نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۹، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۶، ص.۳۷۸-۳۶۰

Journal of Agroecology
Vol. 9, No. 2, Summer 2017, p. 360-378

ارزیابی روند تغییرات مصرف و بهره‌وری نیتروژن در نظام‌های تولید گندم (*Triticum aestivum* L.) ایران

مهدی نصیری محلاتی[1*] و علیرضا کوچکی[1]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۹/۱۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۱/۲۳

نصیری محلاتی، م.، و کوچکی، ع.ر. ۱۳۹۶. ارزیابی روند تغییرات مصرف و بهره‌وری نیتروژن در نظام‌های تولید گندم (*Triticum aestivum* L.) ایران. بوم‌شناسی کشاورزی، ۹(۲): ۳۷۸-۳۶۰.

چکیده

در طی چند دهه گذشته مصرف کودهای نیتروژنی و به تبع آن عملکرد گندم (*Triticum aestivum* L.) کشور به میزان چشمگیری افزایش یافته ولی روند این تغییرات به طور دقیق ارزیابی نشده است. در این تحقیق داده‌های عملکرد و مصرف کود در طی دوره ای ۴۰ ساله (۱۳۸۹-۱۳۵۰) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و روند تغییرات، بهره‌وری و انواع کارایی های نیتروژن و نیز سهم نسبی این نهاده در افزایش عملکرد گندم در ایران محاسبه شد. نتایج نشان داد که در طی چهار دهه میانگین رشد سالانه عملکرد و مصرف کود به ترتیب ۲/۹ و ۶/۹ درصد بوده است. در طی این مدت مصرف کودهای نیتروژنی در بوم‌نظام‌های تولید گندم ۹/۵ برابر افزایش یافته و از حدود ۲۵ به ۲۴۰ کیلوگرم در هکتار رسیده است درحالی‌که افزایش عملکرد گندم در این دوره ۳/۴ برابر شده است. البته روند مصرف کودهای نیتروژنی در بوم‌نظام‌های گندم کشور از اواسط دهه ۸۰ به ثبات رسیده و نتایج پیش‌بینی بر اساس سری زمانی حاکی از آن است که مصرف این نهاده تا سال ۱۴۰۰ از ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار تجاوز نخواهد کرد. بهره‌وری نیتروژن (نسبت عملکرد به میزان نیتروژن مصرف شده) در تولید گندم ۲۲/۵ کیلوگرم دانه به‌ازای کیلوگرم نیتروژن مصرف شده است و با شیبی معادل ۰/۱۹- کیلوگرم در هکتار در سال در حال کاهش می‌باشد. میانگین کارایی مصرف نیتروژن (نسبت تفاوت عملکرد در شرایط مصرف و عدم مصرف کود به نیتروژن مصرف شده) ۱۴/۵ کیلوگرم دانه به‌ازای کیلوگرم نیتروژن مصرفی برآورد شد. تفکیک کارایی مصرف به اجزای آن نشان داد که میانگین ۴۰ ساله کارایی جذب نیتروژن در بوم‌نظام‌های گندم کشور ۳۵/۵ درصد می‌باشد و روند کاهشی آن موجب شده تا در دهه ۸۰ به حدود ۳۰ درصد کاهش یابد. در مقابل کارایی استفاده از نیتروژن با میانگین ۴۰ کیلوگرم دانه به‌ازای کیلوگرم نیتروژن جذب شده در طی دوره مطالعه روندی صعودی داشته است. سهم نسبی نیتروژن در عملکرد گندم با شیبی مثبت در حال افزایش می‌باشد و از ۲۴ درصد در دهه ۵۰ به ۳۲ درصد در دهه ۸۰ رسیده است. بر اساس یافته‌های این تحقیق به‌نظر می رسد که کاهش کارایی مصرف نیتروژن در بوم‌نظام‌های تولید گندم ایران عمدتاً به دلیل کاهش کارایی جذب این نهاده بوده و افزایش کارایی تبدیل پایین بودن بازیافت نیتروژن را جبران نکرده است.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری جزئی نیتروژن، کارایی جذب نیتروژن، کارایی مصرف نیتروژن

مقدمه

افزایش عملکرد محصولات زراعی در طی نیمه دوم قرن گذشته در سراسر جهان علاوه بر معرفی ارقام جدید و پر محصول، مرهون استفاده از نهاده های شیمیایی بویژه کودهای نیتروژنی و آفت کش ها بوده است (Smil, 1999). تغییر نظام-های تولید به حالت فشرده[2] و تداوم مصرف نهاده‌های شیمیایی باعث شد که از دهه آخر قرن گذشته نگرانی‌های زیست محیطی در مورد آلودگی‌های ناشی از مصرف این نهاده‌ها افزایش یافته و

۱- استاد،گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: mnassiri@um.ac.ir)
DOI: 10.22067/jag.v9i2.29287

2- Intensive

در دهه اول قرن اخیر به یکی از مهمترین مشکلات نظام‌های رایج تولید، تبدیل شود. در کنار این مسئله که عمدتاً بعد محیطی دارد، مطالعات در برخی از نقاط جهان حاکی از آن است که با ادامه مصرف نهاده‌ها واکنش نظام‌های زراعی به این مواد شیمیایی در حال کاهش است. به عبارت دیگر، حتی ارقام پر محصول نیز به‌ازای واحد کودهای شیمیایی مصرفی عملکرد کمتری تولید می‌کنند (Giller et al., 2004). وضعیت مشابهی نیز در مورد مقاومت آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز نسبت به آفت‌کش‌های شیمیایی گزارش شده است (Bruinsma, 2003). تحت این شرایط دستیابی به عملکرد بالا به‌منظور افزایش تولید، مستلزم استفاده بیشتر از نهاده‌های شیمیایی (به‌ویژه کودها) خواهد بود. وضعیتی که در بسیاری از کشورهای در حال توسعه (Dobermann & Cassman, 2005) از جمله ایران شاهد بروز آن هستیم. این امر باعث خواهد شد که علاوه بر تشدید آلودگی‌های محیطی بهره‌وری[1] استفاده از نهاده‌های شیمیایی به تدریج کاهش یابد. با این‌حال، اطلاعات محدودی در مورد وضعیت فعلی بهره‌وری نهاده‌ها در مقیاس سیستم‌های زراعی و مقایسه آن با وضعیت گذشته در اختیار می‌باشد.

در مقیاس جهانی، بهره‌وری آب به دلیل اهمیت و نیز محدودیت آن بیش از سایر نهاده‌های تولید مورد بررسی قرار گرفته است (Rejesus et al., 1999). البته مطالعات مختلف (Bouwman et al., 2005; Smil, 1999) نشان داده که اگرچه در مقیاس جهانی افزایش عملکرد محصولات زراعی در طی نیمه دوم قرن گذشته به دلیل مصرف کودهای شیمیایی و به‌ویژه کود نیتروژنی بوده اما میانگین کارایی استفاده از این کودها در طی ۳۰ سال آخر قرن گذشته کاهش یافته است (Giller et al., 2004). روی و همکاران (Roy et al., 2002) با بررسی محدودیت در افزایش بیشتر سطح زیر کشت در سطح جهانی، مصرف کودهای نیتروژنی را مهمترین رویکرد کشورهای در حال توسعه برای افزایش عملکرد ذکر کرده‌اند. از سوی دیگر، کروپ نیک و همکاران (Krupnik et al., 2004) نشان دادند که میانگین جهانی کارایی جذب نیتروژن ۵۰ درصد می‌باشد و در نتیجه باقیمانده کودهای مصرفی به طرق مختلف تلف شده و باعث آلودگی محیط خواهد شد. ایکهوت و همکاران (Eickhout et al., 2006) گزارش کردند که در فاصله سال‌های ۱۹۷۰ تا ۲۰۰۰ میلادی مصرف جهانی نیتروژن (مجموع کودهای شیمیایی، آلی و تثبیت بیولوژیکی) از ۹۲ به ۱۷۰ میلیون تن در سال افزایش یافته است، در حالی‌که میانگین کارایی جذب نیتروژن در همین دوره زمانی در کشورهای توسعه یافته بین ۴۸ تا ۴۹ درصد و در کشورهای در حال توسعه ۶۱ درصد بوده است (Cassman et al., 2003). به‌علاوه گزارشات حاکی از آن است که کارایی بازیافت نیتروژن در آسیا نیز در فاصله سال‌های ۱۹۷۰ تا ۲۰۰۰ از ۵۲ به ۴۲ درصد کاهش یافته است (Dobermann & Cassman, 2005). البته این کارایی در کنار روش‌های مدیریت، به خاک و اقلیم نیز بستگی داشته و در کشورهای مختلف متفاوت خواهد بود (Bruinsma, 2003). با این حال پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد که تا ۳۰ سال آینده میزان تلفات نیتروژن از سیستم‌های کشاورزی کشورهای در حال توسعه ۳۹ درصد افزایش خواهد یافت (Eickhout et al., 2006). کاسمن و همکاران (Cassman et al., 2003) نشان دادند که در مقیاس جهانی، تا سال ۲۰۳۰ میلادی به دلیل کاهش بهره‌وری کودهای شیمیایی مشکلاتی جدی در تأمین غذا بروز خواهد کرد و این امر باعث نیاز به افزایش سطح زیر کشت و استفاده از اراضی حاشیه‌ای به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه خواهد شد. شواهد فوق باعث شده که در طی سال‌های اخیر موضوع بهره‌وری نیتروژن و سایر نهاده‌های شیمیایی و راه‌های افزایش کارایی استفاده از این نهاده‌ها به یکی از چالش‌های مهم برای حفظ امنیت غذایی تبدیل شود (Cassman, 2001; Balasubramanian et al., 2004; Giller et al., 2004).

مطالعات مربوط به بهره‌وری نهاده‌ها در ایران بسیار محدود بوده و اغلب بر جنبه‌های اقتصادی مصرف نهاده‌ها و آنالیز هزینه/سود[2] متمرکز بوده‌اند. کشاورز و صادق زاده (Keshavarz

1- Productivity

2- Cost/benefit analysis

& Sadeghzadeh, 2000) در بررسی وضعیت منابع آبی کشور، بهره‌وری آب در مورد برخی از محصولات را با استناد به مطالعات قبلی ارائه کرده‌اند. البته مقادیر گزارش شده مربوط به سال و منطقه خاص مورد مطالعه بوده و روند تغییرات آن بررسی نشده است. زارع و همکاران (Zarea et al., 2006) روند تغییرات سطح زیر کشت، عملکرد و تولید غلات کشور را در یک دوره ۳۰ ساله بدون ارزیابی بهره‌وری نهاده‌ها بررسی و مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند.

آگاهی از روند دراز مدت تغییر در بهره‌وری نهاده‌های شیمیایی (به‌ویژه کودها) برنامه‌ریزان را قادر خواهد ساخت تا با ارائه الگوهای نوین ضمن کاهش خطرات و پیامدهای زیست محیطی مصرف بی‌رویه این نهاده‌ها عملکرد محصولات زراعی را در سطح مطلوب حفظ کنند. با این وجود بررسی منابع علمی نشان می‌دهد که در ایران تا کنون نتایج منتشر شده‌ای در مورد بهره‌وری کودهای شیمیایی در مقیاس ملی در اختیار نمی‌باشد. بنابراین، هدف از اجرای این تحقیق ارزیابی بهره‌وری کود نیتروژن و روند تغییرات آن در نظام‌های تولید گندم (*Triticum aestivum* L.) کشور می‌باشد.

مواد و روش‌ها

داده‌های مورد استفاده در این تحقیق از پایگاه اطلاعاتی وزارت جهاد کشاورزی، بانک‌های اطلاعاتی و سالنامه‌های آماری کشاورزی کشور استخراج شده اند. این داده‌ها شامل عملکرد و میزان مصرف کود نیتروژنی در واحد سطح در بوم نظام‌های تولید گندم (*Triticum aestivum*) کشور برای دوره ۴۰ ساله ۱۳۵۰ تا ۱۳۸۹ می‌باشد. در منابع آماری مربوط به نهاده‌های شیمیایی، نوع کود مصرفی ذکر نشده است، ولی با توجه به اینکه بخش عمده کودهای نیتروژنی مورد استفاده در کشور اوره می‌باشد در این مطالعه میزان نیتروژن خالص در واحد سطح بر مبنای این نوع کود محاسبه شد.

روند تغییرات عملکرد و مصرف کود نیتروژنی: این روند در طی دوره مطالعه بر اساس سری زمانی و با برازش رگرسیون خطی بین عملکرد و زمان (سال) محاسبه شد که در آن ضریب رگرسیون (شیب خط) نشان‌دهنده میزان افزایش سالانه عملکرد گندم (کیلوگرم دانه در هکتار در سال) در طی دوره زمانی است (Hafner, 2003). روند محاسبه‌شده از طریق رگرسیون بیانگر افزایش عملکرد ناشی از مجموعه روش‌های به‌نژادی (اصلاح ارقام جدید و پر محصول) و به‌زراعی شامل انواع مدیریت‌های زراعی از جمله مصرف کودهای نیتروژنی در طی دوره بررسی می‌باشد. روند مصرف کودهای نیتروژنی نیز به شکل مشابهی بر اساس رگرسیون بین کود مصرف شده در واحد سطح و زمان به‌دست آمد. البته برای توصیف بهتر این روند از رگرسیون قطعه‌ای استفاده شد.

روند آینده مصرف کودهای نیتروژنی در کشور نیز تا سال ۱۴۰۰ شمسی با استفاده از سری‌زمانی و به روش وینترز[1] و با مدل افزایشی پیش‌بینی شد. سه پارامتر لازم برای الگوهای فصلی، روند و سطح به‌نحوی انتخاب شدند که در مدل افزایشی بهترین برازش به داده‌های سری زمانی حاصل شود (Walker, 1989).

بهره‌وری جزئی نیتروژن[2]: بهره‌وری جزئی نیتروژن (PNP) نسبت عملکرد دانه به میزان نیتروژن کودی مصرف شده است (Cassman et al., 2002) که بر اساس داده‌های عملکرد و میزان نیتروژن خالص مصرف‌شده در واحد سطح برای هر سال محاسبه شد و روند تغییرات آن در طی چهار دهه گذشته برآورد گردید. به‌علاوه رابطه رگرسیونی بین عملکرد گندم (GY) و میزان کود مصرفی متناظر با آن (N_f) نیز تعیین گردید (معادله ۱):

$$GY = a + PNP \times N_f \qquad (۱)$$

شیب این رابطه خطی نسبت عملکرد گندم به‌ازای واحد کود مصرفی بوده و نشان‌دهنده میانگین بهره‌وری جزئی نیتروژن (*PNP*، کیلوگرم دانه به‌ازای کیلوگرم نیتروژن مصرف شده) می‌باشد (Cassman et al., 2002).

کارایی مصرف نیتروژن[3]: کارایی مصرف نیتروژن (NUE کیلوگرم دانه به‌ازای کیلوگرم نیتروژن مصرف شده) مشابه بهره‌وری نسبت عملکرد دانه به نیتروژن مصرف شده است با این تفاوت‌که در محاسبه آن تفاوت عملکرد حاصل از مصرف نیتروژن کودی و عملکرد حاصل از نیتروژن موجود در خاک به‌کار می‌رود (Moll et al., 1982) (معادله ۲):

1- Winters
2- Partial nitrogen productivity
3- Nitrogen use efficiency

$$NUE = \frac{GY_{fertilized} - GY_{unfertilized}}{N_f} \quad (۲)$$

که در آن، $GY_{fertilized}$: عملکرد دانه با مصرف نیتروژن، $GY_{unfertilized}$: عملکرد دانه بدون مصرف نیتروژن می‌باشند. در آزمایش‌های مزرعه‌ای عملکرد بدون مصرف کود از تیمار شاهد به‌دست می‌آید ولی در این مطالعه که چنین تیماری وجود ندارد، عرض از مبداء خط رگرسیون بین عملکرد دانه و میزان کود مصرف شده (معادله ۱) به‌عنوان $GY_{unfertilized}$ در نظر گرفته شد.

کارایی جذب نیتروژن[1]: کارایی جذب یا بازیافت نیتروژن[2] (NUpE، درصد) از معادله ۳ به‌دست آمد (Moll et al., 1982):

$$NUpE = \frac{N_u}{N_f} \times 100 \quad (۳)$$

که در آن، N_u: نیتروژن جذب شده توسط گیاه (کیلوگرم در هکتار) و N_f: مقدار نیتروژن کودی مصرف شده (کیلوگرم در هکتار) می‌باشند. جهت تخمین مقدار نیتروژن جذب شده ابتدا عملکرد ماده خشک سالانه با تقسیم عملکرد دانه بر شاخص برداشت محاسبه شد. تفاضل عملکرد ماده خشک از عملکرد دانه، عملکرد کاه برای هر سال خواهد بود. در نهایت، نیتروژن جذب شده توسط گیاه از جمع نیتروژن دانه (درصد نیتروژن دانه×عملکرد دانه) و نیتروژن کاه (درصد نیتروژن کاه×عملکرد کاه) به‌دست آمد. زند (Zand et al., 2001) با مقایسه ارقام قدیمی و جدید گندم ایران نشان داد که شاخص برداشت این گیاه در جریان به‌نژادی بهبود یافته است. بر این اساس شاخص برداشت گندم برای دوره زمانی ۱۳۶۵-۱۳۵۰ (ارقام قدیمی) معادل ۳۷ درصد (Zand et al., 2001) و برای سال‌های ۱۳۸۹-۱۳۶۶ (ارقام جدید) برابر ۴۵ درصد (Naderi et al., 2006; Zand et al., 2001) در نظر گرفته شد. میزان نیتروژن دانه و کاه نیز مشابه شاخص برداشت در دوره اول به ترتیب ۲/۱ و ۰/۹ درصد و برای دوره دوم به ترتیب ۲/۳ و ۱ درصد در نظر گرفته شد (Naderi et al., 2006).

کارایی استفاده از نیتروژن[3]: کارایی استفاده (NUtE، کیلوگرم دانه به‌ازای کیلوگرم نیتروژن جذب شده) که به کارایی فیزیولوژیکی نیتروژن نیز موسوم است از معادله ۴ محاسبه شد (Moll et al., 1982):

$$NUtE = \frac{GY_{fertilized} - GY_{unfertilized}}{N_u} \quad (۴)$$

سهم نیتروژن کودی در افزایش عملکرد: سهم خالص کودهای نیتروژنی در افزایش عملکردگندم از معادله ۵ محاسبه شد (Bell et al., 1995):

$$C_N = \frac{PNP \times N_f}{GY} \times 100 \quad (۵)$$

که در آن، C_N: سهم سالانه نیتروژن کودی در افزایش عملکرد (٪)، PNP: بهره‌وری جزئی نیتروژن (کیلوگرم دانه به‌ازای کیلوگرم نیتروژن مصرف شده)، N_f: مقدار نیتروژن مصرف شده (کیلوگرم نیتروژن در هکتار در سال) و GY: عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) می باشند. به‌علاوه تغییرات سالانه سهم نیتروژن در افزایش عملکرد گندم نیز از طریق رگرسیون مورد ارزیابی قرار گرفت.

محاسبات مربوط به آنالیز سری زمانی و پیش‌بینی‌های آینده با استفاده از نرم افزار MINITAB ver 17.0 و برازش کلیه معادلات رگرسیون با استفاده از نرم افزار Sigma Stat ver.1.0 انجام شد.

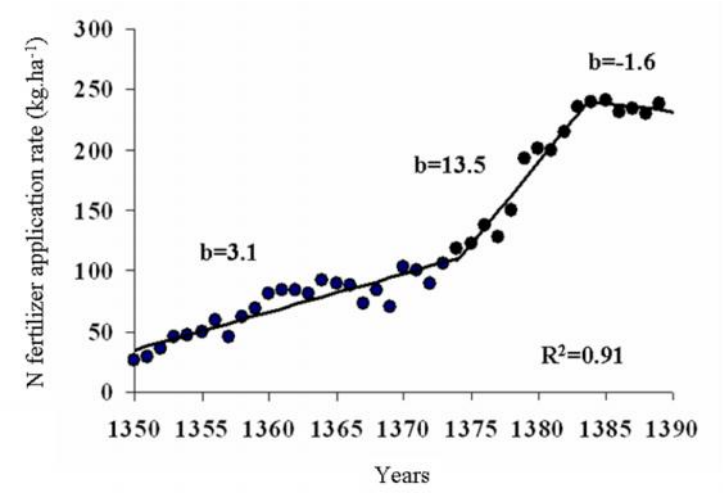
نتایج و بحث

روند مصرف کودهای نیتروژنی و عملکرد گندم: در فاصله سال‌های ۱۳۵۰ تا ۱۳۸۹ میانگین مصرف کودهای نیتروژنی در نظام‌های تولید گندم کشور از حدود ۲۶ به ۲۴۰ کیلوگرم در هکتار رسیده است. توصیف دقیق‌تر این روند با استفاده از مدل رگرسیون قطعه‌ای که برازش مطلوبی به داده‌ها داشت (r^2=۰/۹۱) نشان داد که روند تغییرات میزان مصرف کودهای نیتروژنی دارای سه دوره متمایز می‌باشد (شکل ۱). در طی اولین دوره (سال‌های ۷۵-۱۳۵۰) افزایش سالانه میزان مصرف کود نسبتاً اندک و برابر ۳/۱ کیلوگرم در هکتار در سال بوده است.

به‌دنبال آن افزایش قابل ملاحظه‌ای در مصرف کودهای نیتروژن بروز کرده به‌طوری‌که در طی دوره ۱۰ ساله ۸۵-۱۳۷۵ رشد سالانه مصرف این نوع کود با ۴/۵ برابر افزایش بیش از ۱۳/۵ کیلوگرم در هکتار بوده و در نتیجه در سال ۱۳۸۵ میانگین مصرف این کودها در مزارع گندم کشور به بالاترین سطح خود در طی دوره بررسی یعنی حدود ۲۴۰ کیلوگرم در هکتار رسیده است. نهایتاً در طی پنج سال انتهایی روند نزولی کاربرد کود، موجب کاهش نسبی مصرف این نهاده به میزان ۱/۶ کیلوگرم در هکتار در سال در اراضی زیر کشت گندم

1- Nitrogen uptake efficiency
2- Nitrogen recovery
3- Nitrogen utilization efficiency

ایران شده است (شکل ۱).

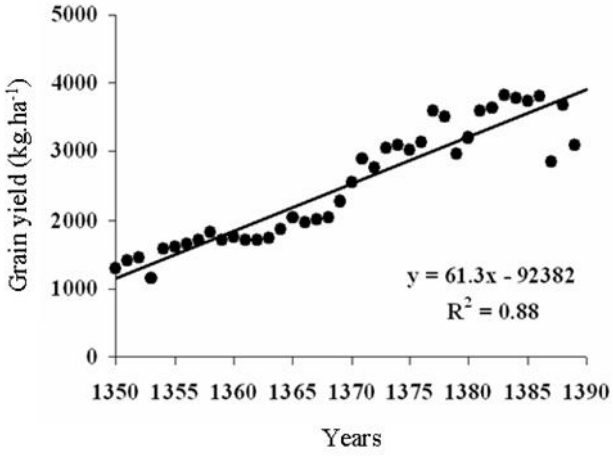


شکل ۱- روند تغییرات میزان مصرف کودهای نیتروژنی در اراضی زیر کشت گندم کشور در فاصله سال‌های ۸۹-۱۳۵۰ که با برازش مدل رگرسیون قطعه‌ای به داده‌ها به‌دست آمده است

شیب هر یک از خطوط (b) بسته به علامت آن میزان افزایش یا کاهش مصرف کود را بر حسب کیلوگرم در هکتار در سال نشان می‌دهد، R^2 ارائه شده در شکل مربوط به مدل رگرسیون قطعه‌ای است.

Fig. 1- Time course (1970-2010) of nitrogen fertilizer application rate in wheat production systems of Iran fitted by segmented regression

Slope of each segment (b) depending on the signs show the rate of change ($kg.ha^{-1}.y^{-1}$). R^2 of the full regression model is also given.



شکل ۲- روند تغییرات عملکردگندم کشور در فاصله سال‌های ۸۹-۱۳۵۰ با برازش مدل رگرسیون خطی به داده‌ها

شیب خط میزان افزایش عملکرد دانه را بر حسب کیلوگرم در هکتار در سال نشان می‌دهد.

Fig. 2- Changes over time (1970-2010) in wheat yield over the country fitted to a linear regression

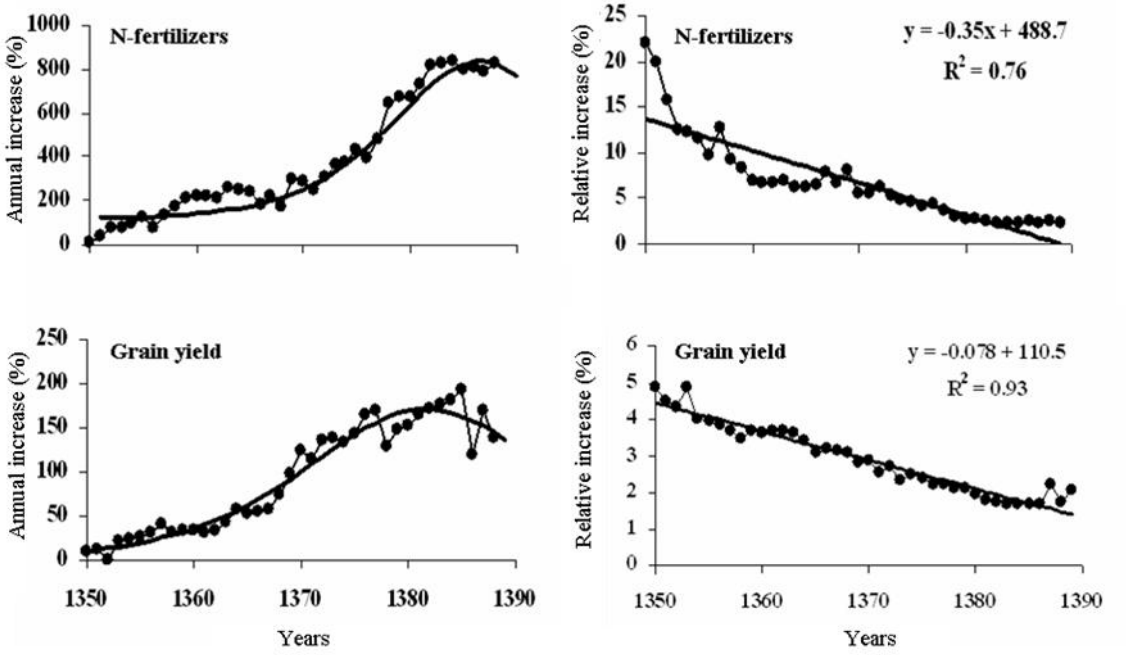
Slope shows yield increment ($kg.ha^{-1}.y^{-1}$).

طی این دوره ۴۰ ساله عملکرد گندم نیز به‌طور چشمگیری در کشور افزایش یافته و با رشدی معادل ۶۱/۳ کیلوگرم در هکتار در سال، از ۱۳۰۰ به ۳۸۰۰ کیلوگرم در هکتار رسیده و بالاترین مقدار آن مربوط به اوایل دهه ۸۰ می‌باشد (شکل ۲). میانگین افزایش سالانه عملکرد گندم در جهان در سال ۲۰۰۰ میلادی (۱۳۸۰ شمسی) معادل ۴۳ کیلوگرم در هکتار در سال بوده (Cassman et al., 2002) که پایین‌تر از ایران می‌باشد در همین سال رشد عملکرد گندم در چین ۹۲، در فرانسه ۱۲۸، در هند ۵۲ و در آمریکا ۲۶ کیلوگرم در هکتار در

سال برآورد شده (Cassman, 2001) که نشان‌دهنده تفاوت‌های چشمگیر بین کشورها می‌باشد.

تبدیل داده‌های روند افزایش مصرف کود (شکل ۱) و عملکرد دانه (شکل ۲) به درصد افزایش نسبت به سال مبداء (۱۳۵۰) نشان داد که طی ۴۰ سال گذشته مصرف کودهای نیتروژنی در مزارع گندم کشور سالانه ۲۲/۴ درصد افزایش داشته درحالی‌که این افزایش برای عملکرد گندم پنج درصد در سال یعنی در حدود یک چهارم رشد کود بوده است به‌علاوه درصد تغییرات نسبت به سال مبداء در مورد هر دو متغیر در حال کاهش می‌باشد (شکل ۳) و این کاهش برای عملکرد دانه از ابتدای دهه ۸۰ و برای کودهای نیتروژنی از اواسط دهه ۸۰ آغاز شده است.

نتایج ارائه شده در شکل‌های ۱ و ۲ نشان می‌دهد که در طی چهار دهه گذشته میانگین رشد سالانه عملکرد و مصرف کود به ترتیب ۲/۹ و۶/۹ درصد بوده در نتیجه مصرف کودهای شیمیایی نیتروژنی در بوم‌نظام‌های تولید گندم ایران ۹/۲ برابر شده درحالی‌که در همین دوره زمانی عملکرد گندم ۳/۴ برابر افزایش یافته است. کاسمن (Cassman, 2001) با ارزیابی تغییرات عملکرد غلات جهان نشان داد که در طی سال‌های ۲۰۰۰-۱۹۶۰ (۱۳۸۰-۱۳۴۰) عملکرد گندم در جهان سه برابر، در چین چهار برابر، در هند ۲/۵ برابر و در آمریکا ۱/۵ برابر شده است بنابراین افزایش عملکرد گندم در ایران نسبت به سایر کشورهای جهان در وضعیت قابل قبولی قرار دارد ولی نرخ افزایش مصرف کودهای نیتروژن در بوم‌نظام‌های تولید گندم کشور در چهار دهه گذشته بسیار بالا بوده است.



شکل ۳- تغییرات درصد رشد سالانه مصرف کودهای نیتروژنی (چپ، بالا) و عملکرد گندم (چپ، پایین) کشور در فاصله سال‌های ۸۹-۱۳۵۰

درصد رشد نسبت به سال مبداء (۱۳۵۰) محاسبه شده و مدل سیگموئیدی برازش شده به داده‌ها نشان‌دهنده روند تغییرات است

در شکل سرعت نسبی رشد مصرف کود (راست، بالا) وعملکرد گندم (راست، پایین) همراه با روند خطی تغییرات نیز نشان داده شده است.

Fig. 3- Annual increase in N-fertilizer application (top left) and yield (down left) of wheat during 1970-2010

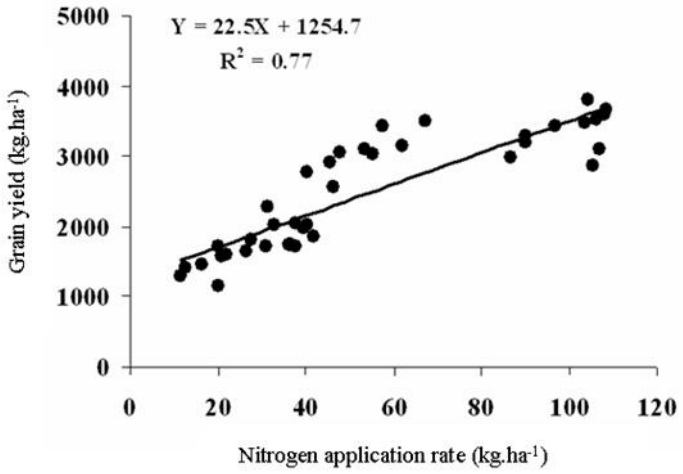
Calculated as percentage of reference year (1970) and fitted to a sigmoid curve

Relative growth rates for N-fertilizer (top right) and yield (down right), the trend lines are also presented.

روند مصرف کود نیتروژن در کشور تا حد زیادی با الگوی جهانی آن انطباق دارد زیرا مصرف کودهای نیتروژنی در فاصله سال‌های ۲۰۰۰-۱۹۷۰ میلادی (۱۳۹۰-۱۳۵۰ شمسی) در جهان ۲/۷ برابر و در کشورهای در حال توسعه ۶ برابر شده و پیش‌بینی می‌شود که این مقدار در سال ۲۰۳۰ نسبت به سال ۱۹۷۰ میلادی هشت برابر شود (Tenkorang & DeBoer, 2009). به‌علاوه در سال ۲۰۱۰ در حدود

۳۸ درصد از کل کودهای شیمیایی جهان بر روی غلات (گندم، برنج (*Oryza sativa* L.) و ذرت (*Zea mays* L.)) و ۲۱ درصد آن روی گندم مصرف شده (FAO, 2010) و در ایران نیز بیش از ۴۰ درصد کودهای نیتروژتی در تولید غلات و ۶۰ درصد از این مقدار در گندم به‌کار می‌رود (SYBAKRP, 2011). به‌علاوه، رشد جهانی کوهای شیمیایی در فاصله سال‌های ۱۹۹۰–۱۹۶۰ در جهان و در کشورهای در حال توسعه به ترتیب ۵/۵ و ۱۰/۵ درصد بوده که در سال ۲۰۰۸ با کاهش چشمگیر به‌ترتیب به ۱/۵ و ۲/۴ درصد رسیده، در همین سال رشد سالانه مصرف کودهای نیتروژنی در جهان ۱/۸۱ و در آسیا ۲/۴۵ درصد بوده است (Tenkorang & DeBoer, 2009). نتایج این تحقیق نیز نشان داد که میانگین رشد سالانه مصرف کود نیتروژن در تولید گندم کشور در فاصله ۱۹۹۰–۱۹۶۰ معادل ۱۱/۲ درصد بوده و در سال ۲۰۱۰ (۱۳۹۰) به سه درصد کاهش یافته است (شکل ۳).

بهره‌وری نیتروژن: نتایج نشان داد که در طی ۴۰ سال گذشته واکنش عملکرد گندم به مصرف کودهای نیتروژن مثبت و به‌طور متوسط معادل ۲۲/۵ کیلوگرم دانه به‌ازای کیلوگرم نیتروژن خالص مصرفی بوده است (شکل ۴). در شکل ۵ روند تغییرات بهره‌وری نیتروژن در طی دوره زمانی مطالعه ارائه شده است. وجود رابطه منفی و معنی‌دار نشان‌دهنده کاهش بهره‌وری جزئی این نوع کود در نظام‌های تولید گندم کشور در طی ۴۰ سال گذشته است. در دهه ۵۰ خورشیدی یعنی دوره‌ای که میزان مصرف کود در این نظام‌ها بسیار پایین و در حدود ۲۰ تا ۵۰ کیلوگرم در هکتار بوده است (شکل ۱). بهره‌وری این نوع کود نسبتاً بالا و در محدوده۳۲ تا ۲۸ کیلوگرم دانه به‌ازای کیلوگرم نیتروژن می‌باشد. افزایش مصرف کود نیتروژن در طی ۴۰ سال گذشته باعث شده تا بهره‌وری این نهاده کاهش یافته و به میزان فعلی یعنی ۲۲ کیلوگرم دانه به‌ازای کیلوگرم نیتروژن برسد. شیب خط رگرسیون مربوط به تغییرات بهره‌وری در طی زمان نیز منفی و معادل ۰/۱۹۳– کیلوگرم دانه به‌ازای کیلوگرم نیتروژن در سال به‌دست آمد (شکل ۵). این امر نشان می‌دهد که عملکرد حاصل از مصرف هر کیلو نیتروژن سالانه ۰/۱۹۳ کیلوگرم کاهش یافته است. روند بهره‌وری جزئی نیتروژن در واقع بیانگر آن است که هر سال برای حصول عملکردی معادل سال قبل از آن به‌طور متوسط به چند کیلوگرم نیتروژن بیشتر نیاز خواهد بود. بر این اساس در سال ۱۳۸۹، به ۱/۳ کیلوگرم نیتروژن نیاز بوده است تا بتواند عملکردی معادل یک کیلوگرم نیتروژن در سال ۱۳۵۰ تولید کند.



شکل ٤- رابطه بین عملکرد گندم و میزان نیتروژن خالص مصرف شده بر اساس داده‌های ٤٠ ساله (۱۳۸۹-۱۳۵۰)

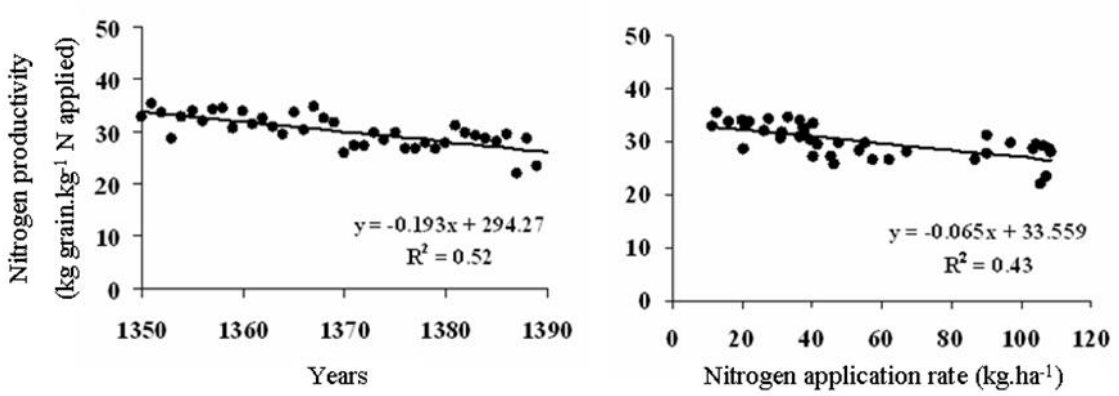
شیب خط رگرسیون نشان‌دهنده بهره‌وری جزئی نیتروژن (PNP، کیلوگرم دانه به‌ازای کیلوگرم نیتروژن مصرف شده) می‌باشد.

Fig. 4- The relation between wheat yield and applied N over the country using four decades data (1970-2010)

Slope of the regression line indicates partial nitrogen productivity (PNP, kg grain.kg^{-1} applied N).

ارزیابی بهره‌وری جزئی نیتروژن بر حسب میزان نیتروژن کودی (شکل ۵) نیز مؤید همین وضعیت است. شیب خط رگرسیون (۰/۰۶۵–) نشان می‌دهد که با افزایش هر یک کیلوگرم نیتروژن به مقدار مصرف، بهره‌وری این نهاده در تولید گندم به میزان ۰/۰۶۵

کیلوگرم کاهش می‌یابد و در نتیجه با افزایش مصرف نیتروژن، بهره‌وری جزئی آن از ۳۴ به ۲۷ کیلوگرم دانه به‌ازای هر کیلوگرم نیتروژن تقلیل یافته است. بنابراین، به‌نظر می‌رسد افزایش چشمگیر مصرف نیتروژن در طی ۴۰ سال گذشته نقش مهمی در کاهش بهره‌وری جزئی این نهاده در بوم‌نظام‌های تولید گندم کشور داشته است.



شکل ۵- روند تغییرات بهره‌وری جزئی نیتروژن در طی زمان (چپ) و بر حسب میزان نیتروژن مصرف شده در واحد سطح (راست)

شیب خط رگرسیون (کیلوگرم دانه به‌ازای کیلوگرم نیتروژن در سال یا به‌ازای هر واحد نیتروژن) میزان کاهش بهره‌وری را مشخص می‌سازد.

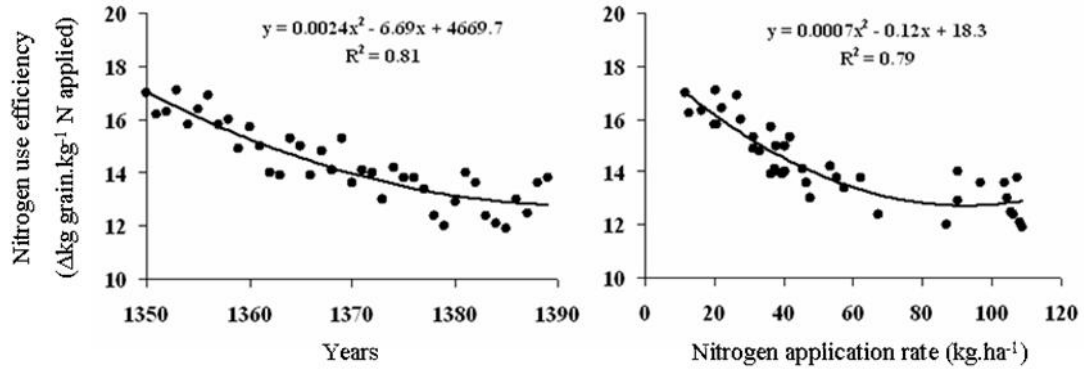
Fig. 5- Changes in partial nitrogen productivity (PNP) over time (left) and in response to N application rate (right)

Slope of the regression line (kg grain.kg^{-1} N.y^{-1} or kg^{-1} N) indicates the reduction in PNP.

با وجودی‌که رابطه عملکرد با میزان مصرف نیتروژن کودی مثبت و معنی‌دار است (شکل ۲)، ولی شیب این خط که نشان‌دهنده بهره‌وری نیتروژن می‌باشد، نسبتاً پایین و در حدود ۲۲/۵ کیلوگرم دانه به‌ازای کیلوگرم کود نیتروژن مصرف شده می‌باشد. البته مقادیر کارایی که در آزمایش‌های ایستگاهی و در مقیاس کرت محاسبه می‌شود معمولاً بالاتر است (Cassman et al., 2002). برای مثال، کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2013) با اجرای فراتحلیل بر روی نتایج آزمایشات کودی مربوط به غلات در کشور، میانگین بهره‌وری نیتروژن در گندم را ۲۹ کیلوگرم دانه به‌ازای کیلوگرم نیتروژن مصرف شده به‌دست آوردند. جینگ و همکاران (Jing et al., 2007) نشان دادند که بهره‌وری جزیی نیتروژن در برنج ۶۰-۵۰ کیلوگرم دانه به‌ازای کیلوگرم نیتروژن مصرف شده می‌باشد، در حالی‌که دوبرمن و همکاران (Dobermann et al., 2005) بهره‌وری جزیی نیتروژن در بوم‌نظام‌های برنج آسیا را در حدود ۲۶ کیلوگرم دانه به‌ازای نیتروژن مصرف شده گزارش کردند. سیلوستر-برادلی و کایندرد (Sylvester-Bradley & Kindred, 2009) بهره‌وری نیتروژن در بوم‌نظام‌های تولید گندم در کشور انگلستان را ۲۵ کیلوگرم دانه به‌ازای کیلوگرم نیتروژن مصرف شده برآورد کردند که با نتایج این تحقیق قابل مقایسه است.

کاسمن و همکاران (Cassman et al., 2002) با بررسی روند بهره‌وری جزیی نیتروژن در بوم‌نظام‌های تولید ذرت آمریکا نشان دادند که از سال ۱۹۷۰ میلادی که میزان مصرف کود نیتروژن به ثبات رسیده و عملکرد ذرت در حال افزایش بود، بهره‌وری نیتروژن در این کشور روندی صعودی یافت ولی قبل از این تاریخ به دلیل بالاتر بودن میزان مصرف کود نسبت به سرعت افزایش عملکرد بهره‌وری نیتروژن در حال کاهش بود. نتایج تحقیق حاضر نیز نشان می‌دهد که سرعت افزایش مصرف کود در کشور بیشتر از افزایش سالانه عملکرد گندم بوده و علی‌رغم افزایش قابل ملاحظه عملکرد گندم در طی ۴۰ سال گذشته، بهره‌وری کودهای نیتروژن در نظام‌های تولید این محصول در حال کاهش است و علت اصلی آن افزایش میزان مصرف این نوع کود در واحد سطح می‌باشد.

کارایی مصرف نیتروژن: میانگین ۴۰ ساله این کارایی در بوم‌نظام‌های تولید گندم کشور ۱۴/۳ کیلوگرم دانه به‌ازای کیلوگرم نیتروژن مصرف شده بود و در طول زمان و نیز با افزایش مصرف کود با فرم درجه دو کاهش یافت (شکل ۶).



شکل ٦- روند تغییرات کارایی مصرف نیتروژن در طی زمان (چپ) و بر حسب میزان نیتروژن مصرف شده (راست)

علامت Δ اختلاف عملکرد گندم با و بدون مصرف کود را مشخص می کند، عملکرد بدون کود معادل عرض از مبدا خط رگرسیون در شکل ۴ در نظر گرفته شد.

Fig. 6- Changes in nitrogen use efficiency over time (left) and in response to N application rate (right)

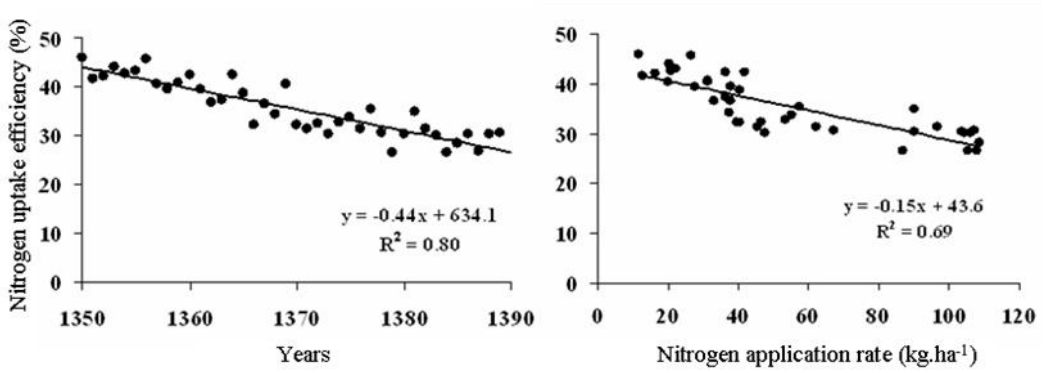
The sign indicates the difference between yields with and without N fertilizer, the intercept of regression line shown in Fig. 4 was considered as wheat yield without N fertilizer.

البته این روند کاهشی در دهه ۸۰ به ثبات نسبی رسیده است که دلیل آن کاهش مصرف کودهای نیتروژن (شکل‌های ۱ و ۳) و تداوم افزایش عملکرد گندم در این دهه (شکل ۲) می‌باشد. چنین وضعیتی در مورد تغییرات کارایی مصرف نیتروژن بر حسب میزان نیتروژن مصرفی نیز مشاهده شد (شکل ۶) و با ثابت شدن مصرف نیتروژن در مقادیر ۱۰۰ تا ۱۱۰ کیلوگرم در هکتار، روند کاهشی در کارایی مصرف این نهاده به ثبات رسیده و حتی به‌طور جزیی افزایش یافته است.

به‌طورکلی غلات در استفاده از نیتروژن کارایی کمی دارند و برآوردها نشان می‌دهد که در این گیاهان به‌طور متوسط در حدود ۳۳ درصد از نیتروژن مصرف شده به‌وسیله دانه بازیافت می‌شود (Liu et al., 2010). به‌علاوه کارایی مصرف این نهاده در گندم در مقایسه با ذرت و برنج به دلیل داشتن مسیر فتوسنتزی C_3 و نیز بالاتر بودن میزان پروتئین دانه کمتر است (Cassman et al., 2002).کاهش کارایی مصرف نیتروژن با افزایش مصرف کود که در این مطالعه مشاهده شد توسط محققین مختلف به اثبات رسیده است برای مثال سوور و همکاران (Sower et al., 1994) در آزمایشی ایستگاهی کارایی مصرف نیتروژن گندم را در دامنه‌ای از مقادیر کود نیتروژن بین ۲۶ تا ۴۴ درصد به‌دست آورده و نشان دادند که این کارایی در حداکثر مقدار کود مصرفی (۱۴۰ کیلوگرم در هکتار) ۳۵ درصدکمتر از تیمار شاهد بدون کود بود. چنین نتیجه‌ای توسط لیو و همکاران (Lui et al., 2010) در مقیاس بوم‌نظام در کشور چین و به‌وسیله وایت و براون (White & Brown, 2010) در مقیاس جهانی نیز گزارش شده است. بنابراین به‌نظر می‌رسد کاهش کارایی مصرف نیتروژن در طی زمان نیز که در این تحقیق مشاهده شد عمدتاً ناشی از افزایش مصرف کود نیتروژن بوده است. فیکسن و وست (Fixen & West, 2002) گزارش کردند که در کشور چین در فاصله سال‌های ۱۹۵۸ تا ۱۹۸۳ کارایی مصرف نیتروژن در گندم از ۱۵ به ۱۰ و در ذرت از ۲۵ به ۱۳/۵ کیلوگرم دانه به‌ازای کیلوگرم نیتروژن مصرف شده کاهش یافته و این کاهش تا حد زیادی به‌دلیل افزایش مصرف کودهای نیتروژن است.

بازیافت نیتروژن: کارایی جذب یا بازیافت نیتروژن (کیلوگرم نیتروژن جذب شده به‌ازای کیلوگرم نیتروژن مصرف شده) در طی ۴۰ ساله گذشته روندی کاهشی داشته است. این روند منفی و معنی‌دار هم در رابطه بین کارایی جذب و سال و هم در رابطه کارایی جذب و میزان کود مصرفی به‌وضوح آشکار می‌باشد (شکل ۷). نتایج نشان می‌دهد که بازیافت نیتروژن در طول ۴۰ سال گذشته به‌طور متوسط به میزان ۰/۴۴ درصد در سال کاهش یافته و از حدود ۴۵ درصد در دهه ۵۰ به ۳۰ درصد در شرایط فعلی رسیده است. رابطه بین میزان مصرف کودهای نیتروژن و میزان جذب این نهاده نیز روندی کاهش داشت (شکل ۷). شیب این رابطه خطی نشان می‌دهد که به‌ازای هر کیلوگرم کود مصرفی بازیافت نیتروژن (کارایی جذب) به میزان ۰/۱۵ درصد کاهش می‌یابد و در نتیجه افزایش مصرف نیتروژن خالص از

حدود ۱۰ به ۱۱۲ کیلوگرم در هکتار این کارایی را ۱۵ درصد تقلیل داده است. لازم به‌ذکر است که میانگین این کارایی در فاصله سال‌های ۱۳۸۹–۱۳۵۰ معادل ۳۵/۵ درصد بوده است.



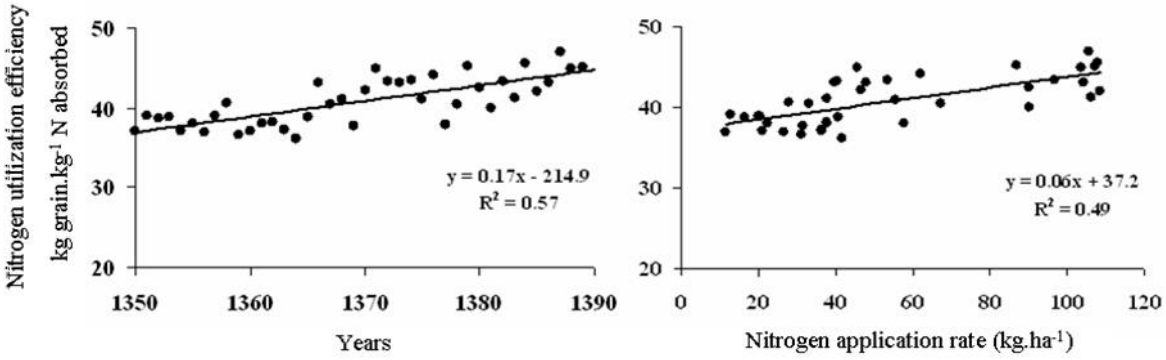
شکل ۷- روند تغییرات کارایی جذب (بازیافت) نیتروژن در طی زمان (چپ) و بر حسب میزان نیتروژن مصرف شده در واحد سطح (راست)

شیب خط رگرسیون (درصد در سال یا درصد به‌ازای هر واحد نیتروژن مصرف شده) میزان کاهش بازیافت را مشخص می‌سازد.

Fig. 7- Changes in nitrogen uptake efficiency (NUpE) over time (left) and in response to N application rate (right)

Slope of the regression line (percentage y^{-1} or percentage kg^{-1} N) indicates the reduction in NUpE.

کارایی استفاده از نیتروژن: میانگین این کارایی که نشان‌دهنده توانایی فیزیولوژیکی گیاه در تبدیل نیتروژن جذب شده به عملکرد می‌باشد، در بوم‌نظام‌های گندم کشور طی ۴۰ سال گذشته ۴۰/۷ کیلوگرم دانه به‌ازای کیلوگرم نیتروژن جذب شده بوده است. نتایج نشان داد که کارایی استفاده از نیتروژن در طی چهار دهه گذشته سالانه به میزان ۰/۱۷ کیلوگرم دانه به‌ازای کیلوگرم نیتروژن جذب شده افزایش یافته به‌علاوه رابطه آن با مقدار مصرف نیتروژن نیز شیبی مثبت معادل ۰/۰۶ داشته است (شکل ۸).



شکل ۸- روند تغییرات کارایی استفاده از نیتروژن (کارایی فیزیولوژیکی) در طی زمان (چپ) و بر حسب میزان نیتروژن مصرف شده در واحد سطح (راست)

شیب خط رگرسیون (کیلوگرم دانه به‌ازای کیلوگرم نیتروژن جذب شده در سال یا به‌ازای هر واحد نیتروژن مصرف شده) میزان تغییرات کارایی مصرف نیتروژن را مشخص می‌سازد.

Fig. 8- Changes in nitrogen utilization efficiency (NUtE) over time (left) and in response to N application rate (right)

Slope of the regression line (kg grain.kg^{-1} absorbed N y^{-1} or kg^{-1} N) indicates the increase in NUtE.

اسمیل (Smil, 1999) با انجام پژوهشی در مقیاس جهانی کارایی گیاهان زراعی را در بازیافت همه منابع نیتروژن (کود و سایر

منابع کودی نیتروژن)۵۰ درصد برآورد کرد، البته کاسمن و همکاران (Cassman et al., 2002) بیان داشتند از آن‌جا که منابع نیتروژن معدنی خاک در طول فصل رشد و بین سال‌های مختلف ثابت نمی ماند میزان بازیافت نیتروژن در این نوع برآوردها معمولاً بیشتر از مقدار واقعی است. داده‌های موجود در مورد کارایی جذب نیتروژن در مقیاس بوم‌نظام بسیار محدود می‌باشند برای مثال، دوبرمن و همکاران (Dobermann et al., 2002) با ارزیابی ۳۵۸ مزرعه برنج در شش کشورآسیا که به‌طور متوسط ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن دریافت می‌کردند، میانگین کارایی جذب را ۳۷ درصد برآورد کردند. میانگین بازیافت نیتروژن در ۲۱ مزرعه گندم در کشور هند با میانگین ۱۳۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار معادل ۲۹ درصد بود و میانگین این کارایی در ۵۵ مزرعه واقع در کمربند ذرت آمریکا با مصرف ۱۰۲ کیلوگرم نیتروژن در هکتار از ۳۷ درصد تجاوز نکرد (Cassman et al., 2002). نتایج تحقیق حاضر نیز نشان داد که کارایی جذب نیتروژن در بوم‌نظام‌های گندم ایران با میانگین مصرف ۱۱۲ کیلوگرم نیتروژن در هکتار ۳۱ درصد است که با نتایج فوق‌الذکر قابل مقایسه می‌باشد. البته مقادیر بسیار بالای کارایی جذب نیز گزارش شده است برای مثال، در انگلستان کارایی جذب نیتروژن برای گندم زمستانه ۶۵ درصد می‌باشد (Sylvester-Bradley & Kindred, 2009)، سالواگیوتی و همکاران (Salvagiotti et al., 2009) نیز کارایی بازیافت نیتروژن در بوم‌نظام‌های گندم آرژانتین را ۴۲ درصد گزارش کردند.

با وجودی‌که که در طی ۴۰ سال گذشته پیشرفت های ژنتیکی قابل توجهی در جهت افزایش عملکرد گندم حاصل شد (شکل ۲)، ولی بازیافت نیتروژن در طی این دوره روندی نزولی داشته است و کاهشی ۱۵ درصدی را نشان می‌دهد (شکل ۷). البته میانگین کارایی جذب نیتروژن در جهان نیز در طی دهه‌های گذشته کاهش یافته است. ایکهورت و همکاران (Eickhout et al., 2006) بیان داشتند که کارایی جذب کل منابع نیتروژنی (کودهای شیمیایی و آلی) در فاصله سال‌های ۱۹۷۰ تا ۱۹۹۵ میلادی در جهان از ۴۶ به ۴۲ درصد، در خاورمیانه از ۵۴ به ۴۷ درصد و در کشورهای در حال توسعه از ۵۳ به ۴۳ درصد رسیده است. از سوی دیگر در طی چهار دهه گذشته کارایی تبدیل (فیزیولوژیکی) نیتروژن در نظام‌های تولید گندم کشور در حدود ۷ کیلوگرم دانه به‌ازای کیلوگرم نیتروژن جذب شده افزایش یافته است (شکل ۸). به‌نظر می‌رسد همزمان با اصلاح ارقام جدید و پر محصول گندم در کشور کارایی تبدیل نیتروژن نیز به‌شکلی ناخودآگاه افزایش یافته است. بهبود کارایی تبدیل در ارقام جدید جو (*Hordeum vulgare* L.) در آرژانتین (Abeledo et al., 2008) و اسکاتلند (Sylvester-Bradley & Kindred, 2009) گزارش شده است، ولی در ارقام جدید گندم شمال اروپا (Muurinen et al., 2006) و نیز در کانادا (Bulman et al., 1993) مشاهده نشده است بنابراین، تأیید این امر مستلزم مطالعه دقیق‌تر بر روی ارقام جدید و قدیمی کشور می‌باشد.

کارایی مصرف نیتروژن حاصلضرب کارایی جذب (بازیافت) این نهاده در کارایی تبدیل آن است و شواهد آزمایشی نشان می‌دهد که با افزایش مصرف این نهاده هر دو جزء کارایی مصرف نیتروژن کاهش یافته ولی شدت کاهش در مورد کارایی جذب بیشتر از کارایی تبدیل نیتروژن می‌باشد (Biswas & Benbi, 1997; Stevens et al., 2005). لوپز بلیدو و لوپز بلیدو (Lopez-Bellindo & Lopez-Belindo, 2001) کارایی نیتروژن در گندم را تحت تأثیر سطوح مصرف نیتروژن در آب و هوای مدیترانه‌ای اسپانیا بررسی کردند. میانگین کارایی مصرف ۱۵/۸ کیلوگرم دانه به‌ازای نیتروژن مصرف شده بود که با افزایش مصرف کود به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. میانگین بازیافت نیتروژن ۴۶ درصد بود و بین سطوح صفر و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن از ۶۱ به ۳۴ درصد رسید در حالی‌که کارایی تبدیل به‌طور متوسط ۳۴ کیلوگرم دانه به‌ازای کیلوگرم نیتروژن جذب شده بود و چندان تحت تأثیر میزان مصرف کود قرار نگرفت به‌طوری‌که تغییرات آن بین تیمارهای آزمایشی از دو واحد تجاوز نکرد.

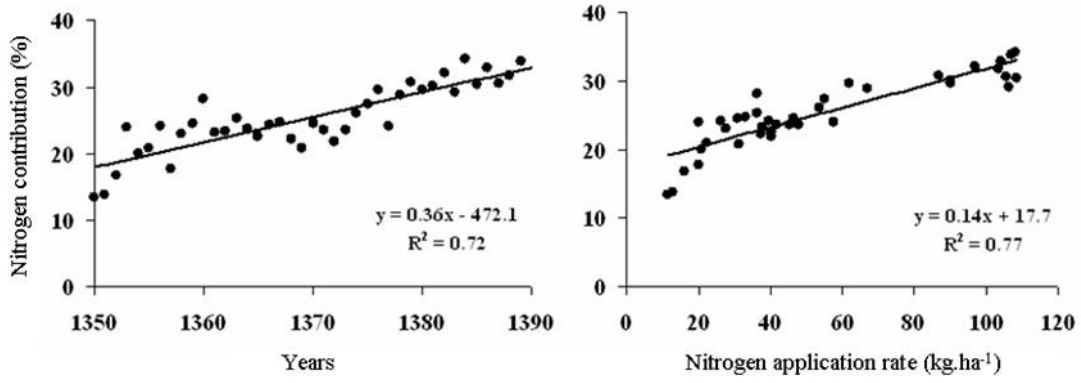
گاجو و همکاران (Gaju et al., 2011) با ارزیابی صفات مرتبط با کارایی مصرف نیتروژن در ۱۶ ژنوتیپ گندم در طی دو سال و در چهار منطقه انگلستان نشان دادند که کارایی فیزیولوزیکی نیتروژن از تنوع زیادی برخوردار است و در ژنوتیپ‌های تحت بررسی بین ۵۲-۳۴ کیلوگرم دانه به‌ازای کیلوگرم نیتروژن جذب شده در تغییر بود. این محققین نتیجه‌گیری کردند که کارایی مصرف نیتروژن عمدتاً تابع کارایی تبدیل این نهاده می‌باشد. باراکلو و همکاران (Barraclough et al., 2010) نیز با بررسی ۳۹ ژنوتیپ گندم طی چهار سال در مقادیر نیتروژن بین صفر تا ۳۵۰ کیلوگرم در هکتار نشان دادند کارایی مصرف نیتروژن در تمام سطوح نیتروژن تابع کارایی تبدیل بود و بیان داشتند که کارایی فیزیولوژیکی نیتروژن نقش کلیدی در شکل‌گیری عملکرد دانه دارد. بینگهام و همکاران (Bingham et al., 2005) با

مطالعه ۱۵ واریته جو در اسکاتلند سهم کارایی تبدیل و کارایی جذب را در تغییرات کارایی مصرف نیتروژن بین ژنوتیپ‌های تحت بررسی و در تمام سطوح نیتروژن به ترتیب ۶۰ و ۴۰ درصد برآورد کردند.

از سوی دیگر ویت کامب و همکاران (Witcombe et al., 2008) بیان داشتند که به‌طور کلی در شرایط عرضه محدود نیتروژن، کارایی مصرف نیتروژن عمدتاً به بازیافت آن و در شرایط مصرف زیاد این نهاده به کارایی تبدیل آن وابسته است. این وضعیت در ارزیابی ۱۰ واریته گندم در مکزیک (اورتیز–موناستریو و همکاران، ۱۹۹۷)، ۲۰ واریته گندم در فرانسه (Le Gouis et al., 2000) و ۴۰ واریته گندم در فنلاند (Muurinen et al., 2006) گزارش شده و در جو (Anbessa et al., 2009; Sinebo et al., 2004) و کلزا (Brassica napus) (Erley et al., 2011; Horst et al., 2003) نیز به تأیید رسیده است. البته گالایس و کوکه (Gallais & Coque, 2005) نشان دادند که در ذرت کارایی مصرف نیتروژن در مقادیر بالای مصرف این نهاده به کارایی جذب وابسته بوده درحالی‌که در سطوح کم نیتروژن کارایی جذب و تبدیل سهم یکسانی در توصیف کارایی مصرف نیتروژن دارند.

نتایج تحقیق حاضر نیز در انطباق با شواهد فوق نشان داد که در دهه‌های ۵۰ تا ۸۰ یعنی دوره‌ای که میزان مصرف نیتروژن در بوم-نظام‌های گندم کشور پایین بوده (شکل ۱) کارایی مصرف نیتروژن با تبعیت از کارایی بازیافت روندی کاهشی را دنبال کرده است، در حالی‌که در دهه ۸۰ با افزایش مصرف نیتروژن به بالاتر از ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار، کارایی مصرف آن عمدتاً به کارایی تبدیل وابسته بوده و در نتیجه تا حدودی افزایش یافته است (شکل ۶). در واقع در طی ۴۰ سال گذشته کارایی جذب نیتروژن در نظام‌های تولید گندم کشور کاهش و در مقابل کارایی تبدیل آن افزایش یافته است، ولی چون سرعت کاهش بازیافت بر سرعت افزایش کارایی تبدیل غلبه داشته، کارایی مصرف نیتروژن روندی نزولی را دنبال کرده است. بنابراین، به‌نظر می‌رسد که کاهش کارایی مصرف نیتروژن در پاسخ به مصرف کود عمدتاً ناشی از کاهش کارایی جذب بوده است.

سهم نسبی نیتروژن در افزایش عملکرد گندم: با افزایش مصرف کودهای نیتروژنی، سهم نسبی این نهاده در عملکرد گندم کشور افزایش یافته است. شیب خط رگرسیون مربوط به روند معادل ۰/۳۶ است و بر این اساس هر سال ۰/۳۶ درصد به سهم نیتروژن در افزایش عملکرد گندم اضافه شده به‌طوری‌که میانگین سهم نسبی نیتروژن (در مقایسه با سایر نهاده‌ها) در دهه ۵۰ در حدود ۲۴ درصد بوده در حالی‌که در دهه ۸۰ به‌طور متوسط ۳۲ درصد عملکرد گندم به اتکاء کودهای نیتروژنی شکل گرفته است (شکل ۹). سهم نیتروژن با افزایش هر کیلوگرم نیتروژن مصرفی نیز ۰/۱۴ درصد بیشتر شده است (شکل ۹) در مقادیر کم‌مصرف نیتروژن این سهم بسیار اندک و در حدود ۱۰ درصد برآورد شد، در حالی‌که در سطوح بالای مصرف نیتروژن از ۳۰ درصد نیز تجاوز کرد.



شکل ۹- روند تغییرات سهم نسبی نیتروژن در افزایش عملکرد گندم در طی زمان (چپ) و بر حسب میزان نیتروژن مصرف شده در واحد سطح (راست)

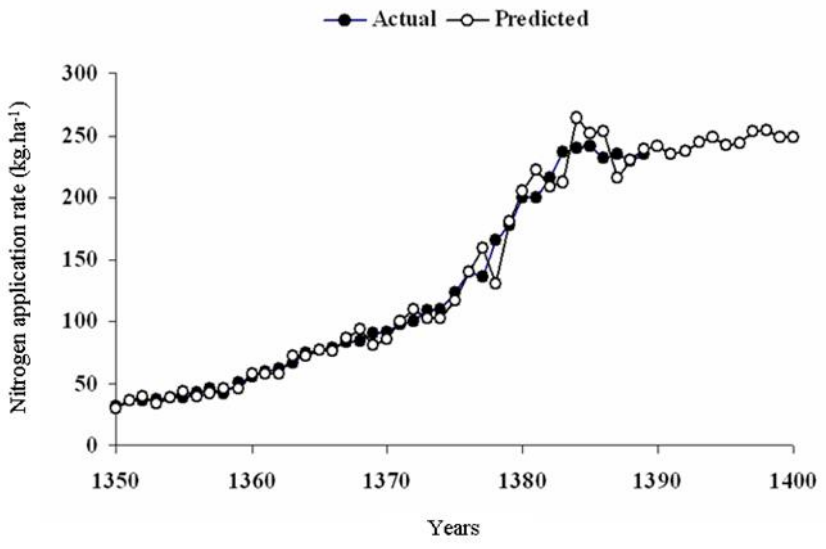
شیب خط رگرسیون (درصد در سال یا درصد به‌ازای هر واحد نیتروژن مصرف شده) میزان افزایش سهم نیتروژن را مشخص می کند.

Fig. 9- Changes in nitrogen contribution in increment of wheat yield over time (left) and in response to N application rate (right)

Slope of the regression line (percentage.y^{-1} or percentage.kg^{-1} N) indicates the reduction in N contribution.

بل و همکاران (Bell et al., 1995) در تحقیقی در مورد نقش نهاده‌های مختلف در شکل‌گیری عملکرد، سهم کود نیتروژن را برای گندم در مکزیک ۴۸ درصد محاسبه کردند و بیان داشتند که افزایش سهم نیتروژن در عملکرد گندم ناشی از کاهش کارایی جذب این نهاده می‌باشد. به‌نظر می‌رسد که کاهش بهره‌وری و بازیافت نیتروژن نقش مهمی در افزایش سهم نسبی این نهاده در عملکرد گندم کشور داشته است. کاهش بهره‌وری نیتروژن که به‌نوبه خود ناشی از کاهش بازیافت آن می‌باشد (Dobermann et al., 2005) باعث خواهد شد که هر سال برای حفظ عملکرد در سطحی مشابه یا بالاتر از سال قبل به مصرف کود بیشتری نیاز باشد تا از این طریق کاهش بهره‌وری به‌وسیله کود بیشتر جبران گردد. در نتیجه در طی سال‌های متوالی به‌تدریج سهم نسبی نیتروژن در شکل‌گیری عملکرد افزایش و اتکاء نظام‌های تولید گندم کشور به این نهاده شیمیایی بیشتر شود. بهبود کارایی جذب نیتروژن مهمترین اقدام در جهت کاهش وابستگی عملکرد به این نهاده است. البته اصلاح سیستم ریشه‌ای غلات برای جذب بهتر نیتروژن از لایه‌های عمیق خاک باعث اثر منفی بر کارایی جذب عناصر کم‌تحرک نظیر فسفر که عمدتاً در قسمت‌های سطحی خاک تجمع دارند خواهد شد (Bingham, 2005; Ho et al., 2005). بنابراین، روش‌های مدیریت مصرف کود موثرترین راهکار در این ارتباط محسوب می‌شوند (Thomason et al., 2002).

وضعیت آینده: در شکل ۱۰ روند مصرف کودهای شیمیایی نیتروژنی در نظام‌های تولید گندم کشور با استفاده از سری زمانی تا سال ۱۴۰۰ شمسی پیش‌بینی شده است. نتایج نشان‌دهنده افزایش اندکی درمیزان مصرف این نهاده بوده و به‌نظر می‌رسد که در طی ۱۰ سال آینده میانگین مصرف کودهای نیتروژنی در تولید گندم در حدود ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار خواهد بود بنابراین کاهش رشد سالانه مصرف این نوع کود که از اواسط دهه ۸۰ آغاز شده (شکل‌های ۱ و ۳) همچنان ادامه خواهد یافت. لازم به ذکر است که روند ارائه شده در شکل ۱۰ مربوط به مصرف کودهای نیتروژن در مجموعه نظام‌های تولید گندم کشور است در حالی‌که به‌نظر می‌رسد تفاوت قابل ملاحظه‌ای از نظر مصرف این نهاده بین استان‌های مختلف موجود باشد، بنابراین تحلیل کامل‌تر روند آینده مستلزم ارزیابی دقیق‌تر در مقیاس منطقه‌ای و استانی خواهد بود.

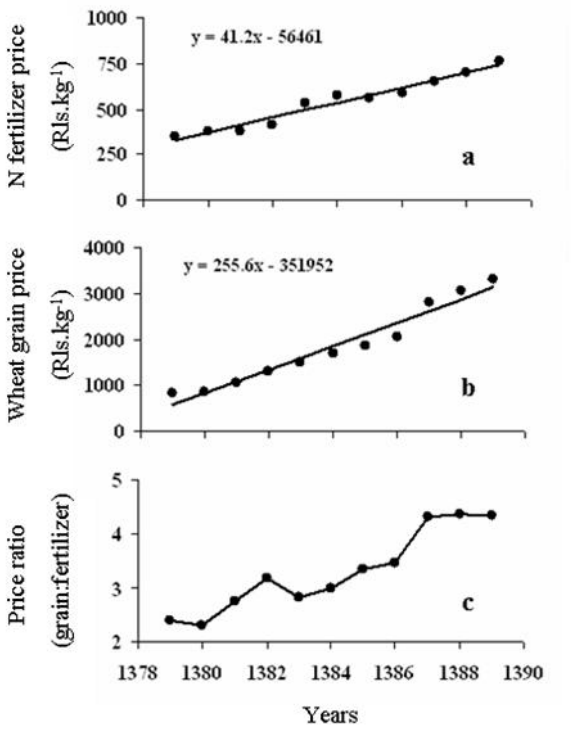


شکل ۱۰- روند مصرف کودهای نیتروژنی در بوم‌نظام‌های تولید گندم کشور برای دوره ۱۰ ساله ۱۴۰۰-۱۳۹۰ پیش‌بینی بر اساس سری‌های زمانی پیش‌بینی از سال ۱۳۵۰ اجرا و نتایج با مقادیر واقعی مقایسه شده است.

Fig. 10- Time course (1390-1400) of nitrogen fertilizers application rate in wheat production systems of Iran predicted using time series analysis

Prediction started from 1350 and the results were compared with the actual values.

روند تغییرات قیمت هر کیلوگرم کود نیتروژنی و قیمت تضمینی خرید هر کیلوگرم دانه گندم در فاصله سال‌های ۱۳۸۹-۱۳۷۹ به ترتیب در شکل‌های ۱۱-a و b نشان داده شده است. در طی این دوره میزان مصرف کودهای نیتروژن در تولید گندم کشور از ۱۲۰ به ۲۴۰ کیلوگرم در هکتار رسیده (شکل ۱۱) و در واقع بیشترین رشد را در طی ۴۰ سال گذشته داشته است. بر اساس این نتایج، میانگین افزایش سالانه قیمت هر کیلوگرم کود نیتروژن در حدود ۴۱ ریال بوده است؛ درحالی‌که میانگین رشد سالانه نرخ خرید هر کیلوگرم گندم در دوره مشابه ۲۵۵ ریال است که در حدود شش برابر کود می‌باشد. در نتیجه نسبت قیمت هر کیلوگرم گندم به هر کیلوگرم کود نیتروژن روندی کاملاً صعودی داشته و از حدود ۲/۵ در سال ۱۳۷۸ به ۴/۵ در سال ۱۳۸۸ رسیده است (شکل ۱۱-c). لازم به ذکر است که این نسبت در اتحادیه اروپا در سال ۲۰۰۸ میلادی ۱/۲، در آمریکا در سال ۲۰۰۹ در حدود ۲/۹ و در مکزیک در سال ۲۰۰۵ برابر با ۳ بوده است (Tenkorang & DeBoer, 2009). بنابراین، به‌نظر می‌رسد که پایین بودن قیمت کودهای نیتروژنی در مقایسه با قیمت گندم علی‌رغم پایین بودن بهره‌وری و کارایی این نهاده نقش مهمی در افزایش سریع مصرف این کودها در طی ۱۰ سال گذشته داشته است



شکل ۱۱- روند تغییرات قیمت کودهای نیتروژنی (a)، دانه گندم (b) و نسبت این قیمت‌ها (c) در فاصله سال‌های ۱۳۸۹-۱۳۷۹

شیب خط رگرسیون افزایش سالانه قیمت هر کیلوگرم کود و دانه را مشخص می‌کند.

Fig. 11- Time trend during 2000-2010 of the price of nitrogen fertilizers (a) wheat grain (b) and grain: fertilizer price ratio

Slope of the regression lines indicate the annual increase in price of wheat grain and N fertilizers.

به‌نظر می‌رسد برنامه‌های اقتصادی مربوط به تنظیم قیمت نهاده‌ها، اصلاح روش‌های مدیریت در جهت بهبود کارایی جذب نیتروژن راه حل مؤثری در جهت جلوگیری از مصرف بی‌رویه این نهاده باشد. دوبرمن و همکاران (Dobermann et al., 2002) کارایی جذب نیتروژن در مزارع برنج آسیا را ۳۱ درصد گزارش کردند و نشان دادند که برای برداشت عملکردی معادل هفت تن در هکتار با کارایی جذب فعلی به ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن کودی نیاز است، درحالی‌که با افزایش بازیافت نیتروژن به ۵۰ درصد، نیتروژن مورد نیاز برای همین مقدار عملکرد۱۱۰ کیلوگرم در هکتار خواهد بود.

نتیجه‌گیری

بخش عمده افزایش عملکرد محصولات زراعی مرهون مصرف کودهای شیمیایی و به‌ویژه نیتروژن است و بیش از ۶۰ درصد مردم جهان برای تأمین غذای خود به نیتروژن کودی وابسته‌اند (Fixen & West, 2002). این امر باعث شده که مصرف کودهای نیتروژنی در جهان در فاصله سال‌های ۱۹۶۰ تا ۲۰۰۰ میلادی سالانه دو میلیون تن افزایش یابد (Cassman et al., 2003) و بر اساس یافته‌های این تحقیق در ایران نیز طی ۴۰ سال گذشته به بیش از نه برابر برسد. در عین حال افزایش سریع مصرف این نهاده در طی چند دهه اخیر نگرانی‌هایی را از نظر آلودگی‌های محیطی ایجاد کرده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که در حدود ۷۰ درصد از گازهای گلخانه‌ای حاصل از تولید گندم مربوط به مصرف کودهای نیتروژنی می‌باشد (Mortimer et al., 2004). به‌علاوه، در مقیاس جهانی ۵۰ درصد از انرژی مصرف‌شده در تولید غلات مربوط به تهیه صنعتی کودهای نیتروژنی است (Dawson & Hilton, 2011). بنابراین، به‌نظر می‌رسد که افزایش کارایی مصرف نیتروژن مؤثرترین راه برای افزایش عملکرد غلات و در عین حال کاهش هزینه‌های زیست‌محیطی آن از طریق مصرف کمتر کود است (Foulkes et al., 2009). نتایج این تحقیق نشان داد که کارایی بازیافت نیتروژن در بوم‌نظام‌های تولید گندم کشور نسبتاً پایین و در حدود ۳۰ درصد است و این امر باعث شده تا علی‌رغم بهبود کارایی تبدیل نیتروژن در طی چهار دهه گذشته، کارایی مصرف این نهاده روندی نزولی را دنبال کند. به‌کارگیری روش‌های مدیریت در جهت کاهش تلفات نیتروژن و افزایش بازیافت آن، اصلاح ژنتیکی کارایی تبدیل و برقراری تناسب منطقی بین قیمت کودهای شیمیایی و دانه گندم از جمله راهکارهای کلان در جهت بهبود و ارتقاء شرایط موجود می‌باشند.

سپاسگزاری

اعتبار این پژوهش از محل پژوهه طرح شماره ۱۳۵۸- پ مصوب ۱۳۸۷/۱۲/۱۲ معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه فردوسی مشهد تأمین شده که بدین‌وسیله سپاسگزاری می‌شود.

منابع

Abeledo, L.G., Calderini, D.F., and Slafer, G.A. 2008. Nitrogen economy in old and modem malting barleys. Field Crops Research 106: 171-178.

Anbessa, Y., Juskiw, P., Good, A., Nyachiro, J., and Helm, J. 2009. Genetic variability in nitrogen use efficiency of spring barley. Crop Science 49: 1259-1268.

Balasubramanian, V., Alves, B., Aulakh, M., Bekunda, M., Cai, Z., Drinkwater, L., Mugendi, D., Van Kessel, C., and Oenema, O. 2004. Crop, Environmental and Management Factors Affecting Nitrogen Use Efficiency. In: Mosier, A.R., Syers, J.K., Freney, J.R. (Eds.), Agriculture and the Nitrogen Cycle. Island Press, Washington, DC p. 19-33.

Barraclough, 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.

Bell, M.A, Fischer, R.A., Byerlee, D., and Sayre, K. 1995. Genetic and agronomic contributions to yield gains: A case study for wheat. Field Crops Research 44: 55-65.

Bingham, I.J., Karley, A.J., White, P.J., Thomas, W.T.B., and Russell, J.R. 2012. Analysis of improvements in nitrogen use efficiency associated with 75 years of spring barley breeding. European Journal of Agronomy 42: 49-58.

Bingham, I.J. 2005. Agronomic approaches for modifying root systems of field crops: opportunities and constraints. Aspects of Applied Biology 73 (Roots and the Soil Environment II) 169-178.

Biswas, C.R., and Benbi, D.K. 1997. Nitrogen balance and N recovery after 22 years of maize–wheat–cowpea cropping in a long-term experiment. Nutrient Cycling in Agroecosystem 47: 107-114.

Bouwman, A.F., Van Drecht, G., and Van der Hoek, K.W. 2005. Nitrogen surface balances in intensive agricultural production systems in different world regions for the period 1970–2030. Pedosphere 15(2): 137–155.

Bruinsma, J.E. 2003. World Agriculture: Towards 2015/2030. In: An FAO Perspective, Earthscan, London 432 pp.

Bulman, P., Mather, D.E., and Smith, D.L. 1993. Genetic-improvement of spring barley cultivars grown in eastern Canada from 1910 to 1988. Euphytica 71: 35-48.

Cassman, K.G. 2001. Crop science research to assure food security. In: J. Nosberger, H.H. Geiger and P.C. Struik (Eds). Crop Science, CAB International p. 33-51.

Cassman, K.G., Dobermann, A., and Walters, D.T. 2002. Agroecosystems, nitrogen-use efficiency, and nitrogen

management. Ambio 31: 132-140.
Cassman, K.G., Dobermann, A., Walters, D.T., and Yang, H. 2003. Meeting cereal demand while protecting natural resources and improving environmental quality. Annual Review of Environmental Resources 28: 315-358.
Dawson, C.J., and Hilton, J. 2011. Fertilizer availability in a resource-limited world: production and recycling of nitrogen and phosphorus. Food Policy 36: S14-S22.
Dobermann, A., and Cassman, K.G. 2005. Cereal area and nitrogen use efficiency are drivers of future nitrogen fertilizer consumption. Scientific China Series in Life Sciences 48 (Supp.): 1-14.
Dobermann, A., Witt, C., Dawe, D., Gines, G.C., Nagarajan, R., Satawathananont, S., Son, T.T., Tan, P.S., Wang, G.H., Chien, N.V., Thoa, V.T.K., Phung, C.V., Stalin, P., Muthukrishnan, P., Ravi, V., Babu, M., Chatuporn, S., Kongchum, M., Sun, Q., Fu, R., Simbahan, G.C., and Adviento, M.A.A. 2002. Site-specific nutrient management for intensive rice cropping systems in Asia. Field Crops Research 74: 37-66.
Eickhout B., Bouwman, A.F., and van Zeijts, H. 2006. The role of nitrogen in world food production and environmental sustainability. Agriculture, Ecosystems and Environment 116: 4-14.
Erley, G.H., Behrens, T., Ulas, A., Wiesler, F., and Horst, W.J. 2011. Agronomic traits contributing to nitrogen efficiency of winter oilseed rape Cultivars. Field Crops Research 124: 114-123
FAO. 2010. Fertilizer Requirements in 2015 and 2030. Rome: FAO, UN.
Fixen, P.E., and West, F.B. 2002. Nitrogen fertilizers: meeting contemporary challenges. Ambio 31: 169-176.
Foulkes, M.J., Reynolds, M.P., and Sylvester-Bradley, R. 2009. Genetic Improvement of Grain Crops: Yield Potential. In: Sadras, V.O., Calderini, D.F. (Eds.), Crop Physiology Applications for Genetic Improvement and Agronomy. Academic Press, Amsterdam p. 355-386.
Gaju, O., Allard, V., Martre, P., Snape, J.W., Heumez, E., LeGouis, J., Moreau, D., Bogard, M., Griffiths, S., Orford, S., Hubbart, S., and Foulkes. M.J. 2011. Identification of traits to improve the nitrogen-use efficiency of wheat genotypes. Field Crops Research 123: 139-152
Gallais, A., and Coque, M. 2005. Genetic variation and selection for nitrogen use efficiency in maize, a synthesis. Maydica 50: 531-547.
Giller, K.E., Chalk, P., Dobermann, A., Hammond, L., Heffer, P., Ladha, J.K., Nyamudeza, P., Maene, L., Ssali, H., and Freney, J. 2004. Emerging Technologies to Increase the Efficiency of Use of Fertilizer Nitrogen. In: Mosier, A.R., Syers, J.K., Freney, J.R. (Eds.), Agriculture and the Nitrogen Cycle. Island Press, Washington, D.C. p. 35-51.
Hafner, S. 2003. Trends in maize, rice, and wheat yields for 188 nations over the past 40 years: a prevalence of linear growth. Agriculture, Ecosystem and Environment 97: 275-283.
Ho, M.D., Rosas, J.C., Brown, K.M., and Lynch, J.P. 2005. Root architectural tradeoffs for water and phosphorus acquisition. Functional Plant Biology 32: 737-748.
Horst, W.J., Behrens, T., Heuberger, H., Kamh, M., Reidenbach, G., and Wiesler, F. 2003. Genotypic Differences in Nitrogen Use-efficiency in Crop Plants. In: Lynch, J.M., Schepers, J.S., and Ünver, I. (Eds.), Innovative Soil-plant Systems for Sustainable Agricultural Production p. 75-92.
Jing, Q., Bouman, B.A.M., Hengsdijk, H., Van Keulen, H., and Cao, W. 2007. Exploring options to combine high yields with high nitrogen use efficiencies in irrigated rice in China. European Journal of Agronomy 26: 166-177.
Keshavarz, A., and Sadeghzadeh, K. 2000. Water management in agricultural sector, estimated future demand, drought crisis, current status and future prospects and ways to optimize water use. Ministry of Agriculture, the Research, Education and Extension 29 pp. (In Persian)
Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Bakhshaie, S., and Davari, A. 2017. A meta-analysis on nitrogen fertilizer experiments on cereal crops in Iran. Agroecology In press. (In Persian with English Summary)
Krupnik, T.J., Six, J., Ladha, K., Paine, M.J., and Van Kessel, C. 2004. An Assessment of Fertilizer Nitrogen Recovery Efficiency by Grain Crops. In: Mosier, A.R., Syers, J.K., Freney, J.R. (Eds.), Agriculture and the Nitrogen Cycle. Island Press, Washington, D.C. p. 193-207.
Le Gouis, J., Beghin, D., Heumez, E., and Pluchard, P. 2000. Genetic differences for nitrogen uptake and nitrogen utilization efficiencies in winter wheat. European Journal of Agronomy 12: 163-173.
Liu, Ch., Watanabe, M., and Wang, Q.X. 2008. Changes in nitrogen budgets and nitrogen use efficiency in the agroecosystems of the Changjiang River Basin between 1980 and 2000. Nutrients Cycling in Agroecosystem 80: 19-37.
Liu, J., Liu, H., Huang, S., Yang, X., Wang, B., Li, X., and Ma, Y. 2010. Nitrogen efficiency in long-term wheat–maize cropping systems under diverse field sites in China. Field Crops Research 118: 145-151.
Lopez-Bellindo, R.J., and Lopez-Belindo, L. 2001. Efficiency of nitrogen in wheat under Mediterranean conditions: effect of tillage, crop rotation and N fertilization. Field Crops Research 71: 31-46.
Moll, R.H., Kamprath, E.J., Jackson, W.A. 1982. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. Agronomy Journal 74: 562-564.

Mortimer, N.D., Elsayed, M.A., and Horne, R.E. 2004. Energy and greenhouse gas emissions for bioethanol production from wheat grain and sugar beet. York, UK: NNFC: Report for British Sugar Number 23/1.

Muurinen, S., Slafer, G.A., Peltonen-Sainio, P. 2006. Breeding effects on nitrogen use efficiency of spring cereals under northern conditions. Crop Science 46: 561-568.

Naderi, A., Majidi Hervan, I., Hashemi Dezfooli, A.H., Nour Mohammadi, G., and Rezayee, A.M. 2000. Genetic variation for dry matter and nitrogen accumulation in grain of spring wheat genotypes under optimum and post-anthesis drought stress conditions. I. Grain yield and its related traits. Iranian Journal of Crop Sciences 3: 1-11. (In Persian with English Summary)

Ortiz-Monasterio, J.I., Sayre, K.D., Rajaram, S., and McMahom, M. 1997. Genetic progress in wheat yield and nitrogen use efficiency under four nitrogen rates. Crop Science 37: 898-904.

Rejesus, R.M., Heisey, P.W., and Smale, M. 1999. Sources of Productivity Growth in Wheat: A Review of Recent Performance and Medium to Long-Term Prospects. CIMMYT Economics Working Paper 99–05. CIMMYT, Mexico.

Roy, R.N., Misra, R.V., and Montanez, A. 2002. Decreasing reliance on mineral nitrogen–yet more food. Ambio 31: 177-183.

Salvagiotti, F., Castellari, J.M., Miralles, D.J., Pedro, H.M. 2009. Sulfur fertilization improves nitrogen use efficiency in wheat by increasing nitrogen uptake. Field Crops Research 113: 170-177.

Sinebo, W., Gretzmacher, R., and Edelbauer, A. 2004. Genotypic variation for nitrogen use efficiency in Ethiopian barley. Field Crops Research 85: 43-60

Smil, V. 1999. Nitrogen in crop production: An account of global flows. Global Biogeochemical Cycles 13: 647-662.

Sower, K.E., Pan, W.L., Miller, B.C., and Smith, J.L. 1994. Nitrogen use efficiency of split nitrogen application in soft winter wheat. Agronomy Journal 86: 942-948.

Statistical Year Book of Agriculture in Khorasan Razavi Province (SYBAKRP). 2011. Available at: Http://www.koaj.ir/news/default.asp?nk=63&maincatid=1184. (In Persian.). Khorasan Razavi Province, Iran.

Stevens, W.B., Hoeft, R.G., and Mulvaney, R.L. 2005. Fate of nitrogen-15 in a long-term nitrogen rate study. I. Interactions with soil nitrogen. Agronomy Journal 97: 1037-1045.

Sylvester-Bradley, R., and Kindred, D.R. 2009. Analysing nitrogen responses of cereals to prioritize routes to the improvement of nitrogen use efficiency. Journal of Experimental Botany 60: 1939-1951.

Tenkorang, F., and DeBoer, J.L. 2009. Forecasting long-term global fertilizer demand. Nutrients Cycling in Agroecosystem 83: 233-247.

Thomason, W.E., Raun, W.R., Johnson, G.V., Freeman, K.W., Wynn, K.J., and Mullen, R.W. 2002. Production system techniques to increase nitrogen use efficiency in winter wheat. Journal of Plant Nutrition 25: 2261-2283.

Walker, G.K. 1989. Model for operational forecasting of western Canada wheat yield. Agricultural Forest Meteorology 44: 339-351.

White, P.J., and Brown, P.H. 2010. Plant nutrition for sustainable development and global health. Annals of Botany 105: 1073-1080.

Witcombe, J.R., Hollington, P.A., Howarth, C.J., Reader, S., and Steele, K.A. 2008. Breeding for abiotic stresses for sustainable agriculture. Philosophical Transaction of Royal Society of Biology 363: 703-716.

Zand, A., Koocheki, A., Rahimian Mashhadi, H., and Nassiri Mahallati, M. 2001. Study of trend analysis of morphological and physiological criteria during the 50 years on some Iranian wheats. Journal of Agricultural Sciences and Technologies 16: 161-171. (In Persian with English Summary)

Zarea, A., Koocheki, A., and Nassiri Mahallati, M. 2006. Trend analysis of yield, production and cultivated area of cereal in Iran during the 50 years and prediction of future situation. Iranian Journal of Field Crops Research 4(1): 49-69. (In Persian with English Summary)

Journal of Agroecology
Vol. 9, No. 2, Summer 2017, p. 360-378

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۹، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۶، ص.۳۷۸-۳۶۰

Trend Analysis of Nitrogen Use and Productivity in Wheat (*Triticum aestivum* L.) Production Systems of Iran

M. Nassiri Mahallati[1*] and A. Koocheki[1]

Submitted: 08-12-2013
Accepted: 12-04-2014

Nassiri Mahallati, M., and Koocheki, A. 2017. Trend analysis of nitrogen use and productivity in (*Triticum aestivum* L.) production systems of Iran. Journal of Agroecology, 9(2): 360-378.

Introduction

At global level nitrogen (N) fertilizers had drastic effects on crop yields increment during the last century. However, high application rates of this input have resulted to environmental pollution all around the world in addition decreased yields per unit of applied N is also reported in some countries. To fulfill increasing demands for agricultural crops with conservative application of N fertilizers, increasing N use efficiencies is recognized as a sustainable management. This calls for systematic studies on N use efficiency and its components at crop, field and regional levels. However, N efficiencies of agricultural crops at national level are not fully analyzed in Iran. In this research, forty years (1960-2010) data on yield and N application rate were analyzed for yield trend, N efficiencies and its related components for wheat (*Triticum aestivum* L.) production systems of Iran.

Material and Methods

Required data of wheat yield and nitrogen fertilizer application rates during the 40 years study period was obtained from official web sites of national agricultural statistics as well as Ministry of Jihad Agriculture. Using these data partial nitrogen productivity (kg yield kg N^{-1}); nitrogen use efficiency (kg yield kg^{-1} N, ignoring soil N), nitrogen uptake efficiency (%); nitrogen utilization efficiency (kg yield kg^{-1} absorbed N); and relative contribution of Nitrogen to grain yield (%) was estimated based on previously reported methods. Yield and N fertilizer application rate were subjected to time series analysis and fertilizer rates were predicted for the next decade over the studied period.

Results and Discussion

The results indicated that during the studied period mean annual growth rate of wheat yield and nitrogen application were 2.9 and 6.9%, respectively leading to 3.4 fold increase in yield and 9.5 fold increase in N fertilizers so that fertilize application rate was changed from 25 to 240 kg ha^{-1}. However, N fertilizer application rate in wheat production systems of Iran is reducing since 80's and prediction based on time series indicted that this rate will not exceed 250 kg ha^{-1} by 2020. Partial N productivity was estimated as 22.5 kg grain $.kg^{-1}$ applied N which is reduced linearly over the studied period with the slope of -0.19 kg $ha^{-1}.y^{-1}$. Mean N use efficiency (NUE) in wheat production systems over the country averaged over four studied decades was 14.5 kg grain kg^{-1} applied N. Separation of NUE to its components showed that on average 35.5% of applied N was recovered in wheat agroecosystems of Iran and due decreasing trend of recovery N uptake efficiency was reached to 30% in the late 80's. However, mean N utilization efficiency was estimated as 40 kg grain kg^{-1} absorbed N and increased slightly during the last four decades. Relative contribution of N fertilizers to wheat yield was increased with a positive slope from 24% in the first decade of the study period to 32% after 40 years. Based on the results it seems that the decreasing trend in NUE of wheat production systems of Iran is mainly due to low uptake efficiency which was not compensated for by slight improvement of N utilization efficiency.

Conclusion

Nitrogen application rate in wheat production systems of Iran has increased expansively during the last four decades. However, nitrogen uptake efficiency in wheat production systems of the country is considerably low

1- Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran, respectively.
(*- Corresponding author Email: mnassiri@um.ac.ir)
DOI: 10.22067/jag.v9i2.29287

and has resulted in a decreasing trend in nitrogen use efficiency over the last 40 years despite relative increase of N utilization efficiency over this period. Increasing N recovery through protecting N losses at field level, genetic improvement of N utilization efficiency and regulation of N fertilizers price compared to the price of wheat grain are urgent priorities to sustain wheat yield at national level with lower N application rates.

Keywords: N use efficiency, N uptake efficiency, N utilization efficiency, Partial N productivity