

ارزیابی کارایی مصرف نیتروژن در نظام‌های زراعی تولید گندم (*Triticum aestivum* L.)

حمیدرضا توکلی کاخکی^۱، مهدی نصیری محلاتی^{۲*}، علیرضا کوچکی^۲، محسن جهان^۳ و علیرضا بهشتی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۲/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۵/۱۳

توکلی کاخکی، ح.، نصیری محلاتی، م.، کوچکی، ع.، جهان، م.، و بهشتی، ع. ۱۳۹۷. ارزیابی کارایی مصرف نیتروژن در نظام‌های زراعی تولید گندم (*Triticum aestivum* L.). بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۰(۳):

چکیده

نظام‌های رایج کشاورزی برای حفظ و تقویت حاصلخیزی خاک به کودهای شیمیایی به‌ویژه کودهای نیتروژنی وابسته می‌باشند. گرچه مصرف کودهای نیتروژنی نقش قابل توجهی در افزایش عملکرد داشته است، اما مصرف بی‌رویه آن با کاهش کارایی مصرف نیتروژن همراه بوده است. این پژوهش به منظور بررسی و تجزیه و تحلیل، روند تغییرات کارایی مصرف نیتروژن و تعیین سهم نسبی اجزای کارایی در نظام‌های زراعی گندم (*Triticum aestivum* L.) با استفاده از مدل CENTURY انجام شده است. نتایج به‌دست آمده در این مطالعه نشان داد که میانگین کارایی مصرف نیتروژن در نظام‌های زراعی گندم این مطالعه ۲۸/۳ کیلوگرم دانه به‌ازای هر کیلوگرم نیتروژن فراهم یا قابل جذب خاک بود. نظام‌های زراعی گندم (تبریز، شیراز، گرگان) بالاترین و در مقابل نظام‌های زراعی (کرمان، بیرجند، زابل) کمترین کارایی مصرف نیتروژن را دارا بودند. بررسی روند تغییرات عملکرد در مقابل کارایی مصرف نیتروژن نشان داد با افزایش یک واحد کارایی مصرف نیتروژن، عملکرد با شیبی معادل ۰/۱۴ تن افزایش یافته است. از طرفی همبستگی مثبت و معنی‌داری بین کارایی مصرف نیتروژن با کارایی تبدیل ($r=0.73$ $p\leq 0.01$) و جذب نیتروژن ($r=0.69$ $p\leq 0.01$) به‌دست آمد. همچنین، تفکیک سهم نسبی اجزای کارایی مصرف نیتروژن حاکی از آن بود که در دامنه مصرف ۱۲۰-۸۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار سهم نسبی اجزای کارایی جذب و تبدیل به‌ترتیب ۶۴ و ۳۶ درصد بود که با افزایش مصرف نیتروژن به‌میزان ۱۶۰-۱۲۱ کیلوگرم در هکتار سهم نسبی کارایی جذب به ۳۳ درصد و کارایی تبدیل به ۶۷ درصد تغییر یافت. به‌نظر می‌رسد در نظام‌های تولید گندم هنگامی که جزء غالب کارایی جذب می‌باشد مدیریت زراعی و استفاده از روش‌های اصلاحی زمانی که جزء غالب کارایی تبدیل می‌باشد به عنوان رهیافت‌های پیشنهادی در جهت بهبود کارایی مصرف نیتروژن مورد توجه می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: آنالیز اجزاء کارایی، کارایی تبدیل نیتروژن، کارایی جذب نیتروژن، همبستگی

مقدمه

زراعی است (Gastal et al., 2014). پایداری و توسعه بسیاری از نظام‌های تولیدی به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم وابسته به نیتروژن موجود در خاک می‌باشد (Delgado & Shaffer, 2008). بیشتر بودن سود حاصل از نسبت محصول اقتصادی به کود مصرفی موجب شده در چند دهه اخیر استفاده از کودهای نیتروژنی توسط کشاورزان افزایش یابد (Gastal et al., 2014) این امر کاهش مقدار تولید به ازای واحد نهاده مصرف شده را در سیستم‌های زراعی به همراه داشته است (Grassini & Cassman, 2012). البته صرف‌نظر از همبستگی افزایش عملکرد با نیتروژن ($r=0.93$) که در سطح نظام‌های زراعی غلات و حبوبات گزارش شده است، شکل استفاده از

نیتروژن مهم‌ترین عنصر غذایی محدودکننده تولید در نظام‌های

۱- مربی پژوهش، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد
۲ و ۳- به‌ترتیب استاد و دانشیار، گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۴- دانشیار پژوهش، مرکز تحقیقات آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی

(Email: mnassiri@um.ac.ir

*) نویسنده مسئول:

DOI: 10.22067/jag.v10i3.54239

شد، کارایی مصرف نیتروژن در نظام‌های تولیدی گندم آبی بین ۲۷ الی ۶۰ کیلوگرم دانه به‌ازای هر کیلوگرم نیتروژن متغیر بود (Pathak et al., 2003). همچنین سمنوف و همکاران (Semenov et al., 2007) در پژوهشی با استفاده از مدل Sirius کارایی مصرف نیتروژن را در نظام‌های تولیدی گندم انگلستان و اسپانیا مورد بررسی قرار دادند، نتایج این محققین نشان داد مدیریت نیتروژن و شرایط آب و هوایی بیشترین تغییرات را در کارایی مصرف نیتروژن ایجاد می‌نماید. آن‌ها بیان داشتند در صورت عدم محدودیت رطوبتی ۵۱ درصد تغییرات کارایی مصرف نیتروژن ناشی از مدیریت نیتروژن و ۳۲ درصد متأثر از شرایط آب و هوایی و در صورت محدود بودن رطوبت بیش از ۴۰ درصد تغییرات ناشی از شرایط آب و هوایی و میزان بارندگی است در همین رابطه نصیری محلاتی و کوچکی (Nassiri Mahalati & Koocheki, 2014) اظهار داشتند، کارایی جذب نیتروژن در بوم نظام‌های گندم کشور ۳۵/۵ درصد می‌باشد. در مقابل کارایی تبدیل نیتروژن با میانگین ۴۰ کیلوگرم دانه به‌ازای هر کیلوگرم نیتروژن جذب شده در طی دوره این مطالعه روندی صعودی داشته است.

گرچه مدل‌های مختلفی به‌منظور شبیه‌سازی چرخه نیتروژن در نظام‌های زراعی وجود دارند، اما انتخاب مناسب یک مدل برای ارزیابی چندان کار ساده‌ای نیست، زیرا انتخاب مدل مناسب به آگاهی کافی از توانایی و محدودیت‌های مدل و همچنین چگونگی مدیریت نظام زراعی مورد مطالعه به‌عنوان هدف وابسته می‌باشد (Delgado et al., 2008). مدل‌های شبیه‌سازی فرآیندهای نیتروژن برای دامنه‌ای از شرایط محیطی و مشکلات زیست‌محیطی از قبیل تلفات ناشی از شستشوی نیتروژن، آزاد شدن گازهای گلخانه‌ای و تأثیر آن بر تغییر اقلیم و همچنین مدیریت نیتروژن در بوم‌نظام‌ها تعریف شده‌اند (Shafer et al., 2010). جزئیات تشریح شده در این مدل‌ها بسیار متفاوت بوده به‌نحوی که تعدادی از مدل‌ها از پیچیدگی و جزئیات بیشتری در شبیه‌سازی فرآیندها برخوردارند و در مقابل برخی از مدل‌ها کاملاً ساده می‌باشند.

در رابطه با مصرف کود در ایران نیز شرایط مشابهی وجود دارد به‌طوری که بیش از ۶۱ درصد از مصرف کود به استفاده از کودهای نیتروژنی اختصاص داد و در بین انواع کودهای نیتروژنی در بوم-نظام‌های زراعی کود اوره با دارا بودن سهم ۹۰ درصدی حائز رتبه اول مصرف می‌باشد (Statistical year book, 2013). از این رو با توجه به ضرورت و اهمیت شناخت پویایی نیتروژن در بوم‌نظام‌های زراعی

نیتروژن نیز در طی سال‌های (۲۰۰۷-۱۹۶۱) از فرم کود آلی و تثبیت بیولوژیکی به استفاده از کود صنعتی تغییر یافته است (Conant et al., 2013). به‌عنوان مثال در حالی که در سال ۲۰۱۱ مصرف کود نیتروژنی ۱۰۸ میلیون تن گزارش شده است این رقم در سال ۲۰۱۵ به ۱۱۴ میلیون تن افزایش یافته است (Group, 2012).

بر اساس تعریف شاخص کارایی مصرف نیتروژن (NUE^1) عبارت است از نسبت عملکرد دانه به‌ازای هر واحد نیتروژن در دسترس گیاه (نیتروژن خاک + نیتروژن کود مصرفی) که از حاصل ضرب دو جزء کارایی جذب نیتروژن (NU_pE^2) و کارایی تبدیل نیتروژن (NU_tE^3) حاصل شده است (Moll, 1982). در این رابطه کونات و همکاران (Conant et al., 2013) بیان داشتند در سطح نظام‌های زراعی دنیا ۴۰ درصد از نیتروژن مصرف شده بازیافت یا جذب می‌شود. همچنین نتایج ارزیابی‌های تیلمن و همکاران (Tilman et al., 2002) نشان داد که افزایش مصرف کودهای نیتروژنی کارایی مصرف نیتروژن را از ۷۰ کیلوگرم گندم به‌ازای هر کیلوگرم نیتروژن در سال ۱۹۶۰ به ۲۲ کیلوگرم دانه به‌ازای هر کیلوگرم نیتروژن در سال ۲۰۰۱ کاهش داده است. نصیری محلاتی و کوچکی (Nassiri Mahallati & Koocheki, 2014) با بررسی روند تغییرات مصرف و بهره‌وری نیتروژن در نظام‌های تولید گندم در طی دوره‌ای ۴۰ ساله (۱۳۸۹-۱۳۵۰) اظهار داشتند، میانگین رشد سالانه مصرف کود نیتروژنی و عملکرد در بوم‌نظام‌های تولید گندم ایران در طی ۴ دهه به‌ترتیب ۹/۵ و ۳/۴ برابر شده است. ون سنفورد و مکون (Van Sanford & MacKown, 1986) در بررسی خود بر روی ۲۵ ژنوتیپ گندم زمستانه دریافتند که سهم نسبی کارایی جذب نیتروژن از کارایی مصرف نیتروژن ۵۴ درصد می‌باشد که تقریباً اهمیت یکسانی با سهم نسبی کارایی تبدیل نیتروژن یعنی ۴۶ درصد داشت. داگا و وینز (Dhugga & Waines, 1989) ۱۲ ژنوتیپ گندم نان و دو ژنوتیپ گندم دوروم را در سه سطح ۷۵، ۱۷۵ و ۲۷۵ کیلوگرم محتوی نیتروژن (خاک + کود) مورد ارزیابی قرار دادند. آن‌ها بیان داشتند که با افزایش محتوی نیتروژن خاک سهم نسبی کارایی تبدیل به‌عنوان جزء غالب در کارایی مصرف نیتروژن افزایش می‌یابد. بر اساس مطالعه‌ای که در هند با استفاده از مدل QUEFTS انجام

۱- Nitrogen Use Efficiency

۲- Nitrogen Uptake Efficiency

۳- Nitrogen Utilization Efficiency

نظام‌های زراعی وجود دارند، ابتدا انتخاب مناسب‌ترین مدل که تطابق‌پذیری بهتری با شرایط اجراء را دارا بود، انجام شد. در این مطالعه از مدل CENTURY ver.4.6 (Parton & Rasmussen, 1994; Parton, 1996) به‌منظور شبیه‌سازی جریان نیتروژن در نظام‌های زراعی گندم استفاده شد. مدل قادر است با تلفیق اثر متغیرهای اقلیمی، خاک و مدیریت زراعی امکان شبیه‌سازی فرآیندهای چرخه نیتروژن (N) را در سیستم‌های مختلف از جمله بوم نظام‌های زراعی فراهم آورد (Parton et al., 1992). نتایج خروجی در این مدل در فاصله زمانی یک ماهه ارائه می‌شود و محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل (PET) در مدل تابعی از متوسط درجه حرارت حداقل و حداکثر ماهانه می‌باشد (Linacre, 1977). متغیرهای مکانی شامل: طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع، متغیرهای اقلیمی؛ متوسط درجه حداقل و حداکثر ماهانه، جمع بارندگی ماهانه، انحراف معیار درجه حرارت حداقل و حداکثر ماهانه متغیرهای گیاهی شامل؛ نوع محصول، شاخص برداشت، درجه حرارت بهینه رشد، درجه حرارت پایه، حداکثر عمق ریشه و ارتفاع، متغیرهای مدیریتی شامل؛ تاریخ کاشت، برداشت، نحوه آماده‌سازی بستر بذر، زمان، مقدار و نوع کود مصرفی، مقدار آب مصرفی، عمق آبیاری و مقدار بقایا از جمله مهم‌ترین متغیرهای ورودی این مدل است. در ادامه از خروجی‌های به‌دست آمده شامل عملکرد اقتصادی و بیولوژیک (g.m^{-2})، مقدار نیتروژن جذب شده (g.m^{-2})، مقدار کل نیتروژن معدنی خاک در عمق توسعه ریشه (g.m^{-2}) و مقدار نیتروژن خالص مصرف شده از طریق کود (g.m^{-2}) به‌منظور محاسبه شاخص‌های مورد مطالعه استفاده شد. جهت محاسبه مقدار نیتروژن معدنی خاک از روش رگرسیون خطی استفاده شد، بدین منظور، رابطه (SMN^1) با مقدار ماده آلی خاک (SOM^2) که از نتایج مطالعات تفصیلی و نیمه‌تفصیلی به‌دست آمده بود، مورد بررسی قرار گرفت.

اعتبار سنجی مدل

به‌منظور اعتبار سنجی مدل از داده‌های آزمایش‌های مزرعه چندین منطقه که بر اساس تولید در شرایط عملکرد پتانسیل مدیریت شده بودند، استفاده شد (جدول ۲).

گندم تحقیق حاضر با هدف، مطالعه ارزیابی کارایی مصرف نیتروژن و تعیین سهم نسبی اجزای تشکیل‌دهنده کارایی مصرف در نظام‌های تولید گندم آبی، ایران طراحی و اجراء شده است.

مواد و روش‌ها

خصوصیات اقلیمی مناطق مورد بررسی

در این مطالعه ابتدا ۱۴ منطقه انتخاب و اطلاعات مورد نیاز از نظام‌های تولیدی گندم آبی آن‌ها جمع‌آوری شد. مناطق مورد بررسی در این مطالعه شامل؛ آذربایجان شرقی (تبریز)، اصفهان (اصفهان)، البرز (کرج)، خراسان جنوبی (بیرجند)، خراسان رضوی (مشهد)، خوزستان (اهواز)، سمنان (شاهرود)، سیستان و بلوچستان (زابل)، فارس (شیراز)، کرمان (کرمان)، کرمانشاه (کرمانشاه)، گلستان (گرگان)، همدان (همدان) و اردبیل (پارس‌آباد مغان) بود. علاوه بر داده‌های جغرافیایی و مکانی مورد نیاز اطلاعات زراعی هر یک از مناطق مورد مطالعه شامل تناوب، تاریخ کاشت، برداشت، تراکم بوته، میانگین عملکرد، مقدار مصرف کود در هکتار، زمان و نحوه تقسیط کود، مقدار آب مصرفی، تاریخ آخرین آبیاری، زمان آماده‌سازی اولیه و ثانویه بستر کاشت و میزان بقایای محصول قبلی با تنظیم پرسشنامه از مراکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی و مصاحبه با کشاورزان پیشرو، جمع‌آوری شد. همچنین داده‌های اقلیمی بلند مدت ایستگاه‌های سینوپتیک و هواشناسی مورد نیاز از سازمان هواشناسی کشور و پژوهشکده اقلیم‌شناسی اخذ شده است. در این رابطه داده‌های اقلیمی ورودی به مدل شامل متوسط درجه حرارت بیشینه و کمینه ماهانه، انحراف معیار درجه حرارت حداقل و حداکثر ماهانه، جمع بارندگی ماهانه و انحراف معیار بارندگی ماهانه بود که به‌منظور بررسی دقیق‌تر، اطلاعات هواشناسی ایستگاه‌های سینوپتیک در دامنه زمانی ۱۵ سال (۲۰۰۰-۲۰۱۴ میلادی) مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت (جدول ۱).

با توجه به تغییرات مکانی، داده‌های خاک‌شناسی مورد نیاز از مطالعات تفصیلی، نیمه‌تفصیلی و همچنین نقشه‌های خاک‌شناسی، موسسه تحقیقات خاک و آب کشور، تهیه شد (جدول ۱).

شبیه‌سازی پویایی نیتروژن

مدل‌های متفاوتی برای شبیه‌سازی پویایی نیتروژن در بوم-

۱ - Soil Mineral Nitrogen

۲ - Soil Organic Matter

جدول ۱- ویژگی‌های جغرافیایی و اقلیمی مناطق مورد مطالعه

Table 1- Geographical and climate characteristics of the studied regions

منطقه Region	طول جغرافیایی Longitude (°E)	عرض جغرافیایی Latitude (°N)	بافت Texture	کربن آلی ^{††} (درصد) Organic carbon (%)	متوسط بارندگی سالانه (میلی‌متر) Annual mean Rainfall (mm)	متوسط درجه حرارت سالانه (درجه سانتی- گراد) Annual mean temperature (°C)	ارتفاع از سطح دریا (متر) Altitude (m)
اصفهان Esfahan	51° 40′	32° 37′	رسی لومی CL	0.41	145	17.02	1551
اهواز Ahvaz	48° 40′	31° 20′	رسی سیلتی SiC	0.45	192	26.59	22.6
بیرجند Birjand	59° 12′	32° 52′	لومی شنی SL	0.20	132	16.86	1491
پارس‌آباد parsabad	47° 55′	39° 39′	رسی لومی CL	0.6	286	15.53	31.9
تبریز Tabriz	46° 17′	38° 05′	لومی شنی SL	0.49	243	13.66	1361
زابل Zabol	61° 29′	31° 2′	لوم L	0.19	38	23.15	489
شاهرود Shahrod	54° 57′	36° 25′	لوم L	0.28	140	15.67	1349
شیراز Shiraz	52° 36′	29° 32′	لومی رسی سیلتی SiCL	0.65	298	18.46	1484
کرج Karaj	50° 54′	35° 55′	لوم L	0.54	267	15.63	1312
کرمانشاه Kermanshah	47° 9′	34° 21′	لومی رسی سیلتی SiCL	0.52	379	15.60	1318
کرمان Kerman	56° 58′	30° 16′	لوم L	0.23	118	16.78	1764
گرگان Gorgan	54° 24′	36° 54′	لومی رسی سیلتی SiCL	0.80	515	18.11	0
مشهد Mashhad	59° 38′	36° 16′	لوم L	0.38	220	15.93	999
همدان Hamedan	48° 32′	34° 52′	لوم L	0.58	308	12.1	1741

† CL= لومی رسی ، SiC = رسی سیلتی ، SL= لومی شنی ، L = لوم ، SiCL = لومی رسی سیلتی
 CL= clay loam; =silty clay; SL= sandy loam; L=loam; SiCL= silty clay loam

درصد ماده آلی از حاصل ضرب درصد کربن آلی در ۱/۷۲ محاسبه شد.

Percentage of the organic matter was obtained by multiplying organic carbon percentage by 1.72. (Jimenez & Garcia, 1992)

جدول ۲- آزمایش‌های انتخاب شده برای تعیین اعتبار مدل
Table 2- Selected experiments for model validation

نوع داده Type of data	منطقه Region	طول جغرافیایی Longitude (°E)	عرض جغرافیایی Latitude (°N)	منبع Source
کاربرد کود نیتروژن Nitrogen application	شیراز Shiraz	52° 36'	29° 33'	Bahrani & sarvestani (2007)
کود نیتروژن N-Fertilizer	کرمان Kerman	57° 05'	30° 17'	Khaseh serjani et al. (2011)
کود نیتروژن N- Fertilizer	اهواز Ahvaz	48° 41'	31° 09'	Gerami et al. (2013)
کود نیتروژن N- Fertilizer	اهواز Ahvaz	40° 20'	32° 20'	Madhej et al (2009)
کود نیتروژن N- Fertilizer	اصفهان Esfahan	51° 23'	32° 32'	Pourazari et al. (2011)
کاربرد کود نیتروژن Nitrogen application	بیرجند Birjand	59° 13'	32° 56'	Farshid et al. (2012)
کاربرد کود نیتروژن Nitrogen application	کرچ Karaj	50° 54'	35° 55'	Shahabifar & Daryashenas (2004)
کود نیتروژن N- Fertilizer	مشهد Mashhad	59° 38'	36° 16'	Bakhshaie et al. (2014)
کود نیتروژن N- Fertilizer	شاهرود Sahroud	54° 57'	36° 30'	Taghipoor (2005)
کود نیتروژن N- Fertilizer	گرگان Gorgan	54° 30'	37° 45'	Hosseni (2011)
آبیاری و کود نیتروژن Irrigation and N- fertilizer	تبریز Tabriz	46° 17'	38° 05'	Anabi Melani (2007)

در معادله‌های (۱) و (۲) O_i و P_i به ترتیب مقادیر پیش‌بینی شده و واقعی و \bar{O} میانگین مقادیر واقعی می‌باشد. nRMSE به صورت درصد اختلاف نسبی مقادیر پیش‌بینی شده در برابر مقادیر واقعی و شاخص d در دامنه (۰-۱) بیان می‌شود. نزدیک بودن این شاخص به عدد ۱ نشان‌دهنده اعتبار بیشتر مدل می‌باشد.

محاسبه کارایی جذب، تبدیل و آنالیز اجزای^۳ کارایی مصرف نیتروژن

کارایی جذب مقدار نیتروژن برداشت شده توسط گیاه به‌ازای هر واحد نیتروژن موجود در خاک (نیتروژن کود + نیتروژن معدنی) و کارایی تبدیل اقتصادی نیتروژن که در این تحقیق به اختصار کارایی تبدیل نیتروژن نامیده می‌شود، شامل مقدار دانه تولید شده به‌ازای هر واحد نیتروژن جذب شده توسط گیاه با استفاده از معادله‌های (۳ و ۴) به‌دست آمد (Wei et al., 2011).

در این پژوهش ارزیابی اعتبار مدل، با استفاده از سه شاخص جذر مجموع مربعات نرمال شده خطا (nRMSE^۱)، شاخص d یا تطابق^۲ و ضرایب رگرسیون خطی بین مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی شده انجام شد. شاخص nRMSE با استفاده از معادله (۱) (Yang et al., 2014).

$$nRMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (p_i - o_i)^2}{n}} \cdot \frac{100}{\bar{o}} \quad \text{معادله (۱)}$$

و شاخص d با استفاده از معادله (۲) (Willmott, 1982) محاسبه شد.

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (\rho_i - o_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|\rho_i - \bar{o}| + |o_i - \bar{o}|)^2} \right] \quad \text{معادله (۲)}$$

۱- Normalized-root mean square error

۲- Index of agreement

۳- Component analysis

استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1.3 (Institute SAS, 2005) انجام شد.

نتایج و بحث

تعیین اعتبار مدل

با توجه به این که در آزمایش‌های مزرعه اطلاعات کافی برای اعتبارسنجی کارایی جذب، تبدیل و مصرف نیتروژن در سطح مناطق مورد بررسی وجود نداشت. از این رو، برای اعتبارسنجی این مطالعه از داده‌های آزمایش‌های مزرعه گندم در مناطق مورد مطالعه که به منظور به‌دست آوردن عملکرد پتانسیل مدیریت شده بودند استفاده شد (جدول ۲). نتایج تعیین اعتبار مدل برای عملکرد گندم در مناطق مورد مطالعه نشان داد که مدل برآورد مطلوبی در پیش‌بینی پتانسیل عملکرد را دارا می‌باشد. عملکرد مشاهده شده در مناطق مورد مطالعه در محدوده ۷-۳/۱۲ با میانگین ۵/۱ تن در هکتار و عملکرد شبیه‌سازی شده در دامنه ۶/۴۷-۲/۴۴ با میانگین ۴/۶۲ تن در هکتار متغیر بود. مقادیر شاخص $nRMSE$ و d برای عملکرد دانه به ترتیب ۱۶/۱۱ درصد و ۰/۸۵ به‌دست آمد که مقادیر قابل‌قبولی می‌باشد. چنانچه مقدار جذر میانگین مربعات نرمال شده خطا در دامنه ۲۰-۱۰ درصد میانگین عملکرد مشاهده شده باشد، مدل برآورد مناسبی از مقادیر مشاهده شده دارد (Wallach & Goffinet, 1989). دیهیم فرد و همکاران (Deihimfard et al., 2015) برای اعتبارسنجی مدل APSIM و تخمین عملکرد گندم و تعیین خلاء عملکرد در استان خراسان از شاخص $nRMSE$ و d برای اعتبارسنجی مدل استفاده کردند. این پژوهشگران مقدار این دو شاخص را برای عملکرد بیولوژیک به ترتیب ۵/۱ درصد و ۰/۸۹ گزارش کردند. در مطالعه‌ای که برای پیش‌بینی تولید پتانسیل ذرت دانه‌ای در شمال شرق ایران انجام شد، مقدار جذر میانگین مربعات خطا و شاخص d توسط مدل CERES-CORN به ترتیب ۴/۴۱ درصد و ۰/۸۶ گزارش شده است (Sanjani et al., 2012). نتایج به‌دست آمده از رگرسیون خطی در این مطالعه نشان داد که مدل قادر به توصیف ۶۴ درصد از تغییرات مشاهده شده عملکرد دانه در مناطق مورد بررسی می‌باشد (شکل ۱).

کارایی نیتروژن

ارزیابی خروجی مدل برای مقادیر کارایی‌های نیتروژن در مناطق مورد مطالعه نشان داد، مقدار کارایی مصرف نیتروژن در دامنه ۳۸/۷۰-۹/۲۹ با میانگین ۲۸/۳۰ کیلوگرم دانه به‌ازای هر کیلوگرم نیتروژن فراهم متغیر بود.

$$NUE = \frac{N_u}{N_{s+f}} \quad \text{معادله (۳)}$$

$$NUE = \frac{G_w}{N_u} \quad \text{معادله (۴)}$$

در این معادلات NUE کارایی جذب نیتروژن ($g \ g^{-1}$) نیتروژن جذب شده توسط گیاه ($g \cdot m^{-2}$) و N_{s+f} نیتروژن مصرف شده ($g \cdot m^{-2}$) شامل جمع کل نیتروژن معدنی خاک + نیتروژن کودی، NUE کارایی تبدیل نیتروژن ($g \cdot g^{-1}$) و G_w وزن دانه تولید شده بر حسب ($g \cdot m^{-2}$) می‌باشند (Weih et al., 2011). کارایی مصرف اقتصادی نیتروژن که به اختصار کارایی مصرف نیتروژن ($g \cdot g^{-1}$) نامیده می‌شود (معادله ۵) از حاصل ضرب معادله‌های ۳ و ۴ به‌دست آمد.

$$NUE = NUP_E \times NU_tE \quad \text{معادله (۵)}$$

NHI^1 شاخص برداشت نیتروژن (درصد) طبق معادله ۶ محاسبه شد (Foulkes et al., 2009).

$$NHI = \frac{G_n}{N_u} \times 100 \quad \text{معادله (۶)}$$

G_n : نیتروژن دانه ($g \cdot m^{-2}$) می‌باشد.

به‌منظور تعیین سهم نسبی هر یک از اجزای کارایی مصرف نیتروژن (کارایی جذب و تبدیل) از تجزیه آنالیز اجزای استفاده شد (Moll et al., 1982).

$$\log(NUE) = \log(NUP_E) + \log(NU_tE) \quad \text{معادله (۷)}$$

چنانچه $\log(NUE)$, $\log(NUP_E)$, $\log(NU_tE)$ به ترتیب Y , X_1 , X_2 باشد.

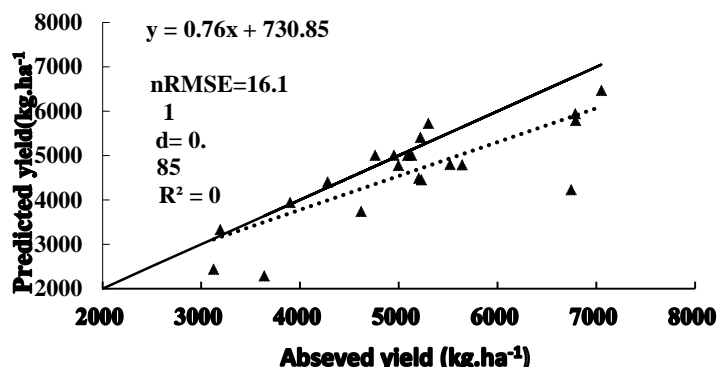
در این صورت سهم کارایی جذب در کارایی مصرف از معادله ۸ (Moll et al., 1982) به‌دست می‌آید.

$$\frac{\sum_{i=1}^2 x_i y}{\sum y^2} = (r_{y,x_i}) S_{x_i} / S_y \quad \text{معادله (۸)}$$

که در آن r_{yx_i} ضریب همبستگی x_i و y و S_{x_i} و S_y

به ترتیب انحراف معیار x_i و y می‌باشد و سهم کارایی تبدیل نیتروژن نیز به‌روش مشابهی برآورد می‌شود. در ادامه محاسبات مربوط به تعیین ضرایب همبستگی و برآزش معادلات رگرسیون با

^۱- Nitrogen Harvest Index

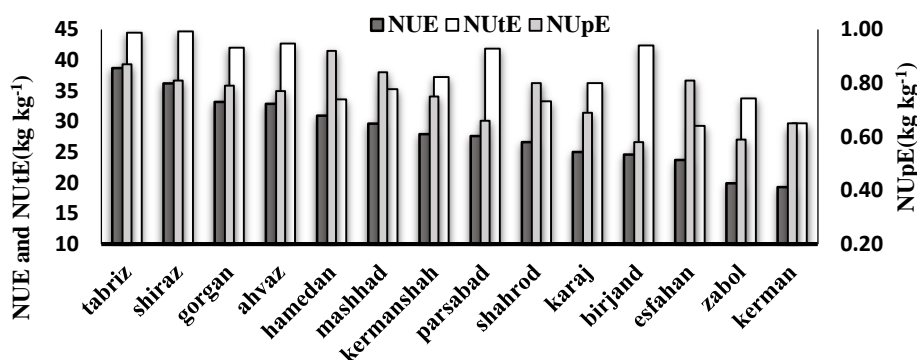


شکل ۱- مقایسه مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده عملکرد گندم در مناطق مورد مطالعه خط پیوسته و نقطه چین به ترتیب خط ۱:۱ و رگرسیون خطی می‌باشد (n=۲۱).

Fig. 1- Comparison of observed and simulated wheat grain yield in the studied regions Solid Line (1:1 line) and dotted line are fitted regression line, respectively (n=21).

جذب شده در مناطق مورد بررسی متغیر بود. بیشترین مقدار کارایی تبدیل نیتروژن در شیراز ۴/۶۶، تبریز ۴۴/۴۸ و اهواز ۴۲/۶۹ و کمترین آن در اصفهان ۲۹/۲۹ و کرمان ۲۹/۶۸ مشاهده شد. مقدار کارایی جذب نیتروژن در مناطق مورد مطالعه متفاوت بود. نتایج به دست آمده از خروجی مدل نشان داد که متوسط مقدار کارایی جذب در مناطق مورد ارزیابی ۰/۷۵ کیلوگرم نیتروژن جذب شده به ازای کیلوگرم نیتروژن مصرف شده بود (شکل ۲).

بر اساس نتایج به دست آمده بیشترین مقدار کارایی مصرف نیتروژن برحسب کیلوگرم دانه به ازای کیلوگرم نیتروژن فراهم، به ترتیب در تبریز ۳۸/۷۰، شیراز ۳۶/۱۷ و گرگان ۳۳/۲۰ و در مقابل کمترین کارایی مصرف نیتروژن عمدتاً در مناطق جنوبی نظیر کرمان ۱۹/۲۹ و زابل ۱۹/۹۱ مشاهده شد (شکل ۲). همچنین نتایج به دست آمده نشان داد که مقدار کارایی تبدیل نیتروژن در دامنه ۴۴/۶۶-۲۹/۲۹ با میانگین ۳۷/۶۱ کیلوگرم دانه به ازای هر کیلوگرم نیتروژن



شکل ۲- مقادیر کارایی مصرف (NUE)، تبدیل (NuTE)، و جذب نیتروژن (NuPE) گندم در مناطق مورد مطالعه

Fig. 2- Amounts of Nitrogen use efficiency, Nitrogen utilization efficiency and Nitrogen uptake efficiency of wheat in studied regions

علاوه بر مدیریت زراعی بیش از هر چیز به شرایط اقلیمی و

اصولاً کشاورزی به عنوان یکی از مهمترین فعالیتهای اقتصادی

نیتروزنی در نظام‌های زراعی گندم آبی این مناطق بوده، بلکه حجم قابل توجه بارندگی‌ها در طی فصل رشد، پایین‌تر بودن میانگین درجه حرارت حداکثر و بیشتر بودن درصد ماده آلی خاک به‌عنوان یکی از خصوصیات فیزیکی، شیمیایی تأثیرگذار خاک سبب شده است که شاخص کارایی مصرف نیتروزن در این مناطق بیشتر از سایر مناطق مورد مطالعه باشد. همچنین عواملی مانند بالاتر بودن متوسط مصرف کود نیتروزنی و همچنین کمتر بودن حجم بارندگی‌ها در طی فصل رشد و بالاتر بودن میانگین درجه حرارت حداکثر که کوتاه شدن فصل

خصوصیات فیزیکی خاک منطقه وابسته می‌باشد. در این رابطه علیجانی و همکاران (Alijani et al., 2011) بر مبنای داده‌های ترکیبی ۱۴ استان کشور به بررسی اثر درجه حرارت و بارندگی بر عملکرد گندم آبی پرداختند. نتایج این پژوهشگران نشان داد که علاوه بر متغیرهای فیزیکی (نهاده‌های مصرفی) متغیر بارندگی اثر مثبت و درجه حرارت اثر منفی بر عملکرد گندم آبی داشته است. در تحقیق حاضر به‌نظر می‌رسد که بیشتر بودن شاخص کارایی مصرف نیتروزن در تبریز، شیراز و گرگان نه تنها ناشی از مدیریت مصرف کمتر کود

جدول ۳- نیتروزن ناشی از مصرف کود و سایر ویژگی‌های اقلیمی مناطق مورد مطالعه
Table 3- Nitrogen use of fertilizer and others climate characteristics of the studied regions

منطقه Location	نیتروزن کود مصرفی (گرم بر متر مربع) N of fertilizer (g.m ⁻²)	ماده آلی خاک (درصد) Soil organic matter (%)	متوسط بارندگی فصل رشد (میلی‌متر) Mean rainfall of growing season (mm)	متوسط درجه حرارت حداکثر سالانه (درجه سانتی‌گراد) Annual mean maximum temperature (°C)	متوسط درجه حرارت حداقل سالانه (درجه سانتی‌گراد) Annual mean minimum temperature (°C)
اصفهان Esfahan	12.88	0.70	144	24.36	9.67
اهواز Ahvaz	12.88	0.77	189	33.67	19.51
بیرجند Birjand	8.05	0.34	131	25.02	8.70
پارس‌آباد Parsabad	18.4	1.03	250	20.90	10.17
تبریز Tabriz	9.20	0.84	229	19.38	7.93
زابل Zabol	8.05	0.32	38	30.80	15.49
شاهرود Shahrod	11.50	0.48	131	21.24	10.10
شیراز Shiraz	11.73	1.11	296	26.46	10.45
کرج Karaj	16.10	0.92	257	21.91	9.41
کرمانشاه Kermanshah	13.80	0.89	374	23.92	7.29
کرمان Kerman	13.80	0.39	116	25.64	7.93
گرگان Gorgan	9.20	1.37	454	23.61	12.63
مشهد Mashhad	12.65	0.65	216	22.44	9.42
همدان Hamedan	11.50	0.99	301	20.00	4.19

به‌منظور بررسی اثر کود نیتروژن بر کارایی مصرف نیتروژن ارقام گندم در شرایط اقلیمی گرگان انجام شد، با استفاده ۲۷۰،۱۸۰،۹۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار به‌ترتیب مقدار کارایی مصرف ۲۶/۲۶، ۲۰/۵۹، ۳۳/۶۴، ۱۷/۵۳ کارایی جذب ۰/۷۹، ۰/۶۴، ۰/۵۴ و کارایی تبدیل ۳۳/۶۴، ۳/۱۲، ۳۲/۷۹ کیلوگرم بر کیلوگرم گزارش شد (Hossen et al., 2013). نصیری محلاتی و کوچکی (Nassiri Mahalati & Koocheki, 2014) در بررسی روند تغییرات مصرف و تبدیل نیتروژن در نظام‌های تولید گندم ایران نشان دادند، میانگین ۴۰ ساله (۱۳۸۹-۱۳۵۰) کارایی جذب نیتروژن در بوم‌نظام‌های گندم کشور ۳۵/۵ درصد بود. این محققین، میانگین کارایی تبدیل نیتروژن را ۴۰ کیلوگرم دانه به‌ازای کیلوگرم نیتروژن جذب شده گزارش نمودند که در طی دوره مطالعه روندی صعودی داشته است.

رشد را به‌همراه دارد و در نهایت کمتر بودن درصد ماده آلی خاک و اثر متقابل این متغیرها در کاهش شاخص کارایی مصرف نیتروژن مناطقی مانند کرمان و زابل مؤثر بوده است (جدول ۳). آینه‌بند و همکاران (Ayneband et al., 2011) تأثیر سطوح متفاوت ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار را در ارقام مختلف گندم مورد ارزیابی قرار دادند آن‌ها مقدار شاخص کارایی جذب، تبدیل و مصرف نیتروژن ارقام جدید و قدیم گندم در شرایط آب و هوایی اهواز را به ترتیب در دامنه ۰/۷۵ - ۰/۵۴، ۴۳ - ۳۰/۷ و ۳۲/۴ - ۱۶/۷ کیلوگرم بر کیلوگرم، گزارش نمودند. مدحج و همکاران (Mdhej et al., 2009) در مطالعه‌ای با مصرف ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار کارایی مصرف نیتروژن ژنوتیپ‌های گندم در شرایط بهینه اهواز را به‌ترتیب ۳۲، ۲۱ و ۱۸ کیلوگرم دانه به‌ازای کیلوگرم نیتروژن مصرف شده اعلام نمودند. در آزمایشی که

جدول ۴- ضریب همبستگی پیرسون بین متغیرهای مختلف در مناطق تحت بررسی
Table 4- Pearson correlation coefficient between different variables in the studied regions

	1	2	3	4	5	6	7	8
۱- ماده آلی خاک (%) 1-Soil organic matter (%)		0.91**	0.93**	0.81**	0.50*	0.47	0.67**	0.50*
۲- بارندگی (میلی‌متر) 2-Precipitation (mm)			0.85**	0.75**	0.42	0.43	0.59*	0.48
۳- عملکرد (کیلوگرم در هکتار) 3-Yield (Kg.ha ⁻¹)				0.84**	0.52*	0.49	0.70**	0.60*
۴- عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار) 4-Biological yield(kg.ha ⁻¹)					0.67**	-0.01	0.49	0.09
۵- کارایی جذب نیتروژن (کیلوگرم در کیلوگرم) 5-Nitrogen uptake efficiency (kg.kg ⁻¹)						0.03	0.69**	0.04
۶- کارایی تبدیل نیتروژن (کیلوگرم در کیلوگرم) 6-Nitrogen utilization efficiency (kg.kg ⁻¹)							0.73**	0.93**
۷- کارایی مصرف نیتروژن (کیلوگرم در کیلوگرم) 7-Nitrogen use efficiency (kg.kg ⁻¹)								0.68**
۸- شاخص برداشت نیتروژن (درصد) 8-Nitrogen harvest index (%)								1

* و ** به‌ترتیب معنی‌دار بودن در سطح پنج و یک درصد می‌باشد.
* and ** are significantly at 0.05 and 0.01 percent, respectively.

دانه (r=0.93 p≤0.01) ، (r=0.85 p≤0.01) و با عملکرد بیولوژیک (r=0.81 p≤0.01) ، (r=0.75 p≤0.01) مثبت و معنی‌دار بود، همبستگی مثبت و معنی‌دار محتوی کربن آلی خاک و بارندگی با

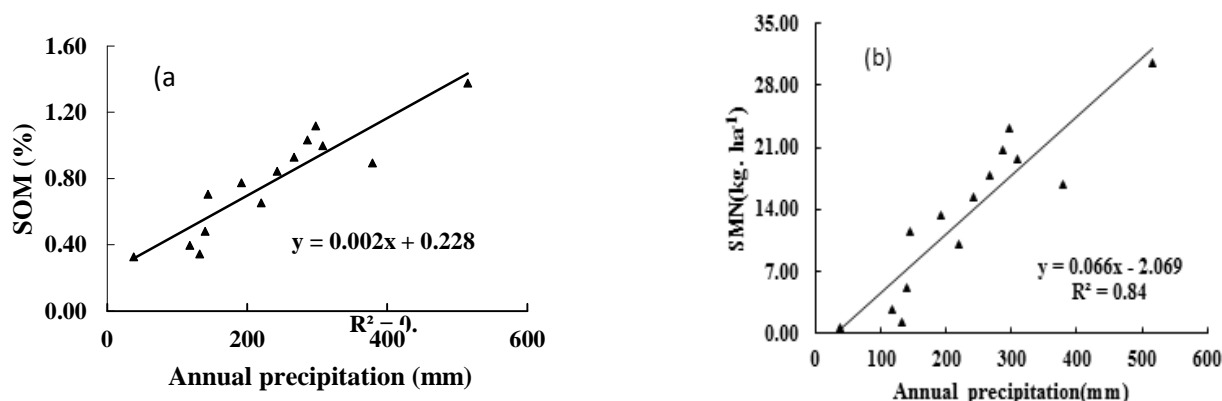
نتایج به‌دست آمده از رابطه ضرایب همبستگی پیرسون در مناطق تحت بررسی نشان داد رابطه مقدار ماده آلی خاک با میانگین ۰/۷۷ درصد و بارندگی سالیانه با میانگین ۲۳۴ میلی‌متر به‌ترتیب با عملکرد

افزایش کارایی تبدیل نیتروژن همراه نبود. همبستگی کارایی جذب نیتروژن با عملکرد دانه ($r=0.52$ $p\leq 0.05$) و عملکرد بیولوژیک ($r=0.67$ $p\leq 0.01$) مثبت و معنی‌دار بود، ولی این همبستگی برای کارایی تبدیل نیتروژن مشاهده نشد. چنین نتیجه توسط گاجیو و همکاران (Gaju et al., 2011) در فرانسه و انگلستان و نصیری محلاتی و کوچکی (Nassiri Mahalati & Koocheki, 2014) برای بوم‌نظام‌های تولید گندم در ایران نیز گزارش شده است. همبستگی شاخص برداشت نیتروژن با عملکرد ($r=0.60$ $p\leq 0.05$)، کارایی تبدیل ($r=0.93$ $p\leq 0.01$) و کارایی مصرف نیتروژن ($r=0.68$ $p\leq 0.01$) مثبت و معنی‌دار بود (جدول ۴). فولک و همکاران (Foulkes et al., 2009) اظهار داشتند در صورت فراهم بودن نیتروژن پتانسیل عملکرد با شاخص برداشت نیتروژن در گندم رابطه مثبت و معنی‌دار خواهد داشت.

نتایج حاصل از برازش رگرسیون خطی برای محتوی ماده آلی و نیتروژن معدنی خاک نشان داد ۸۴ درصد از تغییرات مشاهده شده این متغیرها توسط بارندگی سالیانه توجیه می‌شود ($R^2=0.84$). به عبارتی افزایش میانگین بارندگی سالیانه به افزایش محتوی نیتروژن معدنی و ماده آلی خاک در مناطق مورد مطالعه منتهی شده است (شکل ۳).

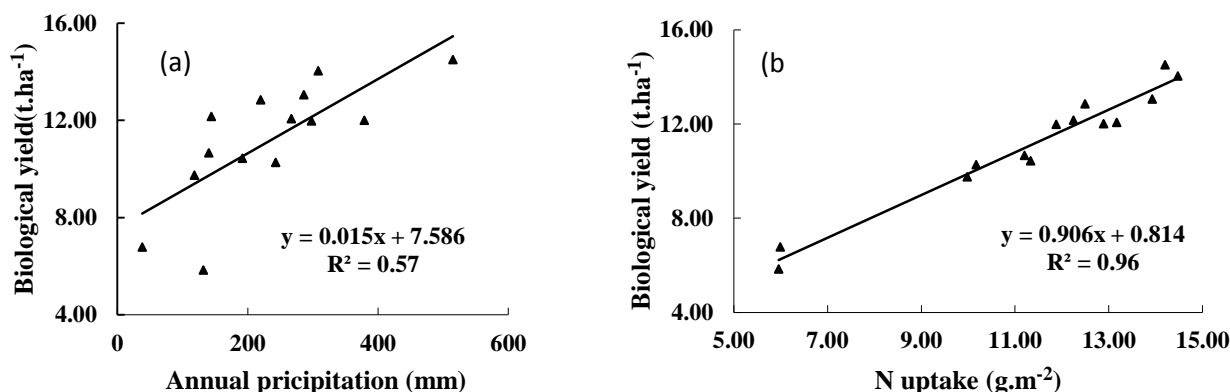
عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک گندم توسط سایر محققین نیز گزارش شده است (Sainju et al., 2009; Mikanová et al., 2012). همبستگی ماده آلی خاک و بارندگی سالیانه با کارایی مصرف نیتروژن به ترتیب مقادیر ($r=0.67$ $p\leq 0.01$) و ($r=0.59$ $p\leq 0.05$) را نشان داد که به نظر می‌رسد در شرایط محیطی که میزان رطوبت محدود باشد میزان بارندگی می‌تواند بر تغییرات مقدار کارایی مصرف نیتروژن مؤثر باشد در این رابطه سمینوف و همکاران (Semenov et al., 2007) بیان داشتند در شرایط محیطی با محدودیت رطوبت بیش از ۴۰ درصد، کارایی مصرف نیتروژن متأثر از شرایط آب و هوایی و میزان بارندگی است. همچنین نتایج نشان داد، همبستگی مثبت و معنی‌داری بین کارایی مصرف نیتروژن با کارایی تبدیل ($r=0.73$ $p\leq 0.01$) و جذب نیتروژن ($r=0.69$ $p\leq 0.01$) وجود دارد (جدول ۴). تحقیقات انجام شده توسط سایر محققین نیز، تأثیر مثبت دو جزء کارایی تبدیل و جذب را بر کارایی مصرف نیتروژن مورد تأیید قرار داده است (Moll et al., 1982; Paponov et al., 1996; Hirel and Lemaire, 2006; Semenov et al., 2007; Dawson et al., 2008).

همبستگی مثبت و معنی‌داری بین کارایی جذب و تبدیل نیتروژن مشاهده نشد ($r=0.03$ $p\geq 0.05$) به عبارتی افزایش جذب نیتروژن با



شکل ۳- تغییرات مقدار ماده آلی (SOM) و محتوی نیتروژن معدنی خاک (SMN) به عنوان تابعی از بارندگی سالیانه در مناطق مورد مطالعه شیب خط رگرسیون بر حسب ماده آلی به ازای میلی متر بارندگی (a) و نیتروژن به ازای بارندگی (b) می‌باشد.

Fig. 3- Soil organic matter and soil mineral nitrogen content as a function of annual precipitation in studied regions Slope of the regression line is percent of SOM per mm precipitation (a) and SMN per precipitation (b).



شکل ۴- تغییرات مقدار عملکرد بیولوژیک گندم به عنوان تابعی از بارندگی سالیانه و نیتروژن جذب شده در مناطق مورد مطالعه شیب خط رگرسیون بر حسب عملکرد بیولوژیک به ازای بارندگی (a) و نیتروژن جذب شده (b) می‌باشد.

Fig. 4- Biological yield of wheat as a function of precipitation and nitrogen uptake in studied regions
Slope of the regression line is biological yield per mm precipitation (a) and biological yield per nitrogen uptake (b).

نوعی رابطه آلومتری بین نیتروژن جذب شده و تجمع ماده خشک وجود خواهد داشت (Greenwood et al., 1991).

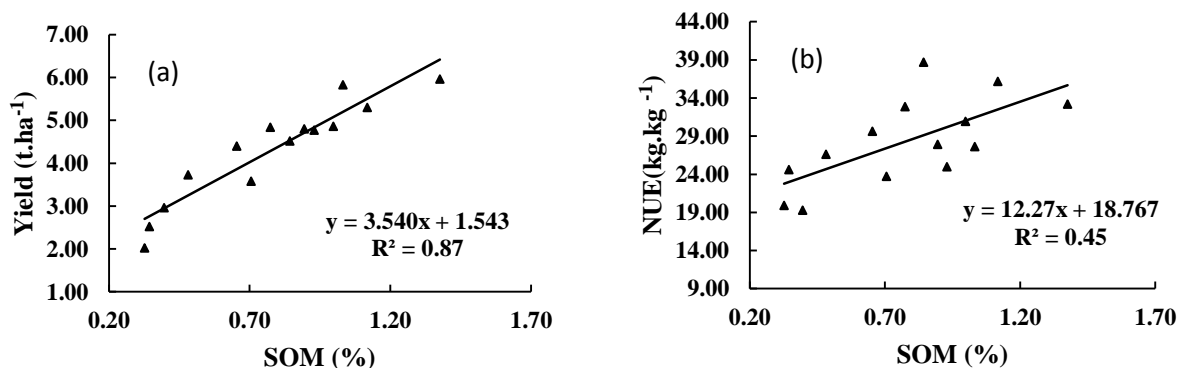
روند تغییرات کارایی مصرف نیتروژن و عملکرد در مقابل مقدار ماده آلی خاک نشان داد که افزایش مقدار ماده آلی با افزایش شاخص کارایی مصرف نیتروژن و عملکرد همراه است (شکل ۵). به‌طور کلی، خصوصیات کیفی خاک به‌طور مؤثری تحت تأثیر میزان ماده آلی خاک قرار دارند. ماده آلی خاک نه تنها بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مؤثر است، بلکه عملکرد محصول و پایداری اقتصادی و زیست‌محیطی نظام‌های زراعی به‌صورت غیر مستقیم تحت تأثیر مقدار ماده آلی خاک قرار می‌گیرد (Oelofse et al., 2015). نتایج ارائه شده در شکل ۵ نشان می‌دهد که افزایش مقدار ماده آلی خاک در مناطق مورد بررسی با افزایش عملکرد و همچنین کارایی مصرف نیتروژن همراه بوده است. کمترین و بیشترین مقدار ماده آلی خاک (جدول ۱). با توجه به مقادیر درصد ماده آلی خاک عملکرد در بوم-نظام‌های تولیدی گندم بین ۲ الی ۶ تن در هکتار متغیر بود. شیب رگرسیون خطی برازش شده نشان داد که با افزایش یک درصد ماده آلی خاک مقدار عملکرد ۳/۵ تن در هکتار و مقدار کارایی مصرف نیتروژن به میزان ۱۲ کیلوگرم دانه به‌ازای هر کیلوگرم نیتروژن فراهم افزایش می‌یابد (شکل ۵). این انتظار وجود دارد که افزایش مقدار ماده آلی خاک با فرض مقادیر بالاتر از ۲ درصد احتمالاً نباید به‌صورت پیوسته منجر به افزایش کارایی مصرف نیتروژن شود. به‌طوری که در

بارندگی یکی از عوامل مؤثر بر تغییرات محتوی کربن آلی خاک محسوب می‌شود. نتایج بررسی‌های انجام شده توسط گابرون و همکاران (Gabarrón-Galeote et al., 2015) نشان داد در شرایط اقلیمی اسپانیا و طی یک دوره سی ساله (۱۹۷۱-۲۰۰۰ میلادی) همبستگی محتوی کربن آلی خاک با بارندگی سالیانه ($r=0/61$)، میانگین درجه حرارت ($r=0/39$) و تبخیر و تعرق پتانسیل ($r=0/47$) بوده است. نتایج به‌دست آمده از این پژوهش نشان داد که افزایش بارندگی سالیانه در مناطق مورد مطالعه با افزایش عملکرد بیولوژیک همراه بود در این رابطه شیب خط برازش شده نشان داد که عملکرد بیولوژیک به‌میزان ۱۵ کیلوگرم به‌ازای هر میلی‌متر بارندگی افزایش یافته است. همچنین، بررسی مقادیر پیش‌بینی شده نیتروژن جذب شده و عملکرد بیولوژیک نشان داد که رابطه خطی بین عملکرد بیولوژیک و جذب نیتروژن وجود دارد به‌عبارتی ۹۶ درصد از تغییرات عملکرد بیولوژیک به‌وسیله میزان نیتروژن جذب شده پیش‌بینی می‌شود (شکل ۴).

به‌نظر می‌رسد افزایش بارندگی سالیانه به‌افزایش میزان نیتروژن فراهم خاک منتهی شده که به دنبال آن افزایش عملکرد ماده خشک را به‌همراه داشته است. همسو با این نتایج هیرل و لمایر (Hirel & Lemaire, 2006) نیز بیان داشتند که جذب نیتروژن توسط گیاه در طی مرحله رشد رویشی به‌طور مستقیم با فرآیند تجمع ماده خشک مرتبط می‌باشد. به‌عبارتی در شرایطی که نیتروژن فراهم شده و یا مورد تقاضا برای رشد مطلوب نزدیک به‌مقدار حداقل مورد نیاز باشد

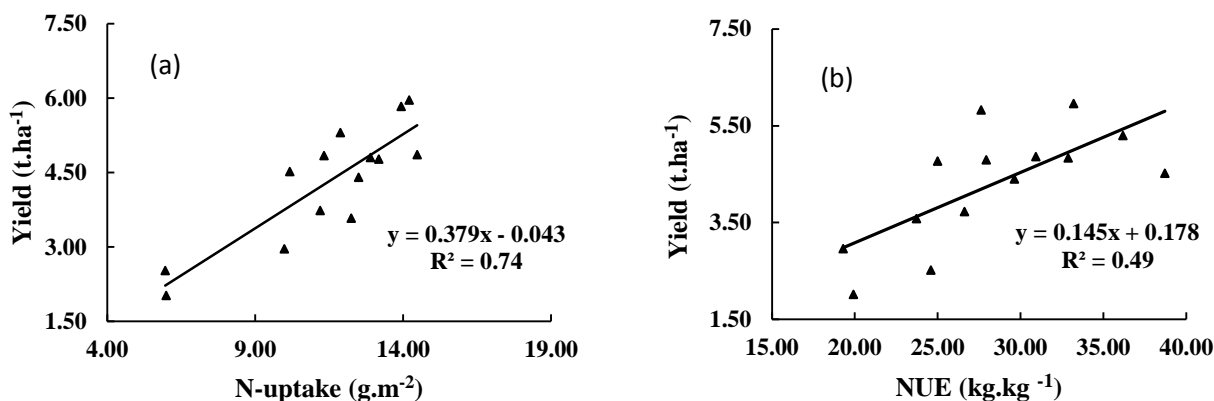
آرژانتین نشان داد که روند افزایشی بین مقدار کربن آلی با عملکرد و جود دارد (Lal, 2010).

(شکل b ۵) نشان داده شده است بیشترین مقادیر کارایی مصرف نیتروژن ۳۶-۳۸ کیلوگرم دانه به‌ازای هر کیلوگرم نیتروژن فراهم در مقادیر ۱/۱- ۰/۹ درصد ماده آلی خاک به‌دست آمده است. ارزیابی تأثیر تغییرات کربن بر عملکرد محصولات زراعی در روسیه، چین و



شیب خط رگرسیون بر حسب عملکرد (a) و کارایی مصرف نیتروژن (b) به‌ازای درصد ماده آلی خاک می‌باشد.

Fig. 5- Yield and NUE of wheat as a function of SOM in studied regions
Slope of the regression line is yield t.ha⁻¹ (a) and NUE kg.kg⁻¹ (b) per SOM percent.



شکل ۶- تغییرات عملکرد به‌عنوان تابعی از مقدار نیتروژن جذب شده و کارایی مصرف نیتروژن (NUE) در مناطق مورد مطالعه شیب خط رگرسیون بر حسب تن در هکتار عملکرد به‌ازای گرم بر متر مربع نیتروژن جذب شده (a) و کیلوگرم بر کیلوگرم کارایی مصرف نیتروژن (b) می‌باشد.

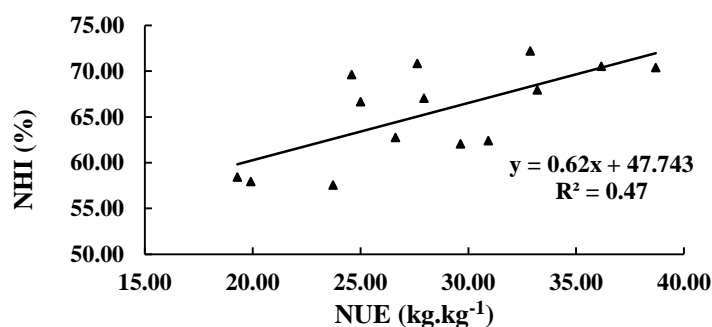
Fig. 6- Yield as a function of nitrogen uptake and NUE in studied regions
Slope of the regression line are yield t.ha⁻¹ (a) per g.m⁻² nitrogen uptake and yield t.ha⁻¹ per kg.kg⁻¹ NUE (b).

در هکتار معادل با جذب ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بود، اما از طرفی تولید ۵ تن دانه در هکتار با جذب ۱۵۰-۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار همراه بود. به‌نظر می‌رسد واریانس مشاهده شده بین عملکرد و مقدار نیتروژن جذب شده می‌تواند ناشی از تغییرات اقلیمی بین

برازش رگرسیون خطی بین مقدار عملکرد دانه به‌عنوان تابعی از مقدار نیتروژن جذب شده (شکل ۶) نشان داد که ۷۴ درصد تغییرات مشاهده شده عملکرد توسط مقدار نیتروژن جذب شده توجیه می‌شود (R²=۰/۷۴). باوجود آن که در این بررسی رگرسیونی عملکرد ۳/۵ تن

شاخص برداشت نیتروژن (NHI) که در واقع نشان‌دهنده نسبت نیتروژن دانه به نیتروژن جذب شده می‌باشد به‌عنوان یک شاخص کیفی توجه دارد (Barraclough et al., 2010; Gastal et al., 2014). نتایج به‌دست آمده در این مطالعه نشان داد، رابطه خطی بین شاخص برداشت نیتروژن (NHI) و کارایی مصرف نیتروژن (NUE) وجود دارد ($R^2=0/47$) (شکل ۷). نتایج به‌دست آمده حاکی از آن بود که در مناطق مورد مطالعه مقدار شاخص برداشت نیتروژن از ۵۷/۵ تا ۷۲/۲ درصد متغیر بود. شیب خط برازش شده نشان داد که افزایش یک واحد کارایی مصرف نیتروژن برحسب کیلوگرم بر کیلوگرم با افزایش ۰/۶۲ درصد شاخص برداشت نیتروژن همراه می‌باشد. بنابراین به‌نظر می‌رسد ارقامی که از لحاظ مقدار پروتئین کیفیت بهتری داشته باشند اصولاً بایستی از کارایی مصرف نیتروژن بیشتری نیز برخوردار باشند. آبلدو و همکاران (Abeledo et al., 2008) با مقایسه ارقام جدید و قدیم جو (*Hordeum vulgare* L.) در شرایط اقلیمی آرژانتین نشان دادند که شاخص برداشت نیتروژن و کارایی مصرف نیتروژن در ارقام جدید جو بیشتر از ارقام قدیمی می‌باشد. مطالعه‌ای که توسط براسلوو همکاران (Barraclough et al., 2010) در ایستگاه رتامستد انگلستان انجام شد، نشان داد، تغییرات شاخص برداشت نیتروژن ۳۹ رقم گندم با مصرف ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در دامنه ۶۹ الی ۹۸ درصد متغیر بود.

مناطق مورد مطالعه باشد (شکل ۶a). نتایج پژوهش پاتاک و همکاران (Pathak et al., 2003) در شرایط اقلیمی هند نشان داد که بین تولید دانه گندم و جذب نیتروژن رابطه خطی وجود دارد ($R^2=0/61$) این پژوهشگران بیان داشتند تولید یک تن دانه گندم در شرایط متفاوت اقلیمی هند به جذب ۴۷-۱۵ کیلوگرم نیتروژن نیاز دارد. با وجودی که در این پژوهش افزایش مصرف کود با کاهش کارایی مصرف نیتروژن همراه بود ($Y=-0.194X+53.23$) ($R^2=0.47$). اما نتایج به‌دست آمده نشان داد که افزایش عملکرد در هکتار با افزایش کارایی مصرف نیتروژن همراه است ($R^2=0/49$) (شکل ۶b). به‌نظر می‌رسد که استفاده از ارقام اصلاح شده گندم با شاخص برداشت بالا که قابلیت مناسبی نیز در کارایی تبدیل نیتروژن را دارا باشند می‌تواند همبستگی مثبت بین کارایی مصرف نیتروژن و عملکرد را به‌همراه داشته باشد. روند تغییرات عملکرد در مقابل کارایی مصرف نیتروژن بیانگر آن است که افزایش یک واحد کارایی مصرف نیتروژن، افزایش ۱۴۵ کیلوگرم دانه را به‌همراه خواهد داشت. مطالعه ارزیابی روند تغییرات کارایی مصرف نیتروژن و عملکرد گندم در ایستگاه رتامستد انگلستان در دامنه زمانی ۱۰۰ ساله با استفاده از مدل Sirius نشان داد افزایش مصرف نیتروژن بین صفر تا ۲۳۰ کیلوگرم در هکتار در شرایط مطلوب رطوبتی با افزایش عملکرد و کارایی مصرف نیتروژن همراه بوده است (Semenov et al., 2007). بسیاری از پژوهش‌های انجام شده علاوه بر شاخص کارایی مصرف نیتروژن به



شکل ۷- تغییرات شاخص برداشت نیتروژن (NHI) گندم به عنوان تابعی از کارایی مصرف نیتروژن (NUE) در مناطق مورد مطالعه شیب خط رگرسیون بر حسب درصد شاخص برداشت نیتروژن به‌ازای کیلوگرم بر کیلوگرم کارایی مصرف نیتروژن می‌باشد.

Fig. 7- NHI of wheat as a function of NUE in studied regions Slope of the regression line is percent of NHI per kg.kg⁻¹ of NUE.

آنالیز اجزای کارایی مصرف نیتروژن

به‌منظور تعیین سهم نسبی هر یک از اجزای تشکیل‌دهنده کارایی مصرف در بوم‌نظام‌های گندم اقدام به آنالیز اجزای کارایی مصرف نیتروژن شد. نتایج آنالیز اجزاء در گروه (۱) شامل بیرجند، زابل، شاهرود، گرگان، شیراز، تبریز و همدان نشان داد با مصرف نیتروژن در دامنه ۸۰-۱۲۰ کیلوگرم در هکتار سهم نسبی کارایی جذب نیتروژن (NUpE) و تبدیل نیتروژن (NUtE) به ترتیب ۰/۶۴ و ۰/۳۶ بود. همچنین در گروه (۲) شامل اهواز، اصفهان، کرمان، مشهد، کرمانشاه، کرج و پارس آباد مغان با دامنه مصرف ۱۶۰-۱۲۱ کیلوگرم نیتروژن در هکتار سهم نسبی کارایی جذب نیتروژن (NUpE) و تبدیل نیتروژن (NUtE) به ترتیب ۰/۳۳ و ۰/۶۷ بود (جدول ۵). در این رابطه نتایج مطالعه نصیری محلاتی و کوچکی (Nassiri Mahalati

& Koocheki, 2014) نشان داد طی چهار دهه گذشته مقدار کارایی جذب نیتروژن در بوم‌نظام‌های تولید گندم کشور نسبتاً پایین و در حدود ۳۵/۵ درصد بود. همچنین این پژوهشگران اظهار داشته‌اند که علی‌رغم بهبود کارایی تبدیل نیتروژن در طی چهار دهه گذشته، کارایی مصرف این نهاده روندی نزولی را به‌همراه داشته است. همچنین بررسی انجام شده برای ۱۲ ژنوتیپ گندم نان (T. aestivum L.) و دو ژنوتیپ گندم دوروم (T. turjidum L.) نشان داد سهم نسبی کارایی جذب و تبدیل نیتروژن برای سطوح مصرف ۰/۷۵، ۱۷۵ و ۲۷۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به ترتیب ۰/۴۱-۰/۵۹، ۰/۷۳-۰/۲۷ و ۰/۸۹-۰/۱۱ بوده است (Dhugga & Waines, 1989).

جدول ۵- سهم هر یک از اجزای کارایی در مجذور مربعات کارایی مصرف نیتروژن (NUE) گندم در مناطق مورد مطالعه

Table 5- Contribution of the component traits to the sum of squares of NUE of wheat in the studied regions

اجزاء Component	Log	نیتروژن مصرفی (کیلوگرم در هکتار) N-Applied (kg.ha ⁻¹)	سهم اجزاء Fraction of components $\sum x_i y_i / \sum y_i^2$	ryxi	S _{xi} /S _y
کارایی مصرف نیتروژن NUE	y	-	-	-	-
کارایی جذب نیتروژن NUpE	x ₁	80-120	0.64	0.820	0.780
		121-160	0.33	0.685	0.482
کارایی تبدیل نیتروژن NUtE	x ₂	80-120	0.36	0.616	0.584
		121-160	0.67	0.878	0.763

تأمین حاصل‌خیزی به‌شمار می‌رود، اما هزینه‌های اقتصادی مترتب بر مصرف و آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از مصرف کودهای نیتروژنی نگرانی‌های را ایجاد کرده است. برخی بررسی‌ها نشان می‌دهد که بهبود کارایی مصرف نیتروژن نه تنها همراه با افزایش سود اقتصادی خواهد بود بلکه کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای به ازای هر کیلوگرم محصول تولید شده را نیز به‌همراه خواهد داشت (Gaju et al., 2011). نتایج به‌دست آمده از این مطالعه نشان داد که کارایی مصرف نیتروژن در بوم‌نظام‌های تولید گندم با محتوی ماده آلی بالاتر (بیشتر یا مساوی یک درصد) مانند شیراز و گرگان بیشتر از نظام‌های تولیدی گندم با محتوی کمتر ماده آلی خاک ($\leq 0.4\%$) مانند کرمان و زابل می‌باشد. البته به‌نظر می‌رسد، کمتر بودن درصد ماده آلی خاک از یک آستانه حداقل ($\leq 0.6\%$) همراه با اثر شرایط تنش خشکی سبب

بر اساس خروجی مدل در این مطالعه، متغیرهای مدیریت مصرف نیتروژن و سال سبب شد در آنالیز اجزاء، سهم نسبی کارایی تبدیل نیتروژن در مقایسه با کارایی جذب در بوم‌نظام‌های گندم گروه (۲) بیشتر باشد. به‌نظر می‌رسد با توجه به ضریب همبستگی شاخص برداشت نیتروژن و کارایی تبدیل ($r=0.93$ $p \leq 0.01$) کیفیت دانه تولیدی گروه (۲) در مقایسه با گروه (۱) بالاتر باشد. همچنین این انتظار وجود دارد که در شرایطی که سهم کارایی جذب بیشتر باشد، نقش مدیریت سیستم‌های زراعی و در صورتی که سهم کارایی تبدیل بیشتر باشد راهبرد اصلاح ژنوتیپ‌ها از اهمیت بیشتری برخوردار باشد.

نتیجه‌گیری

هر چند استفاده از کودهای صنعتی نیتروژنی سریع‌ترین راه برای

یا عدم همزمانی استفاده از کود و تقاضای گیاه (Fageria & Baligar, 2005) و مصرف یکنواخت کود برای تمام موقعیت‌های مکانی مزرعه علی‌رغم تنوع فراهمی نیتروژن موجود در خاک (Hurley et al., 2004) و در نهایت کاربرد نیتروژن صرفاً بر اساس افزایش عملکرد (Sylvester-Bradley et al., 1990) اشاره کرد. در مقابل در آن دسته از بوم‌نظام‌های که کارایی تبدیل نیتروژن جزء غالب می‌باشد با توجه به ضریب بالای همبستگی شاخص برداشت نیتروژن و کارایی تبدیل ($r=0.93$ $p\leq 0.01$) اصلاح ژنوتیپ‌ها به‌منظور افزایش کیفیت دانه از جمله راهکارهای پیشنهاد شده برای بهبود کارایی مصرف نیتروژن می‌باشند.

می‌شود که عملکرد و مقدار کارایی مصرف نیتروژن در حداقل مقدار خود قرار داشته باشد که در این صورت به دلیل پایین بودن پتانسیل تولید در این گونه نظام‌ها امکان بهبود کارایی مصرف نیتروژن نیز با محدودیت مواجه خواهد بود. در مقابل در نظام‌های با محتوی ماده آلی بیشتر از یک آستانه حداقلی، امکان بهبود کارایی با ایجاد تغییر در اجزای کارایی مصرف نیتروژن وجود خواهد داشت. در این صورت، این انتظار وجود دارد که در نظام‌هایی که جزء غالب در کارایی مصرف نیتروژن کارایی جذب می‌باشد مدیریت زراعی نقش اساسی داشته باشد. در این رابطه از مهمترین عوامل مدیریتی که بر کاهش کارایی جذب نیتروژن در بوم‌نظام‌ها مؤثر می‌باشند می‌توان به تطابق ضعیف

منابع

- Abeledo, L.G., Calderini, D.F., and Slafer, G.A. 2008. Nitrogen economy in old and modern malting barleys. *Field Crops Research* 106: 171-178.
- Alijani, F., Karbasi, A., and Mozafari Mosen, M. 2011. Survey of the effects of climate change on yield of irrigated wheat in Iran. *Agricultural Economic and Development* 76:143-167.
- Annabi Milani, A., 2007. Interaction of irrigation regimes and nitrogen sources on grain yield and water use efficiency of wheat. *Journal of Agroecology* 2: 43-56. (In Persian with English Summary)
- Ayneband, A., Moezi, A., and Sabet, M. 2011. The comparison of nitrogen use efficiencies in old and modern wheat cultivars: Agroecological results. *American- Eurasian Journal Agricultural Environmental Science* 10: 574-586.
- Bahrani, A., and Tahmasebi Sarvestani, Z. 2007. Effect of rate and times of nitrogen application on accumulation and remobilization efficiency of flag leaf in two wheat cultivars. *Journal of Water and Soil Science* 11: 147-155. (In Persian with English Summary)
- Bakhshaie, S., Rezvani Moghaddam, P., and Goldani, M. 2014. The effects of nitroxin and nitrogen fertilizer on yield and yield components of winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research* 12: 360-368. (In Persian with English summary)
- Barracough, P.B., Howarth, J.R., Jones, J., Lopez-Bellido, R., Parmar, S., Shepherd, C.E., and Hawkesford, M.J. 2010. Nitrogen efficiency of wheat: genotypic and environmental variation and prospects for improvement. *European Journal of Agronomy* 33: 1-11.
- Bruinsma, J. 2009. The resource outlook to 2050. Expert meeting on how to feed the world in 2050. FAO.
- Cassman, K.G., Dobermann, A., and Walters, D.T. 2002. Agroecosystems, nitrogen-use efficiency, and nitrogen management. *AMBIO: A Journal of the Human Environment* 31: 132-140.
- Conant, R.T., Berdanier, A.B., and Grace, P.R. 2013. Patterns and trends in nitrogen use and nitrogen recovery efficiency in world agriculture. *Global Biogeochemical Cycles* 27: 558-566.
- Dawson, J.C., Huggins, D.R., and Jones, S.S. 2008. Characterizing nitrogen use efficiency in natural and agricultural ecosystems to improve the performance of cereal crops in low-input and organic agricultural systems. *Field Crops Research* 107: 89-101.
- Deihimfard, R., Mahallati, M.N., and Koocheki, A. 2015. Yield gap analysis in major wheat growing areas of Khorasan province, Iran, through crop modelling. *Field Crops Research* 184: 28-38.
- Delgado, J., and Shaffer, M. 2008. *Nitrogen Management Modeling Techniques: Assessing Cropping Systems/Landscape Combinations*. Elsevier Inc.

- Dhugga, K.S., and Waines, J. 1989. Analysis of nitrogen accumulation and use in bread and durum wheat. *Crop Science* 29: 1232-1239
- Fageria, N., and Baligar, V. 2005. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. *Advances in agronomy* 88: 97-185.
- Farshid, R., Zamani, G., Behdani, M., and Sahrai, E. 2012. Effects of salinity and nitrogen application methods on yield and yield components of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research* 10: 18-24. (In Persian with English Summary)
- FAOSTAT. 2013. Crop production Statistics. Food and Agriculture Organization Rome. Available online at: www.faostat.fao.org
- Foth, H.D., and Ellis, B.G. 1997. *Soil Fertility*. CRC Press, Inc. USA.
- Foulkes, M., Hawkesford, M., Barraclough, P., Holdsworth, M., Kerr, S., Kightley, S., and Shewry, P. 2009. Identifying traits to improve the nitrogen economy of wheat: recent advances and future prospects. *Field Crops Research* 114: 329-342.
- Gabarrón-Galeote, M.A., Trigalet, S., and van Wesemael, B. 2015. Soil organic carbon evolution after land abandonment along a precipitation gradient in southern Spain. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 199: 114-123.
- Gaju, O., Allard, V., Martre, P., Snape, J., Heumez, E., LeGouis, J., Moreau, D., Bogard, M., Griffiths, S., and Orford, S. 2011. Identification of traits to improve the nitrogen-use efficiency of wheat genotypes. *Field Crops Research* 123: 139-152.
- Gastal, F., Lemaire, G., Durand, J.L., and Louarn, G. 2014. Quantifying crop responses to nitrogen and avenues to improve nitrogen-use efficiency. *Crop Physiology—Applications for Genetic Improvement and Agronomy*, 2nd Edn. Academic, Elsevier, 161-206.
- Gerami, F., Aynehband, A., and Fateh, E. 2013. Effect of green manures and nitrogen fertilizer levels on early growth, yield and yield components of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Sustainable Agriculture and Production Science*. 23: 1-17. (In Persian with English Summary)
- Greenwood, D., Gastal, F., Lemaire, G., Draycott, A., Millard, P., and Neeteson, J. 1991. Growth rate and %N of field grown crops: theory and experiments. *Annals of Botany* 67: 181-190.
- Group, F.F.O.W. 2012. Current world fertilizer trends and outlook to 2016. Food and Agriculture Organisation, Rome. Available online at: <ftp://ftp.fao.org/ag/agp/docs/cwfto16>.
- Hurley, T.M., Malzer, G.L., and Kilian, B. 2004. Estimating site-specific nitrogen crop response functions. *Agronomy Journal* 96: 1331-1343
- Hirel, B., and Lemaire, G. 2006. From agronomy and ecophysiology to molecular genetics for improving nitrogen use efficiency in crops. *Journal of Crop Improvement* 15: 213-257.
- Hosseini, R., Galeshi, S., Soltani, A., and Kalateh, M. 2011. The effect of nitrogen on yield and yield component in modern and old wheat cultivars. *Electronic Journal of Crop Production*. 4:187-200. (In Persian with English Summary)
- Hosseini, R., Galeshi, S., Soltani, A., Kalateh, M., and Zahed, M. 2013. The effect of nitrogen rate on nitrogen use efficiency index in wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *Iranian Journal of Field Crop Research* 11: 300-306. (In Persian with in English Summary)
- Jiménez, E.I., and García, V.P. 1992. Relationships between organic carbon and total organic matter in municipal solid wastes and city refuse composts. *Bioresource Technology* 41: 265-272.
- Khasseh Serjani, A., Farahbakhsh, H., Ravari, S.Z., Pasandipoor, N., and Karami, A. 2011. Evaluation the effect of biological, zinc sulphate and nitrogen fertilizer on quantitative and qualitative characteristics of wheat yield. *Iranian Journal of Soil Research* 25: 125-135. (In Persian with English Summary)
- Lal, R. 2010. Beyond Copenhagen: mitigating climate change and achieving food security through soil carbon sequestration. *Food Security* 2: 169-177.
- Linacre, E.T. 1977. A simple formula for estimating evaporation rates in various climates, using temperature data alone.

- Agricultural Meteorology 18: 409-424.
- Mdhej, A., Naderi, A., Imam, Y., Aynehband, A., and Normohamadi, G. 2009. Effect of different nitrogen level on grain yield , grain protein content and agronomic nitrogen use efficiency in wheat genotypes under optimum and post- anthesis heat stress conditions. Seed and Plant Production Journal 25: 353-371. (In Persian with English Summary)
- Mikanová, O., Šimon, T., Javůrek, M., and Vach, M. 2012. Relationships between winter wheat yields and soil carbon under various tillage systems. Plant, Soil and Environment 58: 540-544.
- Moll, R., Kamprath, E., and Jackson, W. 1982. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. Agronomy Journal 74: 562-564.
- Nassiri Mahalati, M., and Koocheki, A. 2014. Trend analysis of nitrogen use and productivity in cereal production system of Iran. Journal of Agroecology 6: 1-25. (In Persian with in English Summary)
- Oelofse, M., Markussen, B., Knudsen, L., Schelde, K., Olesen, J.E., Jensen, L.S., and Bruun, S. 2015. Do soil organic carbon levels affect potential yields and nitrogen use efficiency? An analysis of winter wheat and spring barley field trials. European Journal of Agronomy 66: 62-73.
- Paponov, I., Aufhammer, W., Kaul, H.P., and Ehmele, F.P. 1996. Nitrogen efficiency components of winter cereals. European Journal of Agronomy 5: 115-124.
- Parton, W. 1996. The CENTURY model. Evaluation of soil organic matter models. Springer p. 283-291.
- Parton, W., McKeown, R., Kirchner, V., and Ojima, D. 1992. Users guide for the CENTURY model.
- Parton, W.J., and Rasmussen, P., 1994. Long-term effects of crop management in wheat-fallow: II. CENTURY model simulations. Soil Science Society of America Journal 58: 530-536.
- Pathak, H., Aggarwal, P., Roetter, R., Kalra, N., Bandyopadhaya, S., Prasad, S ., and Van Keulen, H. 2003. Modelling the quantitative evaluation of soil nutrient supply, nutrient use efficiency, and fertilizer requirements of wheat in India. Nutrient Cycling in Agroecosystems 65: 105-113.
- Pourazari, F., Ehsanzade, P., and Jahanbin, S. 2011. Response of hulled tetraploid wheats to nitrogen deficit stress in comparison to macaroni wheat. Iranian Journal of Field Crop Science 42: 285-294. (In Persian with English Summary)
- Sainju, U.M., Lenssen, A.W., Caesar-TonThat, T., and Evans, R.G. 2009. Dryland crop yields and soil organic matter as influenced by long-term tillage and cropping sequence. Agronomy Journal 101: 243-251.
- Sanjani, S., Koocheki, A., and Nassiri Mahallati, M. 2012. Quantifying yield potential and yield gap for corn (*Zea mays* L.) in the Northeast Iran. International Journal of Agriculture and Crop Sciences 22: 1692-1700.
- SAS, 2002. Procedures Guide. SAS Institute, Cary, NC.
- Semenov, M.A., Jamieson, P.D., and Martre, P. 2007. Deconvoluting nitrogen use efficiency in wheat: a simulation study. European Journal of Agronomy 26: 83-294.
- Shaffer, M.J., Ma, L., and Hansen, S. 2010. Modeling Carbon and Nitrogen Dynamics for Soil Management. CRC PressUSA. 651.
- Shahabifar, M., and Daryashenas, A. 2004. Increase of N use efficiency in wheat fertigation method by optimum split N at growth stage. Agricultural Research, Education and Extension Organization. Soil and Water Research Institute. 44674. (In Persian with English Summary)
- Statistical Year Book. 2013. Department of Agricultural Statistics. Jihad-e-Agriculture Ministry. 167pp. (In Persian)
- Sylvester-Bradley, R., Stokes, D., Scott, R., and Willington, V. 1990. A physiological analysis of the diminishing responses of winter wheat to applied nitrogen. 2. Evidence. Aspects of Applied Biology 25: 289-300.
- Taghipoor, F. 2005. The effect of nitrogen sources on the yield and quality of wheat. Agricultural Research Education and Extension Organization 84-955. (In Persian with English Summary)
- Tilman, D., Cassman, K.G., Matson, P.A., Naylor, R., and Polasky, S. 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. Nature 418: 671-677.
- Van Sanford, D., and MacKown, C. 1986. Variation in nitrogen use efficiency among soft red winter wheat genotypes.

Theoretical and Applied Genetics 72: 158-163.

Wallach, D., and Goffinet, B. 1989. Mean squared error of prediction as a criterion for evaluating and comparing system models. *Ecological Modelling* 44: 299-306.

Weih, M., Asplund, L., and Bergkvist, G. 2011. Assessment of nutrient use in annual and perennial crops: A functional concept for analyzing nitrogen use efficiency. *Plant and Soil* 339: 513-520.

Willmott, C.J. 1982. Some comments on the evaluation of model performance. *Bulletin of the American Meteorological Society* 63: 1309-1313.

Yang, J., Yang, J., Liu, S., and Hoogenboom, G. 2014. An evaluation of the statistical methods for testing the performance of crop models with observed data. *Agricultural Systems* 127: 81-89.



Evaluation of Nitrogen Use Efficiency in Wheat (*Triticum aestivum* L.) eat Cropping Systems of Iran

H.R.Tavakkoli Kakhki¹, M. Nassiri Mahallati^{2*}, A. Koocheki², M.Jahan³ and A. Beheshti⁴

Submitted: 13-03-2016

Accepted: 03-08-2016

Tavakoli Kakhki, H.R., Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., Jahan, M. and Beheshti, A. 2018. Evaluation of nitrogen use efficiency in wheat cropping systems of Iran. Journal of Agroecology. 10(3):

Introduction

Nitrogen fertilizers, plays an essential role in crop production and additionally its application has environmental drawbacks. So, nitrogen dynamics between cropping systems and environment is one of the most important agronomic management practices. Improving nitrogen use efficiency (NUE) is an important target in wheat cropping systems, it increases profitability through greater yields and reduction of the greenhouse gas emissions associated with the production and it could be reduce environmental hazards. There are many definitions related to NUE in the context of crop production and as well as in the literature review. One of the fundamental definition related to Moll et al (1982). According to Moll et al. (1982) definitions' NUE as grain dry matter yield per unit of nitrogen available from the soil and fertilizer and divided it into two components 1- Nitrogen-uptake efficiency that is crop nitrogen uptake to nitrogen available and 2- Nitrogen-utilization efficiency which is grain dry matter yield to crop nitrogen uptake. Wheat is one of the most extend cultivated crops in the world. It is estimated in Iran, about 2.3 million ha of wheat cropping systems are under irrigated cultivation. The specific objectives of the present study were to 1- investigation and analysis nitrogen use efficiency variations and its components in wheat cropping systems by using simulation model.2-Determine how nitrogen use efficiency and its components (component analysis) is affected by nitrogen fertilizer levels.

Materials and Methods

We used CENTURY model to evaluate nitrogen use efficiency in wheat cropping systems. For this purpose 14 wheat cropping system from different locations were selected. Soil data was collected from Soil and Water Research Institute and weather data from 2000 to 2014 were obtained from Iran Meteorological Organization for 14 selected stations. The CENTURY model simulates the long-term dynamics of Carbon (C), Nitrogen (N), for different Plant-Soil Systems. The model can simulate the dynamics of agricultural crop systems. The crop systems have different plant production submodels which are linked to a common soil organic matter submodel. The soil organic matter submodel simulates the flow of C, N through plant litter and the different inorganic and organic pools in the soil. CENTURY model runs in monthly time step with calculating monthly precipitation (cm), monthly mean of minimum and maximum temperature (c°), site latitude and longitude, sand, silt and clay (%), soil bulk density (g/cm³), rooting depth (cm), C and N content of the top 20 cm of soil and management information such as planting date, first and last month of wheat growth, number and amounts of fertilization, amount of irrigation water and its schedules are required. For model validation we used three statistical measures including Normalized Root Mean Squared Error (nRMSE), Willmott (1982) index or (d index) and linear regression coefficients between actual values and predicted values.

Results and Discussion

Results, revealed that average nitrogen use efficiency in wheat cropping systems of Iran was 28.3 kg grain per kg of nitrogen applied. The highest and lowest mean nitrogen use efficiency were 36.02 and 21.26 kg grain per kg N that observed respectively in (Tabriz, Shiraz, Gorgan) and (Kerman, Zabol, Birjand). Regression of nitrogen use efficiency vs. yield showed that with increasing nitrogen use efficiency, yield is raised (b=0.14 kg

۱- Instructor Research of Crop and Horticultural Science Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran.

2 and 3- Professor and Associated Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran, respectively.

4- Associate Research of Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center.

(*- Corresponding Author Email: mnassiri@um.ac.ir)

DOI: 10.22067/jag.v10i3.54239

kg⁻¹). Separation of nitrogen use efficiency to its components indicated that on range of value (80-120 kg ha⁻¹) use of nitrogen, relative contribution of nitrogen uptake and utilization efficiency separately were 64 and 36 percent. When use of nitrogen fertilizer was increased up to value (121-160 kg ha⁻¹) relative contribution of nitrogen uptake and nitrogen utilization was changed to 33 and 67 percent, respectively.

Conclusion

It seems that, when in cropping system nitrogen uptake will be dominant, agronomic management practice and in versus, if nitrogen utilization efficiency will be more important choice of superior cultivars are emphasizes the improvement of nitrogen use efficiency.

Keywords: components analysis efficiency, correlation, utilization efficiency, uptake efficiency, simulation