University of Tehran Press

Journal of Natural Environment

Online ISSN: 2423-7817

Homepage: https://jne.ut.ac.ir/

Evaluation of soil quality index (SQI) in different land use of Malayer province using minimum data set (MDS) method

Fatemeh Shahpoury[1] | Nasrin Hassanzadeh[2]✉ | Eisa Solgi[3] | Mahboubeh Zarabi[4]

1. Department of Environmental Sciences and Engineering, Faculty of Environment and Natural Resources, Malayer University, Malayer, Iran. E-mail: f.shahpouri@malayeru.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Environmental Sciences and Engineering, Faculty of Environment and Natural Resources, Malayer University, Malayer, Iran. E-mail: n.hassanzadeh@malayeru.ac.ir
3. Department of Environmental Sciences and Engineering, Faculty of Environment and Natural Resources, Malayer University, Malayer, Iran. E-mail: e.solgi@malayeru.ac.ir
4. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Malayer University, Malayer, Iran. E-mail: mzarrabi@malayeru.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received 21 November 2021

Received in revised form 21 August 2022

Accepted 19 September 2022

Published online 10 March 2024

Keywords:

Land use,

Malayer province,

Minimum data set,

Principal component analysis,

Soil quality index.

ABSTRACT

Considering the role and importance of soil quality assessment in economic success and environmental sustainability, this study was conducted to evaluate the soil quality index (SQI) in different land use of Malayer province. For this purpose, 36 samples from 6 the land use were collected and 11 physical and chemical properties of soil were measured. The Soil quality index was determined based on criteria. Using the principal component analysis (PCA) method among 11 physical and chemical parameters of soil, two parameters of $CaCO_3$ and K with a total variance justification of 63.08% as the most important parameters to evaluate the soil quality index were introduced using the Minimum Data Set (MDS) method. Finally, soil quality in different land uses was determined and compared. The results showed that the park and green spaces land use has the highest soil quality index in Malayer province, but irrigated farming and industrial land uses had the lowest soil quality, which requires management and increasing soil quality in these two land uses in order to prevent excessive soil degradation and erosion. Considering that maintaining and increasing soil quality is one of the criteria for the sustainability of different ecosystems, the need to monitor this parameter in different land use and prone to damage in Malayer province is suggested.

Cite this article: Shahpoury, F., Hassanzadeh, N., Solgi, E., & Zarabi, M. (2024). Evaluation of soil quality index (SQI) in different land use of Malayer province using minimum data set (MDS) method. *Journal of Natural Environment*, 76 (4), 579-592. DOI: http//doi.org/10.22059/jne.2022.334297.2339

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: http//doi.org/10.22059/jne.2022.334297.2339

محیط زیست طبیعی
شاپای الکترونیکی: ۷۸۱۷-۲۴۲۳
Homepage: https://jne.ut.ac.ir/
انتشارات دانشگاه تهران

ارزیابی شاخص کیفیت خاک (SQI) در کاربری‌های مختلف شهرستان ملایر با استفاده از روش مجموعه حداقل داده (MDS)

فاطمه شاهپوری[۱] | نسرین حسن‌زاده[۲]✉ | عیسی سلگی[۳] | محبوبه ضرابی[۴]

۱. گروه علوم و مهندسی محیطزیست، دانشکدهٔ محیطزیست و منابع طبیعی، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران. رایانامه: f.shahpouri@malayeru.ac.ir
۲. نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی محیطزیست، دانشکدهٔ محیطزیست و منابع طبیعی، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران. رایانامه: n.hassanzadeh@malayeru.ac.ir
۳. گروه علوم و مهندسی محیطزیست، دانشکدهٔ محیطزیست و منابع طبیعی ، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران. رایانامه: e.solgi@malayeru.ac.ir
۴. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران. رایانامه: mzarrabi@malayeru.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۳۰
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۵/۳۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۲۸
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۲/۲۰

کلیدواژه‌ها:
کاربری اراضی، شهرستان ملایر، مجموعه حداقل داده، تحلیل مؤلفه‌های اصلی، شاخص کیفیت خاک.

چکیده

با توجه به نقش و اهمیت ارزیابی کیفیت خاک در کشاورزی و پایداری محیطزیست، این مطالعه با هدف ارزیابی شاخص کیفیت خاک (SQI) در کاربری‌های مختلف شهرستان ملایر صورت گرفت. بدین منظور، تعداد ۳۶ نمونه از ۶ کاربری جمع‌آوری و ۱۱ ویژگی فیزیکی و شیمیایی خاک اندازه‌گیری شد. شاخص کیفیت خاک براساس معیارها تعیین شد. با استفاده از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)، از بین ۱۱ پارامتر فیزیکی و شیمیایی خاک دو پارامتر کربنات کلسیم و پتاسیم محلول با توجیه واریانس کل ۶۳/۰۸ درصد به‌عنوان مهم‌ترین پارامترها جهت ارزیابی شاخص کیفیت خاک با استفاده روش مجموعه حداقل داده (MDS) معرفی شدند. در نهایت کیفیت خاک در کاربری‌های مختلف تعیین و مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج به‌دست آمده نشان داد که کاربری پارک و فضای سبز بیشترین شاخص کیفیت خاک را در شهرستان ملایر به‌خود اختصاص داده است اما کاربری‌های کشاورزی–آبی و صنعتی دارای کمترین کیفیت خاک بودند که لازم است مدیریت و افزایش کیفیت خاک در این دو کاربری به‌منظور جلوگیری از تخریب و فرسایش بیش از حد خاک مد نظر قرار گیرد. با توجه به اینکه حفظ و افزایش کیفیت خاک یکی از معیارهای پایداری اکوسیستم‌های مختلف است، لزوم پایش کیفیت خاک در کاربری‌های مختلف و مستعد آسیب در شهرستان ملایر پیشنهاد می‌گردد.

استناد: شاهپوری، فاطمه؛ حسن‌زاده، نسرین؛ سلگی، عیسی؛ و ضرابی، محبوبه (۱۴۰۲). ب ارزیابی شاخص کیفیت خاک (SQI) در کاربری‌های مختلف شهرستان ملایر با استفاده از روش مجموعه حداقل داده (MDS). *محیط زیست طبیعی*، ۷۶ (۴)، ۵۹۲-۵۷۹.

DOI: http//doi.org/10.22059/jne.2022.334297.2339

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

مقدمه

کاهش و افت کیفیت خاک نتیجهٔ افزایش فشار به منابع زمین است که با تشدید و گسترش فعالیت‌های انسانی همراه است (De Laurentiis *et al.*, 2019). کیفیت خاک برای انسان بسیار مهم است زیرا نه تنها در تولید مواد غذایی بلکه در تنوع و عملکرد اکوسیستم تأثیرگذار است (Mei *et al.*, 2019). کیفیت خاک به ظرفیت خاک برای عملکرد در مرزهای اکوسیستم طبیعی یا مدیریت شده، برای حفظ بهره‌وری گیاهان و حیوانات، حفظ یا ارتقاء کیفیت آب و هوا و حمایت از سلامت و زیستگاه انسان اشاره دارد (Li *et al.*, 2019; Qiu *et al.*, 2019). ارزیابی کیفیت خاک به کشاورز و یا هر کاربر دیگر زمین امکان شناسایی مدیریت پایدار و به‌تبع آن پیشگیری از تخریب فزایندهٔ خاک را می‌دهد (Ngo-Mbogba *et al.*, 2015).

کیفیت خاک به‌طور مستقیم قابل اندازه‌گیری نیست، اما می‌تواند با ارزیابی خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک خاک تعیین شود (Mei *et al.*, 2019). از جمله روش‌های ارزیابی کیفیت خاک می‌توان به روش‌های تعیین شاخص کیفیت خاک و روش کریچینگ چند متغییره اشاره نمود (Kim *et al.*, 2020). شاخص کیفیت خاک (Soil Quality Index) به‌دلیل قابلیت استفادهٔ آسان و انعطاف‌پذیری کم، در بسیاری از مقیاس‌ها و مکان‌ها با موفقیت بکار رفته است (Li *et al.*, 2019; Qiu *et al.*, 2019). این شاخص‌ها به‌عنوان خصوصیاتی از خاک تعریف شده‌اند که نسبت به تغییرات در عملکرد خاک حساس هستند (Kim *et al.*, 2020).

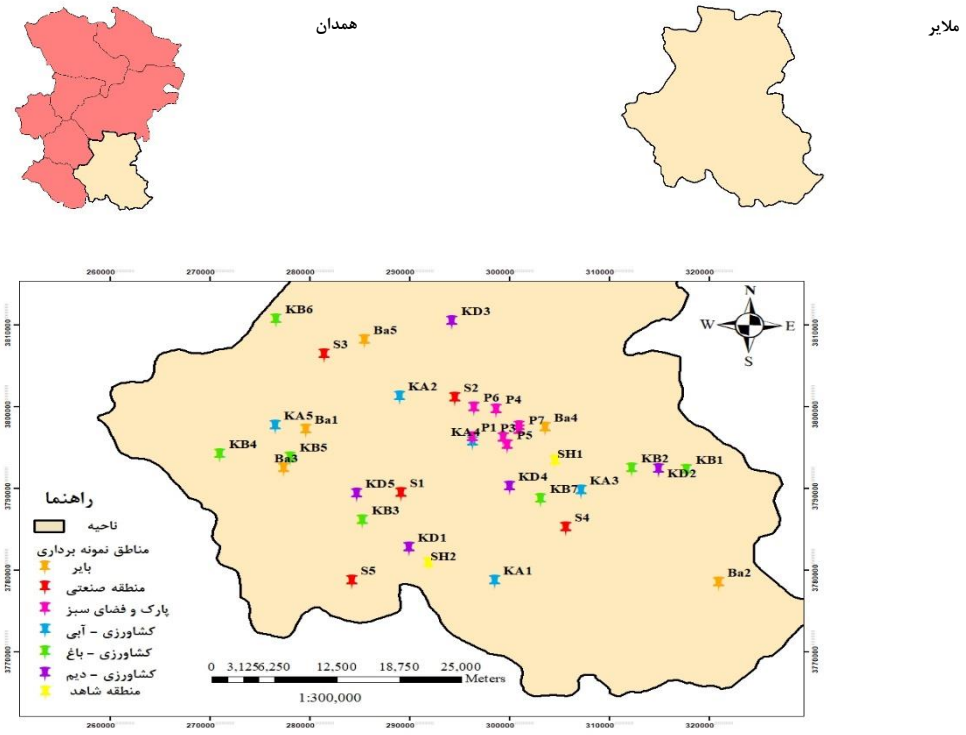
در مطالعات ارزیابی کیفیت خاک، برخی از محققان شاخص کیفیت خاک را براساس مجموعهٔ کل پارامترهای اندازه‌گیری شده (Total Data Set) تعیین کرده‌اند و برخی دیگر از محققان از تعداد محدودتری از پارامترها که نمایندهٔ مناسب‌تری از کیفیت خاک بوده‌اند به‌عنوان مجموعه حداقل داده (Minimum Data Set) جهت محاسبهٔ شاخص کیفیت خاک استفاده کرده‌اند (Mishra *et al.*, 2017; Gorji *et al.*, 2018; Kiani-Harchegani and Sadeghi, 2019). اندازه‌گیری تعداد زیادی از شاخص‌ها به زمان و هزینهٔ زیادی نیاز دارد. در نتیجه، برای کاهش داده‌ها، افزایش کارایی کار و کاهش زمان و هزینه، استفاده از حداقل مجموعه داده‌ها گزینهٔ مناسب‌تری است (Mohaghegh *et al.*, 2016; Rostaminia *et al.*, 2019). از جمله روش‌های کاهش تعداد داده و تعیین حداقل مجموعه دادهٔ مؤثر و مطلوب در ارزیابی کیفیت خاک، می‌توان به تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (Principle Component Analysis) اشاره نمود (Ngo-Mbogba *et al.*, 2015; Erichson *et al.*, 2020). ایدهٔ اصلی PCA، شناسایی مجموعهٔ کوچک‌تری از مؤلفه‌ها (PC) است که بخش اعظمی از تغییرات داده‌ها را به‌طور مؤثر خلاصه می‌کند (Aït-Sahalia and Xiu, 2019).

در سال‌های اخیر مطالعات بسیاری با هدف ارزیابی کیفیت خاک محصولات زراعی با استفاده از SQI انجام شده است (Masto *et al.*, 2008; Tesfahunegn, 2014; Mohaghegh *et al.*, 2016; Mishra *et al.*, 2017; Gorji *et al.*, 2018; Ghahramanpoor Niyari *et al.*, 2019; Qiu *et al.*, 2019). در مطالعهٔ Li و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از آزمون PCA، از بین ۲۶ شاخص کیفیت خاک، ۴ شاخص به‌عنوان مجموعه MDS برای محدود کردن عملکرد گندم شناسایی شد. Karami و Sharifi (۲۰۲۰) اثر تغییر اراضی مرتعی بر گندم دیم را بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک با استفاده از شاخص SQI مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد کربن آلی، نیتروژن کل، رس و سیلت حدود ۹۰٪ واریانس کل را به‌خود اختصاص داده‌اند که به‌عنوان MDS انتخاب شدند.

با توجه به اینکه در شهرستان ملایر تاکنون مطالعه‌ای در خصوص تعیین کیفیت خاک با استفاده از روش مجموعه حداقل داده صورت نگرفته است؛ بنابراین انجام چنین مطالعهٔ اولیه‌ای در خصوص تعیین حداقل و یا بهینه‌ترین ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک در کاربری‌های مختلف می‌تواند راهنمایی برای تعیین کیفیت خاک هر منطقه با کمترین هزینه و حداقل زمان باشد.

روش‌شناسی پژوهش

منطقهٔ مورد مطالعه: شهرستان ملایر از نظر موقعیت جغرافیایی در محدودهٔ ۴۸ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۵۳ دقیقهٔ طول شرقی و ۳۴ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۰ دقیقهٔ عرض شمالی قرار گرفته است. جمعیت آن براساس سرشماری نفوس ومسکن سال ۱۳۹۵ برابر ۴۴۱۶۸۵ نفر و مساحت آن ۳۲۱۰ کیلومتر مربع است (Parvaneh, 2010; Shams and Haji Malayeri, 2010). کشاورزی در شهرستان ملایر بسیار متنوع و در دو نوع دیم و آبی صورت می‌گیرد. شهرستان ملایر از نظر



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری خاک در کاربری‌های مختلف شهرستان ملایر

فعالیت‌های صنعتی دارای هفت شهرک و ناحیهٔ صنعتی شامل شهرک صنعتی شوشاب، شهرک صنعتی شمارهٔ ۲ حاجی‌آباد، ناحیهٔ صنعتی سهند، شهرک خصوصی جعفری و ناحیهٔ صنعتی سامن است.

نمونه‌برداری و انتخاب ایستگاه‌ها: با نظر گرفتن وسعت منطقهٔ مطالعاتی، سعی شد تا نمونه‌ها از پراکنش مناسبی در سطح منطقه برخوردار باشند. در این پژوهش از روش نمونه‌برداری تصادفی-سیستماتیک برای نمونه‌برداری استفاده شد و نمونه‌ها به‌صورت مرکب جمع‌آوری شدند. کاربری‌های انتخاب شده شامل اراضی بایر، پارک و فضای سبز شهری، ناحیهٔ صنعتی (شامل کارخانهٔ ذوب آهن آلیاژی و شهرک صنعتی ملایر که فعالیت‌هایی همچون تولید مواد غذایی، مواد شیمیایی، تولیدات مبل و منبت و ... در آنجا انجام می‌شود)، کشاورزی-دیم، کشاورزی-آبی و باغات انگور است. در این مطالعه سعی شده است که ایستگاه شاهد در یکی از نقاط دورفتاده خارج از یکی از روستاهای شهرستان که به دور از هر نوع کاربری صنعتی، شهری و کشاورزی است به عنوان ایستگاه شاهد استفاده شود. با مبنا قرار دادن کاربری‌های انتخاب شده و پراکندگی آن‌ها در شیب، جهت و ارتفاعات مختلف در سطح شهرستان ملایر، تعداد ۳۶ نمونه به وزن یک کیلوگرم از عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری خاک انتخاب و نمونه‌برداری گردید. نمونه خاک‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه و خشک شدن در محیط، از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی هر یک از نقاط نمونه‌برداری را نشان می‌دهد.

سنجش ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک: برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه از جمله pH (Thomas, 1996) و قابلیت هدایت الکتریکی (EC) (Roades, 1996) در نسبت ۱:۵ خاک به آب مقطر به‌ترتیب با استفاده از دستگاه‌های pH متر و EC متر اندازه‌گیری شد. برای تعیین بافت خاک از روش هیدرومتری استفاده شد (Bouyoucos, 1962). غلظت پتاسیم و سدیم محلول خاک‌ها، در نسبت ۱:۵ خاک به آب مقطر با استفاده از دستگاه فیلم فتومتر اندازه‌گیری شد (Rowell, 1994). درصد کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون برگشتی با NaOH (Page *et al.*, 1982) و درصد کربن آلی با استفاده از روش والکی بلک (Walkley and Black) (Rowell, 1994) تعیین گردید. عصاره‌گیری فسفر فراهم خاک‌ها به روش اولسن و سامر (Olsen and Sommers, 1982) انجام شد و غلظت آن به روش مورفی ریلی با استفاده از دستگاه اسپکترفتومتر و روش رنگ‌سنجی تعیین گردید (Murphy and Riley, 1962). غلظت نیترات در خاک‌ها با استفاده از روش رنگ‌سنجی اندازه‌گیری شد (Mulvaney, 1996).

تحلیل آماری داده‌ها: جهت مرتب‌سازی داده‌ها و انجام آنالیزهای آماری از نرم‌افزار SPSS 22 و Excel 2013 استفاده شد. به‌منظور بررسی نرمال بودن داده‌ها از آزمون Wilk-Shapiro استفاده شد. با توجه به غیرنرمال بودن داده‌ها، جهت بررسی همبستگی بین پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک از آزمون همبستگی اسپیرمن استفاده شد. جهت مقایسهٔ میانگین بین پارامتر-های مختلف در کاربری‌های مورد مطالعه از آزمون ناپارامتریک کروسکال والیس (Kruskal Wallis) استفاده شد. در ادامه جهت مقایسهٔ میانگین دو به دو بین پارامترهایی که تفاوت معنی‌دار آماری داشتند، از آزمون من ویتنی یو (Mann Whitney U) استفاده شد. در مرحلهٔ بعد، قبل از انجام آزمون PCA ابتدا به‌منظور بررسی کفایت داده‌ها و مناسب بودن داده‌ها از ضریب (Kaiser Meyer-Olkin) KMO و آزمون بارتلت (Bartlett -test) استفاده شد و در نهایت برای تعیین تأثیرگذارترین عوامل مؤثر بر کیفیت خاک آزمون تجزیه به مؤلفه‌های اصلی انجام شد.

تعیین شاخص کیفیت خاک (SQI): در مرحلهٔ اول، آزمون PCA جهت انتخاب مجموعه حداقل داده (MDS) انجام شد. در این مرحله، تحلیل عاملی روی متغیرهایی انجام شد که براساس آزمون تحلیل واریانس بین انواع کاربری اراضی دارای تفاوت معنی‌دار بودند (Nosrati and Majdi, 2018). در تحلیل عاملی عامل‌هایی که دارای مقادیر ویژهٔ بیش از ۱ (eigenvalues>1) بودند به‌عنوان MDS انتخاب شدند (Kiani-Harchegani and Sadeghi, 2019). چرخش Varimax در مؤلفه‌های انتخاب شده به‌منظور افزایش تفسیرپذیری اجزای نامربوط انجام شد (Mishra *et al.*, 2017; Li *et al.*, 2019). در این مطالعه ۱۰ ٪ بیشترین بار وزنی ملاک انتخاب متغیرهای مؤثر بر کیفیت خاک بود. در ادامه، خصوصیات انتخابی در مرحلهٔ قبل براساس اینکه از چه تـابعی پیروی می‌کنند (هر چه بیشتر بهتر، هر چه کمتر بهتر و یا مقدار بهینه) بین مقادیر صفر و یک امتیازبندی شدند. در ادامه از نتایج آزمون PCA جهت به‌دست آوردن وزن شاخص‌های به‌دست آمده در MDS استفاده شد. به‌طوری که مقدار توجیه واریانس هر یک از عامل‌ها بر واریانس کل توجیهی توسط تمامی عامل‌ها بـا مقادیر ویژهٔ بیش از یک تقسیم شده و وزن هر یـک از متغیرهـا تعیین شد. در نهایت شاخص کیفیت خاک با استفاده از رابطهٔ زیر محاسبه شد:

$$SQI = \sum_{i=1}^{n} Wi \times Si \quad \text{(رابطهٔ ۱)}$$

که در آن SQI: شاخص کیفیت خاک، Wi: وزن هر یک از شاخص‌ها، Si: امتیاز هر یک از شاخص‌های مؤثر در کیفیت خاک و n: تعداد شاخص‌های مجموعه حداقل داده است (Li *et al.*, 2019).

یافته‌های پژوهش

بررسی و مقایسهٔ ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در کاربری‌های مورد مطالعه: آمارهای توصیفی ویژگی‌های خاک در کاربری‌های مختلف در جدول ۱ ارائه شده است. مطابق جدول ۱ تفاوت محسوسی در مقدار pH کاربری‌های مختلف مشاهده نمی‌شود. مطابق جدول ۱ بیشترین مقدار pH در کاربری کشاورزی-دیم به‌دست آمد. به‌طور کلی در کاربری‌های کشاورزی میزان اسیدیته خاک بیشتر از سایر کاربری‌ها است، زیرا کشت و زرع به‌دلیل تأثیر بر فعالیت میکروارگانیسم‌ها و کربن آلی خاک می‌تواند سبب افزایش واکنش‌های شیمیایی خاک گردد (Mehmandoost *et al.*, 2018).

با توجه به اینکه خاکهای شور دارای EC بالاتر از ۴ دسی‌زیمنس بر متر می‌باشند، نتایج اندازه‌گیری EC نشان می‌دهد خاک‌های منطقهٔ مورد مطالعه شور نیستند. بیشترین EC به‌ترتیب در دو کاربری پارک و فضای سبز و کاربری صنعتی مشاهده شد که احتمالاً به‌ترتیب به‌دلیل استفاده از کودهای آلی و پساب و تخلیهٔ فاضلاب‌های صنعتی است. نتایج مطالعات Shahbazzadeh و Amirinejad (۲۰۱۸) نیز افزایش EC در اراضی آبیاری شده با آب فاضلاب را نشان داده است.

میانگین درصد کربنات کلسیم معادل در تمام کاربری‌ها بالاتر از ۲۴ درصد می‌باشد و خاک‌های مورد مطالعه آهکی می‌باشند. ترکیبات آهکی در خاک به‌طور معمول قابلیت جذب عناصر غذایی، فعل و انفعالات خاک و پایداری خاکدانه‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهند و تأثیر به‌سزایی بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک دارند (Amirian Chakan *et al.*, 2018). نتایج بررسی میزان کربنات کلسیم معادل در کاربری‌های مورد مطالعه نشان داد مقدار کربنات کلسیم معادل در کاربری بایر بیشتر از سایر کاربری‌ها است و کاربری‌های کشاورزی باغ و کشاورزی آبی مقدار کلسیم کربنات معادل کمتری را دارا هستند. یکی از دلایل میزان کمتر کربنات کلسیم معادل در کاربری‌های کشاورزی، اثر شخم و آبشویی کربنات کلسیم به لایه‌های پایین‌تر در اثر آبیاری است.

جدول ۱- آماره‌های توصیفی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک به تفکیک در کاربری‌های مختلف

متغیر	کاربری	میانگین±انحراف معیار	متغیر	کاربری	میانگین±انحراف معیار
pH	بایر	۶/۶۰±۰/۱۵	EC ($dS\ m^{-1}$)	بایر	۰/۱۷±۰/۰۴
	کشاورزی-دیم	۶/۷۸±۰/۲۱		کشاورزی-دیم	۰/۱۵±۰/۰۵
	کشاورزی-آبی	۶/۷۰±۰/۰۹		کشاورزی-آبی	۰/۱۲±۰/۰۱
	کشاورزی-باغ	۶/۷۵±۰/۱۶		کشاورزی-باغ	۰/۱۵±۰/۰۲
	منطقه صنعتی	۶/۵۹±۰/۱۸		منطقه صنعتی	۰/۲۱±۰/۰۷
	پارک و فضای سبز	۶/۵۴±۰/۱۲		پارک و فضای سبز	۰/۳۶±۰/۰۶
کلسیم کربنات معادل (%)	بایر	۳۸/۱۲±۲/۵	کربن آلی (%)	بایر	۰/۱۷±۰/۰۴
	کشاورزی-دیم	۳۰/۲۵±۷۵/۶		کشاورزی-دیم	۰/۲۲±۰/۰۶
	کشاورزی-آبی	۲۷/۵۰±۴/۱		کشاورزی-آبی	۰/۱۲±۰/۰۷
	کشاورزی-باغ	۲۴/۲۸±۴/۱		کشاورزی-باغ	۰/۲۰±۰/۰۷
	منطقه صنعتی	۳۲/۵±۲/۸		منطقه صنعتی	۰/۱۱±۰/۰۵
	پارک و فضای سبز	۳۳/۱۲±۳/۷		پارک و فضای سبز	۰/۱۸±۰/۰۶
فسفر فراهم (mg/kg)	بایر	۱۸/۴۲±۱/۰۹	سدیم محلول (mg/kg)	بایر	۸۵/۱۲±۲/۲۴
	کشاورزی-دیم	۲۶/۸۲±۳/۵۵		کشاورزی-دیم	۶۶/۷۷±۱/۷۳
	کشاورزی-آبی	۱۸/۴۰±۴/۴۰		کشاورزی-آبی	۸۹/۸۷±۲/۵۳
	کشاورزی-باغ	۳۰/۲۷±۶/۵۸		کشاورزی-باغ	۸۷/۳۹±۳/۴۹
	منطقه صنعتی	۲۲/۱۰±۵/۰۷		منطقه صنعتی	۷۹/۰۷±۱/۸۸
	پارک و فضای سبز	۲۸/۹۲±۱/۲۰		پارک و فضای سبز	۶۷/۸۱±۴/۸۸
پتاسیم محلول (mg/kg)	بایر	۴۵/۲۰±۲/۷۹	نیترات (mg/kg)	بایر	۶۴/۴۷±۱/۲۳
	کشاورزی-دیم	۶۴/۶±۳/۴۸		کشاورزی-دیم	۶۵/۲۳±۱/۴
	کشاورزی-آبی	۱۹/۰۲±۶/۱۷		کشاورزی-آبی	۵۸/۰۴±۱/۴۳
	کشاورزی-باغ	۵۸/۴±۳/۶۹		کشاورزی-باغ	۶۲/۹۷±۱/۱۳
	منطقه صنعتی	۴۵/۹۷±۳/۵۴		منطقه صنعتی	۵۴/۶۱±۱/۲۳
	پارک و فضای سبز	۶۵/۴۳±۳/۶۲		پارک و فضای سبز	۶۸/۰±۱/۷۲
شن (%)	بایر	۶۶/۸۹±۸/۷۸	رس (%)	بایر	۱۶/۹۰±۶/۱۹
	کشاورزی-دیم	۶۵/۰۴±۵/۲۰		کشاورزی-دیم	۱۹/۵۱±۳/۸۶
	کشاورزی-آبی	۵۹/۴۳±۷/۰۵		کشاورزی-آبی	۲۲/۰۰±۵/۳۹
	کشاورزی-باغ	۶۲/۱۹±۵/۵۸		کشاورزی-باغ	۱۶/۱۶±۴/۶۱
	منطقه صنعتی	۷۰/۶۴±۵/۰۲		منطقه صنعتی	۱۴/۵±۵/۴۷
	پارک و فضای سبز	۶۶/۳۸±۹/۳۳		پارک و فضای سبز	۱۸/۲±۵/۲۰
سیلت (%)	بایر	۱۵/۱۹±۸/۰۱			
	کشاورزی- دیم	۱۵/۴۳±۷/۰۶			
	کشاورزی-آبی	۱۸/۶±۴/۰۶			
	کشاورزی-باغ	۲۱/۶۳±۵/۸۹			
	منطقه صنعتی	۱۴/۸۰±۳/۲۲			
	پارک و فضای سبز	۱۴/۷۹±۵/۲۷			

مادۀ آلی از جمله مهمترین خصوصیات شیمیایی خاک‌ها بوده و بر روی پایداری ساختمان خاک و فراهمی عناصر غذایی در خاک تأثیرگذار می‌باشد. برای بیشتر خاک‌ها، مقدار آستانۀ کربن آلی ۲ درصد می‌باشد (Golchin, 2016). در تمام کاربری‌های مورد مطالعه، مقدار کربن آلی کمتر از حد آستانه است. آب و هوا، نوع کاربری زمین و شیوه‌های فشرده کشاورزی از جمله انتخاب سیستم‌های زراعی، مدیریت کود و پسماند و خاکورزی تأثیر زیادی بر ورودی‌های نهایی کربن آلی به خاک دارند (Luo *et al.*, 2017). شخم از جمله عوامل مؤثر بر اکسیداسیون مادۀ آلی و کاهش مقدار آن در خاک هست (Miller *et al.*, 2019). علاوه بر اثر شخم بر کاهش مقدار مادۀ آلی در خاک، در کشاورزی-آبی بخشی از کربن آلی در اثر فرسایش آبی و به‌صورت محلول همراه با رواناب از دسترس خارج خواهد شد (Solaimani and Azmoudeh, 2011; Gholami *et al.*, 2016). کمترین میزان کربن آلی در کاربری صنعتی به‌دست آمد. در مناطق صنعتی تشدید فرسایش و حذف پوشش گیاهی از عوامل اصلی کاهش کربن آلی خاک است.

نتایج بررسی‌های انجام شده در این پژوهش نشان داد در بین گروه‌های بافت خاک، بافت شنی لومی و لومی شنی غالب می‌باشد و پس از آن بافت‌های لومی رسی شنی و لومی رسی قرار دارند. همچنین بررسی دانه‌بندی خاک‌های منطقۀ مورد مطالعه نشان داد میانگین درصد شن در کاربری‌های مختلف بیشتر از ۵۹ درصد و بیشتر از مقدار رس و سیلت است. خاک‌های مورد مطالعه در کلاس بافتی شنی و لومی قرار دارند.

مقدار فسفر فراهم در تمام کاربری‌های مورد مطالعه در شهرستان ملایر بیشتر از حد بهینۀ فسفر فراهم به‌دست آمد. در کاربری پارک و فضای سبز، آبیاری با پساب‌ها و استفاده از کودهای آلی می‌تواند در روند افزایش فسفر تأثیرگذار باشد (Nosrati and Majdi, 2018). کمترین میزان فسفر در اراضی کشاورزی-آبی مشاهده شد که با نتایج مطالعات Meng و همکاران (۲۰۰۸) همخوانی دارد. Karami و Sharifi (۲۰۲۰) نیز در مطالعۀ خود مقدار کمتر فسفر در اراضی زراعی را مرتبط با برداشت محصول و حذف بقایای گیاهی دانسته‌اند.

میانگین غلظت سدیم محلول در کاربری‌های مورد مطالعه در دامنۀ ۶۶ تا ۸۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست آمد. با توجه به نتایج، میانگین علظت پتاسیم محلول در کاریری‌های مورد مطالعه از ۱۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم تا ۶۵/۴۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر است. این شکل از پتاسیم در خاک‌های مختلف دارای نوسانات زیادی است و مقادیر بالای آن در خاک می‌تواند به‌دلیل افزودن کودهای شیمیایی پتاسیم‌دار، استفاده از آب‌های شور جهت آبیاری و همچنین قرار گرفتن اراضی در واحدهای فیزیوگرافی پست باشد (Boostani *et al.*, 2019). معمولاً در خاک‌های شنی به‌دلیل پایین بودن ظرفیت تبادل کاتیونی، غلظت پتاسیم محلول بیشتر از خاک‌هایی با درصد رس بیشتر است (Portela *et al.*, 2019).

کمترین میانگین غلظت نیترات در کاربری صنعتی مشاهده شد، که احتمالاً به‌دلیل عدم وجود پوشش گیاهی، کاهش ورود مواد آلی به خاک و فرسایش خاک است. با توجه به این که منشاء اصلی نیترات در خاک مواد آلی است، طبیعی است هر عاملی که به از بین رفتن مواد آلی خاک منجر شود درکاهش مقدار نیتروژن خاک نیز مؤثر خواهد بود (Mehmandoost *et al.*, 2018). در تمام کاربری‌های بررسی شده در شهرستان ملایر مقدار نیترات در خاک‌ها زیاد است و احتمال آبشویی نیترات به اعماق پایین‌تر و آلودگی آب‌های زیرزمینی در منطقه وجود دارد.

بررسی همبستگی بین پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک: یافته‌های حاصل از بررسی همبستگی بین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در کاربری‌های مختلف با استفاده از آزمون همبستگی اسپیرمن در جدول ۲ نشان داده شده است. نتایج نشان داد، بین مقدار پتاسیم محلول و شن ارتباط منفی و معنی‌داری در سطح ۱٪ وجود دارد. از طرفیJafari و همکاران (۲۰۱۹) نیز به نقش افزایش جزء رس خاک در افزایش جذب پتاسیم اشاره کرده‌اند. Gholizadeh و همکاران (۲۰۱۹) نیز در پژوهش خود پایین بودن مقدار پتاسیم در استان گیلان را به پایین بودن درصد رس و سیلت خاک نسبت به درصد شن ربط داده‌اند که به‌طور مشابه رابطۀ مثبت بین رس و پتاسیم و رابطۀ منفی بین پتاسیم و شن را تأیید می‌کند. بیشترین مقدار همبستگی مثبت (در سطح ۱٪) بین نیترات با رس و پتاسیم با فسفات وجود داشت، به‌طوری‌که کمترین میزان نیترات و رس هر دو در کاربری صنعتی گزارش شدند. خاک‌هایی با درصد رس بیشتر دارای مقدار مادۀ آلی بیشتری نیز می‌باشند و غلظت نیترات در خاک‌های دارای مادۀ آلی غالباً زیاد است.

جدول ۲- آزمون همبستگی اسپیرمن بین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

	pH	قابلیت هدایت الکتریکی	رس	شن	سیلت	کلسیم کربنات معادل	کربن آلی	فسفر فراهم	پتاسیم محلول	سدیم محلول	نیترات
pH	۱										
قابلیت هدایت الکتریکی	-۰/۴۸۹**	۱									
رس	۰/۱۴۱	۰/۰۷	۱								
شن	-۰/۱۱۷	۰/۱۴۷	-۰/۶۱۴**	۱							
سیلت	۰/۰۰۷	-۰/۲۰۴	۰/۱۱۴	-۰/۸۱۶**	۱						
کلسیم کربنات معادل	-۰/۰۷۷	۰/۱۸۱	۰/۰۶	۰/۰۲۳	-۰/۰۳۵	۱					
کربن آلی	۰/۱۴۱	۰/۰۱	۰/۱۱۳	-۰/۲۲۶	۰/۲۵۶	-۰/۰۱۹	۱				
فسفر فراهم	-۰/۰۷۵	۰/۰۶۸	۰/۲۵۲	-۰/۳۶۸*	۰/۲۴۲	-۰/۰۴۹	۰/۰۰۲	۱			
پتاسیم محلول	-۰/۰۱۳	-۰/۱۶۶	۰/۳۰۶	-۰/۴۵۴**	۰/۳۳۷*	-۰/۰۵	۰/۰۰۹	۰/۶۲۹**	۱		
سدیم محلول	۰/۰۵۳	۰/۱۲۹	-۰/۱۹۵	۰/۱۷۵	-۰/۰۶۳	۰/۲۷۸	۰/۱۰۷	-۰/۰۴	-۰/۰۸	۱	
نیترات	۰/۰۹	۰/۱۹۴	.۰/۴۶۱**	-۰/۳۵۶*	۰/۰۶۲	۰/۳۳۳*	-۰/۰۰۶	۰/۲۱۷	۰/۲۴۴*	۰/۰۳	۱

جدول ۳- مقایسهٔ میانگین در کاربری‌های مختلف با استفاده از روش کروسکال-والیس

متغیر	واحد	Chi-square	درجه آزادی	سطح معنی‌داری
pH	-	۷/۹۰۱	۶	۰/۲۴۵
EC	$dS\ m^{-1}$	۲۲/۶۳۷	۶	۰/۰۰۱
رس	(٪)	۸/۵۰۸	۶	۰/۲۰۳
شن	(٪)	۸/۳۱۰	۶	۰/۲۱۶
سیلت	(٪)	۶/۷۳۶	۶	۰/۳۴۶
کربنات کلسیم معادل	(٪)	۱۹/۵۲۷	۶	۰/۰۰۳
کربن آلی	(٪)	۱۰/۰۴۱	۶	۰/۱۲۳
فسفر فراهم	mg/kg	۲۱/۴۵۶	۶	۰/۰۰۲
پتاسم محلول	mg/kg	۲۲/۴۳۲	۶	۰/۰۰۱
سدیم محلول	mg/kg	۳۸/۳۹۵	۶	۰/۰۰۰
نیترات	mg/kg	۱۰/۷۷۹	۶	۰/۰۹۵

در توجیه رابطهٔ منفی بین شن و رس می‌توان بیان کرد که با کاهش مادهٔ آلی خاک و به‌تبع آن کاهش پایداری خاکدانه‌ها، میزان فرسایش افزایش می‌یابد و در طول این فرآیند و جداسازی ذرات خاک، ذرات رس و سیلت جدا شده و به عمق پایین‌تر خاک انتقال می‌یابند و ذرات شن در سطح خاک غالب می‌شوند (Solaimani and Azmoudeh, 2011). در مطالعهٔ Solaimani و Azmoudeh (۲۰۱۱) و Nosrati و Majdi (۲۰۱۸) نیز به‌طور مشابه رابطهٔ منفی بین شن و سیلت گزارش شده است که علت آن کاهش پایداری خاکدانه‌ها به‌علت فرسایش خاک و شستشوی ذرات رس و سیلت به لایه‌های پایین‌تر عنوان شده است.

مقایسهٔ میانگین در کاربری‌های مختلف: نتایج آزمون مقایسهٔ میانگین کروسکال-والیس در جدول ۳ ارائه شده است. براساس نتایج تفاوت معنی‌داری بین مناطق مختلف از نظر ۵ پارامتر شامل هدایت الکتریکی، کربنات کلسیم، فسفر فراهم، پتاسیم محلول و سدیم محلول وجود دارد ($P<۰/۰۵$)، پس جهت مقایسهٔ دو به دو گروه‌ها از آزمون من‌ویتنی استفاده شد. نتایج آزمون من‌ویتنی در جدول ۴ گزارش شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود ارتباط معنی‌داری بین متغیرها درکاربری‌های مختلف وجود دارد که با علامت * نشان داده شده است.

جدول ٤- نتایج آزمون من‌ویتنی‌یو در کاربری‌های مختلف

گروه ها	قابلیت هدایت الکتریکی	کلسیم کربنات معادل	فسفر فراهم	پتاسیم محلول	سدیم محلول
بایر×کشاورزی-دیم	۰/۶	*۰/۰۴	*۰/۰۲	۰/۲۴۱	۰/۰۷۵
بایر×کشاورزی-آبی	۰/۰۷	*۰/۰۰۹	۰/۱	*۰/۰۰۶	*۰/۰۱۰
بایر×کشاورزی-باغ	۰/۲	*۰/۰۰۴	*۰/۰۱	۰/۳۷۸	۰/۸۱۴
بایر×شهرک صنعتی	۰/۶	*۰/۰۲	*۰/۰۳	۰/۶۴۹	*۰/۰۳۳
بایر×پارک و فضای سبز	*۰/۰۰۴	*۰/۰۳	۰/۱	۰/۲۱۸	*۰/۰۰۰
بایر×شاهد	۰/۶	۰/۱	۰/۱	*۰/۰۴۵	۰/۴۷۷
کشاورزی-دیم×کشاورزی-آبی	۰/۴	۰/۳	*۰/۰۰۱	*۰/۰۰۱	*۰/۰۰۱
کشاورزی-دیم×کشاورزی-باغ	۰/۶	۰/۱	۰/۰۷	۰/۷۰۳	۰/۱۹۶
کشاورزی-دیم×شهرک صنعتی	۰/۱	۰/۵	*۰/۰۴	۰/۱۷۲	*۰/۰۰۱
کشاورزی-دیم×پارک و فضای سبز	*۰/۰۰۴	۰/۶	۰/۱۷	۰/۹۷۷	*۰/۰۰۰
کشاورزی-دیم×شاهد	۰/۲	۰/۵	۰/۱	*۰/۰۱۳	۰/۱۹۹
کشاورزی-آبی×کشاورزی-باغ	*۰/۰۰۷	۰/۱	*۰/۰۰۰	*۰/۰۰۰	*۰/۰۰۳
کشاورزی-باغ×شهرک صنعتی	*۰/۰۰۹	۰/۰۵۹	۰/۱	۰/۰۶۶	۰/۱۲۸
کشاورزی-باغ×پارک و فضای سبز	*۰/۰۰۴	۰/۰۶	۰/۰۵۳	*۰/۰۰۲	۰/۲۷۸
کشاورزی-باغ×شاهد	۰/۵۳	۰/۱	۰/۱	۰/۸۱۴	۰/۰۸۹
کشاورزی-باغ×شهرک صنعتی	۰/۱	*۰/۰۱۲	*۰/۰۰۵	۰/۱۸۷	*۰/۰۲۲
کشاورزی-باغ×پارک و فضای سبز	*۰/۰۰۲	*۰/۰۰۶	۰/۶۴۶	۰/۵۹۷	*۰/۰۰۰
کشاورزی-باغ×شاهد	۰/۳	۰/۰۵۶	*۰/۰۱۴	*۰/۰۰۵	۰/۹۱۵
شهرک صنعتی×پارک و فضای سبز	*۰/۰۱	۰/۸	۰/۱۰۱	۰/۳۹۲	*۰/۰۰۱
شهرک صنعتی×شاهد	۰/۶	۰/۴	۰/۸۸۷	۰/۲۸۲	۱/۰۰۰
پارک و فضای سبز×شاهد	۰/۱	۰/۶	۰/۲۰۲	*۰/۰۴۳	*۰/۰۳۳

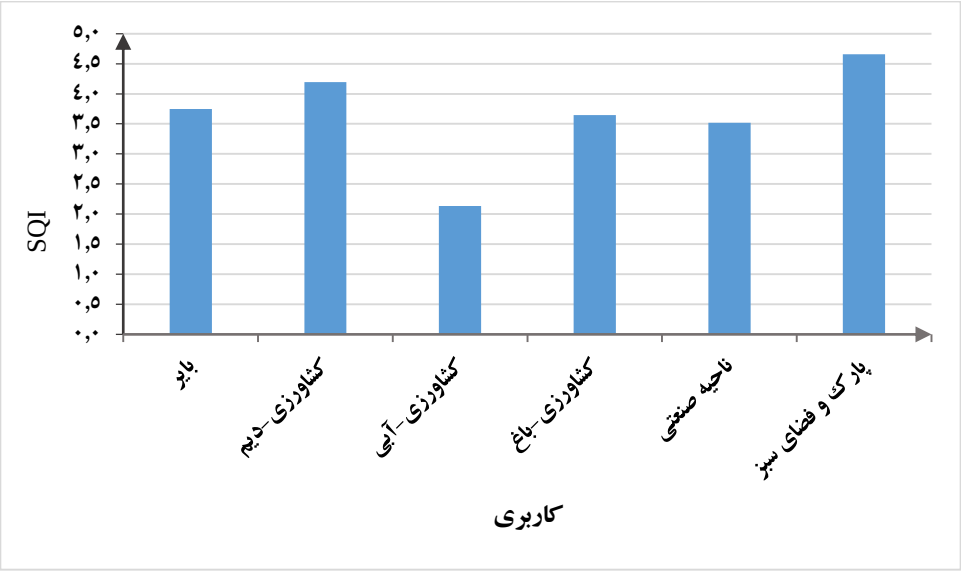
* وجود اختلاف معنی‌دار بین کاربری‌های مختلف

جدول ۵- نتایج تحلیل عاملی و بار عامل‌ها براساس روش واریماکس

ویژگی‌های خاک	مؤلفهٔ ۱	مؤلفهٔ ۲
پتاسیم محلول	۰/۸۹۸	۰/۰۳۵
فسفر محلول	۰/۸۶۹	۰/۱۴۴
سدیم محلول	-۰/۵۷۸	۰/۱۵۳
کلسیم کربنات معادل	-۰/۱۲۹	۰/۷۸۲
قابلیت هدایت الکتریکی	۰/۱۱۳	۰/۷۵۷
مقدار ویژه	۱/۹۲۸	۱/۲۲۶
درصد واریانس	۳۸/۴۸۱	۲۴/۶۰۴
درصد واریانس تجمعی	۳۸/۴۸۱	۶۳/۰۸۳

تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی و تعیین مجموعه حداقل داده: نتایج ضریب KMO و آزمون بارتلت جهت بررسی کفایت و تناسب داده‌ها برای انجام تحلیل عاملی در جدول ۵ گزارش شده است. نتایج آزمون KMO و بارتلت به‌ترتیب با مقادیر ۰/۵۴۱ و ۰/۰۰۱ کفایت و تناسب داده‌ها جهت انجام تحلیل عاملی را نشان می‌دهد.

با توجه به نتایج آزمون تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، ۲ عامل دارای مقادیر ویژهٔ بیش از یک بودند (جدول ۵). بر اساس بار عاملی هریک از خصوصیات خاک در هر عامل دو متغیر درصد کربنات کلسیم و پتاسیم محلول به‌عنوان نتایج نهایی این آزمون و مهم‌ترین پارامترهای مؤثر بر شاخص کیفیت خاک در قالب حداقل داده‌های مورد نیاز تعیین شدند. ملاک انتخاب اولیهٔ هر متغیر در هر عامل، ۱۰٪ بیشترین بار وزنی بود. عامل اول با توجیه واریانس ۳۸/۴۸ درصد از مجموع کل واریانس، دارای بار مثبت قوی با پتاسیم و فسفات بود. بنابراین ویژگی پتاسیم که دارای بیشترین بار عاملی بود به‌عنوان معیار در مجموعه حداقل داده انتخاب شد. عامل دوم



شکل ۲- مقایسهٔ مجموع شاخص کیفیت خاک در کاربری‌های مختلف

با توجیه واریانس ۲۴/۶۰ درصد از مجموع واریانس دارای بار عاملی مثبت و قوی با خصوصیات کلسیم کربنات و هدایت الکتریکی بود ولی کلسیم کربنات با داشتن بار عاملی بیشتر به‌عنوان معیار دوم در مجموعه حداقل داده انتخاب شد. در مطالعهٔ Qui و همکاران (۲۰۱۹) در شمال چین از بین ۳۹ ویژگی فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک خاک، ۳ پارامتر قارچ‌ها، مادهٔ آلی خاک و نسبت غلظت باکتری‌های گرم مثبت به باکتری‌های گرم منفی به‌عنوان مجموعه MDS شناخته شدند. در مطالعهٔNori و همکاران (۲۰۱۹) در منطقهٔ کن سرخ استان ایلام با استفاده از روش PCA، از مجموع ۱۶ ویژگی خاک، ۸ ویژگی خاک به‌عنوان MDS انتخاب گردید. در مطالعهٔ Ghahramanpoor Niyari و همکاران (۲۰۱۹) نیز از بین ۱۶ ویژگی فیزیکی و شیمیایی خاک، ۴ ویژگی نیتروژن کل خاک، جرم مخصوص ظاهری خاک، آب قابل دسترس گیاه و پایداری خاکدانه‌ها با توجیه واریانس حدود ۸۴٪ به‌عنوان MDS انتخاب شدند. در ادامه، خصوصیات انتخابی در مرحلهٔ قبل براساس اینکه از چه تـابعی پیروی می‌کنند بین مقادیر صفر و یک امتیازبندی شدند، به‌طوری که برای دو شاخص کربنات کلسیم و پتاسیم محلول مقادیر تابع هر چه بیشتر بهتر، در نظر گرفته شد و پتاسیم و کربنات کلسیم برای هر یک از نمونه‌ها بر مقدار حداکثر مشاهده شده در بین نمونه‌ها تقسیم شدند. وزن هر عامل از طریق تقسیم درصد توجیه واریانس هر یک از عامل‌ها بر واریانس کل توجیهی به‌دست آمد. وزن پتاسیم ۰/۴ و وزن کلسیم کربنات ۰/۶ محاسبه شد.

در نهایت شاخص کیفیت خاک برای ارزیابی درجات کیفیت خاک در کاربری‌های مورد مطالعه محاسبه شد. مقادیر بالای این شاخص بیانگر کیفیت مناسب خاک است. بیشترین شاخص کیفیت خاک در کاربری پارک و فضای سبز با مقدار عددی ۴/۶۶ و کمترین آن مربوط به کاربری کشاورزی آبی با مقدار عددی ۲/۱۳ است (شکل ۲).

بحث و نتیجه‌گیری

این مطالعه با هدف تعیین حداقل و یا بهینه‌ترین ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک در کاربری‌های مختلف شهرستان ملایر برای تعیین کیفیت خاک هر منطقه با کمترین هزینه و حداقل زمان انجام گرفت. طبق نتایج به‌دست آمده، از بین ۱۱ پارامتر اندازه‌گیری شده در کاربری‌های مورد مطالعه، پتاسیم محلول بیشترین تأثیر را بر کیفیت خاک داشته و بعد از آن درصد کربنات کلسیم دارای اهمیت است، این در حالی است که در تحقیقات برخی از محققان نتایج متفاوتی ارائه شده است که حاکی از تفاوت در معیارهای حائز اهمیت در خاک‌های متفاوت با سیستم‌های کشت مختلف، مدیریت کشت و اقلیم متفاوت، و غیره است (Masto *et al.*, 2008). که این موضوع لزوم انجام مطالعات اصیل و بومی در خاک هر منطقه را نشان می‌دهد. کشاورزی فشرده باعث کاهش قابل توجه پتاسیم خاک از طریق برداشت محصول می‌شود. در محصولات غلات مانند ذرت و گندم، مقدار زیادی پتاسیم در ساقهٔ

گیاهان با شاخص برداشت بسیار کم وجود دارد. علاوه بر این، محتوای پتاسیم گیاهان با ترکیبات آلی ارتباط ندارد بنابراین می‌تواند پس از بازگشت کاه به راحتی آزاد و در دسترس قرار گیرد (Li *et al.*, 2020). حدود ۷۰ تا ۷۵ درصد پتاسیم جذب شده از خاک توسط برگ، کاه و ساقه حفظ می‌شود. باقیماندهٔ آن در بخش‌های برداشت شده مانند غلات، میوه‌ها، مغزها و غیره یافت می‌شود. هر زمان که خاک نتواند به اندازهٔ کافی پتاسیم مورد نیاز برای تولید محصول بالا را تأمین کند، کشاورزان باید ذخایر پتاسیم خاک را با کود تکمیل کنند (Wolde, 2016). همچنین پتاسیم از طریق کاربرد پساب صنایع مختلف برای آبیاری وارد خاک می‌شود و در برخی از پساب‌ها از چند صد تا چند هزار میلی‌گرم بر لیتر وجود دارد (Arienzo *et al.*, 2009). شرایط اقلیمی منطقه و کشت و کارهای فشرده بدون جبران و جایگزین نمودن پتاسیم خارج شده از خاک توسط گیاهان می‌توانند از عوامل مؤثر بر کاهش مقدار پتاسیم در این خاک‌ها می‌باشند. کربنات کلسیم یکی از اجزای اصلی خاک‌های آهکی است که تا ۱۳٪ سطح زمین را پوشش می‌دهد. محتوای کلسیم کربنات در خاک‌های آهکی از چند درصد تا ۹۵ درصد متفاوت است. کربنات کلسیم pH محلول خاک را از ۸/۵–۷/۵ بافر می‌کند و بر خصوصیات خاک مربوط به رشد گیاه از جمله در دسترس بودن مواد مغذی معدنی و عدم تعادل تغذیه‌ای بین عناصر غذایی تأثیر می‌گذارد (Bityutskii *et al.*, 2019). با توجه به نتایج مطالعه، دو پارامتر کلسیم کربنات و پتاسیم به‌عنوان عوامل محدودکننده در کاربری کشاورزی مطرح هستند که علت آن به‌دلیل عملیات کشت و کار و خاکورزی، کشت فشرده و حذف بقایای محصول از زمین می‌باشد. با این حال اثر عوامل دیگر از جمله آب و هوا و اقلیم منطقه، نوع گونهٔ کشت شده، میزان استراحت زمین، تغییر کاربری و سایر ویژگی‌های خاک که در این مطالعه بررسی نشده (مانند ظرفیت تبادل کاتیونی، پایداری خاکدانه‌ها، نفوذپذیری، عمق خاک و ...) نیز حائز اهمیت و قابل بررسی است. انتخاب دو پارامتر کلسیم کربنات و پتاسیم به‌عنوان حداقل داده‌های مؤثر بر کیفیت خاک، با توجه به خاک منطقهٔ ملایر که آهکی است و اقلیم منطقه کاملاً قابل قبول است. دانستن مهم‌ترین خواص شیمیایی و بیولوژیک خاک در دسترسی به مواد مغذی و تأثیر بر عملکرد محصول مهم است. همچنین خصوصیات فیزیکی خاک تحت تأثیر مقدار آب، اقلیم و مواد مغذی موجود برای رشد گیاه قرار دارند (Li *et al.*, 2019). با توجه به مطالعات ذکر شده در طول مقاله، MDS به‌طور گسترده‌ای در ادبیات پذیرفته شده است زیرا از شاخص‌های خاک با دقت انتخاب شده مشتق شده است. روش PCA نیز در سطح جهانی به‌عنوان ابزاری برای کاهش داده‌ها مورد استفاده قرار گرفته است.

شاخص کم کیفیت خاک به‌دست آمده برای کاربری کشاورزی–آبی در مقایسه با کاربری کشاورزی–دیم وکشاورزی–باغ نشان‌دهندهٔ تخریب بیشتر خاک‌ها در کاربری کشاورزی–آبی نسبت به این دو کاربری است. یکی از عوامل مؤثر در کیفیت پایین خاک‌ها در کاربری کشاورزی–آبی استفاده از آب‌های آبیاری با کیفیت پایین و شور، کشت‌های فشرده و استفاده از ارقام پر محصول است. در مرتبهٔ بعد کمترین شاخص کیفیت خاک در کاربری صنعتی مشاهده شد. خاک‌های مناطق صنعتی نیز از جمله مناطقی هستند که نگرانی‌های زیادی در ارتباط با کاهش کیفیت آن‌ها به‌دلیل تخلیهٔ فاضلاب‌های شور، با اسیدیته بالا و یا پایین وجود دارد. به‌طور کلی می‌توان نتیجه‌گیری نمود خاک‌های مناطق غیر صنعتی و مناطقی که هدف در آن‌ها تولید محصول حداکثری نمی‌باشد، مثل پارک‌ها و فضای سبز دارای کیفیت خاک بیشتری هستند. دلیل کیفیت بیشتر خاک در کاربری باغ نسبت به کشاورزی–آبی و صنعتی نیز، وجود گیاهان چند ساله و ریشه‌های عمیق این گیاهان است. شاخص کیفیت خاک پایین برای دو کاربری کشاورزی–آبی و صنعتی لزوم حمایت و حفاظت بیشتر در این کاربری‌ها را نشان می‌دهد. مطالعات بسیاری به ارزیابی شاخص کیفیت خاک در کاربری‌های مختلف پرداخته‌اند. به‌عنوان مثال نتایج بررسی Gorji و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد کاربری-های باغ و مرتع دارای بیشترین شاخص کیفیت خاک و کاربری‌های کشاورزی آبی، دیم و اراضی رها شده دارای کیفیت خاک کمتری هستند. محققان علت کیفیت کمتر خاک در اراضی زراعی آبی و دیم را کشت فشرده، برنگرداندن بقایای پوشش گیاهی به خاک و به‌تبع کاهش کربن آلی خاک و کیفیت خاک دانسته‌اند که همسو با مطالعه حاضر است. در مطالعه Li و همکاران (۲۰۱۹) در خصوص ارزیابی کیفیت خاک در سیستم تحت کشت گندم–ذرت در سه سطح با بهره‌وری بالا، متوسط و پایین، مقادیر شاخص SQI در روش MDS به‌طور معنی‌داری بین ۳ سطح بهره‌برداری تفاوت داشت. در این مطالعه شاخص‌های ازت قلیایی قابل هضم، مواد آلی خاک و نسبت نیتروژن زی‌تودهٔ میکروبی به نیتروژن کل عوامل محدود کنندهٔ تولید محصولات زراعی گزارش شدند. همچنین همبستگی مثبت و معنی‌دار بین SQI و عملکرد گندم نشان داده شد که حاکی از این است که MDS برای سیستم برداشت ذرت –گندم کارآمد است. در مطالعهٔ Nosrati (۲۰۱۳) در خصوص ارزیابی کیفیت خاک در اراضی تحت تأثیر کاربری

اراضی و فرسایش در هشتگرد، از بین ۲۱ شاخص فیزیکوشیمیایی خاک، پارامترهای فعالیت آنزیم بتاگلوکوزیداز، آهن، ظرفیت نگهداری آب خاک، پتاسیم و وزن مخصوص با توجیه واریانس کل ۸۲/۲٪ به‌عنوان نتایج نهایی تحلیل عامل‌ها و مجموعه MDS گزارش شد. نتایج شاخص SQI کمترین کیفیت خاک را در واحد کاری مرتع- فرسایش آبراهه‌ای نشان داد. اگرچه استفاده از TDS برای توسعهٔ SQI می‌تواند نسبت به MDS عملکرد جامع‌تری داشته باشد، با این حال در ادبیات MDS به‌طور گسترده‌ای پذیرفته شده است زیرا چندین شاخص خاک با دقت انتخاب شده می‌توانند اطلاعات کافی را جهت ارزیابی کیفیت خاک فراهم کنند، در حالی که باعث بهبود کارایی کار، صرفه‌جویی در وقت و هزینه می‌شوند (Qiu *et al.*, 2019). نتایج این مطالعه کارایی استفاده از MDS جهت ارزیابی کیفیت خاک را نشان داد. همچنین مقایسهٔ شاخص کیفیت خاک در کاربری‌های مختلف، نقاط قوت و ضعف مدیریت سرزمین و استفادهٔ نامناسب از سرزمین و لزوم پایش و نظارت کیفیت خاک را در کاربری‌های مختلف به‌ویژه کاربری‌های مستعد آسیب و فرسایش به‌وضوح نشان می‌دهد. بنابراین لازم است با توجه به شرایط بومی هر منطقه پارامترهای مؤثر و کلیدی در بحث کیفیت خاک، شناخته شده و پایش شوند تا با پیشگیری از فرسایش بیشتر خاک با استفاده از تدوین اصول صحیح بهره‌برداری از سرزمین، زمینهٔ استفادهٔ پایدار از سرزمین و همچنین بازدهی بیشتر محصول فراهم گردد.

سپاسگزاری

مقالهٔ حاضر حاصل پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد در دانشگاه ملایر می‌باشد. بدین‌وسیله نویسندگان از حمایت‌های مادی و معنوی دانشگاه ملایر قدردانی می‌نمایند.

References

Aït-Sahalia, Y., Xiu, D., 2019. Principal component analysis of high-frequency data. Journal of the American Statistical Association 114(525), 287-303.

Amirian Chakan, A., Taghizadeh-Mehrjardi, R., Sarmadian, F., and Mohammadi, J., 2018. Study of lateral and vertical distribution of soil calcium carbonate using geostatistics and spline functions. Applied Soil Research 5(2), 1-15. (In Persian)

Amirinejad, A.A., Shahbazzadeh, R., 2018. Effects of raw municipal wastewater on soil physical quality and biological yield of Wheat (Case study: Harsin). Iranian Journal of Soil and Water Research 49(1), 83-90. (In Persian)

Arienzo, M., Christen, E., Quayle, W., Kumar, A., 2009. A review of the fate of potassium in the soil–plant system after land application of wastewaters. Journal of Hazardous Materials 164(2-3), 415-422.

Bityutskii, N.P., Yakkonen, K.L., Petrova, A. I., Lukina, K.A., Shavarda, A.L., 2019. Calcium Carbonate Reduces the Effectiveness of Soil-Added Monosilicic Acid in Cucumber Plants. Journal of Soil Science and Plant Nutrition 19(3), 660-670.

Boostani, H.R., Najafi, G.M., Mahmoodi, A., 2019. Effect of Land Use Change on Potassium Chemical Fractions and Availability of Some Soil Nutrients in Darab Region, Fars Province. Applied Soil Research 7(3), 180-191. (In Persian)

Bouyoucos, G.J., 1962. Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils 1. Agronomy journal 54(5), 464-465.

De Laurentiis, V., Secchi, M., Bos, U., Horn, R., Laurent, A., Sala, S., 2019. Soil quality index: Exploring options for a comprehensive assessment of land use impacts in LCA. Journal of Cleaner Production 215, 63-74.

Erichson, N.B., Zheng, P., Manohar, K., Brunton, S.L., Kutz, J.N., Aravkin, A.Y., 2020. Sparse principal component analysis via variable projection. SIAM Journal on Applied Mathematics 80(2), 977-1002.

Ghahramanpoor Niyari, R., Gorji, M., Pourbabaee, A., and Farahbakhsh, M., 2019. Investigating the Effects of Conservation and Reduced Tillage Systems on Soil Quality Indices. Iranian Journal of Soil and Water Research 49(6), 1355-1364. (In Persian)

Gholami, L., Davari, M., Nabiollahi, K., Jafari, H., 2016. Effect of land use changes on some soil physical and chemical properties (case study: Baneh). Journal of Soil and Water Resources Conservation 5(3), 13-27. (In Persian)

Gholizadeh, A., Karimi, A., Khorassani, R., Khormali, F., 2019. Different Forms of Soil Potassium and its Correlation with Qualitative and Quantitative Characteristics of Tobacco in Soils of Tobacco Cultivated Areas in Northern Iran. Applied Soil Research 7(1), 187-202. (In Persian)

Golchin, A., 2016. Soil organic matter. Zanjan: Academic Center for Education, Culture, and Research (ACECR). (In Persian)

Gorji, M., Kakeh, J., AliMohammadi, A., 2018. Quantitative soil quality assessment in different land uses at some Parts of south eastern of Qazvin. Iranian Journal of Soil and Water Research 48(5), 941-950. (In Persian)

Karami, Z., Sharifi, Z., 2020. Assessment Effect of Land Use Change from Rangeland to Rainfed Wheat on Soil Physical and Chemical Properties Using Soil Quality Index. Applied Soil Research 8(2), 201-213. (In Persian)

Kiani-Harchegani, M., Sadeghi, S.H., 2019. Soil Quality Analysis of the Shazand Watershed Ecosystem. Iranian Journal of Soil and Water Research 50(8), 1843-1854. (In Persian)

Kim, S. W., Jeong, S.-W., and An, Y.-J., 2020. Application of a soil quality assessment system using ecotoxicological indicators to evaluate contaminated and remediated soils. Environmental Geochemistry and Health 42(6), 1681-1690.

Li, P., Shi, K., Wang, Y., Kong, D., Liu, T., Jiao, J., Liu, M., Li, H., Hu, F., 2019. Soil quality assessment of wheat-maize cropping system with different productivities in China: Establishing a minimum data set. Soil and Tillage Research 190, 31-40.

Li, X., Li, Y., Wu, T., Qu, C., Ning, P., Shi, J., Tian, X., 2020 .Potassium fertilization combined with crop straw incorporation alters soil potassium fractions and availability in northwest China: An incubation study. PloS One 15(7), e0236634.

Luo, Z., Feng, W., Luo, Y., Baldock, J., Wang, E., 2017. Soil organic carbon dynamics jointly controlled by climate, carbon inputs, soil properties and soil carbon fractions. Global Change Biology 23(10), 4430-4439.

Masto, R., Chhonkar, P., Purakayastha, T., Patra, A., Singh, D., 2008. Soil quality indices for evaluation of long-term land use and soil management practices in semi-arid sub-tropical India. Land degradation & development 19(5), 516-529.

Mehmandoost, F., Owliaie, H., Adhami, E., Naghiha, R., 2018. Effect of land use change on some physicochemical and biological properties of the soils of Servak plain, Yasouj region. Journal of Water and Soil 32(3), 587-599. (In Persian)

Mei, N., Yang, B., Tian, P., Jiang, Y., Sui, P., Sun, D., Zhang, Z., Qi, H., 2019. Using a modified soil quality index to evaluate densely tilled soils with different yields in Northeast China. Environmental Science and Pollution Research 26(14), 13867-13877.

Meng, Q., Fu, B., Tang, X., Ren, H., 2008. Effects of land use on phosphorus loss in the hilly area of the Loess Plateau, China. Environmental Monitoring and Assessment 139(1-3), 195-204.

Miller, G., Rees, R., Griffiths, B., Ball, B., Cloy, J., 2019. The sensitivity of soil organic carbon pools to land management varies depending on former tillage practices. Soil and Tillage Research 194, 104299.

Mishra, G., Marzaioli, R., Giri, K., Borah, R., Dutta, A., Jayaraj, R., 2017. Soil quality assessment under shifting cultivation and forests in Northeastern Himalaya of India. Archives of Agronomy and Soil Science 63(10), 1355-1368.

Mohaghegh, P., Naderi, M., Mohammadi, J., 2016. Determination of Minimum Data Set for Assessment of Soil Quality:A Case Study in Choghakhur Lake Basin., . Journal of Water and Soil 30(4), 1232-1243. (In Persian)

Mulvaney, R., 1996. Nitrogen–inorganic forms. In 'Methods of soil analysis part 3'.(Ed. DL Sparks) pp. 1123–1184. Soil Science Society of America Inc.: Madison, WI, 1123-1184.

Murphy, J., Riley, J.P., 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. Analytica Chimica Acta 27, 31-36.

Ngo-Mbogba, M., Yemefack, M., and Nyeck, B., 2015. Assessing soil quality under different land cover types within shifting agriculture in South Cameroon. Soil and Tillage Research 150, 124-131.

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 50(7), 1701-1719. (In Persian)

Nosrati, K., 2013. Soil quality assessment under land use and erosion by water in Hashtgerd region. Shahid Beheshti University, pp. 73. (In Persian)

Nosrati, K., Majdi, M., 2018. Soil Quality Assessment in Western Part of Tehran using Minimum Data set Method. Journal of Water and Soil Science 21(4), 177-188. (In Persian)

Olsen, S., and Sommers, L., 1982. Phosphorus Pp. Methods of Soil Analysis, Part 2.

Page, A., Miller, R., Keeney, D., 1982. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbial properties. American Society of Agronomy, Madison, WI. pp. 1159.

Parvaneh, B., 2010. Estimated Distances The Frigid Days In The Malayer By Using Chebyshev Theorem. Geography 3(11), 129-145. (In Persian)

Qiu, X., Peng, D., Wang, H., Wang, Z., Cheng, S., 2019. Minimum data set for evaluation of stand density effects on soil quality in Larix principis-rupprechtii plantations in North China. Ecological Indicators 103, 236-247.

Rostaminia, M., Nouri, N., Keshavarzi, A., 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 50(7), 1701-1719. (In Persian)

Rowell, D., 1994. The preparation of saturation extracts and the analysis of soil salinity and sodicity. soil science methods and applications. Rowell, editor. UK: Longman Group.

Shams, M., and Haji Malayeri, P., 2010. Physical Development And Its Effect On The Change Of Land Utilization In Malayer (1365-1385). Environmental Based Territorial Planning (Amayesh) 2(7), 75-92. (In Persian)

Solaimani, K., Azmoudeh, A., 2011. Investigation of Land Use Change Effects on some Physical and Chemical Properties, as well as the Soil Erodibility. Physical Geography Research Quarterly 42(4), 111-123. (In Persian)

Tesfahunegn, G.B., 2014. Soil quality assessment strategies for evaluating soil degradation in Northern Ethiopia. Applied and Environmental Soil Science 2014, 646502.

Thomas, G., 1996. Soil pH and soil acidity. Methods of soil analysis: Part 3 chemical methods 5: 475-490.

Wolde, Z., 2016. A review on evaluation of soil potassium status and crop response to potassium fertilization. Journal of Environment and Earth Science 6(8), 38-44.