



به زراعی کشاورزی

دوره ۲۲ ■ شماره ۳ ■ پاییز ۱۳۹۹

صفحه‌های ۴۴۳-۴۳۳

تعیین نیاز کودی گندم آبی در زمین‌های سد گلستان با استفاده از مدل QUEFTS

یونس محمدنژاد^{۱*}، مجید بصیرت^۲، حسین حاجی ابایی^۳، بنیامین ترابی^۴

۱. استادیار، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران.

۲. استادیار، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

۳. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۴. دانشیار، گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۱۲/۰۵

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۲/۱۱

چکیده

در زمین‌های زراعی واقع در اطراف سد گلستان، تناوب زراعی رعایت نمی‌شود و حاصلخیزی خاک آن‌ها در خطر است. با توجه به اهمیت تغذیه کودی گندم، هدف از این آزمایش، بررسی وضعیت تغذیه‌ای خاک‌های این منطقه و تعیین نیاز کودی با تأکید بر عناصر غذایی پر مصرف بود. نیاز کودی این زمین‌ها با استفاده از مدل QUEFTS در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ تعیین شد. ابتدا، ۳۰ قطعه زمین کشاورزی که توسط آب سد گلستان آبیاری می‌شوند، انتخاب گردید. در هر قطعه زمین یک قطعه کوچک‌تر نیز مشخص گردید و در آن هیچ کودی استفاده نشد. کلیه عملیات کاشت و داشت به‌روش متداول کشاورز انجام گرفت. از هر قطعه زمین (کودپاشی شده و نشده) با استفاده از کادر یک مترمربعی، پنج نمونه کف‌بر شده و عملکرد دانه و غیردانه و غلظت نیتروژن، پتاسیم و فسفر آن‌ها اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که میانگین نیتروژن، فسفر و پتاسیم جذب‌شده توسط قسمت هوایی گیاه به‌ترتیب ۵۴، ۱۹/۵ و ۹۸ کیلوگرم در هکتار و عملکرد متوسط دانه گندم در مزارع مورد مطالعه، برابر با ۴۱۵۰ کیلوگرم در هکتار بود. با توجه به مدل QUEFTS، برای تولید ۱۰۰۰ کیلوگرم دانه گندم به‌ترتیب میزان ۱۳، ۴/۵ و ۲۲ کیلوگرم نیتروژن، فسفر و پتاسیم لازم بود. لذا با توجه به مطلوب بودن نتایج اعتبارسنجی مدل QUEFTS، توصیه می‌شود در این منطقه برای تولید حدود ۵۰۰۰ کیلوگرم در هکتار دانه گندم، ۳۲۵ کیلوگرم در هکتار کود اوره و ۱۹۵ کیلوگرم در هکتار کود سوپر فسفات تریپل و ۶۰ کیلوگرم در هکتار کود سولفات پتاسیم استفاده گردد.

کلیدواژه‌ها: ارزیابی مدل، تجمع و رقیق‌سازی، جذب عنصر، عملکرد، عناصر پر مصرف.

Determining the Fertilizer Requirement for Irrigated Wheat in Golestan Dam Fields, Using the QUEFTS Model

Yonus Mohammad Nezhad^{1*}, Majid Basirat², Hossein Hajiabaei³, Benjamin Torabi⁴

1. Assistant Professor, Soil and Water Research Department, Golestan Agricultural Research, Education and Extension Organization, AREEO, Gorgan, Iran.

2. Assistant Professor, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.

3. Former M.Sc. Student, Agronomy and Plant Breeding Department, Agriculture and Natural Resources Campus, University of Tehran, Karaj, Iran.

4. Associate Professor, Department of Agronomy, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

Received: May 1, 2019

Accepted: February 24, 2020

Abstract

In the fields around Golestan dam, crop rotation is not performed, putting the soil fertility at risk. This experiment aims at evaluating the nutritional status of the region's soils and determining the need for fertilizer with emphasis on macronutrients. The fertilizer requirement of these soils in 2017-2018 has been determined, using the QUEFTS model. At first, 30 fields in the Golestan dam region, irrigated by the dam itself, have been chosen. In each field, a small section has been selected as a non-fertilized one. All agronomic practices have been done in accordance with conventional farmers' method. From each field (fertilized and non-fertilized), five one-meter squared quadrats have been used to cut off the crop and the grain yield and non-grain yield, and measure its N, P, and K concentration. Results reveal that the mean value of N, P, and K uptake by shoots have been 54, 19.5, and 98 kg/ha, respectively, with the average grain yield being 4150 kg/ha in farmers' field. For 1000 kg of grain production per hectare, one requires 13, 4.5, and 22 kg of N, P, and K, respectively. Therefore, according to the proper validation results of the QUEFTS model, it is recommended to apply 325 kg/ha urea fertilizer, 195 kg/ha triple super phosphate fertilizer, and 60 kg/ha potassium sulfate fertilizer to produce about 5000 kg/ha wheat grain in this area.

Keywords: Accumulation and dilution, element absorption, macronutrients, model validation, yield.

۱. مقدمه

زمین‌های کشاورزی اطراف سد گلستان، با سطح زیر کشت بیش از ۱۰۰۰۰ هکتار، چند سالی است که با آب سد گلستان آبیاری می‌شوند. در گذشته بیش‌تر زمین‌های این منطقه شور بوده و در هر سال زراعی یک محصول نظیر گندم یا جو کشت می‌گردید و پتانسیل تولید پایینی داشتند. هم‌اکنون به‌علت آبیاری و تعبیه زهکش‌ها، شوری خاک این زمین‌ها به زیر آستانه خسارت رسیده است و در هر سال زراعی، به‌طور عمده تنها دو محصول با رعایت تناوب ذرت- گندم، مورد کشت و کار قرار می‌گیرند و به‌نظر می‌رسد ادامه این روند باعث کاهش حاصلخیزی در این منطقه خواهد شد. هم‌چنین با توجه به افزایش سطح زیر کشت در این منطقه، ضروری است عملکرد در واحد سطح نیز افزایش یابد که یکی از راه‌های بهبود عملکرد، استفاده از کود است. پاسخ گیاهان زراعی مختلف نسبت به میزان کود به‌کار برده شده متفاوت است و بایستی مصرف کود در یک حد بهینه و با در نظر گرفتن ویژگی‌های گیاه و خاک انجام شود (Xu et al., 2014; Kumar et al., 2018).

یکی از راه‌های تعیین میزان بهینه مصرف کود، استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی است که می‌توانند برای توصیه کودی مزارع نیز مورد استفاده قرار گیرند (Shehu et al., 2019). اما اغلب مدل‌های موجود تنها قادرند رابطه بین عرضه و جذب یک عنصر و عملکرد گیاه زراعی را برآورد کنند (Antwi et al., 2017). مدل QUEFTS^۱ برای بهینه‌سازی مدیریت کود در گیاهان زراعی است که در ایران به‌ندرت مورد استفاده قرار گرفته است. این مدل در ابتدا به‌منظور ارزیابی زمین‌ها تهیه شد و هدف از این مدل، بیان حاصلخیزی خاک در مقیاس چندبعده‌ی می‌باشد و اولین بار توسط Janssen et al. (1990) برای پیش‌بینی عملکرد ذرت در خاک‌های مناطق گرمسیری و در شرایط

عدم کوددهی ایجاد شد. ولی، می‌توان مدل را برای دیگر محصولات زراعی و دیگر خاک‌ها استفاده نمود (Liu et al., 2006). هم‌چنین، Setiyono et al. (2010) و Chuan et al. (2014) نیز کاربردی‌بودن و قابلیت توصیه کودی متعادل با استفاده از این مدل را تأیید کردند. در یک مطالعه، Sattari et al. (2014) نیز اذعان داشتند که با تنظیم مجدد و اصلاح مدل برای منطقه خاص می‌توان به پیش‌بینی خوبی از عملکردهای واقعی دست یافت. در یک مطالعه دیگر، Wijayanto & Prastyanto (2011) مدل QUEFTS را در توصیه کودی برای یک مکان خاص، امیدبخش دانستند و برای ارائه توصیه، از عملکرد به‌عنوان شاخص استفاده کردند. در مطالعات مختلف، از این مدل جهت تعیین نیاز کودی گیاه تربچه (Zhang et al., 2019)، سویا (Yang et al., 2017)، برنج (Xu et al., 2015)، سیب‌زمینی (Xu et al., 2019)، ذرت (Xu et al., 2013) و کلزا (Ren et al., 2015) استفاده شده است.

مدل QUEFTS رابطه حقیقی عملکرد دانه با تجمع عناصر غذایی در گیاه را فراهم می‌آورد و از دو خط مرزی برای تشخیص حدود بین حداکثر و حداقل تجمع عنصر غذایی در گیاه استفاده می‌کند (Setiyono et al., 2010). برای استفاده از مدل QUEFTS نیاز است ابتدا پارامترهای گیاه شامل میزان جذب عناصر غذایی توسط گیاه زراعی، کارایی درونی استفاده از عناصر و دامنه‌های عملکرد (مقادیر حداکثر تجمع و حداکثر رقیق‌سازی عناصر) برای منطقه مورد مطالعه تعیین شوند (Soltani et al., 2015)، که در ادامه، تعریف آن‌ها ارائه شده است. میزان جذب عنصر از خاک با میزان عرضه آن توسط خاک یکی نبوده و به‌عنوان تابعی از آن محاسبه می‌شود (Jiang et al., 2017) و در این مدل، تعیین میزان جذب هر یک از عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم، با توجه به میزان عرضه آن عنصر و وضعیت عرضه هر یک از دو

1. Quantitative Evaluation of the Fertility of Tropical Soils

اندازه‌گیری نیتروژن کل به روش کج‌دال، فسفر قابل جذب به روش اولسن و پتاسیم قابل جذب به روش استات آمونیوم نرمال خاک و دستگاه فلیم فتومتر صورت گرفت. نتایج به دست آمده از آزمون خاک نشان داد که میانگین کربن آلی خاک ۰/۸۹ درصد و دامنه تغییرات کربن آلی خاک بین ۰/۶ تا ۱/۱ درصد بود (جدول ۱) که نشان‌دهنده پایین بودن میزان ماده آلی خاک منطقه از حد متوسط است. دامنه تغییرات فسفر از ۱/۸ که بسیار پایین بود تا ۲۲/۸ قسمت در میلیون (تنها در یکی از مزارع مورد بررسی مشاهده شد) بود. میانگین پتاسیم خاک نشان داد که میزان آن در خاک‌های منطقه به نسبت بالا بود.

در هر قطعه زمین یک قطعه کوچک‌تر مشخص گردید تا در زمان انجام عملیات کشاورزی، هیچ کودی در آن قطعه به کار نرود. کلیه عملیات کاشت و داشت طبق روش کشاورز انجام گرفت. تمامی عوامل زراعی شامل نوع رقم و مقادیر نهاده‌های به‌کاررفته و زمان وقوع مراحل فنولوژیک ساقه‌رفتن، خوشه‌رفتن و رسیدگی ثبت شد. میانگین کود نیتروژن مصرفی توسط کشاورزان ۷۸ کیلوگرم نیتروژن خالص و دامنه تغییرات آن از ۵۶ تا ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۱). میانگین کود فسفر (P_2O_5) مصرفی توسط کشاورزان نیز ۳۸ کیلوگرم در هکتار بود. بیش‌تر کشاورزان از کود پتاسیمی استفاده نکردند و میانگین مصرف کود پتاسیم (K_2O) نیز سه کیلوگرم در هکتار مشاهده شد (جدول ۱).

در هنگام رسیدگی، از هر قطعه کودپاشی شده و نشده با استفاده از کادرهای یک مترمربعی پنج نمونه به صورت تصادفی کف‌بر شد. تعداد ۲۰ بوته تصادفی از داخل کادر برداشت شد و ارتفاع بوته، تعداد سنبله بارور و غیر بارور، تعداد دانه در سنبله و وزن هزاردانه اندازه‌گیری و ثبت شد. بوته‌های برداشت‌شده به دو بخش دانه و غیر دانه تقسیم شده و جهت اندازه‌گیری وزن خشک، به مدت ۷۲ ساعت در آون با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند.

عنصر دیگر انجام می‌شود (Kumar et al., 2016). کارایی درونی عنصر، برابر میزان محصول تولیدی به‌ازای میزان عنصر جذب‌شده توسط گیاه می‌باشد. حداکثر کارایی درونی، برآوردی از میزان عملکرد (حداکثر آن) در شرایطی را نشان می‌دهد که حداکثر رقیق‌شدن عنصر اتفاق افتاده باشد و خط پایینی برآوردی از میزان عملکرد (حداقل آن) در شرایطی را نشان می‌دهد که حداکثر تجمع و غلظت عنصر اتفاق افتاده باشد. در یک مطالعه، Soltani et al. (2015) با بررسی کاربرد مدل QUEFTS برای بهینه‌سازی شرایط تولید محصول گندم در منطقه گرگان گزارش کردند که این مدل نه تنها امکان تخمین نیاز کودی برای رسیدن به عملکرد هدف را می‌دهد بلکه ابزاری مفید برای شناسایی شرایط تغذیه‌ای مناسب برای رسیدن به عملکرد هدف را مهیا می‌سازد. بدین ترتیب لازم است که با استفاده از این مدل نسبت به تعیین نیازهای کودی محصول استراتژیک گندم در منطقه شرق استان گلستان اقدام شود. هدف از این مطالعه، شناخت وضعیت تغذیه‌ای گندم در خاک‌های منطقه سد گلستان واقع در شمال شرق استان گلستان، تعیین نیاز کودی با در نظرگرفتن عناصر غذایی پر مصرف و ارائه توصیه کودی مناسب برای بهینه‌نمودن مصرف کود در این منطقه بود.

۲. مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزارع آبی اطراف سد گلستان در شمال گنبد کاووس واقع در عرض ۳۷ و ۱۷ تا ۳۷ و ۲۷ شمالی و طول ۵۵ و ۸ تا ۵۵ و ۲۵ شرقی در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ انجام شد. در این آزمایش ۳۰ قطعه زمین کشاورزی که توسط آب سد گلستان آبیاری می‌شوند انتخاب گردید. از هر قطعه زمین یک نمونه خاک گرفته شد. نمونه خاک مرکب از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر به صورت تصادفی و تعداد متفاوت با توجه به سطح مزرعه تهیه و به آزمایشگاه ارسال گردید.

جدول ۱. پارامترهای آماری برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و میزان کود مصرفی توسط کشاورزان در مزارع

صفت	واحد	میانگین	انحراف معیار	حداقل	حداکثر
کربن آلی خاک	%	۰/۸۹	۰/۱۳	۰/۶۰	۱/۱۰
فسفر قابل جذب خاک	ppm	۷/۸۰	۵/۷۶	۱/۸۰	۲۲/۸۰
پتاسیم قابل جذب در خاک	ppm	۲۳۹/۹۵	۷۰/۰۵	۱۵۴/۰۰	۴۰۳/۰۰
متوسط کود نیتروژن مصرفی توسط کشاورز	Kg N/ha	۷۸	۱۲	۵۶	۱۰۰
متوسط کود فسفر مصرفی توسط کشاورز	Kg P ₂ O ₅ /ha	۳۸	۱۲	۱۰	۵۰
متوسط کود پتاسیم مصرفی توسط کشاورز	Kg K ₂ O/ha	۳	۶	۰	۲۵

Nyld به ترتیب عملکرد دانه و عملکرد غیر دانه (کیلوگرم در هکتار) می‌باشد.

کارایی درونی استفاده^۱ از عناصر برای داده‌های آزمایش با استفاده از رابطه (۴) محاسبه شد:

$$\text{INUE} = \text{Gyld} / \text{TU} \quad (۴)$$

که در رابطه فوق، INUE، کارایی درونی استفاده از عناصر، Gyld عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) و TU میزان کل جذب عنصر (کیلوگرم در هکتار) در اندام‌های هوایی گیاه در زمان رسیدگی هستند. وقتی تعداد داده‌ها زیاد و متنوع باشد در منحنی عملکرد دانه در مقابل TU دو خط به دست می‌آید که نقاط اندازه‌گیری بین این دو خط قرار می‌گیرند. خط بالایی برای شرایطی خواهد بود که در گیاه حداکثر رقیق‌سازی برای عنصر مورد نظر صورت می‌گیرد و عملکرد آن را عملکرد با حداکثر رقیق‌سازی می‌نامند و خط پایینی برآوردی از حداکثر تجمع عنصر در گیاه است که عملکرد با حداکثر تجمع می‌باشد. محاسبات بالا برای هر عنصر به‌طور جداگانه انجام گرفت. در مرحله بعد میزان تولید برای یک عنصر برای حداکثر تجمع و رقیق‌سازی عنصر بعدی محاسبه شد که این محاسبه برای تمام عناصر به‌صورت دو به دو انجام گرفت.

از هر قسمت دانه و غیردانه یک نمونه به‌طور تصادفی انتخاب و غلظت نیتروژن، پتاسیم و فسفر آن اندازه‌گیری شد. با استفاده از غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم اندازه‌گیری‌شده در دو بخش دانه و غیر دانه غلظت این عناصر برای کل بوته محاسبه شد. از باقیمانده نمونه‌ها برای تعیین عملکرد دانه استفاده شد. از اجزای مهم ورودی در مدل QUEFTS پیش از آنالیز، تعیین حداکثر عملکرد و عملکرد هدف می‌باشد که در اینجا حداکثر عملکرد، به میزان ۶/۵ تن در هکتار بر اساس پتانسیل تولید منطقه (Soltani, 2009) و عملکرد هدف به میزان ۵/۵ تن در هکتار براساس بیش‌ترین عملکردی که توسط کشاورزان در این مطالعه مشاهده شده بود، در نظر گرفته شد.

از روابط (۱)، (۲) و (۳) برای تعیین میزان جذب‌شده عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم توسط گندم استفاده شد:

$$\text{NU} = (\text{NG}/100 \times \text{Gyld}) + (\text{NNG}/100 \times \text{Nyld}) \quad (۱)$$

$$\text{PU} = (\text{PG}/100 \times \text{Gyld}) + (\text{PNG}/100 \times \text{Nyld}) \quad (۲)$$

$$\text{KU} = (\text{KG}/100 \times \text{Gyld}) + (\text{KNG}/100 \times \text{Nyld}) \quad (۳)$$

که در روابط فوق، NU، PU و KU به ترتیب میزان جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم (کیلوگرم در هکتار)؛ NG، PG و KG به ترتیب درصد نیتروژن، فسفر و پتاسیم کل در دانه؛ NNG، PNG و KNG به ترتیب درصد نیتروژن، فسفر و پتاسیم کل در اندام هوایی غیر از دانه و Gyld و

1. Internal Use Efficiency

۳۹۸ تا ۱۱ کیلوگرم نیتروژن خالص، ۱۳۰ تا ۲ کیلوگرم فسفر خالص و ۴۳۸ تا ۱۱ کیلوگرم پتاسیم خالص جذب در قسمت هوایی گندم داشته است. این در حالی است که در آزمایش آن‌ها، کود مصرفی نیتروژن (N) بین صفر تا ۷۵۰ کیلوگرم، فسفر (P) بین صفر تا ۱۳۷ کیلوگرم و پتاسیم (K) بین صفر تا ۲۴۹ کیلوگرم در هکتار بوده است. در آزمایش دیگری نیز عملکرد دانه گندم ۵/۳ تا ۱/۵ تن در هکتار با میزان کودهای مصرفی نیتروژن (N) بین صفر تا ۱۰۰ کیلوگرم، فسفر (P₂O₅) بین صفر تا ۵۰ کیلوگرم و پتاسیم بین صفر تا ۵۰ کیلوگرم در هکتار به دست آمد و میزان جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم در قسمت هوایی گندم در آزمایش‌های آن‌ها به ترتیب بین ۱۲۰ تا ۲۱، ۳۷ تا ۳ و ۲۱۶ تا ۴۳ کیلوگرم بوده است (Maiti et al., 2006). به نظر می‌رسد پایین بودن کاربرد کود پتاسیم در این منطقه، به دلیل بالابودن پتاسیم قابل دسترس در خاک این منطقه نسبت به آزمایش‌های فوق‌الذکر باشد. با توجه به میانگین عملکرد به دست آمده در منطقه مورد بررسی، به نظر می‌رسد میزان فسفر و نیتروژن خاک این منطقه در مقایسه با آزمایش‌های فوق، پایین است. کمبود نیتروژن در منطقه مورد مطالعه می‌تواند به محتوای پایین مواد آلی خاک ناشی از حاصلخیزی ذاتی خاک ضعیف و برداشت مداوم با کودهای نادرست و نامتعادل نیتروژن نسبت داد. استفاده ترکیبی متعادل از کودها و تناوب محصولات زراعی غلات با حبوبات از طریق اصول مدیریت یکپارچه باروری خاک می‌تواند به کشاورزان در منطقه مورد مطالعه برای بهبود وضعیت نیتروژن و فسفر خاک کمک کند. عدم افزایش قابل توجه عملکرد دانه به دلیل افزودن عناصر ریزمغذی ثانویه (منگنز، کلسیم و سیلیسیم) و ریزمغذی‌ها (بور و روی) نشان می‌دهد که این مواد مغذی عملکرد را محدود نمی‌کنند (Shehu et al., 2019).

در این مطالعه، برای اعتبارسنجی مدل QUEFTS، از عملکرد مزارعی که کشاورزان کود داده بودند استفاده شد. به این منظور، عملکردهای پیش‌بینی شده توسط مدل، با عملکردهای مشاهده شده در این مزارع به صورت نمودار xy مورد مقایسه قرار گرفته و از رابطه (۵) استفاده شد:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (S_i - m_i)^2}{n}} \quad \text{رابطه (۵)}$$

که در آن، RMSE جذر میانگین مربعات خطا، S_i و m_i مقدار مشاهده شده و پیش‌بینی شده عملکرد دانه و n تعداد داده می‌باشد. در آخر با استفاده از پارامترها و مدل به دست آمده برای ترکیبات مختلف کودی (NPK) میزان عملکرد به دست آمده و ترکیب کودی بهینه تعیین شد.

۳. نتایج و بحث

۳.۱. عملکرد و جذب عناصر غذایی

میانگین عملکرد دانه گندم در منطقه مورد بررسی ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار و تغییرات عملکرد بین ۲۱۰۰ تا ۵۵۰ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۲). این مقادیر عملکرد گندم، با میزان کودهای مصرفی نیتروژن (N) بین ۱۰۰ تا ۵۶ کیلوگرم، فسفر (P₂O₅) بین ۵۰ تا ۱۰ کیلوگرم و پتاسیم ۲۵ تا صفر کیلوگرم در هکتار (جدول ۱) به دست آمد. میانگین تولید کاه (قسمت هوایی گیاه به غیر از دانه) در منطقه نیز ۶۰۷۰ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۲).

از طریق رابطه‌های (۱) تا (۳) میزان جذب عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در قسمت هوایی گندم به دست آمد (جدول ۲). میانگین نیتروژن، فسفر و پتاسیم جذب شده ۵۴، ۱۹/۵ و ۹۸ کیلوگرم در هکتار با متوسط عملکرد دانه به میزان ۴۱۵۰ کیلوگرم در هکتار بود. در آزمایش Chuan et al. (2013) با متوسط عملکرد دانه گندم ۶۰۰۰ کیلوگرم در هکتار و با تغییرات بین ۱۲۰۰۰ تا ۲۸۰ کیلوگرم در هکتار سطح وسیعی از کشور چین بین

جدول ۲. میانگین عملکرد دانه و کاه و نیتروژن، فسفر و پتاسیم جذب شده در قسمت هوایی گیاه در مزارع کشاورزان

بیشترین	کمترین	انحراف معیار	میانگین	واحد	صفت
۵۵۶۰	۲۱۱۰	۸۱۷	۴۱۴۸	Kg/ha	عملکرد دانه
۱۰۱۰	۲۹۶۰	۱۵۹۰	۶۰۷۰	Kg/ha	عملکرد کاه
۷۸/۶۷	۲۵/۹۶	۱۲/۷۶	۵۴/۰۱	Kg/ha	نیتروژن جذب شده (NU)
۳۴/۵۰	۱۰/۶۸	۵/۵۵	۱۹/۴۲	Kg/ha	فسفر جذب شده (PU)
۱۹۶/۷۸	۳۶/۴۴	۳۱/۸۸	۹۸/۰۴	Kg/ha	پتاسیم جذب شده (KU)

استفاده از نیتروژن در مطالعه حاضر نسبت به آزمایش آن‌ها بیش‌تر بود. در تحقیق انجام شده توسط Liu et al. (2006)، برای تولید ۱۰۰۰ کیلوگرم دانه گندم به ترتیب به میزان ۲۵/۸، ۳/۷ و ۲۳/۳ کیلوگرم نیتروژن، فسفر و پتاسیم لازم بود. در آزمایش Chuan et al. (2013) برای تولید ۱۰۰۰ کیلوگرم دانه گندم به ترتیب به میزان ۶/۴، ۶/۵ و ۲۲ کیلوگرم نیتروژن، فسفر و پتاسیم گزارش شده است که نسبت N: P: K در آن ۴/۱: ۱: ۳/۴ بوده است.

کارایی درونی استفاده در قطعاتی که کود استفاده نشده بود نسبت به بقیه قطعاتی که کود مصرف شده بود مقداری بیش‌تر (برای نیتروژن ۷۸ در مقابل ۷۳ و برای فسفر ۲۲۴ در مقابل ۲۰۸) بود. این اختلاف در آزمایش Chuan et al. (2013) و Soltani et al. (2013) نیز گزارش شده است. در آزمایش حاضر، تغییرات کارایی درونی استفاده برای نیتروژن از ۹۹ تا ۶۱، برای فسفر ۳۲۶ تا ۱۶۰ و برای پتاسیم از ۷۴ تا ۲۷ بود. در آزمایش Soltani et al. (2015) در زمین‌های اطراف شهر گرگان تغییرات برای نیتروژن بین ۴۸ تا ۲۵، برای فسفر ۴۴۲ تا ۱۹۴ و برای پتاسیم ۶۸ تا ۳۲ به دست آمد. اختلاف و بالابودن کارایی مصرف نیتروژن این آزمایش در مقایسه با آزمایش Soltani et al. (2015) می‌تواند به این علت باشد که اطراف گرگان بارندگی بیش‌تر و حاصلخیزی خاک (غنی از مواد آلی، فسفر و پتاسیم) بیش‌تر و کود مصرفی توسط کشاورزان نیز بیش‌تر از این آزمایش می‌باشد و مصرف نیتروژن در آن منطقه به صورت لوکس می‌باشد.

افزایش عملکرد قابل توجه ناشی از افزودن عناصر ریزمغذی ثانویه تنها در هفت زمینه مشاهده شده است (Shehu et al., 2018). میزان عناصر جذب شده توسط گیاه را می‌توان به صورت یک مثلث نشان داد که هر ضلع آن مربوط به یک عنصر است، به طوری که توازن عناصر در گیاه در مرکز مثلث به دست خواهد آمد (Janssen, 2011) و لذا با توجه به نتایج به دست آمده در این آزمایش، برای افزایش عملکرد گندم آبی در منطقه اطراف سد گلستان، بایستی هر سه عنصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم را ملاک قرار داده و به نظر می‌رسد افزایش میزان یکی از این عناصر کافی نبوده و بایستی هر سه عنصر در خاک مزرعه افزایش یابند.

۳.۲. کارایی درونی استفاده از عناصر

میانگین کارایی درونی استفاده برای نیتروژن ۷۷/۸ کیلوگرم دانه به کیلوگرم نیتروژن گیاه، برای فسفر ۲۲۰/۹ کیلوگرم دانه به کیلوگرم فسفر گیاه و برای پتاسیم ۴۴/۹ کیلوگرم دانه به کیلوگرم پتاسیم گیاه بود (جدول ۳). با توجه به اعداد به دست آمده برای تولید ۱۰۰۰ کیلوگرم دانه به میزان ۱۳، ۴/۵ و ۲۲ کیلوگرم نیتروژن، فسفر و پتاسیم به ترتیب لازم است که نسبت N: P: K در آن ۴/۸: ۱: ۲/۹ می‌باشد. میانگین کارایی درونی استفاده برای نیتروژن، فسفر و پتاسیم گندم در آزمایش Liu et al. (2006) به ترتیب ۴۰/۱، ۲۶۹/۱ و ۴۳/۱ و در آزمایش Maiti et al. (2006) ۶۳/۱، ۲۹۸/۶ و ۳۵/۹ گزارش شده است. این امر نشان می‌دهد که کارایی درونی

جدول ۳. میانگین برخی صفات اندازه‌گیری شده گندم در مدل QUEFTS

بیش‌ترین	کم‌ترین	انحراف معیار	میانگین	واحد	صفت
۹۸/۸	۶۱/۵	۹/۰	۷۷/۸	Kg/Kg	کارایی درونی استفاده از نیتروژن
۳۲۶/۳	۱۶۰/۱	۴۱/۵	۲۲۰/۹	Kg/Kg	کارایی درونی استفاده از فسفر
۷۴/۱	۲۷/۲	۱۱/۷	۴۴/۹	Kg/Kg	کارایی درونی استفاده از پتاسیم

به ترتیب ۵۶، ۳۶۷ و ۶۷ کیلوگرم بر کیلوگرم و در حالت حداکثر تجمع به ترتیب ۲۵، ۱۷۱ و ۲۴ کیلوگرم بر کیلوگرم به دست آمد و بیان کردند وقتی گندم در حداکثر تجمع نیتروژن است به ازای هر کیلوگرم نیتروژن ۲۵ کیلوگرم دانه تولید می‌کند. در مقایسه این دو آزمایش مشاهده می‌گردد که از نظر فسفر و پتاسیم مشابه اما از نظر نیتروژن اختلاف وجود داشت که مصرف کم‌تر نیتروژن در این منطقه را نشان می‌دهد.

۳.۴. اعتبارسنجی مدل

از عملکرد به دست آمده و کود مصرفی در مزارع کشاورزان برای اعتبارسنجی مدل QUEFTS استفاده شد. در شکل (۲) عملکرد مشاهده شده در این مزارع در مقابل عملکرد پیش‌بینی شده توسط مدل QUEFTS به صورت نمودار ۱:۱ نشان داده شده است. در این نمودار شیب خط ۰/۹۱ و ضریب تبیین ۰/۵۶ بود. جذر میانگین مربعات خطا نیز ۵۶۴/۹ گردید. این رابطه به خوبی نشان می‌دهد که مدل QUEFTS قابلیت تخمین عملکرد با میزان کود مصرفی را دارد. Liu et al. (2006) نیز مشاهده کردند عملکرد به دست آمده توسط مدل QUEFTS خیلی نزدیک به عملکرد مشاهده شده بود. همچنین Maiti et al. (2006)، مدل QUEFTS را کاربردی دانستند و گزارش کردند که بعد از اعتبارسنجی می‌توان از آن در مدیریت کود مخصوص مکان استفاده نمود. همبستگی نزدیک بین عملکرد شبیه‌سازی شده در QUEFTS و مشاهده شده در

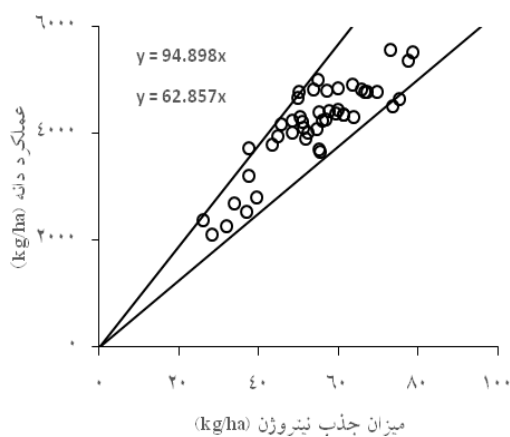
این اختلاف در کارایی مصرف نیتروژن با آزمایش‌های دیگر (Liu et al., 2006; Maiti et al., 2006) نیز می‌تواند دلیل مشابهی داشته باشد.

۳.۳. حداکثر تجمع و رقیق‌سازی عناصر

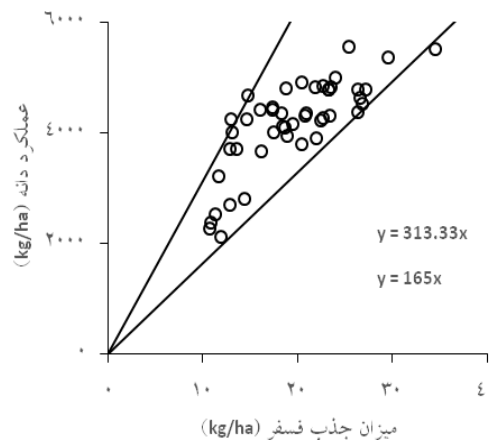
داده‌های عملکرد دانه در مقابل میزان جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم در شکل (۱-الف، ب و ج) آورده شده است. مجموعه داده‌هایی که نزدیک به خط بالا در هر سه نمودار قرار دارند نشان می‌دهد که از نظر فراهمی این عنصر کمبود (حداقل تجمع یا حداکثر رقیق‌سازی عنصر) وجود دارد. در مقابل داده‌هایی که نزدیک خط پایین قرار دارند از نظر این عنصر فراوانی فراهمی (حداکثر تجمع عنصر) دارند و کمبود عملکرد در آن به دلیل فاکتورهای دیگر رشد به غیر از این عنصر می‌باشد. حداکثر رقیق‌سازی و تجمع برای نیتروژن در این آزمایش ۹۵ و ۶۳ کیلوگرم بر کیلوگرم بود. به عبارت دیگر، در حالت حداکثر رقیق‌سازی در این منطقه به ازای هر کیلوگرم نیتروژن جذب شده تا ۹۵ کیلوگرم دانه تولید گردیده است و در حالتی که فاکتورهای رشد دیگر (مانند فسفر یا پتاسیم) محدودکننده بوده است و به ازای هر کیلوگرم نیتروژن تا ۶۳ کیلوگرم دانه تولید شده است. حداکثر رقیق‌سازی و تجمع برای فسفر و پتاسیم در این آزمایش به ترتیب ۳۱۳ و ۱۶۵ کیلوگرم بر کیلوگرم و ۷۲ و ۲۸ کیلوگرم بر کیلوگرم بود. در آزمایش Liu et al. (2006) حداکثر رقیق‌سازی برای نیتروژن، فسفر و پتاسیم برای گندم

هستند، ممکن است این روند، رویه‌ای پایین‌تر و یا بالاتر از مقدار برآوردشده با مدل QUEFTS را به‌خود اختصاص دهد. در یک پژوهش، Shehu *et al.* (2019) بیان کردند که کارایی مطلوب مدل هنگامی که داده‌ها برای دو منطقه زراعی زیست‌محیطی با هم ترکیب شدند نشان می‌دهد که توابع عرضه مواد مغذی واردشده در مدل QUEFTS و سایر پارامترهای کالیبره‌شده در آن را می‌توان به‌طور گسترده‌ای برای یک برنامه در مقیاس بزرگ‌تر اتخاذ کرد.

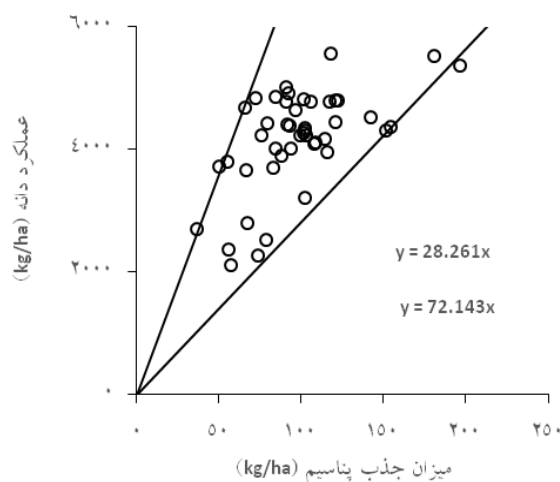
مزرعه نشان می‌دهد که مدل QUEFTS می‌تواند برای محاسبه میزان متناسب و مورد نیاز مواد مغذی و توصیه‌های کودی خاص منطقه برای بهینه‌سازی عملکرد گندم آبی در شرق استان گلستان مورد استفاده قرار گیرد. با این حال، در مدل QUEFTS فرض بر این است که سایر عوامل بیوفیزیکی غیر از مواد مغذی مانند رطوبت، دما، آفات، بیماری‌ها و مدیریت، محدودکننده نیستند. از آنجاکه این عوامل برای بهینه‌سازی در آزمایش‌های مزرعه پیچیده



(الف)



(ب)



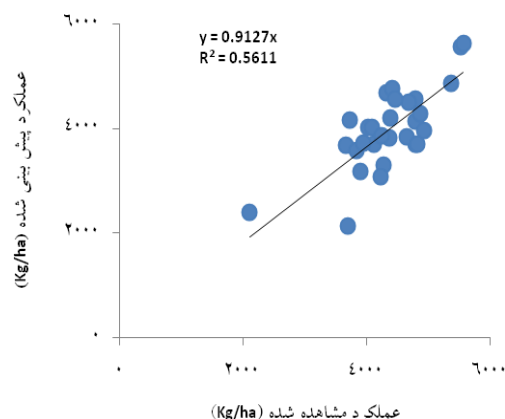
(ج)

شکل ۱. رابطه بین عملکرد دانه و تجمع نیتروژن (الف)، فسفر (ب) و پتاسیم (ج). خطوط بالایی عملکردها با حداکثر رقیق‌سازی (حداکثر عملکرد) و خطوط پایینی عملکردها با حداکثر تجمع (حداقل عملکرد) را نشان می‌دهند.

تعیین نیاز کودی گندم آبی در زمین‌های سد گلستان با استفاده از مدل QUEFTS

نیترژن، فسفر و پتاسیم جذب‌شده در قسمت هوایی گندم، کودهای نیترژن، فسفر و پتاسیم و نیترژن و فسفر و پتاسیم قابل‌دسترس در خاک) که تأثیر بیش‌تری بر عملکرد در مزارع کشاورز دارد، مشاهده شد که بیش‌ترین تأثیر را اول نیترژن جذب‌شده بعد نیترژن کودی و در آخر فسفر جذب‌شده داشت. در انتخاب ترکیبات مختلف کودی در تعیین عملکرد در این مدل نیز نیترژن و بعد فسفر تأثیر بیش‌تری در افزایش عملکرد داشتند.

با بررسی عملکرد و جذب‌های عناصر نیترژن، فسفر و پتاسیم (جدول ۴) مشاهده شد که عناصر، بر جذب یکدیگر تأثیر می‌گذارند، به‌طوری‌که با افزایش کود نیترژن و فسفر با وجودی که میزان کود پتاسیم ثابت است اما جذب پتاسیم از ۸۴ تا ۱۰۸ کیلوگرم در قسمت هوایی افزایش یافت. توانایی مدل QUEFTS در این است که جذب عناصر و عملکرد حاصل از عناصر را با هم بررسی می‌کند.



شکل ۲. ارتباط بین عملکرد مشاهده‌شده در مزارع کشاورزان با عملکرد پیش‌بینی‌شده با مدل QUEFTS

۳.۵. استفاده از مدل در برآورد عملکرد حاصل از تیمارهای مختلف کودی

در جدول (۴) میزان عملکرد دانه قابل پیش‌بینی با استفاده از مدل QUEFTS برای سطوح مختلف کودی آورده شده است. در بررسی با رگرسیون گام‌به‌گام روی عوامل (شامل

جدول ۴. برآورد عملکرد دانه و نیترژن، فسفر و پتاسیم جذب‌شده توسط قسمت هوایی گندم با استفاده از مدل QUEFTS

عملکرد دانه پیش‌بینی‌شده (Kg/ha)	پتاسیم جذب‌شده در قسمت هوایی گندم (Kg/ha)	فسفر جذب‌شده در قسمت هوایی گندم (Kg/ha)	نیترژن جذب‌شده در قسمت هوایی گندم (Kg/ha)	ترکیب کودی (Kg/ha)		
				پتاسیم (K ₂ O)	فسفر (P ₂ O ₅)	نیترژن (N)
۲۸۹۰	۸۴	۱۱	۲۷	۲۵	۲۵	۵۰
۲۹۷۰	۸۴	۱۵	۲۸	۲۵	۵۰	۵۰
۲۹۸۴	۸۴	۱۶	۲۸	۲۵	۷۵	۵۰
۳۹۱۲	۹۶	۱۲	۴۷	۲۵	۲۵	۱۰۰
۴۶۹۹	۱۰۳	۱۸	۵۱	۲۵	۵۰	۱۰۰
۴۹۲۴	۱۰۳	۲۲	۵۲	۲۵	۷۵	۱۰۰
۴۰۹۹	۹۶	۱۲	۵۸	۲۵	۲۵	۱۵۰
۵۳۵۱	۱۰۴	۱۸	۶۹	۲۵	۵۰	۱۵۰
۵۷۵۷	۱۰۸	۲۳	۷۲	۲۵	۷۵	۱۵۰
۴۱۳۶	۹۶	۱۲	۶۲	۲۵	۲۵	۲۰۰
۵۵۷۴	۱۰۴	۱۸	۸۲	۲۵	۵۰	۲۰۰
۶۰۱۶	۱۰۸	۲۳	۹۰	۲۵	۷۵	۲۰۰

برآورد شده و عملکرد دانه مشاهده شده در منطقه زراعی مورد نظر وجود دارد. تجزیه و تحلیل نشان می‌دهد که مدل QUEFTS می‌تواند یک راهبرد برای توسعه ابزارهای پشتیبانی تصمیم‌گیری ساده و مقرون به صرفه برای مدیریت مواد مغذی و توصیه‌های کودی در شرق استان گلستان و در محیط‌های مشابه غرب و مرکزی این استان باشد. برای اطمینان از تأثیر بیشتر، توصیه‌های کودی مخصوص این منطقه که از مدل تهیه شده‌اند باید با شیوه‌های مدیریت مناسب زراعی از جمله استفاده از منبع کودی مناسب، زمان دقیق و قراردادن صحیح کود در محیط ریشه، تکمیل شوند. همچنین مشاهده گردید که مدل QUEFTS می‌تواند یک ابزار مناسب و کاربردی برای تخمین عملکرد و توصیه کودی و تشخیص رابطه بین عناصر جذب شده گیاه و سهم آن‌ها در تعیین عملکرد گیاهان زراعی باشد. لذا به‌طور کلی به‌عنوان نتیجه‌گیری می‌توان بیان کرد با توجه به نتایج مدل QUEFTS، برای تولید دانه گندم در حدود ۵۰۰۰ کیلوگرم در هکتار در این منطقه لازم است تا ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن (۳۲۵ کیلوگرم از کود اوره) و ۴۰ کیلوگرم فسفر (۱۹۵ کیلوگرم کود فسفره از منبع سوپر فسفات تریپل) و ۲۵ کیلوگرم پتاسیم (۶۰ کیلوگرم کود پتاسه از منبع سولفات پتاسیم) استفاده گردد.

۵. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۶. منابع

- Antwi, A., Duker, A., Fosu, M., & Abaidoo, R.C. (2017). Simulation of major soil nutrients requirement for maize production using the QUEFTS model in the Northern region of Ghana. *Direct Research Journal of Agriculture and Food Science*, 5, 133-140.
- Chuan, L., Ping H., Mirasol, F.P., Jiyun, J., Shutian, L., Cynthia, G., Wei, Z., & Adrian, M.J. (2014). Estimating nutrient uptake requirements for wheat. *Better Crops*, 98, 10-12.

افزودن هر ۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص از ۵۰ تا ۲۰۰ کیلوگرم موجب می‌شود میانگین عملکرد ۲۹۴۸، ۴۵۱۱، ۵۰۶۹ و ۵۰۲۰ کیلوگرم در هکتار شود که نشان داد در اوایل زیاد ولی بعد اثر آن کاهش می‌یابد. تأثیر کود فسفر نیز نشان می‌دهد که با مقدار کود نیتروژن کم افزایش فسفر از ۲۵ تا ۷۵ کیلوگرم، ابتدا تأثیر کمی بر عملکرد داشت ولی با افزایش نیتروژن تأثیر آن بیش‌تر شد ولی دوباره کاهش یافت. با توجه به در نظر گرفتن هزینه‌های کود و نتایج جدول، برای به‌دست آوردن عملکرد دانه در حدود ۵۰۰۰ کیلوگرم در هکتار در این منطقه لازم است تا ۱۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن خالص (۳۲۵ کیلوگرم از کود اوره) و ۴۰ کیلوگرم از کود فسفر خالص (۱۹۵ کیلوگرم کود فسفره از منبع سوپر فسفات تریپل) و ۲۵ کیلوگرم کود پتاسیم خالص (۶۰ کیلوگرم کود پتاسه از منبع سولفات پتاسیم) استفاده گردد. برای تولید ۴۰۰۰ کیلوگرم در هکتار لازم است تا ۱۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن خالص (۲۱۰ کیلوگرم از کود اوره) و ۲۷ کیلوگرم از کود فسفر خالص (۱۳۰ کیلوگرم کود فسفره از منبع سوپر فسفات تریپل) و ۲۵ کیلوگرم کود پتاسیم خالص (۶۰ کیلوگرم کود پتاسه از منبع سولفات پتاسیم) استفاده گردد.

۴. نتیجه‌گیری

این مطالعه به منظور شناخت وضعیت تغذیه‌ای گندم در خاک‌های منطقه سد گلستان واقع در شمال شرق استان گلستان، تعیین نیاز کودی با در نظر گرفتن عناصر غذایی پر مصرف و ارائه توصیه کودی با استفاده از مدل QUEFTS انجام شد. با توجه به این‌که در بین این مزارع، شرایط خاک و مدیریت‌های کشاورزی مختلف است، بنابراین در عملکردها نیز تفاوت وجود دارد و لذا در نتیجه‌گیری توسط QUEFTS نیز اثر می‌گذارد. نتایج اعتبارسنجی نشان داد که همبستگی خوبی بین عملکرد QUEFTS

- Chuan, L., Ping, H., Jiyun, J., Shutian, L., Cynthia, G., Xu, X., & Zhao, W. (2013). Estimating nutrient uptake requirements for wheat in China. *Field Crops Research*, 146, 96-104.
- Janssen, B.H. (2011). Simple models and concepts as tools for the study of sustained soil productivity in long-term experiments. II. Crop nutrient equivalents, balanced supplies of available nutrients, and NPK triangles. *Plant Soil*, 339, 17-33.
- Janssen, B.H., Guiking, F.C.T., Van der Eijk, D., Smaling, E.M.A., Wolf, J., & Van Reuler, J. (1990). A system for quantitative evaluation of the fertility of tropical soils QUEFTS. *Geoderma*, 46, 299-318.
- Jiang, W.T., Liu, X.H., Qi, W., Xu, X.N., & Zhu, Y.C. (2017). Using QUEFTS model for estimating nutrient requirements of maize in the Northeast China. *Plant Soil Environment*, 63, 498-504.
- Kumar, P., Byju, G., Singh, B.P., Minhas, J.S., & Dua, V.K. (2016). Application of QUEFTS model for site specific nutrient management of NPK in sweet potato (*Ipomoea batatas* L. Lam). *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 47, 1599-1611. doi:10.1080/00103624.2016.1194989.
- Kumar, P., Dua, V.K., Sharma, J., Byju, G., Minhas, J.S., & Chakrabarti, S.K. (2018). Site-specific nutrient requirements of NPK for potato (*Solanum tuberosum* L.) in Western Indo-gangetic plains of India based on QUEFTS. *Journal of Plant Nutrition*, 41, 1988-2000. doi: 10.1080/01904167.2018.1484135.
- Liu, M., Yu Z., Liu Y., & Konijn, N.T. (2006). Fertilizer requirement for wheat and maize in China: the QUEFTS approach. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 74, 245-258.
- Maiti, D., Das, D.K., & Pathak, H. (2006). Fertilizer Requirement for Irrigated Wheat in Eastern India Using the QUEFTS Simulation Model. *The Scientific World Journal*, 6, 231-245.
- Ren, T., Zou, J., Wang, Y., Li, X.K., Cong, R.H., & Lu, J.W. (2015). Estimating nutrient requirements for winter oilseed rape based on QUEFTS analysis. *Journal of Agricultural Science*, 154, 425-437. doi:10.1017/S0021859615000301.
- Sattari, S.Z., Van Ittersum M.K., Bouwman, A.F., Smit, A.L., & Janssen, B.H. (2014). Crop yield response to soil fertility and N, P, K inputs in different environments: Testing and improving the QUEFTS model. *Field Crops Research*, 157, 35-46.
- Setiyono, T.D., Walters, D.T., Cassman, K.G., Witt, C., & Dobermann, A. (2010). Maize-N: A decision tool for nitrogen management in maize. *Field Crops Research*, 118, 158-168.
- Shehu, B., Bassam, A., Lawan, M., Jibrin, Y., Kamarad, B., Mohammed, R., Shamie, Z., Craufurd, P., Vanlauwed, B., Adam, M., & Merckxa, R. (2019). Balanced nutrient requirements for maize in the Northern Nigerian Savanna: Parameterization and validation of QUEFTS model. *Field Crops Research*, 107585. doi: 10.1016/j.fcr.2019.107585.
- Shehu, B., Merckx, R., Jibrin, J., Kamara, A., & Rurinda, J. (2018). Quantifying variability in maize yield response to nutrient applications in the Northern Nigerian Savanna. *Agronomy*, 8, 18-28. doi: 10.3390/agronomy8020018.
- Soltani, A. (2009). *Ecology of Crop Production* [Brochure]. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. (In Persian)
- Soltani, A., Soltani, E., Mohamadi, N., and Zeinali, E. (2013). Application of QUEFTS model for optimizing NPK nutrition wheat. *Final Research Report*. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. 60p. (In Persian)
- Soltani, E., Soltani A., Mohammadi N., Torabi B., & Zeinali, A. (2015). Crop parameters determination of QUEFTS model for optimizing NPK nourishment in wheat. *Journal of Crop Production*, 8(3), 41-62. (In Persian).
- Wijayanto, Y., & Prastyanto, E. (2011). A study of using QUEFTS model for establishing site specific fertilizer recommendation in maize on the basis of farmer fields. *Agrivata*, 33(3), 273-278.
- Xu, X.P., He, P., Pampolino, M.F., Chuan, L.M., Johnston, A.M., & Qiu, S.J. (2013). Nutrient requirements for maize in China based on QUEFTS analysis. *Field Crops Research*, 150, 115-125. doi:10.1016/j.fcr.2013.06.006.
- Xu, X.P., He, P., Pampolino, M.F., Johnston, A.M., Qiu, S.J., Zhao, S.C., Chuan, L.M., & Zhou, W. (2014). Fertilizer recommendation for maize in China based on yield response and agronomic efficiency. *Field Crops Research*, 157, 27-34.
- Xu, X.P., He, P., Xu, X., Qiu, S., Ullah, S., Gao, Q., & Zhou, W. (2019). Estimating Nutrient Uptake Requirements for Potatoes Based on QUEFTS Analysis in China. *Agronomy Journal*, 111(5), 2387-2394.
- Xu, Z., Xie, J., Hou, Y., He, P., Mirasol, F., Pampolino, S., & Zhou, W. (2015). Estimating nutrient uptake requirements for rice in China. *Field Crops Research*, 180, 37-45. doi: 10.1016/j.fcr.2015.05.008.
- Yang, F., Xu, X., Wang, W., Ma, J., Wei, D., & He, P. (2017) Estimating nutrient uptake requirements for soybean using QUEFTS model in China. *PLoS ONE*, 12, 0177509. doi:10.1371/journal.pone.0177509
- Zhang, J., He, P., Ding, W., Xu, X., Ullah, S., Abbas, T., Ai, C., Li, M., Cui, R., Jin, C., & Zhou, W. (2019). Estimating nutrient uptake requirements for radish in China based on QUEFTS model. *Scientific Reports*, doi: 10.1038/s41598-019-48149-6.