نشریه پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب) / الف / جلد 33 / شماره 2 / 1398

10.22092/ijsr.2019.124411.415

ارزیابی رابطه عملکرد با شاخصی ازکیفیت خاک در اراضی شالیزاری

مریم شکوری کتیگری، شهرام محمود سلطانی[1]، محمد تقی کربلایی آقا ملکی و فاطمه کشتکار

کارشناس ارشد آزمایشگاه، مؤسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت ایران؛ maryamshakouri@ymail.com

استادیار مؤسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران؛ shmsoltani@gmail.com

استادیار مؤسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی،آمل، ایران؛ mtkarbalai2@yahoo.com

کارشناس آزمایشگاه ، مؤسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران؛ maryam_paykan@yahoo.com

دریافت: 97/10/2 و پذیرش: 98/3/18

چکیده

برنج یکی از محصولات استراتژیک ایران بوده که تأمین‌کننده درصد بالایی از کالری و پروتئین مورد نیاز مردم است. افزایش جمعیت و به دنبال آن افزایش نیازغذایی، شناخت روابط عملکرد و شرایط خاک را ضروری می‌سازد. یکی از شاخص‌هایی که شرایط خاک و ویژگی‌های مربوط به آن را به خوبی نشان می‌دهد شاخص کیفیت خاک[2] (SQI) است. در این پژوهش به منظور بهبود مدیریت صحیح اراضی شالیزاری منطقه گلدشت واقع دراستان مازندران،روابط بین عملکرد و کیفیت خاک بررسی شد. 128 نمونه مرکب خاک برای اندازه‌گیری برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی تهیه گردید. اندازه‌گیری عملکرد دانه در هنگام برداشت محصول، در تمام کرت‌ها در رطوبت 14درصد انجام شد. برای تعیین SQI، ابتدا ویژگی‌هایی که بیشترین تأثیر را برSQI منطقه دارند، به کمک تجزیه به مولفه‌های اصلی جدا گردید. از منطق فازی برای تبدیل ویژگی‌های کمی خاک به رتبه‌بندی کیفی استفاده شد و در نهایت با استفاده از مفهوم ضریب تغییرات، تلفیق شاخص‌ها انجام شد. میانگین عملکرد در منطقه مورد بررسی 3498 کیلوگرم در هکتار و SQI بین 0/47 تا 0/97 در نوسان بود. بر اساس کلاس‌بندیSQI مهمترین عامل محدودکننده کیفیت خاک، فسفر قابل‌استفاده است. برخلاف انتظار نتایج حاکی از آن است که بین عملکرد و SQI در منطقه مورد بررسی همبستگی معنی‌داری وجود ندارد (دلایل در بحث توضیح داده شد). مقایسه بین نقشه‌های عملکرد و کیفیت خاک نشان می‌دهد که وجود شرایط مناسب ویژگی‌های خاک در کنار مدیریت صحیح مزرعه می‌تواند در به حداکثر رساندن عملکرد برنج مؤثر باشد. مدیریت مناسب کشاورزان کاستی‌ها و شرایط تاحدی نامناسب خاک را می‌تواند ترمیم نماید. این در حالی است که در بسیاری از موارد کیفیت مناسب خاک به تنهایی نمی‌تواند کاستیهای مدیریت زراعی را جبران نماید.

واژه‌های کلیدی: تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، منطق فازی و عملکرد برنج

---

[1]. نویسنده مسئول، آدرس: رشت – موسسه تحقیقات برنج کشور- بخش تحقیقات خاک وآب

[2]. Soil quality Index

مقدمه

برنج (Oryza sativa L.) غذای اصلی نزدیک به سه میلیارد نفر از جمعیت جهان و تأمین کننده 70 درصد کالری و 25 درصد پروتئین مورد نیاز آنها است. 90% برنج در آسیا و آفریقا تولید و مصرف می‌شود (بارا و پندی،2005). در ایران، استان‌های گیلان و مازندران با تولید حدود 80 درصد، بزرگترین تولیدکنندگان برنج کشور می‌باشند (نصیری و پیردشتی، 2003). نظام‌های تولید برنج گستره‌ای از نظام‌های دیم تک‌کشتی با عملکرد پایین (میانگین تولید یک تا سه تن در هکتاردانه در یک دوره کشت) تا نظام‌های کشت فاریاب با سه بار کشت در سال (میانگین تولید 5 تا 6 تن دانه در هکتار در هر دوره کشت) را در بر می‌گیرد. اگرچه میانگین عملکرد جهانی برنج فاریاب 5 تن در هکتار برای هر دوره کشت است، اما میانگین عملکرد ملی، منطقه‌ای و فصلی به طور گسترده‌ایی متغیر بوده (میرنیا و محمدیان، 1384) و تغییرات آن تابعی از اقلیم، ویژگی‌های خاک، روش‌های مدیریتی (کانفالونیری و همکاران، 2009) و ژنوتیپ گیاه (میرنیا و محمدیان، 1384) است.

خاک به عنوان یکی از مهمترین اجزای محیط زیست و شناخته شده‌ترین بستر رشد و نموگیاه بوده و بسیاری از ویژگی‌های آن روی رشد و عملکرد گیاه تأثیر معنی‌دار داشته و تغییر در این خصوصیات تغییرپذیری عملکرد را در پی خواهد داشت (بومن و همکاران، 2006)، چراکه تخریب این ویژگی‌ها موجب کاهش سطح باروری خاک، مواد مغذی و در نهایت سبب کاهش بهره‌وری آن و عملکرد گیاه می‌گردد (گری و مورانت، 2003). یکی از شاخص‌هایی که شرایط خاک و ویژگی‌های مربوط به آن را به خوبی نشان می‌دهد شاخص کیفیت خاک (SQI) است که برای طبقه‌بندی مناسب و تخصیص منابع ورودی (داده‌ها) کشاورزی معرفی شده (وارکنتین و فلتچر، 1977) و تأثیر بسیاری از ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی خاک را در خود جای می‌دهد (موبیوس و همکاران، 2011). جامع‌ترین تعریف کیفیت خاک (ارائه شده توسط انجمن علوم خاک آمریکا) عبارت است از: توانایی پیوسته خاک در انجام وظایف خود به‌عنوان یک سیستم حیاتی زنده در داخل مرزهای طبیعی و یا مدیریت شده یک اکوسیستم و تحت کاربری‌های متفاوت، برای تولید پایدار گونه های جانوری و گیاهی به‌طوری که علاوه بر حفظ تولید بیولوژیک و محیط زیست، بتواند کیفیت آب و هوا را بهبود بخشیده و نیز تأمین‌کننده‌ی سلامت انسان، گیاه و حیوان زنده درون اکوسیستم مذکور باشد (دوران و پارکین، 1994). بررسی عوامل مؤثر در ارزیابی کیفیت خاک بر پایه عملکرد گیاه می‌تواند رهنمودی راهگشا برای مدیریت علمی‌تر در تولید محصولات کشاورزی (چنگ و همکاران، 2016) از جمله برنج باشد. در واقع عملکرد محصول یکی ازمعیارهای مورد استفاده برای ارزیابی کیفیت خاک می‌باشد (وارکنتین و فلتچر، 1977، لی و همکاران، 2013، رضایی و همکاران، 2006، چادهوری و همکاران، 2005). در این راستا چهارچوب تعیین شاخص کیفیت خاک در پنج مرحله مشخص می‌شود (چنگ و همکاران، 2016): 1) تعریف عملکرد محصول به عنوان یک هدف 2) انتخاب روش‌هایی برای تهیه یک مجموعه حداقلی از داده‌ها[1] (MDS) 3)نمره‌دهی و وزن‌دهی هریک از شاخص‌های مجموعه حداقلی از داده‌ها 4) دست‌یابی به یک شاخص تلفیقی کیفیت خاک براساس نمره‌دهی و وزن هریک از شاخص‌ها و 5) بررسی همبستگی بین شاخص کیفیت خاک و عملکرد محصول. البته هر یک از مراحل بالا می‌تواند در شرایط مختلف اصلاح و یا تغییر پیدا کند. مرحله دوم یا انتخاب روش‌هایی برای تهیه یک مجموعه حداقلی از داده‌ها کلیدی‌ترین بخش از بخش‌های پنج‌گانه تعیین شاخص کیفیت خاک می‌باشد.

اگرچه برخی از محققان شاخص کیفیت خاک را بر اساس کل ویژگی‌های اندازه‌گیری شده خاک[2] (TDS) تعیین کردند (دوران و پارکین، 1994، چروبین و همکاران، 2014)، اما به دلیل هزینه‌بر بودن و عدم درک صحیح از تأثیر همه آنها اینکار عملی و شدنی نیست. بنابراین ضروری است که مجموعه‌ایی از حداقل داده‌ها را به کار ببریم (چروبین و همکاران، 2014). مجموعه حداقلی از داده‌ها به طور گسترده‌ایی مورد قبول است زیرا ویژگی‌های انتخابی می‌توانند اطلاعات کافی برای ارزیابی کیفیت خاک فراهم نموده (رضایی و همکاران، 2006، دوران و زییس، 2000اندروز و همکاران، 2002) و سبب شود تا نیاز به اندازه‌گیری تعداد زیادی از ویژگی‌های خاک کاهش یابد (لی و همکاران، 2013).

برای نمره‌دهی هریک از شاخص‌های مجموعه حداقلی از داده‌ها از منطق فازی (کرمنوف، 2004) و برای وزن‌دهی آنها از روش‌هایی مانند تجزیه مولفه اصلی (اندروز و کراول، 2001)، نظر کارشناسان (اندروز و همکاران، 2002) و تحلیل عاملی (شوکلا و همکاران، 2006 می‌توان استفاده نمود. از آنجائیکه در مناطق مرطوب تمایز خاک‌ها در نمای اراضی کمتر بوده و مرز بین خاک‌ها اغلب بدلیل ساختار پیوسته سیستم (محمدی،

[1] Minnimum data set
[2] Total data set

1385) مبهم می‌باشد (دبرون و استین، 1998). استفاده از منطق فازی برای نمره‌دهی به عنوان یک روش کارا استفاده می‌گردد (کرمنو، 2004). منطق فازی در ارزیابی کیفیت خاک بسیار کارآیی داشته و اطلاعات کمتری در مراحل آنالیز داده‌ها از دست رفته و روش‌های بسیار بهتری برای کلاس‌بندی تغییرپذیری پیوسته می‌باشند. همچنین عملگرهای ترکیب توابع عضویت فازی می‌توانند برای ترکیب مجموعه‌های مختلف ویژگی‌های خاک در یک شاخص کیفیت خاک، استفاده شوند (بارو وهمکاران، 1992.؛ دلسوز و همکاران، 1397). دابرمن و اوبرتور (1997) برای تعیین کیفیت حاصلخیزی ذاتی و عرضه عناصر غذایی اراضی شالیزاری کشور فیلیپین و دوات گر و همکاران (2012) برای بازنمایی کیفیت حاصلخیزی اراضی شالیزاری شهرستان صومعه‌سرا از این روش استفاده کردند.

یکی از کاربردی‌ترین روش‌ها برای وزن‌دهی ویژگی‌های خاک، استفاده از مفهوم ضریب تغییرات است (اورتگا و سنتی‌بانز، 2007). در این روش هر چه یک ویژگی دارای تغییرات بیشتری باشد، می‌تواند اثر بزرگتر و وزن بالاتری را در شاخص کیفیت خاک به خود اختصاص دهد. نتایج نشان داد این روش تقسیم‌بندی مناسب برای تعیین مناطق مدیریت همگن از نظر باروری خاک بوده و در اکثر نقاط تحت آزمون (در77٪ مناطق تعریف شده) توسط آن قادر به تشخیص سطوح عملکرد بودند (اورتگا و سانتی بانز، 2007). در مرحله چهارم تلفیق رتبه‌های کیفی به یک شاخص، به عنوان شاخص کیفیت خاک انجام می‌گیرد. چنگ و همکاران (2016) به بررسی کیفیت خاک بر پایه عملکرد برای 13000 هکتار باغات پرتقال در یکی از ایالات چین پرداختند. آنها از بین 17 ویژگی اندازه‌گیری شده، با کمک آزمون پیرسون پنج ویژگی را به عنوان یک مجموعه حداقلی از داده‌ها انتخاب نمودند. آنها از دو روش وزن‌دهی تجزیه به مولفه‌اول و آنالیز رگرسیون چندگانه برای وزن‌دهی ویژگی‌های خاک استفاده نمودند. نتایج این پژوهش نشان داد که حساسیت و دقت روش آنالیز رگرسیون چندگانه برای وزن‌دهی بیشتر بوده و این روش را برای تعیین وزن در این منطقه پیشنهاد نمودند. لیو و همکاران (2014) در بررسی تغییرات مکانی عملکرد برنج، 9 خصوصیت شیمیایی مؤثر بر عملکرد و کیفیت خاک را مورد تجزیه و تحلیل قرار داده و نشان دادند که بین عملکرد و pH، پتاسیم قابل استفاده، گنجایش‌تبادل کاتیونی و سیلیس همبستگی مثبت و بین عملکرد و نیتروژن و روی در دسترس همبستگی منفی وجود دارد. آنها پایین بودن مقدار pH، پتاسیم قابل استفاده، گنجایش‌تبادل کاتیونی و سیلیس را از مهمترین مشکلات محدود کننده تولید برنج دانسته و بیان نمودند که ممکن است کودهای حاوی نیتروژن و روی بیش از حد نیاز گیاه مصرف شده باشد که بایستی با دقت بیشتری در آینده مصرف شوند. آنها با استفاده از ویژگی‌های شیمیایی شاخص کیفیت خاک را محاسبه و همبستگی معنی‌داری بین عملکرد و شاخص کیفیت خاک مشاهده نمودند که گواهی بر یافته‌های پیشین آنها بود که نشان می‌داد ویژگی‌های شیمیایی خوب و به اندازه برای تولید محصول کشاورزی بهینه و پایدار ضروری است. تغییرات قابل توجه بین عملکرد و شاخص کیفیت خاک نشان می‌دهد برای دست یابی به توان بالقوه خاک در افزایش تولید برنج این شاخص چشم‌اندازی دست یافتنی را ارائه می‌کند (واسو و همکاران، 2016).

خاکی و همکاران (1397) در ارزیابی تناسب اراضی و کیفیت حاصلخیزی ذاتی خاک برای کشت برنج در اراضی شالیزاری شهرستان‌های شفت و فومن گزارش نمودند که بر پایه کیفیت حاصلخیزی ذاتی خاک، ضخامت لایه شخم با تأثیر بر نفوذ ریشه و حجم خاک قابل دسترس برای عناصر غذایی مهمترین عامل محدودکننده بوده و ضریب تبیین هریک از شاخص‌های محاسبه شده به روش‌های فائو و کیفیت حاصلخیزی ذاتی با تولید واقعی برنج، به ترتیب0/73 و 0/61 است. نتایج این مطالعه نشان داد که استفاده از شاخص کیفیت حاصلخیزی ذاتی خاک در کنار ارزیابی تناسب اراضی در تعیین نواحی مستعد برای کشت برنج و مدیریت نهاده‌های کودی مؤثر می‌باشد. با توجه به اهمیت راهبردی کشت برنج در استان‌های شمالی کشور و ضرورت نگاه علمی به آن پژوهش حاضر با اهداف زیر به انجام رسید:

(1) دست یابی به یک مجموعه حداقلی از ویژگی‌های مهم خاک برای کشت برنج؛

(2) ارزیابی کیفیت خاک در مقیاس منطقه‌ای بر اساس عملکرد برنج؛

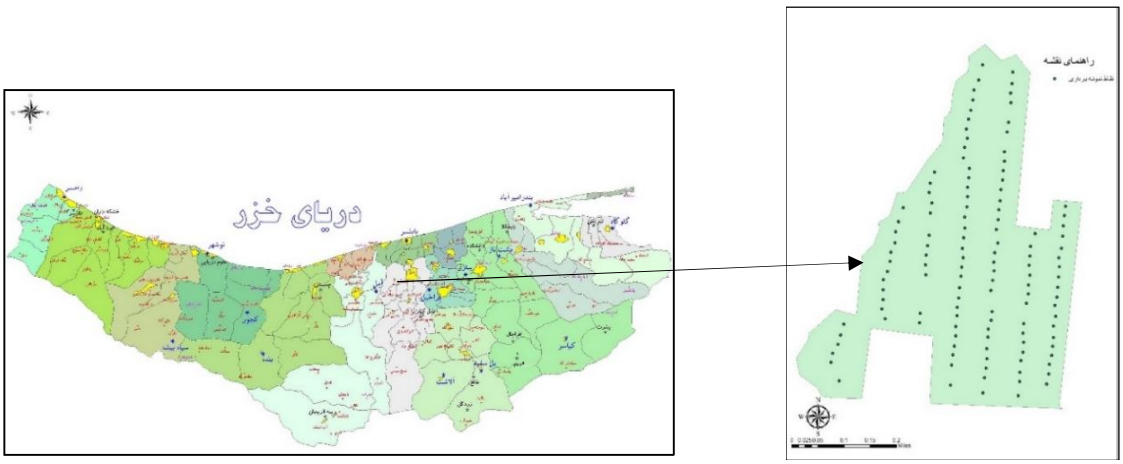
و (3) ارائه راهنمایی‌هایی در مورد شیوه‌های مناسب مدیریت خاک برای توسعه پایدار تولید برنج.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی

مزرعه پژوهشی ایستگاه گلدشت معاونت موسسه تحقیقات برنج کشور با مساحت 66 هکتار در جنوب شهرستان آمل استان مازندران قرار دارد. این منطقه دارای مختصات جغرافیایی 52 درجه و 21 دقیقه طول شرقی و 26درجه و 25 دقیقه عرض شمالی است. مزرعه پژوهشی ایستگاه گلدشت شامل 128 کرت با میانگین

طول 100 متر و عرض30 متر می‌باشد. بر روی این اراضی در چند سال اخیر عملیات تجهیز و نوسازی اراضی صورت پذیرفته و به مدت سه سال زراعی در آن کشت برنج انجام گرفته است. با وجود عملیات تجهیز و نوسازی اراضی بصورت تراس‌بندی، کرت‌ها دارای شیب جانبی کمتر از یک درصد به سمت زهکش‌های آب می‌باشند. میانگین بارش سالیانه 750 میلی متر برآورده شده است. طبق نقشه رژیم رطوبتی و حرارتی خاک‌های ایران (بنایی،1377) خاک‌های منطقه مورد مطالعه دارای رژیم های رطوبتی آکوئیک و یودیک و رژیم حرارتی ترمیک بوده و بر اساس سیستم طبقه بندی آمریکایی در رده اینسپتی سول طبقه بندی می-شوند. شکل شماره 1 نقشه منطقه مورد بررسی و نقاط نمونه‌برداری را نشان می دهد.



شکل 1- نقشه منطقه مورد بررسی (گلدشت) و نقاط نمونه‌برداری

نمونه‌برداری و آنالیزهای آزمایشگاهی

نمونه‌برداری از هر 128 کرت به صورت مرکب (پنج نمونه ساده) انجام، نمونه‌ها مخلوط و حدود یک کیلوگرم خاک از هر کرت برای اندازه‌گیری برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه شیمی خاک موسسه تحقیقات برنج کشور فرستاده شد. نمونه‌های خاک هوا خشک شده و پس از عبور از الک 2 میلی‌متری برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن‌ها مانند بافت خاک به روش هیدرومتر بایکاس (جی و باودر، 1986)، اسیدیته عصاره اشباع با الکترود شیشه‌ای (بایت،1973)، هدایت الکتریکی (EC) در عصاره اشباع به روش هدایت سنجی (رودز، 1996)، ماده آلی به روش اکسیداسیون تر(واکلی و بلاک، 1934)، گنجایش تبادل کاتیونی به روش استات سدیم در اسیدیته 7 (باور، 1952)، فسفر قابل استفاده به روش اولسون (1954)، نیتروژن کل بر اساس روش کجلدال (برمنر، 1965)، پتاسیم قابل استفاده به روش عصاره‌گیری با استات آمونیوم، عناصر میکرو به روش عصاره‌گیری با DTPA (لیندسی و نورول ، 1978) اندازه‌گیری گردید. برای اندازه‌گیری عملکرد دانه، در هنگام برداشت محصول، در تمام کرت‌ها و با انطباق حداکثری با موقعیت‌های نمونه‌برداری خاک، از وسعتی به ابعاد 1متر مربع خوشه‌های گیاه برنج برداشت شده و به آزمایشگاه انتقال یافتند. پس از حذف دانه‌های پوک، وزن دانه‌های پر در رطوبت 14درصد تعیین و به‌عنوان عملکرد دانه ثبت شد. همچنین داده‌های عملکرد دانه فوق با میزان عملکرد دانه کل کرت (کیلوگرم در هکتار) صحت سنجی گردید.

تجزیه و تحلیل‌های آماری

به منظور بررسی توزیع داده‌ها و دستیابی به خلاصه‌ای از اطلاعات آماری ویژگی‌های خاک، میانگین، حداقل و حداکثر، چولگی، و واریانس ویژگی‌های خاک محاسبه شد. به منظور بررسی آزمون نرمال داده‌ها از آزمون کولموگرف-اسمیرونوف استفاده و در نهایت برای داده‌های غیرنرمال از تبدیل‌های لاگ-نرمال و ریشه مربعات استفاده شد. کاهش حجم داده‌ها (ویژگی‌هایی که بیشترین تأثیر را بر کیفیت خاک منطقه دارند) با استفاده از روش تجزیه به مؤلفه اصلی انجام گرفت. پیش از این مرحله، از آزمون[1] کایزر-مایر-الکین (KMO) جهت

[1] Kaiser-Meyer-Olkin

تشخیص مناسب بودن داده‌ها برای تجزیه به مولفه‌های اصلی استفاده شد. برای تبدیل ویژگی‌های کمی خاک به رتبه‌بندی کیفی از منطق فازی استفاده شد. با استفاده ازتوابع منطق فازی کمیت ویژگی‌های خاک به اعداد عضویت فازی در قالب یک متغیر پیوسته در بازه صفر تا یک تبدیل شدند که در آن یک و صفر به ترتیب نشاندهنده عضویت کامل و عدم عضویت در مجموعه است. در اولین تابع، ویژگی خاک‌ها بر پایه اصطلاح "بیشتر بهتر است" رتبه‌بندی شد. مقادیر هر ویژگی در گروه "بیشتر بهتر است" به بیشترین مقدار در گروه تقسیم شد، به طوری‌که ویژگی با بیشترین مقدار، رتبه یک را دریافت کرد. در گروه "کمتر بهتر است"، مقادیر هر ویژگی به کمترین مقدار تقسیم شد به طوری‌که متغیر یا کمترین مقدار رتبه یک را در در گروه مربوطه می‌گیرد. با این توابع تبدیل داده‌های اولیه در دامنه بین 0/1 تا 1 قرار گرفتند (ولاسکوز و همکاران):

$$Y=0.1+\left(\frac{(X-b)}{(a-b)}\right)*0.9 \quad (1)$$

$$Z=1-\left(\frac{(x-b)}{(a-b)}\right)*0.9 \quad (2)$$

که در آن Y و Z مقادیر متغیرها بعد از تبدیل داده‌ها، X مقادیر داده‌های اولیه و b و a به ترتیب حد بحرانی پایین و بالا را در هر یک از متغیرها نشان می‌دهند. از رابطه 1 برای تابع تبدیل خطی "بیشتر بهتر است" ، از رابطه 2 برای تابع تبدیل خطی "کمتر بهتر است" و برای حالت " بهینه بهتر است" از ترکیب دو رابطه 1 و 2استفاده می‌شود (تسفاهونجن، 2014): پس از محاسبه تابع عضویت شاخص کیفیت خاک با رابطه زیر محاسبه گردید:

(3)

$$SQI = \sum_{i=1}^{n} W_i N_i$$

که در آن ، Wi وزن، Ni درجه عضویت است که از رابطه یک و دو محاسبه گردیده و n تعداد ویژگی‌های اندازه‌گیری شده خاک است (سان و همکاران، 2003). وزن هریک از ویژگی‌های خاک، از تقسیم مقادیر ضریب‌تغییرات آن ویژگی، بر مجموع ضریب تغییرات به دست آمده است (اورتگا و سانتی‌بانز، 2007):

(4)

$$wi = \frac{CV_i}{\sum CV_i}$$

که در آن، Wi وزن هر یک از ویژگی‌های i و CVi ضریب تغییرات هر یک از متغیرها می‌باشد. محاسبات مربوط به توابع فازی با استفاده از نرم‌افزار Excel و تبدیل نقاط به پهنه با استفاده از نرم‌افزار(GIS(Arcmap10.4.1 صورت گرفت.

بحث و نتایج

آمار توصیفی

آماره‌های توصیفی حداقل و حداکثر، میانگین، واریانس، چولگی و ضریب تغییرات ویژگی‌های مورد مطالعه در جدول 1 نشان داده شدند. بر اساس آزمون کولموگرف-اسمیرونوف فسفر قابل استفاده، روی و درصد شن از توزیع غیرنرمال پیروی می‌کنند. از دلایل غیرنرمال بودن توزیع فراوانی وجود جوامع فرعی مجزا، داده پرت، واریانس غیریکنواخت (دواتگر و همکاران، 2004؛ تیم سینا و کونور، 2001)، تفاوت در فرآیندهای شیمیایی مؤثر بر رفتار متغیرها و وجود مواد مادری غیریکنواخت است. از سوی دیگر به تأثیر رفتارهای مدیریتی گوناگون (مانند تفاوت در نوع رقم برنج، تفاوت در مقدار مصرف و نوع کودهای شیمیایی توسط زارعین و شرایط زهکشی خاک) نیز می‌توان اشاره نمود (کامباردلا و همکاران، 1994). وبستر و الیور (2000) نشان دادند که می‌توان از تبدیل‌های لگاریتمی برای داده‌های غیرنرمال با ضریب چولگی بزرگتر از یک و ریشه مربعات برای داده‌های با ضریب چولگی بین نیم و یک استفاده نمود. بر همین اساس برای نرمال شدن فسفر قابل استفاده و روی از لاگ نرمال و درصد شن از ریشه مربعات برای نرمال سازی استفاده شد. نتایج نشان می‌دهد که دامنه pH خاک در اراضی مورد مطالعه بین7/1 تا 7/73 با میانگین7/4 است. بارندگی زیاد سالانه و روش آبیاری غرقابی در کشت برنج می‌تواند بر میزان آبشویی و انتقال کاتیون‌های بازی به افق‌هایی زیرین و در نتیجه کاهش pH خاک‌های سطحی تأثیر زیادی داشته باشد ولی تحت شرایط خاک بی‌هوازی (خاک شالیزاری غرقاب شده)، pH خاک تمایل به افزایش یا کاهش (بسته به میزان اولیه) به سمت واکنش خنثی (pH=7) از خود نشان می‌دهد از این رو این ویژگی کمترین ضریب‌تغییرات را از خود نشان می دهد، زیرا مقادیر pH بر پایه یک مقیاس لگاریتمی از غلظت پروتون در محلول خاک می‌باشد، بتابراین برای یک تغییر کوچک در pH بایستی غلظت پروتون در محلول خاک به مقدار زیادی تغییر کند (سان و همکاران، 2003).

سلحشور و همکاران (1392) برای رقم هاشمی حد آستانه شوری را در هدایت الکتریکی عصاره اشباع 2/83 دسی‌زیمنس بر متربه دست آوردند. میانگین EC در منطقه مورد مطالعه 0/79دسی‌زیمنس بر متر بود که به نظر می‌رسد منطقه مورد مطالعه از نظر شوری برای رشد گیاه برنج فاقد محدودیت باشد. دامنه کربن‌آلی خاک بین 1/95

تا 0/59 درصد، با میانگین 1/4 درصد است. میانگین نیتروژن کل خاک در اراضی شالیزاری این منطقه0/13 درصد با چولگی منفی می‌باشد (جدول 1)، مقدار چولگی منفی نشان از توزیع نامتقارن با کشیدگی به سمت مقادیر کوچکتر است. حد بحرانی نیتروژن کل برای کشت برنج دو دهم درصد است (دواتگر و همکاران، 1394). با توجه به این حد بحرانی، بیشتر کرت‌های مورد مطالعه دارای کمبود نیتروژن برای رسیدن به حداکثر عملکرد می‌باشند. برطرف کردن کمبود نیتروژن آسان و پاسخ گیاه به مصرف کود نیتروژنی سریع می‌باشد. پاسخ گیاه به مصرف کود نیتروژنی تقریباً بعد از 2 تا 3 روز پدیدار می‌گردد. البته این امر به رقم برنج، نوع خاک، شرایط آب و هوایی، نوع کود نیتروژنی مصرف شده، مقدار، زمان و روش مصرف کود بستگی دارد (میرنیا و محمدیان، 1384). میانگین غلظت فسفر قابل‌استفاده 23 میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد. حدود 38 درصد از 128 کرت شالیزاری ایستگاه گلدشت دارای فسفر قابل‌استفاده کمتر از حد بحرانی 12 میلی‌گرم بر کیلوگرم (میرنیا و محمدیان،1384) بوده، بنابراین به نظر می‌رسد این کرت‌ها به کوددهی پاسخ مناسب خواهند داد. البته برای دریافت پاسخ مناسب به مصرف کود فسفره، برطرف کردن کمبود عناصر غذایی دیگر (نیتروژن، پتاسیم و روی) و برطرف کردن سایر مشکلات خاک (عمق کم ریشه‌زنی، سمیت‌ها) و اطمینان از اعمال مدیریت زراعی صحیح و همه جانبه ضروری است (میرنیا و محمدیان، 1384).

جدول 1- آمار توصیفی برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی 128کرت شالیزاری

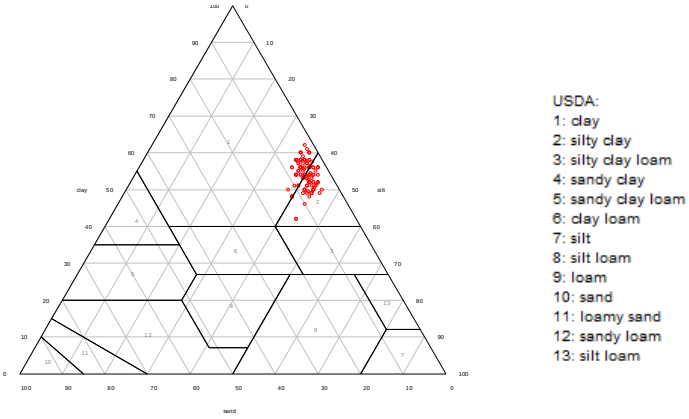
ویژگی	میانگین	حداقل- حداکثر	چولگی	واریانس	CV	نوع توزیع
pH	7/4	7.1-7.73	0.33	0.017	2	نرمال
هدایت الکتریکی($ds.m^{-1}$)	0.79	0.44-1.16	0.09	0.021	18	نرمال
نیتروژن کل(%)	0.13	0.07-0.19	-0.11	0.00	16	نرمال
فسفرقابل‌استفاده($mg.Kg^{-1}$)	23.1	1.40-80.4	1.16	365.6	83	غیرنرمال
پتاسیم‌قابل‌استفاده($mg.Kg^{-1}$)	307.5	198-455	0.20	3060	18	نرمال
کربن آلی(%)	1.4	0.59-1.95	-0.15	0.056	40	نرمال
روی‌قابل‌استفاده($mg.Kg^{-1}$)	7.95	0.07-42.5	2.89	29.5	68	غیرنرمال
گنجایش‌تبادل کاتیونی($Cmol.kg^{-1}$)	36.3	27-43	-0.46	8.9	8	نرمال
شن(%)	5.56	1.7-12	0.69	3.9	36	غیرنرمال
سیلت(%)	40.2	27-46	0.17	6.8	7	نرمال
رس(%)	54.1	42-62	-0.54	13.3	7	نرمال
عملکرد($Kg.ha^{-1}$)	3498	2733-5117	0.65	15900	4	نرمال

ضریب تغییرات :CV

به منظور مقایسه تغییرپذیری ویژگی‌های خاک در منطقه مورد مطالعه، از ضریب تغییرات استفاده شد. بر اساس حدود پیشنهادی ویلدینگ و درس (1983) ویژگی-های با ضریب تغییرات کمتر از 15%به عنوان تغییرپذیری کم (41/5 درصد ویژگی‌ها در مطالعه حاضر)، بین 15 تا 35% تغییرپذیری متوسط (25 درصد ویژگی‌ها در مطالعه حاضر) و بیشتر از 35%، تغییرپذیری زیاد (33/5 درصد ویژگی‌ها در مطالعه حاضر) در نظر گرفته می‌شود. ضریب تغییرات بیش از 30 درصد، نشان از تغییرات ذاتی خاک و کاهش ضریب تغییرات نشان دهنده تشابه بیشتر و یکنواختی بین داده‌ها است (شونینگ و همکاران،2006). فسفر در بین ویژگی‌های مورد بررسی بالاترین ضریب تغییرات (83) را از خود نشان داد. محمود سلطانی و همکاران (1396)، دواتگر و همکاران(2012) و کورتین و همکاران (1983) ضریب تغییرات فسفر قابل استفاده را به ترتیب 95/5 ،95 و 78 درصد، اعلام نمودند. از دلایل اصلی افزایش غیریکنواختی فسفر تحرک کم و تجمع این عناصر در خاک سطحی است (محمود سلطانی و

همکاران، 1396 و دواتگر و همکاران، 1391). داهیا و همکاران (1984) نشان دادند که متغیرهایی با ضریب تغییرات بالا، بیشتر تحت اثر عملیات مدیریتی قرار دارند. در این شرایط به تعداد نمونه بیشتری نیاز است تا برآوردها از صحت و دقت مطلوب برخوردار شود.

میانگین غلظت پتاسیم در این اراضی 307 میلی‌گرم بر کیلوگرم بوده که از حد بحرانی پتاسیم (135 میلی گرم در کیلوگرم خاک (ملکوتی و کاووسی، 1383) بسیار بالاتر است.



شکل 2- توزیع بافت نمونه خاک‌های مورد بررسی در مثلث بافت خاک

تمامی نمونه خاک‌های سطحی کرت‌های مزرعه پژوهشی گلدشت در دو کلاس بافتی رسی و رس سیلتی قرار دارند (شکل 2). از آنجائیکه عملیات مدیریت زراعی خاک‌های شالیزاری شامل تسطیح ، احداث مرز به منظور جمع‌آوری و نگاهداری آب در مزرعه، گلخرابی، نگهداری چند سانتی‌متر آب در بالای سطح خاک به مدت 3 تا 5 ماه (طول دوره رشد گیاه)، زهکشی و خشک کردن مزرعه در زمان برداشت به بافت خاک بستگی دارد (ملکوتی و کاووسی، 1383)، بر این اساس بافت‌های سنگین در خاک‌های شالیزاری مطلوب بوده و شرایط بهینه برای رشد و نمو برنج را فراهم می‌سازد.

میانگین عملکرد برنج 3498 کیلوگرم بر هکتار و دامنه تغییرات آن بین 2733 و 5117 کیلوگرم در هکتار است. کرت‌های میانی گلدشت دارای کمترین مقدار عملکرد (با میانگین 2800 کیلوگرم بر هکتار) می‌باشد که بر اساس اطلاعات محلی، بازدیدهای میدانی و نتایج ناشی از پرسشنامه‌های پرشده در ایستگاه، اغلب کشاورزانی که بر روی این کرت‌ها کشت و کار می‌نمایند از لحاظ توانمندی و مدیریت مزرعه در گروه متوسط تا ضعیف طبقه‌بندی شده‌اند. همچنین بالاترین مقادیر عملکرد به صورت پراکنده در بخش‌های جنوبی و جنوب‌شرقی مزرعه به ثبت رسیده است که در این کرت‌ها کشاورزانی با مدیریت زراعی خوب و توانمند کشت و زرع می‌نمایند. تفاوت در شیوه‌های مدیریت زراعی کشاورزان تأثیر خود را در عملکرد بیشتر نشان داده است به طوریکه میانگین تفاوت عملکرد در این دو بخش در حدود یک تن در هکتار است. در ارزیابی کیفی خاک داشتن یک هدف خاص متمرکز بر تولید ضروری است. در سیستم-های تولید کشاورزی، کیفیت بالای خاک با تولید بالای آن و البته بدون تخریب خاک ارزش گذاری می‌شود (گاورتس و همکاران، 2006). عملکرد محصول مهمترین معیار مورد استفاده برای قضاوت درباره کیفیت خاک است (وارکنتین، 1995). بنابراین، بهبود یا حفظ عملکرد محصول باید هدف نهایی ارزیابی کیفیت خاک در خاک-های کشاورزی باشد. متأسفانه، در بسیاری از مطالعات قبلی این هدف نادیده گرفته شده است (لی و همکاران، 2013). اخیرا، مطالعات متعددی در مورد انجام مطالعات کیفیت خاک بر پایه مبانی بیولوژیکی انجام شده است که به طور قابل توجهی با عملکرد محصول ارتباط دارد (اندروس و همکاران، 2002؛ چن و همکاران، 2013؛ لی و همکاران، 2013).

تعیین شاخص کیفیت خاک

تعیین مجموعه حداقل داده

کل داده‌های اندازه‌گیری برای تعیین کیفیت خاک شامل، pH، هدایت الکتریکی، نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم قابل استفاده، کربن آلی، روی قابل استفاده،

گنجایش تبادل کاتیونی، شن، سیلت و رس است. برای تلفیق و به دست آوردن حداقل مجموعه داده‌ها از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی استفاده شد. پیش از اقدام به استفاده از روش تحلیل عاملی باید از کافی بودن حجم نمونه جهت تحلیل عاملی اطمینان حاصل شود. نتیجه آزمون KMO، 0.66 گردید که مشخص می‌کند تحلیل عاملی بر روی داده‌های جمع آوری شده قابل اجرا می‌باشد. در پژوهش حاضر تنها چهار مؤلفه اول دارای ارزش ویژه بالاتر از یک بوده و توانستند 74 درصد تغییرات را تشریح نمایند (جدول2). در مرحله دوم، در هر مؤلفه اصلی گزینش شده فقط ویژگی که دارای بیشترین بار عاملی بوده وبه عنوان شاخص اول در نظر گرفته شده و سپس اگر ویژگی دیگری در محدوده ده درصد بیشترین بار عاملی شاخص اول گزینش شده قرار گیرد به عنوان دومین شاخص در نظر گرفته می‌شود (اندروز و همکاران، 2004 و چروبین و همکاران، 2014). هنگامی که بیش از یک شاخص در هر مؤلفه باقی بماند میزان ضریب همبستگی بین آنها برای افزودگی و یا حذف آن تعیین کننده خواهد بود. در این راستا هرگاه ضریب همبستگی (روش پیرسون) کمتر از 0/60 باشد (لی و همکاران، 2013). تنها آن ویژگی که دارای بالاترین بار عاملی است برای مجموعه حداقل داده‌ها انتخاب می‌گردد در غیر اینصورت هر دو ویژگی در مجموعه حداقلی داده‌ها خواهد ماند (چن و همکاران، 2013).

در مؤلفه اصلی اول (PC1) ویژگی رس با بالاترین بار عاملی (0/886-) به عنوان اولین شاخص انتخاب می‌گردد. از سوی دیگر گنجایش تبادل کاتیونی (0/870-) با قرارگیری در محدوده ده درصد بار عاملی رس کاندید باقی ماندن در مجموعه حداقلی است، اما ضریب همبستگی خطی بین آنها برابر با 0/76 و معنی-داراست ($P\leq0.01$). بنابراین تنها رس (با بیشترین بارعاملی) به عنوان تنها شاخص مولفه اول انتخاب می-گردد. دلسوز و همکاران (1397) در بررسی کیفیت حاصلخیزی خاک در استان گیلان بر ارجحیت مقدار رس بر گنجایش تبادل کاتیونی در ایجاد محدودیت در رشد برنج اذعان داشتند. بر همین اساس در مؤلفه اصلی دوم (PC2)، درصد کربن‌آلی (0/797) و نیتروژن کل (0/776) به عنوان شاخص انتخاب شد (جدول 2). از آنجائیکه ضریب همبستگی بین این دو شاخص 0/9 ($P\leq0.01$) است تنها کربن‌آلی بدلیل دارا بودن بار عاملی بالاتر به عنوان دومین شاخص انتخاب شد. چنگ و همکاران (2016) در تعیین مجموعه حداقلی داده‌ها بیان داشتند که علی‌رغم داشتن بار عاملی با تفاوت کمتر از 10 درصد بین کربن آلی و نیتروژن کل، ضریب همبستگی 0/8 سبب شد تا کربن آلی به دلیل بار عاملی بیشتر به عنوان شاخص در مولفه اول انتخاب شود. سیونه و همکاران (2017) و موهانتی (2007) بر تأثیر موادآلی بر رشد و نمو برنج و اثر مخرب کاهش آن بر عملکرد برنج تأکید داشتند. در مؤلفه اصلی سوم (PC3) درصد شن دارای بالاترین بار عاملی (0/62) و بار عاملی pH نیز در محدوده ده درصد بار عاملی درصد شن قرار دارد. از آنجائیکه این دو ویژگی دارای ضریب همبستگی بالا نبودند (0/16)، بنابراین هر دو ویژگی به عنوان شاخص‌های مستقل در مولفه سوم انتخاب شدند. براساس مطالعات سیونه (2017) اسیدیته خاک و طبق یافته‌های چانگ و همکاران (2016) شن جزء شاخص‌های اصلی در مولفه‌های دوم به بعد گزینش شده‌اند. در مؤلفه اصلی چهارم (PC4) عنصر روی دارای بیشترین بار عاملی (0/804) و فسفر (0/76-) در محدوده ده درصدی بار عاملی عنصر روی قرار دارد و چون بین این دو ویژگی همبستگی خطی معنی‌داری وجود نداشته، بنابراین برای مولفه اصلی چهارم دو ویژگی روی و فسفر بعنوان شاخص انتخاب می‌گردند. مجموعه حداقل داده با نوع محصول، تیپ خاک و اقلیم تغییر می‌کند (چنگ و همکاران، 2016). رس و شن به عنوان اجزای اصلی تشکیل‌دهنده بافت خاک بر روی تبادل، نگهداری و جذب آب، مواد غذایی و اکسیژن تأثیر مستقیم دارد (لی و همکاران، 2013).

کربن‌آلی به دلیل توانایی در تأمین، نگهداری و آزادسازی مواد غذایی و اصلاح خصوصیات فیزیکی خاک نقش حیاتی برروی رشد و نمو گیاه بازی می‌کند (لی و همکاران، 2007). در منطقه مورد بررسی به دلیل انجام عملیات تجهیز، نوسازی و یک‌پارچه‌سازی اراضی و به دنبال آن عدم بازگشت مناسب خاک سطحی و همچنین کاشت گیاه پر توقع ذرت دانه‌ایی به مدت طولانی و خروج کاه در پایان هر فصل زراعی مقدار میانگین مواد-آلی خاک کمتر از 1.5 درصد است. pH خاک نیز یکی از ویژگی‌های مهم در خاک بوده که اثرات مستقیم بر قابلیت دسترسی مواد غذایی مؤثر بر رشد گیاه دارد (اسچوهولتز و همکاران، 2000). این نتایج با یافته‌های دابرمن و اوبرتور(1997) تطابق دارد. اختلاف در عملکرد برنج می‌تواند در اثر تغییرپذیری این ویژگی‌ها و مواد غذایی خاک باشد (لی و همکاران، 2013). در نتیجه برای ارزیابی کیفیت خاک ویژگی‌هایی مانند روی و فسفر که برای رشد برنج ضروری است، از اهمیت بسزایی برخوردارند (ونگ و همکاران، 2003).

بنابراین با توجه به ویژگی‌های مؤثر بر رشد برنج، ضریب تغییرات و تجزیه به مولفه اصلی از بین کل ویژگی‌های اندازه‌گیری شده (11 ویژگی)، تنها شش ویژگی درصد رس، کربن‌آلی، pH، شن، روی و فسفر به عنوان مجموعه حداقلی داده انتخاب گردیدند. نتایج به دست آمده به عنوان مجموعه حداقل داده به دست آمده با نتایج لی و همکاران (2013) نیز مطابقت دارد.

جدول 2- نتایج آنالیز تجزیه به مولفه‌های اول

ویژگی‌های خاک	PC1	PC2	PC3	PC4
ارزش ویژه	3/405	2/262	1/391	1/103
درصد واریانس	31	20/6	12/6	10/0
واریانس تجمعی	31	51/5	64/2	74/2
pH	-0/189	-0/513	0/586	0/104
هدایت الکتریکی	0/130	-0/67	-0/417	0/299
نیتروژن کل	0/332	0/773	0/395	0/193
فسفر قابل استفاده	0/722	-0/172	-0/167	-0/76
پتاسیم قابل استفاده	0/488	0/085	-0/273	-/070
کربن آلی	0/370	0/797	0/281	-/250
روی قابل استفاده	-0/16	0/256	-0/187	0/804
گنجایش تبادل کاتیونی	-0/870	0/134	0/084	-0/126
شن	0/493	-0/008	0/62	0/446
سیلت	0/732	-0/350	-0/337	-0/120
رس	-0/886	0/266	-0/205	-0/127

نمره‌دهی و وزن‌دهی شاخص‌ها

از آنجا که واحدهای شاخص‌های گزینش شده با یکدیگر تفاوت دارند، از توابع نمره‌دهی (اندروز و همکاران، 2002) برای تبدیل به مقادیر بین صفر و یک استفاده شد. در این راستا ویژگی‌های کربن آلی، گنجایش تبادل کاتیونی، نیتروژن، فسفر و پتاسیم قابل استفاده بدلیل نقش شان در تأمین و یا قابلیت دسترسی عناصر غذایی در گروه "بیشتر بهتر است" (معادله 1)، pH در گروه "بهینه بهتر است" (تلفیقی از معادلات 1 و 2) چراکه برای هر عنصر شرایط اسیدیته بصورت خاص عمل می‌کند و شن و هدایت‌الکتریکی در گروه " کمتر بهتر است" (معادله 2)، به دلیل آنکه زیاد بودن این دو ویژگی بر رشد برنج تأثیر منفی دارد، قرار گرفتند. این نوع گروه‌بندی ویژگی‌ها با دیدگاه‌های اندرو (2004) هم راستا است. در انتها نیز با استفاده از نسبت ضریب تغییرات هر ویژگی به مجموع ضریب تغییرات کل ویژگی‌های انتخاب شده، وزن هر کدام از آنها به دست آمد. کمترین‌ترین و بیشترین وزن به ترتیب مربوط به pH (0/007) و فسفرقابل استفاده (0/35) است. سپس با استفاده از معادله 3 کیفیت خاک هر نقطه محاسبه گردید. چنگ و همکاران (2016) نیز در ارزیابی کیفیت خاک، کمترین وزن در بین ویژگی‌های مورد بررسی را برای pH گزارش نمودند.

در این مطالعه بر طبق حدود بحرانی، شاخص کیفیت خاک به چهار کلاس مختلف تقسیم شد. کلاسی که مقدار عددی شاخص آن ده درصد بیشتر و یا کمتر از میانگین شاخص کیفیت خاک است به عنوان کلاس سوم در نظر گرفته می‌شود، سپس دیگر کلاسها بر اساس افزایندگی یا کاهندگی به میزان20درصد کلاس‌های همجوار تعیین می‌شوند (چن و همکاران،2013). شاخص کیفیت براساس وزن‌دهی در تجزیه به مولفه اصلی برای شش ویژگی در 128کرت مزرعه پژوهشی بین 0/579 و 0/884 (میانگین 0/725) در نوسان بود. کلاس‌های اول تا چهارم به ترتیب 11، 11، 40/5 و 37/5 درصد از نمونه‌ها را در بر می‌گیرد. اگرچه برخلاف انتظارعددی شاخص کیفیت خاک با میانگین عملکرد از رابطه مشخصی پیروی نمی‌کند، به طوری که بالاترین میانگین عملکرد در کلاس سوم و پایین‌ترین میانگین عملکرد در کلاس چهارم با داشتن حداکثر کیفیت خاک دیده می‌شود، اما با رجوع به فاکتورهای محدود کننده در هر شاخص این رفتار را می‌توان تشریح می‌کند.

اگرچه عوامل محدود کننده کیفیت خاک در کلاس‌های اول تا سوم کیفیت‌خاک به ترتیب عبارتند از 1) فسفر قابل‌استفاده پایین (بین 3.5 تا 6 میلی‌گرم بر کیلوگرم)، 2)کربن‌آلی پایین (بین 0.9 تا 1.5 درصد) و3)

pH کمی نامناسب (7.2 تا 7.7)، ولی میزان محدودیت فسفر قابل استفاده در این کلاس‌ها به میزان عملکردرابطه مستقیم و منفی نشان داده و این پراکندگی رابطه بین عملکرد و شاخص کیفیت خاک را توجیه می‌نماید. همچنین این سه عامل دلیل اصلی پایین بودن شاخص کیفیت خاک در مطالعه حاضر است. اگرچه انجام عملیات تجهیز، نوسازی و یک پارچه‌سازی اراضی و به دنبال آن عدم بازگشت مناسب خاک سطحی و همچنین کاشت گیاه پر توقع ذرت دانه‌ایی به مدت طولانی نیز در این امر دخیل می‌باشند. دواتگر و همکاران (1391) گزارش نمودند در مناطقی که عملیات تجهیز، نوسازی و یک-پارچه‌سازی اراضی صورت گرفته است کاهش میانگین ویژگی‌های کربن‌آلی، نیتروژن، فسفر و پتاسیم قابل استفاده به دلیل اجرای نامناسب این عملیات (عدم جمع‌آوری خاک‌های سطحی و انتقال مجدد آنها به محل پیشین و به سطح آمدن خاک زیر سطحی با موادآلی و مغذی کمتر) امری فراگیر و بسیار مؤثر در کاهش عملکرد برنج در شالیزارهای استان گیلان است. با این وجود برازش کیفیت مدیریت زراعی کشاورزان (که براساس نتایج پرسشنامه-های پر شده در سال زراعی مورد بررسی به سه گروه خوب، متوسط و ضعیف تقسیم‌بندی شده بودند) و نوع کیفیت آب بر روی نقشه عملکرد (شکل شماره 4) نشان داد که مدیریت زراعی مناسب‌تر و آب آبیاری با کیفیت‌تر منجر به دست‌یابی به عملکرد بیشتر شده است. در کلاس چهارم تنها عامل محدودکننده کیفیت‌خاک کربن‌آلی بسیار کم می‌باشد. در واقع این کلاس بر اساس نیازهای خاکی کشت برنج (سایس و همکاران،1993)، باستثنای کربن‌آلی، سایر ویژگی‌های لازم برای کیفیت خوب خاک را داراست. ولی از آنجائیکه این ویژگی هم بر روی حاصلخیزی خاک (نقش حیاتی در نگهداری و آزادسازی عناصر غذایی) و هم برروی خصوصیات فیزیکی خاک (بهبود ساختمان خاک، تخلل، نگاهداری آب) تأثیر انکار ناپذیر دارد (لی و همکاران، 2007). بنابراین کمبود آن می‌تواند منجر به کاهش کیفیت خاک و در نهایت کاهش عملکرد گردد. همچنین کی و همکاران (2009) در مطالعات خود نشان دادند که مواد آلی به عنوان شاخص اصلی تعیین کیفیت خاک در تمام مؤلفه‌های اصلی است. پژوهشگران زیادی (پان و همکاران، 2009؛ فان و همکاران، 2008) از همبستگی مثبت و معنی‌دار بین عملکرد غلات و مقدار مواد آلی سخن گفته و نشان دادند که مواد آلی نقش مهمی در افزایش و بهبود کیفیت خاک داشته و می‌تواند منجر به عملکرد بیشتر غلات از جمله برنج گردد.

جدول 3- کلاس‌بندی شاخص‌های کیفیت خاک

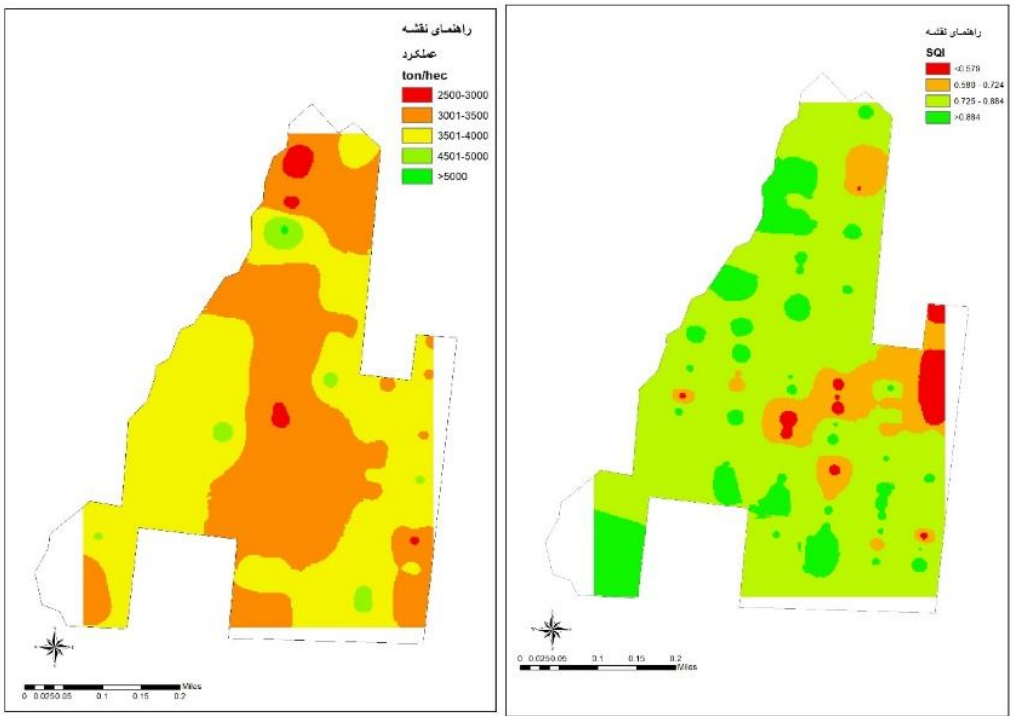
	کلاس‌بندی SQI	تعداد کرت	میانگین SQI	میانگین عملکرد (تن در هکتار)
1	کوچکتر از 0.579	14	0.5088	3509
2	0.579-0.723	14	0.6497	3467
3	0.723-0.884	52	0.8303	3583
4	بزرگتر از 0.884	48	0.9120	3414

بررسی همبستگی بین عملکرد و کیفیت خاک

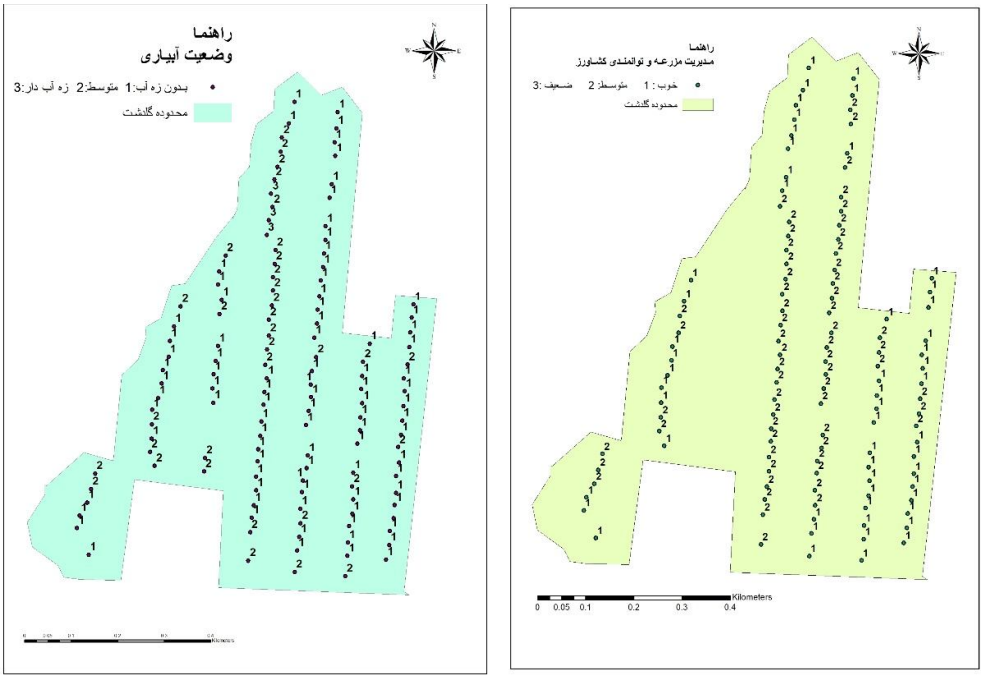
میانگین عملکرد در 128 کرت منطقه مورد بررسی 3498 و حداقل و حداکثر آن به ترتیب 2733 و 5117 کیلوگرم در هکتار (جدول 1) است. شاخص کیفیت خاک در این 128 کرت بین 0/47 و 0/97 (با میانگین آن 0/8) در نوسان بوده و ضریب تغییرات آنها 18 درصد است. برای بررسی اینکه آیا شاخص کیفیت خاک نشاندهنده تغییرات عملکرد می‌باشد یا نه ؟، همبستگی بین میزان عملکرد و شاخص کیفیت خاک با استفاده از ضریب پیرسون محاسبه شد. برخلاف انتظار نتایج بسیاری از محققین که نشان دادند بین مجموعه حداقل داده‌ها (MDS) و شاخص کیفیت خاک با تغییرپذیری عملکرد همبستگی معنی‌داری وجود دارد (چادهوری و همکاران، 2005 و لی و همکاران، 2013)، یافته‌های این پژوهش همانند نتایج پژوهش های کی و همکاران (2009) و شارما و همکاران (2005) حاکی از آن است که این دو ویژگی همبستگی معنی‌داری با یکدیگر نشان نداده‌اند. نقشه‌های عملکرد و کیفیت خاک در شکل 3 دیده می‌شود. تغییرات در عملکرد تابعی از خصوصیات ژنتیکی گیاه، شرایط اقلیمی، ویژگی‌های خاک و عوامل مدیریت زراعی است. مجموعه این عوامل مختلف و اثرات متقابل آنها منجر به تغییرپذیری عملکرد

برنج در اراضی شالیزاری می‌گردد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که ویژگی‌های خاک (نظیر ظرفیت تبادل کاتیونی، رس، ماده آلی و سیلیسیم) همبستگی معنی‌داری با تغییرپذیری عملکرد برنج دارند (گوی و همکاران، 1992) و آن و همکاران، 2004). از طرف دیگر اقلیم در این مطالعه؟ و مدیریت‌های متفاوت اعمال شده از طرف کشاورزان (مانند روش شخم، میزان مصرف کود و غیره) نیز در تعیین میزان عملکرد نقش بسزایی دارند (خاکی و همکاران، 1397؛ سان و همکاران، 2005). بنابراین تغییرات این عوامل می‌تواند منجر به اختلاف در عملکرد کرت‌های مختلف اراضی شالیزاری در یک ناحیه خاص گردد (لی و همکاران، 2013). بررسی نتایج رتبه‌بندی کشاورزان از نظر توانمندی در مدیریت زراعی (شکل4)، نیز نشان می‌دهد تفاوت کشاورزان در شرایط یکسان خاک هم منجر به تفاوت در عملکرد شده (در 80% موارد) و در عدم همبستگی عملکرد با شاخص کیفیت خاک مؤثر می‌باشد.

علاوه بر اینها، بررسی نقشه توپوگرافی منطقه نشان از وجود شیب عمومی در حدود 5% و شیب جانبی در حدود یک درصد به سمت قسمت میانی منطقه داشته که می‌تواند با ایجاد شرایط غرقابی و تهویه نامناسب (حرکت آب به سمت بخش میانی) اثرات موضعی مخربی بر عملکرد داشته باشد، به طوری که میانگین عملکرد در این بخش 500 کیلوگرم در هکتار از میانگین و 2000 کیلوگرم در هکتار از بیشینه کمتر است. هرگاه داده‌های این بخش از داده‌های کل تفکیک شوند (نتایج نشان داده نشده است) شاهد همبستگی معنی‌دار بین عملکرد و شاخص کیفیت خاک خواهیم بود. همچنین شکل 3 نشان می‌دهد که حدفاصل بخش‌های شرقی تا مرکز منطقه مورد بررسی بر خلاف سایر بخش‌ها دارای کمترین مقدار شاخص کیفیت خاک بوده که تأثیر خود را در عملکرد کم کرت‌ها نشان داده است. از سوی دیگر از نقشه تخمین عملکرد که پراکندگی عملکرد محصول را نیز در بر می‌گیرد می توان دریافت که 48 درصد از کرت‌هایی که دارای عملکردی کم و بین 3000 تا 3500 کیلوگرم در هکتار هستند از نظر کیفیت خاک دارای وضعیت خوب و قابل قبولی بوده، اما وجود شیب عمومی و جانبی، و مدیریت زراعی متوسط تا ضعیف در این قسمت و اثرات نامطلوب آن بر عملکرد منجر به کاهش میزان محصول در این نواحی گردیده است. در اراضی مورد مطالعه تنها حدود 5 درصد از اراضی هم دارای عملکرد بالا (بالاتراز 4000 تن در هکتار) بوده و هم کیفیت خاک مناسب و هم توسط کشاورزانی با مدیریت زراعی خوب و توانمند کشت و زرع می‌شوند. بنابراین وجود شرایط مناسب ویژگی‌های خاک در کنار مدیریت صحیح مزرعه می‌تواند در به حداکثر رساندن عملکرد برنج مؤثر باشد. از سویی مدیریت مناسب کشاورزان کاستی‌ها و شرایط تاحدی نامناسب خاک را می‌تواند جبران نماید. اگرچه تغییرات عملکرد برنج در یک ناحیه یکسان در سال‌های متفاوت می‌تواند به دلیل تغییرات آب و هوایی باشد، اما تغییرات در طول یک سال به شدت به کیفیت خاک و مدیریت زراعی وابسته است (لی و همکارانف 2013). نتایج این تحقیق نشان می‌دهد به دلیل چند وجهی بودن عوامل مؤثر بر رشد گیاه لازم است اینگونه مطالعات در ترکیب با روش‌هایی مانند تناسب اراضی (سایس و همکاران، 1993) که دامنه وسیعتری از نیازهای رشدی گیاه را دربر می‌گیرد، انجام گردد تا منجر به شناسایی مولفه‌های مؤثر در نگهداری و عرضه عناصرغذایی، عوامل اقلیمی و مدیریت‌زراعی شود و از ترکیب آنها بتوان به پایداری تولید و حفظ بسترهای آن کمک بیشتری نمود.



شکل 3- نقشه تخمین عملکرد و شاخص کیفیت خاک گلدشت



شکل 4- نقشه مدیریت مزرعه کشاوزران و وضعیت آبیاری مزارع گلدشت

فهرست منابع:

1. توفیقی، ح.1377. بررسی پاسخ برنج به کود پتاسیم در خاک‌های شالیزاری شمال ایران.مجله علوم کشاورزی،جلد 29،شماره 4.صفحات 869-883. کرج ، ایران

2. حسینی، ف. 1393. روش تشخیص داده‌های پرت. همایش ملی مهندسی رایانه و مدیریت فناوری اطلاعات.
3. سلحشوردلیوند، ف.، اشرف صدرالدینی، ع.، امیرحسین ناظمی ، ا.ح.، دواتگر ، ن و نیشابوری، م.ر. 1392. شبیه سازی اثر همزمان تنش‌های شوری و خشکی بر عملکرد دانه برنج رقم هاشمی. مجله علوم زراعی ایران. جلدپانزدهم، شماره 4 .336-320.
4. حسنی‌پاک، ع.ا. 1377. زمین‌آمار (ژئواستاتیستیک). چاپ اول، انتشارات دانشگاه تهران، 314 صفحه.
5. دواتگر ،ن.، شکوری کتیگری ،م و یزدانی، محمدرضا.1391. ارزیابی اثر عملیات تسطیح اراضی بر تغییرات مکانی برخی ویژگی‌های مرتبط با حاصلخیزی خاک‌های شالیزاری. نشریه دانش آب و خاک. جلد 22شماره2. 41-54.
6. محمدی، ج. 1385. پدومتری (جلد دوم- آمار مکانی). انتشارات پلک، 453 صفحه.
7. ملکوتی، م.ج و کاووسی، م. 1383. تغذیه متعادل برنج.
8. میرنیا، خ و محمدیان، م. 1384. برنج اختلالات عناصرغذایی مدیریت عناصرغذایی. انتشارات دانشگاه مازندران. 436 صفحه.
9. دواتگر، ن.، زارع،ا.، شکوری کتیگری،م.، رضائی، ل و همکاران. 1394. بررسی وضعیت حاصلخیزی خاک‌های شالیزاری استان گیلان. نشریه مدیریت اراضی. جلد 3، شماره 1:1-13.
10. Andrews, S.S., Karlen, D.L., and J.P. Mitchell. 2002. A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in northern California. Agric. Ecosyst. Environ. 90, 25–45.
11. Armenis, E., Redmile-Gordon, M., Stelacci, A.m., Ciccarese, A and P. Rubino. 2013. Developing a soil quality index to compare soil fitness for agricultural use under different managements in the Mediterranean environment. Soil and Tillage research 130:91-98.
12. Barah, B.C. and S. Pandey. 2005. Rainfed Rice Production Systems in Eastern India: An On-Farm Diagnosis and Policy Alternatives. Indian journal of agricultural Economics, 60(1), pp.110-136.
13. Bates, Roger G., and K.V. Ashok.1973. Determination of pH: theory and practice. Journal of the Electrochemical Society120.8: 263C.
14. Bouman B.A.M., Xiaoguang Y., Huaqi W., Zhimin W., Junfang Z and C. Bin. 2006. Performance of aerobic rice varieties under irrigated conditions in North China, Field Crop. Res. 97:53-65.
15. Bower, C.A., Reitemeier, R. F., and M. Fireman. 1952. Exchangeable cation analysis of saline and alkali soils. Soil Sci. 73(4): 251-262.
16. Bremner, J. M. 1965. Total Nitrogen 1." Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological propertiesmethodsofsoilanb: 1149-1178.
17. Burrough, P.A., MacMillan, R.A., and W.V. Deursen. 1992. Fuzzy classification methods for determining land suitability from soil profile observations and topography. Journal of soil Science, 43(2): 193-210.
18. Cahn, M.D., Hummel, J.W., and B.H. Brouer.1994. Spatial analysis of soil fertility for site-specific crop management. Soil. Sci. Soc. Am. J. 58:1240-1248.
19. Cambardella, C. A., Moorman, T. B., Novak, J. M., Parkin, T. B., Karlen, D. L., Turco, R. F., and A. E. Konopka. 1994. Field Scale Variability of Soil Properties in Central Iowa soils. Soil Science Society of America Journal, Vol. 58 (5): 1501-1511.
20. Chaudhury, J., Mandal, U.K., Sharma, K.L., Ghosh, H., and B. Mandal. 2005. Assessing soil quality under long-term rice-based cropping system. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 36: 1141–1161.

21. Chen, Y.D., Wang, H.Y., Zhou, J.M., Xing, L., Zhu, B., Zhao, Y., and X.Q. Chen. 2013. Minimum data set for assessing soil quality in farmland of northeast China. Pedosphere 23: 564–576.
22. Cheng, J., Ding, Ch., Li, X., Zhang, T., and X. Wang. 2016. Soil quality evaluation for navel orange production system in central subtropical china. Soil & Tillage research. 155: 225-232.
23. Cherobin, M.R., Karlen, D.L., Cerri, C.E.P., Franco, A.L.C., Tormena C.A., Davies, C.A and C.C. Cerri. 2014. Soil quality indexing strategies for evaluation sugarcane expansion in Brazil. DOI: 10.1371/Journal. Pone.0150860.
24. Cherubin, M.R., Karlen, D.L., Cerri, C.E.P., Franco, A. L. C., Tormena, A.C., Davies C. A., and C. cerri. 2014. Soil Quality indexing stragies for evaluating sugarcane expansion in Brazil. Plos one 11(3): e0150860. Doi: 10.137/journal.pone.0150860.
25. Clark, M.S., Horwath, W. R., Schennan, C., and K. M. Scow. 1998. Hanges in soil chemical properties resulting from organic and low-input farming practices. Agron. J. 90, 662-671.
26. Confalonieri, R., Rosenmund, A.S and B. Baruth. 2009. An improved model to simulate rice yield. DOI: 10.1051/agro/2009005.
27. Dahiya, I. S., J. Richter., and R. S. Malik. 1984. Soil spatial variability: A review. Intern. Trop. Agri., Vol. 11, no. 1, PP: 1-102.
28. Delsouz Khaki, B., Honarjoo, N., Davatgar, N., Jalalian, A., and H. Torabi Golsefidi. 2017. Assessment of Two Soil Fertility Indexes to Evaluate Paddy Fields for Rice Cultivation. Sustainability. 9(8), 1299.
29. Doran, J.W., and B.T. Parkin. 1994. Defining and assessing soil quality. In: Doran, J.W., Coleman, D.C., Bezdicek, D.F., Stewart, B.A. (Eds.), Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. Soil Science Society of America, Inc., Madison, WI, USA, Special Publication, 35: 3-21
30. Doran, J.W., and M.R. Zeiss. 2000. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. Appl. Soil Ecol. 15: 3–11.
31. Fan, T., Xu, M., Song, S., Zhou, G., and L. Ding. 2008. Trends in grain yields and soil organic C in a long-term fertilization experiment in the China Loess Plateau. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 171(3): 448-457.
32. Gee, G. W., and J. W. Bauder.1983. Particle-size analysis. p. 383-411. In A. Klute et.al. (ed). Methods of Soil analysis.part 1. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
33. Govaerts, B., Sayre, K.D., and J. Deckers. 2006. A minimum data set for soil quality assessment of wheat and maize cropping in the highlands of Mexico. Soil Tillage Res. 87: 163–174.
34. Gray, Leslie C., and M. Philippe. 2003. Reconciling indigenous knowledge with scientific assessment of soil fertility changes in southwestern Burkina Faso. Geoderma 111.3-4: 425-437.
35. Kremenov, O. 2004. Fuzzy Modeling of Soil Maps. Helsinki University of technology department of surveying. Pp 84.
36. Larson, W.E. and F.J. Pierce. 1994. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. p. 37-51. In: J.W. Doran, D.C. Coleman, D.F. Bezdicek, and B.A. Stewart (eds.) Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. SSSA Spec. Pub. No. 35. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI.
37. Li, G. L., Chen, J., Sun, Z. Y., and M.Z. Tan. 2007. Establishing a minimum dataset for soil quality assessment based on soil properties and land-use changes. Acta Ecol. Sin. 27: 2715-2724.

38. Li, P., Zhang, T., Wang, X and D. Yi. 2013. Development of biological soil quality indicator system for subtropical China. Soil & Tillage Research. 126: 112-118.
39. Lindsay, Willard L., and A. Norvell. 1978. Development of a DTPA Soil Test for Zinc, Iron, Manganese, and Copper 1. Soil science society of America journal 42.3: 421-428.
40. McGrath, D., and C. Zhang. 2003. Spatial distaribution of soil organic carbon concentrations in grassland of Ireland. Geoderma, 18: 1629-1639
41. Moebius B.N., Idowu, O.J., Kimetu, J., Lehmann, J., Schindelbeck, R.R., van Es, H.M., Ngoze, S., and J.M. Kinyangi. 2011. Long-term soil quality degradation along a cultivation chronosequence in Western Kenya. Agriculture Ecosystems & Environment 141(1):86-99.
42. Nasiri, M., and H. Pirdashti. 2003. Effect of level and time of nitrogen on yield component of rice rationing. Journal of Biological Sciences. 2: 217-222.
43. Ortega, R. A., and O. A. Santibanez. 2007. Determination of management zones in corn (Zea mays L.) based on soil fertility. Comput. Electron. Agric. 58: 49- 59.
44. Pan, G., Smith, P., and W.Pan. 2009. The role of soil organic matter in maintaining the productivity and yield stability of cereals in China. Agriculture, Ecosystems & Environment, 129(1-3): 344-348.
45. Rezaei, S.A., Gilkes, R.J., and S.S. Andrews. 2006. A minimum data set for assessing soil quality in rangelands. Geoderma 136: 229–234.
46. 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.
47. Schoenholtz, S.H., van Miegroet, H., and J. A., Burger. 2000. A review of chemical physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. For. Ecol. Manag, 138: 335-356.
48. Schoning, I., Totsche, K.V., and I. Kogel-Knabner. 2006. Small Scale spatial variability of organic carbon stocks in litter and solum of a forested luvisol. Geoderma. 136: 631-642.
49. Sun, B., Zhou, Sh. and Q. Zhao. 2003. Evaluationof spatial and temporal changes of soil quality based on geostatistical analysis in the hill region of suberopical china. Geoderma. 115: 85-99.
50. 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):352-7.
51. 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.
52. Tesfahunegn, G. B. 2014. Soil quality assessment strategies for evaluating soil degradation in Northern Ethiopia. Applied and Environmental Soil Science. 1-14.
53. Vasu, D., Singh, S. K., Ray, S. K., Duraisami, V. P., Tiwary, P., Chandran, P., and S. G. Anantwar. 2016. Soil quality index (SQI) as a tool to evaluate crop productivity in semi-arid Deccan plateau, India. Geoderma. 282: 70-79.
54. Velasquez, E., Lavelle, P and M Andrade. 2007. GISQ, a multifunctional indicator of soil quality, Soil Biology and Biochemistry. 39(12): 3066–3080.
55. Walkley, A., and I.A. Black. 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
56. Wang, Z., Chang, A. C., Wu, L., and D. Crowley. 2003. Assessing the soil quality of Long-term reclaimed wastewater-irrigated cropland. Geoderma. 114: 261-278.
57. Warkentin, B.P. 1995. The changing concept of soil quality. J. Soil Water Conserv. 50, 226–228.

58. Warkentin, B.P., and H.F., Fletcher. 1977. Soil quality for intensive agriculture. Proc Int SEM on Soil Environ and Fert Manage in Intensive Agric Soc Sci Soil and Manure. Natl Inst of Agric Sci, Tokyo, pp. 594–598.
59. Webster, R. and Oliver, M.A. 2000. Geostatistics for Environmental Scientists. Wiley
60. Xiong, W., I. Holman, D. Conway, E. Lin and Y. Li. 2008. A crop model cross calibration for use in region climate impacts studies. Ecol. Model. 213: 365-380.
61. Yingbin, H., UChida, S. U., Huajun, T., Youqi, C and L. Jia. 2010. Application of Terra/MODIS images, TM images and weather data to assess the effect of cold damage on rice yield. Int J Agric & Biol Eng. 3(2): 31.

Relationship between Yield and a Soil Quality Index in Paddy Fields

M. Shakouri Katigari, S. Mahmoud Soltani[1], M.T. Karbalai Aghamolki, and F. Keshtekar Talemi

Senior Lab Expert, Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran; E-mail: maryamshakouri@ymail.com

Assistant Professor, Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran; E-mail: shmsoltani@gmail.com

Assistant Professor, Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran; E-mail: mtkarbalai2@yahoo.com

Laboratory Expert, Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran; E-mail: fatemehkeshtekar@yahoo.com

Received: December, 2018 and Accepted: July, 2019

Abstract

Rice is one of the strategic agricultural crops in Iran and provides a high percentage of dietary calorie and protein of the people. With a rapidly increasing population and the consequent increase in food demands, it is necessary to know the relationship between rice yield and soil conditions. Therefore, the objective of the present study was to evaluate the relationships between yield and soil quality (SQ) in order to provide guidance regarding proper soil management practices for the sustainable development of Goldasht region paddy fields, in Mazandaran province. One hundred and twenty-eight surface soil samples were collected to measure some physical and chemical soil properties. At harvest time, grain yield was measured at 14% moisture content. Firstly, to determine the SQI, the characteristics with the highest effect on the SQI of the region were identified by the Principal Component Analysis. Fuzzy logic method was used to convert quantitative soil properties to qualitative ranking and, finally, the indices were combined using the concept of coefficient of variation. The average recorded rice grain yield of the studied area was 3498 kg ha^{-1} and SQI varied between 0.47 and 0.97. Contrary to expectation, there was no significant correlation between performance and SQI in the studied area (reasons are explained in discussion section). According to the results of SQI classification, available phosphorous is the most important limiting factor for soil quality in the area. Direct comparison among maps of yield and soil quality indices indicate that proper soil conditions along with proper management of the farm can be an effective solution to maximize rice yield. Thus, proper management by the farmers can remedy shortcomings and somewhat inappropriate soil conditions. However, in many cases, proper soil quality alone cannot compensate for crop management shortcomings.

Keywords: Principal component analysis, Fuzzy logic, Rice yield

[1]. Corresponding author: Soil and Water Dept., Rice Research Institute of Iran, Rasht