تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۴۹، شماره ۵، آذر و دی ۱۳۹۷ (ص ۱۲۰۰-۱۱۸۹) DOI: 10.22059/ijswr.2018.249911.667830

Monitoring Nitrogen Nutrition Index to Improve Fertilizer Use Efficiency

ARASH RANJBAR[1], ALI RAHIMIKHOOB[2*], HAMED EBRAHIMIAN[3], MARYAM VARAVIPOUR[4]

1. Former Graduated Student, Irrigation and Drainage, College of Aburaihan, University of Tehran, Tehran, Iran
2. Professor, Department of Irrigation and Drainage Engineering, College of Aburaihan, University of Tehran, Tehran, Iran
3. Associate professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
4. Associate Professor, Department of Irrigation and Drainage Engineering, College of Aburaihan, University of Tehran, Tehran, Iran

(Received: Jan. 13, 2018- Revised: Feb. 26, 2018- Accepted: Feb. 28, 2018)

ABSTRACT

The nitrogen (N) consumption management during the plant growth season plays an important role in achieving maximum crop yield and reducing environmental hazards. Determination of N nutrition index (NNI) is one of the methods for diagnosing plant N status. The main objective of this study was to investigate the role of monitoring NNI in improving nitrogen consumption management. The field experiment was carried out during the growth period of summer maize in Pakdasht region, southeast of Tehran, in 2015 and 2016. Grain yield, dry matter and nitrogen concentration of crop samples from seven treatments including: 0 (N0), 50 (N1), 100 (N2), 150 (N3), 200 (N4), 250 (N5) and 300 kg N. ha^{-1} (N6) were measured during the growing season. The results showed that NNI monitoring during the growing season could show the variation of N status in different treatments. In addition, NNI was closer to one in the optimal treatment (N4), which produced maximum dry matter with less N application, as compared with other treatments. Moreover, the relative grain yield decreased with a constant rate whenever the NNI was less than one. Agronomy and recycling efficiencies for the N4 treatment were higher than the ones in the other treatments. Water use efficiency of N4, N5 and N6 treatments in both cultivation years was almost equal and more than the ones of other treatments. These results indicated that the water and nitrogen use efficiencies were higher in treatment with NNI closer to 1 (optimal treatment) as compared to other treatments.

Keyword: Maize, water use efficiency, nitrogen use management.

* Corresponding Author's Email: akhob@ut.ac.ir

بهبود کارآیی مصرف کود با پایش شاخص تغذیه نیتروژن

آرش رنجبر[۱]، علی رحیمی خوب*[۲]، حامد ابراهیمیان[۳] و مریم وراوی پور[۴]

۱. دانش‌آموخته دکتری، گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۲. استاد، گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران ، تهران، ایران

۳. دانشیار، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

۴. دانشیار، گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۲۳/ ۱۰/ ۱۳۹۶- تاریخ بازنگری: ۷/ ۱۲/ ۱۳۹۶- تاریخ تصویب: ۹/ ۱۲/ ۱۳۹۶)

چکیده

مدیریت مصرف نیتروژن (N) در طول فصل رشد گیاه، نقش مهمی در دستیابی به حداکثر عملکرد و کاهش مخاطرات زیست محیطی دارد. تعیین شاخص تغذیهٔ نیتروژن (NNI) یکی از روش‌های تشخیص شرایط نیتروژنی گیاه می‌باشد. هدف از این پژوهش بررسی نقش پایش NNI در بهبود مدیریت مصرف نیتروژن بود. آزمایش مزرعه‌ای در طول دوره رشد ذرت تابستانه در پاکدشت تهران طی سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ انجام شد. پارامترهای عملکرد دانه، ماده خشک گیاه و غلظت نیتروژن موجود در آن‌ها از هفت تیمار صفر (N0)، ۵۰(N1)، ۱۰۰(N2)، ۱۵۰ (N3)، ۲۰۰(N4)، ۲۵۰(N5) و ۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (N6) در طول فصل رشد اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که پایش NNI در طول فصل رشد قادر است تغییرات شرایط نیتروژنی گیاه در تیمارهای مختلف را نشان دهد. NNI در تیمار بهینه (N4) که بیشترین عملکرد را به ازای مقدار نیتروژن کمتری تولید کرده بود از سایر تیمارها به یک نزدیکتر بود. همچنین، عملکرد نسبی دانه زمانی که NNI کوچکتر از یک می‌شد با شیب ثابت کاهش می‌یافت. مقدار کارایی زراعی و بازیافت نیتروژن در N4 نسبت به سایر تیمارها بیشتر بود. کارایی مصرف آب در N4، N5 و N6 در هر دو سال کشت، تقریباً با یکدیگر برابر و بیشتر از سایر تیمارها بودند. این نتایج نشان می‌دهند که کارایی مصرف آب و نیتروژن در تیمار بهینه که NNI نزدیک‌تری به یک داشت بیشتر از سایر تیمارها بود.

واژه‌های کلیدی: ذرت، کارایی مصرف آب، مدیریت مصرف نیتروژن

مقدمه

نیتروژن (N) یکی از عناصر شیمیایی پر مصرف است که بعد از آب، عملکرد محصولات کشاورزی را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد و کمبود هر کدام بر روی دیگری تأثیر بسزایی دارد. لیکن بعضی مواقع کودهای نیتروژنه بی‌رویه مورد استفاده قرار می‌گیرند. چنانچه نیتروژن در زمان نامناسب و بیش از نیاز گیاه مصرف شود، موجب افزایش غلظت نیترات در خاک می‌گردد. بدین ترتیب خطر آبشویی نیترات و آلودگی منابع آب افزایش خواهد یافت (Gheysari *et al*., 2009a). همین نکته باعث افزایش غلظت نیترات محلول در منابع آب‌های مناطق کشاورزی در اغلب کشورها شده است (Fageria and Baligar, 2005). به همین دلیل بیش از دو دهه است که مطالعات گسترده‌ای روی روش‌های تعیین نیاز نیتروژنی گیاه به منظور افزایش کارآیی مصرف آن انجام شده است. تأمین نیتروژن مورد نیاز گیاه در طول فصل رشد علاوه بر بهبود عملکرد محصول، می‌تواند منجر به ارتقاء کارآیی مصرف آب نیز بشود. به عبارت دیگر چنانچه نیاز آبی گیاه به طور کامل تأمین شود اما تحت تنش نیتروژنی قرار گیرد کماکان از رشد پتانسیل باز می‌ماند و نمی‌تواند حداکثر عملکرد خود را داشته باشد (Gheysari *et al*., 2009b). از نقطه نظر علمی، نیاز گیاه به نیتروژن در طول دو مرحله رشد رویشی و زایشی متفاوت است (Plenet and Lemaire, 2000). نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که پایش NNI[1] روشی مؤثر در تشخیص زمان و مقدار مناسب کاربرد نیتروژن مورد نیاز گیاه است (Lemaire and Meynard, 1997; Ata-Ul-Karim *et al*., 2014).

NNI از نسبت غلظت واقعی نیتروژن (N) به غلظت نیتروژن بحرانی (Nc) در گیاه و رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$NNI = \frac{N}{N_c}$$ (رابطه ۱)

* نویسنده مسئول: akhob@ut.ac.ir

1 - Nitrogen Nutrition Index

و منظور از غلظت نیتروژن بحرانی در این رابطه، حداقل غلظت نیتروژن مورد نیاز در اندام هوایی گیاه است که منجر به تولید حداکثر اندام هوایی در زمان معینی از دوره رشد می‌شود (Greenwood *et al*, 1990). مقادیر NNI بیشتر از یک معرف مصرف بیش از حد و کمتر از یک معرف کمبود نیتروژن در گیاه است. مقادیر نزدیک به یک نیز حاکی از کفایت غلظت نیتروژن در گیاه می‌باشند.

طی دو دهه گذشته، مطالعات متعددی در نقاط مختلف دنیا به منظور تعیین منحنی نیتروژن بحرانی محصولات مختلف کشاورزی و تعیین NNI در طول فصل کشت انجام شده است. Plenet and Lemaire (2000) معادله نیتروژن بحرانی برای کشت بهاره ذرت در فرانسه را ارائه دادند. نتایج مطالعه Ziadi *et al*. (2008) نشان دادند که منحنی نیتروژن بحرانی ارائه شده در فرانسه برای کشت ذرت در مناطق شرقی کانادا نیز معتبر است و NNI محاسبه شده بر اساس این منحنی با دقت مناسبی کمبود و ازدیاد نیتروژن را مشخص می‌کند. Li *et al*. (2012) در چین معادله‌ای نسبتاً متفاوت با آنچه در فرانسه و اروپا توسط Plenet and Lemaire (2000) برای منحنی نیتروژن بحرانی ذرت بهاره ارائه شده بود پیشنهاد دادند. هم‌چنین، Yue *et al*. (2014) نیز نشان دادند که منحنی نیتروژن بحرانی ارائه شده در اروپا دقت مناسبی برای تشخیص شرایط نیتروژنی ذرت تابستانه کشت شده در چین ندارد. نتیجه مطالعه آنها حاکی از این بود که برای تعیین NNI باید از معادله نیتروژن بحرانی که بر اساس نوع واریته گیاه و اقلیم هر منطقه واسنجی و صحت سنجی شده است، استفاده شود در حالی که هزینه و زمان زیادی برای تعیین پارامترهای غلظت واقعی و بحرانی نیتروژن صرف می‌شود. Zeinali *et al* (2013) NNI شانزده مزرعه گندم در استان گلستان را با استفاده از رابطه نیتروژن بحرانی ارائه شده توسط Justes *et al* (1994) در شمال فرانسه ارزیابی کردند. هم‌چنین Behdadian *et al* (2013) با استفاده از رابطه نیتروژن بحرانی ارائه شده توسط Colnenne *et al* (1998) در فرانسه، اثرات مدیریت کود نیتروژن در مرحله گلدهی بر عملکرد کلزا در گرگان را ارزیابی کردند. Ranjbar (2017) برای اولین بار ضرایب معادله نیتروژن بحرانی برای کشت تابستانه ذرت را در منطقه پاکدشت واسنجی و صحت‌سنجی کرد و در نهایت معادله $Nc= 2.9\ W^{-0.27}$ برای این منظور ارائه شد. اما با استفاده از این معادله، NNI و وضعیت نیتروژنی کشت ذرت ارزیابی نشده است.

بدلیل کمبود ماده آلی در خاک اکثر مناطق ایران، به ناچار از کودهای شیمیایی نیتروژنه برای بهبود عملکرد گیاه استفاده می‌شود که معمولاً مصرف بی‌رویه آن باعث افزایش غلظت نیترات در آبخوان‌های مناطق کشاورزی شده است. این در حالی است که با مصرف بهینه نیتروژن علاوه بر بهبود عملکرد گیاه و کارآیی مصرف نیتروژن[1] (NUE)، هزینه‌های کشت نیز کاهش یافته و منابع آبی و محیط زیست کمتر در معرض آلودگی قرار خواهند گرفت. نتیجه مطالعه Dordas (2011) نشان داد که با افزایش نرخ کاربرد نیتروژن در کشت کتان، مقدار NNI افزایش می‌یابد در حالی که NUE کاهش خواهد داشت که به دلیل افزایش تلفات نیتروژن است. از طرف دیگر Hussain and Al-Jaloud (1995) گزارش دادند که تأمین نیتروژن مورد نیاز گیاه باعث افزایش کارآیی مصرف آب نیز خواهد شد.

فرضیه اصلی مطالعه حاضر این است که با پایش NNI در طول فصل رشد ذرت، علاوه بر مشخص شدن وضعیت نیتروژنی گیاه، مدیریت بهتر نیتروژن و به تبعیت از آن بهبود کارآیی مصرف آب در مزرعه امکان‌پذیرتر خواهد بود. با توجه به نکات اشاره شده، اهداف اصلی از این مطالعه عبارتند از ۱) پایش تغییرات NNI و نقش آن در تعیین تیمارهای بهینه کودی، ۲) مقایسه ضرایب کارآیی مصرف نیتروژن و آب در تیمارهای مختلف با NNI متفاوت در طول فصل رشد.

مواد و روش‌ها

آزمایش مزرعه‌ای

این تحقیق در مزرعه تحقیقاتی اراضی کشاورزی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران، واقع در پاکدشت تهران انجام شد. منطقه مورد مطالعه با ارتفاع ۱۰۲۰ متری از سطح دریا، از نظر جغرافیایی در طول ´۶۶ °۵۱ شرقی و عرض ´۴۶ °۳۵ شمالی واقع شده است. میانگین سالانه دمای هوای منطقه طی دهه گذشته در حدود ۱۹ درجه سانتی‌گراد بوده است که ماه‌های تیر و دی به ترتیب با ۳۴ و ۶/۸ درجه سانتی‌گراد بیشترین و کمترین میانگین دما را داشته‌اند. متوسط بارندگی در این منطقه ۱۶۵ میلی‌متر در سال می‌باشد و بر اساس طبقه‌بندی دومارتن دارای اقلیمی خشک است. در این آزمایش از گیاه ذرت دانه‌ای (رقم سینگل کراس ۷۰۴) در تاریخ ۱۰ خرداد ۱۳۹۴ و ۲۴ اردیبهشت ۱۳۹۵ به روش جوی و پشته کشت شد. تیمارها شامل هفت سطح صفر به عنوان شاهد (N0)، ۵۰ (N1)، ۱۰۰ (N2)، ۱۵۰ (N3)، ۲۰۰ (N4)، ۲۵۰ (N5) و ۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (N6) توسط کود اوره (حاوی ۴۶٪

1. Nitrogen Use Efficiency

نیتروژن) و به صورت طرح بلوک‌های تصادفی و با سه تکرار ایجاد شدند. این سطوح بر اساس آزمون خاک و آب قبل از کاشت، با استفاده از نمونه‌برداری در عمق‌های ۲۰-۰، ۴۰-۲۰ و ۶۰-۴۰ سانتی‌متری و مطابق با توصیه‌های مطالعات پیشین در زمینه تعیین منحنی نیتروژن بحرانی به گونه‌ای تعیین شدند که از مقادیر بسیار کم تا بسیار زیاد نیتروژن برای مصرف گیاه در تیمارها وجود داشته باشند (Plenet and Lemaire, 2000). نتایج متوسط پارامترهای بدست آمده از آنالیز خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه تحقیقاتی طی دو سال آزمایش به ترتیب در جدول (۱) ارائه شده است. در عمق پایین‌تر از ۶۰ سانتی‌متری خاک یک لایه سنگریزه وجود داشت. آب آبیاری نیز از چاه پردیس تأمین می‌شد. هم‌چنین بر اساس آزمون خاک قبل از کشت و مقادیر فسفر و پتاسیم موجود در آن مشخص شد که خاک هیچ‌گونه کمبودی از این عناصر ندارد.

نیتروژن مورد نیاز با استفاده از کود اوره تأمین شد و عملیات کوددهی به صورت سرک و طی سه نوبت در زمان‌های ۲۲، ۵۲ و ۶۵ روز بعد از کشت در سال زراعی ۱۳۹۴ و ۲۸، ۴۰ و ۶۶ روز بعد از کشت در سال زراعی ۱۳۹۵ انجام گرفت. روز-های مشخص شده برای کوددهی به ترتیب با مراحل ۷-۶ برگی، ابتدا یا اواسط ساقه رفتن و گلدهی همزمان بودند. به ترتیب ۴۰، ۳۰ و ۳۰ درصد از کل کود مشخص شده برای هر تیمار در هر سال زراعی طی هر نوبت کوددهی با دقت اندازه‌گیری می‌شد و بلافاصله بعد از اتمام آبیاری با پیمانه‌های معین در کف جویچه-ها به طور یکنواخت پخش می‌گشت تا در آب داخل جویچه‌ها حل شده و همراه با آب در خاک نفوذ کند. در نهایت کشت سال اول بعد از ۱۱۹ روز از تاریخ کاشت و کشت سال دوم بعد از ۱۱۵ روز از تاریخ کاشت برداشت شد.

برای هر کرت آزمایشی مساحتی حدود ۲۵ مترمربع در نظر گرفته شد. فاصله ردیف‌ها در هر کرت ۷۵ سانتی‌متر و فاصله بین هر گیاه در ردیف‌های کشت ۱۸ سانتی‌متر بود. عمق جویچه‌ها نیز ۲۰ سانتیمتر بود و انتهای فاروها بسته بود. برای جلوگیری از تأثیر کرت‌ها روی نتایج یکدیگر بین آنها از هر طرف حاشیه یک متری لحاظ گردید. به منظور تعیین زمان مناسب آبیاری تغییرات رطوبت خاک در طول فصل کشت با استفاده از روش انعکاس سنجی زمانی[1] (با دستگاه TDR) به طور مستمر قبل و بعد از آبیاری رصد می‌شد و بعد از اتمام میزان آب سهل‌الوصول (و رسیدن رطوبت خاک به حدود ۲۰ درصد حجمی) اقدام به آبیاری مجدد می‌گردید تا گیاه با هیچ-گونه تنش رطوبتی مواجه نشود. مقدار و زمان آبیاری با استفاده از اندازه‌گیری دبی حجمی و عمق آب آبیاری توسط پارامترهای رطوبت ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی خاک (جدول ۱) و با در نظر گرفتن ضریب مدیریتی مجاز آبیاری[2] (MAD) برای گیاه ذرت (۰/۵) محاسبه می‌گردید. شایان ذکر است که داده‌های هواشناسی مورد نیاز در این تحقیق از ایستگاه هواشناسی واقع در پردیس ابوریحان جمع‌آوری گردید.

جدول ۱. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی (متوسط دو سال)

پارامتر		عمق ۰ تا ۲۰ (cm)	عمق ۲۰ تا
جرم مخصوص ظاهری ($g.cm^{-3}$)		۱/۶۰	۱/۶۱
ظرفیت زراعی (درصد حجمی)		۲۶/۲	۲۶/۶
رطوبت پژمردگی (درصد حجمی)		۱۳/۰	۱۳/۳
نیتروژن کل (٪)		۰/۱	۰/۰۸
اسیدیته (pH)		۸/۱۰	۸/۰۰
شوری عصاره اشباع ($dS.m^{-1}$)		۲/۹۰	۳/۳۲
ماده آلی (٪)		۱/۴۱	۰/۸۵
بافت خاک		لوم	لوم
درصد ذرات خاک	رس	۱۳/۶	۱۳/۶
	سیلت	۳۴/۶	۳۶/۶
	شن	۵۱/۸	۴۹/۸

نمونه‌برداری و عملیات آزمایشگاهی

نمونه‌های گیاهی در سال اول آزمایش به ترتیب در روزهای ۲۶، ۴۵، ۶۳، ۷۵، ۸۷ و ۱۱۹ بعد از کاشت و در سال دوم به ترتیب در روزهای ۳۲، ۴۹، ۵۹، ۸۰، ۹۰ و ۱۱۵ بعد از کاشت جمع‌آوری شدند. در هر مرحله نمونه‌برداری شش گیاه از ردیف-های میانی هر کرت آزمایشی انتخاب و از سطح خاک بریده می‌شدند و بعد از انتقال سریع به آزمایشگاه در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک می‌شدند. فرآیند خشک شدن در آون تا جایی که وزن نمونه‌ها به ثبات می‌رسید ادامه داشت. سپس نمونه‌ها وزن شده و آسیاب می‌گشتند. علاوه بر این، با استفاده از روش استاندارد کجلدال (Horowitz, 1970) میزان نیتروژن کل آن‌ها اندازه‌گیری می‌شد. در نهایت داده‌های شامل وزن خشک (W) و غلظت نیتروژن (%N) برای نمونه‌های برداشت شده از کل تیمارها اندازه‌گیری گردید و تغییرات آن‌ها طی فصل رشد و اثرات سطوح مختلف کود بر روی آن‌ها بررسی شد.

1. Time-Domain Reflectometer

2. Management Allowed Depletion

محاسبه NNI

با استفاده از معادله نیتروژن بحرانی ارائه شده برای ذرت در منطقه (Ranjbar *et al*., 2017b) $Nc = 2.9\ W^{-0.27}$، %Nc برای تیمارهای مختلف در هر مرحله از نمونه‌برداری طی دو سال آزمایش تعیین گردید. از پارامترهای N و Nc طبق رابطه (۱) برای محاسبه NNI در کلیه نمونه‌برداری‌ها استفاده شد. شایان ذکر است که فرآیند تجزیه واریانس (ANOVA) و تحلیل آماری داده‌ها به کمک نرم‌افزار SAS و Excel صورت گرفت. برای مقایسه میانگین نیز از آزمون LSD (حداقل اختلاف معنی‌داری) استفاده شد.

هم‌چنین تیمار بهینه کودی (Nopt) که عبارت است از تیماری که علی‌رغم دریافت کود کمتر عملکردش (Wopt) تفاوت معنی‌داری از نظر آماری با حداکثر عملکرد (Wmax) ندارد تعیین شد. سپس تغییرات NNI برای تیمار بهینه و سایر تیمارهای مختلف در طول فصل بررسی گردید تا نقش معادله ترقیق نیتروژن بحرانی در مدیریت زمان و مقدار مصرف کود در مزرعه بیشتر مشخص شود. علاوه بر این شاخص‌های مربوط به کارآیی مصرف آب و کود در مزرعه برای تیمارهای مختلف بررسی شدند.

محاسبه کارآیی مصرف آب[1] (WUE)، کارآیی زراعی[2] (AE) و کارآیی بازیافت[3] (RE) مواد مغذی خاک

برای تعیین کارآیی مصرف آب و نیتروژن در تیمارهای مختلف و مقایسه کمّی آن‌ها با یکدیگر از شاخص‌های WUE، AE و RE استفاده گردید. WUE از جمله شاخص‌های مهم در تعیین کارآیی استفاده از آب جهت تولید محصولات کشاورزی در سیستم کشاورزی پایدار می‌باشد. این شاخص عبارت است از نسبت ماده خشک محصول به مقدار آب مصرفی و به صورت رابطه زیر نمایش داده می‌شود:

$$WUE = \frac{W}{I}$$ (رابطه ۲)

که در آن W ماده خشک محصول (kg) و I مقدار آب مصرفی (m^3) می‌باشد. شاخص AE نیز یکی از شاخص‌های پر کاربرد برای مدیریت مصرف نیتروژن می‌باشد که نسبت میزان افزایش عملکرد را به ازای واحد نیتروژن مصرف شده بیان می‌کند و به صورت زیر محاسبه می‌گردد (Dobermann, 2007):

$$ANE = \frac{W_{GN} - W_{GO}}{N_F}$$ (رابطه ۳)

که در آن W_{GN}، عملکرد دانه ($kg.ha^{-1}$) در کرتی که کود نیتروژن دریافت کرده است، W_{GO} عملکرد دانه ($kg.ha^{-1}$) در کرتی که هیچ کود نیتروژنی دریافت نکرده است و N_F مقدار کود نیتروژن مصرف شده ($kg.ha^{-1}$) می‌باشد. علاوه بر این، شاخص پر اهمیت دیگری به نام کارآیی بازیافت نیتروژن یا REبه منظور مدیریت مصرف نیتروژن در سطح مزرعه وجود دارد که می‌تواند میزان آبشویی و اثرات منفی زیست محیطی کودهای نیتروژنی را نشان دهد. این شاخص به صورت زیر محاسبه می‌شود (Dobermann, 2007):

$$RE = \frac{N_G - N_{GO}}{N_F}$$ (رابطه ۴)

که در آن N_G مقدار نیتروژن موجود در دانه ($kg.ha^{-1}$) در کرت دریافت کننده نیتروژن، N_{GO} مقدار نیتروژن موجود در دانه ($kg.ha^{-1}$) در کرتی که هیچ کود نیتروژنی دریافت نکرده است و N_F مقدار کود نیتروژن مصرف شده ($kg.ha^{-1}$) می‌باشد.

به منظور محاسبه و مقایسه شاخص‌های WUE، AE و RE در تیمارهای مختلف، در زمان برداشت در هر دو سال کشت، از هر تیمار مقادیر ماده خشک تولیدی و عملکرد دانه اندازه‌گیری شد و هدف از آن بررسی تغییرات این شاخص‌ها در نتیجه کاربرد مقادیر مختلف نیتروژن در این مطالعه بود. این مقادیر به همراه حجم کل آب و نیتروژن مصرفی به منظور محاسبه WUE، AE و RE بکار گرفته شدند (Dobermann, 2007).

نتایج و بحث

اثر کود بر تولید ماده خشک، عملکرد دانه و غلظت نیتروژن دانه

نتایج بررسی اثر کود بر محصول ماده خشک و عملکرد دانه در تیمارهای مختلف نشان داد که در دو سال آزمایش، اثر تکرار تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد از نظر آماری نداشت. علاوه بر این، اثر کاربرد مقادیر مختلف نیتروژن در محصول ماده خشک و عملکرد دانه در سطح یک درصد معنی‌دار بود که نتایج تجزیه واریانس آن در جداول (۲) و (۳) ارائه شده است. هم‌چنین در طول فصل رشد برای هر دو سال، اثر کاربرد سطوح مختلف نیتروژن بر غلظت نیتروژن موجود در ماده خشک و دانه تولیدی (در سطح ۵ درصد) معنی‌دار بود که جداول مربوطه در اینجا نمایش داده نشده است؛ اما نتایج حاکی از آن بود که افزایش کاربرد کود نیتروژن تأثیر معنی‌داری (در سطح ۵ درصد) از نظر آماری بروی غلظت نیتروژن موجود در دانه و ماده خشک تولیدی دارد.

1. Water use efficiency
2. Agronomic efficiency of applied nutrient
3. Apparent crop recovery efficiency

جدول ۲. تجزیه واریانس تأثیر تیمارها بر تولید ماده خشک گیاه و دانه در کشت اول (سال ۱۳۹۴)

منبع تغییرات	درجه آزادی	روز نمونه‌برداری						
		۲۶	۴۵	۶۳	۷۵	۸۷	۱۱۹	دانه
تیمار	۶	۰/۰۲۸**	۳/۴۱۰**	۶/۹۶۲**	۱۷/۵۷۱**	۴۰/۵۸۶**	۷۸/۵۲۸**	۲۶/۷۹۳**
تکرار	۲	۰/۰۲۹^{ns}	۰/۰۱۱^{ns}	۰/۶۶۸^{ns}	۲/۱۴۰^{ns}	۰/۴۱۰^{ns}	۱/۴۲۰^{ns}	۰/۶۰۳^{ns}
خطا	۱۲	۰/۰۰۳	۰/۳۷۳	۰/۲۸۱	۰/۰۸۹	۰/۵۷۰	۰/۹۱۰	۰/۹۷۱
ضریب تغییرات (٪)		۱۴/۲۷۵	۱۵/۲۱۸	۶/۳۲۶	۲/۶۳۰	۵/۰۱۶	۴/۷۴۱	۱۲/۶۶۴

* در سطح ۵ درصد معنی‌دار است ** در سطح ۱ درصد معنی‌دار است ns: از نظر آماری معنی‌دار نیست

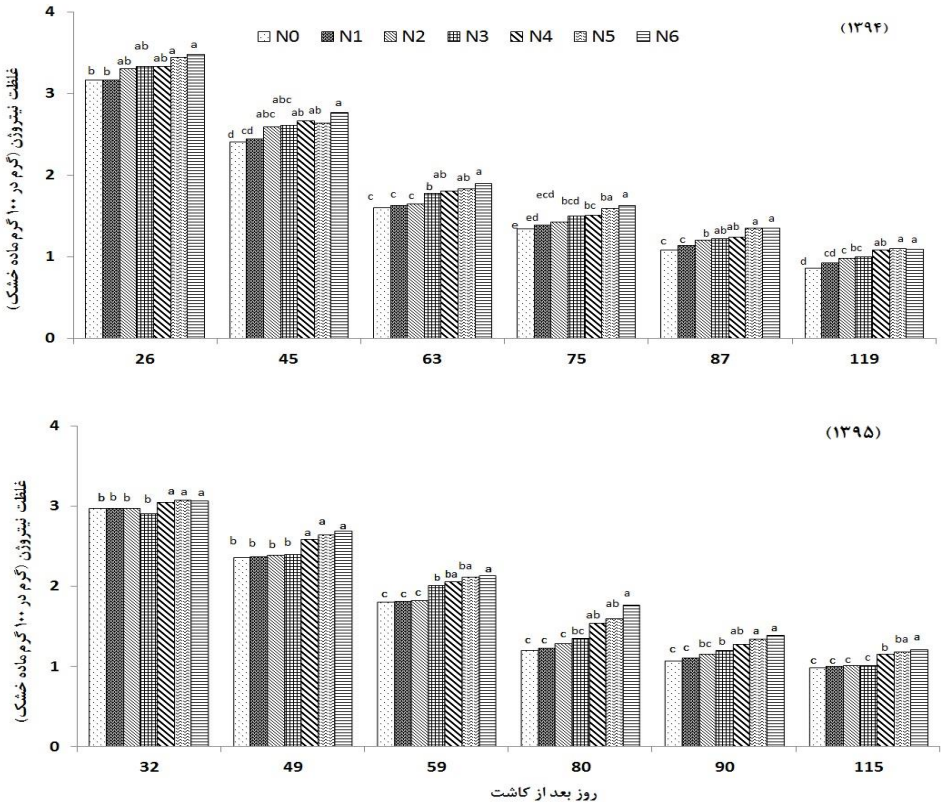
جدول ۳. تجزیه واریانس تأثیر تیمارها بر تولید ماده خشک گیاه در کشت دوم (سال ۱۳۹۵)

منبع تغییرات	درجه آزادی	روز نمونه‌برداری						
		۳۲	۴۹	۵۹	۸۰	۹۰	۱۱۵	دانه
تیمار	۶	۰/۰۴۳*	۱/۸۵۶**	۵/۲۳۹**	۲۸/۳۱۲**	۳۵/۲۲۸**	۱۲۹/۲۶۹**	۴۳/۴۳۱**
تکرار	۲	۰/۰۲۹^{ns}	۰/۰۰۶^{ns}	۰/۳۳۲^{ns}	۱/۶۹۳^{ns}	۰/۱۲۲^{ns}	۱/۰۱۶^{ns}	۰/۶۹۲^{ns}
خطا	۱۲	۰/۰۱۵	۰/۱۴۶	۱/۰۴۰	۰/۸۴۷	۳/۷۹۹	۸/۲۴۱	۱/۹۳۹
ضریب تغییرات (٪)		۱۵/۵۳۰	۱۳/۲۵۷	۱۷/۲۱۹	۸/۲۹۵	۱۳/۸۶۳	۱۴/۷۷۳	۱۶/۶۶۲

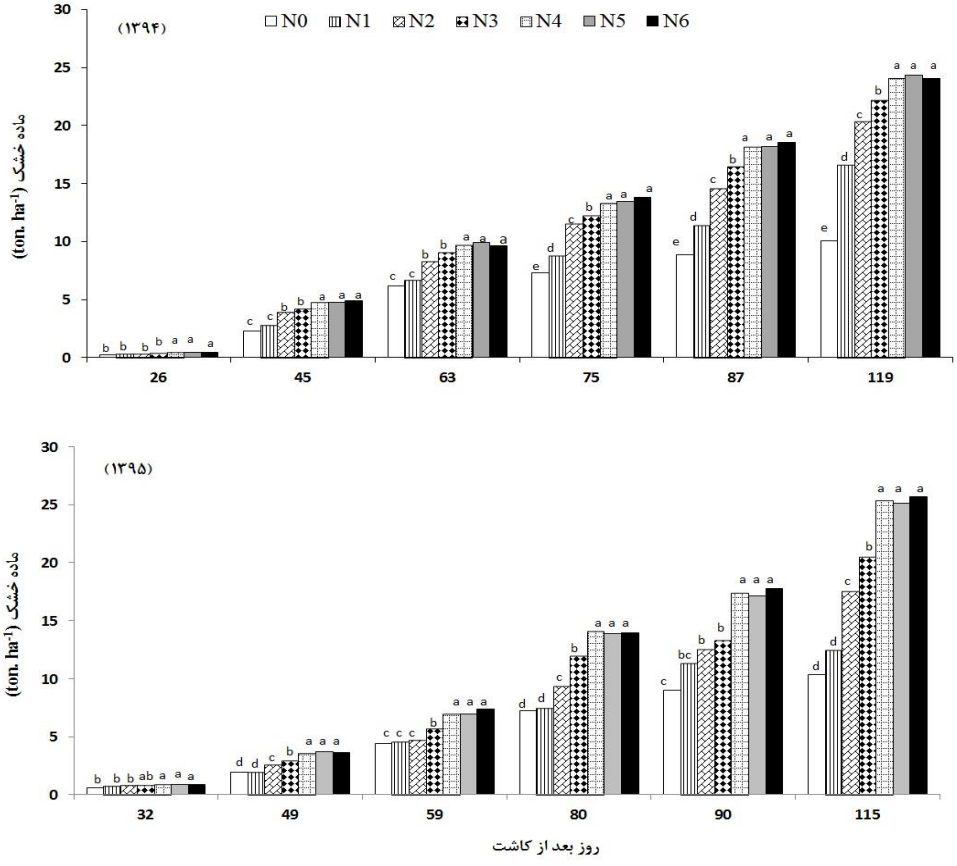
* در سطح ۵ درصد معنی‌دار است ** در سطح ۱ درصد معنی‌دار است ns: از نظر آماری معنی‌دار نیست

میانگین غلظت نیتروژن در تیمارها نیز بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD, $p < 0.05$) مقایسه گردید. همان طور که در شکل (۱) مشخص شده است، طی هر دو سال آزمایش، با گذشت زمان غلظت نیتروژن در همه تیمارها کاهش یافته است. نکته قابل توجه در این شکل‌ها این است که اختلاف غلظت نیتروژن موجود در ماده خشک تیمارهای N4، N5 و N6 و در همه نمونه‌برداری‌ها طی دو سال آزمایش تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد با یکدیگر نداشته‌اند. حداقل و حداکثر غلظت نیتروژن در سال ۱۳۹۴ برابر ۰/۸۶ و ۳/۲۸ (گرم در ۱۰۰ گرم ماده خشک) به ترتیب مربوط به تیمار N0 (در آخرین نمونه-برداری فصل) و N6 (در اولین نمونه‌برداری فصل) بود. هم‌چنین حداقل و حداکثر غلظت نیتروژن در سال ۱۳۹۵ برابر ۰/۹۸ و ۳/۰۷ (گرم در ۱۰۰ گرم ماده خشک) به ترتیب مربوط به تیمار N0 (در آخرین نمونه‌برداری فصل) و N5 (در اولین نمونه‌برداری فصل) بود. دامنه تغییرات غلظت نیتروژن در طول فصل کشت در مقایسه با سایر مطالعات (Planet and Lemaire, 2000) در محدوده منطقی بود.

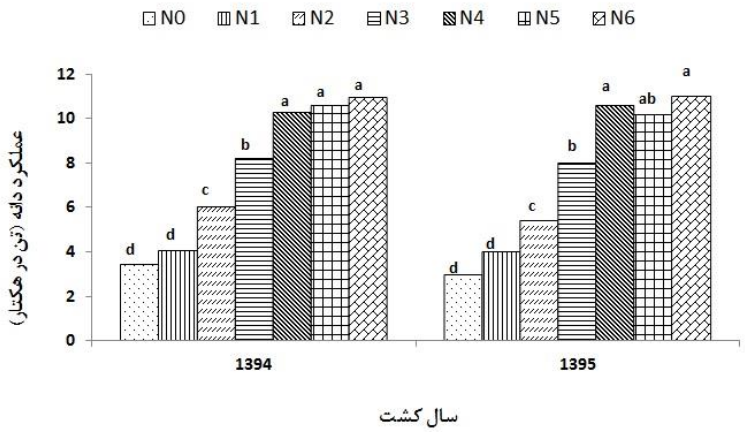
نتایج ارائه شده در شکل (۲) نیز به خوبی روند رو به رشد و اختلاف سرعت رشد در بین تیمارهای مختلف را نشان می-دهد. همانطور که با مقایسه میانگین صورت گرفته مشخص شده است، در طول هر دو فصل، اختلاف معنی‌داری بین ماده خشک تولیدی در تیمارهای N4، N5 و N6 وجود ندارد. حداقل و حداکثر ماده خشک تولیدی در سال ۱۳۹۴ برابر ۰/۲۳ و ۲۴/۳۶ (تن در هکتار) به ترتیب مربوط به تیمار N0 (در اولین نمونه-برداری فصل) و N5 (در آخرین نمونه‌برداری فصل) بود. هم-چنین، حداقل و حداکثر ماده خشک تولیدی در سال ۱۳۹۵ برابر ۰/۵۹ و ۲۵/۶۹ (تن در هکتار) به ترتیب مربوط به تیمار N0 (در اولین نمونه‌برداری فصل) و N6 (در آخرین نمونه‌برداری فصل) بدست آمد. نتایج ارائه شده در شکل (۳) نیز نشان می-دهند که عملکرد دانه در طی دو سال آزمایش در تیمارهای N4، N5 و N6 تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد ندارند. بنابراین با توجه به اینکه در تیمار N4 کمتر از دو تیمار دیگر کود نیتروژنه (اوره) استفاده شده بود، این تیمار به عنوان تیمار بهینه (W_{opt} , N_{opt}) انتخاب گردید. از طرف دیگر، غلظت نیتروژن موجود در دانه سه تیمار مذکور تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد با یکدیگر نداشتند. حداقل و حداکثر عملکرد دانه و غلظت نیتروژن موجود در آن طی سال ۱۳۹۴ برابر ۳/۴۴ و ۱۰/۹۴ (تن در هکتار) و ۱/۳۲ و ۱/۶۴ (گرم در ۱۰۰ گرم ماده خشک) به ترتیب مربوط به تیمار N0 و N6 بود. هم‌چنین حداقل و حداکثر عملکرد دانه طی سال ۱۳۹۵ برابر ۲/۹۷ و ۱۰/۹۷ (تن در هکتار) به ترتیب مربوط به تیمار N0 و N6 و نیز غلظت نیتروژن موجود در دانه برابر ۱/۱۷ و ۱/۶۴ (گرم در ۱۰۰ گرم ماده خشک) به ترتیب مربوط به تیمار N0 و تیمار N5 بود.



شکل ۱. مقایسه غلظت نیتروژن موجود در ماده خشک تیمارهای مختلف طی نمونه‌برداری‌های انجام شده در سال‌های الف: ۱۳۹۴، ب: ۱۳۹۵ (حروف روی نمودار ستونی با استفاده از مقایسه میانگین به روش LSD در سطح معنی‌داری ۵ درصد بدست آمده است).



شکل ۲. مقایسه ماده خشک تولیدی در تیمارهای مختلف طی نمونه‌برداری‌های انجام شده در سال‌های الف: ۱۳۹۴، ب: ۱۳۹۵ (حروف روی نمودار ستونی با استفاده از مقایسه میانگین به روش LSD در سطح معنی‌داری ۵ درصد بدست آمده است).



شکل ۳. مقایسه عملکرد دانه در تیمارهای مختلف در سال‌های الف: ۱۳۹۴، ب: ۱۳۹۵ (حروف روی نمودار ستونی با استفاده از مقایسه میانگین به روش LSD در سطح معنی‌داری ۵ درصد بدست آمده است).

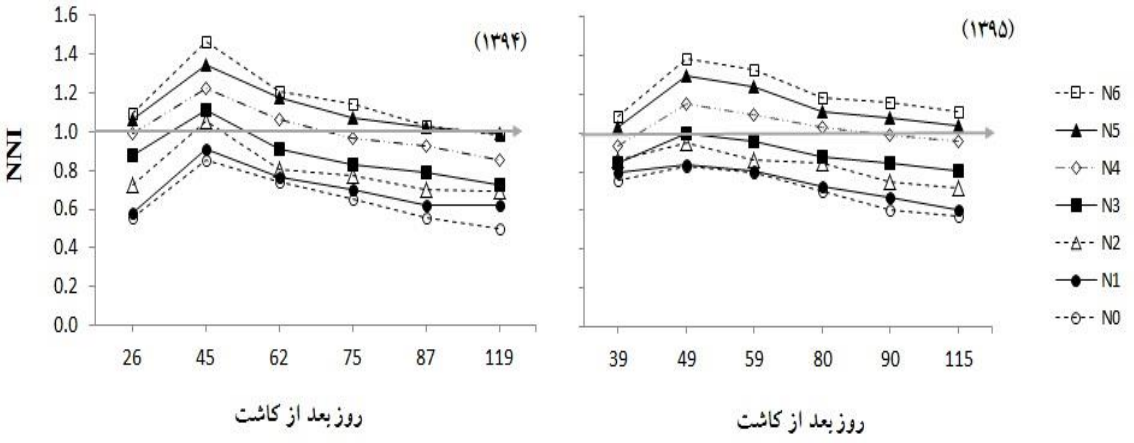
مقایسه NNI محاسبه شده برای تیمارهای مختلف در طول فصل کشت

همانطور که در شکل (۴) نشان داده شده است، تغییرات NNI در تیمارهای مختلف طی دو سال کشت کاملاً واضح است. دامنه تغییرات NNI در سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ به ترتیب به ترتیب از ۰/۵۷ تا ۱/۴۷ و از ۰/۵۵ تا ۱/۳۹ بود. مقدار NNI تقریباً در اکثر نمونه‌برداری‌های دو سال برای تیمارهای N0 تا N3 کوچکتر از یک و برای تیمارهای N5 و N6 بزرگتر از یک و برای تیمار N4 در حدود یک بود. از طرف دیگر مقادیر NNI برای نمونه‌برداری‌های ۴۵ و ۴۹ روز بعد از کشت به ترتیب در سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ بیشترین مقدار را داشت. دلیل این مسئله سرعت جذب بالای ذرت در این بازه از زمان کشت می‌باشد که مصادف با مرحله ساقه رفتن و رشد رویشی گیاه است.

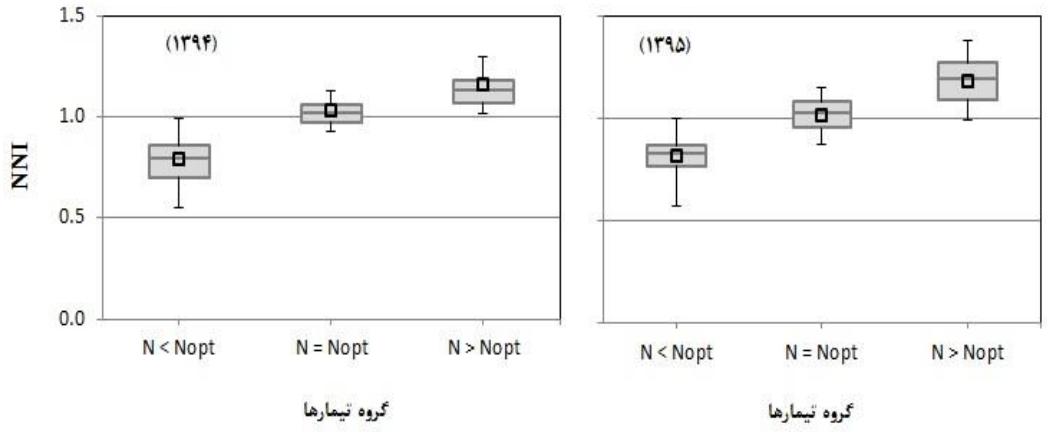
به طور کلی با بررسی‌هایی که بر روی شدت جذب نیتروژن توسط گیاه ذرت در طول فصل رشد صورت گرفته مشخص شده است که نرخ جذب نیتروژن در ابتدای فصل رشد ذرت آهسته و در اواسط رشد سریع و بعد از آن مجدداً آهسته است (Ranjbar *et al*., 2017a). به طور کلی در اوایل دوره رشد و حدوداً تا ۲۰ روز بعد از کشت که هنوز گیاه دارای برگ و اندام هوایی قابل ملاحظه‌ای نمی‌باشد، نرخ جذب نیتروژن کم است و بعد از آن، به خصوص وقتی کود نیتروژن در اختیار گیاه قرار می‌گیرد، به دلیل افزایش سرعت رشد ذرت نرخ جذب نیتروژن متناسب با افزایش مقدار نیتروژن کاربردی زیاد می‌شود و بنابراین غلظت نیتروژن در گیاه بالا رفته و NNI بیشتر می‌گردد. بعد از گلدهی گیاه علاوه بر جذب نیتروژن خاک، قسمتی از نیتروژن مورد نیاز خود را از نیتروژن تجمع یافته در سایر اندام‌هایش تأمین می‌کند (Plenet and le,aire, 2000).

از طرف دیگر، افزایش مقدار NNI نسبت به افزایش کاربرد نیتروژن در شکل مذکور نیز به وضوح مشخص شده است. این شکل به خوبی وضعیت نیتروژن تیمارهای مختلف در طول دوره کشت را نشان می‌دهد. تیمار بهینه N4 تنها تیماری است که نسبت به سایرین مقدار کود دریافتی متناسب‌تری در طول فصل کشت داشته است. این نتایج حاکی از این هستند که NNI این قابلیت را دارد که وضعیت نیتروژنی تیمارهایی که در معرض کمبود یا ازدیاد کود نیتروژن هستند را به خوبی از هم تفکیک کرده و مشخص کند.

چنانچه تیمارها به سه گروه N<Nopt (شامل N0، N1، N2 و N3)، N=Nopt (شامل N4) و N>Nopt (شامل N5 و N6) تقسیم شوند، دامنه تغییرات NNI در این سه گروه برای نمونه‌های برداشت شده به صورتی که در شکل (۵) نمایش داده شده است خواهد بود. در سال ۱۳۹۴، مقادیر NNI برای تیمارهای گروه اول در بازه ۰/۵۵ تا ۱/۱۲، برای تیمارهای گروه دوم در بازه ۰/۹۲ تا ۱/۲۲ و برای تیمارهای گروه سوم در بازه ۱/۰۲ تا ۱/۴۷ متغیر بود. در سال مذکور ۸ درصد از NNI مربوط به N<Nopt به اشتباه بزرگتر از یک بود. از طرف دیگر، در سال ۱۳۹۵، مقادیر NNI برای تیمارهای گروه اول در بازه ۰/۵۷ تا ۱/۰۰، برای تیمارهای گروه دوم در بازه ۰/۸۷ تا ۱/۱۵ و برای تیمارهای گروه سوم در بازه ۰/۹۹ تا ۱/۳۹ متغیر بود. در سال مذکور ۴ درصد از NNI مربوط به N<Nopt به اشتباه مساوی یک بودند.



شکل ۴. تغییرات NNI در تیمارهای مختلف طی سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵



شکل ۵. دامنه تغییرات NNI در تیمارهای گروه اول (N>Nopt)، گروه دوم (N=Nopt) و گروه سوم (N<Nopt). خط و مربع داخل مستطیل‌ها به ترتیب میانه و میانگین داده‌ها را نشان می‌دهد. ضلع پایین و بالای مستطیل‌ها به ترتیب نشان‌دهنده چارک اول و سوم هستند. خطوط میله‌ای پایین و بالای هر مستطیل به ترتیب حدود کمترین و بیشترین مقدار داده‌ها را نمایش می‌دهند.

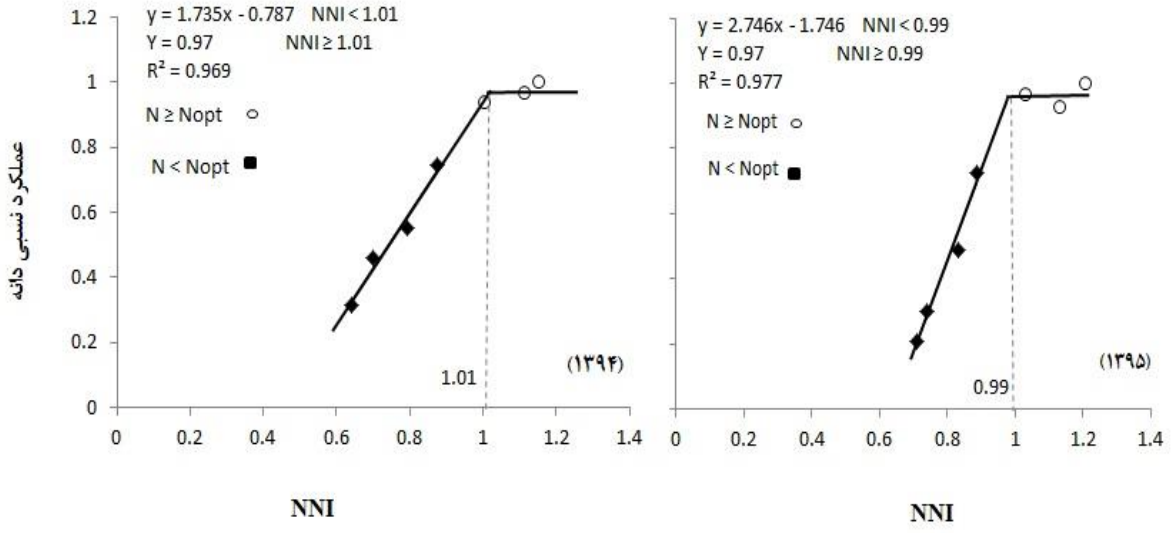
همانطور که در شکل (۶) نشان داده شده است، متوسط مقادیر NNI هر تیمار در هر سال آزمایش با عملکرد نسبی دانه رابطه‌ای خطی- مسطح[1] با $R^2 = 0.96$ داشت. با استفاده از این رابطه و به ازای مقادیر مختلف NNI، میزان کاهش محصول (دانه) را می‌توان تخمین زد. همانطور که مشخص شده است، مقادیر NNI برای شرایط بدون کاهش عملکرد محصول در هر دو سال تقریباً باید بزرگتر از یک باشد؛ به عبارت دیگر، چنانچه NNI بدست آمده کمتر از یک شود، مقدار عملکرد نسبی دانه کمتر از ۰/۹۷ می‌شود و بدین معنی می‌باشد که امکان کاهش محصول وجود خواهد داشت. درصد کاهش و عملکرد نسبی دانه با استفاده از معادلات ارائه شده در شکل (۶) برای هر سال، قابل تخمین است. در شکل (۶) تیماری که متوسط NNI محاسبه شده برای آن در طول فصل تقریباً یک است، همان تیمار بهینه (N4) می‌باشد که علی‌رغم دریافت نیتروژن کمتر نسبت به تیمارهای N5 و N6، با کاهش عملکرد نسبی مواجه نشده است.

مقایسه کارآیی مصرف آب (WUE)، کارآیی زراعی (AE) و کارآیی بازیافت (RE) نیتروژن

همانطور که در جدول‌های (۴) و (۵) نشان داده شده است، به طور کلی به منظور آبیاری کامل تیمارها در این مطالعه در سال ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ به ترتیب ۷۹۰۷/۱ و ۸۰۸۹/۶ مترمکعب در هکتار آب مصرف شد تا هیچگونه تنش رطوبتی به گیاه وارد نگردد. حداقل WUE مربوط به تیمار N0 برابر ۱/۲۷۶ و ۱/۲۷۹ کیلوگرم بر مترمکعب به ترتیب در سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ بود. در طرف مقابل حداکثر WUE در سال ۱۳۹۴ مربوط به تیمار N5 و برابر با ۳/۰۸۱ کیلوگرم بر مترمکعب و در سال ۱۳۹۵ مربوط به تیمار N6 و برابر ۳/۱۷۶ کیلوگرم بر مترمکعب بود. مقادیر WUE در تیمارهای N6 ، N5 و N4 در هر دو سال کشت، تقریباً با یکدیگر برابرند و بسیار به هم نزدیک بودند. این

1. Linear-Plateau

نتایج نشان می‌دهند که محدودیت نیتروژن می‌تواند باعث کاهش چشمگیر WUE گردد اما مصرف بیشتر از حد آن تأثیری در افزایش WUE نخواهد داشت؛ بنابراین تیمار بهینه علیرغم دریافت نیتروژن کمتر، کارآیی مصرف آب تقریباً برابری نسبت به تیمارهای با مصرف نیتروژن بیشتر داشت.



شکل ۶. رابطه بین عملکرد نسبی دانه و شاخص تغذیه نیتروژن (NNI) محاسبه شده بر اساس معادله الف: پلنت و لیمایر (۲۰۰۰) و ب: یو و همکاران (۲۰۱۴) برای ذرت در پاکدشت. در این نمودار از متوسط NNI محاسبه شده در طول فصل کشت برای هر تیمار استفاده شده است. (o: تیمارهای گروه اول و دوم، ■: تیمارهای گروه سوم هستند).

مقایسه AE در تیمارهای مختلف طی دو سال آزمایش نشان می‌دهد که به ازای هر واحد نیتروژن مصرفی در تیمار N4، گیاه عملکرد بیشتری داشته است. به همین دلیل بود که تیمار N4 به عنوان تیمار بهینه انتخاب شده بود. مقدار AE در تیمار N4 نسبت به سایر تیمارها بیشتر بود و به ترتیب در سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ برابر ۳۴/۲۲۲ و ۳۸/۱۳۵ به دست آمد. بالا بودن AE حاکی از این است که مقدار نیتروژن کمتری در خاک انباشته شده و بلااستفاده باقی‌مانده و می‌تواند مستعد آبشویی باشد.

بررسی پارامتر RE نیز نشان می‌دهد که از بین این سه تیمار N6، N5 و N4، مقدار RE در تیمار N4 بیشتر از دو تیمار دیگر است. این شاخص نشان می‌دهد که در تیمار N4 به ازای مصرف هر کیلوگرم کود نیتروژن، حدود ۵۹ درصد از آن در سال اول و در حدود ۶۶ درصد از آن در سال دوم توسط گیاه جذب شده است. بدیهی است که مقدار نیترات و آمونیوم بیشتری در سایر تیمارها به شکل‌های مختلف تلف‌شده و در پروفیل خاک انباشته شده است. این تلفات بخصوص در تیمارهای N5 و N6 که می‌توان گفت حدود نیمی از کود مصرفی جذب گیاه نشده است قابل‌ملاحظه خواهد بود.

جدول ۴. مقادیر عملکرد محصول و WUE، AE و RE در کشت سال ۱۳۹۴

تیمار	وزن ماده خشک ($ton.ha^{-1}$)	وزن دانه ($ton.ha^{-1}$)	حجم آبیاری ($m^3.ha^{-1}$)	WUE ($kg.m^{-3}$)	AE	RE
N0	۱۰/۰۹۲ ^{e*}	۳/۴۳۷ ^{d}	۷۹۰۷/۱	۱/۲۷۶	----	----
N1	۱۶/۶۱۷ ^{d}	۴/۰۴۳ ^{d}	۷۹۰۷/۱	۲/۱۰۱	۱۲/۱۱۶	۰/۲۸۲
N2	۲۰/۳۵۸ ^{c}	۶/۰۳۲ ^{c}	۷۹۰۷/۱	۲/۵۷۵	۲۵/۹۵۲	۰/۴۴۵
N3	۲۲/۲۱۸ ^{b}	۸/۱۶۶ ^{b}	۷۹۰۷/۱	۲/۸۱۰	۳۱/۵۲۹	۰/۵۱۸
N4	۲۳/۱۸۲ ^{a}	۱۰/۲۸۱ ^{a}	۷۹۰۷/۱	۲/۹۳۲	۳۴/۲۲۲	۰/۵۸۹
N5	۲۴/۳۶۳ ^{a}	۱۰/۵۷۵ ^{a}	۷۹۰۷/۱	۳/۰۸۱	۲۸/۵۵۴	۰/۵۰۹
N6	۲۳/۶۴۱ ^{a}	۱۰/۹۳۵ ^{a}	۷۹۰۷/۱	۲/۹۹۰	۲۴/۹۹۵	۰/۴۴۵

*حروف الفبای انگلیسی مربوط به نتایج بدست آمده از آزمون مقایسه میانگین به روش LSD می‌باشد.

جدول ۵. مقادیر عملکرد محصول و WUE، AE و RE در کشت سال ۱۳۹۵

تیمار	وزن ماده خشک ($ton.ha^{-1}$)	وزن دانه ($ton.ha^{-1}$)	حجم آبیاری ($m^3.ha^{-1}$)	WUE ($kg.m^{-3}$)	AE	RE
N0	۱۰/۳۴۵ ^{d}	۲/۹۷۰ ^{d}	۸۰۸۹/۶	۱/۲۷۹	----	----
N1	۱۲/۴۱۷ ^{d}	۳/۹۷۵ ^{d}	۸۰۸۹/۶	۱/۴۱۱	۲۰/۱۰۰	۰/۲۴۶
N2	۱۷/۵۵۹ ^{c}	۵/۳۶۱ ^{c}	۸۰۸۹/۶	۲/۱۷۰	۲۳/۹۱۰	۰/۴۳۸
N3	۲۰/۵۰۵ ^{b}	۷/۹۵۷ ^{b}	۸۰۸۹/۶	۲/۵۳۵	۳۳/۲۴۷	۰/۵۵۲
N4	۲۵/۳۸۹ ^{a}	۱۰/۵۹۷ ^{a}	۸۰۸۹/۶	۳/۱۳۸	۳۸/۱۳۵	۰/۶۶۴
N5	۲۵/۱۲۴ ^{a}	۱۰/۱۵۳ ^{ab}	۸۰۸۹/۶	۳/۱۰۶	۲۸/۷۳۲	۰/۵۲۷
N6	۲۵/۶۹۱ ^{a}	۱۰/۹۶۵ ^{a}	۸۰۸۹/۶	۳/۱۷۶	۲۶/۶۵۰	۰/۴۷۰

*حروف الفبای انگلیسی مربوط به نتایج بدست آمده از آزمون مقایسه میانگین به روش LSD می‌باشد.

این نتایج نشان می‌دهند که تلفات و تجمع نیتروژن در خاک تیمارهای N5 و N6 بیشتر از تیمار N4 بوده است. علاوه بر این، از مقدار آبی که در تیمارهای N0، N1، N2 و N3 در اختیار گیاه قرار داده شده است بیشترین عملکرد ممکن استحصال نشده است؛ به عبارت دیگر از آب و نیتروژن فقط در تیمار N4 بهتر از سایر تیمارها استفاده شده است. از طرف دیگر، مقدار NNI برای تیمار N4 در مقایسه با دیگر تیمارها، در طول دو فصل کشت نزدیک‌تر به یک بود که این خود نشان‌دهنده این است که این تیمار کمتر در معرض کمبود یا ازدیاد نیتروژن بوده است. NNI با مشخص کردن وضعیت نیتروژنی گیاه می‌تواند در افزایش کارآیی مصرف نیتروژن و آب کاملاً تأثیرگذار باشد. بنابراین، با پایش مقادیر NNI در طول فصل می‌توان مصرف نیتروژن را به نحوی مدیریت کرد که علاوه بر دستیابی به عملکرد حداکثر، حداقل تلفات و تجمع نیتروژن را در پروفیل خاک شاهد بود. بدین ترتیب، گیاه به ازای هر واحد آب و نیتروژنی که مصرف می‌کند، بیشترین عملکرد ممکن را تولید خواهد کرد. هم‌چنین خطرات منابع آبی سطحی و زیرزمینی ناشی از آبشویی نیترات در مناطق کشاورزی تا حد زیادی قابل‌کنترل خواهند بود.

نتیجه‌گیری کلی

در این مطالعه نقش پایش NNI در بهبود مدیریت مصرف نیتروژن بررسی شد. بدین ترتیب که ابتدا با استفاده از نتایج آزمایش مزرعه‌ای N4 به عنوان تیمار بهینه، تیماری که علی‌رغم دریافت نیتروژن کمتر، حداکثر محصول در آن تولید شده بود تعیین گردید. سپس با استفاده از معادله نیتروژن بحرانی ارائه شده برای کشت ذرت تابستانه در پاکدشت، NNI کلیه تیمارها در طول دو فصل رشد محاسبه شد. نتایج نشان دادند که NNI این قابلیت را دارد تیمارهایی که در طول فصل با کمبود یا ازدیاد نیتروژن مواجه هستند را به خوبی از هم تفکیک کرده و مشخص کند. NNI در تیمار بهینه نسبت به سایر تیمارها در طول فصل رشد نزدیک‌تر به یک بود. تیمارهایی که متوسط NNI در آن‌ها کوچکتر از یک بود عملکرد نسبی محصول آنها نیز کمتر از یک بدست آمد. مقدار AE و RE در N4 بیشتر از سایر تیمارها بود. مقادیر WUE برای تیمارهای N4، N5 و N6 در هر دو سال کشت، تقریباً با یکدیگر برابر بود. این نتایج حاکی از آن هستند که در تیمارهایی که NNI کوچکتر از یک است، کارایی مصرف آب نیز کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر کمبود نیتروژن منجر به کاهش محصول و نهایتاً کاهش WUE خواهد شد اما افزایش مصرف نیتروژن بیش از نیاز گیاه تأثیری در بهبود عملکرد محصول و WUE در شرایط آبیاری کامل نخواهد داشت. تیمارهایی که به طور متوسط در طول فصل دارای NNI نزدیک به یک بودند کارایی مصرف آب و نیتروژن بالاتری نسبت به سایرین داشتند.

REFERENCES

Ata-Ul-Karim, S.T., Yao, X., Liu, X., Cao, W., Zhu, Y. (2014). Determination of Critical Nitrogen Dilution Curve Based on Stem Dry Matter in Rice. *PLOS ONE*, 9(8), 1-12.

Behdadian, A., Soltani, A., Zeinali, E., Ajam Norouzi, H., Masoumi, H. (2013). 'Evaluation of nitrogen fertilizer management effects on yield in flowering stage of rapeseed in Gorgan region', *Journal of Crops Improvement*, 15(1), 163-174 (In Farsi).

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

Dobermann, A. (2007). Nutrient use efficiency. Measurement and management. In: Kraus, A.,

Isherwood, K. and Heffer, P., Eds., Fertilizers Best Management Practices. Proceeding of *International fertilizer Industry Association*, 7-9 March 2007, Brussels, Belgium, 1-22.

Dordas, C. A. (2011). Nitrogen nutrition index and its relationship to N use efficiency in linseed. *European journal of agronomy*, 34(2), 124-132.

Fageria, N.K. and Baligar, V.C., (2005). Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. *Advances in agronomy*, 88,97-185.

Gheysari, M., Mirlatifi, S.M., Homaee, M., Asadi, M.E. and Hoogenboom, G., (2009a). Nitrate leaching in a silage maize field under different irrigation and nitrogen fertilizer rates. *Agricultural water management*, 96(6), 946-954.

Gheysari, M., Mirlatifi, S.M., Bannayan, M., Homaee, M., Hoogenboom, G. (2009b). Interaction of water and nitrogen on maize grown for silage. Agricultural Water Management. 96, 809–821.

Greenwood, D. J., Lemaire, G., Gosse, G., Cruz, P., Draycott, A. and Neeteson, J. J. (1990). Decline in percentage N of C3 and C4 crops with increasing plant mass. Annals of Botany. London.66: 425–436.

Horowitz, W. (1970). Official Methods of Analysis. 11th Edition Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.C.

Hussain, G., & Al-Jaloud, A. A. (1995). Effect of irrigation and nitrogen on water use efficiency of wheat in Saudi Arabia. *Agricultural water management*, 27(2), 143-153.

Justes, E., Mary, B., Meynard, J.M., Machet, J.M. and Thelier-Huché, L., (1994). Determination of a critical nitrogen dilution curve for winter wheat crops**.** *Annals of botany, 74(4), 397-407.*

Lemaire, G. and Meynard, J.M., (1997). Use of the nitrogen nutrition index for the analysis of agronomical data. *Diagnosis of the nitrogen status in crops*,.45-55.

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

Plenet, D., Lemaire, G., (2000). Relationships between dynamics of nitrogen uptake and dry matter accumulation in maize crops. *Plant and Soil*, 216, 65–82.

Ranjbar, A., Rahimikhoob, A., Varavipour, M., Ebrahimian-Taleshi, H. (2017a). 'Distribution of nitrate and ammonium under furrow and ridge and nitrogen uptake by maize in Different Rates of Urea Fertilizer', *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 48(4), 891-904, (In Farsi).

Ranjbar, A., Rahimikhoob, A., Varavipour, M., Ebrahimian, H. (2017b). 'Critical nitrogen equation for maize in Pakdasht region', *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 48(1), 1-9, (In Farsi).

Ranjbar,A. (2017). Simultaneous simulation of water, nitrogen and crop yield for determination of nitrogen nutrition index during maize growth, Ph. D. dissertation, College of Aburaihan, University of Tehran, Tehran .(In Farsi).

Yue, S. C., Sun, F. L., Meng, Q. F., Zhao, R. F., Li, F., Chen, X. P., Zhang, F. S. and Cui, Z. L. (2014). Validation of a critical nitrogen curve for summer maize in the North China Plain. Pedosphere. 24(1): 76–83.

Zeinali, E,. Soltani, A., Galeshi, S,. Movahedi Naeeni, S.A. (2013). Evaluating Nitrogen Nutrition Index of Wheat Fields in Gorgan', Journal of Plant Production Research, 19(4), 137-156 (in Farsi).