تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۱، شماره ۹، آذر ماه ۱۳۹۹ (ص ۲۳۳۵-۲۳۲۳) DOI: 10.22059/ijswr.2020.302192.668601

The Effect of Irrigation Management and Cultivation pattern on Soil Quality Indices (Case study: Agriculture fields of Semnan)

KOUROSH KAMALI[1*], GHOLAMREZA ZEHTABIAN[2], TAYYEBEH MESBAHZADEH[2], MAHMOOD ARABKHEDRI[3], HOSEIN SHAHAB ARKHAZLOO[4], ALIREZA MOGHADAMNIA[2]

1. Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, and Member of Scientific Board, Gilan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Rasht, Iran.
2. Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
3. Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran
4. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

(Received: May. 11, 2020- Revised: July. 11, 2020- Accepted: July. 13, 2020)

ABSTRACT

Soil quality, as a factor, is changing due to variation of soil inherent characteristics and the type of management practices on the soil. Integrated Quality Index and Nemero Quality Index were applied to evaluate the influence of land use types, different irrigation managements, and types of cultivated products on the soil quality in Semnan region. After describing 13 soil profiles in five selected crop fields and orchards, soil samples were taken from different horizons and 14 properties efective on the soil quality were determined and the proposed indecs were calculated. The results showed that the quality of top layers of agricultural lands are classified as II and III degree, while the top layer and sublayer of garden lands are classified as IV degree due to lack of profile evolution, low organic carbon and high salinity. The highest average soil quality indices were assigned to alfalfa (flood irrigation) with 0.67; followed by barley (sprinkler irrigation) with 0.59, olive orchard (drip irrigation) with 0.39 and olive orchard (flood irrigation) with 0.32. This finding indicates the positive effect of cover crops on land reclamation of Semnan region. The effect of irrigation system on soil quality indices did not show any significant difference among them, as the flood irrigation in alfalfa and olive farms showed the highest and the lowest soil quality indecs, respectively. Also, there was no significant difference in soil quality of olive orchards under drip irrigation vs. flood irrigation. Soil quality indecs make opportunity to agricultural managers to choose appropriate management strategies and monitoring the changes in the soil quality.

Keywords: Combating Desertification, Sustainable Agriculture, Integrated Quality Index, Nemoro Quality Index.

* Corresponding Author's Email: kamali_kourosh@yahoo.com

تأثیر مدیریت آبیاری و الگوی کشت بر شاخص‌های کیفیت خاک (مطالعه موردی: عرصه‌های کشاورزی سمنان)

کورش کمالی*[۱]، غلامرضا زهتابیان[۲]، طیبه مصباح‌زاده[۲]، محمود عرب‌خدری[۳]، حسین شهاب‌آرخازلو[۴] ، علیرضا مقدم‌نیا[۲]

۱. گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران و مربی پژوهشی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گیلان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران.

۲. گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۳. پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

۴. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۲/۲۲- تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۴/۲۱- تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۴/۲۳)

چکیده

کیفیت خاک عاملی است که در اثر تغییر در ویژگی‌های ذاتی خاک و چگونگی مدیریت حاکم بر آن تغییر می‌کند. به‌منظور ارزیابی کیفیت خاک متأثر از نوع کاربری، مدیریت‌های مختلف آبیاری، و نوع کشت در منطقه سمنان، از شاخص کیفیت تجمعی و شاخص کیفیت نمرو استفاده شد. با حفر و تشریح ۱۳ خاکرخ در پنج مزرعه و باغ منتخب و نمونه‌برداری از افق‌های سطحی و متوسط عمقی، ۱۴ویژگی مؤثر در کیفیت خاک تعیین و دو شاخص یادشده محاسبه گردیدند. نتایج نشان داد که خاک‌های اراضی زراعی در لایه‌های سطحی دارای درجه کیفیت II و III و خاک‌های اراضی باغی در لایه‌های سطحی و متوسط عمقی به دلیل عدم تکامل پروفیلی، پایین‌بودن کربن آلی و بالابودن میزان شوری دارای درجه کیفیت IV هستند. بالاترین میانگین شاخص‌های کیفیت خاک لایه سطحی به یونجه (آبیاری غرقابی) با ۰/۶۷ اختصاص یافت؛ پس از آن جو (آبیاری بارانی) با ۰/۵۹، باغ زیتون (آبیاری قطره‌ای) با ۰/۳۹ و باغ زیتون (آبیاری غرقابی) با ۰/۳۲ قرار گرفتند. این یافته اثر مثبت محصولات پوششی در احیای خاک‌های این منطقه را نشان داد. تأثیر مدیریت آبیاری بر شاخص‌های کیفیت خاک حاکی از آن است که نوع سامانه آبیاری به تنهایی نتوانسته است تفاوت معنی‌داری در کیفیت خاک ایجاد نماید. به‌طوری‌که آبیاری غرقابی در یونجه و باغ زیتون به ترتیب بالاترین و پایین‌ترین شاخص کیفیت را داشت. همچنین در باغ زیتون با آبیاری‌های قطره‌ای و غرقابی، تفاوت معنی‌داری در شاخص‌های کیفیت خاک مشاهده نشد. بهره‌گیری از شاخص‌های مذکور این امکان را به مجریان بخش‌های کشاورزی می‌دهد تا در انتخاب استراتژی‌های مدیریتی و نظارت بر تغییرات کیفیت خاک تصمیم‌گیری نمایند.

واژه‌های کلیدی: احیای سرزمین، کشاورزی پایدار، شاخص کیفیت تجمعی، شاخص کیفیت نمرو.

مقدمه

یکی از ابزارهای مفید برای بررسی وضعیت مدیریت خاک در کاربری‌های مختلف، ارزیابی کیفیت خاک است. ارزیابی کیفیت خاک، به‌ویژه در نواحی کشاورزی به‌منظور مدیریت پایدار خاک و تولید محصول، امری ضروری بوده و کمک شایانی برای دستیابی به کشاورزی پایدار می‌نماید. Carter *et al.* (1997)، Doran and parkin (1994) و Karlen *et al.* (1997) کیفیت خاک را از دو جنبه بررسی می‌کنند: ۱) کیفیت ذاتی[۱] که توانایی طبیعی خاک در انجام وظایف خود همچون تولید بیولوژیک، بهبود کیفیت آب و هوا و تأمین سلامت گیاه، انسان و حیوان است و به خاکساری و عوامل مؤثر بر آن بستگی داشته و تحت تأثیر مدیریت خاک قرار نمی‌گیرد و ۲) کیفیت پویای خاک[۲] که بسته به نوع مدیریت خاک متغیر است. Norfleet *et al.*, (2003) کیفیت خاک را شاخصی برای ارزیابی وضعیت خاک در اقلیم‌ها، مدیریت‌ها، استفاده‌های مختلف و نظام‌های کشت و کار می‌دانند. از آنجایی که نمی‌توان کیفیت خاک را مستقیماً اندازه‌گیری کرد، باید آن را از شاخص‌های کیفیت خاک استنتاج نمود. استفاده از شاخص‌ها، به‌جای ویژگی‌های منفرد و مجرد خاک، نمایانگر اثرات تجمعی یا برآیند ویژگی‌های خاک هستند (Askari and Holden, 2014 ; Zornoza *et al.*, 2015). در واقع شاخص‌های کیفیت خاک مجموعه‌ای از خصوصیات و فرایندهای خاک بوده که در محدوده کارکرد خاک در زیست‌بوم، حساس به تغییر هستند (Aparicio

* نویسنده مسئول: kamali_kourosh@yahoo.com

1. Inherent soil quality
2. Dynamic soil quality

and costa, 2007) و باید شامل ترکیبی از خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک باشند (Herrick *et al*., 2002; Aparicio and Costa, 2007).

آگاهی از چگونگی کیفیت خاک در عرصه‌های کشاورزی و منابع طبیعی مناطق خشک کشور برای مدیریت بهینه سرزمین و رسیدن به حداکثر بهره‌وری اقتصادی ضروری است. آسیب‌پذیری این مناطق عمدتاً ناشی از کمبود رطوبت خاک، دما و تبخیر زیاد، مقدار کم هوموس و شور بودن خاک است. مدیریت‌های مختلف استفاده از آب‌ها نیز بر روی میزان عملکرد و کیفیت خاک تأثیر بسزایی دارند (Kouchaki *et al*., 1997; Oster, 1994). توسعه سامانه‌های نوین آبیاری با توجه به وضعیت کنونی منابع آب کشور در راستای ارتقاء بهره‌وری آب و افزایش ضریب خوداتکایی محصولات کشاورزی با حفظ منابع تولید، برای رفع تنگناهای خشکسالی، کم‌آبی و به‌تبع آنها مقابله با ناامنی غذایی اجتناب‌ناپذیر است (Alizadeh *et al*., 2014). اجرای مؤثر سامانه‌های نوین آبیاری، ابزار اساسی مدیریت آب در مزرعه است. در حال حاضر بالغ بر دو میلیون هکتار اراضی آبی کشور به سامانه‌های نوین آبیاری تجهیز شده است (Burea of Modern Irrigation Systems Implementation, 2019). به‌رغم توسعه این سامانه‌ها اثربخشی و بررسی تأثیر مدیریت‌های مختلف آبیاری بر کیفیت خاک کمتر مورد توجه قرار گرفته است. لذا به نظر می‌رسد ارزیابی کیفیت خاک که نسبت به اِعمال شیوه‌های مختلف آبیاری، از خود حساسیت نشان می‌دهند، بسیار با اهمیت باشد.

در کاربری‌های کشاورزی و محیط زیستی، دو مدل شاخص کیفیت تجمعی (IQI)[1] و شاخص کیفیت نمرو (NQI)[2] (Doran and parkin, 1994 ، Han and Wu, 1994 و Qin and Zhao, 2000) برای تعیین کیفیت خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این شاخص‌ها مجموعه‌ای از ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک در قالب یک مدل ریاضی با هم ترکیب و به‌صورت یک کمیت عددی ارائه می‌گردد که این عدد به‌عنوان یک شاخص کلی کیفیت خاک، منعکس‌کننده مجموعه‌ی ویژگی‌های موردنظر است (Qi *et al*., 2009). ارزیابی کیفیت خاک به‌منظور مدیریت پایدار خاک و تولید محصول توسط Rahmani poor *et al*. (2015) با استفاده از شاخص IQI و تغییرات مکانی آن در بخشی از نواحی کشاورزی استان قزوین انجام شد. نتایج نشان داد که شاخص IQI دارای همبستگی مکانی قوی بوده و دامنه تأثیر آن بالغ بر ۱۹ کیلومتر و همچنین توزیع مکانی آن از مدل نمایی پیروی می‌کند. در پژوهش فوق ملاحظه شد که وضعیت کیفیت خاک عمدتاً متوسط است. Azarneshan *et al*. (2018) به‌منظور تعیین بهترین روش ارزیابی کیفیت خاک در اراضی خشک و نیمه‌خشک دشت قزوین از شاخص‌های IQI و NQI در ترکیب با دو روش انتخاب معیار مجموعه کل داده‌ها (TDS) و مجموعه حداقل داده‌ها (MDS) استفاده کردند. نتایج نشان داد که روش IQI_{TDS} بیشترین همبستگی را در منطقه با میزان عملکرد دارد به‌طوری که برای محاسبه شاخص کیفیت خاک در قزوین مدل IQI_{TDS} مناسب‌تر عمل نمود. Ghaemi *et al*. (2014)، به‌منظور ارزیابی کیفیت شیمیایی چند خاک زیر کشت گندم- ذرت با استفاده از مدل‌های کیفیت خاک در بخشی از جنوب شرقی مشهد، ۱۲ پارامتر شیمیایی- بیولوژیکی را به‌عنوان مجموعه کل ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک (TDS) در نظر گرفته و با استفاده از روش تجزیه مؤلفه‌های اصلی (PCA)، مجموعه حداقل ویژگی‌های مؤثر را انتخاب نمودند. چهار ترکیب حاصل از روش‌ها و مدل‌های کیفیت محاسبه و مناسب‌ترین شاخص و ویژگی‌های مؤثر جهت ارزیابی کیفیت خاک انتخاب شدند. نتایج نشان داد که شاخص کیفیت تجمعی کارایی بهتری برای ارزیابی کیفیت خاک منطقه مورد مطالعه دارد. شاخص IQI_{TDS} ارزیابی دقیق‌تر و جامع‌تری از کیفیت خاک را در اختیار قرار می‌دهد. با این وجود استفاده از مجموعه حداقل ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک، کاهش حجم کار و هزینه را همراه با دقت مناسب موجب می‌شود.

نتایج بررسی تغییرات کیفیت خاک در اثر آبیاری با استفاده از شاخص‌های تجمعی و نمرو در برخی از خاک‌های استان خوزستان توسط Ramezani *et al*. (2016) نشان داد که همبستگی مثبت و معنی‌داری بین IQI_{TDS} و IQI_{MDS} و بین NQI_{TDS} و NQI_{MDS} وجود دارد. طبق نتایج، مهم‌ترین عامل محدودکننده کیفیت خاک کمبود ماده آلی، کاهش تخلخل تهویه ای و افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک بود. همچنین، تراکم ناشی از تردد بیش از حد و تغییر شرایط بهینه رشد گیاه ناشی از عبور و مرور ادوات کشاورزی سنگین باعث کاهش کیفیت خاک شده است. اگر چه به‌واسطه کشت و کار میزان ماده آلی افزایش یافته بود با این وجود با مدیریت بهتر می‌توان از اثرات آن برای بهبود درجه کیفی خاک بهره بیشتری برد. بنابراین با عملیات مدیریت ویژه نظیر تغییر شیوه کشت، شخم، مدیریت بقایا، مصرف کود و افزایش حضور ماده آلی به مقدار بهینه می‌توان با ایجاد ساختمان مناسب و پایدار خاک از تخریب ساختمان خاک و در نتیجه تغییر توزیع خلل و فرج جلوگیری کرد.

تحقیقات انجام‌شده پیشین عمدتاً بر بررسی اثرات تغییر کاربری اراضی یا سوء مدیریت منابع طبیعی روی شاخص‌های کیفیت خاک تأکید دارند؛ لیکن در پژوهش حاضر علاوه بر نقش

1. Integrated Quality Index (IQI)

2. Nemero Quality Index (NQI)

کاربری و مدیریت الگوی کشت در کیفیت خاک، تأثیر مدیریت آبیاری بر شاخص‌های کیفیت خاک نیز با هدف برنامه‌ریزی و پیشگیری از روند نزولی کیفیت خاک در انواع کاربری‌های اراضی مورد توجه قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

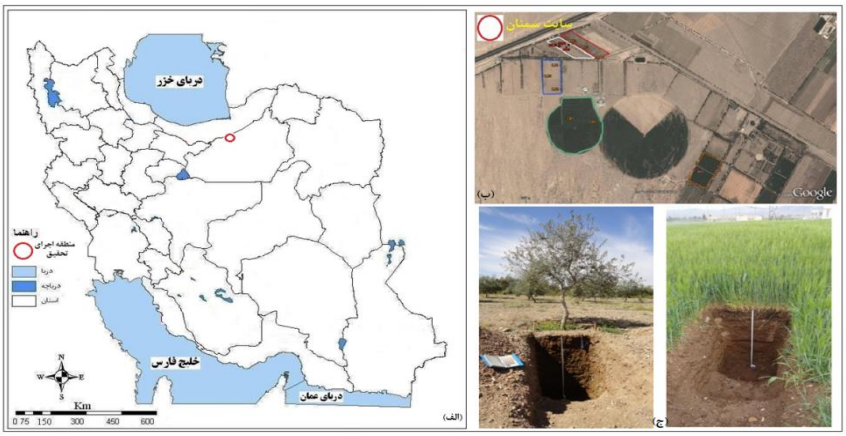
منطقه موردمطالعه در محدوده جغرافیایی ۵۳ درجه و ۲۷ دقیقه و ۲ ثانیه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۳۵ دقیقه و ۵۵ ثانیه عرض شمالی در مرکز آموزش عالی علمی– کاربردی جهاد کشاورزی سمنان در کیلومتر ۵ جاده سمنان – دامغان واقع است (شکل ۱). در منطقه پژوهش، پنج عرصه کشاورزی مشتمل بر سه عرصه با سامانه‌های آبیاری نوین و دو عرصه با سامانه آبیاری سنتی انتخاب شدند. تمرکز شیوه‌های مختلف آبیاری تحت‌فشار در یک محل و عمر بیش از پنج سال اجرای هریک از این شبکه‌ها از دلایل انتخاب این منطقه بوده است. در این منطقه مقادیر پارامترهای متوسط درجه حرارت، بارندگی و تبخیر طی یک دوره پنج‌ساله منتهی به اجرای پژوهش به ترتیب ۱۹/۹ درجه سانتی‌گراد، ۱۳۲/۶ و ۲۴۰۶ میلی‌متر است (IRIMO, 2018). موقعیت خاکرخ‌ها با توجه به قرارگرفتن آن‌ها در شعاع تأثیر سامانه‌های آبیاری بارانی، قطره‌ای و غرقابی و با استفاده از روش تصادفی طبقه‌بندی‌شده[1] با سه تکرار در هر عرصه انتخاب گردید. خاکرخ‌ها تا لایه محدودکننده و حداکثر به عمق ۱/۵متر حفر و پس از تشریح، از افق‌های ژنتیکی آن‌ها (افق‌های مشخصه سطحی و زیرسطحی) نمونه‌برداری شد. الگوی کشت باغی در بخشی از عرصه تحقیق، موجب شد تا از افق‌های زیرسطحی ($_1C$ و $_2C$) نیز نمونه‌برداری انجام شود. میانگین وزنی افق‌های زیرسطحی، به‌عنوان نمونه‌های متوسط عمقی در نظر گرفته شد. در نمونه‌های برداشت‌شده برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک اندازه گیری شد. با توجه به وضع سالانه رطوبت در خاک‌های منطقه موردمطالعه و بر اساس مقدار بارش و درجه حرارت متوسط سالانه، رژیم رطوبتی و حرارتی[2] حاکم بر خاک‌های منطقه موردمطالعه با استفاده از نرم‌افزار نیوهال[3] به ترتیب اریدیک[4] و ترمیک[5] تعیین شدند.

به‌منظور محاسبه شاخص‌های کیفیت خاک، ویژگی‌های بافت خاک[6] به روش هیدرومتری (Gee and Bauder, 1986)، قابلیت هدایت الکتریکی[7] (EC) عصاره اشباع با دستگاه هدایت سنج (Page *et al*., 1982)، pH خاک به روش الکترومتریک با دستگاه pH متر (Page *et al*., 1982)، نسبت جذب سدیم[8] به روش Page *et al*., (1982)، جرم مخصوص ظاهری[9] به روش استوانه در لایه سطحی و روش مخروط ماسه‌ای در لایه‌های زیرسطحی، درصد کربن آلی[10] به روش Walkley and Black (1934)، شاخص پایداری ساختمان خاک[11] به روش Pieri (1992)، منحنی رطوبتی خاک به روش صفحه فشار[12] (Reynolds *et al*., 2009)، شاخص دکستر یا شیب منحنی رطوبتی در نقطه عطف (Sgi) با برنامه نرم‌افزاری RETC و بر اساس طبقه‌بندی (Dexter, 2004) و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها[13] به روش الک تر (Kemper and Rosenau, 1986) اندازه‌گیری شدند. همچنین با استفاده از منحنی رطوبتی خاک، ویژگی‌های رطوبت قابل‌استفاده گیاه[14] از تفاضل رطوبت در مکش‌های ۰/۳۳ بار (FC[15]) و ۱۵ بار (PWP[16])، تخلخل تهویه‌ای[17] از تفاضل رطوبت اشباع و رطوبت در مکش ۰/۱ بار و ظرفیت مزرعه نسبی[18] نیز از حاصل تقسیم رطوبت ظرفیت مزرعه بر رطوبت اشباع استخراج شدند (Reynolds *et al*., 2009).

برای تعیین کیفیت خاک از دو مدل شاخص کیفیت تجمعی (IQI) و شاخص کیفیت نمرو (NQI) استفاده شد. هر یک از مدل‌های (IQI) و (NQI) با استفاده از دو مجموعه ویژگی‌های خاک تعیین شدند. مجموعه اول شامل تمام ویژگی‌های اندازه‌گیری شده خاک بوده که به‌عنوان مجموعه کل داده‌ها[19] (TDS) در نظر گرفته شده و مجموعه دوم نیز شامل مهم‌ترین ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک است که مجموعه حداقل داده‌ها[20] (MDS) نامیده شدند (Qi *et al*., 2009). برای گزینش مجموعه MDS، از روش تجزیه مؤلفه‌های اصلی (PCA) استفاده شد. روش PCA از میان کل ویژگی‌های موردبررسی خاک، ویژگی‌هایی که بیشترین تأثیر را بر کیفیت خاک منطقه دارند انتخاب می‌کند. به این صورت که داده‌ها در چندین مؤلفه (PC) دسته‌بندی شده و فقط مؤلفه‌هایی که ارزش ویژه بالاتر از یک داشتند برای قرار گرفتن در دسته حداقل داده‌ها انتخاب می‌شوند. هر یک از مؤلفه‌ها، ویژگی‌هایی که دارای کمتر از ۱۰ درصد

1 Stratified random
2 Soil Moisture & Temperature Regime
3 New Hall
4 Aridic
5 Thermic
6 Soil Texture
7 Electrical Conductivity (EC)
8 Sodium Adsorption Ratio, $SAR= Na^{+}/((Ca^{++} + Mg^{++})/ 2)^{0.5}$
9 Bulk Density (BD)
10 Organic Carbon (OC)
11 Structural Index=$SI=\frac{1.724OC}{(Silt+Clay)} * 100$
12 Pressure Plate
13 Mean Weight Diameter (MWD)
14 Plant Available Water Capacity (PAWC)
15 Field Capacity (FC)
16 Permanent Wilting Point (PWP)
17 Air Capacity (AC)
18 Relative Field Capacity (RFC)
19 Total data set (TDS)
20 Minimum data set (MDS)

اختلاف با بیشترین مقدار وزن موجود در هر ویژگی بود، برای دسته حداقل داده‌ها گزینش می‌شوند. زمانی که بیش از یک ویژگی در هر مؤلفه انتخاب شد، همبستگی بین آن‌ها محاسبه و ویژگی که بیشترین ضریب همبستگی را با بقیه ویژگی‌ها دارد، در دسته حداقل داده‌ها قرار می‌گیرد (Ghahramanpoor *et al*., 2018; Andrews *et al*., 2002; Qi *et al*., 2009).



شکل ۱- الف) موقعیت منطقه اجرای پژوهش در کشور و در استان سمنان، ب) تصویر ماهواره‌ای از عرصه‌های منتخب و محل خاکرخ‌ها و ج) نمای دو خاکرخ حفرشده

برای محاسبه IQI و NQI لازم است ویژگی‌های خاک نمره دهی شوند (Qi *et al*., 2009). با توجه به آن که واحد سنجش ویژگی‌های مورد بررسی متفاوت هستند، برای ارائه آنها در قالب یک مقدار کلی واحد سنجش حذف شده که برای این منظور از توابع امتیازدهی استاندارد[1] عضویت فازی استفاده شد (Karlen and Scott, 1994; Andrews *et al*., 2002). توابع امتیازدهی از منابع موجود با توجه به حد بهینه ویژگی‌های خاک برای انجام وظایف خاک (شامل تولید محصول و وظایف زیست‌محیطی) ارائه شده است (Swanepoel *et al*., 2014; Liu *et al*., 2014). در این روش برای هر ویژگی خاک، تابعی تعریف شد که با استفاده از آن، مقادیر ویژگی موردنظر بین صفر (کمترین مطلوبیت برای کیفیت خاک) و یک (بیشترین مطلوبیت برای کیفیت خاک) نمره‌دهی گردید. در این روش ویژگی‌های کیفیت خاک به سه دسته هر چه بیشتر بهتر[2] (خصوصیاتی که افزایش آنها موجب بهبود کیفیت خاک می‌گردد مانند کربن آلی)، هر چه کمتر بهتر[3] (خصوصیاتی که افزایش آنها موجب کاهش کیفیت خاک می‌گردد مانند جرم مخصوص ظاهری)، و تابع سطح بهینه[4] (در مورد خصوصیاتی از خاک است که افزایش یا کاهش آنها تا حد معینی موجب بهبود کیفیت خاک شده و افزایش یا کاهش آن‌ها بیش از حد بهینه موجب کاهش کیفیت خاک می‌گردد مانند pH خاک) تقسیم شدند (Ghahramanpoor *et al*., 2018; Nori *et al*., 2019). توابع امتیازدهی استاندارد برای برخی ویژگی‌های کیفیت خاک در جدول (۱) نشان داده شده است.

وزن‌دهی به ویژگی‌های مختلف کیفیت خاک با استفاده از محاسبه واریانس مشترک متغیرها صورت گرفت که با استفاده از روش تجزیه عاملی[5] (FA) به دست آمد. در این روش از تقسیم واریانس مشترک هر متغیر به واریانس مشترک کل، وزن ویژگی به دست آمد (Shukla *et al*., 2006; Sun *et al*., 2003). در نهایت با استفاده از روابط (۱) و (۲) شاخص‌های IQI و NQI محاسبه شدند.

$$IQI = \sum_{i=1}^{n} \mathrm{WiNi} \qquad \text{(رابطه ۱)}$$

که در آن Wi وزن تعلق یافته به هر ویژگی خاک، و Ni نیز مقدار نمره تعلق یافته به هر ویژگی و n تعداد ویژگی موردنظر است.

$$NQI = \sqrt{(P^{۲}ave + P^{۲}\min)/2} \times (n - ۱)/n \qquad \text{(رابطه ۲)}$$

در این معادله p_{ave} میانگین نمره تعلق یافته به ویژگی‌های انتخاب‌شده در هر نمونه خاک، p_{min} حداقل نمره موجود در بین ویژگی‌های انتخاب‌شده برای هر نمونه و n تعداد ویژگی‌های موردنظر برای محاسبه شاخص است. در نتیجه در پایان برای هر نمونه خاک، چهار شاخص کلی کیفیت خاک شامل IQI_{MDS} ، IQI_{TDS}، NQI_{MDS}، NQI_{TDS} محاسبه شد. میانگین شاخص‌های کیفیت این اراضی با آزمون LSD و همبستگی خطی بین شاخص‌های کیفیت خاک با دسته کل داده‌ها و دسته حداقل داده‌ها نیز مورد بررسی قرار گرفت.

1 Standard Scoring Functions (SSF)
2 More is better
3 Less is better
4 Optimum curve
5 Factor Analysis

جدول ۱- امتیازدهی به برخی ویژگی‌های خاک با استفاده از توابع استاندارد

ویژگی‌ها	نوع تابع	حد پایین (L)	حد بالا (U)	حد بهینه (O)	تابع استاندارد
EC (dS m-1)	کمتر بهتر	۱/۶	۶/۷		$f(x)=\begin{cases}1 & x \le L\\ 1-0.9\frac{x-L}{U-L} & L \le x \le U\\ 0.1 & x \ge U\end{cases}$
BD (gr cm-3)	کمتر بهتر	۱/۴	۱/۶		
SAR (mmol/l)0.5	کمتر بهتر	۳	۱۳		
AC (cm3cm-3)	بیشتر بهتر	۷	۱۱		$f(x)=\begin{cases}0.1 & x \le L\\ 0.1+0.9\frac{x-L}{U-L} & L \le x \le U\\ 1 & x \ge U\end{cases}$
MWD (mm)	بیشتر بهتر	۰/۵	۲/۵		
AWC (cm3cm-3)	بیشتر بهتر	۸	۱۶		
SI	بیشتر بهتر	۰/۰۲	۰/۰۵		
OC (%)	بیشتر بهتر	۰/۵	۳		
CEC (cmol/Kg)	بیشتر بهتر	۱۵	۳۵		
pH	اپتیمم بهتر	L1=5.5 L2=7	U1=6.5 U2=8	۶/۵-۷	$f(x)=\begin{cases}0.1 & x < L1 \text{ or } x \ge U2\\ 0.1+0.9\frac{x-L}{U-L} & L1 \le x \le L2\\ 1 & L1 \le x \le U1\\ 1-0.9\frac{x-U1}{U2-U1} & U1 \le x \le U2\end{cases}$
RFC	اپتیمم بهتر	L1=0.1 L2=0.2	U1=0.7 U2=1.0	۰/۶-۰/۷	
Sand (%)	اپتیمم بهتر	۲۰	۶۰	۴۰	
Silt (%)	اپتیمم بهتر	۱۰	۴۰	۳۵	
Clay (%)	اپتیمم بهتر	۱۰	۴۰	۲۵	

X: مقدار اندازه‌گیری شده برای هر ویژگی **f(x): امتیاز ویژگی‌ها بین ۰/۱ تا ۱**

نتایج و بحث

جدول (۲) نتایج تجزیه مؤلفه‌های اصلی (کل واریانس تبیین شده ویژگی‌های خاک با عوامل چرخش یافته) در نمونه‌های سطحی منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهند. مطابق این جدول پنج مؤلفه اصلی دارای ارزش ویژه بزرگ‌تر از یک می‌باشند. این مؤلفه‌ها در مجموع بیش از ۸۸ درصد از واریانس داده‌ها را توجیه می‌کنند. در مؤلفه اول شوری، شاخص پایداری ساختمان خاک، نسبت جذب سدیم و ماده آلی بیشترین ارزش را داشتند که اختلاف آن‌ها کمتر از ۱۰ درصد با بیشترین مقدار ارزش در این مؤلفه بود. از آنجا که بیش از یک ویژگی در این مؤلفه انتخاب شد، همبستگی بین آن‌ها محاسبه و ویژگی که بیشترین ضریب همبستگی را با بقیه ویژگی‌ها داشت، در دسته حداقل داده‌ها قرار گرفت (Qi *et al*., 2009؛ Andrews *et al*., 2002). بدین منظور با برقراری چهار رابطه رگرسیونی بین متغیرها (هر متغیر یک بار به‌عنوان متغیر وابسته و بقیه به‌عنوان متغیر مستقل وارد رابطه رگرسیونی شدند)، ویژگی شاخص پایداری ساختمان خاک به‌عنوان متغیر وابسته‌ی رابطه‌ای که علاوه بر معنی‌داری ($P<0.01$) دارای بیشترین ضریب تعیین ($R^2=0.98$) بود، انتخاب شد. این موضوع برای مؤلفه‌هایی که بیشتر از یک ویژگی داشتند، موردتوجه قرار گرفت. در جدول (۳) نیز ضریب همبستگی پیرسون بین متغیرها در نمونه‌های سطحی آمده است. در مؤلفه دوم، رطوبت قابل‌استفاده گیاه و درصد لای دارای بیشترین ارزش بودند که درصد لای بیشترین ضریب همبستگی را با سایر ویژگی‌های مؤلفه دوم داشت. در مؤلفه سوم، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، در مؤلفه چهارم جرم مخصوص ظاهری و در مؤلفه پنجم تخلخل تهویه‌ای بیشترین ارزش را به خود اختصاص دادند. همان‌طور که مشاهده می‌شود از بین ۱۴ ویژگی موردبررسی در TDS، پنج ویژگی شاخص پایداری ساختمان خاک، درصد لای، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، جرم مخصوص ظاهری و تخلخل تهویه‌ای به‌عنوان MDS لایه سطحی خاک انتخاب شدند.

مطابق جدول (۴) نیز در لایه‌های متوسط عمقی، چهار مؤلفه اصلی دارای ارزش ویژه بزرگ‌تر از یک می‌باشند. این مؤلفه‌ها در مجموع بالغ بر ۸۸ درصد از واریانس داده‌ها را توجیه می‌کنند. در مؤلفه اول، درصد رس، درصد شن، درصد لای و رطوبت قابل‌استفاده گیاه بیشترین ارزش را داشتند. در مؤلفه دوم، ماده آلی، در مؤلفه سوم، pH، نسبت جذب سدیم و شوری و در مؤلفه چهارم، تخلخل تهویه‌ای بیشترین ارزش را به خود اختصاص دادند. رگرسیون چندگانه بین این ویژگی‌ها نشان داد که در مؤلفه اول رطوبت قابل‌استفاده گیاه، و در مؤلفه سوم شوری دارای بیشترین ضریب همبستگی می‌باشند. در جدول (۵) ضریب همبستگی پیرسون بین متغیرها در نمونه‌های متوسط عمقی آمده است. بنابراین از بین ۱۴ ویژگی موردبررسی در TDS، چهار ویژگی رطوبت قابل‌استفاده گیاه، ماده آلی، شوری و تخلخل

تهویه‌ای به‌عنوان MDS لایه‌های متوسط عمقی انتخاب شدند.

در ادامه، وزن‌دهی ویژگی‌ها به روش تجزیه عاملی (FA) در دو مجموعه TDS و MDS در نمونه‌های سطحی و متوسط عمقی محاسبه و نتیجه در جدول (۶) ارائه شد. نتایج حاصل از محاسبه وزن در مجموعه TDS نشان داد که ویژگی‌های درصد شن، و رطوبت قابل‌استفاده گیاه و در مجموعه‌ی MDS نیز ویژگی میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها دارای وزن بالاتری در لایه سطحی مزارع این منطقه است. درصد شن، ماده آلی، ظرفیت مزرعه نسبی، و رطوبت قابل‌استفاده گیاه در مجموعه‌ی TDS، و درصد شن در مجموعه‌ی MDS بیشترین تأثیر را در کیفیت خاک لایه متوسط عمقی دارند. برای تعیین امتیاز ویژگی‌های خاک نیز از توابع امتیازدهی استفاده شد.

جدول ۲- نتایج تجزیه مؤلفه‌های اصلی در نمونه‌های سطحی

پارامترها	مؤلفه یک	مؤلفه دو	مؤلفه سه	مؤلفه چهار	مؤلفه پنج
ارزش ویژه	۵/۰۴۷	۲/۶۷۹	۲/۰۵۲	۱/۴۵۸	۱/۱۱۰
درصد واریانس	۳۶/۰۵۳	۱۹/۱۳۹	۱۴/۶۶۰	۱۰/۴۱۳	۷/۹۳۱
درصد تجمعی واریانس	۳۶/۰۵۳	۵۵/۱۹۲	۶۹/۸۵۲	۸۰/۲۶۶	۸۸/۱۹۶
ویژگی‌ها					
EC	-۰/۹۱۱	-۰/۰۰۳	-۰/۰۴۶	-۰/۱۶۲	۰/۲۱۸
SI	۰/۸۹۷	۰/۰۶۳	۰/۱۸۱	-۰/۱۳۷	۰/۱۸۲
SAR	-۰/۸۸۹	۰/۱۲۴	۰/۰۰۱	۰/۱۰۷	۰/۳۰۰
OC	۰/۸۸۳	۰/۱۴۳	۰/۱۷۵	-۰/۲۲۶	۰/۲۲۰
RFC	۰/۶۶۶	۰/۳۰۰	-۰/۴۶۸	-۰/۱۴۹	۰/۰۷۱
CLAY	۰/۵۸۴	۰/۳۶۲	-۰/۲۴۱	-۰/۴۹۴	۰/۴۱۵
AWC	۰/۰۱۵	۰/۹۴۴	-۰/۱۸۵	۰/۰۶۰	۰/۱۴۷
SILT	-۰/۰۸۳	۰/۸۵۷	۰/۳۶۱	۰/۲۱۲	-۰/۱۷۴
SAND	-۰/۴۶۶	-۰/۷۶۲	۰/۰۲۲	۰/۳۲۱	-۰/۲۷۱
MWD	۰/۳۲۸	۰/۰۰۲	۰/۸۹۳	-۰/۰۳۵	۰/۱۱۴
Sgi	۰/۰۴۹	-۰/۰۸۴	-۰/۶۴۸	۰/۱۰۹	-۰/۶۰۵
BD	-۰/۰۰۴	۰/۰۴۲	-۰/۱۹۵	۰/۹۳۸	۰/۱۳۰
pH	-۰/۳۱۰	۰/۱۲۰	۰/۴۰۸	۰/۵۸۷	۰/۱۷۸
AC	۰/۰۳۳	-۰/۰۶۳	-۰/۱۳۹	-۰/۲۴۱	-۰/۸۴۶

جدول ۳- ضریب همبستگی پیرسون بین متغیرها در نمونه‌های سطحی

	AC	AWC	BD	RFC	SI	OC	MWD	SAND	SILT	CLAY	SAR	Sgi	EC	pH
AC	۱	-۰/۱۹۸	-۰/۲۷۹	۰/۱۰۵	-۰/۰۷۷	-۰/۰۸۲	-۰/۲۱۲	۰/۱۶۰	-۰/۰۹۷	-۰/۱۲۵	-۰/۲۳۹	۰/۵۴۷	-۰/۱۰۳	-۰/۱۷۰
AWC		۱	۰/۱۳۴	۰/۳۲۸	۰/۰۸۱	۰/۱۵۲	-۰/۱۵۱	-۰/۷۳۲**	۰/۷۱۴**	۰/۴۱۲	۰/۱۵۹	-۰/۰۱۵	-۰/۰۰۵	۰/۰۷۶
BD			۱	-۰/۰۳۱	-۰/۱۸۱	-۰/۲۴۳	۰/۱۶۲	۰/۲۰۶	۰/۱۴۰	-۰/۳۲۰	۰/۱۳۸	۰/۱۰۳	-۰/۱۱۰	۰/۴۴۵
RFC				۱	۰/۵۵۱	۰/۵۹۱*	۰/۱۴۰	-۰/۵۹۲*	-۰/۰۰۵	۰/۶۸۲*	-۰/۵۲۶	-۰/۲۰۷	-۰/۴۷۰	-۰/۳۶۷
SI					۱	۰/۹۸۸**	۰/۴۸۶	-۰/۵۴۰	-۰/۰۶۲	۰/۶۵۵*	-۰/۶۶۴*	-۰/۰۸۸	-۰/۷۰۰**	-۰/۱۱۳
OC						۱	۰/۴۷۹	-۰/۶۳۸*	-۰/۰۲۰	۰/۷۴۴**	-۰/۶۵۵*	-۰/۱۵۷	-۰/۶۷۶*	-۰/۱۵۷
MWD							۱	-۰/۱۷۱	۰/۲۷۵	۰/۰۳۲	-۰/۲۳۰	-۰/۵۸۷*	-۰/۲۶۰	۰/۲۱۲
SAND								۱	-۰/۴۹۰	-۰/۸۵۴**	۰/۲۸۱	۰/۲۴۲	۰/۳۲۲	۰/۲۰۲
SILT									۱	-۰/۰۳۶	۰/۰۹۹	-۰/۲۰۰	-۰/۰۴۶	۰/۲۶۷
CLAY										۱	-۰/۳۸۱	-۰/۱۵۹	-۰/۳۴۱	-۰/۳۹۱
SAR											۱	-۰/۱۳۸	۰/۹۳۰**	۰/۵۳۰
Sgi												۱	-۰/۰۹۴	-۰/۲۷۲
EC													۱	۰/۳۰۷
pH														۱

** همبستگی معنی‌دار در سطح یک درصد *همبستگی معنی‌دار در سطح پنج درصد

جدول ۴- نتایج تجزیه مؤلفه‌های اصلی در نمونه‌های متوسط عمقی

	مؤلفه یک	مؤلفه دو	مؤلفه سه	مؤلفه چهار
ارزش ویژه	۶/۷۳۱	۲/۳۹۶	۱/۹۴۹	۱/۲۵۴
درصد واریانس	۴۸/۰۸۱	۱۷/۱۱۵	۱۳/۹۲۰	۸/۹۵۸
درصد تجمعی واریانس	۴۸/۰۸۱	۶۵/۱۹۶	۷۹/۱۱۵	۸۸/۰۷۳
ویژگی‌ها				
SAND	-۰/۹۷۴	۰/۱۸۳	۰/۱۱۲	-۰/۰۰۲
CLAY	-۰/۹۶۰	-۰/۰۷۹	-۰/۱۴۴	-۰/۰۳۳
SILT	-۰/۹۴۸	-۰/۲۳۶	-۰/۰۹۰	۰/۰۲۲
AWC	-۰/۹۱۹	-۰/۲۵۱	-۰/۱۱۳	۰/۲۰۲
RFC	-۰/۸۱۲	-۰/۰۸۵	-۰/۰۷۹	۰/۵۵۷
MWD	۰/۷۶۱	۰/۱۵۲	۰/۲۸۹	۰/۲۹۴
OC	-۰/۰۰۳	۰/۹۹۱	۰/۰۵۳	۰/۰۱۱
SI	۰/۳۰۴	۰/۸۹۱	۰/۲۱۲	۰/۰۱۹
Sgi	۰/۳۴۹	۰/۶۳۵	-۰/۰۹۳	۰/۵۱۴
BD	۰/۴۵۹	۰/۵۰۰	-۰/۳۶۰	-۰/۱۵۱
pH	۰/۱۳۱	۰/۰۱۵	-۰/۸۷۸	۰/۰۶۲
SAR	۰/۴۰۷	۰/۱۲۲	۰/۸۶۱	-۰/۰۷۰
EC	۰/۴۰۰	۰/۰۴۹	۰/۸۴۹	۰/۰۱۲
AC	۰/۰۷۱	-۰/۰۷۹	۰/۰۵۵	-۰/۹۲۳

جدول ۵- ضریب همبستگی پیرسون بین متغیرها در نمونه‌های متوسط عمقی

	AC	AWC	BD	RFC	SI	OC	MWD	SAND	SILT	CLAY	SAR	Sgi	EC	pH
AC	۱	-۰/۱۸۵	-۰/۰۷۳	-۰/۵۸۱*	-۰/۰۴۶	-۰/۰۸۱	-۰/۱۱۶	۰/۰۶۴	-۰/۰۶۵	-۰/۰۵۷	۰/۱۲۲	-۰/۲۶۹	۰/۰۰۰	-۰/۰۶۴
AWC		۱	-۰/۶۰۳*	۰/۸۹۲**	-۰/۴۹۸	-۰/۲۴۸	-۰/۶۵۸*	-۰/۹۵۸**	۰/۹۶۶**	۰/۸۸۶**	-۰/۵۱۴	-۰/۳۶۱	-۰/۴۸۱	۰/۰۳۱
BD			۱	-۰/۴۱۷	۰/۴۴۲	۰/۴۴۹	۰/۱۳۸	۰/۴۹۱	-۰/۵۲۳	-۰/۴۰۶	-۰/۰۲۴	۰/۲۵۶	-۰/۰۰۶	۰/۲۷۹
RFC				۱	-۰/۳۳۸	-۰/۰۸۷	-۰/۵۰۶	-۰/۸۲۰**	۰/۸۱۵**	۰/۷۷۸**	-۰/۴۳۰	-۰/۱۱۵	-۰/۳۶۷	۰/۰۰۴
SI					۱	۰/۹۰۹**	۰/۴۹۷	۰/۴۷۶	-۰/۴۹۴	-۰/۴۱۵	۰/۳۹۹	۰/۵۹۴*	۰/۳۵۴	-۰/۰۶۸
OC						۱	۰/۲۰۶	۰/۱۷۹	-۰/۲۲۳	-۰/۰۹۲	۰/۱۴۸	۰/۶۰۳*	۰/۰۹۱	-۰/۰۲۱
MWD							۱	۰/۷۸۱**	-۰/۷۲۵**	-۰/۸۳۱**	۰/۴۷۳	۰/۴۳۷	۰/۴۹۶	-۰/۱۲۸
SAND								۱	-۰/۹۸۷**	-۰/۹۶۱**	۰/۵۲۰	۰/۴۶۸	۰/۴۸۶	۰/۰۲۲
SILT									۱	۰/۹۰۵**	-۰/۴۹۹	-۰/۵۰۸	-۰/۴۶۵	-۰/۰۲۵
CLAY										۱	-۰/۵۲۵	-۰/۳۷۰	-۰/۴۹۳	-۰/۰۱۵
SAR											۱	۰/۱۳۷	۰/۹۳۹**	-۰/۶۴۳*
Sgi												۱	۰/۰۰۷	۰/۱۳۷
EC													۱	-۰/۵۹۶*
pH														۱

**** همبستگی معنی‌دار در سطح یک درصد *همبستگی معنی‌دار در سطح پنج درصد**

جدول ۶- اشتراک ویژگی‌های موردبررسی با عامل‌های مستخرج (واریانس مشترک) به همراه ضریب وزنی در نمونه‌های سطحی و متوسط عمقی

ویژگی‌های خاک	نمونه‌های سطحی				نمونه‌های متوسط عمقی			
	TDS		MDS		TDS		MDS	
	واریانس مشترک	ضریب وزنی	واریانس مشترک	ضریب وزنی	واریانس مشترک	ضریب وزنی	واریانس مشترک	ضریب وزنی
AC	۰/۷۹۹	۰/۰۶۴۷	۰/۵۳۷	۰/۱۷۷۹	۰/۸۶۶	۰/۰۷۰۲	۰/۷۷۹	۰/۲۹۱۳
AWC	۰/۹۵۱	۰/۰۷۷۰			۰/۹۶۲	۰/۰۷۸۰	۰/۷۷	۰/۲۸۸۰
BD	۰/۹۳۷	۰/۰۷۵۹	۰/۶۶۷	۰/۲۲۰۹	۰/۶۱۳	۰/۰۴۹۷		
RFC	۰/۷۸۰	۰/۰۶۳۲			۰/۹۸۴	۰/۰۷۹۸		
SI	۰/۸۹۲	۰/۰۷۲۳	۰/۶۶۲	۰/۲۱۹۳	۰/۹۳۲	۰/۰۷۵۶		
OC	۰/۹۳۰	۰/۰۷۵۳			۰/۹۸۵	۰/۰۷۹۹	۰/۵۳۲	۰/۱۹۹۰
MWD	۰/۹۱۸	۰/۰۷۴۴	۰/۷۹۳	۰/۲۶۲۷	۰/۷۷۲	۰/۰۶۲۶		
Sand	۰/۹۷۵	۰/۰۷۹۰			۰/۹۹۵	۰/۰۸۰۷		
Silt	۰/۹۴۶	۰/۰۷۶۶	۰/۳۶۰	۰/۱۱۹۲	۰/۹۶۳	۰/۰۷۸۱		
Clay	۰/۹۴۶	۰/۰۷۶۶			۰/۹۵۱	۰/۰۷۷۱		
SAR	۰/۹۰۷	۰/۰۷۳۵			۰/۹۲۷	۰/۰۷۵۲		
Sgi	۰/۸۰۷	۰/۰۶۵۴			۰/۷۰۶	۰/۰۵۷۲		
EC	۰/۹۰۶	۰/۰۷۳۴			۰/۸۸۳	۰/۰۷۱۶	۰/۵۹۳	۰/۲۲۱۸
pH	۰/۶۵۴	۰/۰۵۲۹			۰/۷۹۲	۰/۰۶۴۳		
شاخص KMO داده‌ها	۰/۴۸۷		۰/۵۰۱		۰/۵۱۱		۰/۶۰۸	

محاسبه و درجه‌بندی کیفیت خاک

به‌منظور طبقه‌بندی کیفیت خاک مناطق موردمطالعه از روش (Qi *et al*., 2009) استفاده شد (جدول ۷). درجه‌بندی شاخص‌های کیفیت خاک مطابق جدول (۸) نشان می‌دهد که IQI_{TDS} در لایه‌های سطحی و متوسط عمقی دارای درجه کیفیت IV می‌باشند. استثنای این موضوع، اراضی آبی یونجه بوده که به دلیل غنای ماده آلی دارای درجه کیفیت II است. شاخص IQI_{MDS}، در لایه سطحی اراضی، نتایجی مشابه IQI_{TDS} نشان داد. عملیات کشت و کار در اراضی زراعی و نقش مثبت مواد آلی در این درجه‌بندی مؤثر بوده است. در شاخص NQI_{TDS} لایه سطحی اراضی زراعی در کلاس III و اراضی باغی در کلاس IV قرار گرفتند. لایه متوسط عمقی در شاخص NQI_{TDS} و لایه‌های سطحی و متوسط عمقی در شاخص NQI_{MDS} همگی در کلاس IV قرار گرفتند. لازم به ذکر است ویژگی‌های فیزیوگرافی، توپوگرافی، لیتولوژی و مواد مادری برای مزارع موردمطالعه که در مجاورت یکدیگر قرار داشتند، یکسان بوده است. مقدار ماده آلی و به‌تبع آن شاخص پایداری ساختمان خاک اثرات تعیین‌کننده‌ای در توزیع کلاس‌های کیفیت خاک داشته است. ماده آلی عمدتاً به‌عنوان یکی از شاخص‌های اولیه کیفیت خاک، در بحث کشاورزی و محیط‌زیست، در نظر گرفته می‌شود و از عواملی مانند تغییر مدیریت و کاربری اراضی اثر می‌پذیرد (Barancikova *et al*., 2010). پایین بودن ماده آلی، شوری و نسبت جذب سدیم زیاد و pH بالا بیشترین محدودیت را برای کیفیت خاک لایه‌های متوسط عمقی فراهم آورده است. لذا، عموماً کیفیت خاک در لایه سطحی بهتر است (De Paul Obade and Lal, 2014). در مجموع کیفیت خاک اراضی موردمطالعه را می‌توان به شرح اراضی زراعی یونجه > اراضی زراعی جو > باغ با آبیاری قطره‌ای > باغ با آبیاری غرقابی طبقه‌بندی نمود. ترتیب بهره‌برداری‌های فوق بیانگر آن است که اراضی آبی با محصولات پوششی یا چندکشتی به دلیل نقش مثبت در افزایش عامل‌های اصلاحی خاک و به‌واسطه میزان ورودی مواد آلی و فعالیت‌های کشت و کار، دارای شاخص پایداری مناسب‌تری نسبت به بقیه اراضی هستند. این اراضی به شرطی برای کاربری کشاورزی پایدار خواهند ماند که مدیریت زراعی مناسبی در آن‌ها اعمال شود. Zehtabian and Khosravi (2010) در ارزیابی تأثیر فعالیت‌های کشاورزی بر تخریب اراضی در منطقه طالقان، اراضی آبی چند کشتی را مناسب‌ترین تیمار و اراضی دیم رهاشده و اراضی فرسایش یافته را نامطلوب‌ترین تیمار معرفی نمودند. همچنین مطالعات Khosravi *et al*., (2018) نشان داد که اراضی کشاورزی آبی تک‌کشتی و چند کشتی شهرستان خاتم استان یزد به دلیل فرآیند آبشویی و مدیریت صحیح در این اراضی موجب کاهش فاکتورهای تخریبی خاک شده و اراضی مرتعی بیشترین میزان فاکتورهای تخریبی در خاک را دارند. نتایج این مطالعات به کشاورزی پایدار و اصولی و مدیریت مناسب در اراضی کشاورزی تأکید دارد؛ به‌طوری‌که کشاورزی پایدار می‌تواند به‌عنوان یک عامل مثبت و مانع از تخریب خاک و بیابان‌زایی تلقی شود (Khosravi *et al*., 2018). در پژوهش حاضر نیز با توجه به برهم‌کنش خاک و نوع کاربری، اثرات کاربری در این خاک‌ها به‌طور متفاوت ظهور نموده است. لذا می‌توان گفت پایداری خاک به نوع کاربری اراضی و نوع کشت حساسیت نشان می‌دهد. Aparicio and Costa (2007) و Doran and Jones (1996) نیز کیفیت خاک را فرآیندها و ویژگی‌هایی از خاک می‌دانند که به تغییر کاربری خاک حساس می‌باشند.

جدول ۷- درجه‌بندی کیفیت خاک در مدل‌های IQI و NQI در دو مجموعه TDS و MDS (Qi *et al*., 2009)

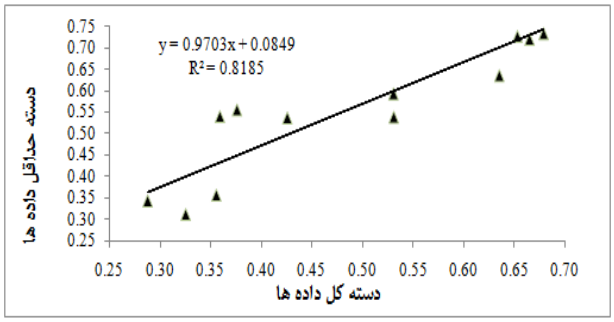
نوع مدل	روش	درجه کیفیت خاک			
		I	II	III	IV
IQI	TDS	۰/۷۶≤IQITDS	۰/۶۶≤ IQITDS <۰/۷۶	۰/۵۶≤ IQITDS <۰/۶۶	IQITDS <۰/۵۶
	MDS	۰/۷۸≤IQIMDS	۰/۶۸≤ IQIMDS <۰/۷۸	۰/۵۸≤ IQIMDS <۰/۶۸	IQIMDS <۰/۵۸
NQI	TDS	۰/۵۵≤NQITDS	۰/۴۵≤ NQITDS <۰/۵۵	۰/۳۵≤ NQITDS <۰/۴۵	NQITDS <۰/۳۵
	MDS	۰/۸۰≤NQIMDS	۰/۷۰≤ NQIMDS <۰/۸۰	۰/۶۰≤ NQIMDS <۰/۷۰	NQIMDS <۰/۶۰

جدول ۸- مقادیر میانگین شاخص‌های کیفیت خاک و درجه‌بندی آن در منطقه مطالعاتی سمنان

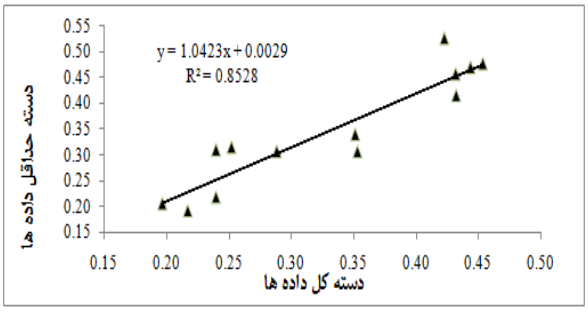
اراضی	سامانه آبیاری	IQITDS		IQIMDS		NQITDS		NQIMDS	
		سطحی	متوسط عمقی	سطحی	متوسط عمقی	سطحی	متوسط عمقی	سطحی	متوسط عمقی
زیتون	غرقابی	۰/۳۲ (IV)	۰/۳۴ (IV)	۰/۳۴ (IV)	۰/۴۰ (IV)	۰/۲۲ (IV)	۰/۲۳ (IV)	۰/۲۱ (IV)	۰/۱۹ (IV)
زیتون	قطره‌ای	۰/۳۹ (IV)	۰/۳۳ (IV)	۰/۵۴ (IV)	۰/۳۹ (IV)	۰/۲۶ (IV)	۰/۲۲ (IV)	۰/۳۱ (IV)	۰/۱۹ (IV)
جو	بارانی(خطی)	۰/۵۹ (III)	۰/۳۷ (IV)	۰/۷۰ (II)	۰/۴۴ (IV)	۰/۳۹ (III)	۰/۲۵ (IV)	۰/۴۳ (IV)	۰/۲۲ (IV)
جو	بارانی(سنترپیوت)	۰/۵۸ (III)	۰/۴۵ (IV)	۰/۵۹ (III)	۰/۵۶ (IV)	۰/۳۹ (III)	۰/۳۰ (IV)	۰/۳۶ (IV)	۰/۲۹ (IV)
یونجه	غرقابی	۰/۶۷ (II)	۰/۵۲ (IV)	۰/۷۳ (II)	۰/۵۷ (IV)	۰/۴۴ (III)	۰/۳۴ (IV)	۰/۴۷ (IV)	۰/۲۹ (IV)

همبستگی بین شاخص‌های کیفیت خاک با دسته کل و حداقل داده‌ها

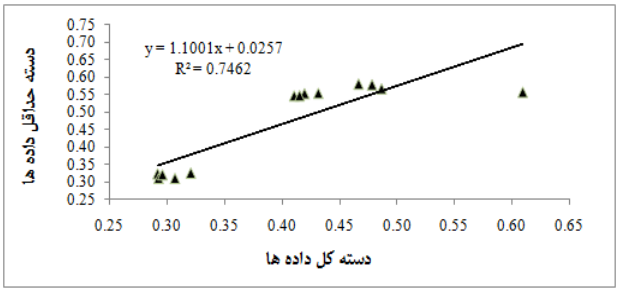
همبستگی خطی بین شاخص‌های کیفیت خاک با دسته کل داده‌ها و دسته حداقل داده‌ها نشان داد که شاخص کیفیت نمرو نسبت به شاخص کیفیت تجمعی خاک در نمونه‌های سطحی و متوسط عمقی ضریب همبستگی نزدیک به هم ولی بالاتری دارد (شکل‌های ۲ الی ۵). در پژوهش‌های Rahmani poor *et al.*, (2015)؛ Azarneshan *et al.*, (2018)؛ Ghaemi *et al.*, (2014)؛ Ghahramanpoor *et al.*, (2018)؛ Nori *et al.*, (2019) و Qi *et al.*, (2009) شاخص کیفیت تجمعی نتایج و عملکرد مناسب‌تری نسبت به شاخص کیفیت نمرو نشان داد. از سوی دیگر ضریب تبیین بین دو مجموعه TDS و MDS برای نمونه‌های سطحی و متوسط عمقی در مدل IQI به ترتیب ۰/۸۲ و ۰/۷۵ درصد و در مدل NQI به ترتیب ۰/۸۵ و ۰/۷۶ درصد بود. این ضرایب نشان می‌دهند که با اطمینان ۰/۸۲ در مدل IQI و ۰/۸۵ در مدل NQI می‌توان از مجموعه MDS به‌جای مجموعه TDS برای نمونه‌های سطحی استفاده نمود. این کار علاوه بر صرفه‌جویی در زمان، موجب کاهش هزینه در انجام مطالعات می‌شود. Ghaemi *et al.*, (2014)؛ Azarneshan *et al.*, (2018)؛ Ghahramanpoor *et al.*, (2018)؛ Nori *et al.*, (2019) و Qi *et al.*, (2009) استفاده از مهم‌ترین ویژگی‌های مؤثر بر شاخص‌های کیفیت خاک را در مطالعات ارزیابی کیفیت خاک توصیه نموده‌اند.



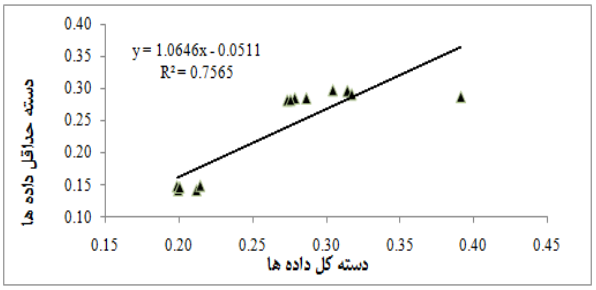
شکل ۲- رابطه خطی IQITDS-IQIMDS در نمونه‌های سطحی



شکل ۳- رابطه خطی NQITDS-NQIMDS در نمونه‌های سطحی



شکل ۴- رابطه خطی IQITDS-IQIMDS در نمونه‌های متوسط عمقی



شکل ۵- رابطه خطی NQITDS-NQIMDS در نمونه‌های متوسط عمقی

بررسی تأثیر مدیریت آبیاری و الگوی کشت بر شاخص‌های کیفیت خاک

به‌منظور مقایسه مناسب‌تر وضعیت کیفیت اراضی، میانگین شاخص‌های کیفیت این اراضی با آزمون LSD مورد بررسی قرار گرفت. مطابق جدول (۹) شاخص‌های کیفیت خاک لایه سطحی این اراضی در هر دسته TDS و MDS، دارای میانگین متفاوتی هستند؛ زیرا نتیجه تجزیه واریانس یک‌طرفه، سطح معنی‌داری را کمتر از ۰/۰۵ گزارش نموده است. لیکن شاخص‌های کیفیت خاک در لایه زیرسطحی (نمونه‌های متوسط عمقی) میانگین متفاوتی از خود نشان ندادند. بررسی نتایج مقایسه‌های چندگانه[1] شاخص‌های کیفیت خاک لایه سطحی در دسته کل داده‌ها با آزمون LSD، اراضی موردمطالعه را در دو گروه اراضی زراعی آبی و باغی دسته‌بندی نمود. در تمام این مقایسه‌ها ترتیب کیفیت خاک اراضی به ترتیب در زراعت آبی یونجه (آبیاری غرقابی)> زراعت آبی جو (آبیاری بارانی خطی) > زراعت آبی جو (آبیاری بارانی سنترپیوت) > باغ زیتون (آبیاری قطره‌ای) > باغ زیتون (آبیاری غرقابی) است. تفاوت در مقادیر ویژگی‌های فیزیکی OC و SI و همچنین ویژگی‌های شیمیایی EC و SAR تأثیر مستقیم در اختلاف بین میانگین‌های شاخص کیفیت خاک داشته است. به‌رغم آن‌که اراضی باغی با سامانه آبیاری غرقابی دارای شاخص کیفیت کمتری نسبت به اراضی باغی با سامانه نوین آبیاری قطره‌ای بودند، لیکن این اختلاف سبب قرار گرفتن آنها در دو دسته متفاوت نشده است.

1. Multiple Comparisons

جدول ۹- نتایج تجزیه واریانس شاخص‌های کیفیت خاک در لایه‌های سطحی و متوسط عمقی

نماد	لایه خاک	منابع تغییر	مجموع مجذورات	درجه آزادی	میانگین مجذورات	آماره F	سطح معنی‌داری
IQITDS	سطحی	بین گروهی	۰/۲۳۵	۴	۰/۰۵۹	۲۶/۵۵	۰/۰۰۰
		درون‌گروهی	۰/۰۱۸	۸	۰/۰۰۲		
		کل	۰/۲۵۳	۱۲			
	متوسط عمقی	بین گروهی	۰/۰۷۵	۴	۰/۰۱۹	۳/۹۰	۰/۰۴۸
		درون‌گروهی	۰/۰۳۹	۸	۰/۰۰۵		
		کل	۰/۱۱۴	۱۲			
IQIMDS	سطحی	بین گروهی	۰/۲۷۱	۴	۰/۰۶۸	۱۹/۶۹	۰/۰۰۰
		درون‌گروهی	۰/۰۲۸	۸	۰/۰۰۳		
		کل	۰/۲۹۸	۱۲			
	متوسط عمقی	بین گروهی	۰/۰۸۵	۴	۰/۰۲۱	۱/۷۲۵	۰/۲۳۷
		درون‌گروهی	۰/۰۹۹	۸	۰/۰۱۲		
		کل	۰/۱۸۴	۱۲			
NQITDS	سطحی	بین گروهی	۰/۱۰۱	۴	۰/۰۲۵	۲۴/۹۷۴	۰/۰۰۰
		درون‌گروهی	۰/۰۰۸	۸	۰/۰۰۱		
		کل	۰/۱۰۹	۱۲			
	متوسط عمقی	بین گروهی	۰/۰۲۶	۴	۰/۰۰۷	۳/۳۸	۰/۰۶۷
		درون‌گروهی	۰/۰۱۵	۸	۰/۰۰۲		
		کل	۰/۰۴۲	۱۲			
NQIMDS	سطحی	بین گروهی	۰/۱۲۲	۴	۰/۰۳۱	۱۰/۶۲۶	۰/۰۰۳
		درون‌گروهی	۰/۰۲۳	۸	۰/۰۰۳		
		کل	۰/۱۴۵	۱۲			
	متوسط عمقی	بین گروهی	۰/۰۲۹	۴	۰/۰۰۷	۱/۷۶۱	۰/۲۳۰
		درون‌گروهی	۰/۰۳۳	۸	۰/۰۰۴		
		کل	۰/۰۶۲	۱۲			

نتیجه‌گیری

رسیدن به حداکثر بهره‌وری اقتصادی با حفظ و احیاء منابع پایه و آگاهی از چگونگی کیفیت و پایداری خاک در عرصه‌های کشاورزی و منابع طبیعی میسّر خواهد شد. بدون تردید نوع کاربری یکی از مهم‌ترین عواملی است که می‌تواند در پایداری خاک مؤثر باشد. استفاده از شاخص‌های IQI و NQI دارای مزیت‌هایی نسبت به سایر شاخص‌ها می‌باشند؛ به‌طوری‌که محققان، مدیران خاک و همچنین کشاورزان هر دو نوع شاخص را به خاطر طبیعت فهمشان به‌راحتی درک می‌کنند، هر دو شاخص اطلاعات را بر اساس روش‌های ریاضی ترکیب می‌نمایند که منجر به افزایش اطمینان داده‌ها می‌شود و هر دو شاخص می‌توانند زمینه‌ای را برای برنامه‌ریزی سایر تحقیقات کشاورزی فراهم نمایند. بدون شک یک سیستم کشاورزی در سطح مزرعه، زمانی پایدار در نظر گرفته می‌شود که علاوه بر شاخص‌های کیفیت و پایداری و حفاظت از منابع خاک، به شاخص‌های میدانی رضایت کشاورزان نظیر عملکرد بالا، افزایش بهره‌وری و سودآوری نیز توجه شود. به عبارت دیگر حفاظت از منابع و رضایت کشاورزان توأماً از الزامات پایداری بوده که بررسی عوامل متعدد مؤثر بر رضایت کشاورزان و مقایسه با عملکرد واقعی محصول نیازمند باز تحقیق در ادامه پژوهش حاضر است. تأثیر کاربری‌ها بر ویژگی‌های کیفی خاک می‌تواند به‌واسطه میزان ورودی مواد آلی و فعالیت‌های کشت و کار تشدید گردد. در این پژوهش نقش ماده آلی به‌عنوان یک ویژگی کنترل‌کننده خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک حائز اهمیت شناخته شد. بنابراین حرکت به سمت کشاورزی پایدار، می‌تواند با افزایش کیفیت خاک سبب احیای سرزمین شود. لذا پیشنهاد می‌شود در مناطق خشک کشور ایران با محیط‌های اکولوژیک حساس و شکننده، کشاورزی پایدار با اعمال مدیریت زراعی صحیح و کنترل‌شده توسعه یابد.

یافته‌های این تحقیق نشان داد که نوع سامانه آبیاری به‌تنهایی نتوانسته است تفاوت معنی‌داری در کیفیت خاک ایجاد نماید. به طوری‌که آبیاری غرقابی در یونجه، به بالاترین و در باغ زیتون به پایین‌ترین عدد منجر شد. همچنین در باغ زیتون با آبیاری‌های قطره‌ای و غرقابی نیز تفاوت معنی‌داری در شاخص‌های کیفیت خاک مشاهده نشد. به‌عبارت‌دیگر آبیاری غرقابی اگرچه به‌دلیل تجمع املاح در خاک به ناپایداری و کاهش کیفیت خاک منجر شده، لیکن این تفاوت از لحاظ آماری معنی‌دار نبود. لذا لازم است بررسی اثرات سامانه‌های نوین آبیاری بر عواملی چون پایداری کشاورزی، پایداری خاک و محیط‌زیست در مناطق مختلف کشور، با اهتمام و جدیت بیشتر و با حمایت دستگاه‌های اجرایی مربوطه موردتوجه قرار گیرد.

سپاس‌گزاری

اعتبار این پژوهش در قالب طرح تحقیقاتی خاتمه یافته با کد ۹۴۰۰۳ -۹۴۵۳-۲۹-۲۹-۰۱۴ توسط پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری و با حمایت معاونت آب و خاک وزارت جهاد کشاورزی تأمین شده است. لذا نگارندگان مقاله سپاس‌گزاری خود را از سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری و معاونت آب و خاک وزارت جهاد کشاورزی اعلام می‌دارند.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

Alizadeh, H.A., Liaghat, A. and Sohrabi, T. (2014). Assessing pressurized irrigation systems development scenarios on groundwater resources using system dynamics modeling, Journal of Water and Soil Conservation, 3(4), 1-15. (In Farsi)

Andrews, S.S., Flora, C.B., and Mitchell, J.P. (2002). A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in northern California, Agriculture, Ecosystems and Environment, 90, 25-45.

Aparicio, V., and J.L. Costa, (2007). Soil quality indicators under continuous cropping systems in the Argentinean pampas. Soil and Tillage Research. 96:155-165.

Askari, M. S., and Holden, N. M. (2014). Indices for quantitative evaluation of soil quality under grassland management. Geoderma, 230, 131-142.

Azarneshan, S., Khormali, F., Sarmadian, F., Kiani, F., and Eftekhari, K. (2018). Soil quality evaluation of semi-arid and arid lands in Qazvin Plain, Iran, Journal of Water and Soil, 32(2): 359-374. (In Farsi)

Barancikova, G., Halas, J., Guttekova, M., Makovnikova, J., Navakova, M., Skalsky, R., and Tarasovicova. (2010). Application of RothC model to predict soil organic carbon stock on agricultural soils of Slovakia. Soil and Water Research Journal 5(1): 1–9.

Burea of Modern Irrigation Systems Implementation (2019). Five-year report of modern irrigation systems development plan (2012-2018), Water and Soil Deputy Publications, Ministry of Agriculture- Jahad. (In Farsi)

Carter, M.T., E. G. Gregorich, D.W.Anderson, J.W. Doran, H.H. Janzen and F.J. Pierce. (1997). Concepts of soil quality and their significance, PP. 1020. In: E. G. Gregorich, M.R. Carter (Eds.), Soil Quality for crop production and Ecosystem Health, Elsevier, Amsterdan.

De Paul Obade, V., & Lal, R. (2014). Soil quality evaluation under different land management practices. Environmental earth sciences, 72(11), 4531-4549.

Dexter AR. (2004). Soil physical quality, Part III. Unsaturated hydraulic conductivity and general conclusions about Stheory. Geoderma, 120: 227-239.

Doran, J.W. and B.T. parkin. (1994). Defining and assessing soil quality. In: Doran, J.W., and et al.(Eds.), Defining soil quality for a sustainable Environment. Soil Science Society of American, Inc., Madison, WI, USA, Special Publication, 35: 3-21.

Doran, J. W. and A. J. Jones. (1996) Quantitative indicators of Soil quality: a minimum data set. Pp. 2-25. In: Doran, J.W. and A. J. Jones. Eds. Methods for assessing soil quality. Soil Science Society of American Special Publication, vol. 49. Soil Science Society of American, Inc., Madison,WI, USA.

Gee, G.W., and J.M. Bauder. (1986). Partical-size analysis. Pp 383-411. In: Page, A. L., and *et al* (Eds), Methods of Soil Analysis, Part 1, Physical and Mineralogical Methods. Agronomy Monograph No. 9 (2nd edition), American Society of Agronomy, Madison, WI.

Ghaemi, M., Astaraei, A., Sanaeinejad, S.H., Nassiri Mahalati, M., and Emami, H. (2014) Evaluation of Maize Yield Variability Based on Soil Properties and Principal Component analysis of east of mashhad-Iran, Journal of Water and Soil, 27(4): 463-473.

Ghahramanpoor, R., Gorji, M., Pourbabaee, A.A., Farahbakhsh, M. (2018). Investigating the Effects of Conservation and Reduced Tillage Systems on Soil Quality Indices, Iranian Journal of Soil and Water Research (IJSWR), 49 (6): 1355-1364. (In Farsi)

Han, W.J., and Q.T. Wu. (1994). A primary approach on the quantitative assessment of soil quality . Chinese Journal of Soil Science. 25:245–247.

Herrick, J. E., Brown, J. R., Tugel, A. J., Shaver, P. L., and Havstad, K. M. (2002). Application of soil quality to monitoring and management.

Agronomy Journal, 94(1): 3-11.

Islamic Republic of Iran Meteorological Organization (IRIMO). (2018). Meteorological Administration of Semnan province, Summary of statistics of Semnan province's meteorological station. (In Farsi)

Karlen, D. L., Mausbach, M. J., Doran, J. W., Cline, R. G., Harris, R. F., and Schuman, G. E. (1997). Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation (a guest editorial). Soil Science Society of America Journal, 61(1): 4-10.

Karlen, D. L., & Stott, D. E. (1994). A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. Defining soil quality for a sustainable environment, (definingsoilqua), 53-72.

Kemper, W.D., and Rosenau, R.C. (1986). Aggregate stability and size distribution. In: Klute, A. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part a: Physical and Mineralogical Methods. Agronomy Monograph No. 9. American Society of Agronomy. Soil Science Society of America, Madison, WI:425–442.

Khosravi. H, Zehtabian. G.H, Azareh A, and Eskandari H. (2018). Evaluating and comparing the effects of agricultural activities on soil properties (Case Study: Khatam city). Journal of Rangeland, 12(2), 232-241.

Kouchaki, A., Hasheminia, S.M., and Ghahraman, N. (1997). Salt water utilization in sustainable agriculture, Mashhad University Jihad, 236p.

Liu, Z., Zhou, W., Shen, J., Li, S., He, P. and Liang, G. (2014). Soil quality assessment of Albic soils with different productivities for eastern China. Soil and Tillage Research, 140, 74-81.

Nori, N., Rostaminia, M., Keshavarzi, A., and Rahmani, A. (2019). Quantitative Evaluation and Zoning of Spatial Distribution of Soil Quality Index in Some Parts of Arid and Semi-Arid Lands of Western Iran (Case Study: Kane Sorkh Region, Ilam Province), Iranian Journal of Soil and Water Research (IJSWR), 50(7): 1701-1719. (In Farsi)

Norfleet, M.L., C.A. Ditzler, W.E. Pukett, R.B. Grossman and J.N. shaw. (2003). Soil quality and its relationship to penology. Soil Sci. 168: 149-181.

Oster J.D .۱۹۹٤ ,.Irrigation with poor quality water . Agricultural Water Management. 25(3); 271-297.

Page, A. L., Miller R. H., and Keeney D. R. (1982). Methods of Soil Analysis, part2, chemical and microbiological properties. American Society of Agronomy,Inc. Soil Science Society of America. Madison, WI.

Pieri C.J.M.G. (1992). Fertility of Soils: A Future for Farming in the West African Savannah. Springer-Verlag, Berlin, Germany.

Qi, Y., Jeremy, L., Darilek., Biao Huang., Yongcun Zhao., Weixia Sun., and Zhiquan Gu. (2009). Evaluating soil quality indices in an agricultural region of Jiangsu Province, China. Geoderma. 149(3-4): 325-334.

Qin, M.Z., and J. Zhao. (2000). Strategies for sustainable use and characteristics of soil quality changes in urban-rural marginal area: a case study of Kaifeng. Acta Geogr. Sin. 55:545–554.

Rahmani poor, F., Bahrami, H., Rahimi Bandarabadi, S., and Fereidooni, Z. (2015). Quantitative Evaluation of Soil Quality and Its Spatial Distribution in Some Agricultural Regions of Qazvin Province, Iran, Iranian Journal of Soil and Water Research (IJSWR), 43(1): 1-8. (In Farsi)

Ramezani, F., Jafari, S., Salavati, A., and Khalili Moghaddam, B. (2016). Study the Soil Quality Changes Indicators Using Nemoro and Integrated Quality Index Models in Some Khuzestan's Soils, Journal of Water and Soil, 29(6): 1629-1639. (In Farsi)

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.

Shukla, M.K., Lal R., and Ebinger, M. (2006). Determining soil quality indicators by factor analysis. Soil Till. Res., 87:194-204.

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

Swanepoel, P. A., Du Preez, C. C., Botha, P. R., Snyman, H. A. and Habig, J. (2014). Soil quality characteristics of kikuyu–ryegrass pastures in South Africa. Geoderma, 232, 589-599.

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

Zehtabian, Gh. R. and Khosravi, H. (2010). Effect of Agricultural Activities on Land Degradation in Taleghan Region, Journal of Range and Watershed Management, Iranian Journal of Natural Resources, 63(2), 207-218.

Zornoza, R., Acosta, J. A., Bastida, F., Domínguez, S. G., Toledo, D. M., and Faz, A. (2015). Identification of sensitive indicators to assess the interrelationship between soil quality, management practices and human health. Soil, 1(1): 173-185.