



مقایسه دو معادله نیتروژن بحرانی در تخمین شاخص تغذیه نیتروژن گیاه ذرت برای منطقه پاکدشت

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

^۱ دانشجوی دکتری گروه مهندسی آبیاری و زهکشی پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، استاد گروه مهندسی آبیاری و زهکشی

^۲ پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، آدنشیار گروه مهندسی آبیاری و زهکشی پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران،

^۳ استادیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۲/۱۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۱/۹

چکیده

سابقه و هدف: پایش شاخص تغذیه نیتروژن (NNI) در طول فصل رشد می‌تواند موجب بهبود مدیریت کوددهی شود که در نتیجه آن محیط زیست و منابع آب کمتر صدمه خواهند دید. این شاخص نسبت غلظت نیتروژن اندازه‌گیری شده در گیاه به غلظت نیتروژن بحرانی است که وضعیت تنش نیتروژن در طول دوره رشد را نشان می‌دهد. غلظت نیتروژن بحرانی در گیاهان توسط معادلات نیتروژن بحرانی به دست می‌آید. تعیین این معادلات بر هزینه و زمانبر است و به همین دلیل معمولاً استفاده از معادلات ارائه شده در سایر مناطق ترجیح داده می‌شود. اما نتایج مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که تنوع اقلیم، ارقام گیاه و مدیریت کشاورزی می‌تواند باعث تغییر معادلات نیتروژن بحرانی گیاهان در مناطق مختلف شود. لذا بررسی دقت و صحت این معادلات قبل از استفاده در مناطق و شرایط جدید ضروری است. هدف اصلی از این مطالعه صحت‌سنجی و مقایسه دو معادله نیتروژن بحرانی ارائه شده در فرانسه و چین به منظور تخمین NNI برای کشت ذرت در منطقه پاکدشت است.

مواد و روش‌ها: بدین منظور گیاه ذرت (رقم سینگل کراس ۷۰۴) به مدت یک فصل در مزرعه پردیس ابوریحان بدون تنش رطوبتی کشت شد. تیمارهای آزمایش بر اساس سطوح مختلف نیتروژن، از کم تا زیاد، تعیین و در طول فصل کشت نمونه‌های گیاهی از این تیمارها برای اندازه‌گیری وزن ماده خشک (W) و غلظت نیتروژن موجود در گیاه (%N) برداشت شدند. در این مطالعه تیمارها شامل هفت سطح صفر به عنوان شاهد (N0)، (N1)۵۰، (N2)۱۰۰، (N3)۱۵۰، (N4)۲۰۰، (N5)۲۵۰ و (N6)۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (حاوی ۴۶ درصد نیتروژن) و به صورت طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی و با سه تکرار ایجاد شدند. به منظور صحت‌سنجی معادلات نیتروژن بحرانی مذکور، به شیوه‌ای که در بخش مواد و روش‌ها تشریح شده است استفاده گردید. در ادامه به منظور بررسی تأثیر خطای هر معادله در تخمین NNI، دامنه تغییرات این شاخص در طول فصل کشت و همچنین رابطه آن با عملکرد نسبی دانه به دست آمد و نتایج با یکدیگر مقایسه شدند.

یافته‌ها: به طور کلی نتایج نشان‌دهنده دقت بالاتر معادله نیتروژن بحرانی ارائه شده در چین نسبت به معادله پیشنهادی در فرانسه برای تعیین نیتروژن بحرانی ذرت در منطقه پاکدشت بود. به طوری که وضعیت نیتروژنی ۱۴ درصد از

*مسئول مکاتبه: akhob@ut.ac.ir

داده‌ها توسط معادله پیشنهاد شده در چین به اشتباه بیشتر از حد بحرانی مشخص شده بود در حالی که معادله پیشنهاد شده در فرانسه وضعیت نیتروژن ۲۱ درصد از داده‌ها را نادرست تعیین کرده بود. همچنین دامنه تغییرات NNI محاسبه شده برای منطقه پاکدشت بر اساس معادله نیتروژن بحرانی ذرت در چین کوچکتر از مقادیر نظیر بر اساس معادله پیشنهادی در فرانسه بود که این خود نشان‌دهنده سازگاری بیشتر معادله چینی با شرایط کشت ذرت در پاکدشت بود. همچنین با استفاده از هر دو معادله مشخص شد که کدام تیمارها و در چه زمان‌هایی در طول فصل کشت با کمبود نیتروژن مواجه بودند که نتایج به دست آمده بر اساس معادله نیتروژن بحرانی پیشنهادی در چین منطقی‌تر بود. در نهایت مشخص شد که چنانچه در طول فصل کشت مقدار NNI محاسبه شده بر اساس هر دو معادله کمتر از ۱/۱۱ شود، عملکرد نسبی کاهش خواهد یافت.

نتیجه‌گیری: در حالت کلی نتایج به دست آمده حاکی از آن است که معادله نیتروژن بحرانی پیشنهادی در چین نسبت به معادله نظیر ارائه شده در فرانسه با دقت بهتری می‌تواند وضعیت نیتروژنی گیاه ذرت منطقه پاکدشت را تعیین کند که یکی از دلایل آن می‌تواند تشابه بعضی پارامترهای اقلیمی مؤثر در طول دوره کشت برای دو منطقه دشت شمالی چین و پاکدشت باشد. به همین ترتیب نیز مقادیر NNI محاسبه شده بر اساس این معادله نیز دقت بالاتری داشت. با این وجود، هر دو معادله خطای بیشتری نسبت به منطقه‌ای که در آنجا توسعه یافته بودند داشتند.

واژه‌های کلیدی: ذرت، شاخص تغذیه نیتروژن، غلظت نیتروژن بحرانی، معادله نیتروژن بحرانی

مقدمه

نیاز گیاه به نیتروژن در طول دوره رشد متفاوت است و این در حالیکه اکثر کشاورزان مقادیر بالای آب و نیتروژن را برای اطمینان از تأمین نیاز گیاه بدون آگاهی از زمان مناسب، استفاده می‌کنند و بدین ترتیب عناصر غذایی و مفید خاک در معرض آبشویی و انتقال به منابع آب زیرزمینی قرار می‌گیرند (۱۷). در استان مازندران، که مصرف کود در مزارع و باغات آن چندین برابر استان‌های دیگر است، آمار سرطان‌های گوارشی و تنفسی چندین برابر میانگین کشور می‌باشد (۱۴). همچنین تحقیقاتی که روی آبخوان دشت ورامین و پاکدشت صورت گرفته حاکی از وجود آلودگی نیترات و آسیب‌پذیری منابع آب زیرزمینی این منطقه بوده و یکی از دلایل اصلی آن نیز مصرف بی‌رویه کودهای نیتروژنه در کشاورزی قلمداد شده است (۱۸). طی دو دهه اخیر، نتایج تحقیقات نشان

داده که شاخص تغذیه نیتروژن (NNI) یک ابزار کارآمد برای تحلیل داده‌های به دست آمده از آزمایشات مزرعه‌ای به منظور تعیین وضعیت نیتروژنی گیاه و مدیریت کودهای نیتروژنه در مزرعه است (۱) و (۱۰). بدیهی است که پایش این شاخص در طول دوره رشد می‌تواند در بهنگام رساندن زمان و بهینه ساختن مقدار مصرف کودهای نیتروژنه، جهت رسیدن به حداکثر عملکرد گیاه و کاهش تلفات و آبشویی نیترات مؤثر باشد. به عبارت دیگر اندازه‌گیری NNI در طول دوره رشد، وضعیت و میزان دسترسی گیاه به نیتروژن را نشان می‌دهد. در صورتی که این شاخص نزدیک به یک باشد، نشان دهنده این است که گیاه برای رشد حداکثر، کمبود نیتروژن ندارد، مقادیر بیشتر از یک معرف مصرف بیش از حد و کمتر از یک معرف کمبود نیتروژن در گیاه است. این شاخص

ماده خشک بوته طی نمو گیاه زراعی و همچنین ریزش برگها رخ می‌دهد. در واقع، اصول ترقیق نیتروژن بیانگر وجود یک رابطه آلومتریک بین نیتروژن تجمع یافته و ماده خشک تجمع یافته در بخش هوایی گیاه می‌باشد (۱۶).

جاستس و همکاران (۱۹۹۴) یک روش دقیق به منظور تعیین رابطه نیتروژن بحرانی برای گندم زمستانه ارائه دادند (۱۰). پلنت و لیمایر (۲۰۰۰) نیز با استفاده از همین روش، معادله $Nc = 3.4 W^{-0.37}$ را به عنوان رابطه نیتروژن بحرانی گیاه ذرت (کشت بهاره) در فرانسه به دست آوردند. آزمایش آنها برای بررسی معادله در کل دوره رشد گیاه طراحی شده بود. با این وجود، نتایج آنها نشان داد که کاربرد این معادله از ابتدای دوره رشد تا شروع پر شدن دانه دقت بیشتری دارد (۱۶).

از آنجایی که تعیین روابط نیتروژن بحرانی شامل فرآیندی زمانبر و پرهزینه است، لذا در خیلی از مطالعات معمولاً از معادلات ایجاد شده در سایر تحقیقات استفاده شده است. این نکته در معدود مطالعات انجام شده در ایران نیز به چشم می‌خورد. برای مثال زینلی و همکاران (۱۳۹۱) NNI شانزده مزرعه گندم در گرگان را با استفاده از رابطه نیتروژن بحرانی ارائه شده توسط جاستس و همکاران (۱۹۹۴) در شمال فرانسه ارزیابی کردند (۲۱ و ۱۰). همچنین بهدادیان و همکاران (۱۳۹۲) با استفاده از رابطه نیتروژن بحرانی ارائه شده توسط کولنن و همکاران (۱۹۹۸) و محاسبه NNI، اثرات مدیریت کود نیتروژن در مرحله گلدهی بر عملکرد کلزا در گرگان را ارزیابی نمودند (۳ و ۶).

علی‌رغم این‌که در مطالعات انجام شده در این زمینه تأکید بر این است که اعتبار مدل‌های به دست آمده در تمام موقعیت‌های آزمایشی متفاوت از نظر ارقام مورد کشت، سرعت رشد، خاک و شرایط

نسبت بین غلظت نیتروژن موجود در ماده خشک اندام هوایی گیاه به غلظت نیتروژن بحرانی است که در طول دوره رشد اندازه‌گیری می‌شود و رابطه آن بدین شکل است (۱۱):

$$NNI = \frac{N_t}{N_c} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در رابطه بالا N_t غلظت نیتروژن موجود در ماده خشک (گرم نیتروژن در ۱۰۰ گرم ماده خشک) برای یک تاریخ معینی از دوره رشد، N_c غلظت نیتروژن بحرانی (گرم نیتروژن در ۱۰۰ گرم ماده خشک) به ازای مقدار ماده خشک تولید شده تا همان تاریخ رشد می‌باشند. منظور از نیتروژن بحرانی، حداقل غلظت نیتروژن مورد نیاز در گیاه است که منجر به تولید حداکثر ماده خشک در زمان معینی از دوره رشد می‌شود (۱۶). مقدار غلظت نیتروژن بحرانی توسط یک رابطه توانی با وزن ماده خشک اندام هوایی گیاه در ارتباط است که منحنی نیتروژن بحرانی نامیده می‌شود (۷ و ۱۲). این رابطه به شکل زیر است (۱۰):

$$N_c = a W^{-b} \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن، W مقدار ماده خشک تجمع یافته در اندام هوایی گیاه (تن در هکتار)، N_c غلظت بحرانی نیتروژن بر حسب درصد (گرم نیتروژن در ۱۰۰ گرم ماده خشک)، a و b ضرایب معادله‌اند.

نتایج بسیاری از مطالعات نشان داده است که در مراحل ابتدایی رشد گیاهان زراعی، غلظت نیتروژن در ماده خشک زیاد است اما با گذشت زمان و رشد گیاه به تدریج کاهش می‌یابد. این کاهش غلظت که به عنوان ترقیق نیتروژن^۱ در بافت‌های مختلف تعبیر شده است، تا پایان فصل رشد ادامه خواهد داشت (۲۱). به طور کلی، در شرایط عادی (بدون تنش نیتروژنی) رقیق شدن نیتروژن در گیاه عمدتاً به دو دلیل کاهش نسبت برگ و افزایش نسبت ساقه به کل

1- Nitrogen dilution

یو و همکاران، ۲۰۱۴) به منظور تخمین NNI برای کشت ذرت (رقم سینگل کراس ۷۰۴) در منطقه پاکدشت و نیز مقایسه NNI محاسبه شده بر اساس هر دو معادله در طول فصل کشت و ارتباط آن‌ها با عملکرد محصول بود.

مواد و روش‌ها

آزمایش‌های مزرعه‌ای: به منظور انجام این تحقیق، گیاه ذرت سینگل کراس ۷۰۴ تحت آبیاری کامل و به صورت جوی پشته در تاریخ ۱۰ خرداد ۱۳۹۴ در اراضی کشاورزی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران، واقع در شهرستان پاکدشت کشت شد. منطقه مورد مطالعه با ارتفاع ۱۰۲۰ متری از سطح دریا، از نظر جغرافیایی در طول ۵۱ درجه ۶۶ دقیقه شرقی و عرض ۳۵ درجه ۴۶ دقیقه 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 براساس طبقه‌بندی دومارتن دارای اقلیمی خشک است.

با توجه به اهداف این مطالعه، برای این‌که مشخص شود کدامیک از دو معادله نیتروژن بحرانی ارائه شده در فرانسه و چین برای تشخیص وضعیت تنش نیتروژنی در کشت ذرت در منطقه پاکدشت مناسب‌تر است، صحت‌سنجی طبق روشی که پیشتر توسط جاستس و همکاران (۱۹۹۴) و پلنت و لیمایر (۲۰۰۰) به کار گرفته شده بود (شکل ۱)، انجام شد (۱۰ و ۱۶). بر طبق این روش می‌بایست تیمارهای آزمایش بر اساس سطوح مختلف نیتروژن، از کم تا زیاد، تعیین و در طول فصل کشت نمونه‌های گیاهی از این تیمارها برای اندازه‌گیری وزن ماده خشک (W) و غلظت نیتروژن موجود در گیاه (%N) برداشت

اقلیمی اثبات شده است، اما نتایج بعضی تحقیقات حاکی از آن می‌باشد که تفاوت‌های اقلیمی و گیاهی می‌تواند باعث ایجاد تغییراتی در منحنی‌های نیتروژن بحرانی شود (۱۳ و ۲۰). برای مثال، نتایج مطالعه یو و همکاران (۲۰۱۴) نشان داده است که رابطه به‌دست آمده برای ذرت در فرانسه نمی‌تواند به‌طور رضایت بخشی در شرایط آب و هوایی چین مورد استفاده قرار گیرد (۲۱). دلیل آن نیز تفاوت اقلیم و ارقام ذرت مورد استفاده در دو منطقه و تأثیر آن‌ها روی طول دوره رشد و عملکرد ذرت عنوان شد. آن‌ها در نهایت رابطه $Nc = 2.72 W^{-0.27}$ را برای کشت تابستانه ذرت در دشت‌های شمالی چین ارائه دادند. علاوه بر این، در برخی مطالعات اختلاف بین منحنی نیتروژن در گندم پاییزه و بهاره نیز ثابت شده است (۱۰ و ۲۳). بنابراین باید معادلات نیتروژن بحرانی موجود پیش از استفاده در شرایط اقلیمی دیگر و تحت کشت ارقام متفاوت، صحت‌سنجی شوند (۲۰). بر همین اساس زایدی و همکاران (۲۰۰۸) و هرمن و تاب (۲۰۰۴) نشان دادند که معادله نیتروژن بحرانی ارائه شده در فرانسه برای ذرت توسط پلنت و لیمایر (۲۰۰۰) می‌تواند با دقت بالایی به ترتیب در منطقه شرق کانادا و آلمان استفاده شود و NNI محاسبه شده بر اساس آن کاملاً قابل اعتماد بود (۲۲، ۸ و ۲۰).

ذرت به‌عنوان یکی از کشت‌های اصلی تابستانه در شهرستان پاکدشت به‌شمار می‌رود. این منطقه همانند اکثر نقاط ایران دارای اقلیمی گرم و خشک است. با توجه به آسیب‌پذیری بالای آلودگی نیترات در آبخوان این منطقه، تخمین شاخص تغذیه نیتروژن می‌تواند راه حل مفیدی برای بهبود سطح مدیریت کودهای نیتروژنه در مزارع باشد. بنابراین، هدف تحقیق حاضر، صحت‌سنجی دو معادله نیتروژن بحرانی پیشنهاد شده برای ذرت در فرانسه (پلنت و لیمایر، ۲۰۰۰) و چین

جدول (۱) ارائه شده است. طول هر کرت چهار متر و عرض آن سه متر در نظر گرفته شد. فاصله ردیف‌ها در هر کرت ۷۵ سانتی‌متر و فاصله بین هر گیاه در ردیف‌های کشت ۱۵ تا ۱۸ سانتی‌متر بود. برای جلوگیری از تأثیر کرت‌ها روی نتایج یکدیگر بین آن‌ها حاشیه یک متری لحاظ گردید. به‌منظور تعیین زمان مناسب آبیاری تغییرات رطوبت خاک در طول فصل کشت با استفاده از دستگاه TDR به‌طور مستمر رصد می‌شد و بعد از اتمام میزان آب سهل‌الوصول اقدام به آبیاری مجدد می‌گردید تا گیاه با هیچ‌گونه تنش رطوبتی مواجه نشود. عملیات کوددهی به‌صورت سرک و طی سه نوبت انجام گرفت و به‌ترتیب ۴۰، ۳۰ و ۳۰ درصد از کل کود اوره مشخص شده برای هر تیمار به‌ترتیب در مراحل ۷-۶ برگی (۲۲ روز پس از کشت)، ساقه رفتن (۵۲ روز پس از کشت) و قبل از گلدهی (۶۵ روز پس از کشت) به‌صورت پخش دستی و با دقت بالا در اختیار گیاه قرار داده شد. در نهایت بعد از ۱۱۹ روز از تاریخ کاشت و در تاریخ ۵ مهر برداشت نهایی محصول انجام شد.

شوند. در این مطالعه تیمارها شامل هفت سطح صفر به‌عنوان شاهد (N0)، (N1)۵۰، (N2)۱۰۰، (N3)۲۰۰، (N4)۲۵۰، (N5)۳۰۰ و (N6)۳۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (حاوی ۴۶ درصد نیتروژن) و به‌صورت طرح بلوک‌های تصادفی و با سه تکرار ایجاد شدند. این سطوح براساس آزمون خاک قبل از کاشت، با استفاده از نمونه‌برداری در عمق‌های ۳۰ و ۶۰ سانتی‌متری به گونه‌ای تعیین شدند که از مقادیر بسیار کم تا بسیار زیاد نیتروژن برای مصرف گیاه در تیمارها وجود داشته باشند. طوری که در تعدادی از تیمارها، گیاه با کمبود نیتروژن مواجه شود و در مابقی تیمارها، مقادیر نیتروژن مازاد بر نیاز گیاه وجود داشته باشد. معمولاً در مطالعات مختلف بین چهار تا شش تیمار با سطوح مختلف نیتروژنی اعمال می‌شود (۱۰ و ۱۶). علاوه بر این کودهای فسفات، پتاسیم و دیگر عناصر موردنیاز بر اساس آزمون خاک قبل از کشت در اختیار گیاه قرار داده شدند تا به جزء مقادیر نیتروژن هیچ تفاوتی بین تیمارها در طی مراحل رشد وجود نداشته باشد. خلاصه‌ای از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی.

Table 1. Physico-chemical properties of the soil used in the experiment.

اسیدیته PH	نیتروژن کل (درصد) Total nitrogen (%)	رطوبت پژمردگی (درصد حجمی) Wilting point (%)	ظرفیت زراعی (درصد حجمی) Field capacity (%)	جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب) Bulk density (gr/cm ³)	بافت خاک Texture	عمق (سانتی‌متر) Depth (cm)
8.00	0.10	13.14	26.38	1.61	loam	0-30
8.00	0.09	13.56	27.23	1.60	loam	30-60

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.

نمونه‌برداری و عملیات آزمایشگاهی: نمونه‌های گیاهی از مرحله ۷-۶ برگی (۵ تیر) تا انتهای فصل کشت طی شش نوبت از هر هفت تیمار (و از هر سه تکرار) برداشت شدند. در هر مرحله نمونه‌برداری شش گیاه از ردیف‌های میانی هر کرت آزمایشی

نیز افزایش می‌یافت. برای تعیین مقدار خطای معادلات نیتروژن بحرانی، منحنی‌های آن‌ها به‌طور جداگانه به همراه داده‌های اندازه‌گیری شده W و $N\%$ رسم شدند (شکل ۱). معادله در صورتی بدون خطا است که داده‌های گروه اول و دوم بر روی منحنی نیتروژن بحرانی و داده‌های گروه سوم در زیر آن قرار گیرند. ولی در صورتی که داده‌ای از گروه اول و دوم در زیر منحنی نیتروژن بحرانی موردنظر قرار گیرد نشان دهنده این است که آن معادله وضعیت نیتروژن برای این داده را کمتر از حد بحرانی برآورد کرده و این یک خطا به حساب می‌آید. به‌عبارت دیگر مقادیر نیتروژن بحرانی توسط معادله مربوطه بیشتر از مقدار واقعی برآورد شده است. در حالی که بیشتر اشاره شد، داده‌های گروه اول و دوم به‌ترتیب جزء تیمارهای بدون محدودیت نیتروژن و بهینه برای رشد هستند و غلظت نیتروژن در آن‌ها باید مساوی یا بزرگتر از حد بحرانی باشد. بر عکس اگر داده‌ای از گروه سوم بالا و یا روی منحنی نیتروژن بحرانی قرار گیرد به این معنی است که معادله نیتروژن بحرانی وضعیت نیتروژن آن داده را زیاده‌تر از حد بحرانی برآورد کرده و این نیز خطا محسوب می‌گردد. به عبارت دیگر مقادیر نیتروژن بحرانی توسط معادله مربوطه کمتر از مقدار واقعی برآورد شده است. در حالی که، در واقع غلظت نیتروژن داده‌های گروه سوم که در معرض کمبود نیتروژن برای رشد بهینه قرار دارند، باید کمتر از حد بحرانی باشند و پایین نمودار قرار بگیرند. در این پژوهش دامنه قرار گرفتن داده‌ها پیرامون هر کدام از منحنی‌های نیتروژن بحرانی مورد بررسی $\pm 10\%$ درصد در نظر گرفته شد. مقدار خطای هر معادله نیز از تقسیم تعداد خطاها بر روی کل داده‌ها محاسبه و بر حسب درصد به‌دست آمد و با هم مقایسه شد (۱۶).

علاوه‌بر این، با استفاده از روش استاندارد کج‌لدال میزان نیتروژن کل آن‌ها اندازه‌گیری می‌شد (۹). در نهایت داده‌های شامل W و $N\%$ برای ۱۲۶ نمونه برداشت شده از کل تیمارها (در سه تکرار) اندازه‌گیری گردید. علاوه‌بر این در برداشت نهایی وزن دانه و نیتروژن موجود در آن برای همه تیمارها اندازه‌گیری شد.

صحت‌سنجی و مقایسه دقت معادلات نیتروژن بحرانی: به‌منظور صحت‌سنجی و مقایسه دقت دو معادله نیتروژن بحرانی مدنظر در این مطالعه، پارامترهای W و $N\%$ با استفاده از فرآیند تجزیه واریانس (ANOVA) توسط نرم‌افزار SAS 9.1 تحلیل شدند. تیمار بهینه (N_{opt}) که بیشترین عملکرد دانه و کمترین مقدار مصرف کود ازت را داشت از میان تیمارهای مورد آزمایش تعیین گردید و مبنای مقایسه برای داده‌های سایر تیمارها قرار گرفت. در هر سری نمونه‌برداری اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار ($LSD, p > 0.10$) بین W اندازه‌گیری شده در تیمار بهینه (W_{opt}) و W اندازه‌گیری شده در تیمارهای با سطوح نیتروژن بالاتر از آن مشاهده نشد. سپس تیمارها در هر سری نمونه‌برداری به سه گروه تقسیم شدند. گروه اول شامل تیمارهایی بودند که مقدار کود بیشتری از تیمار بهینه به آن‌ها داده شده بود ($N > N_{opt}$). این تیمارها عملکردشان تفاوت معنی‌داری ($LSD, p > 0.10$) با عملکرد تیمار مبنا نداشت و به عبارت دیگر تیمارهای بدون محدودیت نیتروژن برای رشد بودند. گروه دوم شامل تیمار بهینه بود ($N = N_{opt}$). گروه سوم شامل تیمارهایی بودند که مقدار کود کمتری از تیمار بهینه به آن‌ها داده شده بود ($N < N_{opt}$). در این تیمارها با افزایش سطح نیتروژن، علاوه‌بر این که $N\%$ زیاد می‌شد، مقدار W به‌طور معنی‌داری ($LSD, p < 0.10$)

تیمارهای N0، N1، N2 و N3 ($N < N_{opt}$) بودند. دقت معادلات ارائه شده در فرانسه و چین در تخمین شرایط نیتروژنی گیاه نسبت به یکدیگر با قبول ۱۰ درصد خطای مجاز اطراف منحنی بحرانی مقایسه شدند (شکل ۱).

نتایج بررسی دقت معادله پیشنهاد شده در فرانسه (۱۶) با استفاده از داده‌های برداشت شده در این مطالعه نشان دادند که هفت نقطه از تیمارهای گروه سوم روی منحنی و دو نقطه از تیمارهای گروه اول و دوم زیر منحنی قرار گرفتند. به عبارت دیگر وضعیت نیتروژنی ۲۱ درصد از داده‌ها توسط این معادله به اشتباه تعیین شد (شکل ۱- الف). این در حالی است که در نتایج ارائه شده توسط پلنت و لیمایر (۲۰۰۰) مقدار خطای معادله مذکور حدود ۱/۵ درصد در شرایط آب و هوایی فرانسه گزارش شده بود (۱۶). علاوه بر این، نتیجه صحت‌سنجی معادله پیشنهاد شده در چین (۲۰) با استفاده از داده‌های برداشت شده در این مطالعه نشان دادند که ۶ نقطه (۱۴ درصد از داده‌ها) از تیمارهای گروه سوم روی این منحنی قرار گرفتند (شکل ۱- ب). وضعیت نیتروژنی دیگر نقاط بدرستی تعیین شده بود. به‌طور کلی نتایج نشان‌دهنده دقت بالاتر معادله نیتروژن بحرانی یو و همکاران (۲۰۱۴) در تعیین نیتروژن بحرانی ذرت در منطقه پاکدشت بود. با این وجود، شکل (۱) به خوبی نشان می‌دهد که هر دو معادله مورد بررسی، مقادیر نیتروژن بحرانی در شرایط پاکدشت را کمتر از مقدار واقعی برآورد کرده‌اند. علاوه بر این، همان‌طور که قبلاً (در بخش مقدمه) نیز اشاره شد استفاده از این معادلات برای تشخیص وضعیت نیتروژنی گیاه تا مرحله پر شدن دانه‌ها کاربرد دارد (۱۶). از آنجایی که در این مطالعه ۳۰ درصد از کل کود مورد نیاز، در مرحله گلدهی در اختیار گیاه قرار گرفت، عملاً گیاه تا زمان برداشت علوفه‌ای فرصت جذب نیتروژن از خاک را

در ادامه به‌منظور بررسی تأثیر خطای هر معادله در تخمین NNI، دامنه تغییرات این شاخص برای هر سه گروه داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت. همچنین تغییرات این شاخص در طول فصل کشت برای همه تیمارهای بررسی شد تا بدین ترتیب مشخص شود کدام تیمارها و در چه مراحل از دوره رشد تنش نیتروژنی را تجربه کرده‌اند. علاوه بر این، عملکرد نسبی دانه^۱ که عبارتست از نسبت عملکرد دانه به‌دست آمده در هر تیمار به بیشترین عملکرد دانه در بین تیمارها، محاسبه شد. عملکرد نسبی دانه می‌تواند رابطه‌ای خطی - مسطح^۲ با NNI داشته باشد که در این مطالعه به‌دست آمد (۱۳). برای این منظور باید متوسط NNI به‌دست آمده در طول کشت برای هر تیمار، با استفاده از رابطه (۱) و بر اساس هر دو معادله پلنت و لیمایر (۲۰۰۰) و یو و همکاران (۲۰۱۴) محاسبه می‌شد.

بحث و نتایج

صحت‌سنجی معادلات نیتروژن بحرانی: نتایج تجزیه واریانس برای پارامترهای W و N% در سطوح مختلف نیتروژن نشان دادند که اثر بلوک معنی‌دار نبود. همچنین میانگین W و N% تیمارها نیز بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار ($p < 0.10$, LSD) مقایسه شدند. مقدار W از حدود ۰/۲ تا ۲۴/۴ تن در هکتار و غلظت نیتروژن از ۰/۸۶ تا ۳/۲۸ درصد (گرم در ۱۰۰ گرم ماده خشک) متغیر بود. تیمار N4 (۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار) با میانگین عملکرد دانه ۱۰/۲۸ تن در هکتار به‌عنوان تیمار بهینه مشخص شد. با توجه به نتایج مقایسه میانگین، گروه اول تیمارها شامل تیمارهای N5 و N6 ($N > N_{opt}$)، گروه دوم شامل تیمار N4 ($N = N_{opt}$) و گروه سوم شامل

1- Relative Grain Yield

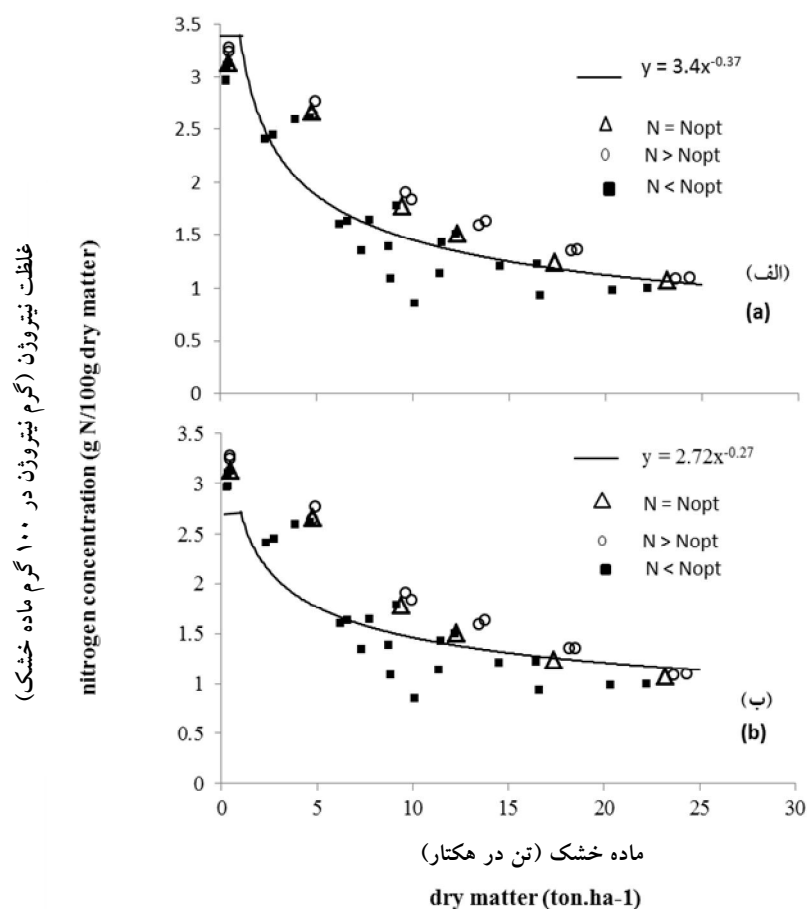
2- Linear-Plateau

$NNI < 1$ بودند. این در حالی است که در مطالعه یو و همکاران (۲۰۱۴) محدوده NNI بیش از ۹۰ درصد از داده‌ها بدرستی تخمین زده شده بودند. همچنین با استفاده از آزمون T- تست مشخص شد که میانگین مجموعه NNI تیمارهای گروه اول به‌طور معنی‌داری بزرگتر از میانگین مجموعه NNI ($p < 0.05$) تیمارهای گروه سوم بودند.

شکل (۳) تغییرات NNI در طول فصل کشت برای نمونه‌برداری‌های مختلف را نشان می‌دهد. همان‌طور که در هر دو شکل مشخص است، در ابتدای فصل کشت و بعد از اولین کوددهی (۲۲ روز بعد از کاشت) مقدار NNI افزایش می‌یابد و از روز ۴۵ به بعد، به تدریج با تکمیل مرحله رویشی و ورود به مرحله گلدهی مقدار آن تا انتهای فصل کشت کاهش می‌یابد. به‌عبارت دیگر، بعد از مراحل ابتدایی رشد برگ و ریشه گیاه، سرعت رشد رویشی به‌خصوص به نسبت میزان کود نیتروژنی که در اختیار گیاه قرار می‌گیرد با شیب بیشتری افزایش می‌یابد که این عامل باعث افزایش نرخ جذب نیتروژن نیز می‌گردد (۱۹). با افزایش نرخ جذب و بالا رفتن غلظت نیتروژن در گیاه، NNI نیز با شیب بیشتری افزایش خواهد یافت. با تکمیل مرحله رویشی و ورود به مرحله گلدهی نیز سرعت رشد گیاه و جذب نیتروژن به تدریج کاهش می‌یابد که باعث کاهش NNI نیز می‌شود.

(حتی با شیب جذب کم) داشته است. بنابراین همان‌طور که در شکل (۱) نیز نشان داده شده است، بعد از بررسی هر دو منحنی مشخص شد که حذف نقاط برداشت شده در آخرین نمونه‌برداری تأثیری در کاهش یا افزایش دقت معادلات نسبت به هم ندارند و منحنی‌ها به‌درستی این نقاط را تفکیک کرده‌اند.

مقایسه NNI محاسبه شده بر اساس معادلات نیتروژن بحرانی: بر اساس معادله نیتروژن پلنت و لیمایر (۲۰۰۰)، دامنه تغییرات مقادیر NNI برای گروه‌های اول تا سوم در شکل (۲- الف) نشان داده شده است. مقادیر NNI برای تیمارهای گروه اول در بازه ۰/۷۸ تا ۱/۶۳، برای تیمارهای گروه دوم در بازه ۰/۶۷ تا ۱/۳۹ و برای تیمارهای گروه سوم در بازه ۰/۴۶ تا ۱/۲۳ متغیر بود. ۸۳ درصد از داده‌های گروه اول دارای $NNI > 1$ و ۸۳ درصد از داده‌های گروه سوم نیز دارای $NNI < 1$ بودند. همچنین با استفاده از آزمون T مشخص شد که میانگین مجموعه NNI تیمارهای گروه اول به‌طور معنی‌داری ($p < 0.05$) بزرگتر از میانگین مجموعه NNI تیمارهای گروه سوم بودند. از طرف دیگر، دامنه تغییرات مقادیر NNI محاسبه شده بر اساس معادله نیتروژن بحرانی یو و همکاران (۲۰۱۴) برای گروه‌های اول تا سوم در شکل (۲- ب) نشان داده شده است. مقادیر NNI برای تیمارهای گروه اول در بازه ۱/۰۴ تا ۱/۷۳، برای تیمارهای گروه دوم در بازه ۰/۹۱ تا ۱/۴۹ و برای تیمارهای گروه سوم در بازه ۰/۵۳ تا ۱/۳۲ متغیر بود. علاوه‌بر این ۱۰۰ درصد از داده‌های گروه اول دارای $NNI > 1$ و ۷۹ درصد از داده‌های گروه سوم دارای

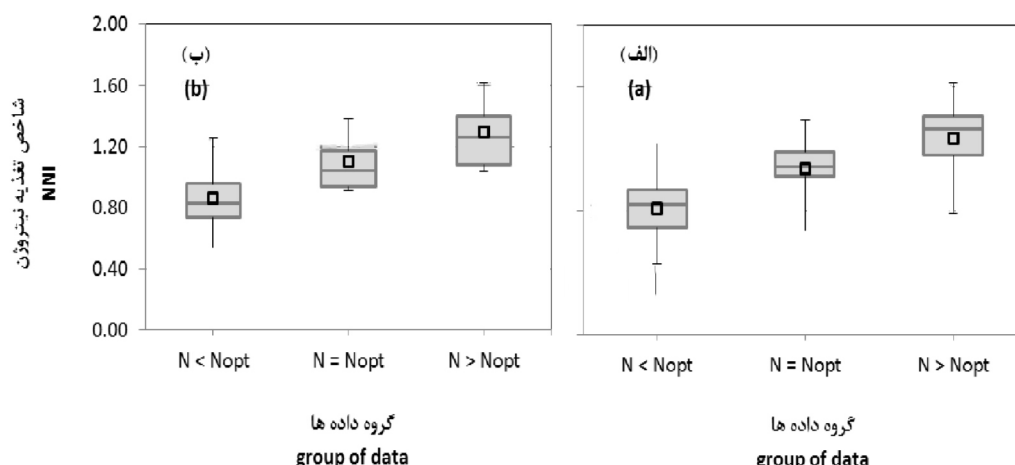


شکل ۱- رابطه بین مقادیر غلظت نیتروژن (%N) و ماده خشک (W) برداشت شده در منطقه پاکدشت به منظور صحت‌سنجی منحنی نیتروژن بحرانی الف: پلنت و لیمایر (۲۰۰۰) و ب: یو و همکاران (۲۰۱۴) (N > Nopt) تیمارهای گروه اول، N = Nopt تیمار گروه دوم و N < Nopt تیمارهای گروه سوم می‌باشند).

Figure 1. Relationships between nitrogen concentration (%N) and aerial biomass (W) obtained from Pakdasht region for critical nitrogen curve validation. a: Plenet and Lemaire (2000), b: Yue et al (2014). (N > Nopt and N = Nopt are related to treatments of first and second group respectively and N < Nopt is related to treatments of third group)

قابل تشخیص از یکدیگر هستند. تیمارهای گروه اول و دوم بر عکس تیمارهای گروه سوم در طول فصل کشت دارای $NNI \geq 1$ می‌باشد. همان‌طور که در شکل (۳-الف) مشخص است در حالت کلی NNI محاسبه شده بر اساس معادله پلنت و لیمایر (۲۰۰۰) در ابتدای فصل کشت دقت کمتری دارد که این نکته در مطالعه یو و همکاران (۲۰۱۴) نیز اشاره شده بود.

بعضی تیمارها نظیر $N0$ و $N1$ در شکل (۳-الف)، به‌طور کامل در طول فصل کشت دارای $NNI < 1$ هستند. به‌عبارت دیگر در کل فصل با کمبود منابع نیتروژن مواجه بودند. علاوه‌بر این مشخص است که تیمار بهینه $N4$ در هر دو شکل در طول فصل کشت تقریباً دچار هیچ تنش نیتروژنی نشده است. در این شکل تیمارهای هر سه گروه به خوبی

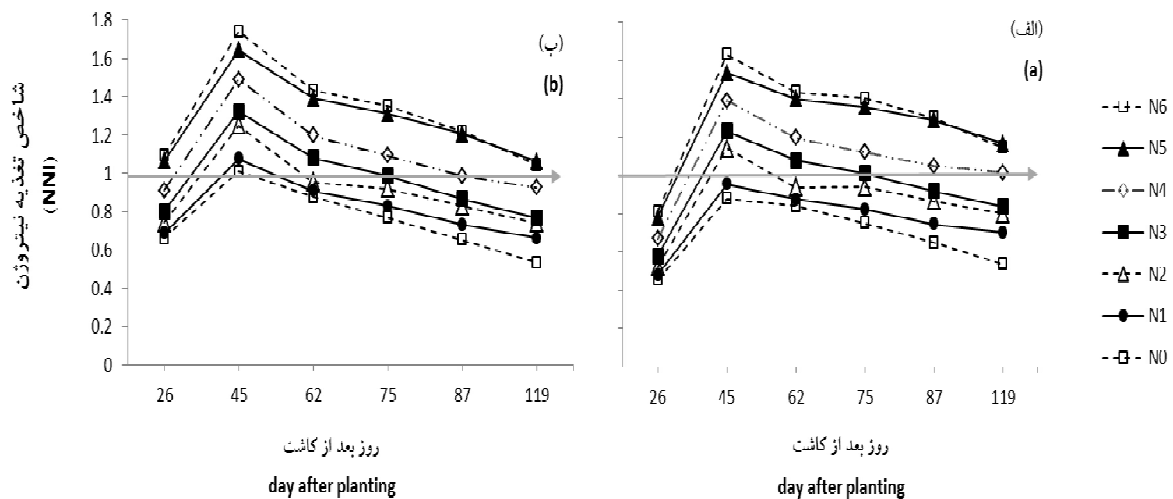


شکل ۲- دامنه تغییرات NNI بر اساس معادله نیتروژن بحرانی الف: پلنت و لیمایر (۲۰۰۰) و ب: یو و همکاران (۲۰۱۴) در تیمارهای گروه اول (N>Nopt)، گروه دوم (N=Nopt) و گروه سوم (N<Nopt). خط و مربع داخل مستطیل‌ها به ترتیب میان و میانگین داده‌ها را نشان می‌دهد. ضلع پایین و بالای مستطیل‌ها به ترتیب نشان‌دهنده چارک اول و سوم هستند. خطوط میله‌ای پایین و بالای هر مستطیل به ترتیب حدود کمترین و بیشترین مقدار داده‌ها را نمایش می‌دهند.

Figure 2. Variations range of nitrogen nutrition index (NNI) based on, a: Plenet and Lemaire (2000) b: Yue et al (2014) for treatments of first group (N>Nopt), second group (N=Nopt) and third group (N<Nopt). The line and square within the box represent the median and mean values of all data, respectively the bottom and top edges of the box represent 25 and 75 percentiles of all data, respectively; and the bottom and top bars represent minimum and maximum data, respectively.

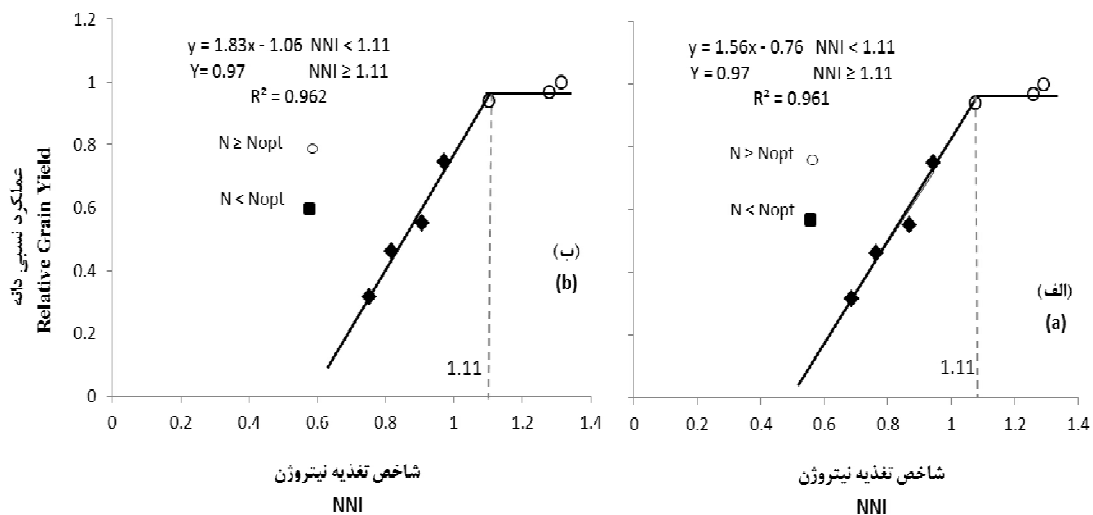
یک و بزرگتر از آن قرار بگیرند ($NNI \geq 1$)، در بازه $1/11$ و بزرگتر از آن باید باشند ($NNI \geq 1.11$). به عبارت دیگر، چنانچه NNI به دست آمده بر اساس هر دو معادله نیتروژن بحرانی مورد مقایسه در این تحقیق کمتر از $1/11$ شود، مقدار عملکرد نسبی دانه کمتر از یک ($0/97$) می‌شود که در این صورت امکان کاهش محصول وجود خواهد داشت و مقدار آن بر اساس معادلات ارائه شده در شکل (۴- الف و ۴- ب) برای شرایط $NNI < 1.11$ ، قابل تخمین است. از طرف دیگر، چنانچه $NNI \geq 1.11$ باشد عملکرد نسبی دانه تقریباً برابر با یک خواهد بود.

همان‌طور که در شکل (۴) نشان داده شده است، متوسط مقادیر NNI هر تیمار که بر اساس معادلات نیتروژن بحرانی فرانسه و چین محاسبه شده بود با عملکرد نسبی دانه رابطه‌ای خطی-مسطح با $R^2 = 0.96$ داشت. واضح است که به ازای مقادیر مختلف NNI، میزان کاهش محصول را می‌توان تخمین زد. به دلیل این‌که هر دو معادله نیتروژن بحرانی مورد بررسی در این مطالعه، مقادیر نیتروژن بحرانی برای ذرت در منطقه پاکدشت را کمتر از مقدار واقعی برآورد می‌کنند (شکل ۱)، در این مطالعه مقادیر NNI برای شرایط بدون کاهش عملکرد محصول، به جای این‌که در بازه مقادیر



شکل ۳- شاخص تغذیه نیتروژن (NNI) محاسبه شده براساس معادله الف: پلنت و لیمایر (۲۰۰۰) و ب: یو و همکاران (۲۰۱۴) برای نمونه‌های برداشت شده ذرت در طول فصل رشد.

Figure 3. Calculated nitrogen nutrition index (NNI) based on a) Plenet and Lemaire (2000) b) Yue et al (2014) for data obtained during the maize growing season.



شکل ۴- رابطه بین عملکرد نسبی دانه و شاخص تغذیه نیتروژن (NNI) محاسبه شده براساس 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. (○: تیمارهای گروه اول و دوم، ■: تیمارهای گروه سوم هستند).

Figure 4. Relation between Relative Grain Yield and calculated nitrogen nutrition index (NNI) based on a) Plenet and Lemaire (2000) b) Yue et al (2014) for maize in Pakdasht. The mean of calculated NNI during the season for each treatment was used in these graphs. (○: treatments of first and second group, ■: treatments of third group).

تعیین کند. بر طبق نتایج به دست آمده از مطالعات اخیر، تفاوت در اقلیم، ارقام تحت کشت و شیوه‌های مدیریت کشاورزی (نظیر تراکم کشت) می‌تواند باعث شود تا معادلات نیتروژن بحرانی برای یک گیاه در

در حالت کلی این نتایج نشان می‌دهند که معادله نیتروژن بحرانی یو و همکاران (۲۰۱۴) نسبت به پلنت و لیمایر (۲۰۰۰) تا حدودی با دقت بهتری می‌تواند وضعیت نیتروژن در گیاه ذرت منطقه پاکدشت را

(۲۰۱۲) و یو همکاران (۲۰۱۴) در تحقیقات خود به این نتیجه رسیده بودند.

اختلاف بین ارقام و هیبریدهای ذرت نیز می‌تواند فاکتور موثر دیگری روی تغییرات منحنی نیتروژن بحرانی باشد که تا به حال مطالعاتی برای بررسی آن صورت نگرفته است. با این وجود تحقیقاتی که روی سیب زمینی انجام شده نشان دهنده اینست که ارقام مختلف می‌تواند روی منحنی نیتروژن تأثیر بگذارد (۴). در نهایت در این مطالعه نیز توصیه می‌گردد به منظور افزایش دقت در تخمین NNI، معادلات نیتروژن بحرانی بر اساس شرایط اقلیمی و رقم‌های مورد کاربرد در هر منطقه تعیین گردند. در غیر این صورت، قبل از استفاده از معادلات نیتروژن بحرانی به دست آمده در سایر مناطق، بایستی صحت این معادلات تحت شرایط جدید بررسی شود.

نتیجه‌گیری کلی

در حالت کلی نتایج به دست آمده حاکی از آن است که معادله نیتروژن بحرانی یو و همکاران (۲۰۱۴) نسبت به پلنت و لیمایر (۲۰۰۰) با دقت بهتری می‌تواند وضعیت نیتروژن در گیاه ذرت منطقه پاکدشت را تعیین کند که یکی از دلایل آن می‌تواند تشابه بعضی پارامترهای اقلیمی مؤثر در طول دوره کشت برای دو منطقه دشت شمالی چین و پاکدشت باشد. به همین ترتیب نیز مقادیر NNI بر اساس معادله نیتروژن بحرانی یو و همکاران (۲۰۱۴) با دقت بالاتری محاسبه شد. علاوه بر این مشخص شد که NNI قادر است وضعیت تنش نیتروژنی تیمارهای مختلف و مقدار کاهش محصول ناشی از آن را در طول دوره کشت در منطقه مورد مطالعه نشان دهد. با این وجود، هر دو معادله خطای بیشتری نسبت به منطقه‌ای که در آنجا توسعه یافته بودند داشتند.

مناطق مختلف با یکدیگر فرق داشته باشند (۲۰) و (۱۳).

دشت شمالی چین دارای اقلیم قاره‌ای با زمستان‌های سرد و تابستان‌های گرم است. در حالی که فرانسه دارای اقلیمی معتدل و مرطوب با تابستان‌های خنک است که باعث می‌شود بازه تغییرات دمای هوا در طول سال کم باشد (۲۰). این در حالی است که در اکثر نقاط ایران به خصوص منطقه پاکدشت، اقلیم گرم و نیمه خشک با تابستان‌هایی گرم حاکم است. به همین دلیل ذرت در فرانسه به صورت بهاره و در دشت شمالی چین و مناطق گرم و خشک ایران به صورت تابستانه کشت می‌گردد. این عامل طول دوره رشد و در نتیجه آن میزان عملکرد محصول را تحت تأثیر قرار می‌دهد. درجه حرارت بالا در طول تابستان باعث کاهش دوره رشد ذرت می‌شود. به طوری که طول دوره رشد ذرت در اروپا و چین به ترتیب در حدود ۱۵۰ و ۱۱۵ روز است (۱۵ و ۸). همچنین در اکثر مناطق گرم و خشک ایران دوره رشد ذرت (برای رقم سینگل کراس ۷۰۴) حدود ۱۱۰ تا ۱۲۰ روز می‌باشد. هر چه طول دوره رشد کوتاه‌تر باشد، گیاه زمان کمتری برای جذب نیتروژن دارد و میزان عملکرد دانه ذرت کمتر می‌گردد (۲ و ۵). همچنین متوسط دمای هوا در طول مرحله رشد گیاه (از ژوئن تا سپتامبر) در دشت شمالی چین و اروپا به ترتیب ۲۴/۷ و ۱۶/۵ درجه سانتی‌گراد است (۸ و ۲۰). این در حالی است که این عدد برای شهرستان پاکدشت ۲۹/۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. با توجه به این آمار می‌توان نتیجه گرفت که دقت بالاتر معادله نیتروژن بحرانی یو و همکاران (۲۰۱۴) در منطقه پاکدشت می‌تواند به دلیل تشابه بیشتر اقلیم و طول دوره کشت ذرت در دو منطقه (دشت شمالی چین و پاکدشت) باشد. پیش از این نیز لی و همکاران

منابع

1. Ata-Ul-Karim, ST, Yao, X, Liu, X, Cao, W, and Zhu, Y. 2014. Determination of Critical Nitrogen Dilution Curve Based on Stem Dry Matter in Rice. PLoS ONE, 9(8): 1-12.
2. Barnabas, B., Jäger, K., and Fehér, A. 2008. The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. Plant Cell Environ. 31: 11–38.
3. Behdadian, A., Soltani, A., Zeinali, E., Ajam nouroozi, H., and Masoomi, H. 2013. Evaluation of nitrogen fertilizer management effects on yield in flowering stage of rapeseed in Gorgan region. Agric. Crop Manag. 15(1): 163-174. (In farsi)
4. Belanger, G., Walsh, J., Richards, J., Milburn, P., and Ziadi, N. 2001. Critical nitrogen curve and nitrogen nutrition index for potato in eastern Canada. Am. J. Potato Res. 78: 355–364.
5. Cicchino, M., Edreira, J.I.R., Uribelarra, M., and Otegui, M.E. 2010. Heat stress in field-grown maize: response of physiological determinants of grain yield. Crop Sci. 50: 1438–1448.
6. Colnenne, C., Meynard, J.M., Reau, R., Justes, E., Merrien, A. 1998. Determination of a critical nitrogen dilution curve for winter oilseed rape. Ann. Bot. 81: 311-317.
7. 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. Ann. Bot. 66: 425–436.
8. Herrmann, A., and Taube, F. 2004. The range of the critical nitrogen dilution curve for maize (*Zea mays* L.) can be extended until silage maturity. Agr. J. 96: 1131–1138.
9. Horowitz, W. 1970. Official Methods of Analysis. in 11th Edition. Association of official Analytical Chemists, Washington, D.C.
10. Justes, E., Mary, B., Meynard, J.M., Machet, J.M., and Thelier-Huchel. 1994. Determination of a critical nitrogen dilution curve for winter wheat crops. Ann. Bot. 74: 397–407.
11. Lemaire, G., Gastal, F., and Salette, J. 1989. Analysis of the effect of N nutrition on dry matter yield of a sward by reference to potential yield and optimum N content. In XVI International Grassland Congress, Nice, France, Pp: 179–180.
12. Lemaire, G., and Gastal, F. 2009. Quantifying crop responses to nitrogen deficiency and avenues to improve nitrogen use efficiency. In: Sadras, V., and Calderini, D. (eds.), Crop Physiology: Applications for Genetic Improvement and Agronomy. Academic Press, San Diego, CA. Pp: 171–211.
13. Li, W., He, P., and Jin, J. 2012. Critical nitrogen curve and nitrogen nutrition index for spring maize in north east china. J. Plant Nut, 35: 11, 1747-1761.
14. Malakooti, M.J. 1996. Sustainable Agriculture and Increasing Performance with Improving Fertilizer Use in Iran. Agricultural Education. press, 1st edition, 279p. (In farsi)
15. Meng, E.C.H., Hu, R.F., Shi, X.H., and Zhang, S.H. 2006. Maize in China: Production Systems, constraints, and Research Priorities. CIMMYT, Mexico.
16. Plenet, D., and Lemaire, G. 2000. Relationships between dynamics of nitrogen uptake and dry matter accumulation in maize crops. Plant Soil, 216: 65–82.
17. Ramos, T.B., Šimunek, J., Goncalves, M.C., Martins, J.C., Prazeres, A., Pereira, L.S., 2012. Two-dimensional modeling of water and nitrogen fate from sweet sorghum irrigated with fresh and blended saline waters. Agric. Water Manag. 111: 87–104.
18. Rangzan, R., Ziyaieyan firoozabadi, P., Mirzaie, L., Alijani, F. 2008. State-wide of vulnerability in Varamin aquifer using DRASTIC and Empirical assessment of the unsaturated zone influence in GIS. Iran. J. Geo. 2(6): 21-32. (In farsi)
19. Yin, F., Fu, B., and Mao, R. 2007. Effect of nitrogen fertilizer application rates on nitrate nitrogen distribution in saline soil in the Hai river basin, china. J. Soils Sediments, 7(3): 136-142.
20. 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.
21. Zeinali, E., Soltani, A., Galeshi, S., and Movahedi Naeni, S.A. 2012. Evaluating Nitrogen

- Nutrition Index of Wheat (*Triticum aestivum* L.) Fields in Gorgan. *J. Plant Prod.* 19(4): 137-156. (In farsi)
22. Ziadi, N., Brassard, M., B'elanger, G., Cambouris, A.N., Tremblay, N., Nolin, M.C., Claessens, A., and Parent, L.-E. 2008. Critical nitrogen curve and nitrogen nutrition index for corn in eastern Canada. *Agron. J.* 100: 271-276.
23. Ziadi, N., B'elanger, G., Claessens, A., Lefebvre, L., Cambouris, A.N., Tremblay, N., Nolin, M.C., and Parent, L.-E. 2010. Determination of a critical nitrogen dilution curve for spring wheat. *Agr. J.* 102: 41-250.