



بررسی وضعیت نیتروژن در ژنوتیپ‌های گندم دیم (*Triticum aestivum* L.) با استفاده از

نیتروژن-۱۵

ولی فیضی اصل^{۱*} - امیر فتوت^۲ - علیرضا آستارایی^۳ - امیر لکزیان^۴ - میراحمد موسوی شلمانی^۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۵/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۷/۰۶

چکیده

به‌منظور بررسی اثر کاربرد زمان و میزان مصرف نیتروژن بر وضعیت تنش نیتروژنی و تولید ژنوتیپ‌های گندم دیم، پژوهشی در قالب کرت‌های دو بار خرد شده با استفاده از نیتروژن-۱۵ در موسسه تحقیقات کشاورزی دیم به اجرا درآمد. زمان مصرف نیتروژن در کرت اصلی (کل در پاییز و $\frac{2}{3}$ در بهار) و مقادیر نیتروژن در کرت فرعی (۰، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ کیلوگرم در هکتار) و ژنوتیپ‌ها در کرت فرعی (آذر ۲، رصدا، واحدی و ژنوتیپ‌های شماره ۱ الی ۴) در ۳ تکرار طی سال زراعی ۹۰-۱۳۸۹ مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد، بین زمان مصرف نیتروژن از لحاظ عملکرد و پارامترهای جذب نیتروژن تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد، اما مصرف نیتروژن توانست به‌طور متوسط ماده خشک گیاهی (۲۰۵۲ کیلوگرم در هکتار)، عملکرد دانه (۱۰۵۳ کیلوگرم در هکتار)، عملکرد بیولوژیک (۳۴۰۳ کیلوگرم در هکتار)، برداشت نیتروژن کل (۲۱/۸ درصد)، برداشت نیتروژن کود (۱۰/۳ درصد)، اتم درصد اضافی نیتروژن-۱۵ در گیاه (۱/۷۵ اتم درصد)، نیتروژن جذب شده از کود نشاندار (۲۱/۹ درصد)، شاخص تنش نیتروژن (۰/۳) و پروتئین دانه (۱/۳ واحد) را به‌طور معنی‌داری افزایش دهد. شاخص تنش نیتروژن (NSI) مناسب‌ترین شاخص برای تعیین وضعیت نیتروژن گیاه شناسایی شد. همچنین نیتروژن برداشت شده از کود نشاندار (%Ndff) نیز از شاخص‌های مطلوب در این خصوص بود. برای رفع تنش نیتروژنی و تولید بهینه ژنوتیپ‌های گندم دیم، کاربرد تیمار N60 مناسب‌ترین میزان نیتروژن و در بین ژنوتیپ‌ها رقم آذر ۲ مطلوب‌ترین و Genotype1 و Genotype2 نامناسب‌ترین بود. در مجموع استنباط می‌شود، با استفاده از شاخص NSI و نیتروژن برداشت شده از کود نشاندار می‌توان وضعیت نیتروژن در ژنوتیپ‌های گندم دیم و زمان و میزان مصرف کودهای نیتروژنی را تعیین نمود.

واژه‌های کلیدی: شاخص تنش نیتروژن (NSI)، عملکرد دانه، نیتروژن جذب شده از کود نشاندار (%Ndff)

مقدمه

رطوبتی به‌عنوان مانع اصلی در جذب این عنصر، تنش نیتروژن مهمترین عامل محدودکننده تولید گندم دیم پس از تنش رطوبتی مطرح می‌باشد (Halse et al., 2006; Ryan et al., 2008). مشکل اساسی این عنصر کلیدی در شرایط دیم تنها به‌دلیل کمی مواد آلی نیست، بلکه جذب و شرکت آن در متابولیسم گیاهی بیشتر به عوامل محیطی و ژنتیکی گیاه بستگی دارد که این موضوع مدیریت مصرف نیتروژن را در شرایط دیم در مقایسه با شرایط آبی دو چندان می‌کند، زیرا ۸۰ درصد نیتروژن مورد نیاز گیاه از طریق جریان توده‌ای و به همراه جذب آب برای گیاه تأمین می‌شود (Johnston and Fowler, 1991). اگر به دلایل مختلفی یکی و یا چند تنش یادشده در محیط رشد گیاه رخ دهد، از طریق اختلال در متابولیسم گیاهی، عملکرد کمی

به‌دلیل پایین بودن مواد آلی در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌عنوان منشاء طبیعی نیتروژن مورد نیاز گیاه و همچنین وجود تنش

- ۱- استادیار، موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مراغه، ایران
- ۲، ۳ و ۴- به‌ترتیب، استاد، دانشیار و استاد، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
- ۵- عضو هیأت علمی سازمان انرژی اتمی، گروه پژوهشی کشاورزی هسته‌ای، کرج، ایران

*- نویسنده مسئول: (Email: vfeiziasl@yahoo.com)

DOI: 10.22067/gsc.v15i3.38360

از این تکنیک پژوهشگران توانسته‌اند، مناسب‌ترین میزان و زمان مصرف نیتروژن را برای گندم از طریق درصد نیتروژن مشتق شده از کود (%Ndff)، کارایی مصرف نیتروژن-۱۵، بررسی مقدار و سرنوشت نیتروژن باقیمانده در خاک و تجمع و توزیع مجدد نیتروژن در اندام‌های گندم تعیین نمایند (Mariana *et al.*, 2003; Halvorson, 2006; Lopez-Bellido *et al.*, 2004). علاوه بر این، امروزه شاخص‌های جدید دیگری با حساسیت بسیار بالا به تغییرات نیتروژن در گیاه شناسایی شده‌اند که از تکنیک‌های سنجش از راه دور نیز برای برآورد و محاسبه آنها می‌توان استفاده نمود. این شاخص‌ها با دقت و سهولت بالاتری قادرند، وضعیت نامطلوب، مطلوب و زیاد بود نیتروژن را در گیاه مشخص نمایند، از جمله مهم‌ترین این شاخص‌ها می‌توان به شاخص تنش نیتروژن (NSI) اشاره نمود (Rodriguez *et al.*, 2006). این شاخص علاوه بر همبستگی بالا با عملکرد و اجزای عملکرد دانه با میزان جذب و وضعیت نیتروژن در گیاه و شاخص کلروفیل در گیاه نیز همبستگی معنی‌داری دارد که این موضوع می‌تواند مراحل حساس گیاه به تنش نیتروژنی را به‌خوبی شناسایی و توصیه منطقی را برای رفع آن انجام دهد (Kruse *et al.*, 2007; Rodriguez *et al.*, 2006; Tilling *et al.*, 2006). با توجه به مطالب یادشده هدف از انجام این پژوهش، تعیین وضعیت نیتروژنی ژنوتیپ‌های گندم دیم و رفع این تنش‌ها با استفاده از تکنیک نیتروژن-۱۵ و شاخص تنش نیتروژن در شناسایی مناسب‌ترین میزان و زمان مصرف کودهای نیتروژنی است.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثرات کاربرد زمان و میزان مصرف نیتروژن بر وضعیت تنش نیتروژنی ژنوتیپ‌های گندم دیم، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و به‌صورت کرت‌های دو بار خرد شده با دو زمان مصرف (کل در پاییز و $\frac{2}{3}$ در پاییز و $\frac{1}{3}$ در بهار) و چهار سطح نیتروژن (صفر، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار) بر روی ۷ ژنوتیپ گندم دیم (آذر ۲، رصد، اوحدی و چهار ژنوتیپ تحت شماره Genotype1، Genotype2، Genotype3 و Genotype4 به‌ترتیب _____ جره SARA-BW-F6-06-85-86-29-1، DH-2049-3، TEVEE'S//CROW/VEE'S//HN7/OROFEN//BGN8/3/SERI/4/.. در سه تکرار طی سال زراعی ۱۳۸۹-۹۰ با مشخصات اقلیمی نزدیک به میانگین بلند مدت (جدول ۱) در ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم (مراغه) اجرا شد. خاک محل اجرای آزمایش (جدول ۲) دارای سری ریحل‌آباد با مشخصات Fine mixed, Mesic, Vertic Calcixerepts بود که قبل از اجرای آزمایش از عمق صفر تا ۲۵ سانتی‌متری به روش مرکب از هر بلوک نمونه‌برداری و بافت، کربنات کلسیم معادل، کربن آلی،

و کیفی گندم (*Triticum aestivum* L.) دیم به‌طور چشمگیری در مقایسه با پتانسیل واقعی آن کاهش می‌یابد (Barnabas *et al.*, 2009; Acevedo *et al.*, 2008). کنترل این تنش‌ها در اغلب موارد غیرممکن است، اما کشاورز می‌تواند با مصرف بهینه کودهای نیتروژنی و اعمال سیستم‌های تناوبی مناسب، نیاز نیتروژنی گیاه را رفع نماید و از این طریق از اثرات تنش‌های محیطی وارد شده بر گیاه بکاهد (Gauer *et al.*, 1992; Pala *et al.*, 1996; Raun and Johnson, 1999). البته در چنین شرایطی مقدار زیادی از کودهای نیتروژنی مصرف شده برای گندم دیم در خاک باقی مانده و جذب گیاه نمی‌شود، به‌طور مثال وقتی که ۴۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار از منبع اوره به مدت دو سال زراعی با بارندگی‌های مختلف مصرف گردید، در سال‌های خشک و مرطوب در زمان برداشت محصول گندم دیم به‌ترتیب ۲۷/۴ و ۱۳ کیلوگرم نیتروژن در هکتار از نیتروژن مصرفی در خاک باقی ماند (Abdel Monem *et al.*, 1988). اگرچه کارایی استفاده از نیتروژن در ارقام مختلف غلات به خصوصیات گیاهی مانند وضعیت توسعه ریشه و توزیع آن در خاک، مراحل رشد گیاه، نیاز غذایی گیاه، عواملی مانند رطوبت و دمای خاک، میزان عناصر غذایی خاک و اثرات متقابل عناصر غذایی بستگی دارد، اما تعدادی از این عوامل می‌تواند تحت تأثیر مدیریت کودهای نیتروژنی قرار گیرند (Harmsen, 1984). کودهای نیتروژنی اغلب از طریق افزایش عمق توسعه ریشه گندم علاوه بر افزایش کارایی استفاده از نیتروژن مصرفی باعث افزایش کارایی استفاده از آب و در نهایت کاهش اثر تنش خشکی در شرایط دیم و دستیابی به عملکردهای بهینه می‌گردد. به‌طوری‌که با مصرف کود نیتروژنی مورد نیاز گندم، راندمان مصرف آب حدود ۴۱ درصد بهبود می‌یابد (Nielsen and Halvorson, 1991). پژوهشگران تلفات گازی (۹/۵ درصد)، فرسایشی (۱ الی ۱۳ درصد)، پخش سطحی کودهای نیتروژنی (۴۰ درصد تلفات) و شستشوی نیترات را از مهم‌ترین عوامل مؤثر در پایین بودن کارایی استفاده از نیتروژن در مصارف بیش از نیاز غذایی این عنصر برای گندم اعلام کرده‌اند (Schepers *et al.*, 1991; Blevis *et al.*, 1996). در ایران نیز دلایل مختلفی برای پایین بودن میانگین عملکرد گندم دیم و کارایی مصرف نیتروژن مطرح شده است که مصرف نامتعادل و غیر اصولی کودهای نیتروژنی یکی از مهم‌ترین آنهاست. در دیم‌زارهای شمال غرب ایران، کشاورزان کودهای نیتروژنی را برای گندم دیم اغلب در بهار و به‌صورت پخش سطحی در زمانی که رطوبت خاک کاهش می‌یابد، مصرف می‌نمایند که این امر منجر به تلفات بیشتر نیتروژن و کاهش کارایی استفاده از این عنصر می‌شود (Feiziasl and Valizadeh, 2003). امروزه استفاده از نیتروژن-۱۵ به‌عنوان یک ردیاب، در تحقیقات کشاورزی و مطالعات سیستم‌های خاک و گیاه کمک زیادی در شناسایی میزان واقعی جذب عناصر غذایی از کودهای شیمیایی داشته است. با استفاده

نقاط پراکنش در نرم‌افزار Excel ترسیم شد. در این نمودار با استفاده از مناسب‌ترین روابط رگرسیونی (نرم‌افزار Datafit9)، داده‌های فوقانی و تحتانی مربوط به این بانک اطلاعاتی محصور گردید. سپس با استفاده از رابطه زیر برای کل داده‌های محصور شده بین دو خط مرزی بالایی (N_{max}) و پایینی (N_{min}) در سه مرحله رشد، شاخص تنش نیتروژن (NSI) محاسبه گردید (Rodriguez *et al.*, 2006; Tilling *et al.*, 2007):

$$NSI = \frac{N\% - N_{min}}{N_{max} - N_{min}} \quad (1)$$

در این رابطه:

NSI: شاخص تنش نیتروژن (معمولاً مقدار آن بین صفر تا ۱ و گاهی بسیار بیشتر از یک تغییر می‌کند که با افزایش آن وضعیت تغذیه‌ای نیتروژن در گیاه بهبود می‌یابد)

$N\%$: غلظت نیتروژن در بافت گیاهی

N_{min} : محدوده پایین غلظت نیتروژن در بافت گیاهی (درصد)

N_{max} : محدوده بالای غلظت نیتروژن در بافت گیاهی (درصد)

همچنین در سه مرحله ساقه‌رفتن (ZGS32)، گلدهی (GS64) و رسیدگی فیزیولوژیک (GS87) علاوه بر تعیین شاخص کلروفیل گیاه با استفاده از دستگاه کلروفیل‌متر (SPAD-Hansatech) مدل CI-01 به تعداد ۵ قرائت در هر کرت آزمایشی در فوقانی‌ترین برگ گسترش یافته، به‌طور تصادفی ۳ بوته از هر کرتچه ایزوتوپی تهیه و پس از مراحل خشک و توزین، درصد نیتروژن کل (دانه و اندام هوایی) و نسبت ایزوتوپی $^{15}N/^{14}N$ اندازه‌گیری شد. جهت اندازه‌گیری نسبت ایزوتوپی $^{15}N/^{14}N$ نمونه‌های گیاه از روش طیف‌سنجی جرمی استفاده شد (Mousavi Shalmani, 2008). در زمان برداشت محصول (ZGS91) جهت برآورد عملکرد دانه، ۰/۵ متر از هر دو انتهای کرت‌های فرعی در فرعی به‌عنوان اثرات حاشیه حذف و بقیه کرت برداشت و کوبیده شد. پس از تعیین میزان نیتروژن کل دانه از طریق رابطه $(\text{Grain protein}\% = \text{Total Grain N}\% \times 5.7)$ غلظت پروتئین دانه محاسبه گردید (Fowler and Brydon, 1989).

داده‌های به‌دست آمده از این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار GenStat 14 تجزیه واریانس شد و مقایسات میانگین از طریق آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت. به‌منظور برآزش معادلات رگرسیونی بین صفات مورد مطالعه از نرم‌افزار CurveExpert2 استفاده شد.

نتایج و بحث

مقایسه میانگین پارامترهای مورد بررسی در سطوح نیتروژن مصرفی نشان داد (جدول ۳)، با افزایش مقدار نیتروژن مصرفی

pH، هدایت الکتریکی، درصد اشباع، فسفر، پتاسیم، عناصر آهن، منگنز، روی و مس قابل جذب در آن اندازه‌گیری شد. فسفر براساس میزان کمبود از حد بحرانی آن برای گندم دیم (۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) از منبع سوپرفسفات تریپل به‌صورت یکنواخت و از طریق جایگذاری با دستگاه جانشر همزمان با کاشت تأمین شد (Feiziasl *et al.*, 2004). این در حالی است که میزان پتاسیم، آهن، منگنز، روی و مس قابل استفاده در خاک بیش از حد بحرانی‌های گزارش شده برای این عناصر (پتاسیم ۲۵۰، آهن ۵، منگنز ۱۱، روی ۰/۷ و مس ۱/۴ میلی‌گرم در کیلوگرم) برای گندم دیم در شمال‌غرب کشور بود (Feiziasl *et al.*, 2009).

مقادیر نیتروژن کرت‌ها در مصرف پاییزی به کمک دستگاه بزرگ‌همدانی مجهز به سیستم جایگذاری کود، از منبع اوره همزمان با کاشت در عمق ۲۰-۱۵ سانتی‌متری زیر بستر بذر و در کف جوی (حداکثر ارتفاع پشته‌ها ۵ سانتی‌متری) جایگذاری شد. بذره‌های گندم مطابق دستورالعمل ارائه شده برای مناطق سرد و نیمه سردسیر کشور که خطر سرمازدگی وجود دارد، با تراکم ۴۰۰ دانه در مترمربع (Gaffari *et al.*, 2007) و پس از ضدعفونی با قارچ‌کش کاربوکسین تیرام به نسبت ۲ در هزار و به کمک بذرکار آزمایشی (ویتراش‌تایگر) در عمق ۷-۵ سانتی‌متری کشت شد. در وسط کرت‌های فرعی در فرعی به تعداد ۶ ردیف (۱/۲ متر) و به طول ۱/۵ متر تحت عنوان کرتچه‌های ایزوتوپی به مصرف اوره نشاندار با ۸ اتم درصد به‌صورت محلول اختصاص یافت (Mousavi Shalmani, 2008). به‌منظور جلوگیری از تلفات نیتروژن مصرفی از طریق تصعید و همگن نمودن پراکنش نیتروژن در کرتچه‌های ایزوتوپی، پس از مصرف کودهای نیتروژنی در پاییز (در کرت‌های غیرایزوتوپی یا گارد به روش جایگذاری و با استفاده از دستگاه کشت گستر مجهز به سیستم جایگذاری کود) و تقسیم آن در بهار (به‌صورت دستپاش) بلافاصله تمامی تیمارها در هر مرحله به میزان ۱۰ میلی‌متر (۱۰ میلی‌متر در مصرف پاییزی و ۱۰ میلی‌متر در مصرف سرک) به روش بارانی آبیاری شد. بارندگی‌های کمتر از ۲۰ الی ۲۵ میلی‌متر برای گندم دیم جزء بارندگی‌های مؤثر محسوب نمی‌شوند و لذا به‌منظور همگن نمودن کودهای ایزوتوپی محلول در کرتچه‌های ایزوتوپی و ایجاد شرایط مشابه آن در بخش غیرایزوتوپی می‌توان از مقادیر کمتر از بارندگی‌های مؤثر استفاده نمود (Austin, 1987).

پس از تعیین میزان ماده خشک گیاهی در ۳ مرحله ساقه‌رفتن (ZGS32)، گلدهی (GS64) و رسیدگی فیزیولوژیک (ZGS87) و میزان نیتروژن موجود در اندام‌های هوایی گیاه در این ۳ مرحله، شاخص تنش نیتروژن (NSI) با استفاده از رابطه (۱) برای کل داده‌های آزمایشی محاسبه شد (شکل ۲ الف). ابتدا رابطه بین میزان وزن خشک اندام‌های هوایی در این مراحل به‌عنوان متغیر مستقل و درصد نیتروژن کل در این اندام‌ها به‌عنوان متغیر وابسته به‌صورت

انتقال به سنبله و پر کردن دانه در مواجهه با تنش آبی آخر فصل تولید نمی‌شود و در مقادیر بالاتر از آن (N90) به دلیل افزایش مواد بیولوژیک، تعادلی بین ریشه و اندام‌های هوایی گیاه در جذب آب وجود ندارد و همچنین تلفات آب از طریق تعرق توسط اندام‌های هوایی گیاه منجر به آسیب جدی به بخش اقتصادی گیاه می‌زند (Mariana et al., 2003; Barbottin et al., 2005; Barnabas et al., 2008). به‌طور متوسط با افزایش میزان کاربرد نیتروژن تا سطح ۶۰ کیلوگرم در هکتار عملکردهای بیولوژیک و دانه افزایش یافتند، اما میزان درصد افزایش در سطوح پایین نیتروژن بسیار بیشتر از سطوح بالای آن بود که به استثنای آبیاری تکمیلی عامل دیگری نمی‌تواند چنین افزایش عملکردی را در شرایط دیم در پی داشته باشد. به همین دلیل است که اغلب پژوهشگران عرصه دیم معتقدند، نیتروژن دومین عامل محدودکننده رشد گیاهان زراعی پس از آب به‌شمار می‌آید (Halse et al., 2006; Svobada and Haberle, 2006). مصرف نیتروژن توانست برداشت نیتروژن کل توسط گیاه را به‌طور معنی‌داری ($p < 0.01$) افزایش دهد، به‌طوری‌که گندم دیم در تیمار شاهد (N0) نزدیک به ۲۳ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (کلاس C) را از خاک جذب کرد که با مصرف نیتروژن و افزایش ماده خشک گیاهی این مقدار در تیمار N60 به حداکثر مقدار خود و به بیش از ۴۹ کیلوگرم در هکتار (کلاس A) رسید. البته دو سطح نهایی مصرف نیتروژن (N60 و N90) از لحاظ صفت یادشده در یک کلاس (A) قرار گرفتند (جدول ۳). رایس و همکاران (Rice et al., 1990) نیز گزارش کردند، کاربرد نیتروژن توانست میزان جذب نیتروژن را به‌طور معنی‌داری در چهار منطقه پاکستان افزایش دهد.

میانگین ماده خشک گیاهی (سه مرحله ساقه رفتن، گلدهی و رسیدگی فیزیولوژیک) به‌طور معنی‌داری ($p < 0.01$) افزایش یافت. بیشترین مقدار این صفت از تیمار N60 با ۵۴۹۲ کیلوگرم در هکتار (کلاس A) و کمترین آن به میزان ۲۸۲۰ کیلوگرم در هکتار از تیمار N0 (کلاس C) به‌دست آمد. متوسط افزایش ماده خشک گیاهی با مصرف نیتروژن ۲۰۵۷ کیلوگرم در هکتار (۷۳ درصد) بود. میران‌زاده و همکاران (Miranzadeh et al., 2011) نیز با بررسی اثرات کاربرد مقادیر مختلف مصرف نیتروژن بر روی چهار رقم گندم دیم افزایش معنی‌دار ماده خشک گیاهی را با مصرف نیتروژن گزارش کردند. آنها بیشترین مقدار ماده خشک گیاهی را از مصرف ۸۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در منطقه شیراز با بارندگی ۳۹۰ میلی‌متر به‌دست آوردند که این تفاوت می‌تواند به دلیل اختلاف در شرایط اقلیمی، مشخصات خاک و ژنوتیپ‌های مورد مطالعه باشد.

مصرف نیتروژن عملکردهای بیولوژیک و دانه را نیز در مقایسه با تیمار N0 به‌ترتیب ۷۳ (۳۴۰۳ کیلوگرم در هکتار) و ۵۶ (۱۰۵۳ کیلوگرم در هکتار) درصد افزایش داد ($p < 0.01$). بیشترین (۹۰۲۵ کیلوگرم در هکتار) و کمترین (۴۶۸۱) عملکرد بیولوژیک به‌ترتیب از تیمارهای N90 و N0 به‌دست آمد. این در حالی است که بیشترین عملکرد دانه به میزان ۳۲۳۷ کیلوگرم در هکتار (کلاس A) مربوط به تیمار N60 بود و کمترین آن ۱۸۷۶ کیلوگرم در هکتار به تیمار N0 (کلاس C) اختصاص داشت. این نتیجه مورد انتظار بود، زیرا که اولاً تیمار N60 بسیار نزدیک به حد بهینه نیاز نیتروژنی ارقام مختلف گندم دیم می‌باشد که در این مقدار بیشترین حجم مواد فتوسنتزی به دانه انتقال می‌یابد (Ercoli et al., 2008). ثانیاً در مقادیر پایین‌تر از این مقدار (N30) منابع هیدروکربنی کافی در اندام‌های هوایی جهت

جدول ۱- آمار هواشناسی ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم مراغه در سال زراعی ۹۰-۸۹ و میانگین بلند مدت (۲۰ ساله)

Table 1- Maragheh dryland agriculture research station climate data in cropping year 2010-2011 and long term (20 years)

سال Year	بارندگی Rainfall (mm)	میانگین دمای		میانگین دما Mean Temperature (°C)	تعداد روزهای زیر صفر درجه سانتی‌گراد Days of below zero °C	رطوبت نسبی		تبخیر Evaporation (mm)
		حداقل Mean Min Temperature (°C)	حداکثر Mean Max Temperature (°C)			هوا Relative humidity (%)	هوای Evaporation (mm)	
2010-2011	353	2.5	16.5	8.7	130	50.3	1485	
1992-2012	365	4.2	14.6	9.4	128	53.0	1757	

جدول ۲- ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک قبل از کاشت (عمق ۰-۲۵ سانتی‌متری)

Table 2- Soil physical and chemical characteristics before sowing (0-25 cm depth)

شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	رس Clay (%)	کربنات کلسیم معادل CaCO ₃ (%)	کربن آلی OC (%)	درصد اشباع SP (%)	واکنش خاک pH	هدایت الکتریکی EC (dS m ⁻¹)
25	40	35	5.1	0.72	47	7.7	0.15
نترات NO ₃ ⁻ (mg kg ⁻¹)	آمونیم NH ₄ ⁺ (mg kg ⁻¹)	فسفر P (mg kg ⁻¹)	پتاسیم K (mg kg ⁻¹)	آهن Fe (mg kg ⁻¹)	منگنز Mn (mg kg ⁻¹)	روی Zn (mg kg ⁻¹)	مس Cu (mg kg ⁻¹)
7.2	4.6	5.8	677	7.6	13.6	1.1	2.3

از سوی دیگر رابطه بین نیتروژن مصرفی با هر دوی ماده خشک گیاهی ($DM = -0.5323N^2 + 73.519N + 2730.5; R^2 = 0.96$) و برداشت نیتروژن کل ($N \text{ uptake} = -0.0042N^2 + 0.6717N + 22.158; R^2 = 0.98$) در پژوهش حاضر به صورت درجه دوم بود که حداکثر آنها به ترتیب از مصرف ۶۹ و ۸۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به دست آمد. مقایسه میانگین برای اتم درصد اضافی نیتروژن-۱۵ در گیاه نیز نشان داد، با مصرف نیتروژن این صفت به طور معنی داری ($p < 0.01$) در گیاه افزایش یافت و این افزایش تا آخرین سطح مصرف نیتروژن تداوم داشت، به نحوی که هر تیمار کودی از لحاظ آماری در کلاس مستقلی قرار گرفت (جدول ۳).

رابطه بین اتم درصد اضافی نیتروژن-۱۵ در گیاه با میزان نیتروژن-۱۵ مصرفی از نوع خطی ($^{15}N\% \text{ Plant} = 0.0308N + 0.0382; R^2 = 0.999$) بود که با افزایش هر ۱۰ کیلوگرم نیتروژن-۱۵ در هکتار، اتم درصد اضافی نیتروژن-۱۵ در گیاه حدود ۰/۳۱ افزایش یافت. ضریب تبیین این معادله نشان داد، رابطه بین دو عامل یادشده انحرافی از مسیر خطی نداشت و نیتروژن-۱۵ در مقایسه با نیتروژن-۱۴ در گیاه می تواند مبنای مناسبی در توصیه کودهای نیتروژنی بر اساس نیتروژن برداشت شده از کود باشد. دو صفت برداشت نیتروژن کود و نیتروژن جذب شده از کود نشاندار، وضعیت مشابهی را از لحاظ سطح معنی داری ($p < 0.01$)، کلاس تیمارها و ارتباط با میزان نیتروژن مصرفی داشتند. به طوری که نیتروژن جذب شده از کود نشاندار (%Ndff) از حدود ۱ درصد برای تیمار N0 تا حدود ۳۶ درصد برای تیمار N90 تغییر یافت، اما برای تیمار N60 با بیشترین میزان تولید ماده خشک و عملکرد دانه، مقدار آن ۲۳ درصد بود (جدول ۳). ران و جانسون (Raun and Johnson, 1999) معتقدند باز یافت نیتروژن از کود برای گندم در سطح جهانی پایین بوده و متوسط آن ۳۳ درصد می باشد. سویر و همکاران (Sowers *et al.*, 1994) و ماهلر و همکاران (Mahler *et al.*, 1994) میزان نیتروژن جذب شده از کود نشاندار را ۲۵ الی ۳۳ درصد برای گندم گزارش کرده اند که این محدوده تا حدودی منطبق بر میزان باز یافت نیتروژن از کود در محدوده تیمارهای N60 و N90 پژوهش حاضر می باشد. در حالی که مقایسه نتایج پژوهش حاضر با نتایج سایرین برای گندم نشان می دهد، میزان جذب نیتروژن از کود نشاندار پایین تر از نتایج سایرین می باشد که این می تواند به دلیل وضعیت زمین، تلفات نیتروژن، فرسایش و مصرف بی رویه نیتروژن باشد (Fiez *et al.*, 1995; Bashir *et al.*, 1997). از سوی دیگر، با توجه به خطی بودن رابطه بین نیتروژن جذب شده از کود نشاندار و نیتروژن مصرفی ($\%Ndff = 0.3849N + 0.4426; R^2 = 0.995$) با کاربرد هر ۱۰ کیلوگرم نیتروژن-۱۵ در هکتار، مقدار نیتروژن جذب شده از کود نشاندار حدود ۳/۹ درصد افزایش داشت. چنین وضعیتی برای برداشت نیتروژن کود

جدول ۳- مقایسه میانگین پارامترهای نیتروژن در گیاه برای سطوح نیتروژن مصرفی

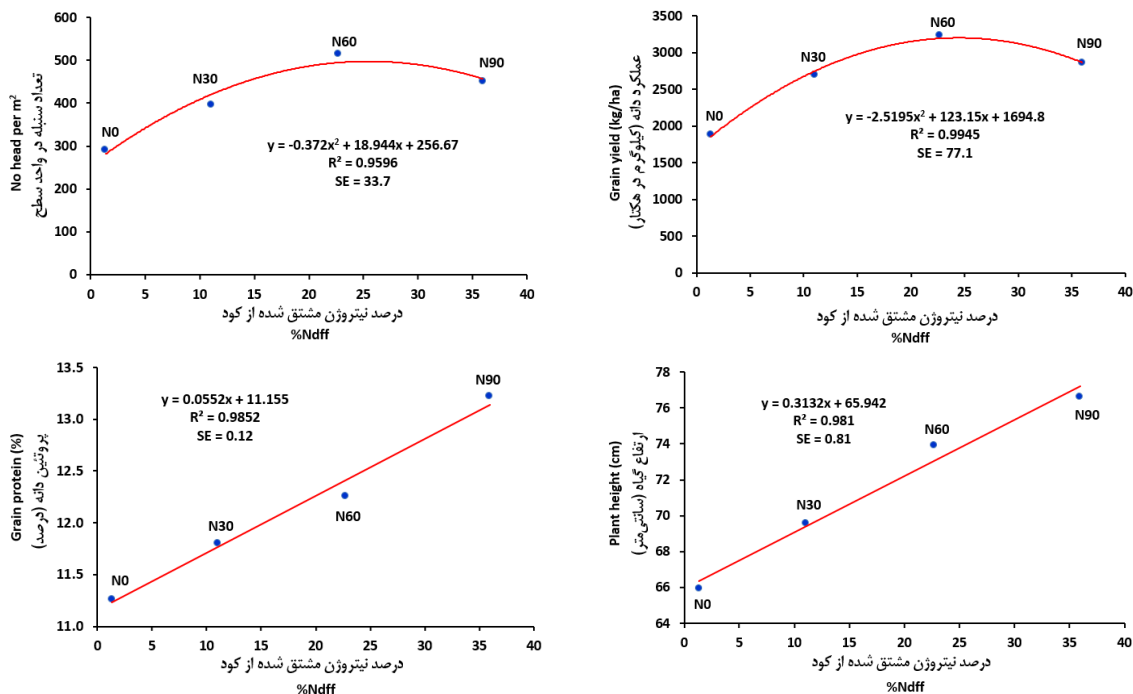
Table 3- Mean comparison of nitrogen parameters in plant for nitrogen rates

نیتروژن Nitrogen	ماده خشک Dry matter	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	کل برداشت نیتروژن Total N uptake	کود برداشت نیتروژن Fertilizer N yield	در گیاه $^{15}N\% \text{ Plant}$	اتم درصد اضافی نیتروژن-۱۵ Nitrogen derived from fertilizer	نشاندار Nitrogen use efficiency	کارایی مصرف کود Nitrogen stress index	شاخص تنش نیتروژن Nitrogen stress index	بروتئین دانه Grain Protein
0	2820	1876	4681	22.8	0.4	0.11	1.3	0.62	0.41	0.41	11.3
30	4190	2996	7149	36.5	3.9	0.89	11.1	13.0	0.62	0.62	12.3
60	5492	3237	9025	49.2	11.1	1.82	22.7	18.5	0.75	0.75	12.3
90	4947	2853	8078	47.9	17.1	2.88	35.9	19.0	0.75	0.75	13.2
LSD5%	844	432	1352	11.2	3.3	0.18	2.2	4.1	0.17	0.17	1.3

ریشه مختل می‌شود، به سمت سنبله انتقال یافته و باعث افزایش پروتئین دانه می‌شود (Triboi and Triboi-Blondel, 2002; Barbottin *et al.*, 2005). بر این اساس عدم مصرف نیتروژن (N0) در پژوهش حاضر باعث کاهش به‌طور متوسط ۱۲ درصدی میزان پروتئین دانه در مقایسه با تیمارهای مصرف نیتروژن شد (جدول ۳). تقریباً چنین نتیجه‌ای را ارکولی و همکاران (Ercoli *et al.*, 2008) قبلاً برای گندم با ۱۴ درصد کاهش گزارش کرده‌اند. بنابراین استنباط می‌شود، علاوه بر ویژگی‌های ژنتیکی گیاه، عوامل دیگری از جمله نیتروژن در افزایش پروتئین دانه مؤثر می‌باشد. فیضی اصل و پورمحمد (Feiziasl and Pourmohammad, 2014) گزارش نمودند، یک رابطه خطی مثبت و معنی‌دار (Protein%=0.025N+9.3) بین میزان نیتروژن مصرفی با پروتئین دانه وجود دارد، اما دو سطح مصرف ۹۰ و ۱۲۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار از نظر میزان پروتئین دانه در کلاس مشابهی قرار گرفتند. نتایج تحقیقات کوئینگ و همکاران (Koenig *et al.*, 2011) نیز در سه نقطه شرق ایالت واشینگتن نشان داد، با افزایش مقدار نیتروژن مصرفی، میزان پروتئین دانه ژنوتیپ‌های مختلف گندم دیم به‌صورت خطی افزایش یافت اما عملکرد دانه آنها در سطوح نهایی مصرف نیتروژن سیر نزولی داشت مشابه نتایج این پژوهشگران، رابطه بین میزان نیتروژن مصرفی با غلظت پروتئین دانه گندم دیم در پژوهش حاضر نیز از نوع خطی افزایشی (GP(%)=0.0211×N + 11.184; R²=0.97) و با عملکرد دانه از نوع درجه دوم (GY = -0.3344N² + 41.673N + 1843.7; R²=0.98) و معنی‌دار (p<0.05) بود که با نتایج آنها کاملاً مطابقت دارد.

کاربرد نیتروژن به‌طور معنی‌داری (p<0.01) منجر به افزایش کارایی مصرف نیتروژن شد، اما بین تیمار N60 و N90 تفاوت معنی‌داری وجود نداشت و این دو تیمار در مقایسه با تیمار N30 (کلاس B) در کلاس برتر A قرار گرفتند. بنابراین با در نظر گرفتن مسائل زیست محیطی و اقتصاد مصرف نیتروژن، مناسب‌ترین تیمار مصرف نیتروژن برای تولید ماده خشک گیاهی و عملکرد دانه بالا و کارایی مصرف نیتروژن (۱۸/۵ درصد)، N60 می‌باشد (جدول ۳). نتایج تحقیقات تامسون و همکاران (Thomason *et al.*, 2000) نیز نشان داد با افزایش مصرف نیتروژن کارایی مصرف نیتروژن در گندم افزایش یافت، اما نتیجه تحقیق پیشین در خصوص کارایی زراعی مصرف نیتروژن از طریق نیتروژن-۱۵ سیر نزولی آن را با افزایش میزان مصرف کود در منطقه مورد آزمایش به دلیل تفاوت در روش‌های اندازه‌گیری این دو کارایی نشان داد (Feiziasl and Pourmohammad, 2014).

نیز مشاهده شد (FNY= 0.1915N- 0.4841; R²= 0.98)، به نحوی که با افزایش هر ۱۰ کیلوگرم نیتروژن-۱۵ در هکتار برداشت نیتروژن کود ۱/۹۲ کیلوگرم در هکتار افزایش یافت. به تعبیر دیگر با افزایش هر ۳۱۰ کیلوگرم در هکتار ماده خشک تا تیمار N60 (رابطه خطی)، یک درصد به نیتروژن جذب شده از کود نشاندار و برای هر ۷۸۰ کیلوگرم در هکتار ماده خشک تا تیمار یادشده یک کیلوگرم در هکتار برداشت نیتروژن کود اضافه شد. بنابراین با توجه به خطی بودن روابط بین نیتروژن جذب شده از کود نشاندار و نیتروژن مصرفی و برداشت نیتروژن کود با نیتروژن مصرفی، تغییرات میزان آنها با تغییر نیتروژن مصرفی در فواصل تیمارهای کودی روندی ثابت و یکنواختی را دنبال نمود. برزوئی و همکاران (Borzouei *et al.*, 2013) نیز گزارش کردند با مصرف نیتروژن میزان نیتروژن جذب شده از کود نشاندار (Ndff%) در گندم افزایش یافت که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. بررسی‌های دقیق‌تر نشان داد، نیتروژن جذب شده از کود نشاندار (Ndff%) با عملکرد دانه و صفات مهم مرتبط با عملکرد دانه ارتباط معنی‌داری دارد. در این خصوص ارتباط Ndff% با عملکرد دانه از نوع درجه دوم بود که در مقدار ۲۴/۴ درصد Ndff حداکثر عملکرد دانه را تولید نمود (شکل ۱ الف). وضعیت مشابهی را Ndff% با مهمترین جزء عملکرد دانه گندم دیم یعنی تعداد سنبله در واحد سطح داشت. مطابق این رابطه بیشترین تعداد سنبله در واحد سطح از ۲۵/۴ درصد نیتروژن جذب شده از کود نشاندار به‌دست آمد که تنها یک واحد با Ndff مورد نیاز برای تولید عملکرد دانه در کل دامنه ۱ الی ۳۶ واحدی Ndff تفاوت داشت (شکل ۱ ب). علاوه بر موارد یادشده، Ndff% با ارتفاع گیاه و همچنین درصد پروتئین دانه رابطه خطی معنی‌داری (p<0.05) داشت (شکل ۱ ج و د). با توجه به اینکه رابطه خطی بین ارتفاع گیاه (تا ۱۲۰ سانتی‌متر) و عملکرد دانه برای گندم دیم قبلاً نیز گزارش شده است (Ehdaie *et al.*, 2006; Khan *et al.*, 2007)، لذا این ارتباط تأیید مجددی بر صحت رابطه بین Ndff% و عملکرد دانه می‌باشد. مطابق این روابط با افزایش ۱۰ واحد به درصد نیتروژن جذب شده از کود نشاندار (Ndff%) در محدوده ۳۰-۱۰ Ndff%، ارتفاع بوته ۳/۱ سانتی‌متر و میزان پروتئین دانه ۰/۶ واحد افزایش یافت (شکل ۱ ج و د). بنابراین با افزایش نیتروژن جذب شده از کود نشاندار از طریق کل ماده خشک گیاهی، انتقال نیتروژن به دانه به‌صورت خطی افزایش یافته و به دنبال آن میزان پروتئین دانه نیز به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (جدول ۳). برخی پژوهشگران وجود رابطه خطی بین میزان نیتروژن انباشته شده در اندام‌هایی رویشی و نیتروژن موجود در دانه (درصد پروتئین) را در مرحله پر شدن دانه در گندم گزارش کرده‌اند. آنها معتقدند نیتروژن مازاد بر نیاز گندم در اندام‌های رویشی گیاه انباشته شده و از طریق توزیع مجدد در زمان پر شدن دانه که به دلیل تنش رطوبتی و حرارتی، جذب آن از طریق



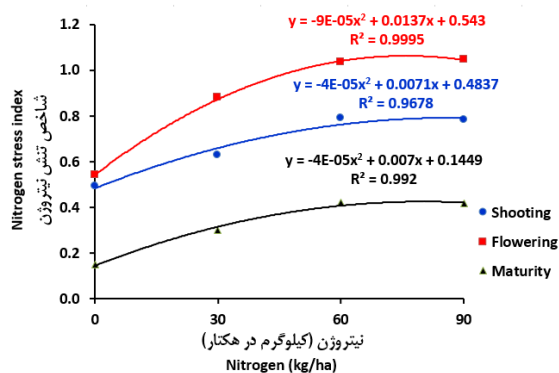
شکل ۱- رابطه بین %Ndff با عملکرد دانه (الف)، تعداد سنبله در واحد سطح (ب)، ارتفاع گیاه (ج) و درصد پروتئین دانه (د)
Figure 1- Relationship between %Ndff with grain yield (a), NO. spike m⁻² (b), plant height (c) and grain protein (d)

این نتایج غلظت نیتروژن در گیاه وابسته به مرحله رشد و میزان ماده خشک تولیدی است که با هردوی آنها رابطه منفی داشت (شکل ۲ الف). تیلینگ و همکاران (Tilling *et al.*, 2007) چنین رابطه‌ای را برای گندم در شرایط آبی و دیم گزارش کرده‌اند. شاخص NSI در هر سه مرحله رشد، رابطه معنی‌داری از نوع درجه دوم با میزان نیتروژن مصرفی داشت و تغییرات نیتروژن مصرفی توانست به‌طور متوسط حدود ۹۹ درصد از تغییرات این شاخص را توجیه نماید. حداکثر میزان این شاخص (تنش نیتروژن کم) در مراحل ساقه‌رفتن، گلدهی و رسیدگی فیزیولوژیک به ترتیب از مصرف ۸۹، ۷۶ و ۸۸ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به دست آمد که بیشترین آن به میزان ۱/۰۶ در مرحله گلدهی و کمترین آن به میزان ۰/۴۳ در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک بود (شکل ۲ب). احتمالاً علت افزایش تنش نیتروژن در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک، از کارافتادن سیستم جذب ریشه‌ای و فعال شدن سیستم انتقال مجدد در گیاه باشد. به‌منظور گروه‌بندی تیمارهای آزمایشی با استفاده از انحراف معیار داده‌ها، شاخص NSI به سه گروه کم ($\bar{X} - SD$)، متوسط ($\bar{X} - SD$ to $\bar{X} + SD$) و زیاد ($\bar{X} + SD$) تفکیک شد. مطابق این روش مقادیر ۰/۴۷ و ۰/۶۵ به ترتیب مرز بین کلاس‌های کم-متوسط و متوسط-زیاد برای شاخص NSI بود. حال با این کلاس‌بندی تیمارهای N90، N60 در مرحله ساقه رفتن و تیمارهای N30، N60 و N90 در مرحله گلدهی

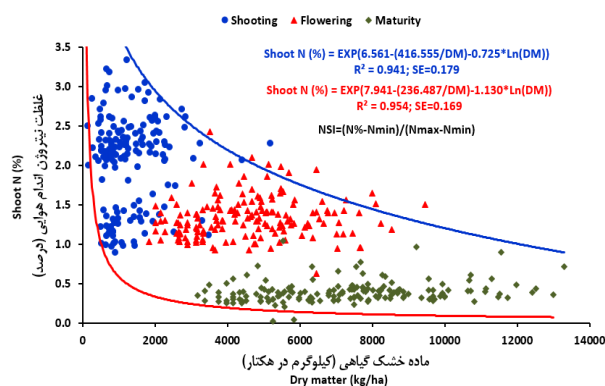
روبرس (Roberts, 2008) این کارایی را برای شرایط دیم ۳۰-۴۰ درصد و برای شرایط آبی ۳۰-۴۰ درصد بیان داشت. اما کاسمن و همکاران (Cassman *et al.*, 2002) آن را برای شرایط مطلوب آب و هوایی ۴۹ درصد و شرایط نامطلوب اقلیمی ۱۸ درصد برای گندم در هندوستان گزارش نمودند. کارایی استفاده از کودهای نیتروژنی متغیر بوده و با نوع محصول، فصل رشد و نوع کود تغییر می‌کند (Asfary and Charanek, 1997). در شرایط دیم کارایی مصرف نیتروژن کمتر از اعداد گزارش شده برزویی و همکاران (Borzouei *et al.*, 2013) برای گندم آبی است، اما این نتایج با نتایج کاسمن و همکاران (Cassman *et al.*, 2002) برای شرایط نامطلوب اقلیمی در هندوستان کاملاً مطابقت دارد.

به‌منظور محاسبه شاخص تنش نیتروژن (NSI) مناسب‌ترین معادلات محصورکننده بالا ($\text{Shoot N (\%)} = \text{EXP}(6.561 - (416.555/\text{DM}) - 0.725 \cdot \text{Ln}(\text{DM}))$; $R^2=0.94$) و پایین ($\text{Shoot N (\%)} = \text{EXP}(7.941 - (236.487/\text{DM}) - 1.130 \cdot \text{Ln}(\text{DM}))$; $R^2=0.95$) که هر دو از نوع نمایی بودند، برازش شد. داده‌ها نشان دادند، اولاً با افزایش ماده خشک گیاهی غلظت نیتروژن در آنها در هر سه مرحله رشد به‌ویژه در مرحله گلدهی کاهش یافت. ثانیاً با سپری شدن زمان رشد گندم دیم از مرحله ساقه‌دهی به سمت رسیدگی فیزیولوژیک نیز غلظت نیتروژن در گیاه شدیداً کاهش یافت. مطابق

نیتروژن داشت به بهترین وجه جبران نماید و گیاه را از تنش نیتروژنی نجات دهد. بنابراین مقایسه رابطه بین میزان ماده خشک گیاهی با غلظت نیتروژن در گیاه با رابطه نیتروژن مصرفی با شاخص NSI نشان داد، اگرچه با افزایش سن گیاه غلظت نیتروژن در اندام‌های هوایی سیر نزولی داشت (شکل ۲ الف)، اما درخصوص شاخص NSI این مورد صادق نبود، زیرا که بیشترین این شاخص (کمترین تنش نیتروژنی) مربوط به مرحله گلدهی و تیمارهای N60 و N90 بود و مصرف ۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در پاییز کمتر از دو درصد، تنش نیتروژن را در مراحل مختلف رشد گندم دیم در مقایسه با ایده‌آل‌ترین شرایط آزمایش حاضر خواهد داشت (شکل ۲ ب).



در گروه زیاد، تیمارهای N0 و N30 در مرحله ساقه رفتن و تیمار N0 در مرحله گلدهی در کلاس متوسط و تمامی تیمارهای مرحله رسیدگی فیزیولوژیک (N0، N30، N60 و N90) در کلاس کم شاخص NSI قرار گرفتند. این در حالی است که نتایج مقایسه میانگین برای شاخص NSI نشان داد، کاربرد نیتروژن به‌طور معنی‌داری ($p < 0.01$) این شاخص را افزایش داد، اما تیمارهای N30، N60 و N90 از لحاظ آماری در یک کلاس (A) و تیمار N0 در کلاس پایین‌تر (B) قرار گرفت (جدول ۳). بنابراین نتایج، اولاً تنش نیتروژن در تیمار N60 (همکلاس با تیمار N90) در تمامی مراحل رشد کمتر از تیمارهای N0 و N30 بود. ثانیاً مصرف نیتروژن توانست کمبود این عنصر را در گیاه در مرحله گلدهی که نیاز بیشتری به

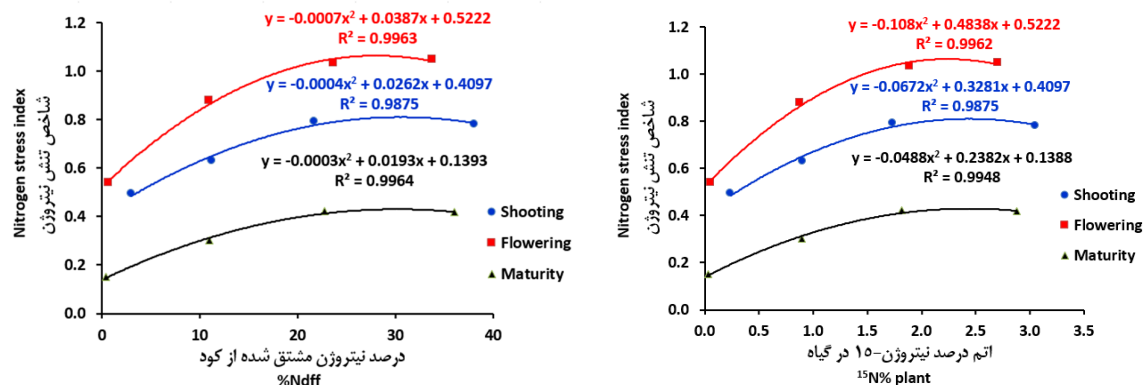


شکل ۲- رابطه بین ماده خشک گیاهی با غلظت نیتروژن در اندام‌های هوایی (الف) و نیتروژن مصرفی با شاخص تنش نیتروژن (NSI)

Figure 2- Relationship between dry matter with nitrogen concentration in plant (a) and nitrogen rates with nitrogen stress index (NSI)

N90 بود. کروس و همکاران (Kruse *et al.*, 2006) نیز همبستگی بالا و معنی‌دار بین وضعیت نیتروژن انواع چمن با شاخص NSI را در مراحل مختلف رشد این گیاه گزارش نمودند. تیلینگ و همکاران (Tilling *et al.*, 2007) گزارش کردند، علاوه بر وجود همبستگی بالا و معنی‌دار بین وضعیت نیتروژن در گندم با شاخص NSI در مراحل مختلف رشد، گندم دیم در مرحله گلدهی بیشترین مقدار شاخص NSI (کمترین تنش نیتروژن) را داشت، اما این شاخص برای گندم آبی به دلیل رشد زیاد آن و تقاضای بیشتر نیتروژن توسط گیاه در این مرحله در حداقل (بیشترین تنش نیتروژن) قرار داشت. بنابراین نتایج پژوهش حاضر با نتایج گزارش شده توسط کروس و همکاران (Kruse *et al.*, 2006) و تیلینگ و همکاران (Tilling *et al.*, 2007) کاملاً مطابقت دارد.

شاخص NSI با اتم درصد اضافی نیتروژن-۱۵ در گیاه ($^{15}\text{N}\%$ plant) و درصد نیتروژن جذب شده از کود نشاندار ($\text{Ndf}\%$) در مراحل مختلف رشد رابطه معنی‌داری از نوع درجه دوم داشت و تغییرات صفات یادشده توانستند بیش از ۹۹ درصد از تغییرات این شاخص را توجیه نمایند. همانند سطوح مصرف نیتروژن، بیشترین شاخص NSI (تنش نیتروژن کمتر) برای $^{15}\text{N}\%$ plant و $\text{Ndf}\%$ از مرحله گلدهی به میزان ۱/۰۶ با ۲/۲۳ اتم درصد نیتروژن-۱۵ در گیاه و ۲۸/۰۲ درصد نیتروژن جذب شده از کود نشاندار به‌دست آمد و کمترین این شاخص (تنش نیتروژن بیشتر) به مرحله رسیدگی فیزیولوژیک اختصاص یافت (شکل ۳ الف و ب). این نتایج نیز نشان داد، بیشترین اتم درصد اضافی نیتروژن-۱۵ در گیاه و درصد نیتروژن جذب شده از کود نشاندار مختص به مرحله گلدهی (تنش نیتروژن کم) و برای این منظور مناسب‌ترین تیمار N60 (همکلاس با تیمار

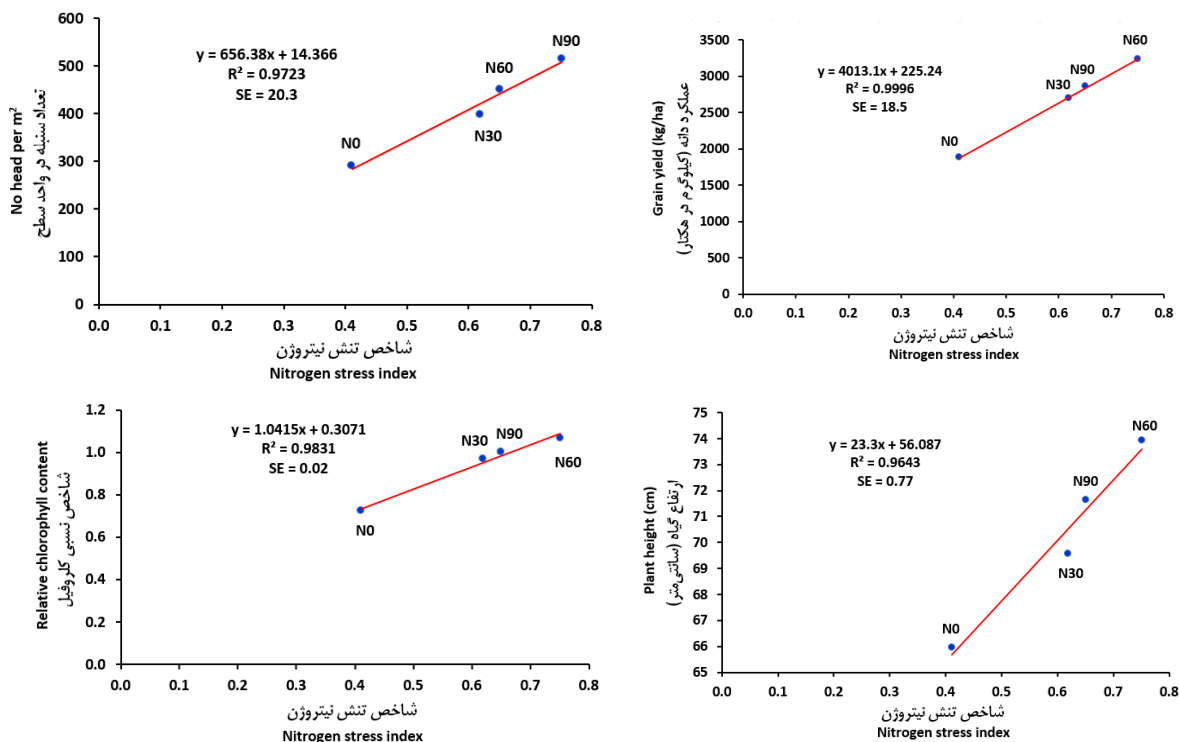


شکل ۳- رابطه بین اتم درصد نیتروژن-۱۵ در گیاه (الف) و درصد نیتروژن جذب شده از کود نشاندار (ب) با شاخص تنش نیتروژن (NSI)
Figure 3- Relationship between ¹⁵N% in plant (a) and %Ndff (b) with nitrogen stress index (NSI)

عملکرد و همچنین شاخص کلروفیل در پژوهش حاضر باعث گردید تا بتوان این شاخص را به‌عنوان یکی از بهترین شاخص‌های تعیین وضعیت نیتروژن در گیاه معرفی نمود. از مزایای دیگر این شاخص نرمال شدن درصد نیتروژن در اندام‌های هوایی از طریق داده‌های ماده خشک می‌باشد که هر دو صفات عملکرد و پارامترهای نیتروژن در گیاه در آن مستتر می‌باشند (Rodriguez *et al.*, 2006).

نتایج مقایسه میانگین نشان داد (جدول ۴)، از لحاظ ماده خشک گیاهی (میانگین سه دوره رشد) تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد ($P < 0.01$) بین ژنوتیپ‌ها وجود داشت. بیشترین ماده خشک تولیدی به ژنوتیپ‌های رصد و Genotype4 با متوسط ۴۸۳۰ کیلوگرم در هکتار اختصاص داشت (کلاس A) که با رقم آذر ۲ با ۴۶۵۰ کیلوگرم در هکتار (کلاس AB) تفاوت معنی‌داری نداشت. حداقل ماده خشک تولیدی به ژنوتیپ‌های Genotype1 و Genotype2 به ترتیب با ۳۷۵۲ و ۳۶۹۷ کیلوگرم در هکتار اختصاص داشت که از لحاظ آماری در کلاس مشابهی (D) قرار گرفتند. بنابراین از لحاظ ماده خشک تولیدی می‌توان ژنوتیپ‌های رصد و Genotype4 و در مرتبه بعدی رقم آذر ۲ را مناسب‌ترین ژنوتیپ‌ها به‌شمار آورد. این نتایج، با نتایج به‌دست آمده از عملکردهای بیولوژیک و دانه در خصوص این ژنوتیپ‌ها کاملاً مطابقت دارد، زیرا که بیشترین عملکردهای بیولوژیک به میزان ۸۱۴۰ (کلاس A)، ۷۹۹۶ (کلاس AB) و ۷۶۱۴ (کلاس AB) کیلوگرم در هکتار و دانه ۲۹۵۸ (کلاس A)، ۲۹۵۷ (کلاس A) و ۲۸۰۷ (کلاس ABC) کیلوگرم در هکتار به ترتیب از همان ژنوتیپ‌های رصد، Genotype4 و آذر ۲ به‌دست آمد (جدول ۴).

شاخص NSI علاوه بر ارتباط با پارامترهای نیتروژن-۱۵ در گیاه با عملکرد دانه (شکل ۴ الف)، تعداد سنبله در واحد سطح (شکل ۴ ب)، ارتفاع گیاه (شکل ۴ ج) و شاخص نسبی کلروفیل (RCM) در گیاه به‌عنوان شاخصی از وضعیت نیتروژن گیاه (شکل ۴ د) رابطه خطی معنی‌داری داشت و توانست به‌ترتیب بیش از ۹۶، ۹۷، ۹۹ و ۹۸ درصد از تغییرات صفات یادشده را توجیه نماید. با افزایش ۰/۱ واحد به شاخص NSI در محدوده مورد مطالعه (۰/۴-۰/۸) عملکرد دانه به میزان ۴۰۱ کیلوگرم در هکتار، تعداد سنبله در واحد سطح ۶۶ عدد، ارتفاع گیاه ۲/۳ سانتی‌متر و شاخص نسبی کلروفیل در گیاه ۰/۱ واحد افزایش یافت (شکل ۴ الف، ب، ج و د). تیلینگ و همکاران (Rodriguez *et al.*, 2007) همبستگی بالایی بین شاخص NSI و شاخص نسبی کلروفیل را در گندم گزارش کرده‌اند. آنها معتقدند شاخص نسبی کلروفیل در گندم دیم بیشتر از گندم آبی برای ارقام مشابه بود و این به دلیل رشد زیاد گندم آبی و تقاضای بیشتر آن به نیتروژن بود. در تحقیقات رودریگوز و همکاران (Rodriguez *et al.*, 2006) نیز بین شاخص نسبی کلروفیل در گندم با شاخص NSI همبستگی معنی‌داری وجود داشت، اما در تحقیقات آنها تغییرات شاخص نسبی کلروفیل توانست ۶۸ درصد از تغییرات شاخص NSI را در گندم توجیه نماید و در تحقیقات تیلینگ و همکاران (Tilling *et al.*, 2007) مقدار توجیه با استفاده از روش تصویربرداری از سطح پوشش سبز به ۷۶ درصد رسید، این در حالی است که در پژوهش حاضر مقدار توجیه بیش از ۹۸ درصد بود. بنابراین روابط بین شاخص NSI با عملکرد دانه و شاخص نسبی کلروفیل در گندم معتبرتر از روابط به‌دست آمده از پژوهش سایرین بود (Rodriguez *et al.*, 2006; Tilling *et al.*, 2007) و این می‌تواند به دلیل کاهش رشد گندم دیم و تقاضای کمتر آن به نیتروژن در مقایسه با گندم آبی باشد. ارتباط معنی‌دار شاخص NSI با پارامترهای نیتروژن در گیاه، عملکرد دانه و اجزای مؤثر



شکل ۴- رابطه بین شاخص تنش نیتروژن (NSI) با عملکرد دانه (الف)، تعداد سنبله در واحد سطح (ب)، ارتفاع گیاه (ج) و شاخص نسبی کلروفیل (د)

Figure 4- Relationship between nitrogen stress index (NSI) with grain yield (a), NO. spike m⁻² (b), plant height (c) and relative chlorophyll index (d)

کود را به خود اختصاص دادند. از لحاظ کارایی مصرف کود نیتروژنی همانند صفت برداشت نیتروژن کود، ژنوتیپ‌های آذر ۲، Genotype4 و رصدها به ترتیب با ۱۸/۴، ۱۸/۶ و ۱۸/۲ درصد بیشترین (کلاس A) مقدار را به خود اختصاص دادند که با رقم اوحدی با ۱۷/۵ درصد تفاوت معنی‌داری (کلاس AB) نداشتند. در این میان کمترین کارایی مصرف کود به میزان ۱۴/۳ درصد به ژنوتیپ Genotype2 (کلاس C) اختصاص داشت که با ژنوتیپ‌های Genotype1 و Genotype3 به ترتیب با ۱۵/۲ و ۱۶/۲ درصد کارایی (کلاس BC) تفاوت معنی‌داری نداشت. کارایی استفاده از نیتروژن در ارقام مختلف غلات به خصوصیات گیاهی مانند وضعیت توسعه ریشه و توزیع آن در خاک، مراحل رشد گیاه، نیاز غذایی گیاه، عواملی مانند رطوبت و دمای خاک، میزان عناصر غذایی خاک و اثرات متقابل عناصر غذایی بستگی دارد، اما تعدادی از این عوامل می‌تواند تحت تأثیر مدیریت کودهای نیتروژنی قرار گیرند (Harmsen, 1984). کودهای نیتروژنی اغلب از طریق افزایش عمق توسعه ریشه گندم علاوه بر افزایش کارایی استفاده از نیتروژن مصرفی باعث افزایش کارایی استفاده از آب و در نهایت کاهش اثر تنش خشکی در شرایط دیم و دستیابی به

از لحاظ میانگین برداشت نیتروژن کل بین ژنوتیپ‌ها تفاوت معنی‌داری ($p < 0.01$) وجود دارد (جدول ۴). رقم آذر ۲ با ۴۴/۵ کیلوگرم در هکتار بیشترین (کلاس A) و ژنوتیپ‌های Genotype1 و Genotype2 به ترتیب با ۳۳/۸ و ۳۳/۷ کیلوگرم در هکتار کمترین (کلاس C) برداشت نیتروژن را داشتند. ژنوتیپ‌های Genotype4، اوحدی و رصدها با میانگین ۴۰/۹ کیلوگرم در هکتار (کلاس AB) تفاوت معنی‌داری با رقم آذر ۲ نداشتند. علت بالا بودن میزان برداشت نیتروژن در رقم آذر ۲ بالا بودن غلظت نیتروژن در اندام‌های هوایی و همچنین تولید ماده خشک مناسب در آن بود، اما در ژنوتیپ‌های Genotype1، Genotype2، و به‌ویژه Genotype3 علی‌رغم داشتن غلظت نیتروژن معادل با سایر ژنوتیپ‌ها، ماده خشک تولیدی آنها پایین‌تر از ژنوتیپ‌های برتر بود. ژنوتیپ‌های آذر ۲، Genotype4 و رصدها به ترتیب با ۹/۳، ۸/۹ و ۸/۹ کیلوگرم در هکتار بیشترین (کلاس A) مقدار برداشت نیتروژن کود را داشتند که رقم اوحدی با ۸/۳ کیلوگرم در هکتار (کلاس AB) تفاوت معنی‌داری با آنها نداشت. سه ژنوتیپ Genotype1، Genotype2، و Genotype3 به ترتیب با ۷/۲، ۷/۲ و ۷/۵ کیلوگرم در هکتار کمترین (کلاس B) برداشت نیتروژن

رفتن به سمت رسیدگی فیزیولوژیک به‌طور معنی‌داری ($p < 0.05$) کاهش یافت. بنابراین بیشترین این صفات به‌ترتیب با ۱/۴۸ اتم درصد و ۱۸/۵ درصد (کلاس A) از مرحله ساقه رفتن به‌دست آمد و دو مرحله بعدی در کلاس مشابهی (کلاس B) قرار گرفتند (جدول ۵). پژوهشگران دیگری نیز گزارش کرده‌اند که مقدار نیتروژن جذب شده از کود نشاندار در گندم در مراحل نهایی رشد آن کاهش می‌یابد (Mahler et al., 1994; Sowers et al., 1994) که با نتایج پژوهش حاضر کاملاً مطابقت دارد. از سوی دیگر رابطه بین میزان نیتروژن مصرفی و درصد نیتروژن جذب شده از کود نشاندار در مراحل مختلف رشد گیاه نشان داد، اولاً این رابطه برای تمامی مراحل رشد خطی معنی‌دار بود. ثانیاً تفاوتی بین سه مرحله رشد در مقادیر مختلف مصرف نیتروژن برای درصد نیتروژن جذب شده از کود نشاندار وجود نداشت و سه منحنی تا حدودی منطبق بودند (شکل ۵ الف). به تعبیر دیگر، نیتروژن جذب شده از کود نشاندار مستقل از مرحله رشد گیاه بوده و تنها به میزان مصرف نیتروژن بستگی دارد. این امر انجام یک مرحله نمونه‌برداری را برای مطالعات نیتروژن-۱۵ از اندام‌های هوایی گیاه اثبات می‌کند و بهترین این مراحل به دلیل تجمع بالای نیتروژن در گندم دیم جزء مرحله گلدهی نمی‌تواند باشد. صفت برداشت نیتروژن کود و همچنین کارایی مصرف کود همانند برداشت نیتروژن کل در مراحل مختلف رشد تفاوت معنی‌داری داشتند و در مرحله گلدهی بیشترین مقدار را به خود اختصاص دادند. اگرچه مقدار صفات یادشده در مرحله ساقه رفتن اندکی کمتر از رسیدگی فیزیولوژیک بود، اما این دو مرحله در یک کلاس (B) قرار گرفتند. کارایی استفاده از نیتروژن-۱۵ در مرحله گلدهی در سطوح مختلف مصرف نیتروژن بیشترین مقدار را به خود اختصاص داد و در این مرحله بیشترین مقدار به میزان ۲۹/۳ درصد در تیمار N60 بود که با تیمار N90 در یک کلاس قرار گرفتند. در دو مرحله ساقه رفتن و رسیدگی فیزیولوژیک با افزایش مقدار نیتروژن مصرفی، کارایی استفاده از نیتروژن-۱۵ نیز افزایش یافت اما دو سطح نهایی تفاوت معنی‌داری نداشتند (شکل ۵ ب).

این در حالی است که شاخص تنش نیتروژن در مرحله گلدهی مانند صفات برداشت نیتروژن کل، برداشت نیتروژن کود و کارایی مصرف کود حداکثر بود، اما برخلاف صفات یادشده حداقل مقدار آن به مرحله رسیدگی اختصاص یافت که تفاوت معنی‌داری با مرحله ساقه رفتن نداشت (جدول ۵). پژوهشگران دیگری نیز مشابه نتایج پژوهش حاضر، حداکثر بودن شاخص تنش نیتروژن (NSI) را در مرحله گلدهی و پرشدن دانه در گندم در هر دو شرایط آبیاری تکمیلی و تنش رطوبتی گزارش کرده‌اند (Rodriguez et al., 2006; Tilling et al., 2007).

عملکردهای بهینه می‌گردد. به‌طوری‌که با مصرف کود نیتروژنی مورد نیاز گندم، راندمان مصرف آب حدود ۴۱ درصد بهبود می‌یابد (Nielsen and Halvorson, 1991).

مقایسه میانگین شاخص تنش نیتروژن (NSI) برای سطوح ژنوتیپ‌های مورد مطالعه نشان داد (جدول ۴)، بیشترین این شاخص به میزان ۰/۷۲ برای رقم آذر ۲ (کلاس A) بود که با ژنوتیپ‌های Genotype4، Genotype3، اوحدی و رصد با متوسط ۰/۶۵ از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری نداشت. ژنوتیپ‌های Genotype1 و Genotype2 به‌ترتیب با شاخص تنش نیتروژن ۰/۵۶ و ۰/۶۰ در پایین‌ترین کلاس (B) قرار گرفتند. مطابق این نتایج رقم آذر ۲ مطلوب‌ترین وضعیت را از لحاظ تغذیه نیتروژنی (کلاس زیاد شاخص NSI) داشت و سایر ژنوتیپ‌ها شامل Genotype4، Genotype3، اوحدی، رصد، Genotype1 و Genotype2 در شرایط متوسط تغذیه نیتروژنی (کلاس متوسط NSI) قرار گرفتند.

ماده خشک گیاهی با سپری شدن مراحل رشد گیاه به‌صورت معنی‌داری ($p < 0.01$) افزایش یافت (جدول ۵)، به‌طوری‌که هر مرحله رشد از لحاظ آماری در کلاس مجزایی قرار گرفت. بیشترین مقدار ماده خشک به میزان ۷۲۳۳ کیلوگرم در هکتار (کلاس A) از مرحله رسیدگی فیزیولوژیک و کمترین آن با ۱۲۸۶ کیلوگرم در هکتار (کلاس B) از مرحله ساقه رفتن به‌دست آمد. افزایش میزان ماده خشک تولید شده در گندم با افزایش روند مراحل رشد آن مورد تأیید سایرین نیز می‌باشد (Tilling et al., 2007). این در حالی است که درصد نیتروژن کل وضعیت کاملاً عکسی با ماده خشک گیاهی داشت. بدین نحو که با سپری شدن مراحل رشد گیاه از مرحله ساقه رفتن به سمت رسیدگی فیزیولوژیک، درصد نیتروژن کل در گیاه به‌طور معنی‌داری ($p < 0.01$) کاهش یافت و از متوسط ۲/۱ به ۰/۴ درصد رسید، به‌طوری‌که هر مرحله رشد در کلاس متفاوت آماری قرار گرفت (جدول ۵). چنین نتیجه‌ای را پژوهشگران دیگری نیز برای گندم گزارش کرده‌اند (Rodriguez et al., 2006). برداشت نیتروژن کل که حاصل دو صفت ماده خشک و غلظت نیتروژن در گیاه می‌باشد، در مرحله گلدهی بیشترین مقدار (۶۱/۴ کیلوگرم در هکتار) را به خود اختصاص داد، اما دو مرحله ساقه رفتن و رسیدگی فیزیولوژیک در کلاس مشترکی (B) قرار گرفتند و بین مراحل رشد در سطح احتمال ۱ درصد ($p < 0.01$) تفاوت وجود داشت (جدول ۵). بشیر و همکاران (Bashir et al., 1997) نیز در مطالعه‌ای در خصوص تجمع و توزیع مجدد نیتروژن در گندم پاییزی با استفاده از اوره نشاندار دریافتند که بیشترین جذب نیتروژن در مرحله گلدهی بود و در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک کاهش یافت.

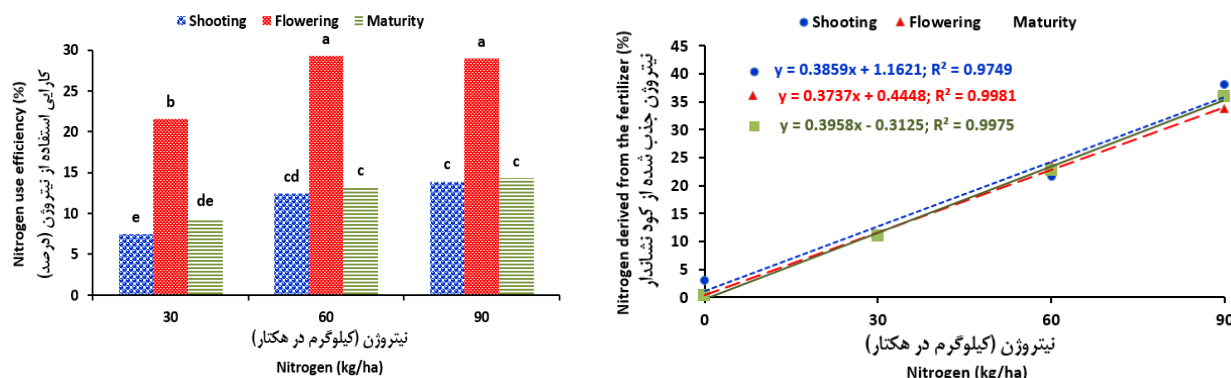
اتم درصد اضافی نیتروژن-۱۵ در گیاه و درصد نیتروژن جذب شده از کود نشاندار مانند غلظت نیتروژن کل در گیاه از مرحله ساقه

جدول ۴ - مقایسه میانگین پارامترهای نیتروژن در گیاه برای ژنوتیپ‌های مورد بررسی
Table 4- Mean comparison of nitrogen parameters in plant for genotypes

نیتروژن Nitrogen	ماده خشک Dry matter	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	کل نیتروژن Total N uptake	برداشت نیتروژن Fertilizer N yield	برداشت اضافی نیتروژن - ۱۵N% Plant		اتم درصد اضافی نیتروژن ۱۵N% Plant	اتم درصد اضافی نیتروژن ۱۵N% Plant	نیتروژن جذب شده از کود نشاندار Nitrogen derived from fertilizer	نیتروژن جذب شده از کود نشاندار Nitrogen derived from fertilizer	کارایی مصرف کود نیتروژنی Nitrogen use efficiency	شاخص تنش نیتروژن Nitrogen stress index	پروتئین دانه Grain Protein
						کود Fertilizer N	گیاه ۱۵N% Plant							
Azar2	4650	2807	7614	44.5	9.3	1.43	17.6	18.4	17.6	18.4	0.72	11.6		
Genotype1	3752	2219	6236	33.8	7.2	1.45	18.1	15.2	18.1	15.2	0.56	12.3		
Genotype2	3697	2449	6097	34.7	7.2	1.44	18.1	14.3	18.1	14.3	0.60	13.3		
Genotype3	4297	2504	7044	38.4	7.5	1.39	17.3	16.2	17.3	16.2	0.65	12.4		
Genotype4	4837	2957	7996	41.3	8.9	1.39	17.4	18.6	17.4	18.6	0.64	11.8		
Ohadi	4472	2763	7504	40.7	8.3	1.44	18.0	17.5	18.0	17.5	0.65	12.4		
Rasad	4830	2958	8140	40.7	8.9	1.47	18.4	18.2	18.4	18.2	0.64	12.1		
LSD5%	286.1	183	503	4.4	1.3	0.19	2.3	2.3	2.3	2.3	0.08	0.62		

جدول ۵ - مقایسه میانگین پارامترهای نیتروژن در گیاه در مراحل مختلف رشد گندم دیم
Table 5- Mean comparison of nitrogen parameters in plant on different plant growth stages

مرحله رشد Growth stage	ماده خشک Dry matter	کل نیتروژن Total N uptake	برداشت نیتروژن Fertilizer N yield	کل نیتروژن Total N uptake	اتم درصد اضافی نیتروژن - ۱۵N% Plant	اتم درصد اضافی نیتروژن ۱۵N% Plant	نیتروژن کل Total nitrogen	نیتروژن جذب شده از کود نشاندار Nitrogen derived from fertilizer	کارایی مصرف کود نیتروژنی Nitrogen use efficiency	شاخص تنش نیتروژن Nitrogen stress index
Shooting	1286	26.8	5.7	1.48	2.08	18.5	11.1	18.5	11.1	0.67
Flowering	4568	61.4	12.6	1.43	1.34	17.8	26.7	17.8	26.7	0.88
Maturity	7233	28.9	6.1	1.38	0.4	17.3	12.7	17.3	12.7	0.32
LSD5%	167	3.0	0.9	0.08	0.09	1.0	1.4	1.0	1.4	0.05



شکل ۵- رابطه بین نیتروژن مصرفی با نیتروژن جذب شده از کود نشاندار (الف) و کارایی استفاده از کود نیتروژنی (ب) در مراحل مختلف رشد گندم در سطح احتمال ۵ درصد

Figure 5- Relationship between nitrogen rates with %Ndf (a) and nitrogen use efficiency (b) in plant different growth stages in 5% probability level

بهبود و پروتئین دانه و پارامترهای جذب نیتروژن، ۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بود.

شاخص تنش نیتروژن (NSI) توانست به خوبی وضعیت تغذیه نیتروژنی ژنوتیپ‌های گندم را آشکار نماید.

ژنوتیپ‌های آذر ۲، Genotype4 و درصد از لحاظ تولید عملکرد و پروتئین دانه، کارایی مصرف نیتروژن-۱۵ و شاخص تنش نیتروژن (NSI)، مناسب‌ترین و Genotype1 و Genotype2 نامناسب‌ترین بودند.

نیتروژن جذب شده از کود نشاندار مستقل از مرحله رشد گیاه بود و مقدار آن به میزان نیتروژن مصرفی بستگی داشت، در نتیجه انجام یک مرحله نمونه‌برداری برای مطالعات نیتروژن-۱۵ از اندام هوایی گیاه (مرحله گلدهی) کافی است.

لازم به ذکر است، با توجه به اینکه اثر زمان مصرف پاییزی و تقسیمی نیتروژن بر روی هیچکدام از پارامترهای مورد بررسی در این پژوهش معنی‌دار نبود، لذا از ذکر نتایج آن در این مقاله خودداری و تنها به اثرات میزان نیتروژن، ژنوتیپ‌ها و مراحل نمونه‌برداری اکتفا شد.

نتیجه‌گیری

اثر زمان مصرف نیتروژن بر عملکرد دانه و پارامترهای جذب نیتروژن تفاوت معنی‌داری نداشت، لذا با توجه به اقتصاد مصرف کود و خطرات گیاه‌سوزی در مصرف سرک کودهای نیتروژنی در شرایط بارندگی‌های کمتر از نرمال، مصرف پاییزی نیتروژن به صورت جایگزاری (همانند پژوهش حاضر) توصیه می‌شود. مناسب‌ترین میزان مصرف نیتروژن برای دستیابی به عملکرد

References

- Abdel Monem, M. A. S., Harmsen, K., Lindsay, W. L., and Vlek, P. G. 1988. Fat of nitrogen - tagged urea applied to wheat in the arid Mediterranean region. PP 103-110 in A.Mara, P. N. Soltanpour and Amy Chouiard (eds.). Soil test calibration in West Asia and North Africa. Proc. of the Second Regional Workshop Ankara, Turkey, 1-6 Sept. 1987. ICARDA, Aleppo, Syria.
- Acevedo, E., Silva, P., and Silva, H. 2009. Wheat growth and physiology. PP 1-31 in B.C. Curtis, S. Rajaram and H. Gómez Macpherson (eds.). Bread Wheat Improvement and Production. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 603 pp.
- Asfary, F., and Charanek, A. 1997. Nitrogen fertilizer-use efficiency. Studies by Syrian Atomic Energy Commission using N-labelled fertilizers. PP 64-70 in J. Ryan (ed.). Accomplishments and future challenges in dryland soil fertility research in the Mediterranean area. ICARDA, Aleppo, Syria.
- Austin, R. B. 1987. The climatic vulnerability of wheat. PP 123-135 in Proceedings of International Symposium on Climatic Variability and Food Security in Developing Countries, New Delhi, India. Pages 602.
- Barbottin, A., Lecomte, C., Bouchard, C., and Jeuffroy, M. 2005. Nitrogen remobilization during grain filling in

- wheat: genotypic and environmental effects. *Crop Science* 45: 1141-1150.
6. Barnabas, B., Jager, K., and Feher, A. 2008. The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. *Plan, Cell and Environment* 31: 11-38.
 7. Bashir, R., Norman, R. J., Bacon, R. K., and Wells, B. R. 1997. Accumulation and redistribution of fertilizer nitrogen-15 in soft red winter wheat. *Soil Science Society of America Journal* 61: 1407-1412.
 8. Blevins, D. W., Wilkison, D. H., Kelly, B. P., and Silva, S. R. 1996. Movement of nitrate fertilizer to glacial till and runoff from a claypan soil. *Journal of Environmental Quality* 25: 584-593.
 9. Borzouei, A., Kafi, M., Mousavishalmani, A., and Khorasani, A. 2013. The effect of salinity and nitrogen fertilizater on wheat yield and nitrogen use efficiency using stable isotope ¹⁵N. *Iranian Journal of Water Research in Agriculture* 26 (4): 501-516. (in Persian with English abstract).
 10. Cassman, K. G., Dobermann, A., and Walters, D. T. 2002. Agroecosystems, nitrogen use efficiency, and nitrogen management. *Ambio*. 31: 132-140.
 11. Ehdiae, B., Alloush, G. A., Madore, M. A., and Waines, J. G. 2006. Genotypic variation for stem reserves and mobilization in wheat. I. post anthesis changes in internode dry matter. *Crop Science* 46 (2): 735-746.
 12. Ercoli, L., Lulli, L., Mariotti, M., Mosani, A., and Arduini, I. 2008. Post-anthesis dry matter and nitrogen dynamics in durum wheat as affected by nitrogen supply and soil water availability. *European Journal of Agronomy* 28: 138-147.
 13. Feiziasl, V., and Pourmohammad, A. 2014. Effects of nitrogen rates and application time on agronomic efficiency of nitrogen and seed yield of drylands wheat genotypes. *Soil and Water Science* 24 (3): 93-104. (in Persian with English abstract).
 14. Feiziasl, V., Jafarzadeh, J., Pala, M., and Mosavi, S. B. 2009. Determination of micronutrient critical Levels by plant response column order procedure for dryland wheat (*Triticum aestivum*. L.) in Northwest of Iran. *International Journal of Soil Science* 4 (1): 14-19.
 15. Feiziasl, V., Kasraei, R., Moghaddam, M., and Valizadeh, G. 2004. Investigation on uptake limitation and nutrient deficiency diagnosis at applied phosphorus and zinc fertilizers by different methods in Sardari wheat, *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources* 11: 23-33. (in Persian with English abstract).
 16. Feiziasl, V., and Valizadeh, G. 2003. The effects of nitrogen rate and application times on wheat yield under dryland farming conditions. *Iran. J. Soil Water Sci.* 17: 29-38. (in Persian with English abstract).
 17. Fiez, T. E., Pan, W. L., and Miller, B. C. 1995. Nitrogen efficiency analysis of winter wheat among landscape positions. *Soil Science Society of America Journal* 59: 1666-1671.
 18. Fowler, D. B., and Brydon, J. 1989. No-till winter wheat production on the Canadian prairies: Placement of urea and ammonium nitrate fertilizers. *Agronomy Journal* 81: 518-524.
 19. Gauer, L. E., Grant, C. A., Gehl, D. T., and Bailey, L. D. 1992. Effects of nitrogen fertilization on grain protein content, nitrogen uptake, and nitrogen use efficiency of six spring wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars in relation to estimated moisture supply. *Canadian Journal of Plant Science* 72: 235-241.
 20. Ghafari, A., Eskandari, I., Hassanpour Hosni, M., Roostaei, M., and Feiziasl, V. 2007. Dry farming wheat: planting, cultivation and harvesting. *Agricultural Education Publishing*. p. 158. (in Persian).
 21. Halse, N. J., Greenwood, E. A. N., Lapins, P., and Boundy, C. A. P. 2006. An analysis of the effects of nitrogen deficiency on the growth and yield of a Western Australian wheat crop. *Australian Journal of Agricultural Research* 20 (6): 987-998.
 22. Halvorson, A. D., Nielsen, D. C., and Reule, C. A. 2004. Nitrogen fertilization and rotation effects on no-till dryland wheat production. *Agron. J.* 96: 1196-1201.
 23. Harmsen, K. 1984. Nitrogen fertilizer use in rainfed agriculture. *Fertilizer Research* 5: 371-382.
 24. Johnston, A. M., and Fowler, D. B. 1991. No-till winter wheat production: response to spring applied nitrogen fertilizer form and placement. *Agronomy Journal* 83: 722-728.
 25. Khan, I., Khalil, I. H., and Din, N. 2007. Genetic parameters for yield traits in wheat under irrigated and rainfed environments. *Sarhad Journal of Agriculture* 23 (4): 973-979.
 26. Koenig, R. T., Cogger, C. G., and Bary, A. I. 2011. Dryland winter wheat yield, grain protein, and soil nitrogen responses to fertilizer and biosolids applications. *Applied and Environmental Soil Science* 2011: 1-9.
 27. Kruse, J. K., Christians, N. E., and Chaplin, M. H. 2006. Remote sensing of nitrogen stress in creeping bentgrass. *Agronomy Journal* 98: 1640-1645.
 28. Lopez-Bellido, L., Lopez-bellido, R. J., and Lopez-Bellido, F. J. 2006. Fertilizer nitrogen efficiency in Durum wheat under rainfed Mediterranean conditions: effect of split application. *Agronomy Journal* 98: 55-62.
 29. Mahler, R. L., Koehler, F. E., and Lutcher, L. K. 1994. Nitrogen source, timing of application and placement: Effects on winter wheat production. *Agronomy Journal* 86: 637-642.
 30. Mariana, A., Melaj, Hernán, E., Echeverría, Silvia C., López, Guillermo S., Fernando, A., and Néstor, O. B. 2003. Timing of nitrogen fertilization in wheat under conventional and no-tillage system. *Agronomy Journal* 95: 1525-1531.
 31. Miranzadeh, H., Emam, Y., Pilesjö, P., and Seyyedi, H. 2011. Water use efficiency of four dryland wheat cultivars

- under different levels of nitrogen fertilization. *Journal of Agricultural Science and Technology* 13: 843-854.
32. Mousavi Shalmani, M. 2008. Use of ¹⁵N isotope in soil fertility and plant nutrition (1 ed.). Iran: Nuclear Science & Technology Research Institute p. 394. (in Persian).
 33. Nielsen, D. C., and Halvorson, A. D. 1991. Nitrogen fertility influence on wheat stress and yield of winter wheat. *Agronomy Journal* 83: 1065-1070.
 34. Pala, M., Matar, A., and Mazid, A. 1996. Assessment of the effects of environmental factors on the response of wheat to fertilizer in on-farm trials in a Mediterranean type environment. *Experimental Agriculture* 32: 339-349.
 35. Raun, W. R., and Johnson, G. V. 1999. Improving nitrogen use efficiency for cereal production. *Agronomy Journal* 91: 357-363.
 36. Rice, W. A., Akhtar, M. E., Rohul Amin, Y., and Campbell, J. A. 1990. Wheat response to nitrogen and phosphorus fertilizers in rainfed areas of Pakistan. PP 66-75 in J. Ryan and A. Matar (eds.). *Soil Test Calibration in West Asia and North Africa. Proc. of the Third Regional Workshop Amman, Jordan, 3-9.Spt.1988. ICARDA, Aleppo, Syria.*
 37. Roberts, T. L. 2008. Improving Nutrient Use Efficiency. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 32: 177-182.
 38. Rodriguez, D., Fitzgerald, G. J., Belford, R., and Christensen, L. 2006. Detection of nitrogen deficiency in wheat from spectral reflectance indices and basic crop eco-physiological concepts. *Australian Journal of Agricultural Research* 57: 781-789.
 39. Ryan, J., Pala, M., Masri, S., Singh, M., and Harris, H. 2008. Rainfed wheat-based rotations under Mediterranean conditions: Crop sequences, nitrogen fertilization, and stubble grazing in relation to grain and straw quality. *European Journal of Agronomy* 28: 112-118.
 40. Schepers, J. S., Moravek, M. G., Alberts, E. E., and Frank, K. D. 1991. Maize production impacts on groundwater quality. *Journal of Environmental Quality* 20: 12-16.
 41. Sowers, K. E., Pan, W. L., Miller, B. C., and Smith, J. L. 1994. Nitrogen use efficiency of split nitrogen applications in soft white winter wheat. *Agronomy Journal* 86: 942-948.
 42. Svoboda, P., and Haberle, J. 2006. The effect of nitrogen fertilization on root distribution of winter wheat. *Plant Soil Environ* 5 (7): 308-313.
 43. Thomason, W. E., Raun, W. R., and Johnson, G. V. 2000. Winter wheat fertilizer nitrogen use efficiency in grain and forage production systems. *Journal of Plant Nutrition* 23: 1505-1516.
 44. Tilling, K., Leary, G. J. O., Ferwerda, J. G., Jones, S. D., Fitzgerald, G. J., Rodriguez, D., and Belford, R. 2007. Remote sensing of nitrogen and water stress in wheat. *Field Crops Research* 104: 77-85.
 45. Triboř, E., and Triboř-Blondel, A. M. 2002. Productivity and grain or seed composition: a new approach to an old problem – invited paper. *European Journal Agronomy* 16: 163-186.



Evaluation of Nitrogen Status in Dryland Wheat (*Triticum aestivum* L.) Genotypes Using ^{15}N

V. Feiziasl^{1*} - A. Fotovat² - A. Astaraci² - A. Lakzian² - M. A. Mousavi Shalmani³

Received: 16-08-2014

Accepted: 27-09-2016

Introduction

Nitrogen (N) is the most important input in many Iranian cropping systems and applying the optimal amount of N in the right place at the right time is a significant challenge for wheat growers. Previous research results indicated that nitrogen fertilization can increase the use of soil moisture, which lead to increase of wheat grain yield in dryland area. Heat and drought stress are the most environmental factors that cause significant yield and quality reduction of dryland wheat by disruption of plant metabolism. Although these stresses, in most cases, are impossible to control, farmers can reduce their unfavorable effects by optimizing nitrogen fertilizer applications. Nitrogen use efficiency in different wheat genotypes depends on plant characteristics such as root system distribution, plant growth stages, plant nutrient requirements, soil moisture and temperature, soil nutrient content and nutrient interactions, some of these factors can be improved by nitrogen fertilizer management. Recently, the use of ^{15}N in soil-plant systems is a great help to identify the actual uptake of nutrients from fertilizers. This technique determine nitrogen rate and application times, ^{15}N derived from fertilizers, ^{15}N use efficiency, fate of N residuals in soil profile and N accumulation and redistribution in plant organs exactly. In addition, many other new indices have been identified with high sensitivity to changes nitrogen status in plant such as remote sensing techniques. These indices are capable of higher accuracy and easy identification of nitrogen status in plant for instance insufficient, sufficient and excessive conditions. The most important of these indicators can be cited nitrogen stress index (NSI). There are high negative correlations between yield and grain components and are also high significant positive correlations among nitrogen uptake, nitrogen status in plant and plant relative chlorophyll meter (RCM). Therefore, nitrogen stress index (NSI) can identify the critical periods of nitrogen stress in dryland wheat that provide reasonable recommendations for the lifting of nitrogen nutrition restrictions.

Materials and Methods

To determine effect of rates and times of nitrogen applications on the production and nitrogen status of dryland wheat, this study was conducted as split-split plot design based on randomized complete block design with three replications as which ^{15}N application times (fall, 2/3 in fall and 1/3 in spring) were assigned to the main plots and N rates were arranged to the sub plot (0, 30, 60 and 90 kg ha⁻¹), and 7 wheat genotypes to the sub-sub plots (Azar2, Ohadi, Rasad and 4 other genotypes as genotype1 to genotype4) in three replications in Dryland Agricultural Research Institute (DARI) during 2011-12 cropping seasons. In three elongation (ZGS32), flowering (ZGS64) and maturity (ZGS87) stages, we determined wheat dry matter accumulation and nitrogen concentration. Nitrogen stress index (NSI) was calculated by plant N concentration and dry matter using Data fit 9 software. Plant chlorophyll content also was measured in the three upper developed leaves randomly in each plot by chlorophyll meter (SPAD-Hansatech, Cl-01 model) in three mentioned steps. Total nitrogen and $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$

1- Assistant Professor, Dryland Agricultural Research Institute (DARI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Maragheh, Iran

2- Professor, Associate Professors and Professor Respectively, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

3- Assistant Professor, Nuclear Science and Technology Research Institute, Atomic Energy Organization, Karaj, Iran

(* - Corresponding Author Email: vfeiziasl@yahoo.com)

isotopic ratio was determined in grain and straw by mass spectrometry method.

Results and Discussion

The results showed that nitrogen application time had no significant effect on yield and nitrogen uptake parameters. But, nitrogen application significantly ($P < 0.01$) increased dry matter (2052 kg ha^{-1}), grain yield (1053 kg ha^{-1}), biological yield (3403 kg ha^{-1}), nitrogen uptake (21.8%), nitrogen uptake from fertilizer (10.3%), $^{15}\text{N}\%$ in plant (1.75 atom percent), N derived from fertilizers (21.9%), nitrogen stress index (0.3) and grain protein content (1.3) on average. Application of N60 was suitable rate to reduce nitrogen stress and optimal production of dryland wheat genotypes. Azar2 was the most desirable genotype while genotype1 and genotype2 were inappropriate genotypes in this respect.

Conclusions

The nitrogen stress index (NSI) and ^{15}N derived from fertilizers (%Ndff) were the best indices to determine nitrogen status and nitrogen application times and rates for dryland wheat genotypes. The nitrogen status in plant was an effective factor for increase of grain protein.

Keywords: Grain yield, Nitrogen stress index (NSI), ^{15}N derived from fertilizer (%Ndff)