Using Digital Maps of Soil Organic Carbon and Clay for Evaluating Soil Structure Stability

Fatemeh Ghasedi-Yousefabad [a], Hossein Rezaei [b,*], Farzin Shahbazi [c], Davoud Zarehaghi [d]
[a]*M.Sc. Graduate, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz*
[b]*Associate professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz*
[c]*Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz*
[d]*Associate professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz*

Research Full Paper
Article History (Received: 2025/05/25 Accepted: 2025/07/24)

Extended abstract

1- Introduction

The lands sustainability depends on soil stability as one of its components. Aggregate stability is an index for evaluating soil quality and the main factor of soil stability. Soil organic matter and clay are known as the most important soil properties that play a main role in the stability of soil aggregates. Therefore, in recent studies, the ratio of soil organic carbon to clay has been expressed as an indicator of soil aggregate stability. In a large scale, land management based on soil properties such as soil aggregate stability, requires the preparation of soil aggregate stability index maps. In this regard, Digital Soil Mapping can be a useful tool. Generating soil characteristics maps from combining digital maps of soil routine properties, can be a suitable solution to facilitate soil survey studies. The present research work was designed to investigate the possibility of using secondary maps produced from the combination of soil properties maps that focus on the condition of land sustainability based on soil aggregate stability.

2- Material and methods

The present research work, which was conducted in northwestern Iran, was completed in line with a previous study in which the preparation of a digital map of clay and soil organic carbon was one of its results. The soils of study area are Inceptisols and Aridisols which are under agriculture land use. According to the main aim of the study, aggregate stability was determined by two methods for 15 study points at five standardized depth intervals (H1: 0-5, H2: 5-15, H3: 15-30, H4: 30-60, and H5: 60-100 cm) based on the GlobalSoilMap protocol. Firstly, the aggregate stability index, the ratio of soil organic carbon to clay content, was extracted from the map generated by combining a digital map of clay and soil organic map according to the formula of mentioned index. Also, aggregate stability was determined in the laboratory by wet aggregate stability method for study points. Finally complete randomized factorial designed at the same five standard depths as the statistical method to assess the performance of the generated map based on soil aggregate stability index.

3- Results

It was found that the clay and organic carbon content were ranged from 12.02 to 65.25 and 0.18 to 3.42 all over the study area. Also, descriptive statistics of aggregate stability by laboratory analysis revealed the min and max values were 8.34, and, 47.17 respectively. The results showed that with depth increment, soil organic carbon decreased while clay and aggregate stability increased. The digital maps of soil organic carbon and clay which produced in previous study showed that there aren't distinct trends around different direct of study area. The result of generated map from combining based on aggregate stability index, the ratio of soil organic carbon to clay content, showed that with depth increment, aggregate stability increased. The Kolmogorov–Smirnov (K-S) test, showed that the obtained data for aggregate stability from studied methods do not have a normal distribution. Therefore before statistical analysis, data were normalized by Sin conversion method. The statistical analyses

* **Corresponding Author: hosseinrezaei@tabrizu.ac.ir**

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.15.4.88]

showed that there was no significant difference between directly measured aggregate stability index in laboratory and the data extracted from generated maps.

4- Discussion & Conclusions

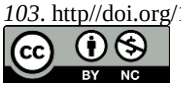
From the alignment of changes in the aggregate stability index with the clay content and its contradiction with changes in the organic carbon content, it can be concluded that although organic carbon and clay are known to be the main components in aggregates stability, but their ratio can also play an important role in soil aggregates stability. Also, it should be paid to the role of other factors involved in the aggregates stability, such as the diagnostic horizons that contain various salts and particles. According to statistical analysis, although there are differences between aggregate stability index from studied methods, but it is not significant. The final digital map prepared by integrating soil organic carbon and clay demonstrates an acceptable result regarding soil aggregate stability at the studied standardized depths. In this regard, it seems that using of indexes with powerful algorithm and larger number of soil characteristics lead to have higher accuracy and precision in estimating aggregate stability. Finally, it can be concluded that the usage of popular indices with a focus on the importance of contributed environmental covariates for mapping base characteristics responds to soil surveying demands. The present research revealed the crucial role of base maps for preparing key indices to improve the efficacy of soil resource management observations.

Key Words: Digital maps, Land sustainability, Organic carbon, Soil structure.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.15.4.88]

Cite this article: Ghasedi-Yousefabad, F., Rezaei, H., Shahbazi, F. & Zarehaghi, D. (2026). Using digital maps of soil organic carbon and clay for evaluating soil structure stability**.** *Journal of Environmental Erosion Research. 2026; 15 (4):88-103*. http//doi.org/10.61186/jeer.15.4.88



© The Author(s).
DOI: http//doi.org/10.61186/jeer.15.4.88
Published by Hormozgan University Press.
URL: http://magazine.hormozgan.ac.ir

کاربرد نقشه‌های رقومی کربن آلی و رس خاک در بررسی پایداری ساختمان خاک

فاطمه قاصدی یوسف آباد: *دانش آموخته کارشناسی‌ارشد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز*
حسین رضائی*: *دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز*
فرزین شهبازی: *استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز*
داود زارع حقی: *دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز*

نوع مقاله: پژوهشی
تاریخچهٔ مقاله (تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۰۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۰۲)
DOI: http//doi.org/10.61186/jeer.15.4.88

چکیده

پایداری خاکدانه که از شاخص‌های ارزیابی کیفیت خاک است یکی از عوامل اصلی پایداری اراضی می‌باشد. از آنجایی‌که اندازه‌گیری این خصوصیت به‌ویژه در سطح کلان همراه با دشواری‌هایی است، استفاده از شاخص‌های برآوردی آن می‌تواند در تسهیل مطالعات نقش داشته باشد. در پژوهش حاضر که در بخشی از اراضی شمال‌غرب ایران انجام شد، تعیین این خصوصیت با استفاده از شاخص نسبت کربن آلی به رس خاک در دستور کار قرار گرفت. بدین منظور شاخص مذکور برای پنج عمق استاندارد از محدوده مورد مطالعه با تلفیق نقشه‌های رقومی رس و کربن آلی تهیه شده برای منطقه به‌دست آمد. برای بررسی کارایی شاخص حاصل از نقشه ثانویه، در ۱۵ نقطه مطالعاتی برای عمق‌های استاندارد نیز شاخص پایداری خاکدانه طبق روش آزمایشگاهی تعیین و سپس از طرح فاکتوریل کاملاً تصادفی با ۱۵ تکرار (نقطه مطالعاتی) برای هر یک از ۵ عمق استاندارد برای مقایسه مقادیر آزمایشگاهی و مستخرج از نقشه ثانویه استفاده گردید. تجزیه‌های آزمایشگاهی نشان داد که محدوده مقدار رس در منطقه ۱۲/۰۲ تا ۶۵/۲۵ درصد و برای کربن آلی ۰/۱۸ تا ۳/۴۲ درصد می‌باشد. همچنین حداقل و حداکثر مقدار شاخص پایداری خاکدانه ۸/۳۴ تا ۴۷/۱۷ به‌دست آمد. از بررسی تغییرات عمقی سه ویژگی مورد بحث نتیجه شد که با افزایش عمق از مقدار کربن آلی خاک کاسته و در مقابل مقدار رس و پایداری خاکدانه افزایش یافت. تجزیه‌های آماری بیان‌گر غیرمعنی‌داری تفاوت مقدار شاخص پایداری خاکدانه حاصل از اندازه‌گیری مستقیم و مستخرج از نقشه ثانویه بود. بنابراین نقشه ثانویه حاصل از تلفیق نقشه‌های رقومی پایه کربن آلی و رس نیز نمایش قابل قبولی از توزیع مکانی وضعیت پایداری خاکدانه‌ها در عمق‌های استاندارد مورد مطالعه ارائه می‌کند. لیکن استفاده از شاخص‌های جامع‌تر همراه با توجه به اهمیت و نسبت فاکتورهای دخیل در شاخص و نیز توجه به عوامل ثانویه مشتق از ویژگی‌های خاک مثل افق‌های مشخصه خاک و یا الگوهای عوامل خارج از خاکرخ می‌تواند در افزایش دقت کار مؤثر واقع شود. در نهایت تحقیق حاضر تأکید بر استفاده از نقشه رقومی ویژگی‌های خاک برای تولید نقشه‌های شاخص‌های خاک به‌منظور افزایش بهره‌وری مطالعات مدیریت منابع خاک دارد.

واژگان کلیدی: پایداری اراضی، ساختمان خاک، کربن آلی، نقشه‌های رقومی.

* نویسندهٔ مسئول: .hosseinrezaei@tabrizu.ac.ir

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]
[DOI: 10.61186/jeer.15.4.88]

۱ـ مقدمه

از آنجایی‌که خاک یکی از اجزای اراضی می‌باشد، از این‌رو پایداری خاک از نیازهای اساسی پایداری اراضی است. ساختمان خاک که به نحوه قرارگیری انواع خاکدانه‌ها در کنار یکدیگر گفته می‌شود، یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های پویای فیزیکی خاک است که نقش مهمی در پایداری آن دارد (Barzgar, 2004). پایداری خاکدانه‌ها یکی از عوامل اصلی دخیل در وضعیت ساختمان خاک است و بیان‌گر توانایی خاک برای حفظ آرایش ذرات جامد و منافذ بین آن‌ها در برابر فشارهای مختلف بوده (Amezketa, 1999) و به‌عنوان شاخصی دقیق برای ارزیابی کیفیت خاک در برنامه‌ریزی استفاده بهینه از خاک معرفی شده است (Zhang et al, 2008 &Herrick et al, 2001). ماده آلی و رس از جمله مهم‌ترین ویژگی‌های خاک شناخته شده‌اند که نقش اساسی در پایداری خاکدانه‌ها دارند (Bronick & Lal, 2005). بر این اساس در مطالعات اخیر نیز نسبت کربن آلی به رس خاک در قالب شاخصی از پایداری خاکدانه و به‌عبارتی وضعیت ساختمان خاک بیان شده است (Prout et al, 2021). اگرچه مطالعات متعددی در خصوص پایداری خاکدانه و وضعیت ساختمان خاک از جنبه‌های مختلف انجام شده (Shabani et al, 2017 & SheidaiKarkaj et al, 2019 & Khanifar et al, 2020 & Monavvar Sabegh et al, 2024)، لیکن مدیریت کلان اراضی برپایه اطلاعات خصوصیات خاک همچون پایداری خاکدانه‌ها و وضعیت ساختمان خاک که نیازمند تهیه نقشه‌هایی از شاخص پایداری خاکدانه می‌باشد مورد توجه واقع نشده است.

نقشه‌های خاک به‌عنوان ابزاری برای مدیریت منابع طبیعی، کشاورزی و مخاطرات طبیعی می‌باشند (Chen et al, 2011). عدم نمایش دقیق تغییرپذیری ذاتی خاک‌ها و نیز صرف هزینه و زمان بالا در فرآیند تولید این نقشه‌ها برای زمین‌نماهای بزرگ چالش‌هایی است که نقشه‌های سنتی تهیه شده در گذشته که حاصل تعمیم نمونه‌های خاک نقاط نمونه‌برداری به کل سطح محدوده می‌باشند با آن روبه‌رو هستند (Ziadat, 2007). از آنجایی‌که تقاضا برای اطلاعات دقیق خاک به‌منظور کاربردهای مختلف در حال افزایش است، لذا تهیه نقشه‌های رقومی خصوصیات خاک به‌عنوان اقدام اولیه و ضروری در این خصوص مطرح شد (Carre et al, 2007). روش‌های نقشه‌برداری رقومی خاک این امکان را فراهم آورده تا بتوان به‌سبب دست‌یابی آسان و ارزان به اطلاعات و داده‌های سنجش از دور مربوط به عوامل محیطی، نقشه‌های دقیق از ویژگی‌های خاک تهیه نمود (Minasny & McBratney, 2016). در سال‌های اخیر تلاش‌های بسیاری با استفاده از این روش کارآمد برای تولید نقشه‌های انواع ویژگی‌ها و خصوصیات خاک صورت گرفته که با توجه به موضوع بحث حاضر می‌توان به تحقیقات اخیر Bouslihim و همکاران (2021) اشاره نمود که در آن ضمن بیان اهمیت استفاده از نقشه رقومی پایداری خاکدانه در شناسایی خاک‌های با پایداری کم، ماده آلی، توپوگرافی و زمین‌شناسی را پارامترهای مهم در پیش‌بینی توزیع مکانی وضعیت پایداری خاکدانه‌ها معرفی نمودند. Kamamia و همکاران (2021) نیز با استفاده از مدل‌های رقومی ارتفاع و نیز باندهای مستخرج از داده‌های دورسنجی به تهیه نقشه پایداری خاکدانه پرداختند و نقش نوع کاربری اراضی را در وضعیت پایداری خاکدانه‌ها بیش از ویژگی‌های خاک بیان نمودند. همچنین Khosravani و همکاران (2024) با تلفیق داده‌های کمکی متغیرهای محیطی و ویژگی‌های خاک توسط الگوریتم یادگیری ماشین به بررسی وضعیت پایداری خاکدانه‌ها پرداختند و گزارش نمودند که نقش فاکتور توپوگرافی در وضعیت پایداری خاکدانه‌ها بیش از ویژگی‌های خاک است.

* نویسندهٔ مسئول: hosseinrezaei@tabrizu.ac.ir.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.15.4.88]

هر چند ارجحیت نقشه‌برداری رقومی خاک از نظر دقت کار و نیز صرفه‌جویی در زمان و هزینه در مطالعات خاک‌شناسی به اثبات رسیده، لیکن استفاده بهینه از نقشه‌های تولیدی با استفاده از این روش در مطالعات ثانویه به‌منظور کاهش عملیات مطالعاتی ضمن حفظ دقت کار نیز موضوعی است که بایستی مورد توجه محققین این عرصه قرار گیرد. در این راستا تولید نقشه‌های خصوصیات خاک در قالب نقشه‌های ثانویه تولیدی از تلفیق نقشه‌های رقومی اولیه از ویژگی‌های مرسوم خاک با توجه به زمان‌بر و پرهزینه بودن اندازه‌گیری مستقیم خصوصیات دیریافت خاک، می‌تواند راه‌کاری مناسب در راستای تسهیل مطالعات خاک‌شناسی باشد. از جمله ویژگی‌های اصلی خاک که در تعیین خصوصیات و شاخص‌های مختلف خاک به‌کار می‌روند، ماده آلی و توزیع اجزای بافت خاک است. تولید نقشه‌های رقومی ماده آلی و اجزای بافت خاک در قالب نقشه‌های ویژگی‌های اصلی خاک موضوعی است که طی تحقیقات فراوان در نواحی مختلف با استفاده از انواع متغییرهای محیطی و نیز کاربرد الگوریتم‌های مختلف تکمیل شده است (Arshad et al, 2020 & Velazquez et al, 2022 & Yang et al, 2023 & Teimuri Bardyani & Sarmadian, 2024).

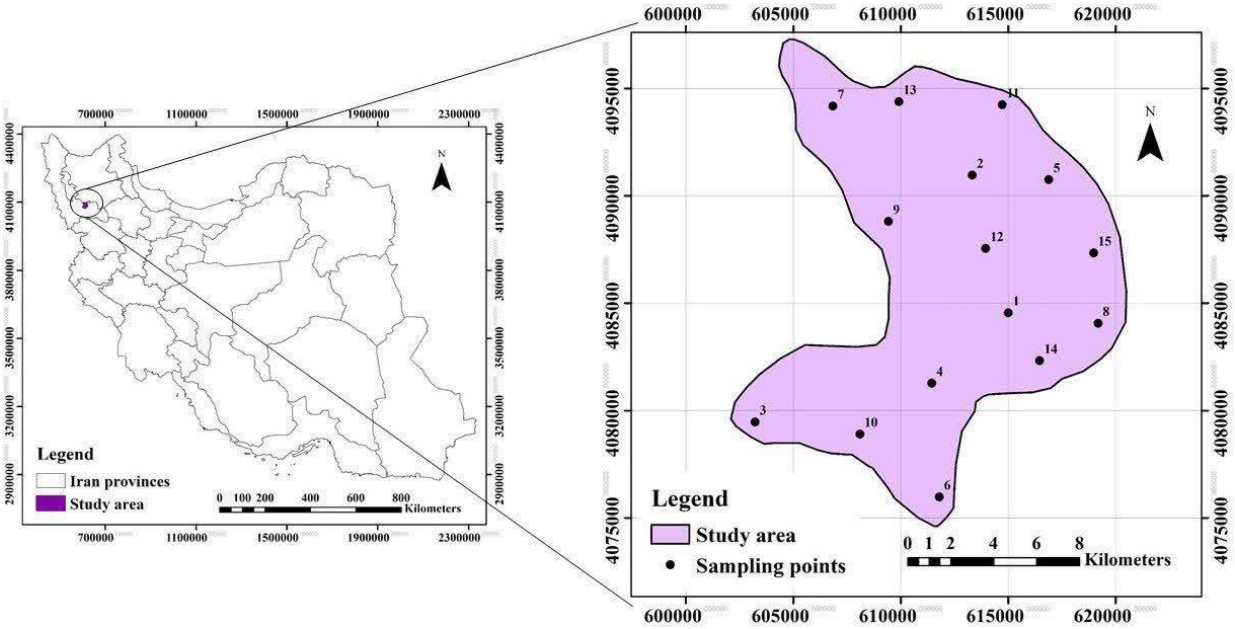
هدف اصلی این تحقیق در راستای صرفه‌جویی در زمان و هزینه در عرصه مدیریت و اجرای منابع خاک، بررسی امکان استفاده از نقشه‌های پایه ویژگی‌های خاک در تولید نقشه‌های ثانویه خصوصیات خاک می‌باشد که در این مطالعه موضوعیت بررسی وضعیت ساختمان خاک در بخشی از محدوده اراضی کشاورزی شمال‌غرب ایران با استفاده از شاخص معرفی شده توسط Prout و همکاران (2021) تحت عنوان شاخص وضعیت ساختمان خاک (نسبت کربن آلی به رس) در دستور کار قرار گرفته است.

۲ـ منطقهٔ مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه به مساحت ۲۱۴۷۹ هکتار با تراز ارتفاعی ۱۲۸۹ تا ۱۶۰۶ متر از سطح دریا در شمال‌غرب ایران، مرز استان‌های آذربایجان‌شرقی و غربی در جغرافیای سیاسی شهرستان‌های ملکان و میاندوآب، با محدوده مختصات جغرافیایی ″۳۱ ′۰۸ °۴۶ تا ″۱۵ ′۲۱ °۴۶ طول شرقی و ″۳۹ ′۴۸ °۳۶ تا ″۵۴ ′۰۰ °۳۷ عرض شمالی واقع شده است (شکل۱). کاربری اصلی منطقه کشاورزی با تیپ‌های بهره‌وری غلات و چغندرقند می‌باشد. براساس گزارش نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی (میاندوآب) در بازه زمانی ۱۵ ساله، میانگین حداکثر و حداقل درجه حرارت سالانه محدوده مورد مطالعه به‌ترتیب ۱۹/۹°C و ۵/۷°C بوده و میانگین بارندگی و تبخیر و تعرق سالانه نیز به‌ترتیب ۳۵۰ و ۱۲۰۰ میلی‌متر گزارش شده است (IRIMO, 2020). تکامل ژئولوژیک منطقه طی دوران سوم زمین‌شناسی صورت گرفته و عمدتاً شامل ذخایر تراسی و مخروط افکنه‌های کوهپایه‌ای قدیمی مرتفع و در بخشی شامل سنگ آهک توده‌ای تا متوسط لایه می‌باشد (Darvishzadeh, 1991 & GSI, 2006). براساس نقشه اقلیم خاک‌های ایران، خاک‌های منطقه دارای رژیم حرارتی مزیک و رژیم رطوبتی اریدیک و گاهاً زریک بوده (Banaei, 1998) و رده‌های اینسپتی‌سول و اریدی‌سول به‌عنوان خاک‌های منطقه گزارش شده است (Rahbar Alam Shirazi et al, 2023).

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.15.4.88]



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه به‌همراه الگوی نمونه‌برداری خاک

۳ـ مواد و روش

۳-۱- نمونه‌برداری خاک و تجزیه‌های آزمایشگاهی

طی مطالعات صحرایی در مجموع ۴۵ نمونه خاک از سه عمق ۳۰-۰، ۶۰-۳۰ و ۱۰۰-۶۰ سانتی‌متری در ۱۵ نقطه مطالعاتی با آرایش ارائه شده در شکل ۱ تهیه گردید. پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه از روش الک تر با شدت ۳۵ بار در دقیقه به مدت ۳ دقیقه مطابق با رابطه ۱ برای تعیین پایداری خاکدانه‌ها استفاده شد (Kemper & Rosenau, 1986).

$$WAS = \frac{(W1 - Ws)}{(Md - Ws)} \times 100$$ رابطه ۱

در رابطه ۱، WAS، W1، Ws و Md به‌ترتیب نشان دهنده پایداری خاکدانه‌ها در آب (درصد)، وزن خاکدانه‌های یک الی دو میلی‌متری باقی‌مانده روی الک ۰/۲۵ میلی‌متری پس از خشک شدن آن‌ها در آون، وزن ذرات شن باقی‌مانده روی الک ۰/۲۵ میلی‌متری پس از خشک شدن آن‌ها در آون و وزن خاک خشک برحسب گرم می‌باشند.

۳-۲- تهیه نقشه رقومی پایداری خاکدانه

با توجه به هدف تحقیق که پیش‌تر در قالب تولید نقشه خصوصیات خاک از نقشه‌های رقومی پایه ویژگی‌های خاک به تفصیل بیان شد، تهیه نقشه رقومی پایداری خاکدانه براساس شاخص ارائه شده توسط Prout و همکاران (2021) که در آن نیاز به مقادیر کربن آلی و رس خاک است (رابطه ۲)، در عمق‌های ۵-۰، ۱۵-۵، ۳۰-۱۵، ۶۰-۳۰ و ۱۰۰-۶۰ سانتی‌متری توصیه شده در پروژه بین‌المللی *GlobalSoilMap* (Arrouays et al, 2014)، صورت پذیرفت.

$$ASI = \frac{OC}{Clay}$$ رابطه ۲

بدین منظور مطالعه حاضر در امتداد تحقیقات اخیر تکمیل شده در منطقه مورد مطالعه صورت گرفته (Rahbar Alam Shirazi et al, 2023, 2024)، که در آنها نقشه‌های رقومی پایه پراکنش مکانی کربن آلی و رس خاک برای پنج عمق مذکور با بهره‌گیری از مطالعات ژنتیکی ۱۰۴ نقطه و همچنین کاربرد متغیرهای محیطی برگرفته از تصویر ماهواره‌ای

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]
[DOI: 10.61186/jeer.15.4.88]

لندست۸ و مشتقات DEM (جدول ۱) در محیط برنامه‌نویسی R با استفاده از روش الگوریتم درخت تقویت شده گرادیان حداکثری[1] مدل‌سازی و تهیه شده‌اند.

جدول ۱: شاخص‌های متغیرهای محیطی مورد استفاده در تولید نقشه‌های رقومی کربن آلی و رس خاک (Rahbar Alam Shirazi et al, 2023, 2024)

منبع متغیر محیطی	گروه متغیر محیطی	متغیر محیطی
مشتقات مدل رقومی ارتفاع (DEM)	مورفومتری	شیب، جهت شیب، انحنای شیب، ارتفاع، شاخص ناهمواری زمین، انحنای مکان شیب، انحنای پروفیل شیب، شاخص بزرگ‌نمایی خطالراس، شاخص بزرگ‌نمایی سطح پایین دره
	هیدرولوژی	طول و زاویه شیب، طول شیب، خیسی جریان، حوضه آبخیز، حوضه آبخیز اصلاح شده، شاخص رطوبت توپوگرافی
	نورگیری	نور مستقیم، نور پخشیده
تصویر ماهواره لندست ۸	باندهای انفرادی	باند مرئی آبی، باند مرئی سبز، باند مرئی قرمز، باند مادون قرمز نزدیک، باند مادون قرمز موج کوتاه یک، باند مادون قرمز موج کوتاه دو
	شاخص‌های پوشش گیاهی و خاک	NDVI, SAVI, RVI, GSI, BI
	شاخص‌های زمین‌شناسی	CI, SR
	شاخص NDMI	NDMI

در گام بعد با بهره‌گیری از نقشه‌های رقومی پراکنش مکانی کربن آلی و رس خاک تهیه شده توسط Rahbar Alam Shirazi و همکاران (2023, 2024)، با اعمال رابطه ۲ در محیط GIS برای هر پنج عمق مورد بحث، نقشه‌های پایداری خاکدانه‌ها که بیان‌گر وضعیت ساختمان خاک در محدوده مورد مطالعه می‌باشند، پیکسل به پیکسل تهیه شدند.

۳-۳- ارزیابی نقشه رقومی پایداری خاکدانه

از آنجایی‌که در مطالعه حاضر نمونه‌برداری از خاک طبق موارد اشاره شده در بخش‌های قبلی از سه عمق صورت گرفته ولی نقشه‌های نهایی برای پنج عمق تعریف شده تهیه شدند، لذا با استفاده از تابع اسپلاین که قابلیت آن برای ویژگی‌های مختلف خاک اثبات شده (Shahbazi et al, 2019) و می‌توان توسط آن مقادیر خام و اولیه داده‌ها را برای هر عمق دلخواه با دقت قابل قبولی تهیه نمود (Perperoglou et al, 2019)، مقادیر مربوطه برای پنج عمق مختلف در محیط R محاسبه شدند تا مقایسات آماری صورت پذیرد. شایان ذکر است در تهیه نقشه‌های پایه کربن آلی و رس تحقیق حاضر که برگرفته از مطالعات Rahbar Alam Shirazi و همکاران (2023, 2024) بوده نیز با توجه به اینکه نمونه‌برداری خاک براساس افق‌های ژنتیکی انجام و نقشه‌ها برای عمق‌های پنج‌گانه تهیه شده بود، به‌منظور استانداردسازی عمق‌ها تابع اسپلاین مورد استفاده قرار گرفته بود.

به منظور تحلیل آماری صحت استفاده از نقشه‌های رقومی برای بررسی وضعیت ساختمان خاک، پس از بررسی نرمال بودن باقیمانده‌ها با استفاده از آزمون کلموگراف-اسمیرنوف، مقایسه مقادیر شاخص محاسباتی پایداری خاکدانه مستخرج

[1] - XGBoost Tree

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.15.4.88]

از نقشه نهایی حاصل از تلفیق نقشه‌های پایه با مقادیر اندازه‌گیری شده پایداری خاکدانه در آزمایشگاه با استفاده از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با ۱۵ تکرار (نقطه مطالعاتی) برای هر یک از ۵ عمق استاندارد با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ انجام شد.

۴-یافته‌ها

با توجه به مقادیر ویژگی‌های خاک‌های مورد بحث در تحقیق حاضر برای ۱۵ نقطه مطالعاتی که خلاصه آماری آن در جدول ۲ ارائه شده، مشاهده می‌شود که مقدار کربن آلی خاک مشابه با یافته‌های Li و همکاران (2019) به‌طور متوسط از سطح به عمق کاهش پیدا می‌کند، در حالی‌که برای رس خاک این تغییرات معکوس می‌باشد. همچنین تغییرات عمقی مقدار متوسط پایداری خاکدانه‌های خیس نیز در محدوده مورد مطالعه روندی مشابه با تغییرات رس خاک دارد.

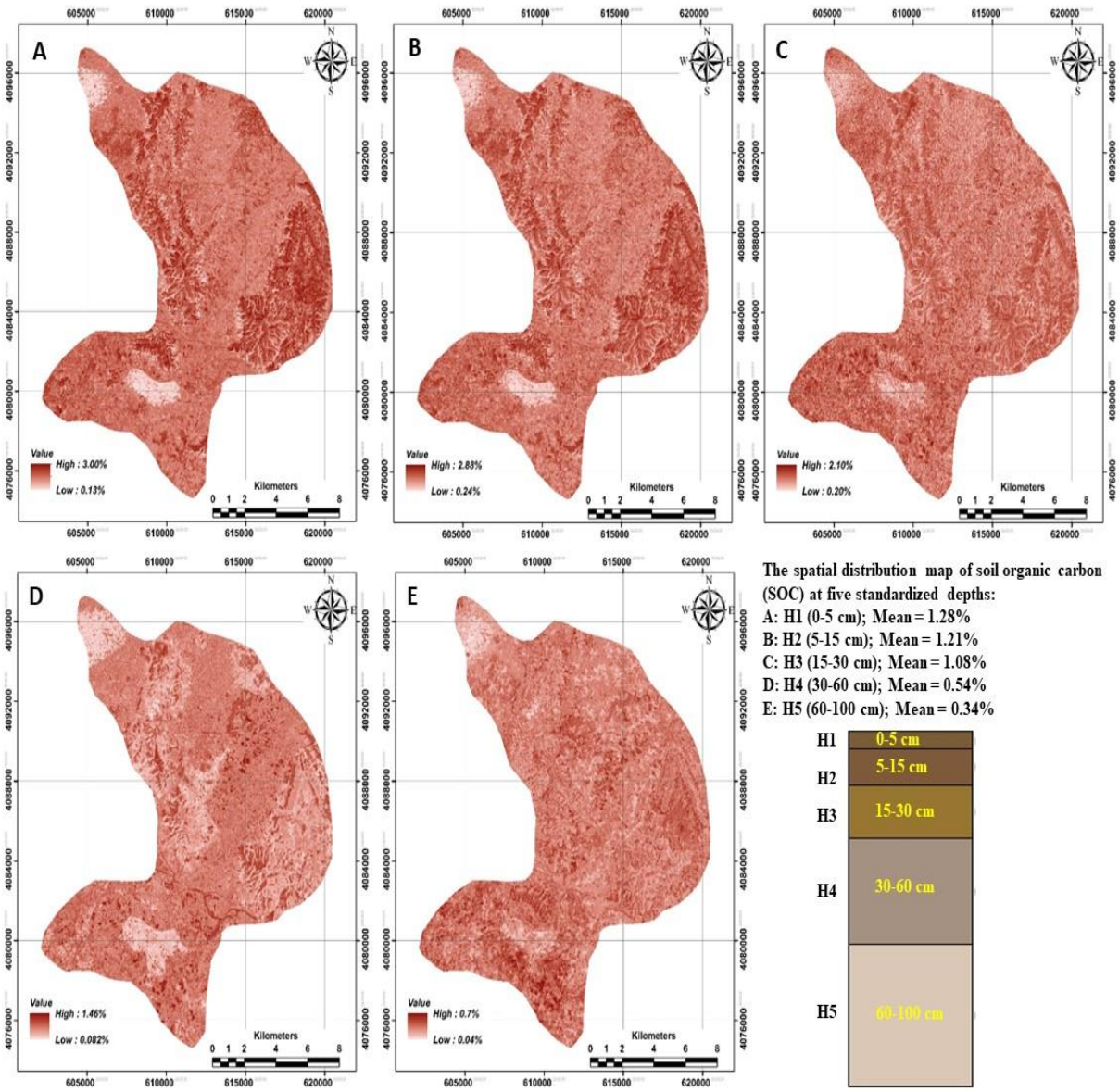
جدول ۲: توصیف آماری ویژگی‌ها و خصوصیات مدنظر خاک‌های مورد مطالعه در عمق‌های استاندارد شده

ویژگی خاک	عمق	حداقل (٪)	حداکثر (٪)	میانگین (٪)	ضریب تغییرات (٪)	انحراف معیار
کربن آلی	H1	۰/۵۰	۳/۲۴	۱/۵۷	۵۳/۳۷	۰/۸۴
	H2	۰/۴۹	۳/۰۳	۱/۵۰	۵۲/۷۲	۰/۷۹
	H3	۰/۴۵	۲/۴۳	۱/۲۲	۵۰/۹۸	۰/۶۲
	H4	۰/۲۰	۱/۹۳	۰/۵۸	۷۳/۷۱	۰/۴۳
	H5	۰/۱۸	۱/۰۶	۰/۴۱	۵۶/۵۳	۰/۲۳
رس	H1	۱۲/۳۵	۴۳/۵۴	۲۶/۷۸	۳۳/۵۵	۸/۹۸
	H2	۱۲/۶۱	۴۳/۳۳	۲۷/۱۳	۳۱/۲۶	۸/۴۸
	H3	۱۳/۶۳	۴۲/۴۶	۲۸/۵۳	۲۸/۸۳	۸/۲۲
	H4	۱۳/۳۷	۶۵/۳۵	۳۱/۷۲	۴۵/۷۳	۱۴/۵۰
	H5	۱۲/۰۲	۵۹/۹۳	۳۲/۸۶	۴۸/۷۵	۱۶/۰۲
پایداری خاکدانه‌های خیس	H1	۹/۰۱	۴۲/۰۱	۲۰/۲۰	۴۵/۲۶	۹/۱۴
	H2	۹/۳۱	۴۲/۳۹	۲۰/۶۲	۴۳/۹۹	۹/۰۷
	H3	۱۰/۵۰	۴۳/۸۸	۲۲/۲۹	۴۰/۸۰	۹/۰۹
	H4	۱۰/۶۹	۴۷/۰۴	۲۵/۸۱	۴۰/۳۱	۱۰/۴۰
	H5	۸/۳۴	۴۷/۱۷	۲۵/۸۴	۴۰/۸۰	۱۰/۵۴

طبق گزارش ارائه شده برای شکل‌های ۲ و ۳ که برگرفته از مطالعات Rahbar Alam Shirazi و همکاران (2023, 2024) می‌باشد، مقادیر کربن آلی و رس خاک با تغییرات عمق در کل روندی مشابه با یافته‌های ارائه شده در جدول ۲ حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد، هر چند پراکنش مکانی کربن آلی و رس خاک از روند خاصی با حرکت در جهات جغرافیایی مختلف پیروی نمی‌کند.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

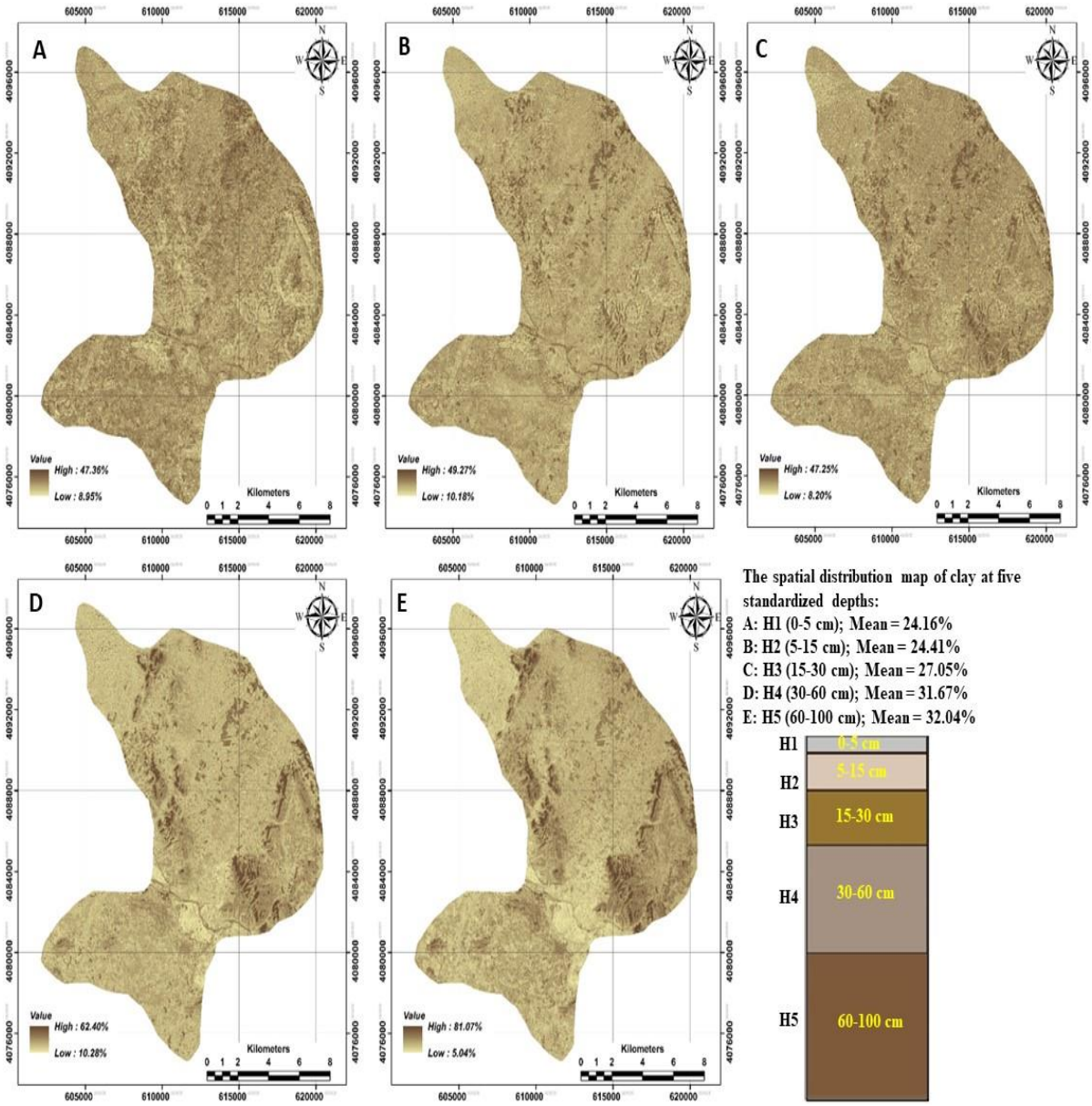
[DOI: 10.61186/jeer.15.4.88]



شکل ۲: نقشه پراکنش مکانی کربن آلی خاک در عمق‌های استاندارد شده

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.15.4.88]

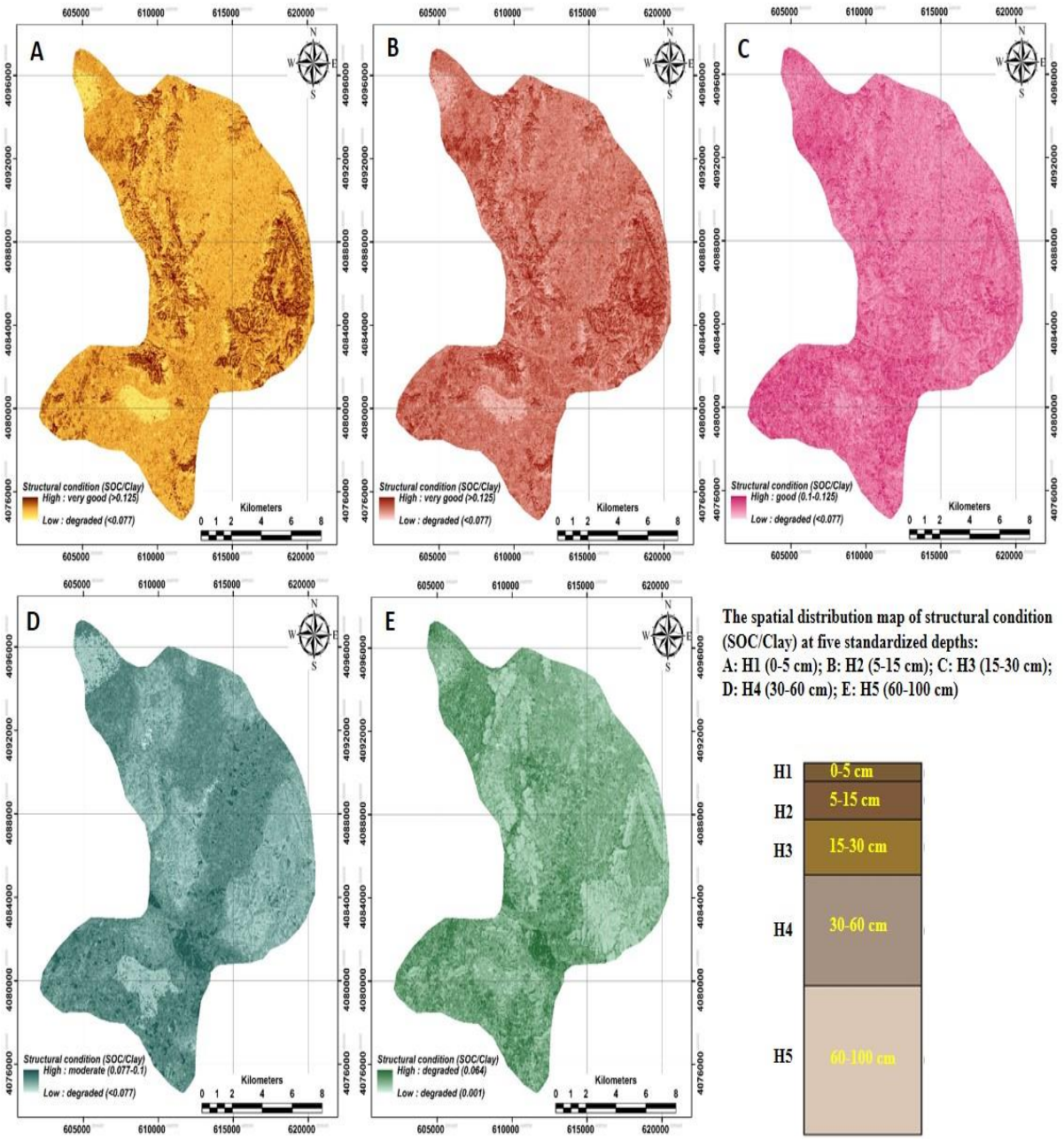


شکل ۳: نقشه پراکنش مکانی رس خاک در عمق‌های استاندارد شده

توجه به شکل ۴ که حاصل تلفیق نقشه‌های ارائه شده در شکل‌های ۲ و ۳ مطابق با رابطه ارائه شده توسط Prout و همکاران (2021) است (رابطه شماره ۲) و نیز نتایج جدول ۳ که مستخرج از نقشه‌های ارائه شده در شکل ۴ برای ۱۵ نقطه مطالعاتی می‌باشد، بیان‌گر کاهش پایداری خاکدانه‌ها با افزایش عمق می‌باشد. به‌عبارتی در محدوده مورد مطالعه وسعت پهنه‌هایی که دارای وضعیت ساختمان خوب می‌باشد با افزایش عمق کاهش می‌یابد. همچنین مطابق با نقشه خروجی نمی‌توان روند مشخصی برای تغییرات مکانی شاخص پایداری خاکدانه در هر یک از عمق‌های استاندارد مورد بررسی متصور بود.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.15.4.88]



شکل ۴: نقشه پراکنش مکانی شاخص پایداری خاکدانه در عمق‌های استاندارد شده

جدول ۳: توصیف آماری شاخص پایداری خاکدانه در عمق‌های استاندارد شده (مستخرج از نقشه)

عمق	حداقل (٪)	حداکثر (٪)	میانگین (٪)	ضریب تغییرات (٪)	انحراف معیار
H1	۰/۰۴	۰/۰۸	۰/۰۵۷	۲۸/۰۰	۰/۰۱۶
H2	۰/۰۴	۰/۰۷	۰/۰۵۳	۱۷/۳۲	۰/۰۰۹
H3	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۴۰	۱۳/۲۱	۰/۰۰۵
H4	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۱۷	۲۴/۱۹	۰/۰۰۴
H5	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۱۱	۴۳/۲۶	۰/۰۰۴

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]
[DOI: 10.61186/jeer.15.4.88]

براساس تحلیل‌های آماری تکمیل شده در این مطالعه، مقدار سطح معنی‌داری صفر حاصل از آزمون کلموگراف-اسمیرنوف که مقداری کمتر از ۰/۰۵ است، نشان داد که داده‌های تحقیق حاضر دارای توزیع نرمال نیستند، از این‌رو پیش از انجام تجزیه آماری، نرمال‌سازی داده‌ها به روش Sin انجام گرفت. جدول تجزیه واریانس مربوط به مقایسه شاخص پایداری خاکدانه حاصل از اندازه‌گیری آن در آزمایشگاه با مقدار مستخرج از نقشه‌های ثانویه تولید شده از تلفیق نقشه‌های رقومی پایه برای این شاخص به شرح جدول ۴ می‌باشد. با توجه به نتایج حاصله مشاهده می‌شود که اگرچه مقادیر شاخص حاصل از دو روش مورد بررسی در عمق‌های مختلف متفاوت هستند، لیکن این مقادیر در عمق‌های مختلف تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند. همچنین مقایسه مقادیر شاخص حاصل از دو روش حکایت از عدم معنی‌داری تفاوت نتایج حاصل از روش‌ها دارد. مقایسه میانگین برهمکنش روش در سطوح مختلف عمق نیز عدم معنی‌داری تفاوت‌های موجود را نشان داد.

جدول ۴: تجزیه واریانس پایداری خاکدانه‌ها

منابع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F test	Sig
عمق	۱	۰/۴۹۵	۰/۴۹۵	۱/۷۸۸	۰/۱۸۳
روش	۴	۰/۵۰۷	۰/۱۲۷	۰/۴۵۷	۰/۷۶۷
عمق × روش	۴	۰/۵۵۷	۰/۱۳۹	۰/۵۰۲	۰/۷۳۴
خطا	۱۴۰	۳۸/۸۰	۰/۲۷۷		

۵ـ بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به نقش مثبت کربن آلی و رس خاک در افزایش پایداری خاکدانه‌ها (Soinne et al, 2023) انتظار بر این است که هم‌سویی بین تغییرات مقدار این ویژگی‌ها با پایداری خاکدانه‌ها برقرار باشد. براساس یافته‌های تحقیق حاضر، از هم‌سویی تغییرات مقدار شاخص پایداری خاکدانه با مقدار رس و تناقض آن با تغییرات مقدار کربن آلی می‌توان نتیجه گرفت که اگرچه کربن آلی و رس خاک از اجزای اصلی دخیل در پایداری خاکدانه‌ها شناخته شده، لیکن در بحث پایداری خاکدانه‌ها ضمن اینکه تمامی فاکتورهای دخیل در پایداری به یک اندازه دارای اهمیت نمی‌باشند (Le Bissonnais, 1995)، نسبت مقادیر آنها با یکدیگر نیز می‌تواند نقش مهمی در میزان پایداری خاکدانه‌ها داشته باشد. همچنین فارغ از نقش عوامل بیرونی خاک دخیل در پایداری خاکدانه مانند نوع کاربری اراضی و عوامل توپوگرافی (Li et al, 2023)، بایستی به نقش سایر عوامل داخلی خاک دخیل در پایداری خاکدانه‌ها غیر از ویژگی‌های مرسوم مثل افق‌های مشخصه عمقی خاک که حاوی املاح و ذرات مختلف می‌باشند نیز توجه نمود، به‌نحوی که گزارش افق مشخصه عمقی کلسیک در محدوده مورد مطالعه از شواهد دال بر اثبات این مدعا است (Rahbar Alam Shirazi et al, 2023).

نتیجه بررسی تغییرات عمقی پایداری خاکدانه‌ها برپایه نقشه‌برداری رقومی که مشابه با مطالعات میدانی Wang و همکاران (2023) حکایت از کاهش مقدار شاخص با افزایش عمق دارد، دقیقاً منطبق با منطق ریاضیاتی تغییرات عمقی میزان کربن آلی و رس خاک به‌عنوان اجزای دخیل در رابطه برآورد شاخص پایداری خاکدانه ارائه شده توسط Prout و همکاران (2021) به‌عنوان پایه روش بررسی شاخص پایداری با استفاده از روش نقشه‌برداری رقومی ویژگی‌های خاک در این مطالعه می‌باشد. این موضوع بیان‌گر آن است که در برآورد صورت گرفته توسط شاخص مورد بحث، نسبت

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]
[DOI: 10.61186/jeer.15.4.88]

تغییرات اجزای رابطه نیز نقش مهمی در بررسی روند تغییرات عمقی پایداری خاکدانه‌ها دارد و این نکته خود بار دیگر یافته پیشین تحقیق را در خصوص نقش اهمیت متفاوت و نسبت مقدار فاکتورهای دخیل در پایداری خاکدانه را تأیید می‌کند.

فارغ از بررسی روند تغییرات عمقی شاخص پایداری خاکدانه به‌دست آمده از دو روش اندازه‌گیری آزمایشگاهی و برآورد حاصل از نقشه‌برداری رقومی که روندی متفاوت از یکدیگر نشان دادند، مقایسه آماری نقطه به نقطه مقدار شاخص مذکور حاصل از دو روش یاد شده برای عمق‌های استاندارد که بیان‌گر عدم معنی‌داری اختلاف آن‌ها می‌باشد، مبین این است که اگرچه تفاوت‌هایی در مقدار شاخص پایداری خاکدانه برمبنای دو روش مورد بررسی وجود دارد اما نقشه تلفیقی حاصل از نقشه‌های رقومی پایه کربن آلی و رس نیز نمایش قابل قبولی از توزیع مکانی وضعیت پایداری خاکدانه‌ها در عمق‌های استاندارد مورد مطالعه ارائه می‌کند. در این راستا به‌نظر می‌رسد استفاده از شاخص‌هایی که با الگوریتم توانمندتر و با کاربرد تعداد بیشتری از ویژگی‌های خاک دقت و صحت بالاتری در تخمین پایداری خاکدانه دارند تفاوت اندک غیرمعنی‌دار گزارش شده در این مطالعه را به حداقل برساند. از این‌رو به‌طورکلی می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از شاخص‌های برآوردی حاصل از نقشه‌های ثانویه شاخص پایداری خاکدانه تولید شده از تلفیق نقشه‌های رقومی رس و کربن آلی خاک می‌تواند جایگزینی مطمئن و سهل‌الوصول برای برآورد شاخص پایداری خاکدانه باشد که اندازه‌گیری مستقیم آن در آزمایشگاه مستلزم صرف زمان و هزینه بالا است. پس استفاده از نقشه‌های ثانویه شاخص پایداری خاکدانه تولید شده از تلفیق نقشه‌های رقومی رس و ماده آلی خاک قابل توصیه برای استفاده کارشناسان عرصه اجرای مدیریت منابع خاک می‌باشد.

جمع‌بندی نهایی تحقیق حاضر را فارغ از محدود نمودن آن به موضوعیت شاخص پایداری خاکدانه می‌توان چنین بیان نمود که انتخاب الگوریتم کارا و توانمند جامع مشتمل بر غالب ویژگی‌های دخیل در یک شاخص و نیز رتبه‌بندی ویژگی‌های دخیل در شاخص براساس اهمیت آنها به‌همراه توجه به نسبت مقادیر آنها به هم، عوامل اصلی تولید نقشه‌های ثانویه دقیق خصوصیات خاک با استفاده از نقشه‌های رقومی ویژگی‌های روتین خاک می‌باشد. شایان ذکر است که توجه به عوامل ثانویه مشتق از ویژگی‌های خاک مثل افق‌های مشخصه خاک و یا الگوهای عوامل خارج از خاکرخ دخیل در تحولات خاک‌ها می‌تواند توجیه کننده اختلاف‌های ناچیز قابل مشاهده بین نتایج اندازه‌گیری مستقیم شاخص با نتایج حاصل از نقشه‌های خروجی ثانویه باشد. بنابراین با رعایت موارد فوق استفاده از نقشه‌های ثانویه مستخرج از نقشه‌های رقومی پایه می‌تواند راه‌کاری مفید به‌منظور افزایش بهره‌وری در مطالعات مدیریت منابع خاک باشد.

منابع

1. Amezketa, E. (1999). Soil aggregate stability. *A Review Journal of Sustainable Agriculture*, 14(2-3), 83-151. https://doi.org/10.1300/J064v14n02_08
2. Arrouays, D., McKenzie, N., Hempel, J., Richer de Forges, A.C. & McBratney, A.B. (2014). *GlobalSoilMap: Basis of the Global Spatial Soil Information System*. CRC Press, London. https://doi.org/10.1201/b16500
3. Arshad, M., Li, N., Di. Bella, L. & Triantafilis, J. (2020). Field-scale digital soil mapping of clay: Combining different proximal sensed data and comparing various statistical models. *Soil Science Society of America Journal*, 84(2), 314-330. https://doi.org/10.1002/saj2.20008

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.15.4.88]

4. Banaei, M.H. (1998). *Soil Moisture and Temperature Regime Map of Iran*. Soil and Water Research Institute, Ministry of Agriculture, Iran. (in persian)
5. Barzgar, A.A. (2004). *Soil physics principle*. Second publication, Shahid Chmaran University publication.
6. Bouslihim, Y., Rochdi, A., Aboutayeb, R., El Amrani-Paaza, N., Miftah, A. & Hssaini, L. (2021). Soil aggregate stability mapping using remote sensing and GIS-based machine learning technique. *Environmental Informatics and Remote Sensing*, 9. https://doi.org/10.3389/feart.2021.748859
7. Bronick, C.J. & Lal, R. (2005). Soil structure and management: a review. *Geoderma*, 124(1-2), 3-22. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.03.005
8. Carré, F., McBratney, A.B., Mayr, T. & Montanarella, L. (2007). Digital soil assessments: Beyond DSM. *Geoderma*, 142, 69-79. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2007.08.015
9. Chen, T., Niu, R.Q., Li, P.X., Zhang, L.P. & Du, B. (2011). Regional soil erosion risk mapping using RUSLE, GIS, and remote sensing: a case study in Miyun watershed, North China. *Environmental Earth Sciences*, 63(3), 533-541. http://dx.doi.org/10.1007/s12665-010-0715-z
10. Darvishzadeh, A. (1991). *Geology of Iran*. Amir Kabir, Tehran. (in persian)
11. GSI. (2006). Geological map of Iran 1:100000, Sheet 5263. Geological Survey and Mineral Explorations of Iran, Ministry of Industry, Mine and Trade.
12. Herrick, J.E., Whitford, W.G., De Soyza, A., Van Zee, J.W., Havstad, K.M., Seybold, C. & Walton, M. (2001). Field soil aggregate stability kit for quality and rangeland health evaluations. *Catena*, 44(1), 27-35. http://dx.doi.org/10.1016/S0341-8162(00)00173-9
13. IRIMO, (2020). *Islamic Republic of Iran Meteorological Organization*. Tehran, Iran.
14. Kamamia, A.W., Vogel, C., Mwangi, H.M., Feger, K.H., Sang, J. & Julich, S. (2021). Mapping soil aggregate stability using digital soil mapping: A case study of Ruiru reservoir catchment, Kenya. *Geoderma Regional*, 24, e00355. https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2020.e00355
15. Kemper, W.D. & Rosenau, R.C. (1986). *Aggregate Stability and Size Distribution*. In: Klute, A., (ed.). Methods of Soil Analysis. Part 1: Physical and Mineralogical Methods, 2nd Edition, Soil Science Society of America Agronomy Monograph No. 9, 425-442.
16. Khanifar, J., Khademalrasoul, A. & Amerikhah, H. (2020). Modelling of soil aggregate stability as an index of soil erodibility using geomorphometric parameters. *Agricultural Engineering*, 43(1), 49–64. https://doi.org/10.22055/agen.2020.28561.1482
17. Khosravani, P., Moosavi, A.A., Baghernejad, M., Kebonye, N., Mousavi, S.R. & Scholten, T. (2024). Machine learning enhances soil aggregate stability mapping for effective land management in a semi-arid region. *Remote Sensing*, 16(22). https://doi.org/10.3390/rs16224304
18. Le Bissonnais, Y. (1996). *Soil Characteristics and Aggregate Stability*. In: Agassi, M., (ed.). Soil Erosion, Conservation, and Rehabilitation, 1nd Edition, CRC Press, 41-60.
19. Li, M., Han, X., Du, S. & Li, L.J. (2019). Profile stock of soil organic carbon and distribution in croplands of Northeast China. *Catena*, 174, 285-292. https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.11.027

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.15.4.88]

20. Li, H., Chang, L., Wei, Y. & Li, Y. (2023). Interacting effects of land use type, soil attributes, and environmental factors on aggregate stability. *Land*, 12, 1286. https://doi.org/10.3390/land12071286
21. Minasny, B. & McBratney, A.B. (2016). Digital soil mapping: a brief history and some lessons. *Geoderma*, 264, 301-311. http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.07.017
22. Monavvar Sabegh, S., Zare Haghi, D., Samadianfard, S. & Rezaei, H. (2024). Wet aggregate stability modeling based on random forest optimized with genetic algorithm. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 55(7), 1095-1111. (in persian) https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.376443.669712
23. Perperoglou, A., Sauerbrei, W., Abrahamowicz, M. & Schmid, M. (2019). A review of spline function procedures in R. *BMC Medical Research Methodology*, 19(1), 46. https://doi.org/10.1186/s12874-019-0666-3
24. Prout, J.M., Shepherd, K.D., McGrath, S.P., Kirk, G.J.D. & Haefele, S.M. (2021). What is a good level of soil organic matter? An index based on organic carbon to clay ratio. *European Journal of Soil Science*, 72(6), 2493-2503. https://doi.org/10.1111/ejss.13012
25. Rahbar Alam Shirazi, F., Shahbazi, F., Rezaei, H. & Biswas, A. (2023). Digital assessments of soil organic carbon storage using digital maps provided by static and dynamic environmental covariates. *Soil Use and Management*, 39(2), 948-974. https://doi.org/10.1111/sum.12900
26. Rahbar Alam Shirazi, F., Shahbazi, F., Rezaei, H. & Biswas, A. (2024). Multi-property digital soil mapping at 30-m spatial resolution down to 1 m using extreme gradient boosting tree model and environmental covariates. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 33, 101123. https://doi.org/10.1016/j.rsase.2023.101123
27. Shabani, A., Gholamalizadeh, A. & Golshahi, S. (2017). Predicting aggregate stability using soil properties in different land use. *Journal of Agricultural Engineering*, 39(2), 117-131. https://doi.org/10.22055/agen.2017.12608
28. Shahbazi, F., Hughes, P., McBratney, A.B., Minasny, B. & Malone, B.P. (2019). Evaluating the spatial and vertical distribution of agriculturally important nutrients-nitrogen, phosphorous and boron-in North West Iran. *Catena*, 173, 71-82. https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.10.005
29. SheidaiKarkaj, E., Rezaei, H., Niknahad gharmakher, H., Jafari Footami, I. & Sharifian, A. (2019). The role of exclosure in changing aggregate stability and soil structure of rangelands in Golestan province. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 26(4), 904-917. (in persian) https://doi.org/10.22092/ijrdr.2019.120682
30. Soinne, H., Keskinen, R., Tähtikarhu, M., Kuva, J. & Hyväluoma, J. (2023). Effects of organic carbon and clay contents on structure-related properties of arable soils with high clay content. *European Journal of Soil Science*, 74(5), e13424. https://doi.org/10.1111/ejss.13424
31. Teimuri Bardyani, S. & Sarmadian, F. (2024). Digital mapping of soil properties (Calcium Carbonate and soil clay percentage) using landsat 8 and Prisma satellite images by the random forest algorithm.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.15.4.88]

Iranian Journal of Soil and Water Research, 55 (3), 381-399. (in persian) https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.363941.669558

32. Velázquez, F.J.B., Shahabi, M., Rezaei, H., González-Peñaloza, F., Shahbazi, F. & Anaya-Romero, M. (2022). The possibility of spatial mapping of soil organic carbon content at three depths using easy-to-obtain ancillary data in a Mediterranean area. *Open Research Europe*, 2(110), 110. https://doi.org/10.12688/openreseurope.14716.1
33. Wang, S., Liu, Z., Obalum, S.E., Liang, C., Han, K. & Han, H. (2023). Effects of subsoiling depth on soil aggregate stability and carbon storage in a clay-loam soil. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 23, 3302-3312. https://doi.org/10.1007/s42729-023-01246-y
34. Yang, C., Yang, L., Zhang, L. & Zhou, C. (2023). Soil organic matter mapping using INLA-SPDE with remote sensing based soil moisture indices and Fourier transforms decomposed variables. *Geoderma*, 437. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2023.116571
35. Ziadat, F.M. (2007). Land suitability classification using different sources of information: Soil maps and predicted soil attributes in Jordan. *Geoderma*, 140(1-2), 73-80. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2007.03.004
36. Zhang, Z., Wei, C., Xie D., Gao, M. & Zeng, X. (2008). Effects of land use patterns on soil aggregate stability in Sichuan Basin, China. *Particuology*, 6(3), 157-166. https://doi.org/10.1016/j.partic.2008.03.001

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.15.4.88]