نشریه تولید گیاهان زراعی
جلد سیزدهم، شماره سوم، پاییز ۹۹
۱۱۹-۱۴۰
http://ejcp.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/ejcp.2021.17978.2328

بهینه‌سازی اثر سطوح کودهای نیتروژن و فسفر بر عملکرد و شاخص‌های کیفی در گندم با استفاده از مدلسازی سطح– پاسخ

سرور خرم دل[1*]، مهدی نصیری محلاتی[2]، مینا هوشمند[3] و محمدجواد مصطفوی[3]

[1]دانشیار گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
[2]استاد گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
[3]دانشجوی دکتری بوم شناسی زراعی، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۳/۱۹ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۸/۱۶

چکیده

مقدمه: کاربرد نامتعادل کودهای نیتروژن و فسفر موجب کاهش عملکرد، کاهش کارایی مصرف و افزایش تلفات عناصر غذایی می‌شود. کاربرد کودهای نیتروژن و فسفر به عنوان راهکاری مهم برای افزایش عملکرد و بهبود خصوصیات کیفی دانه در نظام‌های تولید گندم مدنظر قرار می‌گیرد. فسفر عمدتاً یک عنصر محدودکننده در تولید گیاهان زراعی محسوب می‌شود و برای بهبود کارایی مصرف نیتروژن نیز ضروری می‌باشد. مدلسازی سطح- پاسخ (RSM) روش آماری برای بهینه‌سازی چند عامل بوده که با استفاده از ترکیب تیمارها شرایط بهینه عوامل تولید را تعیین می‌کند. در این مطالعه، بهینه‌سازی کاربرد کودهای نیتروژن و فسفر بر عملکرد، اجزای عملکرد و خصوصیات کیفی دانه گندم با استفاده از مدلسازی سطح- پاسخ مورد مطالعه قرارگرفت.

مواد و روش‌ها: این آزمایش با ۱۳ تیمار و دو تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ انجام شد. تیمارها بر اساس سطوح پایین و بالای نیتروژن (به ترتیب با صفر و ۴۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار) و فسفر (به ترتیب با صفر و ۱۰۰ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل در هکتار) تعیین شدند. عملکرد بیولوژیکی، عملکرد دانه، شاخص برداشت، خصوصیات رشد، اجزای عملکرد (شامل تعداد پنجه در متر مربع، ارتفاع بوته، طول خوشه، تعداد دانه در خوشه، وزن دانه در خوشه، وزن دانه در بوته، تعداد خوشه در بوته، وزن خوشه در بوته و وزن خشک ساقه در متر مربع) و خصوصیات کیفی دانه گندم (درصد نیتروژن، درصد پروتئین و درصد فسفر) به عنوان متغیر وابسته مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند و تغییرات این متغیرها با استفاده از مدل رگرسیونی ارزیابی شد. به منظور ارزیابی کیفیت مدل از آزمون عدم برازش استفاده شد. بسندگی مدل با آنالیز واریانس مورد ارزیابی قرار گرفت. کیفیت مدل با استفاده از ضریب تبیین (R^2) ارزیابی شد. در نهایت، مقادیر بهینه کودهای نیتروژن و فسفر بر اساس سه سناریوی اقتصادی، زیست محیطی و اقتصادی- زیست محیطی محاسبه شد.

نتایج: نتایج نشان داد که اثر جزء خطی بر شاخص برداشت، طول خوشه، اجزای عملکرد (شامل وزن دانه در بوته، تعداد خوشه در بوته، وزن خوشه در بوته و تعداد پنجه در متر مربع)، درصد نیتروژن دانه و درصد پروتئین دانه معنی‌دار بود. اثر جزء درجه دو عملکرد بیولوژیکی، عملکرد دانه، تعداد پنجه در متر مربع، وزن دانه در بوته و وزن خوشه در بوته، درصد نیتروژن، درصد پروتئین و درصد فسفر دانه و اثر متقابل ارتفاع بوته، طول خوشه، تعداد دانه در خوشه و درصد نیتروژن دانه را به طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار داد. آزمون عدم برازش در مورد هیچ‌یک از صفات مورد مطالعه معنی‌دار نبود که نشان‌دهنده برازش مطلوب مدل رگرسیون درجه دو می‌باشد. بالاترین مقدار مشاهده شده و پیش‌بینی شده عملکرد دانه به ترتیب برای تیمارهای ۴۰۰ کیلوگرم

* مسئول مکاتبه: khorramdel@um.ac.ir

اوره در هکتار + ۱۰۰ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل در هکتار و ۲۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار + ۵۰ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل در هکتار با ۷۱۷/۵٤ و ٥٩٤/٨٩ گرم در متر مربع به‌دست آمد. بیشترین مقدار مشاهده شده و پیش‌بینی شده درصد نیتروژن دانه (به‌ترتیب با ۱/۷۲ و ۱/٦۲ درصد) و درصد پروتئین دانه (به‌ترتیب با ۱۰/۷٦ و ۱۰/۰۲ درصد) برای تیمار ٤۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار + ۵۰ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل مشاهده شد. در سناریوی اقتصادی-زیست محیطی عملکرد دانه، درصد نیتروژن و درصد فسفر دانه هم‌زمان مد نظر قرار گرفت و مقادیر بهینه کودهای نیتروژن و فسفر به‌ترتیب برابر با ۱٤۱/٤۱ کیلوگرم اوره و بدون فسفر تعیین گردید.

نتیجه‌گیری: افزایش مصرف کودهای نیتروژن و فسفر تا سطح بهینه موجب افزایش عملکرد و خصوصیات کیفی دانه گندم شد. بهینه‌سازی عناصر غذایی موجب افزایش جذب و بهبود عملکرد در نظام‌های تولید گندم می‌شود و کاهش وابستگی به نهاده‌های خارجی هم‌چون کودهای شیمیایی که افزایش هزینه‌ها و تشدید آلودگی‌های زیست‌محیطی را به دنبال دارد. بهینه‌سازی عناصر غذایی خاک اطلاعاتی در زمینه پایداری نظام‌های زراعی و پتانسیل آلودگی‌های زیست‌محیطی فراهم را می‌کند. به‌طور کلی، بهینه‌سازی مصرف عناصر غذایی راهکاری سودمند است که به‌طور گسترده‌ای در کشاورزی مدرن مورد استفاده قرار می‌گیرد.

واژه‌های کلیدی: آزمون عدم برازش، پایداری نظام‌های زراعی، ضریب تبیین، مدل رگرسیون.

مقدمه

در سال‌های اخیر کاربرد مدل‌های ریاضی در کشاورزی جهت بهبود عملکرد و کاهش اثرات زیست محیطی مورد توجه قرار گرفته است. در بهینه‌سازی هدف فراهم آوردن برخی اطلاعات آماری مرتبط با مدل‌سازی فرایندهاست که از آنالیز رگرسیون چند متغیره یا در اصطلاح روش سطح- پاسخ (RSM)[1]، استفاده می‌کند. RSM که با کمترین تعداد داده، مقدار بهینه چندین متغیر را به‌صورت هم‌زمان تعیین می‌کند، شامل گروهی از تکنیک‌های ریاضی و آماری است که برای به‌دست آوردن روابط کمی بین متغیرهای وابسته و تعدادی متغیر مستقل استفاده می‌شود. یکی از اهداف اصلی RSM، تعیین سطح بهینه‌ای از متغیرهای مستقل است که منتهی به حداکثر یا حداقل پاسخ می‌شود و این امر نیاز دارد تا مدل برازش مناسبی فراهم شود (۵، ۱۰، ۱۱).

طرح مرکب مرکزی یک روش جایگزین و مناسب برای طرح فاکتوریل می‌باشد که توسط باکس و ویلسون (۱۹۵۲) بیان و توسط باکس و هانتر (۱۹۵۷) اصلاح گردید (۱۰، ۱۱). نتایج مطالعه کوچکی و همکاران (۲۰۱٤) روی تعیین میزان بهینه آب و نیتروژن و تراکم گیاه کلزا (*Brassica napus*) با استفاده از طرح مرکب مرکزی نشان داد که افزایش سطوح آبیاری و کود باعث افزایش عملکرد دانه و تلفات نیتروژن گردید، در صورتی‌که افزایش تراکم بوته باعث افزایش عملکرد دانه و کاهش تلفات نیتروژن شد (۳۲) . لطیفی (۲۰۱۷) با بهینه‌سازی کود نیتروژن و تراکم بوته کنجد (*Sesamum indicum*) بر مبنای بهره‌گیری از طرح مرکب مرکزی، مقدار مطلوب در سناریوی اقتصادی را کاربرد ۹۷/۹۷ کیلوگرم اوره و تراکم ۱٤ بوته در متر مربع گزارش نمود (۳٤). بر اساس سناریوی زیست محیطی، مصرف کود اوره و تراکم بوته به‌ترتیب بدون مصرف کود اوره و ۲۹ بوته در متر مربع و در سناریوی اقتصادی - زیست محیطی مصرف ۳۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار و تراکم ۲۸ بوته در متر مربع تعیین گردید. بنابراین، در طراحی و مدیریت پایدار نظام‌های کشاورزی باید از طریق راهکارهای مدیریت زراعی از هدر رفت نیتروژن به عنوان یکی از مهم‌ترین نهاده‌های تولید از طریق

1. Respons Surface Methodology

فرسایش، آب‌شویی و خروج بقایای گیاهی جلوگیری کرد.

تحقیقات نشان داده است که افزایش عملکرد محصولات زراعی در نیمه دوم قرن گذشته عمدتاً وابسته به استفاده از نهاده‌های شیمیایی به ویژه کودهای نیتروژن بوده است (۱٤، ۲۱، ۲٤). فسفر نیز نقش مهمی در فتوسنتز، سنتز اسید نوکلئیک، پروتئین، چربی و سایر ترکیبات ضروری دارد (۳۹). نتایج برخی تحقیقات (٤٥، ٥۱، ٥۹) نشان داده است که با افزایش مقدار مصرف فسفر، عملکرد دانه، تعداد سنبله در متر مربع و جذب فسفر در گندم (*Triticum aestivum*) به دلیل بهبود شرایط برای گسترش سیستم ریشه‌ای و رشد گیاه افزایش یافت. نیتروژن و فسفر مهم‌ترین عناصر محدودکننده تولید در نظام‌های زراعی هستند (۲۱، ۲٦) و پایداری و توسعه بسیاری از نظام‌های تولیدی به محتوی این عناصر در خاک وابسته است (۱٥، ٤۷). به طوری‌که دامنه بهبود عملکرد محصولات مختلف زراعی تحت تأثیر این کودها ٥۰-۳۰ درصد گزارش شده است (۲٤). صرف‌نظر از همبستگی افزایش عملکرد با نیتروژن (r=0.93) در نظام‌های زراعی غلات، فرم نیتروژن مصرفی طی سال‌های اخیر از شکل آلی و تثبیت شده به استفاده از کودهای صنعتی تغییر یافته است (۱٤). نصیری‌محلاتی و کوچکی (۲۰۱۷) گزارش نمودند که مصرف کودهای نیتروژن طی دوره‌ای ٤۰ ساله در کشور ۹/٥ برابر افزایش یافته؛ در حالی‌که افزایش عملکرد گندم در این دوره ۳/٤ برابر بوده است (٤۱). کونانت و همکاران (۲۰۱۳) نیز بیان داشتند که تنها ٤۰ درصد از نیتروژن مصرفی در نظام‌های زراعی بازیافت یا جذب می‌شود که این امر ضرورت بهینه‌سازی میزان مصرف این عنصر را پررنگ می‌نماید (۱٤).

از آنجا که نیتروژن و فسفر از مهم‌ترین و پرکاربردترین نهاده‌ها در نظام‌های تولید به منظور افزایش عملکرد هستند (۲۱، ۲٦)، آگاهی از واکنش گیاهان بر اساس شرایط مدیریتی به سطوح این دو عنصر پرمصرف ضروری می‌باشد (۳۰). همچنین، تعادل بین عناصر غذایی نیتروژن و فسفر (پرمصرف) نقش مهمی در بهبود تولید محصول، افزایش کیفیت و کاهش آلودگی‌های زیست محیطی به واسطه تخفیف تلفات این عناصر ایفا می‌نماید (۳٥). بر این اساس، هدف از این تحقیق بررسی اثر کود نیتروژن و فسفر بر عملکرد، اجزای عملکرد و محتوی نیتروژن و فسفر دانه گندم و بهینه‌سازی این عناصر با استفاده از طرح مرکب مرکزی بود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در مزرعه تحقیقاتی کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد به صورت طرح مرکب مرکزی با دو تکرار در سال زراعی ۹۷-۱۳۹٦ اجرا شد. ترکیب تیماری با استفاده از معادله (۱) محاسبه شد.

معادله ۱: $t=2^k+2k+r$

در این معادله، k تعداد تیمار و r تعداد تکرار در سطح میانگین می‌باشد (٥، ۱۰). تیمارها بر اساس سطح پایین و بالای نیتروژن (به ترتیب با صفر و ٤۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار) و فسفر (به‌ترتیب با صفر و ۱۰۰ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل در هکتار) تعیین شدند. بر این اساس، ۱۳ ترکیب تیماری انتخاب شدند که در جدول ۱ نمایش داده شده است.

جدول ۱- مقادیر تیمارها با توجه به طرح مرکب مرکزی.

Table 1- Rates for treatments based on central composite design.

تیمارها Treatments	
کود فسفر (کیلوگرم سوپرفسفات تریپل در هکتار) P fertilizer (kg triple super phosphate per ha)	کود نیتروژن (کیلوگرم اوره در هکتار) N fertilizer (kg Urea per ha)
0	0
0	400
100	0
100	400
50	0
50	400
0	200
100	200
50	200
50	200
50	200
50	200
50	200

پیش از کاشت، مراحل آماده‌سازی زمین شامل شخم عمیق در نیمه شهریور ماه انجام شد. به منظور آماده‌سازی بستر کاشت، در پنجم مهرماه دو نوبت دیسک عمود بر هم و یک نوبت سیکلوتیلر اعمال و سپس با کاربرد فاروئر غلطکی، ردیف‌هایی به فاصله ۵۵ سانتی‌متر ایجاد شد. چهار پشته ۵۵ سانتی‌متری به طول سه متر در هر کرت ایجاد شد. بذر (رقم اصلاح شده پیشگام) روی سه خط کاشت در هر پشته به‌صورت دستی برای دست‌یابی به تراکم ۳۰۰ بوته در متر مربع (مطابق با مقدار عرف منطقه) کاشته شد. قبل از کاشت تمامی مقادیر کود فسفر در کنار ردیف‌های کاشت قرار داده شد. کود نیتروژن به صورت سرک در سه مرحله ابتدای پنجه‌زنی، شروع ساقه‌دهی و زمان گلدهی اعمال شد. جهت جلوگیری از اختلاط اثر تیمارها، دو ردیف به صورت نکاشت بین کرت‌ها و دو متر بین تکرارها به عنوان فاصله در نظر گرفته شد. آبیاری به‌صورت جوی و پشته انجام شد. اولین آبیاری بلافاصله بعد از کاشت اعمال شد و پس از آن با توجه به رطوبت خاک ناشی از بارندگی، دور آبیاری با دور ۱٤ روزه تا پایان رشد محصول ادامه پیدا کرد. در نهایت، در پایان فصل رشد در ۱٤ تیرماه (زمان زرد شدن و رسیدگی بوته‌ها) ابتدا پنج نمونه تصادفی از هر کرت جهت اندازه‌گیری و تعیین اجزای عملکرد شامل تعداد پنجه در بوته، ارتفاع بوته، طول خوشه، تعداد دانه در خوشه، وزن دانه در خوشه، وزن دانه در بوته، تعداد خوشه در بوته، وزن خوشه در بوته و وزن خشک بوته برداشت شد. بعد از حذف اثر حاشیه‌ای نیم متری از ابتدا و انتهای هر کرت، بوته‌ها برداشت و عملکرد دانه و بیولوژیکی تعیین شد. همچنین، از هر تیمار نمونه‌هایی از اندام‌های هوایی و دانه تهیه و پس از انتقال به آزمایشگاه درصد نیتروژن و فسفر دانه به‌ترتیب با استفاده از روش هضم تر و اولسن تعیین شد.

به منظور انتخاب مدل مناسب، مدل درجه دو با اثر متقابل بین عامل‌ها برازش (معادله ۲) و سپس بر اساس معیارهای آماری تجزیه رگرسیون (مقادیر F، P value و R) و آزمون عدم برازش بهترین مدل انتخاب شد (۵، ۳۲). سپس این مدل برای بهینه‌سازی

میزان مصرف کود نیتروژن و فسفر در گندم استفاده گردید.

معادله ۲: $Y=a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_1^2 + a_4x_2^2 + a_5x_1x_2^2$

در این معادله، Y متغیر وابسته بوده و با توجه به عملکرد دانه، میزان نیتروژن، پروتئین و فسفر دانه به صورت جداگانه محاسبه شد؛ X_1 متغیر مستقل کود نیتروژن، X_2 متغیر مستقل کود فسفر و a_1 تا a_5 ضرایب معادله می‌باشند.

در نهایت، نتایج داده‌های پیش‌بینی شده با مشاهده شده مورد مقایسه قرار گرفت و اعتبار مدل‌های رگرسیون با استفاده از آزمون‌های آماری میانگین جذر مربعات خطا (معادله ۳) و مقایسه رگرسیون خطی با خط یک به یک ارزیابی شد (۵، ۳۲).

معادله ۳: $RMSE\ (\%) = \frac{100}{\tilde{O}} * \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i-O_i)^2}{n}}$

که در این معادله، $\tilde{O}$ میانگین مشاهدات، P_i مقادیر برازش شده و O_i مقادیر مشاهده شده می‌باشند.

مقادیر بهینه کودهای نیتروژن و فسفر با توجه به سه سناریوی اقتصادی، زیست‌محیطی و اقتصادی – زیست محیطی تعیین گردید (۳۲). بدین‌ترتیب که در سناریوی اقتصادی عملکرد دانه، در سناریوی زیست محیطی محتوای نیتروژن و فسفر دانه و در سناریوی اقتصادی – زیست محیطی عملکرد دانه و محتوی نیتروژن و فسفر دانه به عنوان عوامل تعیین‌کننده در نظر گرفته شد. برای آنالیز آماری و ترسیم نمودارها از نرم‌افزارهای Minitab ver. 17 و Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مدل رگرسیونی درجه دو برای هر یک از متغیرهای وابسته شامل خصوصیات رشد، اجزای عملکرد و شاخص‌های عملکرد و محتوی نیتروژن و فسفر دانه گندم تحت تأثیر کودهای نیتروژن و فسفر در جدول ۳ نمایش داده شده است.

همان‌گونه که ملاحظه می‌گردد، اثر جزء خطی بر شاخص برداشت، طول خوشه، اجزای عملکرد (شامل وزن دانه در بوته، تعداد خوشه در بوته و وزن خوشه در بوته و تعداد پنجه در متر مربع)، اثر جزء درجه دو بر عملکرد بیولوژیکی، عملکرد دانه، تعداد پنجه در متر مربع، وزن دانه در بوته و وزن خوشه در بوته و اثر متقابل دو عامل نیتروژن و فسفر بر ارتفاع بوته، طول خوشه، تعداد دانه در خوشه معنی‌دار بود. آزمون عدم برازش در مورد هیچ یک از شاخص‌های عملکرد، صفات مرتبط با رشد و اجزای عملکرد دانه گندم معنی‌دار نبود که نشان‌دهنده برازش مطلوب مدل رگرسیون درجه دو می‌باشد (جدول ۳). با توجه به اینکه اثر جزءهای خطی، درجه دو و اثر متقابل به طور موثری بر تعداد نسبتاً بیشتری از صفات مورد مطالعه گندم شامل ارتفاع بوته، تعداد دانه در خوشه، وزن دانه در خوشه و وزن خشک ساقه در متر مربع معنی‌دار نبود (جدول ٤)، لذا توضیحات مربوط به این صفات مورد بررسی و ترسیم نمودارهای سطح – پاسخ قرار نگرفت.

ضریب رگرسیون، ضریب تبیین و RMSE برای برازش بین متغیرهای مستقل نیتروژن و فسفر با شاخص‌های رشد، عملکرد، اجزای عملکرد و خصوصیات کیفی دانه گندم در جدول ٤ ارائه شده که نمودارهای سطح – پاسخ بر این اساس، ترسیم شده است.

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) مدل درجه دو برای اثر کودهای نیتروژن و فسفر بر اجزای عملکرد و عملکرد گندم.

Table 3- Analysis of variance (mean of squares) of full quadratic model for effects of nitrogen and phosphorus fertilizers on yield components and yield of wheat.

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	عملکرد بیولوژیکی Biological yield	عملکرد دانه Seed yield	شاخص برداشت Harvest index	تعداد پنجه در متر مربع Tiller No./m^2	ارتفاع بوته Plant height	طول خوشه Spike length	تعداد دانه در خوشه Seed No./ spike	وزن دانه در خوشه Seed weight/ spike	وزن دانه در بوته Seed weight/ plant	تعداد خوشه در بوته Spike No./ plant	وزن خوشه در بوته Spike weight/ plant	وزن خشک ساقه در متر مربع Dry weight of stem per m^2	درصد نیتروژن دانه Nitrogen percentage of seed	درصد پروتئین دانه Protein percentage of seed	درصد فسفر دانه Phosphorus percentage of seed
مدل Model	6	71743**	25121**	30.615*	3.8328*	17.2934*	2.4303**	39.362ns	0.1245ns	23.5677**	3.5315ns	36.810**	3133146ns	0.0590*	2.3042*	0.0016*
تکرار Blocks	1	295282**	103626**	14.859ns	8.0431*	3.8847ns	11.9220**	10.714ns	0.1253ns	23.1998**	9.2726**	15.115ns	4768727ns	0.0002ns	0.0076ns	0.0035*
خطی Linear	2	807ns	3227ns	54.160*	3.9912*	7.2560ns	0.4217ns	11.443ns	0.1273ns	25.3977**	3.4369*	63.234**	4535925ns	0.0826*	3.2258*	0.0006ns
نیتروژن (N) Nitrogen (N)	1	169ns	5734ns	105.983**	6.9024*	12.7102ns	0.0641ns	15.847ns	0.1007ns	0.0943ns	5.1104*	11.73ns	6806655ns	0.1581*	6.1745*	0.0004ns
فسفر (P) Phosphorus (P)	1	1445ns	719ns	2.336ns	1.0800ns	1.8019ns	0.7793*	7.038ns	0.1539ns	50.701**	1.7633ns	114.738**	2265195ns	0.0071ns	0.2772ns	0.0008ns
درجه دو Square	2	66780**	18523ns	20.466ns	2.9231ns	3.1492ns	0.2909ns	3.820ns	0.1827ns	33.6996**	1.0814ns	39.399**	167185ns	0.0607ns	2.3696ns	0.0025*
N× N	1	133091**	26425*	37.114ns	1.7641ns	0.1785ns	0.4567ns	3.703ns	0.2928ns	13.8746*	0.9652ns	26.734*	13838ns	0.0339ns	1.3231ns	0.0039*
P × P	1	14144ns	1113ns	0.265ns	5.6362*	4.5216ns	0.3417ns	1.214ns	0.0018ns	28.5731**	1.92ns	22.106*	229105ns	0.1180*	4.6100*	0.00004ns
اثر متقابل 2-way interaction	1	3ns	3603ns	19.578ns	1.1250ns	70.0653**	1.2348**	194.933*	0.0015ns	0.0122ns	2.88ns	0.478ns	4623930ns	0.06723*	2.6271ns	0.00002ns
N× P	1	3ns	3603ns	19.578ns	121250ns	70.0653**	1.2348**	194.933*	0.0015ns	0.0122ns	2.88ns	0.478ns	4623930ns	0.06723*	2.6271ns	0.00002ns
خطا Error	19	11413	5453	9.914	1.2068	4.7346	0.1502	43.257	0.0960	2.5380	0.819	4.266	1792803	0.3885	00.7986	0.0006
عدم برازش Lack-of- fit	11	15352ns	87991ns	13.005ns	1.6034ns	4.8507ns	0.1727ns	61.124ns	0.08632ns	5.6354ns	1.1046ns	3.46ns	26127921ns	0.2292ns	0.8139ns	0.0007ns
خطای خالص Pure error	8	5997	852	5.664	0.6614	4.5750	0.1193	18.690	0.1094	1.0291	0.4261	5.374	665319	0.1592	0.7777	0.0005

ns: غیرمعنی‌دار و * و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

ns: non significant and * and **: are significant at 5 and 1 percent probability levels, respectively.

جدول ٤- ضرایب رگرسیون و تبیین و **RMSE** برای مدل درجه دو: $y=a_0+a_1x_1+a_2x_2+a_3x_1^2+a_4x_2^2+a_5x_1x_2$ تحت تأثیر کودهای نیتروژن و فسفر بر اجزای عملکرد، عملکرد و خصوصیات کیفی گندم.

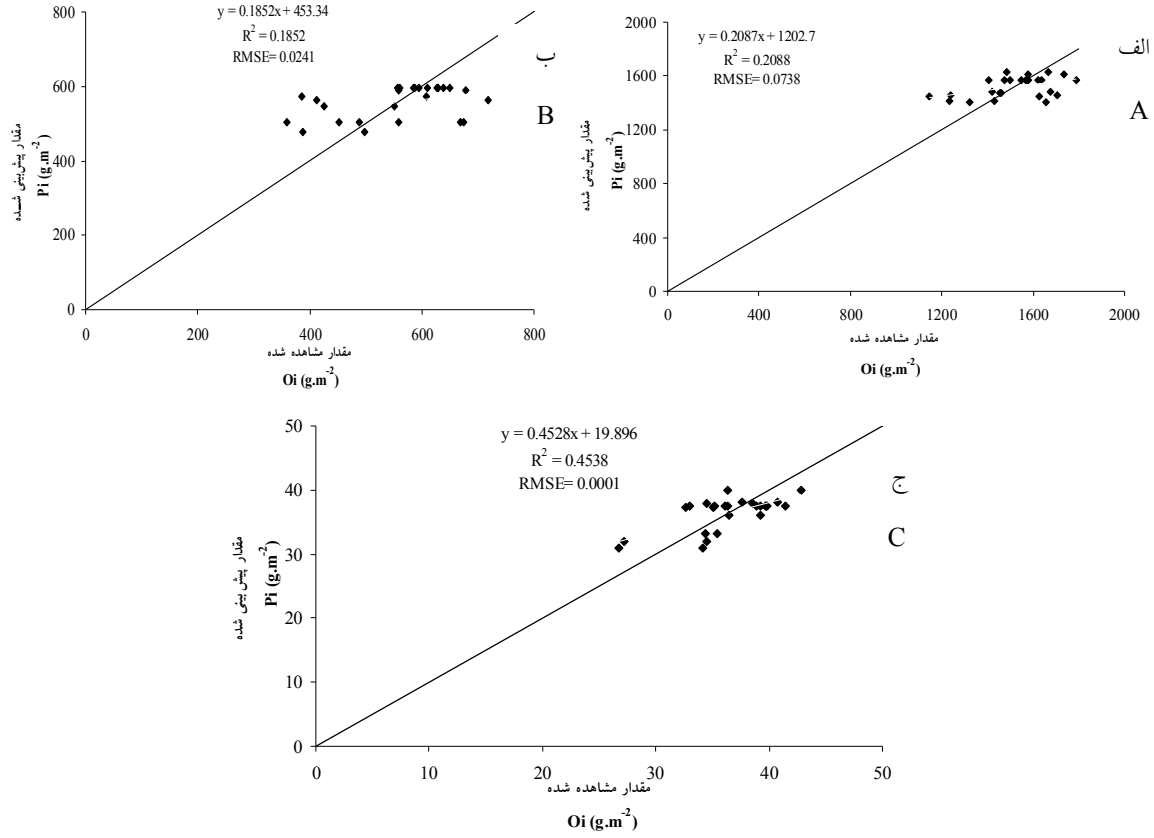
Table 4- Regression and R^2 coefficients and RMSE for full quadratic model: $y=a_0+a_1x_1+a_2x_2+a_3x_1^2+a_4x_2^2+a_5x_1x_2$ for effects of nitrogen and phosphorus fertilizers on yield components, yield and quality criteria of wheat.

	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	R^2 (%)	RMSE (%)
عملکرد بیولوژیکی Biological yield	1449.9	1.568	-1.82	0.00388	0.0202	0.00006	66.50	0.0738
عملکرد دانه Seed yield	503.1	0.695	0.30	-0.001729	-0.0057	0.00212	59.26	0.0241
شاخص برداشت Harvest index	33.24	0.033	-0.0312	-0.000065	0.000088	0.000156	49.37	0.0001
تعداد پنجه در متر مربع Tiller No./m^2	11.288	-0.01132	0.0389	0.000014	-0.000404	0.000038	50.07	0.0027
ارتفاع بوته Plant height	96.21	0.0227	-0.1068	0.000004	0.000362	0.000314	53.56	0.0389
طول خوشه Spike length	9.664	0.00521	0.00301	0.000007	0.000099	0.000039	83.63	0.054
تعداد دانه در خوشه Seed No./ spike	49.34	-0.0107	-0.065	-0.000020	-0.00019	0.000494	22.32	0.0131
وزن دانه در خوشه Seed weight/ spike	1.705	0.00283	0.00327	-0.000006	-0.000007	-0.000001	29.04	0.1178
وزن دانه در بوته Seed weight/ plant	10.26	0.01610	0.1313	-0.000040	-0.000910	0.000004	74.57	0.0984
تعداد خوشه در بوته Spike No./ plant	10.359	-0.01044	0.0193	0.000010	-0.000236	0.00006	57.66	0.149
وزن خوشه در بوته Spike weight/ plant	14.98	0.01828	0.1468	-0.000055	-0.0008	-0.000024	73.16	0.0064
وزن خشک ساقه در متر مربع Dry weight of stem per m^2	8963	-7.07	1.6	-0.0013	-0.081	0.076	35.56	5.3870
درصد نیتروژن دانه Nitrogen percentage of seed	1.1651	0.000249	0.00719	0.000002	-0.000058	-0.000009	47.67	0.0589
درصد پروتئین دانه Protein percentage of seed	7.282	0.00156	0.0450	0.000012	-0.000365	-0.000057	47.68	0.0145
درصد فسفر دانه Phosphorus percentage of seed	0.1740	-0.000301	0.000021	0.000001	0.000001	0.000000	46.21	5.3398

X_1 و X_2: به ترتیب نشاندهنده متغیرهای مستقل کودهای نیتروژن و فسفر هستند.

X_1 and X_2: indicate independent variables for nitrogen and phosphorus fertilizers, respectively.

بر اساس نتایج، مدل درجه دو بین ٦٦/٥٠-٤٩/٣٧ درصد از تغییرات عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی و شاخص برداشت و بین ٨٣/٦٣-٢٢/٣٢ درصد تغییرات شاخص‌های رشد و اجزای عملکرد دانه گندم را توصیف کرد (جدول ٤). نمودارهای رگرسیون خطی مقادیر پیش‌بینی شده و مشاهده شده و سطح - پاسخ عملکرد دانه و بیولوژیکی و شاخص برداشت گندم در شکل‌های ١ و ٢ نشان داده شده است.



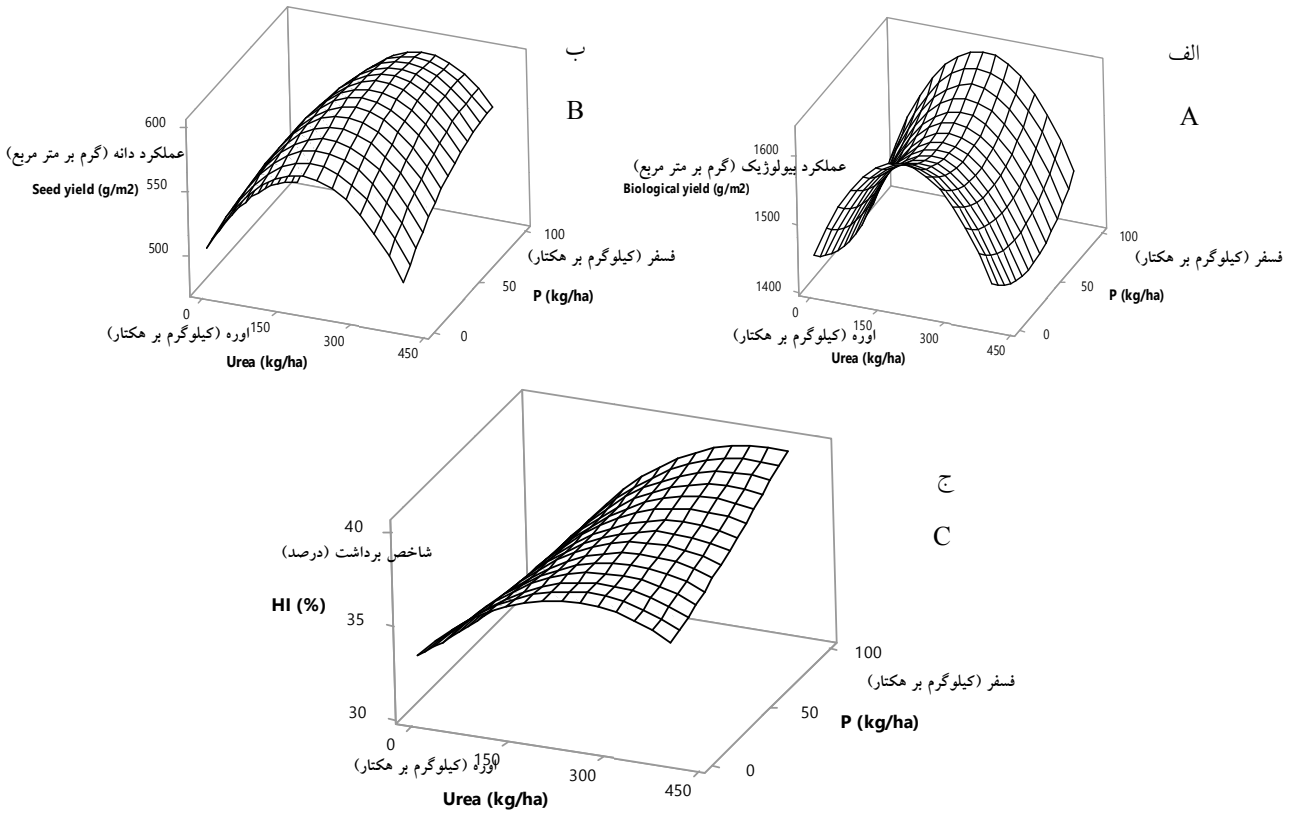
شکل ۱- مقایسه خط رگرسیون با خط ۱:۱ و RMSE (درصد) برای خصوصیات عملکرد گندم (شامل (الف) عملکرد بیولوژیکی، (ب) عملکرد دانه و (ج) شاخص برداشت) با توجه به مدل درجه دو (n=۲۶).

Figure 1- Comparisons for the regression line with 1:1 line and RMSE (%) for yield criteria of wheat (such as A) biological yield, B) seed yield and C) harvest index) based on a full quadratic model (n=26).

مقدار پایین RMSE برای عملکرد بیولوژیکی، عملکرد دانه و شاخص برداشت نشان‌دهنده پیش‌بینی عالی مدل می‌باشد (جدول ٤ و شکل ۱). بیش‌ترین مقدار مشاهده شده و پیش‌بینی شده عملکرد بیولوژیکی به ترتیب با ۱۷۹۰ و ۱٦۲۹/۵ گرم در متر مربع برای مصرف ۲۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار + ۵۰ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل در هکتار و مصرف ۲۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار + ۱۰۰ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل در هکتار حاصل شد (شکل‌های ۱، الف و ۲، الف). بالاترین مقدار مشاهده شده عملکرد دانه و شاخص برداشت به تیمار ٤۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار + ۱۰۰ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل در هکتار به ترتیب با ۷۱۷/۵٤ گرم در متر مربع و ٤۲/۸٤ درصد اختصاص داشت (شکل‌های ۱، ب و ج و ۲، ب و ج). بیش‌ترین مقدار پیش‌بینی شده عملکرد دانه و شاخص برداشت به ترتیب برای تیمارهای مصرف ۲۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار + ۵۰ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل در هکتار با ۵۹٤/۸۹ گرم در متر مربع و مصرف ٤۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار + ۱۰۰ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل در هکتار و مشاهده شد (شکل ۱، ب و ج و ۲، ب و ج).

افزایش مصرف نیتروژن بهبود رشد سبزینه‌ای بوته‌ها را موجب می‌شود (۱۲) و از طرفی، اختصاص بهینه مواد فتوسنتزی تحت تأثیر فراهمی عناصر غذایی به ویژه نیتروژن و فسفر به دانه عامل تعیین‌کننده عملکرد دانه می‌باشد (۱۲). در آزمایشی دی‌پائولو و

رینالدی (۲۰۰۸) با بررسی سطوح مختلف نیتروژن اظهار داشتند که مصرف نیتروژن افزایش عملکرد دانه و بیولوژیکی را موجب گردید، اما بین سطوح کودی بالا تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (۱۶)؛ بر این اساس آن‌ها نتیجه گرفتند که سطوح پایین نیتروژن برای دست‌یابی به حداکثر عملکرد کافی بوده است. کوچکی و همکاران (۲۰۱۷) طی فرا تحلیل پژوهش-های مصرف کود نیتروژن در تولید غلات عمده (شامل برنج، ذرت و گندم) تأثیر معنی‌دار کودهای نیتروژنه بر افزایش عملکرد دانه و ماده خشک را گزارش نمودند، در حالی‌که بر شاخص برداشت معنی‌دار نبود (۳۳).



شکل ۲- سطح - پاسخ خصوصیات عملکرد گندم (شامل (الف) عملکرد بیولوژیکی، (ب) عملکرد دانه و (ج) شاخص برداشت) نسبت به سطوح کودهای اوره و سوپر فسفات تریپل.

Figure 2- Response- surface for yield criteria of wheat (such as A) biological yield, B) seed yield and C) harvest index) affected as levels of Urea and triple super phosphate fertilizers.

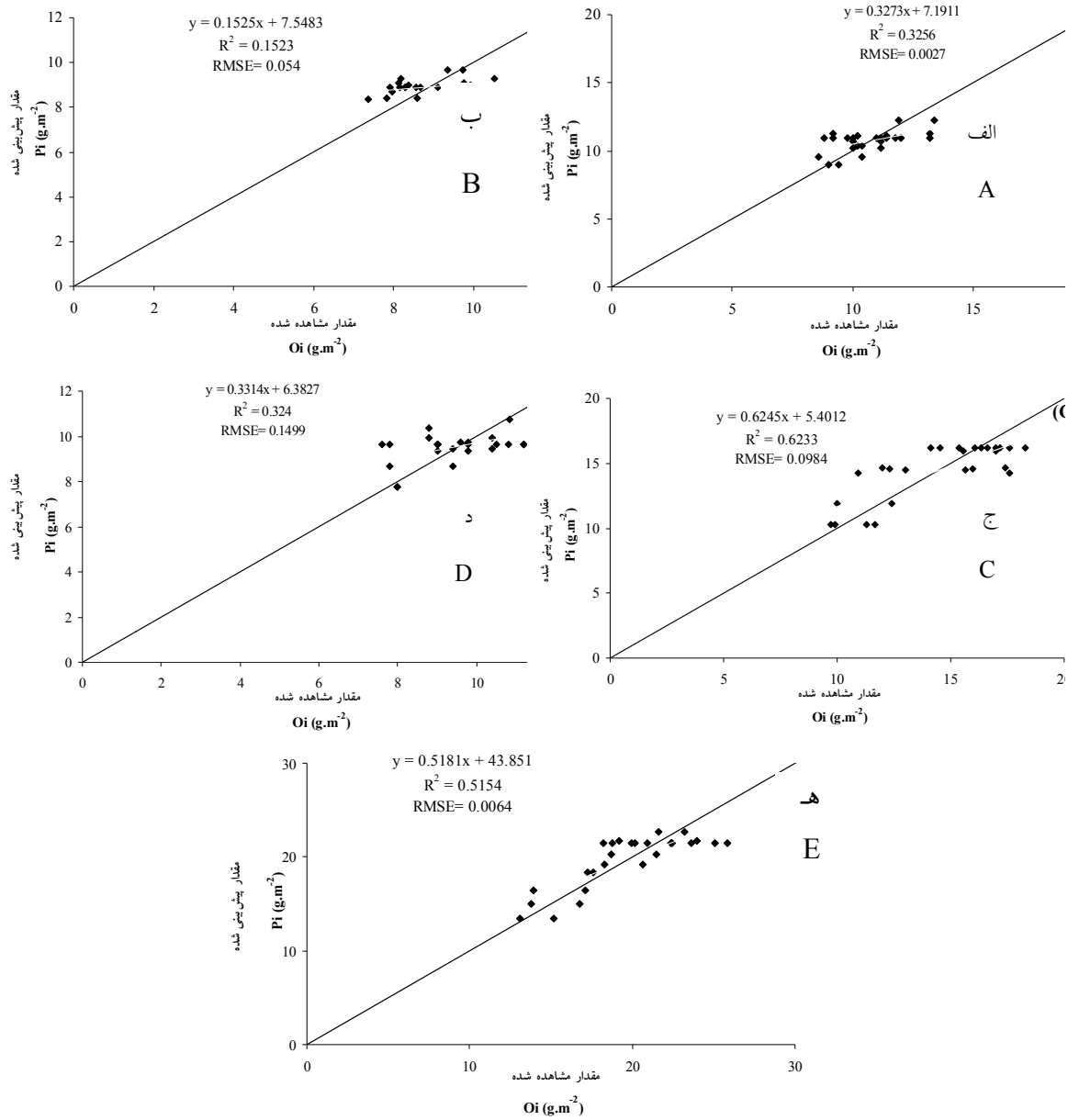
اگرچه نیتروژن عنصری مهم و حیاتی در زنجیره تولید غذا بوده، در ساختار پروتئین و اسیدهای نوکلئیک نیز وجود داشته و در امنیت غذایی اهمیت بالایی دارد (۴۹)، اما بیش از هر عنصر دیگری در بوم‌نظام‌های زراعی تلف شده و مقدار جذب آن بسته به عوامل مدیریتی و محیطی کمتر از ۵۰ درصد مقدار مصرف می‌باشد (۱۴، ۴۳). افزایش بی‌رویه مصرف کودهای شیمیایی منجر به افزایش هزینه و مصرف منابع فسیلی شده و از طرفی انتشار مقادیر زیادی از نیتروژن به خاک، اتمسفر و آب را نیز به دنبال دارد (۲۹، ۴۲). همچنین، مصرف بی‌رویه کودهای نیتروژن با افزایش انتشار N_2O به عنوان یکی از گازهای گلخانه‌ای در کشاورزی (۲۰)، موجب تشدید جدال انسان با بوم‌نظام‌های طبیعی می‌شود (۵۵). البته مصرف کود نیتروژن از طریق تاخیر در پیری برگ و طولانی‌تر کردن طول دوره رشدی اندام‌های هوایی

موجب افزایش تولید مواد فتوسنتزی و در نتیجه افزایش عملکرد می‌شود (۱۳، ۳۵). در شرایط فراهمی نیتروژن در مقایسه با کمبود آن، نیتروژن موجود با کارایی مطلوبی از اندام‌های رویشی به دانه منتقل نمی‌شود. به علاوه بررسی‌ها نشان داده است که کارایی انتقال مجدد نیتروژن در گندم همبستگی قوی و منفی با تعداد پنجه دارد، زیرا انتقال نیتروژن از پنجه‌ها به دانه بسیار دیرهنگام و در مراحل انتهایی پر شدن دانه انجام می‌شود، لذا کاربرد زیاد کود نیتروژن قبل از گلدهی باعث کاهش کارایی انتقال مجدد آن می‌شود که این امر به تاخیر در شروع انتقال مجدد نیتروژن از اندام‌های رویشی به زایشی نسبت داده شده است (۲۶). میانگین کارایی جذب نیتروژن برای تولید غلات حدود ۳۳ درصد گزارش شده است که نشان می‌دهد بخش زیادی از این عنصر به صورت تصعید، دنیتریفیکاسیون و آب‌شویی از نظام‌های زراعی به هدر می‌رود (۴۳).

از جمله مهم‌ترین عوامل مدیریتی مؤثر بر کاهش جذب نیتروژن در بوم‌نظام‌های زراعی می‌توان به تطابق ضعیف یا عدم هم‌زمانی استفاده از کود و تقاضای گیاه (۱۸)، مصرف یکنواخت کود برای تمام موقعیت‌های مکانی در مزرعه علیرغم تنوع فراهمی نیتروژن موجود در خاک (۲۷) و کاربرد نیتروژن صرفاً با هدف افزایش عملکرد دانه (۵۰) اشاره کرد. علاوه بر این، سیمنوف و همکاران (۲۰۰۷) گزارش نمودند که در شرایط محیطی با محدودیت رطوبت بیش از ۴۰ درصد، میزان جذب نیتروژن متاثر از شرایط آب و هوایی و میزان بارندگی است (۴۷). نتایج این مطالعه همچنین، تایید نمود که افزایش مصرف نیتروژن بین صفر تا ۲۳۰ کیلوگرم در هکتار در شرایط مطلوب رطوبتی با افزایش عملکرد و بهبود جذب نیتروژن همراه بوده است. بر این اساس، مصرف میزان مناسب این عنصر با در نظر گرفتن خصوصیات اولیه خاک و توجه به عوامل محیطی و مدیریتی جهت دست‌یابی به عملکرد قابل قبول ضروری است.

فسفر عنصری ضروری برای تشکیل دانه و توسعه سیستم ریشه‌ای گیاه است (۳۹، ۴۵، ۵۱، ۵۹) و افزایش عملکرد دانه تحت تأثیر مصرف فسفر مربوط به افزایش وزن دانه، توسعه سیستم ریشه‌ای و به تبع آن بهبود فراهمی عناصر غذایی و افزایش رشد گیاه می‌باشد (۲۸، ۴۵، ۵۱، ۵۹). الم و همکاران (۲۰۰۳) گزارش نمودند که مصرف کود فسفر در زمان و با روش مناسب البته در تعادل با دیگر عناصر غذایی تأثیر معنی‌داری بر عملکرد محصول دارد (۲). بر این اساس، از آنجا که در مناطق خشک و نیمه‌خشک که لایه فوقانی خاک طی زمان نسبتاً طولانی از دوره رشد، خشک می‌باشد، تحرک فسفر و نیتروژن عمدتاً توسط کمبود آب محدود می‌شود و رشد گیاهان در این مناطق به کمبود، این عناصر حساس بوده و این کمبود اثرات منفی بر رشد و عملکرد گیاهان دارد (۳۶)، پیشنهاد می‌شود که مصرف مقادیر مناسب کودهای آلی – بر مبنای تعیین خصوصیات شیمیایی خاک – در مناطق خشک و نیمه‌خشک به عنوان راهکاری چندجانبه در این شرایط محیطی مدنظر قرار گیرد که این امر علاوه بر بهبود حاصلخیزی خاک و به تبع آن افزایش عملکرد، از طریق ارتقای وضعیت رطوبتی خاک نیز می‌تواند رشد و عملکرد گیاهان را بهبود بخشد و با افزایش فراهمی و جذب عناصر غذایی برای گیاه از مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی نیز جلوگیری می‌کند.

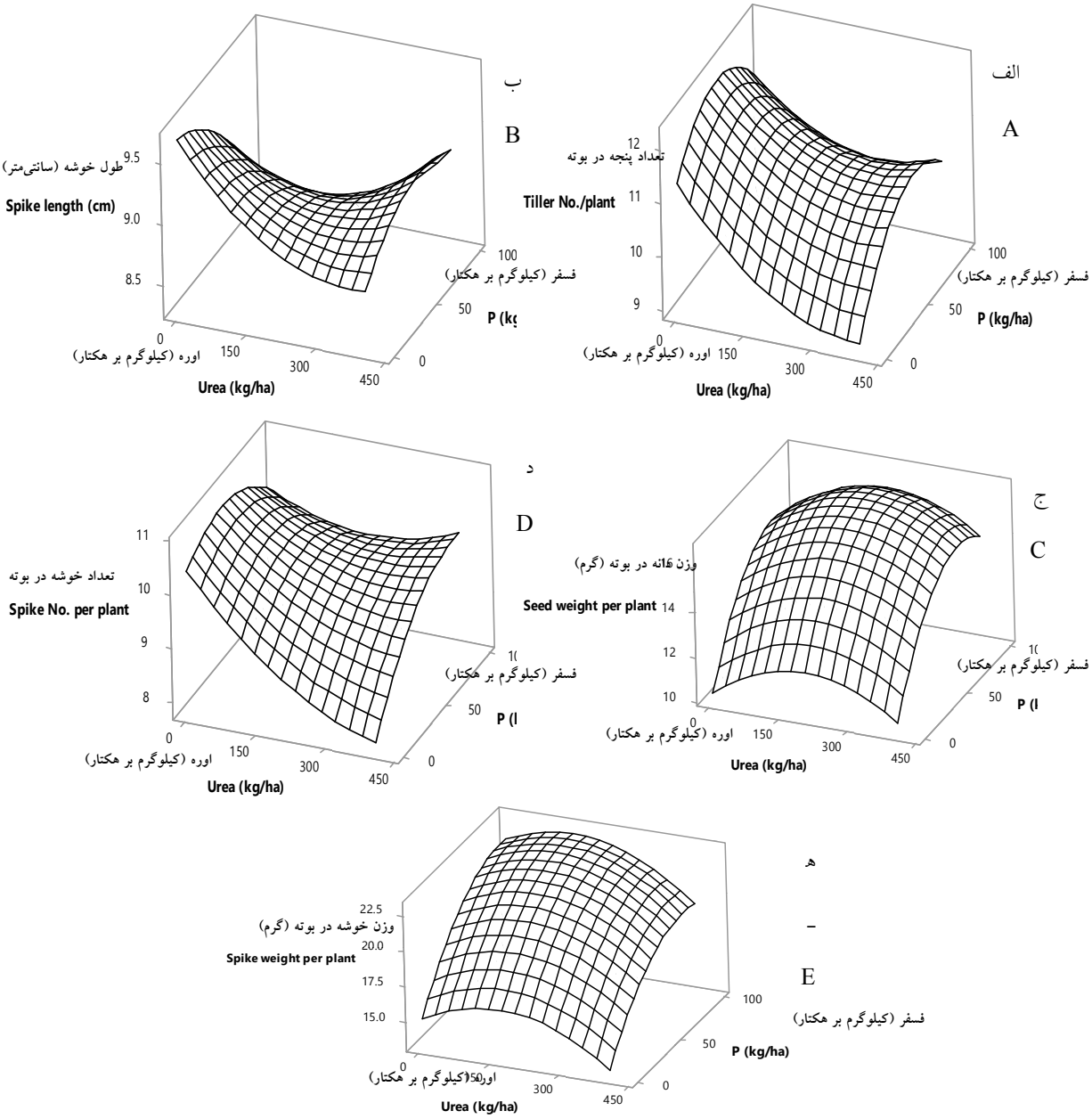
نمودار رگرسیون خطی مقادیر پیش‌بینی شده و مشاهده شده و سطح – پاسخ خصوصیات رشد و اجزای عملکرد گندم در شکل‌های ۳ و ٤ نشان داده شده است.



شکل ۳- مقایسه خط رگرسیون با خط ۱:۱ و RMSE (درصد) برای خصوصیات رشد و اجزای عملکرد گندم (شامل (الف) تعداد پنجه در متر مربع، (ب) طول خوشه، (ج) وزن دانه در بوته، (د) تعداد خوشه در بوته و (ه) وزن خوشه در بوته) با توجه به مدل درجه دو (n=۲۶).

Figure 3- Comparisons for the regression line with 1:1 line and RMSE (%) for growth criteria and yield components of wheat (such as A) tiller No./m^2, B) spike length, C) seed weight/ plant, D) spike No./ plant and E) spike weight/ plant) based on a full quadratic model (n=26).

مقدار پایین RMSE برای شاخص‌های رشدی و اجزای عملکرد نشان‌دهنده پیش‌بینی عالی مدل می‌باشد (جدول ٤ و شکل ۳). بیش‌ترین مقدار مشاهده شده و پیش‌بینی شده تعداد پنجه در بوته برای عدم مصرف نیتروژن + ۵۰ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل در هکتار به ترتیب با ۱۳/٤ و ۱۲/۲۲ پنجه در متر مربع بدست آمد (شکل‌های ۳، الف و ٤، الف). بالاترین مقدار مشاهده شده و پیش‌بینی شده طول خوشه به ترتیب برای تیمار بدون مصرف نیتروژن + ۵۰ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل در هکتار و عدم مصرف نیتروژن + عدم مصرف فسفر با ۱۰/۵ و ۹/۷ سانتی‌متر مشاهده شد (شکل‌های ۳، ب و ٤، ب).



شکل ٤- سطح- پاسخ خصوصیات رشد و اجزای عملکرد گندم (شامل الف) تعداد پنجه در متر مربع، (ب) طول خوشه، (ج) وزن دانه در بوته، (د) تعداد خوشه در بوته و (ه) وزن خوشه در بوته) نسبت به سطوح کودهای اوره و سوپر فسفات تریپل.

Figure 4- Response- surface for growth criteria and yield components of wheat (such as A) tiller No./m^2, B) spike length, C) seed weight/ plant, D) spike No./ plant and E) spike weight/ plant) affected as levels of Urea and triple super phosphate fertilizers.

بیش‌ترین مقدار مشاهده شده و پیش‌بینی شده وزن دانه در بوته مربوط به تیمار ۲۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار +۵۰ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل در هکتار به ترتیب با ۱۸/۲۹ و ۱٦/۲۱ گرم در بوته بود (شکل‌های ۳، ج و ٤، ج). بالاترین مقدار مشاهده شده و پیش‌بینی شده تعداد خوشه در بوته برای عدم مصرف نیتروژن + عدم مصرف فسفر و عدم مصرف نیتروژن + ۵۰ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل در هکتار به‌ترتیب با ۱۱/۸ و ۱۰/۷۳ خوشه در بوته حاصل گردید (شکل‌های ۳، د و ٤، د). بالاترین مقدار مشاهده شده و پیش‌بینی شده وزن خوشه در بوته برای تیمارهای ۲۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار + ۵۰

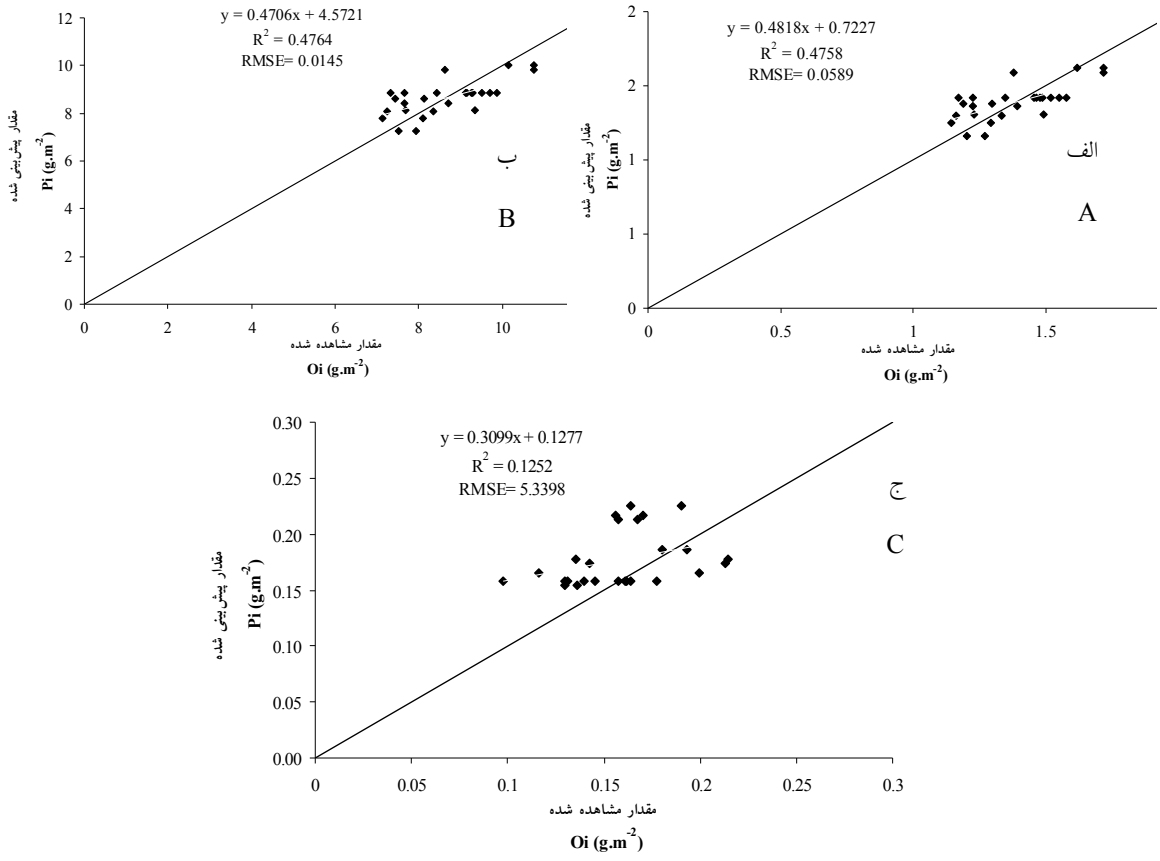
کیلوگرم سوپرفسفات تریپل در هکتار و ۲۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار + ۱۰۰ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل در هکتار به ترتیب با ۲۵/۸۳ و ۲۲/٦٤ گرم در بوته به‌دست آمد (شکل‌های ۳، ه و ٤، ه). تعداد سنبله در واحد سطح، مهم‌ترین عامل موثر در افزایش عملکرد دانه گندم می‌باشد و عملکرد نهایی را می‌توان به صورت تعداد سنبله در واحد سطح در وزن سنبله بیان نمود (٦٠). برخی محققان بیان داشتند که استفاده از سطوح بالای نیتروژن تأثیر مثبتی بر تعداد سنبله در متر مربع دارد (٦، ٤٠). همچنین، از آنجا که بخش عمده وزن دانه از فتوسنتز جاری پس از گلدهی تامین می‌گردد و با توجه به اینکه کود نیتروژن تأثیر مثبتی بر فتوسنتز جاری دارد، لذا این امر می‌تواند یکی از دلایل افزایش وزن دانه تحت تأثیر مصرف نیتروژن باشد. توسعه کانوپی و به تبع آن جذب مطلوب نور و نیز افزایش فتوسنتز و بهبود کارایی مصرف نور به شدت تابع مقدار نیتروژن جذب شده توسط گیاه می‌باشد (٤٨). جذب نیتروژن توسط گیاه در طی مرحله رشد رویشی به طور مستقیم با فرآیند تجمع ماده خشک مرتبط می‌باشد (۲۱). به عبارتی، در شرایطی که نیتروژن فراهم شده و یا مورد تقاضا برای رشد مطلوب نزدیک به مقدار حداقل مورد نیاز باشد، نوعی رابطه آلومتری بین نیتروژن جذب شده و تجمع ماده خشک وجود خواهد داشت (۲۱).

برای بهبود و افزایش جذب نیتروژن در سطح مزرعه باید به دنبال اتخاذ راهکارهای مدیریتی و زراعی مناسب بود. بهبود روش‌های مصرف کود، تعیین زمان مناسب مصرف کود و کاربرد آن همزمان با بیشترین نیاز گیاه، کشت مخلوط با گیاهان تثبیت‌کننده نیتروژن، مصرف کودهای آلی، تناوب زراعی و همچنین، مدیریت آبیاری برای کاهش آب‌شویی و تبعات آن از جمله راهکارهای مدیریت زراعی مصرف کودهای نیتروژنه برای حصول پایداری در نظام‌های زراعی می‌باشد (۳۱). بنابراین، با توجه به اهمیت در نظر گرفتن همزمان مسائل زیست – محیطی و اقتصادی در راستای اهداف بلند مدت کشاورزی پایدار، افزایش کارایی مصرف منابع، جایگزینی منابع و طراحی مجدد بوم‌نظام‌ها سه راهکار عمده برای نیل به کشاورزی پایدار می‌باشند (۲۳).

فسفر یکی از عناصر محدودکننده تولید گیاهان زراعی است که برای بهبود مصرف سایر عناصر هم‌چون نیتروژن نیز ضروری می‌باشد (۲). با توجه به اینکه مصرف فسفر سبب افزایش رشد و توسعه و گسترش سیستم ریشه‌ای گیاه می‌شود، بوته‌ها می‌توانند از حجم بیشتری از خاک به منظور جذب عناصر غذایی و رطوبت استفاده نمایند (٤٥). به نظر می‌رسد مصرف فسفر با افزایش تعداد پنجه، بهبود تعداد خوشه و سایر اجزای عملکرد را به دنبال داشته است (٤٥، ٥٩). بیشترین سرعت جذب فسفر در گیاهان زراعی هم‌چون گندم در مرحله گلدهی رخ می‌دهد، اما تجمع این عنصر تا مرحله رسیدگی ادامه می‌یابد (۷). بررسی‌ها نشان داده است که افزایش مصرف فسفر اثر مثبتی بر زیست‌توده و عملکرد دانه گندم داشت (۲۸). همچنین، افزایش میزان مصرف فسفر عملکرد دانه گندم را به طور معنی‌داری افزایش داد (٤٩، ٥١، ٥٩). از جمله راهکارهای بهبود کارایی مصرف فسفر، تناوب زراعی است که باعث بهبود فراهمی منابع فسفر خاک، کارایی مصرف فسفر گیاه زراعی و ثبات عملکرد می‌شود (۳۸). اجرای تناوب زراعی همچنین، می‌تواند باعث کاهش نیاز به مصرف فسفر از طریق کودهای شیمیایی گردد (۳۸). با توجه به اهمیت بسزای این عنصر بر رشد کمی و کیفی گیاهان، برخی محققان بر راهکارهای بهبود مصرف فسفر و تاکید بر بهبود کارایی مصرف نهاده‌ها با هدف بازچرخش آن تاکید دارند (۲۵). بر این اساس، به نظر می‌رسد که اولین و مهم‌ترین گام برای رسیدن به

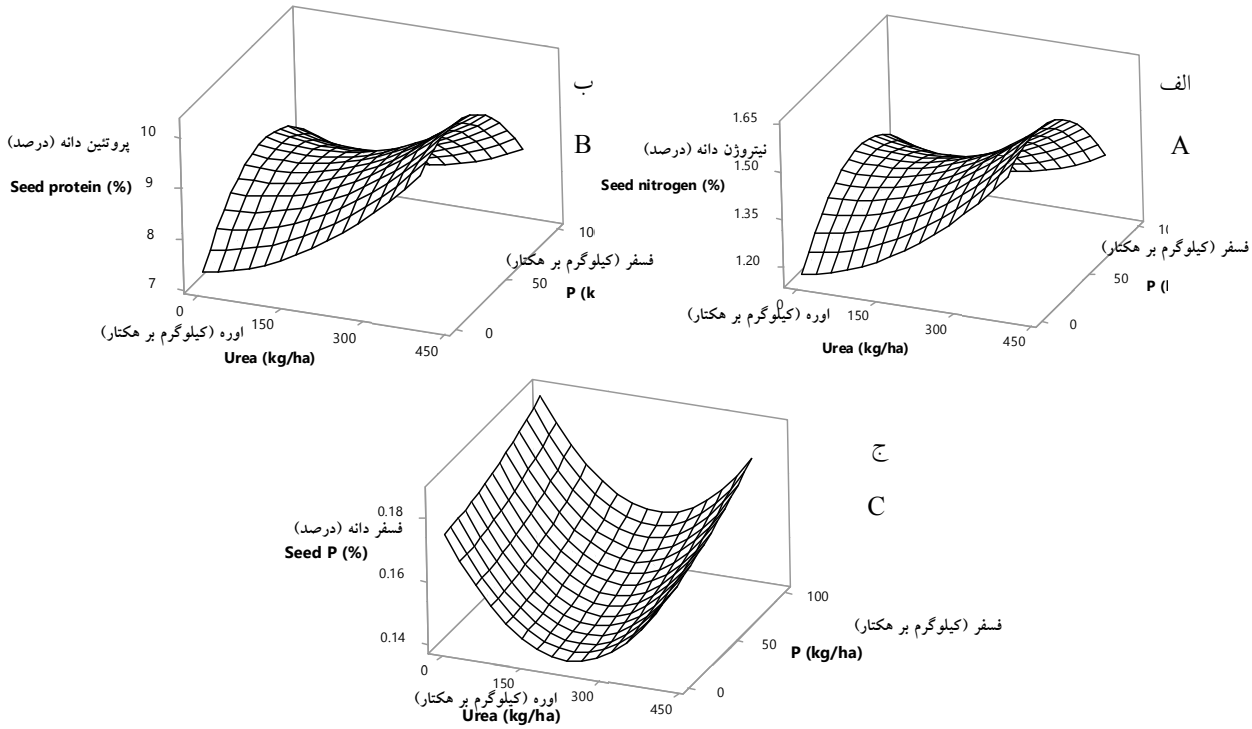
پایداری، افزایش کارایی جذب و مصرف منابع به منظور کاهش تلفات آن می‌باشد.

اثر جزء خطی بر درصد نیتروژن و پروتئین، اثر جزء درجه دو بر درصد نیتروژن، پروتئین و فسفر دانه و اثر متقابل دو عامل نیتروژن و فسفر تنها بر درصد نیتروژن دانه گندم معنی‌دار بود. آزمون عدم برازش نیز در مورد هیچ‌یک از خصوصیات کیفی محتوای نیتروژن و فسفر دانه گندم معنی‌دار نبود که این امر بیان‌کننده برازش مطلوب مدل رگرسیون درجه دو است (جدول ۳). بر اساس نتایج، مدل درجه دو بین ٤٦/٢١-٤٧/٦٨ درصد از تغییرات شاخص‌های کیفی مربوط به محتوای نیتروژن و فسفر دانه گندم را توصیف کرد (جدول ٤). نمودار رگرسیون خطی مقادیر پیش‌بینی شده و مشاهده شده و سطح - پاسخ خصوصیات کیفی دانه گندم در شکل‌های ۵ و ٦ نشان داده شده است.



شکل ۵- مقایسه خط رگرسیون با خط ۱:۱ و RMSE (درصد) برای خصوصیات کیفی دانه گندم (شامل (الف) درصد نیتروژن، (ب) درصد پروتئین و (ج) درصد فسفر) با توجه به مدل درجه دو (n=٢٦).

Figure 5- Comparisons for the regression line with 1:1 line and RMSE (%) for seed quality criteria (such as A) nitrogen percentage, B) protein percentage and C) phosphorus percentage) of wheat based on a full quadratic model (n=26).



شکل ٦- سطح- پاسخ خصوصیات کیفی دانه گندم (شامل (الف) درصد نیتروژن، (ب) درصد پروتئین و (ج) درصد فسفر) نسبت به سطوح کودهای اوره و سوپر فسفات تریپل.

Figure 6- Response- surface for seed quality criteria of wheat (such as A) nitrogen percentage, B) protein percentage and C) phosphorus percentage) affected as levels of Urea and triple super phosphate fertilizers.

مقدار پایین RMSE برای خصوصیات کیفی دانه گندم نشان‌دهنده پیش‌بینی عالی مدل می‌باشد (جدول ٤ و شکل ٥). بالاترین مقدار مشاهده شده و پیش‌بینی شده درصد نیتروژن (به ترتیب با ١/٧٢ و ١/٦٢ درصد) و درصد پروتئین دانه (به ترتیب با ١٠/٧٦ و ١٠/٠٢ درصد) برای تیمار ٤٠٠ کیلوگرم اوره در هکتار + ٥٠ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل در هکتار مشاهده شد (شکل‌های ٥، الف و ب و ٦، الف و ب). بیش‌ترین مقدار مشاهده شده و پیش‌بینی شده درصد فسفر دانه مربوط به تیمارهای عدم مصرف نیتروژن + ٥٠ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل در هکتار و ٤٠٠ کیلوگرم اوره در هکتار + ١٠٠ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل در هکتار به ترتیب با ٠/٢١ و ٠/٢٣ درصد بود (شکل‌های ٥، ج و ٦، ج). شایان ذکر است در شرایط محدودیت فراهمی نیتروژن، توانایی جذب این عنصر عمدتاً با خصوصیات ریشه گیاه در ارتباط است، زیرا سیستم ریشه‌ای، توانایی گیاه را در جستجوی نیتروژن خاک بهبود می‌بخشد، اما در شرایطی که نیتروژن عامل محدودکننده نباشد، شاخص‌های جذب نیتروژن بسیار تعیین‌کننده می‌باشد، زیرا فراهمی نیتروژن مستقل از توسعه و گستردگی سیستم ریشه‌ای می‌باشد. بیشتر محققان تاکید دارند که نیتروژن نقش اصلی در بهبود کیفیت محصولات مختلف کشاورزی ایفا می‌کند (٨). با این وجود، در مطالعه‌ای پاگینز و پان (٢٠٠٣) دریافتند که در سطوح بالای مصرف کود نیتروژن، جذب این عنصر کاهش می‌یابد (٢٦). تری (٢٠٠٨) نیز نتیجه گرفت کاربرد سطوح بهینه نیتروژن باعث افزایش جذب نیتروژن در اندام‌های هوایی می‌شود (٥٢). گیلر و همکاران (٢٠٠٤) تاکید نمودند با افزایش مصرف نهاده‌های شیمیایی واکنش گیاهان زراعی به ازای واحد کود مصرفی کاهش می‌یابد (٢٢). استفاده کارا از نیتروژن نقش مهمی در افزایش

کیفیت، بهبود بهره‌وری و سودمندی نظام‌های زراعی و همچنین، کاهش خطرات ناشی از آلایندگی نیتروژن بر محیط زیست ایفا می‌کند (۱۷).

بررسی‌ها نشان داده است که فسفر نقش مهمی در سنتز لیپید و پروتئین دارد (۹، ۳۹)، بر این اساس با افزایش میزان کاربرد این عنصر پرمصرف خصوصیات کیفی دانه هم‌چون محتوای نیتروژن، پروتئین و فسفر نیز افزایش یافت (۵۹). اگرچه با افزایش کاربرد کود نیتروژن و فسفر عملکرد به طور نسبی افزایش یافت (شکل ۲)، اما با توجه به محتوای نیتروژن و فسفر دانه تحت تأثیر مقادیر این عناصر (شکل ٦)، مشخص است که توانایی گیاه در جذب نیتروژن و فسفر همراستا با افزایش میزان مصرف کود نمی‌باشد. در حقیقت، در سطوح بالای کاربرد نیتروژن و فسفر، محتوای این عناصر در دانه و به بیان دیگر، خصوصیات کیفی همراستا با میزان مصرف آن نیست که این امر نیاز به بهینه‌سازی این عناصر را اجتناب‌ناپذیر می‌نماید. نتایج مطالعه‌ای نشان داد که اثر میزان مصرف فسفر بر محتوای فسفر دانه معنی‌دار بود (۲). با توجه به تثبیت سریع فسفر در خاک به ویژه در خاک‌های سنگین در مناطق خشک و نیمه‌خشک هم‌چون خراسان رضوی، ترجیحا مصرف مقادیر کم و بهینه کود فسفر در شرایط نیاز، همراه با توجه به مقدار ماده آلی خاک و عوامل محیطی پیشنهاد می‌گردد. البته مصرف این کودها باید به گونه‌ای باشد تا علاوه بر ایجاد تعادل بین میزان فسفر و نیتروژن خاک، محتوی سایر عناصر غذایی نیز مدنظر قرار گیرد.

بهینه‌سازی منابع: مقادیر بهینه مصرف نیتروژن و فسفر در زراعت گندم برای حصول پاسخ عملکرد دانه، محتوای نیتروژن دانه و محتوای فسفر دانه در سه سناریوی اقتصادی، زیست محیطی و اقتصادی- زیست محیطی در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۵- بهینه‌سازی کود نیتروژن و فسفر برای حصول متغیرهای وابسته در گندم در سناریوهای اقتصادی- زیست محیطی.

Table 5- Optimized values for nitrogen and phosphorus rates for reaching the dependent variables in wheat based on economic- environmental scenarios.

متغیر Variable		سناریوها Scenarios		
		اقتصادی Economic	زیست محیطی Environmental	اقتصادی- زیست محیطی Economic-Environmental
وابسته Dependent	عملکرد دانه (گرم در مترمربع) Seed yield ($g.m^{-2}$)	598.97	566.74	570.19
	محتوای نیتروژن دانه (درصد) Nitrogen content of seed (%)	1.40	1.24	1.26
	محتوای فسفر دانه (درصد) Phosphorus content of seed (%)	0.15	0.15	0.14
مستقل Independent	کود نیتروژن (کیلوگرم اوره در هکتار) Nitrogen fertilizer (kg Urea/ha)	246.47	141.41	161.62
	کود فسفر (کیلوگرم اوره در هکتار) Phosphorus fertilizer (kg Urea/ha)	72.73	0	0
	شاخص مطلوبیت Desirability	0.93	0.81	0.77

مقادیر شاخص مطلوبیت بهینه‌سازی[1] (۱≤DI≤۰) برای سه سناریوی اقتصادی، زیست محیطی و اقتصادی- زیست محیطی به ترتیب برابر با ۰/۹۳، ۰/۸۱ و ۰/۷۷ محاسبه گردید (جدول ۵) که نشان‌دهنده نتایج قابل قبول برای متغیرهای وابسته (شامل عملکرد دانه، محتوای نیتروژن و محتوای فسفر دانه) تحت تأثیر متغیرهای مستقل (سطوح کودهای نیتروژن و فسفر) در هر سناریو می‌باشد. لازم به ذکر است نزدیک‌تر بودن این شاخص به یک نشان‌دهنده دقت بالاتر در شبیه‌سازی مقدار متغیرهای وابسته تحت تأثیر متغیرهای مستقل می‌باشد (۵، ۳۲).

در تعیین سطوح بهینه منابع در سناریوی اقتصادی عملکرد دانه، در سناریوی زیست محیطی درصد نیتروژن و فسفر دانه و در سناریوی اقتصادی- زیست محیطی عملکرد دانه، درصد نیتروژن و درصد فسفر به عنوان متغیر اصلی در نظر گرفته شدند و بر همین اساس برای متغیر اصلی ضریب تأثیر بالاتری در هر سناریو انتخاب شد. نتایج به‌دست آمده در سناریوی اقتصادی نشان داد که کاربرد ۲٤٦/٤۷ کیلوگرم اوره در هکتار و ۷۲/۷۳ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل در هکتار باعث تولید ۵۹۸/۹۷ گرم در متر مربع عملکرد دانه، ۱/٤۰ درصد نیتروژن دانه و ۰/۱۵ درصد فسفر دانه می‌شود (جدول ۵). لازم به ذکر است از آنجا که تمرکز سناریوی اقتصادی بر عملکرد دانه است، توجه کمتری به مسائل زیست محیطی شده است. در سناریوی زیست محیطی، هدف اصلی کاهش مصرف کودهای شیمیایی است و محتوای نیتروژن و فسفر دانه به عنوان متغیر تعیین‌کننده در نظر گرفته شد. در این سناریو، تولید ٥٦٦/۷٤ گرم در متر مربع عملکرد دانه، ۱/۲٤ درصد نیتروژن دانه و ۰/۱۵ درصد فسفر دانه در شرایط مصرف ۱٤۱/٤۱ کیلوگرم اوره در هکتار و عدم مصرف کود فسفر حاصل می‌شود (جدول ۵). در سناریوی اقتصادی - زیست محیطی ضریب تأثیر کلیه متغیرها یکسان در نظر گرفته شد که در شرایط مصرف ۱٦۱/٦۲ کیلوگرم اوره در هکتار و عدم مصرف فسفر، عملکرد دانه ۵۷۰/۱۹ گرم در متر مربع، محتوای نیتروژن دانه ۱/۲٦ درصد و محتوای فسفر دانه ۰/۱٤ درصد حاصل گردید (جدول ۵)، البته بایستی تاکید گردد، این مقادیر بسته به نوع گیاه و رقم (۱)، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک (۳) و محتوای رطوبتی لایه سطحی خاک (٥٤) می‌تواند متغیر باشد.

مصرف نیتروژن و فسفر یکی از اجزای اصلی موثر در خصوصیات کیفی دانه می‌باشد (٤۷). فولکز و همکاران (۲۰۰۹) اظهار داشتند جذب نیتروژن در گندم با میزان مصرف آن رابطه خطی و معنی‌دار دارد (۱۹). با این‌وجود، بالاتر بودن سود حاصل از نسبت محصول اقتصادی به کود مصرفی موجب شده که طی چند دهه اخیر استفاده از کودهای نیتروژنه توسط کشاورزان افزایش یابد (۲۱) و این امر علاوه بر افزایش هزینه‌های تولید، کاهش تولید به ازای واحد نهاده مصرفی را نیز به همراه داشته است.

افزایش جذب فسفر بعد از مصرف مقادیر مطلوب کود نیتروژن به اسیدی شدن ریزوسفر (۳۵، ۵۳)، متحرک شدن فسفر در خاک یا افزایش کارایی جذب فسفر توسط ریشه (۳۵، ٤٦) نسبت داده شده است، در حالی‌که محدودیت جذب فسفر بعد از مصرف مقادیر زیاد نیتروژن احتمالاً مربوط به موارد رقابتی جذب یون‌های این عناصر است، به طوری‌که کاهش جذب فسفات از طریق افزایش انتقال یون نیترات در شرایط کاربرد نیتروژن بالا، به دلیل رقابت در جذب یون‌های نیترات و فسفات بوده که هر دو با ناقل‌های مشابه فعال با پروتون جابجا می‌شوند (۳۵، ٤٤). والاس (۱۹۹۰) گزارش نمود که مصرف مقادیر زیاد

1. Desirability index

نیتروژن و فسفر به‌دلیل اثرات آنتاگونیستی این عناصر کاهش عملکرد را موجب گردید (٥٦). برخی دیگر از محققان دلیل این کاهش را به افزایش اسیدیته خاک در شرایط مصرف مقادیر زیاد سولفات آمونیوم نسبت دادند (۱۳، ۳۵). بر این اساس، به نظر می‌رسد بهینه-سازی کاربرد مقدار مصرف کودهای شیمیایی نیتروژنه راهکار مناسبی برای افزایش کارایی مصرف این نهاده می‌باشد (٤، ۸). در نهایت، با توجه به اینکه در سناریوی اقتصادی- زیست محیطی، عملکرد دانه (شاخص اقتصادی) و محتوای نیتروژن و فسفر دانه (شاخص زیست- محیطی) مدنظر بوده و به بیان دیگر، هر دو جنبه اقتصادی و زیست محیطی به صورت هم‌زمان با وزن یکسان در بهینه‌سازی مدنظر قرار گرفته است، مصرف بهینه نهاده‌های پرمصرف به ویژه نیتروژن و فسفر در بوم‌نظام‌های زراعی بر اساس این سناریو می‌تواند به عنوان مناسب‌ترین راهکار برای دست‌یابی هم‌زمان به عملکرد کمی و کیفی قابل قبول به همراه تخفیف آلودگی‌های زیست محیطی همراه با کاهش هزینه‌ها مورد توجه قرار گیرد.

نتیجه‌گیری کلی

مدیریت مصرف منابع در بوم‌نظام‌های کشاورزی برای دستیابی به عملکرد اقتصادی هم‌زمان با تولید پایدار محصولات زراعی از طریق بهبود کارایی مصرف منابع و جلوگیری از مصرف بی‌رویه نهاده‌ها امری اجتناب‌ناپذیر محسوب می‌شود. در این مطالعه با توجه به سناریوهای مختلف اقتصادی- زیست محیطی، مقادیر بهینه کود نیتروژن و فسفر در زراعت گندم محاسبه شدند. با توجه به نتایج این مطالعه، به نظر می‌رسد عامل اصلی محدودکننده عملکرد و خصوصیات کیفی دانه گندم، نیتروژن بوده و کاربرد مقادیر مناسب فسفر توانسته عملکرد کمی و کیفی را به مقدار قابل قبولی افزایش دهد. بهینه‌سازی کودهای نیتروژن و فسفر که از مهم‌ترین و پرکاربردترین عناصر غذایی در کشاورزی هستند، همراه با به‌کارگیری سایر راهکارهای مدیریت نظام‌های زراعی هم‌چون اصلاح ژنوتیپ‌ها به منظور بهبود کیفیت، علاوه بر بهبود عملکرد و کاهش هزینه‌های تولید، تأثیر بسزایی در تخفیف آلودگی‌های زیست‌محیطی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به ازای هر کیلوگرم محصول به همراه دارد.

سپاسگزاری

بودجه این طرح از محل پژوهه شماره ٤٥٣٩٤/٢ مورخ ۱۳۹٦/۰۹/۱۱ معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه فردوسی مشهد تأمین شده است که بدینوسیله سپاسگزاری می‌شود.

منابع

1. Adjetey, J.A., Campbell, L.C., Searle, P.G.E., and Saffigna, P. 1999. Studies on depth of placement of urea on nitrogen recovery in wheat grown on a red-brown earth in Australia. Nutr. Cycling Agroecosyst. 54: 227-232.
2. Alam, S.M., Azam Shah, S., and Akhtar, M. 2003. Varietal differences in wheat yield and phosphorus use efficiency as influenced by method of phosphorus application. J. Sci. Technol. 25: 2. 175-181.
3. Alston, A.M. 1980. Response of wheat to deep placement of nitrogen and phosphorus fertilizers on a soil high in phosphorus in the surface layer. Aust. J. Agric. Res. 31: 1. 13-24.
4. Arregui, L.M. and Quemada, M. 2008. Strategies to improve nitrogen use efficiency in winter cereal crops under rain fed conditions. Agron. J. 100: 2. 277-284.
5. 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 Technol. 86: 1. 769-776.
6. Ayoub, M., Guertin, S., Lussier, S.L., and Smith, D.L. 1994. Timing and level of nitrogen fertility effects on spring wheat yield in eastern Canadian. Crop Sci. 34: 3. 348-756.
7. Barłóg, P., Grzebisz, W., and Diatta, J. 2005. Effect of timing and nitrogen fertilizer on contents and uptake by oilseed rape. Part II. Dynamics of nutrient uptake. In: H. Górecki, Z. Dobrzański, and P. Kafarski (eds.), Chem. Agric. 6: 113-123.
8. 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. Eur. J. Agron. 33: 1. 1-11.
9. Boudière, L., Michaud, M., Petroutsos, D., Rébeillé, F., Falconet, D., Bastien, O., Roy, S., Finazzi, G., Rolland, N., Jouhet, J., Block, M.A., and Maréchal, E. 2014. Glycerolipids in photosynthesis: Composition, synthesis and trafficking. Biochim. Biophys. Acta. 1837: 4. 470-480.
10. Box, G.E.P., and Hunter, J.S. 1957. Multi-factor experimental designs for exploring response surfaces. The Institute of Mathematical Statistics. Pp: 195-241.
11. Box, G.E.P., and Wilson, K.B. 1952. On the experimental attainment of optimum conditions. J. R. Stat. Soc. Series B. 1: 13.
12. Chen, F., and Mi, G. 2012. Comparison of nitrogen accumulation and nitrogen utilization efficiency between elite inbred lines and the landraces of maize. Acta Agr. Scand. B-S P. 62: 6. 565-569.
13. Choi, S.T., Park, D.S., Kang, S.M., and Kang, S.K. 2012. Influence of leaf-fruit ratio and nitrogen rate on fruit characteristics, nitrogenous compounds, and nonstructural carbohydrates in young persimmon trees. Hortsci. 47: 3. 410-413.
14. Conant, R.T., Berdanier, A.B., and Grace, P.R. 2013. Patterns and trends in nitrogen use and nitrogen recovery efficiency in world agriculture. Global Biogeochem. Cycles. 27: 2. 558-566.
15. Delgado, J., and Shaffer, M. 2008. Nitrogen management modeling techniques: Assessing cropping systems/landscape combinations. Elsevier Inc.
16. Di Paolo, E., and Rinaldi, M. 2008. Yield response of corn to irrigation and nitrogen fertilization in a Mediterranean environment. Field Crop Res. 105: 3. 202-210.
17. Dobermann, D.I., and Cassman, K.G. 2004. Plant nutrient management for enhanced productivity in intensive grain production of United States and Asia. Plant Soil. 247: 153-175.
18. Fageria, N., and Baligar, V. 2005. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. Adv. Agron. 88: 97-185.
19. Foulkes, M., Hawkesford, M., Barraclough, P., Holdsworth, M., Kerr, S., Kightley, S., and Shewry, P. 2009. Identifying traits to improve the nitrogen economy of wheat: Recent advances and future prospects. Field Crop Res. 114: 3. 329-342.
20. Gaju, O., Allard, V., Martre, P., Snape, J., Heumez, E., LeGouis, J., Moreau, D., Bogard, M., Griffiths, S., and Orford, S. 2011. Identification of traits to improve the nitrogen-use efficiency of wheat genotypes. Field Crop Res. 123: 139-152.
21. Gastal, F., Lemaire, G., Durand, J.L., and Louarn, G. 2014. Quantifying crop responses to nitrogen and avenues to improve nitrogen-use efficiency. Crop Physiology–Applications for Genetic Improvement and Agronomy, 2nd Ed. Academic, Elsevier, Pp: 161-206.
22. 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: A.R. Mosier, J.K.Syers, and J.R. Freney (eds.), Agriculture and the nitrogen cycle. Island Press, Washington, D.C. Pp: 35-51.

23. Gliessman, S.R. 2001. Agroecosystem sustainability developing practical strategies. Boca Raton: CRC Press. 324 p.
24. Good, A.G., Shrawat, A.K., and Muench, D.G. 2004. Can less yield more? Is reducing nutrient input into the environment compatible with maintaining crop production? Trends Plant Sci. 9: 12. 597-605.
25. Hilton, J., Johnston, A.E., and Dawson, C.J. 2010. The phosphate life-cycle: rethinking the options for a finite resource. In: Proceedings 668. International Fertilizer Society, York, UK, 43 p.
26. Huggins, D.R., and Pan, W.L. 2003. Key indicators for assessing nitrogen use efficiency in cereal-based agro ecosystems. J. Crop Prod. 8: 1-2.157-186.
27. Hurley, T.M., Malzer, G.L., and Kilian, B. 2004. Estimating site-specific nitrogen crop response functions. Agron. J. 96: 5. 1331-1343.
28. Jones, C.A., Jacobsen, J.S., and Wraith, J.M. 2003. The effects of P fertilization on drought tolerance of malt barley. Western Nutr. Manag. Conf. 5: 88-93.
29. Kaiser, J. 2001. The other global pollutant: nitrogen proves tough to curb. Sci. 294: 5545. 1268-1269.
30. Kant, S., Bi, Y.M., and Rothstein, S.J. 2011. Understanding plant response to nitrogen limitation for the improvement of crop nitrogen use efficiency. J. Exp. Bot. 62: 4. 1499-1509.
31. Koocheki, A., Gholami, A., Mahdavi Damghani, A., and Tabrizi, L. 2005. Organic field crop: Handbook. Ferdowsi University of Mashhad Press, Mashhad, Iran 375 p. (In Persian)
32. Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Moradi, R., and Mansoori, H. 2014. Optimizing water, nitrogen and crop density in canola cultivation using response surface methodology and central composite design. Soil Sci. Plant Nutr. 60: 2. 286-298.
33. Koocheki, A., Nassiri, M., Bakhshaie, S., and Davodi, A. 2017. A Meta-analysis on nitrogen fertilizer experiments on cereal crops in Iran. J. Agroecol. 9: 2. 296-313. (In Persian)
34. Latifi, H. 2017. Optimization of nitrogen and plant density in sesame plant by central composite design. MSc Thesis in Agroecology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (In Persian)
35. Li, Z., Zhang, R., Xia, S., Li, W., Liu, C., Zhang, R., Fan, Z., Chen, F. and Liu, Y. 2019. Interactions between N, P and K fertilizers affect the environment and the yield and quality of satsumas. Glob. Ecol. Conserv. 19: e00663.
36. Li-yun, K., Shan-chao, Y., and Shi-qing, L. 2014. Effects of phosphorus application in different soil layers on root growth, yield, and water-use efficiency of winter wheat grown under semi-arid conditions. J. Integr. Agric. 13: 9. 2028-2039.
37. Lopez-Bellido, L., Lopez-Bellido, R.J., and Redondo, R. 2005. Nitrogen efficiency in wheat under rainfed Mediterranean conditions as affected by split nitrogen application. Field Crop Res. 94: 86-97.
38. Łukowiak, R., Grzebisz, W., and Sassenrath, G.F. 2016. New insights into phosphorus management in agriculture-A crop rotation approach. Sci. Total Environ. 542: 1062-1077.
39. Marschner, H. 2012. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press. 672 p.
40. Mossedaq, F., and Smith, D.H. 1994. Timing nitrogen application to enhance spring wheat yields in a Mediterranean climate. Agron. J. 86: 2. 221-226.
41. Nassiri Mahallati, M., and Koocheki, A. 2017. Trend analysis of nitrogen use and productivity in cereal production systems of Iran. J. Agroecol. 9: 2. 360-378. (In Persian)
42. Nosengo, N. 2003. Fertilized to death. Nature. 425: 894-895.
43. Olaniyan, A.B., Aintoye, H.A., and Balogun, M.A. 2004. Effect of different sources and rates of nitrogen fertilizer on growth and yield of sweet maize. Available from: http://www.Tropentag.De/2004/abstracts/full.146.pdf, 22 June 2008, 13.13 pm.

44. Rausch, C., and Bucher, M. 2002. Molecular mechanisms of phosphate transport in plants. Planta. 216: 1. 23-37.
45. Rogério, F., da Silva, T.R.B., dos Santos, J.I., and Poletine, J.P. 2013. Phosphorus fertilization influences grain yield and oil content in Crambe. Ind. Crops Prod. 41: 266-268.
46. Ruan, J., Zhang, F., and Wong, M.H. 2000. Effect of nitrogen form and phosphorus source on the growth, nutrient uptake and rhizosphere soil property of *Camellia sinensis* L. Plant Soil. 223: 65-73.
47. Semenov, M.A., Jamieson, P.D., and Martre, P. 2007. Deconvoluting nitrogen use efficiency in wheat: A simulation study. Eur. J. Agron. 26: 3. 83-294.
48. Singh, U. 2005. Integrated nitrogen fertilization for intensive and sustainable agriculture. J. Crop Improv. 15: 2. 259-287.
49. Smil, V. 2000. Feeding the World: A Challenge for the Twenty-first Century. Springer, Berlin.
50. Sylvester-Bradley, R., Stokes, D., Scott, R., and Willington, V. 1990. A physiological analysis of the diminishing responses of winter wheat to applied nitrogen. 2. Evidence. Asp. Appl. Biol. 25: 289-300.
51. Takahashi, S., and Anwar, M.R. 2007. Wheat grain yield, phosphorus uptake and soil phosphorus fraction after 23 years of annual fertilizer application to an Andosol. Field Crop Res. 101: 160-171.
52. Terry, L.R. 2008. Improving nutrient use efficiency. Turk. J. Agric. For. 32: 3. 177-182.
53. Thomson, C., Marschner, H., and Romheld, V. 1993. Effect of nitrogen fertilizer form on pH of the bulk soil and rhizosphere, and on the growth, phosphorus, and micronutrient uptake of bean. J. Plant Nutr. 16: 3. 493-506.
54. Valizadeh, G.R., Rengel, Z., and Rate, A.W. 2003. Response of wheat genotypes efficient in P utilization and genotypes responsive to P fertilization to different P banding depths and watering regimes. Aust. J. Agric. Res. 54: 1. 59-65.
55. Vitousek, P.M., Mooney, H.A., Lubchenco, J., and Melillo, J.M. 1997. Human domination of earth's ecosystems. Science. 277: 494-499.
56. Wallace, A. 1990. Nitrogen, phosphorus, potassium interactions on Valencia orange yields. J. Plant Nutr. 13: 3-4. 357-365.
57. Wang, X., Tang, C., Guppy, C.N., and Sale, P.W.G. 2009. The role of hydraulic lift and subsoil P placement in P uptake of cotton (*Gossypium hirsutum* L.). Plant Soil. 325: 263-275.
58. Waraich, E.A, Ahmad, R., Ashraf, M.Y., and Saifullah, A.M. 2011. Improving agricultural water use efficiency by nutrient management in crop plants. Acta. Agr. Scand B-S P. 61: 4. 291-304.
59. Xin-kai, Z., Chun-yan, L., Zong-qing, J., Lian-lian, H., Chao-nian, F., Wen-shan G., and Yong-xin, P. 2012. Responses of phosphorus use efficiency, grain yield, and quality to phosphorus application amount of weak-gluten wheat. J. Integr. Agric. 11: 7. 1103-1110.
60. Zeng, L., and Shanon, M.C. 2000. Salinity effects on seedling growth and yield components of rice. Crop Sci. 40: 4. 996-1003.
61. Zhihui, W., Jianbo, S., Blackwell, M., Haigang, L., Bingqiang, Z., and Huimin, Y. 2016. Combined applications of nitrogen and phosphorus fertilizers with manure increase maize yield and nutrient uptake via stimulating root growth in a long-term experiment. Pedosphere. 26: 1. 62-73.