Archive of SID

نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار
جلد نهم، شماره اول، ۱۳۹۸
۱۳۵-۱۵۰
http://ejsms.gau.ac.ir

# ارزیابی شاخص‌های کیفیت خاک و ارتباط آن با عملکرد برنج در شالیزارهای مرکزی استان گیلان

**سمیرا همتی[۱]، *نفیسه یغمائیان مهابادی[۲]، محمدباقر فرهنگی[۲] و عاطفه صبوری[۳]**

[۱]دانشجوی کارشناسی‌ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه گیلان، [۲]استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه گیلان،
[۳]استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه گیلان

تاریخ دریافت: ۹۷/۲/۲۱؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۷/۲۳

## چکیده

**سابقه و هدف:** ارزیابی کیفیت خاک و ایجاد تعادل بین میزان تولید محصول و بهبود کیفیت منابع طبیعی یکی از مسائل مورد توجه در مدیریت پایدار خاک‌ها به‌منظور تولید بهینه کشاورزی و حفظ منابع طبیعی است. در عرصه‌های کشاورزی آگاهی از عوامل مؤثر بر کیفیت خاک برای مدیریت بهینه و رسیدن به حداکثر بهره‌وری اقتصادی، امری ضروری است. در این راستا به‌منظور دستیابی به مدیریت پایدار خاک و پیش‌بینی خطرات تخریب خاک، تعیین روشی مناسب برای ارزیابی کیفیت خاک نیز دارای اهمیت می‌باشد. این پژوهش با هدف ارزیابی کیفیت خاک اراضی شالیزاری، تعیین حداقل ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک و بررسی تأثیر شاخص‌های کیفیت خاک به‌دست آمده با استفاده از روش‌های مختلف بر عملکرد برنج، در اراضی شالیزاری منطقه پیربازار استان گیلان انجام گرفت.

**مواد و روش‌ها:** بر اساس متوسط عملکرد سالیانه برنج، دو دسته اراضی شامل شالیزارهای با عملکرد پایین ($<٤/٦$ t ha$^{-1}$) و عملکرد بالا ($\geq٤/٦$ t ha$^{-1}$) در منطقه مورد مطالعه انتخاب شدند. در مجموع ٦٠ نمونه خاک مرکب از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر و محصول برنج در پلاتی به وسعت ۱ مترمربع به مرکزیت محل‌های نمونه‌برداری خاک برداشت شد. در این پژوهش با استفاده از روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA)، از میان ۲۰ ویژگی فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک به‌عنوان ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک (TDS)، ۵ ویژگی به‌عنوان حداقل ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک (MDS) انتخاب گردید. سپس کیفیت خاک شالیزارهای با عملکرد پایین و بالا با استفاده از دو مدل شاخص تجمعی ساده ($IQI_{SA}$) و شاخص تجمعی وزن‌دار ($IQI_{WA}$) و هر کدام در دو مجموعه ویژگی‌های خاک TDS و MDS ارزیابی شد.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد که ۵ ویژگی کربن آلی، نیتروژن کل، پتاسیم قابل‌استفاده، درصد رس و فعالیت آنزیم اوره‌آز به‌عنوان مجموعه ویژگی‌های MDS، می‌تواند ٦٧ درصد تغییرات کیفیت خاک‌ها را توصیف نماید. ارزیابی کیفیت خاک اراضی شالیزاری نشان داد زمانی‌که شاخص تجمعی ساده و وزن‌دار کیفیت خاک با استفاده از مجموعه MDS تعیین می‌شوند، اختلاف معنی‌داری بین شاخص کیفیت خاک شالیزارهای با عملکرد پایین و بالا مشاهده می‌شود؛ به‌طوری‌که شالیزارهای با عملکرد بالا از میانگین $IQI_{SA\text{-}MDS}$ و $IQI_{WA\text{-}MDS}$ بالاتری (به‌ترتیب ۰/۸٤ و ۰/۸۹) نسبت

* مسئول مکاتبه: yaghmaeian_na@guilan.ac.ir



www.SID.ir

Archive of SID



به شالیزارهای با عملکرد پایین (به‌ترتیب ۰/۷۸ و ۰/۸۰) برخوردار هستند. همچنین بیش‌ترین مقادیر همبستگی شاخص کیفیت خاک با عملکرد برنج برای شاخص‌های $IQI_{WA-MDS}$ و $IQI_{SA-MDS}$ ($R^2$=۰/۵٤-۰/٤٤) در هر دو سطح عملکرد به‌دست آمد.

**نتیجه‌گیری:** اختلاف معنی‌دار بین شاخص‌های کیفیت خاک شالیزارهای با دو سطح عملکرد که از مجموعه MDS استفاده کرده‌اند، نشان می‌دهد که مجموعه MDS به شکل مؤثرتری اختلاف کیفیت خاک شالیزارهای با بهره‌وری متفاوت را نشان می‌دهد. همبستگی معنی‌دار شاخص‌های $IQI_{SA-MDS}$ و $IQI_{WA-MDS}$ با عملکرد برنج بیانگر این است که انتخاب تعداد محدودتری از ویژگی‌های خاک به‌عنوان MDS به درستی انجام شده و توانسته وضعیت خاک برای تولید برنج را به خوبی ارزیابی نماید. بنابراین با استفاده از مجموعه MDS علاوه بر کاهش هزینه و صرفه‌جویی در وقت، می‌توان با اطمینان قابل‌قبولی شاخص‌های کیفیت خاک اراضی شالیزاری منطقه مورد مطالعه را تعیین کرد.

***واژه‌های کلیدی:*** تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، حداقل ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک، شاخص تجمعی کیفیت خاک، شاخص تجمعی وزن‌دار کیفیت خاک

## مقدمه

استفاده پایدار از منابع طبیعی و ایجاد تعادل بین میزان تولید محصول و بهبود کیفیت منابع طبیعی در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. در این میان، خاک جزء بسیار مهم در پایداری زیست‌بوم‌ها است که برای نیل به توسعه پایدار و استفاده بهینه از منابع طبیعی، مطالعه آن الزامی است. یکی از روش‌های بررسی وضعیت خاک، ارزیابی کیفیت خاک است. اکتون و گریگوریچ (۱۹۹۵) کیفیت خاک برای اراضی کشاورزی را "آمادگی خاک برای حمایت از رشد محصول بدون ایجاد تخریب خاک یا آسیب زدن به محیط زیست" تعریف کرده‌اند (۱). نظر به تأکید جهانی بر استفاده پایدار اراضی، ارزیابی کیفیت خاک توجه زیادی را در سال‌های اخیر به خود جلب کرده است (۲۵).

کیفیت خاک به‌طور مستقیم قابل‌اندازه‌گیری نیست و باید از شاخص‌های مربوط استنتاج شود. شاخص‌های کیفیت خاک[1] (SQI)، مجموعه‌هایی از ویژگی‌های قابل‌اندازه‌گیری خاک هستند که ظرفیت خاک برای تولید محصول یا عملکرد زیست‌محیطی را تحت‌تأثیر قرار می‌دهند (٦). ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک می‌توانند مجموعه‌ای از ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی، زیستی یا ترکیبی از آن‌ها باشند (۸). مجموعه‌های مختلفی از ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک برای تعیین شاخص کیفیت خاک پیشنهاد شده‌اند. پژوهشگران متعددی، شاخص کیفیت خاک را بر اساس مجموعه کل ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک[2] (TDS) تعیین کرده‌اند (۱٤، ۲۲ و ۳۸). همچنین پژوهشگران، تعداد محدودتری از ویژگی‌های خاک را که نماینده بهتری از کیفیت خاک باشند، به‌عنوان مجموعه حداقل ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک[3] (MDS)، پیشنهاد کرده‌اند (۳۵). محاسبه شاخص کیفیت خاک به‌طور غیرمستقیم از حاصل‌جمع مقادیر ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک و با توجه به وزن اختصاص‌یافته به هر ویژگی به‌دست می‌آید

1- Soil quality indices

2- Total data set

3- Minimum data set



www.SID.ir

Archive of SID



(٤٥). توسعه شاخص کیفیت خاک شامل شیوه‌های تعریف‌شده گزینش، نمره‌دهی و وزن‌دهی ویژگی‌های خاک می‌شود؛ به‌گونه‌ای که مدل جامعی که امکان مقایسه علمی خاک‌های مناطق مختلف را فراهم کند، ارائه دهد (٦). به این‌ترتیب، روش‌های مختلفی برای کمی کردن وضعیت کیفیت خاک ارائه شده‌اند (١٢ و ٣١). در اکثر مطالعات انجام‌شده، رابطه شاخص کیفیت خاک و عملکرد محصول کم‌تر مورد توجه قرار گرفته است. به‌عنوان مثال، دهوس و همکاران (٢٠١٤)، لیو و همکاران (٢٠١٤) و واسو و همکاران (٢٠١٦) رابطه علّی کیفیت خاک و عملکرد محصول را نشان دادند (١٣، ٢٨ و ٤٣). لیو و همکاران (٢٠١٤) در پژوهشی در جنوب چین ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک‌های شالیزار را مورد بررسی قرار داده و به این نتیجه دست یافتند که بین شاخص کیفیت خاک و مقدار عملکرد برنج همبستگی مثبت و معنی‌دار ($R^2$=٠/٢٠٢) وجود دارد. ایشان عنوان کردند که خاک‌های با کیفیت بالاتر از نظر شیمیایی و تغذیه‌ای سالم‌تر هستند (٢٨). واسو و همکاران (٢٠١٦) دو شاخص ساده و وزنی کیفیت خاک را با استفاده از اطلاعات خاک سطحی (٠-١٥ سانتی‌متر) و بخش کنترلی خاک (٠-١٠٠ سانتی‌متر) در هند به‌دست آوردند. آن‌ها از روش‌های تجزیه به مولفه‌های اصلی[1] (PCA) و نظر متخصص[2] (EO) برای تخمین MDS استفاده کردند. شاخص‌های وزنی کیفیت خاک همبستگی بالاتری با مقدار محصول در مقایسه با شاخص‌های ساده کیفیت خاک برای هر دو روش PCA و EO نشان داد (٤٣).

شهاب و همکاران (٢٠١١) کیفیت خاک‌های کشاورزی و مراتع منطقه دهسرخ واقع در جنوب مشهد را با استفاده از دو مدل شاخص تجمعی کیفیت خاک (IQI) و شاخص کیفیت نمورو (NQI) در دو مجموعه ویژگی‌های خاک TDS و MDS ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که همبستگی معنی‌داری بین $IQI_{MDS}$ و $IQI_{TDS}$ و بین $NQI_{MDS}$ و $NQI_{TDS}$ وجود دارد. این امر نشان می‌دهد که مجموعه MDS تعیین شده به خوبی می‌تواند نماینده مناسبی از TDS باشد (٣٩). رنجبر و همکاران (٢٠١٦) در پژوهشی با هدف تعیین حداقل ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک مزارع زعفران و بررسی رابطه کیفیت خاک با عملکرد زعفران در منطقه قائن خراسان با استفاده از دو مدل IQI و NQI در دو مجموعه ویژگی‌های خاک TDS و MDS به این نتیجه دست یافتند که $IQI_{TDS}$ و $NQI_{TDS}$ در منطقه مورد مطالعه دارای هم‌بستگی معنی‌داری با عملکرد اقتصادی زعفران (به‌ترتیب $R^2$=٠/١٩٤ و $R^2$=٠/١٦٨) می‌باشد و مؤثرترین روش برای ارزیابی کیفیت خاک مزارع زعفران استفاده از مدل IQI با استفاده از مجموعه TDS می‌باشد (٣٦).

بیش‌ترین سطح اراضی کشاورزی استان گیلان به اراضی شالیزاری اختصاص دارد که بهبود بهره‌وری آن‌ها ابزار مهمی برای تأمین امنیت غذایی کشور می‌باشد. به‌منظور مدیریت بهینه، چگونگی مصرف نهاده‌ها و رسیدن به حداکثر بهره‌وری اقتصادی، آگاهی از عوامل مؤثر بر کیفیت خاک در اراضی کشاورزی امری ضروری است. در این راستا به‌منظور دستیابی به مدیریت پایدار خاک و پیش‌بینی خطرات تخریب خاک، تعیین روشی مناسب برای ارزیابی کیفیت خاک نیز دارای اهمیت می‌باشد. این پژوهش با هدف ارزیابی کیفیت خاک اراضی شالیزاری، تعیین حداقل ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک و بررسی تأثیر شاخص‌های کیفیت خاک تعیین‌شده با استفاده از روش‌های مختلف بر عملکرد برنج در اراضی شالیزاری منطقه پیربازار استان گیلان انجام گرفت.

1- Principal component analysis
2- Expert opinion



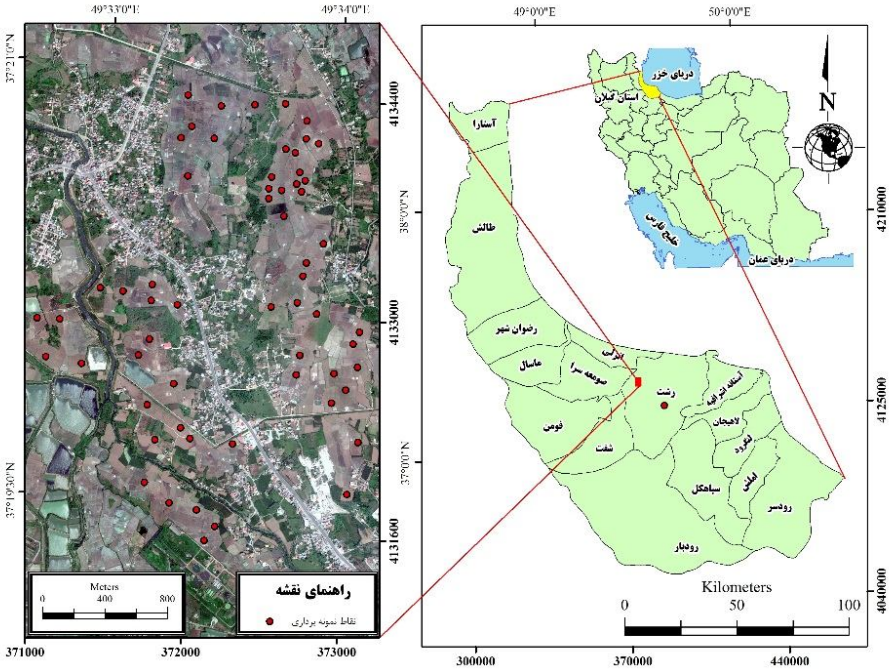
www.SID.ir

Archive of SID



## مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در منطقه پیربازار (نواحی مرکزی استان گیلان) واقع بین طول‌های جغرافیایی ″۴۰ ′۳۲ °۴۹ و ″۲۰ ′۳۴ °۴۹ شرقی و عرض‌های جغرافیایی ″۲۰ ′۱۹ °۳۷ و ″۵۵ ′۲۰ °۳۷ شمالی اجرا شد (شکل ۱). بر اساس آمار ۲۰ ساله (۱۹۹۰ تا ۲۰۱۰) ایستگاه هواشناسی رشت، میانگین درجه حرارت سالیانه، ۱۶/۸ درجه سلسیوس و میانگین بارندگی سالیانه، ۱۲۴۶ میلی‌متر می‌باشد. رژیم‌های رطوبتی و حرارتی خاک، به‌ترتیب یودیک و ترمیک و سیمای اراضی منطقه، اراضی پست با شیب کم‌تر از ۰/۵ درصد است. کاربری عمده اراضی موجود در منطقه شامل شالیزار و صیفی‌کاری می‌باشد.




**شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه به‌همراه نقاط نمونه‌برداری.**

**Figure 1. Location of the study area along with sampling points.**

به‌منظور اجرای این پژوهش، انتخاب شالیزارها به‌گونه‌ای انجام شد که عملیات کشاورزی و مدیریت زراعی در آن‌ها تقریباً یکسان بود. بر اساس میانگین عملکرد برنج طی سه سال، اراضی شالیزاری انتخاب‌شده دارای عملکرد پایین ($<$۴/۶ t ha$^{-1}$) و عملکرد بالا ($\geq$۴/۶ t ha$^{-1}$) بودند. در مجموع ۶۰ نمونه خاک مرکب (از هر قسمت ۳۰ نمونه خاک) به روش نمونه‌برداری تصادفی از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر و محصول برنج در پلاتی به وسعت ۱ مترمربع به مرکزیت محل‌های نمونه‌برداری خاک در شهریورماه ۱۳۹۵ برداشت شدند. با توجه به تأثیرپذیری کیفیت خاک از ویژگی‌های مختلف خاک، ۲۰ ویژگی فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک از جمله: درصد ذرات معدنی خاک (رس، سیلت و شن)، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، جرم مخصوص ظاهری، pH، قابلیت هدایت الکتریکی، کربن آلی، نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم قابل‌استفاده، کلسیم و منیزیم محلول، آهن، روی و مس قابل‌استفاده، کربن



www.SID.ir

Archive of SID



فعال، کربن زیست‌توده میکروبی، فعالیت آنزیم اوره‌آز و ضریب متابولیک که به‌عنوان ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک معرفی شده‌اند (۴۰، ۴۲ و ۴۵)، به‌عنوان TDS در نظر گرفته شده و با استفاده از روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شدند. درصد ذرات معدنی خاک (رس، سیلت و شن) به‌روش هیدرومتری (۱۷)، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) به‌روش الک تر (۲۳)، جرم مخصوص ظاهری به‌روش کلوخه و پارافین (۲۷)، pH در عصاره ۱:۲/۵ خاک به آب توسط دستگاه pH متر و قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع توسط دستگاه هدایت‌سنج (۲۴)، کربن آلی خاک به‌روش والکلی و بلک (۴۴)، نیتروژن کل به‌روش کجلدال (۲۰)، فسفر قابل‌استفاده در خاک به‌روش اولسن (۳۳)، غلظت پتاسیم قابل‌استفاده خاک به‌روش عصاره‌گیری با استات آمونیوم و قرائت با دستگاه فلیم‌فوتومتر (۲۴)، کلسیم و منیزیم محلول به‌روش کمپلکسومتری (تیتراسیون با EDTA) (۳۴)، آهن، روی و مس با روش عصاره‌گیری با DTPA و قرائت با دستگاه جذب اتمی (۲۷)، کربن فعال به‌روش اکسیداسیون با پرمنگنات پتاسیم (۲)، کربن زیست‌توده به‌روش تدخین- استخراج (۲) و فعالیت آنزیم اوره‌آز به‌روش تعیین آمونیوم با روش تقطیر بخار (۲) اندازه‌گیری شدند.

از روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) برای مشخص کردن مهم‌ترین ویژگی‌هایی که نماینده بهتری از عوامل مؤثر بر کیفیت خاک (MDS) باشند، استفاده شد. این کار با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام گرفت. به‌منظور کاهش تعداد مؤلفه‌ها و انتخاب MDS، از معیار کایسر[1] (۲۱) و آزمون اسکری[2] (۱۱) استفاده شد. در هر مؤلفه اصلی، تنها متغیرهایی که مقادیر قدرمطلق وزنشان، جزء ۱۰ درصد بالاترین وزن متغیر بودند، به‌عنوان MDS در نظر گرفته شدند (۵).

با توجه به این‌که ویژگی‌های مورد بررسی دارای واحدهای گوناگونی می‌باشند، به‌منظور این‌که بتوان آن‌ها را در قالب یک شاخص کلی درآورد، باید ویژگی‌ها را بی‌واحد کرد. برای این منظور از توابع عضویت فازی به‌عنوان توابع نمره‌دهی استفاده شد. به این ترتیب که محدوده‌ای از مقادیر ویژگی مورد نظر که از نظر کیفیت خاک، مطلوب‌ترین مقدار باشد، درجه عضویت ۱ و محدوده‌ای که کمترین کیفیت را دارد، درجه عضویت صفر می‌گیرند (۴۵). به این ترتیب تابعی به‌دست می‌آید که با استفاده از آن، مقادیر ویژگی موردنظر را بین صفر (کم‌ترین مطلوبیت برای کیفیت خاک) و ۱ (بیش‌ترین مطلوبیت برای کیفیت خاک) نمره می‌دهد. به‌منظور تعیین وزن تعلق‌یافته به ویژگی‌های خاک، برای مجموعه TDS، سهم هر ویژگی[3] (COM) با استفاده از روش تجزیه عامل[4] (FA) (۴۰ و ۴۱) به‌وسیله نرم‌افزار SAS محاسبه شد. سپس نسبت مقدار سهم هر ویژگی به مجموع مقادیر سهم کل ویژگی‌ها در مجموعه TDS، به‌عنوان وزن هر ویژگی برای محاسبه شاخص کیفیت خاک در نظر گرفته شد (۴۵). همچنین وزن‌های مربوط به مجموعه MDS، از درصد واریانس استاندارد حاصل از مؤلفه‌های اصلی (مقدار کل واریانس مؤلفه برای متغیرهای غیرهمبسته و نسبت مقدار کل واریانس مؤلفه به تعداد متغیرها برای متغیرهای همبسته) به‌دست آمد (۳۰ و ۳۷). پس از تعیین وزن ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک، شاخص‌های کیفیت برای هر نمونه خاک، با استفاده از شاخص تجمعی ساده[5] ($IQI_{SA}$) (رابطه ۱) و شاخص تجمعی وزن‌دار[6] کیفیت خاک ($IQI_{WA}$) (رابطه ۲)، تعیین شدند (۱۲).

1- Kaiser criterion
2- Scree test

3- Communality
4- Factor analysis
5- Simple additive integrated quality index
6- Weighted additive integrated quality index



www.SID.ir

Archive of SID



$$IQI_{SA}=\sum_{i=1}^{n}\frac{N_i}{n} \quad (۱)$$

که در آن، $N_i$ نمره تعلق گرفته به هر ویژگی و n تعداد ویژگی‌های مورد نظر است.

$$IQI_{WA}=\sum_{i=1}^{n} WiNi \quad (۲)$$

که در آن، $W_i$ وزن تعلق‌یافته به هر ویژگی خاک، $N_i$ نمره تعلق‌یافته به هر ویژگی و n تعداد ویژگی‌های مورد نظر است.

هر کدام از شاخص‌های بالا برای هر یک از نمونه‌های خاک با استفاده از دو مجموعه ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک شامل TDS و MDS تعیین شدند. در نتیجه برای هر نمونه خاک، چهار شاخص کلی کیفیت خاک شامل $IQI_{SA-TDS}$، $IQI_{SA-MDS}$، $IQI_{WA-TDS}$ و $IQI_{WA-MDS}$ به‌دست آمد. آزمون چندمتغیره آماری $T^2$ هاتلینگ[1] به‌منظور بررسی اختلاف کلی ویژگی‌های خاکی و آزمون t جفت‌نشده (مقایسه میانگین (t-test) به‌صورت مقایسه‌های جفت‌نشده) به‌منظور تعیین تأثیر کیفیت خاک بر میزان عملکرد برنج استفاده شد. آنالیزهای آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS صورت گرفت.

## نتایج و بحث

خلاصه برخی آماره‌های توصیفی برای ویژگی‌های خاک شالیزارهای مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است. ژانگ و همکاران (۲۰۰۷) اعلام نمودند که تغییرات کم‌تر از ۱۰ درصد، دلالت بر تغییرپذیری پایین ویژگی موردنظر و تغییرات بالاتر از ۹۰ درصد، بیانگر تغییرپذیری بالای آن است. بر این اساس اکثر ویژگی‌های خاک و عملکرد در منطقه از تغییرپذیری متوسط و پایین برخوردار هستند که استفاده طولانی‌مدت و مدیریت یکنواخت اراضی می‌تواند منجر به یکنواختی خاک شده و کاهش ضریب تغییرپذیری را به دنبال داشته باشد (۱۶ و ٤٦).

**جدول ۱- توصیف آماری ویژگی‌های خاک و محصول برنج.**

**Table 1. Descriptive statistics of measured soil properties and rice yield.**

| ویژگی Indicator | عملکرد بالا High productivity | | | عملکرد پایین Low productivity | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | واحد Unit | میانگین Mean | دامنه تغییرات Range | ضریب تغییرات CV% | میانگین Mean | دامنه تغییرات Range | ضریب تغییرات CV% |
| کربن زیست‌توده (BC) | mg $100g^{-1}$ | 58.61 | 6.86-144.32 | 88.7 | 80.81 | 8.61-413.09 | 100.15 |
| جرم مخصوص ظاهری (BD) | g $cm^{-3}$ | 1.63 | 1.49-1.73 | 3.06 | 1.69 | 1.49-1.9 | 6 |
| میانگین‌وزنی قطر خاکدانه (MWD) | mm | 2.65 | 1.86-3.08 | 13.43 | 2.02 | 0.97-2.85 | 26.40 |
| کربن آلی (OC) | g $100g^{-1}$ | 3.69 | 1.56-5.46 | 31.7 | 2.64 | 1.12-3.9 | 34.9 |
| کربن فعال (AC) | mg $100g^{-1}$ | 32.67 | 9.75-69.22 | 33.36 | 32.99 | 12.29-97.14 | 51.27 |
| ضریب متابولیک (MC) | g $100g^{-1}$ | 1.34 | 0.15-3.7 | 53.3 | 3.45 | 0.31-11.76 | 91.58 |
| رس (Clay) | g $100g^{-1}$ | 28.73 | 8.5-34.5 | 29.23 | 21.53 | 14.5-37 | 27.09 |
| سیلت (Silt) | g $100g^{-1}$ | 46.21 | 36-68 | 17.06 | 56.96 | 40-73 | 14.17 |
| شن (Sand) | g $100g^{-1}$ | 25.06 | 20-48 | 45.98 | 21.51 | 0.5-44.5 | 57.87 |
| pH | --- | 7.17 | 6.6-7.63 | 3.76 | 7.32 | 6.85-7.57 | 2.47 |
| قابلیت هدایت الکتریکی (EC) | dS $m^{-1}$ | 0.63 | 0.248-2.16 | 57.3 | 1.07 | 0.52-4.64 | 84.79 |

1- Hotteling



www.SID.ir

Archive of SID



ادامه جدول ۱-

**Continue Table 1.**

| عملکرد پایین Low productivity | | | عملکرد بالا High productivity | | | | ویژگی Indicator |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ضریب تغییرات CV% | دامنه تغییرات Range | میانگین Mean | ضریب تغییرات CV% | دامنه تغییرات Range | میانگین Mean | واحد Unit | |
| 40.30 | 106-432 | 127.20 | 50.81 | 50-312 | 206.26 | $mg\ kg^{-1}$ | پتاسیم (K) |
| 25.83 | 0.19-21.64 | 11.93 | 47.19 | 2.1-33.85 | 16.59 | $mg\ kg^{-1}$ | فسفر (P) |
| 18.05 | 0.11-0.22 | 0.16 | 14.28 | 0.16-0.28 | 0.21 | $g\ 100g^{-1}$ | نیتروژن (N) |
| 49.49 | 32.06-368.73 | 161.92 | 72.68 | 16.03-240.48 | 97.26 | $mg\ kg^{-1}$ | کلسیم (Ca) |
| 84.02 | 9.72-321.02 | 87.87 | 81.6 | 9.72-311.3 | 99.87 | $mg\ kg^{-1}$ | منیزیم (Mg) |
| 32.5 | 3.19-10.3 | 5.64 | 30.81 | 1.66-7.39 | 4.64 | $mg\ kg^{-1}$ | مس (Cu) |
| 148.56 | 0.22-11.14 | 1.31 | 104.76 | 0.01-3.56 | 0.63 | $mg\ kg^{-1}$ | روی (Zn) |
| 44.07 | 6.63-50.8 | 27 | 41.59 | 7.12-105.2 | 53.11 | $mg\ kg^{-1}$ | آهن (Fe) |
| 5.19 | 63-70 | 67.02 | 43.2 | 17.5-210 | 110.87 | $\mu g\ NH_4g\ soil^{-1}\ 2hr^{-1}$ | فعالیت اوره‌آز (UA) |
| 14.36 | 2.28-4.51 | 3.46 | 4.29 | 5.12-5.94 | 5.49 | $t\ ha^{-1}$ | عملکرد (Yield) |

BC, biomass carbon; BD, bulk density; AC, active carbon; MC, methabolic coefficient; UA, urease activity.

نتایج آزمون چندمتغیره آماری $T^2$ هاتلینگ (جدول ۲) به‌منظور بررسی اختلاف کلی از لحاظ تمامی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک نشان داد که بین شالیزارهای با عملکرد پایین و بالا از نظر مجموعه ویژگی‌های خاکی مورد اندازه‌گیری، اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ وجود دارد؛ بنابراین بخشی از تفاوت عملکرد شالیزارهای انتخاب شده می‌تواند متأثر از تفاوت ویژگی‌های خاک باشد.

**جدول ۲- تجزیه واریانس چندمتغیره بین خاک شالیزارهای با عملکرد پایین و بالا.**

**Table 2. Multivariate analysis of variance between low and high productivity paddy soils.**

| معنی‌داری Sig | درجه آزادی خطا Erorr DF | درجه آزادی فرض Hypothesis DF | مقدار F F | مقدار Value | آزمون آماری Statistical test |
|---|---|---|---|---|---|
| 0.000** | 40 | 19 | 7.908 | 0.790 | Pillais Trace |
| 0.000** | 40 | 19 | 7.908 | 0.210 | Willks Lammda |
| 0.000** | 40 | 19 | 7.908 | 3.756 | Hottelings Trace |
| 0.000** | 40 | 19 | 7.908 | 3.756 | Roys Greatest Root |

** همبستگی معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ را نشان می‌دهد.

** Indicate significant differences at 0.01 probability.

با در نظر گرفتن ۲۰ ویژگی فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک با استفاده از PCA، ۱۷ مؤلفه اصلی به‌دست آمد. بر اساس معیار کایسر و با توجه به این‌که مؤلفه‌های با ارزش ویژه کم‌تر از ۱، بیانگر توصیف بخش کم‌تری از واریانس توسط آن مؤلفه نسبت به هر یک از متغیرهای مورد مطالعه هستند (۷، ٤۲ و

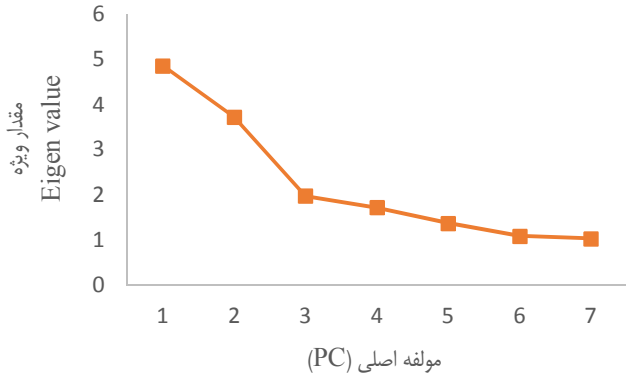


www.SID.ir

Archive of SID



٤٥)؛ ۷ مؤلفه دارای مقادیر ارزش ویژه بزرگ‌تر از ۱ بودند (جدول ۳). معمولاً بر اساس معیار کایسر تعداد زیادی مؤلفه اصلی برای تفسیر باقی می‌ماند و استفاده از این معیار در مواردی که مقادیر ارزش ویژه به ۱ نزدیک باشد، ممکن است مناسب نباشد (۳۲). بنابراین مطابق نمودار اسکری (شکل ۲) و شکست نمودار در PC3، ۳ مؤلفه اول انتخاب شدند. این ۳ مؤلفه ٦٧ درصد تغییرات کیفیت خاک‌ها را توصیف نموده و دارای دامنه اطلاعات وسیع‌تری نسبت به سایر مؤلفه‌ها می‌باشند (جدول ۳). هر یک از این ۳ مؤلفه، جداگانه با ۳۰/۸، ۲۳/۵ و ۱۲/۸ درصد واریانس داده‌ها، بیش‌ترین واریانس را نسبت به سایر مؤلفه‌ها نشان دادند. به‌عبارتی مؤلفه‌های باقی‌مانده، سهم کم‌تری در توضیح میزان تغییرات دارند (۱۰). نتایج جدول ۳ نشان داد که در مؤلفه اول، ۳ ویژگی کربن آلی، نیتروژن کل و میانگین وزنی قطر خاکدانه؛ در مؤلفه دوم، پتاسیم و درصد رس و در مؤلفه سوم، فعالیت آنزیم اوره‌آز به‌عنوان متغیرهای دارای بزرگ‌ترین بردار ویژه انتخاب شدند. لیو و همکاران (۲۰۱۵) بیان داشتند که ۸۸ درصد تغییرات کیفیت خاک اراضی شالیزاری چین از طریق مجموعه MDS شامل نیتروژن کل، پتاسیم قابل‌دسترس و برخی متغیرهای زیستی خاک قابل توصیف می‌باشد (۲۹). به‌منظور یافتن متغیرهای همبسته در هر مؤلفه از نتایج همبستگی (جدول ٤) استفاده شد. متغیرهای با بیش‌ترین وزن یا بزرگ‌ترین مقادیر بردار ویژه در مؤلفه اول (کربن آلی، نیتروژن کل و میانگین وزنی قطر خاکدانه) همبستگی معنی‌داری با یکدیگر داشتند. آرمنیس و همکاران (۲۰۱۳) بیان کردند در صورتی‌که متغیرهای همبسته در یک مؤلفه از عوامل مهم تأثیرگذار بر کیفیت خاک باشند، باید با توجه به اهمیت‌شان در مجموعه MDS باقی بمانند (۷). بر این اساس کربن آلی و نیتروژن کل به‌دلیل نقش کلیدی در تعیین کیفیت خاک و با دارا بودن وزن بیش‌تر (به‌ترتیب ۰/۳٦٦ و ۰/۳۵۱) نسبت به میانگین وزنی قطر خاکدانه (۰/۳۳۱) به‌عنوان مجموعه MDS در نظر گرفته شدند. در مؤلفه دوم، هر دو متغیر پتاسیم و درصد رس به‌دلیل عدم همبستگی، در مجموعه MDS باقی ماندند. در نهایت ۵ ویژگی کربن آلی، نیتروژن کل، پتاسیم، درصد رس و فعالیت آنزیم اوره‌آز به‌عنوان حداقل ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک (MDS) در نظر گرفته شدند.




**شکل ۲- نمودار اسکری برای مؤلفه‌های اصلی.**

**Figure 2. Scree plot for the PCs.**



www.SID.ir

Archive of SID



**جدول ۳- نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک برای هفت مؤلفه اول.**

**Table 3. Results of principal component analysis of soil quality indicators for the seven PCs.**

| مؤلفه ۷ | مؤلفه ٦ | مؤلفه ٥ | مؤلفه ٤ | مؤلفه ۳ | مؤلفه ۲ | مؤلفه ۱ | ویژگی |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PC7 | PC6 | PC6 | PC4 | PC3 | PC2 | PC1 | Indicator |
| 1.02 | 1.08 | 1.36 | 1.71 | **1.97** | **3.72** | **4.86**[a] | ارزش ویژه (Eigen value) |
| 5.1 | 5.4 | 6.8 | 7.1 | 12.8 | 23.5 | 30.8 | درصد واریانس (Percent of variance) |
| 91.5 | 86.4 | 81.0 | 74.2 | 67.1 | 54.3 | 30.8 | درصد واریانس تجمعی (Cumulative percent) |
| -0.302 | 0.104 | -0.272 | 0.554 | -0.07 | 0.119 | 0.219 | کربن زیست‌توده (BC) |
| -0.098 | -0.272 | -0.054 | -0.032 | 0.148 | 0.279 | 0.095 | جرم مخصوص ظاهری (BD) |
| -0.110 | 0.140 | -0.25 | 0.134 | 0.112 | 0.009 | **-0.331**[b] | میانگین وزنی قطر خاکدانه (MWD) |
| -0.257 | 0.258 | -0.039 | 0.165 | 0.204 | 0.021 | **-0.366**[c] | کربن آلی (OC) |
| 0.464 | -0.036 | 0.254 | 0.215 | -0.218 | 0.232 | 0.002 | کربن فعال (AC) |
| -0.102 | -0.092 | -0.219 | 0.430 | 0.049 | 0.066 | 0.313 | ضریب متابولیک (MC) |
| -0.087 | 0.007 | -0.325 | -0.003 | 0.140 | **0.388** | -0.246 | رس (Clay) |
| 0.076 | 0.022 | 0.244 | -0.186 | 0.217 | 0.38 | 0.011 | سیلت (Silt) |
| -0.008 | -0.02 | -0.0005 | 0.139 | -0.238 | -0.335 | 0.127 | شن (Sand) |
| -0.280 | 0.239 | -0.195 | -0.168 | -0.398 | 0.136 | 0.109 | pH |
| 0.104 | 0.060 | 0.118 | 0.041 | 0.451 | -0.181 | 0.289 | قابلیت هدایت الکتریکی (EC) |
| 0.033 | 0.221 | -0.005 | -0.137 | 0.327 | **0.350** | 0.315 | پتاسیم (K) |
| 0.293 | -0.059 | 0.024 | 0.210 | 0.367 | -0.124 | 0.225 | فسفر (P) |
| -0.119 | 0.117 | -0.073 | 0.241 | 0.328 | -0.076 | **-0.351** | نیتروژن (N) |
| -0.063 | -0.079 | -0.033 | 0.063 | 0.007 | 0.36 | 0.16 | کلسیم (Ca) |
| -0.134 | 0.574 | 0.326 | 0.061 | -0.088 | -0.049 | -0.033 | منیزیم (Mg) |
| 0.288 | -0.123 | 0.201 | 0.115 | -0.009 | 0.316 | -0.034 | مس (Cu) |
| 0.175 | 0.503 | 0.154 | 0.160 | -0.076 | 0.225 | 0.113 | روی (Zn) |
| 0.431 | -0.197 | 0.126 | 0.343 | -0.131 | -0.059 | -0.289 | آهن (Fe) |
| 0.207 | -0.211 | 0.058 | 0.233 | **0.578** | -0.057 | –0.084 | فعالیت اوره‌آز (UA) |

[a] مقادیر ارزش ویژه پررنگ، مؤلفه‌های انتخاب‌شده را نشان می‌دهند. [b] اعداد پررنگ به‌عنوان بیش‌ترین وزن در نظر گرفته شدند. [c] اعداد پررنگ که زیر آن‌ها خط کشیده شده است، به‌عنوان MDS انتخاب شدند.

[a] Boldface eigen values correspond to the PCs examined for the index. [b] Bold values under each component were highly weighted. [c] Underlined bold values were selected in MDS.

**جدول ٤- ماتریس ضرایب همبستگی برای مؤلفه‌های با بیش‌ترین وزن برای ۳ مؤلفه اول.**

**Table 4. Correlations matrix s for the highly weighted variables under the first 3 PCs.**

| Urease activity | K | Clay | N | OC | MWD | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 1 | MWD |
| | | | | 1 | 0.516** | OC |
| | | | 1 | 0.697** | 0.495** | N |
| | | 1 | -0.116 | 0.361* | 0.425** | Clay |
| | 1 | -0.210 | -0.307* | -0.368* | 0.342* | K |
| 1 | 0.327* | 0.250 | 0.416** | 0.040 | 0.284 | Urease activity |

** و * به‌ترتیب همبستگی معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ و ۰/۰۵ را نشان می‌دهد.

** and * Significant at 99% and 95% confidence level, respectively.



www.SID.ir

Archive of SID



تمامی ویژگی‌های خاکی با استفاده از توابع عضویت فازی بین مقادیر صفر تا یک امتیازدهی شدند و وزن‌های مجموعه TDS و MDS به‌دست آمدند (جدول ۵). به این ترتیب شاخص‌های تجمعی ساده و وزن‌دار کیفیت خاک برای مجموعه ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک (TDS) و حداقل ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک (MDS) محاسبه شدند.

**جدول ۵- وزن ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک در مجموعه‌های TDS و MDS.**

**Table 5. Weight of soil quality indicators in TDS and MDS.**

| وزن Weight | | سهم | ویژگی | وزن Weight | | سهم | ویژگی |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| MDS | TDS | COM | Indicator | MDS | TDS | COM | Indicator |
| | 0.052 | 0.767 | مس (Cu) | | 0.060 | 0.895 | کربن زیست‌توده (BC) |
| | 0.042 | 0.628 | روی (Zn) | | 0.042 | 0.627 | میانگین وزنی قطر خاکدانه (MWD) |
| | 0.045 | 0.674 | آهن (Fe) | 0.17 | 0.052 | 0.78 | کربن آلی (OC) |
| 0.14 | 0.052 | 0.78 | فعالیت اوره‌آز (UA) | | 0.036 | 0.532 | کربن فعال (AC) |
| | 0.030 | 0.456 | جرم مخصوص ظاهری (BD) | | 0.060 | 0.897 | ضریب متابولیک (MC) |
| | 0.059 | 0.872 | قابلیت هدایت الکتریکی (EC) | 0.26 | 0.046 | 0.684 | پتاسیم (K) |
| 0.26 | 0.057 | 0.481 | رس (Clay) | | 0.046 | 0.689 | فسفر (P) |
| | 0.062 | 0.92 | شن (Sand) | 0.17 | 0.055 | 0.82 | نیتروژن (N) |
| | 0.054 | 0.799 | سیلت (Silt) | | 0.044 | 0.661 | کلسیم (Ca) |
| | 0.043 | 0.642 | pH | | 0.050 | 0.746 | منیزیم (Mg) |

به‌منظور تعیین تأثیر کیفیت خاک بر میزان عملکرد برنج، بین شاخص‌های کیفیت خاک شالیزارهای با عملکرد بالا و پایین مقایسه میانگین (t-test) به‌صورت مقایسه‌های جفت‌نشده صورت گرفت (جدول ٦). نتایج نشان داد که شاخص ساده و شاخص تجمعی وزن‌دار کیفیت خاک با استفاده از مجموعه TDS ($IQI_{WA-TDS}$ و $IQI_{SA-TDS}$) اختلاف معنی‌داری را بین کیفیت خاک در دو سطح عملکرد نشان نمی‌دهند. در حالی‌که زمانی‌که این شاخص‌ها با استفاده از حداقل ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک ($IQI_{WA-MDS}$ و $IQI_{SA-MDS}$) تعیین می‌شوند، اختلاف معنی‌دار بین شاخص کیفیت خاک شالیزارهای با عملکرد بالا و پایین مشاهده می‌شود. ارزیابی کیفیت خاک اراضی شالیزاری نشان داد که شالیزارهای با عملکرد بالا از میانگین $IQI_{SA-MDS}$ و $IQI_{WA-MDS}$ بالاتری (به‌ترتیب ۰/۸٤ و ۰/۸۹) نسبت به نقاط با عملکرد پایین (به‌ترتیب ۰/۷۸ و ۰/۸۰) برخوردار هستند (جدول ٦). مطالعات مختلف نشان داده‌اند که کیفیت خاک می‌تواند تأثیر مثبت بر میزان عملکرد محصول برنج داشته باشد (۲۸ و ۲۹). از این‌رو وجود اختلاف معنی‌دار بین شاخص‌های کیفیت خاک شالیزارهای با دو سطح عملکرد که از مجموعه حداقل ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک (MDS) استفاده کرده‌اند، نشان می‌دهد که مجموعه MDS به شکل مؤثرتری اختلاف کیفیت خاک شالیزارهای با عملکرد متفاوت را نشان داده است. نتایج نیز نشان می‌دهد که مقادیر بیش‌تر کربن آلی، نیتروژن کل، پتاسیم، درصد رس و فعالیت آنزیم اوره‌آز (ویژگی‌های مجموعه



www.SID.ir

Archive of SID



MDS) مربوط به شالیزارهای با عملکرد بالاتر می‌باشد (جدول ۲). کربن آلی نقش اساسی بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک و در نتیجه کیفیت خاک ایفا می‌کند (۱۹). نیتروژن کل خاک یکی از ویژگی‌های اصلی مؤثر بر کیفیت خاک بوده و اهمیت بسیار زیادی در حاصلخیزی خاک دارد (۳). پتاسیم قابل‌استفاده خاک در شالیزارهای با عملکرد پایین و بالا، در حد کفایت و بیش از حد بحرانی ۱۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد؛ اما در شالیزارهای با عملکرد پایین، تنها اندکی بیش‌تر از حد بحرانی است. میزان رس نیز به‌دلیل تأثیر شدید بر جریان آب، هوا و عناصر غذایی در خاک، بر فرایندهای شیمیایی و بیولوژیکی خاک بسیار اثرگذار است (۹). فعالیت آنزیم اوره‌آز به‌ترتیب با چرخه نیتروژن و فسفر در خاک ارتباط دارد (۱۵). در پژوهش حاضر نیز فعالیت بیش‌تر آنزیم اوره‌آز در شالیزارهای با عملکرد بالاتر، احتمالاً به‌دلیل سطوح بالاتر نیتروژن کل و فسفر قابل‌جذب می‌باشد.

**جدول ٦- مقادیر میانگین شاخص‌های کیفیت خاک در شالیزارهای با عملکرد بالا و پایین.**

**Table 6. Mean soil quality indices for low and high productivity paddy soils.**

| شاخص کیفیت خاک SQI | میانگین (Mean) | | T value |
|---|---|---|---|
| | عملکرد پایین Low productivity | عملکرد بالا High productivity | |
| $IQI_{WA-TDS}$ | 0.64 | 0.65 | $0.502^{ns}$ |
| $IQI_{WA-MDS}$ | 0.80 | 0.89 | 2.63** |
| $IQI_{SA-TDS}$ | 0.62 | 0.64 | $0.872^{ns}$ |
| $IQI_{SA-MDS}$ | 0.78 | 0.84 | 1.98* |

* معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۵، ** معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۱ و ns غیرمعنی‌دار.

** and * Indicate significant differences at 0.01 and 0.05 probability level, respectively and ns indicates non-significant differences.

در نهایت همبستگی هر یک از شاخص‌های کیفیت خاک با عملکرد برنج در دو سطح عملکرد پایین و بالا بررسی شد (شکل ۳). همان‌طور که مشاهده می‌شود در عملکرد پایین، بیش‌ترین همبستگی بین شاخص‌های کیفیت خاک و عملکرد برنج مربوط به $IQI_{WA-MDS}$ ($R^2$=۰/٤٦) و $IQI_{SA-MDS}$ ($R^2$=۰/٤٤) می‌باشد. در عملکرد بالا نیز، بیش‌ترین همبستگی بین مقدار عملکرد برنج و $IQI_{WA-MDS}$ ($R^2$ =۰/٥٤) و $IQI_{SA-MDS}$ ($R^2$=۰/٥٢) مشاهده شد. با توجه به مقادیر بیش‌تر همبستگی عملکرد برنج با $IQI_{WA-MDS}$ در هر دو سطح عملکرد، می‌توان بیان نمود که استفاده از مدل وزن‌دار شاخص کیفیت خاک و حداقل خصوصیات مؤثر بر کیفیت خاک (MDS) بهتر توانسته است تغییرات عملکرد در ارتباط با کیفیت خاک را توجیه نماید. چروبین و همکاران (۲۰۱٦) عنوان کردند که اگرچه مقدار شاخص کیفیت ساده و وزنی از نظر آماری مشابه هستند؛ اما توصیه می‌شود به‌ویژه هنگامی که تعداد شاخص‌های شیمیایی، فیزیکی و زیستی نامتعادل است از شاخص‌های وزنی استفاده شود (۱۲). موخرجی و لال (۲۰۱٤) در مقایسه سه روش تعیین شاخص کیفیت خاک نشان دادند که شاخص‌های وزن‌دار در مقایسه با شاخص ساده کیفیت خاک به‌دلیل اختصاص وزن مناسب برای ویژگی‌های خاک، همبستگی بیش‌تری با مقدار عملکرد محصول دارند. همچنین ایشان بیش‌ترین مقدار همبستگی عملکرد محصول با

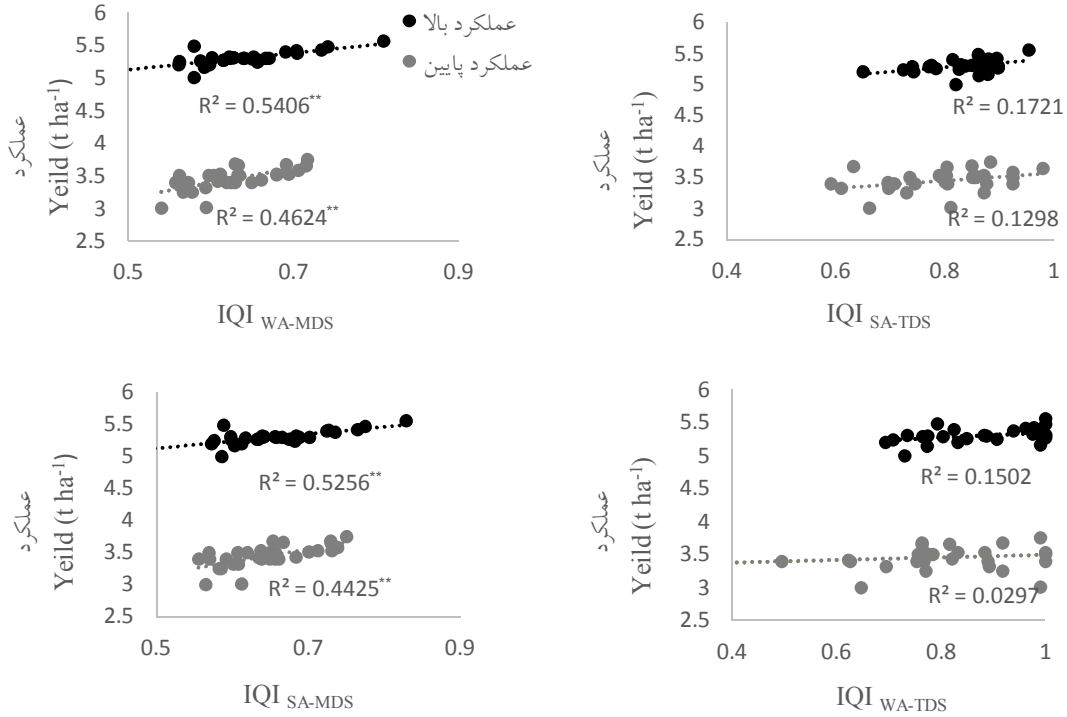


www.SID.ir

Archive of SID



شاخص کیفیت خاک را با استفاده از مجموعه MDS به‌دست آوردند (۳۱). گیو و همکاران (۲۰۱۷) در مقایسه روش‌های ارزیابی کیفیت خاک، شاخص تجمعی وزن‌دار بر اساس مجموعه MDS را به‌عنوان دقیق‌ترین روش معرفی کرده و به‌کارگیری آن را در مقیاس‌های بزرگ‌تر پیشنهاد کردند (۱۸).




**شکل ۳- همبستگی بین شاخص‌های کیفیت خاک و عملکرد برنج.**

**Figure 3. Correlation between soil quality indices and rice yield.**

به‌طور کلی همبستگی معنی‌دار شاخص‌های کیفیت خاک ($IQI_{SA-MDS}$ و $IQI_{WA-MDS}$) و عملکرد برنج بیانگر این مطلب است که این شاخص‌های کیفیت خاک می‌توانند به‌عنوان ابزار امیدبخشی برای تلفیق اطلاعات خاک و تعیین درجه کیفیت خاک برای اراضی شالیزاری در منطقه مورد مطالعه استفاده شوند. لیو و همکاران (۲۰۱۵) در بررسی کیفیت خاک اراضی شالیزاری چین نشان دادند که همبستگی معنی‌دار شاخص کیفیت خاک و عملکرد برنج بیانگر این است که انتخاب تعداد محدودتری از ویژگی‌های خاک به‌عنوان MDS به درستی انجام شده و توانسته وضعیت خاک برای تولید برنج را به خوبی ارزیابی نماید (۲۹). بنابراین با استفاده از MDS که تعداد محدودتری از ویژگی‌های خاک را شامل می‌شوند و سبب کاهش هزینه و صرفه‌جویی در وقت می‌شود، می‌توان با اطمینان قابل‌قبولی شاخص‌های کیفیت خاک اراضی شالیزاری را تعیین کرد. نتایج مشابهی توسط اندروز و همکاران (۲۰۰۲) و لیما و همکاران (۲۰۱۳) گزارش شده است و نتیجه گرفتند که تعداد کم‌تری از ویژگی‌های خاک که به دقت انتخاب شده باشند، می‌توانند به‌طور مناسب اطلاعات مورد نیاز برای تصمیم‌گیری را فراهم کنند (٤ و ٢٦).



www.SID.ir

Archive of SID



## نتیجه‌گیری کلی

آگاهی از چگونگی کیفیت خاک در عرصه‌های کشاورزی برای مدیریت بهینه اراضی و رسیدن به حداکثر بهره‌وری اقتصادی امری ضروری است. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که پنج ویژگی کربن آلی، نیتروژن کل، پتاسیم، درصد رس و فعالیت آنزیم اوره‌آز بیش‌ترین تأثیر را بر کیفیت خاک اراضی شالیزاری مورد مطالعه داشتند. ارزیابی کیفیت خاک اراضی شالیزاری نشان داد زمانی‌که شاخص تجمعی ساده و وزن‌دار کیفیت خاک با استفاده از مجموعه MDS ($IQI_{SA-MDS}$ و $IQI_{WA-MDS}$) تعیین می‌شوند، اختلاف معنی‌داری بین شاخص کیفیت خاک شالیزارهای با عملکرد بالا و پایین مشاهده می‌شود؛ به‌طوری‌که شالیزارهای با عملکرد بالا از میانگین $IQI_{SA}$-MDS و $IQI_{WA}$-MDS بالاتری نسبت به شالیزارهای با عملکرد پایین برخوردار هستند. بنابراین می‌توان بیان نمود که مجموعه MDS به شکل مؤثرتری اختلاف کیفیت خاک شالیزارهای با عملکرد متفاوت را نشان داده است و بر اساس نتایج حاصل می‌توان شرایط خاک را به‌درستی به‌عنوان بستری برای تولید برنج ارزیابی نمود. با توجه به بیش‌ترین مقادیر همبستگی عملکرد برنج با $IQI_{WA-MDS}$ در هر دو سطح عملکرد، می‌توان بیان نمود که $IQI_{WA-MDS}$ بهتر توانسته است تغییرات عملکرد در ارتباط با کیفیت خاک را توجیه نماید. پیشنهاد می‌شود به‌منظور افزایش عملکرد محصول، مدیریت خاک به‌گونه‌ای انجام گیرد که ویژگی‌هایی که بیش‌ترین تأثیر را بر شاخص‌های کیفیت خاک (MDS) دارند، به محدوده مطلوبشان نزدیک کند. همچنین به‌منظور جلوگیری از تخریب ناخواسته کیفیت خاک، اقدامات مدیریتی که باعث کاهش اثرات منفی بر ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک می‌شوند، در اولویت قرار گیرند.

## منابع


1. Acton, D.F., and Gregorich, L.J. 1995. The health of our soils - towards sustainable agriculture in Canada. Centre for Land and Biological Resources Research, Research Branch, Agriculture and Agri-Food Canada, Ottawa, Ont. 138p.
2. Alef, K., and Nannipieri, P. 1995. Methods in Applied Soil Microbiological and Biochemistry. Academic Press INC. 576p.
3. Al-Kaisi, M.M., Yin, X.H., and Licht, M.A. 2005. Soil carbon and nitrogen changes as influenced by tillage and cropping systems in some Iowa soils. Agriculture, Ecosystems and Environment. 105: 635-647.
4. Andrews, S., Karlen, D., and Mitchell, J. 2002. A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in Northern California. Agriculture, Ecosystems and Environment. 90: 25-45.
5. Andrews, S.S., and Carroll, C.R. 2001. Designing a soil quality assessment tool for sustainable agroecosystem management. Ecological Applications. 11: 1573-1585.
6. Aparicio, V., and Costa, J.L. 2007. Soil quality indicators under continuous cropping systems in the Argentinean pampas. Soil and Tillage Research. 96: 155-165.
7. Armenise, E., Redmile-Godon, M.A., Stellaci, W.M., Ciccarese, A., and Rubino, P. 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.
8. Boluda, R., Roca-Pérez, L., Iranzo, M., Gil, C., and Mormeneo, S., 2014. Determination of enzymatic activities using a miniaturized system as a rapid method to assess soil quality. Europ. J. Soil Sci. 65: 2. 286-294.




www.SID.ir

Archive of SID



9. Bonanomi, G., D'Ascoli, R., Antignani, V., Capodilupo, M., Cozzolino, L., Marzaiooli, R., Puopolo, G., Rutigliano, F.A., Scelza, R., Scotti, R., Rao, M.A., and Zoina, A. 2011. Assessing soil quality under intensive cultivation and tree orchards in Southern Italy. Applied Soil Ecology. 47: 3. 184-194.
10. Borůvka, L., Mládková, L., Drábek, O., and Vašát, R. 2007. Forest soil acidification assessment using principal component analysis and geostatistics. Geoderma. 140: 4. 374-382.
11. Cattell, R.B. 1966. The Scree test for the number of factors. Multivariate Behavioral Research. 1: 245-276.
12. Cherubin, M.R., Karlen, D.L., Cerri, C.E.P., Franco, A.L.C., Tormena, C.A., Davies, C.A., and Cerri, C.C. 2016. Soil quality indexing strategies for evaluating sugarcane expansion in Brazil. PLoS ONE. 11: 3. 1-26.
13. D'Hose, T., Cougnon, M., Vliegher, A.D., Vandecasteele, B., Viaene, N., Cornelis, W., Bockstaele, E.V., and Reheul, D. 2014. The positive relationship between soil quality and crop production: a case study on the effect of farm compost application. Applied Soil Ecology. 75: 189-198.
14. Doran, J.W., and Jones, A.J. 1996. Methods for Assessing Soil Quality. Soil Science Society of America Special Publication, vol. 49. Soil Science Society of America, Madison, WI. 401p.
15. Finkenbein, P., Kretschmer, K., Kula, K., Klotz, S., and Heilmeier, H. 2013. Soil enzyme activities as bioindicators for substrate quality in revegetation of a subtropical coal mining dump. Soil Biology and Biochemistry. 56: 87-89.
16. Fu, W.J., Tunney, H., and Zhang, C.S. 2010. Spatial variation of soil nutrients in a dairy farm and its implications for site-specific fertilizer application. Soil Tillage Research. 106: 185-193.
17. Gee, G.W., and Bauder, J.M. 1986. Particle-size analysis. P 383-411, In: A., Klute (ed.). Methods of Soil Analysis. Part 1: Physical and Mineralogical Methods. American Society of Agronomy. Soil Science Society of America, Madison, WI.
18. Guo, L., Sun, Z., Ouyang, Z., Han, D., and Li, F. 2017. A comparison of soil quality evaluation methods for Fluvisol along the lower Yellow River. Catena. 152: 135-143.
19. Haynes, R.J. 2005. Labile organic matter fractions as central components of the quality of agricultural soils: an overview Advances in Agronomy. 85: 221-268.
20. Hesse, P.R. 1971. A text book of soil chemical analysis. John Murray. London. 556p.
21. Kaiser, H.F. 1960. The application of electronic computers to factor analysis. Educational and Psychological Measurement. 20: 141-151.
22. Karlen, D.L., Andrews, S.S., and Doran, J.W. 2008. Soil quality: Current concepts and applications. Advances in Agronomy. 74: 1-40.
23. Kemper, W.D., and Rosenau, R.C. 1986. Aggregate stability and size distribution. P 425-442, In: A., Klute (ed.). Methods of Soil Analysis. Part 1: Physical and Mineralogical Methods. American Society of Agronomy. Soil Science Society of America, Madison, WI.
24. Knudsen, D., Peterson, G.A., and Pratt, P.F. 1982. Lithium, sodium and potassium. P 225-246, In: A.L. Page (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 2. America Society of Agronomy. Madison, WI.
25. Li, P., Zhang, T.L., Wang, X.X., and Yu, D.S. 2013. Development of biological soil quality indicator system for subtropical China. Soil Tillage Research. 126: 112-118.
26. Lima, A.C., Brussaard, L., Totola, M.R., Hoogmoed, W.B., and De Goede, R.G. 2013. A functional evaluation of three indicator sets for assessing soil quality. Applied Soil Ecology. 64: 194-200.
27. Lindsay, W.L., and Norvell, W.A. 1978. Development of a DTPA soil test for Zinc, Iron, Manganese and Copper. Soil Sci. Soc. Amer. J. 42: 3. 421-428.
28. Liu, Z., Zhou, W., Shen, J., He, P., Lei, Q., and Liang, G. 2014. A simple assessment on spatial variability of rice yield and selected soil chemical properties of paddy fields south China. Geoderma. 235-236: 39-47.



www.SID.ir

Archive of SID



29. Liu, Z., Zhou, W., Li, S., He, P., Liang, G., Lv, J., and Jin, H. 2015. Assessing soil quality of gleyed paddy soils with different productivities in subtropical China. Catena. 133: 293-302.
30. Masto, R., Chhonkar, P., Singh, D., and Patra, A. 2008. Alternative soil quality indices for evaluating the effect of intensive cropping, fertilization and managing for 31 years in the semi-arid soils of India. Environmental Monitoring and Assessment. 136: 419-435.
31. Mukherjee, A., and Lal, R. 2014. Comparison of Soil Quality Index Using Three Methods. PLoS ONE. 9: 8. 1-15.
32. Norman, G.R., and Streiner, D.L. 2008. Biostatistics: The Bare Essentials. People's Medical Publishing House, Shelton, CT. 200p.
33. Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, F.S., and Dean, L.A. 1954. Estimation of Available Phosphorous in Soils by Extraction with Sodium Bicarbonate; U.S. Department of Agriculture: Washington, D.C., USDA Circ. 939p.
34. Page, A.L., Miller, R.H., and Keeney, D.R. 1982. Methods of Soil Analysis, part 2, chemical and microbiological properties. American Society of Agronomy, Inc. Soil Science Society of America, Madison, WI.
35. 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: 325-334.
36. Ranjbar, A., Emami, H., Khorasani, R., and Karimi, Karoyeh, A.R. 2016. Soil Quality Assessments in Some Iranian Saffron Fields. J. Agric. Sci. Technol. 18: 3. 865-878.
37. Ray, SK., Bahttacharyya, T., Reddy, K.R., Pal, D.K., Tiwary, P., Mandal, D.K., Mandal, C., Prasad, J., Sarkar, D., and Venugopalan, M.V. 2014. Soil and land quality indicators of the Indo-Gangetic plains of India. Curriculum. Science. 107: 1470-1486.
38. Reynolds, W.D., Drury, C.F., Tan, C.S., Fox, C.A., and Yang, X.M. 2009. Use of indicators and pore volume function characteristics to quantify soil physical quality. Geoderma. 152: 252-263.
39. Shahab, H., Emami, H., Haghnia, Gh., and Karimi, A. 2011. Determining most important properties for soil quality indices of agriculture and range lands in a some parts of southern Mashhad. J. Water Soil. 25: 5. 1197-1205.
40. Shukla, M.K., Lal, R., and Ebinger, M. 2006. Determining soil quality indicators by factor analysis. Soil and Tillage Research. 87: 194-204.
41. Sun, B., Zhou, S.L., and Zhao, Q.G. 2003. Evaluation of spatial and temporal changes of soil quality based on geostatistical analysis in the hill region of subtropical China. Geoderma. 115: 85-99.
42. Torbert, H.A., Krueger, E., and Kurtene, D. 2008. Soil quality assessment using fuzzy modeling. International Agrophysics. 22: 365-370.
43. Vasu, D., Singh, S., Ray, S., Tiwary, P., Chandran, P., Nimkar, A., and Anantular, S. 2016. Soil Quality index (SQI) as a tool to evaluate crop productivity in semi-arid Deecan plateau, India. Geoderma. 282: 70-79.
44. Walkley, A., and Black, I.A. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science. 37: 29-37.
45. Yanbing, Q., Darilek, J.L., Biao, H., Yongcun, Z., Sun, W., and Gu, Z. 2009. Evaluating soil quality indices in an agricultural region of Jiangsu Province, China. Geoderma. 149: 325-334.
46. Zhang, X.Y., Sui, Y.Y., Zhang, X.D., Meng, K., and Herbert, S.J. 2007. Spatial variability of nutrient properties in black soil of northeast China. Pedosphere. 17: 1. 19-29.



www.SID.ir

Archive of SID

J. of Soil Management and Sustainable Production, Vol. 9(1), 2019
http://ejsms.gau.ac.ir

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

# Assessing soil quality indices and their relationships with rice yield in paddy fields of central Guilan province

**S. Hemmati[1], *N. Yaghmaeian Mahabadi[2], M.B. Farhangi[2] and A. Sabouri[3]**
[1]M.Sc. Student, Dept. of Soil Science, University of Guilan, [2]Assistant Prof., Dept. of Soil Science, University of Guilan, [3]Assistant Prof., Dept. of Agronomy and Plant Breeding, University of Guilan
Received: 05.11.2018; Accepted: 10.15.2018

## Abstract

**Background and Objectives:** Assessing soil quality and balancing between crop production and quality of natural resources are essential issues in sustainable soil management for agricultural and natural resource protection. In agricultural fields for optimum management and maximum economic productivity, knowledge of the factors affecting the soil quality is necessary. Also, determining the appropriate method for soil quality evaluation is important for sustainable soil management and soil degradation prediction. This study was carried out with the aim of assessing soil quality of paddy fields, determining the minimum data set for soil quality evaluation and investigating the effect of soil quality index using different methods on rice yield in Pirbazar region of Guilan province.

**Materials and Methods:** Based on the mean annual rice yield, the selected paddy fields were divided into low (<4.6 t $ha^{-1}$) and high (≥4.6 t $ha^{-1}$) productivity. Sixty soil samples were collected from 0 to 30 cm depth. The rice products were harvested at a 1 $m^2$ plot at each site. In this research, using the principal component analysis (PCA) method, among 20 physical, chemical and biological soil indicators as total data set (TDS), 6 indicators were selected for the minimum data set (MDS). Then, the soil quality of high and low productivity paddy fields was evaluated by simple additive integrated quality index ($IQI_{SA}$) and weighted additive integrated quality index ($IQI_{WA}$) in two collections of soil properties include MDS and TDS.

**Results:** To evaluate soil quality of paddy fields, an MDS was established with organic carbon, total nitrogen, available potassium, clay percentage and urease activity and these explained about 67% of the soil quality variability. The significant differences were found between the soil quality index of low and high productivity paddy fields when $IQI_{WA}$ and $IQI_{SA}$ were developed based on MDS. So that, the mean $IQI_{SA\text{-}MDS}$ and $IQI_{WA\text{-}MDS}$ of the high productivity paddy fields (0.84 and 0.89, respectively) were higher than low productivity paddy fields (respectively 0.78 and 0.80, respectively). Additionally, data indicated that $IQI_{SA\text{-}MDS}$ and $IQI_{WA\text{-}MDS}$ were most strongly correlated with crop yield, the correlation coefficient ranged between 0.44-0.54.

**Conclusion:** Significant differences between the soil quality indices based on MDS for low and high productivity paddy fields indicated that the MDS more efficiently shows the difference of soil quality between paddy fields with different productivity. The significant correlation between $IQI_{SA\text{-}MDS}$ and $IQI_{WA\text{-}MDS}$ indices with rice yield indicated that an MDS with a limited number of indicators was carefully selected and effectively evaluated the status of soils as a rice production medium. Therefore, using an MDS can save time and money and assess the reliable soil quality indices of paddy fields in the study area.

***Keywords:*** Integrated soil quality index, Minimum data set, Principal component analysis, Weighted additive soil quality index

* Corresponding Author; Email: yaghmaeian_na@guilan.ac.ir



www.SID.ir