نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۰، شماره ۵، آذر – دی ۱۳۹۵، ص. ۱۵۷۳-۱۵۵۶

Journal of Water and Soil
Vol. 30, No. 5, Nov.-Dec. 2016, p. 1556-1573

واسنجی مقادیر نیتروژن قابل استفاده و محتوی آب خاک با عملکرد دانه گندم دیم

ولی فیضی اصل[1*]- امیر فتوت[2]- علیرضا آستارایی[3]- امیر لکزیان[4]- میراحمد موسوی شلمانی[5]- علی خراسانی[6]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۵/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۴/۲۸

چکیده

نیتروژن مهمترین عامل تغذیه‌ای محدودکننده رشد گندم دیم بشمار می‌آید. به منظور برقراری ارتباط بین اشکال مختلف نیتروژن در خاک با پاسخ گندم دیم، پژوهشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی به صورت کرت‌های دو بار خرد شده در ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم (مراغه) به اجرا در آمد. زمان مصرف نیتروژن در کرت‌های اصلی (کل نیتروژن در پائیز و $\frac{۲}{۳}$ در پائیز + $\frac{۱}{۳}$ در بهار)، مقادیر نیتروژن در کرت‌های فرعی (۰، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ کیلوگرم در هکتار) و ۷ ژنوتیپ در کرت‌های فرعی در ۳ تکرار مورد بررسی قرار گرفتند. در مرحله ساقه رفتن (ZGS32)، نمونه‌های خاک از لایه‌های ۲۰-۰، ۴۰-۲۰، ۶۰-۴۰ و ۸۰-۶۰ سانتی‌متری از کرت‌های فرعی تهیه و نیترات و آمونیوم در آن‌ها اندازه‌گیری شد. در این لایه‌ها میزان رطوبت خاک نیز با استفاده از دستگاه Diviner2000 قرائت شد. نتایج نشان داد، نیتروژن معدنی مناسب‌ترین فرم نیتروژن بود که به همراه رطوبت خاک توانستند ۸۰ درصد از تغییرات عملکرد دانه را توجیه نمایند. مطابق این مدل، اثر محتوی آب خاک در تولید گندم دیم، ۲/۳ برابر نیتروژن بود. مناسب‌ترین لایه برای واسنجی نیتروژن، ۴۰-۰ سانتی‌متری و حد بحرانی نیتروژن معدنی برای تولید عملکردهای بیش از ۲/۵ تن در هکتار، ۴۱ کیلوگرم در هکتار می‌باشد. مصرف پائیزی ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار قادر به تامین حد بحرانی یادشده در شرایط آزمایش می‌باشد. در مجموع استنباط می‌شود، بین نیتروژن خاک و محتوی رطوبتی آن با پاسخ گندم دیم ارتباط منطقی وجود دارد و از این مدل می‌توان به عنوان ابزار کمکی در توصیه کودهای نیتروژنی برای گندم دیم استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: حد بحرانی، ژنوتیپ گندم، شبیه‌سازی، نیاز نیتروژن

مقدمه

نیتروژنپس از آب دومین عامل محدودکننده رشد و پراهمیت‌ترین عنصر غذایی در مقیاس جهانی است (۲۹). در مناطق خشک و نیمه‌خشک، معدنی شدن نیتروژن خاک تکافوی نیازهای گیاه را نکرده و نیاز به مصرف کودهای نیتروژنی بیش از پیش احساس می‌شود و عملکرد گندم دیم به مدیریت مصرف کودهای شیمیایی نیتروژنی بستگی دارد (۴).بنابراین استفاده مناسب از روش‌های صحیح جهت برآورد نیاز نیتروژنی گندم در شرایط دیم از ضروریات تولید بهینه این محصول می‌باشد. به منظور توصیه کودهای نیتروژنی، استفاده از نیترات خاک در زمان کاشت در کنار واسنجی پاسخ‌های گیاهی به کاربرد مقادیر مختلف نیتروژن به عنوان راهنمای عملی توسط برخی از پژوهشگران توصیه شده است (۳۴ و ۴۹). استفاده از نیتراتخاک در توصیه کودهای نیتروژنی تنها به زمان کاشت منوطنمی‌شود، بلکه براساس نتایج پژوهش‌های انجام گرفته در مراحل مختلف رشد گیاه این ارزیابی می‌تواند انجام بگیرد تا مرحله‌ای از رشد که بیشترین همبستگی را باپاسخ گیاه دارد، مشخص و به عنوان شاخص توصیه کودهای نیتروژنی ارایه گردد (۱۴ و ۲۱). برخی از پژوهشگران بر این باورند که مقادیر نیتروژن خاک به دلیل تحرک‌پذیری بالای آن در خاک، وابستگی شدید نیتروژن به رژیم رطوبتی خاک و همچنین تغییرات شدید آن با فرآیندهای متحرک – آلی شدن،نمی‌تواند مورد استناد و مبنای توصیه کودهای نیتروژنی قرار بگیرد (۲ و ۳۷). این گروه که تعداد آن‌ها نیز فراوان است، معتقدند نیاز نیتروژنی گندم از طریق انجام آزمایش‌های مزرعه‌ای و ارزیابی پاسخ گیاه به سطوح مختلف مصرف نیتروژن در مزرعه به مدت ۳ الی ۵ سال و بدون در نظر گرفتن حد بحرانی آن در نیمرخ خاک برآورد شود (۲۰، ۳۳ و ۳)، زیرا این گروه از پژوهشگران نتوانسته‌اند در آزمایش‌های واسنجی،

۱- استادیار موسسه تحقیقات کشاورزی دیم، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مراغه
(*- نویسنده مسئول: (Email: v_feiziasl@yahoo.com
۲، ۳ و ۴- به ترتیب، استاد، دانشیار و استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۵ و ۶- استادیار پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای و کارشناس آزمایشگاه پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، کرج

ارتباط مناسبی بین اشکال نیتروژن در نیمرخ خاک با پاسخ گندم دیم برقرار نمایند. رایس و همکاران (۴۴) در پژوهش گسترده‌ای در چهار منطقه پاکستان نتوانستند با استفاده از رگرسیون گام به گام رابطه معنی‌داری بین اشکال مختلف نیتروژن در خاک و عملکرد دانه گندم دیم برازش نمایند. پالا و متر (۳۸) نیز نتایج مشابهی را برای گندم دیم در کشور سوریه گزارش کردند. این در حالی است که برخی دیگر استفاده از واسنجی نیتروژن خاک را در مراحل مختلف رشد گندم با پاسخ آن به عنوان الگوی مناسبی در توصیه کودهای نیتروژنی می‌دانند (۵، ۱۴ و ۴۹). این گروه معتقدند، به همراه اشکال نیتروژن در خاک باید محتوی رطوبتی خاک نیز در نظر گرفته شود (۵۲ و ۵۸) و تعدادی نیز ماده آلی را به عنوان مهم‌ترین جزء مرتبط با اشکال نیتروژن در خاک در توصیه کودهای نیتروژنی مورد توجه قرار داده‌اند (۳۴ و ۲۷).با توجه به این که نزدیک به ۸۰ درصد نیتروژن مورد نیاز گیاه از طریق جریان توده‌ای و به همراه جذب آب برای گیاه تامین می‌شود (۲۶)، لذادر بین عوامل محیطی میزان آب موجود در خاک بیشترین نقش را در قابلیت دسترسی نیتروژن برای گیاه دارد. به همین دلیل در اغلب مدل‌های واسنجی اشکال نیتروژن با پاسخ گندم، محتوی رطوبتی موجود در نیمرخ خاک نیز به عنوان متغیر مستقل کلیدی وارد شده است (۷ و ۵۱). ال گاروس (۱۲) معتقد است با وارد کردن مقدار آب خاک در این مدل‌ها،کارآیی آنبه طور چشمگیری افزایش می‌یابد. گزارش‌های مشابه و متعدد دیگری در خصوص اهمیت و نقش مهم آب در معادلات واسنجی نیتروژن خاک با پاسخ گیاه در شرایط دیم وجود دارد (۳۸، ۴۲ و ۵۴). بنابراین علت ناکامی گروه اول که به نتایج آزمایش‌های واسنجی معتقد نیستند، عدم لحاظ محتوی آب در نیمرخ خاک به عنوان مهمترین فاکتور موثر بر جذب نیتروژن در معادلات واسنجی در مناطق خشک و نیمه خشک بوده است. از سوی دیگر، اگرچه برخی از پژوهشگران نیترات پای بوته را مناسب‌ترین فرم نیتروژن خاک برای واسنجی با پاسخ گیاه می‌دانند، اما نتایج پژوهش‌های انجام گرفته در مناطق سرد و نیمه سرد این موضوع را تایید نمی‌کند، زیرا نتایج پژوهش‌ها موید توجیه مناسب پاسخ گندم دیم توسط نیتروژن معدنی (نیترات + آمونیوم) و محتوی آب خاک می‌باشد (۱۵ و ۲۱). مبنای توصیه کودهای نیتروژنی در این روش، تعیین حد بحرانی برای مناسب‌ترین شکل نیتروژن در خاک می‌باشد که برای مراحل مختلف رشد گیاه طی آزمایش‌های واسنجی انجام می‌گیرد. پالا و متر (۳۸) این حد را برای گندم دیم در سوریه ۴۲ کیلوگرم نیتروژن معدنی در هکتار در لایه ۴۰-۰ سانتی‌متری تعیین کرده‌اند. سلطانپور و همکاران (۴۸) نیز نتیجه مشابهی را برای گندم دیم در کشور مراکش گزارش نموده‌اند. متر و همکاران (۳۳) نیز آن را ۴۲ کیلوگرم نیتروژن معدنی در هکتار برای جو دیم در سوریه به دست آورده‌اند. غربی و همکاران (۲۳) مناسب‌ترین عمق واسنجی نیتروژن معدنی را ۶۰-۰ سانتی‌متر برای گندم دیم در کشور تونس با حد بحرانی ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش کرده‌اند. برخی دیگر از پژوهشگران، مناسب‌ترین شکل نیتروژن خاک را برای واسنجی با پاسخ گندم دیم، نیترات پای بوته می‌دانند. این گروه معتقدند چنانچه ۳۲ الی ۴۲ کیلوگرم نیترات در هکتار در لایه ۴۰-۰ سانتی‌متری و یا ۴۴ کیلوگرم در هکتار در لایه ۶۰-۰ سانتی‌متری وجود داشته باشد، نیازی به مصرف کودهای نیتروژنی برای گندم دیم در مناطق غرب و شمال‌غرب آسیا (WANA) نمی‌باشد (۱۴ و ۲۳). آن‌ها معتقدند، آمونیوم وضعیت پایداری در نیمرخ خاک ندارد و از طریق نیتریفیکاسیون سریعاً به نیترات تبدیل می‌شود. این در حالی است که سون و همکاران (۵۰) معتقدند، ارتباط کمتری بین غلظت نیترات و آمونیوم در خاک با پاسخ گندم زمستانه در شرایط خشک و نیمه خشک وجود دارد و در چنین شرایطی غلظت بالایی از آمونیوم در خاک تجمع پیدا می‌کند و به آسانی نمی‌تواند به نیترات تبدیل شود. آنان دلیل این موضوع را ممانعت خشکی اواخر فصل بهار و اوایل تابستان از نیتریفیکاسیون کود نیتروژنی مطرح نمودند. با توجه به مطالب یادشده، هدف از پژوهش حاضر بررسی امکان برقراری ارتباط بین اشکال مختلف نیتروژن و آب موجود در نیمرخ خاک با پاسخ گندم دیم و استفاده از آن در توصیه کودهای نیتروژنی بر اساس آزمون خاک می‌باشد.

موادوروش‌ها

به منظور واسنجی مقادیر نیتروژن معدنی و رطوبت خاک با عملکرد دانه گندم دیم، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و به صورت کرت‌های دوبارخردشدهبادو زمان مصرف (کل نیتروژن درپائیزو $\frac{۲}{۳}$ درپائیز+ $\frac{۱}{۳}$ در بهار) و چهار سطح نیتروژن (صفر، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ کیلوگرم در هکتار) روی ۷ ژنوتیپ گندمدیم (آذر ۲، رصد، اوحدی و ژنوتیپ‌های شماره ۱، ۲، ۳ و ۴ به ترتیب با دیگری‌های SARA-BW-F6-06-85-86-29- و DH-2049-3،TEVEE'S'//CROW/VEE'S'،1 HN7/OROFEN//BGN8/3/SERI/4/..) در سه تکرار در سال زراعی ۹۰-۱۳۸۹ بامشخصات اقلیمی نزدیک به میانگین بلند مدت (جدول ۱) درایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم (مراغه) به اجرا درآمد.

خاک محل اجرای آزمایش از عمق صفر تا ۲۵ سانتی‌متری به روش مرکب از هر تکرار نمونه‌برداری شد. نمونه‌ها پس از هوا خشک شدن، کوبیده و از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند. بافت به روش هیدرومتری، کربنات کلسیم معادل به روش خنثی‌سازی با اسید و تیتر کردن با سود، کربن آلی به روش اکسایش تر (والکلی بلک)، pH در گل اشباع، هدایت الکتریکی در عصاره اشباع خاک، درصد اشباع به روش وزنی، فسفر قابل جذب گیاه با عصاره‌گیر اولسن، پتاسیم با

عصاره‌گیر استات آمونیوم، عناصر آهن، منگنز، روی و مس قابل جذب با عصاره‌گیر DTPA اندازه‌گیری شد (۳). خاک محل اجرای آزمایش (جدول ۲) دارای بافت لوم رسی، درصد مواد خنثی شونده کمی آهکی (۳ الی ۱۰ درصد)، کربن آلی کم (کمتر از ۰/۸ درصد) و بدون محدودیت شوری و قلیائیت بود (۲۴). میزان فسفر اولیه خاک حدود ۵ میلی‌گرم در کیلوگرم معادل با ۷۵ کیلوگرم سوپرفسفات در هکتار کمتر از حد بحرانی تعیین شده برای گندم دیم (۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) بود (۱۸). این در حالی است که میزان پتاسیم، آهن، منگنز، روی و مس قابل استفاده در خاک بیش از حد بحرانی‌های گزارش شده برای این عناصر (پتاسیم ۲۵۰، آهن ۵ ، منگنز ۱۱، روی ۰/۷ و مس ۱/۴ میلی‌گرم در کیلوگرم) برای گندم دیم در شمال‌غرب کشور بود (۳۲ و ۱۷). بنابراین نیازی به مصرف این عناصر به صورت کود نبود و تنها از کود سوپرفسفات‌تریپل برای تمامی تیمارها به صورت یکنواخت و از طریق جایگذاری با دستگاه جانشیرر همزمان با کاشت استفاده شد.

مساحت کرت‌های فرعی در فرعی (ژنوتیپ‌ها) ۱/۲×۷، کرت فرعی (سطوح نیتروژن) ۸/۴×۷ و کرت اصلی (زمان مصرف نیتروژن) ۸/۴×۳۷ مترمربع بود. مقادیر نیتروژن کرت‌ها در مصرف پائیزی به کمک دستگاه کاشت هاسیا از منبع اوره همزمان با کاشت در عمق ۲۰-۱۵ سانتی‌متر زیر بستر بذر جایگذاری شد. بذرهای گندم با تراکم ۴۰۰ دانه در مترمربع پس از ضدعفونی با قارچ‌کش کاربوکسین‌تیرام به نسبت ۲ در هزار و به کمک بذرکار آزمایشی (وینتراشتایگر) در عمق ۷-۵ سانتی‌متری کشت شد.

در زمان‌های ساقه رفتن (ZGS32) و گلدهی (ZGS64) مطابق کدبندی زادوکس و همکاران (۶۰) در کرت‌های فرعی در فرعی میزان رطوبت حجمی خاک (سانتی‌متر مکعب بر سانتی‌متر مکعب) تا عمق ۱۰۰ سانتی‌متری پس از واسنجی از طریق نمونه‌برداری وزنی با استفاده از دستگاه Diviner2000 (ساخت کشور استرالیا) قرائت شد. در همان مرحله نمونه‌های خاک از لایه‌های ۲۰-۰، ۴۰-۲۰، ۶۰-۴۰ و ۸۰-۶۰ سانتی‌متری از هر کرت فرعی در فرعی برای تعیین فرم‌های نیتروژن در خاک تهیه و با استفاده از محلول کلرید پتاسیم یک مولار از خاک عصاره‌گیری شد. غلظت آمونیوم از طریق رنگ‌سنجی در طول موج ۶۵۵ نانومتر و با استفاده از دستگاه طیف‌سنج نوری و غلظت نیترات بر اساس جذب پرتو ماوراء بنفش (UV) در طول موج ۲۱۰ نانومتر در دو مرحله قبل از احیاء نیترات (توسط دانه‌های Zn روکش داده شده توسط Cu) و پس از آن انجام گرفت که از تفاوت آن دو، غلظت نیترات موجود در عصاره در پژوهشکده تحقیقات کشاورزی، پزشکی و صنعتی (گروه کشاورزی هسته‌ای) محاسبه شد (۳۵).

در زمان برداشت محصول (ZGS91) جهت برآورد عملکرد دانه، ۰/۵ متر از هر دو انتهای کرت‌های فرعی در فرعی به عنوان اثرات حاشیه حذف و بقیه کرت برداشت و خرمنکوبی شد. به منظور واسنجی فرم‌های مختلف نیتروژن در خاک (نیترات، آمونیوم و معدنی) و رطوبت در لایه‌های مختلف نیمرخ خاک با عملکرد دانه گندم دیم، مدل‌های رگرسیونی مختلفی با استفاده از نرم افزار DataFit9مورد ارزیابی قرار گرفت. مناسب‌ترین مدل‌ها با معیار آزمون F معنی‌دار، بیشترین ضریب تبیین تصحیح شده (R^2_{adj}) و کمترین خطای استاندارد انتخاب شدند. سهم هرکدام از متغیرهای نیتروژن و آب خاک در توجیه متغیر وابسته (عملکرد دانه) به کمک رابطه زیر و با استفاده از نرم افزار Xlstat2014 محاسبه گردید (۲۸):

$$R^2 = \sum_{i=1}^{k} \beta_j r_{yx_j} \qquad (۱)$$

در این رابطه:

R^2= ضریب تبیین مدل رگرسیونی

β_i= ضریب استاندارد شده متغیر iام در مدل رگرسیونی و

r_{yx_i}= ضریب همبستگی مرتبه صفر (پیرسون) بین متغیر iام و متغیر وابسته (y) می‌باشد.

به منظور تفسیر اثرات واقعی متغیرهای مستقل (فرم‌های نیتروژن و آب خاک) روی متغیر وابسته (عملکرد دانه) از ضرایب همبستگی جزئی (Partial correlation) استفاده شد.

در نهایت عملکردهای به دست آمده با شکل‌های مختلف نیتروژن در خاک (نیترات، آمونیوم و معدنی) و رطوبت در لایه‌های مختلف نیمرخ خاک واسنجی و مناسب‌ترین عمق برای واسنجی نیتروژن خاک و همچنین مدل مربوطه جهت توصیه کودهای نیتروژنی تعیین گردید. لازم به ذکر است، اگرچه در هر دو مرحله ساقه رفتن (ZGS32) و گلدهی (ZGS64) از نظر شکل‌های مختلف نیتروژن و رطوبت موجود در لایه‌های مختلف نیمرخ خاک با عملکرد دانه ارتباط منطقی و معنی‌داری وجود داشت، اما به دلیل همبستگی‌های قوی‌تر موجود در مرحله ساقه رفتن (ZGS32)، مطابق اصول مدل‌های رگرسیونی، تنها نتایج واسنجی مربوط به مرحله ساقه رفتن (ZGS32) در این مقاله ارائه شده است.

نتایج و بحث

مناسب‌ترین مدل‌های رگرسیونی بین نیتروژن معدنی (N_{min}) و رطوبت (θ) خاک با عملکرد دانه گندم دیم (Y) در هر چهار لایه ۲۰-۰، ۴۰-۲۰، ۶۰-۴۰ و ۸۰-۶۰ سانتی‌متری نیمرخ خاک از لحاظ آزمون Fدر سطح احتمال یک درصد معنی‌داری ($p\leq$۰/۰۱) بود. مفهوم آن این است که در هر کدام از این مدل‌ها، حداقل یکی از متغیرهای مستقل (خطی، درجه دوم و اثرات متقابل آن‌ها) مشارکت معنی‌داری در مدل رگرسیونی داشته است.

جدول ۲- ویژگی‌هایشیمیایی و فیزیکی خاکقبل از کاشت (عمق ۲۵-۰ سانتی‌متری)

Table 2–Soil physical and chemical characteristics before sowing (0-25 cm depth)

شن (٪) Sand (%)	سیلت (٪) Silt (%)	رس (٪) Clay (%)	کربنات کلسیم معادل (٪) CaCO3 (%)	کربن آلی (٪) OC (%)	درصد اشباع SP (%)	واکنش خاک pH	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC (dS/m)
25	40	35	5.1	0.72	47	7.7	0.15
نیترات (میلی‌گرم در کیلوگرم) NO_3^- (mg/kg)	**آمونیوم (میلی‌گرم در کیلوگرم) NH_4^+ (mg/kg)**	**فسفر (میلی‌گرم در کیلوگرم) P (mg/kg)**	**پتاسیم (میلی‌گرم در کیلوگرم) K (mg/kg)**	**آهن (میلی‌گرم در کیلوگرم) Fe (mg/kg)**	**منگنز (میلی‌گرم در کیلوگرم) Mn (mg/kg)**	**روی (میلی‌گرم در کیلوگرم) Zn (mg/kg)**	**مس (میلی‌گرم در کیلوگرم) Cu (mg/kg)**
7.2	4.6	5.8	677	7.6	13.6	1.1	2.3

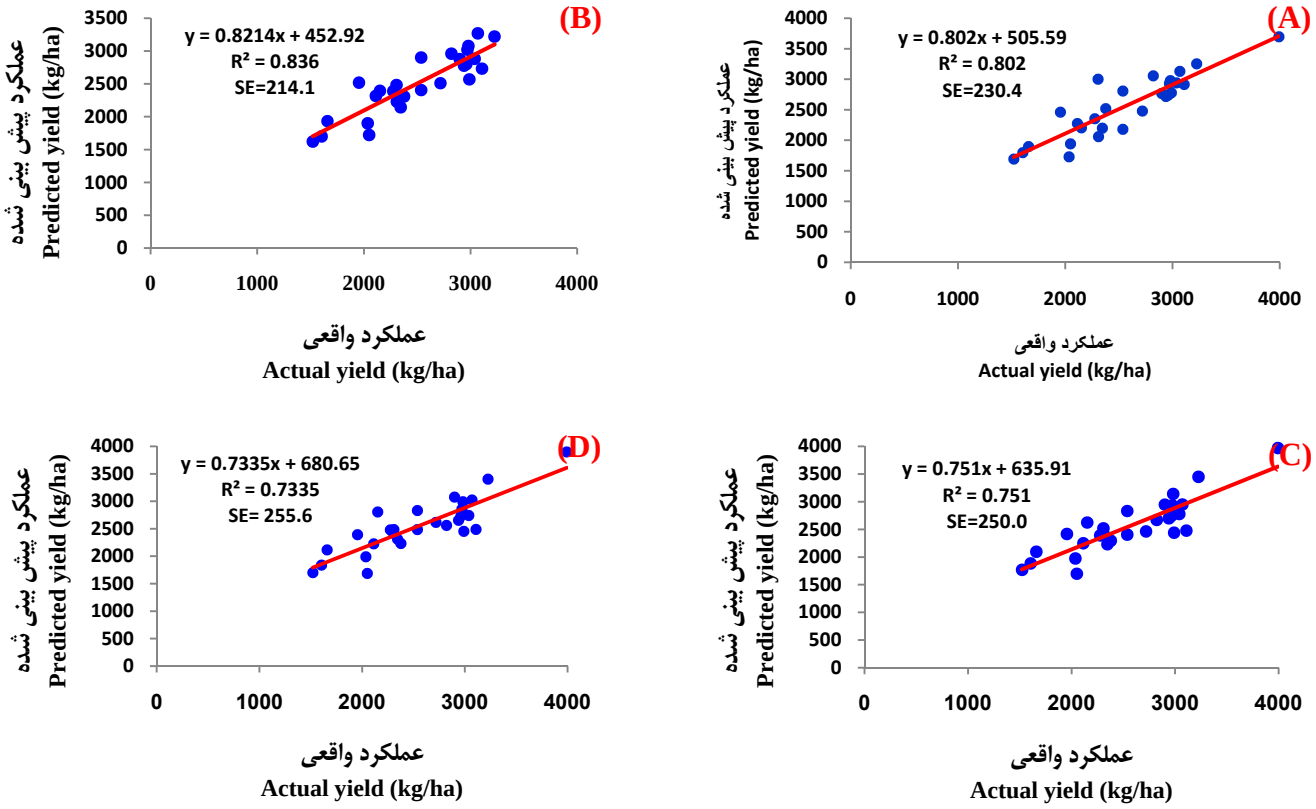
جدول ۱- آمار هواشناسی ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم مراغه در سال زراعی ۹۰- ۸۹ ومیانگینبلندمدت (۲۰ ساله)

Table 1- Maragheh dryland agriculture research station climate data in cropping year 2010-2011 and long term (20 years)

سال Year	بارندگی (میلی متر) Rainfall (mm)	میانگین دمای کمینه (سانتی‌گراد) Mean Min. Temperature (°C)	میانگین دمای حداکثر (سانتی‌گراد) Mean Max. Temperature (°C)	میانگین دما (سانتی‌گراد) Mean Temperature (°C)	تعداد روزهای زیر صفر Days of blow zero	رطوبت نسبی هوا (٪) Relative humidity (%)	تبخیر (میلی‌متر) Evaporation (mm)
2010-2011	353	2.5	16.5	8.7	130	50.3	1485
1992-2012	365	4.2	14.6	9.4	128	53.0	1757

برای دو لایه اول (۲۰-۰ و ۴۰-۰ سانتی‌متر) مدل درجه دوم کامل ساده – لگاریتمی، برای لایه سوم (۶۰-۰ سانتی‌متر) مدل درجه دوم کامل لگاریتمی – ساده و برای لایه چهارم (۸۰-۰ سانتی‌متر) مدل درجه دوم کامل مناسب‌ترین مدل‌ها بودند. در این مدل‌ها تغییرات میزان نیتروژن معدنی (N_{min}) و رطوبت (θ) خاک توانستند ۷۶، ۸۰، ۶۹ و ۶۷ درصد از تغییرات عملکرد دانه را به ترتیب در لایه‌های ۲۰-۰، ۴۰-۰، ۶۰-۰ و ۸۰-۰ سانتی‌متری در سطح احتمال یک درصد ($p\leq0/01$) توجیه نمایند (جدول ۳). این بدین معنی است که به طور متوسط ۷۳ درصد از تغییرات عملکرد دانه وابسته به تغییرات میزان نیتروژن معدنی (N_{min}) و رطوبت (θ) در نیمرخ خاک است. با خارج نمودن متغیر رطوبت خاک (θ) از مدل‌های رگرسیونی، ضریب تبیین آنها در لایه‌های ۲۰-۰، ۴۰-۰، ۶۰-۰ و ۸۰-۰ سانتی‌متری به ترتیب به ۰/۳۱، ۰/۴۲، ۰/۴۵ و ۰/۴۶ کاهش یافت که متوسط این کاهش در چهار لایه ۰/۳۷ بود. بنابراین نتایج، محتوی آب خاک سهم موثری در توجیه تغییرات عملکرد دانه دارد و یکی از مهمترین عوامل محدودکننده رشد در شرایط دیم محسوب می‌شود، زیراکه برهم‌کنش‌های این عنصر کلیدی در شرایط دیم با عوامل محیطی و ژنتیکی گیاه کاملاً مشهود و شناخته شده است و در بین عوامل محیطی میزان آب موجود در خاک بیشترین نقش را در قابلیت دسترسی نیتروژن از طریق جریان توده‌ای برای گیاه دارد، به همین دلیل گنجاندن میزان رطوبت موجود در نیمرخ خاک در مدل‌های واسنجی اشکال نیتروژن با پاسخ گندم بسیار ضروری و مورد تاکید سایرین نیز بوده است (۷ و ۵۱). از سوی دیگر اگرچه برخی از پژوهشگران واسنجی نیترات پای بوته را مناسب‌ترین فرم نیتروژن خاک برای واسنجی با پاسخ گیاه می‌دانند، اما نتایج پژوهش‌های انجام گرفته در مناطق سرد و نیمه سرد نشان می‌دهد، نیتروژن معدنی (نیترات + آمونیوم) عملکرد دانه گندم دیم را به همراه محتوی آب خاک بهتر از هر دو شکل مجزای نیترات و آمونیوم توجیه می‌نماید (۱۵ و ۲۱). در پژوهش حاضر نیز زمانیکه به جای نیتروژن معدنی از فرم نیترات و یا آمونیوم استفاده شد، ضریب تبیین مدل‌ها به شدت کاهش و خطای استاندارد آن‌ها افزایش یافت، لذا مناسب‌ترین فرم نیتروژن قابل استفادهبرای گندم دیم نیتروژن معدنی لحاظ شد.

اگرچه تمامی مدل‌های رگرسیونی مربوط به لایه‌های مختلف خاک در ظاهر از لحاظ آماری معنی‌دار ($p\leq0/01$) بودند و بین ضریب تبیین آن‌ها از طریق آزمون t تفاوت معنی‌داری مشاهده نگردید، اما در بین آن‌ها بیشترین ضریب تبیین تصحیح شده (۰/۸۰) با کمترین خطای استاندارد (۲۵۴/۵ کیلوگرم در هکتار) مربوط به لایه ۴۰-۰ سانتی‌متری و کمترین ضریب تبیین تصحیح شده (۰/۶۷) با بیشترین خطای استاندارد (۳۲۴/۵ کیلوگرم در هکتار) مربوط به مدل درجه دوم کامل در لایه ۸۰-۰ سانتی‌متری بود. تمامی ضرایب رگرسیون خطی، درجه دوم و اثرات متقابل در سه لایه اول از لحاظ آماری (آزمون t) معنی‌دار بود، اما اثرات خطی نیتروژن معدنی و محتوی آب خاک در لایه نهایی (۸۰-۰ سانتی‌متر) روی عملکرد دانه معنی‌دار نبود (جدول ۳). همچنین ارتباط بین عملکردهای واقعی با عملکردهای پیش‌بینی شده از طریق مدل‌های رگرسیونی نیز نشان داد (شکل ۱)، بیشترین ضریب تبیین (۰/۸۴) و کمترین خطای استاندارد (۲۱۴/۱ کیلوگرم در هکتار) مربوط به مدل رگرسیونی لایه ۴۰-۰ سانتی‌متری و کمترین ضریب تبیین (۰/۷۳) و بیشترین خطای استاندارد (۲۵۵/۶ کیلوگرم در هکتار) مربوط به لایه ۸۰-۰ سانتی‌متری است. مطابق این نتایج، مقدار خطای برآوردی عملکردهای دانه از طریق مدل‌های رگرسیونی با عملکردهای واقعی برای لایه‌های ۲۰-۰، ۴۰-۰، ۶۰-۰ و ۸۰-۰ سانتی‌متری به ترتیب ۷/۹، ۷/۳، ۸/۹ و ۹/۰ درصد بود که کمترین خطای برآوردی همچنان مربوط به لایه دوم (۴۰-۰ سانتی‌متر) و معادل با ۱۸۷ کیلوگرم در هکتار می‌باشد. شاید این موضوع به دلیل تمرکز و فراوانی بیشتر ریشه گندم در این لایه باشد که بیشترین مقدار جذب آب و نیتروژن مورد نیاز گندم را به خود اختصاص می‌دهد (۵۸). سوبادا و هابرلی (۵۲) نتایج مشابهی را برای جذب بالای نیتروژن و آب تا محدوده ۴۰ الی ۵۰ سانتی‌متری برای گندم گزارش نموده‌اند. آنان علت این موضوع را کاهش جذب نیتروژن و آب از لایه‌های پائینی نیمرخ خاک به دلیل کاهش تراکم ریشه و اشکال قابل جذب نیتروژن عنوان نمودند. بر خلاف تصورات پیشین، نتایج پژوهش‌های اخیر نشان می‌دهد علی رغم نفوذ ریشه گندم تا عمق بیش از ۲ متری نیمرخ خاک، این بخش از ریشه‌ها نقش اساسی را در جذب آب و مقابله با تنش خشکی ندارند، زیرا علایم تنش خشکی در ژنوتیپ‌های حساس به خشکی که ریشه آنها به عمق‌های پائینی نفوذ کرده بود، همچنان مشاهده گردید (۵۸). پالا و متر (۳۸) برای گندم دیم در سوریه، متر و همکاران (۳۳) برای جو دیم در سوریه، گارابت (۲۲) برای گندم دیم با استفاده از نیتروژن-۱۵ در سوریه، بل و همکاران (۶) برای گندم و جو دیم در استرالیا، نتایجی مشابه و یا نزدیک به مناسب‌ترین لایه انتخابی در پژوهش حاضر گزارش نموده‌اند. آنان معتقدند، بیشترین تغییرات فصلی و تغییرات اشکال قابل جذب نیتروژن که حداکثر عملکرد غلات دیم را تحت تاثیر قرار می‌دهند، اغلب تا عمق ۴۰ الی ۵۰ سانتی‌متر اولیه نیمرخ خاک رخ داده و نیازی به نمونه‌برداری‌های بیش از آن نیست. در حالی که برخی نیز معتقدند، عمق نمونه‌برداری برای واسنجی نیتروژن خاک با پاسخ گندم باید حداقل تا ۹۰ یا بیش از ۱۲۰ سانتی‌متری تداوم داشته باشد که این شرایط معمولاً برای غلات آبی و یا مناطق پرباران با زمستان‌های معتدل قابل توصیه می‌باشد (۵۵).



شکل ۱- رابطه بین عملکرد واقعی با عملکرد پیش‌بینی شده از طریق مدل‌های رگرسیونی در لایه‌های ۲۰-۰ (A)، ۴۰-۰ (B)، ۶۰-۰ (C) و ۸۰-۰ (D) سانتی‌متری نیمرخ خاک

Figure 1- The relationship between actual yield and predicted yield by the regression models in 0-20 (A), 0-40 (B), 0-60 (C) and 0-80 cm (D) soil layers

نتایج ضرایب همبستگی جزئی بین متغیرهای مستقل با پاسخ گیاه نشان داد (جدول ۳)، در هر چهار لایه ۲۰-۰، ۴۰-۰، ۶۰-۰ و ۸۰-۰ سانتی‌متری اثر خطی متغیر رطوبت (θ) خاک به صورت منفی در سه لایه ۲۰-۰، ۴۰-۰ و ۸۰-۰ سانتی‌متری در سطح احتمال یک درصد ($p\leq0/01$) و در لایه ۶۰-۰ سانتی‌متری در سطح احتمال ۵ درصد ($p\leq0/05$) روی عملکرد دانه معنی‌دار بود. در حالی که اثر درجه دوم این متغیر (θ) به صورت مثبت در دو لایه اول (۲۰-۰ و ۴۰-۰ سانتی‌متر) در سطح احتمال یک درصد ($p\leq0/01$) و در دو لایه بعدی (۶۰-۰ و ۸۰-۰ سانتی‌متر) در سطح احتمال پنج درصد ($p\leq0/05$) معنی‌دار بود. اثر خطی نیتروژن معدنی (N_{min}) به صورت منفی در سه لایه اول (۲۰-۰، ۴۰-۰ و ۶۰-۰ سانتی‌متر) در سطح احتمال پنج درصد ($p\leq0/05$) و در کل نیمرخ خاک (۸۰-۰ سانتی‌متر) در سطح احتمال یک درصد ($p\leq0/01$) معنی‌دار بود. اثر درجه دوم این متغیر (N_{min}) به صورت مثبت و غیرمعنی‌دار در کل لایه‌های مورد مطالعه بود. این در حالی است که اثرات متقابل دو متغیر نیتروژن معدنی (N_{min})و رطوبت (θ) خاک روی عملکرد دانه مثبت و در سه لایه اول (۲۰-۰، ۴۰-۰ و ۶۰-۰ سانتی‌متر) در سطح احتمال پنج درصد ($p\leq0/05$) و در کل نیمرخ خاک (۸۰-۰ سانتی‌متر) در سطح احتمال یک ($p\leq0/01$) معنی‌دار بود (جدول ۳). بنابراین اثرات خطی نیتروژن معدنی و رطوبت روی عملکرد دانه منفی و اثرات درجه دوم و متقابل آنها مثبت می‌باشد. به تعبیر دیگر، زمانی که میزان رطوبت و نیتروژن معدنی به صورت جداگانه در مدل‌های رگرسیونی مورد بررسی قرار گرفتند، نقش آنها روی عملکرد دانه نه تنها مثبت نبود، بلکه این اثر در اغلب موارد نقش منفی به خود گرفت، اما زمانی که این متغیرهای مهم و کلیدی به صورت تلفیقی کنار یکدیگر قرار گرفتند، نقش‌های منفی آنها به مثبت تبدیل و باعث افزایش عملکرد دانه شد که بدون کمک گرفتن از همبستگی جزء ضرایب رگرسیونی (روش دیگر بتاهای استاندارد شده)، امکان دستیابی به چنین نتایج ارزشمندی میسر نبود. پژوهشگران دیگری نیز بر نقش تلفیقی مثبت اشکال نیتروژن و رطوبت موجود در نیمرخ خاک بر تولید محصولات دیم از جمله گندم در شرایط مختلف اقلیمی تاکید داشته‌اند. متر و همکاران (۳۳) معتقدند، اولاً عملکرد در شرایط دیم بیش از هر عاملی به میزان بارندگی و وضعیت آب خاک بستگی دارد. ثانیاً میزان نیتروژن معدنی مورد نیاز برای دستیابی به عملکردهای مطلوب در

لایه‌های مختلف نیمرخ خاک نیز به میزان بارندگی و وضعیت رطوبت در این لایه‌ها وابسته می‌باشد که با کاهش آن خطرپذیری مصرف کودهای نیتروژنی به دلیل کاهش شدید کارایی جذب آن‌ها در این مناطق به شدت افزایش می‌یابد (۴۳). گزارش‌های مشابه و متعدد دیگری از پژوهشگران عرصه دیم در اهمیت ورود محتوی آب خاک در معادلات واسنجی نیتروژن برای گندم مانند پالا و متر (۳۸) از سوریه، سلطانپور و همکاران (۴۸) از مراکش، عبدالمنعم و همکاران (۱) از مناطق مدیترانه‌ای با استفاده از نیتروژن-۱۵، ران و جانسون (۴۲) از آمریکا، وان‌هاروردن و همکاران (۵۴) از استرالیا، سبحانی و همکاران (۵۱) از پاکستان و فیضی اصل (۱۵) از استان‌های شمال‌غرب کشور ارائه شده است. دلیل این امر وابستگی شدید جذب نیتروژن به مکانیسم جریان توده‌ای است که در شرایط کمبود شدید آب و یا توزیع موقتی و نامناسب بارندگی در مناطق دیم به ویژه در مراحل رویشی، گیاه تلاش می‌کند تا با بستن روزنه‌های خود با تنش رطوبتی و حرارتی مقابله نماید و لذا جذب آب به شدت کاهش می‌یابد. در چنین شرایطی کارایی جذب نیتروژن شدیداً تحت تاثیر قرار گرفته (حداکثر ۳۰ الی ۵۰ درصد کود مصرفی) و گیاه نمی‌تواند برای مراحل زایشی که توام با تنش‌های حرارتی و رطوبتی بالاست، اندوخته کافی در اندام‌های رویشی خود ذخیره نماید تا با رخداد این تنش در مرحله زایشی و به ویژه پرشدن دانه از طریق مکانسیم انتقال مجدد با این بحران مقابله نماید (۱۳). در این مکانیسم بیشترین نقش تأمین مواد هیدروکربنی و عناصر دانه در سنبله را به ترتیب ساقه، برگ و غلاف برگ ایفا می‌کنند و اندام‌های رویشی با فاصله بیشتر از سنبله نقش موثرتری در آن دارند (۱۰).

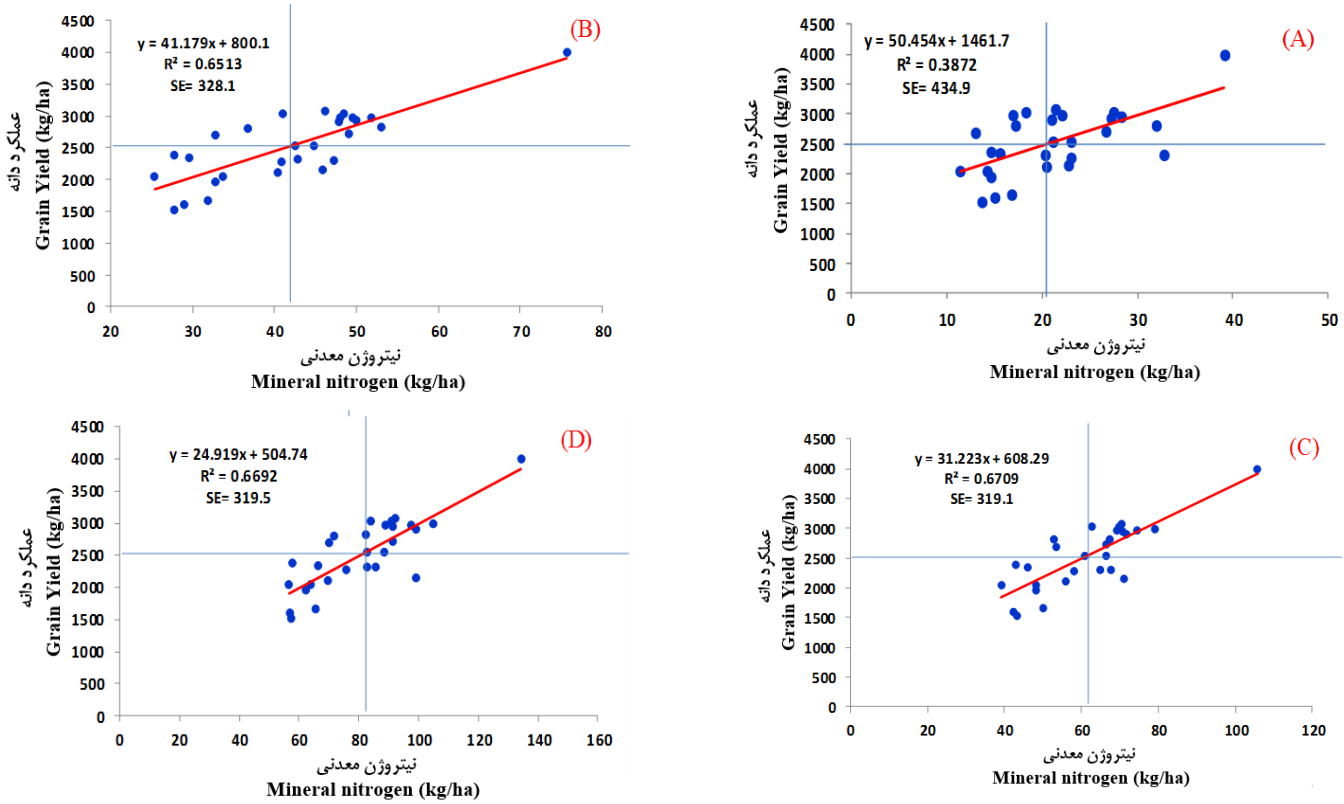
بررسی سهم هرکدام از متغیرها در توجیه متغیر وابسته (عملکرد دانه) مشخص نمود، در مدل رگرسیونی مربوط به لایه ۲۰-۰ سانتی‌متری، متغیرهای خطی نیتروژن معدنی (N_{min}) و رطوبت ($\ln(\theta)$) خاک به ترتیب ۱۶ و ۳۵ درصد، توان دوم این متغیرها (N_{min}^2و$\ln(\theta)^2$) به ترتیب ۱ و ۳۱ درصد و اثر متقابل آنها ($N_{min} \times \ln(\theta)$) ۱۷ درصد از کل تغییرات واریانس عملکرد دانه را به خود اختصاص داده‌اند. بنابراین مجموع سهم متغیر نیتروژن معدنی (N_{min}) در توجیه عملکرد دانه ۱۷ درصد و رطوبت خاک (θ) ۶۶ درصد بود (جدول ۳). در لایه ۴۰-۰ سانتی‌متری، متغیرهای خطی به ترتیب ۲۳ و ۲۶ درصد، توان دوم به ترتیب ۳ و ۲۴ درصد و اثرات متقابل آنها ۲۴ درصد از تغییرات واریانس عملکرد دانه را توجیه نمودند. در مجموع سهم متغیر نیتروژن معدنی (N_{min}) در این لایه ۲۶ درصد و رطوبت خاک (θ)، ۵۰ درصد بود. برای لایه ۶۰-۰ سانتی‌متری متغیرهای خطی ($\ln(N_{min})$ و θ) به ترتیب ۳۲ و ۲۴ درصد و توان دوم ($\ln(N_{min})^2$ وθ^2) به ترتیب ۲۵ و ۱۴ درصد و اثر متقابل آنها تنها ۵ درصد از کل تغییرات را به خود اختصاص دادند. در لایه نهایی (۸۰-۰ سانتی‌متری) سهم متغیرهای خطی (N_{min} و θ) به ترتیب ۲۷ و ۲۵ درصد، متغیرهای درجه دوم (N_{min}^2 و θ^2) به ترتیب ۳ و ۱۹ درصد و اثر متقابل آن‌ها ۲۵ درصد از کل تغییرات مدل بود (جدول ۳). با توجه به نتایج به دست آمده، اولاً متغیرهای خطی نیتروژن معدنی (N_{min}) و رطوبت (θ) در نیمرخ خاک، نقش منفی و برعکس متغیرهای توان دوم در تمامی مدل‌ها نقش مثبت را در توجیه مدل داشتند. بنابراین در انتخاب مناسب‌ترین مدل باید بیشترین نقش مثبت همراه با کمترین نقش منفی جهت دستیابی به عملکردهای بالا مد نظر قرار بگیرد. ثانیاً اثرات متقابل نیتروژن معدنی (N_{min}) و محتوی رطوبت (θ) در نیمرخ خاک در تمامی مدل‌ها نقش مثبت و معنی‌داری در توجیه عملکرد دانه داشت و لذا این عامل می‌تواند یکی از شاخص‌های مهم به همراه نقش‌های مثبت درجه دوم متغیرها در انتخاب مناسب‌ترین مدل نهایی باشد. ثالثاً میانگین اثر رطوبت (θ) در نیمرخ خاک حدود ۵۹ درصد (۳۱ الی ۷۵ درصد) بیشتر از نیتروژن معدنی (N_{min}) روی عملکرد دانه بود. بنابر مطالب یادشده، اگرچه سهم اثرات متقابل در مدل مربوط به لایه ۸۰-۰ سانتی‌متری (۲۵ درصد) اندکی بیشترین از لایه ۴۰-۰ سانتی‌متری (۲۴ درصد) است، اما مجموع اثرات مثبت در مدل مختص به لایه ۸۰-۰ سانتی‌متری (۴۷ درصد) کمتر از مدل لایه ۴۰-۰ سانتی‌متری (۵۱ درصد) است، از سوی دیگر سهم اثرات منفی در مدل مربوط به لایه ۴۰-۰ سانتی‌متری (۴۹ درصد) نیز اندکی کمتر از مدل مربوط به لایه ۸۰-۰ سانتی‌متری (۵۱ درصد) می‌باشد. با این حال، حتی با فرض مشابه بودن تمامی شرایط، از لحاظ صرف زمان و هزینه برای نمونه‌برداری، اندازه‌گیری نیتروژن معدنی و محتوی آب خاک، لایه ۴۰-۰ سانتی‌متری در مقایسه با لایه ۸۰-۰ سانتی‌متری در اولویت قرار دارد. همچنین سهم متغیرها به خوبی نشان داد که اثر رطوبت به طور میانگین در تولید عملکرد دانه گندم دیم ۲ برابر بیشتر از اثر نیتروژن است که این نسبت در دو لایه اول (۲۰-۰ و ۴۰-۰ سانتی‌متر) به ترتیب ۳/۹ و ۲/۳ برابر بود که با افزایش ضخامت لایه در کل نیمرخ (۸۰-۰ سانتی‌متری) به ۱/۵ برابر تقلیل یافت (جدول ۳). پژوهشگران نیز بر این باورند که اهمیت و سهم آب در تولید گندم دیم به عنوان مهمترین عامل محدودکننده تولید این محصول بیش از نیتروژن می‌باشد. لوبل و همکاران (۳۰) معتقدند علاوه بر تامین سه فاکتور اساسی رشد شامل نور، حرارت و آب، نیتروژن نیز یکی از مهمترین عوامل موثر و تاثیرگذار بر عملکرد گندم در شرایط دیم می‌باشد. مطابق این گزارش با افزایش شدت کمبود آب، تفاوت عملکرد گندم دیم از عملکرد پتانسیل ۵۰ درصد و یا بیش از آن کاهش می‌یابد که قابل مقایسه با سایر عوامل محدودکننده خاکی رشد نیست. کالوینو و سدراس (۸) در بیش از ۱۰۳ مزرعه گندم در آرژانتین، محدودیت آب را در اواخر دوره رشد گیاه مهم‌ترین عامل محدودکننده معرفی نمودند. این در حالی است که لوبل و همکاران (۳۱) به ترتیب هر دو فاکتور

آب و نیتروژن را عامل محدودکننده رشد گندم در مکزیک شناسایی نمودند. ویکس و همکاران (۵۷) نیز اهمیت آب را در شرایط دیم بیش از هر عامل دیگری مطرح نمودند که بر اساس آن می‌توان عملکرد محصولات را در شرایط دیم پیش‌بینی نمود. پالا و همکاران (۳۹) اهمیت آب را در تولید گندم دیم در کشورهای مختلف غرب آسیا و شمال آفریقا (WANA) بیش از نیتروژن و یا مدیریت کودی مطرح نمودند. به طوری که با بهبود شرایط تغذیه‌ای گندم دیم در این مناطق، وابستگی عملکرد دانه به نیتروژن و عامل مدیریت مزارع به شدت کاهش یافت. این در حالی است که ترابی و همکاران (۵۳) نقش نیتروژن را در عملکرد گندم آبی در ۹۵ مزرعه در استان گلستان، ۶۱ درصد (بیش از سایر عوامل) از تغییرات عملکرد دانه معرفی نمودند، زیراکه در این شرایط به دلیل آبی بودن مزارع، مشکلات جدی در خصوص تامین آب مورد نیاز گیاه همانند مزارع دیم وجود نداشت. بنابراین در شرایط دیم اهمیت آب خاک در تولید گندم بیش از نیتروژن موجود در نیمرخ خاک می‌باشد که با مدیریت مصرف نیتروژن وابستگی عملکرد به عامل نیتروژن به شدت کاهش می‌یابد، اما این وابستگی به آب از مزرعه‌ای به مزرعه دیگر و از سالی به سال دیگر متفاوت می‌باشد و به همین دلیل نزدیک شدن عملکرد واقعی به عملکرد پتانسیل در شرایط دیم عملاً غیرممکن می‌باشد.

حد بحرانی نیتروژن معدنی به عنوان مبنایی برای توصیه کودهای نیتروژنی جهت دستیابی به عملکردهای بالا در مناطق سرد و نیمه‌سرد کشور که بیش از ۲۵۰۰ کیلوگرم در هکتار برای گندم دیم می‌باشد، در مناسب‌ترین لایه انتخابی (۴۰-۰ سانتی‌متری) برای واسنجی نیتروژن معدنی ۴۱/۳ کیلوگرم در هکتار تعیین گردید. بنابرین، اگر در مرحله اوایل ساقه‌دهی (ZGS32) گندم دیم، مقدار ۴۱/۳ کیلوگرم نیتروژن معدنی (نیترات + آمونیوم) در هکتار در لایه ۴۰-۰ سانتی‌متری وجود داشته باشد، می‌تواند عملکردهای بیش از ۲/۵ تن در هکتار را در شرایط آزمایش تولید نماید. حد بحرانی تعیین شده معادل با ۱۸/۰ میلی‌گرم نیتروژن معدنی در کیلوگرم (۵/۱ میلی‌گرم نیترات در کیلوگرم و ۱۲/۹ میلی‌گرم آمونیوم در کیلوگرم) خاک است (شکل ۲). پالا و متر (۳۸) با انجام ۲۰ آزمایش در کشور سوریه این حد را برای گندم دیم در لایه ۴۰-۰ سانتی‌متری ۴۲ کیلوگرم نیتروژن معدنی در هکتار، معادل ۳۳ کیلوگرم نیترات در هکتار تعیین کردند. سلطانپور و همکاران (۴۸) برای گندم دیم این حد را در کشور مراکش نزدیک به نتایج پالا و متر (۳۸) ۳۱ کیلوگرم نیترات در هکتار در لایه یادشده با متوسط بارندگی ۳۰۰-۲۰۰ میلی‌متر گزارش نمودند. متر و همکاران (۳۳) این حد را برای جو دیم در کشور سوریه ۴۱/۵ کیلوگرم نیتروژن معدنی در هکتار و ۲۸ کیلوگرم نیترات در هکتار در این لایه تعیین کردند. غربی و همکاران (۲۳) معتقدند حد بحرانی نیتروژن معدنی تا عمق ۶۰سانتی‌متری برای گندم دیم در کشور تونس ۱۰ میلی‌گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک می‌باشد. حد بحرانی نیتروژن معدنی در لایه‌های ۲۰-۰، ۶۰-۰ و ۸۰-۰ سانتی‌متری به ترتیب ۲۰/۶، ۶۰/۶ و ۸۰/۱ کیلوگرم در هکتار بود که این مقادیر به ترتیب معادل با ۹/۰ (۲/۸ میلی‌گرم نیترات در کیلوگرم و ۶/۲ میلی‌گرم آمونیوم در کیلوگرم)، ۲۶/۳ (۷/۳ میلی‌گرم نیترات در کیلوگرم و ۱۹/۰ میلی‌گرم آمونیوم در کیلوگرم) و ۳۸/۸ (۱۰/۴ میلی‌گرم نیترات در کیلوگرم و ۲۱/۴ میلی‌گرم آمونیوم در کیلوگرم) میلی‌گرم نیتروژن معدنی در کیلوگرم خاک می‌باشد (شکل ۲). حد بحرانی به دست آمده در خصوص نیتروژن معدنی در پژوهش حاضر برای لایه‌های ۴۰-۰ و ۶۰-۰ سانتی‌متری بسیار نزدیک به نتایج پالا و متر (۳۸) و متر و همکاران (۳۳) می‌باشد، اما از لحاظ حد بحرانی نیترات اعداد به دست آمده در تمامی عمق‌ها بسیار کمتر از حد بحرانی‌های گزارش شده برای گندم دیم می‌باشد، زیرا اغلب پژوهشگران بر این باورند که اگر در لایه ۴۰-۰ سانتی‌متری مقادیر نیتروژن نیتراتی ۴۲-۳۲ کیلوگرم در هکتار و در لایه ۶۰-۰ سانتی‌متری ۴۴ کیلوگرم در هکتار باشد، نیازی به کاربرد کودهای نیتروژنی برای گندم دیم در مناطق غرب و شمال‌غرب آسیا نیست (۳۳، ۳۸ و ۴۸). همانطوریکه مشاهده می‌شود، حد بحرانی‌های به دست آمده برای نیتروژن معدنی در پژوهش حاضر مشابه با حد بحرانی‌های گزارش شده از سوی سایر پژوهشگران در غرب آسیا و شمال‌غرب آفریقا (WANA) می‌باشد، اما مقادیر حد بحرانی‌های مربوط به نیترات بسیار پائین‌تر از حد بحرانی‌های گزارش شده است. علت بالای نسبت آمونیوم به نیترات در خاک و حد بحرانی‌های به دست آمده برای این فرم در پژوهش حاضر، بیشتر به شرایط اجرای آزمایش بستگی دارد. نتایج آمار هواشناسی ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم (مراغه) در سال اجرای آزمایش (۹۰-۸۹) نشان داد (جدول ۱)، اگرچه میانگین بارندگی سال زراعی (۳۵۳ میلی‌متر) کاهش چندانی (۱۳ میلی‌متر) در مقایسه با آمار ۲۰ ساله (۳۶۵ میلی‌متر) نداشت، اما توزیع آن در سال زراعی دچار دگرگونی‌های شدیدی شده است، به طوری که بارندگی فصل پائیز ۸۲ درصد (۷۶/۲ میلی‌متر) و متوسط دمای سال زراعی ۰/۷ درجه سانتی‌گراد در مقایسه با میانگین بلند مدت کاهش داشت. از سوی دیگر تعداد روزهای زیر صفر در مقایسه با آمار بلند مدت افزایش یافت و ۱۲ روز آن در شروع فصل رشد در بهار رخ داد. مجموع این عوامل (کاهش بارندگی فصل پائیز و دما در فصل پائیز و اوایل بهار) منجر شده است تا بر خلاف تصور، اوره مصرف شده به صورت جایگذاری در تیمارهای پائیزی در مدت بیش از ۶ ماه (تا زمان نمونه‌برداری) نتواند از طریق چرخه نیتریفیکاسیون به نیترات تبدیل شود و قسمت اعظمی از آن به صورت آمونیوم در نیمرخ خاک باقی مانده است (۵۰). برای تبدیل کودهای نیتروژنی به نیترات، وجود شرایط مناسب از لحاظ دما (۲۰ الی ۳۰ درجه سانتی‌گراد) و رطوبت خاک (۴۰ الی ۶۰ درصد حجمی) بسیار ضروری است (۱۱). مالوانی (۳۶) معتقد است، در شرایط کاهش

دمای محیط به زیر ۵ درجه سانتی‌گراد، تولید نیترات از کودهای نیتروژنی به شدت کاهش می‌یابد، اما تولید آن با افزایش دما تا بیش از ۳۵ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد. پوتانا و همکاران (۴۱) نیز در یک آزمایش گلخانه‌ای مشاهده کردند، با افزایش دما بین ۱۰ الی ۳۰ درجه سانتی‌گراد حتی در حضور بازدارنده‌های نیتریفیکاسیون (Nitrification inhibitoires) میزان تولید نیترات از کود اوره ۶ الی ۶۲ درصد افزایش یافت. به تعبیر دیگر، تامین دمای مناسب یکی از مهمترین فاکتورهای مورد نیاز چرخه نیتریفیکاسیون و تولید نیترات از کودهای نیتروژنی بشمار می‌آید. اما تأمین ۴۰ الی ۶۰ درصد رطوبت حجمی خاک می‌تواند مشکل رطوبتی را برای میکروارگانیسم‌های تولیدکننده نیترات رفع نماید که در شرایط اشباع خاک، این چرخه به دلیل نیاز به اکسیژن کاملاً متوقف می‌شود (۱۱). بنابراین می‌توان استنباط نمود، کاهش شدید بارندگی در سه ماهه اول پائیز (چهار مورد بارندگی غیرموثر کمتر از ۵ میلی‌متر) همراه با کاهش دمای خاک در عمق جایگذاری اوره (۲۰ سانتی‌متر) از اواخر مهر ماه باعث گردیده است تا از نیتریفیکاسیون اوره در پائیز به شدت کاسته شود. در اوایل فصل رشد در بهار (فروردین ماه) به دلیل پائین بودن دمای خاک (کمتر از ۱۰ درجه سانتی‌گراد) با وجود بارندگی کافی، نیتریفیکاسیون آمونیوم حاصل از اوره مصرفی در پائیز با مشکل مواجه شده و تا زمان نمونه‌برداری خاک (۲۱ فروردین ۱۳۹۰) این مشکل همچنان وجود داشته است (شکل ۳ الف). علاوه بر مشکلات یادشده، بالا بودن میزان رس خاک (جدول ۲) را نیز در جذب آمونیوم آزادشده از کود اوره باید به عنوان عامل کمکی دیگری در جلوگیری از تولید نیترات در خاک مطرح نمود (۴۷). از سوی دیگر، نتایج همبستگی مرتبه صفر (پیرسون) فرم‌های نیتروژن در خاک با عملکرد دانه و اجزای آن نیز رخداد چنین وضعیتی را تائید می‌نمایند، زیرا همبستگی عملکرد دانه و مهمترین جزء آن در شرایط دیم (تعداد سنبله در واحد سطح) با فرم آمونیومی نیتروژن در تمامی لایه‌های مورد مطالعه از لحاظ آماری معنی‌دار می‌باشد. در حالی که همبستگی فرم نیترات تنها برای لایه ۴۰-۰ سانتی‌متری با عملکرد دانه معنی‌دار است و تغییرات آن نتوانسته است تعداد سنبله در واحد سطح را به عنوان مهمترین جزء عملکرد دانه گندم دیم در ایران (۱۶ و ۵۹) تحت تاثیر قرار دهد (جدول ۴). به تعبیر دیگر، در شرایط آزمایش از دو فرم قابل جذب نیتروژن برای گیاه، تنها فرم آمونیوم روی عملکرد و افزایش آن تاثیرگذار بوده است و این موضوع بیش از هر عاملی با شرایط اجرای آزمایش (آبی یا دیم) مرتبط می‌باشد. سالازرسوسا (۴۵) نیز گزارش نمود، در شرایط خشک و نیمه‌خشک مشابه با شرایط دیم، میزان آمونیوم در لایه‌های سطحی خاک بیش از نیترات است، زیرا توسط کلوئیدهای خاک به ویژه رس‌ها جذب شده و کمتر به شکل نیترات تبدیل می‌شود. سون و همکاران (۵۰) ارتباط کمتری را بین غلظت نیترات و آمونیوم خاک با عملکرد دانه گندم در مناطق خشک و نیمه خشک یافتند. در چنین شرایطی غلظت بالایی از آمونیوم در خاک تجمع پیدا کرده بود، زیرا خشکی اواخر بهار و اوایل تابستان از نیتریفیکاسیون کود نیتروژنی ممانعت به عمل آورده بود. به همین دلیل، وانگ و بلو (۵۶) توصیه کردند که در شرایط خشکی و خشکسالی، حداقل یک چهارم نیتروژن مورد نیاز گندم به شکل آمونیوم مصرف شود، زیرا در چنین شرایطی جذب نیتروژن توسط گیاه ۳۵ درصد افزایش می‌یابد. این بیشتر به دلیل نیاز به انرژی بالاتر (چهار برابر ATP بیشتر) فرم نیترات جهت شرکت در متابولیسم در مقایسه با فرم آمونیوم می‌باشد (۴۶). بنابرین در چنین شرایطی با مصرف فرم آمونیومی، انرژی بیشتری برای تولید ماده خشک گیاهی در مقایسه با فرم نیتراتی اختصاص می‌یابد (۲۵). لازم به ذکر است، امروزه با پیشرفت تکنیک سنجش از راه دور برخی برای توصیه کودهای نیتروژنی پا را از آزمون خاک و حد بحرانی نیتروژن در نیمرخ خاک فراتر نهاده و توصیه‌های گیاه مبنایی مانند شاخص نسبی کلروفیل (۱۹)، شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) و غیره را مناسب‌تر و کم هزینه‌تر می‌دانند (۲۹). با این حال برای تائید صحت و دقت اغلب این روش‌ها از واسنجی آنها با مقادیر نیتروژن خاک و نیتروژن جذب شده توسط گیاه استفاده می‌شود.

به منظور تعیین ارتباط بین تیمارهای نیتروژنی مورد استفاده در پژوهش حاضر با مقادیر نیتروژن معدنی در لایه ۴۰-۰ سانتی‌متری که قادر به تولید عملکردهای بیش از ۲/۵ تن در هکتار بودند، از روابط رگرسیونی بین نیتروژن معدنی خاک (N_{min}) و نیتروژن مصرفی (N) با عملکرد دانه ($Y = 3192.5 + 77.7N - 86.0N_{min} - 0.55N^2 + 1.35N_{min}^2 - 0.815N \times N_{min}$; $R_{adj}^2 = 0.73$; SE = 295.0)و همچنین رابطه بین نیتروژن مصرفی و محتوی رطوبتی خاک (θ)با عملکرد دانه (0) استفاده شد. متوسط نیاز نیتروژنی برای دستیابی به عملکردهای بالا با شرط تامین ۴۱/۳ کیلوگرم نیتروژن معدنی (N_{min}) در هکتار (بر اساس حد بحرانی تعیین شده) در لایه ۴۰-۰ سانتی‌متری نیمرخ خاک در اوایل ساقه رفتن (ZGS32) گندم دیم به طور متوسط ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار تعیین گردید. مطابق مدل به دست آمده برای لایه ۴۰-۰ سانتی‌متری (جدول ۳ و شکل ۳ب) با افزایش متوسط رطوبت حجمی خاک در محدوده ۱۱/۵ الی ۱۶/۱ درصد، میزان نیتروژن معدنی مورد نیاز برای تولید عملکردهای مطلوب (بیش از ۲۵۰۰ کیلوگرم در هکتار) از ۱۲/۴ تا ۲۸/۶ کیلوگرم در هکتار افزایش یافت، اما با افزایش متوسط رطوبت حجمی از ۱۶/۱ الی ۱۸/۸ درصد، نیتروژن معدنی مورد نیاز از ۲۸/۶ به ۱۴/۴ کیلوگرم در هکتار کاهش یافت (شکل ۴الف). به تعبیر دیگر، رابطه بین میزان رطوبت موجود در نیمرخ خاک با میزان نیتروژن معدنی در تولید عملکردهای مطلوب از نوع درجه دوم می‌باشد که حداکثر میزان نیتروژن معدنی ۲۸/۶ کیلوگرم در هکتار در رطوبت ۱۶/۱ درصد تعیین گردید.

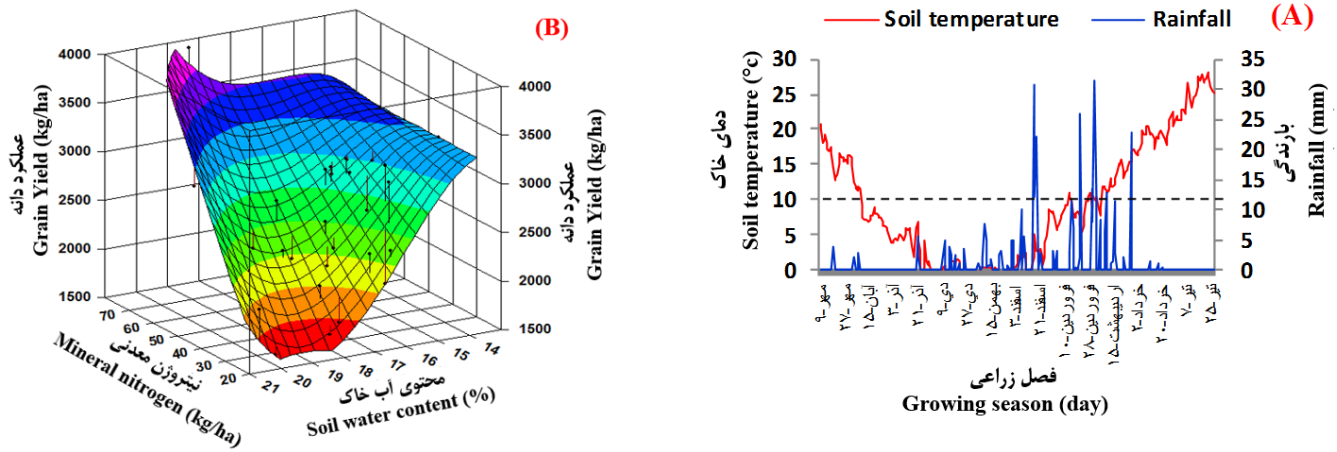


شکل ۲- رابطه بین میزان نیتروژن معدنی در لایه‌های ۲۰-۰ (A)، ۴۰-۰ (B)، ۶۰-۰ (C) و ۸۰-۰ (D) با عملکرد دانه گندم دیم

ضریب تبدیل کیلوگرم نیتروژن معدنی در هکتار به میلی‌گرم در کیلوگرم ۰/۴۳۴۸ و متوسط نسبت آمونیوم به نیترات در لایه‌های ۲۰-۰ (الف)، ۴۰-۰ (ب)، ۶۰-۰ (ج) و ۸۰-۰ (د) به ترتیب ۲/۲۰، ۲/۵۳، ۲/۶۳ و ۲/۷۴ می‌باشد

Figure 2- The relationship between mineral nitrogen in 0-20 (A), 0-40 (B), 0-60 (C) and 0-80 cm (D) soil layers and grain yield

Mineral nitrogen conversion factor kg.ha^{-1} for mg.kg^{-1} is 0.4348 and mean of ammonium per nitrate ratio in 0-20 (a), 0-40 (b), 0-60 (c) and 0-80 cm (D) soil layers are 2.20, 2.53, 2.63 and 2.74 respectively



شکل ۳- رابطه بین متوسط دمای خاک در عمق ۲۰ سانتی‌متری و میزان بارندگی روزانه در طول دوره رشد گندم دیم در سال زراعی ۹۰-۸۹ (A) و مدل سه بعدی رابطه بین میزان نیتروژن معدنی و آب خاک با عملکرد دانه (B)

Figure 3- The relationship between the average of soil temperature in 20 cm depth and daily rainfall during the growing season of dryland wheat in 2010-2011 cropping year (A) and three-dimensional model of the relationship between the amount of mineral nitrogen and soil water content with grain yield (B)

جدول ۳- ضرایب و مشخصات مناسب‌ترین مدل‌های رگرسیونی بین مقادیر نیتروژن معدنی (N_{min}) و محتوی رطوبت (θ) در لایه‌های مختلف نیمرخ خاک با پاسخ گندم دیم (n=۲۸).

Table 3- Coefficient of regression models and better model between mineral nitrogen (Nmin) and soil moisture content (θ) in different soil layers with dryland wheat response (n=28)

پارامتر Parameter	مدل مناسب Suitable model															
	Soil depth 0-20 (cm)				Soil depth 0-40 (cm)				Soil depth 0-60 (cm)				Soil depth 0-80 (cm)			
	ضریب Coefficient	خطای استاندارد Standard error	همبستگی جزء Partial correlation	حدود اطمینان Confidence interval 90%	ضریب Coefficient	خطای استاندارد Standard error	همبستگی جزء Partial correlation	حدود اطمینان Confidence interval 90%	ضریب Coefficient	خطای استاندارد Standard error	همبستگی جزء Partial correlation	حدود اطمینان Confidence interval 90%	ضریب Coefficient	خطای استاندارد Standard error	همبستگی جزء Partial correlation	حدود اطمینان Confidence interval 90%
a	-539983.1**	185124.1	-	317877	-574172.8*	233416.8	-	400800	70257.5**	23513.1	-	40374	31245.11**	10296.9	-	17680.8
b	-590.7**	208.8	-0.31*	358	-371.2*	154.7	-0.29*	266	-20264.2*	8673.2	-0.31*	14893	-102.94ns	57.9	-0.36**	99.4
c	496022.8**	161782.8	-0.59**	277797	500069.7*	193395.0	-0.56**	332079	-3026.9**	1065.5	-0.46**	1830	0.08ns	0.1	-0.51**	0.2
d	306.9**	85.0	0.06ns	146	225.0**	74.2	0.16ns	127	1990.4*	956.5	0.17ns	1642	-2407.47**	864.4	0.12ns	1484.3
e	-118784.0**	37107.7	0.56**	63718	-112961.6*	41859.1	0.54**	71876	45.3*	17.1	0.43**	29	45.96*	18.9	0.46**	32.4
f	236.0**	76.0	0.32*	130	143.2*	53.8	0.29*	92	293.1*	168.5	0.31*	289	5.44*	2.6	0.40**	4.5
R^2	0.80**				0.84**				0.75**				0.73**			
R_{ai}^2	0.76**				0.80**				0.69**				0.67**			
SE	279.7				254.5				313.7				324.5			
valueF	17.8**				22.4**				13.3**				12.1**			

ns، * و **: بهترتیبغیرمعنی‌دار، معنی‌داردرسطحاحتمال ۵ و ۱ درصد ns, * and **: non-significant, significant at the 5 and 1%

جدول ٤- ضرایب همبستگی پیرسون بین فرم‌های نیتروژن قابل جذب با عملکرد و اجزای عملکرد دانه گندم دیم در عمق‌های مختلف نیمرخ خاک

Table 4- Pearson correlation coefficient between nitrogen available forms in different soil depths with dryland wheat grain yield and yield components

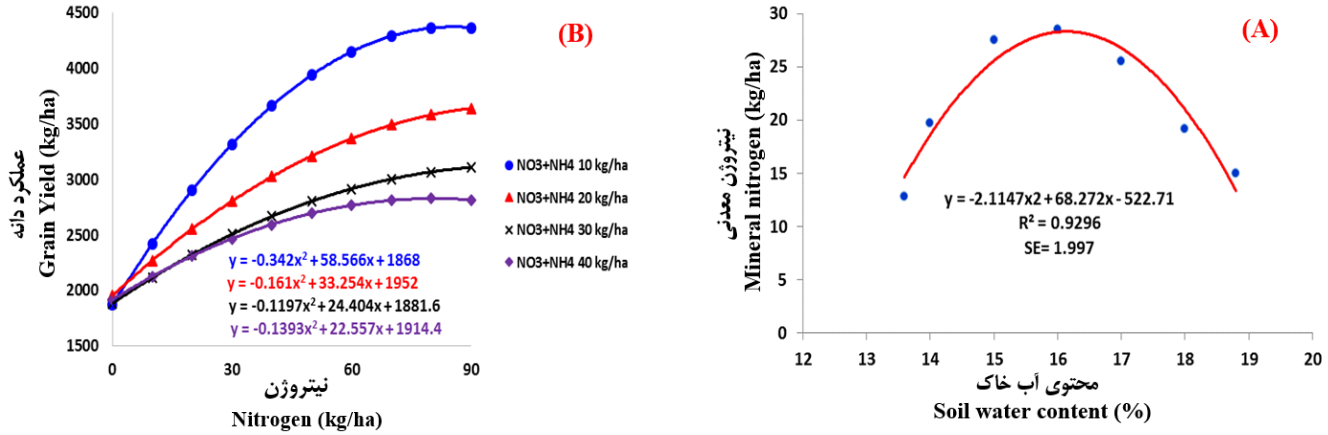
صفت Characteristic	نیترات NO_3^-				آمونیوم NH_4^+				نیتروژن معدنی Mineral N (NO_3^- + NH_4^+)			
	عمق (سانتی‌متر) Soil depth (cm)											
	0-20	0-40	0-60	0-80	0-20	0-40	0-60	0-80	0-20	0-40	0-60	0-80
Grain yield	0.27ns	0.33*	0.28 ns	0.25 ns	0.66**	0.77**	0.77**	0.76**	0.56**	0.75**	0.77**	0.77**
No. spike per m^2	0.01ns	0.08 ns	0.07 ns	0.05 ns	0.34*	0.37*	0.41*	0.40*	0.20 ns	0.33*	0.37*	0.37*
Thousand kernel weight	-0.20ns	-0.13 ns	-0.16 ns	-0.19 ns	-0.10 ns	-0.07 ns	-0.07 ns	-0.07 ns	-0.18 ns	-0.11 ns	-0.12 ns	-0.13 ns
No. seed per spike	0.37*	0.28 ns	0.26 ns	0.20 ns	0.20 ns	0.21 ns	0.22 ns	0.21 ns	0.35*	0.29 ns	0.29 ns	0.26 ns

ns، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns, * and **: non-significant, significant at the 5 and 1%

بنابرین مقادیر نیتروژن مورد نیاز برای دستیابی به عملکردهای مطلوب شدیداً به میزان آب خاک بستگی دارد و لذا اثرات میزان نیتروژن معدنی موجود در نیمرخ خاک را نمی‌توان بدون در نظر گرفتن محتوی آب خاک، مورد مطالعه قرار داد. این نتیجه را معنی‌داری ضریب رگرسیون مربوط به اثر متقابل فاکتورهای نیتروژن معدنی و رطوبت حجمی خاک نیز در مدل مربوطه و همبستگی جزئی به خوبی نشان داد (جدول ۳). همان‌طوری‌که مطرح شد پژوهشگران زیادی به این نتیجه رسیده‌اند که نیتروژن و آب اثرات متقابل شدیدی در نیمرخ خاک و محدوده ریشه گیاه بر میزان جذب نیتروژن و تولید عملکرد دانه گندم دیم دارد (۵۱ و ۵۴) و اثر آب در این خصوص قابل مقایسه با هیچ عامل دیگری در تولید بهینه عملکرد در شرایط دیم نیست (۵۵).

بررسی رابطه بین میزان نیتروژن مصرفی در سطوح فرضی نیتروژن معدنی خاک با عملکرد دانه در میانگین رطوبت خاک از طریق شبیه‌سازی با مناسب‌ترین مدل انتخابی برای لایه ۴۰-۰ سانتی‌متری نیمرخ خاک نشان داد (شکل ۴ب)، اولاً این رابطه در تمامی سطوح نیتروژن معدنی خاک از نوع درجه دوم بود و با افزایش مقدار نیتروژن معدنی در لایه ۴۰-۰ سانتی‌متری، احتمال افزایش عملکرد و دستیابی به عملکردهای بالاتر از طریق مصرف نیتروژن به شدت پائین می‌آید. به تعبیر دیگر، با استفاده از این مدل، اثر کود نیتروژنی در افزایش عملکرد دانه گندم دیم بیش از اثر نیتروژن معدنی خاک می‌باشد و چنانچه مقدار نیتروژن معدنی خاک در لایه یادشده ۲۰ و یا کمتر از ۲۰ کیلوگرم در هکتار باشد، امکان افزایش عملکرد دانه تا مقادیر بیش از ۴ تن در هکتار نیز با مصرف کود نیتروژنی وجود دارد. البته این موضوع منافاتی با حد بحرانی تعیین شده (۴۱/۳ کیلوگرم نیتروژن معدنی در هکتار) ندارد، زیرا که این حد برای عملکردهای بیش از ۲/۵ تن در هکتار و بدون لحاظ تیمارهای مصرف نیتروژن محاسبه شده است. ثالثاً مطابق این مدل (شکل ۴ب) احتمال دستیابی به حداکثر عملکردهای ۴۳۸۸، ۳۶۴۸، ۳۰۹۷ و ۲۸۱۷ کیلوگرم در هکتار با مصرف به ترتیب ۸۶، ۱۰۳، ۱۰۲ و ۸۱ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در سطوح نیتروژن معدنی به ترتیب ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ کیلوگرم در هکتار وجود دارد که میانگین کارایی مصرف نیتروژن در این سطوح به ترتیب ۴۳، ۲۷، ۱۸ و ۱۶ کیلوگرم بر کیلوگرم می‌باشد. بنابر این نتایج، وجود ۱۰ الی ۲۰ کیلوگرم نیتروژن معدنی در هکتار در لایه ۴۰-۰ سانتی‌متری نیمرخ خاک در اوایل ساقه رفتن (ZGS32) گندم دیم و مصرف ۵۰ الی ۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار می‌تواند عملکردهای ۳۲۰۰ الی ۴۲۰۰ کیلوگرم در هکتار را تولید نماید. بر این اساس افزایش نیتروژن معدنی در نیمرخ خاک روش مناسبی برای تولید گندم دیم نمی‌باشد، بلکه وجود ۱۰ الی ۲۰ کیلوگرم نیتروژن معدنی در هکتار به همراه مصرف ۵۰ الی ۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار مناسب‌ترین روش برای دستیابی به عملکردهای بالا خواهد بود. همانند نتیجه به دست آمده از پژوهش حاضر پیل‌بیم (۴۰) نیز دریافت که در مناطق مرطوب نیتروژن-۱۵ بازیافت شده توسط گندم بیشتر از نیتروژن موجود در خاک بوده است، در حالی که در مناطق خشک بر عکس، بیشتر نیتروژن موجود در گیاه از کود نیتروژنی مصرف شده جذب گردیده است. وی علت این موضوع را نسبت بیشتر ریشه به ساقه گندم در مناطق خشک و همچنین بالا بودن نسبت C/N بقایای گیاهان مناطق خشک عنوان نمود.



شکل ٤- رطوبت حجمی و نیتروژن معدنی در لایه ٤٠-٠ سانتی‌متری (A) و برآورد اثرات مقادیر مختلف مصرف نیتروژن روی عملکرد دانه گندم دیم در سطوح مختلف نیتروژن معدنی خاک در لایه ٤٠-٠ سانتی‌متری (B)

Figure 4- Relationship between soilvolumetric water content and mineral nitrogen in 0-40 cm soil layer (a) and estimate the effects of different nitrogen application rates on grain yield at different levels of soil mineral nitrogen in 40-0 cm soil layer (b)

نتیجه‌گیری کلی

مطابق نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر، از بین سه فرم نیترات، آمونیوم و معدنی (آمونیوم + نیترات) در پای بوته ژنوتیپ‌های گندم دیم، فرم معدنی بیشترین ارتباط را با عملکرد دانه دارد که بدون لحاظ محتوی آب در لایه واسنجی این ارتباط به طور چشمگیری کاهش می‌یابد و از کارایی مدل در پیش‌بینی پاسخ گیاه و توصیه کودهای نیتروژنی به شدت می‌کاهد. به تعبیر دیگر، اهمیت و نقش محتوی آب خاک در تولید گندم دیم در مدل به دست آمده ۲/۳ برابر بیشتر از نیتروژن معدنی است. مناسب‌ترین لایه برای نمونه‌برداری و واسنجی نیتروژن معدنی، لایه ۴۰-۰ سانتی‌متری ریشه گندم دیم می‌باشد که برای تولید عملکردهای مطلوب (بیش از ۲/۵ تن در هکتار) وجود حدود ۴۱ کیلوگرم نیتروژن معدنی (نیترات + آمونیوم) در هکتار معادل با ۱۸/۰ میلی‌گرم نیتروژن معدنی در کیلوگرم در این لایه ضروری است و مصرف پائیزی ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار از منبع اوره می‌تواند این شرایط را برای ژنوتیپ‌های گندم دیم در شرایط آزمایش و مناطق مشابه مهیا نماید. همچنین مطابق مدل به دست آمده، اثر کود نیتروژنی در افزایش عملکرد دانه گندم دیم بیش از اثر نیتروژن معدنی خاک می‌باشد و افزایش ذخیره نیتروژن معدنی خاک برای تولید اقتصادی گندم دیم روش مناسبی نخواهد بود.

منابع

1- Abdel Monem M.A.S., Harmsen K., Lindsay W.L. and Vlek P.G. 1987. Fat of nitrogen - tagged urea applied to wheat in the arid Mediterranean region. p. 103-110. In A. Matar et al. (ed.). Soil Test Calibration in West Asia and North Africa. Proc. of the Second Regional Workshop Ankara, Turkey, 1–6 Sept. 1987. ICARDA, Aleppo, Syria.

2- Abdel Monem M., Azzoui A., El Gharous M., Ryan J. and Soltanpour P.N.1990. Response of dryland wheat to nitrogen and phosphorus in some Moroccan soils. p. 52-65. In J. Ryan et al. (ed.) Proc. Third Regional Soil Test Calibration Workshop. Amman, Jordan.3-9 Sept. 1988. ICARDA, Aleppo, Syria.

3- Ali Ehyaei M., and Behbahani Zadeh A.A., 1993. Study of soil chemical analysis. Technical Soil and water Research Institute, 893. (in Persian).

4- Ayadi S., Karmous C., Hammami Z., Trifa Y., and Rezgui S., 2014. Variation of durum wheat yield and nitrogen use efficiency under Mediterranean rainfed environment. International Journal of Agriculture and Crop Sciences, 7(10): 693-699.

5- Aziz F.C., Mohammad B.I. and Salih H.M., 1990. Nitrogen forms in calcareous soils and their correlation to nitrogen indices of wheat. p. 175-187. In J. Ryan et al. (ed.). Proc. Third Regional Soil Test Calibration Workshop. 3-9 Sept. 1988. Amman, Jordan. ICARDA, Aleppo, Syria.

6- Bell M.J., Wayne S., Denis E., and Charlie W., 2013. Soil nitrogen - crop response calibration relationships and criteria for winter cereal crops grown in Australia. Crop and Pasture Science, 64(5):442-460.

7- Benbi D.K., Singh R., Singh G., Sandhu K.S., and Saggar S. 1993 .Response of dryland wheat to fertilizer nitrogen in relation to stored water, rainfall and residual farm yard manure. Fertilizer Research, 36:63-70.

8- Calvino P. and Sadras V., 2002. On-farm assessment of constraints to wheat yield in the south-eastern Pampas.

Field Crops Research, 74:1–11.
9- Davis J.G., and Westfall D.G., 2005. Fertilizing Winter Wheat. Colorado State University, U.S. Department of Agriculture and Colorado counties cooperating. NO. 0.544.
10- Deng X.P., 2014. Enhancing drought resistance of plants using wheat as a test crop. p 215-231. In A. Tsunekawa et al. (eds.), Restoration and Development of the Degraded Loess Plateau, China. Springer Verlag, Japan.
11- Di K.C., and Cameron H.J., 2004. Effects of temperature and application rate of a nitrification inhibitor, dicyandiamide (DCD), on nitrification rate and microbial biomass in a grazed pasture soil. Soil Research, 42(8):927–932.
12- El Gharous M., 1997. Nitrogen challenges in dryland agriculture. p. 47-56. In J. Ryan (ed.). Accomplishments and future challenges in dryland soil fertility research in the Mediterranean area. ICARDA, Aleppo, Syria.
13- Farooq M., Wahid A., Kobayashi N., Fujita D. and Basra S.M.A. 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management (Review article). Agronomy for Sustainable Development, 29:185–212.
14- Fatima M., Bedhiaf M., and Rhomari Y., 1992. Fertilization of cereals: Soil-nitrogen test calibration in Morocco's Gharb Area. p., 212-224. In J. Ryan et al. (ed.). Fertilizer use efficiency under rain-fed agriculture in West Asia and North Africa. ICARDA, Aleppo, Syria.
15- Feiziasl V., 2007. Evaluate the effects of different nitrogen forms on quantitative and qualitative characteristics of dryland wheat (Final Report). Dryland Agricultural Research Institute. Publication No. 317. (in Persian with English abstract).
16- Feiziasl V., 2011. Study on the effects of nitrogen different amounts and timing application on nitrogen requirement, nitrogen use efficiency and the quantity and quality of wheat grain yield. (Final Report). Dryland Agricultural Research Institute. Publication No. 39694. (in Persian with English abstract).
17- Feiziasl V., Jafarzadeh J., Pala M. and Mosavi S.B. 2009. Determination of micronutrient critical Levels by plant response column order procedure for dryland wheat (*T. aestivum* L.) in Northwest of Iran. International Journal of Soil Science, 4(1):14-19.
18- Feiziasl V., Kasraei R., Moghaddam M. and Valizadeh G. 2004. Investigation on uptake limitation and nutrient deficiency diagnosis at applied phosphorus and zinc fertilizers by different methods in Sardari wheat, Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources 11: 23-33. (in Persian with English abstract).
19- Follett R.H., Follett R.F., and Halvorson A.D. ,1992. Use of a chlorophyll meter to evaluate the nitrogen status of dryland winter wheat. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 23(7-8):687-697.
20- Fowler D.B., and Brydon J., 1989. No-till winter wheat production on the Canadian prairies: Placement of urea and ammonium nitrate fertilizers. Agronomy Journal, 81:518-524.
21- Fowler D.B., Brydon J., and Buker R.J., 1989. Nitrogen fertilization of no-till winter wheat and rye. II. Influence on grain protein. Agronomy Journal, 81:72-77.
22- Garabet S., 1995. Fertilizer-use efficiency and nitrogen dynamics in rainfed and irrigated wheat under a Mediterranean type climate. PhD. Thesis. Soil Sci. Dept., Univ. Reading, Reading, Uk.
23- Gharbi A., Haddad A., and Ettouns L., 1992. Nitrogen and phosphorus in rain –fed regions of Tunisia: wheat responses and soil impacts. p. 172-182. In J. Ryan et al. (ed.). Fertilizer use efficiency under rain-fed agricultural in West Asia and North Africa. Proceedings of the Fourth Regional Workshop 5-10 May 1991. Agadir, Morocco. ICARDA, Aleppo, Syria.
24- Hazelton P., and Murphy B., 2007. Interpreting soil test results; what do all the numbers mean? CSIRO Publishing.
25- Huffman J.R., 1989. Effects of enhanced ammonium availability for corn. Journal of Agricultural Education, 18:93-97.
26- Johnston A.M., and Fowler D.B., 1991. No-till winter wheat production: response to spring applied nitrogen fertilizer form and placement. Agronomy Journal, 83:722-728.
27- Koenig R.T., Cogger C.G., and Bary A.I., 2011. Dryland Winter Wheat Yield, Grain Protein, and Soil Nitrogen Responses to Fertilizer and Biosolids Applications. Applied and Environmental Soil Science, 2011: 1- 9.
28- Legendre P., and Legendre L., 2003. Numerical ecology. Third english edition. Elsevier, Amsterdam.
29- Limon-Ortega A., 2009. Wheat grain yield response to N application evaluated through canopy reflectance. Cereal Research Communications, 37(4):595-601.
30- Lobell D.B., Ortiz-Monasterio J.I., Asner G.P., Naylor R.L., and Falcon W.P., 2005. Combining field surveys, remote sensing, and regression trees to understand yield variations in an irrigated wheat landscape. Agronomy Journal, 97:241–49.
31- Lobell D.B., Cassam K.G., and Field C.B., 2009. Crop Yield Gaps: Their Importance, Magnitudes, and Causes. Annual Review of Environment and Resource, 34:1-26.
32- Malakouti M.J., and Gheibi M.N., 1997. Determination of critical levels of macronutrients in the soils of Iran for field crops and orchards. High Concoil for Appropriate Use of Pesticides and Chemical Fertilizers, Ministry of Agriculture. (in Persian).
33- Matar A.E., Jabbour E. and El Hajj K., 1987. Prediction of barley response to fertilizers by means of soil nitrogen

and phosphorus tests. p. 12-22. In A. E. Matar et al. (ed.). Soil test calibration in West Asia and North Africa. Proc. 2nd Regional Workshop, Ankara, Turkey, 1-6 Sept. 1987. ICARDA, Aleppo, Syria.

34- Mosseddaq F., Bedhiaf M., and Rhomari Y., 1992. Fertilization of cereals: Soil nitrogen test calibration in Morocco's Gharb area. p. 212-224. In J. Ryan et al. (ed.). Fertilizer use efficiency under rain-fed agriculture in West Asia and North Africa. Proc. Fourth Regional Workshop. Agadir, Morocoo, 5-10 May, 1992. ICARDA, Aleppo, Syria.

35- Mousavi Shalmani M.A. 2008. Use of 15N isotope in soil fertility and plant nutrition. Nuclear Science and Technology Research Institute. (in Persian).

36- Mulvaney R.L. 1994. Nitrification of different nitrogen fertilizers. In: Illinois Fertilizer Conference Proceedings, January 24-26. Department of Crop Sciences, University of Illinois Extension.

37- Orphanos P. L. and Metochis C.1990. Nitrogen responses to barley grain and barley forage grown continually or after fallow. p. 125-137. In J. Ryan et al. (ed.). Proc. Third Regional Soil Test Calibration Workshop. Amman, Jordan, 3-9 Sept.1998. ICARDA, Aleppo, Syria.

38- Pala M. and Matar A. 1987. Soil test calibration with N and P for wheat under dryland condition in Syria. p. 55-66. In: A. Matar et al. (ed.). Soil Test Calibration in West Asia and North Africa. Proc. Second Regional Soil Test Calibration Worshop, 1-6 Sept. Turkey. ICARDA, Aleppo, Syria.

39- Pala M., Oweis T., Benli B., De Pauw E., El Mourid M., Karrou M., Jamal M. and Zencirci N. 2011. Assessment of wheat yield gap in the Mediterranean: case studies from Morocco, Syria and Turkey. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA), Aleppo, Syria.

40- Pilbeam C.J. 1996. Effect of climate on the recovery in crop and soil of ^{15}N-labelled fertilizer applied to wheat. Fertilizer Research, 45:209–215.

41- Puttanna K., Nanje Gowda N.M. and Prakasa Rao E.V.S. 1999. Effect of concentration, temperature, moisture, liming and organic matter on the efficacy of the nitrification inhibitors benzotriazole, o-nitrophenol, m-nitroaniline and dicyandiamide. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 54: 251–257.

42- Raun W.R. and Johnson G.V. 1999. Improving nitrogen use efficiency for cereal production. Agronomy Journal, 91: 357-363.

43- Raun W.R., Solie J.B., Johnson G.V., Stone M.L., Mullen R.W., Freeman K.W., Thomason W.E. and Lukina E.V. 2002. Improving nitrogen use efficiency in cereal grain production with optical sensing and variable rate application. Agronomy Journal, 94:815-820.

44- Rice W.A., Akhtar M.E., Rohul Amin Y. and Campbell J.A. 1990. Wheat response to nitrogen and phosphorus fertilizers in rainfed areas of Pakistan. p. 66–75. In J. Ryan et al. (ed.).Soil Test Calibration in West Asia and North Africa. Proc. of the ThirdRegional Workshop Amman, Jordan, 3–9.Spt.1988. ICARDA, Aleppo, Syria.

45- Salazar Sosa, E., Lindemann W.C., Cardenas E.M. and Christensen N.B. 1998. Nitrogen mineralization and distribution through the root zone in two tillage systems under field conditions. Terra Latinoamericana, 16(2): 163-172.

46- Salsac L., Chaillou S., Morot-Gaudry J.F., LesaintC. and Jolivoe E. 1987. Nitrate and ammonium nutrition in plants. Plant Physiology and Biochemistry, 25:805-812.

47- Singh Y. and Beauchamp E.G. 1989. Nitrogen transformations near urea in soil: effects of nitrification inhibition, nitrifier activity and liming. Fertilizer Research, 18:201-212.

48- Soltanpour P.N., El Gharous M., Azzaoui A. and Abdelmonen M. 1987. Nitrogen and phosphorus soil-test calibration studies in the Chaouia Region of Morocco. p. 67-81. In A. Matar et al. (eds.). Soil Test Calibration in West Asia and North Africa. Proc. Second Regional Soil Test Calibration Worshop, 1-6 Sept. Turkey. ICARDA, Aleppo, Syria.

49- Soltanpour P.N., El Gharaous M., Zzaoui A. and Abdelmonem M. 1989. Soil-test based N recommendation model for dryland wheat. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 20:1053-1068.

50- Soon Y.K., Clayton G.W. and Rice W.A. 2001. Tillage and previous crop effects on dynamics of nitrogen in a wheat–soil system. Agronomy Journal, 93:842–849.

51- Subhani A., Tariq M., Sulaman Jafar M., Latif R., Khan M., Sajid Iqbal M. and Shahid Iqbal M. 2012. Role of Soil Moisture in Fertilizer Use Efficiency for Rainfed Areas-A Review. Journal of Biology, Agriculture and Healthcare, 2(11):1-10.

52- Svoboda P. and Haberle J. 2006. The effect of nitrogen fertilization on root distribution of winter wheat. Plant, Soil and Environment, 5(7): 308–313.

53- Torabi B. and Soltanei A. 2013. Soltani assessment of nitrogen fertilizing of wheat farms in Gorgan region. Electronic Journal of Crop Production, 6(4):19-32. (in Persian with English abstract).

54- Van Harwaarden A.F., Farquhar G.D., Angus J.F. and. Richards R.A 2006. Physiological responses of six spring wheat varieties to nitrogen fertilizer (project report). Proceeding of the Australian Agronomy Conference, Australian Society of Agronomy.

55- Wall D.P. 2009. Soil Tests for Winter Wheat Nitrogen Management in the Southeastern USA. Ph.D. Dissertations

& Theses. North Carolina State University. Copyright ProQuest, UMI Dissertations Publishing.
56- Wang, X. and Below F.E. 1992. Root growth, nitrogen uptake, and tillering of wheat induced by mixed-nitrogen source. Crop Science, 32:997-1002.
57- Weeks C., Robertson M.J., Oliver Y. and Fairbanks M. 2007. Managing seasonal risk is an important part of farm management but is highly complex and therefore needs a 'horses for courses' approach. WA Agribusiness Crop Updates 2007, 14–15 February 2007, Perth, Australia.
58- White R.G. and Kirkegaard J.A. 2010. The distribution and abundance of wheat roots in a dense, structured subsoil – implications for water uptake. Plant, Cell and Environment, 33:133–148.
59- Yazdani A., Ghadiri H. and Kazemi S.A. 2012. Interaction effects of weeds, sowing rate and N splitting on dryland wheat (*Triticum aestivum* L.) yield. Journal of Plant Protection, 26(2):152-16. (in Persian with English abstract).
60- Zadoks, J.C., Chang T.T. and Konzak C.F. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. Weed Research, 14:415-421.

Journal of Water and Soil
Vol. 30, No. 5, Nov.-Dec. 2016, p. 1556-1573

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۰، شماره ۵، آذر – دی ۱۳۹۵، ص. ۱۵۷۳-۱۵۵۶

Calibration of Soil Available Nitrogen and Water Content with Grain Yield of Dry land Wheat

V. Feiziasl[1]*- A. Fotovat[2]- A. Astaraei[3]- A. Lakzian[4]- M.A. Mousavi Shalmani[5]- A.Khorasani[6]

Received: 06-08-2014
Accepted: 18-07-2016

Introduction: Nitrogen (N) is one of the most important growth-limiting nutrients for dryland wheat. Mineral nitrogen or ammonium (NH_4^+) and nitrate (NO_3^-) are two common forms of inorganic nitrogen that can serve as limiting factors for plant growth. Nitrogen fertilization in dryland area can increase the use of soil moisture, and improve wheat yields to some extent. Many researchers have been confirmed interactions between water stress and nitrogen fertilizers on wheat, especially under field conditions. Because of water stress affects forms of nitrogen uptake that leads to disorder in plant metabolism, reduction in grain yield and crop quality in dryland condition. On the other hand, use of suitable methods for determining nitrogen requirement can increase dryland wheat production. However, nitrogen recommendations should be based on soil profile content or precipitation. An efficient method for nitrogen fertilizer recommendation involves choosing an effective soil extractant and calibrating soil nitrogen (Total N, NO_3^- andNH_4^+) tests against yield responses to applied nitrogen in field experiments. Soil testing enables initial N supply to be measured and N supply throughout the season due to mineralization to be estimated. This study was carried out to establish relationship between nitrogen forms (Total N, NO_3^- andNH_4^+) in soil and soil profile water content with plant response for recommendation of nitrogen fertilizer.

Materials and Methods: This study was carried out in split-split plot in a RCBD in Dryland Agricultural Research Institute (DARI), Maragheh, Iranwhere N application times (fall, 2/3 in fall and 1/3 in spring) were assigned to the main plots, N rates to sub plot (0, 30, 60 and 90 kg/ha), and 7 dryland wheat genotypes to sub-sub plots (Azar2, Ohadi, Rasad and 1-4 other genotypes) in three replications in 2010-2011. Soil samples were collected from 0-20, 20-40, 40-60 and 60-80 cm in sub-sub plots in shooting stage (ZGS32). Ammonium measurement in the soil KCl extracts was down by spectrophotometry method and colorimetric reaction at 655 nm. Also, Absorption spectrophotometry method was used for determination of nitrate in soil extract based on its UV absorbance at 210 nm. In this method two measurements were carried out; one before (by Zn coated by Cu) and second after reduction of nitrate). Using the difference between these two measurements, concentration of nitrate in the extracts was determined. Soil water content was also measured with Diviner 2000 after calibration in 0-20, 20-40, 40-60 and 60-80 cm soil profile in sub-sub plots. After wheat harvest, the most suitable regression model between soil mineral nitrogen (Nm) and soil moisture (θ) was fitted with wheat grain yield by DataFit version 9.0 software.

Results and Discussion: The best model between soil N forms (nitrate, ammonium and mineral nitrogen) was calibrated between mineral nitrogen (Nm) and soil moisture (θ) with crop response ($Y = a + bN_m + c\,ln(\theta) + dN_m^2 + e\,ln(\theta)^2 + fN_m\,ln(\theta)$) that explained 80% of dryland wheat yield variations. In this model, the contributions of mineral nitrogen (NO_3^- +NH_4^+) were 26%, soil moisture 50% and their interactions 24%. According to this model, the effect of soil moisture on production of grain yield was 2.3 folds greater than the mineral N. These results are most suitable for sampling and calibration of mineral nitrogen in 0-40 cm in dryland wheat stem elongation (ZGS32). Critical value of soil mineral N was 41 kg/ha, equal to 18.0 mg N_m/kg in this layer for obtaining higher grain yield (over 2500 kg/ha). According to regression model, application of 50 kg N/ha in autumn was able to provide N_m critical level in 0-40 cm layer for dryland wheat genotypes under experimental conditions. Also simulation model showed that nitrogen fertilizer increased grain yield and it is more than the soil mineral nitrogen. If the soil mineral nitrogen is 20 kg/ha or less in 0-40 cm soil layer, there may be increase of grain yield up to 4000 kg/ha through the application of nitrogen fertilizers. Therefore, increasing of mineral nitrogen in the soil profile up to 20 kg/ha is not appropriate for wheat production in

1-Assistant professor, Dryland Agricultural Research Institute (DARI), Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Maragheh
(*-Corresponding Author Email: v_feiziasl@yahoo.com)
2, 3 and 4- Professor, Associate Professor and Professor, Ferdowsi University of Mashhad
5 and 6- Assistant Professor of Agricultural, Medical and Industrial Research School, and Expert of Laboratory Nuclear Science and Technology Research Institute, Atomic energy organization, Karaj

Northwest of Iran drylands.

Conclusion: It can be concluded that, there is a relationship between soil nitrogen and moisture content with dryland wheat response and suggested model can be used for nitrogen recommendations for dryland wheat. According to the model, the effects of nitrogen fertilizer application on grain yield were much more than the effect of soil mineral nitrogen. Therefore, the increasing of soil nitrogen storage is not recommended in dryland conditions.

Keywords: Critical Level, Nitrogen Requirement, Simulation, Wheat Genotype