

## معادله نیتروژن بحرانی گیاه ذرت در منطقه پاکدشت

آرش رنجبر<sup>۱</sup>، علی رحیمی خوب<sup>۲\*</sup>، مریم وراوی پور<sup>۳</sup>، حامد ابراهیمیان<sup>۴</sup>

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

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

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

۴. استادیار، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۲/۲۳ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۳/۲۴)

### چکیده

نیاز گیاه به کود ازت در طول دوره رشد متغیر است ولی اکثر کشاورزان مقادیر زیاد آن را با هدف رسیدن به حداکثر عملکرد محصول و بدون آگاهی از زمان مناسب در اختیار گیاه می‌گذارند. عدم آگاهی از مقدار و زمان مناسب مصرف کود باعث آلودگی محیط زیست می‌شود. با استفاده از معادله نیتروژن بحرانی، حداقل نیتروژن مورد نیاز در طی دوره رشد تعیین می‌شود. هدف از این پژوهش تعیین ضرایب معادله فوق برای گیاه ذرت در منطقه پاکدشت بود. ذرت (رقم سینگل کراس ۷۰۴) به مدت یک فصل در مزرعه پردیس ابوریحان کشت شد. مقدار ماده خشک اندام هوایی (W) و غلظت نیتروژن بحرانی (Nc) آن در شش زمان مختلف، از ۲۶ روز پس از کاشت تا آخر رشد کامل محصول اندازه‌گیری شد. ضرایب معادله فوق با استفاده از تئوری منحنی ترقیق نیتروژن بحرانی تعیین شدند. در نهایت رابطه  $Nc = 2.9 W^{-0.27}$  به عنوان معادله نیتروژن بحرانی در منطقه پاکدشت پیشنهاد شد. نتایج نشان داد که با استفاده از معادله ارائه شده در این تحقیق، مقادیر نیتروژن بحرانی ذرت در طول فصل رشد با دقت بالایی تعیین شده است و تیمارهایی که شامل مقادیر نیتروژن بیش از حد نیاز بودند به خوبی از تیمارهایی که با کمبود نیتروژن در طول فصل مواجه بودند تفکیک شدند. در مجموع فقط وضعیت نیتروژن حدود ۹ درصد از داده‌های گیاهی نادرست تعیین شده بود. بنابراین با استفاده از این معادله می‌توان مدیریت دقیقتری در مصرف کود نیتروژن در طول فصل رشد ذرت داشت و در نتیجه آن احتمال آلودگی منابع آب و محیط زیست کمتر خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: نیاز نیتروژن، منحنی ترقیق نیتروژن بحرانی، ذرت.

### مقدمه

طبق آمار بدست آمده، مصرف کودهای شیمیایی در واحد سطح محصولات زراعی در کشور از ۳۱۲ کیلوگرم بر هکتار در سال ۱۳۷۸-۱۳۷۹ به ۳۸۶ کیلوگرم بر هکتار در سال ۱۳۸۵-۱۳۸۶ افزایش یافته است (Sepaskhah, 2010). مطالعات متعددی نشان داده که مصرف بی رویه کودهای نیتروژنه باعث آلودگی نیترات به خارج از محدوده توسعه ریشه شده و با آلوده کردن آب‌های زیر زمینی به سلامت انسان‌ها لطمه وارد می‌کند. 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 (Rangzan et al., 2008).

طی دو دهه اخیر، نتایج تحقیقات نشان داده که شاخص تغذیه نیتروژن (NNI) یک ابزار کارآمد برای تحلیل داده‌های بدست آمده از آزمایشات مزرعه‌ای به منظور تعیین وضعیت نیتروژنی گیاه و مدیریت کودهای نیتروژنه در مزرعه است (Justes et al., 1994; Ata-Ul-Karim et al., 2014). این شاخص نسبت بین جذب واقعی نیتروژن و جذب نیتروژن بحرانی است که در طول دوره رشد گیاه اندازه‌گیری می‌شود. منظور از نیتروژن بحرانی، حداقل غلظت نیتروژن مورد نیاز در اندام هوایی گیاه است که منجر به تولید حداکثر ماده خشک در زمان معینی از دوره رشد می‌شود (Ulrich, 1952). برای استفاده از منحنی نیتروژن بحرانی، باید رابطه آن با دقت بالا برای گونه‌های مختلف گیاه تعیین شود (Plenet and Lemaire, 2000). مطالعاتی که در این زمینه انجام شده نشان می‌دهند که

استان تهران، واقع در دشت ورامین می‌باشد. ذرت به عنوان یکی از کشت‌های اصلی تابستانه در این منطقه بشمار می‌رود که مصرف آب و نیتروژن بالایی دارد و از طرفی اکثر کشاورزان بدلیل فقدان ابزاری مناسب برای تشخیص وضعیت نیتروژن در گیاه، مقدار کود بیش از حد را بدون آگاهی از زمان مناسب استفاده می‌کنند. لذا با توجه به آسیب‌پذیری بالای آلودگی نترات در آبخوان این منطقه، منحنی نیتروژن بحرانی می‌تواند ابزار مفیدی برای بهبود سطح مدیریت کودهای نیتروژنه در مزارع باشد که باید با دقت بالا تعیین شود.

هدف نخست این تحقیق تعیین ضرایب معادله نیتروژن بحرانی برای محصول ذرت در منطقه پاکدشت است. سپس با استفاده از داده‌های برداشت شده در این مطالعه، دقت معادلات پیشنهاد شده در فرانسه (Plenet and Lemaire, 2000) و چین (Yue et al., 2014) در تخمین نیتروژن بحرانی ذرت در پاکدشت بررسی و نتایج آن با معادله ارائه شده در این مطالعه مقایسه شد.

## مواد و روش‌ها

### تئوری تعیین معادله نیتروژن بحرانی

غلظت نیتروژن بحرانی عبارت است از حداقل غلظت نیتروژن مشاهده شده در میان همه تیمارهایی که بیشترین عملکرد ماده خشک را تا تاریخ معینی در طول دوره کشت دارند. با نمونه-برداری‌های متوالی در طول فصل کشت از مزارع می‌توان نقاط نیتروژن بحرانی را در طول دوره رشد گیاه تعیین کرد. Justes et al (1994) به منظور تعیین نقاط بحرانی نیتروژن در هر سری نمونه‌برداری، یک روش آماری ارائه دادند که در این مطالعه از آن استفاده شد. این روش در سه مرحله انجام می‌شود. در مرحله اول، تیمارهای آزمایش بر اساس سطوح مختلف نیتروژن، از کم تا زیاد، تعیین می‌شوند. به 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 با توجه به آزمون اولیه خاک بین چهار تا شش تیمار با سطوح مختلف نیتروژنی اعمال می‌شود (Justes et al., 1994; Plenat and Lemaire, 2000). بعد از اعمال تیمارها، باید نمونه-برداری از قسمت هوایی گیاه در طول دوره رشد طی چند نوبت انجام گیرد. از نمونه‌های برداشت شده در هر نوبت، برای هر تیمار وزن ماده خشک (W) و غلظت نیتروژن موجود در گیاه (%N) اندازه‌گیری می‌گردد. برای مثال مقادیر بدست آمده برای W و %N در یک دوره نمونه‌برداری از تیمارها در شکل (۱) نشان داده شده است.

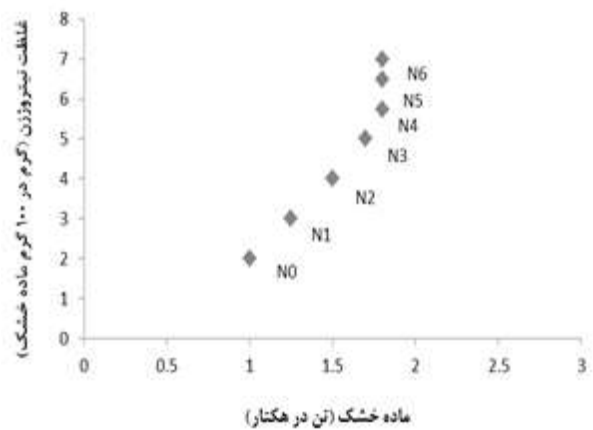
غلظت نیتروژن بحرانی توسط یک رابطه توانی با وزن ماده خشک اندام هوایی گیاه در ارتباط است که منحنی ترقیق نیتروژن بحرانی نامیده می‌شود (Greenwood et al., 1990; Lemaire and Gastal, 2009). این رابطه به صورت زیر ارائه شده است (Justes et al., 1994):

$$N_c = aW^b \quad (\text{رابطه ۱})$$

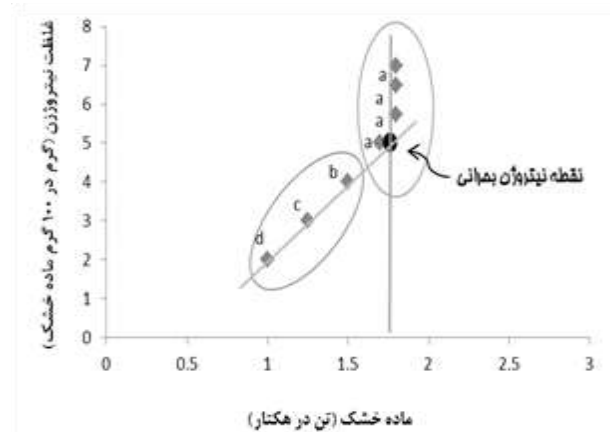
در رابطه فوق، W مقدار عملکرد ماده خشک اندام هوایی گیاه (تن در هکتار)،  $N_c$  غلظت بحرانی نیتروژن بر حسب درصد (گرم نیتروژن در ۱۰۰ گرم ماده خشک)، a و b ضرایب معادله‌اند. Justes et al (1994) یک روش آماری دقیق به منظور تعیین رابطه نیتروژن بحرانی برای گندم زمستانه ارائه دادند. Plenat and Lemaire (2000) نیز با استفاده از همین روش معادله  $N_c = 3.4 W^{-0.37}$  را به عنوان رابطه نیتروژن بحرانی گیاه ذرت (کشت بهاره) در فرانسه ارائه دادند. برای زمانی که ماده خشک کوچکتر از یک تن در هکتار بود، مقدار ثابت ۳/۴ گرم نیتروژن در ۱۰۰ گرم ماده خشک به عنوان غلظت نیتروژن بحرانی در گیاه، مستقل از مقدار ماده خشک در نظر گرفته شد. این رابطه توسط Herrmann and Taube (2004) در آلمان و Ziadi et al (2008) در کانادا بر روی کشت بهاره ذرت بررسی گردید و مورد تایید آنها نیز قرار گرفت.

تعیین روابط ترقیق نیتروژن بحرانی شامل فرآیندی زمانبر و پرهزینه است. لذا تا به امروز در ایران به ناچار از روابط بدست آمده در سایر کشورها استفاده شده است. برای مثال Zeinali et al (2012) وضعیت تغذیه نیتروژنی شانزده مزرعه گندم را با استفاده از رابطه نیتروژن بحرانی ارائه شده توسط Justes et al (2009) در شمال فرانسه ارزیابی کردند. همچنین Behdadian et al (2013) با استفاده از رابطه ترقیق نیتروژن بحرانی ارائه شده توسط Colenne et al (1998) اثرات مدیریت کود نیتروژن در مرحله گلدهی بر عملکرد کلزا در گرگان را ارزیابی کردند. این در حالیست که نتایج مطالعه Yue et al (2014) نشان داد که رابطه بدست آمده برای کشت بهاره ذرت در فرانسه و اروپا نمی‌تواند به طور رضایتبخشی در شرایط آب و هوایی چین مورد استفاده قرار گیرد. دلیل آن نیز تفاوت اقلیم و ارقام ذرت مورد استفاده در دو منطقه و تاثیر آنها روی طول دوره رشد و عملکرد ذرت عنوان شد. آنها در نهایت رابطه  $N_c = 2.72 W^{-0.27}$  را برای کشت تابستانه ذرت در دشت‌های شمالی چین ارائه دادند. علاوه بر این، در برخی مطالعات اختلاف بین منحنی ترقیق نیتروژن در گندم پاییزه و بهاره نیز ثابت شده است (Justes et al., 1994; Ziadi et al., 2010). شهرستان پاکدشت یکی از مهم‌ترین مناطق کشاورزی

میان نقاط گروه دوم ترسیم می‌شود. مقدار غلظت نیتروژن بحرانی (%Nc) از محل تقاطع دو خط فوق بدست می‌آید (شکل ۳). آزمایشات در چند نوبت انجام می‌شود تا غلظت نیتروژن بحرانی و متناظر آن ماده خشک در طول دوره رشد گیاه بدست آید. در آخرین مرحله، یک منحنی نمایی به فرم کلی  $ax^b$  از بین نقاط نیتروژن بحرانی و ماده خشک برازش داده می‌شود (شکل ۴) و ضرایب معادله نیتروژن بحرانی بدست می‌آید.

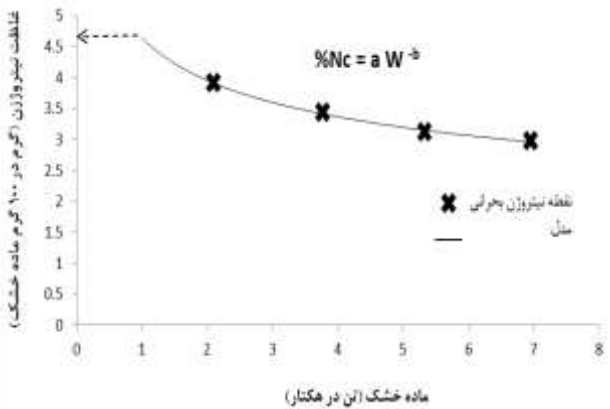


شکل ۱- شماتیک تغییرات ماده خشک و غلظت نیتروژن برای تیمارهای با کمترین سطح نیتروژن (N0) تا بیشترین سطح نیتروژن (N6)



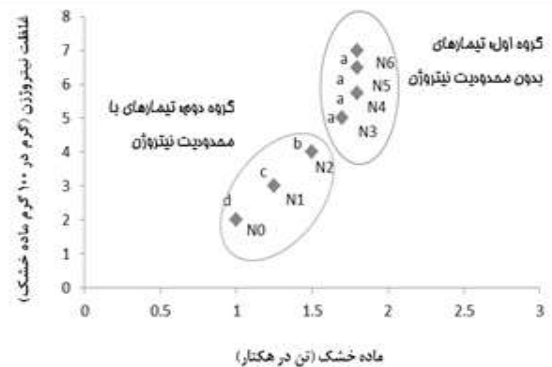
شکل ۲- مقدار نیتروژن بحرانی در محل تقاطع دوخط

در مرحله دوم، تیمارها به دو گروه تقسیم می‌شوند (شکل ۲). گروه اول شامل تیمارهای بدون محدودیت نیتروژن برای رشد هستند (N3 تا N6). بطوریکه در این تیمارها، افزایش کاربرد نیتروژن منجر به افزایش %N می‌شود اما به طور معنی‌داری باعث افزایش W نمی‌گردد. تیمارهایی که عملکرد ماده خشک‌شان تفاوت معنی‌دار ندارند، در شکل (۲) با نماد a نشان داده شده‌اند. گروه دوم شامل تیمارهایی‌اند که نیتروژن به عنوان عامل محدود کننده رشد در آنها به حساب می‌آید (N0, N1 و N2). به عبارت دیگر در این تیمارها با افزایش سطح نیتروژن، علاوه بر اینکه %N زیاد می‌شود، مقدار W به طور معنی‌داری نیز افزایش می‌یابد. به علت معنی‌دار بودن عملکرد این تیمارها، داده‌های آن بر روی شکل با نمادهای b, c و d مشخص شدند. برای تعیین معنی‌دار بودن تیمارها، سطح اطمینان ۱۰ درصد ( $p < 0.10$ ) توصیه شده است (Justes et al., 1994).



شکل ۳- منحنی نیتروژن بحرانی

Planet and Lemaire (2000) توضیح دادند که مقدار %Nc برای مقادیر عملکرد کمتر از یک تن در هکتار برابر با ضریب ثابت a در نظر گرفته می‌شود. آنها دلیل اینگونه توضیح دادند که برای مقادیر W کمتر از یک تن در هکتار، رقابتی برای جذب نور بین گیاهان وجود ندارد و از طرفی، Lemaire and Gastal (1997) اثبات کرده بودند که برای یک گیاه منفرد که هیچگونه رقیبی در جذب نور ندارد، ترقیق نیتروژن با افزایش W کم است. بر همین اساس در این مطالعه نیز مقدار %Nc برای مقادیر عملکرد کمتر از یک تن در هکتار برابر با ضریب ثابت a در نظر گرفته شد.



شکل ۴- تفکیک تیمارهای گروه اول و دوم

در مرحله سوم، دو خط از میان نقاط رسم می‌شود. اولین خط به موازات محور %N (محور عمودی) از میان نقاط گروه اول و دومین خط با کمترین مربعات خطا (خط رگرسیون) از

### خطای معادلات نیتروژن بحرانی

برای تعیین مقدار خطای معادله نیتروژن بحرانی، Plenet and Lemaire (2000) روشی ارائه دادند که در این مطالعه نیز از آن استفاده شد. در این روش تیمار بهینه که بیشترین عملکرد و کمترین مقدار مصرف کود ازت را دارد از میان تیمارهای مورد آزمایش مشخص می‌گردد و داده‌های آن برای مقایسه با سایر داده‌ها، مبنا می‌شود. داده‌های سایر تیمارها در دو گروه قرار می‌گیرند. گروه اول داده‌هایی‌اند که عملکردشان تفاوت معنی‌دار با داده‌های مبنا ندارد ولی داده‌های گروه دوم تفاوت معنی‌دار دارد. برای تعیین مقدار خطا، منحنی تغییرات معادله نیتروژن بحرانی و داده‌های اندازه‌گیری شده که شامل دو متغیر عملکرد ماده خشک و غلظت نیتروژن در گیاه است در یک صفحه رسم می‌گردد. معادله نیتروژن بحرانی در صورتی بدون خطا است که داده‌های گروه اول بر روی منحنی نیتروژن بحرانی و داده‌های گروه دوم در زیر آن قرار گیرند. ولی در صورتیکه داده‌ای از گروه اول در زیر منحنی نیتروژن بحرانی قرار گیرد نشان‌دهنده این است که معادله نیتروژن بحرانی وضعیت نیتروژن برای این داده را کمتر از حد بحرانی برآورد کرده و این یک خطا به حساب می‌آید. بر عکس اگر داده‌ای از گروه دوم بالای منحنی نیتروژن بحرانی قرار گیرد به این معنی است که معادله نیتروژن بحرانی وضعیت نیتروژن آن داده را زیادتر از حد بحرانی برآورد کرده و این نیز خطا محسوب می‌گردد. در این پژوهش دامنه قرار گرفتن داده‌ها بر روی منحنی نیتروژن بحرانی  $\pm 10\%$  درصد در نظر گرفته شده است. مقدار خطای معادله مورد بررسی از تقسیم تعداد خطاها بر روی کل داده‌ها محاسبه و بر حسب درصد بیان می‌شود.

### 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 در جنوب شرقی تهران کشت شد. منطقه مورد مطالعه با ارتفاع ۱۰۲۰ متری از سطح دریا، از نظر جغرافیایی در طول  $66^{\circ} 51'$  شرقی و عرض  $35^{\circ} 46'$  شمالی واقع شده است. میانگین سالانه دمای هوای منطقه طی دهه گذشته در حدود ۱۹ درجه سانتیگراد بوده است که ماه‌های جولای (تیر) و ژانویه (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 طبقه بندی دومارتن دارای اقلیمی خشک است.

در این مطالعه 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٪ نیتروژن) و به صورت طرح بلوک‌های تصادفی و با سه تکرار ایجاد شدند. این سطوح براساس آزمون خاک قبل از کاشت، با استفاده از نمونه‌برداری در عمق‌های ۰-۳۰ و ۰-۶۰ 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). همچنین بر اساس آزمون خاک قبل از کشت و مقادیر فسفر و پتاسیم موجود در آن (جدول ۱) مشخص شد که خاک هیچگونه کمبودی از این عناصر ندارد. خلاصه‌ای از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول (۱) ارائه شده است. درصد ذرات خاک نیز با استفاده از آزمایش هیدرومتری تعیین شدند.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

پارامتر	عمق ۰ تا ۳۰ سانتیمتر	عمق ۳۰ تا ۶۰ سانتیمتر
جرم مخصوص ظاهری ( $g/cm^3$ )	۱/۶۰۵	۱/۶
ظرفیت زراعی (درصد حجمی)	۲۶/۳۸	۲۷/۲۳
رطوبت پژمردگی (درصد حجمی)	۱۳/۱۴	۱۳/۵۶
نیتروژن کل (%)	۰/۱	۰/۰۹
فسفر در دسترس (ppm)	۵۰/۵	۳۹/۹
پتاسیم در دسترس (ppm)	۵۵۰/۵	۵۳۰/۵
رس	۱۳/۶	۱۵/۶
درصد ذرات خاک سیلت	۳۵/۶	۳۵/۶
شن	۵۰/۸	۴۸/۸

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 تاثیر کرت‌ها روی نتایج یکدیگر بین آنها حاشیه یک متری لحاظ گردید. به منظور تعیین زمان مناسب آبیاری تغییرات رطوبت خاک در طول فصل کشت با استفاده از دستگاه TDR به طور مستمر رصد می‌شد و بعد از اتمام میزان آب سهل الوصول (و رسیدن رطوبت خاک به ۲۰ درصد حجمی) اقدام به آبیاری مجدد می‌گردید تا گیاه با هیچ‌گونه تنش رطوبتی مواجه نشود. عملیات کوددهی به صورت سرک و طی سه نوبت انجام گرفت و به ترتیب ۴۰، ۳۰ و ۳۰ درصد از کل نیتروژن مشخص شده برای هر تیمار به ترتیب در مراحل ۶-۷ برگی (۱ تیر)، ساقه رفتن (۳۱ تیر) و قبل از گلدهی (۱۳ مرداد) به صورت

تغییرات غلظت نیتروژن بحرانی در طول دوره رشد تا حدود ۸۵ درصد تابع متغیر عملکرد خشک گیاه می‌باشد. برای زمانی که وزن ماده خشک کوچکتر از یک تن در هکتار بود، مقدار ثابت ۲/۹ گرم نیتروژن در ۱۰۰ گرم ماده خشک به عنوان غلظت نیتروژن بحرانی در گیاه، مستقل از وزن ماده خشک در نظر گرفته شد. با بررسی کل ۴۲ داده برداشت شده، مقدار W از حدود ۰/۲ تا ۲۴/۴ تن در هکتار و غلظت نیتروژن بحرانی از ۳/۲ تا یک گرم در ۱۰۰ گرم ماده خشک متغیر بود.

تغییرات غلظت نیتروژن و عملکرد ماده خشک برای تیمارهای مختلف در طی مراحل نمونه‌برداری در شکل (۷) نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود، مقدار غلظت نیتروژن در همه تیمارها با افزایش وزن ماده خشک روند کاهشی دارد و شیب آن برای تیمارهای با سطوح کمتر نیتروژن بیشتر است. این شرایط همانند نتایج بدست آمده توسط Plenet and Lemaire (2000) می‌باشد. همچنین این شکل مرحله زمانی کمبود نیتروژن در تیمارهای با سطح کود پایین‌تر را به خوبی نشان می‌دهد. به عبارت دیگر در مراحل ابتدایی دوره رشد نرخ رشد در تیمارهای مختلف ثابت بود و فقط غلظت نیتروژن در ماده خشک گیاه کاهش داشت. اما با شروع مرحله رویشی، بتدریج نرخ رشد در تیمارهای با سطوح کود کمتر نیز کاهش یافته است.

#### مقایسه دقت معادلات نیتروژن بحرانی:

مقادیر غلظت نیتروژن و عملکرد ماده خشک تیمارهای مختلف این پژوهش با استفاده از فرآیند تجزیه واریانس (ANOVA) و آزمون مقایسه میانگین حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD,  $p < 0.10$ ) توسط نرم افزار SAS 9.1 آنالیز شدند و تیمار N4 به عنوان تیمار بهینه مشخص شد. در کل ۴۲ داده از هفت تیمار و شش نمونه‌برداری در طول فصل رشد بدست آمده بود که به دو گروه تقسیم شدند. سپس دقت منحنی‌های ترقیق نیتروژن بحرانی پیشنهادی در این مطالعه به همراه مدل‌های Plenet and Lemaire (2000) و Yue *et al* (2014) نسبت به یکدیگر با قبول ۱۰ درصد خطای مجاز اطراف منحنی بحرانی مقایسه شدند (شکل ۸).

نتایج نشان داد که منحنی ترقیق نیتروژن بحرانی بدست آمده در این مطالعه نسبت به دو منحنی دیگر دقت بالاتری برای منطقه پاکدشت و رقم سینگل کراس ۷۰۴ دارد. بطوریکه فقط چهار نقطه که W آنها به طور معنی‌داری کمتر از  $W_{opt}$  بود روی منحنی نیتروژن بحرانی قرار گرفتند ( $\%N > 1.1$ )  $\%N_c$  به عبارت دیگر وضعیت نیتروژنی ۹ درصد از داده‌ها به اشتباه تعیین شد (شکل ۸- الف). همچنین نتیجه ارزیابی

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 انجام شد.

#### نمونه برداری و عملیات آزمایشگاهی

نمونه‌های گیاهی از مرحله ۶-۷ برگگی (۵ تیر) تا انتهای فصل کشت طی شش نوبت از هر هفت تیمار برداشت شدند. در هر مرحله نمونه‌برداری شش گیاه از ردیف‌های 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 و غلظت نیتروژن برای ۱۲۶ نمونه برداشت شده از کل تیمارها (در هر سه تکرار) اندازه‌گیری گردید.

#### نتایج و بحث

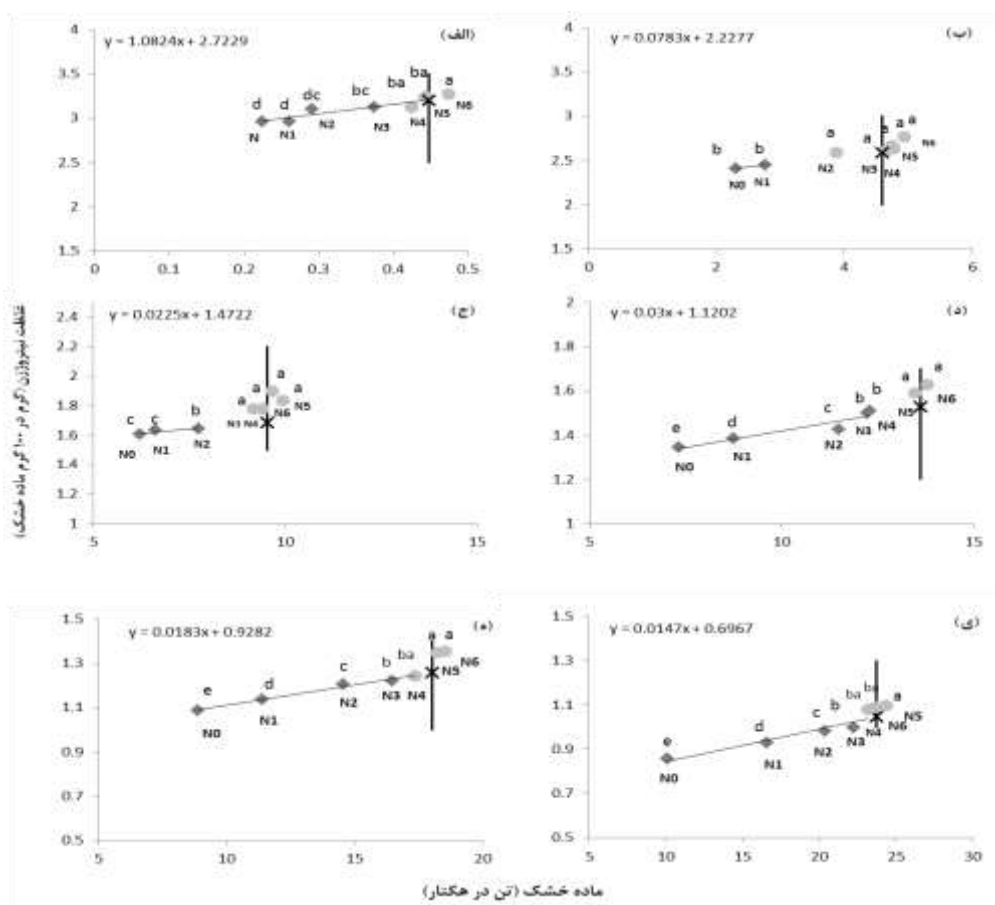
طبق روش پیشنهادی Justes *et al* (1994) در هر نمونه برداری، وزن ماده خشک (W) و غلظت نیتروژن (%N) برای هر هفت تیمار با استفاده از فرآیند تجزیه واریانس (ANOVA) توسط نرم افزار SAS 9.1 تحلیل شد. میانگین W و %N تیمارها نیز بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار ( $p < LSD, 0.10$ ) مقایسه و مشخص شد که اثر بلوک بر تیمارها در سطح ۱۰ درصد معنی‌دار نبود. داده‌های عملکرد ماده خشک و غلظت نیتروژن گیاه برای همه تیمارها و در شش نوبت اندازه‌گیری طی دوره رشد در شکل (۵) ارائه شده است. در هر نوبت اندازه‌گیری تفاوت معنی‌دار بودن عملکرد تیمارها در سطح ۱۰ درصد مورد بررسی قرار گرفت و همانطور که در شکل (۲) اشاره شد، تیمارهایی که عملکردشان تفاوت معنی‌داری با حداکثر مقدار داشتند مشخص شدند. مقادیر غلظت بحرانی نیتروژن با همان ترتیبی که در مواد و روش‌های این تحقیق آمد، برای هر نوبت اندازه‌گیری مشخص و پراکنش آنها در شکل (۶) ملاحظه می‌شود. برای تعیین منحنی ترقیق نیتروژن بحرانی، مطابق آنچه در مواد و روش‌ها ذکر شد، منحنی نمایی به فرم کلی  $ax^b$  بر روی داده‌های شکل (۶) برازش داده شد و معادله زیر با ضریب تعیین ۰/۸۵ بدست آمد:

$$N_c = 2.9W^{-0.27} \quad (\text{رابطه } ۲)$$

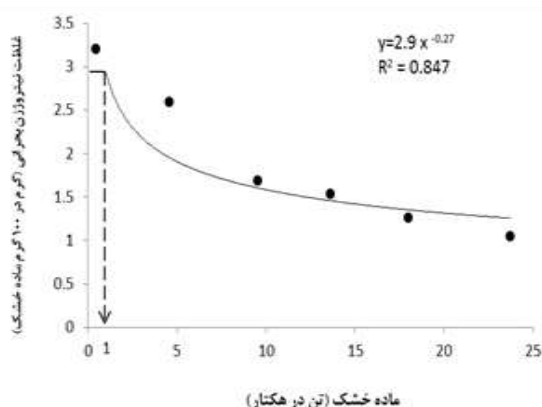
همانطور که ملاحظه می‌شود، ضرایب a و b منحنی ترقیق نیتروژن بحرانی برای ذرت سینگل کراس به ترتیب ۲/۹ و ۰/۲۷- برآورد شده است. ضریب تعیین ۰/۸۵ نشان می‌دهد،

نقطه (۱۴ درصد از داده‌ها) که  $W$  آنها به طور معنی‌داری کمتر از  $W_{opt}$  بود دارای  $N$  بیشتری نسبت به  $N_c$  محاسبه شده توسط معادله Yue *et al* (2014) بودند و روی این منحنی قرار گرفتند (شکل ۸-ج). وضعیت نیتروژنی مابقی نقاط بدرستی تعیین شده بود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که معادلات نیتروژن بحرانی Plenet and Lemaire (2000) و Yue *et al* (2014) نسبت به معادله بدست آمده در این مطالعه از دقت نسبتاً کمتری در تخمین شرایط نیتروژنی ذرت در منطقه پاکدشت برخوردار بوده‌اند.

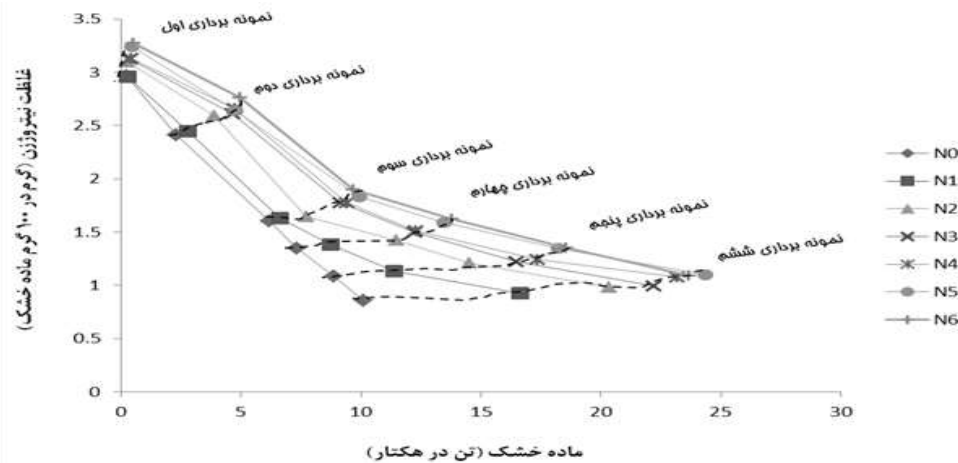
منحنی Plenet and Lemaire (2000) با استفاده از داده‌های برداشت شده نشان داد  $\gamma$  نقطه که  $W$  آنها به طور معنی‌داری از نظر آماری کمتر از  $W_{opt}$  بودند روی منحنی و ۲ نقطه که  $W$  آنها به طور معنی‌داری از نظر آماری بیشتر از  $W_{opt}$  بودند زیر منحنی قرار گرفتند. به عبارت دیگر وضعیت نیتروژنی ۲۱ درصد از داده‌ها توسط این معادله به اشتباه تعیین شد (شکل ۸-ب). این در حالیست که در نتایج Plenet and Lemaire (2000) مقدار خطای این مدل حدود ۱/۵ درصد در شرایط آب و هوایی فرانسه گزارش شده بود. علاوه بر این، نتایج نشان داد ۶



شکل ۵- تعیین نقاط نیتروژن بحرانی با استفاده از شش سری نمونه برداری در زمان‌های الف: ۲۶، ب: ۴۵، ج: ۶۲، د: ۷۵، ه: ۸۷، ی: ۱۱۹ روز پس از کاشت (علامت ضربدر نشان دهنده نقطه نیتروژن بحرانی می‌باشد).



شکل ۶- منحنی ترقیق نیتروژن بحرانی تعیین شده برای ذرت در منطقه پاکدشت

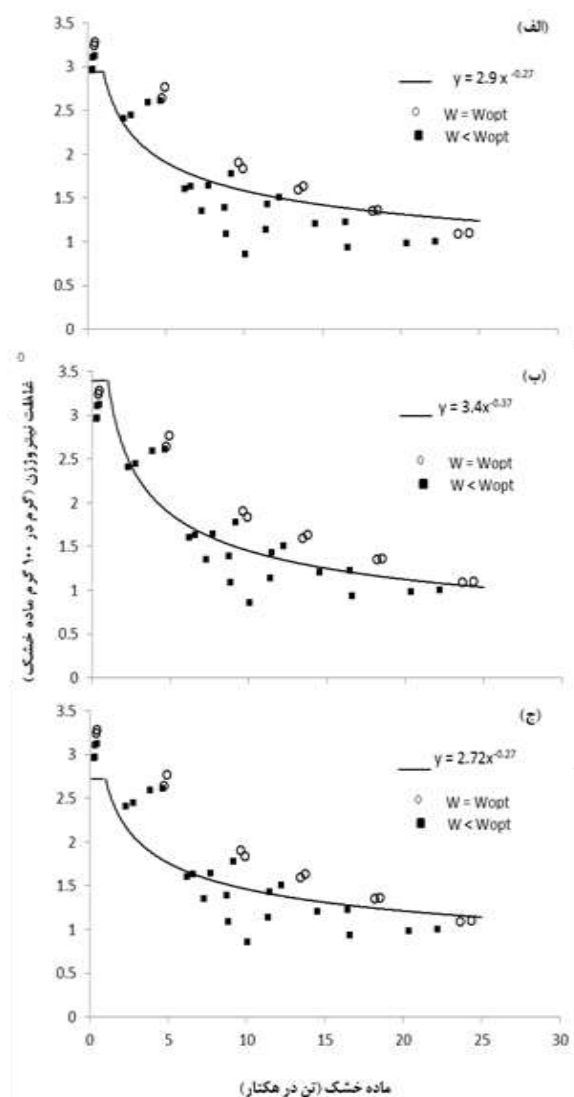


شکل ۷- تغییرات غلظت نیتروژن و عملکرد ماده خشک برای تیمارهای مختلف در طی دوره رشد

منحنی پاکدشت نشان می‌دهد. در این شکل تفاوت سه منحنی برای مقادیر مختلف ماده خشک به خوبی مشخص است. بر طبق نتایج ارائه شده توسط Yue et al (2014) تفاوت در اقلیم و ارقام ذرت، روی دوره کشت تاثیر گذاشته و می‌تواند دلیل اختلاف بین منحنی نیتروژن بحرانی در مناطق مختلف شود.

اقلیم دشت شمالی چین و فرانسه به ترتیب قاره‌ای و معتدل است (Yue et al., 2014) در حالی که در اکثر نقاط ایران به خصوص منطقه پاکدشت، اقلیم گرم و خشک حاکم است که این عامل طول دوره رشد و در نتیجه آن میزان عملکرد محصول را تحت تاثیر قرار می‌دهد. درجه حرارت بالا در طول تابستان باعث کاهش دوره رشد ذرت می‌شود. بطوری که طول دوره رشد ذرت در اروپا و چین به ترتیب در حدود ۱۵۰ و ۱۱۵ روز است (Herrmann and Taube, 2004; Meng et al., 2006). در حالی که این مدت در اکثر مناطق گرم و خشک ایران (برای رقم سینگل کراس ۷۰۴) حدود ۱۱۰ تا ۱۲۰ روز می‌باشد. هر چه طول دوره رشد کوتاه‌تر باشد، میزان عملکرد دانه ذرت کمتر می‌گردد (Cicchino et al., 2010; Barnabas et al., 2008). برای مثال متوسط عملکرد دانه در فرانسه و دشت شمالی چین به ترتیب ۹ و ۵/۱ تن در هکتار است (Meng et al., 2006; FAO, 2011) در حالیکه مقدار این شاخص برای ایران در حدود ۶ تا ۱۰ تن در هکتار می‌باشد.

همچنین متوسط دمای هوا در طول مرحله رشد گیاه (از ژوئن تا سپتامبر) در دشت شمالی چین و آلمان (به عنوان کشوری اروپایی) به ترتیب ۲۴/۷ و ۱۶/۵ درجه سانتیگراد است (Herrmann and Taube, 2004; Yue et al., 2014). این در حالیست که این عدد برای شهرستان پاکدشت با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده در ایستگاه هواشناسی دانشگاه برابر ۲۹/۵ می‌باشد. دوره رشد طولانی‌تر ذرت در اروپا به این معنی



شکل ۸- مقایسه دقت منحنی ترقیق نیتروژن بحرانی الف: ارائه شده در این مطالعه، ب: Plenet and Lemaire (2000) و ج: Yue et al (2014) با استفاده از داده‌های برداشت شده در منطقه پاکدشت

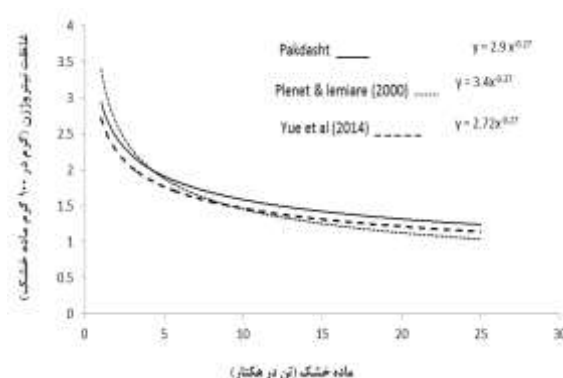
شکل (۹) موقعیت دو منحنی نیتروژن بحرانی Plenet and Lemaire (2000) و Yue et al (2014) را نسبت به

جمع‌بندی رسید که تفاوت‌های اقلیمی و ارقام کاربردی می‌توانند باعث بروز تغییراتی در منحنی‌های نیتروژن بحرانی مورد بررسی در این مطالعه باشند.

### نتیجه‌گیری کلی

آگاهی از شرایط نیتروژنی گیاه طی فصل رشد می‌تواند موجب بهبود مدیریت کوددهی در سطح مزرعه شود و در نتیجه آن محیط‌زیست و منابع آب زیرزمینی کمتر صدمه خواهند دید. به همین دلیل در این مطالعه با استفاده از داده‌های وزن خشک و غلظت نیتروژن اندازه‌گیری شده در طول فصل کشت ذرت (رقم سینگل کراس ۷۰۴)، معادله نیتروژن بحرانی به شکل  $Nc = 2.9 W^{-0.27}$  در منطقه پاکدشت بدست آمد. نتایج نشان داد که این معادله نسبت به معادلات ارائه شده برای کشت ذرت در فرانسه و چین، با دقت بالاتری قادر به تعیین وضعیت نیتروژن گیاه در منطقه پاکدشت بود. دلیل اصلی آن می‌تواند تفاوت در طول دوره رشد باشد که این خود متاثر از تفاوت در اقلیم و ارقام ذرت مورد استفاده در مناطق مختلف است. شایان ذکر می‌باشد که معادله نیتروژن بحرانی برای منطقه پاکدشت با استفاده از داده‌های یک فصل زراعی تعیین شد و برای واسنجی دقیق‌تر آن نیاز به برداشت داده‌های یک سال دیگر است.

می‌باشد که گیاه مدت زمان طولانی‌تری در اختیار دارد تا نیتروژن را در اندام هوایی خود انباشته کند.



شکل ۹- مقایسه منحنی‌های ترقیق نیتروژن بحرانی برای گیاه ذرت در فرانسه (Plenet and Lemaire, 2000)، چین (Yue et al, 2014) و پاکدشت

اختلاف بین ارقام و هیبریدهای ذرت نیز می‌تواند فاکتور موثر دیگری بر تغییرات منحنی ترقیق نیتروژن بحرانی باشد که تا به حال مطالعاتی برای بررسی آن صورت نگرفته است. با این وجود تحقیقاتی که روی سیب زمینی انجام شده نشان‌دهنده اینست که ارقام مختلف می‌توانند روی منحنی ترقیق نیتروژن تاثیر بگذارند (Belanger et al., 2001). بنابراین می‌توان به این

### REFERENCES

- Ata-Ul-Karim ST, 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), e104540
- 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.
- Behdadian, A., Soltani, A., Zeinali, E., Ajam nouroozi, H., Masoomi, H. (2013). Evaluation of nitrogen fertilizer management effects on yield in flowering stage of rapeseed in Gorgan region. *agricultural crop management*. 15 (1), 163-174. (In Farsi).
- 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.
- Cicchino, M., Edreira, J. I. R., Uribelarra, M. and Otegui, M. E. (2010). Heat stress in field-grown maize: response of physiological physiological determinants of grain yield. *Crop Sci.* 50, 1438–1448.
- 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.
- FAO. 2011. FAOSTAT Database—Agriculture Production. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- 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.
- 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. *Agron. J.* 96, 1131–1138.
- Horowitz, W. (1970). Official Methods of Analysis. 11th Edition. Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.C.
- Justes E, Mary B, Meynard J M, Machel J M and Thelier-Huchel (1994) Determination of a critical nitrogen dilution curve for winter wheat crops. *Ann. Bot.* 74, 397–407.
- 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.
- Lemaire G and Gastal F 1997 N uptake and distribution in plant canopies. In: *Diagnosis of the Nitrogen Status in Crops*. Ed. G Lemaire. pp 3–43. Springer-Verlag, Berlin.



- 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.
- Muchow, R. C., Sinclair, T. R. and Bennett, J. M. 1990. Temperature and solar radiation effects on potential maize yield across locations. *Agron. J.* 82, 338–343.
- Plenet, D., Lemaire, G., (2000). Relationships between dynamics of nitrogen uptake and dry matter accumulation in maize crops. *Plant Soil*, 216, 65–82.
- 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. *Iranian Journal of Geology*, 2- num 6, 21-32. (In Farsi).
- Sepaskhah, A.R. (2010). Organic agriculture and productivity of water and fertilization. In: *Congress of Organic Agriculture, Academy of Science*, Tehran, 13 November. (In Farsi).
- Ulrich, A. (1952). Physiological bases for assessing the nutritional requirements of plants. In: *Annual Review of Plant Physiology*. Ed. D I Arnon. pp 207–228. Annual Review, INC., Stanford, USA,
- 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. (2012). Evaluating Nitrogen Nutrition Index of Wheat (*Triticum aestivum* L.) Fields in Gorgan. *J. of Plant Production*, 19(4). (In Farsi).
- Ziadi, N., Belanger, G., Claessens, A., Lefebvre, L., Cambouris, A. N., Tremblay, N., Nolin, M. C. and Parent, L.-E. (2010). Determination of a critical nitrogen dilution curve for spring wheat. *Agron. J.* 102, 41–250.
- Ziadi, N., Brassard, M., Bélanger, G., Cambouris, A. N., Tremblay, N., Nolin, M. C., Claessens, A. and Parent, L.-E. (2008). Critical nitrogen curve and nitrogen nutrition index for corn in eastern Canada. *Agron. J.* 100, 271–276.