تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۱، شماره ۵، مرداد ماه ۱۳۹۹ (ص ۱۲۲۶-۱۲۱۱) DOI: 10.22059/ijswr.2020.290244.668340

Evaluation of Paddy Soil Fertility Using Integrated Fertility Index

MARYAM SHAKOURI KATIGARI[1], SHAHRAM MAHMOUD SOLTANI[1*], MOHAMMAD TAGHI KARBALAI AGHA MOLKI[2], MAHMOUD SHABANPOUR SHAHRESTANI[3], ALI POORSAFAR TABALVANDANI[2]

1. Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran.
2. Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Amol, Iran.
3. Soil Science Department, Faculty of Agricultural Science, University of Guilan, Rasht, Iran.

(Received: Oct. 30, 2019- Revised: Jan. 18, 2020- Accepted: Feb. 1, 2020)

ABSTRACT

The rapid growth in world population and its consequent increasing food demand require a scientific approach to paddy field productivity. To further increase rice production, the best solution is enhancing the rice yields per unit area. There are numerous integrated indices that can clarify the soil conditions and fertility characteristics, in which the integrated fertility index (IFI) is more practical. Therefore, the current study will explore soil fertility status of paddy field using IFI equation, and more broadly to issue suitable solutions for paddy soil management. This study was undertaken at Goldasht research station of the rice research institute of Iran-Amol. One hundred and twenty-eight paddy soil composite samples of plowing layer (depths of 0 to 30 cm) with a constant interval were collected to analyze for some physical and chemical properties based on rice soil requirements. Fuzzy logic theory, Principal component analysis (PCA) and IFI concepts were used for quantitative ranking of qualitative soil characters, weighing of soil properties and integration of studied soil characters, respectively. The results indicated that IFI values varied from 0.03 to 0.20. The studied paddy fields were divided into 4 individual parts through IFI values mapping method. At lower values of IFI (low soil fertility), pH, available P, OC and less broadly total N were lower than their critical levels for proper rice growth and development. Interestingly at higher values of IFI, OC and total N limitation still existed. It can be concluded that organic carbon limitation in all studied plots had negative and unavoidable effects on not only paddy soil fertility status (a vital role for sorption and desorption of soil nutrients), but also soil physical characters (enhancing soil structure, porosity, and water retention). The findings of current study also showed that the integrated fertility indices not only can show the most important limitations for rice production but also can issue the effective solutions to remediate these limitations. Key words: Rice, soil fertility, integrated fertility index, fuzzy logic, geostatistics

Keywords: Rice, Soil Fertility, Integrated Fertility Index, Fuzzy Logic, Geostatistics.

*Corresponding Author's Email: shmsoltani@gmail.com

بررسی حاصلخیزی اراضی شالیزاری با استفاده از شاخص تلفیقی باروری خاک

مریم شکوری کتیگری[۱]، شهرام محمود سلطانی[۱*]، محمدتقی کربلایی آقا ملکی[۲]، محمود شعبانپور شهرستانی[۳]، علی پورصفر طبالوندانی[۲]

۱. مؤسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران.

۲. مؤسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، آمل، ایران.

۳. گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۸/۸- تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۱۰/۲۸- تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۱۱/۱۲)

چکیده

افزایش جمعیت و تقاضای مواد غذایی نیازمند نگرش جدی به افزایش بهره‌وری زمین‌های کشاورزی است. در این ارتباط مناسب‌ترین روش، افزایش عملکرد در واحد سطح می‌باشد. یکی از روش‌های افزایش عملکرد، افزایش حاصلخیزی خاک‌های کشاورزی است. شاخص‌های تلفیقی زیادی وجود دارند که می‌توانند شرایط حاصلخیزی خاک را به‌خوبی نشان دهند، از جمله آن‌ها شاخص تلفیقی باروری خاک (IFI) است. مهم‌ترین هدف در این تحقیق ارزیابی وضعیت حاصلخیزی خاک با استفاده از IFI و ارائه راهکارهای مناسب برای مدیریت خاک می‌باشد. در این راستا ۱۲۸ نمونه مرکب خاک از مزرعه پژوهشی ایستگاه گلدشت (شهرستان آمل-مازندران) برای اندازه‌گیری برخی از ویژگی‌های مهم فیزیکی و شیمیایی موثر بر کیفیت خاک تهیه گردید. سپس از منطق فازی برای رتبه‌بندی کیفی ویژگی‌های خاک، از تجزیه به مولفه اصلی برای وزن‌دهی این ویژگی‌ها و در نهایت با استفاده از مفهوم شاخص تلفیقی باروری، تلفیق ویژگی‌های مورد بررسی، انجام شد. نتایج نشان می‌دهد که مقدار شاخص تلفیقی باروری در این اراضی از ۰/۰۳ تا ۰/۲۰ در نوسان است. با استفاده از نقشه‌های شاخص تلفیقی، باروری مزرعه مورد نظر به چهار گروه تقسیم گردید. در مقادیر پایین شاخص تلفیقی باروری (کیفیت حاصلخیزی پایین) pH، فسفر قابل استفاده، کربن‌آلی و به دنبال آن نیتروژن کل کمتر از حدود بحرانی آن‌ها برای رشد برنج است و در مقادیر بالای شاخص تلفیقی باروری، محدودیت کربن‌آلی و نیتروژن کل وجود دارد. کمبود کربن آلی در کل کرت‌های مورد بررسی می‌تواند بر حاصلخیزی خاک (نقش حیاتی در نگهداری و آزادسازی عناصر غذایی) و خصوصیات فیزیکی خاک (بهبود ساختمان خاک، تخلخل، نگهداری آب) تاثیر انکارناپذیر دارد. یافته‌های ما نشان می‌دهد که استفاده از شاخص‌های تلفیقی خاک، علاوه بر نشان دادن محدودیت‌های موثر بر کشت محصول زراعی می‌تواند با ترکیب تمام خصوصیت‌های موثر بر رشدگیاه، نمای بهتری از مدیریت تغذیه در اراضی شالیزاری ارائه کند.

واژه‌های کلیدی: برنج، حاصلخیزی خاک، شاخص تلفیقی باروری خاک، منطق فازی، زمین آمار.

مقدمه

برنج (*Oryza sativa* L.) پس از گندم مهم‌ترین محصول کشاورزی استراتژیک ایران است که تامین کننده ۷۰ درصد کالری و ۲۵ درصد پروتئین مورد نیاز مردم مناطق برنج‌خیز بوده و نقش مهمی در برنامه جامع امنیت غذایی کشور دارا می باشد. افزایش جمعیت و به دنبال آن افزایش روزافزون تقاضا برای مواد غذایی نیازمند نگرش جدی به افزایش بهره‌وری زمین‌های کشاورزی براساس راهبرد توسعه پایدار است. در این ارتباط مناسب‌ترین روش، افزایش عملکرد در واحد سطح است (Bagherzadeh *et al.*, 2018) از طرف دیگر علی‌رغم تلاش‌های بسیار برای افزایش متوسط عملکرد برنج در واحد سطح از طریق پژوهش‌های به‌نژای و به‌زراعی در کشور (حدود ۴ تن در هکتار برای یک فصل کشت)، همچنان این شاخص با متوسط جهانی آن (۵ تن در هکتار برای هر دوره کشت) فاصله دارد. هرچند متوسط عملکرد ملی، منطقه‌ای و فصلی به طور گسترده‌ای متغیر (Mirnia and Mohammadian, 2005) و عملکرد در هر مقیاسی تابعی از اقلیم، ویژگی‌های خاک، روش‌های مدیریتی (Confalonieri *et al.*, 2009) و ژنوتیپ گیاه (Mirnia and Mohammadian, 2005) است. از آنجایی که در مقیاس کوچک (مقیاس شالیزارهای کشور- میانگین نیم‌هکتار به ازای هر کشاورز (Minestry of Jahad e Agriculture, 2017) ژنوتیپ گیاه (رقم) و در مقیاس ناحیه‌ای (کمتر از ۱۰۰ هکتار) شرایط اقلیمی یکسان است، بنابراین نقش

* نویسنده مسئول: shmsoltani@gmail.com

خاک و مدیریت مزرعه در افزایش عملکرد در واحد سطح برجسته‌تر خواهد شد.

خاک بستر تولید ۹۵ درصد تولیدات غذایی در جهان بوده و در آینده نزدیک نیز چشم‌اندازی برای جایگزینی آن وجود ندارد (FAO, 2015). همچنین خاک به‌عنوان یکی از اجزای زیست‌بوم در اراضی کشاورزی بوده که بر بسیاری از ویژگی‌های آن بر روی رشد و عملکرد گیاه تاثیر معنی‌دار داشته و تغییر در این ویژگی‌ها تغییرپذیری عملکرد را در پی خواهد داشت (Bouman *et al*., 2007). بنابراین حفظ پایداری ویژگی‌های خاک در حد بهینه، در زمان و مکان مناسب و دقیق برای افزایش عملکرد محصولات کشاورزی از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است، چراکه این ویژگی‌های مهم در مقیاس کوچک (مزرعه‌ای) و بزرگ (منطقه‌ای) دارای تغییرات مکانی و زمانی بوده و در این مسیر پیچیده تحت‌تاثیر خصوصیات ذاتی (مانند مواد مادری و عوامل خاک‌سازی) و عوامل بیرونی (مانند کارهای مدیریت مزرعه، کوددهی و نوع محصولات کشاورزی) قرار می‌گیرد. بنابراین یکنواختی و غیریکنواختی، پیوستگی یا تغییرپذیری آن ها می بایست در طول فصل رشد برای بهبود شرایط رشد گیاه و در خارج از فصل رشد برای آماده‌سازی بهینه شرایط رشد گیاه در فصل آتی، پایش و کمی‌سازی شده تا به درک دقیق‌تر تاثیر این ویژگی‌ها بر گیاه و روش‌های مدیریتی انجامیده و در نهایت با افزایش بهره‌وری عملیات کشاورزی منجر به پایداری تولید غذا و حفظ امنیت اقتصادی کشاورزان گردد (Sun *et al*., 2003).

به دلیل پیچیدگی ویژگی‌های خاک، پیدا کردن یک روش مناسب برای ارزیابی یکنواختی و غیریکنواختی آن‌ها در جهت بهبود عملکرد گیاه بسیار دشوار بوده و پژوهشگران تلاش‌های زیادی برای یافتن و توسعه روش‌های مناسب نموده‌اند. اگرچه در گذشته آزمایشات درازمدت در مزارع پژوهشی توسط (Johnston *et al*., 1986) و برنامه‌های پژوهشی اکولوژیکی توسط (Risser, 1991) محور پایش‌ها بوده‌اند ولی امروزه به دلیل هزینه زیاد و زمان‌بر بودنشان جای خود را به پژوهش‌هایی بر مبنای کشاورزی دقیق (Davatgar *et al*., 2015؛ Mohammadi, 2006) و روش‌های مبتنی بر زمین آمار (Goovaerts, 1999) داده‌اند. برای بازنمایی و پهنه‌بندی تغییرات ویژگی‌های خاک از روش زمین‌آمار و روش‌های متفاوت درون‌یابی مانند انواع کریجینگ، عکس فاصله وزنی [۱]، شبکه‌های عصبی مصنوعی [۲] و توابع انتقالی [۳] در مقیاس‌های بزرگ و کوچک بهره‌گیری می‌شود (Veronesi *et al*., 2014؛ Reza *et al*., 2019).

در دهه‌های گذشته بسیاری از پژوهشگران علوم خاک به‌منظور تخمین و پیش‌بینی تغییرات مکانی خصوصیات خاک و به دنبال آن عملکرد محصول از روش‌های گوناگون آمار مکانی مانند کریجینگ ساده [۴] برای ویژگی‌های مختلف مانند فسفر (MahmoudSoltani and Eftekhari, 2017) ، برخی ویژگی‌های خاک (Kargar and Farzi, 2018؛ Zareii and Shekl abadi, 2011)، عناصر سنگین (Charkhabadi and Rahimi, 2014) و کربن آلی و جرم مخصوص ظاهری (Shakouri *et al*., 2011) بهره جسته و نتایج آن‌ها نشان داد که استفاده از روش‌های تجزیه و تحلیل زمین‌آماری امکان بررسی تأثیرگذاری هم‌زمان عوامل و شاخص‌های مختلف موثر بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و در نهایت کیفیت خاک را به خوبی فراهم می‌کند. اگرچه شاخص‌های حاصلخیزی خاک درتجزیه و تحلیل این ویژگی‌ها به‌منظور تولید محصولات زراعی، بیش‌ترین توجه را به خود معطوف نموده است.

در واقع درک علمی و آگاهی درست از تغییرپذیری ویژگی‌های خاک و ساختار مکانی آن در مزرعه برای مدیریت حاصلخیزی خاک بسیار ضروری است چرا که این خصوصیات همواره از فرآیندهای شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی گوناگونی تأثیر می‌پذیرند (Mahmoud Soltani et al., 2019). یکی از مفاهیم مهم برای ارزیابی حاصلخیزی خاک شاخص تلفیقی باروری خاک [۵] (IFI) می‌باشد. این شاخص توانایی تجمیع عوامل موثر بر حاصلخیزی خاک را داشته و می‌توان با کمک آن منطقه مورد بررسی را به مناطق همگون از نظر حاصلخیزی تقسیم نموده و در نهایت با استفاده از آن مناطق با محدودیت حاصلخیزی را شناسایی و شیوه‌های اصلاحی مناسب را ارائه نمود. (Sun *et al*., 2003) یازده شاخص خاک را انتخاب و در دو گروه جداگانه قرار دادند. گروه اول شامل عناصر غذایی خاک و گروه دوم شاخص‌های تاثیرگذار بر فراهمی عناصر غذایی بود. سپس با استفاده از توابع عضویت و منطق فازی، این شاخص‌ها نمره‌دهی و وزن‌دهی گردید. در نهایت شاخص تلفیقی باروری خاک برای هر نقطه نمونه‌برداری به‌دست آمده و این نقاط به پهنه تبدیل شدند. (Susanto, 2013) با ارزیابی تغییرات مکانی وضعیت حاصلخیزی ذاتی اراضی شالیزاری استان مولوکاس کشور اندونزی نشان داد که در بیشتر ناحیه مطالعه شده وضعیت حاصلخیزی به‌علت تلفیق کمبود پتاسیم به همراه کمبود مجموع کلسیم و منیزیم و همچنین

۱. Inverse Distance Weighting
۲. Artificial Neural Network
۳. pedo-transfer functions
۴. Ordinary Kriging (OK)
۵. Integrated fertility index

گنجایش تبادل کاتیونی ضعیف بود.

Jose sione *et al*. (2017) به ارزیابی تخریب خاک در سیستم‌های کشت برنج در خاک‌های ورتی سول با کمک شاخص-های تلفیقی کیفیت خاک پرداختند. آن‌ها استفاده از آب‌های نامناسب زیرزمینی را عامل اصلی کاهش کیفیت خاک نام برده و این موضوع را با کمک شاخص‌های کیفیت خاک نشان دادند. در این رابطه شش معیار مهم در شاخص کیفیت خاک شامل پایداری خاک‌دانه، نفوذ آب، موادآلی، مقدار سدیم قابل تبادل، pH و هدایت الکتریکی در عصاره اشباع را ملاک کار خود قرار دادند. آن‌ها همچنین بیان نمودند استفاده از موادآلی در مدیریت خاک به بهبودکیفیت خاک کمک شایانی می‌نماید.

با توجه به اهمیت راهبردی کشت برنج در استان‌های شمالی کشور وضرورت نگاه علمی به آن، پژوهش حاضر با اهدا ف زیر انجام شد:

- ارزیابی وضعیت حاصلخیزی خاک با استفاده از شاخص تلفیقی و ارائه دستورالعمل در مورد شیوه‌های مناسب مدیریت خاک.
- پراکنش مکانی ویژگی‌های خاک و عوامل کنترل‌کننده آن‌ها در مزرعه پژوهشی گلدشت.
- ارزیابی مناسب بودن تجزیه و تحلیل‌های زمین آماری بر شاخص تلفیقی باروری خاک.

مواد و روش‌ها

وضعیت عمومی منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در مزرعه پژوهشی ایستگاه گلدشت معاونت موسسه تحقیقات برنج کشور در شهرستان آمل استان مازندران با مساحت ۶۶ هکتار انجام شد. منطقه مورد مطالعه دارای مختصات جغرافیایی ۵۲ درجه و ۲۱ دقیقه طول شرقی و ۲۶درجه و ۲۵ دقیقه عرض شمالی و شامل ۱۲۸ کرت با میانگین طول ۱۰۰ متر و عرض۳۰ متر می‌باشد. با وجود عملیات تجهیز و نوسازی، کرت‌های اراضی این مزرعه دارای شیب جانبی حدود یک درصد به سمت زهکش‌ها می‌باشند. اراضی شالیزاری تحت مطالعه از نظر توپوگرافی و فیزیوگرفی مسطح (تراس‌بندی شده) و دشت دامنه-ای همراه با رسوبات آبرفتی–واریزه‌ای با لس زیاد می‌باشد. منطقه مطالعاتی جزو مناطق معتدل و مرطوب با متوسط بارندگی سالیانه ۷۰۲/۶ میلی‌متر بوده که تمرکز آن در فصول سرد سال می‌باشد. میانگین دمای سالیانه هوا در این منطقه ۱۷/۴ درجه سانتی‌گراد است. طبق نقشه رژیم رطوبتی و حرارتی خاک‌های ایران (Banaei, 1998) خاک‌های منطقه مورد مطالعه دارای رژیم‌های رطوبتی آکوئیک و یودیک و رژیم حرارتی ترمیک است. مطالعات صحرایی و نقشه خاک در مقیاس ۱:۵۰۰۰ (Mahmoud Soltani and Eftekhari, 2019) نشان داد که خاک‌های این منطقه متعلق به رده اصلی آلفی‌سول و مالی سول است. نتایج آزمایشگاهی نمونه خاک‌های لایه گوناگون خاک‌رخ آن نشان می‌دهد که این خاک برای کشاورزی محدودیت نداشته و کاربری اصلی این اراضی، کشت برنج غرقابی می‌باشد.

نمونه‌برداری و تحلیل‌های آزمایشگاهی

در این مطالعه نمونه‌برداری نمونه‌های خاک از عمق ریشه برنج (لایه سطحی ۳۰-۰ سانتی‌متری) و در شبکه‌ای با پراکنش یکسان با ابعاد حدود ۱۰۰ متر در ۱۰۰ متر انجام گردید. نمونه‌برداری از همه کرت‌ها به‌صورت مرکب (پنج نمونه ساده) انجام، نمونه‌ها مخلوط و در نهایت از نمونه همگن حدود یک کیلوگرم خاک از هر کرت به آزمایشگاه فرستاده شد. نمونه‌ها هوا خشک شده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. سپس برخی از ویژگی‌های موثر بر رشد و توسعه گیاه برنج (Sys *et al*., 1993) اندازه‌گیری شدند. این ویژگی‌ها عبارتند از: بافت خاک به روش هیدرومتر بایکاس (Gee and Bauder, 1986) ، pH عصاره اشباع با الکترود شیشه‌ای(Bates and Vijh, 1973)، هدایت الکتریکی (EC) در عصاره اشباع به روش هدایت سنجی (Roades, 1982) ، ماده آلی به روش اکسیداسیون تر (Walkley and Black, 1934)، فسفر قابل جذب به روش اولسن (Olsen *et al*., 1982)، نیتروژن‌کل بر اساس روش کجلدال (Bermner, 1965) و پتاسیم قابل استفاده به روش عصاره‌گیری با استات آمونیوم (Thomas, 1982).

تجزیه و تحلیل‌های آماری

آماره‌های توصیفی

مهم‌ترین آماره‌ها، شامل موقعیت توزیع (میانگین، میانه، نما، چندک‌ها)، شاخص‌های پراکنش توزیع (واریانس و دامنه) و شاخص‌های شکل توزیع (چولگی ،کشیدگی و ضریب تغییرات) تعیین و مورد بررسی قرار گرفتند. اولین و مهم‌ترین گام در استفاده از روش‌های زمین‌آماری بررسی نرمال بودن داده‌ها و جداسازی داده‌های غیرنرمال از بین مجموعه داده‌هاست (Mohammadi, 2006). با آنکه روش‌ها و آزمون‌های متنوعی جهت بررسی توزیع نرمال داده‌ها وجود دارد، بایستی توجه داشت که هیچ روشی به‌طور تمام عیار نمی‌تواند برای این آزمون مناسب و تعیین کننده باشد (Mohammadi, 2006). در این تحقیق برای بررسی نرمال بودن داده‌ها از آزمون کلموگراف- اسمیرف (K-S) استفاده شد.

تعیین شاخص کیفیت خاک

انتخاب ویژگی‌هایی از خاک که به بهترین شکل نشان‌دهنده

وضعیت کیفیت خاک است، اهمیت کلیدی در ارزیابی کیفیت خاک دارد و می‌بایست محدوده‌ی گسترده‌ای از مشخصات را پوشش دهند (Yingbin *et al*., 2010). این ویژگی‌ها به‌نحوی انتخاب گردید که بیشتر واریانس در جامعه مورد بررسی دربرگیرد و از سوی دیگر تغییرات موجود در داده‌ها را توجیه و اطلاعات موجود در متغیرها را حفظ نماید (Jiang and Thelen, 2004). این داده‌ها عمدتاً بر پایه نظر کارشناسان و یا اطلاعات کشاورزی/محلی و روش‌های آماری نیز تهیه می‌شود (Andrews *et al*., 2002; Imaz *et al*., 2010).

از سوی دیگر ویژگی‌های گزینش‌شده دارای واحدهای یکسان نیست، می‌توان بر ای حذف اثر واحدها از توابع استاندارد گوناگون استفاده نمود تا در انتها این ویژگی‌ها به مقادیر بین صفر و یک تبدیل گردند (Li *et al*., 2013; Qi *et al*., 2009). استفاده ازتوابع منطق فازی شاخص‌های انتخابی خاک را به اعداد عضویت فازی در قالب یک متغیر پیوسته در بازه صفر تا یک، که در آن صفر و یک به‌ترتیب نشان‌دهنده عدم عضویت و عضویت کامل در مجموعه است، تبدیل می‌کند. تابع عضویت برای هر کدام از ویژگی‌های خاک با استفاده از رابطه (۱) و (۲) یا تلفیقی از دو رابطه به‌دست آمد (Velasquez *et al*, 2007):

$$Y=0.1+\left(\frac{(X-b)}{(a-b)}\right)*0.9 \quad \text{(رابطه ۱)}$$

$$Z=1-\left(\frac{(x-b)}{(a-b)}\right)*0.9 \quad \text{(رابطه ۲)}$$

که در آن Y و Z مقادیر متغیرها بعد از تبدیل داده‌ها، X مقادیر داده‌های اولیه و b و a به‌ترتیب حد بحرانی پایین و بالا را در هر یک از متغیرها نشان می‌دهند. از رابطه (۱) برای تابع تبدیل خطی "بیشتر بهتر است" ، از رابطه (۲) برای تابع تبدیل خطی "کمتر بهتر است" و برای حالت " بهینه بهتر است" از ترکیب دو رابطه (۱) و (۲) استفاده شد (Tesfahunegn, 2014). وزن و مقادیر حدهای a و b به‌وسیله اثر ویژگی خاک بر رشد گیاه تعیین و از حدهای Dobermann, and Oberthür (1997) و حدهای بحرانی اعلام شده در گزارش‌های نهایی موسسه تحقیقات برنج تهیه و استفاده گردید. در این راستا ویژگی‌های کربن‌آلی، رس، نیتروژن، فسفر و پتاسیم قابل استفاده به دلیل نقش‌شان در تامین و یا قابلیت دسترسی عناصر غذایی (Sys *et al*., 1993) در گروه "بیشتر بهتر است" (معادله ۱)، pH در گروه "بهینه بهتر است" (تلفیقی از معادلات ۱ و ۲) قرار گرفته چراکه برای هر عنصر شرایط اسیدیته به‌صورت خاص عمل می‌کند و هدایت‌الکتریکی در گروه "کمتر بهتر است" قرار گرفته (معادله ۲) چرا که زیاد بودن EC (بیشتر از ۲ دسی زیمنس بر متر(Malakooti and Kavoosi, 2004)) بر رشد برنج تاثیر منفی دارد (Sys *et al*., 1993; Givi, 1997).

به دلیل اینکه عناصر موجود در خاک دارای تأثیر متفاوتی بر روی رشد گیاه می‌باشند، نیاز است هر عنصر بر اساس درجه اهمیتش، وزن‌دهی شود. یکی از روش‌های رایج برای وزن‌دهی استفاده از روش تجزیه به مولفه اصلی (Li *et al*., 2013; Cheng *et al*., 2016) است. در وزن‌دهی به کمک تجزیه به مولفه اصلی از شاخص افزونگی[1] می‌توان استفاده نمود. در این حالت هر ویژگی دارای شاخص افزونگی بالاتری باشد، وزن بیشتری گرفته و بخش بزرگ‌تری از واریانس جامعه را می‌تواند توضیح دهد (Cheng *et al*., 2016). در نهایت از شاخص تلفیقی باروری خاک (IFI) برای تلفیق اثر ویژگی‌های انتخابی استفاده گردید. شاخص تلفیقی باروری خاک بر اساس معادله (۳) به‌دست می‌آید (Sun *et al*., 2003):

$$IFI = (\sum_{i=1}^{m} Wn_i N_i)(\sum_{j=1}^{n} We_i E_i) \quad \text{(رابطه ۳)}$$

در این معادله Wn_i و We_i وزن شاخص‌های خاک و N_i و E_i تابع عضویت هریک از ویژگی‌ها در دو گروه حاصلخیزی (نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم قابل استفاده) و پایداری خاک (رس، کربن‌آلی، هدایت الکتریکی و pH) و m و n تعداد ویژگی‌ها در دو گروه مورد نظر می‌باشد. برای تبدیل هر کدام از متغیرهای اندازه‌گیری شده به تابع عضویت فازی (در یک دامنه پیوسته از صفر تا یک) و محاسبات مربوط به اوزان و تعیین شاخص تلفیقی باروری خاک از نرم‌افزار Excel (Version 2013) استفاده گردید.

تجزیه و تحلیل آمار مکانی

برای تبدیل داده‌ها به یک پهنه و تبدیل نمایش آن‌ها از نقطه به سطح (نقشه) آمار مکانی ابزاری بسیار دقیق و راهگشا می‌باشد. آزمون‌های روند، داده پرت و ناهمسان‌گردی بر روی تمامی داده ها، پیش از به کاربردن روش‌های آمار مکانی انجام گرفت (Iqbal *et al*., 2005). در این پژوهش برای بررسی وجود روند، مقادیر ویژگی‌ها نسبت به فواصل نمونه‌برداری در جهت شرق به غرب و جهت شمال به جنوب به‌طور جداگانه رسم و با استفاده از مدل-های خطی و درجه دو مورد بررسی قرار گرفتند (Cahn *et al*., 1994). داده پرت، مقداری از یک خصوصیت خاک است که از بقیه داده‌های اطراف آن آشکارا متفاوت باشد. در این مطالعه برای تعیین داده پرت با کمک نمودار جعبه‌ای و با استفاده از نرم‌افزار SPSS 16.0 انجام شد.

همسان‌گرد بودن نیم‌تغییرنما[2] بیانگر آن است که تغییرات

۱. Communality

2. Isotropic semivariogram

ویژگی مورد نظر در همه جهات یکسان بوده و تغییرات نیم-تغییرنما فقط به فاصله بین نقاط بستگی دارد (Andronikov *et al*., 2000) و فاقد وابستگی به جهت جغرافیایی است (Mohammadi, 2006). یکی از روش‌های معمول برای آزمون همسانگردی، روش بیضی ناهمسان‌گردی می‌باشد. در این روش ابتدا نیم‌تغییرنما در چهارجهت اصلی رسم و دامنه تاثیر در هر جهت به‌دست آمده و در نهایت نسبت بزرگ‌ترین دامنه تاثیر به کوچک‌ترین دامنه تاثیر به‌دست می‌آید. این نسبت می‌تواند معیاری از همسانگردی باشد (Rezaei *et al*, 2018). در صورت همسان‌گرد بودن ویژگی، نیم‌تغییرنمای به‌دست آمده را نیم-تغییرنمای همه‌جهته[1] می‌نامند.

نیم‌تغییرنما تغییرات متغیرناحیه‌ای را کمی می‌کند (Mohammadi, 2006) و می‌توان از آن به عنوان هسته اصلی در تجزیه و تحلیل‌های زمین‌آماری و کمی‌کردن ساختار مکانی متغیر ناحیه‌ای استفاده نمود (Rezaei *et al*, 2018). این مؤلفه، مؤلفه‌ی بسیار مفیدی برای نشان دادن اختلاف بین نمونه‌ها در یک جهت یا در جهات مختلف می‌باشد (Webster and Oliver, 2000). در آمار مکانی از نیم‌تغییرنما برای کمی‌سازی تغییرات ناحیه‌ای، تحلیل همبستگی مکانی و فراهم کردن مؤلفه‌های لازم برای درون‌یابی مکانی استفاده می‌شود (Burgess *et al*., 1981). نیم-تغییرنما از رابطه زیر برآورد می‌شود:

(رابطه ۴)

$$\gamma_i(h)=\frac{1}{2N_i(h)}\sum_{j=1}^{N_i(h)}[Z_i(x_j)-Z_i(x_j+h)]^2$$

N زوج مشاهدات، Zi(xj) و Zi(xj+h) مقدار متغیر در دو نقطه که به فاصله h از هم قرار دارند. با توجه به شبکه نمونه‌برداری فاصله نمونه‌برداری گام (h) را تغییر داده و نیم‌واریانس را در هر جهت محاسبه نموده و سپس با رسم مقادیر نیم‌واریانس نسبت به فواصل نمونه‌برداری منحنی نیم‌تغییرنمای تجربی به‌دست آورده می‌شود. مدل‌های برازش شده بر نیم‌تغییرنمای تجربی عبارت از کروی، نمایی، خطی و گوسی بودند. برای برازش بهترین مدل نظری واریوگرام تجربی از آماره‌های مجموع مربعات باقیمانده[2] (RSS) و ضریب تبیین (R^2) استفاده شد. در این تحقیق با استفاده از نرم‌افزار GS$^+$ (Version 5.1) نیم‌تغییرنماهای ویژگی‌های خاک محاسبه گردید و بعد از برازش مدل‌ها و تعیین مشخصه‌های نیم‌تغییرنمای هر ویژگی (دامنه، آستانه و اثرقطعه‌ای) تبدیل نقاط به پهنه با استفاده از نرم‌افزار GIS (Arcmap10.4.1) انجام شد.

نتایج و بحث

آماره‌های توصیفی میانگین، حداقل و حداکثر، واریانس، چولگی و ضریب تغییرات ویژگی‌های مورد مطالعه در جدول (۱) نشان داده شد. بر اساس آزمون کولموگرف-اسمیرونوف تنها فسفر قابل استفاده از توزیع غیرنرمال پیروی می‌کند. غیر نرمال بودن این ویژگی علاوه بر اینکه نشان از عدم تصادفی بودن توزیع فسفر دارد بر این موضوع نیز دلالت می‌کند که زمین مورد مطالعه از الگوی یکسان کاربری پیروی نکرده و از مدیریت یکسان زراعی به خصوص کود پاشی برخوردار نیست (Sun *et al*., 2003). این در حالی است که Mohammadi (1999) بیان نمود که تا کنون توضیح روشنی برای مشاهده‌ی رفتار غیرنرمال در ویژگی‌های خاک ارائه نگردیده است. برای داده‌های غیرنرمال با ضریب چولگی بزرگ‌تر از یک می‌توان از تبدیل‌های لگاریتمی و داده‌های با ضریب چولگی بین نیم و یک از ریشه مربعات استفاده نمود (Webster and Oliver 2000). از آنجا که فسفر قابل استفاده دارای چولگی بیش از یک می‌باشد، با استفاده از لگاریتم طبیعی داده‌ها تبدیل و توزیع آن‌ها نرمال گردید. به توزیع لاگ نرمال فسفر، توزیع سه‌پارامتری نیز می‌گویند.

pH مناسب محلول خاک برای گیاه برنج بین ۵/۵ تا ۶ گزارش شده است (Malakooti and Kavoosi, 2004)، چرا که در این pH مناسب‌ترین شرایط برای دسترسی بسیاری از عناصر پرمصرف و کم‌مصرف وجود داشته و غلظت عناصر مضر و سمی آلومینیوم، منگنز و آهن به مقدارکمینه خود می رسد (Malakooti and Kavoosi, 2004). نتایج نشان می‌دهد که دامنه تغییرات pH خاک در اراضی مورد مطالعه بین ۷/۱ تا ۷/۷۳ (با میانگین ۷/۴) در نوسان است. اگرچه روش آبیاری غرقابی و بارندگی زیاد سالانه در خاک‌های شالیزاری بر میزان آبشویی و انتقال کاتیون‌های بازی به افق‌هایی زیرین و در نتیجه کاهش pH خاک‌های سطحی تأثیر زیادی دارد ولی تحت شرایط بی‌هوازی خاک (خاک شالیزاری غرقاب شده)، pH خاک تمایل به افزایش یا کاهش (بسته به میزان اولیه) به سمت واکنش خنثی (pH=۷) از خود نشان داده و تاثیر اسیدیته اولیه را به حداقل خود می رساند (Swarup, 1985).

از ضریب تغییرات برای مقایسه تغییرات ویژگی‌های مختلف با میانگین‌های متفاوت استفاده می‌شود (Mohammadi, 2006)، که معیاری از تغییرپذیری نسبی ویژگی‌های خاک می‌باشد. خاک دارای تغییرپذیری ذاتی (در نتیجه برهم‌کنش عوامل تشکیل دهنده خاک بوده) و غیرذاتی یا طبیعی (که حاصل مدیریت کشت

1 .Omni-Directional Variogram
2-Residual sum-of-square

و کار، استفاده از اراضی و فرسایش) است (Webster and Oliver, 2007).

متغیر pH خاک دارای کم‌ترین ضریب تغییرات و انحراف معیار است. ضریب تغییرات کم نشان‌دهنده محدود بودن اثر عوامل بیرونی بر متغیراست. Tsegaye and Hill (1998) و Hashemi *et al*. (2016) نیز نشان دادند که pH ضریب تغییرات کم‌تری نسبت به دیگر ویژگی‌های شیمیایی داراست، زیرا مقادیر بر پایه یک مقیاس لگاریتمی از غلظت پروتون در محلول خاک می‌باشد، پس برای یک تغییر کوچک در pH باید غلظت پروتون در محلول خاک به مقدار زیادی تغییر کند (Sun *et al*., 2003; Mahmoud Soltani *et al*., 2017).

Selahshoor *et al*. (2013) برای رقم هاشمی حد آستانه شوری را در هدایت الکتریکی عصاره اشباع ۲/۸۳ دسی‌زیمنس بر متر به دست آوردند. میانگین EC در منطقه مورد مطالعه ۰/۸ دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد و به‌نظر می‌رسد منطقه مورد مطالعه از نظر شوری برای رشد گیاه برنج فاقد محدودیت می باشد.

حد بحرانی نیتروژن‌کل برای کشت برنج دو دهم درصد است (Malakooti and Kavoosi, 2004; Davatgar *et al*., 2015). میانگین نیتروژن در منطقه مورد بررسی کمتر از حد-بحرانی بوده و بنابراین عنصر نیتروژن برای دست‌یابی به حداکثر عملکرد در ارقام برنج به‌ویژه هاشمی در صورت عدم کاربرد کودنیتروژنه می‌تواند محدودیت ایجاد نماید. بنابراین بایستی از میزان توصیه شده این کود (۹۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار) برای برطرف کردن این محدودیت استفاده نمود.

میانگین غلظت فسفر قابل‌استفاده حدود ۲۲ میلی‌گرم در کیلوگرم بوده و بر اساس نتایج آزمون خاک (جدول ۱) تنها حدود ۴۱درصد از کل اراضی شالیزاری ایستگاه گلدشت دارای فسفر قابل‌استفاده کمتر از حد بحرانی ۱۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم (Mirnia and Mohamamadian, 2005) است. در نتیجه علاوه بر کمبود این عناصر در بخش‌های زیادی از مزرعه پژوهشی، عدم تعادل در مصرف این عناصر نیز می‌تواند از دیگر عوامل محدودکننده رشد گیاه برنج باشد. بنابراین برای برطرف کردن این کمبودها نه‌تنها لازم است هم به مقدار و زمان مناسب مصرف این عناصر به‌تنهایی و هم به مصرف متعادل آن‌ها بایستی توجه خاص نمود (He and Li, 2000). البته برای دریافت پاسخ مناسب گیاه برنج به مصرف عناصر غذایی پرمصرف، برطرف کردن کمبود عناصر غذایی دیگر کم‌مصرف (مانند روی) و برطرف کردن سایر مشکلات خاک (عمق کم ریشه‌زنی ناشی از تجهیز و نوسازی، سمیت آهن) و اطمینان از اعمال مدیریت زراعی صحیح و همه جانبه نیزضروری است (Mirnia and Mohamamadian, 2005).

فسفر در بین ویژگی‌های مورد بررسی بالاترین میزان ضریب تغییرات (۸۹ درصد) را از خود نشان می‌دهد. از طرفی فسفر تنها عاملی بود که دارای توزیع غیرنرمال بود. بنابراین بایستی در نظر داشت هرچه میزان ضریب تغییرات بزرگتر باشد، خطای بیشتری در فرض نرمال بودن توزیع لاگ‌نرمال داده‌ها بایستی متقبل گردید (Mirnia and Mohamamadian, 2005). Mahmoud Soltani *et al*. (2017) و Davatgar *et al*.(2015) ضریب تغییرات فسفر قابل استفاده را حدود ۹۵ درصد اعلام نمودند، که از دلایل اصلی افزایش غیریکنواختی فسفر، تحرک کم و تجمع این عنصر در خاک سطحی، تفاوت در تیپ خاک و تفاوت در مدیریت توصیه کودی بیان نمودند. Dahiya *et al*. (1984) نشان دادند که متغیرهایی با ضریب تغییرات بالا، بیشتر تحت اثر عملیات مدیریتی قرار دارند.

Sun et al. (2003) دلایل تغییرات بالا را ناهمگونی الگوی استفاده از زمین، کوددهی و یا فرسایش نام بردند. از سوی دیگر تغییرات مشاهده شده در فسفر قابل استفاده می تواند از موادمادری، نوع کاربری اراضی، جذب سطحی (Hartono *et al*., 2005) و مقدار رس (Shindo *et al*., 2002) نیز باشد.

جدول ۱- آمار توصیفی برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی ۱۲۸ کرت شالیزاری

ویژگی	میانگین	حداقل-حداکثر	چولگی	واریانس	CV	نوع توزیع
pH	۷/۳۶	۷/۷۳-۷/۰۷	۰/۳۲	۰/۰۲	۲	نرمال
هدایت الکتریکی($dS.m^{-1}$)	۰/۸	۱/۱۶-۰/۴۵	۰/۲۵	۰/۲۰	۱۷/۵	نرمال
نیتروژن کل(%)	۰/۱۳	۰/۱۹-۰/۷۰	-۰/۲۱	۰/۰۰	۱۶/۵	نرمال
فسفرقابل‌استفاده($mg.Kg^{-1}$)	۲۲/۲	۸۰/۴-۱/۴	۱/۳۱	۳۹۲/۲	۸۹	غیرنرمال
پتاسیم‌قابل‌استفاده($mg.Kg^{-1}$)	۲۹۸	۴۲۶-۱۹۸	۰/۱۱	۲۹۱۹	۱۸	نرمال
رس (٪)	۵۴	۶۰-۴۲	-۰/۶۱	۱۵/۰۴	۷	نرمال
کربن‌آلی(٪)	۱/۴	۱/۹۵-۰/۵۹	-۰/۲۰	۰/۰۶	۱۸	نرمال

CV: ضریب تغییرات (٪)

تعیین شاخص حاصلخیزی خاک

تعیین مجموعه حداقل داده

انتخاب ویژگی‌هایی از خاک که به بهترین شکل نشان‌دهنده وضعیت حاصلخیزی خاک باشد، بسیار با اهمیت است. در اراضی شالیزاری استان گیلان مهم‌ترین عناصر غذایی محدود کننده رشد برنج عناصر پرمصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم بوده (Davatgar *et al*., 2015) که می‌توانند اثرات فردی یا اشتراکی بر بهره‌وری خاک داشته باشند (Li *et al*., 2016)، چراکه عناصر کم‌مصرف در بیشتر اراضی در حدکفایت هستند (Davatgar *et al*., 2015).

از سوی دیگر از بین ویژگی‌های پایدار خاک مقدار رس، کربن‌آلی، هدایت الکتریکی و pH می‌توانند اثرگذار باشند (Sys *et al*., 1993؛ Givi, 1997). به‌عنوان مثال بیش‌ترین تکرار در انتخاب شاخص‌ها در تحقیقات اخیر را کربن‌آلی داراست (Yao *et al*., 2013)، زیرا با توجه به کوددهی مزارع، مواد آلی نقش مهمی در نگهداری، آزادسازی عناصر و اصلاح ساختار فیزیکی خاک ایفا می‌نمایند (Li *et al*., 2013). نقش رس در خاک‌های شالیزاری در انتقال و نفوذ آب بسیار حیاتی است. همچنین pH نیز به‌طور مستقیم در قابلیت دسترسی موادغذایی برای رشد گیاه اثرگذار است (Schoning *et al*., 2006). از این رو در این تحقیق ۷ ویژگی انتخاب و به دو گروه اصلی تقسیم گردید. گروه اول ویژگی‌های حاصلخیزی: شامل نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم قابل استفاده و گروه دوم ویژگی‌های پایداری خاک: شامل EC، pH، درصد رس و کربن‌آلی. این گروه‌بندی با نتایج به‌دست آمده از مطالعات Sun *et al*. (2003) در یک راستا است.

نمره‌دهی و وزن‌دهی شاخص‌ها

برای تعیین وزن هر ویژگی از شاخص افزونگی استفاده گردید. مقدار شاخص افزونگی هر ویژگی نسبت به کل این شاخص محاسبه شد. در واقع این درصد وزن استاندارد شده هر متغیر را نسبت به واحد فراهم می‌کند (Cheng *et al*., 2016). براساس نتایج جدول (۲) نیتروژن کل و کربن‌آلی بالاترین وزن را در تغییرات شاخص تلفیقی حاصلخیزی داشته و این نشان از اهمیت این دو ویژگی در نتایج نهایی دارد. پتاسیم نیزکم‌ترین وزن را دارا بوده و با توجه به آزمون خاک نیز هیچ‌یک از کرت‌ها از نظر این عنصر محدودیتی ندارند. در نهایت با استفاده از معادله (۳) شاخص تلفیقی حاصلخیزی خاک هر نقطه محاسبه گردید. حداقل و حداکثر این شاخص در منطقه مورد مطالعه بین ۰/۳۰ و ۰/۲۰ با میانگین ۰/۱۱ به‌دست آمد. هرچه شاخص تلفیقی کرتی پایین‌تر باشد نشان از وجود محدودیت‌های بیشتری برای رشد و رسیدن به حداکثر عملکرد وجود دارد. از سوی دیگر مدیریت مزرعه بر اساس مجموعه‌ای از نقاط نمونه‌برداری، امکان‌پذیر نمی‌باشد و بایستی این داده‌ها در قالب پیوسته‌ای از اطلاعات تبدیل گردند. بدین ترتیب استفاده از ابزارهای تجزیه و تحلیل‌های آماری، که توانایی به‌کارگیری هم‌زمان اطلاعات کمی و عددی در کنار موقعیت نسبی جغرافیایی داده‌ها را داشته باشند، ضروری است. مجموعه روش‌های آماری مربوط را آمار مکانی می‌نامند (Mohammadi, 2006).

جدول ۲- وزن شاخص‌های انتخابی با استفاده از آنالیز تجزیه به مولفه‌های اصلی

ویژگی مورد بررسی	شاخص افزونگی	وزن
pH	۰/۶۵۹	۰/۱۲۳
هدایت الکتریکی	۰/۷۲۵	۰/۱۳۵
رس	۰/۷۷۱	۰/۱۴۴
نیتروژن کل	۰/۹۵۱	۰/۱۷۷
فسفرقابل‌استفاده	۰/۷۸۲	۰/۱۴۶
پتاسیم‌قابل‌استفاده	۰/۵۳۳	۰/۰۹۹
کربن‌آلی	۰/۹۴۶	۰/۱۷۶

آمار مکانی

داده پرت، روند و ناهمسان‌گردی داده‌ها

نقاط پرت، بسته به موقعیت مکانی خود، می‌توانند اثرات متوسط تا شدیدی بر مدل رگرسیون داشته باشند. بر این اساس برای هرکدام از ویژگی‌ها که دارای اعداد پرت باشند، می‌توان آن‌ها را در مرحله برازش مدل نیم‌تغییرنما از محاسبات خارج نمود، اما در تخمین‌های وزن‌دار مثل کریجینگ دوباره به مجموعه داده‌های مورد بررسی باز گرداند. زیرا وجود داده پرت می‌تواند باعث اعوجاج[1] شود که منجر به نقض نظریه زمین‌آمار می‌گردد و یک نیم‌تغییرنمای نامنظم ایجاد می‌کند (Armstrongand Boufassa, 1988). با این‌حال Reza *et al*. (2019) ابتدا داده پرت را در دو ویژگی pH و کربن‌آلی جدا نموده، سپس با ماکزیمم مقادیر pH و کربن‌آلی جایگزین نمودند. آن‌ها معتقد هستند مقادیر کرانه‌ای را نبایستی به‌عنوان داده پرت در نظر گرفت، زیرا تغییرات طبیعی و یا کارهای مدیریتی می‌تواند این داده‌ها را به‌وجود آورند. نتایج ناشی از آزمون نمودار جعبه‌ای برای پیدا کردن داده پرت نشان داد که تمامی ویژگی‌ها به‌جز درصد رس و پتاسیم دارای حداقل یک داده پرت می‌باشند. بنابراین، این داده‌ها از محاسبات مربوط به مدل نیم‌تغییرنما حذف گردید.

۱- Distortion

برای تعیین وجود روند، مقادیر ویژگی‌های خاک در هر مقیاس نسبت به فواصل نمونه‌برداری در جهت X (شرق-غرب) و جهت Y (شمال-جنوب) به‌طور جداگانه ترسیم و با استفاده از برازش مدل‌های خطی و درجه دو مورد بررسی قرار گرفتند. در صورت وجود روند در یک ویژگی بایستی فرآیند حذف روند انجام گیرد. برای حذف روند، مقدار آن از معادله نمودار برازش داده شده به‌دست آمده و از داده‌های اصلی کم می‌شود. پس از انجام تجزیه و تحلیل‌های زمین‌آماری، روند حذف شده دوباره به داده‌های اولیه اضافه تا در مرحله تخمین استفاده گردد (Rezaei *et al*., 2018؛ Dou *et al*., 2010). بر اساس این آزمون همه خصوصیات مورد بررسی فاقد روند بودند.

در تحقیق حاضر برای تشخیص پدیده همسان‌گردی از نسبت ناهمسانگردی استفاده شده است. مقدار عددی این نسبت برای تمامی متغیرها به‌طور تقریبی برابر با یک بود که نشان از وجود همسان‌گردی و تغییرات یکسان در همه جهات برای ویژگی‌های مورد بررسی می‌باشد.

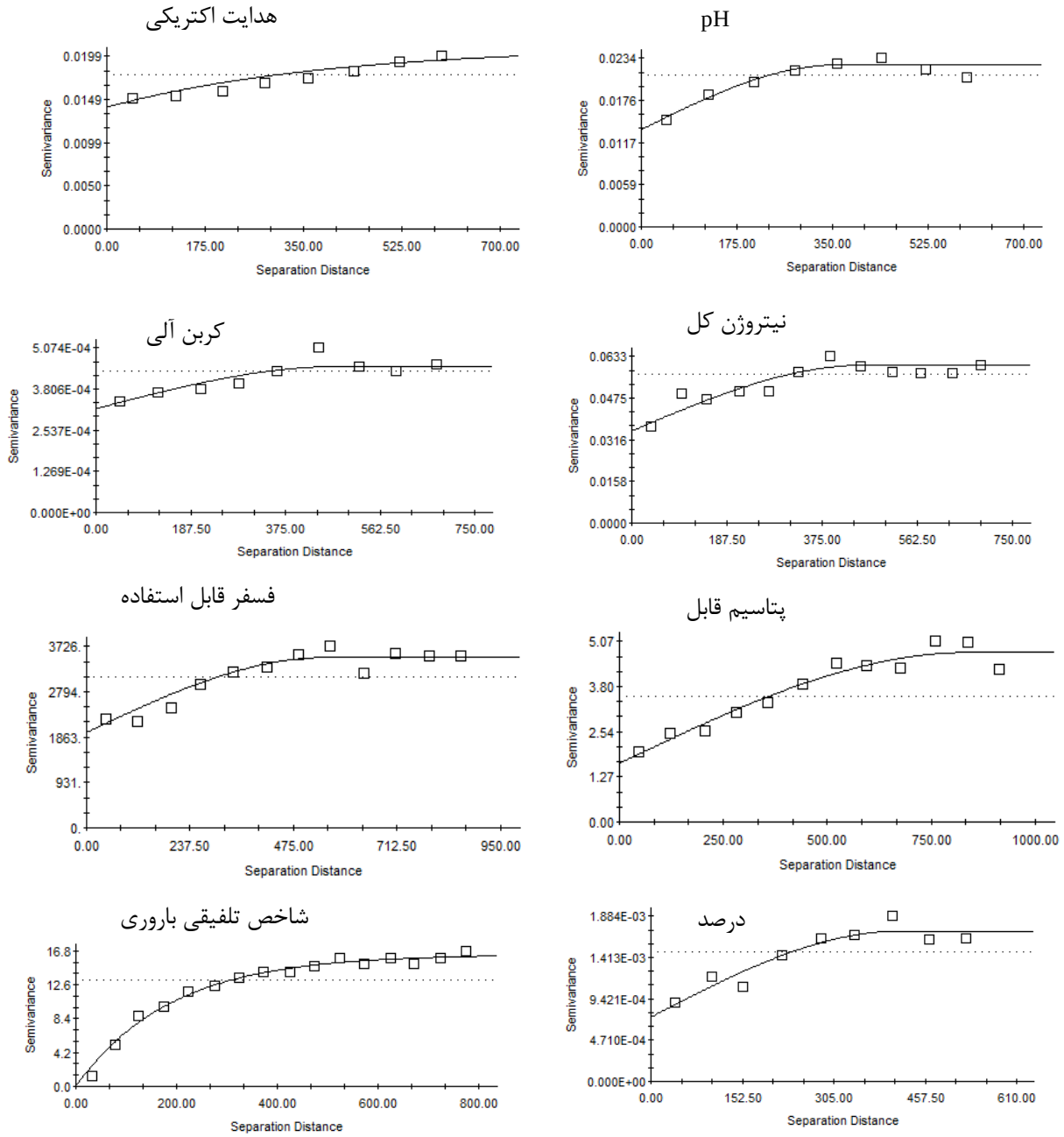
پس از محاسبه نیم‌تغییرنمای تجربی برای گام‌های فاصله-ای مختلف، مدل‌های مختلف نیم‌تغییرنما بر آنان برازش داده شده و برای ارزیابی این برازش، مدلی که کمترین مجموع مربعات باقیمانده (RSS) و بالاترین ضریب تبیین (R^2) را دارد، بهترین برازش بر مقادیر تخمینی نیم‌واریانس را داراست. مدل های برازش داده شده بر نیم‌تغییرنمای تجربی متغیرهای خاک در شکل (۱) و مؤلفه‌های آن در جدول (۳) نشان داده شد. بر این پایه، دو ویژگی کربن‌آلی و اسیدیته خاک از مدل نمایی و سایر خصوصیات خاک در اراضی شالیزاری مورد بررسی از مدل کروی پیروی نمودند.

در بین ویژگی‌های مورد بررسی پتاسیم قابل تبادل بیشترین (۱۹۶۰) و نیتروژن کل کمترین (۰/۰۰۰۳) اثر قطعه‌ای را دارا بودند. عوامل مؤثر در پیدایش اثر قطعه‌ای را می‌توان به وجود مؤلفه‌های تصادفی در توزیع ویژگی‌ها (Hassani pak, 1998)، خطاهای نمونه‌برداری، آماده‌سازی و تحلیل (Hassani Davatgar *et al*., 2015; pak, 1998) و تغییرات شدید صفت مورد نظر Marx and Thompson, (1987) یا ناهمگنی‌های کوچک (Schoning *et al*., 2006) نسبت داد. عمده نیتروژن خاک به-صورت محلول بوده و با مکانیسم پخشیدگی از محل پاشش کودهای حاوی آن به محیط‌های اطراف وارد می شود، در نتیجه دارای تغییرات پیوسته و غیرتصادفی است. در گزارشات توسط Ayoubi *et al*.(2007) نیز کم‌ترین مقدار عددی اثر قطعه‌ای برای نیتروژن به‌دست آمده است.

دامنه تأثیر، فاصله‌ای است که در ماورای آن نمونه‌ها بر هم تأثیری نداشته و یا وابستگی مکانی مناسبی را نشان نمی‌دهند و می‌توان آن‌ها را مستقل از یکدیگر محسوب نمود. این فاصله همبستگی مکانی متغیر موردنظر را مشخص ساخته و اطلاعاتی در رابطه با حد مجاز فاصله نمونه‌برداری ارائه می‌کند. دامنه تأثیر بزرگتر دلالت بر ساختار مکانی گسترده‌تر دارد. این گسترش موجب افزایش محدوده مجازی می‌شود، که می‌توان از داده‌های موجود در آن برای تخمین مقدار متغیر مورد نظر در نقاط مجهول استفاده کرد. به‌عبارت دیگر هرچه این دامنه گسترده‌تر باشد ازتعداد نمونه کمتری برای تعیین نقاط نمونه‌برداری نشده استفاده می شود (Hassani pak, 1998؛ Ayoubi *et al*., 2007). تحلیل نیم‌تغییرنماها نشان می‌دهد که دامنه تاثیر متغیرها از ۱۸۹ متر برای رس (کمترین دامنه تاثیر) تا ۸۴۰ متر (بیشترین دامنه تاثیر) برای فسفر در نوسان است. Kazemi *et al*. (2012) نیز فسفر را به‌عنوان ویژگی که دارای مقادیر بالای دامنه تاثیر می‌باشند، معرفی نموده و دلیل آن را تحرک پایین این عنصر بیان نمودند. پژوهشگران مختلف، دامنه‌های متفاوتی را برای وابستگی مکانی فسفر خاک گزارش کردند. Needelman *et al*. (2001) در یک حوزه آبریز با مساحت ۳۹ هکتار برای فسفر قابل دسترس دامنه ۲۶۷ متر، Mahmoud Soltani *et al*. (2017) در محدوده وسیع ۳۰۰۰۰ هکتار دامنه ۳۰۰۰ متر را برای فسفر قابل استفاده (روش اولسون) به‌دست آوردند. درصد رس دارای وابستگی مکانی مناسبی بوده، اما کمترین دامنه تاثیر را نسبت به بقیه ویژگی‌های خاک داشته که می‌تواند نشان‌دهنده‌ی شرایط غیریکسان و ناهمگون بودن توزیع مکانی این ویژگی باشد (Hashemi *et al*., 2016). بافت خاک (به‌طور ویژه درصد رس خاک) بر جذب عناصرغذایی، فعالیت‌های میکروبی، نفوذ و حفظ و نگاه‌داری آب ، هوادهی خاک، خاک‌ورزی و روش‌های آبیاری تأثیر می گذارد (Gupta, 2004)، که همه این‌ها در کاهش دامنه تاثیر این ویژگی می‌توانند سهیم باشند.

قدرت ساختار (وابستگی) مکانی هر ویژگی از نسبت واریانس قطعه‌ای به آستانه به‌دست می‌آید، و سهم واریانس قطعه-ای از کل تغییرات را نشان می‌دهند. بر اساس تقسیم‌بندی *et al*. Cambardella (1994) تنها کربن‌آلی دارای وابستگی مکانی قوی است (کمتر از ۲۵ درصد) و سایر ویژگی‌های مورد بررسی دارای وابستگی مکانی بین ۲۵ تا ۷۵ درصد بوده که نشان از وابستگی مکانی متوسط می‌باشد. وابستگی‌های مکانی قوی از فرآیندهای داخلی (عامل‌های تشکیل‌دهنده خاک) متأثر هستند و ساختار مکانی متوسط می‌تواند ناشی از اثرات توام فرآیندهای خارجی (یا فرآیندهای مدیریتی مانند وجود کانی‌های رسی حاوی پتاسیم، وجود بارندگی زیاد در منطقه، شیب در مقیاس مزرعه، خروج یا

سوزاندن بقایای گیاهی و غیره در تغییرات ویژگی‌های مورد بررسی اثرگذار باشد) و فرآیندهای داخلی باشد (Sun *et al.*, 2003 و Chen and Ma, 2001).کربن‌آلی خاک یک ترکیب دینامیک در سیستم خاکی شمرده می‌شود که از تغییرات درونی در جهت‌های عمودی و افقی خاک و تغییرات بیرونی در اتمسفر و بیوسفر همراه است (Zhang and McGrath, 2004). تغییرات این متغیر تحت‌تأثیر هر دو فرآیندهای ذاتی و مدیریتی (مانند ورود و خروج بقایای گیاه برنج، وجود زهکش و تغییرات شیب زمین) قرار دارد، که با در نظر گرفتن وابستگی مکانی قوی در کربن‌آلی، احتمال کنترل این ویژگی به‌وسیله عوامل ذاتی زیادتر می‌گردد.



شکل ۱- نیم‌تغییرنمای تجربی و مدل برازش شده بر آن در ویژگی‌های مورد بررسی

نقشه‌های پهنه بندی ویژگیهای انفرادی و تلفیقی موثر بر حاصلخیزی خاک

با پهنه‌بندی خاک، محقق قادر به اظهار نظر دقیق درباره‌ی بخش-های مختلف منطقه‌ی مطالعاتی خواهد بود (Mohammadi,a 2006). نقشه تخمین ویژگی‌های مورد بررسی و شاخص تلفیقی حاصلخیزی خاک در شکل (۴) نشان داده شد. نتایج شاخص تلفیقی حاصلخیزی خاک نشان می‌دهد که مقدار این شاخص در اراضی شالیزاری ایستگاه گلدشت از ۰/۰۳ تا ۰/۲۰ در نوسان است.

بایستی در نظر داشت وزن‌دهی و نمره‌دهی شاخص‌ها به طریقی بوده که هرچه این شاخص کمتر باشد محدودیت‌های رشد برای گیاه برنج بیشتر است. این محدودیت‌ها می‌تواند در ویژگی‌های گروه پایداری خاک (درصد رس، کربن‌آلی، pH، هدایت الکتریکی) و یا از گروه حاصلخیزی (نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم قابل استفاده) باشند که بایستی با مدیریت مناسب زراعی آن‌ها را برطرف نمود. حدود ۴ درصد از کل اراضی مورد مطالعه در کلاس IFI کمتر از ۰/۰۵ (پایین‌ترین کیفیت حاصلخیزی) قرار دارند. هیچ یک از نقاط عضو در این گروه از نظر پتاسیم قابل استفاده و هدایت الکتریکی محدودیتی ندارند، اما با توجه به نقشه‌های تخمینی موجود در این بخش، pH، فسفر قابل استفاده، کربن‌آلی و به دنبال آن نیتروژن کل کمتر از حدود بحرانی آن‌ها برای رشد برنج می‌باشند. pH تا حدی از حد بهینه رشد گیاه برنج بالاتر است. Davatgar *et al*. (2015) نیز در بررسی حاصلخیزی خاک‌های استان گیلان pH مناطق واقع در دشت مرکزی را بالاتر از هفت گزارش نمودند که دلیل اصلی آن را ناشی از آورد املاح از طریق رودخانه سفیدرود برشمردند. Shahbazi and Besharati (2013) از pH به عنوان مهم‌ترین خصوصیت شیمیایی به دلیل اثرات آن بر فرآیندهای شیمیایی از قبیل تحرک یون‌ها، تعادل‌های رسوب و انحلال، کنیتیک رسوب و انحلال، تعادل اکسیداسیون-احیاء و در نهایت اثرات آن بر قابلیت استفاده عناصر نام بردند.

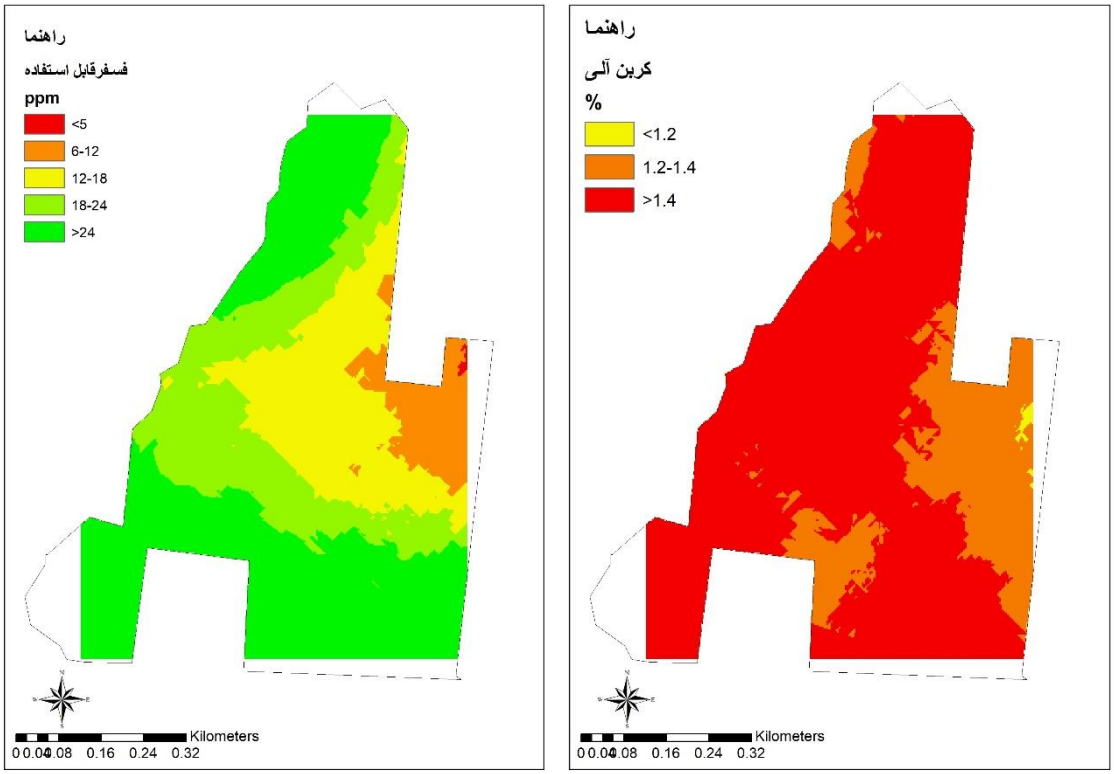
جدول ۳- پارامترهای تخمینی مدل‌های برازش شده بر ویژگی‌های مورد بررسی

ویژگی	مدل	اثرقطعه‌ای	آستانه	شعاع تاثیر	نسبت همبستگی	R^2	RSS
pH	نمایی	۰/۰۱۴	۰/۰۲۱	۴۰۰	۶۷	۰/۹۱	۲/۹E -۶
هدایت الکتریکی	کروی	۰/۰۱۴	۰/۰۲۲	۳۶۰	۶۱	۰/۹۲	۴/۶E -۶
نیتروژن کل	کروی	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۵	۴۸۰	۶۰	۰/۷۸	۴/۷E -۶
فسفرقابل‌استفاده	کروی	۱/۶۵	۴/۷۶	۸۴۰	۵۸	۰/۹۴	۰/۶۹
پتاسیم‌قابل‌استفاده	کروی	۱۹۶۰	۳۵	۵۵۰	۳۵	۰/۹۱	۳/۴E+۵
رس	کروی	۰/۰۱	۱۶/۳۶	۱۸۹	۵۶	۰/۹۹	۴/۱۷
کربن‌آلی	نمایی	۰/۰۳۵	۰/۰۶	۴۶۰	۰/۱	۰/۸۴	۳/۴E -۶
شاخص‌تلفیقی باروری	کروی	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۱۷	۴۱۵	۴۳	۰/۸۹	۹/۱E -۷

شکل ۲- نقشه تخمین شاخص تلفیقی حاصلخیزی و pH منطقه گلدشت

تمامی نقاط واقع در کلاس IFI دارای فسفر قابل استفاده کمتر از حد بحرانی تعیین شده برای گیاه برنج (۱۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) است، این وضعیت می‌تواند ناشی از استمرار کشت گیاه بدون مصرف کودهای فسفاته توسط کشاورزان و یا توانایی کم خاک در انتقال فسفر قابل استفاده از منبع فسفر بومی خاک به داخل محلول خاک و یا توانایی زیاد خاک در تثبیت فسفر افزوده شده به خاک باشد (Davatgar *et al*., 2015).

علاوه بر کمبود این عنصر در بخش‌های زیادی از مزرعه پژوهشی، عدم تعادل در مصرف این عنصر با سایر عناصر مانند پتاسیم و روی نیز می‌تواند از دیگر عوامل محدودکننده رشد گیاه برنج در این اراضی باشد. بنابراین نه تنها نیاز است با کاربرد مقدار مناسب نسبت به برطرف کردن این کمبود اقدام نمود بلکه با مصرف متعادل آن‌ها به کاهش ضریب تغییرات و تغذیه متعادل برنج توجه خاص نشان داد (He and Li, 2000). البته برای دریافت پاسخ مناسب گیاه برنج به مصرف عناصر غذایی پرمصرف، برطرف کردن کمبود عناصر غذایی کم‌مصرف (مانند روی) و برطرف کردن سایر مشکلات خاک (عمق کم ریشه‌زنی ناشی از تجهیز و نوسازی و سمیت آهن و ...) و اطمینان از اعمال مدیریت زراعی صحیح و همه جانبه ضروری است (Mirnia and Mohammadian, 2005).



شکل ۳- نقشه تخمین فسفرقابل‌استفاده و کربن‌آلی منطقه گلدشت

عامل دیگر محدودیت در این کلاس، کمبود کربن‌آلی و به دنبال آن نیتروژن کل است. با توجه به حدود بحرانی نیتروژن کل (۰/۲ درصد) و موادآلی (۲ درصد) در خاک‌های شالیزاری، بیشتر کرت‌های مورد مطالعه دارای کمبود نیتروژن و کربن‌آلی برای رسیدن به حداکثر عملکرد می‌باشند (شکل ۳). با افزودن مواد آلی و کودهای معدنی به‌طور مرتب و منظم می‌توان مقدار نیتروژن در خاک را متعادل نمود (Khadka *et al*., 2016). برطرف کردن کمبود نیتروژن آسان و پاسخ گیاه به مصرف کود نیتروژنی سریع می‌باشد. این محدوده نشان می‌دهد با مصرف کود نیتروژن می‌توان عملکرد گیاه را افزایش داد، به‌عبارت دیگر احتمال پاسخ خاک به کود نیتروژنی زیاد است. البته پاسخ گیاه به مصرف کود نیتروژنی تقریبا بعد از ۲ تا ۳ روز پدیدار می‌گردد، که این امر به رقم برنج، نوع خاک، شرایط آب و هوایی، نوع کود نیتروژنی مصرف شده، مقدار، زمان و روش مصرف کود بستگی دارد (Mirnia and Mohammadian, 2005).

با توجه به حد بحرانی درصد کربن‌آلی برای کشت گیاه برنج، تمامی کرت‌های مورد بررسی دارای کمبود بوده و این مسئله با توجه به اهمیت ماده آلی در تولید برنج وپایداری محیط زیست می‌تواند چالشی مهم برای آینده باشد. عدم توجه به افزایش و نگهداری مواد آلی خاک می‌تواند در آینده نزدیک خسارات

جبران‌ناپذیری به تولید پایدار کشاورزی وارد آورد (Shahbazi and Besharati, 2013). ماده آلی منبع مهمی از عناصرغذایی اساسی گیاه پس از تجزیه آنها توسط میکروارگانیسم ها است.

اگرچه در دامنه دوم تقسیم‌بندی IFI (بین ۰/۵۰ تا ۰/۱) مقدار میانگین فسفر قابل استفاده افزایش قابل ملاحظه‌ای از خود نشان داده است اما نتایج نشان می‌دهد که همچنان درصد بالایی از نقاط دارای کمبود فسفر هستند. این در حالی است که تمامی این کلاس دارای محدودیت کمبود موادآلی و نیتروژن کل می باشند. در کلاس بعدی IFI (۰/۱ تا ۰/۱۵) هیچ محدودیتی از نظر فسفرقابل استفاده وجود ندارد، اما محدودیت کربن‌آلی و نیترژن کل مانند کلاس قبل همچنان باقی است. همچنین نتایج حاکی از این است که در کلاس چهارم اگرچه از شدت محدودیت فسفر قابل استفاده، کربن‌آلی و نیتروژن کاسته شده ولی کمبود دو عامل آخر در مقادیرکمتردیده می‌شود. در اراضی شالیزاری گلدشت معاونت موسسه تحقیقات برنج کشور–آمل تنها ۶ درصد از اراضی آن هم به صورت پراکنده در کلاس آخر (IFI بیش از ۰/۱۵) طبقه بندی شده‌اند و هیچ یک از عوامل محدودکننده رشد برنج وجود ندارد.

با توجه به نقشه شاخص تلفیقی باروری خاک منطقه گلدشت، حدود ۴۰ درصد کل منطقه دارای شرایط حاصلخیزی متوسط برای رشد گیاه برنج بوده و بیشترین محدودیت آن مقدار کربن‌آلی و نیتروژن کل است. به‌طور معمول کشت برنج تحت شرایط غرقاب عامل مهمی در نگهداشت کربن‌آلی به دلایل متعددی از جمله شرایط غرقاب نسبت به شرایط هوازی و تشکیل کمپلکس اکسیدهای آهن با موادآلی است (Lal, 2004). Owliaie and Najafi Ghiri (2012) گزارش نمودند که کشت طولانی‌مدت برنج موجب افزایش در میزان برخی ویژگی‌های خاک از جمله کربن‌آلی می‌گردد. بنابراین کشت برنج در سال‌های آتی و مدیریت زراعی مناسب با استفاده از موادآلی موجود در منطقه (مانند کود حیوانی و باقی گذاشتن کاه و کلش حاصل از گیاه برنج بعد از برداشت) می‌تواند این محدودیت را رفع نماید. از سوی دیگر افزایش موادآلی می‌تواند سبب تشدید کاهش pH گردد (Malakooti and Kavoosi, 2004) با توجه به این موضوع که pH در این منطقه تحقیقاتی برای رشد گیاه برنج بالاتر از اسیدیته مناسب برای رشد برنج است می‌تواند مفید واقع شود.

اگرچه کمبود نیتروژن در خاک‌های شالیزاری مورد بررسی به‌دلیل ماهیت شیمیایی آن (عمدتاً به‌صورت محلول بوده) و توانایی بسیار کم خاک در ذخیره این عنصر در نقاط تبادلی) نگرانی چندانی نداشته و قابل برطرف کردن می‌باشد ولی کربن آلی از فرآیند دشوارتری در افزایش مقدار آن در خاک برخوردار است. اراضی شالیزاری گلدشت به‌دلیل انجام عملیات تجهیز و نوسازی و قرارگیری بر روی دشت دامنه‌ای از میزان کربن آلی بسیار کمی برخوردار است.

Velasquez *et al*. (2007) در فلوریدای آمریکا نقش و تاثیر عوامل موثر در توزیع مکانی کربن‌آلی خاک را بررسی و نشان داد که افزودن بر مقدار کل ذخیره کربن در خاک تا حد زیادی تحت تاثیر نوع خاک، نوع کاربری و نحوه مدیریت اراضی بستگی دارد. Meersmans *et al*. (2009) در بررسی پراکنش سه‌بعدی کربن‌آلی خاک در مقیاس منطقه‌ای در ناحیه فلاندر بلژیک از عمق خاک، بافت و نوع کاربری اراضی به‌عنوان عوامل مهم در مقدار کربن‌آلی خاک نام بردند. همچنین یافته‌های این پژوهش با نتایج *et al*. Minasny (2006) در یک راستا است.

نتیجه‌گیری

زمین‌آمار (ژئواستاتیستیک) به‌عنوان یک پدیده مهم در کشاورزی دقیق توانایی تبیین تغییرات مکانی متغیرهای موثر بر رشد گیاهان زراعی را داشته و با طبقه‌بندی محدودیت‌های خاک و اراضی براساس نیازهای رویشی گیاهان به‌صورت پهنه‌هایی با تفاوت‌های ساختاری مشخص و قابل مدیریت، می‌تواند تاثیر فراوانی در ارتقای سطح کیفی و کمی تولیدات کشاورزی داشته باشد. با استفاده از شاخص‌های تلفیقی مانند IFI می‌توان منطقه مورد مطالعه را به مناطق همگنی از نظر حاصلخیزی تقسیم نمود و سپس محدودیت‌ها را در هر منطقه شناسایی و راهبردهای مدیریتی را در آن لحاظ نمود. به‌جز چند منطقه به‌صورت نقطه‌ای، در سایر نقاط کودهای نیتروژنه و افزایش موادآلی لازم بوده و به احتمال زیاد گیاه برنج در این نقاط به افزایش کودهای نیتروژنه پاسخ خواهد داد. مناطقی در شرق و مرکز منطقه مورد بررسی علاوه بر مدیریت کودهای نیتروژنه و افزایش موادآلی نیاز به کودهای فسفره نیز داشته و با انجام آن می‌توان توازن غذایی در این نقاط را نیز بهبود داد.

REFERENCES

Andrews, S. S., Karlen, D. L., and Mitchell, J. P. (2002). A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in Northern California. *Agriculture, ecosystems and environment*, *90*(1), 25-45.

Andronikov, S. V., Davidson, D. A., and Spiers, R. B. (2000). Variability in contamination by heavy metals: sampling implications. *Water, air, and soil pollution*, *120*(1-2), 29-45.

Armstrong, M., and Boufassa, A. (1988). Comparing the

robustness of ordinary kriging and lognormal kriging: outlier resistance. *Math Geol*, 20:447–457

Ayoubi, S. A., Mohammad, Z. S., and Khormali, F. (2007). Prediction total N by organic matter content using some geostatistic approaches in part of farm land of Sorkhankalateh, Golestan Province. *Journal of Agricultural Sciencesand Natural Resources*, 14(4), 23-33. (In Farsi).

Bagherzadeh, A., Gholizadeh, A., and Keshavarzi, A. (2018). Assessment of soil fertility index for potato production using integrated Fuzzy and AHP approaches, Northeast of Iran. *Eurasian Journal of Soil Science*, *7*(3), 203-212.

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

Bates, R. G., and Vijh, A. K. (1973). Determination of pH: theory and practice. *Journal of The Electrochemical Society*, *120*(8), 263C-263C.

Bouman, B.A., Barker, R., Humphreys, E., Tuong, T.P., Atlin, G., Bennett, J., Dawe, D., Dittert, K., Dobermann, A., Facon, T. and Fujimoto, N. (2007). Rice: feeding the billions (No. 612-2016-40554).

Burgess, T. M., Webster, R., and McBratney, A. B. (1981). Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties. IV Sampling strategy. *Journal of Soil Science*, *32*(4), 643-659.

Cahn, M. D., Hummel, J. W., and Brouer, B. H. (1994). Spatial analysis of soil fertility for site-specific crop management. *Soil Science Society of America Journal*, *58*(4), 1240-1248.

Cambardella, C. A., Moorman, T. B., Parkin, T. B., Karlen, D. L., Novak, J. M., Turco, R. F., and Konopka, A. E. (1994). Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil science society of America journal*, *58*(5), 1501-1511.

Charkhabadi, A., Rahimi, A.H. (2014). Evaluation of some heavy metals in paddy soils and their accumulation in rice tissues in Lanjan area of Isfahan province. *Journal of soil and water knowledge*, 24(2), 120 -107. (In Farsi).

Chen, M., and Ma, L. Q. (2001). Taxonomic and geographic distribution of total phosphorus in Florida surface soils. *Soil Science Society of America Journal*, *65*(5), 1539-1547.

Cheng, J., Ding, C., Li, X., Zhang, T., and Wang, X. (2016). Soil quality evaluation for navel orange production systems in central subtropical China. *Soil and Tillage Research*, *155*, 225-232.

Confalonieri, R., Rosenmund, A. S., and Baruth, B. (2009). An improved model to simulate rice yield. *Agronomy for Sustainable Development*, *29*(3), 463-474.

Dahiya, I. S., Richter, J. and Malik, R. S. (1984). Soil spatial variability: A review. International Tropical. Agriculture, 1(11), 1-102.

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

Dobermann, A., and Oberthür, T. (1997). Fuzzy mapping of soil fertility—a case study on irrigated rice land in the Philippines. *Geoderma*, *77*(2-4), 317-339.

Dou, F., Yu, X., Ping, C. L., Michaelson, G., Guo, L., and Jorgenson, T. (2010). Spatial variation of tundra soil organic carbon along the coastline of northern Alaska. *Geoderma*, *154*(3-4), 328-335.

FAO. 2015. Healthy soils are the basis for healthy food production. FAO 2015 I4405E/1/02.15.

Gee, G. W., and Bauder, J. W. (1986). Particle-size analysis 1. *Methods of soil analysis: Part 1—Physical and mineralogical methods*, (methodsofsoilan1), 383-411.

Givi, J. (1997). Qualitative evaluation of land suitability for field and fruit crops. *Iranian Soil and Water Research Institute: Tehran, Iran*, 1-115.

Goovaerts, P. (1999). Geostatistics in soil science: state-of-the-art and perspectives. *Geoderma*, *89* (1-2), 1-45.

Gupta, P.K. (2004): *Soil, plant, water and fertilizer analysis*. Shyam Printing Press, Agrobios, India, 38p.

Hartono, A., Funakawa, S., and Kosaki, T. (2005). Phosphorus Sorption-Desorption Characteristics of Selected Acid Upland Soils in Indonesia. *Soil Science and Plant Nutrition*, *51*(6), 787-799.

Hashemi, M., Gholam Ali Zadeh Ahangar, A., Bameri, A., Sarani, F. and Hejazi Zadeh, F. (2016). Identification and Zoning of Soil Physical and Chemical Properties Using Geostatistical Methods in GIS (Case Study: Meskangi-Sistan Region). *Journal of Water and Soil Science and Agriculture Industry*, 30(2), 458-443. (In Farsi).

Hassani Pak, A. A. (1998*). Geostatistical*. First Edition, University of Tehran Publications, 314 pages. Iran, 611p.

He, Y., and Li, Z. (2000). Nutrient cycling and balance in red soil agroecosystem and their management. *Pedosphere*, *10*(2), 107-116.

Imaz, M. J., Virto, I., Bescansa, P., Enrique, A., Fernandez-Ugalde, O., and Karlen, D. L. (2010). Soil quality indicator response to tillage and residue management on semi-arid Mediterranean cropland. *Soil and Tillage Research*, *107*(1), 17-25.

Iqbal, J., Thomasson, J. A., Jenkins, J. N., Owens, P. R., and Whisler, F. D. (2005). Spatial variability analysis of soil physical properties of alluvial soils. *Soil Science Society of America Journal*, *69*(4), 1338-1350.

Jiang, P., and Thelen, K. D. (2004). Effect of soil and topographic properties on crop yield in a north-central corn–soybean cropping system. *Agronomy Journal*, *96*(1), 252-258.

Johnston, A. E., Goulding, K. W. T., and Poulton, P. R. (1986). Soil acidification during more than 100 years under permanent grassland and woodland at Rothamsted. *Soil use and management*, *2*(1), 3-10.

Jose sione, S. M., Wilson, M.G., Lado M and Gonzalez. 2017. Evaluation of soil degradation produced by rice crop system in a vertisol, using a soil quality index. *Catena*, 150:79-86.

Kargar, M., and Farzi, H. (2018). Mapping of some soil characters using geostatistis and GIS. The third national conference of soil conservation and watershed management. Soil conservation and watershed management research institute of Iran. Tehran. Iran.

Kazemi Poshtesari, M., Tahmasebi Sarvestani, Z, Kamkar, B., Shattai, Sh and Sadeghi, S. (2012). Evaluation of Geostatistical Methods for Estimation and Zoning of Primary Food Elements in Some Agricultural Lands of Golestan Province. *Journal of Soil and Water Science*, 22(1), 218-201.

Khadka, D., Lamichhane, S., Khan, S., Joshi, S., and Pant, B. B. (2016). Assessment of soil fertility status of Agriculture Research Station, Belachapi, Dhanusha, Nepal. *Journal of Maize Research and Development*, *2*(1), 43-57.

Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, *304*(5677), 1623-1627.

Li, P., Zhang, T., Wang, X., and Yu, D. (2013). Development of biological soil quality indicator system for subtropical China. *Soil and Tillage Research*, *126*, 112-118.

Li, Y., Niu, S., and Yu, G. (2016). Aggravated phosphorus limitation on biomass production under increasing nitrogen loading: a meta-analysis. *Global Change Biology*, *22*(2), 934-943.

Mahmoud Soltani, S., Davatgar, N., Shakouri, M and Paykan, M. (2017). Spatial variability of phosphorus fractions in paddy soils. *J. of Water and Soil Conservation, 24(5), 93-109.*

Mahmoud Soltani, S., Eftekhari, K., Karbalai Agha molki, M.T. and Shakoori, M. (2019). Detailed Soil Classification, Mapping of Some Selected Soil Characteristics and Land Suitability Evaluation for Rice and Recommended Second Crops in Gav-Dasht Research Station, Mazandaran Province. Final report.Rice research institute of Iran. Rasht. Iran. (In Press, In Farsi).

Malakooti, M.J., and Kavoosi, M. 2004. *Balance nutrition of rice*. SANA publication press.

Marx, D. B., and Thompson, K. C. (1987). Practical aspects of agricultural kriging. *Bulletin-Arkansas, Agricultural Experiment Station (USA)*.

Meersmans, J., van Wesemael, B., De Ridder, F. A., and Van Molle, M. (2009). Modelling the three-dimensional spatial distribution of soil organic carbon (SOC) at the regional scale (Flanders, Belgium). *Geoderma*, *152*(1-2), 43-52.

Minasny, B., McBratney, A. B., Mendonça-Santos, M. D. L., Odeh, I. O. A., and Guyon, B. (2006). Prediction and digital mapping of soil carbon storage in the Lower Namoi Valley. *Soil Research*, *44*(3), 233-244.

Minestry of Jahad e Agriculture. (2017).The annual statistics of agricultural crops. MJA press.Tehran.Iran. (In Farsi).

Mirnia, K. H., and Mohammadian, M. (2005). Rice, disorders and management of alimentary ingredients.Mazndaran University press.Iran.436p. (In Farsi)

Mohammadi, J. (2006). Pedometry (Spatial statistics). *Pelk issue*.Iran.453p.

Mohammadi, J. 1999. Study of spatial variability of salinity in Ramhormoz region (Khuzestan) using geostatistical theory. *Journal of Agricultural Science and Techniques*, 3(1), 1-8.

Needelman, B. A., Gburek, W. J., Sharpley, A. N., and Petersen, G. W. (2001). Environmental Management of Soil Phosphorus. *Soil Science Society of America Journal*, *65*(5), 1516-1522.

Olsen, S. R., Sommers, L. E., and Page, A. L. (1982). *Methods of soil analysis. Part*, *2*, 403-430.

Owliaie, H.R., Najafi Ghiri, M.(2012). Effect of Long-Term Rice Cultivation on Physico-Chemical Properties and Clay Mineralogy of Soils in Yasouj Region. *J. Sci. and Technol. Agric. And Natur. Resour, Water and Soil Sci.*, 17(65), 39-49.

Qi, Y., Darilek, J. L., Huang, B., Zhao, Y., Sun, W., and Gu, Z. (2009). Evaluating soil quality indices in an agricultural region of Jiangsu Province, China. *Geoderma*, *149*(3-4), 325-334.

Reza, S. K., Baruah, U., and Sarkar, D. (2013). Hazard assessment of heavy metal contamination by the paper industry, north-eastern India. *International journal of environmental studies*, *70*(1), 23-32.

Reza, S. K., Dutta, D., Bandyopadhyay, S., and Singh, S. K. (2019). Spatial Variability Analysis of Soil Properties of Tinsukia District, Assam, India. *Agricultural Research*, *8*(2), 231-238.

Rezaei, H., Esmail Nejad, L., Saadat, Q and P, Maleki. (2018). Zoning of effective parameters on paddy soil fertility quality for optimal fertilizer management. *Journal of Soil and Water Conservation Research*. 25(4), 259-274. (in Farsi).

Risser, P.G. (1991). Long-term Ecological Research, an International Perspective. Wiley, New York.USA. pp. 1– 290.

Roades, J. D.1982. Soluble salts. P. 167-179. In A. L. Page et.al. (ed). Methods of soil analysis. Part 2. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.

Schoning, I., Totsche, K.U., and Kögel-Knabner, I. (2006). Small scale spatial variability of organic carbon stocks in litter and solum of a forested Luvisol. *Geoderma*, *136*(3-4), 631-642.

Shahbazi, K. and Besharati, H. (2013). An overview of the fertility status of Iranian agricultural soils. Land Management Journal, 1(1),1-15.

Shakouri Katigiri, M., Shabanpour, M., Asadi, H., Duwatgar, N. and Babazadeh, S. (2011). Evaluation of the efficiency of spatial interpolation methods in carbonation and bulk density characterization of Guilan province paddy soils. Journal of Water and Soil Conservation Research, 18(2), 195-210. (In Farsi).

Shindo, H., Watanabe, D., Onaga, T., Urakawa, M., Nakahara, O., and Huang, Q. (2002). Adsorption, activity, and kinetics of acid phosphatase as influenced by selected oxides and clay minerals. *Soil Science and Plant Nutrition*, *48*(5), 763-767.

Sione, S. M. J., Wilson, M. G., Lado, M., and González,

A. P. (2017). Evaluation of soil degradation produced by rice crop systems in a Vertisol, using a soil quality index. *Catena*, *150*, 79-86.

Sun, B., Zhou, S., and Zhao, Q. (2003). Evaluation of spatial and temporal changes of soil quality based on geostatistical analysis in the hill region of subtropical China. *Geoderma*, *115*(1-2), 85-99.

Susanto, A. N. (2013). Spatial Variability of Soil Inherent Fertility Status at Irrigation Rice Field in Waeapo Plain, Buru Regency. *Journal of Tropical Soils*, *18*(2), 115-124.

Swarup, A. (1985). Yield and nutrition of rice as influenced by pre-submergence and amendments in a highly sodic soil. *Journal of the Indian Society of Soil Science*, *33*(2), 352-357.

Sys, I. C., Van Ranst, E., Debaveye, I. J., and F. Beenaert. (1993). Land evaluation (Part I-III). Crop Requirements. 199p. General Administration for Development Cooperation, Brussels. Belgium.

Tesfahunegn, G. B. (2014). Soil quality assessment strategies for evaluating soil degradation in Northern Ethiopia. *Applied and Environmental Soil Science*, *2014*.

Thomas, G.W. (1982). *Exchangeable cations.* In: Page A L., Miller R.H. and Keeney D.R. (Eds.), *Methods of Soil Analysis- Part 2*. American Society of Agronomy, Madison, 159-165.

Tsegaye, T., and Hill, R. L. (1998). Intensive tillage effects on spatial variability of soil test, plant growth, and nutrient uptake measurements. *Soil Science*, *163*(2), 155-165.

Velasquez, E., Lavelle, P., and Andrade, M. (2007). GISQ, a multifunctional indicator of soil quality. *Soil Biology and Biochemistry*, *39*(12), 3066-3080.

Veronesi, F., Corstanje, R., and Mayr, T. (2014). Landscape scale estimation of soil carbon stock using 3D modelling. *Science of the Total Environment*, *487*, 578-586.

Walkley, A., and Black, I. A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil science*, *37*(1), 29-38.

Webster, R., and Oliver, M. A. (2000). *Geostatistics for environmental scientists*. John Wiley and Sons.

Webster, R., and Oliver, M. A. (2007). Characterizing spatial processes: the covariance and variogram. *Geostatistics for Environmental Scientists, 2nd edn. Wiley, Chichester*, 47-73.

Yao, R., Yang, J., Gao, P., Zhang, J., and Jin, W. (2013). Determining minimum data set for soil quality assessment of typical salt-affected farmland in the coastal reclamation area. *Soil and Tillage Research*, *128*, 137-148.

Yingbin, H., Uchida, S., Huajun, T., Youqi, C., and Jia, L. (2010). Application of TERRA/MODIS images, TM images and weather data to assess the effect of cold damage on rice yield. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, *3*(2), 31-38.

Zareii, V., and Sheklabadi, M. (2011). Effect of land use change and slope position on soil organic carbon segments. The first national congress of agricultural science and new technologies. Znjan University. Zanjan. Iran.

Zhang, C., and McGrath, D. (2004). Geostatistical and GIS analyses on soil organic carbon concentrations in grassland of southeastern Ireland from two different periods. *Geoderma*, *119*(3-4), 261-275.