Iranian Journal of Soil and Water Research ISNN: 2423-7833
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

Determination of Nitrogen Requirement of Rice (*Oryza sativa* L. *cv* Guilaneh) Using Nitrogen Nutrition Index and Chlorophyll Meter

Salman Mardazad Navi[1], Masoud Esfahani[2], Akbar Forghani[3], Atefeh Sabouri[4], Shahram Mahmoud Soltani[5]✉, Sohail Karamnia[6]

1. Agricultural Faculty of Guilan University, Rasht, Iran, Email: salmanmardazad@yahoo.com
2. Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran. Email: mesfahan@yahoo.com
3. Department of Soil Science, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran, Email: forghani@guilan.ac.ir
4. Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran, Email: a.sabouri@guilan.ac.ir
5. Corresponding Author, Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Rasht, Iran, Email: shmsoltani@gmail.com
6. Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran,Email: soheilkaramniya@gmail.com

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: Jan. 25, 2023

Revised: Nov. 11, 2023

Accepted: Nov. 19, 2023

Published online: Dec. 23, 2023

Keywords:
Critical Nitrogen Concentration,
Heading,
Leaf Chlorophyll,
Rice (Guilaneh Cultivar),
Yield.

ABSTRACT

In order to determine the nitrogen requirement of rice (cv. Guilaneh) using the nitrogen nutrition index and chlorophyll meter, an experiment was conducted as a randomized complete block design with three replications in the research field of the Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran in 2016. Experimental treatments consisted of six nitrogen fertilizer levels (0, 60, 120, 180, 240, and 300 kg N. ha-1; Urea source). Evaluation of the relationship between nitrogen nutrition index and chlorophyll-meter readings at three stages of plant growth (maximum tillering, booting, and heading) to predict grain yield in response to nitrogen fertilizer showed that the equation of the critical nitrogen concentration in Guilaneh was Nc = 3.99W -0.36. The correlation between chlorophyll-meter readings and nitrogen nutrition index was positive and significant at each plant growth stage. The results showed that the mature lower leaves were more sensitive than the younger higher leaves in response to nitrogen fertilizer and were more suitable for detecting plant nitrogen status, especially during the booting and heading stages. The highest correlation was found between the nitrogen nutrition index and chlorophyll-meter (r=0.95*) and relative chlorophyll-meter (the ratio of chlorophyll-meter readings in each treatment to nitrogen saturated treatment) (r=0.96**) in the third leaf and booting stage. The overall results of this experiment showed that the nitrogen nutrition index and chlorophyll meter may consider reliable indicators for evaluating the nitrogen status of rice (cv. Guilaneh) during the growing season.

Cite this article Mardazad Navi, S., Esfahani, M., Forghani, A., Sabouri, A., Mahmoud Soltani, Sh., & Karamnia, S. (2023) Determination of Nitrogen Requirement of Rice (*Oryza sativa L.* cv Guilaneh) Using Nitrogen Nutrition Index and Chlorophyll Meter, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 54 (10), 1521-1540. http//doi.org/10.22059/ijswr.2023.354316.669436

© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.

DOI: http//doi.org/10.22059/ijswr.2023.354316.669436

مجله تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۴، شماره ۱۰ شاپا: ۲۴۲۳-۷۸۳۳
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

تعیین نیاز کودی برنج رقم گیلانه (*Oryza sativa* L.) با استفاده از شاخص تغذیه نیتروژن و عدد دستگاه کلروفیل‌سنج

سلمان مردآزاد ناوی[۱]، مسعود اصفهانی[۲]، اکبر فرقانی[۳]، عاطفه صبوری[۴]، شهرام محمود سلطانی[۵]✉، سهیل کرم‌نیا[۶]

۱. زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه گیلان، رشت، ایران salmanmardazad@yahoo.com

۲. گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه گیلان، رشت، ایران mesfahan@yahoo.com

۳. گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه گیلان، رشت، ایران forghani@guilan.ac.ir

۴. گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه گیلان، رشت، ایران a.sabouri@guilan.ac.ir

۵. نویسنده مسئول، موسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران shmsoltani@gmail.com

۶. گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه گیلان، رشت، ایران Soheilkaramniya@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۸/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۸/۲۸

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۰/۱

واژه‌های کلیدی:
برنج رقم گیلانه،
ظهور خوشه،
عملکرد دانه،
غلظت بحرانی نیتروژن،
کلروفیل برگ.

چکیده

به منظور بررسی تعیین نیاز کودی نیتروژن برنج رقم گیلانه با استفاده از شاخص تغذیه نیتروژن (NNI) و کلروفیل‌سنج، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در بهار سال ۱۳۹۵ در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه گیلان اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل شش سطح کود نیتروژن (صفر، ۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰، ۲۴۰ و ۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار از منبع اوره) بودند. ارزیابی رابطه بین شاخص تغذیه نیتروژن و مقادیر عدد کلروفیل‌سنج در سه مرحله رشدی (حداکثر پنجه‌زنی، آبستنی و ظهور خوشه) جهت پیش‌بینی عملکرد دانه در پاسخ به کود نیتروژن نشان داد که رابطه غلظت نیتروژن بحرانی برای برنج رقم گیلانه به صورت $Nc = 3.99W^{-0.36}$ بود. همبستگی بین مقادیر عدد کلروفیل‌سنج و شاخص تغذیه نیتروژن در هر کدام از مراحل رشدی و در برگ‌های مختلف گیاه مثبت و معنادار بود. نتایج نشان داد که برگ‌های مسن‌تر (برگ‌های بالغ) حساسیت بیشتری نسبت به برگ‌های جوان‌تر بوته در پاسخ به مصرف کود نیتروژن داشتند و برای تشخیص وضعیت نیتروژن گیاه، خصوصا در مراحل آبستنی و ظهور خوشه، مناسب‌تر هستند. بالاترین همبستگی بین شاخص تغذیه نیتروژن برنج و مقادیر عدد کلروفیل‌سنج (r=۰/۹۵*) و مقادیر عدد کلروفیل‌سنج نسبی (نسبت مقادیر عدد کلروفیل‌سنج در تیمار مورد نظر به مقادیر عدد کلروفیل‌سنج تیمار اشباع شده از نیتروژن) (r=۰/۹۶**) در برگ سوم (از بالا) و در مرحله آبستنی دیده شد. نتایج کلی این آزمایش نشان داد که استفاده از شاخص تغذیه نیتروژن و کلروفیل‌سنج شاخص‌های قابل اعتمادی برای بررسی وضعیت نیتروژن برنج رقم گیلانه در طول فصل رشد می‌باشند.

استناد: مردآزاد ناوی؛ سلمان، اصفهانی؛ مسعود، فرقانی؛ اکبر، صبوری؛ فاطمه، محمودسلطانی؛ شهرام، کرم نیا؛ سهیل، (۱۴۰۲) تعیین نیاز کودی برنج رقم گیلانه (*Oryza sativa* L.) با استفاده از شاخص تغذیه نیتروژن و عدد دستگاه کلروفیل‌سنج، *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۴ (۱۰)، ۱۵۲۱-۱۵۴۰.
http//doi.org/10.22059/ijswr.2023.354316.669436

© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.
DOI: http//doi.org/10.22059/ijswr.2023.354316.669436

مقدمه

برنج (Oryza sativa L.) غذای اصلی (Depar et al., 2011; FAO, 2018) و تامین‌کننده ۲۱ درصد از انرژی و ۱۵ درصد از پروتئین مورد نیاز بیش از ۵۰ درصد جمعیت جهان به‌ویژه در کشورهای برنج‌خیز در قاره آسیا و آفریقاست که ۹۰ درصد برنج تولیدی در همان کشورها مصرف می‌شود. (Depar et al., 2011). برآوردهای سازمان خواروبار جهانی (فائو) حاکی از این است که برای تغذیه جمعیت رو به افزایش جهان، به ۷۶۰ میلیون تن شلتوک تا سال ۲۰۲۵ نیاز خواهد بود تا منبع مطمئن غذایی برای ساکنان کشورهای برنج‌خیز جهان تأمین گردد، این در حالی است که چشم‌اندازی برای افزایش سطح اراضی شالیزاری متصور نیست (FAO, 2018). اگرچه پنج دهه گذشته عملکرد برنج دو جهش بزرگ (پیشرفت‌های ژنتیکی و به‌زراعی) را به خود دیده و در نتیجه میزان عملکرد دانه برنج به بیش از سه برابر افزایش یافته است (Tonini and Cabrera, 2011)، ولی نیاز به افزایش عملکرد محصولات کشاورزی به‌ویژه برنج از یک طرف، کاهش هزینه تولید و توجه به ملاحظات زیست محیطی بر بستر کشاورزی پایدار همچنان به‌طور غیرقابل انکاری از نگرانی‌های عمده پژوهشگران است (Mahmoud Soltani et al., 2022). در این راستا و برای کمک به افزایش منابع غذایی پایدار و پوشش این نگرانی‌های حیاتی توجه جدی و علمی به عرضه مناسب و متعادل عناصر پرمصرف به ویژه نیتروژن بسیار ضروری است.

نیتروژن پرمصرف‌ترین عنصر مورد نیاز برنج بوده و به نظر می‌رسد پس از کمبود آب آبیاری، مهمترین نهاده تولید و محدود کننده‌ترین عنصر غذائی در تولید برنج در اراضی شالیزاری جهان محسوب می‌شود. به ازای تولید هر تن دانه (شلتوک)، نیاز است تا گیاه برنج حدود ۲۰ کیلوگرم نیتروژن را از خاک جذب کند. از طرفی نیاز برنج به دیگر عناصر غذایی پرمصرف نیز عمدتاً به عرضه و فراهمی نیتروژن بستگی دارد. این عنصر به رشد سریع گیاه (افزایش‌ارتفاع و تعداد پنجه)، افزایش اندازه برگ، تعداد دانه در خوشه، درصد دانه‌های پر در هر خوشه، مقدار پروتئین دانه و وزن هزاردانه کمک می‌نماید. بنابراین نیتروژن تمامی شاخص‌های مؤثر بر عملکرد را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد (Buresh and et al., 2004). غلظت نیتروژن برگ به میزان زیادی با مقدار فتوسنتز و تولید زیست‌توده در ارتباط می‌باشد (Esfahani et al., 2008). در اکوسیستم‌های شالیزاری در تمامی شرایط اقلیمی مصرف بهینه و به‌هنگام کودهای حاوی نیتروژن به تامین مقدار کافی نیتروژن برای رسیدن به پتانسیل عملکرد دانه می‌انجامد (Yang et al., 2014). Iهمچنین یافته‌ها نشان می دهد که با افزایش مقدار مصرف نیتروژن تا ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار وزن خشک بخش هوایی، ریشه و حجم ریشه افزایش یافت (Yazdani Motlag et al., 2013).

مصرف بیش از حد کود نیتروژن، علاوه بر هدررفت منابع، از طریق آبشویی از خاک و یا تصعید، باعث آسیب جدی به محیط زیست نیز می‌شود (Wang *et al*., 2012; Zha et al., 2020). علاوه بر اثرات زیست‌محیطی ناشی از کاربرد بیش از نیاز کودهای نیتروژنی، تحمیل هزینه‌های اضافی در فرآیند تولید محصولات کشاورزی در این راستا نیز قابل توجه می‌باشد (Lemaire *et al*., 2008). اگرچه کشاورزان اغلب بیش از حد نیاز کود نیتروژن را با تصور دست‌یابی به بیشینه عملکرد استفاده کرده که این اقدام غیرعلمی منجر به خوابیدگی بوته (ورس)، شیوع بیماری‌های قارچی، افزایش هزینه‌های تولید و نهایتا کاهش عملکرد می‌شود (Yang *et al*., 2014). همه این اثرات زیانبار بر این نکته تاکید دارند که مقدار و زمان مناسب مصرف کود نیتروژن در برنج‌های غرقابی جهت دستیابی به عملکرد بالا بسیار تعیین‌کننده است (Esfahani *et a*l., 2008)، چرا که مطالعات نشان می‌دهد تنها بین ۲۰ تا ۳۰ درصد نیتروژن مصرف شده توسط گیاه برنج در شرایط غرقابی جذب می‌شود (کارایی مصرف نیتروژن کمتر از ۳۰ درصد) (Yang et al., 2014؛ محمود سلطانی و همکاران، ۱۴۰۰).

هرگاه کودهای حاوی نیتروژن در اراضی شالیزاری مصرف شوند برای تبدیل به شکل‌های قابل جذب گیاه (نیترات و آمونیوم) و سپس جذب توسط گیاه، به زمان نیاز دارند. این زمان به نوع کود، درجه حرارت خاک، آب آبیاری و هوای سطح مزرعه، رطوبت خاک و اسیدیتی خاک بستگی دارد (Havlin et al., 2014). در مزارع برنج توصیه می‌شود تا کودهای حاوی نیتروژن در چند تقسیط شامل پایه، سرک در مراحل حداکثر پنجه‌زنی، شروع ظهور خوشه مصرف شود تا کارایی مصرف نیتروژن بهبود یابد (محمود سلطانی و همکاران، ۱۴۰۰). در نتیجه پایش وضعیت نیتروژن خاک در مراحل مختلف رشد به‌ویژه رشد رویشی و اصلاح آن با کاربرد کود حاوی نیتروژن در مراحل کلیدی منجر به دست‌یابی بهترین زمان مصرف کود به‌ویژه کودهای سرک می‌شود (Zha et al., 2020). بنابراین به یک راهبرد دو مرحله‌ای برای مدیریت کود نیتروژن نیاز است که در مرحله اول می‌بایست نسبت به تعیین زمان مناسب مصرف براساس مرحله رشد گیاه و وضعیت نیتروژن در سطح مزرعه اقدام نموده و در مرحله دوم با کاربرد کود حاوی نیتروژن مبتنی بر مرحله اول کمبود این عنصر را برطرف کرد (Zhang et al., 2020). این روش‌های دقیق و کاراً برای شناسایی سریع، به‌موقع و متناسب با مرحله رشد گیاه از وضعیت

نیتروژن در سطح مزرعه راهکاری عملی برای دست‌یابی به راهبردهای مدیریت دقیق نیتروژن بوده(Zha et al., 2020; Yuan et al., 2016) و به بهبود کارایی مصرف نیتروژن، عملکرد و کیفیت دانه در برنج کمک شایانی می‌نمایند (Wang *et al*., 2012).

کلروفیل‌سنج به عنوان یک روش ساده، سریع، غیرتخریبی و قابل اعتماد به‌طور گسترده‌ای برای تخمین وضعیت مناسب نیتروژن در تولید گیاه (Yuan *et al*., 2016; Ata-Ul-Katim, 2016; Zhang et al., 2020)، مدیریت مناسب مصرف کود نیتروژن، مشخص‌نمودن زمان مناسب مصرف کود نیتروژن در برنج و همزمان‌کردن مصرف کود نیتروژن با زمان دقیق نیاز واقعی گیاه (Peng *et al*., 1996) استفاده می‌شود. اگرچه بسیاری از پژوهشگران از عدد کلروفیل‌سنج ۳۵ به عنوان عدد بحرانی برای مدیریت نیتروژن و استفاده کارآمدتر از کود نیتروژن در برنج نشایی یاد کرده‌اند (Islam *et al*., 2009, Yuan et al., 2016) ولی این عدد به طور معناداری از عواملی مانند مرحله رشد گیاه، رقم، وزن مخصوص برگ، ضخامت برگ، موقعیت برگ در بوته، محل اندازه‌گیری در برگ و همچنین تنش‌های محیطی و تابش خورشیدی تاثیر می‌پذیرد (Yuan *et al*., 2016; Znag et al., 2020). به منظور کاهش اثرات ناشی از عوامل محیطی این شاخص بصورت اعداد کلروفیل‌سنج نسبی نیز بیان می‌شود (Yang et al., 2014).

استفاده از اعداد کلروفیل‌سنج نسبی (شاخص کارایی کلروفیل‌سنج) باعث حذف اثر نوع رقم، مراحل رشدی و مکان اندازه‌گیری کلروفیل‌سنج می‌شود (Li et al., 2010; Jiang et al., 2012). اعداد کلروفیل‌سنج نسبی از طریق تقسیم مقادیر عدد کلروفیل‌سنج تیمار مورد نظر به تیمار اشباع شده از نیتروژن یا تیماری که حداکثر نیتروژن را دریافت می‌کند، بدست می‌آید (Hussain *et al*., 2000). لین و همکاران (Lin *et al*., 2010) از تفاوت یا نسبت مقادیر عدد کلروفیل‌سنج بین مکان‌های مختلف برگ برای پیش‌بینی وضعیت نیتروژن در گیاه برنج برای حذف اثر ژنوتیپ و مراحل رشدی نیز استفاده کردند. وانگ و همکاران (Wang *et al*., 2006) گزارش کردند که تفاوت ارقام برنج در حساسیت آنها به کود نیتروژن در برگ‌های بالاتر (جوان‌تر) و پایین‌تر (مسن‌تر) است. به‌نظر می‌رسد که برگ‌های پایین‌تر نسبت به برگ‌های بالاتر به مقادیر کود نیتروژن حساس‌تر هستند. با این حال مطالعات همچنان از تاثیر مراحل رشد گیاه و مکان عدد بر روی برگ حتی بر مقادیر عدد کلروفیل‌سنج حکایت دارد (Yang et al., 2014). بنابراین بهبود کارایی مصرف نیتروژن همچنان یک چالش مهم در مسیر امنیت غذایی در سیستم‌های تولید محصولات زراعی باقی مانده است (Mahmoud Soltani et al., 2021).

اگرچه واکنش گیاهان زراعی به نیتروژن معمولاً با برآورد کارایی مصرف نیتروژن و بر پایه منحنی‌های بازده نزولی بین عملکرد و میزا ن مصرف کودهای حاوی نیتروژن صورت می‌گیرد ولی بدلیل تاثیرپذیری اجتناب‌ناپذیر از شرایط محیطی و مدیریت زراعی مصرف این نهاده، بهینه‌سازی مصرف این نوع کود به‌منظور حصول حداکثر بهره‌وری، به روش‌هایی با قطعیت بیشتر نیاز دارد. عمده این روش‌ها بر رهیافت‌های ناشی از اکوفیزیولوژی مدیریت مصرف، جذب توسط گیاه و توزیع بین اندامی گیاهان زراعی استوار است. براین اساس هنگامی که عنصر نیتروژن از طریق کودهای حاوی آن در حدکفایت و زمان مناسب در اختیار گیاه قرار می‌گیرد، غلظت آن در گیاه زراعی و طی فصل رشد تابعی از تجمع ماده خشک بوده و میزان جذب نیتروژن توسط گیاه با سرعت رشد گیاه تنظیم شده در نتیجه با افزایش ماده خشک گیاه محتوای این عنصر در بافت‌های هوایی گیاه کاهش یافته و رقیق می‌شود که این رقت خود دارای حدی بحرانی است (Lemaire and Gastal, 2009; Zha et al., 2020).

غلظت نیتروژن بحرانی به عنوان حداقل غلظت نیتروژن گیاه است که در آن غلظت، گیاه حداکثر تولید زیست‌توده بخش هوایی را داشته در بالاتر از آن غلظت، مصرف و جذب بیشتر نیتروژن سبب افزایش عملکرد (وزن خشک گیاه) نخواهد شد (Ulrich., 1952; Lemaire and Gastal, 1997). مفهوم منحنی غلظت نیتروژن بحرانی بر پایه غلظت نیتروژن در کل بوته در هر مرحله از چرخه رشد گیاه و در هر شرایط محیطی بوده و عامل مهمی در تعیین شاخص تغذیه نیتروژن است (Houles et al., 2007; Yang et al., 2014). غلظت نیتروژن بحرانی توسط تابع آلومتریک $Nc = acW^{-b}$ نشان داده می‌شود. در این رابطه W مقدار ماده خشک تجمع یافته در بخش هوایی گیاه (تن)، Nc میزان نیتروژن بحرانی بخش هوایی گیاه (گرم نیتروژن در ۱۰۰ گرم ماده خشک)، ac میزان (درصد) نیتروژن لازم برای تولید یک تن در هکتار زیست‌توده بخش هوایی و b نشان‌دهنده الگوی کاهش میزان نیتروژن با افزایش زیست‌توده بخش هوایی می‌باشند (Yang et al.,2014).

شاخص تغذیه نیتروژن (NNI) یک روش قابل اعتماد مبتنی بر گیاه برای تشخیص وضعیت نیتروژن در گیاهان زراعی محسوب شده و عملکرد ماده خشک مورد انتظار را در هر مقدار نیتروژن مصرف شده نشان می‌دهد (Li *et al*., 2012; Zha et al., 2020). شاخص تغذیه نیتروژن برای کمی ساختن کمبود و مصرف بیش از حد نیتروژن و برآورد مقدار نیاز به نیتروژن در یک گیاه زراعی خاص (Justes *et al*., 1994) به عنوان مبنای تصمیم‌گیری در رابطه با مصرف کود نیتروژن استفاده می‌شود (Lemaire *et al*., 2008). شاخص تغذیه

نیتروژن به صورت نسبت غلظت نیتروژن گیاه به غلظت نیتروژن بحرانی (N_c) محاسبه می‌شود. Yang et al. (2014) نشان داد که بین شاخص تغذیه نیتروژن و سطوح نیتروژن مصرفی همبستگی نزدیک و مثبتی برقرار بوده و هرچه بر مقدار نیتروژن مصرفی افزوده شود این عدد به یک نزدیک‌تر شد. همچنین بیشترین همبستگی و عملکرد زیست‌توده نیز با مصرف ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار نیترون بدست آمده است. این در حالی است که با افزایش مقدار نیتروژن هم عملکرد و هم همبستگی کاهش معناداری یافت. نتایج آزمایش Ata-Ul-Karim et al. (2017) نشان داد که از روابط بین شاخص تغذیه نیتروژن و عملکرد نسبی به دست آمده برای مراحل اصلی رشد گیاه بر پایه منحنی نیتروژن بحرانی، می‌توان در مدیریت مصرف کود نیتروژن مورد نیاز برای گیاه برنج استفاده کرد. این روابط در مراحل آغازش خوشه و آبستنی، تفاوت در نیاز گیاه به نیتروژن و عملکرد نسبی گیاه را در شرایط کمبود و بهینه نیتروژن مشخص کرده و می‌توان از آن برای پیش‌بینی نیاز نیتروژنی گیاه در طول فصل و همچنین تعیین مقدار بهینه مصرف کود نیتروژن در اواسط رشد استفاده کرد. Zhang et al. (2020) نشان دادند که این روش راهبردی نه تنها منجر به کاهش مصرف نیتروژن در اراضی شالیزاری غرب چین طی سال زراعی ۲۰۱۵ شده (۲۷۰ کیلوگرم در هکتار در مقایسه با ۳۶۰ کیلوگرم) بلکه بیشترین مقدار کارایی مصرف (۵۱ تا ۵۷ درصد) را نیز در مقایسه با شاهد (۴۸ درصد) به خود اختصاص داده است. بررسی‌های بسیاری از پژوهشگران حاکی از این است که این روش و مقایسه آن با روش‌های سنتی مانند کلروفیل‌سنجی و کلروفیل‌سنجی نسبی دارای ظرفیت کافی برای ارتقای کیفیت و کمیت مدیریت کودهای حاوی نیتروژن در اراضی شالیزاری بوده و به افزایش عملکرد به‌ازای واحد نیتروژن مصرفی خواهد انجامید. این در حالی است که خلاء کاربرد این روش‌ها برای دست‌یابی به مقدار بهینه نیتروژن مورد نیاز به‌ویژه برای ارقام اصلاح شده و با کودپذیری بیشتر در کشور به شدت احساس می‌شود. بنابراین پژوهش مزرعه‌ای حاضر با اهداف تعیین منحنی غلظت نیتروژن بحرانی و همچنین شاخص تغذیه نیتروژن و مقادیر عدد کلروفیل‌سنج جهت تعیین وضعیت نیتروژن برنج رقم گیلانه در طول فصل رشد و بررسی ارتباط آنها با یکدیگر و استفاده از نتایج این دو روش جهت پیش‌بینی عملکرد دانه در پاسخ به استفاده از کود نیتروژن تدوین و اجرا شده است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش مزرعه‌ای طی سال زراعی ۱۳۹۵– ۱۳۹۴ در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه گیلان با طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۳۹ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۱۲ دقیقه شمالی و ارتفاع ۲۴ متر بالاتر از سطح دریاهای آزاد اجرا شد. از کرت‌های مزرعه گزینش شده نمونه‌های خاک مرکب از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری تهیه گردید. نمونه‌های خاک در معرض هوا خشکانده شده و پس از عبور دادن از الک دو میلی‌متری، برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن مانند بافت خاک (رسی سیلتی) بافت خاک به روش هیدرومتر بایکاس (Ge and Bower, 1986)، کربن آلی (۲/۳ درصد) به روش اکسیداسیون تر (Walky and Black, 1934)، ، اسیدیتی عصاره اشباع (۶/۷) اسیدیته عصاره اشباع با الکترود شیشه‌ای (Klute, 1986) و نیتروژن (۰/۲ درصد) با استفاده از دستگاه کجلدال (V40، صنایع آزمایشگاهی بخشی، ایران)(Page, 1982) اندازه‌گیری شدند.

این آزمایش با شش تیمار در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل مقادیر نیتروژن از منبع کود شیمیایی اوره در شش سطح شامل صفر (شاهد)، ۶۰ ، ۱۲۰ ، ۱۸۰ ، ۲۴۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار بودند. رقم برنج مورد آزمایش، رقم اصلاح شده گیلانه بود که حاصل تلاقی برگشتی بین رقم صالح (والد مادری) و رقم محلی آبجی بوجی یا دم سرخ (والد پدری) می‌باشد. این رقم با طول دوره رشد۱۱۲/۵ روز، میانگین ارتفاع بوته ۱۱۰/۰ سانتی‌متر، میانگین عملکرد دانه ۵۲۵۰ کیلوگرم در هکتار، مقاوم به ورس و نسبتا حساس به بیماری قارچی بلاست است (Allagholipoor et al., 2018). نیمی از کود نیتروژن به تناسب تیمارهای مورد نظر قبل از نشاکاری به خاک هر کرت اضافه شد و نیمی دیگر به طور مساوی در دو مرحله حداکثر پنجه‌زنی و ظهور خوشه به زمین اضافه شد. فسفر به مقدار 45 کیلوگرم در هکتار پنتا اکسید فسفر (P_2O_5) از منبع سوپر فسفات تریپل و پتاسیم نیز به مقدار100 کیلوگرم در هکتار اکسید پتاسیم (K_2O) از منبع سولفات پتاسیم بر اساس نتایج آزمون خاک و کسر فسفر و پتاسیم قابل‌جذب بومی خاک پیش از نشاکاری و در هنگام آماده‌سازی زمین به کلیه کرتها اضافه و بخوبی با خاک مخلوط شدند. ابعاد کرت‌ها ۳ × ۵ متر (۱۵ مترمربع) و فاصله بین بلوک‌ها ۵۰ سانتی‌متر درنظر گرفته شد. برای جلوگیری از اختلاط تیمارهای کودی در بلوک‌ها و کرت‌های مجاور، مرزهای هر کرت تا عمق حدود ۳۰ سانتی‌متر با پلاستیک پوشانده شد. پس از انجام عملیات خاک‌ورزی و احداث بلوک‌ها و ایجاد کانال‌های آبیاری مجزا برای هر بلوک، نشاکاری در اوایل خرداد ۱۳۹۵ با گیاهچه‌های یکدست رقم گیلانه به صورت تک نشا با فاصله ۲۵×۲۵ سانتی‌متر انجام شد. کلیه عملیات داشت مانند واکاری، مبارزه با آفات، بیماری‌ها، وجین و آبیاری طبق روش‌های توصیه شده مرتبط با رقم که توسط موسسه

تحقیقات برنج کشور ارائه شده است در کلیه کرت‌ها به صورت یکسان اعمال شد. نمونه‌برداری جهت اندازه‌گیری وزن خشک و اندازه‌گیری نیتروژن هر دو هفته یکبار (ترجیحا متناسب با مراحل رشد گیاه) انجام شد. بدین منظور، بوته‌هایی در مساحت نیم مترمربع از هر کرت به طور تصادفی انتخاب و کف‌بر شده و پس از انتقال به آزمایشگاه به مدت ۷۲ ساعت در آون در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن ثابت خشکانده شده و پس از توزین، خرد شده و میزان نیتروژن بافت گیاهی با استفاده از دستگاه کجلدال (V40، صنایع آزمایشگاهی بخشی، ایران)(Page, 1982) در آزمایشگاه مرکزی دانشکده کشاورزی گیلان تعیین و برحسب درصد از ماده خشک محاسبه شد. میزان کلروفیل در چهار برگ کامل بالایی (به ترتیب برگ اول، دوم، سوم و چهارم از بالا به پایین بوته) در هر کپه و به صورت هر هفت روز یک‌بار با استفاده از دستگاه کلروفیل‌سنج(SPAD-502, Minolta, Japan) اندازه‌گیری شد. عدد کلروفیل‌سنج در هر کرت از ده بوته و در هر برگ از سه نقطه انجام شد که یک قرائت در نقطه میانی پهنگ برگ و دو قرائت دیگر به فاصله سه سانتی‌متر از آن در طرفین رگبرگ میانی انجام گرفته و پس از میانگین‌گیری به عنوان عدد کلروفیل‌سنج آن برگ ثبت شد (Peng *et al*., 1993). همچنین اعداد کلروفیل‌سنج نسبی از تقسیم مقادیر عدد کلروفیل‌سنج کرت مورد نظر به مقادیر عدد کلروفیل‌سنج تیماری که بیشترین مقدار نیتروژن را دریافت کرده بود (در این پژوهش ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار)، به‌دست آمد (Hussain *et al*., 2000). غلظت بحرانی نیتروژن با استفاده از رابطه $N_c = a_c W^{-b}$ محاسبه شد که در آن N_c غلظت نیتروژن بخش هوایی بر حسب گرم بر کیلوگرم ماده خشک، a_c غلظت نیتروژن بخش هوایی زمانی که وزن خشک بخش هوایی یک تن در هکتار فرض شده است ، b ضریب رقیق‌شدگی است که رابطه کاهش غلظت نیتروژن با افزایش زیست‌توده بخش هوایی را نشان می‌دهد (Sheehy *et al*., 1998) و W مقدار وزن خشک بخش هوایی را نشان می‌دهد که بر اساس روش جاستس و همکاران (Justes *et al*., 1994) بدست آمد. شاخص تغذیه نیتروژن از نسبت غلظت نیتروژن بخش هوایی گیاه به غلظت نیتروژن بحرانی (N_c) به‌دست آمد (Lemaire *et al*., 2008). عملکرد نسبی دانه از نسبت عملکرد دانه یک تیمار به عملکرد دانه تیماری که بیشترین عملکرد را داشت، به‌دست آمد (Scharf *et al*., 2006). برای انجام تجزیه‌های آماری از نرم افزارهای SPSS 25.0 و SAS 9.3 و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد. نمودارها و منحنی‌ها با استفاده از Excel 2016 ترسیم شد.

نتایج و بحث

تعداد پنجه کل ، تعداد پنجه بارور و درصد باروری پنجه‌ها

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سطوح کود نیتروژن بر تعداد کل پنجه‌ها در سطح احتمال یک درصد معنادار بود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین تعداد کل پنجه در هر مترمربع (۲۴۷/۹ عدد) مربوط به تیمار ۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بود که البته تفاوت معناداری با تیمارهای ۱۸۰ و ۲۴۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار نداشت (شکل ۱). محمود سلطانی و همکاران (۱۴۰۰) بیان داشتند این که افزایش مقدار نیتروژن مصرفی سبب افزایش تعداد کل پنجه می‌شود به این دلیل است که میزان عناصر غذایی بیشتری در اختیار گیاه قرار داشته و با تولید مواد فتوسنتزی بیشتر، گیاه آن را صرف رشد رویشی کرده و این افزایش رشد در افزایش تعداد کل پنجه نمودار می‌شود. این در حالی است که نتایج مقایسه میانگین مربوط به تعداد پنجه بارور و در نتیجه درصد باروری پنجه‌ها در برنج رقم گیلانه نشان داد که بیشترین درصد باروری پنجه‌ها (۸۹/۹ درصد) در تیمار ۱۸۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بدست آمد و با افزایش مقدار نیتروژن بیش از ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار کاهش یافت (داده‌ها نشان داده نشد). Faraji et al. (2011) گزارش نمودند که در برنج رقم اصلاح شده خزر با مصرف ۱۰۳ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بیشترین تعداد پنجه و بیشترین درصد باروری پنجه‌ها به ترتیب ۲۴۲/۵ عدد و ۹۰/۸ درصد بدست آمد. Taghizaden et al. (2008) نیز با بررسی اثر تیمارهای کود نیتروژن روی برنج رقم هاشمی گزارش دادند که تمامی تیمارهای افزایش مصرف کود نیتروژن سبب افزایش درصد باروری پنجه‌ها شده ولی بیشترین درصد باروری پنجه‌ها در تیمار ۹۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بدست آمد و کمترین درصد باروری پنجه‌ها مربوط به تیمار عدم مصرف کود نیتروژن بود. این پژوهشگران بیان داشتند که استفاده از کود نیتروژن و زمان صحیح آن مطابق با نیاز گیاه عامل مهمی در تولید و افزایش تعداد پنجه‌های بارور در واحد سطح است. Mannan et al. (2010)، Kavoosi and Yazadani, (2020) در پژوهش‌هایشان گزارش نمودند که اگرچه با افزایش مصرف نیتروژن تاثیر آن بر افزایش تعداد کل پنجه بارز بوده ولی این روند در خصوص تعداد پنجه بارور و درصد باروری بصورت خطی نیست.

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر تیمارها بر برخی صفات مورفولوژیکی، عملکرد و اجزای عملکرد برنج رقم گیلانه

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		درصد باروری پنجه‌ها	تعداد کل پنجه‌ها	تعداد دانه پر در خوشه	وزن هزاردانه	عملکرد دانه
بلوک	۲	۵/۵۱۳^{ns}	۴۸۰/۸۳*	۱۳۱/۶۴۵*	۰/۴۷۶۷*	۱۴۰۹۷/۵*
کود نیتروژن	۵	۱۳/۰۹**	۳۲۳۷/۷۵**	۲۰۲/۴۸**	۰/۵۵۳۹^{ns}	۲۵۲۴۶۰/۸**
خطای آزمایش	۱۰	۱/۸۷۳	۹۱/۱۴	۲۹/۹۶۰	۰/۸۵۴	۳۲۳۱/۳۶
ضریب تغییرات (درصد)		۱/۵۶	۴/۶۱	۵/۴۹	۱/۲۶	۱/۵۲

****، * و ns : به‌ترتیب معنادار در سطوح احتمال یک درصد، معنادار در سطوح احتمال پنج درصد و غیر معنادار**

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر تیمارها بر شاخص تغذیه نیتروژن (NNI) در مراحل رشد برنج رقم گیلانه

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		حداکثر پنجه زنی	آغاز آبستنی	ظهور خوشه
بلوک	۲	۰/۰۰۰۳^{ns}	۰/۰۰۸۰*	۰/۰۰۸۴^{ns}
کود نیتروژن	۵	۰/۲۴۶۱**	۰/۹۰۵۸**	۰/۶۲۱۷**
خطای آزمایش	۱۰	۰/۰۰۱۷	۰/۰۰۱۷	۰/۰۰۵۳
ضریب تغییرات (درصد)		۳/۵۳	۲/۷۶	۵/۱۱

****، * و ns : به‌ترتیب معنادار در سطوح احتمال یک و پنج درصد، معنادار در سطوح احتمال پنج درصد و غیر معنادار**

تعداد دانه پر در خوشه

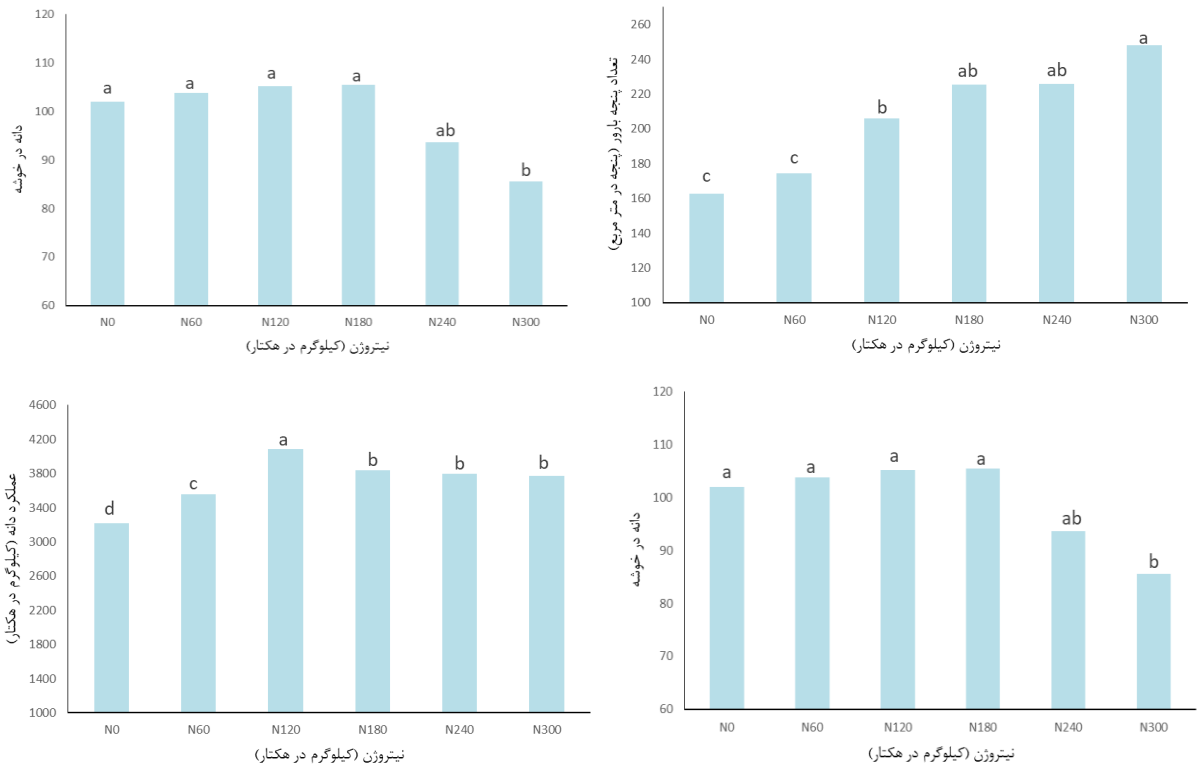
نتایج تجزیه واریانس نشان داد که سطوح کود نیتروژن اثر معناداری در سطح احتمال یک درصد روی تعداد دانه پر در خوشه داشت (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین درصد افزایش تعداد دانه در خوشه در مقایسه با شاهد متعلق به تیمار ۱۸۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (۴ درصد) که البته اختلاف معناداری با تیمارهای شاهد (بدون مصرف کود)، ۶۰، ۱۲۰، ۲۴۰ کیلوگرم نیتروژن نداشته و تنها با تیمار ۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (کمترین تعداد دانه در خوشه (۸۵/۶ عدد) اختلاف معنادار داشت (شکل ۱). Mousavi et al. (2015) با مصرف ۳۰، ۶۰ و ۹۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار روی سه رقم برنج هاشمی، علی‌کاظمی و خزر، بیشترین (۱۱۱/۵) و کمترین (۱۰۹/۴) تعداد دانه پر در خوشه را به ترتیب در تیمارهای ۹۰ کیلوگرم و بدون مصرف نیتروژن گزارش کردند. Kavoosi and Yazadani, (2020) نیز بر نقش چشمگیر نیتروژن بر تعداد دانه‌های پر در برنج رقم هاشمی تاکید داشته که با یافته‌های Mannan et al. (2010) در یک راستا بود. تعداد دانه پر در خوشه در برنج نشان دهنده تخصیص بیشتر مواد فتوسنتزی از کل مواد فتوسنتزی تولید شده به دانه‌ها و کارایی بالاتر انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌ها است (Mahmoud Soltani et al., 2021). عدم تفاوت معنادار بین تیمارها نیز ممکن است به مقدار نسبتاً مناسب نیتروژن خاک در شروع آزمایش (۰/۲ درصد) بازگردد که اجازه تاثیرگذاری تیمارها بر پرشدن دانه را نمی‌دهد.

وزن هزاردانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که سطوح کود نیتروژن اثر معناداری روی وزن هزاردانه نداشت (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین وزن هزاردانه (۲۳/۵ گرم) مربوط به تیمار شاهد (بدون مصرف کود) بود که البته تفاوت معناداری با سایر تیمارهای کود نیتروژن نداشت. این یافته می‌تواند با عدم تاثیر معنادار تیمارهای کود نیتروژن بر تعداد دانه پر تائید شود چرا که دانه پر ارتباط مستقیمی با وزن هزاردانه داشته و مهمترین مسیر افزایش وزن هزاردانه است Mannan et al. (2010) گزارش دادند که وزن هزاردانه در برنج معمولا تحت تاثیر سطوح نیتروژن قرار نمی‌گیرد. وزن هزاردانه در برنج یکی از پایدارترین خصوصیات رقم به حساب می‌آید که معمولا تحت تاثیر عوامل محیطی و زراعی قرار نمی‌گیرد. برخی محققین محصور بودن دانه برنج توسط گلوم‌های خارجی و داخلی که باعث محدودکردن رشد دانه به علت وجود این پوشش مستحکم خارجی می‌شود را به عنوان عدم تاثیرپذیری وزن هزاردانه برنج از تیمارهای کودی دانسته‌اند (Nasiri et al, 2013).

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سطوح کود نیتروژن بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنادار بود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین درصد افزایش مقدار عملکرد دانه (۲۶/۷ درصد) مربوط به تیمار مصرف ۱۲۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در مقایسه با تیمار شاهد (۳۲۲۲ کیلوگرم در هکتار) بود که با سایر تیمارهای کاربرد کود نیتروژن اختلاف معنادار داشت (شکل ۱). با توجه به اینکه بسیاری از اجزای عملکرد (باروری پنجه‌ها، درصد باروری خوشه، طول خوشه و تعداد دانه پر) در رقم مورد آزمایش در محدوده مصرف ۱۲۰ تا ۱۸۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به حداکثر خود رسیده‌اند، این درصد افزایش در میزان عملکرد که به نوعی برآیند تاثیر تمامی اجزای عمکرد در میزان عملکرد بود چندان دور از انتظار نیست. این در حالی است که با افزایش بیشتر مصرف کود نیتروژن (بیش از ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار) تاثیر منفی بر عملکرد داشته و سبب کاهش آن می‌شود. به‌نظر می‌رسد دلائلی که بر افزایش تعداد کل پنجه گفته شد در کاهش عملکرد دانه نیز دخالت مستقیم دارند. مصرف نیتروژن با توسعه ریشه‌های برنج از طریق افزایش ریشه‌های افقی و جذب بیشتر سایر عناصر مورد نیاز به‌ویژه فسفر که به افزایش حجم ریشه وابسته است در افزایش عملکرد نقش ایفا می‌کند (Mahmoud Salahuddin et al. (2009) .(Tran et al., 2014; Kavoosi and Yazdani, 2020; ؛Soltani et al., 2021 اظهار داشتند که با افزایش مصرف کود نیتروژن تا ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار، عملکرد دانه برنج ارقام اصلاح شده افزایش و پس از آن کاهش یافت. دلیل بالاتربودن عملکرد دانه در این تیمار به بهبود اجزای عملکرد از جمله طول خوشه، تعداد دانه در خوشه نسبت داده شد. Babazadeh (2005) طی آزمایشی مزرعه‌ای با مصرف کود نیتروژن به مقدار ۱۲۳ کیلوگرم در هکتار با تقسیط ۵۰ درصد پایه، ۲۵ درصد در مرحله حداکثر پنجه‌زنی و ۲۵ درصد در مرحله آبستنی، بیشترین میزان عملکرد دانه را در مقایسه با شاهد و به مقدار ۶۹۰۹ کیلوگرم در هکتار برای رقم برنج هیبرید بهار۱ بدست آورد که با نتایج Nahvai et al. (2003) مشابه بود. عدم مصرف کود نیتروژن موجب کاهش اجزای عملکرد، تعداد پنجه در کپه، تعداد پنجه‌های بارور در کپه و زیست‌توده کل می‌شود. علاوه بر این نیتروژن یکی از عوامل تامین مواد پرورده کافی برای گیاهان بوده که باعث اختصاص مواد پرورده بیشتر به دانه و پر شدن بهتر آنها می‌شود و حداکثر عملکرد دانه در سطوح بهینه مصرف کود نیتروژن بدست می‌آید (محمود سلطانی و همکاران، ۱۴۰۰).



شکل ۱- مقایسه میانگین تعداد پنجه بارور، تعداد دانه پر در خوشه و عملکرد دانه برنج رقم گیلانه در تیمارهای کود نیتروژن ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشابه هستند، بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معناداری ندارند N0، N60، N120، N180، N240 و N300 به ترتیب مقدار صفر، ۶۰ ، ۱۲۰ ، ۱۸۰، ۲۴۰ و ۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار هستند

اثر تیمارهای کود نیتروژن بر مقادیر عدد کلروفیل

نتایج نشان داد که تغییرات مقادیر عدد کلروفیل در تیمارهای کودی نیتروژن در طول دوره رشد گیاه برنج با افزایش مصرف کود نیتروژن در مقایسه با شاهد روند افزایشی داشت. این در حالی است که در تیمار شاهد به‌استثنای برگ اول مقدار نیتروژن برگهای مسن‌تر روند کاهشی داشت. این نکته بر این اصل استوار است که این عنصر در داخل گیاه بسیار متحرک بوده و به دلیل انتقال آن از برگ‌های پیر به برگ‌های جوان‌تر، علائم کمبود آن ابتدا در برگ‌های پیر مشاهده شده و برگهای جوان به‌ویژه بالاترین برگ بدون هیچ علائمی چرخه فیزیولوژیک خود را به پایان می‌رساند (محمود سلطانی و همکاران، ۱۴۰۰) (شکل ۲). بنابراین در تیمار عدم مصرف کود نیتروژن در مرحله حداکثر پنجه‌زنی، بالاترین عدد کلروفیل‌سنج مربوط به برگ دوم (که به تازکی از نظر فیزیولوژیک کامل شده است) و برگ اول است که به ترتیب ۲/۱ و ۰/۲۴ واحد از اعداد برگ‌های سوم و چهارم بیشتر بود. این روند در تمامی مراحل رشد ثابت بوده و تنها شدت این اختلاف بیشتر می‌شود که حاکی از کاهش روزافزون مقدار نیتروژن بومی و وابستگی گیاه به منبع درون گیاهی (برگهای پیرتر) است (کاووسی و یزدانی، ۱۳۹۹). نتایج نشان می‌دهد در حالی که در مرحله آبستنی اختلاف عدد کلروفیل‌سنج برگ اول با دو برگ انتهایی ۱/۶ و ۲/۶ واحد بود در مرحله ظهور خوشه به ۴/۶ و ۷/۹ واحد افزایش می یابد.

با اندکی افزایش در مقدار مقادیر عدد کلروفیل‌سنج، تیمار ۶۰ کیلوگرم در هکتار نیز روندی مشابه با شاهد (به‌استثنای برگ اول–که منبع تامین نیتروژن آن در این تیمار هم منبع درون گیاهی و هم نیتروژن مصرف شده است) را نشان می‌دهد. این روند هم مقدار اعداد و هم جایگاه برگ‌ها در نمودار را در بر می‌گیرد. در تیمارهای ۱۲۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و بالاتر مقادیر عدد کلروفیل‌سنج تمامی برگها در هر سه مرحله حداکثر پنجه‌زنی، آبستنی و ظهور خوشه افزایش چشمگیری در مقایسه با شاهد داشت. این روند با مقایسه ضریب معادلات برازش‌شده نیز تایید می‌شود. اگرچه اختلاف بین مقادیر عدد کلروفیل‌سنج در همه برگ‌ها و اختلاف برگ اول با سایر برگ‌ها با افزایش مقدار نیتروژن مصرفی کمتر شده بود. به نظر می‌رسد عدم محدودیت مقدار نیتروژن خاک سبب قطع انتقال نیتروژن درون گیاهی شده و از این طریق به نزدیکترشدن اعداد اندازه‌گیری شده منجر شد (شکل ۲). این روند با مقایسه شیب خط معادلات برازش شده نیز تایید می‌شود.

نتایج معادلات و رگرسیون برازش داده شده بین تعداد روز پس از نشاکاری و مقادیر عدد کلروفیل‌سنج در تمامی تیمارهای آزمایشی نشان می‌دهد که همه این معادلات از مدل خطی پیروی می‌کنند که به ماهیت رفتاری نیتروژن (حلالیت زیاد در خاک و قابلیت تحرک بالا در درون بافت گیاهی) مرتبط است. بررسی این معادلات نشان می‌دهد که تغییرات شیب خط و ضریب تبیین در تیمار شاهد از برگ اول به چهارم افزایش چشمگیری یافته که حاکی از این است که مقدار تغییرات غلظت نیتروژن در برگ چهارم از همه شدیدتر و کاهشی‌تر بوده و سپس به ترتیب برگ سوم، دوم و اول در جایگاه‌های بعدی قرار می‌گیرند. نتایج نشان می‌دهد که درصد افزایش شیب خط (کاهش نیتروژن) در برگ چهارم نسبت به برگ سوم، دوم و اول به ترتیب ۲۵، ۹۵ و ۲۳۰ درصد بود. این روند در خصوص ضریب تبیین معادلات نیز صدق کرده و تغییرات آن در برگ چهارم ($R2=0.90$) نسبت به برگ سوم ($R2=0.63$)، دوم ($R2=0.42$) و اول ($R2=0.01$)به ترتیب ۴۳، ۲۱۴ و ۹۰۰ درصد بود. به نظر می‌رسد که علت کاهش مقادیر عدد کلروفیل‌سنج در طی زمان، تجزیه سریع‌تر نیتروژن در برگ‌های پایینی گیاه است. در این رابطه گزارش شده است که مقدار عددی کلروفیل‌سنج در طول فصل رشد افزایش نشان داده و با شروع پیری برگ، محتوای کلروفیل به تدریج کاهش می‌یابد (Dordas et al., 2008; Ziadi et al., 2008). علاوه بر این با آغاز مرحله پیری، کاهش کلروفیل شدت بیشتری یافته و به تدریج مقادیر عدد کلروفیل‌سنج نیز کاهش می‌یابد (Dordas., 2017). با اندکی تغییرات روندی مشابه با تیمار شاهد در تیمار مصرف ۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار نیز رخ می‌دهد. تنها تفاوت آن آغاز روند افزایش در برگ اول بود که البته با تغییرات قابل ملاحظه‌ای همراه نبوده است. روابط مسطح و عدم تغییرات قابل ملاحظه، ضریب تبیین بسیار پایین و ضعیف نشان¬دهنده عدم کفایت میزان کود نیتروژن برای افزایش مقادیر عدد کلروفیل‌سنج بود که با توجه به کودپذیری بالای رقم گیلانه قابل انتظار هم بود. به نظر می‌رسد که شیب مثبت در برگ بالایی و شیب منفی کمتر در مقایسه با شاهد در برگ‌های پایین‌تر به دلیل ورود منبع بیرونی (مصرف خاکی و هرچند کم) و اضافه شدن آن به منبع درون گیاهی (تجزیه سریع‌تر نیتروژن در برگ‌های پایینی در فرآیند متحرک‌سازی این عنصر) باشد. در آزمایشی روی گیاه ذرت، گزارش شد که در تیمار شاهد بدون مصرف کود (کود مایع گاوی و کود شیمیایی) نسبت به تیمارهای کودی آلی و شیمیایی، کاهش کلروفیل بیشتری صورت گرفت. این موضوع نشان می‌دهد که همان مقدار کم نیتروژن موجود در برگ برای پرشدن دانه مجدداً انتقال یافته و در نتیجه باعث پیری زودتر برگ‌ها و کاهش شدیدتر میزان کلروفیل نسبت به تیمارهای کودی شد (Dordas et al., 2008). یافته‌های این پژوهش هم‌راستا با یافته‌های Li et al. (2011) و Yang et al. (2014) می‌باشد.

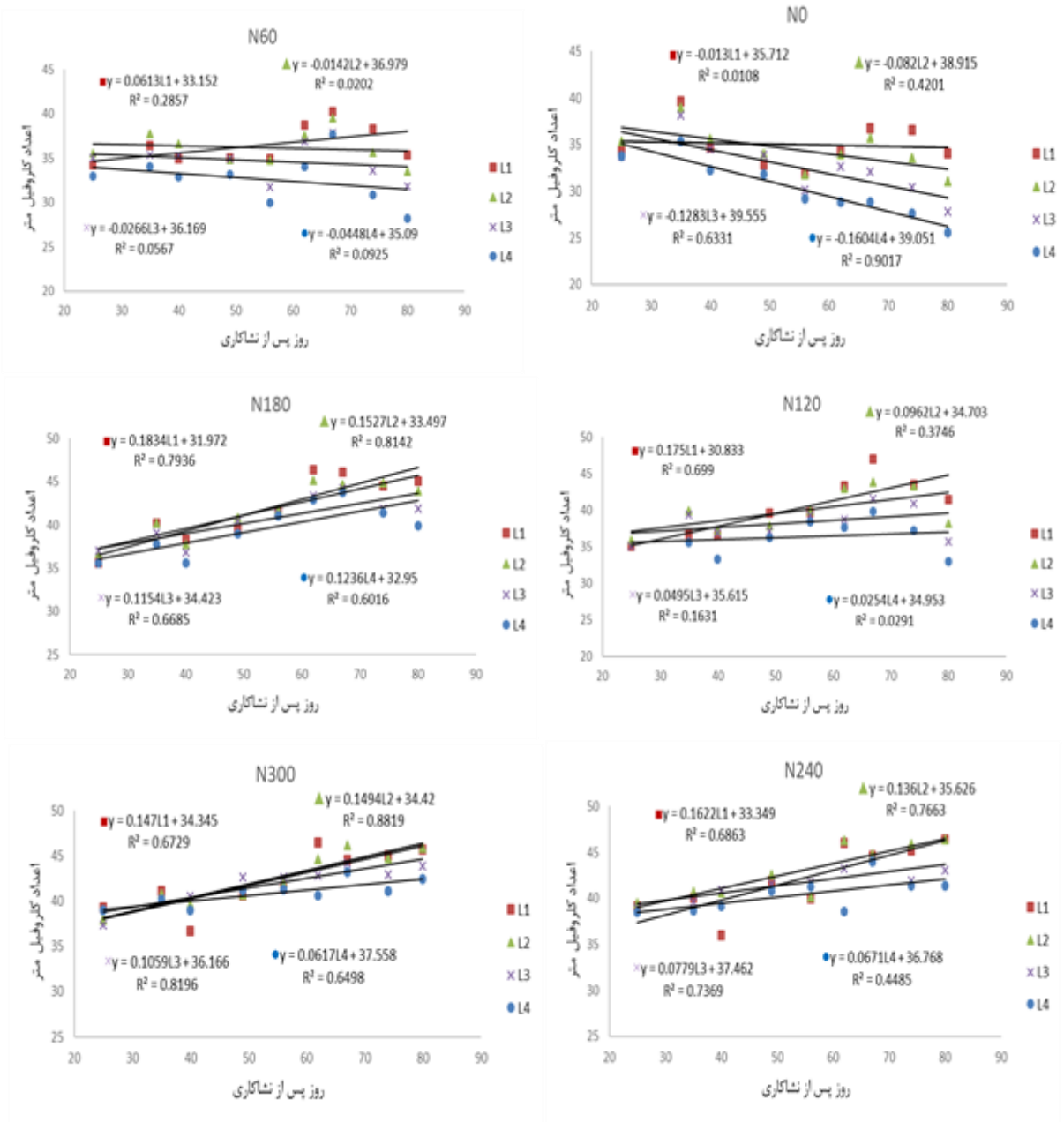
نتایج معادلات و رگرسیون برازش داده شده بین تعداد روز پس از نشاکاری و مقادیر عدد کلروفیل‌سنج از تیمار ۱۲۰ کیلوگرم تا ۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار دارای روندی مشابه، مثبت و خطی بوده ولی هرچه بر میزان نیتروژن مصرفی افزوده می‌شود خطوط معادلات برازش شده به هم نزدیک‌تر و فشرده‌تر می‌شود که حاکی از فراهمی بدون محدودیت این عنصر و نزدیک شدن میزان جذب آن به توانمندی ژنتیکی گیاه برای جذب نیتروژن است. در این حالت به نظر می‌رسد به دلیل تاثیر بیشتر منبع بیرونی (نیتروژن ذاتی خاک به علاوه نیتروژن افزوده شده)، فعالیت منبع درونی گیاه کاهش یافته و یا متوقف می‌شود و در نتیجه در تمامی برگها مقدار کافی نیتروژن برای انجام فتوسنتز موجود بوده و در نتیجه مقادیر عدد کلروفیل‌سنج به هم نزدیک می‌شود. بنابراین شیب خط معادلات تیمارهای ۱۲۰، ۱۸۰ و ۲۴۰ بدون اختلاف معنادار در محدوده ۰/۱۷ ثابت مانده است. علاوه بر این ضریب تبیین رگرسیون خطی برازش داده شده نیز نشان دهنده رابطه قوی مربوط به برگ اول (R^2=۰/۷۰) بوده و کمابیش در سایر برگ‌ها نیز با تغییر اندکی دنبال می‌شود. این نکته نشان‌دهنده این است که اگرچه همه برگ‌ها میزان قابل‌قبولی از نیتروژن را دریافت می‌کنند ولی انتقال نیتروژن به برگ اول به دلیل فعالیت‌های فیزیولوژیکی بیشتر در صدر قرار دارد. در برگ اول به ازای هر روز پس از نشاکاری ۰/۱۷۵ واحد به عدد کلروفیل‌سنج افزوده شد. در برگ‌های دوم، سوم و چهارم گرچه قوت رابطه کمتر از برگ اول بود، اما شیب خط مثبت نشان‌دهنده روند افزایشی در مقادیر عدد کلروفیل‌سنج در این برگ‌ها است.

در سطح مصرف ۱۸۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، روند افزایش مقادیر عدد کلروفیل‌سنج در طی فصل رشد کاملا مشهود بود (شکل ۲) در برگ اول به ازای هر روز پس از نشاکاری، عدد کلروفیل‌سنج ۰/۱۸۳ واحد افزایش داشت (R^2=۰/۷۹). در برگ‌های دوم و سوم و چهارم به ترتیب ۰/۱۵ (R^2=۰/۸۱)، ۰/۱۱۵ (R^2=۰/۶۷) و ۰/۱۲۳ (R^2=۰/۶۰) واحد افزایش مقادیر عدد کلروفیل‌سنج به صورت روزانه مشاهده شد. در سطح مصرف ۱۸۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار نیز مانند سطوح قبلی، برگ اول دارای میزان و افزایش بیشتر مقدار عدد کلروفیل‌سنج بود. در سطوح مصرف ۲۴۰ و ۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار نیز مانند سطح قبلی روند افزایشی مشاهده شد.

نکته حائز اهمیت رفتار برگ دوم به عنوان آخرین برگی که از نظر فیزیولوژیکی کامل شده نسبت به نیتروژن است که به نظر می‌رسد هرچه بر مقدار نیتروژن در منبع بیرونی افزوده شود مقدار نیتروژن در برگ دوم و به تبع آن میزان فتونستز از ثبات بیشتر برخوردار شده و ضریب تبیین در آن از افزایش چشمگیری برخوردار می‌شود (۰/۸۸ در تیمار ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار). این نکته تایید کننده فراهمی بدون محدودیت این عنصر و نزدیک شدن میزان جذب آن به توانمندی ژنتیکی گیاه برای جذب نیتروژن است. در این حالت به نظر می‌رسد به دلیل تاثیر بیشتر منبع بیرونی (نیتروژن ذاتی خاک به علاوه نیتروژن افزوده شده)، فعالیت منبع درونی گیاه کاهش یافته و یا متوقف می‌شود. این وضعیت نشان‌دهنده میزان بالای نیتروژن مصرفی و جذب شده توسط گیاه و افزایش میزان سبزینگی در هر چهار برگ بود که تا پایان فصل رشد این افزایش ادامه یافت. وانگ و همکاران (Wang *et al.*, 2006) بیان داشتند که در شرایط کمبود نیتروژن در برنج، نیتروژن بیشتری به برگ‌های بالایی منتقل می‌شود و اختلاف بیشتری بین مقادیر عدد کلروفیل‌سنج برگ‌های اول و چهارم مشاهده می‌شود. در شرایط فراوانی نیتروژن، رقابت برای دریافت نیتروژن کمتر بوده و تفاوت مقادیر عدد کلروفیل‌سنج برگ‌های بالا و پایین کمتر می‌شود.

منحنی غلظت بحرانی نیتروژن (جذب بحرانی نیتروژن) که با برازش داده‌های وزن خشک به میزان نیتروژن جذب شده در اندام‌های هوایی گیاه برنج رقم گیلانه بدست آمده است به وضوح نشان دهنده محدودیت نیتروژن برای رشد گیاه تحت بررسی در محدوده صفر تا۱۲۰ کیلوگرم در هکتار است. این نکته با قرارگیری تمامی نقاط مربوط به این تیمارها در زیر منحنی برازش شده قابل دریافت است. در حالی‌که در بالاتر از این مقدار (۱۸۰ کیلوگرم در هکتار و بالاتر) در حد کفایت می‌باشد (قرارگیری نقاط بالای منحنی). همچنین نتایج نشان داد که غلظت نیتروژن بافت گیاهی با افزایش زیست‌توده تقریبا به صورت خطی کاهش یافت (شکل ۳). این پدیده رقیق‌شدگی نیتروژن نیز نامیده می‌شود که به دو علت رخ می‌دهد. دلیل اول: افزایش سهم قسمت‌های ساختاری گیاه که به گیاه این امکان را می‌دهد که رشد کرده و ارتفاع آن بلندتر شود و تابش خورشیدی بیشتری را جذب کند. دلیل دوم: حرکت نیتروژن از برگ‌های پایینی به برگ‌های بالاتر صورت می‌گیرد (Gastal *et al.*, 2015). معادله منحنی نیتروژن بحرانی $N_c = a_c W^{-b}$ بر اساس روش شیهی و همکاران (Sheehy *et al.*, 1998) که برای برنج ارائه شده است، برای برنج رقم گیلانه محاسبه شد.

$$N_c = 3.99W^{-0.36}$$



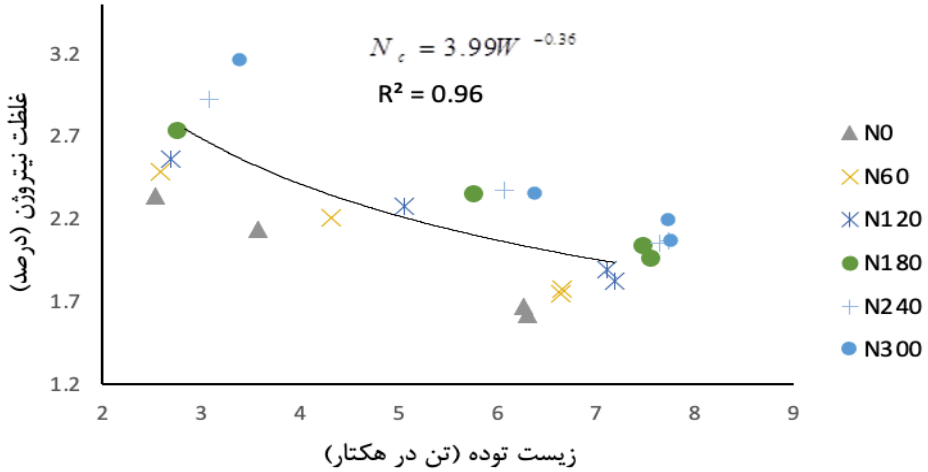
شکل ۲- مقادیر عدد دستگاه کلروفیل‌سنج در برگ‌های اول، دوم، سوم و چهارم (از بالا به پایین) در طول فصل رشد گیاه برنج رقم گیلانه در تیمارهای کود نیتروژن

L1، L2، L3 و L4 به ترتیب اولین، دومین، سومین و چهارمین برگ کامل (از بالا به پایین)؛ N0، N60، N120، N180، N240 و N300 به ترتیب مقدار نیتروژن صفر، نیتروژن ۶۰، نیتروژن ۱۲۰، نیتروژن ۱۸۰، نیتروژن ۲۴۰، نیتروژن ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار هستند

غلظت بحرانی نیتروژن گیاه برنج

W: مقدار ماده خشک تجمع‌یافته در بخش هوایی گیاه (تن)، N_c: میزان نیتروژن واقعی در بخش هوایی گیاه (گرم نیتروژن در صد گرم ماده خشک)، a_c: میزان (درصد) نیتروژن لازم برای تولید یک تن زیست‌توده بخش هوایی در هکتار، و b: الگوی کاهش میزان نیتروژن با افزایش زیست‌توده بخش هوایی می‌باشند (Yang *et al.*,2014). براین اساس غلظت نیتروژن بخش هوایی برای تولید یک تن برنج رقم گیلانه ۳/۹۹ درصد است. منحنی نیتروژن بحرانی، نشان‌دهنده شرایط محدودکننده و غیرمحدودکننده وضعیت نیتروژن گیاه می‌باشد. نقاط زیر منحنی شرایط محدودکننده و نقاط بالای منحنی شرایط غیرمحدودکننده را نشان می‌دهند. نزدیک بودن نقاط به منحنی در طول فصل رشد نشان‌دهنده وضعیت مطلوب نیتروژن برای تولید حداکثر عملکرد دانه برنج می‌باشد. بنابراین به نظر می‌رسد تیمار مصرف ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن با توجه به قرارگیری در بالا و نزدیک منحنی بهترین تیمار کودی برای تولید بدون محدودیت عملکرد برنج بوده و در مقادیر بالاتر از آن مصرف کود تاثیری بر تولید عملکرد نداشته و صرفا به افزایش هزینه، آلودگی محیط زیست منجر می‌شود. همچنین

دلیل تفاوت منحنی نیتروژن بحرانی پژوهش حاضر با منحنی نیتروژن بحرانی شیهی و همکاران (Sheehy *et al.*, 1998) را می‌توان در تفاوت در عواملی از جمله وضعیت آب و هوایی منطقه، تفاوت در صفات مورفوفیزیولوژیکی، سرعت رشد گیاه و الگوی رشد گیاه دانست. منحنی نیتروژن بحرانی بدست آمده در این آزمایش برای مواردی که وزن خشک کمتر از ۱/۵۵ تن در هکتار باشد، قابل استفاده نیست و باید غلظت بحرانی نیتروژن پایین‌تر از این وزن خشک مجددا محاسبه شود (Justes *et al.*, 1994). با بررسی غلظت‌های نیتروژن در نمونه‌هایی که وزن خشک کمتر از ۱/۵۵ تن در هکتار داشتند، غلظت نیتروژن بحرانی ثابت بدست آمد. در این آزمایش غلظت نیتروژن بحرانی ثابت، ۳/۶۹ درصد بود. دلیل این موضوع نیز کاهش بسیار کم غلظت نیتروژن با افزایش زیست‌توده و رقابت کم بوته‌ها برای جذب تابش می‌باشد. نتایج مشابهی برای برنج (Ata-Ul-Karim *et al.*, 2013)، گندم (Justes *et al.*, 1994)، سیب‌زمینی (Belanger *et al.*, 2001) و ذرت (Ziadi *et al.*, 2008) در این زمینه بدست آمده است.



شکل ۳- منحنی نیتروژن بحرانی در برنج رقم گیلانه در تیمارهای کود نیتروژن
N0، N60، N120، N180، N240 و N300 به ترتیب مقدار نیتروژن صفر، نیتروژن ۶۰ ، نیتروژن ۱۲۰ ، نیتروژن ۱۸۰، نیتروژن ۲۴۰ ، نیتروژن ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار هستند

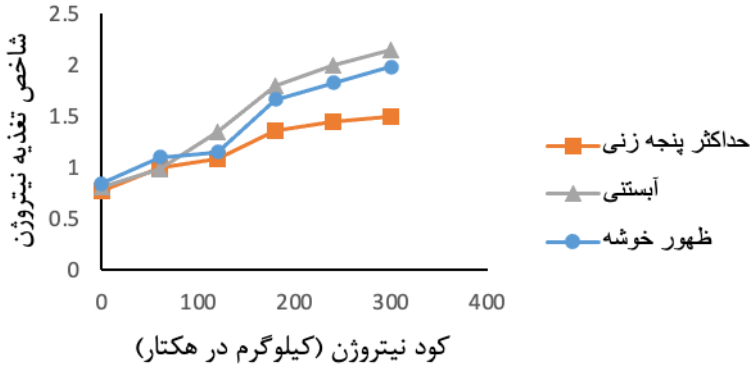
همبستگی بین شاخص تغذیه نیتروژن و تیمارهای کود نیتروژن

نتایج نشان داد که شاخص تغذیه نیتروژن همبستگی مثبت و معناداری با تیمارهای کود نیتروژن داشت. شاخص تغذیه نیتروژن در تیمار عدم مصرف نیتروژن در هر سه مرحله حداکثر پنجه‌زنی، آبستنی و ظهور خوشه کمتر از یک بود (به ترتیب ۰/۷، ۰/۸۱ و ۰/۸۴) که نشان دهنده کافی نبودن مقدار نیتروژن برای رسیدن به حداکثر عملکرد دانه است. این اعداد نشان می‌دهد که اگرچه همگی از یک کمتر هستند ولی بسیار به آن نزدیک می‌باشند و این از کاهش شدید عملکرد در تیمار شاهد در اثر کمبود نیتروژن جلوگیری می‌کند. با توجه به حد بحرانی ۰/۲ برای نیتروژن در اراضی شالیزاری (Mirnia and Mohamadian, 2005)، به نظر می‌رسد می‌بایست پاسخ را در مقدار نیتروژن بومی خاک یافت (جدول ۱) که در حدود ۰/۲ درصد می‌باشد. نکته دوم این است که هرچه گیاه به سمت رشد زایشی می‌رود به دلیل افزایش حجم ریشه و شرایط بهتر تجزیه مواد آلی در خاک بر مقدار نیتروژن بومی خاک به مرور افزوده می‌شود. Milles *et al.* (2009) و Lemaire *et al.* (2008) عقیده دارند که هرگاه شاخص تغذیه نیتروژن در محدوده ۰/۸ قرار داشته باشد گیاهان زراعی به مقدار رشد پتانسیل رسیده و یا بسیار به آن نزدیک شده‌اند و تنها در محدوده شاخص تغذیه نیتروژن کمتر از ۰/۲ است که گیاه رشد بیولوژیک خود را کاهش داده و در انتها متوقف می‌کند. Debakea *et al.* (2012) نیز بر این باور است که در محدوده بالاتر از ۰/۸ تا ۰/۹ به علت فراهم شدن شرایط بیماری‌های قارچی در اثر آبدار شدن بافت گیاهان زراعی ممکن است گیاه دچار افت عملکرد شود.

افزایش نسبتا خطی با شیب کم در مقدار شاخص تغذیه نیتروژن در تیمارهای ۶۰ و ۱۲۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار نسبت به شاهد اگرچه مقدار آن را بسیار به یک نزدیک (به ترتیب ۰/۹۹ و ۱/۰۸در مرحله پنجه‌زنی) و یا آبستنی (۰/۹۸) می‌کند و یا در مرحله ظهور خوشه اندکی فراتر از یک (به ترتیب ۱/۱ و ۱/۱۵) سوق می‌دهد (شکل ۴) ولی همچنان با توجه به کودپذیری بیشتر ارقام اصلاح شده (گیلانه در این پژوهش) نسبت به ارقام محلی بسیار شکننده است. به نظر می‌رسد در مطالعات آتی لازم است بین تیمار ۱۲۰ و ۱۸۰ کیلوگرم نیتروژن

در هکتار که شروع مصرف تجملی یا لوکس (حدی که مصرف کود به افزایش تولید منجر نمی‌شود) به تیماری بینابینی دست یافت که بتواند شاخص تغذیه نیتروژن را برای ارقام اصلاح شده به دقت بیشتری محاسبه نموده و از نوسان احتمالی آن بکاهد.

همچنین نتایج نشان می‌دهد که شاخص تغذیه نیتروژن در تیمار ۱۸۰ کیلوگرم نیتروژن برای مراحل حداکثر پنجه‌زنی، آبستنی و ظهور خوشه به ترتیب ۱/۳، ۱/۸ و ۱/۶بوده که با متوسط ۱/۵ حاکی از آغاز مصرف نامناسب می‌باشد. این مصرف بی‌رویه با نزدیک شدن نمودارها به ویژه در مرحله پنجه‌زنی به خطی ثابت و شیب بسیار کم تایید می‌شود. با افزایش میزان مصرف نیتروژن به ۲۴۰ (به ترتیب ۱/۴، ۱/۹ و ۱/۸) و ۳۰۰ (به ترتیب ۱/۴، ۲/۱ و ۱/۹) کیلوگرم نیتروژن در هکتار این شیب افزایش چندانی نکرده و نشان می‌دهد میزان جذب افزایش معناداری نمی‌یابد. بنابراین اعداد شاخص تغذیه نیتروژن به نقطه دوبرابری نسبت به میزان حدکفایت (یک) رسیده است که نشان‌دهنده مصرف بیش از حد و نامناسب نیتروژن در این سطوح بود (Debaekea *et al.*, ; Yao *et al.*, 2014b; Ata-Ul-Karim *et al.*, 2017c; Zhao *et al.*, 2017;2012). منحنی نیتروژن بحرانی و شاخص تغذیه نیتروژن می‌تواند موقعیت‌هایی که در آن برنج دچار کمبود یا بیش‌بود نیتروژن است را به خوبی نشان دهد. در سطوح پایین کود نیتروژن، تغییرات شاخص تغذیه نیتروژن در سه مرحله حداکثر پنجه‌زنی، آبستنی و ظهور خوشه کم بود و در سطوح بالاتر نیتروژن، تغییرات شاخص تغذیه نیتروژن در سه مرحله رشدی افزایش یافت. به نظر می‌رسد که مصرف زیاد کود نیتروژن در چند نوبت باعث افزایش غلظت نیتروژن در بافت گیاهی شده و به دلیل بالاتر بودن غلظت نیتروژن نسبت به غلظت نیتروژن بحرانی در سطوح بالا، شاخص تغذیه نیتروژن روند افزایشی داشت و تغییرات آن در مراحل مختلف بیشتر بود. اگر اعداد شاخص نیتروژن در مراحل انتهایی رشد برآورد می‌شد به احتمال زیاد این منحنی با کاهش شیب افزایش می‌توانست درک بهتری از مصرف بیش از حد را نشان دهد. اگر عدد شاخص تغذیه نیتروژن بیشتر از یک باشد، نشان‌دهنده مصرف بیش از حد کود بوده و اگر مقدار آن بین ۰/۲ تا ۱ باشد، کمبود نیتروژن را نشان می‌دهد. اگر مقدار شاخص تغذیه نیتروژن برابر یک باشد، وضعیت نیتروژن گیاه در حد مطلوبی محسوب می‌شود (Belanger *et al.*, 2001). شاخص تغذیه نیتروژن یک شاخص قابل‌اعتماد و دقیق برای تعیین وضعیت نیتروژن گیاه برنج می‌باشد، ولی به علت وقت‌گیر و پرهزینه بودن کمتر به طور عملی در مدیریت کود نیتروژن مورد استفاده قرار می‌گیرد. این شاخص را می‌توان به عنوان یک مرجع برای سایر روش‌های ساده‌تر مانند کلروفیل‌سنجی مورد توجه قرار داد (Yang *et al.*, 2014). این نتایج با یافته‌های Yang *et al.* (2014)، Wang *et al.* (2020) و Qui *et al.* (2021) برای گیاه برنج در یک راستا است.



شکل ۴-تغییرات شاخص تغذیه نیتروژن در سه مرحله رشد گیاه در برنج رقم گیلانه در تیمارهای کود نیتروژن

ارتباط بین شاخص تغذیه نیتروژن و مقادیر عدد کلروفیل‌سنج‌و اعداد کلروفیل‌سنج نسبی

شیب خط معادله برازش داده شده بین شاخص تغذیه نیتروژن با مقادیر عدد کلروفیل‌سنج نشان از همبستگی خطی، مثبت و معنادار آنها در مراحل مختلف رشد گیاه برنج رقم گیلانه و برگ‌های مختلف آن داشت. بیشترین همبستگی (r=۰/۹۳**) در مرحله حداکثر پنجه‌زنی، آبستنی (r=۰/۹۵*) و ظهور خوشه (r=۰/۸۸*) به ترتیب مربوط به برگ چهارم، سوم و سوم بود. این در حالی است که کمترین همبستگی ۰/۴۵*، ۰/۸۰* و ۰/۴۰* در تمامی مراحل مربوط به برگ اول و به ترتیب در مرحله حداکثر پنجه‌زنی ،آبستنی و ظهور خوشه به ثبت رسید. این یافته‌ها با گزارش Zhao *et al.* (2018) در یک راستا بود که بیان داشت ضریب همبستگی در پژوهش آنها در محدوده ۰/۵۴ تا ۰/۷۲ قرار اشت.

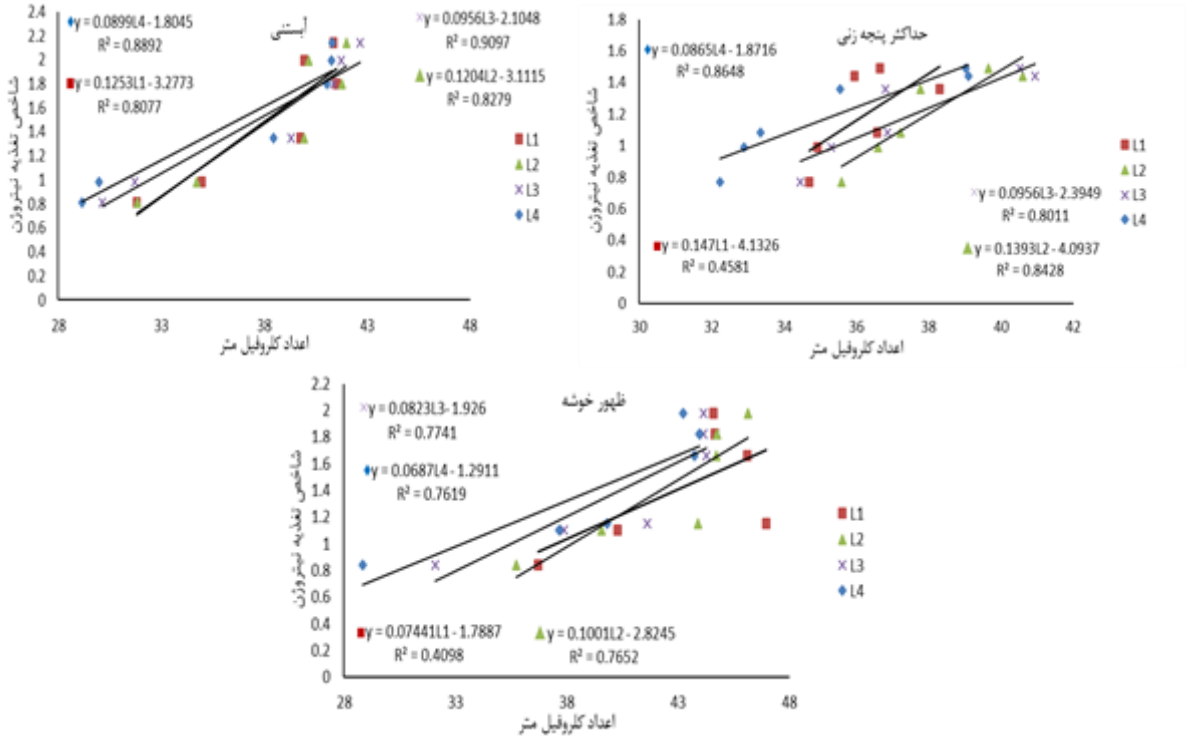
در همین راستا، نتایج تجزیه رگرسیون نشان داد با توجه به رابطه خطی و مثبت بین مقادیر عدد کلروفیل‌سنج و شاخص تغذیه نیتروژن، با افزایش مقادیر عدد کلروفیل‌سنج، شاخص تغذیه نیتروژن افزایش یافت. اگرچه میزان این افزایش بسته به مکان برگ و مرحله رشد متفاوت بود. در مرحله پنجه‌زنی با افزایش هر واحد عدد کلروفیل‌سنج، شاخص تغذیه نیتروژن در برگ اول ۰/۱۴۷ واحد افزایش یافت (R^2=۰/۴۶) اما در برگ دوم، سوم و چهارم شیب افزایش از روند کاهشی برخوردار بود. در مرحله آبستنی در برگ اول و دوم با افزایش هر واحد عدد کلروفیل‌سنج میزان شاخص تغذیه نیتروژن به ترتیب معادل ۰/۱۲۵ و ۰/۱۲ و ضریب تبیین به ترتیب ۰/۸۰ و ۰/۸۳ بود، اما در برگ‌های سوم و چهارم شیب خط کاهش یافت (به‌ترتیب ۰/۰۹۵ و ۰/۰۸۹) اما قوت رابطه در برگ سوم بیشتر بود (R^2=۰/۹۰) و در مرحله ظهور خوشه شیب خط در برگ دوم بالاتر بود (۰/۱۰، R^2=۰/۷۶) (شکل ۵). از طرف دیگر نتایج نشان می‌دهد که بین شاخص تغذیه نیتروژن همبستگی مثبت و معناداری با اعداد کلروفیل‌سنج در برگ اول وجود دارد و به علت قرارگیری ضریب همبستگی در محدوده وسیعتری، از پایداری بیشتری نسبت به سایر برگها برخوردار است (۰/۴۰ تا ۰/۸۰). این در حالی است که در برگ‌های سوم و چهارم دامنه نوسان آن به شدت محدود و به هم نزدیک می‌شود (۰/۷۶ تا ۰/۹۰). دلیل آن این است که بخش عمده (۵۰ و ۲۵ درصد) نیتروژن قبل از مرحله آبستنی مصرف شده و در نتیجه برگ‌های کامل شده از نظر فیزیولوژیک دچار محدودیت تغذیه‌ای نیستند (Yang *et al.* 2014, Jiang *et al.* 2012). این موضوع حاکی از تاثیرپذیری کمتر برگ‌های پایینی به کمبود و یا مصرف نیتروژن است. در نتیجه این برگ‌ها برای تعیین کمبود بسیار مهم و کاربردی هستند. با این حال به علت تاثیرپذیری مقادیر عدد کلروفیل‌سنج از نوع رقم، شرایط آب و هوایی، مکان قرارگیری برگ و غیره شیب خط در منحنی های برازش‌شده کم و در محدوده وسیعتری نسبت به اعداد کلروفیل‌سنج نسبی قرار داشت. اعداد کلروفیل‌سنج نسبی باعث کاهش اثر رقم، مراحل رشد و موقعیت‌های برگ می‌شود (Wang *et al.*, 2006).

شیب خط و ضریب همبستگی معادله برازش داده شده بین شاخص تغذیه نیتروژن با اعداد کلروفیل‌سنج نسبی نشان از همبستگی خطی، مثبت و معنادار آنها در مراحل مختلف رشد گیاه برنج رقم گیلانه و برگ‌های مختلف آن داشته و این رابطه از رابطه بین شاخص تغذیه نیتروژن با مقادیر عدد کلروفیل‌سنج قوی‌تر است. بیشترین همبستگی (r=۰/۹۳**) در مرحله حداکثر پنجه‌زنی،آبستنی (r=۰/۹۵*) و ظهور خوشه (r=۰/۸۸*) به ترتیب مربوط به برگ چهارم، سوم و سوم بود. این در حالی است که کمترین همبستگی ۰/۴۵*، ۰/۸۰* و ۰/۴۰* در تمامی مراحل مربوط به برگ اول و به ترتیب در مرحله حداکثر پنجه‌زنی ،آبستنی و ظهور خوشه به ثبت رسید. این یافته‌ها با گزارش Zhao *et al.* (2018) در یک راستا بود. در مرحله حداکثر پنجه‌زنی، با هر واحد افزایش در عدد کلروفیل‌سنج نسبی، تغییرات بیشتری در شاخص تغذیه نیتروژن برگ اول و دوم (شیب خط به‌ترتیب ۵/۲۹ و ۵/۱۷) نسبت به برگ‌های سوم و چهارم (شیب خط ۳/۷۵ و ۳/۱۶) دیده شد. به‌نظر می‌رسد همانند رابطه اعداد کلروفیل‌سنج و شاخص تغذیه نیتروژن، برگ‌های کامل شده از نظر فیزیولوژیک مانند برگ سوم و چهارم در مقایسه با برگ‌های در حال کامل شدن مانند برگ دوم دچار محدودیت تغذیه‌ای نیستند و کمتر دچار تغییرات می‌شوند (Yang *et al.* 2014, Jiang *et al.* 2012).

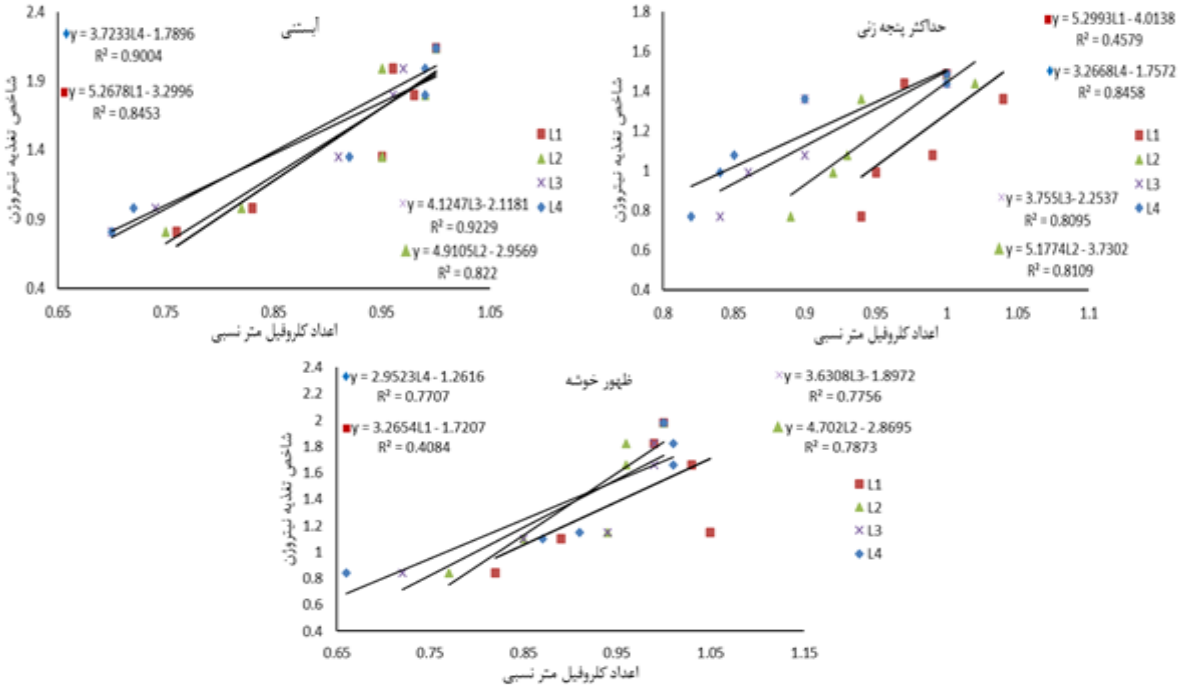
بالاترین همبستگی بین اعداد کلروفیل‌سنج نسبی و شاخص تغذیه نیتروژن در مرحله آبستنی و برگ سوم (r=۰/۹۶**) دیده شد. نتایج برازش شاخص تغذیه نیتروژن با اعداد کلروفیل‌سنج نسبی نشان داد که رابطه افزایشی بین این دو شاخص برقرار است (شکل ۶). نتایج نشان دهنده رابطه قوی‌تری در مرحله آبستنی بود. در مرحله آبستنی تغییرات در برگ اول بیشتر و معادل ۵/۲۶ واحد به ازای افزایش هر واحد عدد کلروفیل‌سنج نسبی بود و در سایر برگ‌ها (دوم، سوم و چهارم) میزان تغییرات کمتر بود. بر اساس نتایج بدست آمده، حساسیت برگ‌های سوم و چهارم نسبت به وضعیت نیتروژن برنج کمتر بوده و می‌توان از آن به عنوان یک روش تشخیص وضعیت نیتروژن گیاه برنج استفاده کرد. در این رابطه Yang *et al.* (2014) مقادیر عدد کلروفیل‌سنج برگ چهارم را بهترین شاخص وضعیت نیتروژن گیاه برنج و بهترین مکان اندازه‌گیری تحت شرایط عملکرد بالا و مصرف زیاد کود نیتروژن اعلام کردند.

همچنین نتایج این آزمایش نشان داد که رابطه اعداد کلروفیل‌سنج نسبی با شاخص تغذیه نیتروژن در مرحله ظهور خوشه نسبت به دو مرحله قبل، هم از شیب ملایم‌تر و هم همبستگی ضعیف‌تری برخوردار است (شکل ۶). به‌نظر می‌رسد با ورود گیاه به مرحله زایشی و انتقال عناصر از برگها به بخش زایشی تغییرات نیتروژن را تحت تاثیر قرار داده و از شیب این رابطه می‌کاهد. این نتیجه با یافته‌های Yang *et al.* (2018) در یک راستا بود که گزارش کرد شیب منحنی برازش شده بین اعداد کلروفیل‌سنج نسبی رابطه نزدیک‌تری با شاخص تغذیه نیتروژن دارد و از مرحله حداکثر پنجه‌زنی (۴/۵۹)، آبستنی (۴/۴۷) و ظهور خوشه (۴/۲۶) از روندی کاهشی برخوردار بوده و ضریب همبستگی نیز از روندی مشابه تبعیت می‌کند (به ترتیب ۰/۷۷، ۰/۷۳ و ۰/۶۶). یافته‌های این پژوهش بر این نکته تاکید دارند که هرچند شیب خط رگرسیون شاخص تغذیه نیتروژن در مراحل مختلف رشد و موقعیت برگ روی بوته، تفاوت داشت، با این حال نتایج نشان می‌دهد

که مراحل رشدی و موقعیت برگ روی بوته، عوامل مهمی هستند که روی مقادیر عدد کلروفیل‌سنج و اعداد کلروفیل‌سنج نسبی تاثیر می‌گذارند (Wang *et al*., 2006; Yang *et al*., 2014). برای کاهش این اثرات، تلاش شد در مراحل مختلف رشد گیاه برنج قوی‌ترین میزان رابطه بین شاخص تغذیه نیتروژن و مقادیر عدد کلروفیل‌سنج و اعداد کلروفیل‌سنج نسبی به عنوان مبنای تصمیم‌گیری در نظر گرفته شود. براین اساس نتایج نشان داد که رابطه رگرسیونی بین شاخص تغذیه نیتروژن و مقادیر عدد کلروفیل‌سنج برگ سوم (R^2=۰/۹۰) و اعداد کلروفیل‌سنج نسبی برگ سوم (R^2=۰/۹۲) در مرحله آبستنی می‌تواند بهترین گزینه باشد.



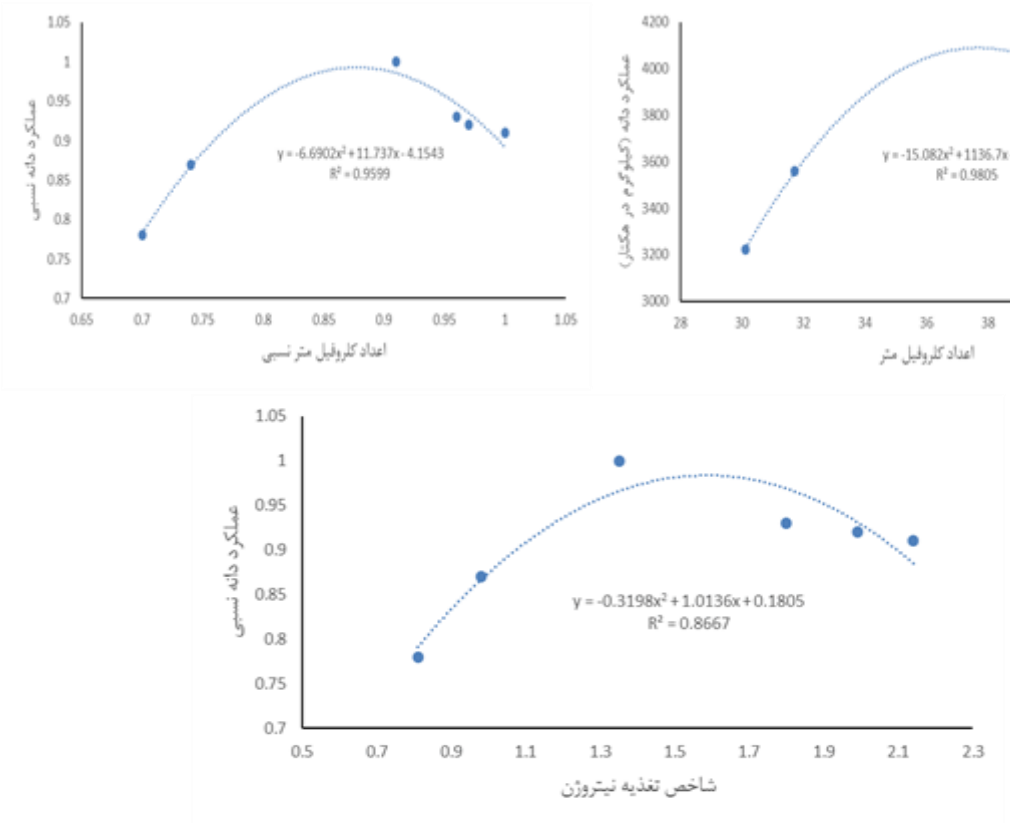
شکل ۵-رابطه رگرسیونی بین شاخص تغذیه نیتروژن و مقادیر عدد کلروفیل‌سنج در سه مرحله رشد گیاه در موقعیت‌های مختلف برگ در برنج رقم گیلانه



شکل ۶-رابطه رگرسیونی بین شاخص تغذیه نیتروژن و اعداد کلروفیل‌سنج نسبی در سه مرحله رشد گیاه و موقعیت‌های مختلف برگ در برنج رقم گیلانه

ارتباط بین مقادیر عدد کلروفیل‌سنج با عملکرد دانه، اعداد کلروفیل‌سنج نسبی و شاخص تغذیه نیتروژن با عملکرد نسبی دانه

با توجه به این نکته که رابطه رگرسیونی بین شاخص تغذیه نیتروژن و مقادیر عدد کلروفیل‌سنج برگ سوم (R^2=۰/۹۰) و اعداد کلروفیل‌سنج نسبی برگ سوم (R^2=۰/۹۲) در مرحله آبستنی به علت رابطه قوی‌تر می‌تواند بهترین گزینه برای ارزیابی و تصمیم‌گیری در خصوص عملکرد باشد در نتیجه بین عملکرد دانه و مقادیر عدد کلروفیل‌سنج و اعداد کلروفیل‌سنج نسبی برگ سوم در مرحله آبستنی منحنی و معادله آن برازش داده شد. نتایج نشان داد که بین عملکرد دانه و مقادیر عدد کلروفیل‌سنج برگ سوم در مرحله آبستنی همبستگی مثبت و بسیار قوی وجود دارد. رابطه بین عملکرد دانه و مقادیر عدد کلروفیل‌سنج برگ سوم در مرحله آبستنی به صورت تابع درجه دوم بود که ۹۸ درصد تغییرات را توجیه می‌کرد. روند منحنی‌های بر پایه رشد که رابطه عنصر و عملکرد را نشان می‌دهد از سه بخش افزایشی، تقریبا ثابت و کاهشی برخوردار بود. (شکل ۷). در واقع با افزایش اعداد کلروفیل‌سنج برگ سوم در مرحله آبستنی تا مقدار ۳۹/۳، بیشترین عملکرد دانه (۴۰۸۳ کیلوگرم در هکتار) بدست آمد که حاکی از این است که در مقادیر پایین‌تر از این عدد، کودپاشی منجر به افزایش عملکرد شده و در بالاتر از آن کاربرد کود نیتروژن هیچ افزایشی در عملکرد ایجاد نمی‌کند. رابطه بین اعداد کلروفیل‌سنج نسبی و عملکرد نسبی دانه به صورت تابع درجه دوم تبیین شد که نشان دهنده ۹۵ درصد تغییرات بود. تغییرات ابتدا به صورت افزایشی و سپس کاهشی بود. بالاترین عملکرد نسبی دانه (۱) زمانی بدست آمد که عدد کلروفیل‌سنج نسبی ۰/۹۱ بود. رابطه رگرسیونی بین شاخص تغذیه نیتروژن و عملکرد نسبی دانه نشان دهنده ۸۶ درصد تغییرات بود (شکل ۷). روند تغییرات مشابه روابط قبلی بود. بیشترین عملکرد نسبی دانه (یک) زمانی حاصل شد که شاخص تغذیه نیتروژن در مرحله آبستنی ۱/۳۵ بود. این یافته بر این نکته تاکید دارد که با توجه به کودپذیری بیشتر ارقام اصلاح شده (گیلانه در این پژوهش) نسبت به ارقام محلی، عدد یک بسیار شکننده است.در این خصوص نتایج مشابهی برای ذرت و برنج گزارش شده است (Ziadi *et al*., 2008; Yang *et al*., 2014)



شکل ۷- رابطه رگرسیونی بین عملکرد دانه و مقادیر عدد کلروفیل‌سنج، عملکرد نسبی دانه با اعداد کلروفیل‌سنج نسبی و عملکرد نسبی دانه با شاخص تغذیه نیتروژن در برگ سوم در مرحله آبستنی در برنج رقم گیلانه

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد بیشترین عملکرد دانه برنج رقم گیلانه در تیمار ۱۲۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به دست آمد (۴۰۸۲ کیلوگرم در هکتار) و شاخص تغذیه نیتروژن در سه مرحله حداکثر پنجه‌زنی، آبستنی و ظهور خوشه در تیمار ۱۲۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار

(۱/۰۸، ۱/۳ و ۱/۱۵) این موضوع را تأیید می‌کند که مقدار مصرف نیتروژن در این مراحل مطلوب بوده است. مقادیر عدد کلروفیل‌سنج و کلروفیل‌سنج نسبی، همبستگی مثبتی با شاخص تغذیه نیتروژن داشتند. مقادیر عدد کلروفیل‌سنج و اعداد کلروفیل‌سنج نسبی برگ‌های سوم و چهارم بیشترین همبستگی را با شاخص تغذیه نیتروژن داشتند، از این‌رو می‌توان از آنها به عنوان شاخص مناسب جهت ارزیابی وضعیت نیتروژن گیاه برنج استفاده کرد. با توجه به وقت‌گیر بودن و هزینه بالای اندازه‌گیری شاخص تغذیه نیتروژن، می‌توان از مقادیر عدد کلروفیل‌سنج به عنوان مرجع استفاده نموده و با اندازه‌گیری مقادیر عدد کلروفیل‌سنج در مزرعه و مقایسه آنها با شاخص تغذیه نیتروژن، عملکرد دانه برنج را پیش‌بینی کرد. در این آزمایش رابطه نزدیکی بین مقادیر عدد کلروفیل‌سنج برگ سوم در مرحله آبستنی و عملکرد دانه مشاهده شد که می‌توان از آن جهت بررسی وضعیت و کمی‌سازی غلظت نیتروژن گیاه برنج در مرحله آبستنی و پیش‌بینی عملکرد دانه استفاده کرد.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

منابع

الهقلی‌پور، م.، م. کاوسی، ف. مجیدی، م.ر. یزدانی، ن. شرفی و ح. شفیعی ثابت. ۱۳۹۷. گیلانه رقم جدید برنج با زمینه ژنتیکی ارقام بومی ایرانی. نشریه علمی- ترویجی یافته‌تحقیقاتی در گیاهان زراعی و باغی ۷(۲): ۲۸۹-۲۷۷.

تقی‌زاده، م.، م. اصفهانی، ن. دواتگر، و ح. مدنی. ۱۳۸۷. تاثیر دور آبیاری و مقادیر مختلف نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج رقم طارم هاشمی در رشت. یافته‌های نوین کشاورزی. شماره ۴: ص ۳۶۴-۳۵۳.

فرجی، ف.، م. اصفهانی، م. کاوسی، م. نحوی و ب. ربیعی. ۱۳۹۰. اثر مصرف کود نیتروژن بر عملکرد دانه و راندمان تبدیل برنج رقم خزر. مجله علوم زراعی ایران. جلد سیزدهم. شماره ۱: ص ۷۷-۶۱.

موسوی، س.غ.، ا. محمدی، ر. برادران، م.ج. ثقه الاسلامی و ا. امیری. ۱۳۹۴. تاثیر مقادیر کود نیتروژن بر صفات مورفولوژیکی، عملکرد و اجزای عملکرد سه رقم برنج، نشریه پژوهش‌های زراعی ایران، جلد ۱۳: ص ۱۵۲-۱۴۶.

میرنیا، سید خلاق و محمدیان، محمد (۱۳۸۴). *برنج اختلالات عناصر غذایی مدیریت عناصر غذایی*. ساری: انتشارات دانشگاه مازندران. (میرنیا و محمدیان، ۱۳۸۴)

محمود سلطانی، شهرام؛ کاووسی، مسعود؛ شکری واحد، حسن؛ رضوی پور، تیمور؛ بابازاده، شهریار؛ شکوری کتیگری، مریم و محمدیان، محمد (۱۴۰۰). *تغذیه برنج*. رشت: موسسه تحقیقات برنج کشور. انتشارات رازنهان. (محمود سلطانی و همکاران، ۱۴۰۰).

نصیری، س.؛ اصغری، ج.؛ سمیع زاده، ح.؛ مرادی، پ. و شیرزاد، ف. ۱۳۹۲. بررسب علف کش‌های اگزادیارژیل و تیوبنکارت بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج رقم هاشمی.تحقیقات غلات. ۳(۴): ۳۰۷-۳۱۹.

REFERENCES

Allagholipour, M., Majidi, F., Yazdani, M.R., Sharafi, K., and H. Shafiisabet. 2018. Gilaneh, a New Rice Cultivar with Origin of Iranian Landrace Varieties. Reasech Achievments for field and horticulture crops. 7(2): 277-289. (In Persian)

Ata-Ul-Karim, S.T., X. Liu, Z. Lu, H. Zheng, W. Cao and Y. Zhu. 2017. Estimation of nitrogen fertilizer requirement for rice crop using critical nitrogen dilution curve. Field Crops Research. 201: 32-40.

Ata-Ul-Karim, S.T., X. Yao, X. Liu, W. Cao and Y. Zhu. 2013. Development of critical nitrogen dilution curve of Japonica rice in Yangtze River Reaches. Field Crops Research. 149: 149-158.

Bélanger, G., J. Walsh, J. Richards, P. Milburn and N. Ziadi. 2001. Critical nitrogen curve and nitrogen nutrition index for potato in eastern Canada. American Journal of Potato Research. 78: 355-364.

Chen, X.P., Z.L. Cui, P.M. Vitousek, K.G. Cassman, P.A. Matson, J.S. Bai, Q.F. Meng, P. Hou, S.C. Yue, V. Römheld. 2011. Integrated soil–crop system management for food security. Proceedings of the National Academy of Sciences. 108(16): 6399-6404.

Colnenne, C., J. Meynard, R. Reau, E. Justes and A. Merrien. 1998. Determination of a critical nitrogen dilution curve for winter oilseed rape. Annals of Botany. 81: 311-317.

Debaeke, P., P. Rouet and E. Justes. 2006. Relationship between the normalized SPAD index and the nitrogen nutrition index: application to durum wheat. Journal of Plant Nutrition,29(1): 75-92.

Dordas, C. 2017. Nitrogen Nutrition Index and leaf chlorophyll concentration and its relationship with Nitrogen Use Efficiency in barley (*Hordeum vulgare* L.). Journal of Plant Nutrition. 40 (8): 1190-1203.

Dordas, C.A., A.S. Lithourgidis, T.H. Matsi and N. Barbayiannis. 2008. Application of liquid cattle manure

and inorganic fertilizers affect dry matter, nitrogen accumulation, and partitioning in maize. Nutrient Cycling in Agroecosystems. 80: 283-296.

Faraji, F., Esfahani, M., Kavoosi, M., Nahvi, M. and Rabiei, B., 2011. Effect of nitrogen fertilizer application on grain yield and milling recovery of rice (*Oryza sativa cv. Khazar*). Iranian Journal of Crop Sciences. 13(1): 61-77. (In Persain)

Gastal, F., G. Lemaire, J.L. Durand and G. Louarn. 2015. Quantifying crop responses to nitrogen and avenues to improve nitrogen-use efficiency. Crop Physiology (Second Edition). 161-206. Elsevier.

Ge, T., S. Song, P. Roberts, D. L. Jones, D. Huang, and K. Iwasaki. 2009. Amino acids as a nitrogen source for tomato seedlings: the use of dual-labeled (13C, 15N) glycine to test for direct uptake by tomato seedlings. Environmental and Experimental Botany 66 (3):357–61. doi: 10.1016/j.envexpbot.2009.05.004.

Greenwood, D., G. Lemaire, G. Gosse, P. Cruz, A. Draycott and J. Neeteson. 1990. Decline in percentage N of C_3 and C_4 crops with increasing plant mass. Annals of Botany 66(4): 425-536.

Hussain, F., K. Bronson and S. Peng. 2000. Use of chlorophyll meter sufficiency indices for nitrogen management of irrigated rice in Asia. Agronomy Journal. 92(5): 875-879.

Hussain, F., K. Bronson, and S. Peng. 2000. Use of chlorophyll meter sufficiency indices for nitrogen management of irrigated rice in Asia. Agronomy Journal. 92(5): 875-879.

Islam, M.S., M. Bhuiya, S. Rahman and M. Hussain. 2009. Evaluation of SPAD and LCC based nitrogen management in rice (*Oryza sativa* L.). Bangladesh Journal of Agricultural Research, 34(4): 661-672.

Justes, E., B. Mary, J.M. Meynard, J. M. Machet and L. Thelier-Huché. 1994. Determination of a critical nitrogen dilution curve for winter wheat crops. Annals of Botany. 74: 397-407.

Kavoosi, M., and M. R. Yazdani. 2020. Effect of irrigation interval and nitrogen fertilizer rate on grain yield and yield components of rice (Oryza sativa L.) cv. Hashemi. Iranian Journal of Crop Sciences. 22(2):168-182.(In Persian)

Klute, A., 1986. Methods of Soil Analaysis. Part 1, Physical and Mineralogical Methods. Madison, Wisconsin, USA.

Lemaire, G. and J. Salette. 1984. Relationship between growth and nitrogen uptake in a pure grass stand. 1. Environmental effects [nitrogen nutrition, nitrogen content, allometric relations, variability between years, tall fescue]. Agronomie (France). 4: 423-430.

Lemaire, G., M.H. Jeuffroy and F. Gastal. 2008. Diagnosis tool for plant and crop N status in vegetative stage: Theory and practices for crop N management. European Journal of Agronomy. 28(4): 614-624.

Li, W., P. He and J. Jin. 2012. Critical nitrogen curve and nitrogen nutrition index for spring maize in North-East China. Journal of Plant Nutrition, 35(11): 1747-1761.

Mahmoud Soltani, S., Hossieni Chaleshtori, M., Tajaddodi Talab, K., Shokri Vahed, H. and Shakoori Katigari, M., 2021. Rice growth improvement, bio-fortification, and mitigation of macronutrient requirements through foliar application of zinc and iron-glycine chelate and zinc sulfate. Journal of Plant Nutrition, pp.1-10.

Mahmoud Soltani, S., Kavoosi, M., Shokrivahed, H., Razavipoor, T., Babazadeh, S., Shakouri Katigari, M., Mohammadian, M. 2021. Rice Nutrition. Rice Research Institute of Iran. 156 P. (In Persian)

Mannan, M., M. Bhuiya, H. Hossain and M. Akhand. 2010. Optimization of nitrogen rate for aromatic Basmati rice (*Oryza sativa* L.). Bangladesh Journal of Agricultural Research. 35(1): 157-165.

Mirnia, K. and, M. Mohamadian. 2005. Rice Nutrients Disorders and Management.Sari: MazandaranUniversity Publication. 436pp. (In Persian)

Moosavi, S.G., Mohamadi, O., Baradaran, R., Seghatoleslami, M.J. and E. Amiri. 2015. Effect of nitrogen fertilizer rates on morphological traits, yield and yield components of three cultivars of rice. Iranian Journal of Field Crops Research: 13(1):146-152.(In Persian)

Nasiri, S., Asghari, J., Samizadeh, H., Moradi, P. and Shirzad, F., 2013. Evaluation of oxadiargyl and thiobencarb herbicides efficacy on rice (Oryza sativa L.) yield and yield components. Cereal Research. 3(4): 307-319.(In Persian)

Page, A.L., Miller, R.H., and D.R. Keeney. 1982. Methods of Soil Analaysis. Part 2, Chemical and Microbiological Properties. Madison, Wisconsin, USA.

Peng, S., F. Garcia, R. Laza, A. Sanico, R. Visperas and K.G. Cassman. 1996. Increased N-use efficiency using a chlorophyll meter on high-yielding irrigated rice. Field Crops Research. 47(2): 243-252.

Peng, S., F.V. García, R.C. Laza and K.G. Cassman. 1993. Adjustment for specific leaf weight improves chlorophyll meter's estimate of rice leaf nitrogen concentration. Agronomy Journal. 85(5): 987-990.

Plénet, D. and G. Lemaire. 1999. Relationships between dynamics of nitrogen uptake and dry matter

accumulation in maize crops. Determination of critical N concentration. Plant and Soil. 216: 65-82.
Salahuddin, K., S. Chowdhury, S. Munira, M. Islam and S. Parvin. 2009. Response of nitrogen and plant spacing of transplanted Aman Rice. Bangladesh Journal of Agricultural Research. 34(2): 279-285.
Scharf, P.C., S.M. Brouder and R.G. Hoeft. 2006. Chlorophyll meter readings can predict nitrogen need and yield response of corn in the north-central USA. Agronomy Journal,98(3): 655-665.
Sheehy, J., M. Dionora, P. Mitchell, S. Peng, K. Cassman, G. Lemaire and R. Williams. 1998. Critical nitrogen concentrations: implications for high-yielding rice (*Oryza sativa* L.) cultivars in the tropics. Field Crops Research. 59: 31-41.
Sheehy, J., M. Dionora, P. Mitchell, S. Peng, K.G. Cassman, G. Lemaire and R. Williams. 1998. Critical nitrogen concentrations: implications for high-yielding rice (*Oryza sativa* L.) cultivars in the tropics. Field Crops Research. 59: 31-41.
Sheehy, J., M. Dionora, P. Mitchell, S. Peng, K.G. Cassman, G. Lemaire and R.Williams. 1998. Critical nitrogen concentrations: implications for high-yielding rice (*Oryza sativa* L.) cultivars in the tropics. Field Crops Research. 59: 31-41.
Taghizadeh, M.,Esfehani, M., Davatgar, N. and H. Madani. 2008. Effect of irrigation interval and nitrogen fertilizer rate on grain yield and yield components of rice (Oryza sativa L.) cv. Tarom Hashemi in Rasht. New Findings in Agriculture. 2(4):354-364.(In Persian)
Tei, F., P. Benincasa and M. Guiducci. 2002. Critical nitrogen concentration in processing tomato. European Journal of Agronomy. 18: 45-55.
Tonini, A. and Cabrera, E. 2011. Opportunities for global rice research in a changing world (No. 2215-2019-1630).
Ulrich, A. 1952. Physiological bases for assessing the nutritional requirements of plants. Annual Review of Plant Physiology. 3(1): 207-228.
Wang, S., Y. Zhu, H. Jiang and W. Cao. 2006. Positional differences in nitrogen and sugar concentrations of upper leaves relate to plant N status in rice under different N rates. Field Crops Research, 96(2): 224-234.
Wang, W., X. Yao, X. Yao, Y. Tian, X. Liu, J. Ni, W. Cao and Y. Zhu. 2012. Estimating leaf nitrogen concentration with three-band vegetation indices in rice and wheat. Field Crops Research. 129: 90-98.
Yang, H., J. Yang, Y. Lv and J. He. 2014. SPAD values and nitrogen nutrition index for the evaluation of rice nitrogen status. Plant Production Science. 17: 81-92.
Yuan, Z., Q. Cao, K. Zhang, S.T. Ata-Ul-Karim, Y. Tian, Y. Zhu, W. Cao, X. Liu. 2016. Optimal leaf positions for SPAD meter measurement in rice. Frontiers in Plant Science. 7.
Yuan, Z., S.T. Ata-Ul-Karim, Q. Cao, Z. Lu, W. Cao, Y. Zhu and X. Liu. 2016. Indicators for diagnosing nitrogen status of rice based on chlorophyll meter readings. Field Crops Research. 185: 12-20.
Zhao, B., Z. Liu, S.T. Ata-Ul-Karim, J. Xiao, Z. Liu, A. Qi, D. Ning, J. Nan and A. Duan. 2016. Rapid and nondestructive estimation of the nitrogen nutrition index in winter barley using chlorophyll measurements. Field Crops Research. 185: 59-68.
Ziadi, N., M. Brassard, G. Bélanger, A. Claessens, N. Tremblay, A.N. Cambouris, M.C. Nolin and L.E. Parent. 2008. Chlorophyll Measurements and Nitrogen Nutrition Index for the Evaluation of Corn Nitrogen Status. Agronomy Journal. 100: 1264–1273.
Ziadi, N., M. Brassard, G. Bélanger, A.N. Cambouris, N. Tremblay, M.C. Nolin, A. Claessens and L.E. Parent. 2008. Critical nitrogen curve and nitrogen nutrition index for corn in eastern Canada. Agronomy Journal. 100(2): 271-276.

Determination of Nitrogen Requirement of Rice (*Oryza sativa* L. *cv* Guilaneh) Using Nitrogen Nutrition Index and Chlorophyll Meter

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Rice (*Oryza sativa* L.) is a strategic and leading staple food crop for more than 50% of the world's population. Also, the rice crop provides 15% of protein and 21% of dietary energy per capita, particularly in rice-growing areas, where 90% of the rice is produced and consumed. Nitrogen is the most driving force of rice growth, development, and grain yield production. Therefore, quick and acurate diagnosis of nitrogen deman of paddy fields can lead to accurate soil nutrition management and quaranty economic yield. Then Lemaire constructed the nitrogen nutrition index (NNI) (Lemaire et al., 1996) by calculating the ratio of the actual nitrogen content of plants to the corresponding critical nitrogen concentration to make better use of the necessary nitrogen concentration curve in nitrogen nutrition diagnosis. To fulfill this research gape for the newly released rice cultivar (Guilaneh), the current method of estimation N requirement compared with the nitrogen nutrition index and chlorophyll meter at the research field.

Materials and Methods

A Field experiment was conducted as a randomized complete block design with three replications on the newly released rice cultivar (Guilanef) in the research field of the Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran in 2016. Experimental treatments consisted of six nitrogen fertilizer levels (0, 60, 120, 180, 240, and 300 kg N. ha-1; Urea source). The relationship between nitrogen nutrition index and chlorophyll-meter readings at three stages of plant growth (maximum tillering, booting, and heading) to predict grain yield in response to nitrogen fertilizer were calculated.

Results

Evaluation of the relationship between nitrogen nutrition index and chlorophyll-meter readings at three stages of plant growth (maximum tillering, booting, and heading) to predict grain yield in response to nitrogen fertilizer showed that the equation of the critical nitrogen concentration in Guilaneh was $N_c = 3.99W^{-0.36}$. The correlation between chlorophyll-meter readings and nitrogen nutrition index was positive and significant at each plant growth stage. The results showed that the mature lower leaves were more sensitive than younger higher leaves in response to nitrogen fertilizer and were more suitable for detecting plant nitrogen status, especially during the booting and heading stages. The highest correlation was found between the nitrogen nutrition index and chlorophyll-meter (r=0.95*) and relative chlorophyll-meter (the ratio of chlorophyll-meter readings in each treatment to nitrogen saturated treatment) (r=0.96**) in the third leaf and booting stage.

Conclusion

The overall results of this experiment showed that the nitrogen nutrition index and chlorophyll meter may consider reliable indicators for evaluating the nitrogen status of rice (cv. Guilaneh) during the growing season. To effectively improve the estimation accuracy of the NNI estimation model, providing a new approach for improving NNI estimation methods based on more climate condition and other rice varieties is needed.

Keywords: Critical Nitrogen Concentration, Heading, Leaf Chlorophyll, Rice (Guilaneh Cultivar), Yield.