Archive of SID

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد 11، شماره 2، تابستان 1398، ص 530-515

Journal of Agroecology
Vol. 11, No.2, Summer 2019, p. 515-530

بهینه‌سازی کود نیتروژن و آبیاری در زراعت گندم (*Triticum aestivum* L.) با استفاده از طرح مرکب مرکزی

مهدی نصیری محلاتی[1*]، علیرضا کوچکی[1]، فرنوش فلاح‌پور[2] و محمد بهزاد امیری[3]

تاریخ دریافت: 1392/12/05
تاریخ پذیرش: 1393/10/15

نصیری محلاتی، م.، کوچکی، ع.، فلاح پور، ف.، و امیری، م.ب. 1398. بهینه‌سازی کود نیتروژن و آبیاری در زراعت گندم (*Triticum aestivum* L.) با استفاده از طرح مرکب مرکزی. بوم‌شناسی کشاورزی. 11 (2): 530-515.

چکیده

امروزه با توجه به مصرف بی‌رویه نهاده‌های کشاورزی علاوه بر تحمیل هزینه‌های اضافی بر بخش تولید، آلودگی‌های زیست‌محیطی پیش‌آمده در-نتیجه آن نیز مشکل‌ساز شده‌است. لذا به‌منظور برآورد مقادیر بهینه مصرف منابع آب و نیتروژن در زراعت گندم آزمایشی در قالب طرح مرکب مرکزی در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال زراعی 1390-1389 اجرا شد. تیمارهای آزمایشی با توجه به سطوح بالا و پائین کود نیتروژن (صفر و 400 کیلوگرم کود اوره در هکتار) و آبیاری (2500 و 5000 مترمکعب) طراحی شدند، نقطه مرکزی در هر تیمار پنج بار تکرار شد و درمجموع 13 ترکیب تیماری بدست‌آمد. عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، تلفات نیتروژن، کارایی مصرف نیتروژن و کارایی مصرف آب بعنوان متغیرهای وابسته مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند و با استفاده از یک مدل رگرسیونی، سطوح پاسخ این متغیرها تحت تأثیر تیمارها محاسبه شد. در مجموع نتایج نشان داد که افزایش مصرف کود نیتروژن و آبیاری اثر مثبتی بر افزایش عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و کارایی مصرف آب داشت؛ در حالیکه افزایش آبیاری منجر به کاهش کارایی مصرف نیتروژن و افزایش تلفات نیتروژن شد. در نهایت مقادیر بهینه مصرف کود نیتروژن و آبیاری بر اساس سه سناریوی اقتصادی، زیست‌محیطی و اقتصادی- زیست‌محیطی تعیین گردید. در سناریوی اقتصادی، مقدار بهینه کوددهی و آبیاری به‌منظور دستیابی به 4045 کیلوگرم در هکتار عملکرد دانه و 9908 کیلوگرم در هکتار عملکرد بیولوژیک به ترتیب 274 کیلوگرم در هکتار کود اوره و 3964 مترمکعب در هکتار آبیاری بدست‌آمد. در سناریوی زیست‌محیطی، مقدار بهینه این منابع به‌منظور کاهش تلفات نیتروژن محاسبه شد و به ترتیب برای کوددهی و آبیاری مقادیر 64 کیلوگرم در هکتار و 2651 مترمکعب در هکتار بدست آمد. در سناریوی اقتصادی-زیست محیطی عملکرد دانه و کاهش تلفات نیتروژن همزمان موردنظر قرار گرفت، درنتیجه مقادیر بهینه سطوح کوددهی و آبیاری به ترتیب معادل 153 کیلوگرم در هکتار و 3030 مترمکعب بدست‌آمد. توجه همزمان به جنبه اقتصادی تولید و مسائل زیست‌محیطی، برتری سناریوی اقتصادی- زیست‌محیطی را نسبت به دو سناریوی دیگر نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: تلفات نیتروژن، سناریوی اقتصادی-زیست‌محیطی، عملکرد دانه، کارایی مصرف منابع

مقدمه

غلات ازجمله مهمترین گیاهان زراعی به شمار می‌روند و از آن میان گندم ازنظر میزان تولید و سطح زیر کشت رتبه اول را در جهان دارا است (FAO, 2013). این گیاه در ایران نیز ازجمله محصولات اصلی کشاورزی می‌باشد و 45 درصد کالری و 70 درصد پروتئین مصرفی مردم کشور از این محصول تأمین می‌شود (Hosseini et al., 2012). در دهه‌های گذشته توجه به خودکفایی گندم در ایران سبب شد تا تلاش در جهت افزایش تولید گندم چه از طریق افزایش سطح زیر کشت و چه از طریق افزایش تولید در واحد سطح افزایش

1- استاد گروه اگروتکنولوژی دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
2- دانش‌آموخته دکترای اگرواکولوژی دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
3- استادیار مجتمع آموزش عالی گناباد و دانش‌آموخته اگرواکولوژی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: mnassiri@ferdowsi.um.ac.ir)
Doi:10.22067/jag.v11i2.31912

www.SID.ir

Archive of SID

یابد. ازجمله مهمترین عوامل تأثیرگذار در جهت افزایش تولید گندم در واحد سطح بهبود تغذیه گیاه بویژه دسترسی به منابع نیتروژن و آبیاری مناسب می‌باشد. کالیاندرو و بوآری (Caliandro & Boari, 1992) گزارش کردند که آبیاری گندم بلافاصله بعد از کاشت، منجر به 132 درصد افزایش عملکرد نسبت به شرایط دیم گردید و همچنین آبیاری در مرحله تشکیل غلاف، افزایش عملکردی به میزان 23 درصد به همراه داشت. در حالیکه آبیاری بیش‌ازحد علاوه بر شستشوی عناصر غذایی خاک منجر به کاهش کارایی مصرف کود بویژه کودهای محلول در آب و ایجاد شرایط نامطلوب فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک می‌شود (Rong & Xuefeng, 2011).

از میان عناصر غذایی، نیتروژن عنصر ضروری در ساختار بیوشیمیایی پروتئین‌ها، اسیدهای نوکلئیک و کلروفیل می‌باشد (Boswell et al., 1985). این عنصر برای تقسیم و بزرگ شدن سلول‌ها ضروری است و باعث افزایش سطح برگ، دوام برگ و نیز افزایش تعداد پنجه و بقای آن می‌شود که نتیجه آن، تولید بیشتر ماده خشک است (Davis et al., 2002). در گزارش‌های مختلف همبستگی بالایی بین نیتروژن در دسترس گیاه و عملکرد دانه گزارش شده‌است (Li et al., 2004; Hosseini et al., 2012). در حال حاضر مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی علاوه بر تبعات زیست-محیطی ازجمله آلودگی منابع آب‌های زیرزمینی و سطحی، کاهش تنوع‌زیستی موجودات خاکزی، تصعید و ورود اکسیدهای نیتروژن به اتمسفر می‌تواند وابستگی بیشتر بوم‌نظام‌های کشاورزی به مصرف نهاده‌های شیمیایی و سوخت‌های فسیلی را به همراه داشته باشد (Mei-Hua et al., 2012). لذا به‌منظور ممانعت از هدر رفت منابع و دستیابی به اهداف کشاورزی پایدار، تعیین مقدار بهینه منابع مصرفی در تولید محصولات کشاورزی حائز اهمیت است. ماهلر و همکاران (Mahler et al., 1994) بیان کردند که با توجه به فشارهای اقتصادی و محیطی موجود بر بوم‌نظام‌های زراعی رایج، به‌منظور توسعه پایدار بوم‌نظام‌های زراعی لازم است تحقیقات گسترده‌ای جهت افزایش کارایی و بهره‌وری نیتروژن و بهینه‌سازی این عنصر در مناطق خشک و نیمه‌خشک صورت پذیرد. فراهمی آب و نیتروژن عوامل کلیدی در تولید اکوسیستم‌های خشک و نیمه‌خشک می‌باشند (Zhou et al., 2007) و بهینه‌سازی این دو عامل با یکدیگر غیر مرتبط نمی‌باشد بطوریکه استفاده بهینه از نیتروژن در شرایطی امکان-پذیر است که مدیریت بهینه آبیاری وجود داشته باشد (Mahajan et al., 2012). درواقع آبیاری می‌تواند سبب نفوذ عمقی و آبشویی نیترات به پایین‌تر از محدوده توسعه ریشه گیاه شود. بنابراین به‌منظور کاهش آبشویی نیترات، مدیریت مصرف نیتروژن بایستی با مدیریت آبیاری همراه باشد (Ritter, 1980). در تحقیقات متعدد نشان داده شده‌است که کاربرد همزمان رژیم‌های مختلف آبیاری و کوددهی نیتروژن در زراعت گندم منجر به افزایش کارایی مصرف آب شده‌است و با کاربرد همزمان این دو عامل اثر متقابل مثبت و معنی‌داری در عملکرد و اجزای عملکرد گندم مشاهده شد (Sandhu et al., 2000; Behera & Panda, 2009). بعلاوه بهارا و پاندا (Behera & Panda, 2009) نشان دادند که کارایی مصرف نیتروژن با افزایش کوددهی در گیاه گندم کاهش یافت و در رژیم‌های مختلف آبیاری بیشترین کارایی نیتروژن در سطوح بالای آبیاری مشاهده شد. کاسی و همکاران (Cossey et al., 2001) نشان دادند که عملکرد گندم با افزایش کوددهی نیتروژن بصورت خطی افزایش نمی‌یابد و کوددهی اضافی تنها تلفات نیتروژن و آلودگی‌های زیست-محیطی را افزایش خواهد داد. ساندو و همکاران (Sandhu et al., 2000) نیز گزارش کردند که در صورت کاربرد مقادیر کمتر کود نیتروژن همزمان با سطوح مناسب آبیاری می‌توان به عملکرد مناسب در زراعت گندم دست‌یافت.

جهت تعیین حد بهینه منابع مصرفی، استفاده از مدل‌ها و روابط تجربی-ریاضی امری اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. یکی از معمول‌ترین روش‌های مورداستفاده جهت بهینه‌سازی عوامل مختلف، استفاده از طرح مرکب مرکزی[1] است (Wu & Hamada, 2000). این طرح روشی جایگزین و مناسب برای طرح فاکتوریل می‌باشد که توسط باکس و ویلسون (Box & Wilson, 1952) بیان شد و بعدها توسط باکس و هانتر (Box & Hunter, 1957) اصلاح گردید. مزیت استفاده از طرح مرکب مرکزی نسبت به طرح فاکتوریل، امکان استخراج اطلاعات بیشتر از تحلیل این طرح و تعداد کمتر تیمار و تکرارهای موردنیاز جهت انجام آزمایش می‌باشد که اجرای این طرح را آسانتر می‌کند، همچنین امکان تعیین ترکیب‌های مختلف متغیر مستقل را در آزمایش فراهم می‌آورد (Aslan, 2007).

علیرغم تحقیقات گسترده‌ای که در مورد اثر سطوح مختلف آبیاری و کود نیتروژن بر روی گیاهان مختلف صورت گرفته است،

1- Central composite design

www.SID.ir

Archive of SID

اطلاعات موجود درزمینه بهینه‌سازی همزمان این دو عامل اندک است، لذا تحقیق حاضر باهدف بهینه‌سازی میزان مصرف کود نیتروژن و آبیاری در زراعت گندم با استفاده از تکنیک طرح مرکب مرکزی اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال زراعی 90-1389 در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد با عرض جغرافیایی 36 درجه و 16 دقیقه شمالی و طول جغرافیایی 59 درجه و 38 دقیقه شرقی و ارتفاع 985 متر از سطح دریا در قالب طرح مرکب مرکزی اجرا شد. تعداد تیمارهای طراحی‌شده در طرح مرکب مرکزی با استفاده از فرمول $2^k + 2k + r$ محاسبه می‌شود. در این فرمول k نشان‌دهنده تعداد فاکتورهای تحت بررسی و r تعداد تکرار برای نقطه مرکزی می‌باشد (Box & Hunter, 1957). با استفاده از طرح مرکب مرکزی می‌توان حداکثر اطلاعات با استفاده از کمترین تعداد اجرا از طریق توزیع نقاط آزمایشی در محدوده موردنظر استخراج کرد. بر این اساس ترکیب تیمارهای آزمایشی با توجه به سطوح بالا و پایین آب (2500 و 5000 مترمکعب در هکتار) و سطوح بالا و پایین نیتروژن (صفر و 400 کیلوگرم در هکتار اوره) تعیین شدند و نقطه مرکزی (میانگین سطوح فاکتورها) 5 بار تکرار شد که درمجموع 13 ترکیب تیماری مشخص گردید (معادله 1 و جدول1).

$$2^2 + (2 * 2) + 5 = 13 \quad \text{معادله (1)}$$

جدول1- مقادیر و ضرایب تیمارها با توجه به طرح مرکب مرکزی

Table 1- Values and coefficients of treatments based on Central Composite Design

Runs	مقادیر تیمارها* Treatment values		ضرایب Coefficients	
	نیتروژن Nitrogen ($kg.ha^{-1}$)	آبیاری Irrigation ($m^3.ha^{-1}$)	نیتروژن Nitrogen (X_1)	آبیاری Irrigation (X_2)
1	0	2500	-1	-1
2	0	5000	-1	+1
3	400	2500	+1	-1
4	400	5000	+1	+1
5	200	2500	0	-1
6	200	5000	0	+1
7	0	3750	-1	0
8	400	3750	+1	0
9	200	3750	0	0
10	200	3750	0	0
11	200	3750	0	0
12	200	3750	0	0
13	200	3750	0	0

*، 1- و 0: به ترتیب سطوح بالا، پایین و میانگین هر فاکتور را نشان می‌دهد.

+1, -1: and 0 indicate up, down and mean level of each factor, respectively.

در مرحله آماده‌سازی زمین و پیش از کاشت، نمونه‌ای مرکب از خاک مزرعه از عمق 30 سانتی‌متری بصورت تصادفی تهیه شد و به‌منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مورد آزمایش قرار گرفت که نتایج حاصل از آن در جدول 2 نشان داده شده‌است.

جدول2- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی قبل از کاشت

Table 2- Physical and chemical properties of experimental field soil before planting

Texture grade	pH	EC $dS\ m^{-1}$	N (%)	P ($mg.kg^{-1}$)	K ($mg.kg^{-1}$)	S (%)
لومی رسی Loam-silt	7.34	1.3	0.02	16.9	167.5	0.08

www.SID.ir

Archive of SID

پس از آماده‌سازی زمین در آبان ماه، بذور گندم رقم گاسکوژن در کرت‌هایی به ابعاد 5×4 مترمربع و فاصله ردیف 30 سانتی‌متر با تراکم400 بوته در مترمربع کاشته و بلافاصله آبیاری شدند. به‌منظور جلوگیری از اختلاط تیمارها، فاصله بین کرت‌ها دو متر در نظر گرفته شد. در طول پاییز و زمستان آبیاری صورت نگرفت و تیمارهای آبیاری از ابتدای اسفندماه بصورت هر هفت روز یکبار اعمال شد. به‌منظور اعمال تیمارهای آبیاری، میزان آبیاری موردنیاز در هر دور آبیاری محاسبه شد و جهت آبیاری یکنواخت در هر گروه از تیمارها از پمپ و کنتور آب استفاده گردید. جهت کنترل آبیاری، بجای آبیاری نهری از لوله‌ها آبیاری استفاده شد، بدین ترتیب در بالادست هر کرت تعداد سه عدد نازل در پیچدار و قابل‌کنترل از لوله اصلی منشعب شدند. در هر دور آبیاری نازل‌های تمام تکرارهای هریک از تیمارهای آبیاری بصورت همزمان بازشده و تحت آبیاری قرار می‌گرفتند. محاسبه آبیاری مورد نیاز در هر دور بدین ترتیب انجام شد که کل دوره رشدی که گیاه نیاز به آبیاری داشت (از ابتدای اسفند تا 10 روز قبل از برداشت) بر دور آبیاری (7 روز) تقسیم شد و بدین ترتیب تعداد مراحل آبیاری محاسبه شد و از تقسیم کل مقدار آبیاری موردنیاز در طول دوره (با توجه به سطوح تیمار آبیاری) بر تعداد مراحل آبیاری، مقدار آبیاری موردنیاز در هر دور محاسبه شد.

اعمال سطوح مختلف تیمار نیتروژن بصورت سرک در سه نوبت انجام شد. نوبت اول همزمان با اولین دور آبیاری در اسفندماه و نوبت دوم و سوم در فواصل زمانی 14 روز صورت گرفت. کنترل علف‌های هرز در سه نوبت از طریق وجین دستی انجام شد. در پایان فصل رشد، محتوای نیتروژن اندام هوایی به روش کجلدال (Rund, 1984) تعیین گردید. در پایان فصل رشد به‌منظور تعیین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک، پس از حذف اثرات حاشیه‌ای در هر کرت، سطح 4 مترمربع از هر کرت برداشت شد.

پس از برداشت، از خاک هر تیمار نمونه‌ای مرکب بصورت تصادفی تهیه شد و محتوای نیتروژن خاک تعیین گردید. تلفات نیتروژن از طریق معادله (2) محاسبه شد.

$$N_{loss}= N_{initial}+ N_{fertilizer} - (N_{plant}+ N_{soil})$$ معادله (2)

که در آن، N_{loss}: تلفات نیتروژن؛ $N_{initial}$: نیتروژن موجود در خاک در ابتدای فصل رشد؛ $N_{fertilizer}$: نیتروژن مصرفی از طریق کود اوره؛ N_{plant}: میزان نیتروژن گیاه در انتهای فصل رشد و N_{soil}: نیتروژن موجود در خاک پس از برداشت گیاه در پایان فصل بود و تمام متغیرها بر اساس واحد کیلوگرم نیتروژن در هکتار محاسبه شدند.

جهت محاسبه کارایی زراعی نیتروژن (ANUE[1]) و کارایی مصرف آب (WUE[2]) در گیاه گندم از معادلات 3 و 4 استفاده شد.

$$ANUE = \frac{Y_s}{N_{initial}+N_{fertilizer}}$$ معادله (3)

$$WUE = \frac{Y_s}{Irrigation}$$ معادله (4)

که در این معادلات، Y_s: عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) و Irrigation: مقدار کل آب مصرفی (مترمکعب در هکتار) می‌باشد.

به‌منظور انتخاب مدل مناسب، مدل درجه دو کامل با اثرات متقابل بین فاکتورها برازش داده شد (معادله 5) و سپس بر اساس معیارهای آماری تجزیه رگرسیون (مقادیر F، P value و R^2) و آزمون عدم برازش[3] بهترین مدل انتخاب شد و درنهایت این مدل برای بهینه‌سازی استفاده گردید.

$$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_1^2 + a_4X_2^2 + a_5X_1X_2$$ معادله (5)

که در این معادله، Y: متغیر وابسته است و با توجه به عملکرد دانه گندم، تلفات نیتروژن و یا کارایی استفاده از منابع آب و نیتروژن بصورت جداگانه محاسبه شد؛ X_1: متغیر مستقل کود نیتروژن و X_2: متغیر مستقل آبیاری بود و a_1 تا a_5 ضرایب معادله بودند.

مقادیر بهینه آب و نیتروژن مصرفی با توجه به سه سناریوی اقتصادی، زیست‌محیطی و اقتصادی-زیست‌محیطی تعیین گردید (Koocheki et al., 2014). بدین ترتیب که در سناریوی اقتصادی، عملکرد دانه گندم؛ در سناریوی زیست‌محیطی، تلفات نیتروژن و در سناریوی اقتصادی-زیست‌محیطی، کارایی استفاده از منابع (آب و نیتروژن) بعنوان فاکتور اصلی تعیین‌کننده در نظر گرفته‌شدند. به‌منظور تعیین سطوح بهینه از روش سطح پاسخ[4] استفاده شد. جهت آنالیز آماری داده‌ها و ترسیم نمودارها از نرم‌افزار Minitab ver. 16 استفاده گردید.

درنهایت نتایج برازش شده با داده‌های مشاهده‌شده مورد مقایسه

1- Agronomic nitrogen use efficiency
2 -Water use efficiency
3 -Lack of Fit
4- Response surface methodology

www.SID.ir

Archive of SID

قرار گرفتند و اعتبار مدل‌های رگرسیون با استفاده از آزمون‌های آماری میانگین جذر مربعات خطا[1] (معادله 6) و مقایسه رگرسیون خطی با خط یک‌به‌یک ارزیابی شدند (Haefner, 2005).

$$RMSE\ (\%) = \frac{100}{\bar{O}} * \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{n}} \quad \text{معادله (6)}$$

که در این معادله $\bar{O}$: میانگین مشاهدات، P_i: مقادیر برازش شده و O_i: مقادیر مشاهده‌شده می‌باشد.

RMSE بصورت درصد اختلاف نسبی مقادیر پیش‌بینی‌شده در برابر مقادیر واقعی بیان می‌شود و بر اساس تعریف، قدرت پیش بینی مدل درصورتیکه مقدار RMSE کمتر از 10 درصد باشد، عالی، اگر بین 10 تا 20 درصد باشد، خوب، اگر بین 20 تا 30 درصد باشد، متوسط و اگر بالاتر از 30 درصد باشد، ضعیف برآورد می‌شود (Haefner, 2005).

همچنین برای ارزیابی مدل می‌توان از نمودار مقادیر مشاهده شده در برابر مقادیر برازش شده استفاده کرد. بر این اساس معادله خط راست مقادیر مشاهده‌شده و برازش شده با توجه به مدل‌های نهایی که در هر یک از صفات انتخاب شدند رسم شد (معادله 7).

$$P_i = a + b\ O_i \quad \text{معادله (7)}$$

که در این معادله a و b ضرایب رگرسیون و P_i: مقادیر برازش شده و O_i: مقادیر مشاهده‌شده می‌باشند.

برای برازش معادلات و انجام محاسبات آماری، از نرم-افزارهای Minitab ver. 16 و Sigma plot ver. 12 استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مدل رگرسیونی درجه دو کامل[2] برای هرکدام از متغیرهای وابسته شامل عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، کارایی مصرف نیتروژن، کارایی مصرف آب و تلفات نیتروژن در جدول 3 نشان داده‌شده است. تمام اجزای مدل رگرسیونی در مورد عملکرد دانه، بر اساس آزمون F در سطح احتمال 5 درصد معنی‌دار بود (جدول3). در حالیکه اثر متقابل معنی‌داری بین کوددهی نیتروژن و آبیاری در متغیرهای کارایی مصرف آب و کارایی مصرف نیتروژن مشاهده نشد. بعلاوه اثر درجه دو متغیر مستقل آبیاری (آبیاری× آبیاری) در صفات عملکرد بیولوژیک و کارایی مصرف آب معنی‌دار نبود. آزمون عدم برازش، عدم اختلاف معنی‌دار تجزیه رگرسیونی در کلیه صفات مورد بررسی را با روش تجزیه واریانس نشان داد، که بیانگر قابلیت بالای مدل در برازش منحنی است.

ضرایب رگرسیون برای مدل‌های برازش شده در مورد هر یک از صفات موردمطالعه آزمایش در جدول 4 ذکر شده‌است. ضرایب تبیین (R^2) نشان‌دهنده درصد تغییرات هر کدام از متغیرهای وابسته بوسیله متغیر مستقل است و ضرایب تبیین بالا در این معادلات نشان‌دهنده برازش خوب مدل محاسباتی است (جدول 4).

عملکرد دانه

نمودار رگرسیون خطی مقادیر برازش داده‌شده و مشاهده‌شده در مورد عملکرد دانه گندم در شکل 1 نشان داده شده‌است. مقدار پایین *RMSE* (3/24) نشان‌دهنده برازش خوب مدل می‌باشد. بعلاوه اختلاف معنی‌داری بین عرض از مبدأ (P =0/61، t=0/52) و شیب خط رگرسیون و خط 1:1 مشاهده‌نشد (P =0/53، t=0/65).

کمترین مقدار عملکرد دانه مشاهده‌شده و برازش داده‌شده گندم در پایین‌ترین سطوح تیمارهای مورد بررسی (صفر کیلوگرم کود اوره در هکتار و 2500 مترمکعب آبیاری) بدست آمد و با افزایش سطح تیمارها، عملکرد دانه افزایش یافت.

سطح پاسخ تغییرات عملکرد دانه با توجه به متغیرهای مستقل (کود نیتروژن و آبیاری) در شکل 2 نشان داده شده‌است. بر این اساس، بیشترین مقدار عملکرد دانه در سطح 400 کیلوگرم کود اوره در هکتار و 5000 مترمکعب آبیاری بدست آمد. با توجه به نتایج آزمایش، برهمکنش اثرات کود نیتروژن و آبیاری بر عملکرد دانه معنی‌دار بود. هاتفیلد و پرگر (Hatfield & Prueger, 2004) گزارش کردند که کود نیتروژن از طریق افزایش تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه باعث افزایش عملکرد دانه گندم شد. بعلاوه در مطالعه‌ای که شهسواری و صفاری (Shahsavari & Saffari, 2005) بر روی ارقام گندم در کرمان انجام دادند بیان داشتند که با افزایش مصرف نیتروژن وزن هزار دانه، تعداد سنبله در مترمربع، تعداد سنبلچه بارور، درصد پروتئین دانه، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه بطور معنی‌داری افزایش یافتند.

در سطوح بالای آبیاری، شیب افزایش عملکرد دانه در گندم درنتیجه افزایش کوددهی نیتروژن، افزایش یافت. این امر نشان-

1- RMSE: Root mean square error
2- Full quadratic regression

www.SID.ir

Archive of SID

دهنده این موضوع است که در سطوح بالاتر آبیاری گیاه بهتر می‌تواند از نیتروژن محلول در آب استفاده کند. والی و همکاران (Whalley et al., 2006) نشان دادند که آبیاری گندم می‌تواند عملکرد دانه را 17 تا 54 درصد نسبت به گیاهان آبیاری نشده افزایش دهد.

جدول3- نتایج تجزیه واریانس مدل رگرسیونی درجه دو کامل

Table 3- Analysis of variance of the full quadratic regression model

منابع تغییر Sources of variation	درجه آزادی Degree of freedom	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	کارایی مصرف آب WUE	کارایی زراعی نیتروژن NUE	تلفات نیتروژن Nitrogen losses
مقدار ثابت Constant		ns	ns	**	**	*
رگرسیون Regression	5	453401**	4348408**	0.100851**	339.3**	1796.71*
خطی Linear	2	94389**	595164*	0.014803**	144.258**	47.42*
نیتروژن Nitrogen	1	48008*	532689*	0.016058**	288.514**	61.12*
آبیاری Irrigation	1	118831**	508237**	0.017263**	4.394**	45.46*
درجه 2 Square	2	134892**	1137770**	0.003691*	159.824**	54.72*
نیتروژن× نیتروژن Nitrogen*Nitrogen	1	79460*	1172981**	0.005916*	290.63**	21.41 ns
آبیاری× آبیاری Irrigation× Irrigation	1	87604*	311657ns	0.004188*	2.292*	47.78*
اثر متقابل Interaction	1	63046*	752383*	0.000388 ns	2.124*	125.44**
عدم برازش Lack of fit	3	2834ns	54853ns	0.024 ns	0.385 ns	10.27 ns
خطای خالص Pure error	4	11835	118572	0.000842	0.151	6.56

** و *: به‌ترتیب معنی‌داری در سطح 1 درصد و 5 درصد و ns: عدم وجود تفاوت معنی‌دار را نشان می‌دهد.

*, ** and ns: represent significant at 5% level, significant at 1% level and non-significant, respectively.

جدول 4- ضرایب رگرسیون معادله $Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_1^2 + a_4X_2^2 + a_5X_1X_2$

Table 4- Regression coefficients of the equation of $Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_1^2 + a_4X_2^2 + a_5X_1X_2$

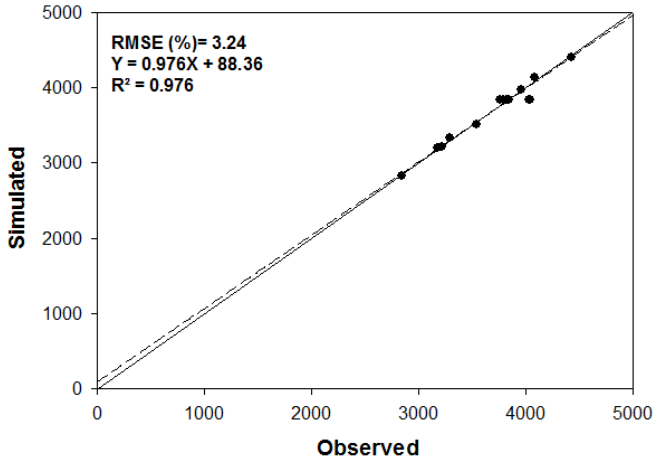
	Coefficient values						
	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	R^2
عملکرد دانه Seed yield	1008.08	2.154	1.011	-0.004	-0.0001	0.001	95.88
عملکرد بیولوژیک Biological yield	2363.72	7.174	2.092	-0.016	-0.0001	0.002	95.11
WUE	1.94	0.001246	-0.00039	-0.000001	0.0000001	-0.0000001	95.80
NUE	24.23	-0.167	0.0062	0.0003	-0.000001	-0.000001	97.40
تلفات نیتروژن Nitrogen losses	40.27	-0.0198	0.0768	40.2747	0.000001	0.000001	98.92

X_1 و X_2: به ترتیب متغیر مستقل کود نیتروژن و آبیاری هستند.

X_1 and X_2: indicates independent variables of nitrogen fertilizer and irrigation, respectively.

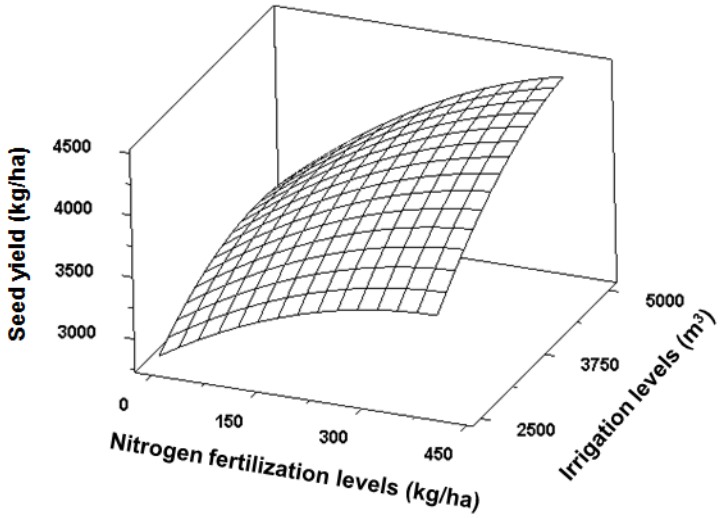
www.SID.ir

Archive of SID



شکل 1- نمودار و معادله خط رگرسیون مقادیر برازش شده و مشاهده‌شده در مورد عملکرد گندم و درصد RMSE با توجه به مدل رگرسیون درجه دو کامل

Fig. 1- Comparison of the regression line with 1:1 line and RMSE (%) for observed and predicted values of the wheat yield based on full quadratic regression model



شکل 2- سطح پاسخ عملکرد دانه گندم نسبت به سطوح مختلف کوددهی نیتروژن و آبیاری

Fig. 2- Response surface for seed yield in different nitrogen fertilization and irrigation levels

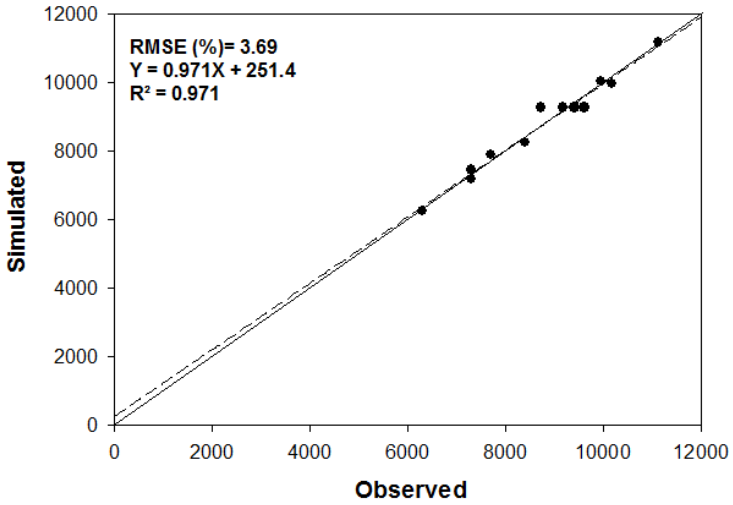
بول و دوبتز (Bole & Dubetz, 1986) بیان کردند که به ازای هر تن افزایش عملکرد مورد انتظار باید 30 کیلوگرم در هکتار نیتروژن اضافی مصرف شود، ولی با افزایش مصرف نیتروژن بیش از 100 کیلوگرم در هکتار، واکنش عملکرد دانه به ازای هر کیلوگرم نیتروژن افزوده‌شده کمتر شد، بطوریکه حداکثر عملکرد در حدود 150 کیلوگرم در هکتار بدست آمد و در مقادیر بالاتر عملکرد کاهش یافت.

عملکرد بیولوژیک

شکل 3 نمودار رگرسیون خطی مقادیر برازش داده‌شده و مشاهده‌شده عملکرد بیولوژیک گندم را نشان می‌دهد. در این معادله نیز مقدار پایین درصد *RMSE* (3/69) نشان‌دهنده برازش خوب مدل می‌باشد (شکل 3). همچنین اختلاف معنی‌داری بین عرض از مبدأ (P =0/58، t=0/56) و شیب خط رگرسیون (P =0/58، t=0/57) و شیب و عرض از مبدأ معادله خط 1:1 مشاهده‌نشد.

www.SID.ir

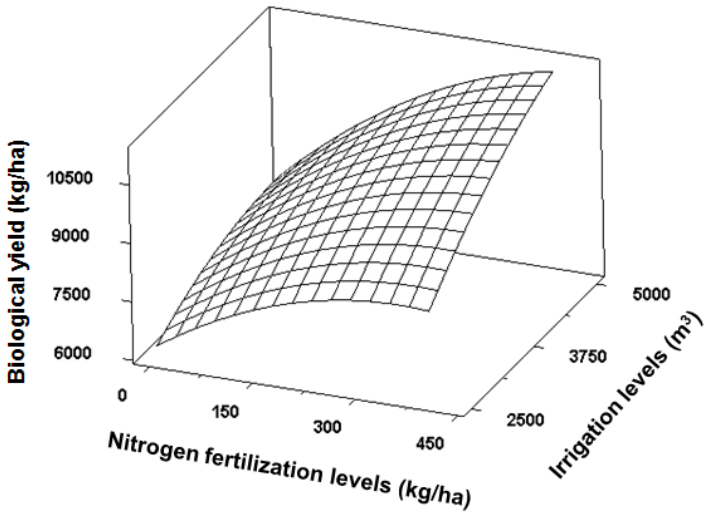
Archive of SID



شکل 3- نمودار و معادله خط رگرسیون مقادیر برازش شده و مشاهده‌شده در مورد عملکرد بیولوژیک گندم و درصد RMSE با توجه به مدل رگرسیون درجه دو کامل

Fig. 3- Graph and equation of the regression line and the value of RMSE for observed and predicted values of the wheat biological yield based on full quadratic regression model

شکل 4 سطح پاسخ تأثیر کود نیتروژن و آب آبیاری را بر عملکرد بیولوژیک نشان می‌دهد. بیشترین عملکرد بیولوژیک در سطح 400 کیلوگرم در هکتار کوددهی و 5000 مترمکعب آبیاری بدست آمد. همچنین با توجه به نتایج آزمایش، برهمکنش اثرات کود نیتروژن و آبیاری بر عملکرد بیولوژیک معنی‌دار بود (جدول 3). پاندی و همکاران (Pandy et al., 2001) در مطالعه خود نشان دادند که گیاه گندم در مقادیر بالاتر کوددهی نیتروژن نسبت به افزایش آبیاری پاسخ بهتری نشان داد. کیزلوقلو و همکاران (Kiziloglu et al., 2009) نیز با بررسی سطوح مختلف آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت (*Zea mays* L.) به نتایج مشابهی دست یافتند.



شکل4- سطح پاسخ عملکرد بیولوژیک گندم نسبت به سطوح مختلف کوددهی نیتروژن و آبیاری

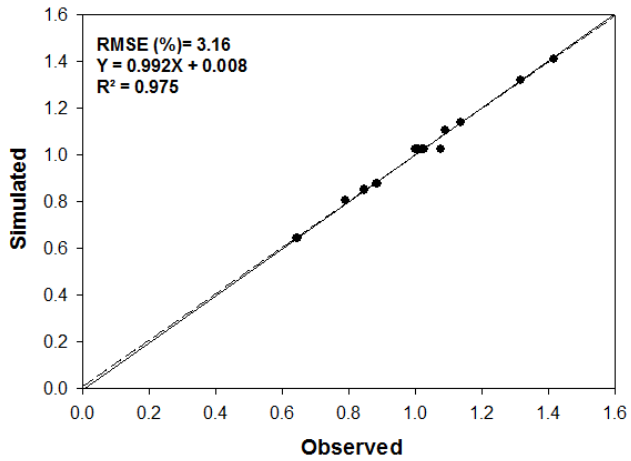
Fig. 4- Response surface for wheat biological yield in different nitrogen fertilization and irrigation levels

www.SID.ir

Archive of SID

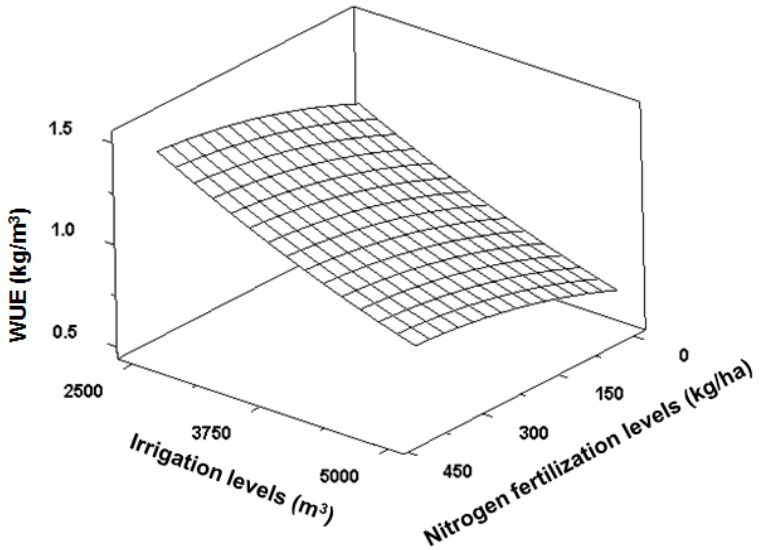
کارایی مصرف آب

نمودار رگرسیون خطی مقادیر برازش داده‌شده و مشاهده‌شده کارایی مصرف آب در شکل 5 نشان داده شده‌است. مقدار *RMSE* محاسبه‌شده 3/16 درصد بود که نشان‌دهنده برازش خوب مدل می‌باشد. همچنین اختلاف معنی‌داری بین عرض از مبدأ (P =0/64، t=0/48) و شیب خط رگرسیون (P =0/62، t=0/51) و شیب و عرض از مبدأ معادله خط 1:1 وجود نداشت (شکل 5).



شکل5- نمودار و معادله خط رگرسیون مقادیر برازش شده و مشاهده شده در مورد کارایی مصرف آب و درصد RMSE با توجه به مدل رگرسیون درجه دو کامل

Fig. 5- Graph and equation of the regression line and the value of RMSE for observed and predicted values of water use efficiency based on full quadratic regression model



شکل 6- سطح پاسخ کارایی مصرف آب نسبت به سطوح مختلف کوددهی نیتروژن و آبیاری

Fig. 6- Response surface for water use efficiency in different nitrogen fertilization and irrigation levels

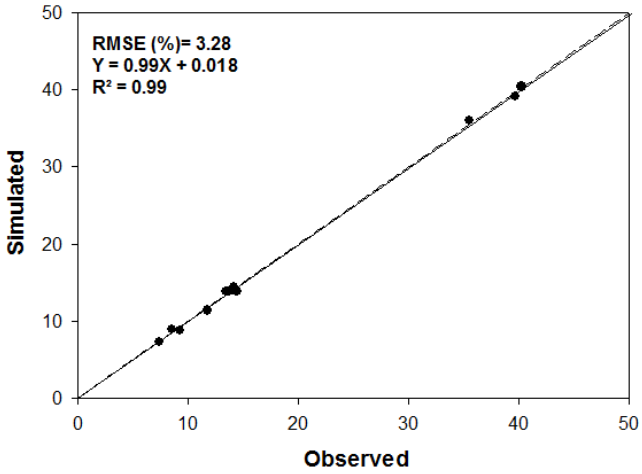
www.SID.ir

Archive of SID

سطح پاسخ تأثیر کود نیتروژن و مقادیر مختلف آبیاری بر کارایی مصرف آب در شکل 6 نشان داده شده‌است. کمترین کارایی مصرف آب در بالاترین سطح آبیاری (5000 مترمکعب) و در تیمار عدم کوددهی نیتروژن مشاهده شد. گرچه اثر متقابل معنی‌داری میان مقادیر کوددهی نیتروژن و تیمار آبیاری در این صفت مشاهده نشد (جدول 3) ولی با افزایش کوددهی نیتروژن با توجه به افزایش زیاد عملکرد دانه، کارایی مصرف آب نیز در گیاه گندم افزایش یافت و بیشترین کارایی (0/75) در سطح 400 کیلوگرم کود اوره در هکتار و 2500 مترمکعب آبیاری محاسبه شد.

کارایی زراعی نیتروژن

نمودار رگرسیون خطی مقادیر برازش داده‌شده و مشاهده‌شده کارایی زراعی نیتروژن در شکل 7 نشان داده شده‌است. مقدار *RMSE*، 3/28 محاسبه‌شد که نشان‌دهنده برازش خوب مدل است و اختلاف معنی‌داری بین عرض از مبدأ (P =0/66، t=0/45) و شیب خط رگرسیون (P =0/68، t=0/42) و شیب و عرض از مبدأ معادله خط 1:1مشاهده‌نشد.



شکل 7- نمودار و معادله خط رگرسیون مقادیر برازش شده و مشاهده شده در مورد کارایی مصرف نیتروژن و درصد RMSE با توجه به مدل رگرسیون درجه دو کامل

Fig. 7- Graph and equation of the regression line and the value of RMSE for observed and predicted values of the nitrogen use efficiency based on full quadratic regression model

شکل 8، سطح پاسخ سطوح مختلف کود نیتروژن و آبیاری را بر کارایی زراعی نیتروژن با توجه به طرح مرکب مرکزی نشان می‌دهد. افزایش کوددهی، کارایی زراعی نیتروژن را کاهش داد و کمترین مقدار در تیمار کودی 400 کیلوگرم در هکتار و 2500 مترمکعب آبیاری بدست آمد.

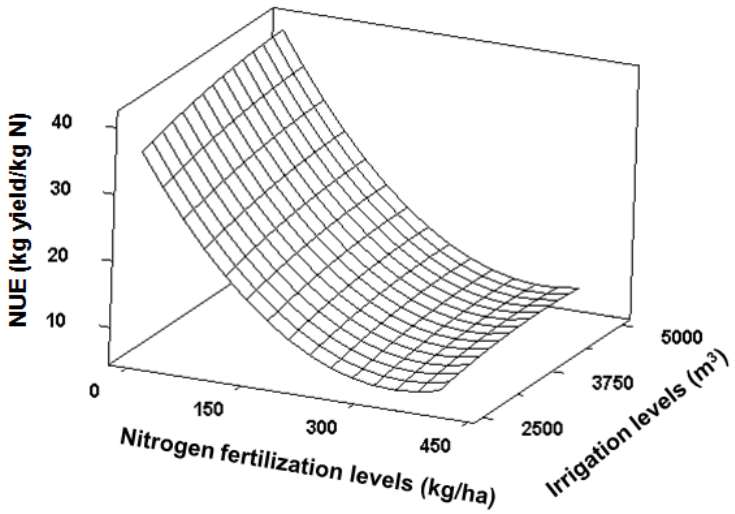
همبستگی مثبت کارایی زراعی نیتروژن و عملکرد دانه در اکثر مطالعات انجام‌شده قابل مشاهده‌است. در مطالعات مختلف نشان داده شده‌است که تعدیل در مصرف کودهای نیتروژنه می‌تواند منجر به بهبود کارایی مصرف این عنصر توسط گیاه شود (Calderini et al., 1995; Gan et al., 2008). در حالیکه افزایش مصرف کود در ارقام مختلف گندم منجر به کاهش کارایی جذب و بهره‌وری نیتروژن شد و درنهایت کارایی مصرف نیتروژن را کاهش داد (Ortiz et al., 2002; Dawson et al., 2008).

تلفات نیتروژن

شکل 9، نمودار رگرسیون خطی مقادیر برازش داده‌شده و مشاهده‌شده تلفات نیتروژن و مقدار *RMSE* را نشان می‌دهد. مقایسه عرض از مبدأ (P =0/68، t=0/44) و شیب خط رگرسیون (P =0/65، t=0/47) برازش داده‌شده با عرض از مبدأ و شیب خط 1:1 نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار آنها بود.

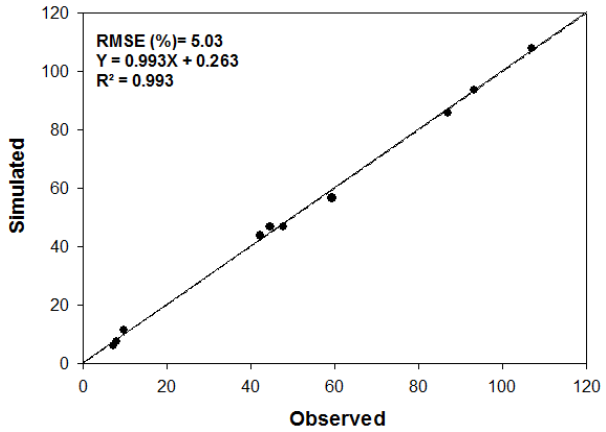
www.SID.ir

Archive of SID



شکل 8- سطح پاسخ کارایی مصرف نیتروژن نسبت به سطوح مختلف کوددهی نیتروژن و آبیاری

Fig. 8- Response surface for nitrogen use efficiency in different nitrogen fertilization and irrigation levels



شکل 9- نمودار و معادله خط رگرسیون مقادیر برازش شده و مشاهده شده در مورد تلفات نیتروژن و درصد RMSE با توجه به مدل رگرسیون درجه دو کامل

Fig. 9- Graph and equation of the regression line and the value of RMSE for observed and predicted values of the nitrogen losses based on full quadratic regression model

سطح پاسخ تأثیر کود نیتروژن و مقادیر مختلف آبیاری بر تلفات نیتروژن نشان‌دهنده اثر مثبت مقادیر بالای مصرف منابع بر افزایش تلفات نیتروژن است. بطوریکه بیشترین مقدار تلفات نیتروژن در ترکیب تیماری 5000 مترمکعب آبیاری و 400 کیلوگرم کود اوره بدست آمد.

هارپر و همکاران (Harper et al., 1987) گزارش کردند که 52 تا 73 درصد از کود نیتروژن مصرفی در کشت ذرت جذب نشده و تلف می‌گردد. ران و جانسون (Raun & Johnson, 1991) این تلفات را در زراعت گندم زمستانه 21 تا 41 درصد برآورد کردند، بعلاوه کارایی مصرف کودهای نیتروژن مصرفی در زراعت غلات را 33 تا 50 درصد گزارش کردند.

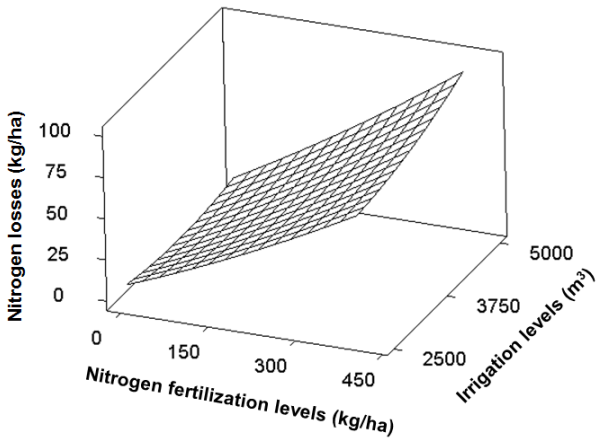
بهینه‌سازی منابع

بهینه‌سازی مقادیر آبیاری و کوددهی نیتروژن با توجه به سه

www.SID.ir

Archive of SID

سناریوی اقتصادی، زیست‌محیطی و اقتصادی-زیست‌محیطی صورت گرفت. در سناریوی اقتصادی عملکرد دانه گندم بعنوان فاکتور اصلی تعیین‌کننده مقادیر بهینه منابع درنظر گرفته‌شد. بدین ترتیب نتایج نشان داد که با کاربرد حدود 274 کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار و مقدار 3964 مترمکعب آبیاری در طول فصل رشد می‌توان به عملکرد دانه بالغ بر 4045 کیلوگرم در هکتار و عملکرد بیولوژیک 9908 کیلوگرم در هکتار دست‌یافت. در چنین شرایطی کارایی مصرف نیتروژن 9/76، کارایی مصرف آب 1/02 و تلفات نیتروژن معادل 54/45 کیلوگرم در هکتار خواهد بود (جدول 5).



شکل 10- سطح پاسخ تلفات نیتروژن نسبت به سطوح مختلف کوددهی نیتروژن و آبیاری

Fig. 10- Response surface for nitrogen losses in different nitrogen fertilization and irrigation levels

درحالیکه در سناریوی زیست‌محیطی، کاهش تلفات نیتروژن، فاکتور تعیین‌کننده در بهینه‌سازی منابع مصرفی در نظر گرفته شد. درواقع هدف از این سناریو کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از مصرف زیاد کود نیتروژن و همچنین توجه به هدر رفت آب مصرفی بود و عملکرد اقتصادی اهمیت کمتری داشت. با توجه به این سناریو کوددهی نیتروژن به میزان 64/65 کیلوگرم در هکتار و 2651 مترمکعب آبیاری منجر به کاهش 71 درصدی تلفات نیتروژن نسبت به سناریوی اقتصادی گردید. با توجه به مقدار بهینه منابع مصرفی در این سناریو میزان عملکرد دانه 3006 کیلوگرم در هکتار، عملکرد بیولوژیک 7091 کیلوگرم در هکتار، کارایی مصرف آب 1/17، کارایی مصرف نیتروژن 26/22 و تلفات نیتروژن 15/63 کیلوگرم در هکتار بدست آمد (جدول 5).

در سناریوی اقتصادی – زیست‌محیطی، کارایی مصرف منابع بعنوان فاکتورهای تعیین‌کننده بهینه‌سازی منابع مصرفی موردتوجه قرار گرفتند و عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک پیش‌بینی‌شده در این سناریو به ترتیب 3569 و 8248 کیلوگرم در هکتار بود.

نتیجه‌گیری

به‌منظور دستیابی به تولید پایدار محصولات زراعی، ازجمله اصول اولیه بهبود کارایی مصرف منابع و جلوگیری از هدر رفت نهاده‌های کشاورزی است. نتایج مطالعات مختلف نشان داده‌است که باوجود افزایش بیش‌از اندازه مصرف نهاده‌های مختلف در بخش کشاورزی بویژه افزایش مصرف کودهای نیتروژنه، عملکرد گیاهان زراعی به همان نسبت افزایش نیافته‌است. لذا بهبود مدیریت نظام-های زراعی و استفاده بهینه از منابع ضروری به نظر می‌رسد. در این مطالعه با توجه به سناریوهای مختلف مطرح‌شده، مقادیر بهینه کود نیتروژن و آبیاری بصورت همزمان در زراعت گندم محاسبه شدند. در سناریوی اقتصادی- زیست‌محیطی، علاوه بر توجه بر جنبه اقتصادی تولید و عملکرد دانه، مسائل زیست‌محیطی تولید که در این مطالعه تلفات نیتروژن را شامل می‌شد، در نظر گرفته شد. لذا به نظر می‌رسد مصرف منابع با توجه به مقادیر بهینه‌سازی شده بر اساس این سناریو می‌تواند بعنوان مناسب‌ترین سطوح مصرف کود نیتروژن و آبیاری با توجه به شرایط مطالعه انجام‌شده در نظر گرفته شوند.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول 5- مقادیر بهینه‌سازی شده کود نیتروژن و آبیاری جهت دستیابی به متغیرهای وابسته مورد انتظار در سناریوهای موردبررسی

Table 5- Optimized values of nitrogen fertilizer and irrigation for reaching the dependent variables based on evaluated scenarios

سناریوها Scenarios	متغیرهای وابسته Dependent variables (Y)					متغیرهای مستقل Independent variables (X)	
	تلفات نیتروژن Nitrogen losses ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد بیولوژیک Biological yield ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد دانه Seed yield ($kg.ha^{-1}$)	NUE	WUE	آبیاری Irrigation (m^3)	نیتروژن Nitrogen ($kg.ha^{-1}$)
اقتصادی Economic	54.45	9908.31	4045.06	9.76	1.02	3964.65	274.75
زیست محیطی Ecological	15.63	7091.52	3006.13	26.22	1.17	2651.51	64.65
اقتصادی-زیست محیطی Economic-Ecological	28.54	8248.74	3569.45	16.62	1.15	3030.30	153

سپاسگزاری

تأمین شده‌است که بدینوسیله سپاسگزاری می‌شود.

بودجه این طرح از محل پژوهه شماره 17676/2 مورخ 1390/3/4 معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه فردوسی مشهد

منابع

Aslan, N. 2007. Application of response surface methodology and central composite rotatable design for modeling the influence of some operating variables of a multi-gravity separator for chromite concentration. Powder Technology 86: 769–776.

Behera, S.K., and Panda, R.K. 2009. Effect of fertilization and irrigation schedule on water and fertilizer solute transport for wheat crop in a sub-humid sub-tropical region. Agriculture, Ecosystems and Environment 130: 141-155.

Bole, J.B., and Dubetz, S. 1986. Effect of irrigation and nitrogen fertilizer on the yield and protein content of soft white spring wheat. Canadian Journal of Plant Science 66: 281-289.

Boswell, F.C., Meisinger, J.J., and Case, W.L. 1985. Fertilizer technology and use: Production, marketing and use of nitrogen fertilizers. Soil Science Society of America Publication. p. 229-292.

Box, G.E.P., and Wilson, K.B. 1952. On the experimental attainment of optimum conditions. Journal of the Royal Statistical Society 1: 13-18.

Box, G.E.P., and Hunter, J.S. 1957. Multi-factor experimental designs for exploring response surfaces. The Institute of Mathematical Statistics. p. 195-241.

Calderini, D., Torres- Leon, F., and Slafer, G.A. 1995. Consquences of wheat breeding on nitrogen and phosphorus yield, grain nitrogen and phosphorus concentration and associated traits. Annuls of Botany 76: 315- 322.

Caliandro, A., and Boari, F. 1992. Supplementary irrigation in arid and semi-arid regions. In: International conference on supplementary irrigation and drought water management, Italy, 27 September- 2 October.

Cossey, D.A., Thomason, W.E., Mullen, R.W., Wyun, K.J., Woolfolk, C.W., Johnson, G.V., and Raun, W.R. 2002. Relationship between ammonium and nitrate in wheat plant tissue and estimated nitrogen loss. Journal of Plant Nutrition 25 (7): 1429– 1442.

Davis, J.G., Westfall, D.G., Mortvedt, J.J., and Shanahan, J.F. 2002. Fertilizing winter wheat. Agronomy Journal 84: 1198-1203.

www.SID.ir

Archive of SID

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 agriculture systems. Field Crops Research 107: 89-101.

FAO (Food and Agriculture organizations of the United Nations). 2013. FAOSTAT, agricultural production. [WWW document]. URLhttp://faostat3.fao.org/home/index.html.

Gan, Y., Malhi, S.S., Brandt, S., Katepa-Mupondwa, F., and Stevanson, C. 2008. Nitrogen use efficiency and nitrogen uptake of juncea Canola under diverse environments. Agronomy Journal 100: 285-295.

Haefner, J.W. 2005. Modeling Biological Systems: Principles and Applications. 2nd ed., Utah State University, USA.

Harper, L.A., Sharpe, R.R., Langdale, G.W., and Giddens, J.E. 1987. Nitrogen cycling in a wheat crop: Soil, plant and aerial nitrogen transport. Agronomy Journal 79: 965-973.

Hatfield, J.L., and Prueger, J.H. 2004. Nitrogen over-use, under-use, and efficiency. Crop Science 26: 156-168.

Hosseini, R., Galeshi, S., Soltani, A., and Kalateh, M. 2012. The effect of nitrogen on yield and yield component in modern and old wheat cultivars. Electronic Iranian Journal of Crop Production 4: 187-199. (In Persian with English Summary).

Kiziloglu, F.M., Sahin, U., Kuslu, Y., and Tunc, T. 2009. Determining water-yield relationship, water use efficiency, crops and pan coefficients for silage maize in a semiarid region. Irrigation Science 27: 129-137.

Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Moradi, R., and Mansouri, H. 2014. Optimizing of water, nitrogen and density in canola cultivation by central composite design. Soil Science and plant Nutrition 60 (2): 286-298.

Li, Z.Z., Li, W.D., and Li, W.L. 2004. Dry-period irrigation and fertilizer application affect water use and yield of spring wheat in semiarid regions. Agricultural Water Management 65: 133–143.

Mahajan, G., Chauhan, B.S., Timsina, J., Singh, P.P., and Singh, K. 2012. Crop performance and water-and nitrogen-use efficiencies in dry-seeded rice in response to irrigation and fertilizer amounts in northwest India. Field Crops Research 134: 59-70.

Mahler, R.L., Koehler, F.E., and Lutcher, L.K. 1994. Nitrogen source, timing of application and placement: Effects on winter wheat production. Agronomy Journal 86: 637-642.

Mei-Hua, D., Xiao-Jun, S., Yu-Hua, T., Bin, Y., Shao-Lin, Z., Zhao-Liang, Z., and Kimura, S.D. 2012. Orimizing nitrogen fertilizer application for rice production in the Taihu lake region, China. Pedosphere 22: 48-57.

Ortiz, R., Nurminen, M., Madsen, S., Rognil, O.A., and Bjornstad, A. 2002. Genetic gains in Nordic spring barley breeding over sixty years. Euphytica 126: 283-289.

Pandy, P.K., Maranville, J.W., and Admou, A. 2001. Tropical wheat response to irrigation and nitrogen in a sahelian environment. I. Grain yield, yield components and water use efficiency. European Journal of Agronomy 15: 93-105.

Raun, W.R., and Johnson, G.V. 1991. Improving nitrogen use efficiency for cereal production. Agronomy Journal 91: 357- 363.

Ritter, W.F. 1980. Nitrate leaching under irrigation in the US: a review. Journal of Environmental Health 24: 349–378.

Rong, Y., and Xuefeng, W. 2011. Effects of nitrogen fertilizer and irrigation rate on nitrate present in the profile of a sandy farmland in Northwest China. Procedia Environmental Sciences 11: 726-732.

Sandhu, K.S., Arora, V.K., Chand, R., Sandhu, B.S., and Khera, K.L. 2000. Optimizing time distribution of water supply and fertilizer nitrogen rates in relation to targeted wheat yields. Experimental Agriculture 36: 115–125.

Shahsavari, N., and Saffari, M. 2005. Effect of amount of nitrogen on yield and yield components of three bread wheat cultivars in Kerman. Iranian Journal of Agricultural Sciences 18: 81-87. (In Persian with English Summary)

Whalley, W.R., Clark, L.J., Gowing, D.J.G., Cope, R.E., Lodge, R.J., and Leeds- Harrison, P.B. 2006. Does soil strength play a role in wheat yield losses caused by soil drying? Plant and Soil 280:279–90.

Wu, C.F.J., and Hamada, M. 2000. Experiments: Planning, Analysis, and Parameter Design Optimization. New York, 760 pp.

Zhou, X., Wang, H., Chen, Q., and Ren, J. 2007. Coupling effects of depth of film-bottomed tillage and amount of irrigation and nitrogen fertilizer on spring wheat yield. Soil and Tillage Research 94: 251-261.

www.SID.ir

Archive of SID

Journal of Agroecology
Vol. 11, No.2, Summer 2019, p. 515-530

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد 11، شماره 2، تابستان 1398، ص 530-515

Optimization of Nitrogen Fertilizer and Irrigation in Wheat (*Triticum aestivum* L.) Cultivation by Central Composite Design

M. Nassiri Mahallati, A. R. Koocheki, F. Fallahpour and M. B. Amiri

Submitted: 24-02-2014
Accepted: 05-01-2015

Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A. L., Fallahpour, F and Amiri, M. B. 2019. Optimization of nitrogen fertilizer and irrigation in wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivation by central composite Design. Journal of Agroecology. 11(2): 515-530.

Introduction

Cereals are the most important crops all around the world and among them, wheat has the first rank in terms of production and the cultivation area. This plant is one of the main agricultural products in Iran and provides 45% of calories and 70% of the protein consumed by the Iranian people. Irrigation and soil nutrient availability are considered as main factors affecting the wheat yield. Nowadays, intensive application of these inputs in the conventional agricultural systems is considered to achieve maximum yield, whereas surplus use of them does not only have any significant positive influence on the yield but also has been led to environmental problems for example by leaching the nitrogen losses to underground water and imposes extra costs to the agricultural ecosystems. Therefore, the present study was conducted to optimize the application amount of nitrogen fertilizer and irrigation in wheat by using central composite design technique.

Materials and methods

In order to determine the optimal application rates of nitrogen and water in wheat cultivation, a field experiment was conducted based on central composite design in the research field of Ferdowsi University of Mashhad during the 2011 growing season. The treatments were designed based on low and high levels of nitrogen (0 and 400 kg urea.ha^{-1}) and irrigation (2500 and 5000 m^3). Central point in each treatment repeated five times and the number of treatments were calculated based on $2^k + 2k + r$, in which k is the number of evaluating factors (nitrogen and irrigation) and r is the replication number of the central point. Therefore, 13 combination treatments were designed. Several features including seed yield, biological yield, nitrogen losses, nitrogen use efficiency and water use efficiency were measured as dependent variables and response surface of these variables under each combination treatment was calculated by regression model. Finally, the optimum values of water and nitrogen consumption were determined according to three scenarios including economic, environmental and economic-environmental scenarios.

Results and discussion

The results indicated a positive effect of increasing nitrogen fertilization and irrigation on seed yield, biological yield and water use efficiency. Whereas, increasing irrigation level led to decreasing nitrogen use efficiency and increasing nitrogen losses. Finally, the optimum levels of nitrogen and irrigation were estimated based on three scenarios including economic, environmental and economic- environmental. In economic scenario, the optimum levels of fertilizer and irrigation were estimated 274 kg urea.ha^{-1} and 3964 m^3.ha^{-1}, respectively to obtain 4045 kg.ha^{-1} seed yield and 9908 kg.ha^{-1} biological yield. In environmental scenario, the optimum levels of the treatments to obtain the minimum nitrogen losses amounts were 64.65 kg urea.ha^{-1} and 2651 m^3.ha^{-1}, respectively. In economic-ecological scenario, both seed yield and nitrogen losses were considered, so the estimated input rates were 153 kg urea.ha^{-1} and 3030 m^3.ha^{-1} irrigation. Simultaneous

1 and 2- Professors and PhD of Agroecology, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran, respectively.
3- Assistant Professor, University of Gonabad, Iran.
(*- Corresponding author Email: akooch@um.ac.ir)

www.SID.ir

Archive of SID

consideration of the economic aspects and environmental issues to the production in economic-ecological scenario shows the excellence of this scenario than other the two scenarios.

Conclusion

In order to achieve sustainable production of crops, one of the basic principles is to improve resource efficiency and prevent agricultural input losses. Based on our results, it seems that the optimization values of nitrogen fertilization and irrigation calculated in the economic-environmental scenario which simultaneously considered both economic and environmental aspects of wheat production can be suggested as the most appropriate levels of these two factors according to the study conditions.

Acknowledgements

This study was financially supported by the Ferdowsi University of Mashhad, Iran (Grant number 17676/2).

Keywords: Economic-environmental scenario, Nitrogen losses, Resource use efficiency, Seed yield

www.SID.ir