

Research Article

Agricultural Engineering, 45(1) (2022) 57-78
DOI: 10.22055/AGEN.2022.39858.1630

ISSN (E): 2588-526X
ISSN (P): 2588-5944

Impact of land use change on erodibility and soil quality indicators (case study: Sidasht, Guilan Province)

F. Samie Khoshkestalkhi¹, N. Yaghmaeian^{2*}, S. Abrishamkesh³ and A. Maslahatjou⁴

1. MSc., Department of Soil Science, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Iran
2. Assistant Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Iran
3. Assistant Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Iran;
4. MSc., General Office of Natural Resources and Watershed Management of Guilan province, Rasht, Iran.

Received: 23 May 2022

Accepted: 18 June 2022

Abstract

Introduction: Soil is one of the important parts of ecosystem. Land use change and developed agriculture can lead to soil loss and land degradation because they have damaging effects on soil properties including soil organic carbon, aggregate stability and soil erodibility factor. Soil erodibility factor can be measured by different methods including experimental plots. It shows that the problem should be dealt directly and it demands high amount of cost and time. The factor can be calculated by soil properties such as soil organic matter and particle size distribution. They play a crucial role for sustainable ecosystem and decreased soil erosion. Since a few decades ago, deforestation has caused increased soil degradation and it has had devastative effects on soil surface and subsurface properties. This study investigated soil erodibility factor by different methods in three land uses including forest, grassland, and cropland at two depths in Sidasht of Guilan province. Soil quality index was calculated for evaluation of effects of land use on soil quality degradation.

Materials and Methods: The study area is located in Tootkabon in Guilan province (latitude 36° 50' 10" N, longitude 49° 39' 15" E). Parent material is limestone and geomorphologic units that are comprised of hill land and plateau. The soil moisture and temperature regimes are xeric and thermic, respectively. In order to reach the goals of the study, samples were collected from three land uses of forest, grassland, and cropland at two depths of 0 to 10 and 10 to 20 cm in regards to parent material, slope class, and equal slope aspect. Soil samples were prepared in two categories: the disturbed soil and the undisturbed ones. After becoming air drying, the disturbed samples were sieved by a 2 mm sieve. Soil properties such as soil texture, bulk density, soil organic carbon, CaCO₃, and soil stability were measured. Soil erodibility factor is calculated by nomograph, Vaezi and Ostovari methods. Also sensitivity index and stratification ratio were taken into account. Soil quality index was determined using linear and nonlinear scoring methods based on minimum data set. All soil parameters were tested using one-way analysis of variance and the differences among means were analyzed using Duncan's significant difference test at the probability level of 0.05.

Results and Discussion: Results showed that the effects of land use and soil depth on bulk density, soil texture and soil erodibility factor using Wischmeier's nomograph method were non-significant ($p > 0.05$). The amount of organic matter, soil structure stability index and soil erodibility factor of Vaezi method were significantly decreased by increasing the depth. MWD and GMD at forest were higher than cropland, and CaCO₃ and soil erodibility factor of Ostovari method at forest were lower than cropland. In comparison with other methods, soil erodibility factor of Ostovari method demonstrated that the effect of land use was



significant ($p \leq 0.05$). Soil properties including bulk density, MWD, organic matter, and soil erodibility factor of Ostovari method were selected as the minimum data set. Results of nonlinear scoring method were better than linear scoring method because the linear scoring method just showed the effects of soil depth on soil quality index ($p \leq 0.05$). The soil quality index using linear scoring method was decreased by increasing the depth. However, soil quality index using nonlinear scoring method in forest was higher than cropland, and it was decreased by increasing the soil depth. It was found that non linear scoring methods are superior to linear and soil quality index using the nonlinear scoring method showed better the soil quality among different land uses.

Conclusion: Sensitivity index and stratification ratio values showed that land use change and soil depth effect on soil properties including CaCO_3 , organic matter, structure stability index and MWD. The stratification ratio values more than 1.5 for organic matter and soil structure stability index can be stated that these properties can show the degradation of soil quality due to land use change. Soil quality evaluation showed that in relation to the effect of land use on soil quality index, nonlinear scoring method is superior to linear scoring, so that forest and agricultural land use had the highest and lowest soil quality index by nonlinear scoring method, respectively. Therefore, due to the high sensitivity of soil quality to land use change, preventing land use change is one of the necessary measures for sustainable soil management in the study area.

Key words: *Soil erodibility factor, sensitivity index, stratification ratio, soil quality index, minimum data set*

اثر تغییر کاربری اراضی بر فرسایش پذیری و ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک (مطالعه موردی: سی‌دشت استان گیلان)

فاطمه سمیع خشک‌اسطلخی^۱، نفیسه یغمائیان^{۲*}، سپیده ابریشم‌کش^۳ و عطااله مصلحت‌جو^۴

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، ایران

۲- استادیار گروه علوم خاک، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، ایران

۳- استادیار گروه علوم خاک، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، ایران

۴- کارشناس ارشد آبخیزداری، اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان گیلان، ایران

تاریخچه مقاله

دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۰۵

پذیرش نهایی: ۱۴۰۱/۰۳/۲۸

کلمات کلیدی:

عامل فرسایش پذیری خاک،

شاخص حساسیت،

نسبت لایه بندی،

شاخص کیفیت خاک،

مجموعه داده حداقل

چکیده

تخریب محیط‌زیستی ناشی از استفاده نامناسب اراضی از جمله مشکلات جهانی است. در این مطالعه برخی ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی خاک در سه کاربری جنگل، مرتع و زراعی، در دو عمق صفر تا ۱۰ و ۱۰ تا ۲۰ سانتی‌متر در منطقه سی‌دشت استان گیلان اندازه‌گیری و عامل فرسایش پذیری توسط سه روش نمودار ویشمایر، واعظی و استواری محاسبه شد. به منظور ارزیابی اثر کاربری اراضی بر تخریب کیفیت خاک، شاخص حساسیت، نسبت لایه‌بندی و شاخص کیفیت خاک بر اساس مجموعه داده حداقل و توسط روش‌های نمره‌دهی خطی و غیرخطی تعیین شد. نتایج نشان داد که اثر کاربری اراضی تنها بر عامل فرسایش پذیری خاک به روش استواری معنی‌دار بود و کاربری جنگل در مقایسه با کاربری مرتع و زراعی دارای کم‌ترین میزان عامل فرسایش پذیری خاک بود. شاخص حساسیت و ویژگی‌های خاک نشان داد که کلسیم کربنات معادل، ماده آلی، میانگین وزنی قطر خاکدانه و شاخص پایداری ساختمان خاک نسبت به سایر ویژگی‌ها به تغییر کاربری حساس‌تر بودند. نسبت لایه‌بندی ماده آلی و شاخص پایداری ساختمان خاک نیز نشان داد که این ویژگی‌ها به خوبی می‌توانند تخریب کیفیت خاک در اثر تغییر کاربری را نشان دهند. جرم مخصوص ظاهری خاک، ماده آلی، میانگین وزنی قطر خاکدانه و عامل فرسایش پذیری خاک به روش استواری به عنوان مجموعه داده حداقل انتخاب شدند. ارزیابی کیفیت خاک نشان داد که در رابطه با اثر کاربری اراضی بر شاخص کیفیت خاک، روش نمره‌دهی غیرخطی بر نمره‌دهی خطی برتری دارد، به نحوی که کاربری جنگل و زراعی به ترتیب از بیش‌ترین و کم‌ترین شاخص کیفیت خاک به روش نمره‌دهی غیرخطی برخوردار بودند و با افزایش عمق، شاخص کیفیت خاک کاهش یافت. با توجه به حساسیت زیاد کیفیت خاک به تغییر کاربری اراضی پیشنهاد می‌شود به منظور پایداری زیست‌بوم از جنگل‌تراشی و تغییر کاربری اراضی در منطقه مورد مطالعه جلوگیری شود.

* عهده دار مکاتبات

Email: yaghmaeian_na@guilan.ac.ir

مقدمه

هدررفت خاک یکی از نگرانی‌های جهانی است که منابع آب و خاک را به مخاطره می‌اندازد (۳۷). خاک یکی از مهم‌ترین اجزای اکوسیستم است که اگر به خوبی مدیریت شود، می‌تواند باعث ایجاد امنیت غذایی، بهبود منابع آبی، تنوع زیستی و ترسیب کربن شود (۴۰). تغییر کاربری اراضی و توسعه کشاورزی می‌تواند منجر به تخریب، فرسایش و کاهش کیفیت خاک شود (۱). تغییر کاربری اراضی تاثیر منفی بر ویژگی‌های خاک شامل نفوذپذیری، بافت، کربن آلی و پایداری خاکدانه‌ها دارد و تغییر در این ویژگی‌ها منجر به تغییر در فرسایش پذیری خاک می‌شوند (۵۵ و ۱۸).

عامل فرسایش پذیری در واقع به عنوان مقاومت خاک در برابر پراکندگی و انتقال ذرات خاک بیان می‌شود (۴۲) و ویژگی کلیدی برای پیش‌بینی هدررفت خاک و ارزیابی سودمندی شیوه‌های حفاظتی خاک است (۶۴). فرسایش‌پذیری خاک، با روش‌های مختلفی شامل ویژگی‌های فیزیکی - شیمیایی خاک، مدل بارندگی و پلات‌های آزمایشی^۱ فرسایش خاک تعیین می‌شود (۴۲). اگر چه پلات‌های فرسایشی بهترین روش برای تعیین عامل فرسایش‌پذیری خاک است اما اندازه‌گیری آن به روش مستقیم زمان‌بر و پرهزینه است (۶۵)، بنابراین معادلاتی برای برآورد عامل فرسایش‌پذیری در رابطه با ویژگی‌های خاک مطرح شد (۱۲). فرسایش‌پذیری خاک یک مفهوم ترکیبی است که به عوامل مختلفی وابسته است (۵۳) و تاثیر ویژگی‌های خاک از قبیل ماده آلی، پراکندگی اندازه ذرات و نفوذپذیری بر هدررفت خاک را نشان می‌دهد (۴۴).

یکی از مهم‌ترین مشکلات کشور ایران تغییر کاربری اراضی، بدون برنامه‌ریزی مشخص و عدم توجه به محدودیت‌های زیست‌محیطی می‌باشد (۲۹). تخریب جنگل‌های هیرکانی شمال کشور که از تنوع گونه‌ای و تولید بالایی برخوردار هستند در اثر تغییر کاربری اراضی (۵۲)، از

چالش‌های اصلی زیست‌بوم به شمار می‌آید. این امر موجب از دست رفتن زیست‌بوم جنگلی و کاهش کیفیت خاک می‌شود (۸) هم‌چنین تغییر کاربری اراضی و گسترش بی‌رویه اراضی کشاورزی منجر به تخریب مراتع شمال ایران شده است (۳۱ و ۲۰).

جلوگیری از فرسایش خاک جهت مدیریت و حفاظت از منابع طبیعی امری ضروری است (۲۹). در این راستا پهنه‌بندی کیفیت خاک، به منظور شناسایی خاک‌های با کیفیت پایین که کاربری اراضی آن‌ها تغییر یافته است اهمیت دارد؛ زیرا این اراضی نیازمند شیوه‌های مدیریتی خاصی هستند (۳۸).

ادهیکاری و همکاران^۲ (۲) جهت پیش‌بینی هدررفت خاک در کاربری‌های زراعی، زراعی همراه با دوره آیش^۳، مرتع و جنگل از چهار روش تعیین فرسایش‌پذیری خاک در هند استفاده کردند. نتایج نشان داد که مقدار عامل فرسایش‌پذیری خاک با توجه به ویژگی‌هایی از خاک شامل توزیع اندازه ذرات، نفوذپذیری و ماده آلی متفاوت بود و به طور کلی کاربری زراعی در اثر عملیات خاکورزی دارای هدررفت خاک بالاتری بود. پژوهش داوری و همکاران^۴ (۱۵) در خصوص اثر جنگل‌تراشی و تبدیل آن به کاربری زراعی بر کیفیت خاک در استان کردستان نشان داد که تغییر کاربری اراضی تاثیر منفی بر ویژگی‌های خاک شامل کربن آلی، میانگین وزنی و هندسی قطر خاکدانه داشت و سبب افزایش عامل فرسایش‌پذیری خاک در اراضی زراعی شد؛ هم‌چنین در نتایج حاصل از تجزیه به مولفه‌های اصلی^۵ میانگین هندسی قطر خاکدانه، عامل فرسایش‌پذیری و کربن آلی خاک به عنوان حداقل ویژگی‌های موثر بر کیفیت خاک^۶ انتخاب شدند و کاربری جنگل در مقایسه با زراعی از

2- Adhikary *et al.*

3- Fallow land

4- Davari *et al.*

5- Principle component analysis (PCA)

6- Minimum data set (MDS)

1- Experimental plots

گرفت و از شاخص کیفیت خاک به منظور ارزیابی اثر کاربری اراضی بر تخریب کیفیت خاک استفاده شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه، نمونه‌برداری و تجزیه‌های

آزمایشگاهی

منطقه مورد مطالعه، اراضی واقع در روستای سی‌دشت شهرستان توتکابن در جنوب استان گیلان را شامل می‌شود. این منطقه با مساحت ۳۷ هکتار به فاصله ۲۰ کیلومتری از شهرستان توتکابن در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۵۰ دقیقه و ۱۰ ثانیه شمالی و طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۳۹ دقیقه و ۱۵ ثانیه شرقی واقع شده است (شکل ۱).

متوسط بارندگی سالیانه ۹۵۷ میلی‌متر و میانگین دمای سالیانه ۱۸/۶ درجه سانتی‌گراد است. منطقه مورد مطالعه دارای مواد مادری آهکی و تیپ اراضی تپه ماهوری و فلات است. رژیم رطوبتی و حرارتی خاک به ترتیب، زیریک^۳ و ترمیک^۴ می‌باشد (۹).

به منظور دستیابی به اهداف پژوهش، نمونه‌برداری خاک از سه کاربری جنگل (کاربری شاهد)، مرتع و زراعی در نزدیک‌ترین فاصله ممکن از یکدیگر با مواد مادری، کلاس شیب و جهت شیب یکسان انجام گرفت. پوشش طبیعی منطقه شامل جنگل‌های بلوط (*Quercus castaneifolia*) و انجیلی (*Parrotiapersica*) بود.

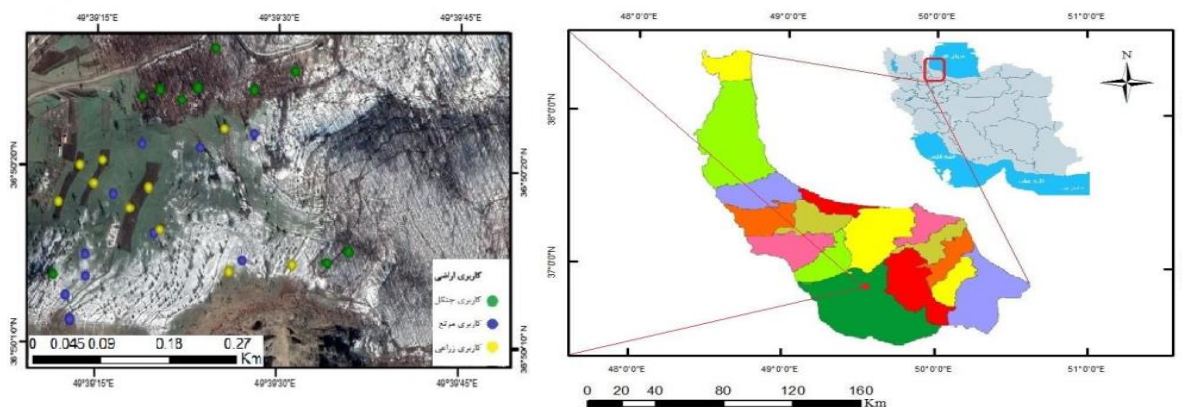
مقدار شاخص تجمعی کیفیت خاک^۱ بالاتری برخوردار بود، بنابراین کاربری جنگل دارای کیفیت خاک بهتری بود. تاثیر تغییر کاربری اراضی بر عامل فرسایش‌پذیری خاک در سه کاربری مرتع، باغی و زراعی در استان مازندران نشان داد که کاربری مرتع و باغی در مقایسه با کاربری زراعی دارای میزان ماده آلی و میانگین وزنی قطر خاکدانه بالاتر بودند و میزان عامل فرسایش‌پذیری خاک در کاربری مرتع در مقایسه با سایر کاربری‌ها بالاتر بود (۵۵). نتایج پژوهش چندان و همکاران^۲ (۱۳) در هند نشان داد که ویژگی‌هایی مانند کربن آلی و عامل فرسایش‌پذیری خاک به عنوان مجموعه داده حداقل انتخاب شدند، کاربری جنگل و اراضی بدون پوشش به ترتیب از بالاترین و کم‌ترین شاخص کیفیت خاک برخوردار بودند. بالا بودن میزان شاخص کیفیت خاک در جنگل می‌تواند در اثر بالا بودن میزان کربن آلی و کم‌تر شدن عامل فرسایش‌پذیری خاک باشد.

جنگل‌های استان گیلان، یکی از منابع مهم کشور ایران است که نقش مهمی در پایداری زیست‌بوم و کاهش فرسایش خاک دارد و در چند دهه‌ی اخیر، تغییر کاربری جنگل موجب افزایش تخریب خاک شده و بر خصوصیات خاک سطحی و زیرسطحی اثر گذاشته است. در اکثر مطالعات انجام شده به ارزیابی کیفیت خاک سطحی پرداخته شده است؛ اما این‌گونه مطالعات، اطلاعات ناقصی را در اختیار قرار می‌دهند زیرا که ویژگی‌های خاک زیرسطحی مانند حاصلخیزی، کربن آلی، میزان نفوذپذیری و ... بیش‌ترین تاثیر را بر کارکرد خاک داشته و تولید محصول متاثر از ویژگی‌های خاک سطحی و زیرسطحی می‌باشد. بنابراین مطالعه عامل فرسایش‌پذیری به عنوان یکی از ویژگی‌های موثر بر کیفیت خاک در عمق زیرسطحی نیز لازم به نظر می‌رسد. در این مطالعه به منظور ارزیابی اثرات کاربری اراضی، روش‌های مختلف محاسبه فرسایش‌پذیری خاک در سه کاربری جنگل، مرتع و زراعی و در دو عمق خاک در منطقه سی‌دشت استان گیلان مورد بررسی قرار

3- Xeric
4- Thermic

1- The weighted additive soil quality index
2- Chandel *et al.*

سمیع خشک اسطلخی و همکاران: اثر تغییر کاربری اراضی بر فرسایش پذیری...



شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه برداری

Figure (1) Location of study area and sampling points

شدند، هم چنین شاخص پایداری خاک (۴۵) با رابطه ۱ محاسبه گردید:

$$SSI = \frac{SOC \times 1.724}{Clay + Silt} \times 100 \quad (1)$$

در رابطه ۱، SSI شاخص پایداری ساختمان خاک (درصد)، SOC میزان کربن آلی (درصد)، Clay میزان رس (درصد) و Silt میزان سیلت (درصد) می باشد.

محاسبه عامل فرسایش پذیری خاک

در این پژوهش عامل فرسایش پذیری خاک با استفاده از روش نمودار ویشمایر (۶۶) به علت سادگی و مرسوم بودن آن در مطالعات مختلف (۱۹ و ۱۶)، روش واعظی (۵۸) و روش استواری (۴۲) با توجه به مواد مادری آهکی در منطقه مطالعاتی به دست آمد. برای محاسبه عامل فرسایش پذیری خاک به روش نمودار ویشمایر (۶۶) از رابطه ۲ استفاده شد:

$$K_1 = \frac{(2.1 \times M^{1.14} \times 10^{-4} \times (12 - OM) + 3.25 \times (S - 2) + 2.5 \times (P - 3)) \times 0.1318}{100}$$

عامل فرسایش پذیری خاک به روش واعظی (۵۸) و روش استواری (۴۲) به ترتیب با استفاده از رابطه های ۳ و ۴ محاسبه گردید:

کاربری زراعی شامل کشت دیم گندم با سابقه ای حدود ۱۵ سال است. در هر کاربری ۲۰ نمونه خاک مرکب از دو عمق صفر تا ۱۰ و ۱۰ تا ۲۰ سانتی متری برداشت شد. نمونه های خاک به دو صورت دست نخورده و دست خورده تهیه شدند. پس از هوا خشک شدن، نمونه های دست خورده از الک ۲ میلی متری عبور داده شدند و برخی ویژگی های خاک شامل؛ توزیع اندازه ذرات به روش هیدرومتری (۲۴)، کلسیم کربنات معادل به روش تیتراسیون (۵۴)، کربن آلی خاک به روش اکسیداسیون تر (۶۱) اندازه گیری شدند. جرم مخصوص ظاهری خاک دست نخورده به روش کلوخه (۱۱) توزیع اندازه خاکدانه ها به روش الک تر (۳۰) پس از گذراندن نمونه خاک از الک ۴/۷۶ میلی متر از مجموعه الک های ۴، ۲، ۱، ۰/۵، ۰/۲۵، ۰/۰۵۳ میلی متر به مدت ۱۰ دقیقه با دامنه ۳/۱۸ سانتی متر و نوسان ۳۰ دور بر دقیقه و از طریق شاخص های میانگین وزنی و هندسی قطر اندازه گیری

(۲)

در این رابطه K_1 عامل فرسایش پذیری خاک (تن در هکتار در ساعت بر هکتار مگاژول در میلی متر)، OM درصد مواد آلی، S کد ساختمان خاک، P کد نفوذ پذیری و M حاصل ضرب مجموع درصد سیلت و شن خیلی ریز در ۱۰۰ منهای درصد رس می باشد.

(۳)

$$K_2 = 0.0123 - 5.7 \times 10^{-5} \text{Clay} - 5.2 \times 10^{-5} \text{TNV} - 0.00129P$$

نفوذپذیری خاک بر اساس سرعت نهایی نفوذ آب در خاک با استفاده از روش استوانه‌های مضاعف (۳۸) تعیین شد.

در این رابطه K_2 عامل فرسایش‌پذیری خاک (تن در هکتار در ساعت بر هکتار مگاژول در میلی‌متر)، Clay میزان رس (درصد)، TNV کلسیم کربنات معادل (درصد)، P نفوذپذیری خاک (سانتی‌متر بر ساعت) (۱۰) می‌باشد.

(۴)

$$K_3 = 0.0254 - 0.0031P - 0.0016MWD - 8 \times 10^{-5} \text{TNV} + 1.36 \times 10^{-4} \text{VFS}$$

ارزش ویژه^۳ بیش از یک در نظر گرفته شدند. بعد از انتخاب تعداد مؤلفه‌های اصلی، درون هر مؤلفه، ویژگی که دارای بیش‌ترین وزن باشد به همراه ویژگی‌هایی که دارای اختلاف کم‌تر از ۱۰ درصد با آن باشند به عنوان حداقل ویژگی‌های موثر بر کیفیت خاک (MDS) انتخاب شدند. در صورت انتخاب بیش از یک ویژگی برای هر مؤلفه، ویژگی‌های با ضرایب همبستگی بالا ($r > 0.6$) و وزن پایین‌تر حذف شدند (۳۸). در این مطالعه از روش‌های نمره‌دهی خطی (LS)^۴ و غیرخطی (NLS)^۵ استفاده شد. در روش نمره‌دهی خطی به منظور نمره‌دهی ویژگی‌های مختلف، دو نوع تابع بیش‌تر-بهرتر^۶، کم‌تر-بهرتر^۷ مورد استفاده قرار گرفت. پارامترهای توابع نمره‌دهی خطی بر اساس بررسی منابع و پژوهش‌های انجام شده (۴۶ و ۳۹) تعیین شدند (جدول ۱). تابع نمره‌دهی غیرخطی با استفاده از رابطه ۶ به دست آمد (۴).

در رابطه ۴، k_3 عامل فرسایش‌پذیری خاک (تن در هکتار در ساعت بر هکتار مگاژول در میلی‌متر)، P نفوذپذیری خاک (سانتی‌متر بر ساعت) (۱۰)، MWD پایداری خاکدانه‌ها به روش الک تر (میلی‌متر)، TNV کلسیم کربنات معادل (درصد)، VFS شن خیلی ریز (درصد) می‌باشد.

جهت بررسی تاثیرپذیری ویژگی‌های خاک حاصل از تغییر کاربری جنگل به کاربری زراعی (۳۵) شاخص حساسیت^۱ جداگانه برای هر عمق با استفاده از رابطه ۵ محاسبه گردید:

$$SI = \frac{(MI_A - MI_N)}{MI_N} \times 100 \quad (5)$$

در این رابطه SI شاخص حساسیت (درصدی از تغییرات)، MI_N ویژگی اندازه‌گیری شده در زیست‌بوم طبیعی (جنگل)، MI_A ویژگی اندازه‌گیری شده در زیست‌بوم زراعی می‌باشد. هم‌چنین نسبت لایه‌بندی^۲ برای هر کاربری اراضی از نسبت مقدار ویژگی اندازه‌گیری شده در لایه سطحی به لایه زیرسطحی محاسبه گردید (۲۲)؛ به طوری که صرف نظر از ویژگی مورد نظر، کاربری دارای نسبت لایه‌بندی بیش‌تر از کیفیت خاک بالاتری برخوردار است (۳۲ و ۱۴).

محاسبه شاخص کیفیت خاک

جهت کاهش تعداد متغیرهای مورد مطالعه و ایجاد مؤلفه‌های مستقل از هم، برای تعیین ویژگی‌هایی که بیش‌ترین نقش را در توجیه تغییرات ویژگی‌های خاک دارند، از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA)، استفاده شد. به این ترتیب که مطابق روش گواترتس و همکاران (۲۵) مؤلفه‌های اصلی با

$$NLS = \quad (6)$$

$$\frac{1}{1 + \left(\frac{X}{X_m}\right)^b}$$

در رابطه ۶، NLS تابع نمره‌دهی غیرخطی، X مقدار ویژگی خاک اندازه‌گیری شده، X_m میانگین ویژگی مورد نظر، b شیب معادله که برای معادله بیش‌تر-بهرتر و کم‌تر-بهرتر به ترتیب عدد ۲/۵- و ۲/۵+ استفاده می‌شود.

- 3- Eigen value
- 4- Linear scoring
- 5- No-linear scoring
- 6- More is better
- 7- Less is better

- 1- Sensitivity index
- 2- Stratification ratio

سمیع خشک اسطلخی و همکاران: اثر تغییر کاربری اراضی بر فرسایش پذیری...

جدول (۱) توابع نمره‌دهی برای حداقل ویژگی‌های موثر بر کیفیت خاک

Table (1) Scoring functions for minimum data set

تایع نمره‌دهی خطی Linear scoring function	U	L	نوع تایع نمره‌دهی Scoring function type	ویژگی خاک Soil property
$M(x) = \begin{cases} 0.1 & x \leq L \\ (0.9 \times \frac{x-L}{U-L} + 0.1) & L \leq x \leq U \\ 1 & x \geq U \end{cases}$	1.93	0.03	بیش‌تر- بهتر More is better	میانگین وزنی قطر خاکدانه MWD (mm)
$L(x) = \begin{cases} 1 & x \leq L \\ (1 - 0.9 \times \frac{x-L}{U-L}) & L \leq x \leq U \\ 0.1 & x \geq U \end{cases}$	4.65	0.24	بیش‌تر- بهتر More is better	ماده آلی Organic matter (%)
	1.73	1.2	کم‌تر- بهتر Less is better	جرم مخصوص ظاهری خاک Bulk density (g. cm ⁻³)
	0.07	0.01	کم‌تر- بهتر Less is better	عامل فرسایش پذیری خاک به روش استواری K ₃ (ton. ha. h. ha ⁻¹ . Mj ⁻¹ . mm ⁻¹)

L و U به ترتیب حد پایین و حد بالا، x ویژگی مورد نظر، M(x) تایع نمره‌دهی خطی بیش‌تر- بهتر، L(x) تایع نمره‌دهی خطی کم‌تر- بهتر
L and U are the lower and the upper threshold values, respectively. X is the indicator value, M(x) and L(x) are 'more is better' and 'less is better' linear scoring functions.

نتایج و بحث

خلاصه آماری ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در جدول ۲ ارائه شده است و مبنی بر طبقه‌بندی والینگ و وب^۵ (۶۲) ویژگی‌های با ضریب تغییرات کم‌تر از ۱۵ درصد، ۱۵ تا ۳۵ درصد و بیش‌تر از ۳۵ درصد به ترتیب نشان‌دهنده تغییرپذیری پایین، متوسط و بالا است و با توجه به نتایج، کلسیم کربنات معادل از تغییرپذیری بالا برخوردار بود (۶). بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثر کاربری و عمق خاک بر جرم مخصوص ظاهری و درصد ذرات معدنی خاک معنی‌دار نبود ($p > 0.05$). بافت خاک منطقه مطالعاتی به طور میانگین با دارا بودن میزان ۵۱/۵۰ درصد رس، ۲۸/۳۰ درصد سیلت و ۲۰/۲۳ درصد شن در کلاس رسی قرار گرفت (جدول ۲).

در نهایت شاخص کیفیت خاک^۱ (SQI) بر اساس

ویژگی‌های MDS مطابق رابطه ۷ محاسبه شد (۳).

$$SQI = \sum_{i=1}^N W_i N_i \quad (7)$$

در رابطه ۷، W_i وزن ویژگی‌های MDS است که با استفاده از نسبت سهم^۲ حاصل از تجزیه عامل^۳ به مجموع سهم‌های مورد نظر به دست آمد (۴۶) و N_i نمره ویژگی‌های MDS می‌باشد.

نرمال بودن داده‌ها با آزمون کولموگوروف-اسمیرنوف^۴ در نرم افزار SPSS نسخه ۲۶ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور کاربری (در سه سطح) و عمق خاک (در دو سطح) در نرم افزار SAS نسخه ۹ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد و آنالیز تجزیه به مولفه‌های اصلی و ضریب همبستگی پیرسون در نرم افزار SPSS نسخه ۲۶ انجام شد. نمودارها توسط EXCEL رسم گردید.

جدول (۲) توصیف آماری ویژگی‌های خاک

Table (2) Descriptive statistics of measured soil properties

ضریب تغییرات CV (%)	دامنه تغییرات Range	میانگین Mean	واحد Unit	ویژگی خاک Soil property
6.51	1.29- 1.69	1.58	g. cm ⁻³	جرم مخصوص ظاهری خاک Bulk density
14.66	40.21- 66.50	51.49	%	رس Clay
12.11	20.70- 35.90	28.29	%	سیلت Silt
23.82	12.80- 25.91	20.23	%	شن Sand
12.11	4.46- 7.73	6.07	%	شن خیلی ریز VFS
22.00	0.71- 4.98	3.33	%	ماده آلی OM
52.18	0.25- 18.70	9.60	%	کلسیم کربنات معادل CaCO ₃
18.84	1.07- 3.02	2.16	mm	میانگین وزنی قطر خاکدانه MWD
0.38	1.00- 1.01	1.00	mm	میانگین هندسی قطر خاکدانه GMD
23.29	0.94- 6.68	4.19	%	شاخص پایداری ساختمان خاک SSI
15.48	0.0150- 0.0293	0.0214	ton. ha. h. ha ⁻¹ . Mj ⁻¹ . mm ⁻¹	عامل فرسایش پذیری خاک به روش نمودار گراف ویشمایر K ₁
4.22	0.0079- 0.0096	0.0088	ton. ha. h. ha ⁻¹ . Mj ⁻¹ . mm ⁻¹	عامل فرسایش پذیری خاک به روش واعظی K ₂
3.34	0.0203- 0.0235	0.0219	ton. ha. h. ha ⁻¹ . Mj ⁻¹ . mm ⁻¹	عامل فرسایش پذیری خاک به روش استواری K ₃

VFS: Very fine sand, OM: Organic matter, MWD: Mean weight diameter of aggregates, GMD: Mean geometric diameter of aggregates, SSI: Soil structure stability index, K₁: Soil erodibility factor by Wischmeier's nomograph method, K₂: Soil erodibility factor by Vaezi method, K₃: Soil erodibility factor by Ostovari method.

کربنات معادل در خاک‌های جنگلی می‌تواند به علت آبشویی و انتقال کربنات‌ها به لایه‌های پایین‌تر خاک باشد (۱۵ و ۶). نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر عمق خاک بر ماده آلی معنی‌دار بود (p ≤ 0.01)؛ به طوری که میانگین ماده آلی در عمق سطحی و زیر سطحی به ترتیب ۴/۰۸ و ۲/۵۸ درصد بود و با افزایش عمق خاک میزان ماده آلی خاک کاهش معنی‌داری در هر سه کاربری نشان داد (شکل ۲-ب). نتایج مشابهی توسط تولیمیر و همکاران^۱ (۵۶) و گاجیک^۲ (۲۳) گزارش شده است. وجود

بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثر کاربری اراضی بر میزان کلسیم کربنات معادل معنی‌دار شد (p ≤ 0.05). نتایج مقایسه میانگین‌ها (شکل ۲-الف) نشان داد که کاربری جنگل کم‌ترین مقدار کلسیم کربنات معادل در هر دو عمق سطحی و زیر سطحی را دارا بود و نسبت به کاربری زراعی اختلاف معنی‌داری نشان داد؛ به طوری که کاربری زراعی در هر دو عمق سطحی و زیر سطحی (به ترتیب ۱۰/۶۴ و ۱۳/۲۰ درصد) در مقایسه با کاربری جنگل (به ترتیب ۷/۸۰ و ۶/۹۵ درصد) دارای میزان کلسیم کربنات معادل بیش‌تری بود. مقادیر کم‌تر کلسیم

1- Tolimir et al.

2- Gajic

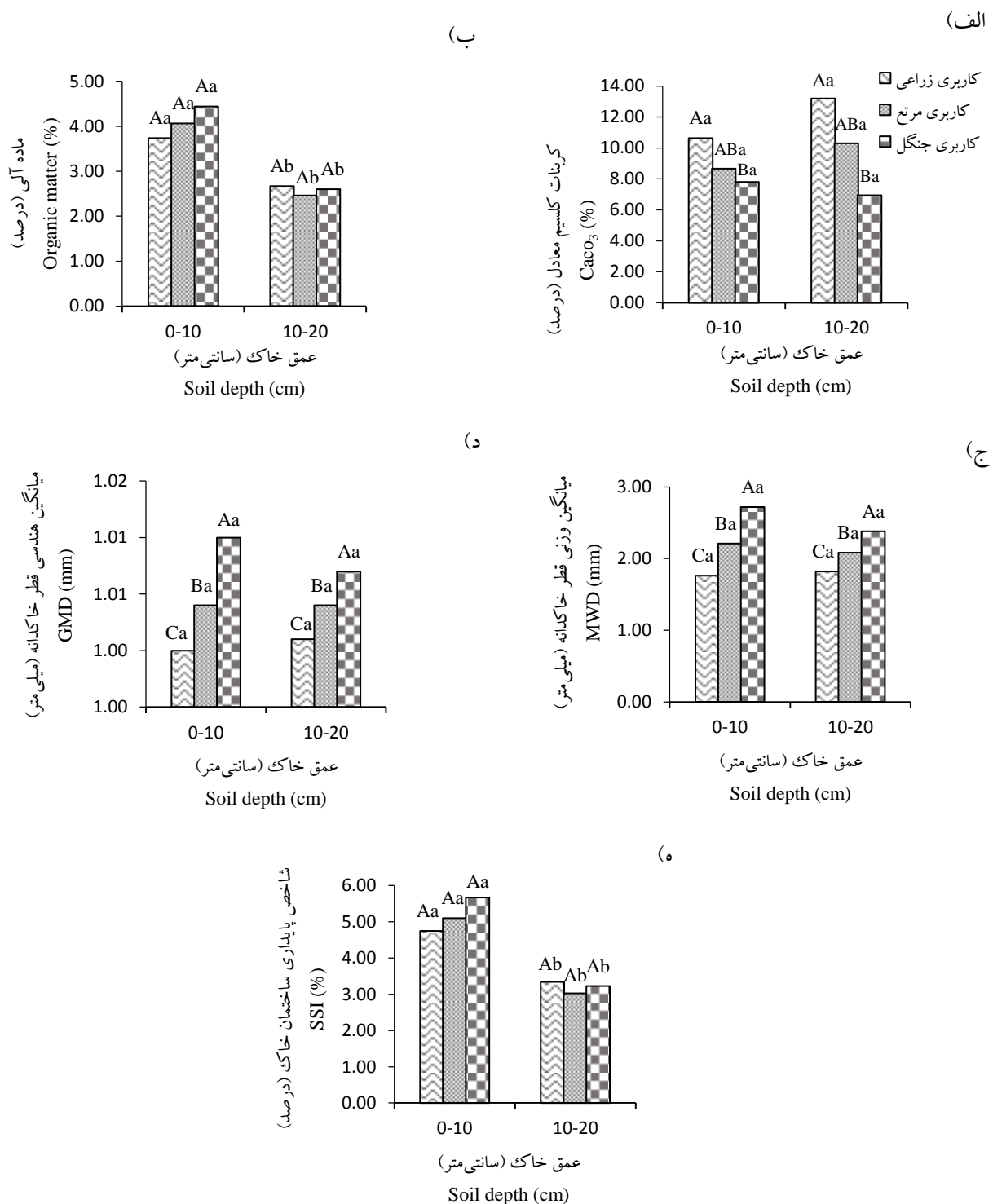
گرفته است و هم‌چنین خطر تخریب ساختمان در عمق ۱۰ تا ۲۰ سانتی‌متر زیاد است (۴۵).

به منظور تعیین عامل فرسایش‌پذیری خاک مناسب جهت پیش‌بینی هدررفت خاک در منطقه مطالعاتی از سه روش نمودار ویشمایر، واعظی و استواری استفاده شد. اثر کاربری و عمق خاک بر عامل فرسایش‌پذیری حاصل از روش نمودار ویشمایر معنی‌داری نشد ($p > 0.05$). اثر عمق خاک بر عامل فرسایش‌پذیری خاک حاصل از روش واعظی معنی‌دار بود ($p \leq 0.05$). بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها مقادیر عامل فرسایش‌پذیری خاک حاصل از روش واعظی با افزایش عمق به طور معنی‌داری کاهش یافته است (شکل ۳-الف) دلیل این امر می‌تواند وجود مقادیر رس بیشتر و سیلت کمتر در عمق زیر سطحی خاک در منطقه مورد مطالعه باشد. در خاک‌های غنی از رس، به دلیل اتصال ذرات خاک با مواد سیمانی مختلف، مقاومت خاک‌ها در برابر پراکندگی و انتقال افزایش می‌یابد (۶۳). هم‌چنین خاک‌های دارای میزان سیلت زیاد، بیش‌تر مستعد فرسایش هستند (۴۹ و ۴۳).

اثر کاربری اراضی بر عامل فرسایش‌پذیری خاک به روش استواری معنی‌دار بود ($p \leq 0.01$)؛ به طوری که کاربری زراعی و مرتع در مقایسه با کاربری جنگل از فرسایش‌پذیری بیش‌تری برخوردار بودند (شکل ۳-ب). بیش‌تر بودن میزان پایداری خاکدانه‌ها و ماده آلی در کاربری جنگل می‌تواند فرسایش‌پذیری کم‌تر این کاربری را در مقایسه با کاربری زراعی و مرتع توجیه کند (شکل ۲-ج و د). پایداری خاکدانه‌ها یکی از عوامل اصلی کنترل فرسایش‌پذیری خاک محسوب شده و بالا بودن میزان پایداری خاکدانه‌ها موجب حفاظت خاک و به حداقل رسانیدن فرسایش خاک می‌شود (۶۹ و ۵۱). شدت عملیات خاکورزی در اراضی زراعی، بازگشت بقایای گیاهی به خاک را محدود می‌کند که منجر به پایین‌تر بودن ماده آلی در کاربری زراعی شده و در نتیجه افزایش میزان هدررفت خاک را به دنبال دارد (۲۸).

بقایای گیاهی و ریشه‌های گسترده در عمق سطحی در کاربری جنگل و مرتع افزایش ماده آلی خاک را به دنبال دارد که این امر می‌تواند موجب بهبود خاکدانه‌سازی نیز شود (۷۰ و ۶۸).

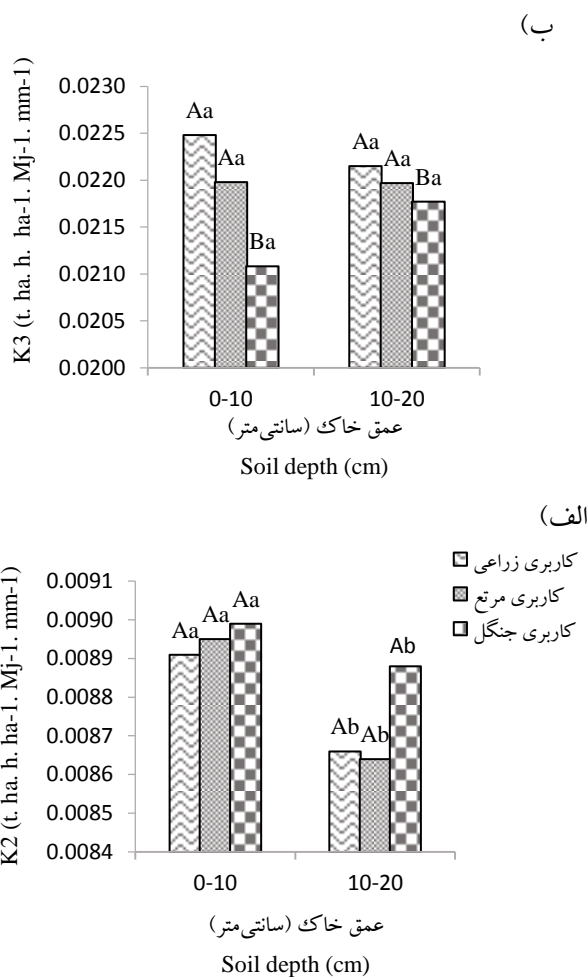
اثر کاربری اراضی بر شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها (GMD و MWD) معنی‌دار بود ($p \leq 0.01$). به طوری که خاک‌های جنگلی و زراعی به ترتیب دارای بیش‌ترین و کم‌ترین GMD و MWD در هر دو عمق مورد بررسی بودند و کاربری مرتع در مقایسه با اراضی زراعی از میانگین MWD و GMD بیش‌تری برخوردار بود (شکل ۲-ج و د) این نتایج با یافته‌های سایر پژوهشگران مطابقت دارد (۳۶ و ۱۵). ماده آلی خاک نقش مهمی در تشکیل و پایداری خاکدانه‌ها دارد (۳۴ و ۳۳) و مقادیر بیش‌تر ماده آلی در خاک‌های مرتع نسبت به اراضی زراعی می‌تواند منجر به بیش‌تر شدن شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها شود (۶۸). از پیامدهای خاکورزی و عملیات زراعی می‌توان به شکسته شدن خاکدانه‌ها و افزایش سرعت تجزیه ماده آلی خاک اشاره کرد (۵۷ و ۱۷). هم‌چنین تبدیل اراضی جنگلی به زراعی تخریب خاکدانه‌های پایدار در آب در لایه شخم را به همراه دارد (۶۷). در پژوهش‌های دیگر بیان شد که خاک‌های کشاورزی در مقایسه با خاک‌های مرتع از پایداری خاکدانه‌های کم‌تری برخوردار هستند (۲۷ و ۲۱). بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثر عمق خاک بر شاخص پایداری ساختمان خاک معنی‌دار بود ($p \leq 0.01$). با افزایش عمق خاک، شاخص پایداری ساختمان خاک کاهش معنی‌داری در هر سه کاربری نشان داد (شکل ۲-ه). میانگین شاخص پایداری ساختمان خاک در عمق سطحی و زیرسطحی به ترتیب ۵/۲۱ و ۳/۲۵ درصد بود باتوجه به دامنه میزان شاخص پایداری ساختمان خاک کوچک‌تر و مساوی ۵ درصد، ۵-۷ درصد، ۷-۹ درصد و بزرگ‌تر و مساوی ۹ درصد باشد به ترتیب بیانگر ساختمان خاک تخریب‌یافته، خطر تخریب ساختمان زیاد، خطر تخریب ساختمان کم و ساختمان پایدار است، نشان می‌دهد عمق ۰ تا ۱۰ سانتی‌متری خاک در کلاس ساختمان خاک تخریب‌یافته قرار



شکل (۲) مقایسه میانگین ویژگی‌های خاک در کاربری و عمق‌های مختلف. (حروف بزرگ مشابه بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بین کاربری‌های مختلف در هر عمق خاک می‌باشد. حروف کوچک مشابه بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بین اعماق مختلف در هر کاربری می‌باشد.)

Figure (2) Mean comparison of soil properties in different land use and soil depth (Same capital letters indicate non-significant differences at $P \leq 0.05$ in each soil depth among different land uses. Same lowercase letters indicate non-significant differences at $P \leq 0.05$ in each land use among different soil depths.)

سمیع خشک اسطلخی و همکاران: اثر تغییر کاربری اراضی بر فرسایش پذیری...



شکل (۳) مقایسه میانگین عامل فرسایش پذیری خاک در کاربری و عمق‌های مختلف. الف) عامل فرسایش پذیری خاک به روش واعظی، ب) عامل فرسایش پذیری خاک به روش استواری. (حروف بزرگ مشابه بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بین کاربری‌های مختلف در هر عمق خاک می‌باشد. حروف کوچک مشابه بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بین اعماق مختلف در هر کاربری می‌باشد.)

Figure (3) Mean comparison of soil erodibility factor in different land use and soil depth. a. K_2 : Soil erodibility factor by Vaezi method, b. K_3 : Soil erodibility factor by Ostovari method. (Same capital letters indicate non-significant differences at $P \leq 0.05$ in each soil depth among different land uses. Same lowercase letters indicate non-significant differences at $P \leq 0.05$ in each land use among different soil depths.)

زراعی و مقدار کلسیم کربنات معادل در اراضی زراعی بیش تر از جنگلی بود. وارسته خانلری و همکاران^۱ (۵۹) در مطالعه‌ای به محاسبه شاخص حساسیت کاربری جنگل در مقایسه با اراضی شالیزاری پرداختند و دریافتند که کاربری جنگل از مقادیر کربن آلی و میانگین وزنی قطر خاکدانه بالاتری برخوردار بود. هم‌چنین در عمق ۰ تا ۱۰ سانتی‌متر خاک، شاخص حساسیت برای عامل فرسایش پذیری خاک

شاخص حساسیت ویژگی‌های خاک در دو عمق مورد بررسی (شکل ۴-الف) نشان داد که کلسیم کربنات معادل، ماده آلی، MWD و شاخص پایداری ساختمان خاک نسبت به سایر ویژگی‌ها به تغییر کاربری حساس تر بودند؛ هم‌چنین در عمق سطحی خاک از شاخص حساسیت بالاتری در مقایسه با عمق زیرسطحی برخوردار بودند. بیش‌ترین شاخص حساسیت در عمق سطحی و زیر سطحی (به ترتیب ۳۶/۴۱ و ۸۹/۹۳ درصد) مربوط به کلسیم کربنات معادل بود. در هر دو عمق مورد بررسی مقادیر MWD در اراضی جنگلی بیش‌تر از

1- Varasteh Khanlari *et al.*

از بین سه عامل فرسایش‌پذیری مورد بررسی تنها اثر کاربری اراضی بر عامل فرسایش‌پذیری خاک به روش استواری معنی‌دار بود. بنابراین عامل فرسایش‌پذیری خاک به روش استواری به عنوان ویژگی موثر در تجزیه به مولفه‌های اصلی در نظر گرفته شد؛ زیرا جزو ویژگی‌های بالاترین سهم و اختلاف کم‌تر از ۱۰ درصد نیز قرار گرفت. در نتایج حاصل از تجزیه به مولفه‌های اصلی، سه مولفه اصلی دارای ارزش ویژه بزرگ‌تر از ۱ بودند، به طوری که مولفه اول، دوم و سوم به ترتیب ۳۹/۴۸، ۳۱/۸۷ و ۱۶/۸۵ درصد از واریانس کل و در مجموع ۸۷/۲ درصد از واریانس کل را تبیین کردند.

در مولفه اول جرم مخصوص ظاهری و شاخص پایداری ساختمان به عنوان ویژگی‌های بالاترین سهم و اختلاف کم‌تر از ۱۰ درصد بودند. اما با توجه ضریب همبستگی جرم مخصوص ظاهری با شاخص پایداری ساختمان خاک ($r = -0.921$) (جدول ۴)، جرم مخصوص ظاهری به عنوان MDS انتخاب شد. ویژگی‌های با بیش‌ترین سهم یا بزرگ‌ترین مقادیر بردار ویژه در مولفه دوم شامل MWD و GMD همبستگی معنی‌داری ($r = 0.984$) با یکدیگر داشتند (جدول ۴) و MWD با دارا بودن وزن بیش‌تر به عنوان MDS انتخاب گردید. در مولفه سوم عامل فرسایش‌پذیری خاک، ماده آلی و شاخص پایداری ساختمان خاک به عنوان ویژگی‌های بالاترین سهم و اختلاف کم‌تر از ۱۰ درصد بودند که عامل فرسایش‌پذیری خاک و ماده آلی به عنوان MDS در نظر گرفته شدند. در نهایت جرم مخصوص ظاهری، MWD، عامل فرسایش‌پذیری به روش استواری و ماده آلی به عنوان MDS انتخاب شدند، عامل فرسایش‌پذیری خاک از جمله ویژگی‌های تاثیرپذیر از تغییر کاربری اراضی به شمار می‌آید که به طور مشابه در مطالعات داوری و همکاران^۲ (۱۵) و نبی‌اللهی و همکاران^۳ (۳۸) به عنوان مجموعه داده حداقل انتخاب شد. وزن‌های تعلق یافته به مجموعه MDS در جدول ۳ نشان داده شده است.

به روش‌های نمودار ویشمیر و استواری به ترتیب ۴/۹۲ و ۶/۶۴ بود که نشان می‌دهد در اثر تبدیل کاربری جنگل به زراعی فرسایش‌پذیری خاک افزایش داشته است.

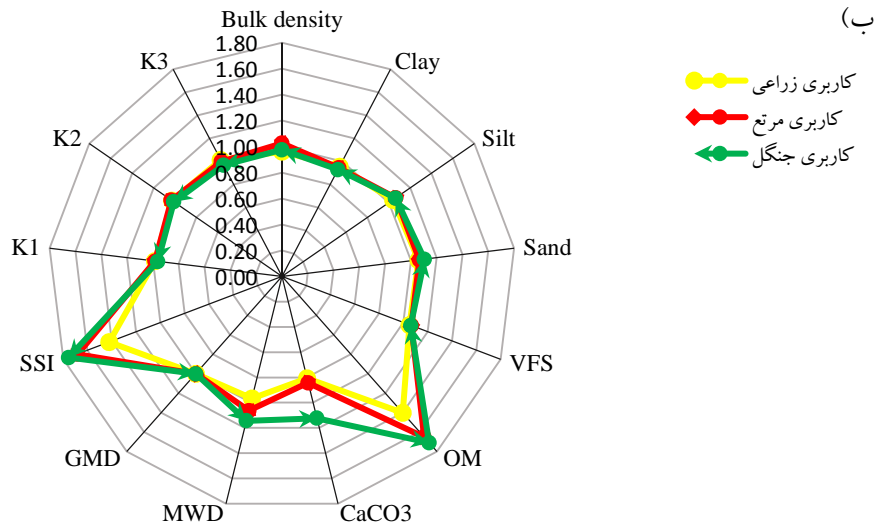
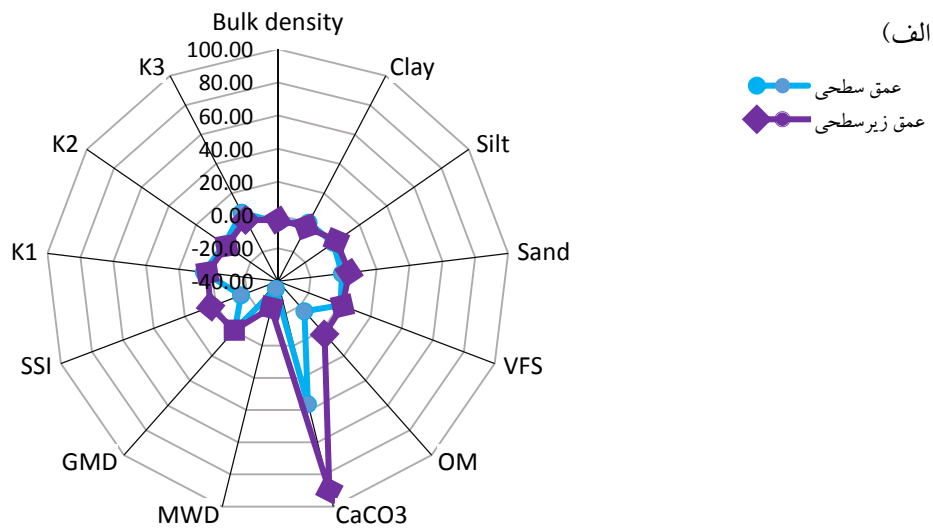
پ نسبت لایه‌بندی در سه کاربری زراعی، مرتع و جنگل به ترتیب در دامنه ۰/۸۱ تا ۱/۴۲، ۰/۷۶ تا ۱/۶۸ و ۰/۹۳ تا ۱/۷۶ بود و اغلب ویژگی‌های خاک در کاربری مرتع و جنگل در مقایسه با کاربری زراعی از نسبت لایه‌بندی بیش‌تری برخوردار بودند. همانطور که در شکل ۴- ب مشاهده می‌شود، نسبت لایه‌بندی میزان کلسیم کربنات معادل در کاربری جنگل (۱/۱۲) در مقایسه با زراعی (۰/۸۱) و مرتع (۰/۸۴) بالاتر بود. نسبت لایه‌بندی ماده آلی در کاربری مرتع و جنگل (به ترتیب ۱/۶۵ و ۱/۷۱) بسیار نزدیک به نسبت لایه‌بندی شاخص پایداری ساختمان خاک در این دو کاربری (به ترتیب ۱/۶۸ و ۱/۷۶) می‌باشد. بابو و همکاران^۱ (۷) مقادیر بیش‌تر نسبت لایه‌بندی را برای کربن آلی در جنگل دست نخورده و مرتع گزارش کردند. مقادیر نسبت لایه‌بندی بیش‌تر از ۱/۵ برای تشخیص اثر تغییر کاربری اراضی بر کیفیت خاک از اهمیت بیش‌تری برخوردار است (۲۲). بر همین اساس با توجه به مقادیر بیش‌تر از ۱/۵ نسبت لایه‌بندی ماده آلی و شاخص پایداری ساختمان خاک می‌توان اظهار داشت که این ویژگی‌ها می‌توانند تخریب کیفیت خاک در اثر تغییر کاربری را به خوبی نشان دهند (۴۷). نتایج تجزیه به مولفه‌های اصلی نیز این موضوع را تایید می‌کند چرا که ماده آلی و شاخص پایداری ساختمان خاک جزء ویژگی‌های بالاترین سهم و اختلاف کم‌تر از ۱۰ درصد قرار گرفتند (جدول ۳). از آنجایی که وجود ماده آلی در سطح خاک جهت کنترل فرسایش، نفوذپذیری و محافظت از عناصر غذایی مورد نیاز گیاه ضروری است، در ارزیابی نسبت لایه‌بندی اهمیت زیادی دارد (۱۴). با تغییر پوشش گیاهی طبیعی به زیست‌بوم‌های کشاورزی به دلیل مخلوط شدن خاک سطحی و زیرسطحی و کاهش لایه‌بندی ماده آلی خاک، کیفیت خاک کاهش می‌یابد (۵۰).

2- Nabiollahi et al.

3- Davari et al.

1- Babu et al.

سمیع خشک اسطلخی و همکاران: اثر تغییر کاربری اراضی بر فرسایش پذیری...



شکل (۴) الف) شاخص حساسیت ویژگی های خاک و ب) نسبت لایه بندی ویژگی های خاک. Bulk density: جرم مخصوص ظاهری خاک، رس، Clay: رس، Silt: سیلت، Sand: شن، VFS: شن خیلی ریز، OM: ماده آلی، CaCO_3 : کلسیم کربنات معادل، MWD: میانگین وزنی قطر خاکدانه، GMD: میانگین هندسی قطر خاکدانه، SSI: شاخص پایداری ساختمان خاک، عامل فرسایش پذیری به روش K_1 : نمودارگراف ویشمایر، K_2 : واعظی، K_3 : استواری.

Figure (4) a. Sensitivity index of soil properties, b. Stratification ratio of soil properties. VFS: Very fine sand, OM: Organic matter, MWD: Mean weight diameter of aggregates, GMD: Mean geometric diameter of aggregates, SSI: Soil structure stability index, K_1 : Soil erodibility factor by Wischmeier's nomograph method, K_2 : Soil erodibility factor by Vaezi method, b. K_3 : Soil erodibility factor by Ostovari method.

کاربری اختلاف معنی داری ندارند؛ اما شاخص کیفیت خاک سطحی به طور معنی داری بیشتر از خاک زیرسطحی است (شکل ۵-الف). اثر کاربری اراضی و

شاخص کیفیت خاک به دو روش نمره دهی خطی و غیرخطی محاسبه گردید. نتایج نشان داد که میانگین شاخص کیفیت خاک به روش نمره دهی خطی بین سه

عمق بر شاخص کیفیت خاک به روش نمره‌دهی غیرخطی معنی‌دار بود. نتایج مشابهی توسط سایر پژوهشگران (۶۷ و ۳۸) گزارش شد. بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها (شکل ۵-ب) کاربری جنگل از بیش‌ترین شاخص کیفیت خاک به روش نمره‌دهی غیرخطی در هر دو عمق سطحی و زیرسطحی برخوردار بود و نسبت به کاربری مرتع و زراعی اختلاف معنی‌داری نشان داد. هم‌چنین با افزایش عمق، کاهش معنی‌دار شاخص کیفیت خاک در هر سه کاربری مشاهده شد. بیش‌ترین و کم‌ترین شاخص کیفیت خاک به روش نمره‌دهی غیرخطی به ترتیب مربوط به عمق سطحی کاربری جنگل (۰/۵۸) و عمق زیرسطحی کاربری زراعی (۰/۴۳) بود که بر اساس طبقه‌بندی نبی‌اللهی و همکاران^۱ (۳۸) به ترتیب در کلاس I و III کیفیت خاک قرار دارند. بنابراین شاخص کیفیت خاک به روش نمره‌دهی غیرخطی نسبت به روش نمره‌دهی خطی تفاوت کلاس کیفیت خاک بین کاربری‌های مختلف را بهتر نشان می‌دهد. برخی محققین معتقدند که استفاده از روش‌های غیرخطی برای تعیین کیفیت خاک اگرچه دشوار است اما می‌تواند کارکردهای سیستم خاک را بهتر از روش خطی نشان دهد (۴۸ و ۵). گوا و همکاران^۲ (۲۶) در مقایسه روش‌های مختلف ارزیابی کیفیت خاک برتری روش‌های خطی بر غیرخطی را گزارش کردند. آنان علت احتمالی این مسئله را این‌گونه بیان کردند که روش‌های غیرخطی نیاز به اطلاعات کامل‌تری در مورد سیستم‌های خاک و گیاه در منطقه مورد مطالعه نسبت به روش‌های خطی دارند؛ اما با این حال امکان افزایش دقت روش‌های غیرخطی از طریق اصلاح پارامترهای مدل وجود دارد.

1- Nabiollahi et al.

2- Guo et al.

سمیع خشک اسطلخی و همکاران: اثر تغییر کاربری اراضی بر فرسایش پذیری...

جدول (۳) نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، سهم و وزن ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک برای سه مؤلفه اول.

Table (3) Results of principle component analysis, communalities and weight values of soil quality indicators for the first 3 PCs.

وزن Weight	سهم Communalities	مؤلفه ۳ PC3	مؤلفه ۲ PC2	مؤلفه ۱ PC1	
		1.685	3.187	3.948	ارزش ویژه Eigenvalue
		16.851	31.870	39.477	درصد واریانس Percentage of variance
		88.198	71.347	39.477	درصد واریانس تجمعی Cumulative percentage
					بردارهای ویژه Eigenvectors
0.251	0.942	0.361	0.013	<u>-0.901</u>	جرم مخصوص ظاهری خاک Bulk density
		-0.297	0.691	-0.624	رس Clay
		0.337	-0.687	0.618	سیلت Silt
		0.327	-0.680	0.622	شن خیلی ریز VFS
0.253	0.950	<u>-0.532</u>	0.190	0.794	ماده آلی Organic matter
		0.356	-0.364	-0.106	کلسیم کربنات معادل CaCO ₃
0.259	0.973	0.372	<u>0.780</u>	0.476	میانگین وزنی قطر خاکدانه MWD
		0.407	0.761	0.461	میانگین هندسی قطر خاکدانه GMD
		-0.492	0.119	0.838	شاخص پایداری ساختمان خاک SSI
0.237	0.889	<u>-0.539</u>	-0.637	-0.439	عامل فرسایش پذیری خاک به روش استواری K ₃

اعداد پررنگ به عنوان بیشترین وزن در نظر گرفته شدند. اعداد پررنگ که زیر آنها خط کشیده شده است، به عنوان MDS انتخاب شدند.

Bold factor loadings are considered highly weighed, and underlined bold represent soil properties selected as MDS.

جدول (۴) ماتریس ضرایب همبستگی برای مؤلفه‌های با بیشترین وزن برای ۳ مؤلفه اول.

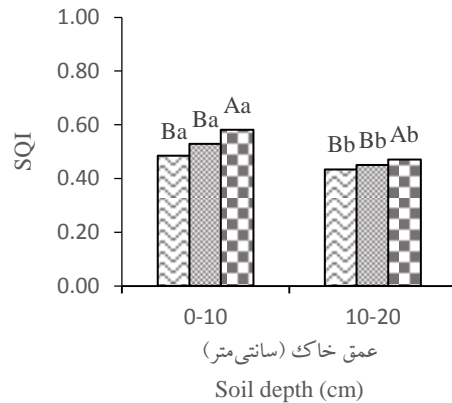
Table (4) Correlations matrix s for the highly weighted variables under the first 3 PCs.

K ₃	SSI	GMD	MWD	Organic matter	Bulk density	
					1	جرم مخصوص ظاهری خاک Bulk density
				1	-0.893**	ماده آلی Organic matter
			1	0.303*	-0.272*	میانگین وزنی قطر خاکدانه MWD
		1	0.984**	0.266*	-0.245	میانگین هندسی قطر خاکدانه GMD
	1	0.250	0.286*	0.994**	-0.921**	شاخص پایداری ساختمان خاک SSI
1	-0.229	-0.843**	-0.859**	-0.238	0.218	عامل فرسایش پذیری خاک به روش استواری K ₃

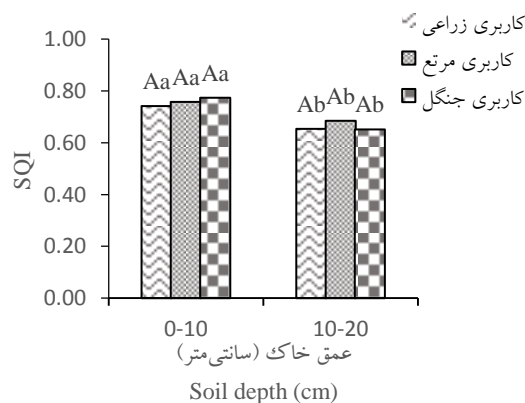
* و ** به ترتیب معنی داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد می باشد.

* and ** represent significant at P < 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.

(ب)



(الف)



شکل (۵) مقایسه میانگین شاخص کیفیت خاک به روش الف) نمره‌دهی خطی و ب) نمره‌دهی غیرخطی در کاربری و عمق‌های مختلف. (حروف بزرگ مشابه بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بین کاربری‌های مختلف در هر عمق خاک می‌باشد. حروف کوچک مشابه بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بین اعماق مختلف در هر کاربری می‌باشد.)

Figure (5) Mean comparison of soil quality index by a. linear scoring method and b. nonlinear scoring method in different land use and soil depth. (Same capital letters indicate non-significant differences at $P \leq 0.05$ in each soil depth among different land uses. Same lowercase letters indicate non-significant differences at $P \leq 0.05$ in each land use among different soil depths.)

ماده آلی و عامل فرسایش‌پذیری خاک به روش استواری بیشترین تأثیر را بر کیفیت خاک منطقه مورد مطالعه داشتند. با توجه به مقادیر بیش‌تر از ۱/۵ نسبت لایه‌بندی ماده آلی و شاخص پایداری ساختمان خاک می‌توان اظهار داشت که این ویژگی‌ها می‌توانند تخریب کیفیت خاک در اثر تغییر کاربری را به خوبی نشان دهند. ارزیابی کیفیت خاک نشان داد که در رابطه با اثر کاربری اراضی بر شاخص کیفیت خاک، روش نمره‌دهی غیرخطی بر نمره‌دهی خطی برتری دارد، به نحوی که کاربری جنگل

نتیجه‌گیری

در این مطالعه اثر تغییر کاربری اراضی جنگلی به مرتع و کشاورزی بر فرسایش‌پذیری و ویژگی‌های موثر بر کیفیت خاک در سی‌دشت استان گیلان مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این پژوهش نشان داد که از بین سه عامل فرسایش‌پذیری به روش‌های نمودار ویشمایر، واعظی و استواری تنها اثر کاربری اراضی بر عامل فرسایش‌پذیری خاک به روش استواری معنی‌دار بود. چهار ویژگی جرم مخصوص ظاهری خاک، میانگین وزنی قطر خاکدانه،

و زراعی به ترتیب از بیشترین و کمترین شاخص کیفیت خاک به روش نمره‌دهی غیرخطی برخوردار بودند و با افزایش عمق شاخص کیفیت خاک کاهش یافت. بنابراین می‌توان اظهار داشت که تغییر کاربری اراضی کاهش کیفیت خاک و تخریب اراضی را به دنبال داشته است و جنگل‌ها نقش مهمی در پایداری اکوسیستم دارند. از اینرو با توجه به حساسیت زیاد کیفیت خاک به تغییر کاربری اراضی، جلوگیری از تغییر کاربری اراضی از اقدامات ضروری به منظور مدیریت پایدار خاک در منطقه مورد مطالعه به شمار می‌رود.

Reference

- 1- Acton, D. F., and Gregorich, L. J. 1995. The health of our soils: toward sustainable agriculture in Canada.
- 2- Adhikary, P. P., Tiwari, S. P., Mandal, D., Lakaria, B. L., and Madhu, M. 2014. Geospatial comparison of four models to predict soil erodibility in a semi-arid region of Central India. *Environmental earth sciences*, 72(12): 5049-5062.
- 3- Andrews, S. S., Karlen, D. L., and Mitchell, J. P. 2002. A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in Northern California. *Agriculture, ecosystems & environment*, 90(1): 25-45.
- 4- Askari, M. S., and Holden, N. M. 2015. Quantitative soil quality indexing of temperate arable management systems. *Soil and Tillage Research*, 150: 57-67.
- 5- Askari, M. S., and Holden, N. M. 2014. Indices for quantitative evaluation of soil quality under grassland management. *Geoderma*, 230: 131-142.
- 6- Ayoubi, S., and Moazzeni Dehaghani, S. 2020. Identifying impacts of land use change on soil redistribution at different slope positions using magnetic susceptibility. *Arabian Journal of Geosciences*, 13: 1-11.
- 7- Babu, S., Mohapatra, K. P., Yadav, G. S., Lal, R., Singh, R., Avasthe, R. K., Das, A., Chandra, P., Gudade, B. A., and Kumar, A. 2020. Soil carbon dynamics in diverse organic land use systems in North Eastern Himalayan ecosystem of India. *Catena*, 194: 104785.
- 8- Bayabil, H. K., Dile, Y. T., Tebebu, T. Y., Engda, T. A., & Steenhuis, T. S. 2019. Evaluating infiltration models and pedotransfer functions: Implications for hydrologic modeling. *Geoderma*, 338, 159-169.
- 8- Bakhshandeh, E., Hossieni, M., Zeraatpisheh, M., and Francaviglia, R. 2019. Land use change effects on soil quality and biological fertility: a case study in northern Iran. *European Journal of Soil Biology*, 95: 103119.
- 9- Banaei, H. M. 1998. Soil moisture and temperature regimes map of Iran (1: 2500000). Soil and Water Research Institute. (in Persian)
- 10- Bayabil, H. K., Dile, Y. T., Tebebu, T. Y., Engda, T. A., and Steenhuis, T. S. 2019. Evaluating infiltration models and pedotransfer functions: Implications for hydrologic modeling. *Geoderma*, 338: 159-169.
- 11- Blake, G. R., and Hartge, K. H. 1986. Bulk density. *Methods of soil analysis: Part 1 Physical and mineralogical methods*, 5, 363-375.
- 12- Bonilla, C. A., and Johnson, O. I. 2012. Soil erodibility mapping and its correlation with soil properties in Central Chile. *Geoderma*, 189: 116-123.

- 13- Chandel, S., Hadda, M. S., and Mahal, A. K. 2018. Soil quality assessment through minimum data set under different land uses of submontane Punjab. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 49(6): 658-674.
- 14- Corral-Fernández, R., Parras-Alcántara, L., and Lozano-García, B. 2013. Stratification ratio of soil organic C, N and C: N in Mediterranean evergreen oak woodland with conventional and organic tillage. *Agriculture, ecosystems and environment*, 164: 252-259.
- 15- Davari, M., Gholami, L., Nabiollahi, K., Homaei, M., and Jafari, H. J. 2020. Deforestation and cultivation of sparse forest impacts on soil quality (case study: West Iran, Baneh). *Soil and Tillage Research*, 198: 104504.
- 16- Demir, S., Akdoğan, Y., İrfan, O. G. U. Z., and Koçyiğit, R. 2021. Comparison of the K factor in different areas on the slope. *Journal of New Results in Science*, 10(1): 46-53.
- 17- Dou, Y., Yang, Y., An, S., and Zhu, Z. 2020. Effects of different vegetation restoration measures on soil aggregate stability and erodibility on the Loess Plateau, China. *Catena*, 185: 104294.
- 18- Duan, L., Sheng, H., Yuan, H., Zhou, Q., and Li, Z. 2021. Land use conversion and lithology impacts soil aggregate stability in subtropical China. *Geoderma*, 389: 114953.
- 19- Duta, H., and Reis, M. 2020. Determining the effects of land use on soil erodibility in the Mediterranean highland regions of Turkey: A case study of the Korsulu stream watershed. *Environmental monitoring and assessment*, 192(3): 1-15.
- 20- Emadi, M., Baghernejad, M., and Memarian, H. R. 2009. Effect of land-use change on soil fertility characteristics within water-stable aggregates of two cultivated soils in northern Iran. *Land Use Policy*, 26(2): 452-457.
- 21- Emadi, M., Emadi, M., Baghernejad, M., Fathi, H., and Saffari, M. 2008. Effect of land use change on selected soil physical and chemical properties in North Highlands of Iran. *Journal of Applied sciences*, 8(3): 496-502.
- 22- Franzluebbers, A. J. 2002. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. *Soil and Tillage Research*, 66(2): 95-106.
- 23- Gajić, B. 2013. Physical properties and organic matter of Fluvisols under forest, grassland, and 100 years of conventional tillage. *Geoderma*, 200: 114-119.
- 24- Gee, G. W., Bauder, J. W., and Klute, A. 1986. *Methods of soil analysis, part 1, physical and mineralogical methods*. Soil Science Society of America Book Series. American Society of Agronomy, Inc. and Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, 404-410.
- 25- 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(2): 163-174.
- 26- Guo, L., Sun, Z., Ouyang, Z., Han, D., and Li, F. 2017. A comparison of soil quality evaluation methods for Fluvisol along the lower Yellow River. *Catena*, 152: 135-143.
- 27- Haghghi, F., Gorji, M., and Shorafa, M. 2010. A study of the effects of land use changes on soil physical properties and organic matter. *Land Degradation & Development*, 21(5): 496-502.
- 28- Huang, T. C., and Lo, K. F. A. 2015. Effects of land use change on sediment and water yields in Yang Ming Shan National Park, Taiwan. *Environments*, 2(1): 32-42.
- 29- Kaviani, A., Azmoodeh, A., and Solaimani, K. 2014. Deforestation effects on soil properties, runoff and erosion in northern Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 7(5): 1941-1950.

- 30- Kemper, W. D., and Rosenau, R. C. 1986. Aggregate stability and size distribution.
- 31- Khalilmoghadam, B., Afyuni, M., Abbaspour, K. C., Jalalian, A., Dehghani, A. A., and Schulin, R. 2009. Estimation of surface shear strength in Zagros region of Iran—a comparison of artificial neural networks and multiple-linear regression models. *Geoderma*, 153(1-2): 29-36.
- 32- Li, D., Gao, G., Lü, Y., and Fu, B. 2016. Multi-scale variability of soil carbon and nitrogen in the middle reaches of the Heihe River basin, northwestern China. *Catena*, 137: 328-339.
- 33- Liu, M., Han, G., Li, Z., Zhang, Q., and Song, Z. 2019. Soil organic carbon sequestration in soil aggregates in the karst Critical Zone Observatory, Southwest China. *Plant, Soil and Environment*, 65(5): 253-259.
- 34- Liu, M., Han, G., Li, Z., Liu, T., Yang, X., Wu, Y., and Song, Z. 2017. Effects of slope position and land use on the stability of aggregate-associated organic carbon in calcareous soils. *Acta Geochimica*, 36(3): 456-461.
- 35- Mganga, K. Z., Razavi, B. S., and Kuzyakov, Y. 2016. Land use affects soil biochemical properties in Mt. Kilimanjaro region. *Catena*, 141: 22-29.
- 36- Molaei, A. M., Salehi, M., Karimian, E. M., and Mosleh, Z. 2020. Effect of Land-Use Change on some Physical and Chemical Indices of Soil Quality in the Bazoft Region, (Chaharmahal-Va-Bakhtiari Province). (in Persian with English Abstract)
- 37- Morgan, R. P. C. 2009. Soil erosion and conservation. John Wiley & Sons.
- 38- 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.
- 39- Nabiollahi, K., Taghizadeh-Mehrjardi, R., Kerry, R., and Moradian, S. 2017. Assessment of soil quality indices for salt-affected agricultural land in Kurdistan Province, Iran. *Ecological indicators*, 83: 482-494.
- 40- Novara, A., Keesstra, S., Cerdà, A., Pereira, P., and Gristina, L. 2016. Understanding the role of soil erosion on CO₂-C loss using ¹³C isotopic signatures in abandoned Mediterranean agricultural land. *Science of the Total Environment*, 550: 330-336.
- 41- Ostovari, Y., Ghorbani-Dashtaki, S., Kumar, L., and Shabani, F. 2019. Soil erodibility and its prediction in semi-arid regions. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 65(12): 1688-1703.
- 42- Ostovari, Y., Ghorbani-Dashtaki, S., Bahrami, H. A., Naderi, M., Dematte, J. A. M., and Kerry, R. 2016. Modification of the USLE K factor for soil erodibility assessment on calcareous soils in Iran. *Geomorphology*, 273: 385-395.
- 43- Pérez-Rodríguez, R., Marques, M. J., and Bienes, R. 2007. Spatial variability of the soil erodibility parameters and their relation with the soil map at subgroup level. *Science of the Total Environment*, 378(1-2): 166-173.
- 44- Pham, T. G., Degener, J., and Kappas, M. 2018. Integrated universal soil loss equation (USLE) and Geographical Information System (GIS) for soil erosion estimation in A Sap basin: Central Vietnam. *International Soil and Water Conservation Research*, 6(2): 99-110.
- 45- Pieri, C. J. M. G. (eds.) 1992. Fertility of soils: a future for farming in the West African Savannah. Springer-Verlag, Berline.
- 46- Rahmanipour, F., Marzaioli, R., Bahrami, H. A., Fereidouni, Z., and Bandarabadi, S. R. 2014. Assessment of soil quality indices in agricultural lands of Qazvin Province, Iran. *Ecological indicators*, 40: 19-26.

- 47- 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.
- 48- Raiesi, F., and Kabiri, V. 2016. Identification of soil quality indicators for assessing the effect of different tillage practices through a soil quality index in a semi-arid environment. *Ecological Indicators*, 71: 198-207.
- 49- Romero, C. C., Stroosnijder, L., and Baigorria, G. A. 2007. Interrill and rill erodibility in the northern Andean Highlands. *Catena*, 70(2): 105-113.
- 50- Sa, J. C. D. M., and Lal, R. 2009. Stratification ratio of soil organic matter pools as an indicator of carbon sequestration in a tillage chronosequence on a Brazilian Oxisol. *Soil and Tillage Research*, 103(1): 46-56.
- 51- Six, J., and Paustian, K. 2014. Aggregate-associated soil organic matter as an ecosystem property and a measurement tool. *Soil Biology and Biochemistry*, 68: A4-A9.
- 52- Soleimani, A., Hosseini, S. M., Bavani, A. R. M., Jafari, M., and Francaviglia, R. 2019. Influence of land use and land cover change on soil organic carbon and microbial activity in the forests of northern Iran. *Catena*, 177: 227-237.
- 53- Song, Y., Liu, L., Yan, P., and Cao, T. 2005. A review of soil erodibility in water and wind erosion research. *Journal of Geographical Sciences*, 15(2): 167-176.
- 54- Sparks, D. L., Page, A. L., Helmke, P. A., Leoppert, R. H., Soltanpour, P. N., Tabatabai, M. A., Johnston, G. T. and Summer, M. E. 1996. *Methods of Soil Analysis*, Soil Science Society of American Journal. Book Series No. 5.
- 55- Taleshian Jeloudar, F., Ghajar Sepanlou, M., and Emadi, M. 2018. Impact of land use change on soil erodibility. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 4(1): 59-70.
- 56- Tolimir, M., Kresović, B., Životić, L., Dragović, S., Dragović, R., Sredojević, Z., and Gajić, B. 2020. The conversion of forestland into agricultural land without appropriate measures to conserve SOM leads to the degradation of physical and rheological soil properties. *Scientific Reports*, 10(1): 1-12.
- 57- Tufa, M., Melese, A., and Tena, W. 2019. Effects of land use types on selected soil physical and chemical properties: the case of Kuyu District, Ethiopia. *Eurasian Journal of Soil Science*, 8(2): 94-109.
- 58- Vaezi, A. R., Sadeghi, S. H. R., Bahrami, H. A., and Mahdian, M. H. 2008. Modeling the USLE K-factor for calcareous soils in northwestern Iran. *Geomorphology*, 97(3-4): 414-423.
- 59- Varasteh Khanlari, Z., Golchin, A., Alamdari, P., and Mosavi Kupar, S. A. 2019. The Effects of Changing Forest Land to Paddy Field on the Physical and Chemical Properties of the Soil and Determining Sensitive Indices to Land Use Change. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 50(8): 1911-1925. (in Persian with English Abstract)
- 60- Vasu, D., Singh, S. K., Ray, S. K., Duraisami, V. P., Tiwary, P., Chandran, P., Nimkar, A. M., and Anantwar, S. G. 2016. Soil quality index (SQI) as a tool to evaluate crop productivity in semi-arid Deccan plateau, India. *Geoderma*, 282: 70-79.
- 61- Walkley, A., and Black, I. A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil science*, 37(1): 29-38.
- 62- Walling, D. E., and Webb, B. W. 1980. The spatial dimension in the interpretation of stream solute behaviour. *Journal of Hydrology*, 47(1-2): 129-149.

- 63- Wang, B., Zheng, F., and Guan, Y. 2016. Improved USLE-K factor prediction: A case study on water erosion areas in China. *International Soil and Water Conservation Research*, 4(3): 168-176.
- 64- Wang, B., Zheng, F., Römken, M. J., and Darboux, F. 2013. Soil erodibility for water erosion: A perspective and Chinese experiences. *Geomorphology*, 187: 1-10.
- 65- Wang, H., Zhang, G. H., Li, N. N., Zhang, B. J., and Yang, H. Y. 2018. Soil erodibility influenced by natural restoration time of abandoned farmland on the Loess Plateau of China. *Geoderma*, 325: 18-27.
- 66- Wischmeier, W. H., Johnson, C. B., and Cross, B. V. 1971. Soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. *Journal of Soil and Water Conservation*, 26(5): 189-193.
- 67- Yu, P., Han, D., Liu, S., Wen, X., Huang, Y., and Jia, H. 2018. Soil quality assessment under different land uses in an alpine grassland. *Catena*, 171: 280-287.
- 68- Zaher, H., Sabir, M., Benjelloun, H., and Paul-Igor, H. 2020. Effect of forest land use change on carbohydrates, physical soil quality and carbon stocks in Moroccan cedar area. *Journal of environmental management*, 254: 109544.
- 69- Zeng, Q., Darboux, F., Man, C., Zhu, Z., and An, S. 2018. Soil aggregate stability under different rain conditions for three vegetation types on the Loess Plateau (China). *Catena*, 167: 276-283.
- 70- Zhao, F. Z., Bai, L., Wang, J. Y., Deng, J., Ren, C. J., Han, X. H., Yang G. H. and Wang, J. 2019. Change in soil bacterial community during secondary succession depend on plant and soil characteristics. *Catena*, 173: 246-252.