تحقیقات آب و خاک ایران | دوره ۵۲ | شماره ۱۱ | بهمن ۱۴۰۰ (ص ۲۹۳۴-۲۹۲۳)

https://dx.doi.org/10.22059/ijswr.2021.330633.669076

(مقاله علمی - پژوهشی)

Evaluation of the Effect of Different Nutritional Managements on Yield and Economic Benefit of Rice Plant (*Oryza sativa L*)

SHAHARIAR BABAZADEH JAFARI[1], MOHAMMAD FEIZIAN[1*], NASER DAVATGAR[2]

1. Department of Soil Science Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran.
2. Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

(Received: Sep. 13, 2021- Revised: Dec. 13, 2021- Accepted: Dec. 15, 2021)

ABSTRACT

Nutrient management, as recommended by fertilizers, is essential for achieving an economically sustainable rice crop. Nutrient management programs for each farm condition should have the least adverse environmental effects while optimizing farmer's production and profits. This study was conducted to determine the most appropriate rice plant nutrition management in paddy fields in terms of yield and economic benefit from 1397 for two years. In this study, ten farms were selected in Kuchesfahan section that were different in terms of soil characteristics and nutritional management. Then, in each field, six plots were prepared and fertilizer treatments including N_0 (without nitrogen), P_0 (without phosphorus), K_0 (without potassium) and $N_1P_1K_1$ (general fertilizer recommendation of Rice Research Institute), $N_2P_2K_2$ (fertilizer recommendation of rice research institute based on soil testing) and $N_3P_3K_3$ (fertilizer recommendation based on soil test plus full fertilizer and growth stimulant fertilizer) were applied in them and compared with the customary fertilizer management of the farmer. In this study, characteristics related to soil fertility and crop yield were measured and soil nitrogen, phosphorus and potassium supply were calculated. The results showed that indigenous supply of nitrogen and phosphorus in the soil was low in the range of 20 to 37 and 3 to 9 $kg.ha^{-1}$, respectively. Combined analysis of data variance showed that the effect of fertilizer treatments on paddy yield was significant at 5% probability level and the highest average yield related to $N_3P_3K_3$ treatment was 3968 $kg.ha^{-1}$. But this recommendation did not differ significantly from the treatment ($N_2P_2K_2$) with an average yield of 3914 $kg.ha^{-1}$. These two recommendations significantly increased the average rice yield by 259 and 313 kg ha^{-1}, respectively, compared to the usual crop management yield. The economic benefits of $N_2P_2K_2$ nutrition management practices were not significantly different from $N_3P_3K_3$, however they were significantly different from the management of farmer custom. These findings showed that for economically sustainable production of rice, it is necessary to pay attention to the interest-cost balance along with the type, amount and time of fertilizer inputs.

Keywords: Rice**,** Economic Interest, Fertilizer, Paddy Yield, Indigenous Supply, Nutrition Management,

* Corresponding Author's Email: feizian.m@lu.ac.ir

ارزیابی تأثیر مدیریت‌های مختلف تغذیه بر عملکرد و بهره اقتصادی گیاه برنج (*Oryza sativa L.*)

شهریار بابازاده جعفری[۱]، محمد فیضیان[۱*]، ناصر دواتگر[۲]

۱. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.

۲. موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۶/۲۲- تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۹/۲۲- تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۹/۲۴)

چکیده

مدیریت عناصر غذایی همانند توصیه نهاده‌های کودی برای دستیابی به محصول پایدار اقتصادی گیاه برنج ضروری است. برنامه‌های مدیریت عناصر غذایی برای شرایط هر مزرعه باید ضمن بهینه‌سازی تولید و سود کشاورز، دارای کمترین اثرات نامطلوب زیست محیطی باشد. این مطالعه با هدف تعیین مناسب‌ترین مدیریت تغذیه گیاه برنج در اراضی شالیزاری از جنبه عملکرد و بهره اقتصادی از سال ۱۳۹۷ به مدت دو سال انجام شد. در این بررسی تعداد ده مزرعه در بخش کوچصفهان که از نظر ویژگی‌های خاک و مدیریت تغذیه متفاوت بودند، انتخاب شدند. سپس در هر مزرعه شش کرت آماده و تیمارهای کودی شامل N_0 (بدون نیتروژن)، P_0 (بدون فسفر)، K_0 (بدون پتاسیم) و $N_1P_1K_1$ (توصیه کودی عمومی موسسه تحقیقات برنج)، $N_2P_2K_2$ (توصیه کودی موسسه تحقیقات برنج بر مبنای آزمایش خاک) و $N_3P_3K_3$ (توصیه کودی بر اساس آزمایش خاک به اضافه مصرف کود کامل و کود محرک رشد) در آنها اعمال و با مدیریت کودی عرف زارع مقایسه شدند. در این پژوهش ویژگی‌های مرتبط با حاصلخیزی خاک و عملکرد گیاه اندازه‌گیری و عرضه نیتروژن، فسفر و پتاسیم بومی خاک محاسبه شدند. بررسی‌ها نشان داد عرضه بومی نیتروژن و فسفر خاک اراضی به ترتیب در دامنه ۲۰ تا ۳۷ و ۳ تا ۹ کیلوگرم در هکتار کم بودند. تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد اثر تیمارهای کودی بر عملکرد شلتوک، در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بودند و بیشترین میانگین عملکرد مربوط به تیمار $N_3P_3K_3$ به مقدار ۳۹۶۸ کیلوگرم در هکتار بدست آمد. اما این توصیه اختلاف معنی‌داری با تیمار ($N_2P_2K_2$) با میانگین عملکرد ۳۹۱۴ کیلوگرم در هکتار نداشت. این دو توصیه به ترتیب میانگین عملکرد برنج را به مقدار ۲۵۹ و ۳۱۳ کیلوگرم در هکتار نسبت به عملکرد مدیریت عرف زراع به شکل معنی‌دار افزایش دادند. بهره اقتصادی حاصل از اعمال مدیریت تغذیه $N_2P_2K_2$ با $N_3P_3K_3$ اختلاف معنی‌داری نداشتند، اما نسبت به مدیریت عرف زارع دارای اختلاف معنی‌داری بودند. این یافته‌ها نشان داد که برای تولید پایدار اقتصادی برنج لازم است در کنار نوع، مقدار و زمان مصرف نهاده‌های کود به موازنه بهره- هزینه توجه شود.

واژه‌های کلیدی: برنج، بهره اقتصادی، کود، عملکرد شلتوک، عرضه بومی، مدیریت تغذیه

مقدمه

مدیریت عناصر غذایی یکی از بخش‌های اصلی نظام مدیریت و تولید پایدار اقتصادی گیاهان زراعی و باغی است. آگاهی از وضعیت عناصر غذایی در تمام مراحل رشد گیاه و توانایی خاک در نگهداری و عرضه عناصر غذایی برای تولید پایدار محصولات و حفظ بهره وری طولانی مدت خاک بسیار مهم است(Ahmad and Mahdi, 2018). تصمیم‌گیری در رابطه با نوع، اندازه و زمان مصرف کودها نیازمند شناخت کافی از پاسخ گیاه به مصرف عناصر غذایی دارد، که این خود تابعی از نیاز غذایی گیاه، عرضه عناصر غذایی از منابع بومی خاک و سرنوشت کوتاه و بلند مدت کودهای مصرف شده در خاک دارد. توصیه کودی و مصرف مناسب آن، پایه مدیریت مناسب تغذیه گیاه است (Chuan *et al.*, 2003). اگر چه امروزه از کود به عنوان ابزاری برای رسیدن به بیشینه تولید در واحد سطح استفاده می‌شود. اما باید مصرف متعادل و اقتصادی آن در نظر گرفته شود. در توصیه‌های کودی رایج برای کشاورزان معمولاً ویژگی‌های خاک مزرعه، اقلیم و اثرات مدیریت ویژه مکان در نظر گرفته نمی‌شود (Buresh, 2009). این نوع توصیه‌های کودی سبب می‌شود که در خاک‌های با مقدار کافی از عناصر غذایی، بیش‌بود عناصر غذایی، افزایش هزینه تولید و چه بسا آلودگی محیط زیست روی دهد و در مناطق به شدت دچار کمبود یک عنصر غذایی، مقدار کود مصرف شده کفایت جبران آن عنصر را نکند. در حقیقت عوامل اثرگذار بر عملکرد گیاه و کیفیت آن ویژه مکان هستند (Reets and Fixen, 2000). توصیه‌های کودی می‌تواند دامنه‌ای از توصیه‌های عمومی برای نواحی بزرگ یا بر

* نویسنده مسئول: feizian.m@lu.ac.ir

مبنای شاخص‌های تشخیص ویژه مکان وضعیت عنصر در خاک و گیاه برای تصمیم سازی مقدار و زمان مصرف کود باشد (Doberman *et al*., 2003). یکی از رویکردهای تصمیم سازی در رابطه با مصرف کود، آزمون خاک است. در آزمون خاک وجود یک روش عصاره‌گیری سریع می‌تواند سبب آسانی پذیرش آزمون خاک برای تعیین نیازهای ویژه مکان گیاه به یک عنصر غذایی شود (Kamprath *et al*., 2000). اما استفاده از رویکرد آزمون خاک نیازمند: ۱) انتخاب شاخص مناسب در ارتباط با عملکرد گیاه یا عرضه موثر عناصر غذایی در طول دوره رشد، ۲) پایش منظم مقادیر آزمون خاک با استفاده از نمونه‌برداری یکنواخت و اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی و ۳) خدمات مشاوره تغذیه گیاه با کیفیت خوب است (Doberman *et al*., 2003). این نیازمندی‌ها برای بسیاری از کشاورزان کشورهای در حال توسعه مقدور نیست و می‌بایست راه‌های دیگری برای تعیین رابطه خاک- محصول و تصمیم سازی توصیه کودی اتخاذ نمود. مدیریت تغذیه ویژه مکان (SSNM) یکی از رویکردهای دیگر مدیریت تغذیه گیاه برنج برای دستیابی به محصول بیشتر است. در این مدیریت اصول و ابزاری برای تامین عناصر غذایی گیاه برنج در هنگامی که گیاه به آن نیاز دارد با استفاده از ظرفیت بومی عناصر غذایی خاک فراهم می‌شود. این مدیریت از سوی موسسه تحقیقات بین‌المللی برنج از سال ۲۰۰۶ به عنوان یک رویکرد ارزان و گیاه مبنا برای کاربرد مناسب کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم در برخی از کشورهای برنج‌خیز آسیا (هند و جنوب شرق آسیا) در حال اجرا است (IRRI, 2006).

تولید برنج در اراضی شالیزاری استان‌های شمالی کشور با محدودیت‌های بیوفیزیکی و اقتصادی متعددی روبرو هستند. از محدودیت‌های بیوفیزیکی می‌توان به کمبود منابع آب آبیاری، الگوی نامنظم بارش در طول فصل رشد، حاصلخیزی پایین خاک، آفات و بیماری‌ها اشاره کرد. محدودیت‌های اقتصادی شامل تولید کم، هزینه تولید زیاد، ناپایداری قیمت شلتوک، افزایش دستمزد کارگری و قیمت زیاد سم و کود است. بیشتر کشاورزان شالیکار علیرغم آگاه بودن از نقش مثبت سم و کود در افزایش و پایداری تولید به علت قیمت زیاد، توانایی خرید و مصرف این نهاده‌ها را ندارند. از این رو در تصمیم‌سازی رویکرد مدیریت تغذیه گیاه برنج ارزیابی بهره اقتصادی اهمیت پیدا می‌کنند. Pandey, (1999) بیان کرد یک رویکرد جدید مدیریت تغذیه هنگامی مورد پذیرش کشاورزان قرار می‌گیرد که: ۱) هزینه کودهای جدید بیشتر از هزینه حاشیه مورد انتظارش یا آنچه در مدیریت فعلی خود انجام می‌دهد نباشد، ۲) در استفاده از رویکرد جدید هزینه کارگری جدیدی بر او تحمیل نشود و ۳) استفاده از فناوری یا رویکرد جدید آسان باشد.

Haefele *et al*. (2010) با ارزیابی اقتصاد کشاورزی توصیه‌های کودی در سامانه نظام اراضی برنج بارانی نشان دادند که بهره حاصل از مصرف کود بستگی به نسبت قیمت محصول به نهاده کودی در هر مزرعه دارد. Banayo *et al*. (2018) مدیریت تغذیه ویژه مکان را با مدیریت تغذیه رایج زارعین در اراضی شالیزاری کشور فیلیپین از جنبه‌های تولید و اقتصادی بررسی کردند و نشان دادند که اجرای مدیریت تغذیه ویژه مکان سبب افزایش بهره خالص برای کشاورزان به اندازه ۱۵۴ دلار در هکتار می‌شود. Kong *et al*. (2019) با ارزیابی آگرو اقتصادی مدیریت کودی برنج اراضی شالیزاری جنوب کامبوج نشان دادند که هر چند با افزایش مصرف کود محصول برنج افزایش می‌یابد؛ اما برای تعیین بهترین راهبرد مدیریت کودی می‌بایست ابتدا قیمت کودها و بیشینه بهره را در نظر داشت.

Gupta *et al*. (2016) با ارزیابی سه مدیریت مختلف تغذیه گیاه برنج (مدیریت عرف زارع، توصیه عمومی دولتی و توصیه مدل مبنای کارشناسی تغذیه) در مزارع کشاورزان حوضه دانگ شرق نپال نشان داد که عملکرد در توصیه مدل مبنای کارشناسی تغذیه (۵/۴۶ تن در هکتار) بسیار بیشتر از توصیه عمومی دولتی (۴/۷۹ تن در هکتار) و مدیریت عرف زارع (۴/۴۳ تن در هکتار) بود. Popp *et al*. (2021) در بررسی تحلیل اقتصادی پاسخ عملکرد برنج به مصرف کود پتاسیم گزارش کردند که بیشترین مقدار بهره (۲۸/۱۹ دلار در هکتار) در غلظت پتاسیم قابل دسترس ۱۰۵ میلی‌گرم در هر کیلوگرم خاک بدست آمد و بیان کردند برای افزایش بهره تولید در خاک‌های با غلظت‌های متفاوت پتاسیم قابل استفاده بایستی توصیه‌های کودی متفاوتی پیشنهاد شود.

Pampolino *et al*. (2007) با بررسی بهره اقتصادی مدیریت تغذیه ویژه مکان (SSNM) را در اراضی شالیزاری برنج آبیاری در جنوب هندوستان، فیلیپین و جنوب ویتنام نشان دادند که بهره اقتصادی سالانه کشاورزان از اجرای SSNM در ویتنام ، فیلیپین و هند به ترتیب ۳۴، ۱۰۶ و ۱۶۸ دلار بود. این پژوهشگران تاثیر افزایش عملکرد در افزایش بهره را بیشتر ناشی از کاهش هزینه نهاده‌ها دانستند.

در مطالعه وضعیت حاصلخیزی خاک‌های شالیزاری استان گیلان بر پایه تجزیه و تحلیل ۸۰۰۰ نمونه خاک نشان داد وضعیت عناصر غذایی در شالیزارهای استان از نظر توزیع جغرافیایی یکسان نیست. بیشتر خاک‌های استان از نظر pH ، هدایت الکتریکی و عناصر غذایی کم مصرف برای رشد گیاه برنج مطلوب بوده در حالی که از نظر اندازه نیتروژن کل، پتاسیم و فسفر قابل استفاده وضعیت متفاوتی داشتند. در بسیاری از اراضی شالیزاری واقع در محدوده دشت مرکزی گیلان (با خاک‌های غالب آبرفتی)

حوضه آبریز سپیدرود کمبود نیتروژن وجود داشت. نزدیک به ۴۰ و ۶۸ درصد از اراضی شالیزاری استان به ترتیب کمبود فسفر و پتاسیم نشان دادند(Davatgar *et al.*, 2015). از سوی دیگر در سال‌های اخیر به دنبال حذف یارانه و در نتیجه افزایش قیمت کود امکان استفاده از منابع مختلف و با مقادیر کافی کود به دشواری انجام می‌شود. از این رو تعیین رویکرد مدیریت تغذیه که بتواند ضمن افزایش محصول، هزینه تولید کمتری بر دوش کشاورز قرار دهد در اولویت خواهد بود. این تحقیق ضمن تعیین سهم عرضه بومی عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در تغذیه گیاه برنج، بدنبال مشخص کردن مناسب‌ترین رویکرد توصیه کودی از جنبه عملکرد و بهره اقتصادی در اراضی شالیزاری بخش کوچصفهان شهرستان رشت می‌باشد.

مواد و روش‌ها

توصیف موقعیت منطقه مطالعه شده

منطقه مطالعه شده اراضی شالیزاری بخش کوچصفهان از توابع شهرستان رشت به مساحت ۱۱۳/۲ کیلومترمربع با مختصات جغرافیایی″۲۰ ′۴۶ °۴۹ طول شرقی و ″۵۲ ′۱۶ °۳۷ عرض شمالی بود. بلندترین و پست‌ترین نقاط آن به ترتیب دارای ارتفاع ۲۲/۸ و ۲۱/۲۴- متر از سطح دریا است. اقلیم منطقه بر پایه روش‌های طبقه بندی دومارتن و آمبرژه، بسیار مرطوب است. این ناحیه دارای خاک‌های آبرفتی و هم‌چنین طبق نقشه رژیم رطوبتی و حرارتی خاک‌های ایران (Banaei, 1998) خاک‌های منطقه مطالعه شده دارای رژیم‌های رطوبتی یودیک و رژیم حرارتی مزیک و بر اساس سیستم طبقه‌بندی آمریکایی در رده‌های انتی‌سول، اینسپتی‌سول و آلفی‌سول طبقه‌بندی می‌شوند. میانگین درجه حرارت سالیانه ۱۵/۸درجه سلسیوس و میانگین بارندگی سالیانه ۱۳۵۹ میلی‌متر است. بیشترین کاربری اراضی منطقه، کشت گیاه برنج است.

اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

پیش از اجرای آزمایش برای تعیین وضعیت حاصلخیزی خاک از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک مزارع شالیزاری انتخابی نمونه برداری مرکب و مختصات جغرافیایی نقاط با دستگاه GPS مشخص شد. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بر پایه روش‌های پیشنهادی Ali Ahyaei and Behbahanizadeh (1997) بافت خاک به روش هیدرومتر بایکاس، واکنش خاک در گل اشباع با الکترود شیشه‌ای، هدایت الکتریکی (EC) در عصاره اشباع به روش هدایت‌سنجی، کربن آلی (OC) به روش اکسیداسیون تر، گنجایش تبادل کاتیونی (CEC) به روش استات سدیم در pH=7، فسفر قابل استفاده (AP) به روش اولسن، نیتروژن کل (TN) به روش کجلدال، پتاسیم قابل استفاده (AK) به روش عصاره‌گیری با استات آمونیوم اندازه‌گیری شدند.

آزمایشات مزرعه‌ای

آزمایشات مزرعه‌ای در سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ در ده مزرعه شالیزاری بخش کوچصفهان که از نظر ویژگی‌های خاک؛ مدیریت زراعی و تغذیه‌ای و موقعیت مکانی متفاوت بودند (شکل ۱) بر پایه روش کرت‌های حذفی[1] پیشنهادی Doberman (2003) *et al.*, انجام شد. این پژوهشگران بر پایه یافته‌های موسسه تحقیقات بین‌المللی برنج (IRRI) اعلام کردند در اراضی کشاورزان و برای ارزیابی جامع مدیریت تغذیه اجرای ده موقعیت کرت حذفی در ناحیه‌ای به مساحت ۱۰۰ تا ۲۰۰ کیلومتر کافی است.

بر پایه روش استاندارد پیشنهادی موسسه تحقیقات بین‌المللی برنج[2] (Doberman *et al.*, 2003) برای اجرای آزمایشات مدیریت تغذیه در هر مزرعه با مختصات جغرافیایی متفاوت یک مجموعه هفت‌گانه از تیمارهای آزمایش در کرت‌هایی به مساحت ۲۰ مترمربع که بوسیله مرزهایی از دیگر بخش های مزرعه جدا شده بودند، ایجاد شد. گیاه برنج استفاده شده در این آزمایش رقم هاشمی بود. تیمارهای آزمایشی عبارت بودند از: ۱) بدون نیتروژن (N_0)، ۲) بدون فسفر (P_0)، ۳) بدون پتاسیم (K_0)، ۴) توصیه کودی عمومی موسسه تحقیقات برنج کشور($N_1P_1K_1$)، ۵) توصیه کودی بر مبنای آزمایش خاک ($N_2P_2K_2$)، ۶) توصیه کودی بر مبنای آزمایش خاک به اضافه محلول پاشی کود کامل ۱۲-۱۲-۳۶ و کود محرک رشد ($N_3P_3K_3$) و ۷) مدیریت کودی عرف زارع..

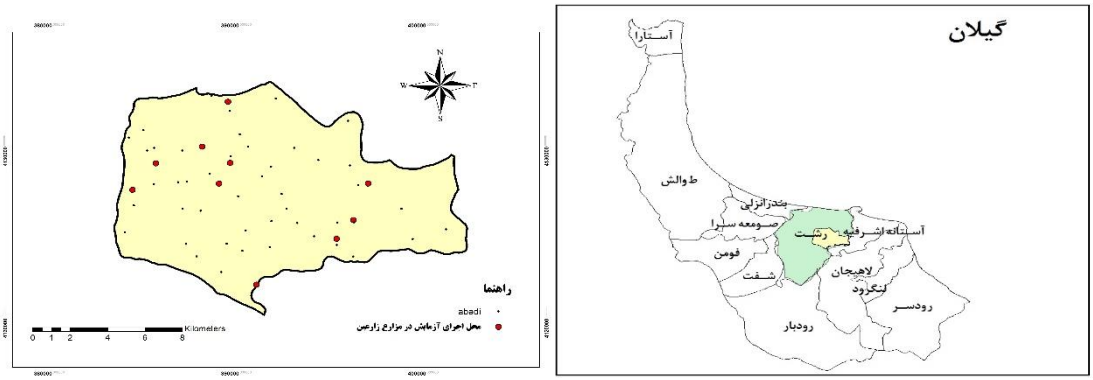
این آزمایش به صورت طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی بوده و هر یک از مزارع به عنوان یک تکرار در نظر گرفته شد. در هر مزرعه آرایش واحدهای آزمایشی هر بلوک در جهتی انجام گرفت که شیب مزرعه و اختلاف حاصلخیزی خاک در کمترین باشد. در هر یک از کرت‌های شاهد (N_0، P_0، K_0) به جز عنصر مورد نظر، دیگر عناصر غذایی پر مصرف درحد کفایت بر مبنای آزمایش خاک استفاده شدند (برای ارزیابی وضعیت محصول برنج در شرایطی که کشاورزان یکی از کودهای پایه اصلی را مصرف نمی‌کنند و همچنین تعیین ظرفیت بومی عرضه عنصر غذایی مورد نظر). در تیمار چهارم از توصیه عمومی موسسه تحقیقات برنج برای رقم هاشمی به ترتیب ۶۰، ۴۵ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار N، P_2O_5 و K_2O از منبع کود اوره، سوپرفسفات تریپل و کلرور پتاسیم استفاده شد (Padasht Dehkaei *et al.*, 2015). در تیمار پنجم پس از انجام آزمایش خاک و تعیین وضعیت عناصر غذایی

1 -Omission plot

2 . International Rice Research Institute (IRRI)

نیتروژن، فسفر و پتاسیم خاک، مقدار لازم برای رساندن غلظت عنصر به حد بحرانی تعیین و به خاک اضافه شد(Mahmoud Soltani *et al.*, 2021). حد بحرانی نیتروژن ۰/۲ درصد به نقل از دواتگر و همکاران (۲۰۱۵) و ملکوتی و کاوسی (۱۳۸۳) ، پتاسیم قابل استفاده ۱۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم (کاووسی و همکاران، ۱۳۸۵) و فسفر قابل استفاده ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم (دابرمن و فیرهوست، ۲۰۰۰) بود. در تیمار ششم افزون بر مقادیر کود مشخص شده در تیمار پنجم از کود کامل ۳۶-۱۲-۱۲ و محرک رشد در دو مرحله از فصل رشد (اواسط پنجه‌زنی و ظهور سنبله جوان) با غلظت سه در هزار بصورت محلول پاشی استفاده شد. کود کامل ۳۶-۱۲-۱۲ و محرک رشد استفاده شده تولید داخل و از دفتر ثبت و کنترل کیفی مواد کودی موسسه تحقیقات خاک و آب دارای تاییدیه بودند. کود کامل ۳۶-۱۲-۱۲ دارای ۱۲ درصد نیتروژن، ۱۲ درصد فسفر (P_2O_5) و ۳۶ درصد پتاسیم (K_2O) بود. ترکیبات محرک رشد شامل عصاره جلبک های دریایی (۰/۷٪)، هیومیک اسید (۹/۸٪)، فولویک اسید (۳/۷٪)، اسیدهای آمینه، ویتامین‌ها، عناصر کم مصرف (۳/۸٪)، پلی ساکاریدها (۱/۲۰٪)، P_2O_5 (۵/۳ ٪) ، K_2O (۷/۱ ٪) ، N (۳/۶٪) بودند. در تیمار هفتم مزرعه در اختیار زارع قرار داشت تا برحسب عرف خود مدیریت کودی را اعمال کند. نوع و مقدار کود مصرف شده در تیمارهای مختلف در جدول ۱ نشان داده شد. مقدار و نوع کود مصرفی در مدیریت عرف زارع نشان داد که مصرف کود توسط زارعین متعادل و مناسب نبوده و به نظر می‌رسد بدون در نظر گرفتن وضعیت عناصر غذایی خاک و متاثر از قیمت کود و توان اقتصادی کشاورز باشد.

مدیریت کاشت، داشت و برداشت بر اساس عرف منطقه انجام شد. در این پژوهش آبیاری مزرعه زارع و کرت‌های آزمایشی جداگانه انجام شد و برای جلوگیری از اختلاط کودها و نفوذ آب بین کرت‌های مجاور و همچنین دیگر بخش‌های مزرعه مرزهای آن‌ها با پلاستیک پوشانده شد. میزان عملکرد دانه، پس از برداشت در رطوبت ۱۴ درصد اندازه‌گیری شدند. برای هر مزرعه پرسشنامه‌ای درباره مدیریت زراعی (تاریخ کاشت و برداشت، تعداد مراحل وجین علف هرز) و مدیریت آبیاری (تعداد روزهای نوبت آبیاری) در طول دوره رشد تکمیل شد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی بخش کوچصفهان و مکان‌های اجرای مدیریت تغذیه ویژه مکان در مزارع زارعین

جدول ۱- مقدار کود شیمیایی (کیلوگرم در هکتار) و محرک رشد (لیتر) مصرفی در اراضی شالیزاری در مدیریت‌های مختلف تغذیه

عرف زارع			$N_1P_1K_1$			$N_2P_2K_2$			$N_3P_3K_3$				
مزرعه	اوره	سوپر فسفات تریپل	کلرور پتاسیم	اوره	سوپر فسفات تریپل	کلرور پتاسیم	اوره	سوپر فسفات تریپل	کلرور پتاسیم	اوره	سوپر فسفات تریپل	کلرور پتاسیم	۳۶-۱۲-۱۲	کود محرک رشد (لیتر)
۱	۲۰۰	۵۰	۵۰	۱۳۰	۹۸	۱۶۷	۱۹۶	۲۵۰	۱۶۷	۱۹۶	۲۵۰	۱۶۷	۳	۴
۲	۲۰۰	۱۰۰	۶۷	۱۳۰	۹۸	۱۶۷	۱۶۳	۱۳۳	۰	۱۶۳	۱۳۳	۰	۳	۴
۳	۱۷۰	۱۵۰	۰	۱۳۰	۹۸	۱۶۷	۱۹۶	۲۵۵	۵۰	۱۹۶	۲۵۵	۵۰	۳	۴
۴	۱۵۰	۶۳	۰	۱۳۰	۹۸	۱۶۷	۵۰	۲۵۵	۰	۵۰	۲۵۵	۰	۳	۴
۵	۱۵۰	۵۰	۵۰	۱۳۰	۹۸	۱۶۷	۶۵	۲۰۰	۸۳	۶۵	۲۰۰	۸۳	۳	۴
۶	۲۰۰	۰	۰	۱۳۰	۹۸	۱۶۷	۱۶۳	۶۶	۵۰	۱۶۳	۶۶	۵۰	۳	۴
۷	۲۰۰	۱۵۰	۰	۱۳۰	۹۸	۱۶۷	۲۲۸	۲۵۵	۵۰	۲۲۸	۲۵۵	۵۰	۳	۴
۸	۲۰۰	۶۳	۶۳	۱۳۰	۹۸	۱۶۷	۱۳۰	۲۵	۰	۱۳۰	۲۵	۰	۳	۴
۹	۱۵۰	۵۰	۵۰	۱۳۰	۹۸	۱۶۷	۲۳۰	۲۸۸	۵۰	۲۳۰	۲۸۸	۵۰	۳	۴
۱۰	۱۵۰	۸۰	۰	۱۳۰	۹۸	۱۶۷	۱۹۶	۲۸۸	۰	۱۹۶	۲۸۸	۰	۳	۴

$N_1P_1K_1$: توصیه کودی عمومی، $N_2P_2K_2$: توصیه کودی بر مبنای آزمایش خاک، $N_3P_3K_3$: توصیه کودی بر مبنای آزمایش خاک به اضافه محلول‌پاشی کود کامل و محرک رشد.

برآورد ظرفیت عرضه بومی عنصرغذایی خاک

ظرفیت عرضه بومی نیتروژن، فسفر و پتاسیم بومی خاک از طریق عملکرد دانه در کرت‌های شاهد (N_0، P_0، K_0) انجام شد(Doberman and Fairhurst, 2000; Dobermann *et al*, 2003; Noto Susanto *et al*, 2015). بر پایه تعریف Doberman and Fairhurst, (2000) عرضه عناصر غذایی بومی خاک عبارت از مقدار یک عنصر غذایی ویژه است که از همه منابع به غیر از کودها (مانند خاک، بقایای گیاه و آب آبیاری) برای گیاه در طول دوره رشد آن تامین می‌شود. برای برآورد عرضه بومی نیتروژن، فسفر و پتاسیم خاک از روابط پیشنهادی Doberman and Fairhurst, (2000) استفاده شد. این روابط به علت زیاد بودن در مقاله نشان داده نشدند و برای مطالعه بیشتر می‌توان به مرجع یاد شده مراجعه کرد.

جدول ۲- قیمت محصول برنج و نهاده‌های کودی در سال زراعی ۱۳۹۸ (هزارریال)

شلتوک هاشمی	کود اوره	کود سوپر فسفات تریپل	کود کلرور پتاسیم	کود کامل ۳۶-۱۲-۱۲	کود محرک رشد
۱۱۹	۱۰/۹۱۲	۱۷/۱۶	۱۳	۲۰۰	۳۰۰

ارزیابی بهره اقتصادی

برای تعیین بهره اقتصادی رویکردهای مدیریت مختلف تغذیه و مقایسه آن با عرف زارع از روابط ۱، ۲ و ۳ استفاده شد (Doberman and Fairhurst , 2000):

$$TFC=P_NF_N+P_pF_p+P_kF_k \quad \text{(رابطه ۱)}$$

$$GRF=P_RY_R-TFC \quad \text{(رابطه ۲)}$$

$$\Delta GRF=GRF_i-GRF_{FFP} \quad \text{(رابطه ۳)}$$

که در آن TFC هزینه کل کود استفاده شده (ریال/هکتار) و P_N، P_p و P_k به ترتیب قیمت کود نیتروژنی، فسفره و پتاسیمی بر حسب کیلوگرم/ ریال است. همچنین F_N، F_p و F_k به ترتیب مقدار کود نیتروژنی، فسفره و پتاسیمی بر حسب کیلوگرم بر هکتار است. GRF سود حاصل از مصرف کود (ریال/هکتار) ، P_R قیمت برنج (کیلوگرم/ریال) ، Y_R عملکرد گیاه برنج (کیلوگرم/هکتار) است. ΔGRF اختلاف بهره بین هر یک از مدیریت‌های تغذیه GRF_i و GRF_{FFP} بهره مدیریت کودی عرف زارعین است. قیمت هر کیلوگرم شلتوک هاشمی و کودهای اوره، سوپرفسفات تریپل و کلرور پتاسیم در سال زراعی ۱۳۹۸ از شرکت خدمات حمایتی استان گیلان تهیه و در جدول شماره ۲ ارائه شد. آماره‌های توصیفی کمترین، بیشترین، میانگین، میانه، انحراف معیار و ضریب تغییرات در نرم افزار SPSS نسخه ۱۶ محاسبه شدند. تجزیه واریانس با استفاده از نرم افزار MSTATC (1.42) و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون توکی به طور جداگانه برای هر سال انجام شد. در پایان دو سال آزمایش، پس از اطمینان از یکنواختی واریانس اشتباه آزمایشی با استفاده از آزمون بارتلت، تجزیه واریانس مرکب با فرض تصادفی بودن سال و مکان انجام شد. برای برازش روابط رگرسیونی و رسم منحنی‌ها از نرم افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

وضعیت حاصلخیزی خاک‌های شالیزاری مزارع آزمایشی

برخی از ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک مزارع شالیزاری مطالعه شده در جدول سه نشان داده شدند.

جدول ۳- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزارع شالیزاری مطالعه شده کوچصفهان

شماره مزرعه	مختصات جغرافیایی E	مختصات جغرافیایی N	EC	pH	CEC	OC	TN	AP	AK	Sa	Si	Cl	بافت
۱	۴۹ ۴۶ ۱۹,۳	۳۷ ۱۴ ۲۳,۸	۱/۰۱	۷/۳۹	۲۸	۱/۲۶	۰/۱۲	۶	۱۴۳	۱۷	۴۶	۳۷	SiL
۲	۴۹ ۵۰ ۱۹,۱	۳۷ ۱۷ ۳۶,۹	۱/۳	۷/۲۵	۳۴	۱/۶۳	۰/۱۶	۱۰/۴	۳۲۳	۱۳	۴۴	۴۳	SiCL
۳	۴۹ ۴۴ ۵۴,۷	۳۷ ۱۷ ۳۳,۶	۰/۸۹	۷/۴۹	۳۵	۱/۲۶	۰/۱۴	۴/۷	۲۵۸	۶	۴۶	۴۸	L
۴	۴۹ ۴۵ ۱۱,۸	۳۷ ۲۰ ۰۸,۲	۱/۴۶	۶/۹۸	۴۲	۲/۸۱	۰/۲۹	۵/۶	۲۸۰	۱۰	۴۶	۴۴	L
۵	۴۹ ۴۵ ۱۸,۷	۳۷ ۱۸ ۱۳,۳	۱/۳۴	۷/۲۲	۴۲	۲/۴۱	۰/۲۴	۶/۳	۱۹۵	۲۸	۴۲	۳۰	CL
۶	۴۹ ۴۴ ۱۷,۰	۳۷ ۱۸ ۴۳,۲	۱/۱۴	۷/۲۷	۴۴	۱/۸۹	۰/۱۷	۱۴/۷	۲۱۶	۱۶	۵۴	۳۰	SiCL
۷	۴۹ ۴۹ ۴۸,۱	۳۷ ۱۶ ۲۸,۰	۰/۷۶	۷/۳۷	۲۸	۱/۰۵	۰/۱۱	۴/۴	۲۱۱	۲۵	۳۱	۴۴	SiL
۸	۴۹ ۴۹ ۱۲,۳	۳۷ ۱۵ ۵۲,۳	۱/۳۸	۷/۲۵	۳۵	۲/۱۸	۰/۱۹	۲۰/۳	۳۲۰	۳	۴۳	۵۴	SiC=CL
۹	۴۹ ۴۱ ۴۷,۳	۳۷ ۱۷ ۲۰,۱	۰/۷۶	۷/۴۵	۳۸	۰/۷۴	۰/۰۷	۳/۴	۲۳۷	۴	۵۲	۴۴	SiCL
۱۰	۴۹ ۴۲ ۳۷,۳	۳۷ ۱۸ ۱۰,۴	۰/۹۸	۷/۴۲	۳۸	۱/۰۵	۰/۱۲	۴	۳۰۱	۵	۳۷	۵۸	SiL

EC: هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)، **pH**: واکنش گل اشباع، **CEC**: گنجایش تبادل کاتیونی (سانتی مول بر کیلوگرم)، **OC**: کربن آلی (درصد)، **TN**: نیتروژن کل (درصد)، **AP**: فسفر قابل جذب (میلی‌گرم/ کیلوگرم)، **AK**: پتاسیم قابل جذب (میلی‌گرم/ کیلوگرم)، **Sa**: شن (درصد)،**Si**: سیلت (درصد)، **C**: رس (درصد)،

مزارع شالیزاری آزمایشی دارای بافت متوسط، نسبتاً سنگین تا سنگین بودند و انتظار بر این است که خاک‌های مطالعه شده از توانایی خوب در نگهداری و عرضه عناصر غذایی برخوردار باشند. هدایت الکتریکی خاک در دامنه ۰/۷۶ تا ۱/۴۶ دسی-زیمنس بر متر بود که نشان داد خاک‌های منطقه محدودیت شوری نداشتند که از دلایل آن می‌توان به فزونی بارش نسبت به تبخیر و همچنین مدیریت آبیاری غرقابی اراضی شالیزاری اشاره کرد که سبب آبشویی املاح محلول و به دنبال آن کاهش شوری خاک می‌شود. pH خاک در دامنه ۶/۹۸ تا ۷/۴۵ با میانگین ۷/۱۹ قرار داشت. (Yoshida., (1981 ، pH مناسب خاک را برای برنج ۶/۶ گزارش کرده است. بعد از فرآیند غرقاب کردن خاک‌های شالیزاری pH خاک در هر دو حالت اسیدی و بازی به حد خنثی میل می‌کند (Ponnamperuma *et al*., 1972). نیتروژن کل خاک‌ها در دامنه ۰/۰۷ تا ۰/۲۹ و میانگین ۰/۱۶ درصد قرار داشت. بر پایه حد بحرانی ۰/۲ درصد برای نیتروژن کل خاک (Davatgar *et al*., 2015)، تنها در دو مزرعه کمبود نیتروژن خاک وجود نداشت و دیگر مزارع دارای کمبود نیتروژن بودند. کربن آلی در این دو مزرعه بیشتر از حد بحرانی ۲ درصد (De Datta, 1981) بود. کربن آلی منبع اصلی عرضه نیتروژن بومی خاک است(Doberman and Oberthur, 1997). میانگین فسفر قابل - استفاده در این مزارع ۷/۹۸ و دامنه تغییرات آن بین ۳/۴ تا ۲۰/۳ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. بر پایه حد بحرانی فسفر قابل استفاده خاک‌های شالیزاری، ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک Doberman and Fairhurst, 2000) (در هفت مزرعه از ده مزرعه کمبود فسفر وجود داشت. میانگین پتاسیم قابل استفاده در خاک‌های بررسی شده ۲۴۸/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم و دامنه تغییرات آن بین ۱۴۳ تا ۳۲۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر بود. Kavoosi and (2006) Malakouti, غلظت بحرانی پتاسیم قابل‌استفاده را برای گیاه برنج ۱۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم اعلام نمودند. نتایج آزمون خاک اراضی شالیزاری ده مزرعه نشان داد مقدار پتاسیم قابل استفاده تمام مزارع بیشتر از حد بحرانی بود.

عرضه بومی عناصر غذایی مطالعه شده خاک

آمار توصیفی عرضه بومی نیتروژن، فسفر و پتاسیم بومی خاک در ۱۰ مزرعه مورد بررسی در جدول ۴ نشان داده شد. کمترین، بیشترین و میانگین عرضه بومی نیتروژن در خاک‌های مطالعه شده به ترتیب ۲۰/۴۱، ۳۷/۴۴، ۲۸/۲۸ کیلوگرم در هکتار بود. Doberman and Fairhurst, (2000) اعلام کردند عرضه نیتروژن بومی خاک در بیشتر خاک‌های شالیزاری فاریاب اراضی پست از ۱۵ تا بیش از ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار برای هر محصول نوسان دارد و میانگین عرضه نیتروژن بومی ۶۰ کیلوگرم در هکتار است.

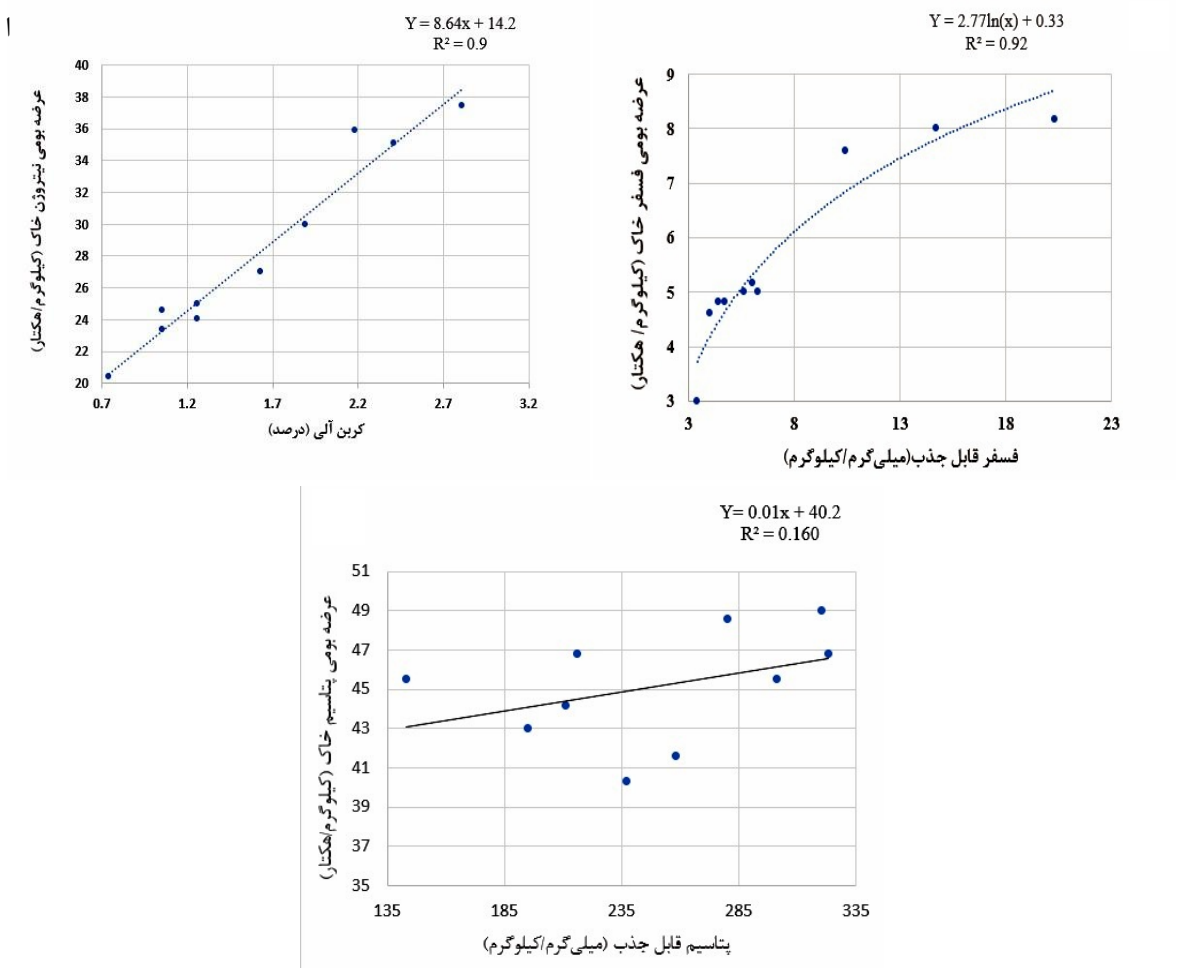
جدول ۴- آمار توصیفی عرضه بومی نیتروژن، فسفر و پتاسیم (کیلوگرم/هکتار) در خاک‌های مطالعه شده

عرضه بومی عناصر غذایی	کمترین	بیشترین	میانه	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات
نیتروژن	۲۰/۴۱	۳۷/۴۴	۲۶/۰۲	۲۸/۲۸	۵/۹۷	۲۱/۱۱
فسفر	۳	۸/۱۶	۵	۵/۶۲	۱/۷۰	۳۰/۲۴
پتاسیم	۴۰/۳	۴۹	۴۵/۵	۴۵/۱۳	۲/۸۶	۶/۳۳

کربن آلی خاک به عنوان عامل کلیدی در پایداری حاصلخیزی و باروری خاک محسوب می‌شود. از سوی دیگر Doberman and Oberthur, (1997) نشان دادند که کربن آلی مهم‌ترین منبع بومی تامین‌کننده نیتروژن خاک در اراضی شالیزاری است. رابطه بین عرضه بومی نیتروژن با کربن آلی در خاک‌های مطالعه شده نشان داد که با افزایش کربن آلی خاک عرضه بومی نیتروژن هم افزایش می‌یابد (شکل۲- الف)

عرضه بومی فسفر در خاک‌های مطالعه شده در دامنه بین ۳ تا ۸/۱۶ و میانگین آن ۵/۶۲ کیلوگرم در هکتار بود. رابطه بین فسفر قابل استفاده و عرضه بومی آن نشان داد که با افزایش غلظت فسفر خاک تا یک حد معین عرضه بومی آن در خاک افزایش می‌یابد اما بعد از آن مجانب می‌شود (شکل۲-ب). Doberman and Fairhurst, (2000) گزارش کردند عرضه فسفر بومی خاک در بیشتر خاک‌های شالیزاری فاریاب اراضی پست از ۵ تا بیش از ۳۰ کیلوگرم فسفر در هکتار برای هر محصول و میانگین آن ۱۵ کیلوگرم در هکتار است. نتایج پرسش‌نامه‌های دارای اطلاعات زراعی و مدیریت کود زارعین نشان داد که بر پایه وضعیت فسفر قابل استفاده خاک بیشتر کشاورزان کود فسفره کمتر از نیاز گیاه، استفاده کردند (جدول ۱و۳). کاهش مصرف کودهای فسفره سبب کاهش منبع بومی فسفر در خاک و به دنبال آن کاهش غلظت فسفر قابل استفاده در خاک و سرانجام جذب آن توسط گیاه می‌شود (Nagumo *et al*., 2013). بر پایه ضریب تبیین (R^2) همبستگی بین عرضه بومی پتاسیم خاک و پتاسیم قابل استفاده مانند عرضه‌های بومی نیتروژن و فسفر قابل استفاده معنی‌دار نبود

(شکل ۲-ج). غلظت پتاسیم در خاک در همه مزارع مطالعه شده بیش از حد بحرانی بود، چه بسا در صورت وجود خاک‌هایی با غلظت پتاسیم کمتر از حد بحرانی تبیین بهتری از رابطه بین عرضه بومی پتاسیم و پتاسیم قابل استفاده می‌توانست انجام شود. اما این عرضه در دامنه بین ۴۰/۳ تا ۴۹ با میانگین ۴۵ کیلوگرم در هکتار قرار داشت که بر پایه گروه بندی Doberman and Fairhurst (2000) در گروه خاک‌هایی با عرضه پتاسیم بومی خیلی کم (کمتر از ۵۰ کیلوگرم پتاسیم در هکتار) محسوب می‌شوند. از سوی دیگر پاسخ عملکرد به مصرف کودهای پتاسیمی تنها هنگامی مشاهده می‌شود که فراهمی دیگر عناصر غذایی به خصوص نیتروژن و فسفر کافی باشد (Satyanarayana *et al*, 2011). بیشترین زارعین مزارع مطالعه شده کود پتاسیم مصرف نکردند (جدول ۱). نتایج آزمایش خاک نیز نشان داد که در برخی مزارع به مصرف پتاسیم نیاز نیست (جدول۳). غلظت پتاسیم در کاه گیاه برنج مزارع مطالعه شده به طور میانگین ۲/۲۸ درصد بود (نتایج نشان داده نشدند) که از حد بحرانی غلظت آن در کاه در مرحله رسیدگی (۱/۲ درصد) پیشنهاد شده Doberman and Fairhurst, (2000) برای گیاه برنج بیشتر بود. یافته‌های رابطه کمیت شکل قابل استفاده عناصر غذایی با عرضه بومی این عناصر نشان داد که همیشه یک رابطه مستقیم خطی بین این دو متغیر برقرار نیست. به عبارت دیگر نمی‌توان انتظار داشت که با افزایش غلظت قابل استفاده عنصر در خاک فراهمی و عرضه آن نیز به همان نسبت افزایش می‌یابد.



شکل ۲- رابطه عرضه بومی نیتروژن کل با کربن آلی خاک (الف)، فسفر بومی با فسفر قابل استفاده خاک (ب)، پتاسیم بومی با پتاسیم قابل استفاده خاک (ج)

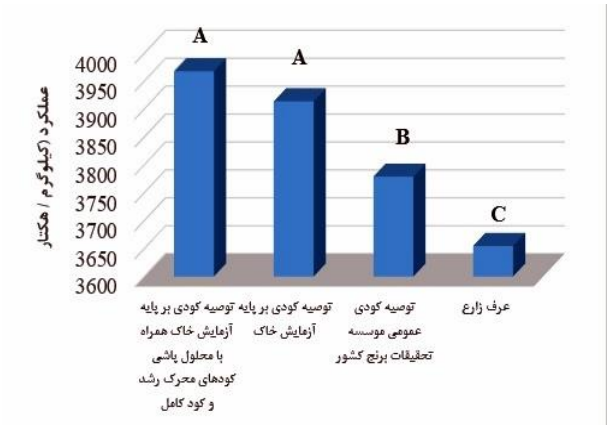
عملکرد دانه

برای جبران شکاف عملکرد، تشخیص عوامل محدودکننده رشد و اجرای مدیریت تغذیه مناسب ضروری است. در نظام زراعی برنج ، کاهش عملکرد بیشتر ناشی از تأمین ناکافی نیتروژن، فسفر، پتاسیم و دیگر عناصر غذایی است (Cassman et al., 1999). آمار توصیفی عملکرد شلتوک، در کرت‌های حذفی عناصر غذایی و عملکرد استحصالی در توصیه‌های مختلف کودی در مزارع مطالعه شده در جدول ۵ نشان داده شد.

جدول ۵- آمار توصیفی عملکرد شلتوک در کرت‌های حذفی و مدیریت‌های مختلف تغذیه در مزارع مورد بررسی

آماره	عملکرد (کیلوگرم/ هکتار)						
	عرف زارع	N_0	P_0	K_0	$N_1P_1K_1$	$N_2P_2K_2$	$N_3P_3K_3$
کمترین	۳۴۰۰	۱۵۷۰	۱۳۵۰	۳۱۰۰	۳۶۰۰	۳۷۰۷	۳۸۰۰
بیشترین	۴۰۰۰	۲۸۸۰	۳۵۵۰	۳۷۷۰	۴۰۸۰	۴۲۰۷	۴۳۲۰
میانگین	۳۶۵۵	۲۱۷۴	۲۴۵۱	۳۴۷۱	۳۷۷۹	۳۹۱۴	۳۹۶۸
میانه	۳۶۰۰	۱۹۹۵	۲۱۹۳	۳۵۰۰	۳۷۵۵	۳۹۳۲	۳۹۰۴
انحراف معیار	۱۷۴	۴۶۰	۷۲۷	۲۲۱/۵	۱۳۸	۱۵۰	۱۶۰/۶
ضریب تغییرات	۴/۸	۲۱/۲	۲۹/۷	۶/۴	۳/۶	۳/۸	۴

در بیشتر مزارع مطالعه شده نیتروژن و فسفر قابل استفاده عامل محدود کننده عملکرد بودند (جدول۳) اما بدلیل مصرف زیاد کود اوره در برخی از مدیریت‌های عرف زارعین و مصرف نکردن و یا مصرف کم کودهای فسفره (جدول۱) که نیاز گیاه به این عنصر را برآورده نمی‌کرد، مقدار عملکرد استحصالی زارع کمتر از عملکرد دیگر مدیریت‌های تغذیه کودی بود (جدول۵). عملکرد محصول در مدیریت عرف زارع از کمترین ۳۴۰۰ تا بیشترین ۴۰۰۰ و میانگین ۳۶۵۵ کیلوگرم در هکتار متغیر بود. در مقایسه با توصیه کود اوره مصرف شده بر پایه آزمایش خاک (در دامنه ۵۰ تا ۲۳۰ کیلوگرم در هکتار) مقدار کود اوره مصرف شده در مدیریت عرف زارع (در دامنه ۱۵۰ تا ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) متناسب با مقدار نیتروژن کل در خاک (۰/۰۷ تا ۰/۲۹ درصد) نبوده و در بسیاری از موارد کود فسفره یا پتاسیم استفاده شده نیز کمتر از مقدار مورد نیاز بود (جدول‌های ۱و۲). رابطه بین عرضه بومی نیتروژن، فسفر و پتاسیم خاک با عملکرد برنج بصورت خطی افزایشی بود (نتایج نشان داده نشدند). این یافته نشان می‌دهد که بخشی از نیاز گیاه توسط منابع بومی خاک تامین می‌شود که لازم است در تعیین توصیه کودی گیاه در نظر گرفته شود. اختلاف عملکرد در کرت حذفی پتاسیم در مقایسه با مدیریت‌های تغذیه نسبت به دیگر کرت‌های حذفی کمتر بود. میانگین عملکرد گیاه برنج در تیمار شاهد (K_0) ۳۴۷۱ کیلوگرم در هکتار بود که به میانگین عملکرد در گیاه برنج در مدیریت عرف زارع (۳۶۵۵ کیلوگرم در هکتار) و توصیه عمومی (۳۷۷۹ کیلوگرم در هکتار) نزدیک بود. مهم‌ترین علت آن بیشتر بودن پتاسیم قابل استفاده (جدول ۲) و عرضه بومی بیشتر پتاسیم (جدول ۳) نسبت به دو عنصر نیتروژن و فسفر بود. این یافته نشان می‌دهد که در صورتی که تهیه تمام کودهای پایه برای کشاورز به علت قیمت زیاد کود ممکن نباشد، در کوتاه مدت استفاده نکردن کود پتاسیم در مقایسه با کودهای نیتروژنه و فسفره دارای اراضی شالیزاری مطالعه شده با مخاطره تولید کمتری همراه خواهد بود. در صورتی که زارع موفق به مصرف یکی از کودهای پایه نشود بیشترین شکاف عملکرد نسبت به دیگر مدیریت‌های کودی هنگامی خواهد بود که زارع کود نیتروژن مصرف نکند (N_0). در این شرایط برای مزارع مطالعه شده کمترین میانگین و میانه محصول به ترتیب ۲۱۷۴ و ۱۹۹۵ کیلوگرم در هکتار بدست آمد. آماره‌های میانگین و میانه محصول در مدیریت توصیه کودی بر پایه آزمایش خاک، $N_2P_2K_2$ (به ترتیب ۳۹۱۴ و ۳۹۳۲ کیلوگرم در هکتار) و توصیه کودی بر پایه آزمایش خاک، کود کامل و محرک‌های رشد، $N_3P_3K_3$ (به ترتیب ۳۹۶۸ و ۳۹۰۴ کیلوگرم در هکتار) بیشتر از دیگر مدیریت‌های کودی بود. مقایسه میانگین بر پایه آزمون LSD نشان داد که اختلاف معنی‌داری در میانگین عملکرد این دو مدیریت وجود نداشت، اما نسبت به دیگر مدیریت‌های کودی این اختلاف میانگین تولید در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (شکل۳). میانگین مقدار محصول در مدیریت توصیه کودی $N_2P_2K_2$ و $N_3P_3K_3$ به ترتیب ۲۵۹ و ۳۱۳ کیلوگرم در هکتار از میانگین مدیریت عرف زارع بیشتر بود (جدول۶). Doberman and Oberthur, (2002) با اجرای مدیریت تغذیه ویژه مکان (که بر مبنای آزمایش خاک، در نظرگرفتن عرضه بومی عناصر غذایی و نیاز گیاه است) در هفت کشور برنج‌خیز آسیا نشان دادند که این رویکرد نسبت به مدیریت عرف زارع افزایش عملکردی به اندازه ۰/۳۷ تن در عملکرد (۷ درصد) داشتند. Singh *et al.*, (2021) نشان دادند که توصیه کودی بر مبنای آزمایش خاک نسبت به توصیه عمومی سبب افزایش عملکرد برنج به اندازه ۲۰/۲ تا ۳۲/۳ درصد در اراضی شالیزاری مطالعه شده در اوترا خند هند گردید.



شکل ۳- مقایسه میانگین تاثیر مدیریت مختلف تغذیه بر عملکرد شلتوک در مزارع مطالعه شده

بهره اقتصادی مصرف کود

مقدار بهینه مصرف کود برای یک محصول مقداری است که حداکثر برگشت اقتصادی را با حداقل هزینه تولید کند. بیشترین میانگین هزینه کود مصرف شده از آن آزمایش خاک همراه با کود کامل و محرک رشد (۷۴۶۷۲۹۱ریال) و بعد از آن به ترتیب عرف زارع (۷۰۷۹۲۴۳ریال)، توصیه کودی بر مبنای آزمایش خاک (۶۰۶۷۲۹۱ ریال) و توصیه کودی عمومی (۵۲۷۱۳۰۵ ریال) قرار داشتند (جدول۶). هزینه کود مصرفی در مدیریت توصیه کود بر مبنای آزمایش خاک همراه با کود کامل و محرک رشد $N_3P_3K_3$ نسبت به عرف زارع ۵ درصد افزایش نشان داد. اما در مدیریت توصیه کودی بر مبنای آزمایش خاک $N_2P_2K_2$ و توصیه عمومی $N_1P_1K_1$ به ترتیب کاهشی معادل ۱۴ و ۲۶ درصد نشان دادند (جدول۷). علت افزایش قیمت کود در تیمار $N_3P_3K_3$ ناشی از قیمت وجود نهاده‌های کود کامل و محرک رشد در بسته کودی نسبت به دیگر مدیریت‌های تغذیه بود. پس از مدیریت توصیه کودی $N_3P_3K_3$ بیشترین هزینه کود مصرف شده مربوط به مدیریت کودی عرف زارع (۷۰۷۹۲۴۳ ریال) بود. این در حالیست که کمترین عملکرد ۳۶۵۵ کیلوگرم در هکتار از این مدیریت کودی بدست آمد (جدول۶) که علت آن ناشی از مصرف زیاد کود اوره و مصرف ننمودن کودهای پایه دیگر فسفر و پتاسیم بود. این پدیده سبب عدم توازن در عناصر غذایی قابل دسترس خاک و گیاه می‌شود. از سوی دیگر مصرف زیاد نیتروژن سبب افزایش رشد رویشی، کاهش شاخص برداشت و در نتیجه محصول کمتر شد (نتایج نشان داده نشدند). هم‌چنین انتظار می‌رود مصرف زیاد نیتروژن از مزارع سبب عارضه خوابیدگی و حساسیت بیشتر نسبت به آفات و بیماری‌ها و چه بسا سبب کاهش محصول شده و به دنبال آن بهره حاصل کم می‌شود.

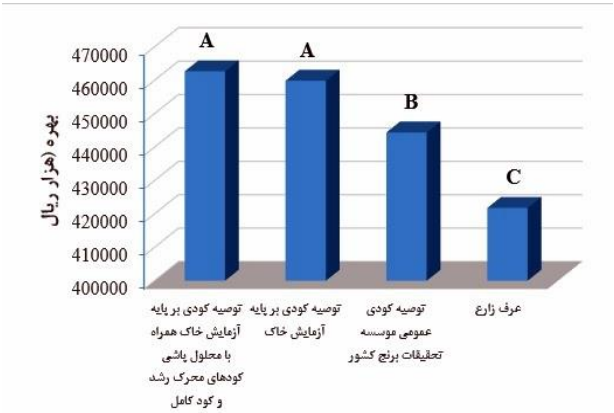
جدول ۶- میانگین عملکرد (کیلوگرم در هکتار)، هزینه و سود (ریال) مدیریت‌های مختلف تغذیه برای گیاه برنج در بخش کوچصفهان

معیار ارزیابی	عرف زارع	$N_1P_1K_1$	$N_2P_2K_2$	$N_3P_3K_3$
هزینه کود	۷،۰۷۹،۲۴۳	۵،۲۷۱،۳۰۵	۶،۰۶۷،۲۹۱	۷،۴۶۷،۲۹۱
قیمت محصول	۴۳۴،۹۴۵،۰۰۰	۴۴۹،۶۷۷،۲۰۰	۴۶۵،۷۴۲،۲۰۰	۴۷۲،۱۹۲،۰۰۰
سود حاصله	۴۲۷،۸۶۵،۷۸۵	۴۴۴،۴۰۵،۸۹۵	۴۵۹،۸۶۹،۹۰۹	۴۶۵،۹۱۴،۷۰۹
اختلاف سود نسبت به عرف زارع	-	۱۶،۵۴۰،۱۳۷	۳۱،۸۰۹،۱۵۱	۳۸،۰۴۸،۹۵۱
عملکرد	۳۶۵۵	۳۷۷۹	۳۹۱۴	۳۹۶۸
اختلاف عملکرد نسبت به عرف زارع	-	۱۲۴	۲۵۹	۳۱۳

جدول ۷-درصد تغییرات عملکرد، هزینه، سود مدیریت‌های مختلف تغذیه نسبت به عرف زارع برای گیاه برنج در بخش کوچصفهان

معیار ارزیابی	$N_1P_1K_1$	$N_2P_2K_2$	$N_3P_3K_3$
عملکرد	+۹	+۱۳	+۱۴
هزینه کود	-۲۶	-۱۴	+۵
قیمت محصول	+۴	+۷	+۸
سود حاصله	+۴	+۷	+۹

از سوی دیگر بیشترین عملکرد و بهره حاصل از توصیه کودی بر مبنای آزمایش خاک به همراه کود کامل و محرک رشد (به ترتیب ۱۴ و ۸ درصد) نسبت به عرف زارع و بعد از آن توصیه کودی بر پایه آزمایش خاک به ترتیب (۱۳ و ۷ درصد) قرار داشتند (جدول۷). اما مقایسه میانگین بهره حاصل از مدیریت‌های مختلف تغذیه نشان داد که بین دو مدیریت $N_2P_2K_2$ و $N_3P_3K_3$ اختلاف معنی‌داری وجود ندارد (شکل۴). از این رو با توجه به هزینه کمتر کود مصرفی در مدیریت $N_2P_2K_2$ می‌توان آن را مناسب‌ترین مدیریت توصیه کودی در خاک‌های مطالعه شده در نظر گرفت. با استفاده از این مدیریت به طور میانگین با ۲۵۹ کیلوگرم افزایش محصول نسبت به مدیریت کودی عرف زارع (جدول۶)، بهره‌ای به اندازه ۳۱۸۰۹۱۵ ریال برای کشاورز حاصل شد (جدول۶). به نظر می‌رسد مهم‌ترین علت افزایش عملکرد و بهره اقتصادی در نظر گرفتن وضعیت عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم، در نسخه نویسی بسته‌های کودی و مصرف آن‌ها باشد.



شکل ۴- مقایسه میانگین تاثیر مدیریت مختلف تغذیه بر بهره اقتصادی برنج در مزارع مطالعه شده

نتیجه‌گیری

انتخاب یک مدیریت تغذیه گیاه مناسب به عنوان رویکردی برای استفاده از کودها متناسب با نیازهای خاص مزرعه، افزایش تولید و بهبود بهره‌وری در اراضی شالیزاری ضروری است. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که عرضه بومی عنصر غذایی می‌توانند سهمی در تامین نیازهای گیاه برعهده گیرند و بایستی در تعیین توصیه‌های کودی در نظر گرفته شود. بیشتر مزارع مطالعه شده دارای محدودیت شدید فسفر بودند. توصیه کودهای شیمیایی بر مبنای آزمایش خاک در مزارع زارعین بطور میانگین عملکرد برنج را به مقدار ۲۵۹ کیلوگرم در هکتار و توصیه کودهای شیمیایی بر مبنای آزمایش خاک همراه با محلول پاشی کود کامل و کود محرک رشد به مقدار ۳۱۳ کیلوگرم در هکتار نسبت به عملکرد استحصالی عرف زارع افزایش داد. اما سود حاصل از این دو مدیریت تغذیه اختلاف معنی‌داری نشان ندادند. این یافته نشان داد که در ناحیه مطالعه شده می‌توان با آزمایش خاک و نسخه نویسی کودی بر پایه نتایج آن به تولید اقتصادی بدون لزوم مصرف کودهای کامل و محرک رشد دست یافت. این یافته‌ها همچنین نشان داد که برای تولید پایدار اقتصادی برنج لازم است در کنار نوع، مقدار و زمان مصرف نهاده‌های کودی به موازنه سود- هزینه نهاده‌ها نیز توجه شود.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

Ahmad, L. and Mahdi. S. Sh. (2018). *Handbook of Satellite farming An Information and Technology Based Agriculture*: Site-Specific Nutrient Management (Vol. 5). (pp. 97-108). Springer.

Ali Ahyaei, M, and Behbahanizadeh, A. (1997). Description of soil chemical decomposition methods. *Soil and Water Research Institute of Iran*. (In Farsi).

Banaei, M. (1998). Revised map of thermal and moisture regimes of soils. Soil and Water Research Institute of Iran. Tehran. Iran. (In Farsi).

Banayo, Niño P.M.C., Haefele, Stephan M., Desamero, Nenita V., and Yoichiro, K. (2018). On -farm assessment of site-specific nutrient management for rainfed lowland rice in the Philippines, *Field Crops Research*, 220: 88-96

Buresh R.J. (2009). The SSNM concept and its implementation in rice. IFA Crossroads Asia-Pacific Conference, 8-10 December 2009, Kota Kinabalu, Malaysia.

Cassman, k. 1999. Ecological intensification of cereal production systems: yield potential, soil quality, and precision agriculture. *Environmental Science*, Medicine. 96(11),5952-5959

Chuan, L., Ping, He., Pampolino, M.F., Johnston, A.M., Jin, J., Xu, X., Zhao, S., Qiu, S., and Zhou, W. (2013). Establishing a scientific basis for fertilizer recommendations for wheat in China: Yield response and agronomic efficiency. *Field Crops Research*, 140, 1–8.

Davatgar, N., Shakouri Katigari, M., and Rezai, L. (2015). Fertility evaluation of Guilan province paddy fields. *Land management journal*. 3(1), 1-13. (In Farsi).

De Datta SK. (1981). *Principles and practices of rice production*. John Wiley & Sons, Inc.

Dobermann, A. and Fairhurst, T. H. (2000). Rice: Nutrient disorders and nutrient management. Potash and Phosphate Institute, Potash and Phosphate Institute of Canada, and International Rice Research Institute (Los Baños, Philippines) p. 191

Dobermann, A., Oberthur, T., (1997). Fuzzy mapping of soil fertility- a case study on irrigated rice land in the Phillipines. *Geoderma* .77, 317–339.

Dobermann, A., Witt, C., Dawe, D., Abdulrachman, S., Gines, H.C., Nagarajan, R., Satawathananont, S., Son, T.T., Tan, P.S.,Wang, G.H.,Chien, N.V.,Thoa, V.T.K., Phung, C.V.,Stalin, P.,Muthukrishnan, P.,Ravi, V.,Babu, M., Chatuporn, S., Sookthongsa, J.,Sun, Q.,Fu, R., Simbahan, G.C and Adviento, M.A.A, (2002).Site-specific nutrient management for intensive rice cropping systems in Asia, Field Crops Research, 74 (1),37-66.

Dobermann, A., Witt, C., Dawe, D., Abdulrachman, S., Gines, H.C., Nagarajan, R., Son, T. T.,Tan, P. S.,Wang, G. H.,Chien, N. V., Thoa, V. T. K., Phung, C. V., Stalin, P., Muthukrishnan, P.,Ravi, V., Babu, M., Simbahan, G. C. Adviento, M. A. A., and Bartolome, V. (2003). Estimating indigenous nutrient supplies for site-specific nutrient management in irrigated rice. *Agronomy. Journal*, 95: 924-935.

Gupta G, shrestha A, shrestha A, et al. 2016. Evaluation of different nutrient management practice in yield and growth in rice in Morang district. *Advance Plants Agriculture Research*, 3(6):187-191.

Haefele, S. M., N. Sipaseuth, V. Phengsouvanna, K. Dounphady, and S. Vongsouthi. (2010). Agro-economic evaluation of fertilizer recommendations for rainfed lowland rice. *Field Crops Research*. 119: 215-224.

International Rice Research Institute (IRRI) (2006) Site-specific nutrient management, www.irrri.org/irrc/ssnm/, accessed 20 March 2006

Kamprath, E.J., D.B. Beegle, P.E. Fixen, S.C. Hodges, B.C. Joern, A.P. Mallarino, R.O. Miller, J.T. Sims, R. Ward, and A.M. Wolf. (2000). Relevance of soil testing to agriculture and the environment. CAST Issue Paper 15. Counc. for Agricultural Science and Technology., Ames, IA.

Kavoosi, M., and Malakouti, M.J. (2006). Determination of Potassium Critical Level with

Ammonium Acetate Extractant in Guilan Rice Fields. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*.10 (3):113-124. (In Farsi).

Kong, K., Kato, Y., MEN, S., Seng, V., Yamauchi, A., Kikuta, M., Choi, Il., and Ehara, H. (2019). Agro-economic Evaluation of Fertilizer Management for Wet Season Rice in Southern Cambodia. Tropic agronomy development10.11248/jsta.63.210. Agro-economic Evaluation of Fertilizer Management for Wet Season Rice in Southern Cambodia (jst.go.jp)

Nagumo, T., Tajima, Sh., Chikushi, S., and Yamashita, A. (2013). Phosphorus Balance and Soil Phosphorus Status in Paddy Rice Fields with Various Fertilizer Practices, *Plant Production Science*, 16:1, 69-76.

Noto Susanto, A., and Marthen, S. (2015). Assessment of Indigenous N, P and K Supply for Rice Site Specific Nutrient Management in Buru Regency. *Journal of Tropical Soils*. 19.

Padasht Dehkaei, F. et al. (2015). *Rice guide (planting, holding, harvesting and post-harvest)* for Basij plan together with the farmer. (Pp.122-140) Publisher: Agricultural Education Publishing. (In Farsi).

Pampolino, M. F., I. J. Manguiat, S. Ramanathan, H. C. Gines, P.S. Tan, T. T. N. Chir, R. Rajendran, and R. J. Buresh. (2007). Environmental impact and economic benefits of site-specific nutrient management (SSNM) in irrigated rice systems. Agricultural Systems. 93: 1-24.

Pandey, N., Sarawgi, A. K., Rastogi, N. K. and Tripathi, R. S. (1999), Effect of farmyard manure and chemical N fertilizer on grain yield and quality of scented rice (Oryza sativa) varieties, *Indian Journal of Agricultural Science*. 69, 621– 3.

Ponnamperuma, F. N. 1972. The Chemistry of submerged soils. Advances in Agronomy.24: 29-96.

Popp MP, Slaton, N.A, Norsworthy JS, Dixon B. 2021. Rice yield response to potassium: An economic analysis. *Agronomy Journal*, 113:287–297.

Reetz, H.F. Jr. and P.E. Fixen. (2000). Site-Specific Management of Rice Fertilizers Based on Gis Soil Information In: Site-specific Management Guidelines Series. Potash and Phosphate Institute (PPI), SSMG-28.

Satyanarayana, T. Kaushik, M., and Biradar, D. (2011). New approaches and tools for site-specific nutrient management with reference to potassium. Karnataka. *Journal of Agricultural Sciences*.,24 (1): (86-90).

Singh, V.K., Gautam, P., Nanda, G., Dhaliwal, S.S., Pramanick, B., Meena, Sh.S., Alsanie, W., Gaber, A., Sayed, S., and Hossain, A. (2021). Soil Test Based Fertilizer Application Improves Productivity, Profitability and Nutrient Use Efficiency of Rice (Oryza sativa L.) under Direct Seeded Condition. *Journal of Agronomy*.,11 (9): (1756).

Yoshida, S. (1981). *Fundamentals of rice crop science*. International Rice Research Institute Los Banos, Laguna, Philippines.p.269.