تحقیقات آب و خاک ایران | دوره ۵۳ | شماره ۳ | خرداد ۱۴۰۱ (ص ۵۸۳-۵۷۱)

DOI:https://dx.doi.org/10.22059/ijswr.2022.337268.669187

(مقاله علمی - پژوهشی)

Evaluation of the Effect of Improper Land Equipment, Renovation, and Integration Operation on the Fertility Quality of Paddy Soils

NASER DAVATGAR[1*], MARYAM SHAKOURI KATIGARI[2], BAHAREH DELSOUZ KHAKI[1], MOHAMMADREZA YAZDANI[2]

1. Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
2. Rice Research Institute of Iran, Agricultural research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran

(Received: Jan. 16, 2022- Revised: March. 23, 2022- Accepted: Apr. 9, 2022)

ABSTRACT

One of the practices to improve the agricultural management of paddy fields for sustainable rice production is land equipment, renovation, and integration operations. However, due to some shortcomings, this does not seem to achieve all its goals. Therefore, the purpose of this study was to evaluate the effect of land leveling operations on non-uniformity and severity of changes in soil fertility using fuzzy logic and integrated fertility quality index, in paddy fields of Khosroabad village which is located in fouman city in Guilan province where the land equipment, renovation, and integration operation has been done. In two stages, before and after land leveling operations, 95 and 126 soil samples were prepared from surface horizons, respectively, and then some soil properties related to rice fertility (electrical conductivity, clay, organic carbon, total nitrogen, available phosphorus and available potassium) were measured. In the next step, using fuzzy functions, soil quantitative characteristics were converted into qualitative variables and by using the effect of weight on qualitative variables, the integrated fertility quality index was calculated. The results of measured properties, calculated indices, and the produced maps from them, showed that due to the land leveling operation, the average amount of clay increased (76/9%), and organic carbon, nitrogen, available phosphorus, and available potassium decreased (37, 32%, 41/7 %, and 20/3%, respectively) significantly. One of the main reasons for this is excavation operations and the placement of subsurface soil with more clay and lower concentrations of nutrients in the lower horizon. The integrated fertility quality index also decreased (from an average of 0.31 to 0.18) in most of the studied areas. As a result, it seems that improper implementation of agricultural land equipment, renovation, and integration operations, by reducing the fertility of topsoil, will have long-term negative effects on agricultural land, that elimination of which, will increase the cost of production.

Keywords: Fuzzy Logic, Integrated Fertility Index, Soil Quality, Spatial Statistics.

ارزیابی تأثیر عملیات نامناسب تجهیز، نوسازی و یکپارچه‌سازی اراضی بر کیفیت حاصلخیزی خاک‌های شالیزاری

ناصر دواتگر[1*]، مریم شکوری کتیگری[2]، بهاره دلسوز خاکی[1]، محمدرضا یزدانی[2]

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

۲. موسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۲۶- تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱/۳- تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۱/۲۰)

چکیده

یکی از راه‌های ارتقای مدیریت زراعی اراضی شالیزاری به منظور تولید پایدار برنج، عملیات تجهیز نوسازی و یکپارچه‌سازی اراضی کشاورزی است. با این حال به نظر می‌رسد به دلیل برخی کاستی‌ها این کار به تمامی اهداف خود دست نمی‌یابد. بنابراین، هدف از این پژوهش ارزیابی میزان تاثیر عملیات تسطیح بر غیریکنواختی و شدت تغییرات حاصلخیزی خاک شالیزاری با استفاده از منطق فازی و شاخص تلفیقی کیفیت حاصلخیزی خاک در اراضی شالیزاری روستای خسروآباد شهرستان فومن در استان گیلان بود که در آن عملیات تجهیز نوسازی و یکپارچه‌سازی اراضی کشاورزی انجام شده بود. در دو مرحله پیش و پس از اجرای عملیات ، به‌ترتیب ۹۵ و ۱۲۶ نمونه خاک از افق‌های سطحی تهیه و سپس برخی ویژگی‌های خاک مرتبط با حاصلخیزی (هدایت الکتریکی، رس، کربن آلی، نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم قابل استفاده) برنج اندازه‌گیری شدند. در مرحله بعد، با استفاده از توابع فازی، ویژگی‌های کمی خاک به متغیرهای کیفی تبدیل و با استفاده از تاثیر وزن در متغیرهای کیفی، شاخص تلفیقی کیفیت حاصلخیزی محاسبه شد. نتایج ویژگی‌های اندازه گیری شده، شاخص‌های تلفیقی محاسبه شده و پهنه‌های تولید شده از آن‌ها نشان دادند که در اثر عملیات تسطیح، میانگین مقدار رس افزایش یافته (۷۶/۹ درصد) و کربن آلی، نیتروژن، فسفر قابل استفاده و پتاسیم قابل استفاده به طور معنی‌داری (به ترتیب ۳۷ درصد، ۳۲ درصد، ۴۱/۷ درصد و ۲۰/۳ درصد) کاهش پیدا کردند، که از دلایل عمده آن می‌توان به عملیات خاک برداری و در سطح قرار گرفتن خاک زیر سطحی با رس بیشتر و غلظت کمتر عناصر غذایی در افق زیرین اشاره کرد. شاخص تلفیقی کیفیت حاصلخیزی خاک نیز در بیشتر مناطق مطالعه شده (۴۱/۹ درصد) کاهش یافت. در نتیجه به نظر می‌رسد اجرای نامناسب عملیات تجهیز نوسازی و یکپارچه‌سازی اراضی کشاورزی با کاهش حاصلخیزی خاک سطحی، اثرات منفی و طولانی مدت در اراضی کشاورزی خواهد داشت که رفع آنها سبب افزایش هزینه تولید می شود.

واژه های کلیدی: آمار مکانی، شاخص تلفیقی حاصلخیزی، کیفیت خاک، منطق فازی.

مقدمه

تقریبا ۱۵۰ میلیون هکتار از اراضی کشاورزی جهان به کشت برنج اختصاص دارد و برنج (Oryza sativa L.) با عنوان تامین کننده غذای اصلی نیمی از جمعیت جهان که بیشتر در کشورهای در حال توسعه زندگی میکنند نقش مهمی در امنیت غذایی جوامع دارد (FAO, 2018). در ایران استان‌های گیلان و مازندران به ترتیب با ۲۶ و ۲۴/۶ درصد سطح زیر کشت شلتوک کشور، از بزرگترین تولیدکنندگان این محصول در کشور هستند Ahmadi (*et al*., 2020). با افزایش جمعیت و سطح درآمد خانواده‌ها، به افزایش کمی و کیفی محصولات کشاورزی از جمله برنج نیاز است. برای این منظور یکی از رهیافت‌ها، عملیات تسطیح، تجهیز و یکپارچه‌سازی شالیزارها است (Davatgar *et al*., 2012). تسطیح اراضی می‌تواند مصرف آب آبیاری را در شالیزارها بهینه سازد. برای ایجاد شرایط بهینه در آبیاری غرقابی، به شیب کمتر از یک درصد نیاز است، به همین دلیل مسطح بودن اراضی شالیزاری از شرایط ضروری آن خواهد بود (Temizel *et al*., 2012). هدف از تسطیح، تجهیز و یکپارچه‌سازی اراضی تنظیم سطح خاک، استانداردسازی شیب، تسهیل در توزیع و نفوذ یکنواخت آب - آبیاری و اصلاح شرایط مزرعه برای عملیات زراعی است (Brye *et al*., 2006) بوده که درنهایت منجر به یکنواختی رشد گیاه و محصول (Whitney *et al*. 1950)، کاهش مصرف آب و افزایش حفاظت خاک و آب می‌شود (Parfitt *et al*. 2014). با وجود مزیت‌های غیر قابل انکار تسطیح اراضی، اگر این روش به طور

* نویسنده مسئول: n.davatgar@areeo.ac.ir

نامناسب اجرا شود با تغییر در برخی از ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و عناصر غذایی خاک سبب ناهمگونی و تغییر در وضعیت حاصلخیزی خاک سطحی می‌شود. پس‌رفت شدید عناصر غذایی خاک (Brye at al. 2005)، کاهش حاصلخیزی خاک همراه با کاهش محصول (Brye at al. 2004)، افزایش درصد رس و حتی تغییر کلاس بافتی(Davatgar et al. 2012 Sharifi et al. 2013 ;)، کمبود نیتروژن و فسفر و پتاسیم قابل استفاده (Davatgar et al. 2012)، تغییرات شدید pH خاک‌های سطحی، کاهش موادآلی و در سطح قرار گرفتن برخی افق‌های محدودکننده زیرین در رویه خاک (Miller, 1990) مانند سخت لایه شخمی را می‌توان از اثرات منفی تسطیح اراضی برشمرد. سخت لایه شخمی که به دلیل حرکت ماشین آلات کشاورزی سنگین و عمق ثابت شخم، در اراضی شالیزاری ایجاد می‌شود، در صورت عملیات نامناسب تسطیح در لایه رویی خاک قرار می‌گیرد. این لایه متراکم در طول فصل رشد می‌تواند منجر به تضعیف توسعه ریشه گیاه شود (Brye at al. 2006).

در زمینه عملیات تسطیح اراضی کشاورزی پژوهش‌های فراوانی انجام شده است. از جمله پژوهش Walker et al (2003) که به ارزیابی تغییرات ویژگی‌های خاک در محل خاک‌برداری و خاک‌ریزی در عملیات تسطیح اراضی پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که محصول برنج بین ۶ تا ۴۵ درصد در مناطقی که خاک سطحی خارج شده نسبت به مناطقی که خاک پرشده کاهش یافت. همچنین Parfitt et al. (2014) طی پژوهشی اثرات تسطیح اراضی را بر ویژگی‌های فیزیکی خاک در کشور برزیل بررسی نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که توزیع مکانی تمامی ویژگی‌های خاک در اثر تسطیح تغییر یافتند و این تغییرات تنها ویژه نواحی خاکبرداری یا خاکریزی نیست. آن‌ها پیشنهاد نمودند پیش از انجام عملیات تسطیح بهتر است نقشه‌های عمق خاک سطحی و افق پدولوژیکی B تهیه تا از خاکبرداری عمیق در قسمت‌هایی که افق سطحی با ضخامت کم وجود دارد، جلوگیری شود.

با توجه به پژوهش‌های انجام شده، تسطیح اراضی با تغییر در ویژگی‌های خاک اراضی کشاورزی روی کیفیت خاک اثر می‌گذارد. شاخص کیفیت خاک از نمایه‌های مهم در ارزیابی شرایط خاک و ویژگی‌های مربوط به آن است که با پتانسیل خاک در بهره‌برداری مناسب و تصمیم‌سازی مصرف نهاده‌ها درکشاورزی متناسب است (Warkentin and Fletcher, 1977). همچنین ارزیابی کیفیت خاک یک ابزار قدرتمند برای شناسایی روند تخریب یا فرسایش خاک (Bindraban et al. 2000)، آلودگی (Doran and Jones, 1996)، مدیریت پایدار خاک (McGrath and Zhang, 2003) و تشخیص نیازهای عناصر غذایی برای گیاه (Chen et al. 2013) است. مفهوم کیفیت خاک بسیار پیچیده است، زیرا به طور مستقیم در آزمایشگاه قابل اندازه‌گیری نیست؛ اما می‌تواند به طور غیرمستقیم با استفاده از الگوریتم‌های محاسباتی معین تخمین زده شود(Mukherjee and Lal, 2014). حاصلخیزی‌خاک از پارامترهای مهم ارزیابی کیفیت خاک است (Sun et al. 2003). از این‌رو استفاده از شاخص تلفیقی حاصلخیزی[1] می‌تواند به تعیین کیفیت خاک کمک شایانی کند. Sun et al. 1995 با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و شاخص تلفیق حاصلخیزی بر پایه منطق فازی، حاصلخیزی خاک را در یک ناحیه کوهستانی در چین بررسی کردند. آن‌ها یازده ویژگی خاک را انتخاب و به دو گروه تقسیم نمودند. گروه اول ویژگی‌هایی بودند که شرایط عناصر غذایی خاک را نشان می‌دهند؛ مانند نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم قابل استفاده و گروه دوم شامل ویژگی‌هایی بود که در فراهمی عناصر غذایی نقش دارند؛ مانند بافت و ضخامت افق سطحی خاک. نتایج نشان داد که کیفیت خاک متناسب با شرایط فیزیوگرافی متفاوت بود.

در پژوهشی که توسط Davatgar (2014)، به منظور ارزیابی وضعیت حاصلخیزی اراضی شالیزاری استان گیلان و با استفاده از ۸۵۶۷ نمونه خاک انجام شد، نشان داده شد که مهم‌ترین عناصر-غذایی محدودکننده رشد برنج عناصر پرمصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم بوده و عناصر کم‌مصرف مانند روی و آهن در بیشتر اراضی در حد کفایت هستند. همچنین از بین ویژگی‌های پایدار خاک (رس، کربن‌آلی، هدایت الکتریکی و pH) متغیر pH دارای بیشترین یکنواختی بود.

مشاهدات حاکی از آن است که غالب پژوهش‌های انجام شده در زمینه ارزیابی وضعیت حاصلخیزی در اراضی شالیزاری تسطیح شده، پیرامون مقایسه ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک در قبل و بعد از تسطیح اراضی بوده (Miller, 1990; Brye at al. 2003; Walker at al. 2003; Brye at al. 2004; Brye at al. 2005; Brye at al. 2006; Davatgar at al. 2012; Temizel at al. 2012; Sharifi at al. 2013; Parfitt at al. 2014) و جنبه بررسی تاثیر عملیات تسطیح اراضی بر کیفیت خاک، با استفاده از شاخص‌های مهم و اثرگذار، مورد توجه قرار نگرفته است. به همین دلیل امکان ارزیابی جامع شدت تغییرات کیفیت اراضی، در اثر عملیات تسطیح و سرانجام تعیین کیفیت نهایی حاصلخیزی این اراضی به‌عنوان مبنای تصمیم‌سازی مدیران و بهره‌برداران مرتبط وجود نداشته است. از این‌رو این تحقیق با

۱. Integrated fertility index (IFI)

هدف تعیین اثرات تسطیح، تجهیز و یکپارچه‌سازی اراضی کشاورزی بر مهم‌ترین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و در نتیجه کیفیت حاصلخیزی، با استفاده از منطق فازی و شاخص تلفیقی حاصلخیزی خاک انجام شد.

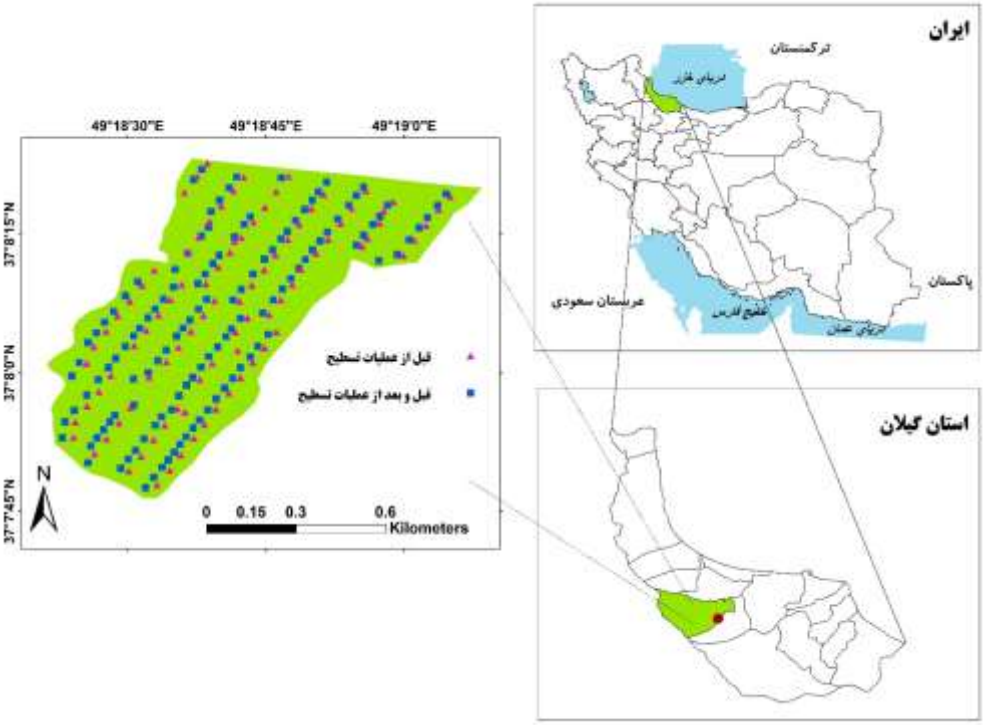
مواد و روش‌ها

شرح منطقه مطالعه شده

این پژوهش در استان گیلان، شهرستان فومن و در محدوده اراضی شالیزاری خسروآباد به مساحت ۷۵ هکتار با مختصات '۷ و °۳۷ تا '۸ و °۳۷ عرض شمالی و '۱۸و °۴۹ تا '۱۹ و °۴۹ طول شرقی انجام شد (شکل۱). این اراضی در اقلیم مرطوب و بارش سالیانه آن ۱۲۶۰ میلی‌متر است و دارای میانگین شیب عمومی ۱/۰۳ در جهت جنوب به شمال و ۰/۱ درصد در جهت شرق به غرب بوده و از نظر تیپ فیزیوگرافی در قسمت‌های بالایی دشت‌های رسوبی قرار دارند و مواد مادری آن‌ها از رسوبات آبرفتی–واریزه ای تشکیل شده است. خاک‌های منطقه به نسبت اسیدی تا خنثی و دارای افق سطحی تیره رنگ با ضخامت کم است. در واحد مزرعه خسرو-آباد عملیات تسطیح و یکپارچه سازی اراضی در سال ۱۳۹۰ انجام شده است. در عملیات استاندارد تسطیح و یکپارچه سازی اراضی می‌بایست ابتدا خاک فعال و حاصلخیز سطحی کنار گذاشته شود و بعد از عملیات تسطیح دوباره این خاک سطحی به سطح زمین برگردانده می‌شود. از سوی دیگر برای احداث جاده بین مزارع از خاک‌های معدنی و نخاله‌های کوهستانی استفاده شود. اما در این واحد این عملیات انجام نشده و برای تسطیح، از خاک سطحی و برای جاده بین مزارع نیز از خاک‌های داخل مزرعه استفاده شده است.

نمونه‌برداری

به منظور نمونه‌برداری خاک سطحی (عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر) در پیش از عملیات تسطیح، از شبکه نمونه‌برداری منظم مستطیل شکل به ابعاد ۹۰ × ۶۰ متر استفاده شد(۹۵ نمونه). بعد از عملیات تسطیح و یکپارچه‌سازی با توجه به حجم خاکبرداری و خاکریزی، تعداد و شکل واحد زراعی (کرت) احداث شده، نمونه‌برداری با تراکم بیشتری به صورت شبکه منظم ۶۰×۸۰ متر انجام شد (۱۲۶ نمونه). موقعیت نقاط نمونه‌برداری در قبل و بعد از تسطیح در شکل ۱ نشان داده شد. نمونه‌های خاک پس از هوا خشک و کوبیده شدن، از الک دو میلیمتری عبور داده و به آزمایشگاه منتقل شدند.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی روستای خسروآباد- شهرستان فومن و نقاط نمونه‌برداری خاک در قبل و بعد از عملیات تسطیح اراضی

اندازه‌گیری ویژگی‌ها در خاک

ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در این پژوهش عبارت بودند از رس به روش هیدرومتر بایکاس (Gee and Bauder, 1986)، کربن آلی به روش اکسیداسیون تر (Walkley and Black, 1934)، فسفر

قابل استفاده به روش اولسون (Olsen, 1954)، نیتروژن کل براساس روش کجلدال (Bremner,1965)، پتاسیم قابل استفاده به روش عصاره‌گیری با استات آمونیوم، (Lindsay and Norvell, 1978)و هدایت الکتریکی(EC) در عصاره اشباع به روش هدایت سنجی (Rhoades, 1982). این ویژگی‌ها با توجه به یافته های قبلی انجام شده (Davatgar at al. 2012) در شالیزار انتخاب شدند.

آمار توصیفی و آنالیز رگرسیون

آماره‌های توصیفی مانند کمینه، بیشینه، میانگین، واریانس، انحراف معیار، ضریب تغییرات، چولگی و کشیدگی تعیین شدند. همچنین با انجام رگرسیون چندمتغیره خطی گام به گام، ویژگی-های اصلی تاثیرگذار در تغییرات شاخص تلفیقی حاصلخیزی به دست آمدند. کلیه این محاسبات با استفاده از نرم افزار SPSS(16) انجام شد.

ساختار مکانی و پهنه‌بندی ویژگی‌های خاک

مدیریت مزرعه بر مبنای مجموعه‌ای از نقاط گسسته‌ی نمونه-برداری، امکان‌پذیر نمی‌باشد و بایستی در فرایند ناحیه‌ای کردن[۱] این داده‌ها به قالبی پیوسته (نقشه) از اطلاعات تبدیل شوند. برای ارزیابی ساختار مکانی ویژگی‌ها در پیش و پس از تسطیح از نیم-تغییرنما و برای پهنه‌بندی ویژگی‌هایی که دارای پیوستگی مکانی بوده از کریجینگ معمولی[۲] و در صورت نبود وابستگی مکانی از وزن‌دهی عکس فاصله[۳] استفاده شد.

پیش از انجام آمار مکانی[۴]، متغیرها از نظر داده پرت با استفاده از آنالیز تشخیص و توزیع فراوانی نرمال با استفاده از آزمون کولموگراف اسمیرنوف ارزیابی شدند. برای مقایسه ویژگی-ها قبل و بعد از عملیات تسطیح از آزمون t استفاده شد. همچنین برای محاسبات مربوط به تحلیل تشخیص، کولموگراف اسمیرنوف و آزمون t، از SPSS (نسخه ۱۶،۰)، برای ارزیابی ساختار مکانی و مدل‌سازی تغییرنما، از نرم‌افزار (نسخه ۵) GS+ و برای پهنه‌بندی ویژگی‌ها و تهیه نقشه شاخص‌های تلفیقی حاصلخیزی خاک از نرم افزار ArcGIS (نسخه 10.2) استفاده شد.

کیفیت حاصلخیزی خاک

تعیین شاخص تلفیقی کیفیت حاصلخیزی در سه گام و به ترتیب: ۱) انتخاب ویژگی‌های موثر در کیفیت حاصلخیزی خاک، ۲) نمره‌دهی و وزن‌دهی این ویژگی‌های انتخاب شده و ۳) سرانجام تلفیق این ویژگی‌ها در شاخص کیفیت خاک انجام شد. انتخاب ویژگی‌ها برای ارزیابی کیفیت خاک بر پایه اهداف مدیریتی، مکان و فعالیت‌های در مزرعه است (Karlen et al. 2008). بر پایه روش پیشنهادی Sun et al. (1995) در این مطالعه شش ویژگی اندازه گیری شده به دو گروه اصلی تقسیم شدند. در گروه اول وضعیت عناصر غذایی، نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم قابل استفاده و در گروه دوم ویژگی‌های مرتبط با محیط عرضه عناصر غذایی خاک، هدایت الکتریکی، رس و کربن‌آلی قرار داده شدند.

برای محاسبات مربوط به توابع عضویت فازی از نرم‌افزار Excel (2007) استفاده شد. ابتدا مقدار ویژگی‌های انتخاب شده با استفاده از تابع نمره‌دهی خطی فازی در دامنه صفر و یک قرار گرفت تا اثر واحد و تفاوت دامنه مقادیر در هر یک از آن‌ها حذف شود. توابع عضویت فازی یک، نشان‌دهنده عضویت کامل و صفر نشان‌دهنده نداشتن عضویت در یک مجموعه است. تابع عضویت برای هر یک از ویژگی‌های خاک با استفاده از رابطه‌های ۱ و ۲ تعیین شد (Velásquez et al. 2007):

$$Y = 0.1 + \frac{(X - b)}{(a - b)}) \times 0.9 \qquad \text{(رابطه ۱)}$$

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

که در آن Y وZ 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 ۱ برای تابع تبدیل خطی "بیشتر بهتر است" ، از رابطه ۲ برای تابع تبدیل خطی "کمتر بهتر است" و برای حالت " بهینه بهتر است" از ترکیب دو رابطه ۱ و ۲ استفاده شد (Tesfahunegn, 2014). مقادیر حد بالا و حد پایین ویژگی‌های انتخاب شده برای اراضی شالیزاری در جدول ۱ نشان داده شد. ویژگی‌های نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم قابل استفاده و کربن‌آلی، بدلیل نقش‌شان در تغذیه گیاه در گروه "بیشتر بهتر است" (رابطه ۱)، قرار گرفتند. اگر غلظت این ویژگی‌ها کمتر از حد بحرانی باشد، گیاه دچار کمبود این عناصر و کاهش رشد می‌شود. رس در گروه "بهینه بهتر است" (تلفیقی از روابط ۱ و ۲) قرار داده شد؛ وجود رس در دامنه ۲۷ تا ۳۵ درصد برای توانایی نگهداری و عرضه عناصر غذایی کاتیونی به گیاه برنج مناسب است. افزون بر آن با کاهش در نفوذپذیری آب در ایجاد شرایط غرقابی مورد نیاز برای رشد برنج مفید است. اما مقادیر رس بیشتر از ۳۵ درصد برای نفوذ و توسعه ریشه سخت خواهد بود. در رس کمتر از ۲۷ درصد از توانایی نگهداری و عرضه بومی عناصر غذایی کاتیونی گیاه کاسته و نفوذپذیری آب زیاد می‌شود. هدایت‌الکتریکی در گروه "کمتر

۱. Regionalization
۲ . Ordinary kriging
۳. Inverse distance weighting
۴. Spatial statistics

بهتر است" (رابطه ۲)، قرار گرفت؛ زیرا گیاه برنج حساس به شوری است و زیاد بودن این ویژگی بر رشد برنج تاثیر منفی دارد.

جدول ۱- حدود بحرانی پایین (b) و بالا (a) برای ویژگی‌های اندازه گیری شده نمونه‌های خاک، برای استفاده در توابع عضویت فازی

نام عنصر غذایی	واحد	b	a	مرجع
هدایت الکتریکی	(دسی زیمنس بر متر)	۲	۴	Doberman and Oberthur, 1997
نیتروژن کل	(درصد)	۰/۱	۰/۲	Davatgar et al, 2012
فسفر قابل استفاده	(میلی گرم در کیلوگرم)	۵	۱۰	Doberman and Fairhurst, 2000
پتاسیم قابل‌استفاده	(میلی گرم در کیلوگرم)	۶۰	۱۲۰	Kavousi and Malakouti, 2006
کربن‌آلی	(درصد)	۱	۲	Doberman and Oberthur, 1997
رس	(درصد)	۲۷	۳۵	Doberman and Oberthur, 1997

شاخص تلفیقی حاصلخیزی خاک (IFI) با استفاده از رابطه زیر تعیین شد(Sun et al. 2003):

$$IFI = \left(\sum_{i=1}^{m} Wn_i N_i\right)\left(\sum_{j=1}^{n} We_i E_i\right) \quad \text{(رابطه۳)}$$

در این رابطه Wni و Wei وزن ویژگی‌های خاک و Ni و Eiتابع عضویت هریک از ویژگی‌ها در دو گروه وضعیت عناصر غذایی و محیط عرضه عناصر غذایی، m و n تعداد ویژگی‌ها در دو گروه یاد شده بودند. برای تعیین وزن ویژگی‌های خاک در این مطالعه از ضریب تغییرات استفاده شد (Ortega and Santibanez, 2007). بر این مبنا متغیرهایی که دارای تغییرات بیشتری در منطقه مطالعه شده هستند، وزن بزرگتری در مدل‌های خطی خواهند داشت. وزن برای هرکدام از ویژگی‌های خاک، از تقسیم مقدار ضریب تغییرات آن ویژگی، بر مجموع ضریب تغییرات ویژگی‌ها به دست آمد (Ortega and Santibanez, 2007):

$$wi = \frac{CV_i}{\sum CV_i} \quad \text{(رابطه۴)}$$

در این رابطه Wi وزن هر یک از ویژگی‌های i و CVi ضریب تغییرات هر کدام از متغیرها است.

شدت تغییرات شاخص تلفیقی حاصلخیزی خاک (IFI) در قبل و بعد از تسطیح برای هر نمونه با استفاده از رابطه ۵ بررسی شد:

$$\Delta IFI = \frac{IFI_a - IFI_b}{IFI_b} \times 100 \quad \text{(رابطه ۵)}$$

که در آن ΔIFI تغییرات شاخص تلفیقی حاصلخیزی خاک، IFIa، مقدار این شاخص پس از تسطیح و IFIb مقدار آن پیش از تسطیح است.

پس محاسبه شاخص تلفیقی حاصلخیزی خاک (IFI) در پیش و پس از تسطیح، ساختار مکانی آن‌ها در نرم‌افزار (نسخه ۵) GS+ ارزیابی و سپس پهنه بندی این مقادیر با استفاده از نرم افزار ArcGIS (نسخه 10.2) انجام شد. در مرحله بعد، در نرم افزار ArcGIS، با تفریق پهنه‌های تولید شده شاخص تلفیقی حاصلخیزی خاک (در پیش و پس از تسطیح) از هم، پهنه‌ای که نمایانگر میزان تغییرات شاخص تلفیقی حاصلخیزی خاک است تهیه شد.

نتایج و بحث

توصیف آماری ویژگی‌های خاک

خلاصه آمار توصیفی ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در قبل و بعد از عملیات تسطیح و یکپارچه‌سازی در جدول ۲ نشان داده شد. توزیع فراوانی نرمال یکی از پرکاربردترین توزیع‌های آماری است. بیشتر روش‌های آماری بر فرض نرمال بودن توزیع داده‌ها است (Hasani Pak, 1998). برای ارزیابی نرمال بودن توزیع فراوانی نخست آزمون کولمرگروف- اسمیرنوف برای کل داده‌ها انجام شد. بر پایه این آزمون فسفر قابل استفاده پیش و پس از تسطیح و پتاسیم قابل استفاده پس از تسطیح دارای توزیع غیرنرمال بودند (نتایج نشان داده نشد). از دلایل غیرنرمال بودن غیریکنواختی واریانس، وجود جوامع فرعی و یا داده‌های پرت است (Yang et al. 1999). آنالیز تشخیص، یک مدل پیش‌بینی عضویت گروه‌ها بر اساس ویژگی‌های مشاهده شده برای هر نمونه است. ازاین‌رو نمونه‌هایی که عضو آن گروه نیستند جدا می‌شوند. با استفاده از آنالیز تشخیص نزدیک به ۱۰ نمونه خاک نمونه برداری در مرحله پیش از تسطیح و نیز ۱۰ نمونه خاک نمونه‌برداری شده در مرحله پس از تسطیح دارای مشخصات گروه خود نبوده و از گام‌های بعدی جدا و کنار گذاشته شدند. پس از جداسازی و حذف داده-های پرت برای داده‌های باقی‌مانده دوباره آزمون کولمرگروف-اسمیرنوف، انجام شد و نتایج نشان داد تمامی ویژگی‌ها از توزیع فراوانی نرمال پیروی می‌نمایند.

با توجه به نرمال بودن توزیع فراوانی از آنالیزهای پارامتریک مانند آزمون- t برای مقایسه میانگین پیش و پس از تسطیح استفاده شد. میانگین تمامی ویژگی‌های بررسی شده به جز هدایت الکتریکی در سطح احتمال یک‌درصد با هم اختلاف معنی-دار داشتند (جدول ۲). در واقع آبیاری غرقابی و بارش‌های پی‌در-پی در طول سال منجر به شستشوی املاح از سطح و خروج آن

از نیم‌رخ خاک شده و شرایط یکسانی در مقدار املاح در کل نیم-رخ خاک ایجاد می‌شود که حتی با خارج شدن خاک سطحی در اثر عملیات تسطیح نیز تغییرات معنی‌داری در هدایت الکتریکی پیش و پس از عملیات تسطیح نشد. اما معنی‌دار بودن اختلاف میانگین دیگر ویژگی‌های بررسی شده به نظر می‌رسد ناشی از تفاوت کمیت این ویژگی‌ها در افق‌های سطحی و زیرین و جابجایی خاک در فرایند عملیات تسطیح و یکپارچه سازی اراضی باشد و نمی‌تواند تصادفی باشد. در واقع تغییرات تصادفی به آن گروه از تغییرات در ویژگی‌های خاک گفته می‌شود، که نمی‌توان آن را به یک علت شناخته شده (عوامل تشکیل‌دهنده خاک، و یا خطای اندازه‌گیری ویژگی‌ها در مقیاس مطالعه) مرتبط ساخت (Rezaei, 1995).

جدول ۲- آماره توصیفی متغیرهای مطالعه شده در قبل و بعد از عملیات تسطیح

متغیر	قبل از تسطیح				بعد از تسطیح				معنی‌داری آزمون t
	میانگین	کمینه	بیشینه	CV	میانگین	کمینه	بیشینه	CV	
EC	۰/۶۳	۰/۳۴	۱/۱۲	۲۶/۵	۰/۵۸	۰/۲	۱/۱۶	۳۲/۴	ns
OC	۲/۷	۱/۱۹	۴/۱۸	۲۰/۷	۱/۷۰	۰/۴	۲/۸۲	۳۸/۲	**
TN	۰/۲۵	۰/۱۴	۰/۳۵	۱۶/۸	۰/۱۷	۰/۰۶	۰/۲۶	۳۲/۴	**
AP	۱۲/۳	۴/۵۰	۵۴/۷	۵۶/۱	۷/۱۷	۰/۴	۴۷/۴	۸۴/۸	**
AK	۸۶/۲	۵۴/۰	۱۳۷/۰	۱۷/۹	۶۸/۷	۴۴/۰	۱۱۹/۰	۲۲/۹	**
C	۱۴/۳	۱/۸	۲۵/۸	۳۰/۲	۲۵/۳	۱۲/۰	۴۱/۰	۲۲/۸	**

****: نشان‌دهنده معنی‌دار بودن اختلاف‌ها در سطح احتمال یک درصد بین متغیرها در پیش و پس از تسطیح**

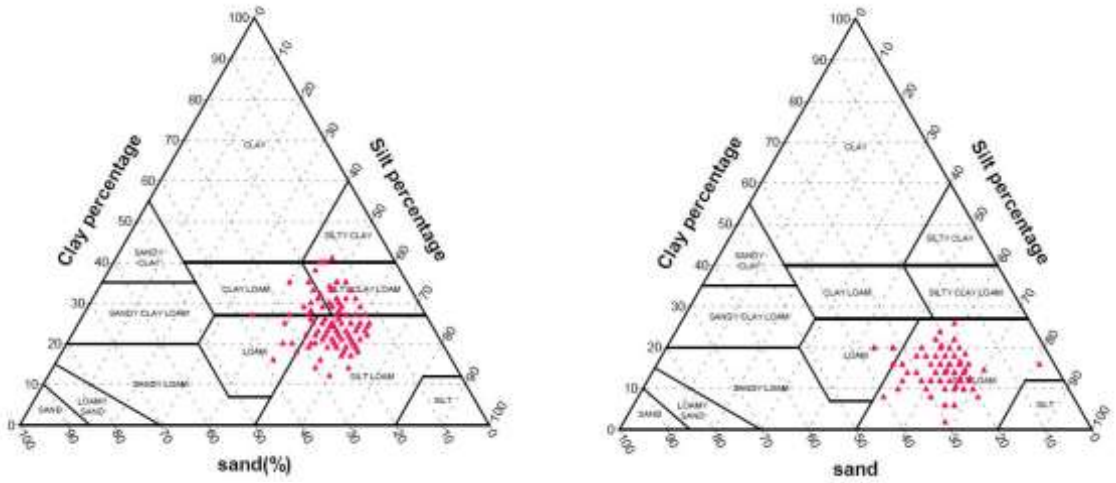
EC : هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)؛ OC: کربن‌آلی (درصد)؛ TN: نیتروژن کل(درصد)؛AP: فسفرقابل‌استفاده (میلی گرم در کیلوگرم)؛ AK: پتاسیم قابل استفاده (میلی گرم در کیلوگرم) و C: رس(درصد)

میانگین متغیرهای بررسی شده بعد از عملیات تسطیح به جز درصد رس کاهش یافت. پیش از عملیات تسطیح میانگین متغیر رس ۱۴/۶ درصد بود، اما پس از عملیات تسطیح به دلیل عملیات خاک‌برداری و در سطح قرارگرفتن خاک زیرسطحی که دارای بافت سنگین‌تر بودند، میانگین آن به ۲۵/۵ درصد افزایش یافت. Doberman and Oberthur, (1997) نشان دادند که حد بحرانی رس برای شالیزارها ۲۷ تا ۳۵ درصد است. بنابراین در هر دو حالت پیش و پس از عملیات تسطیح مقدار رس کمتر از حد بحرانی بودند. Brye, et al. 2003 بیان نمودند که تسطیح اراضی شاید بتواند توزیع اندازه ذرات را تغییر دهد، اما کلاس بافتی بدون تغییر باقی می‌ماند. اما در منطقه بررسی شده، که در پیش از تسطیح کلاس بافتی یکنواخت (خاک سیلتی‌لوم) بود به علت افزایش و غیریکنواختی در مقدار رس در پس از تسطیح تنوع کلاس بافتی (سیلتی لوم، لوم، رس سیلتی، لوم رسی و لوم رس سیلتی) بیشتر شد(شکل۲). همچنین مطالعه ای در اراضی شالیزاری استان گیلان نشان داد که در اثر عملیات تسطیح، درصد رس و سیلت به طور معنی‌داری تغییر نموده بطوریکه رس حدود ۱۰ درصد افزایش و سیلت ۸ درصد کاهش یافته است(Sharifi et al. 2013). تغییرات ماده آلی می‌تواند در اثر عوامل ذاتی (مانند نوع موادمادری، بافت‌خاک، آب‌وهوا، pH خاک و توپوگرافی) و مدیریتی (مانند غرقاب نمودن خاک، وضعیت زهکشی اراضی، مقدار مصرف کود، عمق و تعداد دفعات شخم و سوزاندن بقایای گیاه برنج) باشد. از اثرات منفی عملیات تسطیح در اراضی مطالعه شده کاهش کربن‌آلی بود؛ با عملیات تسطیح اراضی، به نظر می-رسد تغییرات کربن‌آلی بیشتر تحت‌تأثیر خاکبرداری بوده و خاک زیر سطحی که دارای کربن‌آلی کم بود، در سطح خاک قرار گرفت.

تغییرات معنی‌دار (در سطح یک درصد) در نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم قابل استفاده خاک در قبل و بعد از تسطیح مشاهده شد. میانگین نیتروژن کل از ۰/۲۵ به ۰/۱۷ درصد کاهش یافت، که به‌نظر می‌رسد به علت کاهش ماده آلی باشد که منبع مهم عرضه بومی نیتروژن در خاک است (Doberman and Oberthur, 1997). میانگین غلظت فسفر قابل استفاده از ۱۲/۳ در پیش از تسطیح به ۷/۱۷ میلی‌گرم در کیلوگرم در بعد از تسطیح کاهش یافت. علت کاهش غلظت فسفر قابل استفاده، کم بودن تحرک این عنصر و تجمع آن در خاک سطحی است که با برداشت خاک سطحی و خارج شدن این عناصر، خاک زیرین که از نظر این عنصر فقیر است در سطح قرار گرفت (Davatgar et al. 2012). از دیگر دلایل کاهش معنی‌دار فسفر می‌توان به افزایش درصد رس بعد از تسطیح اشاره نمود که می‌تواند بر فرایند تثبیت فسفر و کاهش قابلیت استفاده آن اثرگذار باشد (Stevenson and Cole, 1999). میانگین غلظت پتاسیم قابل استفاده از ۸۶/۲ در پیش از تسطیح به ۴۴ میلی‌گرم در کیلوگرم در پس از تسطیح کاهش یافت که در هر دو شرایط کمتر از حد بحرانی (۱۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) بود و در اثر عملیات خاک‌برداری این

کمبود شدیدتر شد.

برای مقایسه شدت تغییرپذیری و غیریکنواختی ویژگی‌های خاک در منطقه مطالعه شده، ازضریب تغییرات(CV) استفاده شد. ضریب تغییرات تمام ویژگی‌ها به غیر از رس بعد از تسطیح افزایش یافت. Dahiya et al. 1985 نشان دادند که متغیرهایی با ضریب تغییرات زیاد، بیشتر تحت اثر عملیات مدیریتی قرار دارند. این غیر یکنواختی به‌ویژه برای فسفر قابل استفاده بیشتر بود. فسفر قابل استفاده در پیش از تسطیح نیز دارای بیشترین تغییرات (۸۴/۸ درصد) بود. بالاتر بودن ضریب تغییرات فسفر قابل استفاده در بسیاری از تحقیقات که ناشی از تحرک کم و در نتیجه تغییرات موضعی شدید است به عنوان نمونه Tsegaye and Hill, 1998 ; Zhou et al. 1996) و Sun et al. 2003 نیز گزارش شد.



(الف) (ب)

شکل۲- توزیع نمونه‌ها در مثلث کلاس بافت در پیش (الف) و پس (ب) از عملیات تسطیح

ساختار مکانی و پهنه‌بندی ویژگی‌های خاک

برای هدایت الکتریکی خاک به علت آنکه تغییرات آن در قبل و بعد از تسطیح معنی‌دار نبود و از سوی دیگر میانگین و بیشینه هدایت الکتریکی از حد لازم برای خاک‌های شور کمتر بود (جدول۱)، ارزیابی ساختار مکانی و پهنه بندی انجام نشد. نتایج ارزیابی ساختار مکانی دیگر ویژگی‌های خاک در جدول۳ نشان داده شد. ویژگی‌های خاک از مدل‌های نیم تغییرنمای دارای آستانه (کروی و نمایی) پیروی نمودند. ضریب تبیین (R^2) برازش مدل‌های نیم تغییر نمای تمام این ویژگی‌ها در دامنه ۰/۹۱ تا ۰/۹۹ قرار داشتند (نتایج نشان داده نشد) که نشان داد برازش مدل‌ها با صحت زیادی انجام شده است. در اثر عملیات تسطیح، به غیر از نیتروژن کل خاک، در دیگر ویژگی‌های خاک اثر قطعه‌ای که نشان‌دهنده تغییرات تصادفی و آستانه که بیانگر واریانس کل جامعه خاک مطالعه شده بود نیز افزایش نشان داد. به‌نظر می‌رسد بخشی از این تغییرات تصادفی، غیرنظام‌دار و افزایش غیریکنواختی به علت جابجایی و انتقال زیاد خاک در اثر خاک-برداری از مناطق مرتفع و خاک‌ریزی در مناطق پست‌تر برای ایجاد یک سطح صاف در کرت‌ها و همچنین استفاده از بخشی از خاک مزرعه برای احداث جاده بین مزارع و مرز کرت‌ها بوده باشد. همچنین دامنه تأثیر ویژگی‌های رس و کربن آلی، فسفر و پتاسیم قابل استفاده بعد از عملیات تسطیح افزایش نشان دادند. به نظر می‌رسد بخشی از این تغییرات تصادفی، غیر نظام‌دار و افزایش غیریکنواختی به علت جابجایی و انتقال زیاد خاک در اثر خاک-برداری از مناطق مرتفع و خاک‌ریزی در مناطق پست‌تر برای ایجاد یک سطح صاف در کرت‌ها و همچنین استفاده از بخشی از خاک مزرعه برای احداث جاده بین مزارع و مرز کرت‌ها بوده باشد. دامنه تاثیر نشان‌دهنده فاصله‌ای است که در آن، ویژگی وابستگی مکانی دارد.

نسبت واریانس قطعه‌ای به آستانه، معیاری از شدت ساختار مکانی در ویژگی‌ها است که هرچه به یک نزدیک باشد، ساختار مکانی ضعیف‌تر است. Cambardella, et al. 1994 نشان دادند که افزایش این نسبت ضمن آن‌که نشان‌دهنده کاهش قدرت ساختار مکانی است، بیانگر تاثیرپذیری متغیر از عوامل بیرونی و مدیریتی است. روند تغییرات این نسبت برای تمام ویژگی‌های مطالعه شده پس از تسطیح مشابه نبود. برای ویژگی‌های مرتبط با عرضه و نگهداری عناصر غذایی (رس و کربن الی) و نیتروژن کل که متاثر از کربن آلی خاک است، این نسبت کاهش، اما برای فسفر و پتاسیم قابل استفاده افزایش نشان داد. به‌علت آن‌که تمام ویژگی

های مطالعه شده دارای ساختار مکانی و از مدل نیم تغییر نمای دارای آستانه پیروی می‌کردند، در پهنه بندی آن‌ها از روش درون-یابی کریجینگ معمولی استفاده شد.

جدول۳- تغییرات مدل‌های نیم تغییرنمای برازش شده بر ویژگی‌های مطالعه شده خاک در قبل و بعد از عملیات تسطیح

	قبل از عملیات تسطیح					بعد از عملیات تسطیح				
	مدل	N	S	R	N/S	مدل	N	S	R	N/S
C	نمایی	۶	۱۴	۴۸	۰,۴۳	کروی	۱۲	۳۴	۱۶۶	۰/۳۵
OC	نمایی	۰/۰۷	۰/۲۷	۸۳	۰/۲۶	کروی	۰/۰۸	۰/۴۳	۱۴۶	۰/۱۸
TN	کروی	۸×۱۰^{-۴}	۰/۰۰۱	۲۷۰	۰/۸	نمایی	۷×۱۰^{-۴}	۰/۰۰۳	۱۴۲	۰/۲۳
AP	کروی	۰/۰۵	۰/۲۲	۲۱۳	۰/۲۳	کروی	۰/۲۸	۰/۸۳	۲۲۹	۰/۳۴
AK	نمایی	۳×۱۰^{-۳}	۰/۰۲۵	۵۱	۰/۱۲	نمایی	۰/۰۳	۰/۰۵	۹۹	۰/۶
IFI	کروی	$۴/۵\times۱۰^{-۳}$	۰/۰۰۷۲	۳۵۰	۰/۶	کروی	۰/۲۱	۰/۷۶۷	۲۴۰	۰/۲۷

C: رس (درصد)، OC: کربن آلی(درصد)، TN: نیتروژن کل(درصد)، AP: فسفر قابل استفاده (میلی گرم در کیلوگرم)، AK: پتاسیم قابل استفاده (میلی گرم در کیلوگرم)، IFI: شاخص تلفیقی حاصلخیزی خاک، N: واریانس قطعه ای، S: آستانه، R: دامنه تاثیر (متر) و N/S: نسبت واریانس قطعه‌ای به آستانه است

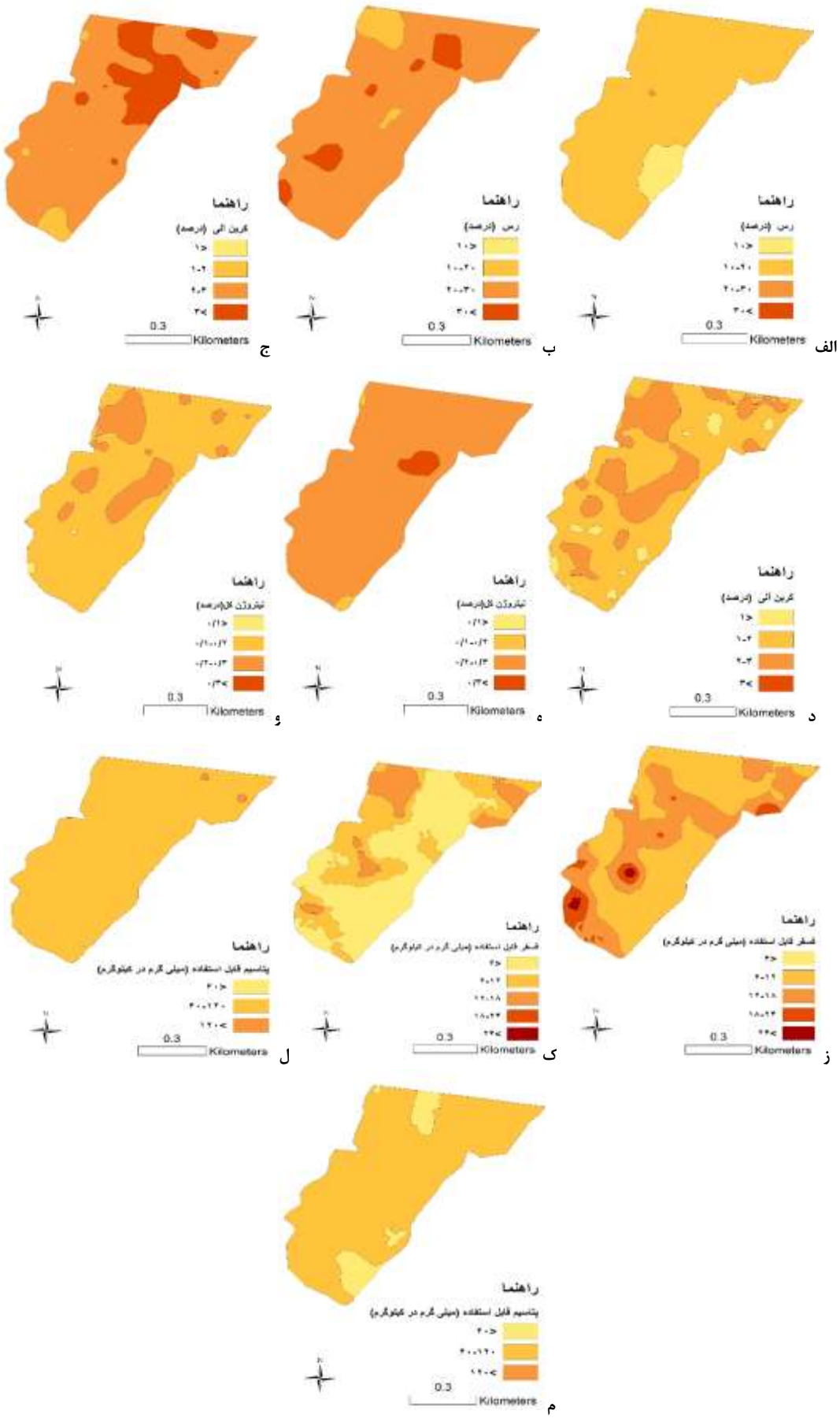
بازنمایی ویژگی‌های مطالعه شده خاک

توزیع مکانی ویژگی‌های مطالعه شده خاک در شکل ۳ نشان داده شد. ویژگی رس در بیشتر خاک‌های مطالعه شده به نسبت یکنواخت و در دامنه ۱۰ تا ۲۰ درصد رس قرار داشت. اما پس از عملیات تسطیح مقدار رس افزایش و بیشتر مکان‌ها در دامنه ۲۰ تا ۳۰ درصد قرار داشتند (شکل ۳-الف و ۳-ب). پیش از عملیات تسطیح کربن آلی و نیتروژن کل در بیشتر خاک‌ها بیش از حد بحرانی (به ترتیب ۲ و ۰/۲ درصد) بودند. از سوی دیگر توزیع مکانی این ویژگی‌ها به نسبت همگن بود، به‌طوری‌که بیشتر اراضی در کلاس کربن آلی ۲ تا ۳ و نیتروژن کل ۰/۲ تا ۰/۳ درصد قرار داشتند (شکل ۳-ج و ۳-د). پس از تسطیح، کربن آلی و نیتروژن کل خاک کاهش نشان داده و به کمتر از حد بحرانی رسیدند و توزیع مکانی آن‌ها به صورت لکه‌های موضعی در سرتاسر ناحیه درآمدند (شکل ۳-ه و شکل ۳-و). فسفر قابل استفاده برپایه حد بحرانی ۱۰ میلی گرم در کیلوگرم در بیشتر خاک‌های ناحیه مطالعه شده در پیش از تسطیح کمبود نشان دادند (۵ تا ۱۰ میلی گرم در کیلوگرم). پس از عملیات تسطیح وسعت کمبود (غلظت فسفر قابل استفاده کمتر از ۱۰ میلی گرم در کیلوگرم) بیشتر شد (شکل ۳-ز و ۳-ک). هرچند بر پایه آزمون t اختلاف معنی‌داری بین غلظت پتاسیم قابل استفاده در قبل و بعد از عملیات تسطیح وجود داشت، اما پیش و پس از تسطیح بیشتر خاک‌ها در دامنه ۶۰ و ۱۲۰ میلی گرم در کیلوگرم قرار گرفتند و تنها در برخی از مکان‌ها بسته به صورت لکه‌ای غلظت پتاسیم قابل استفاده کمتر شد (شکل ۳-ل و ۳-م).

کیفیت حاصلخیزی خاک

خلاصه آماره‌های توصیفی شاخص تلفیقی حاصلخیزی خاک در جدول ۴ نشان داده شد. شاخص تلفیقی حاصلخیزی خاک در پیش از تسطیح در دامنه ۰/۱۱ و ۰/۴۳ با میانگین ۰/۳۱ قرار داشت. در بعد از تسطیح این شاخص کاهش نشان داد (دامنه ۰/۰۴ تا ۰/۶۶ با میانگین ۰/۱۸). سان و همکاران (۲۰۰۳) شاخص تلفیقی حاصلخیزی خاک را به سه گروه تقسیم کردند. گروه یک (کیفیت زیاد) با شاخص تلفیقی حاصلخیزی خاک بیش از ۰/۶ برای رشد گیاه مناسب است. گروه دو (کیفیت متوسط) با شاخص تلفیقی حاصلخیزی خاک بین ۰/۳ تا ۰/۶ دارای محدودیت‌های متوسط است و گروه سه (کیفیت ضعیف) با شاخص تلفیقی حاصلخیزی خاک کمتر از ۰/۳ دارای محدودیت شدید است. میانگین شدت تغییرات شاخص تلفیقی حاصلخیزی خاک (ΔIFI) نشان داد که کیفیت حاصلخیزی خاک در اثر عملیات نامناسب تسطیح و یکپارچه‌سازی شالیزاری پس‌رفت نشان داده است.

نتایج رگرسیون چند متغیره گام به گام نشان داد شاخص تلفیقی حاصلخیزی خاک در پیش از تسطیح متاثر از ویژگی‌های فسفر و پتاسیم قابل استفاده و رس بوده (جدول ۵)و در بعد از تسطیح ویژگی کربن آلی به جای رس در کنار فسفر و پتاسیم قابل استفاده قرار گرفت و تاثیرپذیری شاخص تلفیقی حاصلخیزی خاک از ویژگی‌های یاد شده به نسبت پیش از تسطیح قوی‌تر بود. سه ویژگی فسفر و پتاسیم قابل استفاده به همراه کربن آلی بر پایه ضریب تعیین تعدیل شده (R^2_{adj})، ۷۳ درصد تغییرات شاخص تلفیقی حاصلخیزی خاک را شرح دادند.



شکل ۳- توزیع مکانی ویژگی‌های رس (الف: پیش و ب: پس از تسطیح)، کربن آلی(ج: پیش و د: پس از تسطیح)، نیتروژن کل(ه: پیش و و: پس از تسطیح)، فسفر قابل استفاده (ز: پیش و ک: پس از تسطیح)، و پتاسیم قابل استفاده (ل: پیش و م: پس از تسطیح)

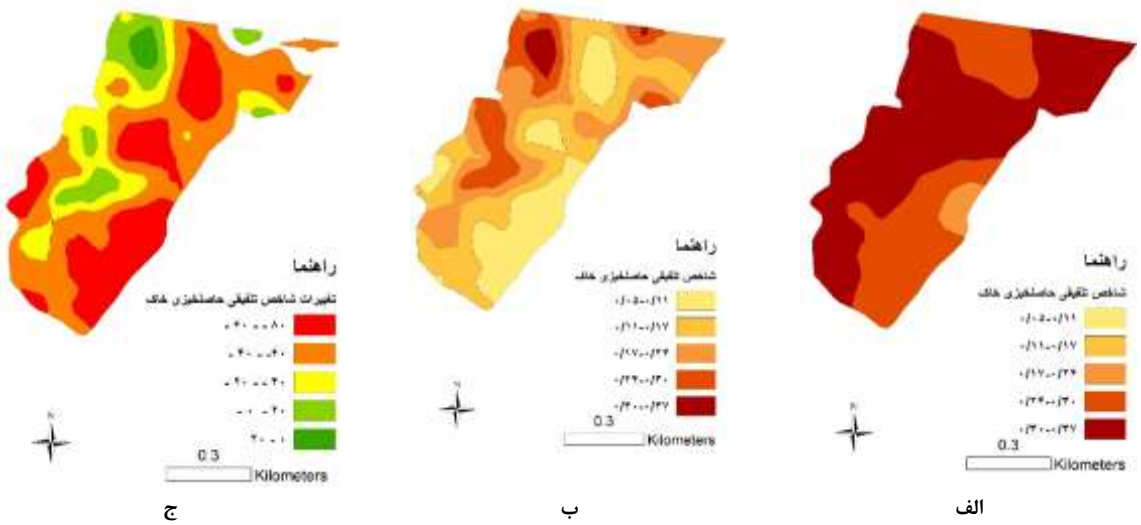
جدول ۴- آماره توصیفی شاخص تلفیقی حاصلخیزی خاک در قبل و بعد از عملیات تسطیح

متغیر	قبل از تسطیح					بعد از تسطیح				IFI%Δ
	کمینه	بیشینه	میانگین	واریانس	کمینه	بیشینه	میانگین	واریانس		
IFI	۰/۱۱	۰/۴۳	۰/۳۱	۰/۰۰۷	۰/۰۴	۰/۶۶	۰/۱۸	۰/۰۱۶		۴۱/۹

جدول ۵- روابط رگرسیون چند متغیره خطی گام به گام شاخص تلفیقی حاصلخیزی خاک (IFI) در قبل و بعد از تسطیح

پیش از تسطیح	IFI= 0.058+0.005AP+0.002AK+0.004C	
	β_{Ap}= 0.444 β_{AK}=0.281 β_{OC}=0.201	$R^2_{adj=0.38}$
بعد از تسطیح	IFI=0.133+0.011AP+0.01OC+0.002AK	
	β_{Ap}=0.548$_A$ β_{OC}=0.334 β_{AK}=0.228	$R^2_{adj=0.73}$

توزیع مکانی شاخص تلفیقی حاصلخیزی خاک در شکل ۴ نشان داده شد. در پیش از عملیات تسطیح، غیریکنواختی شاخص تلفیقی حاصلخیزی خاک کم بود (شکل ۴-الف) و بیشتر اراضی در دامنه ۰/۲۴ تا ۰/۳۷ قرار داشتند. پس از تسطیح، غیریکنواختی این شاخص بیشتر شد (شکل ۴-ب) و به غیر از شمال غرب منطقه، در دیگر نواحی مقدار شاخص تلفیقی حاصلخیزی خاک به شدت کاهش نشان داد. همچنین تغییرات شاخص تلفیقی حاصلخیزی خاک نشان داد که به غیر از شمال غرب که تغییرات مثبت و افزایشی بود، در دیگر نواحی این تغییرات کاهشی و منفی که منطبق با عملیات زیاد خاک‌ریزی و استفاده از خاک برای احداث جاده بین مزارع بود(شکل ۴-ج). توزیع مکانی شاخص تلفیقی حاصلخیزی خاک پس از تسطیح به‌ویژه با توزیع مکانی فسفر قابل استفاده و سپس کربن آلی مشابهت داشت (شکل ۳-ک و ۳-د) که نشان‌دهنده تاثیرپذیری این شاخص از تغییرات مکانی این دو ویژگی بود. نتایج برازش روابط رگرسیونی نیز نشان داد که پس از تسطیح ویژگی‌های فسفر قابل استفاده و کربن آلی با توجه به ضریب استاندارد جزئی رگرسیون(β)، نقش بیشتری در تغییرات شاخص تلفیقی حاصلخیزی خاک داشتند (جدول ۵).



الف ب ج

شکل ۴- توزیع مکانی شاخص تلفیقی حاصلخیزی خاک (IFI): الف) پیش از تسطیح ، ب) پس از تسطیح و ج) تغییرات شاخص تلفیقی حاصلخیزی خاک

نتیجه‌گیری

هر چند عملیات تسطیح و یکپارچه‌سازی دارای اثرات مفید در زمینه صرفه‌جویی در میزان آب، انرژی مربوط به نهاده کشاورزی، پی‌ریزی بستر مناسب برای بکارگیری ماشین‌آلات کشاورزی، سازماندهی و اجرای روش‌های بهینه مدیریت و استقرار نظام پیشرفته بهره‌برداری است؛ اما در صورت اجرا نشدن اصولی، تغییرات کیفیت حاصلخیزی را در پی آن خواهد داشت. بررسی نتایج و پهنه‌های ویژگی‌های خاک و شاخص تلفیقی کیفیت

حاصلخیزی در پیش و پس از تسطیح، گویای این واقعیت بود که در ناحیه مطالعه شده به علت عملیات تسطیح نامناسب، افزون بر روند کاهشی فسفر و کربن آلی خاک به کمتر از حد بحرانی، پتاسیم قابل استفاده خاک تحت تاثیر قرار گرفته و در مجموع کیفیت حاصلخیزی خاک کاهش داشته است. این یافته‌ها نشان داد که فرآیند عملیات تسطیح و تجهیز و نوسازی اراضی با تغییر در موازنه ورودی- خروجی در برخی از ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و عناصرغذایی خاک، سبب برجای‌گذاری اثرات منفی و طولانی مدت در اراضی کشاورزی و تغییر در وضعیت حاصلخیزی خاک سطحی، به عنوان بخش زنده و مولد تولید محصولات کشاورزی خواهد شد. بنابراین این عملیات می‌بایست به صورت اصولی و با توجه به دیدگاه خاکشناسی انجام و خاک سطحی که از کیفیت حاصلخیزی بیشتری برخوردار است حفظ شود. از سوی دیگر اثرات منفی کاهش طولانی مدت پتانسیل حاصلخیزی خاک (کم شدن موادآلی و تغییر در وضعیت عناصر غذایی) می‌بایستی در مدیریت تغذیه گیاه و ارتقاء حاصلخیزی خاک در نظر گرفته شود.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

Ahmadi, K,. Ebadzadeh, H.R., Hatami, F. AbdShah, H. Kazemian, A. (2020) Agricultural statistics of the crop year 1397-98, Volume One: Crops. Ministry of Jihad Agriculture, pp.89

Bindraban, P.S., Stoorvogel, J.J., Jansen, D.M., Vlaming, J. and Groot, J.J.R. (2000) Land quality indicators for sustainable land management: proposed method for yield gap and soil nutrient balance. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 81, 103–112.

Brye, K.R, Slaton, N.A, Stavin, M.C., Norman, R.J. and Miller, D.M. (2003) Short-term effects of land leveling on soil physical properties and microbial biomass. *Soil Science Society of America Journal*, 67, 1405-1417.

Brye, K.R., Chen, P., Purcell, L.C., Mozaffari, M. and Norman, R.J. (2004) Firstyear soybean growth and production as affected by soil properties following land leveling. *Plant Soil*, 263:323-334.

Brye, K.R., Slaton, N.A., and Norman, R.J. (2005) Penetration resistance as affected by shallow-cut land leveling and cropping. *Soil and Tillage Research*, *81*(1), 1-13.

Brye, K.R., Slaton, N.A., and Norman, R.J. (2006) Soil physical and biological properties as affected by land leveling in a clayey Aquert. *Soil Science Society of America Journa, 70*(2), 631-642.

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

Chen, Y.D., Wang, H.Y., Zhou, J.M., Xing, L., Zhu, B.S., Zhao, Y.C. and Chen, X.Q. (2013) Minimum data set for assessing soil quality in farmland of northeast China. *Pedosphere*. 23, 564–576.

Dahiya, I.S., Richter, J. and malik, R.S. (1985) Scale-dependent correlations among soil properties in two tropical lowland rice fields. *Soil Science Society of America Journal*, 61:1483-1496.

Davatgar, N. (2014) Creating a database, zoning and fertility management packages for soils in Guilan province. Final report of the Rice Research Institute, *Rice Research Institute, Rasht*. (In Farsi)

Davatgar, N., Katigari, M.S. and Yazdani, M.R. (2012) Assessment of Land Leveling Effect on the Spatial Variability of Soil Fertility Properties in Paddy Fields. *Water and Soil Science*, 22(2), 41-54. (In Farsi)

Davatgar, N., Neishabouri, M. R. and Sepaskhah, A.R. (2012) Delineation of sitespecific nutrient management zones for a paddy cultivated area based on soil fertility using fuzzy clustering. *Geoderma*, 173, 111-118.

Doberman, A. and Fairhurst, T.H. (2000) Rice: Nutrient disorders & nutrient management. *International Rice Research Institute*, Philippines.

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

Doran, J.W. and Jones, A.J. (1996) Methods for Assessing Soil Quality. SSSA Special Publication No. 49. Soil Sci. Soc. America. Madison, Wisc.

FAO. (2018) Rice market monitor. Vol. XVI, Trade and Markets Division. Rome

Gee, G.W., and Bauder, J.W. (1986) Particle-Size Analysis. Methods of soil analysis. Part, 1, 404-407.

Hasani Pak, A.A. (1998) Geostatistics. Tehran University Press, *Tehran*. (In Farsi)

Karlen, D.L., Andrews, S.S., Wienhold, B.J. and Zobeck, T.M. (2008) Soil Quality Assessment: Past, Present and Future. *Electronic Journal of Integrative Biosciences*, 6(1),3-14.

Kavousi, M., and Malakouti, M. J. (2006) Determination of potassium critical level with ammonium acetate extract in guilan rice fields. *Journal of science and technology of agriculture and natural resources*, 10, 113-123. (In farsi)

Lindsay, W.L. and Norvell, W.A. (1978) Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Science Society of America Journal*. 42, 421-428.

McGrath, D. and Zhang, C.S. (2003) Spatial distribution of soil organic carbon concentrations in grassland of Ireland. Appl. *Geochem*, 18, 1629–1639

Miller, D.M. (1990) Variability of soil chemical properties and rice growth following land leveling. *Arkansas Farm Research*. 39, 4.

Mukherjee, A. and Lal, R. (2014) Comparison of soil quality index using three methods. *Plos one*, 9(8),

1-15.

Nasiri, M., and Pirdashti, H. (2003) Effect of level and time of nitrogen on yield component of rice rationing. *Journal of Biological Sciences*, 2, 217-222.

Olsen, S.R. (1954) Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. *United states department of agriculture*, Washington.

Ortega, R. A., and Santibanez, O.A. (2007) Determination of management zones in corn (Zea mays L.) based on soil fertility. Computers and Electronics in agriculture, 58(1), 49-59.

Parfitt, J.M.B., Timm, L.C., Reichardt, K. and Pauletto, E.A. (2014) Impacts of land leveling on lowland soil physical properties. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 38, 315-326.

Rezaei, A. (1995) Concepts of Statistics and Probability. Mashhad Press, Mashhahd. (In Farsi)

Rhoades, J. D. (1982) Soluble Salts. In: A. L. Page, R.H. Miller and D. R. Kenney (eds.) Methods of soil analysis part 2, chemical and microbiological properties. *Agronomy Monograph*. 9,167-178.

Sharifi,A., Gorji, M., Asadi, H. and Pourbabaee, A.A. (2013) Land leveling and changes in soil properties in paddy fields of Guilan province, Iran. *Paddy water environ*.

Stevenson, F.J. and Cole, M.A. (1999) Cycles of soil (2th ed.). *Wiley*, London.

Sun, B., Zhang, T.L., Zhao, Q.G., (1995) Comprehensive evaluation of soil fertility in the hilly and mountainous region of Southeastern China. *Acta Pedologica Sinica*, 32, 362 – 369. (in Chinese with English Abstr)

Sun, B., Zhou, sh. and Zhoa, Q. (2003) Evaluation of spatial and temporal changes of soil quality based on geostatistical analysis in the hill region of subtropical China. *Geoderma*, 115 (2003), 85–9986.

Temizel, K.E., AkIn, F., Aydogan, D., Eren, S. and Kevseroglu, K. (2012) Determination the effect of land leveling on soil loses in rice (*Oryza sativa* l.) production areas. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 18, 219-226.

Tesfahunegn, G.B. (2014) Soil quality assessment strategies for evaluating soil degradation in Northern Ethiopia. *Applied and Environmental Soil Science*, 1-14.

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

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

Walker, T.W., Kingery, W.L., Street, J.E., Cox, M.S., Oldham, J.L., Gerard, P.D., and Han, F.X. (2003) Rice yield and soil chemical properties as affected by precision land leveling in alluvial soils. *Agronomy Journal*, 95,1483-1488.

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

Warkentin, B.P., and Fletcher, H.F. (1977) Soil quality for intensive agriculture. In: Proceedings of the International Seminar on Soil Environment and Fertility Management in Intensive Agriculture, Tokyo, pp. 594–598.

Whitney, R.S., Gardner, R., and Robertson D.W. (1950) The effectiveness ofmanure and commercial fertilizer in restoring the productivity of subsoils exposedby leveling. *Agronomy Journal*, 42:239-245.

Yang L, Jiang, C. and Jin, J. (1999) Application of GIS in soil testing and fertilization for high yield cotton production. *In: Proceedings of the Fourth Workshop on Agro-chemical Cervices and New Fertilizer Development*. National Chemical Fertilizer Industrial Information Center, Dalian, China, pp. 1-4.

Zhou, H.Z., Gong, Z.T., Lamp, J. (1996) Study on soil spatial variability. *Acta Pedologica Sinica*, 33, 232 – 241. (in Chinese with English Abstr)