

Soil Quality Analysis of the Shazand Watershed Ecosystem

MAHBOOBEH KIANI-HARCHEGANI^{*}, SEYED HAMIDREZA SADEGHI¹

1. Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran

(Received: Dec. 30, 2018- Revised: Apr. 17, 2019- Accepted: Apr. 22, 2019)

ABSTRACT

Increasing knowledge and soil quality evaluation in different ecosystems is important to improve sustainable land use management and to decrease land degradation. Therefore, the present study was planned to analyse the effects of different land use (irrigated farms, rain fed farms, orchards and rangelands), texture and topography on soil quality of Shazand Watershed with an area of 1740 km². For this purpose, 140 soil samples were taken from top layer of the soil (0 to 30 cm) from homogeneous units representing an area of more than one square kilometers. Hence, various soil properties such as electrical conductivity (EC), pH, bulk density (BD), gravel, sand, silt, clay, calcium carbonate (CaCO₃), nitrogen (N), soil organic carbon (SOC) were analyzed. Consequently, the effect of land uses, textures, slopes, and elevation on the measured soil properties were examined using multivariate analysis of variance (MANOVA). The result of MANOVA indicated that the different land uses had no significant effect ($P > 0.05$) on different soil properties. Also, the minimum effective properties on soil quality were determined by the minimum data set (MDS) with the help of principal components analysis (PCA). Finally, soil quality index values were calculated using discriminant analysis (DA). The results of PCA and DS showed that the EC, OM, CaCO₃ and pH were influenced by soil texture, slope and elevation, respectively. Then, the comparison of mean soil quality values using the least significant differences (LSD) indicated poor soil quality on slopes less than 15% and elevations above 2000 m. The results of this research could be used for choosing appropriate management practices to control land degradation and to achieve sustainable development goals in different ecosystems of Shazand Watershed.

Keywords: Calcareous Soils, Discriminant analysis test, Minimum data set, Topography

تحلیل کیفیت خاک بوم‌سازگان حوزه آبخیز شازند

محبوبه کیانی هرچگانی^{۱*} و سید حمیدرضا صادقی^۱

۱. گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۹ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۱/۲۸ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۲/۲)

چکیده

افزایش دانش و ارزیابی کیفیت خاک در بوم‌سازگان‌های مختلف از نظر مدیریت پایدار استفاده از زمین و کاهش تخریب در آن‌ها حائز اهمیت است. لذا پژوهش حاضر با هدف تحلیل کیفیت خاک بوم‌سازگان تحت تأثیر کاربری‌های مختلف اراضی (کشاورزی آبی، دیم، باغ و مرتع)، بافت و توپوگرافی در حوزه آبخیز شازند با مساحت ۱۷۴۰ کیلومترمربع انجام شد. در این راستا ۱۴۰ نمونه از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک از واحدهای همگن با مساحت بیش از یک کیلومترمربع برداشت شد. سپس هدایت الکتریکی، pH، جرم مخصوص ظاهری، سنگریزه، شن، سیلت، رس، کربنات کلسیم معادل، نیتروژن و ماده آلی خاک اندازه‌گیری و تأثیرپذیری آن‌ها از کاربری‌های اراضی، بافت، شیب و ارتفاع با استفاده از تحلیل واریانس چند متغیره (MANOVA) مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. نتایج حاصل از MANOVA نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار ($P > 0.05$) ویژگی‌های مختلف خاک تحت تأثیر کاربری‌های مختلف اراضی بود. در ادامه با استفاده از آزمون تحلیل عاملی (PCA)، حداقل ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک با روش حداقل تعداد داده (MDS) تعیین شد. در نهایت با استفاده از آزمون تحلیل تشخیص (DA)، مقادیر شاخص کیفیت خاک محاسبه شد. نتایج حاصل از تحلیل عاملی و تحلیل تشخیص نشان‌دهنده تأثیرپذیری بیش‌تر ویژگی‌های هدایت الکتریکی و ماده آلی از شیب و کربنات کلسیم معادل و pH از عامل ارتفاع بود. نتایج مقایسه میانگین مقادیر شاخص کیفیت خاک با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) به‌طور کلی بیان‌گر کیفیت ضعیف خاک در شیب‌های کم‌تر از ۱۵ درصد و ارتفاع‌های بالای ۲۰۰۰ متر بود. نتایج این پژوهش می‌تواند در انتخاب شیوه مناسب مدیریتی و مهار تخریب زمین و دست‌یابی به اهداف توسعه پایدار در بوم‌سازگان مختلف حوزه آبخیز شازند مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: آزمون تحلیل تشخیص، توپوگرافی، حداقل تعداد داده، خاک‌های آهکی

مقدمه*

تخریب زمین باعث ایجاد مشکلات جدی اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی در سراسر جهان به‌ویژه در مناطق آسیب‌پذیر با آب و هوای خشک یا نیمه‌خشک می‌شود. تخریب زمین ناشی از فعالیت‌های انسانی منجر به کاهش یا از دست دادن کیفیت خاک و تخریب آن و در نتیجه کاهش تولید و بهره‌وری زیستی شده و به‌طور مستقیم بر معیشت و امنیت غذایی تأثیر می‌گذارد (Sommer et al., 2011; Ochoa et al., 2016). در طول ۵۰ سال گذشته انسان‌ها بوم‌سازگان را با سرعت بیش‌تری نسبت به گذشته تغییر داده تا منابع مورد نیاز خود را تأمین کنند. لذا فعالیت‌ها و دخالت‌های انسانی به‌طور فزاینده‌ای باعث تخریب زمین، محیط‌زیست و استهلاک منابع شده است (Dabelko et al., 2002). تخریب خاک نتیجه تعامل بین عوامل و ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی، زیستی خاک و آب و هوا می‌باشد. در دهه‌های

اخیر در نقاط مختلف جهان پژوهش‌های مختلفی (Ravi et al., 2010; Grainger, 2015; Zarei and Sheklabadi, 2015; Hengl et al., 2017; Sadeghi et al., 2017; Gorji et al., 2018) در زمینه تخریب زمین و عوامل مؤثر بر آن انجام شده است. در برنامه ۲۰۳۰ سازمان ملل متحد و بر اساس اهداف ۲، ۳، ۶، ۱۱، ۱۳، ۱۴ و ۱۵ توسعه پایدار و مخصوصاً در یکی از شاخص‌های تخریب زمین بی‌اثر یا خنثی^۲، ارزیابی مستقیم کیفیت خاک و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک از قبیل کربن آلی خاک، نیتروژن، فسفر، جرم مخصوص ظاهری، بافت خاک، هدایت الکتریکی، pH، عمق خاک و سدیم پیشنهاد شده است (Keesstra et al., 2016; Tóth et al., 2018).

کیفیت خاک یک مفهوم نسبی بوده که تحت تأثیر شرایط مختلف مدیریتی و تغییر در ویژگی‌های مختلف خاک تغییر می‌کند و می‌تواند به‌عنوان ابزاری برای ارزیابی تخریب زمین

*نویسنده مسئول: Mahboobeh.Kiyani20@gmail.com

بوم سازگان مختلف حوزه آبخیز سازند تحت تأثیر کاربری های مختلف اراضی، بافت و عوامل توپوگرافی شامل طبقات مختلف شیب و ارتفاع با استفاده از شاخص کیفیت خاک حداقل ویژگی های مؤثر بر کیفیت خاک مورد بررسی قرار گرفت. همچنین از بین ویژگی های حاکی مطرح شده در برنامه ۲۰۳۰ توسعه پایدار سازمان ملل متحد، ویژگی های مختلفی از خاک بر اساس سهولت اندازه گیری و صرف هزینه و زمان مناسب، انتخاب و مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. این موضوع سبب خواهد شد با توجه به تأثیرپذیری هرکدام از ویژگی های خاک از عوامل مطرح شده، امکان برنامه ریزی و تصمیم گیری بهتر برای مدیریت و مهار تخریب زمین در راستای رسیدن به اهداف توسعه پایدار فراهم شود.

مواد و روش ها

- منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز سازند با مساحتی بالغ بر ۱۷۴۰ کیلومتر مربع و در محدوده مختصات جغرافیایی $15^{\circ} 4' 49''$ تا $12^{\circ} 12' 52''$ طول شرقی و $42^{\circ} 44' 33''$ تا $13^{\circ} 12' 34''$ عرض شمالی، یکی از زیر حوزه های دریاچه نمک واقع در استان مرکزی است (شکل ۱). مقدار متوسط بارندگی و دمای سالانه حوزه آبخیز سازند به ترتیب ۴۲۰ میلی متر و ۱۲ درجه سانتی گراد بر اساس دوره مشترک آماری ۱۳۵۳ تا ۱۳۹۳ در ایستگاه های باران سنجی و تبخیرسنجی محدوده حوزه آبخیز به دست آمد (Sadeghi *et al.*, 2017; Kiani-Harchegani *et al.*, 2019 a, b).

- نمونه برداری و اندازه گیری ویژگی های خاک

نمونه برداری تصادفی خاک بر اساس طبقه بندی منطقه مورد مطالعه به واحدهای همگن^۵ انجام شد. برای تهیه واحدهای همگن از نقشه طبقات شیب، کاربری اراضی و نقشه بافت خاک اولیه (اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان مرکزی) و روش روی هم گذاری در محیط Arc GIS 10.3 استفاده شد. در نهایت ۲۷ واحد همگن با مساحت پلی گون های بالای یک کیلومتر مربع به دلیل مدیریت زمان نمونه برداری و هزینه های آن، با کدهای مشخص از روی هم گذاری نقشه های مذکور به دست آمد. در مجموع ۱۸۱ موقعیت نمونه برداری با توجه به پراکنش واحدهای همگن در زیر حوزه های آبخیز سازند مشخص شد. به دلیل قرارگیری ۴۱ نقطه از ۱۸۱ موقعیت شناسایی شده در مناطق کوهستانی با شیب بسیار تند و عدم امکان دسترسی از برنامه

به کار برده شود. پژوهش های مختلفی در داخل و خارج از ایران برای بررسی و ارزیابی کیفیت خاک با استفاده از ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک و تحت تأثیر تغییر بوم سازگان مختلف انجام پذیرفته است (Herrick *et al.*, 2002; Aparicio and Costa, 2007; Qi *et al.*, 2009; Emami *et al.*, 2010; Nosrati and Majdi, 2015; Rahimi *et al.*, 2015; Rasouli-Sadaghiani *et al.*, 2016). برای ارزیابی دقیق تر و جامع تر کیفیت خاک و همچنین بررسی ویژگی های مختلف خاک در کنار یکدیگر مفهوم شاخص کیفیت خاک^۱ مطرح و مدل های مختلفی مثل شاخص کیفیت خاک تلفیقی^۲ (ISQI)، شاخص کیفیت خاک نمورو^۳ (NSQI) و شاخص کیفیت خاک وزنی تجمعی^۴ (WASQI) ارائه شده است که کاربرد گسترده ای در مطالعات مختلف داشته اند (Shahab *et al.*, 2013; Gong *et al.*, 2015; Zarei and Sheklabadi, 2015; Cheng *et al.*, 2016; Biswas *et al.*, 2017; Lin *et al.*, 2017; Raiesi *et al.*, 2017; Sione *et al.*, 2017; Gorji *et al.*, 2018; Nabiollahi *et al.*, 2018). در همین راستا پژوهشگران دیگری همچون Shukla *et al.* (2006); Zarei and Mohaghegh *et al.* (2016); Sheklabadi (2015); Mohaghegh *et al.* (2016) آزمون تحلیل تشخیص، ترکیب خطی ویژگی های تأثیرگذارتر در تعیین کیفیت خاک را تعیین و به عنوان شاخص های کیفیت خاک منطقه مطالعاتی مطرح نمودند.

پژوهشگران مجموعه های مختلفی از ویژگی های مؤثر بر کیفیت خاک را با اهداف متفاوتی برای تعیین شاخص کیفیت خاک مدنظر قرار داده اند (Lima *et al.*, 2013; Mukhopadhyay *et al.*, 2014; Rahmanipour *et al.*, 2014; Sanchez-Navarro *et al.*, 2015; Das *et al.*, 2016; Cheng *et al.*, 2016; Biswas *et al.*, 2017; Gorji *et al.*, 2018). در این راستا دو روش شامل لحاظ کردن کل داده ها^۵ (TDS) و روش حداقل ویژگی های مؤثر بر کیفیت خاک^۶ (MDS) مطرح شده است که روش دوم به دلیل کاهش تعداد ویژگی ها، موجب کاهش هزینه تعیین شاخص کیفیت خاک شده و کاربرد بیشتری در پژوهش ها دارد (Govaerts *et al.*, 2006; Shahab *et al.*, 2013; Rahmanipour *et al.*, 2014; Yao *et al.*, 2014; Cheng *et al.*, 2016; Nabiollahi *et al.*, 2017). لیکن پژوهش مستندی مبتنی بر ارزیابی کیفیت خاک در حوزه های آبخیز با توجه به برنامه ۲۰۳۰ سازمان ملل متحد و مدنظر قرار دادن ویژگی های مختلف مطرح شده در آن توسط Tóth *et al.* (2018) برای بررسی تخریب زمین و تأثیر عوامل مختلف مثل کاربری اراضی، بافت و توپوگرافی مشاهده نشده است. لذا در پژوهش حاضر کیفیت خاک

5. Total data set

6. Minimum data set

7 Land Unit Tracts (LUT)

1. Soil quality index

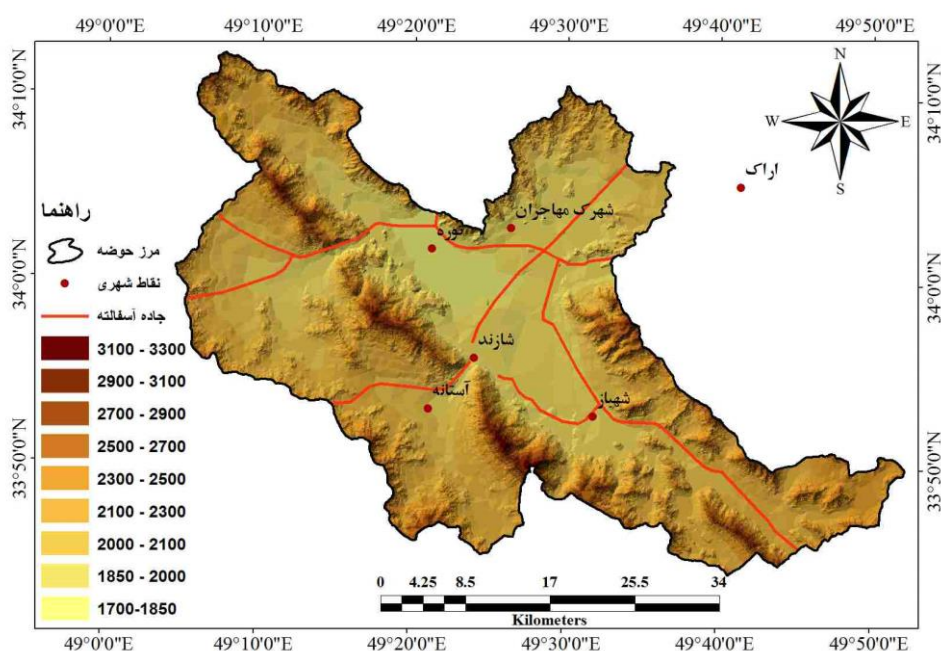
2. Integrated soil quality index

3. Nemoro soil quality index

4. Weighted additive soil quality index

خاک در بوم‌سازگان‌های مختلف حوزه آبخیز شازند، تحلیل‌های آماری ویژگی‌های مختلف خاک تحت تأثیر عوامل کاربری اراضی در چهار کاربری کشاورزی آبی، دیم، باغ و مرتع به ترتیب طبقه یک تا چهار با تعداد نمونه به ترتیب ۳۷، ۲۶، ۱۵ و ۶۲ مدنظر قرار گرفت. هم‌چنین عامل شیب در چهار طبقه به ترتیب صفر تا پنج، پنج تا ۱۵، ۱۵ تا ۲۰ و بیش‌تر از ۲۰ درصد با تعداد نمونه به ترتیب ۵۰، ۶۲، ۱۳ و ۱۵ و عامل ارتفاع در چهار طبقه یک تا چهار به ترتیب ۱۸۰۰ تا ۱۹۰۰، ۱۹۰۰ تا ۲۰۰۰، ۲۰۰۰ تا ۲۲۰۰ و بیش‌تر از ۲۲۰۰ متر با تعداد نمونه به ترتیب ۱۶، ۴۰، ۳۵ و ۴۹ بررسی شد. عامل بافت خاک نیز در شش کلاس یک تا شش به ترتیب شامل رسی، رس لومی، لومی، شن رس لومی، شن لومی و سیلت لومی در نظر گرفته شد.

نمونه‌برداری حذف شدند. در نهایت در اواخر آبان ۱۳۹۶، تعداد ۱۴۰ نمونه از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری سطح خاک به صورت تصادفی در واحدهای همگن از پیش تعیین‌شده در کاربری‌های مختلف اراضی حوزه آبخیز شازند برداشت شد. نمونه‌های خاک برداشت‌شده، پس از هوا خشک شدن از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند. سپس در این نمونه‌ها درصد شن، سیلت و رس با روش هیدرومتری (Gee and Bauder, 1986)، کربن آلی خاک با روش والکلی و بلاک (Nelson and Sommers, 1996)، pH و هدایت الکتریکی در عصاره خاک به آب با نسبت یک به پنج (Rhoades, 1996)، جرم مخصوص ظاهری به روش کلوخه (Blake and Hartge, 1986)، نیتروژن با استفاده از روش کجلدال (Bremner, 1996) و کربنات کلسیم معادل به روش کلسیمتری (Richard and Donald, 1996) به دست آمد. برای تعیین کیفیت



شکل ۱. موقعیت حوزه آبخیز شازند در استان مرکزی و ایران

از تحلیل واریانس چند متغیره ویژگی‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی خاک تحت تأثیر اثر یک‌جانبه و متقابل عوامل کاربری‌های مختلف اراضی، کلاس‌های بافتی خاک و طبقات شیب و ارتفاع در بوم‌سازگان‌های مختلف حوزه آبخیز شازند در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول (۱) نشان‌دهنده آهکی بودن خاک کاربری‌های مختلف اراضی با مقدار نیتروژن کل و کربن آلی پایین می‌باشد. مقادیر بسیار پایین میانگین نیتروژن و ماده آلی خاک به ترتیب معادل ۰/۱۲ و ۱/۰۵ درصد، به‌طور کلی نشان‌دهنده وضعیت تخریبی بوم‌سازگان‌های حوزه آبخیز شازند از نظر غنای ماده آلی و نیتروژن می‌باشد (Sadeghi et al., 2017). از دلایل این موضوع می‌توان چرای بی‌رویه و بیش از حد بوم‌سازگان مرتع و دخالت‌های انسانی و انجام ندادن اقدام‌های بهبوددهنده در بوم‌سازگان‌های دیگر مخصوصاً در اراضی کشاورزی اشاره کرد؛ که به‌منظور جبران آن می‌توان از کودهای حاوی ماده آلی و نیتروژن در این زمین‌ها استفاده کرد (Nosrati and Majdi, 2015). هم‌چنین حداقل و حداکثر جرم مخصوص ظاهری نمونه‌های خاک برداشت‌شده از منطقه مطالعاتی به ترتیب معادل ۱/۰۶ و ۲/۰۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب مشاهده شد (جدول ۱) که دلیل بیش برآوردی حداکثر جرم مخصوص ظاهری در برخی نمونه‌ها را می‌توان شن لومی بودن بافت خاک منطقه یا کلوخه‌های فاقد منافذ و کوبیده شده در ارتفاعات کاربری کشاورزی دیم در نتیجه کاربرد ادوات سنگین کشاورزی بیان نمود.

نتایج تحلیل واریانس چند متغیره در جدول (۲) نیز بیان‌گر عدم تأثیرپذیری معنی‌دار ($P > 0/05$) ویژگی‌های مختلف خاک از کاربری‌های مختلف اراضی و اثر متقابل بافت × ارتفاع، بافت × شیب و شیب × ارتفاع بود. عدم تأثیرپذیری بسیاری از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک از کاربری اراضی را می‌توان به تأثیرپذیری آن‌ها از عوامل زمین‌شناسی و اقلیمی نسبت داد که به‌وسیله برخی دیگر از پژوهش‌گران همچون Abu-Hashim et al. (2016) و Ayoubi et al. (2018) نیز گزارش شده است؛ نتایج حاصل از بررسی اثر یک‌جانبه عوامل بافت، شیب و ارتفاع بر ویژگی‌های مختلف خاک در جدول (۲) نشان‌دهنده تأثیرپذیری بیش‌تر ویژگی‌های مختلف خاکی حوزه آبخیز شازند، ابتدا از کلاس‌های مختلف بافتی (با آماره η^2 و آزمون توان مشاهده‌ای به ترتیب برابر با ۰/۸۸ و ۱/۰۰)، سپس ارتفاع (با آماره η^2 و آزمون توان مشاهده‌ای به ترتیب برابر با ۰/۴۶ و ۰/۹۸) و در نهایت از

تحلیل‌های آماری خصوصیات مختلف خاک

پس از اندازه‌گیری ویژگی‌های نمونه‌های خاک برداشت‌شده از سطح حوزه آبخیز شازند، بانک اطلاعاتی آن‌ها در نرم‌افزار Excel 2013 تهیه شد. سپس آماره‌های توصیفی شامل حداقل، حداکثر، میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییرات برای کل داده‌ها محاسبه شد. هم‌چنین در محیط نرم‌افزار SPSS 25 از آزمون‌های Levene و Kolmogorov-Smirnov به ترتیب به‌منظور بررسی همگنی واریانس و نرمال بودن داده‌ها استفاده شد. پس از دست‌یابی به شرایط استاندارد، از آزمون‌های تحلیل واریانس چند متغیره^۱ و تعیین آماره‌های F ، P ، مربع اتای جزئی (η^2) و آزمون توان مشاهده‌ای^۲ برای تحلیل داده‌ها استفاده شد (Bayazidi et al., 2009).

اندازه‌گیری شاخص کیفیت خاک

برای تعیین کیفیت خاک حوزه آبخیز شازند ابتدا حداقل ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک (MDS) به‌عنوان نماینده‌ای از کل ویژگی‌های اندازه‌گیری شده با استفاده از آزمون تحلیل عاملی^۳ تعیین شدند. در همین راستا برای انجام آزمون تحلیل عاملی و به‌منظور هم‌وزن کردن متغیرها به‌نحوی که دارای میانگین صفر و واریانس یک باشند؛ با استفاده از اختلاف داده‌های مشاهده‌ای با میانگین کل داده‌ها و سپس تقسیم آن‌ها بر انحراف معیار کل داده‌ها، داده‌ها استاندارد شدند (Zarei and Sheklabadi, 2015). سپس با توجه به ضریب کفایت نمونه‌گیری^۴ (KMO) بالای ۰/۵ درصد، آزمون تحلیل عاملی انجام و مؤلفه‌های با مقادیر ویژه بزرگ‌تر از یک انتخاب شدند (Mohaghegh et al., 2016). در نهایت در هر مؤلفه، ویژگی‌های اصلی خاک بر اساس وزن در محدوده ۱۰ درصد بیش‌ترین وزن موجود در آن مؤلفه انتخاب و این ویژگی‌های انتخاب‌شده به‌عنوان حداقل ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک استفاده شدند (Raiesi et al., 2017; Gotji et al., 2018). در ادامه ضرایب ویژگی‌های مهم تحت تأثیر بافت خاک، شیب و ارتفاع با استفاده از آزمون تحلیل تشخیص^۵ و آماره‌های سطح معنی‌داری، ضریب تبیین و همبستگی کانونی^۶ تعیین و شاخص کیفیت خاک محاسبه شد (Nosrat and Majdi, 2015; Rasouli-Sadaghiani et al., 2016).

نتایج و بحث

تحلیل ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

نتایج حاصل از آماره‌های توصیفی در جدول (۱) و نتایج حاصل

5. Kaiser-Meyer-Olkin
6. Discriminant analysis (DA)
7. Canonical correlation

1. Multivariate analysis of variance (MANOVA)
2. Partial eta squared
3. Observed power test
4. Principal component analysis (PCA)

شیب (با آماره η_p^2 و آزمون توان مشاهده‌ای به ترتیب برابر با ۰/۳۸ و ۰/۹۲) می‌باشد. هم‌چنین اثر متقابل کاربری ارضی \times بافت خاک و آماره η_p^2 و آزمون توان مشاهده‌ای به ترتیب معادل ۰/۶۲ و ۱/۰۰، بیش‌ترین تأثیر را بر ویژگی‌های مختلف خاک داشته است.

جدول ۱. آماره‌های توصیفی ویژگی‌های مختلف خاک برداشت‌شده از بوم‌سازگان‌های مختلف حوزه آبخیز شازند

آماره توصیفی	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	pH	جرم مخصوص		شن (درصد)	سیلت (درصد)	رس (درصد)	کربنات کلسیم نیتروژن معادل (درصد)	ماده آلی (درصد)
			ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	سنگریزه (گرم بر سانتی‌متر مکعب)					
حداقل	۰/۱۱	۷/۳۳	۱/۰۶	۱/۷۹	۱۹/۴۰	۸/۴۸	۱/۸۰	۵/۷۵	۰/۱۰
حداکثر	۰/۵۳	۸/۲۳	۲/۰۷	۵۵/۵۶	۸۸/۲۰	۵۸/۴۰	۴۷/۸۰	۵۵/۰۰	۲/۲۴
میانگین	۰/۲۱	۷/۸۵	۱/۴۳	۲۲/۶۸	۳۸/۵۲	۳۲/۶۵	۲۸/۸۳	۲۸/۲۰	۱/۰۵
انحراف معیار	۰/۰۶	۰/۱۴	۰/۳۱	۱۳/۶۴	۱۳/۴۰	۱۰/۵۰	۹/۱۰	۱۱/۱۰	۰/۴۸
ضریب تغییرات (درصد)	۳۰/۶۰	۱/۷۸	۲۱/۷۵	۶۰/۱۴	۳۴/۷۸	۳۲/۱۷	۳۱/۵۷	۳۹/۳۷	۴۵/۸۹

جدول ۲. نتایج اثر یک‌جانبه و متقابل عوامل کاربری اراضی، بافت، شیب و ارتفاع بر ویژگی‌های مختلف خاک با استفاده از تحلیل واریانس چند متغیره در حوزه آبخیز شازند

آماره F	سطح معنی‌داری	آماره η_p^2	آزمون توان مشاهده‌ای
۱/۳۰	۰/۲۶	۰/۲۱	۰/۵۵
۳۷/۷۲	۰/۰۰	۰/۸۸	۱/۰۰
۲/۹۲	۰/۰۰	۰/۳۸	۰/۹۲
۳/۹۹	۰/۰۰	۰/۴۶	۰/۹۸
۸/۷۷	۰/۰۰	۰/۶۲	۱/۰۰
۵/۴۷	۰/۰۰	۰/۵۳	۰/۹۹
۶/۰۱	۰/۰۰	۰/۵۳	۱/۰۰

جدول (۳)، پنج مؤلفه اصلی با مقدار ویژه بزرگ‌تر از یک برای ویژگی‌های مختلف خاک در حوزه آبخیز شازند تشخیص داده شد. به‌نحوی که بر اساس درصد تجمعی سهم ویژگی‌ها، ۷۵/۶۵ درصد تغییرات توسط پنج مؤلفه مذکور قابل تشخیص است. مؤلفه‌های اول و پنجم به ترتیب با درصد سهم ۱۹/۱۶ و ۱۱/۱۴ بیش‌ترین و کم‌ترین درصد تغییرات را بین مؤلفه‌ها دارا می‌باشند. در مؤلفه یک تا پنج به ترتیب ویژگی‌های شن، سیلت، هدایت الکتریکی، ماده آلی، pH، کربنات کلسیم معادل، جرم مخصوص ظاهری و نیتروژن به دلیل داشتن بزرگ‌ترین مقدار عاملی، به‌عنوان حداقل ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک (MDS) برای مراحل بعد تحلیل‌ها انتخاب شدند (Sadaghiani et al., 2016; Rasouli- Yao et al., 2014).

در مرحله بعد برای تعیین ضریب تشخیص پنج مؤلفه اصلی و حداقل ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک از آزمون تحلیل تشخیص و روش گام به گام استفاده شد (Mohaghegh et al., 2016) که نتایج حاصل از آن‌ها در جدول (۴) ارائه شده است و منجر به اشتقاق رابطه‌های (۱) تا (۶) شد. همان‌طور که نتایج

با توجه به این که ویژگی‌های مختلف خاک در کاربری‌های مختلف اراضی حوزه آبخیز شازند اختلاف معنی‌داری ($P=0/26$) نداشتند (جدول ۲)، لذا اثر کاربری اراضی بر شاخص کیفیت خاک مورد بررسی قرار نگرفت. این نتایج با یافته‌های برخی از پژوهش‌گران همچون Govaerts et al. (2006); Qi et al. (2009); Paz-Kagan et al. (2016); Rasouli-Sadaghiani et al. (2016) در این خصوص تطابق نداشت. لذا ویژگی‌های مختلف خاک تحت تأثیر عوامل دیگری همچون کلاس‌های مختلف بافت خاک و طبقات شیب و ارتفاع مورد بررسی قرار گرفت و تأثیر آن‌ها بر شاخص کیفیت خاک، اندازه‌گیری و تحلیل شد.

تأثیر عوامل بافت، شیب و ارتفاع بر شاخص کیفیت خاک

برای تعیین شاخص کیفیت خاک تحت تأثیر کلاس‌های مختلف بافت خاک و طبقات شیب و ارتفاع، ابتدا داده‌ها استاندارد شده و سپس با استفاده از آزمون تحلیل عاملی، حداقل ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک مشخص شدند. نتایج آزمون تحلیل عاملی برای تعیین حداقل ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک در جدول (۳) ارائه شده است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از آزمون تحلیل عاملی

توجه به این که بافت خاک یکی از ویژگی فیزیکی مهم و پایای خاک محسوب می شود (Tóth *et al.*, 2018)، با استفاده از نتایج به دست آمده جدول (۲) مبنی بر اثر متقابل معنی دار ($P=0/00$) کاربری اراضی × بافت خاک بر ویژگی های مختلف خاک پیشنهاد می شود این دو عامل با هم برای افزایش کیفیت خاک مدنظر قرار گیرند و عملیات اصلاحی و مدیریتی در کاربری های مختلف اراضی حوزه آبخیز سازند با توجه به بافت خاک در ابتدا، سپس عوامل توپوگرافی (همچون ارتفاع و شیب) اعمال شود.

جدول (۴) و رابطه (۱) نشان می دهد، ویژگی های مختلف خاک تحت تأثیر عامل بافت خاک در مؤلفه یک بیشترین ضریب تشخیص را دارا می باشند. در همین راستا نیز با توجه به رابطه (۲)، بیشترین ضریب تشخیص برای ویژگی های شن و سیلت در مؤلفه یک به دست آمد. با توجه به این که شن و سیلت از اجزای تعیین کننده بافت خاک می باشند و ویژگی های دیگر خاک در تعیین رابطه شاخص کیفیت خاک تحت تأثیر کلاس های مختلف بافت خاک مشارکت نداشته اند، لذا در تحلیل های بعدی تأثیر یک جانبه بافت بر ویژگی های خاک مدنظر قرار نگرفت. ولی با

جدول ۳. نتایج حاصل از بررسی تحلیل مؤلفه های اصلی و عاملی ویژگی های مختلف خاک حوزه آبخیز سازند

متغیر	مؤلفه ها				
	۱	۲	۳	۴	۵
هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	۰/۱۲	۰/۸۴	۰/۰۶	۰/۰۳	۰/۰۱
pH	-۰/۰۲۸	-۰/۰۴۵	۰/۰۷۹	۰/۰۲	۰/۰۳
جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی متر مکعب)	۰/۰۹	-۰/۰۰۸	-۰/۰۱۵	۰/۰۸۱	-۰/۰۲۳
سنگریزه (درصد)	-۰/۰۲۱	-۰/۰۱۵	۰/۰۴۹	-۰/۰۱۶	-۰/۰۳۶
شن (درصد)	-۰/۰۹۶	-۰/۰۰۱	۰/۰۱۵	۰/۰۲۱	۰/۰۱۳
سیلت (درصد)	۰/۰۸۶	۰/۰۱۳	۰/۰۱۱	۰/۰۲۵	۰/۰۱۹
رس (درصد)	۰/۰۴۳	-۰/۰۱۳	-۰/۰۳۴	-۰/۰۵۹	-۰/۰۳۸
کربنات کلسیم معادل (درصد)	۰/۰۰۵	۰/۰۱۹	۰/۰۸۵	-۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
نیترژن (درصد)	۰/۰۰۱	-۰/۰۰۵	-۰/۰۰۶	-۰/۰۱۵	۰/۰۸۶
ماده آلی (درصد)	-۰/۰۰۳	۰/۰۸۴	-۰/۰۱۲	-۰/۰۰۵	-۰/۰۰۱
مقدار ویژه	۱/۹۲	۱/۷۱	۱/۶۵	۱/۱۷	۱/۱۱
درصد بخشی سهم ویژگی ها	۱۹/۱۶	۱۷/۱۳	۱۶/۵۴	۱۱/۶۸	۱۱/۱۴
درصد تجمعی سهم ویژگی ها	۱۹/۱۶	۳۶/۲۹	۵۲/۸۳	۶۴/۵۱	۷۵/۶۵

دارند و باعث کاهش کیفیت خاک می شوند، بزرگ تر باشد، خاک کیفیت کمتری دارد (Rahmanipour *et al.*, 2014; Yao *et al.*, 2018; Nabiollahi *et al.*, 2018).

نتایج جدول (۴) هم چنین نشان داد ویژگی های هدایت الکتریکی و ماده آلی خاک تحت تأثیر عامل شیب بیشترین اثرگذاری را بر کیفیت خاک حوزه آبخیز سازند داشتند. نتایج این پژوهش با نتایج پژوهش های (Koulouri and Giourga (2007); Pazhand *et al.* (2016); Paz-Kagan *et al.* (2016)) مبنی بر اثر قابل توجه شیب بر ویژگی های مختلف خاک مخصوصاً ماده آلی و کاربرد آن برای بررسی کیفیت خاک و مدیریت تخریب بوم سازگان تطابق دارد. در همین راستا مقایسه مقادیر میانگین شاخص کیفیت خاک بر اساس رابطه های نهایی تحت تأثیر طبقات مختلف شیب و ارتفاع با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی دار^۱

برای عامل های شیب و ارتفاع نیز به ترتیب در رابطه های (۳) و (۵) مشاهده شد که مؤلفه های ۲ و ۳ بیشترین ضریب تشخیص را دارا می باشند و از بین ویژگی های مختلف خاک تحت تأثیر عامل شیب و ارتفاع به ترتیب در رابطه (۴) هدایت الکتریکی و ماده آلی و در رابطه (۶) کربنات کلسیم و pH بیشترین ضریب تشخیص را دارا می باشند. بنابراین رابطه های (۴) و (۶) را می توان به عنوان روابط نهایی شاخص کیفیت خاک به ترتیب تحت تأثیر عوامل طبقات شیب و ارتفاع در حوزه آبخیز سازند معرفی کرد. بسیاری از پژوهش گران بیان کرده اند هرچه مقدار شاخص کیفیت خاک به دست آمده از ویژگی های مختلف خاک که اثر مطلوبی بر کیفیت خاک دارند، بزرگ تر باشد، خاک کیفیت بالاتری دارد و بالعکس هرچه مقدار شاخص کیفیت خاک به دست آمده از ویژگی های مختلف خاک که اثر نامطلوبی بر کیفیت خاک

معنی‌دار ($P=0/03$) و بیش‌ترین مقدار شاخص کیفیت خاک در طبقه فوق نسبت به طبقات دیگر می‌باشد. لذا با توجه به اثر مطلوب متغیرهای هدایت الکتریکی و ماده آلی بر کیفیت خاک، هرچه مقدار شاخص کیفیت خاک بیش‌تر باشد، خاک کیفیت مطلوب‌تری دارد (Yao et al., 2014).

(LSD) مورد بررسی قرار گرفته که نتایج آن در شکل (۲) ارائه شده است. نتایج مقایسه میانگین مقادیر شاخص کیفیت خاک بر اساس رابطه (۴) تحت تأثیر طبقات مختلف شیب با استفاده از آزمون LSD بیان‌گر اختلاف معنی‌دار طبقه سوم یعنی شیب ۱۵ تا ۲۰ درصد بود. دقت در نتایج شکل (۲) نشان‌دهنده اختلاف

جدول ۴. نتایج حاصل از تعیین ضریب تشخیص مؤلفه‌ها و حداقل ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک با استفاده از آزمون تحلیل تشخیص در حوزه آبخیز شازند

عامل شماره رابطه	سطح معنی‌داری	ضریب همبستگی تبیین کانونی	متغیرهای اثرگذار
(۱)	$Y_1 = -0.537 (PCA1) - 0.116 (PCA2) + 0.172 (PCA3) + 0.334 (PCA4) + 0.172 (PCA5)$	۰/۰۰	مؤلفه ۱
(۲)	$Y_2 = -(EC \times 0.039) - (pH \times 0.036) - (BD \times 0.058) + (Sa \times 0.452) + (Si \times 0.046) + (CaCO_3 \times 0.12) - (N \times 0.016) + (OM \times 0.05)$	۰/۰۰	شن و سیلت
(۳)	$Y_3 = 0.048 (PCA1) + 0.798 (PCA2) + 0.182 (PCA3) + 0.376 (PCA4) + 0.394 (PCA5)$	۰/۰۰	مؤلفه ۲
(۴)	$Y_4 = (EC \times 1.00) - (pH \times 0.292) + (BD \times 0.01) - (Sa \times 0.107) + (Si \times 0.146) + (CaCO_3 \times 0.144) - (N \times 0.01) + (OM \times 0.495)$	۰/۰۰	هدایت الکتریکی و ماده آلی
(۵)	$Y_5 = 0.000 (PCA1) - 0.099 (PCA2) + 0.990 (PCA3) + 0.157 (PCA4) + 0.039 (PCA5)$	۰/۰۰	مؤلفه ۳
(۶)	$Y_6 = -(EC \times 0.083) + (pH \times 0.752) - (BD \times 0.096) + (Sa \times 0.98) - (Si \times 0.018) + (CaCO_3 \times 0.837) - (N \times 0.024) - (OM \times 0.133)$	۰/۰۰	کربنات کلسیم و pH

در رابطه‌های فوق PCA1، PCA2، PCA3، PCA4، PCA5 به ترتیب نشان‌دهنده مؤلفه‌های ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ می‌باشد و EC، BD، Sa، Si، CaCO₃، N و OM به ترتیب نشان‌دهنده هدایت الکتریکی، جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)، شن، سیلت، کربنات کلسیم، نیتروژن و ماده آلی (درصد) می‌باشد.

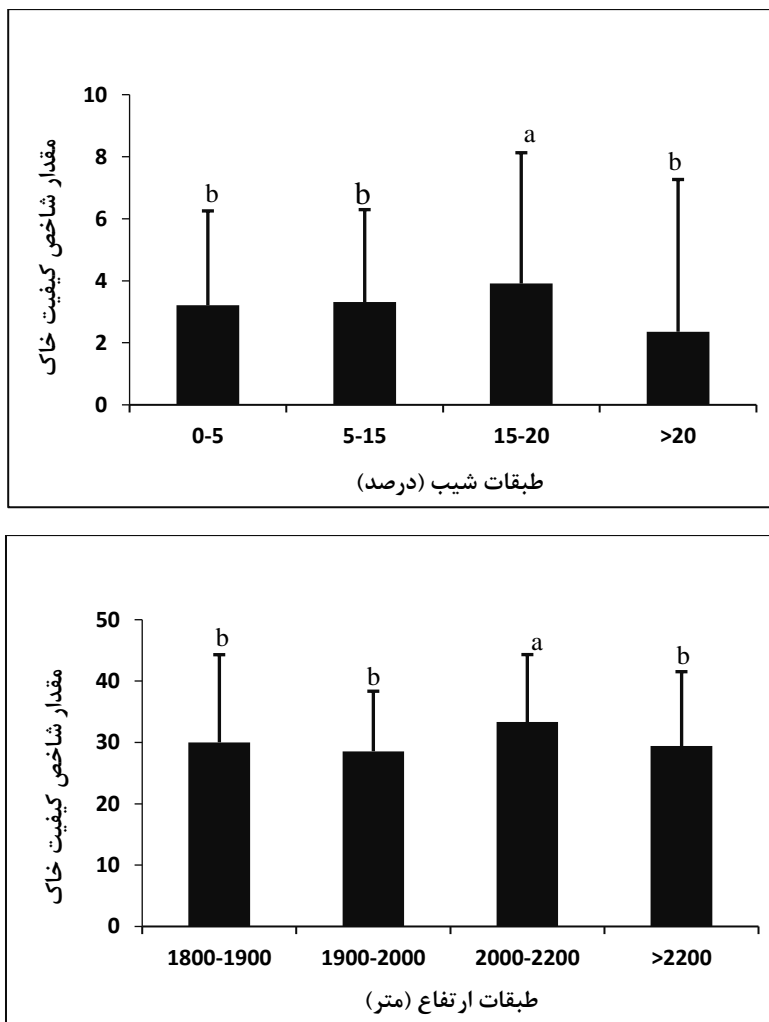
اصلاح ماده آلی خاک، تمهیداتی همچون جلوگیری از چرای زودرس و چرای بی‌رویه و همچنین استفاده از طرح‌های قرق اعمال شود. ایجاد طرح‌های قرق می‌تواند باعث افزایش پوشش گیاهی و در نتیجه افزایش مقدار کربن و نیتروژن خاک و به تبع آن افزایش کیفیت خاک شود که با توصیه‌های Kiani et al. (2007) در این زمینه مطابقت دارد.

نتایج جدول (۴) و شکل (۲) هم‌چنین بیان‌گر اثرگذاری ویژگی‌های کربنات کلسیم و pH خاک تحت تأثیر عامل ارتفاع بر مقدار شاخص کیفیت خاک می‌باشد. بر اساس نتایج ارائه شده توسط Nabiollahi et al. (2018) با توجه به اثر نامطلوب کربنات کلسیم و pH بر کیفیت خاک، هرچه مقدار شاخص کیفیت خاک تحت تأثیر ارتفاع و ویژگی‌های مذکور بیش‌تر باشد، کیفیت خاک کم‌تر است. بنابراین کیفیت خاک در طبقه سوم یعنی ارتفاع ۲۰۰۰ تا ۲۲۰۰ متر به دلیل دارا بودن مقدار شاخص کیفیت خاک بیش‌تر، از مطلوبیت کم‌تری نسبت به طبقات دیگر برخوردار

بر اساس یافته‌های Nabiollahi et al. (2018) هر چه مقدار شاخص کیفیت خاک بر اثر شیب افزایش یابد میزان تخریب زمین کاهش و کیفیت خاک افزایش می‌یابد. در همین راستا برای کاهش تخریب زمین و افزایش کیفیت خاک در شیب‌های زیر ۱۵ درصد که اکثراً دارای کاربری کشاورزی آبی و دیم هستند استفاده از کودهای حاوی ماده آلی و نیتروژن پیشنهاد می‌شود. با توجه به این‌که ماده آلی یکی از شاخص‌های مهم در برآورد وضعیت شیمیایی خاک محسوب می‌شود و حساسیت بالایی نسبت به مدیریت دارد و کاهش ماده آلی بر دیگر ویژگی‌های خاک اثر می‌گذارد، می‌توان با افزایش ماده آلی خاک و ایجاد خاکدانه‌های پایدارتر، باعث افزایش کیفیت خاک شده (Zhao et al., 2009; Zhang et al., 2017; Tóth et al., 2018) که این خود سبب مدیریت بهتر تخریب اراضی در بوم‌سازگان‌های مختلف حوزه آبخیز شازند می‌شود. در شیب‌های بیش از ۱۵ درصد که بیش‌تر دارای کاربری مرتع می‌باشد پیشنهاد می‌شود در راستای بهبود و

مناسب در راستای کاهش pH خاک و افزایش کیفیت خاک و در نتیجه اصلاح و بهبود بوم سازگان تخریب یافته برنامه ریزی و اقدام شود. (Virto *et al.*, 2018).

می باشد. لذا پیشنهاد می شود برای افزایش کیفیت خاک با توجه به مقادیر بالای pH و کربنات کلسیم معادل خاک در ارتفاع بالای ۲۰۰۰ متر و اختلاف معنی دار طبقه سوم نسبت به طبقات دیگر (P= ۰/۰۴) نسبت به اصلاح خاکها با استفاده از افزودنی های



شکل ۲. مقایسه مقادیر میانگین شاخص کیفیت خاک بر اساس رابطه های نهایی تحت تأثیر طبقات مختلف شیب و ارتفاع (بالا و پایین) در حوزه آبخیز سازند

نتیجه گیری

تهدیدات موجود، برنامه ریزی بهتر برای افزایش بهره وری و تولید با تأکید بر عناصر غذایی، تغییرات کربن آلی خاک و نیتروژن در حوزه آبخیز سازند انجام پذیرد. نتایج حاصل از پژوهش حاضر بیانگر عدم اختلاف معنی دار ویژگی های مختلف خاک تحت تأثیر اثر یک جانبه کاربری های مختلف اراضی و اختلاف معنی دار آنها تحت تأثیر کلاس های مختلف بافت خاک و طبقات مختلف شیب و ارتفاع بود. بنابراین آزمون تحلیل عاملی و تحلیل تشخیص فقط برای تحلیل تغییرات حداقل ویژگی های مؤثر بر کیفیت خاک، تحت تأثیر کلاس های مختلف بافت خاک و طبقات شیب و ارتفاع مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت مقدار شاخص کیفیت خاک

در این پژوهش برای دستیابی به تحلیل صحیح از کیفیت خاک بوم سازگان مختلف حوزه آبخیز سازند و در راستای برنامه های مطرح شده در اهداف توسعه پایدار و مدیریت تخریب زمین توسط سازمان ملل متحد، ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک اندازه گیری شد. سپس شاخص کیفیت خاک با استفاده از آزمون تحلیل عاملی و تحلیل تشخیص تعیین شد. در نهایت شاخص کیفیت خاک به دست آمده تحت تأثیر کاربری های مختلف اراضی، کلاس های مختلف بافت خاک و طبقات ارتفاع و شیب در بوم سازگان های مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت تا با توجه به

مرتعی توصیه می‌شود. هم‌چنین در بوم‌سازگان کشاورزی آبی، دیم و باغ‌ها، استفاده از کودهای حاوی ماده آلی و نیتروژن و یا استفاده از طرح‌های کشاورزی بدون شخم و باقی گذاشتن بقایای گیاهی بعد از کشاورزی و در نتیجه کاهش تخریب بوم‌سازگان مخصوصاً در طبقات شیب پایین و ارتفاع‌های بالای ۲۰۰۰ متر پیشنهاد می‌شود.

سپاسگزاری

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از حمایت‌های مادی و معنوی بنیاد ملی نخبگان (National Elites Foundation) در انجام طرح پژوهشی با شماره ۱۵/۹۰۱۸۶ تشکر و قدردانی نمایند.

REFERENCES

- Abu-Hashim, M., Elsayed, M. and Belal, A. E. (2016). Effect of land use changes and site variables on surface soil organic carbon pool at Mediterranean Region. *Journal of African Earth Sciences*, 114, 78-84.
- Aparicio, V. and Costa, J. L. (2007). Soil quality indicators under continuous cropping systems in the Argentinean pampas. *Soil and Tillage Research*, 96, 155-165.
- Ayoubi, S., Mokhtari, J., Mosaddeghi, M. R. and Zeraatpisheh, M. (2018). Erodibility of calcareous soils as influenced by land use and intrinsic soil properties in a semiarid region of central Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(4), 192.
- Bayazidi, A., Oladi, B. and Abbasi, N. (2009). *Data analysis by SPSS (PASW) 18 software*. Abed Publication, 1: 250 p. (In Persian)
- Biswas, S., Hazra, G. C., Purakayastha, T. J., Saha, N., Mitran, T., Roy, S. S., Basak, N. and Mandal, B. (2017). Establishment of critical limits of indicators and indices of soil quality in rice-rice cropping systems under different soil orders. *Geoderma*, 292, 34-48.
- Blake, G. R. and Hartge, K. H. (1986). *Bulk Density*, in A. Klute, ed., *Methods of soil analysis, part I. physical and mineralogical methods: Agronomy Monograph no. 9* (2nd ed.), pp. 363-375.
- Bremner, J. M. (1996). *Total nitrogen*, in: Sparks, D.L. (Ed.), *methods of soil analysis. part 3 chemical methods*, SSSA Book Ser. 5. 3. Soil Science Society of America, Madison, USA, pp. 1085-1122.
- Cheng, J., Ding, C., Li, X., Zhang, T. and Wang, X. (2016). Soil quality evaluation for navel orange production systems in central subtropical China. *Soil and Tillage Research*, 155, 225-232.
- Dabelko, G., Lonergan, S. and Matthew, R. (2002). *State of the Art Review on Environment, Security and Development-operation*. The World Conservation Union for the Working Party on Development Cooperation and Environment. OECD Development Assistance Committee. 110p.
- Das, B., Chakraborty, D., Singh, V. K., Ahmed, M., Singh, A. K. and Barman, A. (2016). Evaluating fertilization effects on soil physical properties using a soil quality index in an intensive Rice-wheat cropping system. *Pedosphere*, 26 (6), 887-894.
- Emami, H., Shorafa, M., Neishaboori, M. and Liaghat, A. (2010). Prediction of Soil Physical Quality Index by Using Conveniently Measurable Soil Properties in Some Saline and Calcareous Soils, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 39(1), 39-46.
- Gee, G. W. and Bauder, J. W. (1986). Particle-size analysis. p. 383-411. In A Klute (ed.) *Methods of Soil Analysis, Part I. Physical and Mineralogical Methods*. Agronomy Monograph No. 9 (2ed). American Society of Agronomy/Soil Science Society of America, Madison, WI, 383-411.
- Gong, L., Ran, Q., He, G. and Tiyyip, T. (2015). A soil quality assessment under different land use types in Keriya river basin, southern Xinjiang, China. *Soil and Tillage Research*, 146, 223-229.
- Gorji, M., Kakeh, J. and 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)
- Govaerts, B., Sayre, K. D. and Deckers, J. (2006). A minimum data set for soil quality assessment of wheat and maize cropping in the highlands of Mexico. *Soil and Tillage Research*, 87, 163-174.
- Grainger, A. (2015). Is Land degradation neutrality feasible in dry areas?. *Journal of Arid Environments*, 112, 14-24.
- Hengl, T., Heuvelink, G., Sanderman, J. and MacMillan, R. (2017). Spatiotemporal models of global soil organic carbon stock to support land degradation assessments at regional and global scales: limitations, challenges and opportunities. In EGU General Assembly Conference Abstracts, 19: 14946.

- 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.
- Keesstra, S. D., Bouma, J., Wallinga, J., Tittonell, P., Smith, P., Cerdà, A., Montanarella, L., Quinton, J. N., Pachepsky, Y., van der Putten, W. H., Bardgett, R. D., Moolenaar, S., Mol, G., Jansen, B. and Fresco, L. O. (2016). The significance of soils and soil science towards realization of the united nations sustainable development goals. *Soil*, 2(2), 111-128.
- Kiani, F., Jalalian, A., Pashae, A. and Khademi, H. (2007). Effect of deforestation, grazing exclusion and rangeland degradation on soil quality indices in loess-derived landforms of Golestan province. *Water and Soil Science*, 11(41), 453-463. (In Persian)
- Kiani-Harchegani, M., Sadeghi, S. H. R. and Falahatkar, S. (2019a). Comparative analysis of soil erodibility factor in Shazand Watershed, *Iranian Journal of Ecohydrology*, 6(1), 153-163. (In Persian)
- Kiani Harchegani, M., Sadeghi, S.H.R. and Boor, S. (2019b). Comparative analysis of soil variables in different land uses of the Shazand watershed, Iran, *Journal of Agriculture and Forestry*, 65 (1). Accept
- Koulouri, M. and Giourga, C. (2007). Land abandonment and slope gradient as key factors of soil erosion in Mediterranean terraced lands. *Catena*, 69, 274-281.
- Lima, A. C. R., Brussaard, L., Totola, M. R., Hoogmoed, W. B. and de Goede, R. G. M. (2013). A functional evaluation of three indicator sets for assessing soil quality. *Applied Soil Ecology*, 64 (0), 194-200.
- Lin, Y., Deng, H., Du, K., Li, J., Lin, H., Chen, C., Fisher, L and Wu, C. (2017). Soil quality assessment in different climate zones of China's Wenchuan earthquake affected region. *Soil and Tillage Research*, 165, 315-324.
- Mohaghegh, P., Naderi-Khorasgani, M. and Mohamadi, J. (2016). Determination of minimum data set for assessment of soil quality: a case study in Choghakhur lake basin. *Journal of Water and Soil*, 3(4), 1232-1243. (In Persian)
- Mukhopadhyay, S., Maiti, S. K., Masto, R. E. (2014). Development of mine soil quality index (MSQI) for evaluation of reclamation success: a chronosequence study. *Ecological Engineering*, 71, 10-20.
- Nabiollahi, K., Golmohamadi, F., Taghizadeh-Mehrjardi, R., Kerry, R. and Davari, M. (2018). Assessing the effects of slope gradient and land use change on soil quality degradation through digital mapping of soil quality indices and soil loss rate. *Geoderma*, 318, 16-28.
- Nelson, D. W. and Sommers, L. E. (1996). Total carbon, organic carbon and organic matter, in: Sparks, D.L. (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods*, SSSA Book Ser. 5. 3., Soil Science Society of America, Madison, USA, pp. 961-1010.
- Nosrati, K. and Majdi, M. (2015). The effect of land use on soil quality in western part of Tehran. *Journal of Earth Science Reserches*, 6(22), 100-113. (In Persian)
- Ochoa, P. A., Fries, A., Mejia, D., Burneo, J. I., Ruiz-Sinoga, J. D. and Cerda, A. (2016). Effects of climate, land cover and topography on soil erosion risk in a semiarid basin of the Andes. *Catena*, 140, 31-42.
- Pazhand, M. J., Emami, H. and Astarae, A. R. (2016). Relationship between Topography and Some Soil Properties. *Journal of Water and Soil*, 29(6), 1699-1710. (In Persian)
- Paz-Kagan, T., Ohana-Levi, N., Herrmann, I., Zaady, E., Henkin, Z. and Karnieli, A. (2016). Grazing intensity effects on soil quality: a spatial analysis of a Mediterranean grassland. *Catena*, 146, 100-110.
- Qi, Y., Darilek, J. L., Huang, B., Zhao, Y., Sun, W., and Gu, Z. (2009). Evaluating soil quality indices in an agricultural region of Jiangsu Province, China. *Geoderma*, 149(3-4), 325-334.
- Raiesi, F. (2017). A minimum data set and soil quality index to quantify the effect of land use conversion on soil quality and degradation in native rangelands of upland arid and semiarid regions. *Ecological Indicators*, 75, 307-320.
- Rahimi, S., Afyuni, M., Khoshgoftarmanesh, A. H. and Noruzi, M. (2015). Assessment of soil quality index with zinc fertilizer and its concentration wheat grain. *Water and Soil Science*, 19(71), 47-56. (In Persian)
- Rahmanipour, F., Marzaioli, R., Bahrami H. A., Fereidouni, Z., Rahimi Bandarabadi, S. (2014). Assessment of soil quality indices in agricultural lands of Qazvin Province, Iran. *Ecological indicators*, 40: 19-26.
- Rasouli-Sadaghiani, M. H., Ghodrat, K., Ashrafi-Saeidlou, S., Jafari, M. and Khodaverdiloo, H. (2016). Evaluation of soil quality indicators in land use changed forest of Northern Zagros (Case study: Oshnavieh, West Azerbaijan). *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 6(3), 83-99. (In Persian)
- Ravi, S., Breshears, D. D., Huxman, T. E. and D'Odorico, P. (2010). Land degradation in drylands: interactions among hydrologic-aolian erosion and vegetation dynamics. *Geomorphology*, 116(3), 236-245.
- Rhoades, J. D. (1996). *Salinity: electrical conductivity and total dissolved solids*, in: Sparks, D.L. (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods*, SSSA Book Ser. 5. 3., Soil Science Society of America, Madison, USA, pp. 417-436.
- Richard, H. L. and Donald, L. S. (1996). *Carbonate and gypsum*, in: Sparks, D.L. (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 3 Chemical Methods*, SSSA Book Ser. 5. 3., Soil Science Society of America, Madison, USA, pp. 437-474.
- Sadeghi, S. H. R., Hazbavi, Z. and Cerdà, A. (2017).

- Watershed Health Assessment to Monitor Land Degradation. In EGU General Assembly Conference Abstracts, 19: 28.
- Sanchez-Navarro, A., Gil-Vazquez, J. M., Delgado-Iniesta, M. J., Marin-Sanleandro, P., Blanco-Bernardeau, A. and Ortiz-Silla, R. (2015). Establishing an index and identification of limiting parameters for characterizing soil quality in Mediterranean ecosystems. *Catena*, 131, 35–45.
- Sione, S. M. J., Wilson, M. G., Lado, M. and Gonzalez, G. P. (2017). Evaluation of soil degradation produced by rice crop systems in a Vertisols, using a soil quality index. *Catena*, 150, 79–86.
- Shahab, H., Emami, H., Haghnia, G. H., and Karimi, A. (2013). Pore size distribution as a soil physical quality index for agricultural and pasture soils in northeastern Iran. *Pedosphere*, 23(3), 312-320.
- Shukla, M. K., Lal, R. and Ebinger, M. (2006). Determining soil quality indicators by factor analysis. *Soil and Tillage Research*, 87(2), 194-204.
- Sommer, S., Zucca, C., Grainger, A., Cherlet, M., Zougmore, R., Sokona, Y., Hill, J., Della, R., Peruta Roehrig, J. and Wang, G. (2011). Application of Indicator Systems for Monitoring and Assessment of Desertification from National to Global Scales. *Land Degradation & Development*, 22(2), 184-197.
- Tóth, G., Hermann, T., da Silva, M. R. and Montanarella, L. (2018). Monitoring soil for sustainable development and land degradation neutrality. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(2), 57
- Virto, I., Antón, R., Apesteguía, M. and Plante, A. (2018). Role of carbonates in the physical stabilization of soil organic matter in agricultural mediterranean soils. In *Soil Management and Climate Change*, 121-136.
- Yao, R. J., Yang, J. S., Gao, P., Zhang, J. B., Jin, W. H. and Yu, S. P. (2014). Soil-quality-index model for assessing the impact of groundwater on soil in an intensively farmed coastal area of E. China. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 177, 330–342.
- Zarei, W. and Sheklabadi, M. (2015). Soil Quality Assessment in Different Land Uses Using Multivariate Statistical Analysis, *Journal of Water and Soil Science*, 18(70), 101-111.
- Zhang, S., Fan, W., Li, Y. and Yi, Y. (2017). The influence of changes in land use and landscape patterns on soil erosion in a watershed. *Science of the Total Environment*, 574, 34–45.
- Zhao, H. L., He, Y. H., Zhou, R. L., Su, Y. Z., Li, Y. Q. and Drake, S. (2009). Effects of desertification on soil organic C and N content in sandy farmland and grassland of Inner Mongolia, *Catena*, 77, 187–191.