

Research Article

Evaluation and Determination of the Most Effective Index on Soil Sensitivity to the Surface Sealing Using Ridge Regression

Z Asadi Fard^{*1}, A Ahmadi², A A Jafarzadeh³, A Karami⁴, S Alavikia⁵

Received: August 20, 2022

Accepted: April 15, 2023

Revised: March 21, 2023

Published online: March 20, 2024

1- PhD student of Dept. of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran

2- Assoc. Prof. Dept. of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran

3-Prof. Dept. of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran.

4-Research Assoc. Prof. of Agricultural Research Center of Fars Province, Iran.

5- Assoc. Prof. Dept. of Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran

*Corresponding Author, Email: zh.asadifard@gmail.com

Abstract

Background and Objectives

The formation of soil surface seal caused by rain can have destructive agricultural, hydrological and environmental effects. Seal formation is a complex mechanism that is controlled by a wide range of factors such as soil properties, rainfall characteristics, and flow conditions. The present study aims to identify the relationship between soil sensitivity to surface seal formation, characteristics affecting the stability of soil structure, comparison of indicators of soil sensitivity to the surface seal formation, and introduction of the best indicator of surface sealing in the soils of Kowar plain in Fars province by using descriptive statistics and modeling of It was done through ridge multivariate linear regression with backward stepwise method.

Methodology

In the present research work, firstly, a land use map, geology and topography of Dasht Kovar of Fars province was prepared and by carrying out field activities in different seasons and matching the features and shapes in the maps with the environmental conditions, based on the extend of the studied area according to the systematic grid method in first, 160 specific sampling points were selected and according to the characteristics of the area and the type of land use, finally 80 composite soil samples were taken from a depth of 0-20 cm. Then the parameters of soil particle size distribution, mass moisture, organic matter, electrical conductivity and pH of saturated past extract were measured. Also, the mean weight diameter (MWD) of soil aggregates, geometric mean diameter (GMD), calcium carbonate equivalent (CCE), fractal dimension, saturation percentage, sodium, calcium, magnesium, sodium absorption ratio (SAR), saturated hydraulic conductivity (Ks) and bulk density of soil were determined. Assessing the sensitivity of soil to the formation of surface sealing by comparing the regression equations of seven different indices, including the soil structural stability index (SSI), crusting index (CI), water aggregate stability (WAS), crusting susceptibility index (CSI), consistency index (C5-C10), penetration resistance (PR) and relative sealing index (RSI) were performed. In data pre-processing, descriptive statistics of variables such as mean, maximum, minimum and variance of each characteristic, data distribution diagram and data distribution using Minitab-19 software are specified and if there are outliers or wrong data, appropriate measures were taken in entering the data and a table of descriptive information was prepared. Also, the normality of the frequency distribution of these characteristics was evaluated

using the significance test of skewness. In order to explain the capability of indices and statistics in predicting the seal formation, the linear correlation between the variables was determined by SPSS-22 software, and by using the Pearson's correlation coefficient (r), the correlation between the indices and early soil characteristics was obtained and to analyze the data. Pearson's correlation method and ridge multiple linear regression were used in the backward stepwise method and using Statistic, SPSS-26 and Minitab-19 softwares.

Findings

In terms of the soil structural stability index, the studied area was in the risk range of aggregate destruction, which can be related to the high percentage of silt in the area. The ratio of sodium surface absorption in most of the examined soil samples is low and 95% of the samples with agricultural use are in the weak to medium group in terms of organic matter and structure stability. The relatively low value of the standard deviation in the soil structure stability index also indicates the greater accuracy of this model in estimating the coefficients. Also, clay is a common variable in the five regression equations of the indices, and it points to the importance and dual role of clay in the stability of soil aggregates and reducing sensitivity to compaction. In most of the samples, clay is more than 20% and most of the measured variables have a low coefficient of variation and in terms of data distribution and dispersion, they have a relatively favorable situation. In the present study, the best fitted regression models to describe the sensitivity of soil to the formation of surface seal belong to the indicators of soil aggregates stability and FAO crusting indices.

Conclusion

Based on the obtained results, the soil aggregate stability index with a modified coefficient of explanation $R^2=0.92$ has a high capability in predicting the sensitivity of soil to the seal formation and is the most effective index in expressing changes in soil aggregate stability and the formation of surface sealing. The results of the data analysis also indicate the severe limitation class of the mean weight diameter of the soil aggregate in the region.

Keywords: Aggregate stability, Regression model, Ridge multivariate regression, Sealing surface, Soil quality.

مقاله پژوهشی

ارزیابی و تعیین مؤثرین شاخص بر حساسیت خاک به تشکیل اندوده سطحی با بهره‌گیری از رگرسیون

ریچ

ژیلا اسدی فرد^{۱*}، عباس احمدی^۲، علی اصغر جعفر زاده^۳، علیداد کرمی^۴، سیامک علوی کیا^۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۲۶

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۲/۰۱/۰۱

تاریخ انتشار آنلاین: ۱۴۰۳/۰۱/۰۱

۱- دانشجوی دکترای گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

۲- دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

۳- استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

۴- دانشیار پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی استان فارس.

۵- دانشیار گروه به نژادی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: zh.asadifard@gmail.com

چکیده

تحقیق حاضر برای شناسایی شاخصی کارآمد برای تعیین حساسیت خاک به تشکیل اندوده در منطقه دشت کوار استان فارس انجام شد. برای انجام این تحقیق ۸۰ نمونه مرکب خاک (۲۰-۰ سانتی‌متری) از دشت کوار استان فارس تهیه گردید. سپس پارامترهای توزیع اندازه ذرات خاک، ماده آلی، هدایت الکتریکی و pH عصاره گل اشباع اندازه‌گیری شدند. همچنین میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها، کربنات کلسیم معادل، بعد فرکتالی، درصد اشباع، سدیم، کلسیم، منیزیم، نسبت جذب سطحی سدیم، هدایت هیدرولیکی اشباع و جرم مخصوص ظاهری خاک تعیین شدند. ارزیابی حساسیت خاک به تشکیل اندوده با مقایسه معادله‌های رگرسیونی هفت شاخص مختلف از جمله شاخص پایداری ساختمان خاک (SSI)، شاخص سله‌بندی (CI)، شاخص پایداری خاکدانه مرطوب (WAS)، شاخص حساسیت به سله بستن (CSI)، شاخص پایایی ($C_5 - C_{10}$)، مقاومت در برابر نفوذ (PR) و شاخص نسبی اندوده بستن (RSI) انجام و برای تحلیل داده‌ها از روش همبستگی پیرسون و رگرسیون خطی چندگانه ریچ به روش گام به گام پس رونده و با استفاده از نرم‌افزارهای SPSS، Statistica و Minitab استفاده گردید. در مطالعه حاضر بهترین مدل‌های رگرسیونی برازش داده شده جهت توصیف حساسیت پذیری خاک به تشکیل اندوده سطحی متعلق به شاخص‌های پایداری خاکدانه و سله‌بندی فائو بودند. بر اساس نتایج حاصله شاخص پایداری خاکدانه با ضریب تبیین اصلاح شده $R^2 \text{adj} = 0.92$ در پیش بینی حساسیت خاک به تشکیل اندوده قابلیت بالایی داشت و مؤثرترین شاخص در بیان تغییرات پایداری خاکدانه و تشکیل اندوده سطحی بود.

واژه‌های کلیدی: اندوده بستن سطحی، پایداری خاکدانه، رگرسیون چند متغیره ریچ، کیفیت خاک، مدل رگرسیونی.

مقدمه

محیط های خشک حساسیت شدید غیرخطی با شرایط محیطی دارند و مطالعه عملکرد آنها در شرایط کمبود آب مهم است (جنرت و همکاران ۲۰۱۲). سلا و همکاران (۲۰۱۵) بیان داشتند اندوده های فیزیکی سطح خاک یک پدیده گسترده طبیعی هستند که به طور مکرر در مناطق بایر خاک بین قطعات پوشش گیاهی رخ می دهند و با ریزش قطرات باران بر سطح خاک و تخریب خاکدانه های خاک توسعه می یابند. این پدیده به نوبه خود منجر به شستشوی- درونی مواد ریز و تشکیل یک لایه از خاک فشرده شده ضخیم در سطح می شود. مشخص شد که لایه اندوده بر نفوذ (آشولاین و معلم ۲۰۰۶) شار تبخیر(شوارتز و همکاران ۲۰۱۰) و رواناب (آشولاین و معلم ۲۰۰۶؛ آشولاین و همکاران ۲۰۰۷) تأثیر می گذارد. تشکیل اندوده در سطح خاک منجر به یک سیستم دو لایه ای با مقادیر مختلف هدایت هیدرولیکی برای جریان آب می شود. اندوده بستن سطح خاک می تواند تأثیرات خیلی بد کشاورزی، هیدرولوژیکی و زیست محیطی داشته باشد. این پدیده باعث کاهش سرعت نفوذ، کاهش آب قابل استفاده در منطقه ریشه گیاه، کاهش تغذیه طبیعی آب های زیرزمینی، افزایش رواناب و فرسایش خاک، تأثیر در جوانه زنی و رشد گیاهان و کاهش عملکرد محصول می شود (آشولاین ۲۰۰۴). پژوهش هایی زیادی در خصوص حساسیت خاک به تشکیل اندوده سطحی انجام شده است، از جمله، ارجمند سجادی و محمود آبادی (۲۰۱۵) با اندازه گیری پارامترهای فیزیکی و شیمیایی (بافت خاک، میانگین وزنی قطر خاکدانه در حالت های مرطوب و خشک، کربن آلی، pH، EC و کربنات کلسیم) اظهار داشتند که افزایش شدت باران منجر به تشدید شکستن خاکدانه ها شد. اندوده سطحی در طول دقایق اول کمتر توسعه یافت، در حالی که با پیشرفت زمان یک لایه اندوده توسعه یافته تر تشکیل

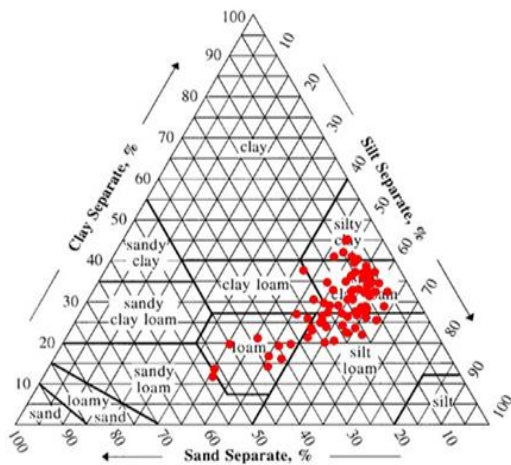
می شود. شهاب و همکاران (۲۰۱۱) در پژوهش خود برای تعیین مهمترین ویژگی مؤثر بر کیفیت خاک در اراضی مرتعی و کشاورزی جنوب مشهد، ویژگی هایی مانند مقدار آهک، فاکتور فرسایش پذیری، درصد کربن آلی خاک میانگین وزنی قطر خاکدانه ها را به عنوان مهمترین پارامترها و شاخص پایداری ساختمان^۱ (SSI) شاخص مؤثر بر کیفیت خاک منطقه معرفی کردند. با توجه به این که مهمترین عامل تشکیل اندوده سطحی، عدم پایداری خاکدانه ها می باشد. پس هر عاملی که بر پایداری خاکدانه ها مؤثر باشند، در تشکیل اندوده سطحی هم تأثیرگذار هستند. آگاهی از رابطه بین پایداری خاکدانه و تشکیل اندوده سطحی، این امکان را فراهم می سازد که این رفتار فیزیکی خاک را بتوان از روی پایداری خاکدانه پیش بینی کرد که ساده تر از اندازه گیری های مستقیم در زیر باران است. مطالعه حاضر با هدف شناسایی رابطه بین حساسیت به تشکیل اندوده سطحی خاک و ویژگی های مؤثر بر پایداری ساختمان خاک و مقایسه شاخص های حساسیت خاک به تشکیل اندوده سطحی و معرفی بهترین شاخص معرف اندوده بستن در خاک های دشت کوار با استفاده از آماره های توصیفی و مدل سازی از طریق رگرسیون خطی چند متغیره ريج با روش گام به گام پسخور^۲ انجام شد.

مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه و نمونه برداری خاک با مساحت ۲۷/۲۲ کیلومتر مربع در حد فاصل عرض های جغرافیایی ۵۲ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۵۲ درجه و ۴۱ دقیقه طول شرقی و ۲۹ درجه و ۱۹ دقیقه تا ۲۹ درجه و ۱۶ دقیقه عرض شمالی وسعت دارد و یکی از دشت های حاصلخیز استان فارس با متوسط ارتفاع ۱۴۸۰ متر از

^۱ Structural stability index

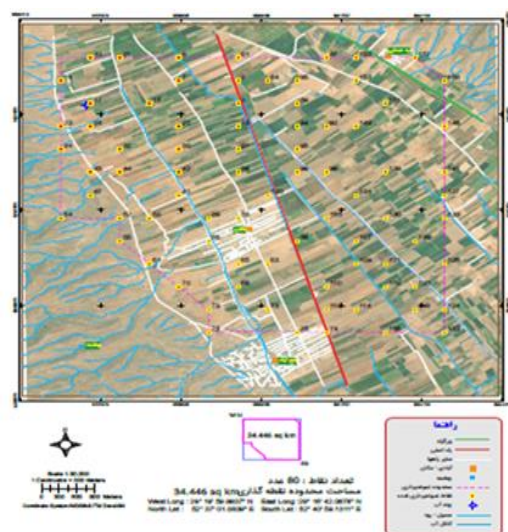
^۲ Backward stepwise



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه به همراه نقاط نمونه برداری
دشت کویر استان فارس و شکل ۱ نمودار بافت خاک
نمونه های مورد استفاده. اندازه گیری پارامترهای
فیزیکی و شیمیایی خاک

نمونه های جمع آوری شده پس از انتقال به آزمایشگاه، هوا خشک شده، سپس کوبیده و از الک ۴/۷ میلی متر عبور داده شدند. بافت خاک به روش هیدرومتر (گی و اور ۲۰۰۲)، کربنات کلسیم معادل به روش خنثی سازی با اسید و تیتراسیون با باز (نلسون ۱۹۸۲)، مقدار ماده آلی به روش سوزاندن مرطوب (نلسون و سومر، ۱۹۸۲)، هدایت هیدرولیکی اشباع (K_s) با روش بار افتان تعیین شد. هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع (EC_e) و pH_e گل اشباع به ترتیب با استفاده از دستگاه پی اچ متر و دستگاه هدایت سنج مدل Ecomet اندازه گیری شد. همچنین پس از عصاره گیری از گل اشباع نمونه ها، اندازه گیری کاتیون سدیم با دستگاه فلیم فتومتر، و اندازه گیری کاتیون های کلسیم و منیزیم با دستگاه اسپکتروفتومتر صورت پذیرفت. میانگین وزنی و هندسی قطر خاکدانه ها (MWD و GMD) با روش الک تر (نیمو و پرکینز ۲۰۰۲) تعیین گردید. بعد فرکتالی خاکدانه ها با به کارگیری مدل ریو و اسپوزیتو (۱۹۹۱) براساس فراوانی خاکدانه ها در کلاس های اندازه ای مختلف طبق معادله زیر محاسبه شد.

سطح دریا در ۴۰ کیلومتری جنوب شرق شیراز می باشد. این منطقه دارای اقلیم نیمه خشک مدیترانه ای با میانگین بارندگی ۳۲۴ میلی متر و میانگین دمای سالانه ۲۲ درجه سانتی گراد می باشد (ابوالحسن بیگی ۲۰۰۴). شکل ۱ موقعیت نقاط نمونه برداری شده در دشت کویر را بروی نقشه نشان می دهد. کلاس بافتی خاک های مورد مطالعه در شکل ۱ تنوع زیادی داشت. تمام خاک ها در شش کلاس بافتی شامل لوم (۱۱/۲۵ درصد) لوم رسی (۵ درصد) لوم رس سیلتی (۵۰ درصد) لوم شنی (۲/۵ درصد) رس سیلتی (۵ درصد) و لوم سیلت (۲۶/۲۵ درصد) پراکنده بودند. بنابراین برای مدل سازی نمونه های انتخابی مناسب می باشند.



در این رابطه، Fine Silt، مقدار سیلت ریز (mm) ۰/۰۲ - ۰/۰۵ بر حسب درصد؛ Coarse Silt مقدار سیلت درشت (mm) ۰/۰۵ - ۰/۰۲ (%)، Clay: مقدار رس (mm) ۰/۰۲ < (%). مقدار ماده آلی خاک (%). می‌باشد. برای محاسبه شاخص پایداری ساختمان خاک^۴ (SSI) از رابطه ۴ استفاده شد (پیبری ۱۹۸۹):

$$SSI = \left(\frac{1.72 \times OC}{Silt + Clay} \right) \times 100 \quad [4]$$

که در این رابطه، OC: مقدار کربن آلی خاک (%). Clay: مقدار رس (%). و Silt: مقدار سیلت (%). می‌باشد. شاخص پایداری خاکدانه مرطوب^۵ (WAS) که شاخصی بسیار حساس برای بررسی اثر عملیات مدیریتی بر پایداری ساختمان خاک می‌باشد (توپ و همکاران ۱۹۹۷). این شاخص با استفاده از روش الک تر و بعد از تصحیح شن بر اساس رابطه ۵ تعیین می‌شود (کمپر و روزناو ۱۹۸۶).

$$WAS = \left(\frac{WSA - M_{sand}}{M_{agg} - M_{sand}} \right) \quad [5]$$

این رابطه WSA: بیانگر وزن خاکدانه‌های باقیمانده بر روی الک ۰/۲۵ میلی‌متر نسبت به وزن کل خاکدانه‌هایی با قطر ۱ تا ۲ میلی‌متر؛ Msand، جرم شن و Magg، جرم کل خاکدانه‌های الک شده است. درجه حساسیت خاک به سله بستن که به‌عنوان شاخص حساسیت به سله بستن^۶ (CSI) تعیین شد، به نسبت شن و سیلت ریز (که سهم عمده‌ای در سله بستن خاک دارند) به رس، شن متوسط و درشت مربوط می‌شود. شاخص حساسیت سله بر اساس رابطه ۶ محاسبه شد (مانیپور و همکاران، ۲۰۱۵):

$$CSI = \frac{\%fs + \% Silt}{\% Clay + \% cs + \% ms} \quad [6]$$

شن متوسط ms شن درشت (۲ - ۰/۵)، cs که در آن سیلت Silt شن ریز (۰/۲ - ۰/۰۵ میلی‌متر)، fs (۰/۵ - ۰/۲)،

$$N(di) = \frac{M(di)}{(di^3 \rho_i)} \quad [1]$$

که در آن: N (di): تعداد خاکدانه ها، di: میانگین قطر خاکدانه ها (m)، M(di): جرم خاکدانه ها (Kg)، pi: جرم ویژه ظاهری خاکدانه ها (Mg m⁻³) است. کلاس صفر بزرگترین خاکدانه ها و تعداد خاکدانه ها از بزرگترین کلاس تا کلاس kام از فرمول $N_k = \sum_{i=1}^k N(di)$ محاسبه و با استفاده از مدل فرکتالی زیر Dn تعیین شد:

$$N_k = Adk - Dm \quad 0 < Dn < 3 \quad [2]$$

تحلیل آماری

داده‌های بدست آمده با استفاده از نرم‌افزارهای Statistica، SPSS-26 و Minitab-18 مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند تا اثرات هر یک از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بر شاخص‌های حساسیت خاک به تشکیل اندوده سطحی مشخص شود. در پیش پردازش داده‌ها، آماره توصیفی متغیرها از قبیل میانگین، حداکثر، حداقل و واریانس هر یک از ویژگی‌ها، دیاگرام پراکنش داده‌ها و توزیع داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Minitab18 بدست آمد. در این مطالعه شاخص‌های حساسیت خاک در مقابل تشکیل اندوده سطحی بررسی و مقایسه شدند. این شاخص‌ها عبارتند از، شاخص سله بندی (CI)، شاخص پایداری خاکدانه‌ها (ASI)، شاخص پایداری خاکدانه مرطوب (WAS)، شاخص حساسیت خاک به سله بستن (CSI)، شاخص نسبی اندوده بستن (RSI)، شاخص قوام (C₅-C₁₀) و شاخص مخروطی (PR) که بر اساس رابطه‌های ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸ و ۹ محاسبه شدند. برای محاسبه شاخص سله بندی فائو^۲ (CI) از رابطه ۳ استفاده شد (فائو ۱۹۷۴):

$$CI = \frac{(1.5 \times \text{fine Silt}) + (0.75 \times \text{coarse Silt})}{(OM \times 10) + Clay} \quad [3]$$

⁴ Structural stability index

⁵ Water aggregates stability

⁶ Crusting susceptibility index

³ Crusting index

مقاومت فروروی با استفاده از رابطه زیر محاسبه شدند.

$$PR = \frac{100^x}{0.7952 (40-x)^2} \quad [9]$$

در این رابطه، x : مقدار فروروی ثبت شده بروی دستگاه فروسنج بر حسب میلی متر و PR : مقدار فشار مورد نیاز محاسبه شده بر حسب کیلوگرم بر سانتی متر مربع می باشد. جهت ایجاد شاخصی قابل اطمینان ۲۰ پارامتر به عنوان متغیرهای مستقل و هفت شاخص، هر کدام به صورت مجزا به عنوان متغیر وابسته در محیط نرم افزار Statistica 12 وارد شد. با توجه به تعداد زیاد متغیرهای مستقل، از یک روش اتوماتیک جستجو که به صورت گام به گام پس رونده که زیر مجموعه های متغیرهای مستقل را در نظر می گیرد، استفاده شد. سطح معناداری تمام آزمون کمتر از ۰/۰۵ در نظر گرفته شد. با توجه به تکرار پارامترهای مورد بررسی امکان وجود پدیده چند هم خطی دور از انتظار نیست. همبستگی بین متغیرها باعث تورم مقادیر مطلق ضرایب رگرسیونی^{۱۰} (VIF) همچنین اشتباه علامت مثبت یا منفی ضرایب رگرسیونی می شود (وانگ و همکاران ۲۰۱۱). برای حل مشکل چند هم خطی، استفاده از رگرسیون ريج که توسط هوئل و کینارد (۱۹۷۰a,b) ارائه شده است، می تواند مفید باشد. بین شن و منغیرهای سیلت و رس هم راستایی وجود داشت، بنابراین از لیست پارامترهای ورودی برای ایجاد مدل رگرسیونی در انجام مراحل تجزیه حذف گردید.

نتایج و بحث

نمای کلی مقادیر تعدادی از شاخص های آمار توصیفی مرکزی و پراکندگی برخی از ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه در جدول ۱ نشان داده شده است. در خاک های مورد مطالعه با توجه به تحلیل داده ها ۵ درصد از نمونه ها با کاربری آیش در

درصد رس (کوچک تر از Clay) (۰/۰۰۲-۰/۰۰۲ میلی متر)، RSI اندوده^۷ (تشکیل نسبی ۰/۰۰۲ میلی متر). شاخص است. شده ارائه توسط پلا (۱۹۸۶) بر اساس رابطه ۷ شبیه سازی شده باران برابر در نمونه ها روش این در شده ۳ باریده قطرات قطر آن در که می گیرند قرار آزاد ریزش به صورت ۵ متری ارتفاع از و بوده میلی متر می شود. باریده ساعت بر میلی متر ۸۰ شدت با و

$$RSI = \left(\frac{\text{هدایت هیدرولیکی بدون اثر ضربات قطرات باران}}{\text{هدایت هیدرولیکی تحت تأثیر ضربات قطرات باران}} \right) \quad \text{cm h}^{-1} \quad [V]$$

شاخص پایایی (C₅-C₁₀)^۸ توسط آزمایش آتربرگ و با استفاده از دستگاه کاسه گراند از تفاوت درصد رطوبت در تعداد ۵ و ۱۰ ضربه لازم برای بهم آمدن نمونه گل مورد نظر بر اساس رابطه ۸ محاسبه گردید. در این معادله C₅-C₁₀ شاخص پایایی (%،) W₅ درصد رطوبت گل در ۵ ضربه و W₁₀ درصد رطوبت لازم برای بهم آمدن گل در ۱۰ ضربه دستگاه کاساگراند می باشد.

$$C_5-C_{10} = W_5 - W_{10} \quad [A]$$

برای اندازه گیری مقاومت خاک در مقابل نفوذ از شاخص مخروطی^۹ (CI) خاک استفاده شد. این دستگاه شامل یک مخروط و یک میله فرو رونده می باشد. در هنگام داده برداری، به دلیل تغییر پذیری پارامتر اندازه گیری شده، اندازه گیری در هر نمونه ۳ مرتبه تکرار شد. سرعت نفوذ دستی به هنگام نفوذ به صورت عمودی درون خاک ۲ سانتی متر در ثانیه بود. دستگاه اندازه گیری شاخص مخروطی خاک به ازای هر سانتی متر فرو رفتن مخروط در داخل خاک، نیروی مقاومت خاک را اندازه گرفته و شاخص مخروطی خاک را بر حسب (Mpa) محاسبه می نماید. سپس داده ها ی

⁷ Relative sealing index

⁸ Consistency index

⁹ Cone index

¹⁰ Variance inflation factor

رتبه ماده آلی بیش از اندازه کم که خاک سطح‌الارض یا تحت‌الارض شدیداً فرسایش و تخریب یافته، ۹۵ درصد از نمونه‌ها با کاربری کشاورزی در شرایط ساختمان و پایداری ساختمان با رتبه کم تا متوسط مواد آلی دارای ساختمان و پایداری ساختمان ضعیف تا متوسط قرار داشتند. بیشترین مقدار ماده آلی خاک‌های مورد مطالعه مربوطه به کاربری زمین بایر (حاشیه کوه سبز پوشان) واقع در بخش‌های غربی حوضه می‌باشد، خاک‌هایی که زهکشی ضعیفی داشته و از نظر مواد آلی غنی هستند. زیرا میزان تجزیه مواد آلی در آنها به علت برقراری شرایط بی‌هوازی تقلیل یافته است (بوهن و همکاران ۱۹۸۵). بر اساس طبقه‌بندی لال حاج عباسی (۱۹۹۹) خاک‌هایی با MWD بین ۰/۵ تا ۱ محدودیت شدید و بین ۱ تا ۲ محدودیت متوسط دارند. نتایج تحلیل داده‌ها بیانگر کلاس محدودیت شدید میانگین وزنی قطر خاکدانه در خاک منطقه می‌باشد. پایداری کم خاکدانه‌ها علی‌رغم مقادیر زیاد رس و پایین بودن SAR را می‌توان ناشی از میزان نامناسب ماده آلی و عبور و مرور بیش از حد ادوات کشاورزی سنگین، به‌خصوص در رطوبت نامناسب دانست. هر چه از مقدار MWD و

GMD کاسته شود، مقاومت خاکدانه‌ها در برابر برخورد قطرات باران کمتر شده و به آسانی متلاشی شده و به‌صورت ذرات و خاکدانه‌های کوچک قابل حمل در می‌آیند. بخشی از این ذرات و خاکدانه‌های کوچک همراه با آب باران در خاک نفوذ می‌کند و منجر به تشکیل اندوده سطحی می‌شود (پیوسته و همکاران ۲۰۱۰). در منطقه مطالعاتی ۸۶/۲۵ درصد نمونه‌ها دارای رس بیشتر از ۲۰ درصد بودند. وای و همکاران (۲۰۰۸) اظهار داشتند که تغییرات کمتر از ۱۰ درصد، دلالت بر تغییرپذیری پایین خصوصیت مورد نظر و تغییرات بیشتر از ۹۰ درصد، حاکی از تغییرپذیری بالای آن خصوصیت است. اکثر متغیرهای اندازه‌گیری شده دارای ضریب تغییرات کمتر از ۱۵ درصد (تغییر کم) بودند. در این مطالعه، ضریب تغییرات داده‌های کلیه پارامترها کم و دامنه تغییرات آن از ۰/۶ تا ۰/۶ بود. هرچه میزان ضریب تغییرات کمتر باشد، نتایج گرفته شده از شاخص میانگین دقت بیشتری دارد. با توجه به جدول ۱ مشاهده می‌شود که اکثر متغیرهای مورد استفاده از نظر توزیع و پراکندگی داده‌ها از وضعیت نسبتاً مطلوبی برخوردار هستند.

جدول ۱- دامنه تغییرات برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه (n=۸۰).

پارامترها	$\frac{d_{10}}{d_{90}}$	$\frac{d_{50}}{d_{90}}$	$\frac{d_{10}}{d_{50}}$	$\frac{d_{10}}{d_{50}}$	$\frac{d_{10}}{d_{50}}$	$\frac{d_{10}}{d_{50}}$	$\frac{d_{10}}{d_{50}}$	$\frac{d_{10}}{d_{50}}$
سیلت	۰/۰۶	-۱/۰۱	۳۷/۸	۶/۱	۵۲/۹	۶۲/۸	۳۴/۵	(%)
رس	۰/۱	-۰/۱۸	۵۳/۶	۷/۳	۲۸/۹	۴۴/۶	۱۱/۱	(%)
کربنات کلسیم معادل	۰/۰۲	-۲/۰۳	۵/۲	۲/۲	۴۸/۲	۴۹/۸	۴۰/۲	(%)
pHe عصاره گل اشباع	۰/۰۱	۰/۵۲	۰/۰۴	۰/۲۱	۷/۸	۸/۵	۷/۴	(%)
هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع (ECe)	۰/۳	۰/۲۲	۵/۷	۲/۳	۴/۶	۸/۷	۱/۳	(dS m ⁻¹)
ماده آلی	۰/۲	۰/۱۲	۰/۴۴	۰/۶۷	۱/۸	۳/۱	۰/۶۸	(%)

میانگین وزنی قطر خاکدانه	۰/۱	۰/۹۲	۰/۰۰۷	۰/۰۸	۰/۳۶	۰/۶۹	۰/۲۱	(mm)
میانگین هندسی قطر خاکدانه	۰/۲	۱/۱۷	۰/۰۰۲	۰/۰۴	۰/۱۴	۰/۳۲	۰/۰۷۲	(mm)
سدیم	۰/۴	۱/۶	۱۷/۹	۴/۲	۵/۰۸	۲۰/۳	۰/۶۵	(meq L ⁻¹)
منیزیم	۰/۴	۰/۵۱	۱۵/۲	۳/۹	۵/۵	۱۳/۶	۰/۲۳	(meq L ⁻¹)
کلسیم عصاره گل اشباع	۰/۴	۱/۱۷	۸/۸	۲/۹	۴/۰۷	۱۵/۷	۰/۷۲	(meq L ⁻¹)
AR(مدل ریولی)	۰/۶	۱/۲۷	۰/۸۶	۰/۹۳	۰/۹۰	۴/۲	۰/۰۰۰	-
DnR(مدل ریولی)	۰/۰۶	۱/۳۱	۰/۱۱	۰/۳۴	۲/۷	۳/۸	۲/۳	-
DmT(مدل تایلور)	۰/۰۳	۰/۱۲	۰/۰۱	۰/۱۳	۲/۵	۲/۸	۲/۳	-
KmB(مدل بارتولی)	۰/۲	۰/۳۱	۴۵۷/۲	۲۱/۳	۶۲/۵	۱۰۳/۹	۲۸/۳	-
DmB(مدل بارتولی)	۰/۴	۰/۵۲	۰/۰۴	۰/۲	۰/۳۲	۰/۹۲	۱/۰	-
SAR	۲/۱	۱/۶	۱/۵	۱/۲	۲/۱	۷/۴	۰/۵۶	(meq L ⁻¹) ^{0.5}
Ks	۷۳/۵	-۰/۴۵	۵۳/۷	۷/۳	۷۳/۵	۸۵/۵	۵۶/۰۶	cm hr ⁻¹
BD	۱/۳	۰/۰۹	۰/۰۱	۰/۱	۱/۳	۱/۵	۱/۰۳	g m ⁻³
SP	۴۷/۰۵	-۰/۴۲	۴۵/۹	۶/۷	۴۷/۰۵	۶۴/۴	۳۰/۴	%

با توجه به جدول ۲ همبستگی منفی در سطح احتمال ۰/۰۱ بین متغیر مستقل رس و متغیرهای وابسته (شاخص‌ها) سله‌بندی فائو و حساسیت به سله بستن، وجود دارد. با توجه به موقعیت رس در فرمول حساسیت خاک به سله بستن با افزایش رس به دلیل اثر سیمانی‌کنندگی آن که باعث افزایش پایداری خاکدانه‌ها شده (بن‌هور و همکاران ۱۹۸۹) مقدار عددی هر دو شاخص کاهش یافته در نتیجه حساسیت خاک به تشکیل اندوده و سله کاهش می‌یابد. همبستگی مستقیم و بسیار شدید (۹۰٪) که در سطح احتمال ۰/۰۱ معنی‌دار شده بین ماده آلی و شاخص پایداری ساختمان خاک وجود داشت. شاخص (SSI) ماده آلی خاک را به عنوان مهمترین عامل برای حفظ ساختمان خاک در نظر می‌گیرد. احتمالاً با افزایش ماده آلی در خاک ذرات اولیه در خاکدانه‌ها به صورت فیزیکی و شیمیایی بهم متصل شده و این به نوبه خود، پایداری خاکدانه‌ها را افزایش می‌دهد و شکستن آنها را در طی فرآیند خیس شدن

محدود می‌کند (امرسون ۱۹۷۷). همبستگی منفی ماده آلی (۷۲٪) با شاخص سله‌بندی و معنی‌دار شدن در سطح احتمال ۰/۰۱ مشاهده شد. این دو نمایه همراستا اما در دو جهت مخالف قرار داشتند که بیانگر تفاوت واقعی و معنی‌دار که ناشی از شانس و تصادف نمی‌باشد بین نمایه‌های فوق است، پس دو شاخص متفاوت از یکدیگرند. در فرمول شاخص CI خطر تشکیل اندوده سطحی به مقدار سیلت خاک وابسته است. با در نظر گرفتن مقدار بالای سیلت در خاک منطقه مورد مطالعه و همچنین با توجه به موقعیت ماده آلی در فرمول شاخص سله‌بندی، احتمالاً با افزایش ماده آلی مقدار شاخص سله‌بندی کاهش یافته در نتیجه با توجه به این که مقادیر کمتر از ۰/۲ نشانه عدم تشکیل اندوده و سله می‌باشد. منطقه مورد مطالعه از نظر شاخص پایداری ساختمان در محدوده خطر تخریب خاکدانه قرار داشت که می‌توان آن را به درصد بالای سیلت در منطقه مربوط دانست. زمانی که خاکدانه‌های سطحی

مقدار سیلت زیاد و مواد آلی کم دارند می‌توان از این شاخص‌های ارزیابی برای تعیین حساسیت خاک نسبت به تشکیل اندوده سطحی استفاده کرد (مونکادا و همکاران ۲۰۱۴).

جدول ۲- ضرائب همبستگی بین ویژگی های خاک با شاخص‌های ارزیابی اندوده سطحی و نتایج آزمون دوربین-واتسون.

	WAS	CI	SSI	C ₅₋₁₀	CSI	RSI	PR
سیلت	۰/۱۹	۰/۲۳*	-۰/۱۸	-۰/۰۲	۰/۵۶**	-۰/۰۷	-۰/۰۶
رس	۰/۳۲**	-۰/۵۶**	-۰/۱۱	۰/۰۱	-۰/۵۴**	-۰/۱۲	-۰/۱۱
ماده آلی	۰/۱۲	-۰/۷۲**	۰/۹۰**	۰/۰۱	-۰/۱۰	۰/۶۷	-۰/۱۴۶
آماره دوربین-واتسن	۱/۷	۱/۹	۱/۷	۱/۶	۱/۹	۱/۴	۱/۸

*: معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۵، **: معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۱

است. رس متغیر مشترک در پنج معادله رگرسیونی نمایه‌ها می‌باشد که اشاره به اهمیت و نقش دوگانه رس در پایداری خاکدانه‌ها و کاهش حساسیت به اندوده بستن می‌باشد. ذرات رس به دلیل سطح ویژه بالا و در نتیجه فعالیت فیزیکی و شیمیایی زیاد، به عنوان عامل سیمانی شدن برای خاکدانه سازی در نظر گرفته می‌شوند (کانازوراز و همکاران ۲۰۱۰). همچنین در معادله های رگرسیونی دو شاخص SSI و CI ماده آلی به ترتیب با مقادیر ضریب تعیین اصلاح شده (۹۲ و ۸۴ درصد) متغیر مشترک بود. در هر شاخص متغیرهایی که در سطح ۵ درصد معنی دار شده اند با خطی در زیر پارامتر مشخص شدند. همچنین نتایج به دست آمده نشان داد که معادلات به دست آمده برای تخمین SSI, CI, CSI بیشترین مقادیر ضریب تبیین را داشته و در سطح احتمال ۰/۰۰۱ درصد معنی دار بودند.

بر اساس نتایج آزمون دوربین- واتسون در پارامترهای مورد بررسی، جدول ۲ مقدار آماره فوق در محدوده قابل اطمینان و نزدیک مقدار دو بود که حاکی از عدم همبستگی درونی مشاهدات و انتخاب صحیح پارامترها و به معنای آن است که مقدار یک مشاهده با مقدار مشاهده دیگر ارتباطی نداشته و ورود یک مورد به داده‌ها ورود مورد دیگری را تحت تاثیر قرار نداده است. به این ترتیب استفاده از آزمون دوربین واتسون موثر بوده و نتایج تحلیل‌ها قابل اعتماد می‌باشد. برای تعیین مهم‌ترین عوامل مؤثر بر شاخص‌های ارزیابی اندوده سطحی، تحلیل رگرسیون گام به گام پس‌خور بین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مختلف خاک و هر یک از شاخص‌ها (WAS, CI, SSI, CSI, PR, RSI, C₅₋₁₀) به صورت جداگانه انجام گرفت. معادله‌های خطی به دست آمده برای هر شاخص در جدول ۳ نشان داده شده

جدول ۳- معادله‌های خطی به دست آمده از تحلیل رگرسیون به روش گام به گام.

معادله های رگرسیونی استخراج شده	adj -R ²	P
1- SSI= ۲/۶ - ۰/۰۳ <u>Silt</u> - ۰/۰۲ <u>Clay</u> + ۱/۱ <u>OM</u>	۰/۹۲***	۰/۰۰۰۰۱
2- RSI= -۰/۳۴ - ۰/۰۰۳Clay - ۰/۵۳ MWD + ۰/۹۴ GMD + ۰/۱۱ <u>AR</u> + ۰/۶ <u>D_{mT}</u>	۰/۵۳**	۰/۰۰۲

3- $CI = 2/2 + 0/02 \text{ Silt} - 0/02 \text{ Clay} + 0/02 \text{ EC} - 0/22 \text{ OM} - 0/03 \text{ SAR} - 0/007 \text{ SP} - 0/14 \text{ D}_{nR} + 0/13$	0/000001	0/84***
D_{mB}		
4- $CSI = 0/47 + 0/03 \text{ Silt} - 0/02 \text{ Clay} - 0/01 \text{ EC}$	0/000001	0/73***
5- $WAS = -71/8 + 0/80 \text{ Clay} + 164/3 \text{ GMD} + 0/61 \text{ Silt} + 0/81 \text{ SP}$	0/0005	0/20**
6- $C_{5-10} = 4/9 + 8/03 \text{ GMD} + 0/30 \text{ SAR} - 3/70 \text{ BD}$	0/01	0/13**
7- $PR = 20/4 - 10/6 \text{ GMD} - 1/2 \text{ AR} - 2/1 \text{ D}_{nR}$	0/05	0/10*

*: معنی دار در سطح احتمال 0/05، **: معنی دار در سطح احتمال 0/01، ***: معنی دار در سطح احتمال 0/001

- SSI = Soil stability index
- WAS = Water aggregate stability index
- C5-10 = Consistency index
- CSI = Crusting susceptibility index
- PR = Cone index
- RSI = Relative sealing index
- CI = Crusting index

به عنوان یک عامل مهم برای پایداری ساختمان خاک محسوب می شود. تفاوت کم بین ضرائب تشخیص و تعیین اصلاح شده بیانگر این مطلب است که متغیرهای مستقل که به مدل اضافه شده اند، به درستی انتخاب شدند. خطای استاندارد برآورد که به آن میانگین ریشه مربع خطا نیز می گویند در حقیقت انحراف معیار اصطلاح خطا است و از این مقدار برای برآورد واریانس متغیر وابسته نیز می توان استفاده کرد. مقدار نسبتاً کوچک ($SE(0/21)$) در شاخص پایداری ساختمان خاک نشان دهنده دقت بیشتر این مدل در تخمین ضرائب بود.

جدول ۴: نتایج تحلیل دقت و صحت معادله های

رگرسیون ریج را برای هفت شاخص ارزیابی تشکیل اندوده را نشان می دهد. مقایسه ضرائب تشخیص مدل های رگرسیونی نشان می دهد که بیشترین ضریب همبستگی چندگانه ($0/93$) مربوط به شاخص پایداری ساختمان خاک بود که بیانگر نزدیکی آماری داده ها به خط رگرسیونی برازش داده شده، همبستگی مستقیم و زیاد بین متغیرهای وابسته و مستقل مشاهده شد و همچنین مدل توانست سهم زیادی از تغییرات متغیر وابسته (SSI) را توسط سه متغیر مستقل تبیین کند. در فرمول شاخص پایداری ساختمان خاک درصد ماده آلی

جدول ۴- آماره های محاسبه شده تحلیل رگرسیون ریج.

	PR	WAS	CI	SSI	C5-10	CSI	RSI
SE	2/84	24/4	0/14	0/21	1/5	0/16	0/12
adj- R^2	0/10	0/20	0/84	0/92	0/12	0/73	0/16
R^2	0/16	0/23	0/86	0/93	0/16	0/73	0/21

نتیجه گیری کلی

از نتایج بدست آمده در این پژوهش می توان استنتاج کرد که حساسیت خاک به تشکیل اندوده سطحی توسط مدلی که نمایه پایداری ساختمان خاک در آن گنجانده شده بهتر از سایر مدل ها توصیف می شود.

مقایسه تمام شاخص ها نیز نشان داد که شاخص فوق قابلیت و توانایی بیان حساسیت خاک های منطقه به تشکیل اندوده سطحی را دارد. همچنین مشاهده گردید که درصد سدیم تبادلی، شوری خاک، درصد آهک، درصد سیلت، درصد شن و جرم مخصوص ظاهری از

جمله عوامل مهم در تاثیرگذار در تشکیل اندوده سطحی می‌باشد. منطقه مورد مطالعه از نظر شاخص‌های پایداری ساختمان در محدوده خطر قرار دارد که می‌توان آن را به درصد بالای سیلت در مربوط دانست و در مجموع می‌توان گفت که خاکدانه‌های خاک‌های سطحی مناطق خشک و نیمه‌خشک دشت کوار ناپایدار و مستعد تشکیل اندوده سطحی هستند. پیشنهاد می‌شود هر زمان که نتایج آزمایش اندوده بستن خاک ارائه می

شود اطلاعات مربوط به خاک و باران به عنوان یک سیستم جریان و به شکل مناسب گزارش شود. در منطقه مورد مطالعه باید استراتژی برنامه ریزی مدیریتی جهت حفاظت خاک در برابر برخورد قطرات باران و افزایش پایداری خاکدانه ها به گونه ای طراحی شود که سبب کاهش تشکیل اندوده سطحی، ذخیره آب و حداکثر تولید محصولات زراعی گردد.

منابع مورد استفاده

- Abulhasan Beigi A, 2004. Agricultural climate of Kovar plain in Fars province with emphasis on wheat cultivation, Iran. MSc Thesis in natural geography, Isfahan University. (In Persian with English abstract)
- Arjmand Sajjadi S and Mahmoodabadi M, 2015. Aggregate breakdown and surface seal development influenced by rain intensity, slope gradient and soil particle size. Published by Copernicus Publications on behalf of the European Geosciences Union 6: 311–321.
- Assouline S, 2004. Rainfall-induced soil surface sealing: A critical review of observations, Conceptual models and solutions. Soil Science Society of America. Vadose Zone Journal 3: 570–591.
- Assouline S and Mualem Y, 2006. Runoff from heterogeneous small bare catchments during soil surface sealing, Water Resources Research 42: 1-11.
- Assouline S, Selker JS and Parlange JY, 2007. A simple accurate method to predict time of ponding under variable intensity rainfall. Water Resources Research 43:1-10.
- Ben-Hur M and Letey J, 1989. Effect of polysaccharides, clay dispersion and impact energy on water infiltration. Soil Science Society of America Journal 53: 233–238.
- Bohn HL, McNeal BL and O'Coner GA, 1996. Soil nutrients and salinity after long-term grazing exclusion in a flooding pampa grassland. Journal of Rang Management 49: 182-187.
- Canasveras JC, Barron V, Del Campillo MC, Torrent J and Gomez JA, 2010. Estimation of aggregate stability indices in Mediterranean soils by diffuse reflectance spectroscopy. Geoderma 158: 78-84.
- Emerson WW, 1977. Physical properties and structure. Soil factors in crop production in a semi-arid environment. Pp. 78–104. In: Russell JS and Greacen EL (eds). University of Queensland Press, St. Lucia, QLD, Australia.
- FAO/UNESCO, 1974. Soil Map of the World, 1:5 000 000. Legend. Vol, 1. Paris. UNESCO.
- Gee GW and Or D, 2002. Particle-size analysis. Pp. 255-295. In: Warren AD (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 4. Physical Methods, Soil Science Society of American Journal. Inc.
- Hajabbasi MA, 1999. Methods and Guidelines for Assessing Sustainable Use of Soil Water Resources in the Tropics. Ferdowsi University of Mashhad Publication.
- Hoerl AE and Kennard RW, 1970a. Ridge regression, biased estimation for non-orthogonal problem. Technometrics Journal 12: 55-67.
- Hoerl AE and Kennard RW, 1970b. Ridge regression: applications to non-orthogonal problems. Technometrics Journal 12: 69-82.
- Jenerette GD, Barron-Gafford GA, Guswa AJ, McDonnell JJ and Camilo Villegas J, 2012. Organization of complexity in water limited ecohydrology Ecohydrology Journal 5: 184–199.
- Kemper WD and Rosenau RS, 1986. Aggregate stability and size distribution. Pp. 425-442. In: Klute A (eds). Methods of Soil Analysis, Part I: Physical Analysis. Soil Science Society of American Journal. Madison Wisconsin.

- Manyevere A, Bangira C, Gotosa J, Munjonji L and Chikwari E, 2015. Characteristics and management options of crusting soils in a smallholder farming area of the Zambezi metamorphic belt in northern Zimbabwe. *South African Journal of Plant and Soil* 32: 157–164.
- Moncada MP, Gabriels D, Lobo D, Beuf K, Figueroa R and Cornelis WM, 2014. A comparison of methods to assess susceptibility to soil sealing. *Geoderma* 226-227: 397-404.
- Nelson RE, 1982. Carbonate and gypsum. Pp. 181-199. In: Page L.A (ed.). *Methods of Soil Analysis*, part 2. American Society of Agronomy Journal, Madison.
- Nelson DW and Sommer LE, 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. Pp. 961-1069. In: Sparks DL, Helmke PA, Loeppert RH, Soltanpour PN, Tabatabai MA and Johnston, CT (eds). *Methods of Soil Analysis: part3, Chemical Methods*. American Society of Agronomy Journal, Madison.
- Nimmo JR and Perkins KS, 2002. Aggregate stability and Size distribution. Pp. 317-328. In: Warren AD (ed.). *Methods of Soil Analysis. Part 4. Physical Methods*. American Society of Agronomy Journal, Madison.
- Peyvasteh F, Asadi H and Akef M, 2010. The relationship between soil grain stability and surface layer formation and its effect on soil erosion in laboratory conditions: *Journal of Watershed Sciences and Engineering* 10: 1 - 8. (In Persian with English abstract)
- Pieri C, 1989. *Fertilite des Terres de Savane. Bilan de Trente Ans de Recherche et de Development Agricoles au Sud du Sahara*. Ministère de la Cooperation/Cirad, Paris.
- Pla I, 1986. A routine laboratory index to predict the effect of soil sealing on soil and water conservation. Pp. 154-162. In: Callebaut F, Gabriels D and De Booodt M (eds.). *Assessment of Soil Sealing and Crusting. Proceedings of the Symposium Held in Ghent, Belgium*.
- Rieu M and Sposito G, 1991. Fractal fragmentation, soil porosity and soil water properties. II. Applications. *Soil Science Society of America Journal* 5: 1239-1244.
- Schwartz RC, Baumhardt RL and Evett SR, 2010. Tillage effects on soil water redistribution and bare soil evaporation throughout a season. *Soil Tillage Research Journal* 110: 221–229.
- Sela Sh, Svorary T and Assouline Sh, 2012. Soil water content variability at the hillslope scale, Impact of surface sealing. *Water Resources Research Journal* 48:1-14.
- Sela Sh, Svorary T and Assouline Sh, 2015. The effect of soil surface sealing on vegetation water uptake along a dry climatic gradient. *Water Resources Research Journal* 51: 7452-7466.
- Shahab H, Emami H, Haghnia GH and Karimi A, 2011. Determining most important properties for soil quality indices of agriculture and range lands in some parts of Southern Mashhad. *Journal of Water and Soil* 25:1197-1205. (In Persian with English abstract)
- Topp GC, Reynolds WD, Cook FJ, Kirby JM and Carter MR, 1997. Physical attributes of soil quality. Pp. 21-58. In: Gregorich EG and Carter MR (eds.) *Soil Quality for Crop Production and Ecosystem Health*. Elsevier Science Journal, Amsterdam.
- Wang D, Fu B, Zhao W, Hu H and Wang Y, 2008. Multifractal characteristics of soil particle size distribution under different land-use types on the Loess Plateau. *Science Direct Journal* 72:29-36.
- Wang Q, Zhang T, Cui J, Wang X, Zhou H, Han J and Gislum R, 2011. Path and ridge regression analysis of seed yield and seed yield components of Russian wildrye (*Psathyrostachys juncea* Nevski) under field conditions. *Plos One* 6: 1-10.