نشریه تولید گیاهان زراعی
جلد دهم، شماره چهارم، زمستان ۹۶
۱۷۲-۱۵۹
http://ejcp.gau.ac.ir

تجزیه و تحلیل خلأ عملکرد برنج در ارتباط با ویژگی‌های خاک در دشت فومنات

نیلوفر آقایی‌پور[۱]، *همت‌اله پیردشتی[۲]، محسن زواره[۳]، حسین اسدی[۴] و محمدعلی بهمنیار[۵]

[۱]دانشجوی دکتری زراعت، پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری،
[۲]دانشیار فیزیولوژی گیاهان زراعی، پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری،
[۳]دانشیار فیزیولوژی گیاهان زراعی دانشگاه گیلان، [۴]دانشیار فیزیک و فرسایش خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران،
[۵]استاد خاکشناسی، پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۲۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹٦/٤/۱۲

چکیده

سابقه و هدف: به‌دلیل افزایش جمعیت و تغییر عادات غذایی، نیاز به افزایش تولیدات کشاورزی جهان در جهت تأمین میزان تقاضای مصرف وجود دارد. در جهت برطرف کردن مشکلات ذکر شده، یکی از راه‌ها افزایش سطح زیر کشت است که در آینده روش مطلوبی نمی‌باشد؛ زیرا این امر مستلزم استفاده از اراضی حاشیه‌ای با عملکرد و ثبات پایین است. بنابراین، افزایش عملکرد در واحد سطح یک راهکار مؤثر در این رابطه است که از طریق کاهش خلأ عملکرد می‌توان در جهت رفع این مشکل گام برداشت. با توجه به‌ضرورت افزایش تولید برنج در کشور و لزوم افزایش بهره‌وری از منابع خاکی، به برنامه‌ریزی در استفاده مناسب از کودهای شیمیایی جهت دست‌یابی به حداکثر عملکرد نیاز می‌باشد. بنابراین، هدف از اجرای این پژوهش، بررسی پتانسیل عملکرد برنج و خلأ عملکرد آن در دشت فومنات با استفاده از روش آنالیز خط مرزی و ارتباط بین ویژگی‌های خاک و عملکرد برنج در نظر گرفته شد.

مواد و روش‌ها: پژوهش حاضر در دو سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ و ۹۳-۱۳۹۲ در ۵۳ زمین زراعی واقع در دشت فومنات روی برنج (رقم طارم هاشمی)، اجرا شد. در این بررسی از مزارع کشاورزان، نمونه خاک تهیه شده و مختصات جغرافیایی نمونه‌ها ثبت شدند. صفاتی از قبیل عملکرد شلتوک برنج و ویژگی‌های خاک از قبیل نیتروژن کل، پتاسیم قابل‌استفاده، فسفر قابل‌استفاده، ماده آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی، اسیدیته و هدایت الکتریکی خاک، اندازه‌گیری شدند. در این پژوهش به محاسبه خلأ عملکرد، عملکرد بهینه و مقادیر بهینه ویژگی‌های خاک با استفاده از روش خط مرزی پرداخته شد. داده‌ها با روش تجزیه رگرسیون غیرخطی تابع درجه دوم، مدل‌های دو تکه‌ای، دندان‌مانند و استفاده از رویه PROC NLIN آنالیز شدند.

یافته‌ها: توابع دو تکه‌ای به‌خوبی توانستند به‌توصیف روند تغییرات اسیدیته و هدایت الکتریکی خاک بپردازند. علاوه‌بر این، از تابع دندان‌مانند برای توصیف روند تغییرات فسفر قابل‌استفاده، پتاسیم قابل‌استفاده، ماده‌آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک استفاده گردید. همچنین، برای توصیف روند تغییرات نیتروژن کل از تابع درجه دوم استفاده شد. میانگین عملکرد بهینه و عملکرد کشاورز در منطقه دشت فومنات به‌ترتیب برابر با ۷/٦۷ و ٤/۸۱ تن در هکتار با خلأ

---

*مسئول مکاتبه: h.pirdashti@sanru.ac.ir

عملکرد برابر با ۲/۸٦ تن در هکتار (۳۷/۳ درصد) برآورد شد. مقادیر بهینه نیتروژن کل، فسفر قابل‌استفاده، پتاسیم قابل‌استفاده، ماده‌آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی، اسیدیته و هدایت الکتریکی خاک به‌ترتیب برابر با ۰/۲٦٦ درصد، ۳۰/۳۵-۱۳/٤۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم، ۱۰۲/۲-۱۷۳/٤ میلی‌گرم بر کیلوگرم، ۲/۷-۳/۲ درصد، ۲۵/٤۳-۳۰/۸ میلی‌اکی والان در ۱۰۰ گرم، ٦/۳٦ و ۱/۹۲ دسی‌زیمنس بر متر بود.

نتیجه‌گیری: بر اساس نتایج این مطالعه برخی از عوامل اصلی خلأ عملکرد برنج در این منطقه را می‌توان به مدیریت نامناسب کودهای شیمیایی (نیتروژن، فسفر و پتاسیم) و از طرفی نادیده گرفتن نقش ماده‌آلی، اسیدیته و گنجایش تبادل کاتیونی خاک در تأمین عناصر غذایی ضروری دانست. روش تجزیه و تحلیل خط مرزی به‌روشنی توانست به‌محاسبه پتانسیل ویژگی‌های خاک در پاسخ به عملکرد بپردازد. در مجموع، نتایج پژوهش حاضر می‌تواند به توسعه راهکارهای خوبی در جهت دستیابی به‌تولید مطلوب و کاهش خلأ با توجه به‌وضعیت حاصلخیزی منطقه کمک کند.

واژه‌های کلیدی: خط مرزی، خلأ عملکرد، رگرسیون غیرخطی، عملکرد بهینه، منابع خاکی

مقدمه

برنج (*Oryza sativa* L.) به‌عنوان یکی از غلات مهم و غذای اصلی حدود ۲/٤ میلیارد نفر از جمعیت جهان محسوب می‌شود و سطح زیرکشت آن در سال ۲۰۱٤ در جهان و ایران به‌ترتیب برابر با ۱٦۳ میلیون هکتار و ۵۹۰۰۰۰ هکتار بوده است؛ همچنین تولید برنج در ایران در سال ۲۰۱٤ برابر با دو میلیون و ٦۰۰ هزار تن بود (۱۸).

یکی از مشکلات اساسی تولید گیاهان زراعی در کشور ما، اختلاف زیاد بین عملکرد مورد انتظار کشاورزان و عملکرد واقعی می‌باشد. اولین گام به‌منظور کاهش خلأ عملکرد، مشخص‌کردن محدودیت‌های عملکرد در یک منطقه خاص است (٤۰). خلأ عملکرد (Y_g) از اختلاف بین عملکرد پتانسیل (Y_p) و متوسط عملکرد کشاورز (عملکرد واقعی؛ Y_a) به‌دست می‌آید. یکی از روش‌های توانمند در جهت ارزیابی پتانسیل عملکرد و دلایل خلأ عملکرد، آنالیز خط مرزی[1] با استفاده از تابع $Y_{Max}=f(X; \theta)$ تحت عنوان لایه خط مرزی است (۱٦). در این معادله Y_{Max} حداکثر عملکرد به‌عنوان تابعی از مقادیر مختلف متغیر X و θ پارامترهای معادله می‌باشد که از طریق اندازه‌گیری‌های متعدد Y و X در مزارع مختلف تخمین‌زده می‌شوند (۳۷ و ۱٦). آنالیز خط مرزی صرفا بر لبه بالایی پراکندگی ابر داده‌ای، تمرکز دارد. این مرز بالایی نشان‌دهنده حداکثر پاسخ مجموعه داده به متغیر مستقل می‌باشد. نقاط زیر خط مرزی نشان‌دهنده شرایطی است که در آن فاکتورهای دیگر، محدودکننده پاسخ به متغیر مستقل است (۲۷ و ۱٦). به‌طورکلی انجام مطالعات خلأ عملکرد اگرچه برای محاسبه عملکردهای قابل حصول در یک منطقه خاص با در نظر گرفتن بهترین ترکیب ژنوتیپ‌ها، شرایط محیطی و مدیریت مفید است اما هیچ اطمینانی از عدم وجود تنش زنده و غیرزنده در طول رویش گیاه فراهم نمی‌نماید (٤۱ و ۱٦). از طرفی یکی از محدودیت‌های مربوط به بررسی‌های خلأ عملکرد تعداد سال‌های انجام مطالعه میدانی جهت غلبه بر نوسانات آب و هوایی می‌باشد (۳۰ و ۱٦).

در همین راستا، خلأ عملکرد برنج در رواندا، ۱۸۵۵ کیلوگرم در هکتار برآورد شد که ٦٤/۱ درصد

---

[1] Boundary-line analysis

این خلأ مربوط به بیماری تونگرو و ۳٥/۹ درصد به وضعیت خاک (اسیدیته، هدایت الکتریکی و بافت خاک) تعلق داشت (۲۲). در پژوهش راجاپاکس (۲۰۰۳) در هند، مقدار کل خلأ عملکردی برنج در حدود ۲۳٦٥ کیلوگرم در هکتار گزارش شد که به‌ترتیب تحت تأثیر عواملی از قبیل کود (۳۳ درصد)، کمبود آب (۲٦ درصد)، برداشت دیرهنگام (۱۸ درصد)، وجین دستی در نوبت دوم (۱٦ درصد) و به‌تعویق افتادن نشاکاری (٦ درصد) بود (۳٥). در پژوهشی به‌منظور بررسی خلأ عملکرد در ارتباط با ویژگی‌های خاک در برنج نشان داده شد که تبادل کاتیونی خاک (وابسته به محتوای رس و سیلت) و شوری، از ویژگی‌های مهم خاک برای رشد و نمو برنج می‌باشد. شوری خاک دارای همبستگی مثبتی با هدایت الکتریکی آب‌های زیرزمینی و همبستگی منفی با عملکرد داشت. همچنین، خلأ عملکرد محاسبه شده با روش خط مرزی برابر با ۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار بود. در واقع روش خط مرزی در مقایسه با روش رگرسیون خطی چندگانه، دارای پیش‌بینی دقیق‌تری بوده و به محاسبه یک جزء، تحت عنوان خطای سیستماتیک می‌پردازد (خلأ عملکردی بیش برآورد یا شناسایی نشده در حدود ۸۰۰-۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار) (۷). خلأ عملکردی در گیاهان زراعی اصلی (ارزن، ذرت و برنج) با اختلاف ۰/۳۳ درصدی بین عملکرد واقعی و عملکرد پتانسیل برنج در ویتنام گزارش شد (۱). لابورتی و همکاران (۲۰۱۲) در مقایسه بین بهترین عملکرد و عملکرد متوسط برنج در جنوب شرقی آسیا به خلا عملکردی برابر با ۱/۲ تا ۲/٦ تن در هکتار دست یافتند (۲۹). آنگولو و همکاران (۲۰۱۲) در پژوهشی در فیلیپین دریافتند که علی‌رغم وقوع تغییرات اقلیمی در فیلیپین، تأثیر معنی‌داری بر عملکرد برنج تحت آبیاری در طول ۲۰ سال گذشته مشاهده نشده است. بنابراین، به‌نظر می‌رسد روند مشاهده شده و تنوع در شرایط اقلیمی بین سال‌ها، فصل‌ها و استان‌ها نمی‌تواند به روند تغییرات بلندمدت در عملکرد پتانسیل مرتبط باشد. از این‌رو، تنوع عملکردهای واقعی بسیار پایین‌تر از عملکرد پتانسیل شبیه‌سازی شده بود و میزان شکاف عملکردی ایجاد شده توسط عوامل مدیریتی، خاک و اگرواکولوژیک بیشتر از عوامل اقلیمی بود (٥). سیلوا و همکاران (۲۰۱٦) در طول دوره ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۲ در فیلیپین با استفاده از روش رگرسیون چندگانه به متوسط خلأ عملکردی در حدود ۳/۲ تن در هکتار در فصل مرطوب و ٤/۸ تن در هکتار در فصل خشک در برنج، دست یافتند (۳۹). ژو و همکاران (۲۰۱٦) در فراتحلیلی به‌منظور کمی‌سازی خلأ عملکرد برنج در چین در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳، تیمارهای مربوط به مدیریت بهینه موادغذایی و مقادیر کودی کشاورزان را مورد مطالعه قرار دادند و به خلأ عملکردی برابر با ۰/٦ تن در هکتار دست یافتند (٤۲).

با توجه به‌ضرورت افزایش تولید برنج در کشور و در جهت دستیابی به‌حداکثر عملکرد، لزوم افزایش بهره‌وری از منابع خاکی و برنامه‌ریزی برای استفاده مناسب از کودهای شیمیایی نیاز می‌باشد. بنابراین، این پژوهش با هدف بررسی پتانسیل عملکرد برنج و خلأ عملکرد آن در دشت فومنات با استفاده از روش آنالیز خط مرزی و ارتباط بین ویژگی‌های خاک و عملکرد برنج طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

جمع‌آوری داده‌ها: این پژوهش در دو سال زراعی ۱۳۹۱-۹۲ و ۱۳۹۲-۹۳ در ٥۳ شالیزار (رقم طارم هاشمی) واقع در دشت فومنات (شهرستان‌های فومن و شفت) در غرب استان گیلان اجرا شد. پس از ثبت مختصات جغرافیایی این زمین‌ها توسط GPS از مزارع کشاورزان نمونه خاک تهیه و مقادیر نیتروژن

کل با دستگاه کجل‌تک، فسفر قابل‌استفاده به روش رنگ‌سنجی با دستگاه اسپکتروفوتومتر، پتاسیم قابل‌استفاده به‌وسیله دستگاه فلیم‌فتومتر، ماده آلی به روش والکی بلاک (٤) و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک به‌روش چاپمن (٨) در آزمایشگاه مؤسسه تحقیقات برنج کشور (رشت) اندازه‌گیری شدند. برای تعیین عملکرد شلتوک در زمان رسیدگی فیزیولوژیک با سخت‌شدن دانه‌های نوک خوشه براساس کلید تشخیص ارایه شده توسط مییر (٣٢)، بوته‌های واقع در یک مترمربع از هر مزرعه برداشت شد؛ شلتوک‌ها با رطوبت ١٠ درصد هوا خشک شده و سپس با ترازوی دقیق با دقت ٠/٠٠٠١ گرم توزین شدند.

اطلاعات هواشناسی: استان گیلان دارای اقلیم مدیترانه‌ای و آب و هوای معتدل خزری است. فصل رشد برنج در این استان از اسفند (تهیه خزانه) تا شهریور (برداشت محصول) می‌باشد. میانگین درجه حرارت بیشینه و کمینه در طی رشد به‌ترتیب برابر با ٢٥/٩ و ١٦/٧ درجه سیلسیوس و میانگین بارندگی در طی فصل رشد برابر با ٢٣١/٩ میلی‌متر بود (جدول ١).

جدول ١- اطلاعات هواشناسی ایستگاه مربوط به دشت فومنات در چه ماهی تا چه ماهی (١٣٩٢ و ١٣٩٣).

Table 1. Meteorological stations in the plains Foumanat 21march- 22 septembr (2012, 2013).

ساعات آفتابی Sun Hours	بارندگی (میلی‌متر) Precipitiation (mm)	میانگین دما (درجه سیلسیوس) Average Temperature (ºC)	دمای بیشینه (درجه سیلسیوس) Maximum Temperature (ºC)	دمای کمینه (درجه سیلسیوس) Minimum Temperature (ºC)	ماه Month
3.39	28.2	14.09	18.65	9.54	فروردین 21March-20April
7.26	32.9	18.34	23.6	13.08	اردیبهشت 21April-21March
8.52	6.5	23.41	28.3	18.52	خرداد 22May-21June
8.71	7.5	25.34	30.54	20.14	تیر 22June-22July
3.55	115.6	24.27	28.11	20.43	مرداد 23July-22August
4.12	67.2	24.43	28.48	20.38	شهریور 23August-22September
5.28	61.9	12.54	17.83	7.26	فروردین 21March-20April
7.26	10.3	20.33	25.12	15.55	اردیبهشت 21April-21March
7.92	11	24.35	28.7	20.01	خرداد 22May-21June
7.79	11.6	26.61	30.85	22.38	تیر 22June-22July
9.72	5.4	27.43	33.3	21.57	مرداد 23July-22August
6.34	46	25.96	30.39	21.53	شهریور 23August-22September

آنالیز خط مرزی و محاسبه خلأ عملکرد: در این بررسی در طی چند مرحله به‌محاسبه خط مرزی پرداخته شد: الف) در ابتدا پراکنش داده‌ها بین عملکرد (به‌عنوان متغیر وابسته) و ویژگی‌های خاک (به‌عنوان متغیرهای مستقل) پرداخته شد، این نمودار تحت عنوان نمودار پراکندگی یا اسکتر[1] بررسی شد. ب) در مرحله بعدی، داده‌های پرت و خارج از محدوده‌های مشخص شده و با توجه به اطلاعات دقیق و کافی نسبت به داده‌های جمع‌آوری شده، حذف شدند. ج) در مرحله نهایی بالاترین عملکردها مشخص و یک تابع مناسب به داده‌ها برازش داده شد. در نهایت با توجه به توابع انتخاب شده و ضرایب به‌دست آمده، به محاسبه عملکرد بهینه با توابع پرداخته شد. اختصاص توابع رگرسیونی به لبه بالایی پراکنش داده‌ها با استفاده از رویه PROCNLIN نرم‌افزار SAS نسخه ٩/٤ و توابع درجه دوم، دو تکه‌ای (معادله ١) و دندان‌مانند (معادله ٢) صورت پذیرفت. برازش مدل مناسب براساس چیدمان داده‌ها و مدل‌های پیشنهاد شده توسط حجارپور و همکاران (١٣٩٤) و خلیلی و همکاران (١٣٩٤) انجام شد (١٦ و ٢٣).

$F(x)=(x-L_m)/(L_o-L_m)$ اگر

$L_m<X<L_o$ معادله (١)

$F(x)=1-(x-L_o)/(L_c-L_o)$ اگر

$L_o\le X<L_c$

$F(x)=(x-L_m)/(L_{o1}-L_m)$ اگر

$L_m<X<L_{o1}$ معادله (٢)

$F(x)=(L_c-x)/(L_c-L_{o2})$ اگر

$L_{o2}\le X<L_c$

$F(x)=1$ اگر $L_{O1}\le X\le L_{O2}$

$F(x)=0$ اگر $X\le L_M \text{ or } X\ge L_C$

در این توابع، L_M: مقدار حداقل، L_O: مقدار مطلوب، L_{O1}: مقدار مطلوب تحتانی، L_{O2}: مقدار مطلوب فوقانی، L_C: مقدار حداکثر است. نمودارهای حاصله با نسخه ٢٠١٣ صفحه گستر اکسل رسم شدند.

نتایج و بحث

با بررسی پراکنش داده‌های عملکرد در مقابل ویژگی‌های خاک (اعم از نیتروژن کل، پتاسیم قابل‌استفاده، فسفر قابل‌استفاده، ماده آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی، اسیدیته و هدایت الکتریکی خاک)، بالاترین عملکرد در هر یک از ویژگی‌های خاک مشخص شد. سپس یک خط بر لبه بالایی عملکردها برازش داده شد که توابع دوتکه‌ای به‌خوبی توانسته به توصیف روند تغییرات نیتروژن، اسیدیته و هدایت الکتریکی خاک بپردازد؛ همچنین برای توصیف روند تغییرات فسفر قابل‌استفاده، پتاسیم، ماده آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک از مدل دندان‌مانند استفاده شد (شکل ١).

نیتروژن کل خاک: روند تغییرات عملکرد برنج در برابر نیتروژن کل خاک با یک معادله درجه دو توصیف شد (شکل ١، الف). عملکرد بهینه مربوط به درصد نیتروژن خاک در حدود ٧/٨٢ تن در هکتار بوده که در مقدار ٠/٢٦٦ درصد از نیتروژن کل خاک به‌دست آمده است، درحالی‌که متوسط عملکرد در پژوهش مورد بررسی در حدود ٤/٨١ تن در هکتار بود؛ بنابراین، خلأ عملکردی در حدود ٣٨/٤٩ درصدی از عملکرد قابل دسترس را به‌خود اختصاص داد (جدول ٢). روند کلی نمودار نیتروژن خاک نشان‌دهنده روند افزایشی عملکرد تا مقادیر بهینه بود و پس از آن با افزایش نیتروژن خاک، عملکرد برنج تا حدود ٠/٣٨ ثابت بود (شکل ١، الف) عوامل مختلفی از قبیل بیوفیزیک، ویژگی‌های خاک، اقلیم، در

---

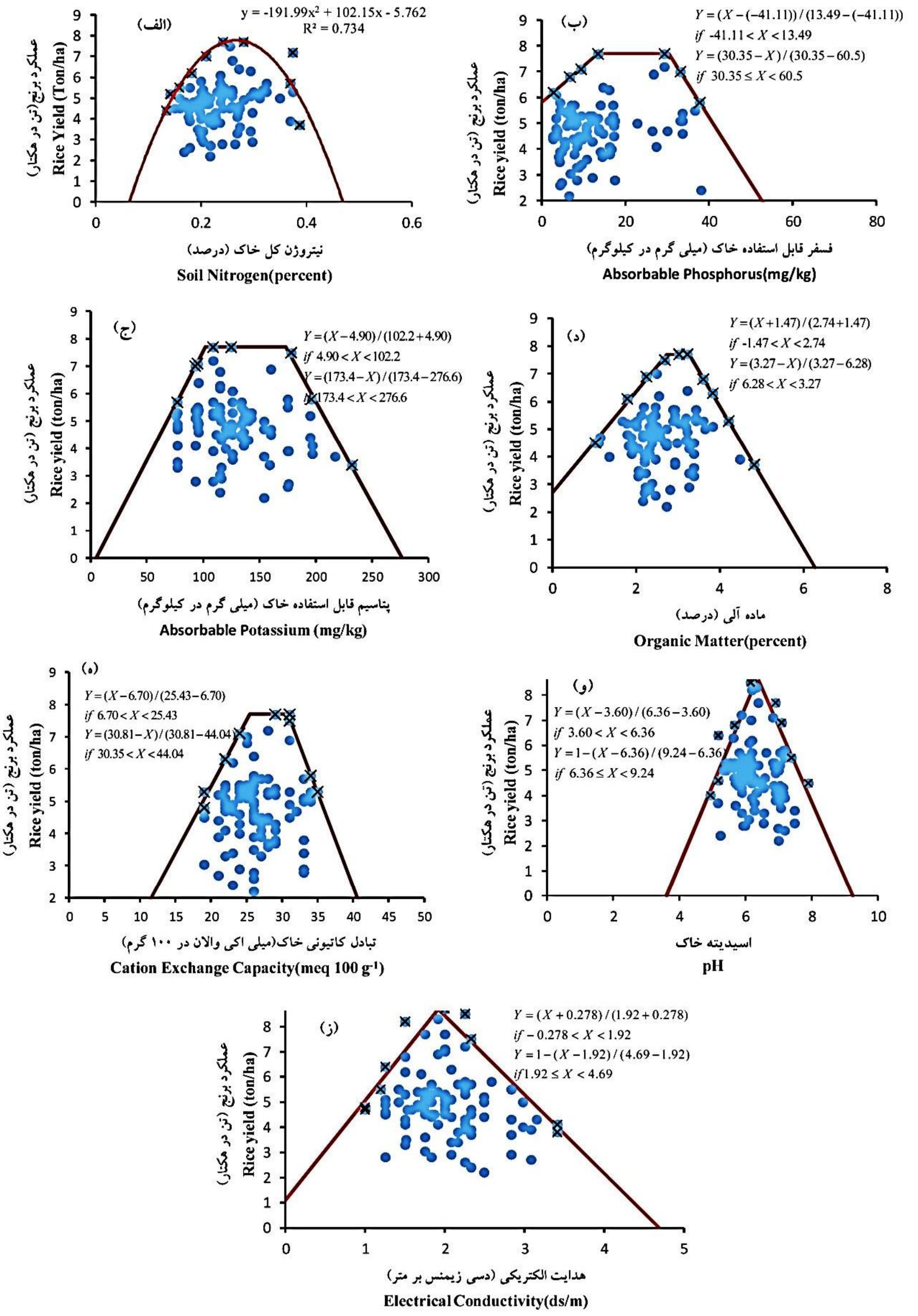
[1] 1- Scatter plot

دسترس بودن آب، آفات و بیماری‌ها، فنی/ مدیریتی، اجتماعی و اقتصادی در پروژه‌ای از تجزیه و تحلیل خلأ عملکرد در تولید برنج در غنا مورد بررسی قرار گرفت. عملکرد متوسط گزارش شده برابر با ۳/۸۷ تن در هکتار و عملکرد بهینه در محدوده بین ٤ تا ۱۱ تن در هکتار با متوسط ۷/۵ تن در هکتار و خلأ عملکردی در حدود ٤۷ درصد گزارش شد (۳٤). به‌نظر می‌رسد بسته به نوع گیاه، مدیریت زراعی، سطح عنصر موردنظر در خاک و خصوصیات خاک، پاسخ گیاه به مقدار کود مصرفی متفاوت است (۲۱). با این وجود، مقدار ۰/۲ درصد به‌عنوان حد بحرانی نیتروژن معرفی شده است (۱۳). در همین راستا، پژوهشگران بیان نمودند که ۵۲ درصد از شالیزارهای استان گیلان دارای نیتروژن کل کمتر از ۲ درصد می‌باشند که با مصرف کود نیتروژن می‌توان عملکرد گیاه را افزایش داد (دارای پاسخ زیاد به مصرف کود نیتروژن) و در چهل و دو درصد از اراضی نیتروژن بین ۰/۲ تا ۰/۳ درصد (دارای پاسخ نسبی به کود نیتروژن) بود (۹). در این بررسی نیز میزان نیتروژن اراضی بین ۰/۱۳۵ و ۰/۳۸۷ درصد بود که عملکرد بهینه در مقدار ۰/۲٦٦ درصد نیتروژن خاک به‌دست آمد.

جدول ۲- نتایج تجزیه و تحلیل مرزی، عملکرد بهینه و خلأ عملکرد برنج در دشت فومنات استان گیلان.

Table 2. The results of boundary line analysis, best yield and yield gap of rice in Foumanat Plain of Guilan Province.

	نیتروژن (درصد) Soil Nitrogen (%)	فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Phosphorus (mg/kg)	پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Potassium (mg/kg)	ماده آلی (درصد) organic matter (%)	ظرفیت تبادل کاتیونی (میلی‌اکی والان در ۱۰۰ گرم) cation exchange capacity (meq 100 g^{-1})	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) Electrical Conductivity (ds/m)	میانگین Average
مقادیر بهینه Optimal Level	0.266	13.49-30.35	102.2-173.4	2.7-3.2	25.43-30.8	6.36	1.92	
عملکرد بهینه Best Yield (ton/ha)	7.82	7.71	7.52	7.65	7.35	8.2	7.92	7.67
متوسط عملکرد Average Yield (ton/ha)	4.81	4.81	4.81	4.81	4.81	4.81	4.81	4.81
خلأ عملکرد Yield Gap (ton/ha)	3.01	2.9	2.71	2.84	2.54	3.39	3.11	2.86
درصد خلأ عملکرد Yield Gap (%)	38.49	37.65	36.07	37.12	34.55	41.34	39.26	37.3



شکل ۱- نمودار پراکنش داده‌های عملکرد در مقابل ویژگی‌های خاک از قبیل: مقدار نیتروژن خاک (الف)، فسفر خاک (ب)، پتاسیم خاک (ج)، ماده آلی (د)، تبادل کاتیونی خاک (ه)، اسیدیته خاک (و) و هدایت الکتریکی خاک (ز) به‌همراه برازش تابع خط مرزی.

Figure 1. Scatter graph of yield vs. soil properties: the amount of soil nitrogen (a), phosphorus (b), potassium (c), organic matter (d), cation exchange capacity (e), pH (f) and electrical conductivity (g) as along with fitted boundary line.

فسفر قابل‌استفاده خاک: برازش خط بر لبه بالایی عملکرد در ویژگی فسفر خاک، از یک تابع دندان‌مانند پیروی نمود که معادله مربوط و ضرایب آن در شکل ارایه شده است (شکل ۱، ب). عملکرد بهینه برابر با ۷/۷۱ تن در هکتار بوده که در مقادیر ۳۰/۳٥-۱۳/٤۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم فسفر به‌دست آمد و با مقدار عملکرد واقعی کشاورز در حدود ۲/۹ تن در هکتار (۳۷/٦٥ درصد اختلاف) نشان داد (جدول ۲). خلأ عملکردی گزارش شده در پژوهش اوفوری و همکاران (۲۰۱۰) در حدود ٤۷ درصد گزارش شد (۳٤). در پژوهش مشابه، ژو و همکاران (۲۰۱٦) در فراتحلیل[1] پاسخ عملکرد برنج به کود فسفر را در حدود ۰/۹ تن در هکتار ارزیابی کردند و مقدار خلا عملکرد بین مدیریت بهینه مواد غذایی و شیوه‌های مصرف کودی کشاورزان را در حدود ۰/٦ تن در هکتار برآورد نمودند (٤۲). در مطالعات مختلف، مقادیر متفاوتی برای حد بحرانی غلظت فسفر گزارش شده است. برخی از پژوهشگران، محدوده غلظت بحرانی فسفر را برای برنج در حدود ٤ تا ۲۹ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک بیان نموده‌اند (١٤). کریمی امیرکیاسر و همکاران (۲۰۱۳)، غلظت بحرانی فسفر را در خاک‌های شالیزاری استان گیلان در حدود ١٦ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک گزارش نمودند (۲۰). از طرفی در پژوهش شهبازی و بشارتی (۲۰۱۳) با مطالعه داده‌های مربوط به ۳۰ استان کشور در طی سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۱، حد بحرانی فسفر برای برنج در حدود ١٥ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک، گزارش شد (۳۸). در پژوهش حاضر، عملکرد بهینه در بازه ۳۰/۳٥-۱۳/٤۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم فسفر خاک به‌دست آمد که با نتایج شهبازی و بشارتی (۲۰۱۳)، کریمی امیرکیاسر و همکاران (۲۰۱۳) و دابرمن و همکاران (۱۹۹٦) مطابقت دارد و در محدوده به‌دست آمده بود (۳۸، ۲۰ و ١٤). در بررسی دیگری وضعیت حاصلخیزی خاک‌های شالیزاری استان گیلان مطالعه و مشخص شد که در ٤۰ درصد از اراضی استان گیلان، فسفر قابل استفاده کمتر از حد بحرانی (۱۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بوده و احتمال پاسخ نسبی به مصرف کود فسفره در این اراضی زیاد خواهد بود، از طرفی اراضی شالیزاری واقع در شهرستان شفت بحرانی‌ترین منطقه از نظر فسفر قابل‌استفاده در استان می‌باشد. علت این کمبود را می‌توان به کشت برنج بدون مصرف کودهای فسفاته و یا توانایی کم خاک در نگهداری فسفر بومی خاک نسبت داد (۹).

پتاسیم قابل استفاده خاک: نمودار پراکنش عملکرد برنج در پاسخ به مقادیر پتاسیم قابل استفاده خاک از یک تابع دندان‌مانند تبعیت نمود (شکل ۱، ج). خلأ عملکرد در ارتباط با این پارامتر در حدود ۲/۷۱ درصد به‌دست آمد، درحالی‌که در پژوهشی به‌منظور بررسی کاربرد عناصر ضروری رشد و نمو برنج از جمله پتاسیم، به خلأ عملکردی ٤۷ درصد دست یافتند (۳٤). عملکرد بهینه در محدوده ۱۷۳/٤-۱۰۲/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم پتاسیم خاک برابر با ۷/٥۲ تن در هکتار به‌دست آمد (جدول ۲). در پژوهش انجام شده توسط ژو و همکاران (۲۰۱٦)، پاسخ عملکرد برنج به مصرف پتاسیم در حدود یک تن در هکتار برآورد شد و در طی محاسبه همبستگی پیرسون، ضرایب منفی معنی‌داری برای پاسخ عملکرد برنج به محتوای مواد غذایی خاک، گزارش شد. در واقع این محققین تغییرات بالای عملکردی را به تفاوت‌هایی در شرایط آب و هوا و تامین مواد غذایی بومی خاک نسبت دادند (٤۲). همچنین؛ محدوده بین ٥۰ تا ۱٦۰ میلی‌گرم پتاسیم در کیلوگرم خاک به‌عنوان غلظت بحرانی پتاسیم در خاک‌های شالیزاری در مطالعات

---

[1] Meta-analysis

گلخانه‌ای و مزرعه‌ای بیان شده است (۱۲). عملکرد بهینه در این پژوهش در محدوده ۷/۵۲ تن در هکتار در بازه ۱۷۳/٤-۱۰۲/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک و بیشترین پراکندگی نقاط عملکردی در محدوده بین ۱۰۰ تا ۱۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک مشاهده شد. در پژوهش دیگر، حد بحرانی پتاسیم خاک برای برنج رقم خزر بر اساس ۹۰ درصد عملکرد نسبی ۱۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک گزارش و بیان شد که در مقادیر کمتر از ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک، عکس‌العمل گیاه نسبت به کاربرد کلرید پتاسیم زیاد و در مقادیر بین ۱۰۰ تا ۱٦۰ میلی‌گرم در کیلوگرم، عکس‌العمل کمتری به کاربرد کلرید پتاسیم نشان داد (۲۰). به‌نظر می‌رسد واکنش ارقام کم‌محصول برنج (مانند رقم طارم هاشمی در پژوهش حاضر) به کودهای پتاسیم در مقایسه با نیتروژن و فسفر محدودتر است. درحالی‌که ارقام پرمحصول تحت تأثیر شدید مقدار پتاسیم دردسترس، فراوانی نیتروژن، بافت خاک، وضعیت زهکشی و اسیدیته خاک قرار دارند (۱۹). براساس گزارش موجود، ٦۸ درصد از اراضی استان گیلان دارای پتاسیم قابل‌استفاده کمتر از حد بحرانی ۱٦۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. مناطق نیمه‌غربی استان (مانند منطقه موردمطالعه، فومن و شفت) دارای پتاسیم قابل استفاده پایینی بوده و نیمه‌شرقی به‌دلیل استفاده از رسوبات سپیدرود از وضعیت مناسب‌تری برخوردار است (۹). بنابراین می‌توان با مدیریت مناسب نیاز پتاسیم را در شالیزارهای دشت فومنات برطرف نموده و عملکرد را بهبود بخشید.

ماده آلی خاک: بر اساس یافته‌ها، عملکرد بهینه داده‌های ماده آلی خاک برابر با ۷/٦۵ تن در هکتار بوده که در مقادیر ۳/۲-۲/۷ درصد ماده آلی بود که نشان‌دهنده خلأ عملکردی برابر با ۲/۸٤ درصد بود (جدول ۲). یک مدل دندان‌مانند بر داده‌های عملکرد در پاسخ به مقادیر ماده آلی خاک برازش داده شد (شکل ۱، د). دامنه ماده آلی در پژوهش حاضر از ۱/۰٤ تا ٤/۸۳ درصد متغیر بود. براساس گزارش‌ها، حد بحرانی ماده آلی برای مزارع برنج برابر با ۱/۵ درصد است که در کمتر از آن ظرفیت فراهمی نیتروژن بومی خاک متوسط یا کم می‌باشد (۱۳). در خاک‌های مطالعه شده در شالیزارهای استان گیلان، مقدار کربن آلی در دامنه ۳/۸-۰/۸ با میانگین ۲/۳ درصد بود (۲۵). دوات گر و همکاران (۲۰۱۵) با درنظر گرفتن حد بحرانی ۱/۵ درصد برای کربن آلی، به‌کمبود ماده آلی در بسیاری از اراضی شالیزاری گیلان اشاره نمودند (۹). از طرفی، دیالو و همکاران (۲۰۱٦) دریافتند که مقادیر کم ماده آلی و کاتیون‌های خاک نشان‌دهنده خاک‌های ضعیف می‌باشد (۱۱). در این مطالعه عملکرد بهینه در مقادیر بالاتری از ۲/۵ درصد (مقدار ۳-۲/۵ درصد) به‌دست آمد. با توجه به نمودار ارایه شده، بیشترین تجمع عملکرد در محدوده بین ۲ تا ۳ درصد ماده آلی دیده شد و با افزایش ماده آلی، عملکرد به‌دلیل مسایلی از قبیل افزایش رشد رویشی و افزایش ورس (داده‌ها نشان داده نشد) کاهش یافت. از طرفی، این ورس را می‌توان به بارش‌های رخ داده در ماه‌های مربوط به پنجه‌زنی و رسیدگی دانه‌ها نسبت داد؛ زیرا بارش همزمان با مصرف کودهای نیتروژن و ماده آلی خاک موجب رشد رویشی بیشتر بوته‌های برنج شده و از طرفی بارش‌های مشاهده شده در طول دوره رسیدگی دانه موجب ورس بوته‌ها و در نتیجه کاهش عملکرد شد (بر اساس داده‌های جدول ۱، در طی دو سال مورد بررسی در این پژوهش مقدار بارش سال اول در مقایسه با سال دوم در حدود ۵٦ درصد بالاتر بوده و مقدار تابش در سال دوم در مقایسه با سال اول در حدود ۸۳ درصد بیشتر بود). از سوی دیگر، ماده آلی در اراضی شالیزاری می‌تواند بهبوددهنده غلظت فسفر

آلی و فسفر محلول باشد. اگرچه این شکل از فسفر برای گیاه برنج قابل دسترس نمی‌باشد اما از نظر بیوشیمیایی فعال بوده و پس از تخلیه فسفر قابل استفاده، با معدنی‌شدن در اختیار گیاه قرار می‌گیرد (۲).

تبادل کاتیونی خاک[1]: با توجه به نتایج، در بازه ۳۰/۸-۲۵/٤۳ درصد تبادل کاتیونی خاک، عملکرد بهینه در ۷/۳۵ تن در هکتار به‌دست آمد که دارای خلأ عملکردی ۲/٥٤ درصد بود (جدول ۲). تابع دندان‌مانند بین داده‌های تبادل کاتیونی خاک و عملکرد برنج برازش داده شد؛ معادله مربوط ضرایب آن در شکل بیان شده است (شکل ۱، ه). در گزارش قبلی، تبادل کاتیونی و پتاسیم قابل‌تبادلی خاک از عوامل محدودکننده اصلی حاصلخیزی خاک اشاره شده‌اند (٦). به‌این صورت که رهاسازی کند ریزمغذی‌های مفید و لازم برای رشد برنج در مقادیر بالای تبادل کاتیونی خاک صورت می‌گیرد (۳۳). در تجزیه و تحلیل خلأ عملکرد در ارتباط با ویژگی‌های خاک در کشت مستقیم برنج، همبستگی مثبتی بین تبادل کاتیونی خاک و عملکرد برنج مشاهده شد. به‌این صورت که در محدوده بین ۱۲-۱۰ میلی‌اکی والان در ۱۰۰ گرم خاک و بدون حضور سایر عوامل محدودکننده، ثبات عملکرد برنج مشاهده شد. این محققین خلأ عملکردی در حدود سه تن در هکتار را با توجه به ویژگی‌های تبادل کاتیونی خاک و شوری خاک گزارش کردند. همچنین، مقادیر ۱۰۰۰-۸۰۰ کیلوگرم در هکتار از بیش برآورد خلأ عملکردی را به‌عواملی از قبیل تکنیک‌های مدیریتی مزرعه، آلودگی علف‌های هرز و قارچی و عوامل غیرقابل شناسایی خاک نسبت دادند (۷). در پژوهش حاضر، خلأ عملکردی برابر با محدوده ۲/٥٤ تن در هکتار در مزارع مختلف برنج با تکنیک‌های مختلف مدیریتی به‌دست آمد، درحالی‌که دابرمن و همکاران (۱۹۹٦)، به تنوع ٥٦ درصدی عملکرد برنج بر مبنای ویژگی‌های خاک با مدل‌های رگرسیونی دست یافتند (۱۲). به‌نظر می‌رسد گنجایش تبادل کاتیونی خاک و کربن آلی در مقایسه با سایر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، تاثیر بیشتری بر فسفر قابل استفاده دارد (۲۰). در همین راستا، گزارش شد که ظرفیت کلاته‌کنندگی مواد آلی فعالیت کاتیون‌های چندظرفیته تثبیت‌کننده فسفر را کم کرده و با تشکیل کمپلکس آلی-فلزی، فسفر را از شکل‌های تثبیت‌شده آن به محلول خاک آزاد می‌کند (۲۸).

اسیدیته خاک: نمودار تغییرات عملکرد برنج در برابر تغییرات اسیدیته خاک از مدل دو تکه‌ای تبعیت نمود (شکل ۱، و). بر این اساس، مقدار بهینه اسیدیته برای مزارع برنج در حدود ٦/۳٦ با عملکردی برابر با ۸/۲ تن در هکتار و خلأ عملکردی این پارامتر در حدود ۳/۳۹ تن در هکتار به‌دست آمد (جدول ۲). بر اساس یافته‌ها، با افزایش اسیدیته خاک تا مقدار ٦/۳ عملکرد برنج افزایش یافت و پس از آن، روند نزولی مشاهده شد (شکل ۱، و). دی بای (۲۰۰۰) به بررسی عوامل مختلفی از قبیل ارقام برنج، الگوی کشت، خصوصیات خاک (اسیدیته و بافت خاک)، آماده‌سازی زمین، نشاکاری، علف‌های هرز و بیماری‌ها بر عملکرد برنج در شمال تایلند پرداخته و خلأ عملکردی برابر با ۲/٦ تن در هکتار (۹۰ درصد تفاوت عملکرد) بین عملکرد متوسط برنج و عملکرد بهینه کشاورزان گزارش نمودند که سهم بافت و اسیدیته خاک (۳٦/٥ درصد اراضی مورد مطالعه دارای اسیدیته برابر با ٦ تا ٦/٥) در خلأ گزارش شده در حدود ۸ درصد بود (۱۰). در پژوهش حاضر حدود ۲۹/۱۲ درصد از مزارع موردبررسی دارای محدوده اسیدی بین ٦ تا ٦/٥ بوده

1- Cation-exchange capacity (CEC)

که دارای سهم ١١ درصدی در خلأ عملکردی مشاهده در مناطق مورد بررسی بود. دیالو و همکاران (٢٠١٦)، مقدار بهینه pH را برای برنج بین ٥ تا ٨ بیان کردند (١١). میانگین pH در استان گیلان ٦/٧ بوده که برای رشد گیاه برنج به‌عنوان کشت غالب مناسب می‌باشد. لازم به ذکر است که تولید گیاهچه‌های برنج در بستر خزانه و در زمین اصلی نیاز به pH برابر با ٦ می‌باشد (واکنش اسیدی محیط کشت) (١٧). به‌طورکلی، pH در فعالیت بیولوژیک خاک و دسترسی بودن گیاهان به نیتروژن معدنی دارای نقش مهمی بوده که در نتیجه منعکس‌کننده یک شاخص ترکیبی از حاصلخیزی شیمیایی خاک می‌باشد. pH خاک می‌تواند در کارایی رشد گیاه؛ همچنین فراهمی زیستی موادغذایی گیاه زراعی و فعالیت میکروارگانیسم‌ها تاثیرگذار باشد (١١). به‌عنوان‌مثال در خاک‌های آهکی با pH بالا، پویایی روی کاهش یافته و احتمال کمبود روی افزایش می‌یابد (٢٤). همچنین، کاهش اسیدیته خاک دارای نقش موثری در مقابله با کمبود فسفر و ریزمغذی‌های خاک می‌باشد (١٥). از طرفی پایین بودن اسیدیته خاک از طریق افزایش حلالیت آهن و منگنز و ایجاد سمیت این عناصر، مشکلات متعدد را در گیاه برنج به‌وجود می‌آورد. این مشکل در گیلان به‌دلیل بارندگی سالیانه زیاد می‌تواند موجب افزایش آبشویی و انتقال کاتیون‌های بازی به افق‌های زیرین خاک شده و در نتیجه کاهش اسیدیته را در پی داشته باشد (٩).

هدایت الکتریکی خاک: تابع برازش داده شده برای عملکرد برنج در پاسخ به هدایت الکتریکی خاک از مدل دو تکه‌ای تبعیت نمود (شکل ١، ز). هدایت الکتریکی بهینه برای مزارع در حدود ١/٩٢ دسی زیمنس بر متر تخمین زده شد که عملکرد بهینه‌ای برابر با ٧/٩٢ تن در هکتار را به‌خود اختصاص داد. خلأ عملکردی در این پارامتر برابر با ٣/١١ تن در هکتار محاسبه شد (جدول ٢). بر اساس یافته‌ها، با افزایش EC تا مقدار ٢/١٦ دسی زیمنس بر متر مقدار عملکرد دانه برنج افزایش یافته و پس از آن با افزایش EC از عملکرد کاسته شد (شکل ١، ز). در پژوهش سلحشور دلیوند و همکاران (٢٠١٤)، هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک برای حد آستانه تنش شوری رقم هاشمی برابر با ٢/٨٣ دسی‌زیمنس بر متر تخمین زده شد (٣٦). همچنین، کاهش ١٠/٦ درصدی عملکرد نسبی رقم هاشمی به‌ازای افزایش هر واحد شوری خاک مشاهده شد که حد آستانه گزارش شده دارای اختلاف ٠/٦٧ درصدی با نتایج این پژوهش بود. لوند و همکاران (٢٠٠٠) با استفاده از روش غیرخطی و محاسبه خلأ عملکرد به کاهش ٢٥ درصدی عملکرد در خاک‌هایی با EC بالا در مقایسه با خاک‌هایی با EC پایین‌دست یافتند (٣١). اندازه‌گیری هدایت الکتریکی می‌تواند برای ارزیابی ویژگی‌های خاک مورد استفاده واقع شود. کیچن و همکاران (٢٠٠٣) در پژوهش خود دریافتند که EC می‌تواند برای تشخیص پتانسیل ریشه‌دهی گیاهان مورداستفاده واقع شود که تا حدزیادی بر دسترسی آب و در نهایت عملکرد گیاه مؤثر است (٢٦). به‌طورکلی، الگوی هدایت الکتریکی خاک غالبا دارای ارتباط خوبی با دیگر پارامترهای مهم خاک و مؤثر بر عملکرد محصول از قبیل بافت، فشردگی، شوری، ظرفیت تبادل کاتیونی و محتوای رطوبتی خاک است که با استفاده از آن می‌توان الگوی تغییرات آن پارامترها را به‌دست آورد (٢٧). زیرا با افزایش هدایت الکتریکی و شوری، پتانسیل آب موجود در خاک کاهش یافته که در نتیجه کاهش سطح برگ در گیاه و انسداد روزنه‌ای را در پی دارد (٣).

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش با تعیین رابطه بین ویژگی‌های خاک (نیتروژن، فسفر، پتاسیم، ماده‌آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی، اسیدیته و هدایت الکتریکی خاک) و عملکرد از طریق رگرسیون غیرخطی، مقادیر بهینه پارامترهای خاکی جهت دست‌یابی به بالاترین عملکردها به‌دست آمد. متوسط عملکرد بهینه در منطقه دشت فومنات در حدود ۷/٦۷ تن در هکتار برآورد شد اما متوسط عملکرد نقاط نمونه‌برداری شده در حدود ٤/۸۱ تن در هکتار با خلأ عملکرد برابر با ۲/۸٦ تن در هکتار (۳۷/۳ درصد) بود. همچنین مقادیر بهینه پارامترهای خاک از قبیل نیتروژن، فسفر، پتاسیم، ماده آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی، اسیدیته و هدایت الکتریکی خاک به‌ترتیب برابر با ۰/۲٦٦ درصد، ۳۰/۳۵-۱۳/٤۹ میلی‌گرم در کیلوگرم، ۱۷۳/٤-۱۰۲/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم، ۳/۲-۲/۷ درصد، ۳۰/۸-۲۵/٤۳ میلی‌اکی‌والان در ۱۰۰ گرم خاک، ٦/۳٦ و ۱/۹۲ دسی زیمنس بر متر بود. نتایج این پژوهش می‌تواند در تصمیم‌گیری‌های زراعی برای کاهش خلأ و افزایش عملکرد با توجه به خصوصیات خاک منطقه مفید باشد.

منابع

1. Affholder, F., Poeydebat, C., Corbeels, M., Scopel, E., and Tittonell, P. 2013. The yield gap of major food crops in family agriculture in the tropics: Assessment and analysis through field surveys and modelling. Field Crops Res., 143: 106-18.
2. Akhtar, M.S., Richards, B.K., Medrano, P.A., DeGroot, M., and Steenhuis, T.S. 2003. Dissolved phosphorus from undisturbed soil cores. Soil Sci. Soc. Am. J., 67(2): 458-470.
3. Alam, M.Z., Stuchbury, T., Naylor, R.E.L., and Rashid, M.A. 2004. Effect of salinity on growth of some modern rice cultivars. J. Agron., 3(1): 1-10.
4. Ali Ehyaie, M., and Behbahanizadeh, A.A. 1997. Chemichal soil analysis methods. Soil Water Res. Inst., Tech. Issue., Number, 893: 127p. (In Persian)
5. Angulo, C., Becker, M., and Wassmann, R. 2012. Yield gap analysis and assessment of climate-induced yield trends of irrigated rice in selected provinces of the Philippines. J. Agr. Rural Develop. Trop. Subtrop., 113(1): 61–68.
6. Bera, R., Seal, A., Das, T.H., Sarkar, D., and Chatterjee, A.K. 2014. Application of fertility capability classification system in rice growing soils of damodar command area, West Bengal, India. J. Recent. Adv. Agr., 2(12): 330-337.
7. Casanova, D., Goudriaan, J., Bouma, J., and Epema, G.F. 1999. Yield gap analysis in relation to soil properties in direct-seeded flooded rice. Geoderma., 91(3–4): 191-216.
8. Chapman, H.D. 1965. Cation exchange capacity. In C.A. Black et al. (ed.) Methods of soil analysis. Agron., 9: 891-901. Am. Soc. Agron., Inc., Madison, Wis.
9. Davatgar, N., Zare, A., Shakouri Katigari, M., Rezaei, L., Kavoosi, M., Sheikh Eslam, H., and Ajili Lahiji, A. 2015. Fertility Status of Paddy Soils in Guilan Province. Land Manag. J., 3(1): 1-13. (In Persian)
10. De Bie, C. 2000. Comparative performance analysis of agro-ecosystems. Doctoral Thesis, Wageningen University and Research Centre, The Netherlands. 232p.
11. Diallo, M.D., Wood, S.A., Diallo, A., Mahatma-Saleh, M., Ndiaye, O., Tine, A.K., and Diop, A. 2016. Soil suitability for the production of rice, groundnut, and cassava in the peri-urban Niayes zone, Senegal. Soil Tillage Res., 155: 412-420.
12. Dobermann, A., Cruz, P.C., and Cassman, K.G. 1996. Fertilizer inputs, nutrient balance, and soil nutrient-supplying power in intensive, irrigated rice systems. I. Potassium uptake and K balance. Nutr. Cycl. Agroecosys., 46(1): 1-10.
13. Dobermann, A., and Fairhurst, T. 2000. Rice: Nutrient Disorders and Nutrient Management. 1^{th}. Ed the International Rice Research Institute, Philippines, 203p.

14. Dobermann, A., Cassman, K.G., Cruz, P.C., and Adviento, M.A.A. 1996. Pampolino MF. Fertilizer inputs, nutrient balance and soil nutrient supplying power in intensive, irrigated rice system. III. Phosphorus. Nutr. Cycl. Agroecosys., 46(2): 111-125.
15. Douroudian, H.R., Besharati Kalayeh, H., Falah Nosratabad, A.R., Heydari Sharifabad, H., Darvish, F., and Alahverdi, A. 2010. The possible modification of absorbable phosphorus solubles in calcareus soils and It'S effects on yield production in corn. Agroecol. J. (J. new Agric. Sci.)., 6(18): 27-35. (In Persian)
16. Hajarpoor, A., Soltani, A., and Torabi, B. 2015. Using boundary line analysis in yield gap studies: Case study of wheat in Gorgan. Sci. J. Manag. Syst., 8(4): 183-201. (In Persian)
17. Hoshikawa, K. 1989. The Growing Rice Plant: an Anatomical Monograph: Japanese. 310p.
18. http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E. 2016 [cited 04/01/2016].
19. Iqbal, J., Cheema, M.A., Niazi, M.N., and Dogar, M.S. 1991. Response of potassium application to rice and wheat in salt affected soils. Tech., 8: 19-30.
20. Karimi Amir Kiasar, M., Kavoosi, M., and Shokri vahed, H. 2013. Phosphorus Critical Concentration in Paddy Soils of Guilan Province. Water. Soil. Sci., 23(1): 123-134. (In Persian)
21. Kavoosi, M., and Malakouti, M.J. 2006. Determination of potassium critical level with ammonium acetate extractant in guilan rice fields. J. Water Soil Sci., 10(3): 113-123. (In Persian)
22. Kayiranga, D. 2006. The effects of land factors and management practices on rice yields. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation Enschede (ITC) The Netherlands, Master of Science. 85p.
23. Khalili, N., Kamkar, B., and Khodabakhshi, A.H. 2015. Quantifying and analysis of germination responses of annual savory (*Satureja hortensis* L.) to temperature and salinity stress. Environ. Stresses. Crop. Sci., 8(1): 83-92. (In Persian)
24. Kheirabad, H., Khoshgoftarmanesh, A.H., and Khanmohamadi, Z. 2013. The effects of some soil properties on Zn availability for corn in certain calcareous soils in isfahan province. Water Soil Sci. (J. Sci. Technol. Agri. Nat. Resour.)., 16(62): 1-10. (In Persian)
25. Khoramizadeh, F., Davatgar, N., Tehrani, M.M., Ghasemi Dehkordi, V.R., and Asaadi Oskuie, E. 2015. Evaluation of spatial variability of available iron and its affecting factors in paddy soils (Case study: Central paddy fields of Guilan). J. Soil Manag. Sustain., 4(4): 255-274. (In Persian)
26. Kitchen, N.R., Drummond, S.T., Lund, E.D., Sudduth, K.A., and Buchleiter, G.W. 2003. Soil electrical conductivity and topography related to yield for three contrasting soil–crop systems. Agron. J., 95(3): 483-495.
27. Kitchen, N.R., Sudduth, K.A., and Drummond, S.T. 1999. Soil electrical conductivity as a crop productivity measure for claypan soils. J. Prod. Agric., 12(4): 607-617.
28. Kolawole, G.O., and Tian, G. 2007. Phosphorus fractionation and crop performance on an alfisol amended with phosphate rock combined with or without plant residues. Afr. J. Biotechnol., 6(16): 1972-1978.
29. Laborte, A.G., de Bie, K., Smaling, E.M.A., Moya, P.F., Boling, A.A., and Van Ittersum, M.K. 2012. Rice yields and yield gaps in Southeast Asia: Past trends and future outlook. Europ. J. Agron., 36(1): 9-20.
30. Lobell, D.B., Cassman, K.G., and Field, C.B. 2009. Crop yield gaps: their importance, magnitudes, and causes. Annu. Rev. Enviro. Resour., 34(1): 1-25.
31. Lund, E.D., Colin, D., Christy, C.D., and Drummond, P.E. 2000. Using yield and soil electrical conductivity (EC) maps to derive crop production performance information. Presented at the 5th International Conference on Precision Agriculture. 1-8.
32. Meier, U. 1997. Growth Stages of Mono-and Dicotyledonous Plants. Blackwell Wissenschafts-Verlag. 165p.
33. Minh, V.Q. 2011. The rice soil fertility capability classification system. Int. J. Environ. Rural. Dev., 1(2): 1-12.

34. Ofori, E., Kyei-Baffour, N., Mensah, E., and Agyare, W.A. 2010. Yield gap analysis in rice production from stakeholders' perspective at annum valley bottom irrigation project at nobewam in Ghana. J. Agric. Biol. Sci., 5(6): 50-7.
35. Rajapakse, D.C. 2003. Biophysical factors defining rice yield gaps. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation Enschede (ITC) The Netherlands, 100p.
36. Salahshour Dalivand, F., Sadradini, A.A., Nazemi, A.H., Davatgar, N., and Neyshabouri, M.R. 2014. Simulation of simultaneous effect of salinity and drought stresses on grain yield of rice cv. Hashemi. Iran. J. Crop. Sci., 15(4): 320-336. (In Persian)
37. Schmidt, U., Thöni, H., and Kaupenjohann, M. 2000. Using a boundary line approach to analyze N2O flux data from agricultural soils. Nutr. Cycl. Agroecosyst., 57(2): 119-29.
38. Shahbazi, K., and Besharsti, H. 2013. Overview of agricultural soil fertility status of Iran. J. Manag. Syst., 1(1): 1-15. (In Persian)
39. Silva, J.V., Reidsma, P., Laborte, A.G., and van Ittersum, M.K. 2016. Explaining rice yields and yield gaps in Central Luzon, Philippines: An application of stochastic frontier analysis and crop modelling. Eur. J. Agron., 82: 223-241.
40. Soltani, A., Hajjarpour, A., and Vadez, V. 2016. Analysis of chickpea yield gap and water-limited potential yield in Iran. Field Crops Res., 185: 21-30.
41. van Ittersum, M.K., Cassman, K.G., Grassini, P., Wolf, J., Tittonell, P., and Hochman, Z.V. 2013. Yield gap analysis with local to global relevance—a review. Field Crops Res., 143: 4-17.
42. Xu, X., He, P., Zhao, S., Qiu, S., Johnstond, A.M., and Zhou, W. 2016. Quantification of yield gap and nutrient use efficiency of irrigated ricein China. Field Crops Res., 186: 58-65.