندم، کودسبز، کارایی بکارگیری نیتروژن، اتکا به نیتروژن، اگروفیزیولوژیکی

مقدمه

حاصل‌خیزی و باروری خاک از جمله عوامل کلیدی و مهم برای حفظ یا بهبود رشد گیاهان زراعی و توان تولید آن‌ها محسوب می‌گردد. گیاهان کودسبز در حقیقت نوعی ماده آلی گیاهی محسوب می‌شوند که نه تنها حاصل‌خیزی خاک را بهبود می‌بخشند، بلکه به‌عنوان منبع تأمین عناصر غذایی نیز مطرح می‌باشند (دایگامی و ترن[1]، ۲۰۰۱). گیاهان کودسبز شامل گیاهانی هستند که در فاصله بین دو گیاه اصلی کشت شده و در مراحل اولیه رشد رویشی به‌وسیله خاک‌ورزی و با هدف بهبود ماده آلی خاک و تأمین نیتروژن از منابع آلی برای گیاه زراعی بعدی به خاک باز گردانده می‌شوند (چر و همکاران[2]، ۲۰۰۶). هر دو گروه گیاهان بقولات و غیر بقولات به-

1- Dayegamiye & Tran
2- Cherr *et al.*

عنوان کودسبز مورد استفاده قرار می‌گیرند. اگرچه بیان شده که گیاهان کودسبز بقولات در مقایسه با غیربقولات اثرگذاری بیشتری بر حاصل‌خیزی خاک دارند. اما به‌هرحال میزان تأثیر گیاهان مختلف کودسبز بر خصوصیات خاک بستگی به مقدار، نوع، اندازه و ترکیبات اصلی هرگروه از گیاهان کودسبز دارد (دایگامی و ترن، ۲۰۰۱). شایان ذکر است که علاوه بر تفاوت بین گیاهان کودسبز مقدار کود نیتروژن نیز بر میزان اثرگذاری گیاهان کودسبز مؤثر خواهد بود. برای مثال زمانی که لوبیا چشم‌بلبلی به‌عنوان کودسبز ۳۰ روز پس از کاشت با خاک مخلوط شد، در شرایط عدم کاربرد نیتروژن و کاربرد ۹۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌ترتیب ۴/۵ و ۶/۸ تن در هکتار زیست توده تولید کرد که این مقدار کودسبز به‌ترتیب معادل ۲۰ تا ۳۱ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، ۴ تا ۶ کیلوگرم فسفر در هکتار و حدوداً ۱۲ تا ۱۸/۵ کیلوگرم پتاسیم در هکتار تأمین نمود (سینگ و همکاران[1]، ۲۰۱۰). از سوی دیگر، کارایی مصرف نیتروژن بیانگر این است که چگونه گیاهان زراعی به‌طور کارآمد نیتروژن در دسترس را به دانه انتقال می‌دهند. به‌هرحال برای ارزیابی و تأثیر عملیات مختلف زراعی بر این شاخص، تجزیه و تحلیل آن به اجزای اصلی که عبارتند از کارآیی جذب نیتروژن و کارایی بکارگیری نیتروژن ضروری خواهد بود (گواردا و همکاران[2]، ۲۰۰۴). این نوع بررسی شامل فرایندهای فیزیولوژیکی مختلفی است که بر حفظ نیتروژن در محیط، جذب نیتروژن از خاک، انتقال نیتروژن و استفاده از آن در تولید اسیمیلات در گیاه مشارکت دارند (دایگامی و ترن، ۲۰۰۱). به‌هر حال روند قطعی تولید غلات در جهان به گونه‌ای است که هدف آن افزایش عملکرد بوده و در عین حال سودمندی تولید آن در ارتباط با مشکلات زیست محیطی و افزایش هزینه کودها نیز حفظ گردد. عملکرد بالا نیازمند نهاده نیتروژن بیشتر است و نهاده زیاد نیتروژن می‌تواند باعث مشکلات زیست محیطی مانند آلودگی آب‌ها و افزایش هزینه کودها شود. (هوگینز و پان[3]، ۱۹۹۳). در حال حاضر میانگین جهانی کارایی مصرف نیتروژن برای تولید غلات از جمله گندم تقریباً ۳۳ درصد گزارش شده است (اندرسون[4]، ۲۰۰۸). در یک تحقیق با کمی نمودن واکنش گندم پائیزه به نوع گیاه قبلی و مدیریت گیاه زراعی نشان داده شد که شاخص کارایی نیتروژن با افزایش میزان نیتروژن کاهش یافت. به‌عبارت دیگر نتیجه کاربرد مقادیر زیاد نیتروژن، جذب ضعیف نیتروژن و کارایی مصرف نیتروژن پایین به‌علت افزایش میزان تلفات نیتروژن خواهد بود (یاداو[5]، ۲۰۰۴). ناصری و همکاران[6] (۲۰۱۰) در طی آزمایشی با بررسی اثر سطوح مختلف نیتروژن (صفر، ۸۰، ۱۶۰ و ۲۴۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار) بر عملکرد و درصد پروتئین دانه سه رقم گندم چمران، ورناک و دز، گزارش نمودند که با افزایش سطوح نیتروژن مصرفی عملکرد دانه و درصد پروتئین دانه به‌طور معنی‌دار افزایش یافت. موسوی و همکاران[7] (۲۰۰۹) نیز گزارش نمودند که با کاربرد کودسبز چاودار بدون مصرف نیتروژن، عملکرد دانه گندم در مقایسه با تیمار عدم کاربرد کودسبز، ۱۴ درصد کاهش یافت. دلیل این امر افزایش نسبت کربن به نیتروژن به بالاتر از ۳۰ و ایجاد رقابت شدید بین بوته‌های گندم و میکروارگانیسم‌های خاک در جذب نیتروژن گزارش شد.

در حال حاضر تحقیقات اندکی بر روی اثر گیاهان کود سبز به‌ویژه ارزیابی آن‌ها با شاخص‌های کارایی نیتروژن صورت گرفته است. هدف از اجرای این تحقیق استفاده از شاخص‌های کارایی نیتروژن، جهت ارزیابی بوم‌شناختی و بکارگیری برخی راه‌کارهای کشاورزی پایدار و مقایسه آن با شرایط کشاورزی فشرده (پرنهاده)

1- Singh *et al.*
2- Guarda *et al*.
3- Huggins & Pan
4- Anderson
5- Yadav
6- Naseri *et al.*
7- Mosavi *et al.*

در خصوص نحوه استفاده از منابع و نهاده‌های پرمصرف همچون نیتروژن می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال زراعی ۹۰-۱۳۸۹ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده‌ی کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز واقع در عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۹ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۴۱ دقیقه شرقی و ارتفاع از سطح دریا ۲۰ متر به اجرا درآمد. خصوصیات خاک محل آزمایش قبل از کشت گیاهان کودسبز شامل بافت خاک لوم شنی، اسیدیته ۷/۸، ماده آلی ۰/۵۲ درصد، نیتروژن کل خاک ۰/۰۳۹، مقدار فسفر قابل جذب ۱۳ میلی‌گرم برکیلوگرم و مقدار پتاسیم قابل جذب ۱۵۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. این پژوهش به‌صورت آزمایش کرت‌های یک‌بار خرد شده، در قالب بلوک‌های کامل تصادفی، با سه تکرار اجرا گردید. تیمار اصلی شامل سطوح مختلف نیتروژن (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) و تیمار فرعی در برگیرنده انواع گیاهان کودسبز شامل: سسبانیا (*Sesbania* sp.)، ارزن (*Pennisetum* sp.)، آمارانت (*Amaranthus* sp.)، لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata* L.)، ماش (*Vigna radiate* L.) و آیش (عدم کاربرد کودسبز) بود. این آزمایش دربرگیرنده دو مرحله کشت گیاهان کودسبز در تاریخ سوم شهریور و بازگرداندن آن‌ها به خاک با شخم به‌وسیله گاوآهن برگردان‌دار در تاریخ ۱۳مهرماه و سپس کشت گیاه گندم در تاریخ ۲۵ آبان و برداشت آن در هفته اول اردیبهشت ماه بود. در این آزمایش از گندم رقم چمران استفاده شد. بذور گندم به میزان ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار (مطابق با میزان رایج منطقه)، درکرت‌هایی به طول ۸ متر و عرض ۲ متر، به‌صورت دستی کشت گردیدند. کلیه عملیات آماده سازی زمین شامل کاشت، آبیاری و مدیریت علف‌های هرز مطابق عرف منطقه انجام شد. نیتروژن مورد استفاده از منبع اوره با ۴۶ درصد نیتروژن محاسبه و برای مصرف به‌صورت پایه و سرک در نظر گرفته شد. فسفر خالص (P_2O_5) به میزان ۹۰ کیلوگرم در هکتار محاسبه و از منبع سوپر فسفات تریپل به‌صورت کود پایه مصرف گردید. همچنین پتاسیم (K_2O) از منبع سولفات پتاسیم به میزان ۸۰ کیلوگرم در هکتار محاسبه و به‌صورت پایه به‌طور یکنواخت در سطح مزرعه پخش گردید.

صفات مورد ارزیابی در این تحقیق شامل شاخص‌های ارزیابی کارایی نیتروژن (جدول ۱) و عملکرد کمی و کیفی گندم (عملکرد دانه و درصد پروتئین دانه) بود. برای اندازه‌گیری عملکرد دانه گندم، پس از حذف حاشیه‌ها مساحتی معادل یک مترمربع از چهار ردیف در هر کرت توسط کوادرات برداشت شدند. پس از برداشت نهایی از خطوط مربوط به عملکرد، بوته‌های برداشت شده به‌مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و سپس وزن خشک کل آن‌ها توسط ترازو اندازه‌گیری شده، سپس عملکرد دانه و وزن خشک نمونه‌ها به هکتار تبدیل شد. همچنین برای اندازه‌گیری مقدار نیتروژن، جهت ارزیابی شاخص‌های کارایی نیز نمونه‌گیری پس از حذف حاشیه‌ها، از ابعاد یک مترمربع و در دو مرحله گرده‌افشانی و رسیدگی انجام شد. جهت تعیین درصد غلظت نیتروژن از دستگاه تعیین نیتروژن (کجلدال) استفاده شد. در نهایت، تجزیه آماری داده‌ها و رسم نمودارها به‌ترتیب به‌وسیله نرم‌افزار SAS و Excel و مقایسه میانگین داده‌ها به‌وسیله آزمون LSD و در سطح احتمال ۰/۰۵ انجام گرفت.

نتایج و بحث

الف – شاخص‌های کارایی نیتروژن

۱-کارایی مصرف نیتروژن: نتایج این آزمایش نشان داد که با افزایش مصرف نیتروژن، مقدار این شاخص به‌شکل معنی‌دار کاهش یافت (جدول ۲). همچنین از بین گیاهان کودسبز نیز، گیاهان بقولات شاخص کارایی مصرف نیتروژن بیشتری از گیاهان غیربقولات و عدم کاربرد کودسبز دارا بودند. در مجموع بیشترین مقدار این

جدول ۱- نحوه‌ی محاسبه‌ی شاخص‌های کارایی نیتروژن (فاگریا[1]، ۲۰۰۹)

عنوان	واحد	فرمول
۱- کارایی مصرف نیتروژن	$Kg.kg^{-1}$	(عملکرد دانه) تقسیم بر (ذخیره نیتروژن خاک)
۲- کارایی جذب نیتروژن	$Kg.kg^{-1}$	(نیتروژن جذب شده توسط گیاه) تقسیم بر (ذخیره نیتروژن خاک)
۳- کارایی بکارگیری نیتروژن	$Kg.kg^{-1}$	(عملکرد دانه) تقسیم بر (نیتروژن جذب شده توسط گیاه)
۴- شاخص اتکا به نیتروژن	$Kg.kg^{-1}$	(مقدار کود مصرف شده) تقسیم بر (ذخیره نیتروژن خاک)
۵- شاخص موازنه نیتروژن	$Kg.kg^{-1}$	(عملکرد دانه) تقسیم بر (مقدار کود مصرف شده)
۶- شاخص برداشت نیتروژن	(%)	(کل نیتروژن موجود در دانه) تقیسم بر (کل نیتروژن گیاه) ضرب در ۱۰۰
۷- کارایی انتقال مجدد نیتروژن	(%)	[(نیتروژن دانه) – (نیتروژن اندام های هوایی در مرحله رسیدگی - نیتروژن اندام های هوایی در مرحله گرده افشانی)] تقسیم بر (نیتروژن کل در مرحله گرده افشانی)
۸- کارایی فیزیولوژیکی نیتروژن	$Kg.kg^{-1}$	[(عملکرد کل ماده خشک گیاهی که کود دریافت کرده) – (عملکرد کل ماده خشک گیاهی که کود دریافت نکرده)] تقسیم بر [(جذب نیتروژن توسط گیاهی که کود دریافت کرده) –(جذب نیتروژن توسط گیاهی که کود دریافت نکرده)]
۹- کارایی اگروفیزیولوژیکی نیتروژن	$Kg.kg^{-1}$	[(عملکرد دانه گیاهی که کود مصرف کرده) – (عملکرد دانه گیاهی که کود مصرف نکرده)] تقسیم بر [(جذب نیتروژن توسط گیاهی که کود دریافت کرده - جذب نیتروژن توسط گیاهی که کود دریافت نکرده)]
۱۰- کارایی زراعی نیتروژن	$Kg.kg^{-1}$	(عملکرد دانه گیاهی که کود مصرف کرده - عملکرد دانه گیاهی که کود مصرف نکرده) تقسیم بر (مقدار کود مصرف شده)
۱۱- ذخیره نیتروژن خاک	kg	نیتروژن مصرف شده بصورت کود پایه + نیتروژن مصرف شده در طول فصل رشد گیاه (کودسرک) + ذخیره نیتروژن خاک قبل از کشت گیاه زراعی

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس شاخص‌های کارایی مصرف نیتروژن، کارایی جذب نیتروژن، کارایی بکارگیری نیتروژن، شاخص اتکا به نیتروژن و شاخص موازنه نیتروژن تحت تأثیر سطوح نیتروژن و گیاهان مختلف کودسبز

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		کارایی مصرف نیتروژن	کارایی جذب نیتروژن	کارایی بکارگیری نیتروژن	شاخص اتکا به نیتروژن	شاخص موازنه نیتروژن
تکرار	۲	۳/۰۴^{ns}	۰/۰۰۰۳^{ns}	۱۰/۹۲^{ns}	۰/۰۰۰۳^{ns}	۰/۰۵۸^{ns}
سطوح نیتروژن	۳	۳۴۹/۴۱**	۰/۰۷۵**	۴۴۶/۱۴**	۰/۰۷۵**	۳۲/۴۲**
خطای اصلی	۶	۴/۴۳	۰/۰۰۱	۷/۱۶	۰/۰۰۱۲	۰/۰۳۵
کودسبز	۵	۱۷/۴۵^{ns}	۰/۰۰۸^{ns}	۴۱/۶۶^{ns}	۰/۰۰۷۸^{ns}	۰/۴۸^{ns}
نیتروژن× کودسبز	۱۵	۱۴/۴۶^{ns}	۰/۰۰۰۸^{ns}	۲۸/۷۸^{ns}	۰/۰۰۰۹^{ns}	۰/۱۹^{ns}
خطای فرعی	۴۰	۹/۵۵	۰/۰۰۰۹	۲۰/۴	۰/۰۰۰۹	۰/۰۹۵

*و** به ترتیب در سطح احتمال ۵ و ۱٪ معنی دار می‌باشد و ns معنی‌دار نمی‌باشد.

1- Fageria

شاخص (۲۹/۱ کیلوگرم بر کیلوگرم) در شرایط کاربرد کودسبز لوبیا چشم‌بلبلی و بدون مصرف نیتروژن به‌دست آمد (جدول ۳). این نتایج نشان داد چنانچه از گیاهان بقولات به‌عنوان کودسبز استفاده شود، کاهش مصرف نیتروژن نتیجه بهتری خواهد داشت. سودمندی گیاهان کودسبز غیربقولات معمولاً با نیتروژن بیشتر، قابل توجه بود. همچنین با توجه به نحوه‌ی محاسبه این شاخص می‌توان چنین استنباط نمود که عامل اصلی تأثیرگذار در تغییرات کمیت آن عمدتاً به‌علت تفاوت در فراهمی نیتروژن خاک می‌باشد. در یک بررسی گزارش شده که گیاهان کودسبز بقولات از جمله ماشک و شبدر سفید دارای کارایی مصرف نیتروژن بهتر و بیشتری نسبت به گیاهان غیربقولات مانند چاودار بودند (آساگی و اوئنو[1]، ۲۰۰۹).

۲- کارایی جذب نیتروژن: این شاخص در واکنش به سطوح مختلف نیتروژن، روندی مشابه با شاخص کارایی مصرف نیتروژن دارا بود (جدول ۲)، به‌طوری که کمترین مقدار این شاخص در بالاترین سطح نیتروژن مصرفی به‌دست آمد (جدول ۳). از سوی دیگر بررسی‌ها نشان دهنده برتری گیاهان کودسبز بقولات به لحاظ این شاخص در مقایسه با گیاهان غیربقولات هستند. به‌هرحال، بیشترین مقدار این شاخص (۰/۷۹ کیلوگرم بر کیلوگرم) با کاربرد لوبیا چشم‌بلبلی در شرایط عدم مصرف کود نیتروژن به‌دست آمد (جدول ۳). از این نتایج می‌توان چنین استنباط نمود که برای دستیابی به کارایی بهتر در جذب نیتروژن، صرف نظر از نوع گیاه کودسبز کاهش مصرف نیتروژن معقولانه‌تر به‌نظر می‌رسد. طبق یکی از یافته‌های اخیر، استفاده از کود نیتروژن نسبت به تیمار عدم مصرف کود نیتروژن، کارآیی جذب نیتروژن را بهبود بخشیده و همچنین آزادسازی تدریجی نیتروژن نسبت به آزادسازی سریع، کمیت این شاخص را بیشتر افزایش داد (طارق‌جان و همکاران[2]، ۲۰۱۰). به‌علاوه گزارش شده است که در گندم و در شرایط کمبود نیتروژن بیشترین تغییرات در شاخص کارایی مصرف نیتروژن روی داد (رائون و جانسون[3]، ۱۹۹۹).

۳- کارایی بکارگیری نیتروژن: روند تغییرات شاخص بکارگیری نیتروژن در واکنش به سطوح مختلف نیتروژن به‌طور معنی‌داری کاهش یافت و بالاترین میزان مصرف نیتروژن، کم‌ترین کارایی (۲۳/۲۶ کیلوگرم بر کیلوگرم) را به همراه داشت (جدول ۲). از سوی دیگر بررسی گیاهان مختلف کودسبز نیز نشان داد که نوع خانواده گیاهان کودسبز اثر تعیین‌کننده کمتری بر این شاخص داشته است. بررسی برهمکنش بین تیمارها نیز تأییدکننده این مطلب است، زیرا بیشترین میزان کارایی بکارگیری نیتروژن (۴۰/۱۶ کیلوگرم بر کیلوگرم) در شرایط کاربرد کودسبز لوبیا چشم‌بلبلی و بدون مصرف کود نیتروژن به‌دست آمد (هرچند که به لحاظ آماری تفاوت معنی‌دار با کاربرد گیاه ماش (بقولات) یا ارزن و آمارانت (غیربقولات) در همین سطح از کود نیتروژن مصرفی نشان نداد (جدول ۳). نتایج پژوهشی نشان داد که آزادسازی تدریجی نیتروژن توسط بقایای تجزیه شده گیاهان کودسبز تأثیر مثبت و معنی‌دار بر کارایی بکارگیری نیتروژن نسبت به کودهای شیمیایی نیتروژن داشت (تاکاهاشی و همکاران[4]، ۲۰۰۷).

۴- شاخص اتکا به نیتروژن: این شاخص واکنش مثبت و معنی‌دار به سطوح نیتروژن مصرفی نشان داد. به‌طوری که با افزایش مقدار نیتروژن از ۵۰ تا ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار، مقدار این شاخص نیز افزایش معنی‌دار یافت (جدول ۲) و بیشترین (۰/۳۱ کیلوگرم بر کیلوگرم) مقدار شاخص اتکای نیتروژن با مصرف ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌دست آمد (جدول ۳). بررسی گیاهان مختلف کودسبز نیز حاکی از برتری گندم‌های کشت شده پس از کودهای سبز غیربقولات (ارزن و آمارانت) به لحاظ این شاخص، در مقایسه با

1- Asagi & Ueno
2- Tariq Jan *et al.*
3- Raun & Johnson
4-Takahashi *et al.*

جدول۳- مقایسه میانگین اثرسطوح نیتروژن و نوع گیاهان کودسبز بر شاخص‌های کارایی مصرف نیتروژن، کارایی جذب نیتروژن، کارایی بکارگیری نیتروژن، شاخص اتکا به نیتروژن، شاخص موازنه نیتروژن و شاخص برداشت نیتروژن

تیمارهای آزمایش	کارایی مصرف نیتروژن	کارایی جذب نیتروژن	کارایی بکارگیری نیتروژن	شاخص اتکا به نیتروژن	شاخص موازنه نیتروژن	شاخص برداشت نیتروژن
	کیلوگرم بر کیلوگرم					درصد
نیتروژن						
(کیلو گرم در هکتار)						
صفر	۲۴/۲۵a	۰/۷۵a	۳۴/۹۵a	–	–	۹۲/۴۳a
۵۰	۲۰/۲۲b	۰/۷۰b	۲۹/۱۳b	۰/۱۷c	۳/۳۲a	۸۸/۹۵b
۱۰۰	۱۶/۶۵c	۰/۶۳c	۲۶/۲۹c	۰/۲۷b	۱/۸۵b	۸۵/۴۲c
۱۵۰	۱۴/۱۲d	۰/۶۱c	۲۳/۲۶d	۰/۳۱a	۱/۴۶c	۸۳/۱۴d
گیاهان کودسبز						
آیش (بدون کودسبز)	۱۸/۱۹ab	۰/۶۵d	۲۸/۲۳ab	۰/۲a	۱/۳۸d	۸۴/۶۴b
ارزن	۱۸/۸۶ab	۰/۶۵d	۲۹/۵۲a	۰/۱۹۳ab	۱/۵۱cd	۸۷/۹۳a
سسبانیا	۱۶/۸۳b	۰/۷۰ab	۲۴/۷۴b	۰/۱۸۳bc	۱/۸ab	۸۷/۷۴ab
آمارانت	۱۸/۹۸ab	۰/۶۶cd	۲۹/۱۲a	۰/۱۸۹a-c	۱/۶۳b-d	۸۹/۱۸a
لوبیا چشم‌بلبلی	۲۰/۲۵a	۰/۷۱a	۲۹/۱۸a	۰/۱۸c	۱/۹۳a	۸۸/۹۴a
ماش	۱۹/۷۴a	۰/۶۸bc	۲۹/۶۵a	۰/۱۸۳bc	۱/۷۱a-c	۸۶/۴۷ab
برهمکنش						
صفر ×آیش	۲۷/۳۴ab	۰/۷۵a-c	۳۸/۹۹a	–	–	۹۲/۳۶a-d
صفر ×ارزن	۲۲/۲۵cd	۰/۷۱c-e	۳۳/۳a-c	–	–	۹۲/۷a-c
صفر ×سسبانیا	۱۹/۸c-g	۰/۷۸a	۲۸/۶۵b-f	–	–	۹۱/۵۱a-d
صفر ×آمارانت	۲۲/۹b-d	۰/۷۳b-d	۳۳/۷۶a-c	–	–	۹۴/۵ab
صفر ×لوبیا چشم‌بلبلی	۲۹/۱a	۰/۷۹a	۴۰/۱۶a	–	–	۹۵/۰۵a
صفر × ماش	۲۴/۱۴bc	۰/۷۵a-c	۳۴/۸۴ab	–	–	۸۸/۴۶c-g
۵۰ ×آیش	۱۸/۸۲d-h	۰/۶۵f-h	۲۸/۸۸b-f	۰/۱۹h	۲/۷۶d	۸۸/۲۷c-g
۵۰×ارزن	۲۲/۱۶cd	۰/۶۶f-h	۳۳/۷۲a-c	۰/۱۸۷hi	۲/۸۲d	۸۹/۹۱a-e
۵۰×سسبانیا	۱۹/۹۹c-g	۰/۷۳b-d	۲۷/۳۲c-g	۰/۱۶ij	۳/۷۴ab	۸۹/۶۸a-e
۵۰ ×آمارانت	۲۰/۳۶c-f	۰/۶۹d-f	۲۹/۶۵b-e	۰/۱۷۷h-j	۳/۰۳cd	۸۷/۳۵c-h
۵۰ ×لوبیا چشم‌بلبلی	۱۸/۹۸d-h	۰/۷۴a-c	۲۵/۸۶d-h	۰/۱۵۷j	۴/۰۶a	۹۲/۱a-d
۵۰ ×ماش	۲۱/۰۱c-e	۰/۷۲c-e	۲۹/۳۳b-e	۰/۱۶ij	۳/۴۸bc	۸۶/۴d-i
۱۰۰ ×آیش	۱۵/۴۵g-j	۰/۵۹ij	۲۵/۸۹d-h	۰/۲۸۳c-f	۱/۵۶f-h	۸۲/۸۸f-i
۱۰۰ ×ارزن	۱۵/۴۱g-j	۰/۶۱h-j	۲۵/۱۵d-h	۰/۲۷۷d-g	۱/۶۵e-h	۸۲/۶۵g-i
۱۰۰ ×سسبانیا	۱۴/۲۶h-j	۰/۶۵f-h	۲۲/۰۵f-h	۰/۲۷e-g	۱/۸۴e-g	۸۴/۷۶e-i
۱۰۰ ×آمارانت	۱۶/۸۵e-i	۰/۶۵f-h	۲۵/۷۹d-h	۰/۲۵g	۲/۰۴e-f	۸۵/۲۱e-i
۱۰۰ ×لوبیاچشم‌بلبلی	۱۸/۳۹d-h	۰/۶۷e-g	۲۷/۷c-g	۰/۲۵g	۲/۱۳e	۸۸/۱۴c-h
۱۰۰ × ماش	۱۹/۵۳c-g	۰/۶۳g-j	۳۱/۱۴b-d	۰/۲۶۷fg	۱/۸۷e-g	۸۸/۸۶b-g
۱۵۰ ×آیش	۱۱/۱۶j	۰/۵۸j	۱۹/۱۵h	۰/۳۲۷ab	۱/۱۸h	۷۵/۱j
۱۵۰×ارزن	۱۵/۶۲f-j	۰/۶۱h-j	۲۵/۹۲d-h	۰/۳۰۷a-c	۱/۵۶f-h	۸۶/۴۶d-i
۱۵۰×سسبانیا	۱۳/۲۸ij	۰/۶۳۳g-i	۲۰/۹۴gh	۰/۳a-d	۱/۶۱f-h	۸۵e-i
۱۵۰ ×آمارانت	۱۵/۸۳f-j	۰/۵۸۳ij	۲۷/۲۷c-g	۰/۳۳a	۱/۴۴gh	۸۹/۶۷a-e
۱۵۰ ×لوبیا چشم‌بلبلی	۱۴/۵۶h-j	۰/۶۳g-j	۲۲/۹۸e-h	۰/۲۹۷c-e	۱/۵۱gh	۸۰/۴۷ij
۱۵۰ ×ماش	۱۴/۲۶h-j	۰/۶۲g-j	۲۳/۲۸f-i	۰/۳۰۳a-d	۱/۴۹gh	۸۲/۱۵hi

اعداد دارای حروف مشابه در هرستون در سطح آماری ۵ ٪ معنی‌دار نمی‌باشند.

گیاهان کودسبز بقولات (ماش، لوبیا چشم‌بلبلی و سسبانیا) بود (جدول ۳). به‌عبارت دیگر این نتایج حاکی از این است که به‌طور میانگین حضور گیاهان تثبیت کننده نیتروژن از اتکای سیستم زراعی به نهاده‌های خارجی نیتروژن خواهد کاست. برهمکنش تیمارهای آزمایش برای این شاخص نیز نشان داد که در تیمار عدم کاربرد گیاهان کودسبز در مقایسه با حضور هر دو گروه گیاهان کودسبز بقولات و غیربقولات باعث شده که در کلیه سطوح کود مصرفی نیتروژن (از ۵۰ تا ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار) همواره مقدار این شاخص بالاترین کمیّت را داشت (جدول۳).

این شرایط در واقع مشابه وضعیت سیستم‌های زراعی فشرده یا پرنهاده است و همانطوری که انتظار می‌رفت بیشترین میزان اتکا به نهاده خارجی نیتروژن را دارا بود. در مقابل، حضور کودسبز سسبانیا در مقایسه با سایر گیاهان کودسبز به‌ویژه گیاهان کودسبز بقولات، کمترین مقدار این شاخص را در کلیه سطوح نیتروژن مصرفی دارا بود (هرچند در برخی موارد تفاوت معنی‌داری نداشت) که نشان دهنده مزیت حضور این گیاه به‌ویژه در کوتاه مدت است. به‌طور مشابه پژوهش‌گران نشان دادند که شاخص اتکا به نیتروژن با افزایش کود نیتروژن مصرفی افزایش یافته و به‌طور میانگین در بالاترین سطح نیتروژن کاربردی ۶۹ درصد بود (هوگینز و پان، ۱۹۹۳). همچنین اظهار شده که در بسیاری از اکوسیستم‌های زراعی، شاخص اتکا به نیتروژن در طول زمان با کاهش ماده آلی خاک افزایش یافته است (داوسون و همکاران[1]، ۲۰۰۸).

۵- شاخص موازنه نیتروژن: این شاخص به‌طور معنی‌دار متأثر از مقادیر مختلف نیتروژن بود (جدول ۲). همچنین مقایسه گیاهان مختلف کودسبز نشان داد که گیاهان کودسبز بقولات به طور میانگین از شاخص موازنه نیتروژن بهتری نسبت به گیاهان کودسبز غیربقولات برخوردار می‌باشند (جدول ۳). به‌هر حال بیشترین مقدار این شاخص مربوط به کودسبز لوبیا چشم-بلبلی بود (۱/۹۳ کیلوگرم بر کیلوگرم). برهمکنش تیمارها نیز نشان می‌دهد که در کلیه سطوح کاربرد کود نیتروژن، عدم کاربرد گیاهان کودسبز کمترین میزان شاخص موازنه نیتروژن را دارا بود (جدول ۳). از آنجا که این شرایط مشابه وضعیت سیستم‌های پرنهاده می‌باشد بنابراین می‌توان چنین استنباط نمود که در این گونه نظام‌های تولید محصولات زراعی، کمترین موازنه بین مصرف و بکارگیری و حتی حفظ نیتروژن وجود دارد. لذا عدم موازنه مطلوب را می‌توان به تلفات بیشتر نیتروژن از اکوسیستم نیز تعریف نمود. هرچند که در برخی موارد حضور گیاهان کودسبز، به‌ویژه در مقادیر بالای مصرف کود نیتروژن (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) نتوانسته نقش مؤثری در موازنه مطلوب نیتروژن ایفا کند، ولی در مقایسه با شرایط عدم کاربرد کود نیتروژن، استفاده از گیاهان کودسبز، منجر به موازنه بهتر و مطلوب‌تر نیتروژن در محیط اکوسیستم زراعی شده است. در این ارتباط گزارش شده که این شاخص با افزایش مقادیر نیتروژن مصرفی کاهش یافت. به‌طوری که کمیّت شاخص موازنه نیتروژن با مصرف حداقل مقدار نیتروژن مصرفی نزدیک به یک بود و سپس با افزایش سطوح نیتروژن مصرفی به کمتر از یک تنزل یافت. زیرا تأمین نیتروژن مورد نیاز برای دستیابی به عملکرد دانه و درصد پروتئین دانه منجر به کاهش موازنه نیتروژن به کمتر از یک می‌شود (رائون و جانسون، ۱۹۹۹). بنابراین شاخص کمتر از یک نشان دهنده‌ی استفاده از منابع داخلی نیتروژن گیاه و کاهش منابع نیتروژن خاک می‌باشد. در حالی‌که کمیّت بالاتر از یک نشان دهنده پتانسیل هدررفت نیتروژن از اکوسیستم زراعی است (هوگینز و پان، ۲۰۰۳).

۶- شاخص برداشت نیتروژن: در این تحقیق شاخص برداشت نیتروژن واکنش معنی‌دار به سطوح مختلف نیتروژن نشان داد (جدول ۴) و با افزایش مصرف نیتروژن، کمیت این شاخص کاهش یافت (جدول ۳). از سوی دیگر بررسی گیاهان مختلف کودسبز نشان داد که

1 - Dawson *et al.*

استفاده از کودسبز در مقایسه با عدم کاربرد آن اگرچه باعث افزایش شاخص برداشت نیتروژن شد ولی با این حال بین برخی گیاهان کودسبز بقولات و غیربقولات تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد (جدول ۳).

به‌هرحال بیشترین مقدار شاخص برداشت نیتروژن با کاربرد گیاهان کودسبز لوبیا چشم‌بلبلی و ماش در شرایط عدم مصرف نیتروژن به‌دست آمد (۹۵/۰۵ و ۹۴/۵ درصد). نکته جالب این که با افزایش کاربرد کود نیتروژن از صفر تا ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، تغییرات این شاخص در شرایطی که از گیاهان کودسبز استفاده شد (برای هر دو گروه گیاهان بقولات و غیربقولات) بسیار کمتر از شرایط عدم کاربرد گیاهان کودسبز بود (جدول ۳) و مقدار این شاخص در تیمار عدم کاربرد کودسبز با افزایش نیتروژن به‌طور معنی‌دار کاهش یافت. این یافته نشان می‌دهد که استفاده از گیاهان کودسبز باعث ایجاد ثبات در پویایی نیتروژن در اکوسیستم شده است. این رهیافت برخلاف اثر کاربرد کود نیتروژن می‌باشد. در این ارتباط گزارش شده که در غلات دانه ریز شاخص برداشت نیتروژن بالاتر در نتیجه کاربرد سطوح پائین‌تر نیتروژن حاصل شد (هوگینز و پان، ۱۹۹۳). همچنین رحیمی زاده و همکاران (۲۰۱۰)، در آزمایشی با بررسی تناوب‌های مختلف سیب‌زمینی، چغندرقند و شبدر با گندم و مقایسه آن‌ها با تیمار تک کشتی گندم به لحاظ شاخص برداشت نیتروژن، گزارش شده که کمترین مقدار برای این شاخص، در تیمار تک کشتی گندم به‌دست آمد و تمامی تیمارهایی که در آن تناوب اعمال شده بود از لحاظ این شاخص اختلاف معنی‌دار با حالت تک کشتی گندم داشتند.

۷- کارایی انتقال مجدد نیتروژن: تغییرات این شاخص تحت تأثیر مقدار کود نیتروژن مصرفی از ۵۰ تا ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار قرار نگرفت ولی بین شرایط کاربرد و عدم کاربرد کود، مقدار آن تفاوت معنی‌داری داشت (جدول ۴). هرچند که نوع گیاهان کودسبز نیز اثر معنی‌داری بر این شاخص نداشت (جدول ۴). با توجه به نتایج برهمکنش بین تیمارها مشخص شد که صرف نظر از نوع گیاه کودسبز، مقدار این شاخص با افزایش کاربرد کود نیتروژن کاهش یافت. همچنین گیاه سسبانیا در شرایط افزایش کاربرد نیتروژن از صفر تا ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کمترین تغییر را در مقدار شاخص کارایی انتقال مجدد نیتروژن در مقایسه با سایر گیاهان کودسبز دارا بود (جدول ۵). نتایج پژوهشی نشان داد که کاربرد سطوح پائین نیتروژن مصرفی (صفر و ۵۰ کیلوگرم در هکتار) باعث کارایی انتقال مجدد نیتروژن

جدول ٤- نتایج تجزیه واریانس شاخص‌های برداشت نیتروژن، کارایی انتقال مجدد نیتروژن، کارایی فیزیولوژیکی نیتروژن، کارایی اگرو فیزیولوژیکی نیتروژن و کارایی زراعی نیتروژن و گیاهان مختلف کودسبز

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		شاخص برداشت نیتروژن	کارایی انتقال مجدد نیتروژن	کارایی فیزیولوژیکی نیتروژن	کارایی اگرو فیزیولوژیکی نیتروژن	کارایی زراعی نیتروژن
تکرار	۲	۵۳/۳۵^{ns}	۳۶/۰۶^{ns}	۱۹۵/۳۹^{ns}	۱۱۸۲/۹۹^{ns}	۳۸۱/۳^{ns}
سطوح نیتروژن	۳	۲۹۸/۵۸**	۳۲۹/۲۶**	۶۶۲۲/۴۷**	۷۳۹۷/۸۱**	۱۳۷۵۱/۷۷**
خطای اصلی	۶	۷/۱۸	۱۵/۶۳	۹۳/۶۷	۶۱۸/۳۲	۱۳۴/۷۵
کودسبز	۵	۳۴/۴۹^{ns}	۱۹/۶^{ns}	۱۴۸/۲۴^{ns}	۲۵۹/۹۶^{ns}	۱۰۲۵/۴۷^{ns}
نیتروژن × کودسبز	۱۵	۳۱/۱۱^{ns}	۵۶/۶۸**	^{ns}۲۰۲/۳۳	۶۳۳/۱۳^{ns}	۲۷۷/۳۴^{ns}
خطای فرعی	۴۰	۱۴/۲۷	۲۰/۷۵	۱۶۳/۱۹	۵۹۱/۹۱	۱۸۲/۰۶

*و** به ترتیب در سطح احتمال ۵و۱٪ معنی دار می‌باشد و ns معنی‌دار نمی‌باشد.

جدول۵- مقایسه میانگین اثرسطوح نیتروژن و نوع گیاهان کودسبز بر شاخص‌های کارایی انتقال مجدد نیتروژن، کارایی فیزیولوژیکی نیتروژن، کارایی اگروفیزیولوژیکی نیتروژن، کارایی زراعی نیتروژن، عملکرد و درصد پروتئین دانه

تیمارهای آزمایش	کارایی انتقال مجدد نیتروژن	کارایی فیزیولوژیکی نیتروژن	کارایی اگرو فیزیولوژیکی نیتروژن	کارایی زراعی نیتروژن	عملکرد دانه	پروتئین دانه
	درصد	کیلوگرم بر کیلوگرم			تن در هکتار	درصد
نیتروژن (کیلوگرم در هکتار)						
۰	۸۴/۵۸a	–	–	–	۲/۵۸c	۱۰/۱۳c
۵۰	۷۶/۸۹b	۴۴/۳۷a	۴۹/۰۳a	۶۷/۰۷a	۵/۹۳b	۱۱/۶۸b
۱۰۰	۷۵/۸۱b	۳۵/۴۳b	۳۰/۴۸ab	۳۷/۵۷b	۶/۳۴ab	۱۲/۳۹b
۱۵۰	۷۵/۵۹b	۲۸/۴۹b	۲۳/۴۵b	۲۸/۳۶b	۶/۸۳a	۱۳/۸۵a
گیاهان کودسبز						
شاهد (بدون کودسبز)	۷۶/۸۲a	۳۱/۹۷a	۳۳/۳۲a	۱۵/۶۸b	۴/۷۷b	۱۰/۹۲c
ارزن	۷۷/۵۷a	۲۹/۵۹a	۲۷/۵۹a	۳۷/۱۵a	۵/۳۲ab	۱۱/۴۵c
سسبانیا	۷۶/۹۷a	۲۳/۸۱a	۲۳/۷۸a	۳۸/۹۸a	۵/۰۳b	۱۳/۵۲a
آمارانت	۷۹/۶۶a	۲۸/۱۴a	۲۵/۴۴a	۳۸/۲a	۵/۴۷ab	۱۱/۸۲bc
لوبیا چشم‌بلبلی	۷۸/۶۹a	۲۲/۷۲a	۱۹/۱۷a	۳۰/۲۱a	۶/۰۵a	۱۲/۶۸ab
ماش	۷۹/۶a	۲۶/۱۹a	۲۵/۱۶a	۳۹/۳a	۵/۸۸a	۱۱/۶۹bc
برهمکنش						
۰ ×شاهد	۸۷/۳۸ab	–	–	–	۳/۴۵hi	۹/۴۷i
۰ ×ارزن	۸۳/۹۷a-d	–	–	–	۲/۰۹i	۹/۷۷hi
۰ ×سسبانیا	۷۸/۷۹d-i	–	–	–	۱/۸۳i	۱۱/۹b-h
۰ ×آمارانت	۸۶/۸۸a-c	–	–	–	۲/۱۳i	۱۰/۰۵g-i
۰ ×لوبیا چشم‌بلبلی	۸۱/۷۲a-f	–	–	–	۳/۳۹hi	۹/۸۹hi
۰ × ماش	۸۸/۷۲a	–	–	–	۲/۵۸i	۹/۷۲hi
۵۰ ×شاهد	۷۴/۶۶f-j	۶۷/۸۲a	۹۷/۹۵a	۳۰/۸۸d-f	۵fg	۱۰/۶۱f-i
۵۰×ارزن	۸۰/۱۲b-h	۵۳/۲۲ab	۵۱/۸b	۷۶/۰۶ab	۵/۸۹b-g	۱۰/۲۴g-i
۵۰×سسبانیا	۷۴/۲۶g-j	۳۴/۳۹b-d	۴۰/۷۵bc	۸۸/۲۷a	۶/۲۴a-g	۱۲/۷۶b-f
۵۰ ×آمارانت	۷۸/۴۸d-j	۴۵/۵۴bc	۴۰/۲۲bc	۷۲/۰۷ab	۵/۷۳b-g	۱۱/۰۸d-i
۵۰ ×لوبیا چشم‌بلبلی	۷۸/۲۱d-i	۳۰/۲۸cd	۲۶/۹۲b-d	۵۴/۷۹bc	۶/۱۳a-g	۱۳/۸۴ab
۵۰ ×ماش	۷۵/۶e-j	۳۴/۹۴b-d	۳۶/۵۷b-d	۸۰/۳۶a	۶/۶a-g	۱۱/۵۵c-i
۱۰۰ ×شاهد	۷۵/۷۴e-j	۳۷/۴۶b-d	۲۴/۳۱b-d	۲۰/۶۱e-g	۵/۵۱d-g	۱۰/۸e-i
۱۰۰ ×ارزن	۶۸/۶۴ j	۳۶/۹۱b-d	۳۰b-d	۳۵/۳۷c-e	۵/۶۳c-g	۱۲/۱۷b-g
۱۰۰ ×سسبانیا	۷۵/۵e-j	۳۶/۷۱b-d	۲۹/۳۹b-d	۳۵/۵۳c-e	۵/۳۸e-g	۱۳/۸۵ab
۱۰۰ ×آمارانت	۷۲/۸۶h-j	۳۰/۵۲cd	۲۹/۵۳b-d	۴۶/۹۵cd	۶/۸۲a-e	۱۲/۹۷b-e
۱۰۰ ×لوبیاچشم‌بلبلی	۷۹/۵۲c-h	۲۹/۰۴cd	۲۹/۳۷b-d	۳۹/۷۵c-e	۷/۳۶ab	۱۳/۰۳b-e
۱۰۰ × ماش	۸۲/۶a-e	۴۱/۹۲b-d	۴۰/۲۷bc	۴۷/۲۲cd	۷/۳ab	۱۱/۵۴c-i
۱۵۰ × شاهد	۶۹/۴۹j	۲۲/۶d	۱۱/۰۲c	۱۱/۲۱fg	۵/۱۳fg	۱۲/۸۱b-f
۱۵۰×ارزن	۷۷/۵۶d-i	۲۸/۲۳cd	۲۹/۱۵b-d	۳۷/۱۷c-e	۷/۶۶a	۱۳/۶۱a-c
۱۵۰×سسبانیا	۷۹/۳۱d-h	۲۴/۱۵d	۲۴/۳۸b-d	۳۲/۱۳d-f	۶/۶۵a-f	۱۵/۵۸a
۱۵۰ ×آمارانت	۸۰/۴۴b-g	۳۶/۴۹b-d	۳۲b-d	۳۳/۷۷c-e	۷/۲a-c	۱۳/۱۹b-d
۱۵۰ ×لوبیا چشم‌بلبلی	۷۵/۳e-j	۳۱/۵۶cd	۲۰/۳۷b-d	۲۶/۲۸d-f	۷/۳۳ab	۱۳/۹۴ab
۱۵۰ ×ماش	۷۱/۴۷ij	۲۷/۹cd	۲۳/۷۸b-d	۲۹/۶۳d-f	۷/۰۲a-d	۱۳/۹۳ab

اعداد دارای حروف مشابه در هرستون در سطح آماری ۵ ٪ معنی‌دار نمی‌باشند.

بیشتر در مقایسه با کاربرد مقادیر بالای نیتروژن (۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) شد (تاکاهاشی و همکاران، ۲۰۰۷). این شرایط به این معنی است که در فراهمی زیاد نیتروژن، نیتروژن موجود با کارایی مطلوبی از اندام‌های رویشی به دانه منتقل نمی شود. به علاوه، در گندم کارایی انتقال مجدد نیتروژن همبستگی قوی و منفی با تعداد پنجه ها دارد. زیرا انتقال نیتروژن از پنجه ها به دانه بسیار دیر هنگام و در مراحل آخر پرشدن دانه صورت می گیرد. لذا کاربرد زیاد کود نیتروژن قبل از گلدهی باعث کاهش کارایی انتقال مجدد نیتروژن می‌شود که علت آن به تأخیر افتادن شروع انتقال مجدد نیتروژن از اندام‌های رویشی به زایشی است (آینه‌بند و همکاران[1]، ۲۰۱۱).

۸- کارایی فیزیولوژیکی نیتروژن: در این آزمایش کارایی مطلوب فیزیولوژیکی با کاربرد ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌دست آمد و با افزایش سطوح نیتروژن، کاهش معنی‌داری در این شاخص مشاهده شد (جدول ۵). ولی این شاخص واکنش معنی‌داری به نوع گیاه کودسبز نشان نداد (جدول ۴). با این حال گیاهان کودسبز غیربقولات نسبت به بقولات نتایج بهتری نشان دادند. به طوری که گندم‌های کشت شده پس از گیاهان کودسبز ارزن و آمارانت در شرایط کاربرد ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار از بیشترین کارایی فیزیولوژیکی برخوردار بودند (جدول ۵). در ارتباط با گندم بیان شده که مزیت محدود شدن طول دوره جذب نیتروژن به مراحل اولیه رشد در مقایسه با تداوم بیشتر آن و همچنین ارتباط این عامل با میزان فراهمی نیتروژن باعث بهبود شاخص کارایی فیزیولوژیکی نیتروژن خواهد شد (فاگریا، ۲۰۰۹). همچنین پژوهشگران با بررسی گیاهان مختلف کودسبز اعلام نمودند که این شاخص برای بقولات (ماشک) بیشترین و برای گیاهان کودسبز خانواده غلات (چاودار) کمترین مقدار بود (آساگی و اوئنو، ۲۰۰۹).

۹- کارایی اگروفیزیولوژیکی: نتایج این آزمایش نشان داد که این شاخص با افزایش نیتروژن مصرفی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۴). به‌طوری که کمترین (۲۳/۴۵ کیلوگرم بر کیلوگرم) مقدار آن با کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد (جدول ۵). از سوی دیگر و مشابه با کارایی فیزیولوژیکی، این شاخص نیز واکنش معنی داری به نوع گیاهان کودسبز نشان نداد. با این حال، با بررسی برهمکنش بین تیمارها مشخص می‌شود که به‌طور میانگین و در کلیه سطوح کود نیتروژن مصرفی، گیاهان کودسبز غیربقولات در مقایسه با بقولات از کارایی اگروفیزیولوژیکی بیشتری برخوردار بودند (جدول ۵). بخشی از این رفتار را می‌توان به واکنش پذیری بهتر گیاهان غیربقولات در مقایسه با گیاهان بقولات نسبت به کاربرد کود نیتروژن به‌ویژه در مقادیر بالای این کود مربوط دانست. به‌طور مشابه با این آزمایش گزارش شده است که این شاخص با افزایش در میزان نیتروژن کاربردی، کاهش یافت (فاگریا، ۲۰۰۹).

۱۰- کارایی زراعی نیتروژن: این شاخص، با افزایش کاربرد نیتروژن به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۴). به‌طوری که در محدوده ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، حداکثر کمیت این کارایی وجود داشت. البته این شاخص نیز به نوع گیاهان کودسبز واکنش معنی‌داری نشان نداد (جدول ۴). برهمکنش تیمارها نشان می‌دهد که در کمترین سطح کاربرد کود نیتروژن، بیشترین مقدار شاخص کارایی زراعی مربوط به استفاده از کودسبز گیاهان بقولات (سسبانیا و ماش) است. در حالی که در بالاترین سطح کاربرد کود نیتروژن، حضور گیاهان غیربقولات ارزن و آمارانت بیشترین مقدار این شاخص را تولید کرده است (جدول ۵).

بنابراین اگرچه اثر مجزای نوع گیاه کودسبز به لحاظ آماری معنی دار نشد ولی برهمکنش آن ها حاکی از

1 -Aynehband *et al.*

تأثیر کود نیتروژن بر میزان سودمندی گیاهان کودسبز می باشد. روند کاهشی در شاخص کارایی زراعی با افزایش نیتروژن مصرفی توسط سایر پژوهشگران نیز بیان شده است (لوپز بلیدو و لوپز بلیدو ، ۲۰۰۱). هر چند که در این آزمایش بین سطوح ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار اختلاف معنی داری مشاهده نشد. در آزمایشی با کاربرد کودسبز لوبیا چشم بلبلی و مقایسه آن با تیمار آیش به لحاظ شاخص کارایی زراعی مشخص شد که کودسبز لوبیا چشم بلبلی باعث افزایش معنی دار این شاخص در مقایسه با تیمار آیش شد (سینگ و همکاران، ۲۰۱۰).

ب- همبستگی بین شاخص‌های کارایی نیتروژن و عملکرد گندم

تغییرات عملکرد دانه گندم تحت تأثیر تیمارهای کودسبز و نیتروژن نشان داد که به‌طور میانگین با افزایش مصرف نیتروژن، عملکرد دانه افزایش یافت (جدول ۵). بیشترین عملکرد دانه در شرایط کودی ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌دست آمد. البته از دیدگاه اکولوژی زراعی نمی‌توان تیمار ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار را به‌عنوان بهترین تیمار کودی برای تولید دانه معرفی کرد. زیرا حضور گیاهان کودسبز باعث شده که میزان نیاز به کود نیتروژن حتی از سطح ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیز کمتر گردد (برای مثال در مورد گیاهان کودسبز سسبانیا، لوبیا چشم‌بلبلی و ماش). وضعیت تقریباً مشابهی نیز در خصوص تأثیر گیاهان کودسبز و نیتروژن بر درصد پروتئین دانه گندم برقرار است (جدول ۵).

به طوری که با افزایش نیتروژن مصرفی، درصد پروتئین در دانه افزایش یافت که البته به‌نظر می‌رسد که کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار، به‌واسطه تجمع نیتروژن در دانه و نه افزایش پروتئین دانه، اختلاف معنی‌داری با کاربرد مقدار بهینه نیتروژن (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) دارا می‌باشد (جدول ۵). به لحاظ نوع گیاهان کودسبز نیز، سسبانیا (خانواده بقولات) نتایج بهتری در مقایسه با سایر گیاهان بخصوص گیاهان غیربقولات داشت (جدول ۵).

از سوی دیگر نتایج جدول همبستگی (جدول ۶) نشان داد که عملکرد دانه همبستگی معنی‌داری با کلیه شاخص‌های کارایی دارد. از دیدگاه اکولوژیکی بین دستیابی به عملکرد دانه بالا و کارایی استفاده از نیتروژن و اجزای آن رابطه معکوسی وجود دارد. به‌عبارت دیگر عملکرد دانه مطلوب در شرایطی تحقق خواهد یافت که با کارایی مطلوب استفاده از کود نیتروژن همراه باشد. همچنین با توجه به همبستگی منفی و معنی‌دار بین درصد پروتئین دانه و شاخص مصرف نیتروژن نیز می‌توان چنین استنباط نمود که بخشی از افزایش در درصد پروتئین دانه در حقیقت مربوط به تجمع بیشتر نیتروژن در دانه است نه پروتئین. بنابراین بایستی تعادلی بین افزایش در عملکرد کمی و کیفی دانه گندم و کارایی استفاده از نیتروژن مدنظر قرار گیرد. به‌عبارت دیگر این نتایج نشان می‌دهد که افزایش در عملکرد دانه و درصد پروتئین دانه با کاهش در شاخص‌های کارایی نیتروژن همراه خواهد بود. از سوی دیگر شاخص‌های مختلف کارایی نیتروژن نیز نشان دادند که معیارهای اکولوژیکی مطلوبی برای ارزیابی نحوه استفاده از نهاده‌های پرمصرفی همچون نیتروژن به‌طور مجزا و در تلفیق با برخی تکنیک‌های اکولوژی زراعی (مانند کاربرد کودسبز) می‌باشد. به‌طوری‌که با افزایش نیتروژن کلیه شاخص‌های کارایی بجز شاخص اتکا به نیتروژن کاهش یافتند. در حالی‌که در بسیاری موارد عملکرد و درصد پروتئین دانه تغییر معنی‌داری نداشتند. به‌طورکلی هرچه یک شاخص از نوسانات بیشتری برخوردار باشد، حساسیت آن به تغییر نهاده مصرفی بیشتر خواهد بود. همچنین به لحاظ همبستگی با عملکرد دانه نیز شاخص اتکا به نیتروژن بیشترین همبستگی مثبت را با این صفت دارا بودند. لذا نتایج این پژوهش را می‌توان چنین تفسیر نمود که صرفاً توجه به معیارهای سنتی تولید مانند عملکرد دانه کافی نبوده و بایستی به‌طور همزمان، معیارهای بوم‌شناختی تولید مانند شاخص‌های کارایی نیز مورد توجه قرار گیرند.

جدول ٦- همبستگی بین شاخص‌های کارایی نیتروژن، عملکرد و درصد پروتئین دانه گندم.

	۱- کارایی مصرف نیتروژن	۲- کارایی جذب نیتروژن	۳- کارایی بکارگیری نیتروژن	۴- شاخص انکا به نیتروژن	۵- شاخص موازنه نیتروژن	۶- شاخص برداشت نیتروژن	۷- کارایی انتقال مجدد نیتروژن	۸- کارایی فیزیولوژیکی	۹- کارایی اگروفیزیولوژیکی نیتروژن	۱۰- کارایی زراعی نیتروژن	۱۱- عملکرد دانه	۱۲- درصد پروتئین دانه
۱	۱											
۲	۰/۶۹**	۱										
۳	۰/۹۷**	۰/۵**	۱									
۴	-۰/۷۵**	-۰/۸۸**	۰/۶۴**	۱								
۵	-۰/۲۵ns	-۰/۱۴ns	۰/۳۴*	۰/۴۳*	۱							
۶	۰/۷۵**	۰/۶**	۰/۷۲**	-۰/۶۲**	-۰/۱۲ns	۱						
۷	۰/۶۲**	۰/۳۲*	۰/۶۸**	-۰/۵۲**	-۰/۴*	۰/۶۵**	۱					
۸	-۰/۳۲*	-۰/۵۲**	-۰/۲۶ns	۰/۶**	۰/۶۵**	-۰/۲۳ns	۰/۳۳*	۱				
۹	-۰/۱۳ns	-۰/۲۸ns	-۰/۱ns	۰/۳۴*	۰/۵۲**	۰/۰۱ns	-۰/۱۸ns	۰/۸۹**	۱			
۱۰	-۰/۰۹ns	-۰/۰۱ns	-۰/۱۵ns	۰/۳۶*	۰/۸۶**	۰/۰۷ns	۰/۳۱*	۰/۵۴**	۰/۴*	۱		
۱۱	-۰/۳۲*	-۰/۴۹**	-۰/۲۸ns	۰/۷۷**	۰/۶۷**	-۰/۲۳ns	-۰/۳۳*	۰/۵۵**	۰/۳۸*	۰/۶۴**	۱	
۱۲	-۰/۶۹**	-۰/۲۴ns	۰/۷۷**	۰/۵۷**	۰/۳۸*	-۰/۳۴*	-۰/۵۴**	۰/۱۴ns	۰/۰۴ns	۰/۲۲ns	۰/۵**	۱

*و** به ترتیب در سطح احتمال ۵ و ۱٪ معنی دار می‌باشد و ns معنی‌دار نمی‌باشد.

منابع

1. Anderson, R.L. 2008. Growth and yield of winter wheat as affected by preceding crop and crop management. Agronomy Journal, 100: 977-980.

2. Asagi, N., and Ueno, H. 2009. Nitrogen dynamics in paddy soil applied with various ^{15}N-labelled green manures. Plant Soil, 322: 251-262.

3. Aynehband, A., Moezi, A.A., and Sabet, M. 2011. The comparison of nitrogen use efficiencies in old and modern wheat cultivars: agroecological results. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science, 10 (4): 574-586.

4. Cherr, C.M., Scholberg, J.M.S., and McSorley, R. 2006. Green manure approaches to crop production: a synthesis. Agronomy Journal, 98 (2): 302–319.

5. Dawson J.C., Huggins D.R., and Jones S.S. 2008. Characterizing nitrogen use efficiency in natural and agricultural ecosystems to improve the performance of cereal crops in low-input and organic agriculture systems. Field Crops Research, 107: 89-101.

6. Dayegamiye, A.N., and Tran, T.S. 2001. Effects of green manures on soil organic matter and wheat yields and N nutrition. Canadian Journal of Soil Science, 81 (4): 371-382.

7. Fageria N. K. 2009. The use of nutrients in crop plants, CRC Press, New York, 430 p.

8. Guarda, G., Padovan, S., and Delogu, G. 2004. Grain yield, nitrogen-use efficiency and baking quality of old and modern Italian bread-wheat cultivars grown at different nitrogen levels. European Journal of Agronomy, 21: 141-142.

9. 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.

10. Huggins, D.R., and W.L. Pan. 2003. Key indicators for assessing nitrogen use efficiency in cereal-based agroecosystems. Journal of Crop Production, 8 (1-2): 157-186.

11. Lopez-Bellido, R.J., and Lopez-Bellido, L. 2001. Efficiency of nitrogen in wheat under Mediterranean conditions: effect of tillage, crop rotation and N fertilization. Field Crops Research, 71: 31–46.

12. Mosavi, S.B., Jafarzadeh, A.A., Neishabouri, M.R., Ostan, S., and Feiziasl, V. 2009. Rye green manure along with nitrogen fertilizer application increases wheat (*Triticum aestivum* L.) production under dry land condition. International Journal of Agriculture Research, 4 (6): 204-212.

13. Naseri, R., Mirzaei, A., Soleimani, R., and Nazarbeygi, E. 2010. Response of bread wheat to nitrogen application in calcareous soils of western Iran. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science, 9 (1): 79-85.

14. Rahimizadeh, M., Kashani, A., Zare-Feizabadi, A., Koocheki, A.R., and Nassiri-Mahallati, M. 2010. Nitrogen use efficiency of wheat as affected by preceding crop, application rate of nitrogen and crop residues. Australian Journal of Crop Science, 4 (5): 363-368.

15. Raun, W.R., and Johnson, G.V. 1999. Improving nitrogen use efficiency for cereal production. Agronomy Journal, 91 (3): 357-363.

16. Singh, M., Singh, A., Singh, S., Tripathi, R.S., Singh, A.K., and Patra, D.D. 2010. Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) as a green manure to improve the productivity of menthol mint (*Mentha arvensis* L.) intercropping system. Industrial Crops and Products, 31: 289–293.

17. Takahashi, S., Anwar, M.R. and De-Vera, G.S. 2007. Effects of Compost and Nitrogen Fertilizer on Wheat Nitrogen Use in Japanese Soils. Agronomy Journal, 99: 1151–1157.

18. Tariq Jan, M., Jamal Khan, M., Khani, A., Arifi, M., Shafi, M., and Farmanullah. 2010. Wheat nitrogen indices response to nitrogen source and application time. Pakistan Journal of Botany, 42 (6): 4267-4279.

19. Yadav, R.L. 2004. Enhancing efficiency of fertilizer N use in rice-wheat systems of Indo-Gangetic plains by intercropping Sesbania aculeata in direct seeded upland rice for green manuring. Bioresource and Technology, 93: 213-215.