

## بهینه‌سازی مصرف کود در گندم (*Triticum aestivum* L.) با استفاده از شاخص تغذیه نیتروژن

مهدی نصیری محلاتی<sup>۱\*</sup> و علیرضا کوچکی<sup>۱</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۲/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۵/۰۱

نصیری محلاتی، م.، و کوچکی، ع. ۱۳۹۷. بهینه‌سازی مصرف کود در گندم (*Triticum aestivum* L.) با استفاده از شاخص تغذیه نیتروژن. بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۰(۳): ۶۴۷-۶۶۵

### چکیده

به منظور تعیین شاخص تغذیه نیتروژن برای ارقام گندم (*Triticum aestivum* L.) آزمایشی مزرعه‌ای با آرایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک-های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. دو فاکتور آزمایش عبارت بودند از سه رقم گندم (چمران، گاسکوژن و سایونز) و چهار سطح مصرف نیتروژن (صفر، ۵۵، ۱۱۰ و ۱۷۰ کیلوگرم در هکتار). میزان ماده خشک و درصد نیتروژن قسمت‌های هوایی طی پنج نوبت در دوره رشد رویشی اندازه‌گیری شد. با استفاده از این داده‌ها غلظت‌های بحرانی و منحنی بحرانی رقیق شدن نیتروژن محاسبه و با منحنی رقیق شدن مرجع برای گندم مقایسه شد. منحنی حاصل از این تحقیق غلظت‌های بحرانی را کمتر از منحنی مرجع برآورد کرد، البته ضرایب معادله به ضرایب منحنی مرجع نزدیک و با آن قابل مقایسه بود. به‌طور کلی، منحنی رقیق شدن و جذب بحرانی نیتروژن کمبود، کفایت و بیش بود نیتروژن در قسمت‌های هوایی گندم را در سطوح مختلف مصرف این نهاده به‌خوبی توصیف کرد. در تیمارهای شاهد و  $55 \text{ kg N.ha}^{-1}$  هر سه رقم گندم در شرایط محدودیت نیتروژن قرار داشتند. در حالی که در تیمار  $170 \text{ kg N.ha}^{-1}$  مقدار نیتروژن تجمع یافته در گیاه بیشتر از نیاز رشدی بود، در تیمار  $110 \text{ kg N.ha}^{-1}$  جذب نیتروژن در ارقام تحت بررسی به مقادیر بحرانی بسیار نزدیک بود. شاخص تغذیه نیتروژن (NNI) از نسبت غلظت اندازه‌گیری شده نیتروژن در قسمت هوایی به نسبت بحرانی آن محاسبه شد. در تیمارهای شاهد و  $55 \text{ kg N.ha}^{-1}$  مقدار NNI در تمام دوره رویشی کمتر از یک بود در حالی که در تیمار  $110 \text{ kg N.ha}^{-1}$  در حدود یک و در تیمار  $170 \text{ kg N.ha}^{-1}$  بین ۱ تا  $1/3$  قرار داشت. شاخص تغذیه نیتروژن در مرحله گلدهی رابطه معنی‌داری با عملکرد نسبی ارقام گندم داشت و حداکثر عملکرد هر سه رقم تحت بررسی در NNI بین ۱-۰/۹ حاصل شد. بین پروتئین دانه و NNI در مرحله گلدهی نیز رابطه خطی معنی‌داری وجود داشت. بر اساس یافته‌های این تحقیق با استفاده از شاخص تغذیه نیتروژن که بر مبنای منحنی رقیق شدن این نهاده محاسبه می‌شود می‌توان برآورد دقیقی از سرعت رشد محصول، تولید ماده خشک، عملکرد و تا حدودی پروتئین دانه به‌دست آورد و مقدار بهینه کود نیتروژن را برای دستیابی به هر سطحی از عملکرد دانه تعیین نمود.

**واژه‌های کلیدی:** پروتئین دانه، جذب بحرانی نیتروژن، عملکرد دانه، غلظت بحرانی نیتروژن، منحنی رقیق شدن بحرانی نیتروژن

### مقدمه

مهم‌ترین این اهداف می‌باشند (Dobermann & Cassman, 2004; Singh, 2005). از سوی دیگر در میان انواع نهاده‌های شیمیایی مورد استفاده در نظام‌های رایج، کودهای نیتروژنی بیشترین سهم را در افزایش تولید محصولات زراعی در طی قرن گذشته داشته‌اند. در طی ۴۰ سال گذشته مصرف کودهای نیتروژن در سطح جهان هفت برابر و به موازات آن تولید غذا از بوم‌نظام‌های کشاورزی دو برابر شده است (Eickhout et al., 2006). در ایران نیز در فاصله سال‌های ۱۳۵۰ تا ۱۳۹۰ مصرف کودهای نیتروژنی در بوم‌نظام‌های تولید گندم نه برابر و عملکرد گندم حدود ۳/۵ برابر افزایش یافته (Nassiri Mahallati

کشاورزی که در قرن گذشته صرفاً بر تولید بیشتر متمرکز بود امروزه علاوه بر عملکرد، اهداف زیست‌محیطی و اکولوژیکی دیگری را نیز دنبال می‌کند. پیامدهای روش مدیریت سیستم‌های زراعی، عواقب زیست‌محیطی مصرف نهاده‌ها، کیفیت محصول تولید شده، کارایی استفاده از نهاده‌ها و به‌طور کلی، پایداری نظام تولید از جمله

۱- استاد، گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

(Email: mnassiri@um.ac.ir

\*) نویسنده مسئول:

DOI: 10.22067/jag.v10i3.32578

معادل غلظت بحرانی آن حفظ شود، منحنی رقیق شدن اصطلاحاً منحنی رقیق شدن بحرانی نیتروژن<sup>۴</sup> نامیده می‌شود (Gastal & Lemaire, 2002). در واقع غلظت بحرانی نیتروژن، غلظت مینا در هر مرحله‌ای از رشد و در هر شرایط محیطی است و مقایسه نیتروژن موجود در قسمت هوایی با مقادیر بحرانی آن، کمبود، کفایت و به‌طور کلی وضعیت نیتروژن در گیاه را با دقتی بالا مشخص می‌سازد (Houles et al., 2007). محققین مختلف با استفاده از این مفهوم بررسی‌های جامعی را برای تعیین نیازهای کودی محصولات زراعی و پیش‌بینی سرعت رشد بر اساس وضعیت نیتروژن ارائه کرده‌اند (Olesen et al., 2002; Mills et al., 2009; Cassman et al., 2002).

شاخص تغذیه نیتروژن<sup>۵</sup> که عبارتست از نسبت غلظت واقعی نیتروژن گیاه به غلظت بحرانی آن شاخصی است که سرعت تجمع ماده خشک را در مرحله‌ای از رشد بر اساس میزان جذب نیتروژن توصیف کرده و به کمک آن می‌توان عملکرد ماده خشک مورد انتظار در هر مقدار مصرف نیتروژن را به‌صورت کمی برآورد کرد و از آن به‌عنوان ابزاری برای توصیه‌های کودی استفاده نمود (Lemaire & Gastal, 1997; Gastal & Lemaire, 2002).

بخش عمده پژوهش‌های انجام شده در ایران بر توصیه‌های کودی در جهت افزایش عملکرد تمرکز یافته است و خلاء مطالعات کاربردی در مورد الگوهای بهینه مصرف کودها کاملاً محسوس می‌باشد. مطالعات انجام شده در مورد مصرف کودهای نیتروژنی در گیاهان زراعی از جمله گندم در ایران عمدتاً به اجرای آزمایشات توصیه کودی محدود می‌باشد. اجرای این نوع آزمایشات که در سایر کشورها نیز متداول می‌باشند به‌منظور مقایسه عملکرد در تیمارهای مختلف کودی و در نهایت توصیه مقدار مناسب کود برای حصول عملکرد بالا صورت می‌گیرد. نتایج این آزمایشات بسیار متغیر بوده (Koocheki et al., 2013) و تصمیم‌گیری بر اساس یافته‌های این پژوهش‌ها دشوار است. ارزیابی وضعیت نیتروژن گیاه از طریق تعیین منحنی رقیق شدن نیتروژن به‌ندرت در تحقیقات انجام شده در ایران بررسی شده است. رستمی (Rostami, 2009) در آزمایشی این منحنی را برای ارقام ذرت (*Zea mays* L.) برآورد نمود تا به‌عنوان

(Koocheki, 2013) با این حال آلودگی‌های محیط زیست نظیر پرغذایی<sup>۱</sup> آب‌های شیرین و اکوسیستم‌های آبی و مسائل مرتبط با تغییر اقلیم از یک سو و تضمین امنیت غذایی از سوی دیگر، بهبود کارایی مصرف نیتروژن در بوم‌نظام‌های زراعی را به چالش مهمی پیش روی محققین تبدیل کرده است (Lemaire et al., 2008a; Fageria & Baligar, 2005).

ارزیابی واکنش گیاهان زراعی به نیتروژن معمولاً با برآورد کارایی مصرف نیتروژن و نیز بر اساس منحنی‌های بازده نزولی بین عملکرد و میزان مصرف کودهای نیتروژن صورت می‌گیرد (Cassman et al., 2002) ولی هر دو روش تابع محیط بوده، بسیار متغیرند و به‌مقدار مصرف، زمان مصرف و نوع کود نیتروژن بستگی دارند. تصمیم نتایج این آزمایشات به‌دلیل اختلافات محیطی در میزان بارندگی، درجه حرارت و تشعشع ناشی از محل و سال، باعث برآورد بیش از اندازه نیاز کودی گیاه به نیتروژن خواهد شد (Scharf, 2001). بنابراین برای بهینه‌سازی مصرف این نوع کود به‌منظور حصول حداکثر بهره‌وری، به روش‌هایی نیاز است که از قطعیت بیشتری برخوردار باشند.

تحقیقات انجام شده در طی ۳۰ سال گذشته منجر به ارائه رهیافتی کاربردی بر اساس اکوفیزیولوژی جذب و توزیع نیتروژن در گیاهان زراعی شده است (Lemaire & Gastal, 1997; Lemaire & Gastal, 2009). گرین وود و همکاران (Greenwood et al., 1990) نشان دادند که در شرایط عرضه کافی نیتروژن، وضعیت این نهاده در گیاه در طی فصل رشد تابع تجمع ماده خشک می‌باشد، به‌عبارت دیگر جذب نیتروژن از طریق سرعت رشد محصول تنظیم می‌شود. بر اساس این نظریه نیتروژن موجود در قسمت‌های هوایی گیاهان با افزایش وزن خشک رقیق می‌شود و این رابطه آلومتری را می‌توان به‌وسیله مدلی ریاضی که به‌منحنی رقیق شدن<sup>۲</sup> موسوم است به‌صورت کمی توصیف کرد (Greenwood et al., 1991). بنا به تعریف غلظت بحرانی نیتروژن<sup>۳</sup> حداقل درصد نیتروژن در قسمت هوایی است که حداکثر ماده خشک را تولید می‌کند و در بالاتر از این غلظت، جذب بیشتر نیتروژن باعث افزایش وزن خشک نخواهد شد (Lemaire & Gastal, 1997). چنان‌چه عرضه نیتروژن در طی دوره رشد گیاه به اندازه‌ای باشد که درصد نیتروژن قسمت هوایی همواره

- 1- Eutrophication
- 2- Dilution curve
- 3- Critical nitrogen concentration

4- Critical nitrogen dilution curve

5- Nitrogen nutrition index

معیاری جهت کود دهی مناسب مورد استفاده قرار گیرد، ولی در حال حاضر اطلاعات منتشر شده‌ای در مورد شاخص تغذیه نیتروژن گندم در ایران در اختیار نمی‌باشد.

در این تحقیق منحنی‌های رقیق شدن و جذب بحرانی نیتروژن برای گندم (*Triticum aestivum* L.) برآورد و یا استفاده از آن شاخص تغذیه نیتروژن در ارقام مختلف محاسبه شده و امکان به-کارگیری این شاخص به منظور بهینه‌سازی مصرف نیتروژن در این گیاه مورد ارزیابی قرار گرفته است.

## مواد و روش‌ها

### محل و نحوه اجرای آزمایش

پژوهش حاضر در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال زراعی ۸۸-۱۳۸۷ اجرا شد. زمین محل آزمایش در سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۸۶ به ترتیب زیر کشت جو (*Hordeum vulgare* L.) و در آیش قرار داشت. خاک محل آزمایش دارای بافت سیلت لومی و میزان ماده آلی آن ۰/۳ درصد بود. نمونه-گیری خاک جهت تعیین خصوصیات شیمیایی آن پیش از کاشت در تاریخ ۱۳ مهرماه ۱۳۷۸ از دو عمق ۰-۲۰ و ۲۰-۴۰ سانتی‌متری

جدول ۱- خصوصیات شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- Soil chemical properties of the experimental field

عمق (سانتی-متر) Depth (cm)	نیتروژن (درصد) N (%)	نیتروژن آمونیومی (درصد) NH <sub>4</sub> -N (%)	نیتروژن نیتراتی (درصد) NO <sub>3</sub> -N (%)	فسفر (میلی گرم بر کیلوگرم) P (mg.kg <sup>-1</sup> )	پتاسیم (میلی گرم بر کیلوگرم) K (mg.kg <sup>-1</sup> )	وزن مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی متر مکعب) BD (g.cm <sup>-3</sup> )
0-20	0.084	39×10 <sup>-4</sup>	4.18×10 <sup>-4</sup>	9.0	125	1.57
20-40	0.070	35×10 <sup>-4</sup>	4.03×10 <sup>-4</sup>	6.4	100	1.98

### اندازه‌گیری‌ها

دو سوم مساحت هر کرت آزمایشی برای نمونه‌گیری‌های تخریبی در طی دوره رشد و باقیمانده برای تعیین عملکرد اختصاص یافت. نمونه‌گیری‌ها از مرحله پنجه‌زنی آغاز و در طی دوره رشد رویشی ادامه یافت. بدین صورت که در پنج نوبت به ترتیب ۱۳۰، ۱۵۵، ۱۷۷، ۱۸۹ و ۲۰۸ روز پس از کاشت هر بار ۰/۲ مترمربع از گیاهان هر کرت برداشت شدند. در انتهای دوره رشد و رسیدگی کامل (۲۸ خرداد ۱۳۸۷) کل ماده خشک تولید شده (دانه و کاه) در یک سوم هر کرت پس از حذف حاشیه‌ها برداشت شد.

صورت گرفت (جدول ۱).

کاشت به صورت ردیفی و با تراکم ۳۵۰ بوته در مترمربع در تاریخ ۱۷ و ۱۸ مهر ماه ۱۳۷۸ انجام شد. هر کرت آزمایشی دارای ۱۰ ردیف کاشت به طول پنج متر و با فاصله ۲۵ سانتی‌متر بین ردیف‌ها بود و در نتیجه مساحتی معادل ۱۲/۵ مترمربع داشت. فاصله بین کرت‌ها و بین بلوک‌ها به ترتیب ۱ و ۲/۳ متر در نظر گرفته شد.

آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل چهار سطح نیتروژن (صفر، ۵۵، ۱۱۰ و ۱۷۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص) و سه رقم گندم پاییزه (چمران CHA، گاسکوئن GAS، و سایونز SIO) بود، سطوح نیتروژن با مصرف کود اوره (۴۶٪ N) تأمین شد. دو سوم از هر یک از سطوح نیتروژن همراه با ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفات در هنگام کاشت و باقیمانده نیتروژن در اوایل اردیبهشت ۱۳۸۸ در کرت‌ها توزیع شد. برای جلوگیری از بروز تنش خشکی کرت‌های آزمایشی با انجام پنج نوبت آبیاری در شرایط مطلوب رطوبتی حفظ شدند. مزرعه آزمایشی در تاریخ ۱۷ اردیبهشت ۱۳۷۸ بر علیه شته یک نوبت سمپاشی شد.

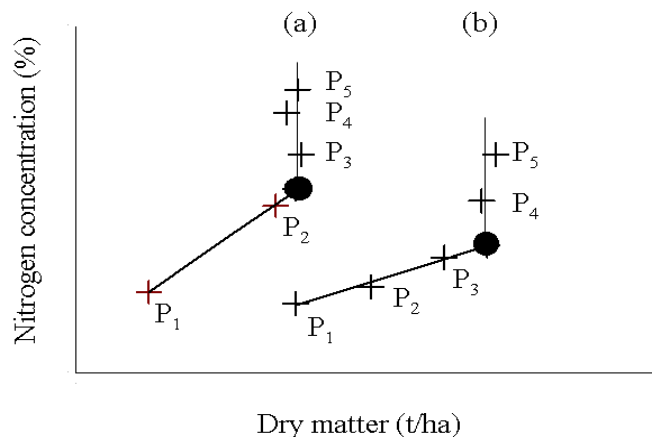
وزن خشک نمونه‌ها پس از خشک شدن در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت، تعیین گردید. مواد گیاهی خشک شده آسیاب و میزان کل نیتروژن قسمت‌های هوایی در طی دوره رویشی (پنجه‌زنی تا گلدهی) و نیز در محصول برداشت شده به روش کج‌لدال اندازه‌گیری و بر حسب درصد از وزن خشک محاسبه گردید. عملکرد دانه در هر کرت بر اساس ۱۴ درصد رطوبت تعیین شد. میزان پروتئین دانه با ضرب کردن درصد نیتروژن آن در ضریب ثابت ۶/۲۵ به دست آمد.

## تعیین غلظت‌های بحرانی نیتروژن

غلظت نیتروژن در هر نقطه‌ای از منحنی رقیق شدن بحرانی حداقل غلظت نیتروژن مشاهده شده در یک تاریخ معین در بین تمام تیمارهای نیتروژن است که حداکثر ماده خشک را تا آن تاریخ تولید کرده است. این نقطه نشان دهنده غلظتی از نیتروژن است که در آن علی‌رغم مصرف مقادیر بالاتر نیتروژن و افزایش غلظت نیتروژن در قسمت‌های هوایی گیاه، عملکرد ماده خشک افزایش معنی‌داری نخواهد داشت.

روش آماری مربوط به تعیین منحنی رقیق شدن بحرانی نیتروژن توسط جاسته و همکاران (Justes et al., 1994) ارائه شده است. به این منظور در هر تاریخ نمونه‌گیری مقدار ماده خشک تولید شده (تن در هکتار) و نیز غلظت نیتروژن در ماده خشک قسمت‌های هوایی گیاه (%) در تیمارهای مختلف نیتروژن مورد مقایسه آماری قرار می‌گیرند. برای تعیین غلظت بحرانی در هر تاریخ نمونه‌گیری به سه نقطه اندازه‌گیری (یا بیشتر) نیاز خواهد بود، به طوری که حداقل در دو نقطه اندازه‌گیری، مقدار ماده خشک (DM) و غلظت نیتروژن (N) متناظر با آن نقاط به‌طور معنی‌داری افزایش یابد و حداقل در یک نقطه مقدار ماده خشک نسبت به نقطه قبل از خود افزایش معنی‌داری

نداشته باشد، ولی غلظت نیتروژن آن به‌طور معنی‌داری بیشتر باشد، نمایش ساده‌ای از موقعیت این نقاط در شکل ۱ ارائه شده است. غلظت بحرانی نیتروژن در هر تاریخ اندازه‌گیری محل تقاطع دو خط مایل و قائم است، خط مایل از طریق رگرسیون بین نقاطی که اختلاف ماده خشک و غلظت نیتروژن آن‌ها متفاوت است به‌دست می‌آید و خط قائم از بین نقاطی که ماده خشک آن‌ها تفاوت معنی‌داری ندارد عبور می‌کند (شکل ۱). در شرایط (a) مقدار ماده خشک و غلظت نیتروژن در نقاط  $P_1$  و  $P_2$  به‌طور معنی‌داری متفاوت است و در نقاط  $P_3$ ،  $P_4$  و  $P_5$  غلظت نیتروژن اختلاف معنی‌داری داشته ولی تفاوت بین مقادیر ماده خشک از نظر آماری بی‌معنی است. محل تقاطع خط رگرسیون بین نقاط  $P_1$  و  $P_2$  با خط قائم بین نقاط  $P_3$ ،  $P_4$  و  $P_5$  غلظت بحرانی نیتروژن در این شرایط را مشخص می‌سازد. در شرایط (b) نقطه بحرانی محل تقاطع خط رگرسیون بین سه نقطه  $P_1$ ،  $P_2$  و  $P_3$  با خط قائم بین نقاط  $P_4$  و  $P_5$  است، باید توجه داشت که برای برازش خط رگرسیون حداقل به دو نقطه و برای عبور خط قائم حداقل به یک نقطه اندازه‌گیری نیاز می‌باشد.



شکل ۱ - خصوصیات آماری داده‌های مورد نیاز (+) و روش تعیین غلظت‌های بحرانی نیتروژن (●) در هر یک از تاریخ‌های نمونه‌گیری، در دو شرایط (a) و (b)

(به نقل از جاسته و همکاران، (Justes et al., 1994)). جهت توضیحات بیشتر به متن مراجعه شود.

Fig. 1- Statistical criteria of required data points (+) for determination of critical nitrogen concentrations (●) for each sampling date in conditions (a) and (b)

(adopted from Justes et al., 1994), see text for details.

### تعیین منحنی رقیق شدن و شاخص تغذیه نیتروژن

پس از محاسبه غلظت‌های بحرانی نیتروژن، منحنی رقیق شدن با برازش معادله ۱ به این نقاط برآورد شد (Lemaire & Gastal, 1997). این معادله یک تابع نمایی منفی است که کاهش غلظت نیتروژن قسمت‌های هوایی گیاه با افزایش وزن خشک را توصیف می‌کند:

$$N_C = a \times DM^{-b} \quad (1)$$

که در آن،  $N_c$ : غلظت بحرانی نیتروژن (%،  $DM$ : وزن خشک قسمت هوایی (تن در هکتار)،  $a$ : غلظت نیتروژن برای تولید ۱ تن ماده خشک و  $b$ : ضریبی است که شدت کاهش غلظت نیتروژن با افزایش وزن خشک را نشان می‌دهد. ضریب  $b$  نشان‌دهنده الگوی کاهش درصد نیتروژن با افزایش ماده خشک است. اگر  $b=0$  باشد درصد نیتروژن در طی دوره رشد ثابت می‌ماند و اگر  $b=1$  باشد تجمع ماده خشک و نیتروژن در گیاه به صورت یکسان پیش می‌رود، البته در عمل مقدار  $b$  همواره بین صفر و یک قرار دارد.

با ضرب کردن طرفین معادله ۱ در وزن خشک قسمت هوایی ( $DM$ ) میزان جذب بحرانی نیتروژن ( $N_{UC}$ ، کیلوگرم نیتروژن در هکتار) از معادله ۲ محاسبه شد (Lemaire & Gastal, 2008) در این معادله ضریب ۱۰ برای تبدیل واحد است:

$$N_{UC} = 10a \times DM^{1-b} \quad (2)$$

شاخص تغذیه نیتروژن ( $NNI$ ) در هر تاریخ نمونه‌گیری از معادله ۳ تعیین گردید (Lemaire & Gastal, 2009):

$$NNI = \frac{N_a}{N_c} \quad (3)$$

که در آن  $N_a$ : درصد واقعی نیتروژن (اندازه گیری شده) در قسمت هوایی و  $N_c$ : درصد بحرانی نیتروژن می‌باشد که با استفاده از منحنی رقیق شدن بحرانی (معادله ۱) بر اساس مقدار وزن خشک در هر تاریخ نمونه‌گیری برآورد می‌شود.

داده‌های هر تاریخ نمونه‌گیری به‌طور جداگانه مورد تجزیه واریانس قرار گرفت و میانگین‌ها با اجرای آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند. تجزیه‌های آماری با نرم‌افزار Minitab, ver. 16.0 و برازش معادلات با استفاده از نرم‌افزار Slide write, ver. 2.0 انجام شد.

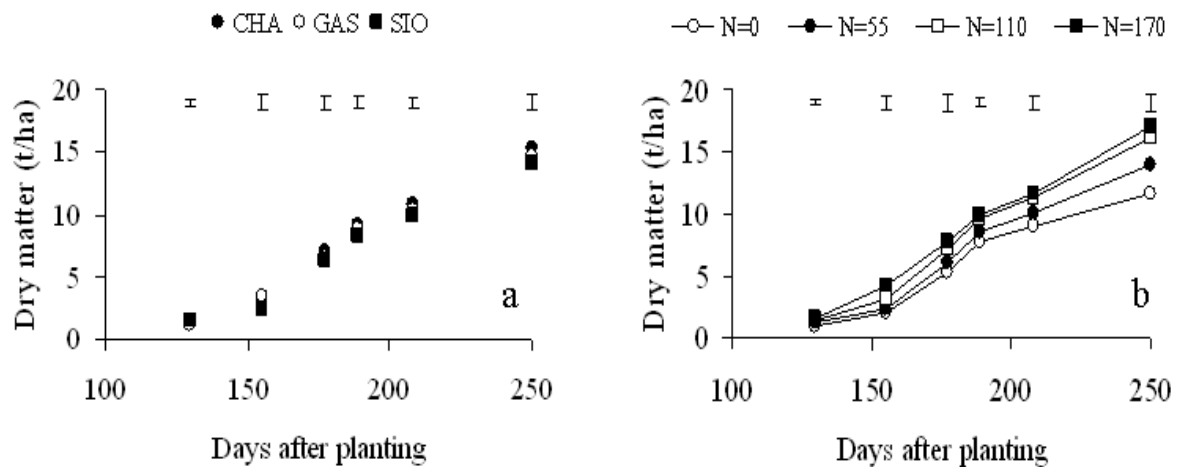
### نتایج و بحث

#### تجمع ماده خشک و نیتروژن

نتایج نشان داد که روند تجمع ماده خشک در سه رقم گندم تحت بررسی تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۲-a) و میزان ماده خشک تولید شده در پایان دوره رشد بین ۱۵ تا ۱۶ تن در هکتار بود. مصرف نیتروژن تجمع ماده خشک را به‌طور معنی‌داری ( $P < 0.05$ ) تحت تأثیر قرار داد، به‌طوری‌که تفاوت بین سطوح کودی از دومین نمونه‌گیری (۱۵۵ روز بعد از کاشت) آشکار شد (شکل ۲-b). به‌علاوه اثر متقابل معنی‌داری بین رقم و نیتروژن مشاهده نشد، به‌عبارت دیگر واکنش ارقام گندم تحت بررسی به سطوح نیتروژن یکسان بود. باراکلوگ و همکاران (Barraclough et al., 2010) نشان دادند که تفاوت در پاسخ به نیتروژن بین ارقام قدیم و جدید گندم معنی‌دار ولی در میان ژنوتیپ‌های جدید که برای شرایط پر نهاده اصلاح شده‌اند چندان بارز نمی‌باشد.

نتایج آزمایشات مربوط به عملکرد ماده خشک ارقام گندم کشور در واکنش به کود نیتروژن بسیار متنوع بوده و دامنه تغییرات آن زیاد است (Shahsavari & Saffari, 2005; Bahrani & Tahmasebi, 2010; Miran Zadeh & Emam, 2009; Naroki et al., 2006). کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2013) با اجرای فراتحلیل بر روی نتایج تحقیقات مرتبط با تأثیر نیتروژن بر غلات نشان دادند که به‌طور کلی تأثیر نیتروژن بر تولید ماده خشک گندم معنی‌دار بوده و بالاترین میزان ماده خشک قسمت هوایی با مصرف ۱۲۰-۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار حاصل می‌شود. نتایج تحقیق حاضر نیز حاکی از آن است که سطوح نیتروژن بالاتر از ۱۱۰ کیلوگرم در هکتار تأثیر معنی‌داری بر تجمع ماده خشک گندم نداشت (شکل ۲-b).

اختلاف در جذب نیتروژن توسط قسمت هوایی از اولین نمونه-گیری بین سطوح کودی مشاهده شد و تا انتهای رشد رویشی (۲۰۸ روز پس از کاشت) مشهود بود، به‌علاوه تفاوت بین تیمارهای نیتروژن در طی رشد افزایش یافت (شکل ۳-a)، به‌طوری‌که در زمان گلدهی بیشترین (۲۴۳ کیلوگرم در هکتار) و کمترین (۱۰۷ کیلوگرم در هکتار) مقدار جذب این نهاده به‌ترتیب در نیمار ۱۷۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و شاهد حاصل شد. ارقام گندم تحت بررسی در جذب نیتروژن تفاوت معنی‌داری نداشتند و تجمع نیتروژن در آن‌ها نیز در سطوح مختلف کودی یکسان بود.



شکل ۲- تجمع ماده خشک قسمت هوایی در ارقام گندم (a) و در سطوح مختلف مصرف نیتروژن (b). خطوط عمودی مقادیر LSD<sub>5%</sub> برای مقایسه در هر تاریخ نمونه‌گیری می‌باشند. (CHA=چمران، GAS=گاسکوژن، SIO=سایونز، مقادیر N=کیلوگرم در هکتار) **Fig. 2- Dry matter accumulation in wheat cultivars (a) and in different nitrogen levels (b).** Vertical bars show LSD<sub>5%</sub> for each sampling date. (CHA=Chamran, GAS=Gascogen, SIO=Sionez and N levels in kg.ha<sup>-1</sup>)

تخصیص مواد بین اندام‌هاست، زیرا با افزایش ماده خشک معمولاً نسبت برگ به ساقه کاهش می‌یابد و بنابراین در طی رشد مقدار بیشتری کربن به ساقه‌ها تخصیص می‌یابد (Belanger & Richards, 2000). در نتیجه بافت‌های ساختمانی در مقایسه با بافت‌های متابولیکی وزن بیشتری می‌یابند و چون مقدار نیتروژن در بافت‌های ساختمانی کمتر است، لذا در مجموع با افزایش وزن گیاه، غلظت نیتروژن کاهش خواهد یافت (Gastal & Lemaire, 2002). اندازه‌گیری‌ها نشان داده است که کاهش غلظت نیتروژن با افزایش ماده خشک عمدتاً به دلیل کاهش (رقیق شدن) درصد نیتروژن در ساقه است و میزان نیتروژن برگ با افزایش ماده خشک تقریباً ثابت مانده یا به‌طور جزئی کاهش می‌یابد (Gastal & Lemaire, 1997).

#### منحنی بحرانی رقیق شدن نیتروژن

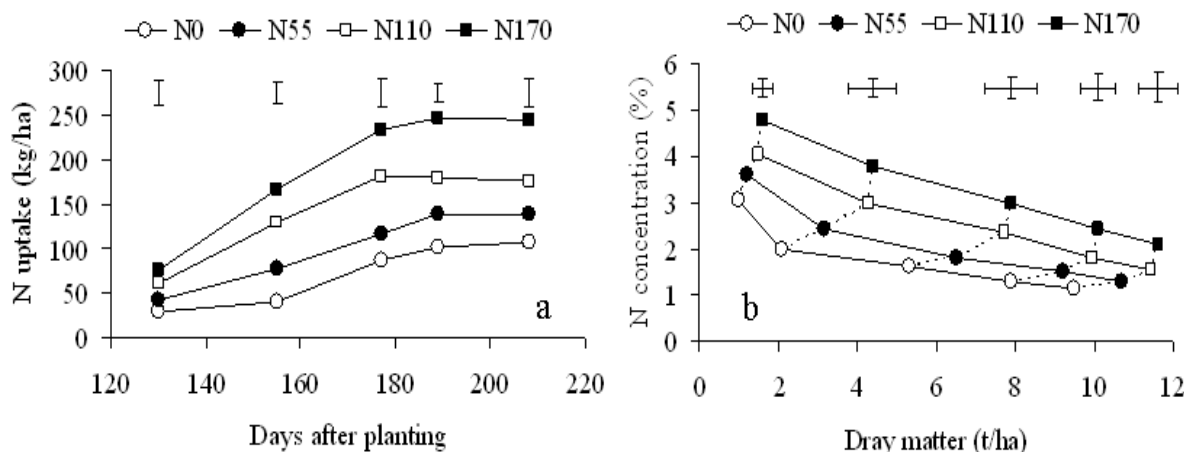
در شکل ۴-a نحوه تعیین غلظت‌های بحرانی نیتروژن بر اساس معیارهای مذکور در شکل ۱ نشان داده شده است. خطوط مایل حاصل رگرسیون بین نقاطی است که مقدار نیتروژن و ماده خشک آن‌ها اختلاف معنی‌داری دارند و خط عمودی از بین نقاطی عبور کرده که علی‌رغم افزایش درصد نیتروژن، ماده خشک آن‌ها تفاوت معنی‌داری ندارد. یادآوری می‌شود که این نقاط با انجام مقایسات آماری

با افزایش ماده خشک، در تمام سطوح کودی غلظت نیتروژن قسمت‌های هوایی کاهش یافت (شکل ۳-b). با وجودی که تفاوت بین مقادیر ماده خشک در دو نمونه‌گیری اول چندان بارز نبود (شکل ۲-b) ولی اختلاف در درصد نیتروژن قسمت هوایی بین سطوح نیتروژن از اولین تاریخ نمونه‌گیری معنی‌دار شد. این امر نشان می‌دهد اگرچه نیتروژن عامل اصلی اختلاف در تجمع ماده خشک می‌باشد، ولی کاهش غلظت نیتروژن در بافت‌های گیاه به‌مراتب سریع‌تر از کاهش رشد آغاز می‌شود. با افزایش مقدار نیتروژن مصرفی از صفر به ۱۱۰ کیلوگرم در هکتار، غلظت نیتروژن و مقدار ماده خشک تولید شده در تمام تاریخ‌های نمونه‌گیری به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (خطوط نقطه‌چین در شکل ۳-b)، در حالی که با افزایش مقدار نیتروژن مصرفی به ۱۷۰ کیلوگرم در هکتار باوجودی که درصد نیتروژن قسمت هوایی افزایش یافت، ولی تفاوت معنی‌داری در تولید ماده خشک با تیمار ۱۱۰ کیلوگرم نیتروژن مشاهده نشد. این نتایج به‌وضوح نشان می‌دهد که حتی در صورت عرضه کافی نیتروژن نیز با افزایش وزن خشک درصد نیتروژن قسمت‌های هوایی گیاه کاهش می‌یابد، به‌عبارت دیگر نوعی رقیق شدن نیتروژن در بافت‌های گیاهی صورت می‌گیرد.

رقیق شدن نیتروژن در قسمت‌های هوایی عمدتاً ناشی از الگوی

نتیجه منحنی رقیق شدن بحرانی نیتروژن با برآزش تابع توانی منفی (معادله ۱) به این نقاط به‌دست آمد و نتایج با منحنی ارائه شده توسط جاسته و همکاران (Justes et al., 1994) مقایسه شد (شکل ۴-b).

جداگانه در هر تاریخ نمونه‌گیری بر روی میانگین ارقام گندم در سطوح مختلف مصرف نیتروژن انتخاب شده‌اند. غلظت‌های بحرانی، رقیق شدن نیتروژن با افزایش وزن خشک را به‌خوبی توصیف کرده در



شکل ۳- a) روند تغییرات جذب نیتروژن در قسمت‌های هوایی گندم در سطوح مختلف مصرف کود، خطوط عمودی مقادیر LSD<sub>5%</sub> برای مقایسه در هر تاریخ نمونه‌گیری می‌باشند. b) تغییرات درصد نیتروژن قسمت هوایی بر حسب تجمع ماده خشک در سطوح مختلف مصرف کود خطوط نقطه چین داده‌های مربوط به هر تاریخ نمونه‌گیری را مشخص می‌کنند. خطوط عمودی و افقی به‌ترتیب مقادیر LSD<sub>5%</sub> برای مقایسه بین درصد نیتروژن و ماده خشک در هر تاریخ نمونه‌گیری می‌باشند.

Fig. 3- a) Changes in nitrogen uptake by shoot at different N fertilizer levels, vertical bars show LSD<sub>5%</sub> for each sampling date. b) Changes in nitrogen concentration of shoots with dry matter accumulation at different N fertilizer levels, dotted lines indicate data points for each sampling date.

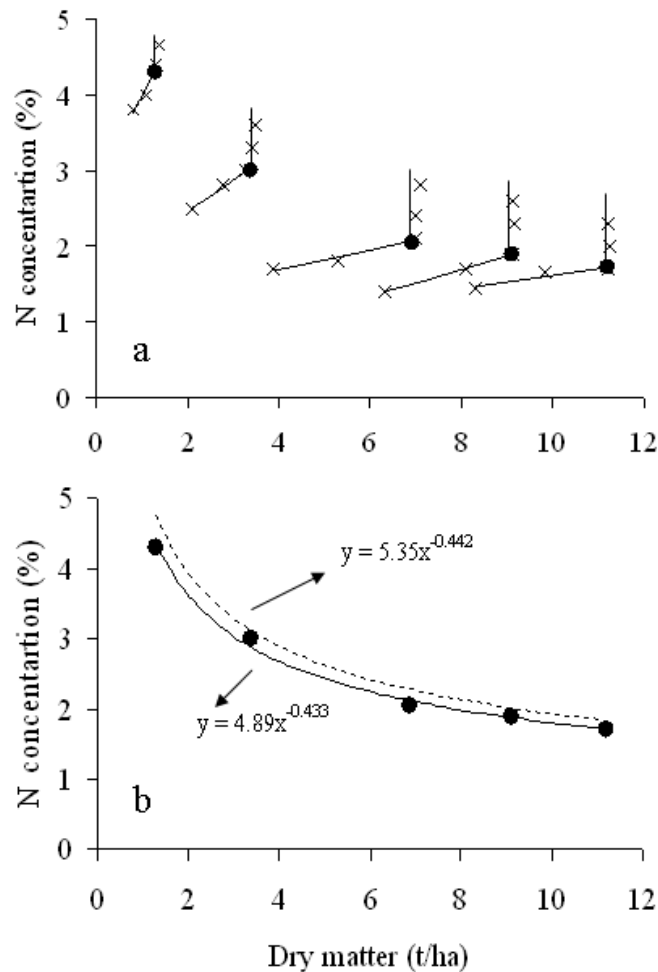
Vertical and horizontal bars show LSD<sub>5%</sub> respectively, for N concentration and dry matter at each sampling date.

فرانسه و در سطوح مختلف نیتروژن اجرا شده بود انتخاب کردند و در نتیجه منحنی مرجع ارائه شده توسط این محققین دامنه وسیع‌تری از شرایط اقلیمی و عرضه نیتروژن را در بر دارد.

منحنی رقیق شدن بحرانی نشان می‌دهد که میزان جذب نیتروژن توسط گیاه تنها تابع نیتروژن موجود در محیط ریشه نبوده بلکه از طریق سرعت رشد محصول (تجمع ماده خشک) نیز کنترل می‌شود و هر دو به‌طور همزمان سرعت جذب این نهاد را تنظیم می‌کنند (Dordas, 2011). گرین وود و همکاران (Greenwood et al., 1990) معادله رقیق شدن بحرانی را برای گیاهان C3 و C4 به‌ترتیب  $N_c(\%) = 4.1 \times DW^{-0.5}$  و  $N_c(\%) = 5.7 \times DW^{-0.5}$  به‌دست آوردند و بیان داشتند غلظت کمتر نیتروژن در برگ گونه‌های C4 باعث کمتر بودن ضریب a در این گیاهان (۴/۱) نسبت به گونه‌های C3 (۵/۷) است.

غلظت‌های بحرانی محاسبه شده در این تحقیق منحنی رقیق شدن بحرانی نیتروژن در گندم را کمتر از منحنی مرجع جاسته و همکاران (Justes et al., 1994) برآورد کرد. ضریب a به‌دست آمده در این تحقیق (۴/۸۹) کمتر از مقدار ۵/۳۵ در منحنی مرجع بود بنابراین، غلظت نیتروژن مورد نیاز برای تولید یک تن ماده خشک حدود ۰/۴۶ درصد کمتر برآورد شده است، در حالی که تفاوت ضریب b محاسبه شده در این مطالعه و منحنی مرجع (به‌ترتیب ۴۳۳/ و ۴۴۲/۰) ناچیز می‌باشد در نتیجه الگوی کاهش غلظت نیتروژن با افزایش ماده خشک مشابه و دو منحنی موازی بودند (شکل ۴-b).

اختلاف مشاهده شده بین ضرایب دو منحنی ناشی از تعداد نقاط انتخاب شده برای برآزش تابع است. جاسته و همکاران (Justes et al., 1994) داده‌های درصد نیتروژن و ماده خشک را از نتایج ۱۱ آزمایش مختلف که در فاصله سال‌های ۹۳-۱۹۸۴ در مناطق مختلف



شکل ۴- a) مقادیر اندازه‌گیری شده غلظت نیتروژن و ماده خشک قسمت هوایی (X) که بر اساس معیارهای آماری ذکر شده در متن انتخاب شده اند و غلظت بحرانی نیتروژن (●) در هر تاریخ نمونه‌گیری. b) برازش منحنی رقیق شدن به غلظت‌های بحرانی محاسبه شده (منحنی توپر) و مقایسه آن با منحنی مرجع برای رقیق شدن نیتروژن در گندم (منحنی نقطه چین)

Fig. 4- a) Measured values of nitrogen concentration and shoot dry matter (X) selected based on statistical criteria mentioned in the text and the critical N concentration (●) for each sampling date. b) Nitrogen dilution curve fitted to the calculated critical concentrations (solid curve) compared with the reference N dilution curve for wheat (dotted curve)

Colnenne et al., 1998) تا ۰/۵۲ در کتان (*Linum usitatissimum* L. (Flenet et al., 2006) و برنج (*Oryza sativa* L. (Sheehy et al. 1998) متغیر است و در اغلب گیاهان زراعی بین ۰/۴-۰/۳ قرار دارد، به‌علاوه بین گونه‌های C<sub>3</sub> و C<sub>4</sub> و نیز تک لپه‌ای‌ها و دو لپه‌ای‌ها اختلاف قابل توجهی دیده نشده است. میانگین مقدار ضریب a در گیاهان C<sub>3</sub> معادل ۴/۷۵ و دامنه آن بین ۵/۳۵ در گندم (Justes et al., 1994) تا ۴/۵ در گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) (Tei et al., 2002) قرار دارد. در

مطالعات بعدی نشان داد که ضرایب معادله رقیق شدن بحرانی در بین گونه‌های C<sub>3</sub> نیز تفاوت‌های زیادی دارد (Lemaire et al., 2008b). این معادله برای گونه‌های مختلف زراعی از جمله یونجه (*Medicago sativa* L.) (Lemaire & Gastal, 1997) نخود (*Cicer arietinum* L.) (Ney et al., 1997) پنبه (*Gossypium herbaceum* L. (Xiaoping et al., 2007) آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) (Debaeke et al., 2012) برآورد شده است. ضریب b بین ۰/۲۵ در کلزا (*Brassica napus* L.)

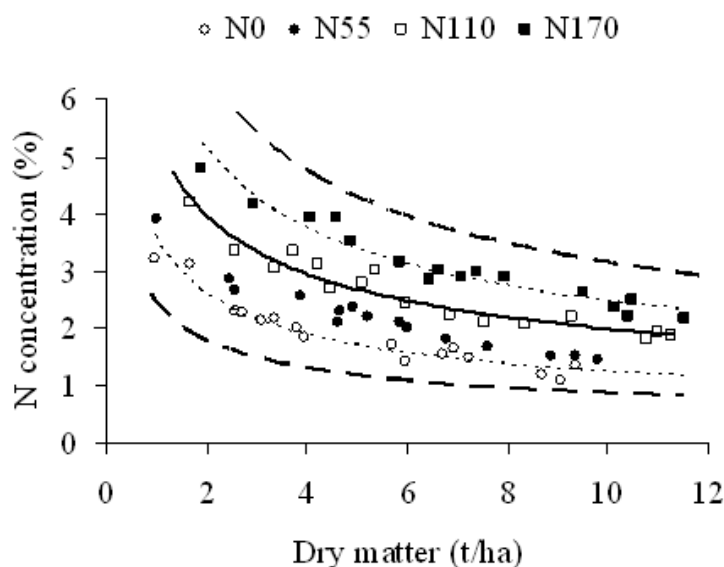


در فاصله بین منحنی بحرانی و حد بالایی آن درصد بیشتر نیتروژن باعث رشد بیشتر نخواهد شد و در نتیجه جذب ب‌صورت تجملی<sup>۱</sup> صورت می‌گیرد (Houles et al., 2007). در زیر منحنی رقیق شدن بحرانی گیاه در شرایط محدودیت یا کمبود نیتروژن قرار دارد و در نتیجه با کاهش رشد مواجه خواهد شد، حد پایین منحنی رقیق شدن نشان‌دهنده حداقل غلظت نیتروژن قسمت هوایی برای تداوم رشد است (Lemaire et al., 2008a).

بر این اساس منحنی رقیق شدن بحرانی توصیف دقیقی از وضعیت نیتروژن در این آزمایش را به‌دست می‌دهد. نتایج حاکی از آن است که رشد گندم در شاهد و تیمار ۵۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار دارای محدودیت نیتروژن بوده، در حالی‌که در تیمار ۱۷۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار دارای بیش بود نیتروژن می‌باشد و مصرف ۱۱۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار میزان این نهاده در قسمت هوایی گیاه را در حد بحرانی حفظ کرده است (شکل ۵).

حالی‌که ضریب a در گیاهان C<sub>4</sub> کمتر و برای ذرت (Plenet & Lemaire, 1999) و سورگوم (*Sorghum bicolor* L.) (Plenet & Cruz, 1997) به‌ترتیب ۳/۴ و ۳/۹ برآورد شده است. مطالعات نشان داده که مقادیر a و b در منحنی رقیق شدن بحرانی در دامنه وسیعی از شرایط اقلیمی و بین واریته‌های یک گونه زراعی ثابت می‌باشند. برای مثال لمایر و همکاران (Lemaire et al., 2007) نشان دادند که برای گندم، ذرت و کلزا ضرایب محاسبه شده در مناطق معتدله در شرایط نیمه‌گرمسیری نیز صادق هستند و بنابراین، ضرایب a و b را می‌توان به‌عنوان خصوصیات ذاتی گیاهان زراعی در نظر گرفت.

در شکل ۵ پراکندگی درصد نیتروژن قسمت هوایی و وزن خشک اندازه‌گیری شده در نمونه‌گیری‌های مختلف نسبت به منحنی رقیق شدن بحرانی نشان داده شده است. حد بالای منحنی رقیق شدن بحرانی حداکثر تثویک جذب نیتروژن را در مقادیر مختلف ماده خشک نشان می‌دهد. در بالای منحنی بحرانی جذب نیتروژن تابع ماده خشک نبوده و به نیتروژن موجود در خاک بستگی دارد در واقع



شکل ۵- منحنی استاندارد رقیق شدن بحرانی نیتروژن در گندم (منحنی توپر) و پراکنش نقاط اندازه‌گیری شده در تاریخ‌های مختلف نمونه‌گیری منحنی‌های نقطه چین حد بالا و پایین منحنی رقیق شدن را بر اساس نتایج این تحقیق و منحنی‌های خط چین این حدود را بر اساس منحنی مرجع نشان می‌دهند.

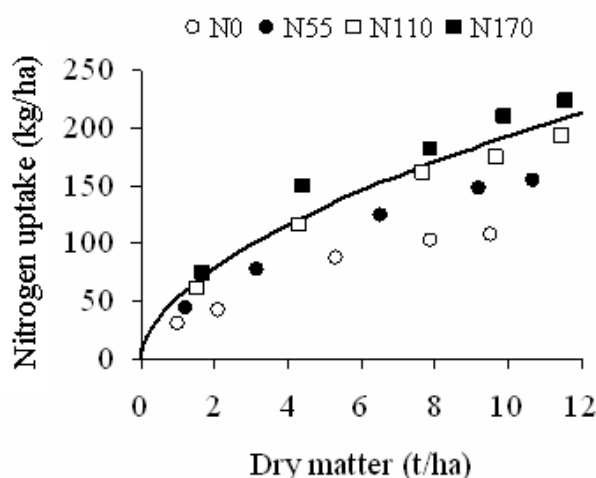
**Fig. 5- Critical nitrogen dilution curve of wheat (solid curve) and distribution of measured values in different sampling dates** Dotted curves indicate upper and lower range of the dilution curve obtained in this study, broken curves are upper and lower range of reference dilution curve.

## منحنی بحرانی جذب نیتروژن

منحنی جذب بحرانی نیتروژن (شکل ۶) که با برازش معادله ۲ به داده‌های وزن خشک و جذب نیتروژن به‌دست آمده نیز به‌وضوح نشان دهنده محدودیت نیتروژن برای رشد ارقام گندم تحت بررسی در سطوح صفر و ۵۵ و جذب مطلوب این نهاده با مصرف ۱۱۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار است، در حالی که در تیمار ۱۷۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار مقدار نیتروژن جذب شده بیشتر از میزان بحرانی آن (جذب تجملی) بوده است.

لمایر و گاستال (Lemaire & Gastal, 2009) بیان داشتند که ضریب 1-b در معادله جذب بحرانی (معادله ۲) بیان‌کننده نسبت سرعت نسبی تجمع نیتروژن ( $\frac{dN}{dt} \cdot \frac{1}{N}$ ) به سرعت رشد نسبی گیاه ( $\frac{dW}{dt} \cdot \frac{1}{W}$ ) می‌باشد، بنابراین چون مقدار این ضریب کمتر از یک است، حتی اگر نیتروژن به میزان کافی در اختیار گیاه باشد، سرعت

تجمع نیتروژن از سرعت تجمع ماده خشک کمتر بوده و در نتیجه درصد نیتروژن در گیاه کاهش یافته، ولی مقدار نیتروژن جذب شده به‌دلیل افزایش وزن خشک افزایش می‌یابد. در واقع جذب و تجمع نیتروژن در گیاهان به‌طور هم‌زمان هم به میزان نیتروژن فراهم شده توسط خاک و هم به سرعت رشد محصول (سرعت تجمع ماده خشک) بستگی دارد (Gastal & Lemaire, 2002). نتایج ارائه شده در شکل ۶ نشان می‌دهد که جذب نیتروژن به‌ازای واحد ماده خشک با افزایش ماده خشک کاهش می‌یابد به‌عبارت دیگر، با افزایش وزن خشک، گیاه برای حصول حداکثر سرعت رشد به مقدار کمتری نیتروژن نیاز دارد و در نتیجه میزان تقاضای روزانه نیتروژن کاهش خواهد یافت.



شکل ۶- منحنی جذب بحرانی نیتروژن در گندم و مقایسه آن با مقدار نیتروژن جذب شده توسط گیاه در سطوح مختلف مصرف نیتروژن داده‌ها میانگین ۳ رقم گندم تحت بررسی می‌باشند.

Fig. 6- Critical nitrogen uptake curve of wheat compared with the actual nitrogen uptake by plant at different N application rates

Data points are average of 3 wheat cultivars.

میزان مصرف نیتروژن، مقدار NNI افزایش یافت و در تیمار ۱۷۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در تمام تاریخ‌های نمونه‌گیری کمتری داشت و به‌طور

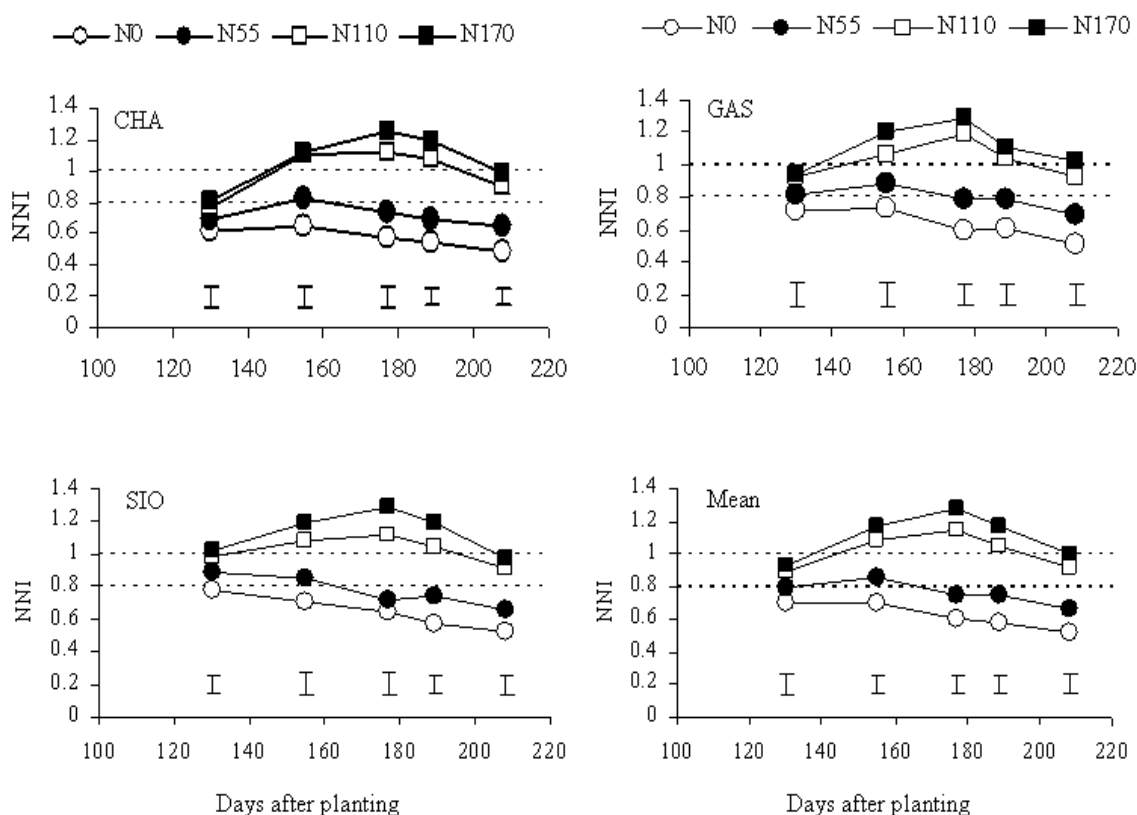
## شاخص تغذیه نیتروژن

طی دوره رشد رویشی تغییرات شاخص تغذیه نیتروژن (NNI) در سه رقم گندم تحت بررسی الگوی مشابهی داشت، در نتیجه میانگین سه رقم نیز این روند را به‌خوبی آشکار ساخت (شکل ۷). با افزایش

۰/۳۴-۱/۴۳ در گندم بهاره (Debaeke et al., 2006) و ۰/۲۵-۱/۵ (Ziadi et al., 2010) و در کتان بین ۰/۴۶-۱/۱۶ (Dordas, 2011) بوده است.

با توجه به تعریف غلظت بحرانی،  $NNI=1$  نشان می‌دهد که سرعت رشد محصول معادل سرعت رشد پتانسیل (حداکثر سرعت رشد در شرایط عرضه کافی نیتروژن) می‌باشد و مقادیر  $NNI$  کمتر از یک شدت کاهش سرعت رشد در اثر محدودیت نیتروژن را مشخص می‌سازد (Debaeke et al., 2012).

معنی‌داری کمتر از سطوح بالاتر مصرف نیتروژن بود. شاخص تغذیه نیتروژن تابع مقدار نیتروژن عرضه شده بوده به-علاوه در طی فصل رشد نیز تغییرات قابل توجهی دارد. نتایج این تحقیق نیز نشان داد که میانگین این شاخص در ارقام گندم تحت بررسی بین ۰/۵ تا ۱/۳ قرار دارد (شکل ۷). این تغییر در سایر محصولات نیز گزارش شده است برای مثال دامنه تغییرات  $NNI$  در طی فصل رشد در رای گراس بین ۰/۴-۱/۶ (Marino et al., 2004)، در ذرت ۱/۳-۰/۲۳ (Ziadi et al., 2008) در گندم دوروم



شکل ۷- تغییرات شاخص تغذیه نیتروژن ( $NNI$ ) طی دوره رشد رویشی در ارقام گندم تحت بررسی و در میانگین ارقام خطوط عمودی نشان‌دهنده مقادیر  $LSD_{5\%}$  در هر تاریخ نمونه‌گیری می‌باشند.  
(CHA = چمران، GAS = گاسکوژن، SIO = سایونز، مقادیر N = کیلوگرم در هکتار)

Fig. 7- Nitrogen nutrition index ( $NNI$ ) during the vegetative growth period in the studied wheat cultivars and averaged over cultivars

Vertical bars show  $LSD_{5\%}$  for each sampling date.  
(CHA=Chamran, GAS=Gascogen, SIO=Sionez, N levels in  $kg\cdot ha^{-1}$ ).

کاهش فتوسنتز به دلیل نقش نیتروژن در ساختمان شیمیایی آنزیم‌های فتوسنتزی است (Gastal & Lemaire, 2002). لمایر و همکاران

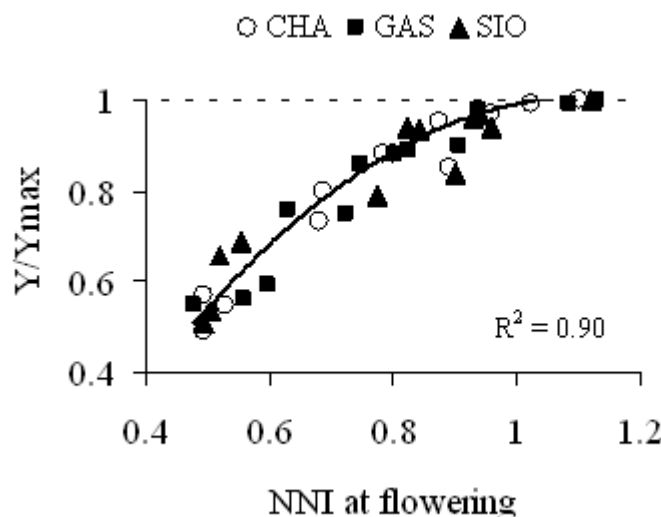
کاهش سرعت رشد محصول در شرایط کمبود نیتروژن هم ناشی از کاهش سطح برگ و در نتیجه جذب کمتر تشعشع و هم از طریق

(Jeuffroy et al., 1999; Stöckle & Debaeke, 1997).

### شاخص تغذیه نیتروژن و عملکرد

عملکرد نسبی (عملکرد هر رقم نسبت به حداکثر عملکرد آن) با مقدار NNI در مرحله گلدهی رابطه‌ای غیر خطی داشت و در هر سه رقم گندم تحت بررسی حداکثر عملکرد دانه زمانی حاصل شد که شاخص تغذیه نیتروژن در مرحله گلدهی معادل یک بود (شکل ۸). در هر سه رقم گندم با افزایش NNI عملکرد نسبی ابتدا به سرعت افزایش یافت و در مقادیر  $NNI > 0.95$  تقریباً ثابت شد، به طوری که تجمع بیشتر نیتروژن در قسمت هوایی ( $NNI > 1$ ) تأثیری بر افزایش عملکرد نداشت.

(Lemaire et al., 2008b) بیان داشتند که گیاهان ممکن است الگوهای مختلفی از نظر تخصیص نیتروژن موجود بین رشد برگ‌ها و تداوم فتوسنتز داشته باشند، ولی این الگوها به درستی شناخته نشده است. کاهش کارایی مصرف نور به‌عنوان مهم‌ترین واکنش گیاهان به کمبود نیتروژن مورد توافق محققین است (Olesen et al., 2002; Muirinen & Peltonen-Sainio, 2006). برای مثال، جاسته و همکاران (Justes et al., 2000) رابطه خطی معنی‌داری بین کارایی مصرف نور کلزا و شاخص تغذیه نیتروژن به‌دست آوردند و نشان دادند که حداکثر کارایی مصرف نور در  $NNI=1$  حاصل می‌شود و در این صورت سرعت رشد محصول نیز به پتانسیل خود می‌رسد. توصیف کارایی مصرف نور و سرعت رشد بر اساس NNI در مدل‌های شبیه‌سازی رشد گندم نیز به‌کار رفته است (Brisson et al., 2003;).



شکل ۸- رابطه بین شاخص تغذیه نیتروژن (NNI) در مرحله گلدهی با عملکرد نسبی در ارقام گندم تحت بررسی (CHA = چمران، GAS = گاسکوزن، SIO = سایونز)

Fig. 8- Relation between nitrogen nutrition index (NNI) at flowering and relative yield in the studied wheat cultivars (CHA=Chamran, GAS=Gascogen, SIO=Sionez)

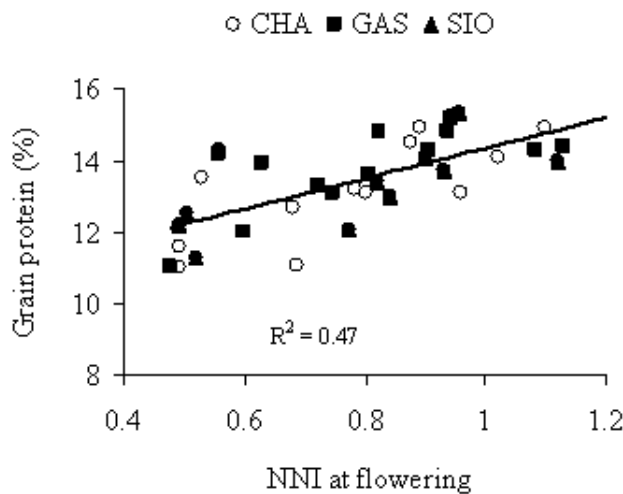
همکاران (Debaeke et al., 2006) در گندم دوروم و زیادی و همکاران (Ziadi et al., 2010) در گندم بهاره بیشترین عملکرد نسبی را در  $NNI=1$  مشاهده کردند. دیباک و همکاران (Debaeke et al., 2012) با بررسی رابطه عملکرد دانه با شاخص تغذیه نیتروژن در آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) بیان داشتند که اگر چه حداکثر عملکرد دانه در  $NNI=1$  حاصل شد، ولی رشد زیاد گیاهان در این شرایط باعث شیوع بیماری‌های قارچی شده که ممکن است

میلز و همکاران (Mills et al., 2009) اظهار داشتند که در اغلب گیاهان زراعی سرعت رشد در  $NNI=0.8$  به مقدار پتانسیل رسیده یا بسیار به آن نزدیک می‌باشد، به‌علاوه در  $NNI=0.2$  رشد تقریباً متوقف خواهد شد (Lemaire et al., 2008a). در کلزا نیز رابطه غیر-خطی معنی‌داری بین عملکرد دانه و شاخص تغذیه نیتروژن در مرحله گلدهی گزارش شده و بر اساس نتایج این تحقیق عملکرد نسبی در  $NNI=0.9$  معادل یک بود (Justes et al., 2000). البته دیباک و

بین ارقام گندم باشد. بعد از گلدهی نیتروژن از اندام‌های رویشی به دانه‌های در حال پر شدن انتقال می‌یابد و میزان انتقال در ژنوتیپ‌های مختلف گندم متغیر می‌باشد، بنابراین تفاوت بین ارقام یکی از عوامل ایجاد تنوع زیاد در داده‌های آزمایشی است (Oury et al., 2003). بخشی از تغییرات توصیف نشده به‌وسیله رگرسیون ممکن است ناشی از شرایط محیطی (تنش آب، درجه حرارت بالا و نظایر آن) در طی دوره پر شدن دانه باشد. بروز این شرایط باعث کاهش وزن دانه شده و در نتیجه درصد پروتئین افزایش می‌یابد. شدت تأثیر این عوامل در ژنوتیپ‌های گندم متفاوت بوده و باعث تنوع درصد پروتئین بین ارقام می‌شود (Kramer, 1979; Pask et al., 2012).

عملکرد را تا حدودی کاهش دهد بنابر این  $NNI=0/9$  را برای این گیاه توصیه کردند.

میزان پروتئین دانه در ارقام گندم تحت بررسی بسته به مقدار نیتروژن مصرف شده بین ۱۲ تا ۱۵ درصد در تغییر بود و رابطه‌ای خطی با شاخص تغذیه نیتروژن در مرحله گلدهی داشت البته علی‌رغم معنی‌دار بودن این رابطه ضریب تبیین رگرسیون از  $0/47$  تجاوز نکرد (شکل ۹). به بیان دیگر، شاخص تغذیه نیتروژن قادر بود تا ۴۷ درصد از تغییرات مشاهده شده در پروتئین دانه ارقام گندم را توصیف کند. جاسته و همکاران (Justes et al., 1997) نیز رابطه خطی بین این دو متغیر را در ارقام گندم با  $r^2=0/38$  گزارش کرده‌اند. به‌نظر می‌رسد که پایین بودن ضریب تبیین در این رابطه به‌دلیل تنوع درصد پروتئین



شکل ۹- رابطه بین شاخص تغذیه نیتروژن (NNI) در مرحله گلدهی با درصد پروتئین دانه در ارقام گندم تحت بررسی (CHA = چمران، GAS = گاسکوزن، SIO = سایونز)

Fig. 8- Relation between nitrogen nutrition index (NNI) at flowering and grain protein content in the studied wheat cultivars (CHA=Chamran, GAS=Gascogen, SIO=Sionez)

خشک در ارقام گندم در پاسخ به مقادیر مختلف مصرف نیتروژن را در طی دوره رشد به‌خوبی توصیف کرد و رابطه معنی‌داری با عملکرد دانه و درصد پروتئین ارقام گندم داشت. این رهیافت را می‌توان بر اساس نتایج آزمایشات مرتبط با مصرف کودهای نیتروژن در مورد سایر محصولات زراعی نیز بکار برد و از آن به‌عنوان ابزاری برای توصیه‌های کودی استفاده کرد. البته استفاده از این روش مستلزم اندازه‌گیری‌های مکرر نیتروژن در طی فصل رشد است که تا حدودی پرهزینه و وقت‌گیر می‌باشد. از آن‌جا که شاخص تغذیه نیتروژن با

## نتیجه‌گیری

درک فرآیندهای مربوط به جذب و توزیع نیتروژن در گیاهان زراعی و برآورد دقیق وضعیت نیتروژن در گیاه در ارزیابی کمبود این نهاده و مدیریت کوددهی در نظام‌های کشاورزی پایدار از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. نتایج این تحقیق نشان داد که بر اساس غلظت‌های بحرانی نیتروژن و منحنی رقیق شدن حاصل از آن می‌توان کمبود یا جذب بیش از نیاز نیتروژن در گندم را با دقت قابل قبولی ارزیابی نمود. شاخص تغذیه نیتروژن نیز تغییرات تجمع ماده

**قدردانی**

بودجه این تحقیق از محل اعتبارات طرح پژوهش شماره ۱۳۵۶ مورخ ۱۳۸۷/۱۲/۱۲ توسط معاونت پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد تأمین شده که بدین‌وسیله سپاسگزاری می‌شود.

میزان کلروفیل برگ رابطه قوی دارد ( Debaeke et al., 2006; Prost & Jeuffroy, 2007) می‌توان با برآورد این رابطه و تخمین میزان کلروفیل برگ، روشی دقیق و در عین حال سریع و ارزان برای تعیین شاخص تغذیه نیتروژن در گیاهان زراعی طراحی نمود.

**منابع**

- Bahrani, A., and Tahmasebi Sarvestani, Z. 2006. Effects of rate and time of nitrogen fertilizer on yield, yield component, and dry matter remobilization efficiency in two winter wheat cultivars. *Journal of Agricultural Sciences Islamic Azad University* 12(2): 369-376. (In Persian with English Summary)
- Barracough, P.B., Howarth, J.R., Jones, J., Lopez-Bellido, R., Parmar, S., Shepherd, C.E., and Hawkesford, M.J. 2010. Nitrogen efficiency of wheat: genotypic and environmental variation and prospects for improvement. *European Journal of Agronomy* 33: 1-11.
- Belanger G., and Richards J.E. 2000. Dynamics of biomass and N accumulation of alfalfa under three N fertilization rates. *Plant and Soil* 219: 177-185.
- Brisson, N., Gary, C., Justes, E., Roche, R., Mary, B., Ripoche, D., Zimmer, D., Sierra, J., Bertuzzi, P., Burger, P., Bussi re, F., Cabidoche, Y.M., Cellier, P., Debaeke, P., Gaudill re, J.P., Maraux, F., Seguin, B., and Sinoquet, H. 2003. An overview of the crop model STICS. *European Journal of Agronomy* 18: 309-332.
- Casanova, D., Goudriaan, J., Forner, M.C., and Withagen, J.C.M. 2002. Rice yield prediction from yield components and limiting factors. *European Journal of Agronomy* 17: 41-61.
- Cassman, K.G., Dobermann, A., and Walters, D.I. 2002. Agroecosystems, nitrogen use efficiency and nitrogen management. *Ambio* 31: 132-140.
- Colnenne, C., Meynard, J.M., Reau, R., Justes, E., and Merrien, A. 1998. Determination of a critical N dilution curve for winter oilseed rape. *Annals of Botany* 81: 311-317.
- Debaeke, P., Rouet, P., and Justes, E. 2006. Relationship between the normalized SPAD index and the nitrogen nutrition index: application to durum wheat. *Journal of Plant Nutrition* 9: 75-92.
- Debaeke, P., van Oosterom, E.J., Justes, E., Champolivi re, L., Merrien, A., Aguirrezabal, L.A.N., Gonz lez-Dugo, V., Massignam, A.M., and Montemurro, F. 2012. A species-specific critical nitrogen dilution curve for sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Field Crops Research* 136: 76-84.
- Dobermann, D.I., and Cassman, K.G. 2004. Plant nutrient management for enhanced productivity in intensive grain production of United States and Asia. *Plant and Soil* 247: 153-175.
- Dordas, C.A. 2011. Nitrogen nutrition index and its relationship to N use efficiency in linseed. *European Journal of Agronomy* 34: 124-132.
- Eickhout, B., Bouwman, A.F., and van Zeijts, H. 2006. The role of nitrogen in world food production and environmental sustainability. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 116: 4-14.
- Fageria, N.K., and Baligar, V.C. 2005. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. *Advances in Agronomy* 88: 97-185.
- Flenet, F., Gu erif, M., Boiffin, J., Dorvillez, D., and Champolivier, L. 2006. The critical N dilution curve for linseed (*Linum usitatissimum* L.) is different from other C<sub>3</sub> species. *European Journal of Agronomy* 24: 367-373.
- Gastal, F., and Lemaire, G. 2002. N uptake and distribution in crops: an agronomical and ecophysiological perspective. *Journal of Experimental Botany* 370: 789-799
- Greenwood, D.J., Gastal, F., Lemaire, G., Draycott, A., Millard, P., and Neeteson, J.J. 1991. Growth rate and % N of field grown crops: theory and experiments. *Annals of Botany* 67: 181-190.
- Greenwood, D.J., Lemaire, G., Gosse, G., Cruz, P., Draycott, A., and Neeteson, J.J. 1990. Decline in percentage N of C<sub>3</sub> and C<sub>4</sub> crops with increasing plant mass. *Annals of Botany* 66: 425-436.
- Houles, V., Guerif, M., and Mary, B. 2007. Elaboration of a nitrogen nutrition indicator for winter wheat based on leaf area index and chlorophyll content for making nitrogen recommendations. *European Journal of Agronomy* 27: 1-11.

- Jeuffroy, M.H., and Recous, S. 1999. Azodyn: a simple model simulating the date of nitrogen deficiency for decision support in wheat fertilization. *European Journal of Agronomy* 10: 129–144.
- Justes, E., Jeuffroy, M.H., and Mary, B. 1997. The N requirement of major agricultural crops: wheat, barley, and durum wheat. In: Lemaire, G. (Ed.), *Diagnosis of the Nitrogen Status in Crops*. Springer-Verlag Publishers, Heidelberg, Germany p. 73–91.
- Justes, E., Mary, B., Meynard, J.M., Machet, J.M., and Thelier-Huche, L. 1994. Determination of a critical N dilution curve for winter wheat crops. *Annals of Botany* 74: 397–407.
- Justes, E., Denoroy, P., Gabrielle, B., and Gosse, G. 2000. Effect of crop nitrogen status and temperature on the radiation use efficiency of winter oilseed rape. *European Journal of Agronomy* 13: 165–177.
- Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Bakhshae, S., and Davari, A. 2013. A meta analysis of nitrogen fertilizer experiments for cereal crops in Iran. *Journal of Agroecology* 9(2): 29-313. (In Persian with English Summary)
- Kramer, T. 1979. Environmental and genetic variation for protein content in winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Euphytica* 28: 209-218.
- Lemaire, G., and Gastal, F. 1997. N uptake and distribution in plant canopies. In: Lemaire G, ed. *Diagnosis on the nitrogen status in crops*. Heidelberg: Springer-Verlag p. 3-43.
- Lemaire, G., and Gastal, F., 2009. Quantifying crop response to nitrogen deficiency and avenues to improve nitrogen use efficiency. In: Sadras, V., Calderini, D. (Eds.), *Crop Physiology*. Elsevier Inc. p. 171-211.
- Lemaire, G., Jeuffroy, M.H., and Gastal, F. 2008a. Diagnosis tool for plant and crop N status in vegetative stage: theory and practices for crop N management. *European Journal of Agronomy* 28: 614-624.
- Lemaire, G., van Oosterom, E., Jeuffroy, M.H., Gastal, F., and Massignam, A. 2008b. Crop species present different qualitative type of response to N deficiency during their vegetative growth. *Field Crops Research* 105: 253-265.
- Lemaire, G., van Oosterom, E., Sheehy, J., Jeuffroy, M.H., Massignam, A., and Rossato, L. 2007. Is crop N demand more closely related to dry matter accumulation or leaf area expansion during vegetative growth. *Field Crops Research* 100: 91-106.
- Marino, M.A., Mazzanti, A., Assuero, S.G., Gastal, F., Echeverria, H.E., and Andrade, F. 2004. Nitrogen dilution curves and nitrogen use efficiency during winter-spring growth of annual ryegrass. *Agronomy Journal* 96: 601–607.
- Mills, A., Moot, D.J., and Jamieson, P.D. 2009. Quantifying the effect of nitrogen on productivity of cocksfoot (*Dactylis glomerata* L.) pasture. *European Journal of Agronomy* 30: 63-69.
- Miran Zadeh, H., and Emam, Y. 2010. The effect of nitrogen and Chloro-macovot-clorid on seed yield, dry matter and water efficiency on 4 cultivar of wheat. *Iranian Journal of Field Crops Research* 8(6): 636-645. (In Persian with English Summary)
- Muurinen, S., and Peltonen-Sainio, P. 2006. Radiation-use efficiency of modern and old spring cereal cultivars and its response to nitrogen in northern growing conditions. *Field Crops Research* 96: 363-373.
- Naroki, F.A., Vaezi, B., and Bavi, V. 2009. Determination amount of Advisable nitrogen for improving quantity and quality characters of three new durum wheat lines. *Iranian Journal of Crop Sciences Journal* 41(3): 583-595. (In Persian with English Summary)
- Nassiri Mahallati, M., and Koocheki, A. 2013. Trend analysis of nitrogen use and productivity in wheat production systems of Iran. *Journal of Agroecology* 9(2): 30-378. (In Persian with English Summary)
- Ney, B., Doré, T., and Sagan, M. 1997. The N requirement of major agricultural crops: grain legumes. In: Lemaire, G. (Ed.), *Diagnosis of the Nitrogen Status in Crops*. Springer-Verlag Publishers, Heidelberg, Germany p. 107-118.
- Olesen, G.E., Petersen, B.M., Bernsten, G., and Hansen, S. 2002. Comparison of methods for simulating effects of nitrogen on green area index and dry matter growth in winter wheat. *Field Crops Research* 74: 131-149.
- Oury, F.X., Berard, P., and Brancourt-Hulmel, M. 2003. Yield and grain protein concentration in bread wheat: a review and a study of multi-annual data from a French breeding program. *Journal of Genetics and Breeding* 57-59.
- Pask, A.J.D., Sylvester-Bradley, R., Jamieson, P.D., and Foulkes, M.J. 2012. Quantifying how winter wheat crops accumulate and use nitrogen reserves during growth. *Field Crops Research* 126: 104-118.
- Plenet, D., and Cruz, P. 1997. The N requirement of major agricultural crops: maize and sorghum. In: Lemaire, G. (Ed.), *Diagnosis of the Nitrogen Status in Crops*. Springer-Verlag Publishers, Heidelberg, Germany p. 93-106.
- Plenet, D., and Lemaire, G. 1999. Relationships between dynamics of N uptake and dry matter accumulation in maize

- crops. Determination of critical N concentration. *Plant and Soil* 216: 65-82.
- Prost, L., and Jeuffroy, M.H., 2007. Replacing the nitrogen nutrition index by the chlorophyll meter to assess wheat N status. *Agronomy for Sustainable Development* 27: 1-10.
- Rostami, M. 2009. Nitrogen use efficiency and nitrogen dynamics in corn varieties. PhD thesis, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary)
- Scharf, P.C. 2001. Soil and plant tests to predict optimum nitrogen rates for corn. *Journal of Plant Nutrition* 24: 805-826.
- Shahsavari, N., and Saffari, M. 2005. The effect of different levels of nitrogen on the function and elements of the varieties of wheat in Kerman. *Pajouhesh and Sazandegi* 66(4): 82-87.
- Sheehy, J.E., Dionara, M.J.A., Mitchell, P.L., Peng, S., Cassman, K.G., Lemaire, G., and Williams, R.L. 1998. Critical concentrations: Implications for high-yielding rice (*Oryza sativa* L.) cultivars in tropics. *Field Crops Research* 59: 31-41.
- Singh, U. 2005. Integrated nitrogen fertilization for intensive and sustainable agriculture. *Journal of Crop Improvement* 15: 259-287.
- Stöckle, C.O., and Debaeke, P. 1997. Modelling crop nitrogen requirements: a critical analysis. *European Journal of Agronomy* 7: 161-169.
- Tei, F., Benincasa, P., and Guidici, M. 2002. Critical nitrogen concentration in processing tomato. *European Journal of Agronomy* 18: 45-56.
- Xiaoping, X., Jianguo, W., Wenqi, G., and Zhiguo, Z. 2007. Determination of a critical dilution curve for nitrogen concentration in cotton. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 170: 811-817.
- Ziadi, N., Belanger, G., Claessens, A., Lefebvre, L., Cambouris, A.N., Tremblay, N., Nolin, M.C., and Parent, L.E. 2010. Determination of a critical nitrogen dilution curve for spring wheat. *Agronomy Journal* 102: 241-250.
- Ziadi, N., Brassard, M., Bélanger, G., Cambouris, A.N., Tremblay, N., Nolin, M.C., Claessens, A., and Parent, L. E. 2008. Critical nitrogen curve and nitrogen nutrition index for corn in eastern Canada. *Agronomy Journal* 100: 271-276.





## Optimizing Fertiliser Application Rates in Wheat using Nitrogen Nutrition Index

M. Nassiri Mahallati<sup>1\*</sup> and A. Koocheki<sup>1</sup>

Submitted: 22-02-2014

Accepted: 23-07-2014

Nassiri Mahallati, M., and Koocheki, A. 2018. Optimizing fertiliser application rates in wheat using nitrogen nutrition index. Journal of Agroecology. 10(3): 647-665.

### Introduction

Crop response to nitrogen (N) is usually evaluated by N use efficiency and diminishing return curves between yield and applied N fertilizers. However, both methods are highly variable due to environmental conditions and are dependent to the amount, timing and type of N fertilizers. Extending the results of such studies will led to overestimation of crop N requirements as a result of differences in precipitation, temperature and radiation across locations and years. Therefore optimizing fertilizer use for maximum productivity should be based on methods with higher certainty. Nitrogen nutrition index i.e. the ratio of actual N concentration in plant tissues to the critical N concentration is more reliable measure for fertilizer recommendation because of its stability over environmental fluctuations. However, for development of N nutrition index the critical dilution curve should be specifically established for each crop. In this papers N nutrition index is estimated for different wheat cultivars and tested for evaluation of grain yield in response to N application rates.

### Materials and Methods

To determine N nutrition index for wheat cultivars, a field experiment was conducted with factorial arrangement based on complete randomized block design with three replications. Experimental factors included three wheat cultivars (Chamran, Gaskogen and Sionez) and four N application rates (0, 55, 110 and 170 kg N ha<sup>-1</sup>). Shoot dry matter and N concentration was measured in five sampling during vegetative growth period. Using these data critical N concentrations and critical N dilution curves were calculated and compared with the previously established reference dilution curve for wheat crop. Nitrogen nutrition index (NNI) was then calculated as the ratio between measured shoot N (%) and the critical N concentration. Using NII grain yield and protein content of wheat cultivars was compared under different levels of N fertilizer.

### Results and Discussion

Critical concentration of nitrogen was slightly underestimated by the curve obtained in this study compared to reference curve. However, estimated coefficients of the dilution curve were closed to those of reference curve of wheat crop. Overall, nitrogen deficiency, sufficiency and excess in shoot dry matter were properly described by the estimated critical dilution and critical uptake curves. All wheat cultivars were nitrogen limited in no fertilized control and with application of 55 kg N ha<sup>-1</sup> however, in 170 kg N ha<sup>-1</sup> shoot nitrogen content was more than amount required for optimal growth and in 110 kg N ha<sup>-1</sup> nitrogen uptake was closed to critical values. In unfertilized control and 55 kg N ha<sup>-1</sup> NNI was lower than 1 during the whole vegetative growth period. However, in 110 kg N ha<sup>-1</sup> NNI was almost 1 and in 170 kg N ha<sup>-1</sup> varied between 1-1.3. A significant relation was obtained between NNI at flowering and relative yield of wheat cultivars and grain yield of three cultivars reached to its maximum at NNI between 0.9-1. Grain protein was also linearly correlated with NII at flowering.

### Conclusion

Based on the results nitrogen nutrition index calculated from critical dilution curve could be used as a

1- Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

(\*- Corresponding Author Email: mnassiri@um.ac.ir)

DOI: 10.22067/jag.v10i3.32578

powerful tool for precise estimation of crop growth rate, dry matter accumulation, grain yield and protein and to optimize the amount of N fertilizer required for any predefined yield level.

**Keywords:** Critical N concentration, Critical N dilution curve, Critical N uptake, Grain yield, Grain protein