The effect of gully erosion on integrated soil quality indices in South of Ardabil

Hamed Marefati[a], Hossein Shahab Arkhazloo[b*], Shokrollah Asghari[c], Ali Ashraf Soltani Toolarood[d]

[a] *M.Sc. Graduate in Soil resource management. Department of soil science and engineering, faculty of agriculture and natural resources, University of Mohaghegh Ardabili., Ardabili, Iran.*
[b] *Associate Professor. Department of soil science and engineering faculty of agriculture and natural resources, University of Mohaghegh Ardabili., Ardabili, Iran.*
[c] *Professor. Department of soil science and engineering, faculty of agriculture and natural resources, University of Mohaghegh Ardabili., Ardabili, Iran.*
[d] *Associate Professor. Department of soil science and engineering, faculty of agriculture and natural resources, University of Mohaghegh Ardabili., Ardabili, Iran.*

Research Full Paper

Article History (Received: 2024/04/22 Accepted: 2024/05/9)

Extended abstract

1- Introduction

Soil erosion is one of the most important environmental hazards. Investigating the impact of soil erosion on soil quality is possible through the evaluation of soil quality indices in eroded and non-eroded points. Studying the severity of soil erosion in order to protect the soil and investigate and evaluate its risks is of particular importance. There is a significant relationship between increasing soil erosion and decreasing soil quality, therefore soil quality and erosion are closely related phenomena. The main prerequisite for dealing with all types of erosion, including gully erosion, is to predict the risk of gully formation and its effects in different places. The purpose of this study in the south of Ardabil city is to calculate the soil quality indicators and investigate the effect of soil erosion on the quality indicators, compare the correlation between the most important characteristics affecting the soil quality (MDS) and the total characteristics affecting the soil quality (TDS) and provide an index distribution map. The quality of the soil is determined with the help of geostatistical methods.

2- Methodology

The studied area is a part of Mullah Ahmed watershed near Amin Lo village, 10 km south of Ardabil city. A part of this area was selected with an area of about 50 hectares, which had active Gullies. After identifying and investigating the study area, 48 samples were taken from the depth of 0 to 30 cm of the soil surface, including 24 non-eroded and 24 eroded points. Sampling from each point was done based on the change of topographical conditions and variety of soil characteristics, especially soil color, and in the form of paired points. After laboratory analysis, the total of the measured features was considered as the total data set (TDS) and the principal component analysis (PCA) method was used to select the minimum data set (MDS) (Doran and Parkin, 1994). The contribution of each feature (COM) was calculated by factor analysis (FA) in TDS and MDS sets (Shukla et al; 2004). Then, soil quality indices were calculated using IQI and NQI relationships (Doran and Parkin, 1994). After calculating the soil quality indices at the sampling points in the region, continuous maps of the distribution of soil quality indices were obtained using two methods, Kriging and IDW, with the help of GS Plus 5.1 and Arc GIS 10.8 software.

* **Corresponding Author:** hose_shohab@yahoo.com

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-16]

3- Results

According to the results of PCA test, Sand, Clay, pH and Ec variables in eroded points and BD, Sand, Clay and n variables in non-eroded points were selected as MDS set. Pearson's correlation for soil quality indices in two sets of TDS and MDS in eroded and non-eroded points was significant at 5% level. According to the significant results, the use of the MDS set can optimally calculate the soil quality indices in non-eroded points instead of the TDS set. According to the distribution maps of soil quality and the findings of Qi (2009), the studied area is in grade III to II in terms of soil quality. In eroded points, in IQI and NQI indices, Kriging method was the best in TDS set and IDW method was the best in MDS set. While in the non-eroded points, except for the NQI index in the TDS set, in the rest of the soil quality indices, the Kriging method showed a better and more accurate performance.

4- Discussion & Conclusions

Due to the significant correlation in non-eroded points, the use of MDS can acceptably calculate the soil quality indices (IQI and NQI) in non-eroded points, and in these points the IQI and NQI indices calculated using TDS are much superior. It is not compared to MDS. In general, in the studied area, based on the coefficient of explanation (R^2) and the mean square error, the kriging method was more effective in showing the distribution of soil quality indices compared to the IDW method. The results of all these researches show that the optimal and appropriate method for estimation and estimating data can be different depending on the variable. The limited size of the studied area, sample intervals, the number of samples, the heterogeneity of the area in terms of variables and the existence of a trend can also influence the selection of estimation methods. According to the results obtained from the studied area, soil erosion has a significant effect on some soil quality characteristics. According to this research, conducting similar researches in other parts of Iran under different soil and climate conditions, along with a wide range of erosion effects on soil quality, general modeling of soil quality is important. The result of this can help to develop and create a national index of soil quality, and the existence of this index can provide the possibility of permanent monitoring of the soil condition at the level of agricultural and natural areas of the country and predict the possibility of soil destruction and erosion.

Key Words: Cumulative quality index, Geostatistics,Iran, Nemouro quality index, Soil erosion, Soil quality.

Cite this article: Marefati, H., Shahab Arkhazloo, H., Asgari, Sh., & Soltani Tolarood, A.A. (2024). The effect of gully erosion on integrated soil quality indices in South of Ardabil. *Journal of* Environmental *Erosion Research.2024; 14 (3) :43-65*. http//doi.org/

© The Author(s).
DOI: http//doi.org/
Published by Hormozgan University Press.
URL: http://magazine.hormozgan.ac.ir

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-16]

بررسی اثر فرسایش خندقی بر تغییرات شاخص‌های تجمعی کیفیت خاک در جنوب اردبیل

حامد معرفتی: *دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی.*

حسین شهاب آرخازلو*: *دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی.*

شکرالله اصغری: *استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی.*

علی اشرف سلطانی طولارود: *دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی.*

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخچهٔ مقاله (تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۲/۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۲/۲۰)

DOI: http//doi.org

چکیده

فرسایش خندقی شدیدترین مرحله فرسایش خاک می‌باشد که در حوضه آبخیز ملااحمد در جنوب اردبیل به وفور مشاهده می‌شود. در این مطالعه بررسی تاثیر فرسایش خندقی بر شاخص‌های کیفیت خاک در نقاط فرسایش یافته و فرسایش نیافته انجام گرفته است. بدین منظور ۴۸ نمونه از نقاط فرسایش یافته و فرسایش نیافته از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری و به فاصله کمتر از ۱۰ متری از هم به صورت نقاط جفت شده تهیه و مورد آنالیز آزمایشگاهی قرار گرفتند. همبستگی شاخص‌های کیفیت خاک (IQI_{TDS}، IQI_{MDS} ،NQI_{TDS} ،NQI_{MDS}) به روش پیرسون در سطح معنی داری ۵ درصد تعیین شد. مجموعه MDS در نقاط فرسایش نیافته به صورت بهینه ای توانست شاخص‌های کیفیت خاک را محاسبه کند. سپس با کمک روش‌های زمین آماری (کریجینگ و IDW) نقشه توزیع شاخص‌های کیفیت خاک در نقاط فرسایش یافته و فرسایش نیافته تهیه شد. به طور کلی منطقه از نظر شاخص‌های کیفیت خاک (IQI_{TDS}، IQI_{MDS}، NQI_{TDS}، NQI_{MDS}) در محدوده‌ای با کیفیت متوسط تا خوب قرار دارد. بر اساس آماره ضریب تبیین (R^2) و مجذور میانگین مربعات خطا، روش کریجینگ در مقایسه با روش IDW کارایی بهتری در نشان دادن توزیع شاخص‌های کیفیت خاک در کل منطقه مورد مطالعه داشت. با توجه به نتایج تحقیق حاضر، فرسایش خندقی باعث کاهش کیفیت خاک در جنوب اردبیل شده است.

واژگان کلیدی: زمین آمار، شاخص تجمعی کیفیت، شاخص کیفیت نمورو، فرسایش خاک، کیفیت خاک.

* **نویسنده مسئول:** hose_shohab@yahoo.com

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-16]

۱-مقدمه

خاک یکی از ارزشمندترین منابع طبیعی جهان به شمار می‌رود که اساس بسیاری از جوامع بشری بر آن استوار است (Asghari et al, 2015). انواع مختلف فرسایش آبی باعث هدر رفت خاک و پیامدهای منفی ناشی از آن می‌شود. فرسایش خندقی[۲] در مقایسه با دیگر انواع فرسایش آبی از عوامل مهم تخریب خاک محسوب می‌شود (Asghari et al, 2015). وجود فرسایش خندقی و اثر مخرب آن بر ویژگی‌های خاک در سه منطقه از استان اردبیل شامل حوضه آبخیز ملااحمد، منطقه سرچم و منطقه ارتداغ بررسی شده است (Shahab et al, 2018).

از دیدگاه کشاورزی، به توانایی تولید پایدار خاک، کیفیت خاک[۳] گفته می‌شود و کشاورزی ناپایدار، دلیل اصلی کاهش کیفیت خاک در طول زمان می‌باشد (Lal; 1998). تعیین کیفیت خاک در بخش‌های کشاورزی و منابع طبیعی برای مدیریت بهینه اراضی و رسیدن به بیشترین بهره‌وری اقتصادی ضروری می‌باشد. همچنین مدیریت مطلوب خاک‌ها از نظر زیست محیطی به گونه‌ای که فرسایش خاک به حداقل برسد، نیازمند شناخت دقیق ظرفیت خاک در استفاده از آن می‌باشد، که این امر با تعیین کیفیت خاک امکان پذیر است. در کشورهای درحال توسعه به علت آسیب‌پذیری خاک‌های زراعی از نظر زیست محیطی توجه به کیفیت خاک از اهمیت زیادی برخوردار می باشد (Wander et al; 2002).

فرسایش و کیفیت خاک پدیده‌هایی کاملاً به هم مرتبط هستند، به گونه‌ای که فرسایش می‌تواند بر کیفیت خاک و کیفیت نیز بر فرسایش خاک تاثیر بگذارد (Singh and khera, 2009). فرسایش خاک باعث کاهش شاخص های کیفیت فیزیکی مانند پایداری ساختمان خاک و قابلیت نگهداری آب می‌شود. همچنین با تغییر کاربری زمین و تشدید عملیات زراعی، فرسایش خاک افزایش و شاخص‌های کیفیت فیزیکی خاک کاهش می‌یابد (Wallace and Terry; 1998). فرسایش خاک مهم‌ترین عامل تخریب زمین مناطق خشک و نیمه خشک محسوب می‌شود، از این رو فرسایش باعث تخریب فیزیکی خاک می‌شود. با توجه به این موضوع بررسی تأثیر فرسایش خاک بر شاخص‌های کیفیت خاک در کاربری‌های مختلف زمین اهمیت پیدا کرد (Singh and Khera; 2009). Diack و همکاران (۱۹۹۹) از فرسایش خاک به عنوان پایه‌ای برای گسترش تابع نمره‌دهی برای ارزیابی سطح کیفیت خاک استفاده کردند. نتایج نشان داد که ویژگی‌های بیوشیمیایی مهم‌ترین شاخص کیفیت خاک حساس به فرسایش‌پذیری می‌باشند. برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی که تحت تأثیر مدیریت خاک قرار می‌گیرند جزو عوامل موثر برکیفیت خاک می‌باشند. برای تعیین کیفیت خاک باید ویژگی‌های از آن که بر کیفیت تأثیرگذار هستند و می‌توانند در شاخص‌های کیفیت خاک لحاظ گردند، مشخص شوند (Friedman et al; 2001).

شاخص‌های کیفیت خاک ابزار مهمی برای ارزیابی کیفیت خاک می‌باشند (Topp et al; 1997). برخی مدل‌های کمی برای تعیین شاخص کیفیت خاک بوجود آمده است، مانند شاخص کیفیت تجمعی[۴] (IQI) و شاخص

[2] Gully erosion.
[3] Soil quality.
[4] Integrated quality index.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-16]

کیفیت نمورو[5] (NQI). مدل شاخص کیفیت تجمعی برگرفته از شاخص کیفیت خاک Doran and Parkin (1994) می‌باشد. کیفیت خاک را در یک منطقه می‌توان با استفاده از مدل‌های IQI و NQI با دو مجموعه داده‌های کل (TDS) و حداقل داده‌ها (MDS) تعیین کرد. مجموعه داده‌های کل شامل کل ویژگی‌های مورد استفاده برای ارزیابی کیفیت خاک و مجموعه حداقل داده‌ها شامل مهم‌ترین ویژگی‌های خاک می‌باشد که تاثیر بیشتری بر روی کیفیت خاک دارند و از میان مجموعه TDS انتخاب می‌شوند (Shahab et al; 2013). مزیت مهم استفاده از مدل‌ها به کار بردن هم‌زمان چندین ویژگی خاک، حساسیت و دقت بالای آن می‌باشد (Andrews et al; 2002). Shahab و همکاران (۲۰۱۸)، شاخص تجمعی کیفیت (IQI)، شاخص کیفیت نمورو (NQI)، شاخص رتبه‌بندی تجمعی[6] (CR) و شاخص پایداری (SI) بین دیواره‌های خندق و خاک‌های خارج از خندق در سه منطقه استان اردبیل را مقایسه کردند. نتایج نشان داد که در هر سه منطقه ۸ خواص از ۱۵ خواص خاک در نزدیکی دیواره‌های خندق تغییر کرده است که نشان‌دهنده کاهش پایداری ساختمان خاک، کربن آلی و شاخص دکستر و افزایش نسبت کاتیونی پایداری ساختمان خاک و شاخص فرسایش‌پذیری خاک می‌باشد. بنابراین تشکیل و توسعه خندق در این محل‌ها باعث کاهش کیفیت خاک در نزدیکی دیواره خندق ها می‌شود.

در مطالعات مختلف برای انتخاب ویژگی‌های موثر بر کیفیت شیمیایی- بیولوژیکی خاک و مدل‌های مختلف کیفیت خاک، چهار ترکیب حاصل از مدل‌ها و روش‌های کیفیت خاک مورد مقایسه قرار گرفتند و مناسب‌ترین شاخص و ویژگی‌ها انتخاب شدند. Ghaemi و همکاران (۲۰۱۴) ضریب تبیین بین شاخص‌های IQI_{TDS} و IQI_{MDS} را معادل ۰/۸۸۳ و بین NQI_{TDS} و NQI_{MDS} را معادل ۰/۸۱۸ نشان دادند و بیان کردند که شاخص کیفیت تجمعی (IQI) کارایی بهتری برای ارزیابی کیفیت خاک منطقه مورد مطالعه دارد (Ghaemi et al, 2014). همبستگی مثبت و معنی دار بین IQI_{TDS} و IQI_{MDS} و بین NQI_{TDS} و NQI_{MDS} مشاهده شده است که نشان می‌دهد با اندازه‌گیری پارامترهای کمتر برای تعیین کیفیت خاک به طور تقریبی به نتایج حاصل از ارزیابی TDS رسید و باعث صرفه جویی در وقت و هزینه شد (Ramezani et al, 2016). همان طور که قبلاً اشاره شد، ایجاد یک شاخص کیفیت خاک شامل انتخاب مهم‌ترین ویژگی‌های مؤثر در این روش با نظرسنجی از متخصصین علوم خاک و منابع علمی، ویژگی‌هایی که بیشترین اثر را بر کیفیت خاک دارند به عنوان MDS انتخاب می‌شوند (Andrews et al; 2002). از روش‌های همبستگی چندگانه، تجزیه عامل و تجزیه مؤلفه‌های اصلی به منظور انتخاب خصوصیات برای شاخص مورد نظر استفاده شده است (Bachmann and Kinzel; 1992).

زمین آمار[7] یکی از روش‌های رایج بر اساس اصل پیوستگی، تغییر پذیری مکانی و زمانی ویژگی‌های محیطی را ارزیابی می کند و همبستگی نمونه‌ها را به صورت توابع ریاضی به نام واریوگرام[8] ارائه می دهد (Liu et al, 2006).

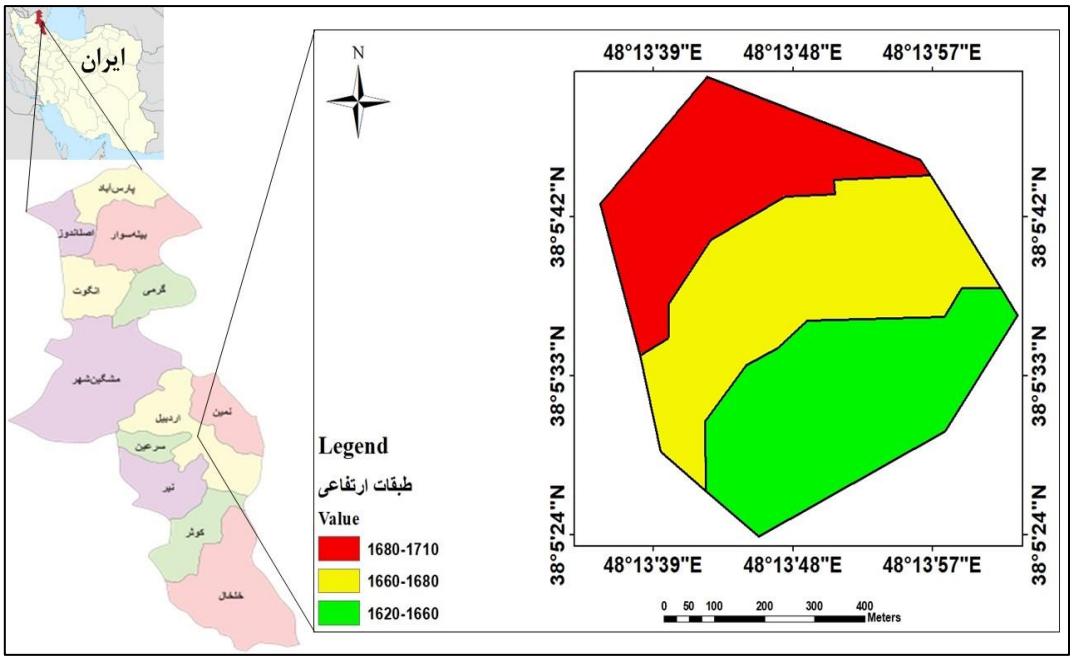
[5] Nemero quality index.
[6] Cumulative rating.
[7] Geostatistics.
[8] Variogram.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-16]

امروزه در اکثر مطالعات اعتماد به روش زمین آمار افزایش یافته است که حتی در مواردی از فواصل نمونه برداری چندین کیلومتر نیز برای تهیه نقشه های کریجینگ[9] استفاده می شود(Lopez et al, 2002). به دلیل وضعیت اقلیمی خشک تا نیمه خشک بخش وسیعی از کشور ایران و مدیریت سنتی در زمینه‌های مرتعی و زراعی در ایران، خاک‌ها همواره دستخوش فرسایش بوده و کیفیت آن‌ها در حال کاهش است. هدف از این مطالعه در جنوب شهر اردبیل محاسبه شاخص‌های کیفیت خاک و بررسی تأثیر فرسایش خندقی بر روی شاخص‌های کیفیت IQI و NQI، مقایسه همبستگی بین مهم‌ترین ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک (MDS) و کل ویژگی‌های مؤثر برکیفیت خاک (TDS) و ارائه نقشه توزیع شاخص‌های کیفیت خاک به کمک روش‌های زمین آمار می‌باشد.

۲-منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه بخشی از حوضه آبخیز ملااحمد در نزدیکی روستای امین لو در ۱۰ کیلومتری جنوب شهر اردبیل واقع شده است. این منطقه در محدوده‌ی جغرافیایی ۳۸ درجه و ۵ دقیقه و ۳۹ ثانیه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۱۳ دقیقه و ۴۸ ثانیه طول شرقی قرار دارد (شکل ۱). بخشی از این منطقه به مساحت حدود ۵۰ هکتار دارای خندق‌های فعال می‌باشد انتخاب شد.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

۳-مواد و روش

۳-۱-داده ها و مراحل اجرای پژوهش

۴۸ نمونه خاک سطحی از عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری، شامل ۲۴ نمونه از نقطه فرسایش یافته (مجاور خندق ها) و ۲۴ نمونه از نقطه فرسایش نیافته (در فواصل بین خندق ها)، به فاصله کمتر از ۱۰ متری از هم برداشت شد. نمونه برداری به صورت جفت نقاط انجام و مقایسه میانگین جفت شده (Paired t-test) انجام شد. از هر نقطه شامل یک نمونه دست

[9] Kriging.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-16]

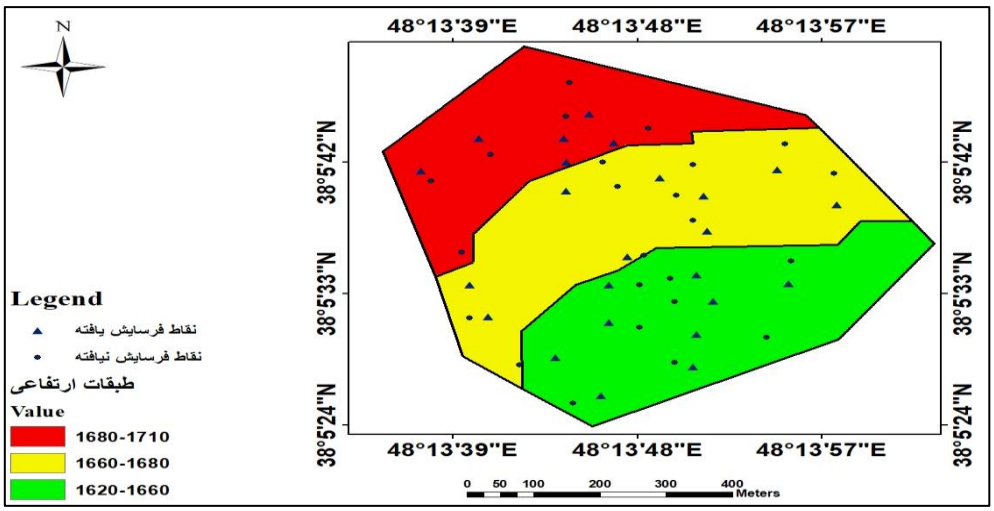
خورده و یک نمونه دست نخورده بود. در شکل۲ چگونگی توزیع نقاط نمونه برداری از سطح منطقه نشان داده شده است.

جرم مخصوص ظاهری[10] خاک با استفاده از سیلندر نمونه برداری و جرم مخصوص حقیقی[11] با استفاده از پیکنومتر به روش Blake and Hartge (1986)، درصد ذرات شن، سیلت و رس (بافت خاک) از روش هیدرومتری با قرائت چهار زمانه (Gee and Bauder., 1986) و شاخص فرسایش پذیری خاک به روش Wischmeier و همکاران (۱۹۶۹) تعیین گردید. MWD[12] به روش الک تر با استفاده از سری الک های ۲، ۱، ۰/۵، ۰/۲۵ و ۰/۱۰۶ میلی متر تعیین و سپس با استفاده از رابطه ۱، محاسبه گردید (Kemper and Rosenau, 1986).

رابطه ۱ $MWD= \sum_{i=1}^{n} x_i w_i$

w_i: نسبت وزن باقیمانده بر روی هر الک و x_i: قطر میانگین هر کلاس(mm).

هدایت هیدرولیکی اشباع با استفاده از سیلندرهایی به حجم ۱۰۰ سانتی مترمکعب تعیین شد (Klute and Dirksen., 1986) تخلخل کل خاک با استفاده از جرم مخصوص ظاهری و حقیقی و از رابطه n= 1-$[B_d/P_d]$ تعیین شد، که در این رابطه B_d جرم مخصوص ظاهری و P_d جرم مخصوص حقیقی و n تخلخل کل خاک می‌باشد (Danielson and Suterland., 1986). pH و Ec به نسبت ۱:۲ توسط دستگاه‌های pH متر و Ec متر (Page et al., 1982)، درصد ماده آلی به روش هضم تر (Walkley and Black., 1934)، درصد کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون با اسید هیدروکلریک (Page et al; 1982)، اندازه گیری شدند.



شکل ۲: چگونگی توزیع نقاط نمونه برداری در سطح منطقه مورد مطالعه

مجموع ویژگی‌های اندازه‌گیری شده به عنوان مجموعه کل داده ها (TDS) در نظرگرفته شد و برای گزینش مجموعه حداقل داده‌ها (MDS) از روش تجزیه مولفه‌های اصلی (PCA) استفاده شد (Doran and Parkin; 1994). این کار با استفاده از نرم افزار آماری SPSS 22 انجام گرفت. از روش PCA برای کاهش حجم داده‌ها، به صورت انتخاب

[10] Bulk density.
[11] Particle density.
[12] Mean weight diameter.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-16]

ویژگی‌هایی که بیشترین تأثیر را بر کیفیت خاک منطقه مورد مطالعه داشتند، استفاده شد (Qi et al; 2009). طبق روش Andrews و همکاران (۲۰۰۲)، ویژگی‌هایی که دارای بیشترین همبستگی با مؤلفه‌های اصلی با ارزش ویژه بزرگ‌تر از ۱ هستند به عنوان MDS انتخاب می‌شوند.

به دلیل اینکه ویژگی‌های مورد بررسی دارای واحد های مختلفی هستند، برای اینکه بتوان آن‌ها را در یک شاخص کلی بیان و ویژگی‌ها را بی بعد کرد، از توابع لگاریتمی استفاده گردید (Qi et al; 2009). سهم هر ویژگی (COM) به وسیله‌ی روش تجزیه عامل (FA) در دو مجموعه‌ی TDS و MDS محاسبه شدند (Shukla et al; 2004). نسبت مقدار سهم هر ویژگی به مجموع مقادیر سهم کل ویژگی ها در هر مجموعه، به عنوان وزن هر ویژگی در نظر گرفته شدند (Qi et al; 2009). پس از تعیین وزن ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک در هر نقطه، شاخص‌های کیفیت برای هر نمونه خاک، با استفاده از رابطه شاخص تجمعی کیفیت (IQI)، (رابطه ۲) و رابطه شاخص کیفیت خاک نمورو (NQI)، (رابطه ۳) محاسبه شدند (Doran and Parkin; 1994).

رابطه ۲

$$IQI = \sum_{i=1}^{n} W_i N_i$$

W_i: وزن اختصاص یافته به هر ویژگی خاک، N_i: مقدار اختصاص یافته به هر ویژگی، n: تعداد ویژگی‌های مورد نظر

رابطه ۳

$$NQI = \sqrt{\frac{P_{ave}^2 + P_{min}^2}{2}} \times \frac{n-1}{n}$$

P_{ave}: میانگین مقادیر ویژگی های انتخاب شده برای هر نمونه خاک، P_{min}: حداقل نمره در بین ویژگی های انتخاب شده برای هر نمونه خاک و n: تعداد ویژگی های مورد نظر برای محاسبه شاخص.

هرکدام از شاخص‌ها برای هر نمونه خاک با استفاده از دو مجموعه‌ی TDS و MDS تعیین شدند. در نتیجه چهار شاخص کلی کیفیت خاک شامل IQI_{TDS}، IQI_{MDS}، NQI_{TDS}، NQI_{MDS} به دست آمد. سپس با استفاده از جدول ۱ درجه کیفیت خاک منطقه مورد مطالعه تعیین شد (Qi et al;2009).

جدول۱: تقسیم‌بندی‌های درجه کیفیت خاک درروش های مختلف معیاری و مدل‌ها (Qi et al;2009)

مدل شاخص کیفیت خاک	روش انتخاب معیار	درجه کیفیت خاک			
		خیلی خوب(I)	خوب(II)	متوسط(III)	ضعیف(IV)
شاخص کیفیت تجمعی(IQI)	TDS	۰/۸≤	۰/۸ – ۰/۷	۰/۷ – ۰/۶	۰/۶≥
	MDS	۰/۸≤	۰/۸ – ۰/۷	۰/۷ – ۰/۶	۰/۶≥
شاخص کیفیت نمورو(NQI)	TDS	۰/۵≤	۰/۵ – ۰/۴	۰/۴ – ۰/۳	۰/۳≥
	MDS	۰/۵≤	۰/۵ – ۰/۴	۰/۴ – ۰/۳	۰/۳≥

پس از محاسبه شاخص‌های کیفیت خاک در نقاط نمونه برداری در سطح منطقه، با استفاده از دو روش کریجینگ و وزن دهی عکس فاصله[۱۳] (IDW)، نقشه پیوسته توزیع شاخص‌های کیفیت خاک منطقه به دست آمد. به منظور مقایسه تاثیر فرسایش خندقی بر توزیع شاخص‌های کیفیت خاک، نقشه هر یک از شاخص‌های کیفیت خاک با استفاده

[13] Inverse Distance Weighted.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-16]

از نقاط نمونه برداری بدون فرسایش و نقاط نمونه برداری مجاور فرسایش خندقی تهیه و اثر فرسایش بر تغییرات توزیع شاخص کیفیت خاک بررسی شد. بنابراین برای منطقه مورد مطالعه با استفاده از هر یک از روش های کریجینگ و IDW هشت نقشه کیفیت خاک بر اساس چهار مدل IQI_{TDS} IQI_{MDS}، NQI_{TDS}، NQI_{MDS} و با استفاده از دو سری نمونه خاک فرسایش یافته و فرسایش نیافته تهیه شد. برای استفاده از روش کریجینگ ابتدا نیم تغییرنمای مربوط به هر داده در نرم افزار GS+ 5.1 تهیه شد. سپس بهترین مدل برازش شده بر سمی واریوگرام بر اساس بیشترین R^2، کمترین Rss و کمترین نسبت اثر قطعه‌ای بر سقف انتخاب گردید، سپس با استفاده از رابطه ۵ تخمین کریجینگ نقطه ای به روش کریجینگ معمولی[14] صورت گرفت و تخمین نقاط مجهول از روی نقاط معلوم انجام گرفت. در نهایت نقشه‌های مربوطه در محیط نرم افزار GIS 10.8 تهیه شد. برای تهیه نقشه‌های کیفیت خاک به روش IDW از رابطه ۶ در محیط نرم افزار GIS 10.8 استفاده شد.

رابطه ۵

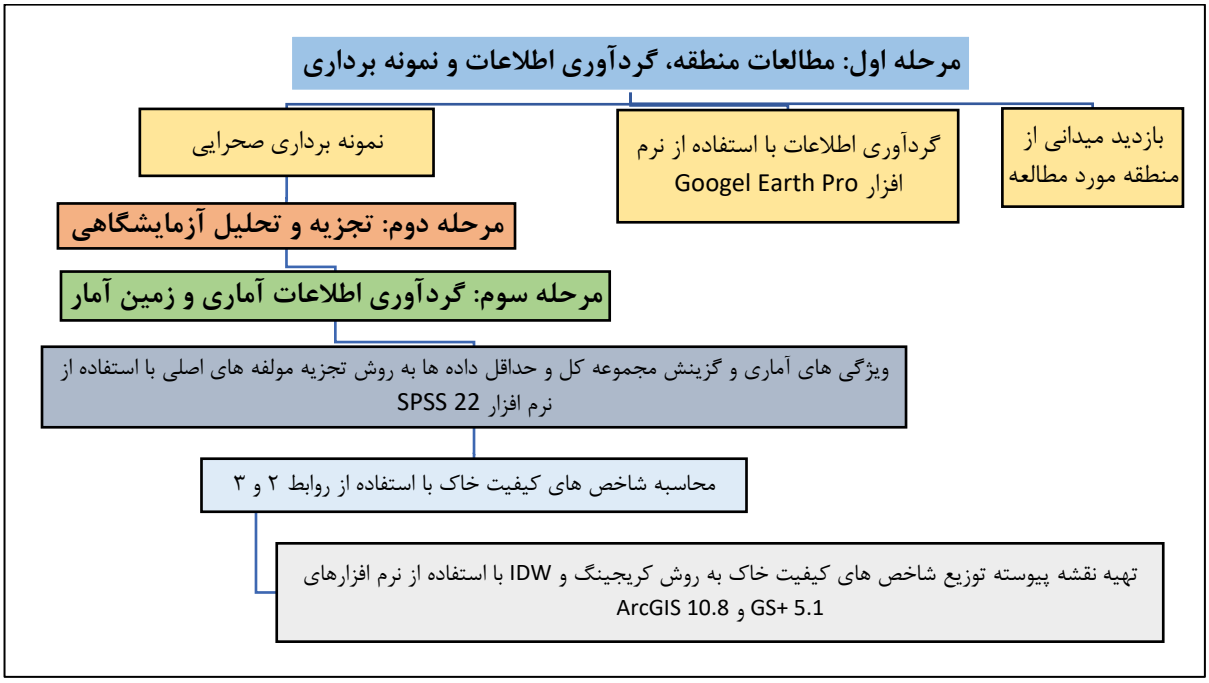
$$Z_{(0)} = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i Z_{(X_i)}$$

$Z_{(0)}$ مقدار تخمینی، λ_i وزن یا اهمیتی که به نمونه iام نسبت داده شده است و $Z_{(X_i)}$ مقدار مشاهده‌ای نمونه iام است.

رابطه ۶

$$Z(X,Y)=\frac{\sum_{i=1}^{n}\frac{Z_i}{d_i^p}}{\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{d_i^p}}$$

در این رابطه Z(X,Y) مقدار متغیر نقطه مجهول، Z_i مقدار متغیر نقطه معلوم، P توان و d فاصله نقطه مجهول تا نقطه iام است. در این پژوهش از توان (P=2) استفاده شد.



شکل۳: نمودار جریانی تحقیق

[14] Ordinary Kriging.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-16]

۴-یافته ها

جدول (۲) توصیف آماری خواص اندازه‌گیری شده در نقاط فرسایش یافته و فرسایش نیافته را نشان می‌دهد. با توجه به میزان شن سیلت و رس، بافت خاک در هر دو سری داده، لوم رسی می‌باشد. بر پایه گروه‌بندی Wilding and Dress, 1983 متغیرهایی با ضریب تغییرات کم‌تر از ۱۵ درصد دارای تغییرات کم، متغیرهایی با ضریب تغییرات ۳۵-۱۵ درصد دارای تغییرات متوسط و متغیرهایی با ضریب تغییرات بیش از ۳۵ درصد دارای تغییرات زیاد می‌باشند. بر پایه این گروه‌بندی، تغییرات جرم مخصوص ظاهری، جرم مخصوص حقیقی، تخلخل کل و اسیدیته در نقاط فرسایش یافته، جرم مخصوص حقیقی، درصد سیلت، تخلخل کل و اسیدیته در نقاط فرسایش نیافته، اندک بود. درجه تغییرات درصد سیلت، فرسایش پذیری خاک و درصد کربنات کلسیم معادل در نقاط فرسایش یافته و جرم مخصوص ظاهری درصد شن و رس میانگین وزنی قطرخاکدانه، فرسایش پذیری خاک و درصد کربنات کلسیم معادل در نقاط فرسایش نیافته، متوسط بود. درصد ماده آلی، هدایت هیدرولیکی اشباع، درصد شن و رس میانگین وزنی قطرخاکدانه و هدایت الکتریکی در نقاط فرسایش یافته و فرسایش پذیری خاک، درصد ماده آلی و هدایت الکتریکی در نقاط فرسایش نیافته با بیش‌ترین ضریب تغییرات از غیریکنواختی شدیدی برخوردار بودند. هرچند تغییرات موجود در ویژگی‌های خاک تابع عوامل گوناگون بوده و تا حد زیادی تصادفی می‌باشد، ضریب تغییرات بیشتر خاک‌های فرسایش یافته نسبت به خاک‌های فرسایش نیافته می‌تواند به دلیل به هم‌خوردگی سطح خاک و نیز انتقال ذرات ریز رس از سطح خاک باشد. افزایش میزان جرم مخصوص ظاهری در نقاط فرسایش یافته می‌تواند به هم خوردن سطح خاک به دلیل فرسایش آبی و کاهش خلل و فرج منافذ باشد که با نتایج Bahrami و همکاران (۲۰۱۰) مطابقت دارد. همچنین افزایش میزان هدایت هیدرولیکی اشباع در خاک فرسایش یافته می‌تواند به علت افزایش درصد شن خاک که همراه با کاهش میزان رس و سیلت اتفاق افتاده باشد.

جدول۲: آماره توصیفی ویژگی های اندازه گیری شده در نقاط فرسایش یافته و فرسایش نیافته

ویژگی های خاک	نقاط فرسایش یافته				نقاط فرسایش نیافته			
	واحد	میانگین	ضریب تغییرات	انحراف معیار	واحد	میانگین	ضریب تغییرات	انحراف معیار
Ks	cm/min	۰/۱۱	۷۶/۳۶	۰/۰۸۴	cm/min	۰/۰۸	۷۵	۰/۰۶
BD	gr/cm^3	۱/۲۱	۱۲/۴	۰/۱۵	gr/cm^3	۱/۱	۱۶/۳۶	۰/۱۸
PD	gr/cm^3	۲/۶۷	۵/۴۴	۰/۱۴	gr/cm^3	۲/۵۷	۶	۰/۱۶
OC	%	۰/۹۲	۳۹/۱۳	۰/۳۶	%	۱/۰۳	۳۹/۸	۰/۴۱
Sand	%	۲۸	۴۰	۱۰/۹۵	%	۲۴	۳۵	۸/۴۷
Silt	%	۴۳	۱۵/۷	۶/۵۳	%	۴۴	۱۲/۵۱	۵/۷۳
Clay	%	۲۹	۳۵/۶۵	۱۰/۳۴	%	۳۲	۲۴/۳	۷/۸۳
MWD	mm	۱/۳۹	۴۴/۶	۰/۶۲	mm	۱/۸	۲۳/۳۳	۰/۴۲
K	-	۰/۲۸	۲۵	۰/۰۷	-	۰/۲۷	۱۸/۵۲	۰/۰۵

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-16]

n	-	۰/۵۴	۱۳	۰/۰۷	-	۰/۵۸	۱۳/۸	۰/۰۸
CCE	%	۲۸/۴۷	۳۴/۷۷	۹/۹	%	۲۵/۴۲	۳۳/۷۵	۸/۵۸
pH	-	۸/۱۱	۱/۷۳	۰/۱۴	-	۸/۱۳	۱/۱	۰/۰۹
Ec	ds/cm	۰/۲۱	۹۵/۲۳	۰/۴۱	ds/cm	۰/۳۳	۶۶/۶۶	۰/۵۵

Ks: هدایت هیدرولیکی اشباع، **BD**: وزن مخصوص ظاهری، **PD**: وزن مخصوص حقیقی، **OC**: درصد کربن آلی، **Sand**: درصد شن، **Silt**: درصد سیلت **Clay**: درصد رس **MWD**: میانگین وزنی قطر خاکدانه، **K**: شاخص فرسایش پذیری خاک، **n**: تخلخل کل، **CCE**: درصد کربنات کلسیم معادل، **pH**: واکنش خاک، **Ec**: هدایت الکتریکی،

برای تعیین وزن ویژگی‌ها، از روش تجزیه عامل (FA) یک بار برای تعیین مقادیر وزن و سهم اختصاص یافته به هر ویژگی برای مجموعه TDS و یک بار نیز برای مجموعه MDS در نقاط فرسایش یافته و فرسایش نیافته استفاده شد، که این مقادیر در جدول (۳) ارائه شده است. در این جدول مقادیر COM سهم هر ویژگی و از تقسیم سهم هر ویژگی بر مجموع سهم همه ویژگی‌ها وزن هر کدام محاسبه شده است که از این مقادیر در محاسبه شاخص IQI استفاده شد.

جدول۳: وزن و سهم ویژگی‌های کیفیت نقاط فرسایش یافته و فرسایش نیافته در دو مجموعه TDS و MDS با استفاده از تجزیه عامل(FA)

ویژگی‌های خاک	نقاط فرسایش یافته				نقاط فرسایش نیافته			
	TDS		MDS		TDS		MDS	
	COM	وزن	COM	وزن	COM	وزن	COM	وزن
Ks	۰/۶۹	۰/۰۶			۰/۶۸	۰/۰۶		
BD	۰/۹۲	۰/۰۸			۰/۹۲	۰/۰۸	۰/۹۷	۰/۲۶
PD	۰/۸۷	۰/۰۸			۰/۷۲	۰/۰۷		
OC	۰/۷۵	۰/۰۷			۰/۸۷	۰/۰۸		
Sand	۰/۹۱	۰/۰۸	۰/۹۳	۰/۲۷	۰/۹۴	۰/۰۸	۰/۸۸	۰/۲۴
Silt	۰/۸۶	۰/۰۸			۰/۸۹	۰/۰۸		
Clay	۰/۹۷	۰/۰۹	۰/۹۳	۰/۲۷	۰/۹۷	۰/۰۹	۰/۸۸	۰/۲۴
MWD	۰/۵۹	۰/۰۵			۰/۷۴	۰/۰۷		
K	۰/۸۶	۰/۰۸			۰/۹	۰/۰۸		
n	۰/۹۸	۰/۰۹			۰/۹۵	۰/۰۸	۰/۹۷	۰/۲۶
CCE	۰/۸۸	۰/۰۸			۰/۷	۰/۰۶		
pH	۰/۸۳	۰/۰۸	۰/۸۱	۰/۲۳	۰/۸۲	۰/۰۷		
Ec	۰/۶۹	۰/۰۶	۰/۷۹	۰/۲۳	۰/۷۴	۰/۰۷		

Ks: هدایت هیدرولیکی اشباع، **BD**: وزن مخصوص ظاهری، **PD**: وزن مخصوص حقیقی، **OC**: درصد کربن آلی، **Sand**: درصد شن، **Silt**: درصد سیلت **Clay**: درصد رس **MWD**: میانگین وزنی قطر خاکدانه، **K**: شاخص فرسایش پذیری خاک، **n**: تخلخل کل، **CCE**: درصد کربنات کلسیم معادل، **pH**: واکنش خاک، **Ec**: هدایت الکتریکی **COM**: سهم هر ویژگی.

با انجام تحلیل عاملی، جدول کل پراکندگی تبیین شده چرخش یافته برای داده‌های نقاط فرسایش یافته و فرسایش نیافته در جدول (۴) ارائه گردیده است. برای استخراج عامل‌ها از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) استفاده شده است. برای ویژگی‌های نقاط فرسایش یافته و فرسایش نیافته ۵ عامل نهایی استخراج شده که مقدار درصد واریانس و

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-16]

درصد واریانس تجمعی عامل‌ها نیز در جدول (۴) ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود عامل‌های نهایی استخراج شده در تمام مجموعه داده‌ها ۷۵ تا ۸۵ درصد کل تغییرات متغیرها را تبیین می‌کنند. بنابراین عوامل نهایی استخراج شده می‌توانند به خوبی برای کاهش حجم داده‌ها و انتخاب مهم‌ترین ویژگی‌های مورد بررسی، استفاده گردند.

با استفاده از جدول (۴)، مهم‌ترین ویژگی‌هایی که همبستگی بیشتری داشتند به عنوان مجموعه MDS انتخاب شدند. در نقاط فرسایش یافته متغیرهای Clay،Sand، pH و Ec و در نقاط فرسایش نیافته متغیرهای Clay،Sand،BD و n به‌عنوان MDS انتخاب شدند. پس از تعیین مجموعه MDS و نمره‌دهی و وزن‌دهی ویژگی‌ها، شاخص‌های IQI_{TDS} IQI_{MDS}، NQI_{MDS} NQI_{TDS} برای کیفیت خاک با استفاده از روابط (۲) و (۳)، محاسبه شدند. نتایج آنالیز همبستگی شاخص‌های کیفیت خاک به روش پیرسون در سطح معنی داری ۵ درصد، با استفاده از ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک (TDS و MDS) در جدول (۵) نشان داده شده است.

جدول۴: نتایج تجزیه مولفه های اصلی خصوصیات کیفیت خاک برای نقاط فرسایش یافته و فرسایش نیافته

	نقاط فرسایش یافته					نقاط فرسایش نیافته				
PCs^a	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
مقدار ویژه	۳/۴۲	۲/۳۲	۲/۱۲	۱/۷	۱/۰۵	۳/۸۸	۲/۷۹	۱/۹	۱/۳۱	۱/۱۲
درصد واریانس عامل	۲۶/۳۴	۱۷/۸۵	۱۶/۳۳	۱۳/۱	۸/۱۲	۲۹/۸۷	۲۱/۴۵	۱۴/۶۶	۱۰/۱	۸/۶۳
درصد واریانس تجمعی	۲۶/۳۴	۴۴/۱۹	۶۰/۵۲	۷۳/۶۲	۸۱/۷۴	۲۹/۸۷	۵۱/۳۲	۶۵/۹۸	۷۶/۰۷	۸۴/۷
ویژگی‌های خاک	همبستگی بین ویژگی ها و مولفه های اصلی دوران یافته									
Ks	۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۱۷	۰/۷۷	۰/۲۴	۰/۶۸	۰/۴۲	۰/۱۷	-۰/۰۴	-۰/۰۶
BD	-۰/۰۹	۰/۰۲	۰/۹۵	-۰/۰۷	-۰/۰۰۴	-۰/۱۵	**-۰/۹۴**	۰/۱۳	-۰/۰۴	-۰/۰۶
PD	۰/۳	۰/۰۸	-۰/۱۵	۰/۱۴	۰/۷۶	-۰/۰۳	۰/۱۵	۰/۰۲	-۰/۰۹	۰/۹۱
OC	۰/۲۸	۰/۱۷	۰/۰۵	-۰/۰۴	-۰/۸	۰/۸۶	۰/۲۲	۰/۲۶	۰/۰۶	۰/۰۵
Sand	**۰/۸۸**	۰/۱۴	-۰/۱۹	-۰/۲۹	۰/۰۶	**۰/۸۷**	-۰/۱۳	-۰/۳۶	-۰/۱۴	۰/۱۴
Silt	۰/۲	-۰/۴۹	۰/۱	۰/۷۷	-۰/۱۵	-۰/۱	۰/۲۴	۰/۳۸	۰/۸۲	۰/۱
Clay	**-۰/۹۴**	۰/۱۶	۰/۱۴	-۰/۱۸	۰/۰۳	**-۰/۸۷**	-۰/۰۳	۰/۱۱	-۰/۴۵	-۰/۰۸
MWD	۰/۵۱	-۰/۲	۰/۲۵	-۰/۴۳	-۰/۲	۰/۴۲	۰/۲۶	۰/۱۲	۰/۳۴	۰/۶۱
K	۰/۶۴	-۰/۴	-۰/۰۴	۰/۵۲	۰/۱۴	۰/۱۹	-۰/۱۶	۰/۰۱	۰/۹۱	۰/۰۸
n	۰/۲۲	-۰/۰۲	-۰/۸۷	۰/۱۴	۰/۳۴	۰/۱۱	**۰/۹**	-۰/۱۱	-۰/۰۱	۰/۳۵
CCE	۰/۳۴	۰/۵۹	۰/۵۴	۰/۲۴	۰/۲۷	-۰/۰۲	۰/۰۹	۰/۷۲	۰/۲۷	۰/۱۵
pH	-۰/۰۴	**۰/۹**	-۰/۰۹	-۰/۰۰۱	-۰/۰۸	-۰/۳۳	-۰/۳	۰/۷۲	۰/۲۷	۰/۱۵
Ec	۰/۲۱	**-۰/۷۵**	-۰/۱۵	۰/۲۳	۰/۰۶	-۰/۲۷	۰/۲۲	-۰/۷۸	-۰/۰۵	-۰/۰۹

Ks: هدایت هیدرولیکی اشباع، **BD**: وزن مخصوص ظاهری، **PD**: وزن مخصوص حقیقی، **OC**: درصد کربن آلی، **Sand**: درصد شن، **Silt**: درصد سیلت **Clay**: درصد رس **MWD**: میانگین وزنی قطر خاکدانه، **K**: شاخص فرسایش پذیری خاک، **n**: تخلخل کل، **CCE**: درصد کربنات کلسیم معادل، **pH**: واکنش خاک، **Ec**: هدایت الکتریکی.

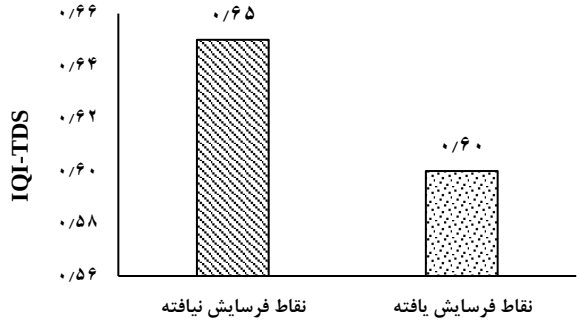
[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-16]

جدول۵: همبستگی پیرسون بین شاخص های کیفیت خاک محاسبه شده با استفاده از دو مجموعه ویژگی ها TDS و MDS

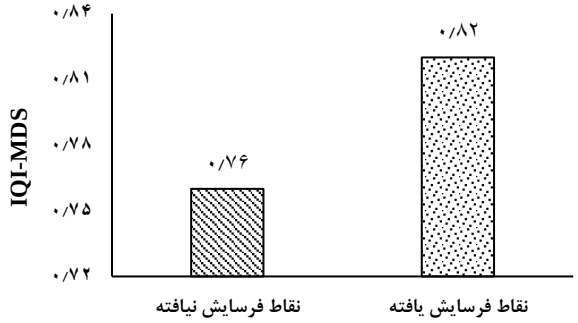
شاخص کیفیت خاک	نقاط فرسایش یافته	نقاط فرسایش نیافته
IQI	۰/۴۲ ns	۰/۷۹**
NQI	۰/۴۴ ns	۰/۷۵**

با توجه به جدول۵، همبستگی شاخص IQI_{TDS} و IQI_{MDS} در نقاط فرسایش یافته کمتر از همبستگی بین NQI_{TDS} و NQI_{MDS} و در سطح ۵ درصد معنی‌دار نیست ولی این مقدار همبستگی در نقاط فرسایش نیافته بیشتر و معنی‌دار می‌باشد. با توجه به نتایج Qi و همکاران (۲۰۰۹)، همبستگی معنی‌داری بین TDS و MDS مشاهده شد. آن‌ها R^2 =۰/۶۵۲ بین IQI_{TDS} و IQI_{MDS} و $R^2 = ۰/۵۷$ بین NQI_{TDS} و NQI_{MDS} را گزارش کرده‌اند. با توجه به همبستگی معنی‌دار در نقاط فرسایش نیافته، استفاده از MDS، می‌تواند به صورت قابل قبولی شاخص‌های کیفیت خاک (IQI و NQI) را در نقاط فرسایش نیافته محاسبه کند و در این نقاط شاخص‌های IQI و NQI محاسبه شده با استفاده از TDS برتری زیادی نسبت به MDS ندارد. اما در این مطالعه این استدلال برای نقاط فرسایش یافته صدق نمی‌کند. بنابراین در نقاط فرسایش نیافته با استفاده از MDS که تعداد کمتری از ویژگی‌های خاک را شامل می‌شود می‌توان با اطمینان قابل قبولی شاخص‌های کیفیت خاک را محاسبه کرد. در نتیجه محاسبه کیفیت خاک با استفاده از MDS موجب صرفه‌جویی در زمان و هزینه لازم برای محاسبه کیفیت خاک می‌شود. با توجه به جدول۱، خاک‌هایی که مناسب برای رشد گیاه هستند، در درجه خیلی خوب (I)، خاک‌هایی که مناسب برای رشد گیاه هستند لیکن با مقداری محدودیت در درجه خوب(II)، خاک‌هایی که دارای محدودیت بیشتری نسبت به درجه II هستند، در درجه متوسط (III) و خاک‌هایی که دارای محدودیت زیاد برای رشد گیاه هستند، در درجه ضعیف (IV) طبقه‌بندی می‌شوند. طبق نتایج ارائه شده در شکل۴ و درجه بندی کیفیت خاک (جدول۱)، شاخص IQI در مجموعه‌ی TDS در نقاط فرسایش یافته و فرسایش نیافته به ترتیب ۰/۶ و ۰/۶۵ در درجه بندی متوسط (III)، در مجموعه‌ی MDS در نقاط فرسایش یافته معادل ۰/۸۲ در درجه خیلی خوب (I) و در خاک فرسایش نیافته معادل ۰/۷۶ در درجه خوب (II) قرار می‌گیرند. همچنین شاخص NQI در مجموعه TDS در نقاط فرسایش یافته و فرسایش نیافته به ترتیب ۰/۴ و ۰/۴۳ در درجه بندی خوب (II) و در مجموعه MDS در نقاط فرسایش یافته معادل ۰/۵۴ در درجه بندی خیلی خوب (I) و در نقاط فرسایش نیافته معادل ۰/۴۸ در درجه بندی خوب (II) قرار می‌گیرد.

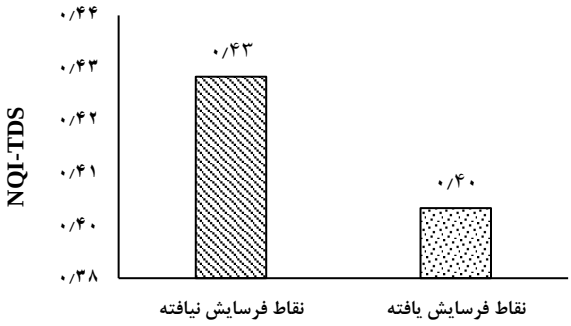
[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-16]



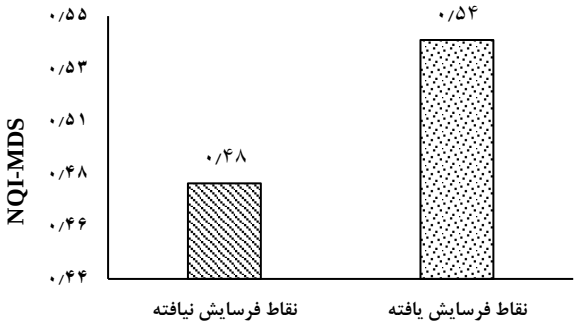
الف) نمودار شاخص تجمعی کیفیت برای مجموعه TDS در نقاط فرسایش یافته و فرسایش نیافته



ب) نمودار شاخص تجمعی کیفیت برای مجموعه MDS در نقاط فرسایش یافته و فرسایش نیافته



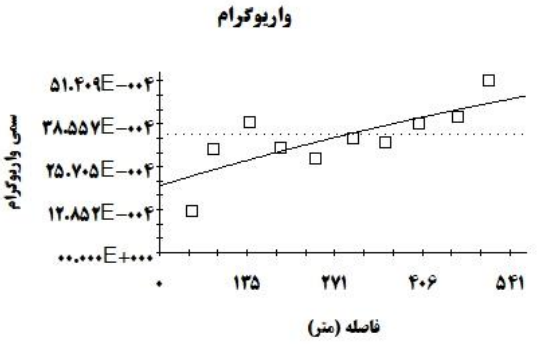
پ) نمودار شاخص کیفیت نمورو برای مجموعه TDS در نقاط فرسایش یافته و فرسایش نیافته



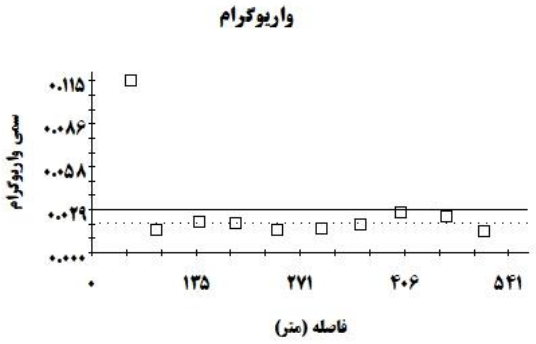
ت) نمودار شاخص کیفیت نمورو برای مجموعه MDS در نقاط فرسایش یافته و فرسایش نیافته

شکل۴: مقایسه میانگین شاخص‌های کیفیت خاک در هر دو مجموعه TDS و MDS در نقاط فرسایش یافته و فرسایش نیافته

پس از ترسیم واریوگرام و برازش مدل مناسب بر روی آن‌ها (شکل۵)، پارامترهای اثر قطعه ای[15]، سقف[16]، دامنه[17]، نسبت اثر قطعه ای به سقف و مدل برازش شده مطابق جدول (۶) به دست آمد.



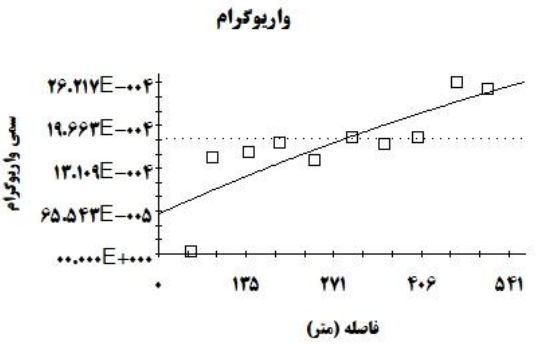
الف-شاخص IQI برای کل ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت نقاط فرسایش یافته



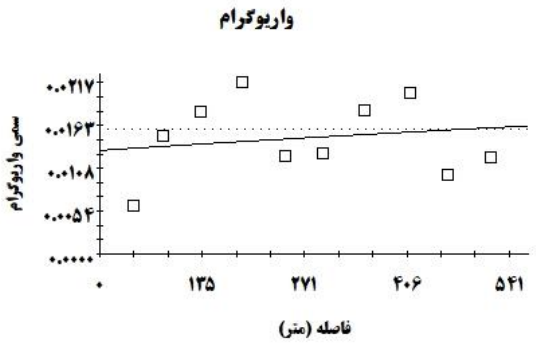
ب-شاخص IQI برای حداقل ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت نقاط فرسایش یافته

[15] Nugget.
[16] Sill.
[17] Renge.

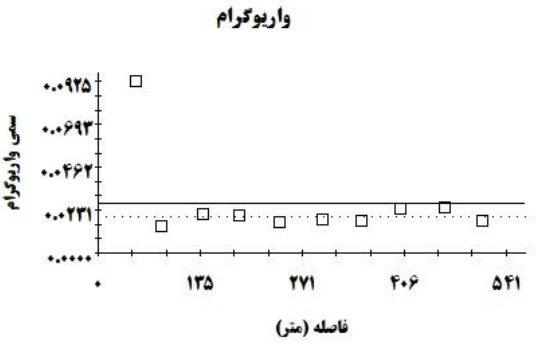
[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-16]



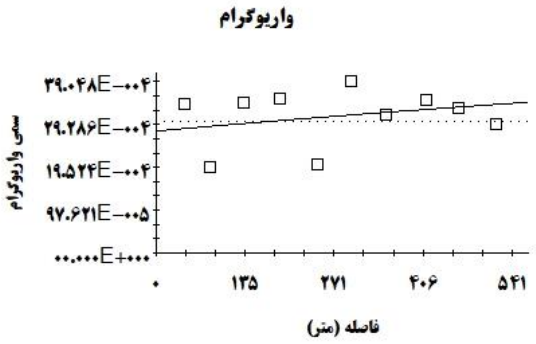
پ-شاخص **NQI** برای کل ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت نقاط فرسایش یافته



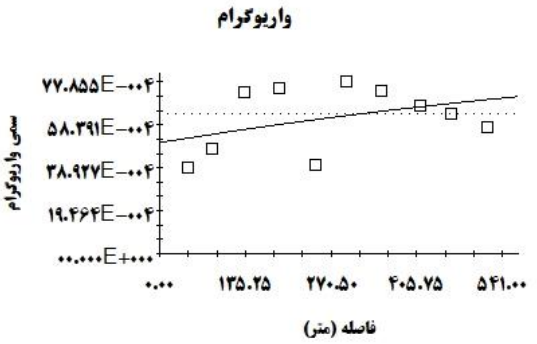
ج-شاخص **IQI** برای حداقل ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت نقاط فرسایش نیافته



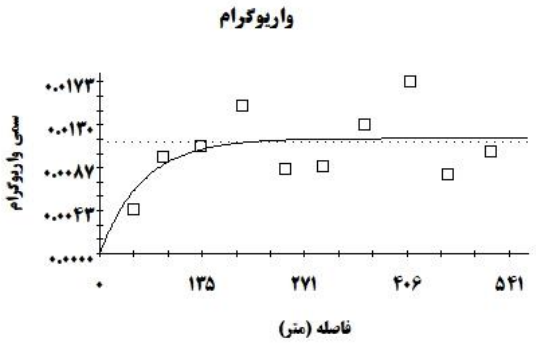
ت-شاخص **NQI** برای حداقل ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت نقاط فرسایش یافته



چ-شاخص **NQI** برای کل ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت نقاط فرسایش نیافته



ث-شاخص **IQI** برای کل ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت نقاط فرسایش نیافته



ح-شاخص **NQI** برای حداقل ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت نقاط فرسایش نیافته

شکل۵: واریوگرام های نقاط فرسایش یافته و فرسایش نیافته

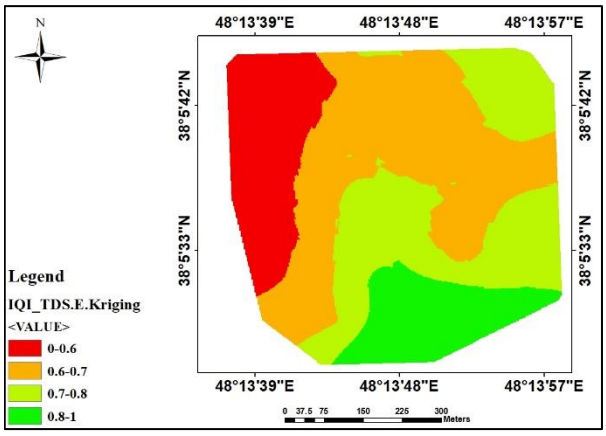
[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-16]

جدول۶: مدل‌های واریوگرامی، ویژگی‌های میان یابی شاخص‌های کیفیت نقاط فرسایش یافته و فرسایش نیافته

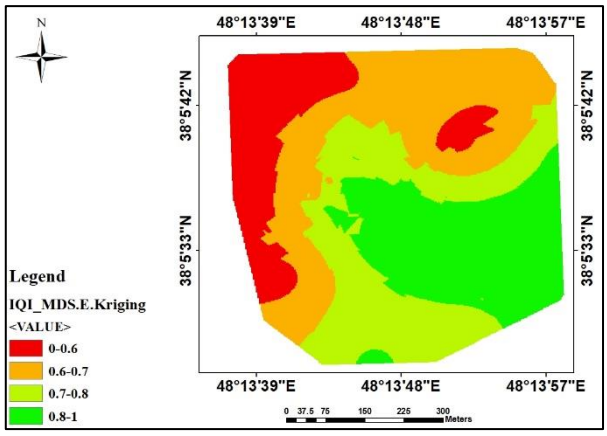
ویژگی های واریوگرام	نقاط فرسایش یافته				نقاط فرسایش نیافته			
	IQI_{TDS}	IQI_{MDS}	NQI_{TDS}	NQI_{MDS}	IQI_{TDS}	IQI_{MDS}	NQI_{TDS}	NQI_{MDS}
مدل	خطی	نمایی	نمایی	نمایی	نمایی	نمایی	نمایی	نمایی
اثر قطعه ای	۰/۰۰۲۰۸	۰/۰۲۵۵۲	۰/۰۰۰۶۱	۰/۰۲۳۸۲	۰/۰۰۵۰۳	۰/۰۱۳۱۱	۰/۰۰۲۷۸	۰/۰۰۰۰۱
سقف	۰/۰۰۴۵۶	۰/۰۵۲۰۴	۰/۰۰۵۸۲	۰/۰۴۷۷۴	۰/۰۱۰۰۷	۰/۰۲۶۳۲	۰/۰۰۵۵۶	۰/۰۱۱۶۲
اثرقطعه ای به سقف	۰/۴۶	۰/۴۹	۰/۱	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۰۰۱
دامنه	۵۰۸/۸۶	۲۱۱۰	۱۱۴۹	۲۱۱۰	۱۰۵۵	۲۱۱۰	۲۱۱۰	۵۷
ضریب تبیین (R^2)	۰/۵۸۷	۰/۲۲۴	۰/۶۷۴	۰/۲۰۸	۰/۱۲۲	۰/۰۰۷	۰/۰۳۵	۰/۳۲۵
مجموع مربعات باقی مانده (Rss)	۲/۶۴۸E-۰۵	۸/۹۵۱E-۰۳	۱/۴۲۶E-۰۶	۵/۲۲۱E-۰۳	۱/۷۱E-۰۵	۲/۱۵۸E-۰۴	۳/۵۶۳E-۰۶	۸/۳۲۸E-۰۵

همان‌گونه که در جدول (۶) مشاهده می‌شود مدل برازش یافته اکثر واریوگرام های شاخص‌های کیفیت خاک، نمایی بود. در بین مدل‌های برازش شده علاوه بر مدل نمایی، مدل خطی نیز دیده می‌شود. Davis(1987)، مدل‌های کروی و نمایی را معمول‌ترین مدل‌های مورد استفاده در مطالعه شاخص‌های کیفیت خاک بیان کرد. بیشترین دامنه، مربوط به IQI_{MDS} و NQI_{TDS} نقاط فرسایش نیافته و NQI_{MDS} و IQI_{MDS} در نقاط فرسایش یافته برابر با ۲۱۱۰ متر می‌باشد و این در حالی است که کمترین دامنه مربوط به شاخص NQI_{MDS} نقاط فرسایش نیافته برابر با ۵۷ متر می‌باشد (جدول۶). نسبت اثر قطعه‌ای به سقف، یکی از ویژگی‌های اصلی در ارزیابی میزان وابستگی مکانی داده‌ها است که کمتر از ۰/۲۵ بیانگر وابستگی مکانی قوی، بین ۰/۲۵ تا ۰/۷۵ دارای وابستگی مکانی متوسط و بیشتر از ۰/۷۵، وابستگی مکانی ضعیف را نشان می‌دهد (Cambardella, 1994). با توجه به جدول (۶)، شاخص‌های IQI_{TDS}، IQI_{MDS}، NQI_{MDS} در نقاط فرسایش یافته بین ۰/۲۵ تا ۰/۷۵ قرار دارند که نشان‌دهنده وابستگی مکانی متوسط می‌باشند. در نقاط فرسایش نیافته نیز به جز شاخص NQI_{MDS} مابقی شاخص‌های کیفیت خاک دارای وابستگی مکانی متوسط می باشند. در مرحله بعد بر اساس نتایج به دست آمده از مرحله برازش واریوگرام، نقشه کریجینگ و IDW پراکندگی شاخص‌های کیفیت خاک منطقه مورد مطالعه در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.8 تهیه شد (شکل۶).

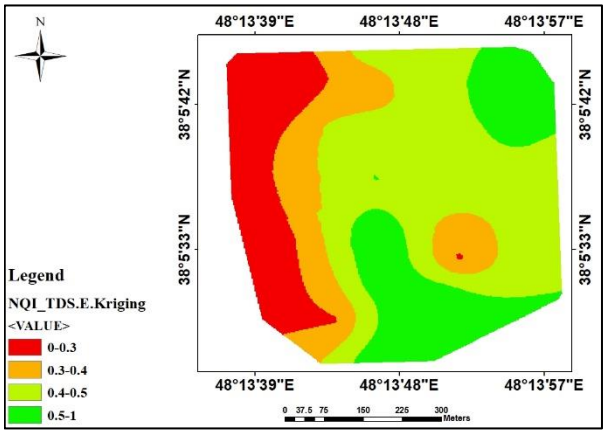
[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-16]



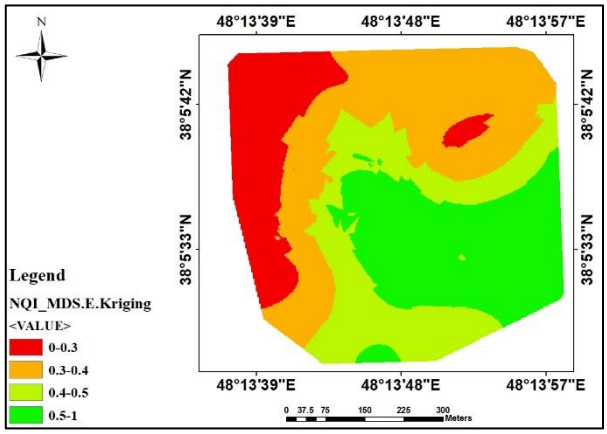
الف-نقشه کریجینگ شاخص تجمعی کیفیت برای کل ویژگی‌های موثر بر کیفیت نقاط فرسایش یافته



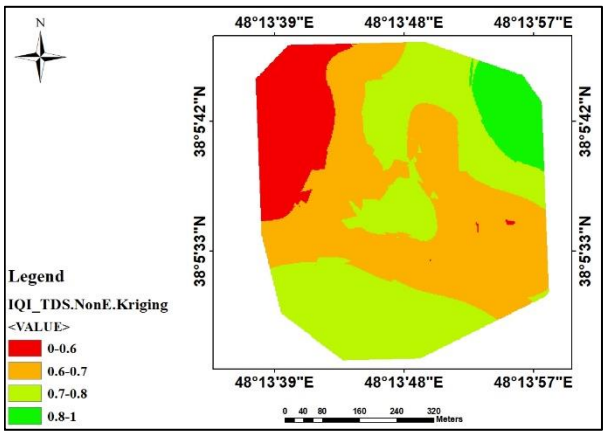
ب-نقشه کریجینگ شاخص تجمعی کیفیت برای حداقل ویژگی‌های موثر بر کیفیت نقاط فرسایش یافته



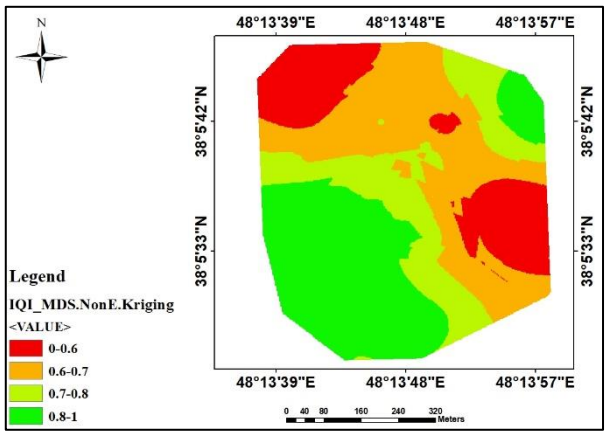
پ-نقشه کریجینگ شاخص کیفیت نمورو برای کل ویژگی‌های موثر بر کیفیت نقاط فرسایش یافته



ت-نقشه کریجینگ شاخص کیفیت نمورو برای حداقل ویژگی‌های موثر بر کیفیت نقاط فرسایش یافته

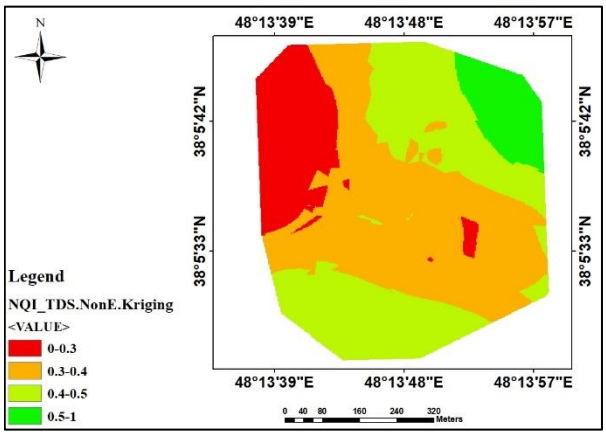


ث-نقشه کریجینگ شاخص تجمعی کیفیت برای کل ویژگی‌های موثر بر کیفیت نقاط فرسایش نیافته

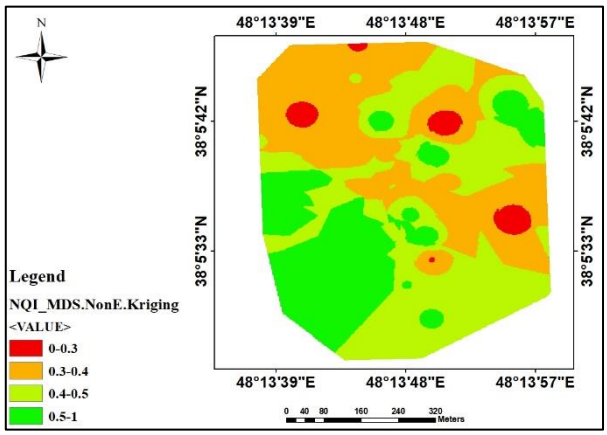


ج-نقشه کریجینگ شاخص تجمعی کیفیت برای حداقل ویژگی‌های موثر بر کیفیت نقاط فرسایش نیافته

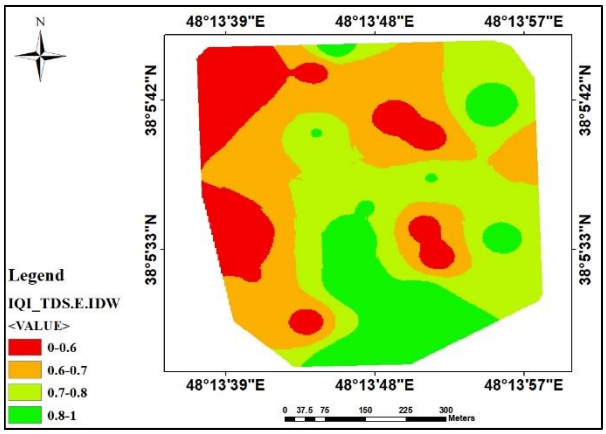
[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-16]



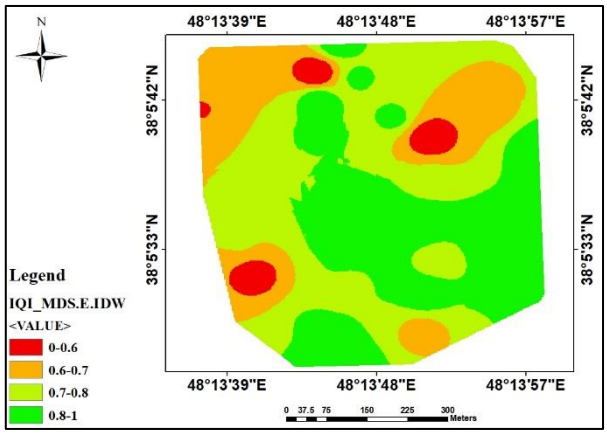
چ-نقشه کریجینگ شاخص تجمعی کیفیت برای کل ویژگی‌های موثر بر کیفیت نقاط فرسایش نیافته



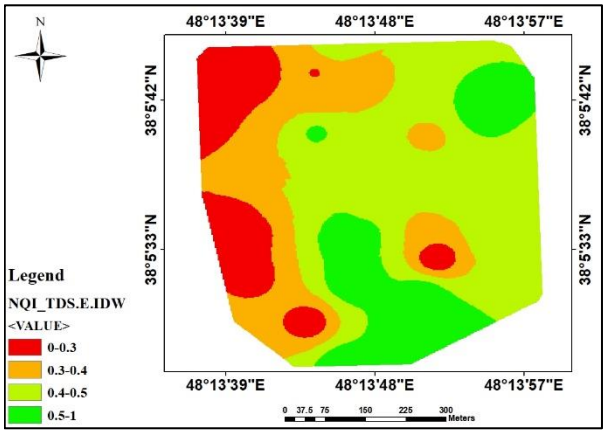
ح-نقشه کریجینگ شاخص کیفیت نمورو برای حداقل ویژگی‌های موثر بر کیفیت نقاط فرسایش نیافته



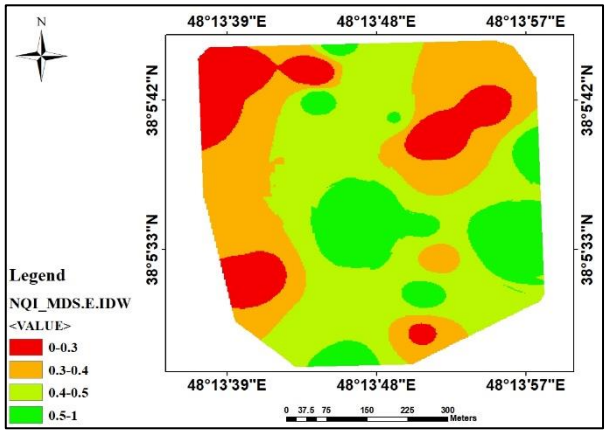
خ-نقشه IDW شاخص تجمعی کیفیت برای کل ویژگی‌های موثر بر کیفیت نقاط فرسایش یافته



د-نقشه IDW شاخص تجمعی کیفیت برای حداقل ویژگی‌های موثر بر کیفیت نقاط فرسایش یافته

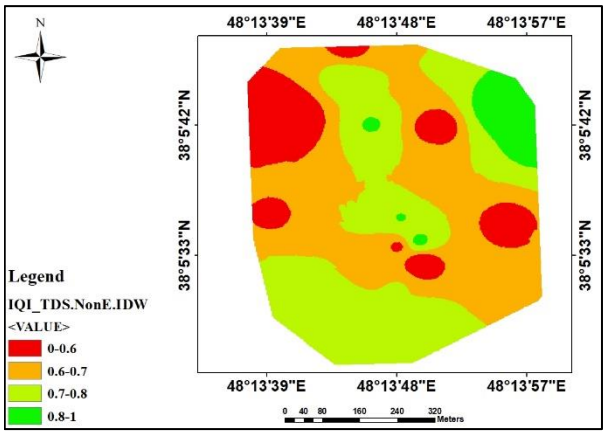


ذ-نقشه IDW شاخص کیفیت نمورو برای کل ویژگی‌های موثر بر کیفیت نقاط فرسایش یافته

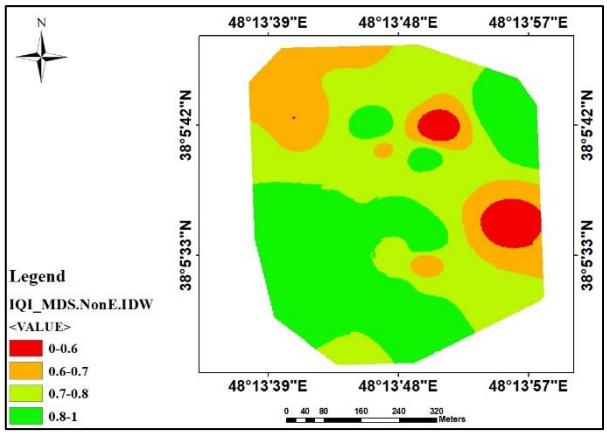


ر-نقشه IDW شاخص کیفیت نمورو برای حداقل ویژگی‌های موثر بر کیفیت نقاط فرسایش یافته

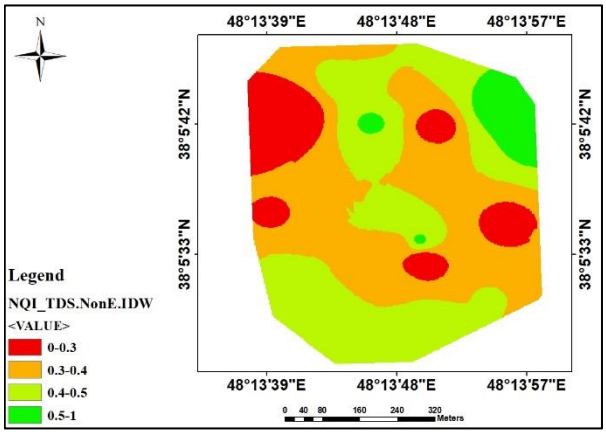
[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-16]



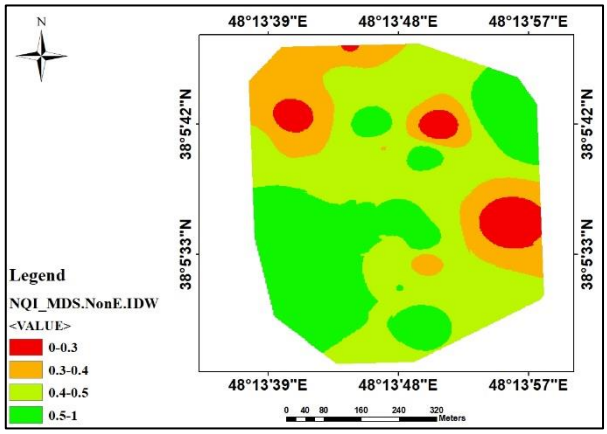
ز-نقشه **IDW** شاخص تجمعی کیفیت برای کل ویژگی‌های موثر بر کیفیت نقاط فرسایش نیافته



ژ-نقشه **IDW** شاخص تجمعی کیفیت برای حداقل ویژگی‌های موثر بر کیفیت نقاط فرسایش نیافته



س-نقشه **IDW** شاخص کیفیت نمورو برای کل ویژگی‌های موثر بر کیفیت نقاط فرسایش نیافته



ش-نقشه **IDW** شاخص کیفیت نمورو برای حداقل ویژگی‌های موثر بر کیفیت نقاط فرسایش نیافته

شکل۶: توزیع شاخص‌های کیفیت خاک بر اساس روش کریجینگ و IDW در نقاط فرسایش یافته و فرسایش نیافته

باتوجه به شکل (۶)، کیفیت خاک در روش کریجینگ برای هر دو شاخص IQI و NQI در مجموعه TDS و MDS برای هر دو سری نمونه خاک فرسایش یافته و فرسایش نیافته از شمال به جنوب بهبود می یابد که این بهبود کیفیت خاک در روش IDW از شمال غرب به سمت جنوب شرق است. در هر دو روش کریجینگ و IDW بیشترین سطح منطقه برای هر دو شاخص کیفیت خاک در مجموعه TDS و MDS برای نمونه خاک فرسایش یافته و فرسایش نیافته در کیفیت متوسط تا خوب می باشد (جدول۱). با توجه به ضریب تبیین و مجذور میانگین مربعات خطا در جدول ۷، استفاده از روش کریجینگ برای نقاط فرسایش یافته در شاخص‌های IQI_{TDS} و NQI_{TDS} بهتر از روش IDW می باشد. برای همین نقاط در شاخص‌های IQI_{MDS} و NQI_{MDS} روش IDW کارایی بهتری از خود نشان داد. برای نقاط فرسایش نیافته نیز روش کریجینگ به جز در شاخص NQI_{TDS} در مابقی شاخص‌های کیفیت خاک کارایی بهتری نسبت به روش IDW داشت. به طور کلی کریجینگ روش دقیق‌تری نسبت به IDW در توزیع شاخص‌های کیفیت خاک است، که با نتایج Habibi و همکاران (۲۰۱۵) هم‌خوانی دارد. وسعت محدود منطقه مورد مطالعه، فواصل نمونه‌ها

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-16]

تعداد نمونه‌ها، ناهمگن بودن منطقه از لحاظ متغیرها و وجود روند می تواند در انتخاب روش‌های تخمین نیز تاثیرگذار باشد (Habibi et al, 2015).

جدول۷: آماره اعتبار سنجی روش های زمین آماری برای شاخص های کیفیت خاک در نقاط فرسایش یافته و فرسایش نیافته

شاخص‌های کیفیت خاک	روش‌های انتخاب معیار	روش‌های زمین آماری	نقاط فرسایش یافته		نقاط فرسایش نیافته	
			ضریب تبیین (R^2)	مجذور میانگین مربعات خطا RMSE%	ضریب تبیین (R^2)	مجذور میانگین مربعات خطا RMSE%
IQI	TDS	Krg	۰/۰۱	۶	۰/۰۱	۸
		IDW	۰/۰۱	۸	۰/۰۱	۱۰
	MDS	Krg	۰/۰۰۰۰۳	۱۴	۰/۱	۱۲
		IDW	۰/۰۰۲۸	۲۰	۰/۰۷	۱۵
NQI	TDS	Krg	۰/۰۴۱	۴	۰/۰۱۲	۵
		IDW	۰/۰۴۵	۵	۰/۰۲۴	۷
	MDS	Krg	۰/۰۰۰۰۰۲	۱۴	۰/۱۳	۱۱
		IDW	۰/۰۰۰۹	۲۰	۰/۱۴	۱۲

۵-بحث و نتیجه‌گیری

به طور کلی منطقه از نظر شاخص‌های کیفیت خاک (IQI_{TDS}، IQI_{MDS}، NQI_{TDS}، NQI_{MDS}) در محدوده‌ای با کیفیت خوب تا متوسط قرار دارد. چهار ویژگی خاک شامل درصد شن، رس، واکنش خاک و هدایت الکتریکی در نقاط فرسایش یافته و جرم مخصوص ظاهری، درصد شن، رس و تخلخل کل در نقاط فرسایش نیافته به عنوان مهم‌ترین ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک (MDS) تعیین و نشان داده شد که MDS تعیین‌شده در دو شاخص IQI و NQI به ترتیب دارای همبستگی معنی‌دار ۰/۷۹ و ۰/۷۵ در نقاط فرسایش نیافته و عدم تفاوت معنی‌داری با ۰/۴۲ و ۰/۴۴ در نقاط فرسایش یافته با TDS مورد نظر می‌باشند. لذا کارایی آن در نشان دادن TDS در نقاط فرسایش نیافته مورد نظر تائید شد. به طور کلی در منطقه مورد مطالعه، بر اساس آماره ضریب تبیین (R^2) و مجذور میانگین مربعات خطا، روش کریجینگ در مقایسه با روش IDW کارایی بهتری در نشان دادن توزیع شاخص‌های کیفیت خاک داشت. نتایج همه‌ی این تحقیقات نشان می‌دهد که روش بهینه و مناسب جهت تخمین و برآورد داده‌ها بسته به متغییر می‌تواند متفاوت باشد. وسعت محدود منطقه مورد مطالعه فواصل نمونه‌ها، تعداد نمونه‌ها، ناهمگن بودن منطقه از لحاظ متغیرها و وجود روند می‌تواند در انتخاب روش‌های تخمین نیز تاثیرگذار باشد. با توجه به نتایج به دست آمده از منطقه مورد مطالعه، فرسایش خاک اثر معنی‌داری بر روی برخی از ویژگی‌های کیفیت خاک دارد. با توجه به این پژوهش انجام پژوهش‌های مشابه در سایر نقاط کشور ایران در شرایط خاکی و اقلیمی متفاوت، همراه با گستره‌ی وسیعی از تأثیر فرسایش بر کیفیت خاک، مدل‌سازی کلی از کیفیت خاک حائز اهمیت می‌باشد. نتیجه این امر می‌تواند به توسعه و

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-16]

ایجاد شاخص ملی کیفیت خاک کمک کرده و وجود این شاخص می‌تواند امکان پایش دائمی وضعیت خاک در سطح عرصه‌های کشاورزی و طبیعی کشور را فراهم و احتمال تخریب و فرسایش خاک را پیش‌بینی کند.

منابع

1. 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 and Environment 90:25–45.
2. Asghari Sh., Dizajghoorbani Aghdam S., and Esmali Ouri A. 2015. Investigation te Spatial Variability of some Soil Physical Quality in Fandoghlou Region of Ardabil Using Geostatistics. Journal of Water and Soil. 28(6): 1271-1283.
3. Bachmann, G., and Kinzel, H. 1992. Physiological and ecological aspects of the interactions between plant roots and rhizosphere soil. Soil Bioogyl. Biochemistry, 24:543–552.
4. Bahrami, A., Emadodin,I., Ranjbar-Atashi, M. and Rudolf-Bork H. 2010. Land Use Change and Soil Degradation: A Case Study, North of Iran. Agriculture and Biology Journal of North America Journal 1: 600-605.
5. Blake, G.R. and Hartge, K.H. 1986 a. Bulk Density, P 363-375. In: Klute, A. (Ed). Methods of Soil Analysis. Part 1. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA, Madison, WI.
6. Blake, G.R. and Hartge, K.H. 1986 b. Partical Density, P 377-381. In: Klute, A. (Ed). Methods of Soil Analysis. Part 1. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA, Madison, WI.
7. Cambardella, C. A., Moorman, T. B., Novak, J. M., Parkin, T. B., Karlen, D. L., Turco, R. F. and Konopka, A. E. 1994. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Science Society of America Journal, 58: 1501-1511.*
8. Danielson, R.H. and Suterland, P.L. 1986. Porosity. In: Klute, A (Ed.). Methods of . Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods. *Agronomy Monograph, 9. 2nd edition, ASA and SSSA, Madison, WI. 443-460 pp.*
9. Davis, B.M. (1987), Uses and abuses of cross-validation in geostatistics, *Math Geology, 19: 241-248.*
10. Diack, M., and Stott, D.E. 1999. Development of a Soil Quality Index for the Chalmers Silty Clay Loam from the Midwest USA. *10th International Soil Conservation Organization Meeting held. May 24-29.*
11. Doran, J.W., and Parkin, B.T. 1994. Defining and assessing soil quality. In: Doran, J.W., Coleman, D.C., Bezdicek, D.F., Stewart, B.A. (Eds.), Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. *Soil Science Society of America, Inc., Madison, WI, USA, pp. 3–21. Special Publication. Number 35.*
12. Friedman, D., Hubbs, M., Tugel, A., Seybold, C., and Sucik, M. 2001. Guidelines for Soil Quality Assessment in Conservation Planning. USDA, Soil Quality Institute**.** *Washington, DC. USA.*
13. Gee, GW, and Bauder. JM. 1986. Partical-size analysis. In Methods of Soil Analysis, Part1, Physical and Mineralogical Methods. *Agronomy Monograph No. 9 (2nd edition), American Society of Agronomy, Madison, WI.*
14. Geissen, V. S.nchez-Hern.ndez R. Kampichler, C. Ramos-Reyes, R. Sepulveda-Lozada, A. Ochoa-Goana, S., de Jong, B.H.J. Huerta-Lwanga, E. and Hern.ndez-Daumas, S. 2009. Effects of land-use change on some properties of tropical soils-An example from Southeast Mexico. *Geoderma 151: 87-97.*
15. Gaemi,M.,Astaraie,A.,Sanaeinejad,H.,NasiriMagalati,M. and Emami,H. 2014. Chemical Quality Assessment of Wheat-Maize cultivated soil by using soil quality models in an Agricultura Region of southeast Mashhad. Journal of Soil Research. 27(4): 463-473.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-16]

16. Habibi, M., Shirani, H., Kamali, A. and Esfandiarpour Borujeni, I. 2015. Assessment of soil physical quality indicators using remote sensing and geostatistics in Baft area. Journal of Soil Management and Sustainable Production, Vol. 5(1). P. 159-172.
17. Kemper, W.D., and Rosenau, R.C. 1986. Aggregate stability and size distribution. In: Klute, A. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part a: Physical and Mineralogical Methods. Agronomy Monograph No. 9. American Society of Agronomy. *Soil Science Society of America, Madison.WI:425–442.*
18. Klute, A. and Dirksen, C. 1986. Hydrulic conductivity of saturated soils (constant head). P. 694.In: Klute, A. (ed). Methods of Soil Analysis. Part 1, 2nd ed. *Agronomy.Monograph 9. ASA and SSSA, Madison, WI.*
19. Lal, R. 1998. *Soil quality and agricultural sustainability*. Ann Arbor Press, Chelsea, Michigan. Pp: 3-12.
20. Liu D., Wang Z., Zhang B., Song K., Li X., Li J., Li F. and Duan H. 2006. Spatial distribution of soil organic carbon and analysis of related factors in croplands of the black soil region, Northeast China. Agriculture, Ecosystems and Environment, 113:73-81.
21. Liu T.L., Wei Juang K. and Yuan Lee D. 2006. Interpolating soil properties using kriging combined with categorical information of soil maps. Soil Sci. Soc. Am. J. 70: 1200-1209.
22. Lopez-Granados F., Jurado-Exposito M., Atenciano S., Garoa A., Sanchez M. and Garcia L. 2002. Spatial variability of agricultural soil parameters in Southern Spain. Plant and Soil, 246: 97-105.
23. Page, A. L., Miller, R. H., and Keeney, D. R. 1982. Methods of Soil Analysis, part2, chemical and microbiological properties. American Society of Agronomy .Inc. *Soil Science Society of Aamerica, Madison, WI.*
24. Qi, Y., Jeremy, L., Darilek, Biao Huang., Yongcun Zhao., Weixia Sun., and Zhiquan Gu. 2009. Evaluating soil quality indices in an agricultural region of Jiangsu Province, China. *Geoderma, 149:325-334.*
25. Ramezani, F., Jafari, S., Salavati, A. and Khalili Moghaddam, B. 2016. Study soil quality changs indicators using nemoro and integrated quality index models in some Khozestan's Soils. Journal of Water and Soil. 29(6): 1629-1639.(In Persian).
26. 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: 312-20.*
27. Shahab, H., Emami, H., Haghnia. 2018. Effect of gully erosion on soil quality indices in northwestern Iran. Jurnal of Agriculture Science and Technology. Vol. 20: 1317-1329.
28. Shukla, M K., Lal, R., and Ebinger, M. 2004. Soil quality indicators for the North Appalachian experimental watersheds in Coshocton, Ohio. *Soil Science, 169:195–205.*
29. Singh, Mj, and Khera, KL. 2009. Physical indicators of soil quality in relation to soil erodibility under different land uses. Arid Land Research and Management 23:152 -167.
30. Topp, G. C., Reynolds, W. D., Cook, F. J., Kirby, J. M. and Carter, M. R. 1997. Chapter 2: Physical attributes of soil quality. In Gregorich, E. G. and Carter, M. R. (eds.) Soil Quality for Crop Production and Ecosystem Health. Elsevier, Amsterdam. pp. 21–58.
31. Trangmar B. B., Yost R.S. and Uehara G. 1985. Application of Geostatistics to spatial studies of soil properties. Advanced Agronomy. 38: 45-94.
32. Walkley, A., and Black, I.A. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Journal of Soil Science, 37:29-37.*
33. Wallace, A., and Terry, RE. 1998. *Soil conditioners, soil quality and soil sustainability*. New York.
34. Wander, M.M., Walter, G.L., Nissen, T.M., Billero, G.A., Andrews, S.S., and Cavanaugh-Grant, D.A. 2002. Soil quality: science and process. *Agron, 94:23–32.*

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-16]

35. Wilding L.P. and Dress L.R. 1983. Spatial variability and pedology p, 83-116. In: Wilding L.P., Smeckand, N.E., and Hall, G.F, (eds). Pedogenesis and soil taxonomy. I. Concepts and interactions. Elsvier Science Pub.
36. Wischmeier, WH., and Mannering, JR. 1969. Relation of soil properties to its erodibility. *Soil Science Society of America Journal, 33: 131–13.*

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-16]