

Investigating the use of Reflectometry and surface soil color for separation of surfaces exposed to gully erosion

M. Yarahmadi¹, A. Khademasoul^{*2} and H. Amerikhah³

1. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
2. Associate Professor of Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.
3. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

Received: 30 September 2024 Accepted: 1 January 2025 *Corresponding Author: a.khademasoul@scu.ac.ir

Abstract

Introduction: Soil erosion is the most prevailing form of soil degradation, playing an important role in the mass balance of soil particles in the watersheds. Moreover, due to the on-site and off-site effects of erosion, it is essential to measure and predict soil loss using different methods. Specifically, gully erosion is a form of water erosion with the huge amount of soil dislodgement. Due to the complexity and variability of soil erosion, it is necessary to apply different techniques in order to monitor the soil erosion changes. Remote sensing (RS) technology and the use of spectrometry and reflectometry basics provide suitable solutions for monitoring areas affected by erosion and deposition events, offering high-quality temporal and spatial data. Soil color, a visual property, significantly affects soil reflectance. Generally, soils with a high amount of organic matter have low reflectance due to their darkness, while the light soils have high reflectance from surface (high Brightness index, BI), which affects soil temperature. Therefore, the main objective of this research is to use RS and radio spectrophotometry to find a relation between soil color and its reflectance.

Materials and Methods: The study area is located at Zahirieh watershed of Khuzestan province, between Ahvaz and Masjedsoleyman cities, covering an area of approximately 7100 hectares. The average rainfall is 218.6 mm, with the maximum and minimum temperatures of 54°C and 7°C, respectively. Regarding the separation of erosional and depositional surfaces in the study area; first, using the visual inspection of Landsat satellite false color images, 8 regions were divided into several regions, then random sampling points were created using the random point generator tool in ArcGIS 10.4 software to implement the random sampling method within the block. Finally, 12 sampling points representing erosion surfaces and 14 sampling points representing depositional surfaces were selected and sampled to determine surface soil characteristics. Surface soil color was determined using Mansell's color book in natural daylight in two dry and moist conditions. After collecting the soil samples in air-dry moisture condition and also in wet condition, their spectroscopic analysis was done by FieldSpec3 device and this moisture condition was considered for all the soil samples of eroded and depositional surfaces. Statistical analyzes and mean comparisons were performed using SPSS 26 statistical software. Corrections of satellite images and transformations were made in ENVI 4.7 software, and visual outputs and maps were created in ArcGIS 10.4 software.

Results and Discussion: Results indicated that among the evaluated soil color indicators, the dry weight parameter is significant at the 1% level. This level of significance demonstrates that the Value index in dry



conditions can be used as an effective parameter to identify and separate erosion and deposition levels in the study area. There is a difference between the values of the statistics for red, green and blue RGB in the dry state for erosion and depositional surfaces, and these differences are also evident for the moist condition. In the depositional surfaces, with the drying of the soil, blue, red, and all green reflections decrease. The reduction of blue reflections in the RGB system leads to an increase in the yellowness of the color. In the case of the soils of erosion surfaces, we can see the pattern of the photo and the enhancement of reflections and consequently the lightening of the color of the soil when the soil is dry. According to what has been seen in the Munsell system, it seems that this issue has a direct relationship with the amount of organic matter. Moreover, the results of the comparison of the average bands of Landsat 8 show that bands 2, 3 and 4 are able to separate erosion and sedimentary surfaces at the 1% level, but thermal bands cannot be used to separate surfaces. Due to the difference in the color characteristics of erosional and sedimentary surfaces, as a result, it is possible to separate them based on reflectometric characteristics, and it is possible to separate eroded and sedimentary surfaces by using color indices.

Conclusion: Due to the difference in the color characteristics of erosional and depositional surfaces, it is possible to separate them based on reflectometric characteristics, and color indices can be used to distinguish between eroded and depositional surfaces. The results showed that surface soil characteristics could be modeled using quantified surface soil color data, a hypothesis confirmed by statistical investigations.

Key words: *Reflectometry, radio spectrophotometry, quantified soil color indices (RGB), gully erosion*

بررسی کاربرد بازتاب‌سنجی و رنگ خاک سطحی بر تفکیک سطوح در معرض فرسایش خندقی

میترا یاراحمدی^۱، عطااله خادم الرسول^{۲*} و هادی عامری خواه^۳

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

۲- نویسنده مسئول، دانشیار گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

۳- مربی گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

تاریخچه مقاله

دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۰۹

پذیرش نهایی: ۱۴۰۳/۱۰/۱۲

کلمات کلیدی:

بازتاب‌سنجی،

راد یواسپکتروفتومتری،

شاخص‌های کمی شده رنگ

خاک (RGB)، فرسایش خندقی

چکیده

رنگ خاک یکی از ویژگی‌های ظاهری خاک‌ها است که با توجه به اثرگذاری بر روی بازتاب‌های سطح خاک می‌تواند جهت ارزیابی رفتارهای خاک مورد استفاده قرار بگیرد. در پژوهش حاضر امکان بهره‌گیری از شاخص‌های کمی شده رنگ خاک سطحی (RGB) با استفاده از سنجش از دور و رفتار طیفی بازتابی جهت تفکیک سطوح فرسایشی و رسوبی در حوضه‌ی ظهیری استان خوزستان بررسی شد. نتایج نشان داد که شاخص‌های کمی شده‌ی رنگ خاک سطحی (۲۰-۰ سانتیمتر) در حالت خشک قادر به تفکیک سطوح فرسایشی و رسوبی هستند (سطح ۱ درصد). همچنین نمودار میانگین بازتاب‌های زیراتمسفری سطوح فرسایشی و رسوبی نشان می‌دهد که بازتاب‌های سطوح رسوبی خصوصاً در طول موج‌های ۱۴۰۰، ۱۹۰۰ و ۲۱۰۰ نانومتر کمتر از سطوح فرسایشی است که علت آن وجود باندهای هیدروکسیل (OH) در خاک سطحی و در نتیجه بافت سنگین‌تر و تجمع ماده آلی بیشتر است. مقایسه‌ی میانگین باندهای ماهواره لندست ۸ نشان می‌دهد باندهای ۲، ۳ و ۴ در سطح ۱ درصد قادر به تفکیک سطوح فرسایشی و رسوبی هستند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد باندهای حرارتی نمی‌توانند جهت تفکیک سطوح فرسایشی از رسوبی استفاده شوند. همچنین، نتایج نشان می‌دهد که با توجه به تفاوت در ویژگی‌های رنگی سطوح فرسایشی و رسوبی در نتیجه امکان تفکیک آنها بر اساس ویژگی‌های بازتاب‌سنجی وجود دارد.

* عهده دار مکاتبات

Email: a.khademalrasoul@scu.ac.ir

مقدمه

با توجه به اهمیت فرسایش خاک به عنوان یکی از بارزترین و فراوان‌ترین اشکال تخریب خاک، ضرورت دارد که ارزیابی و اندازه‌گیری‌های مستمری از فرسایش خاک صورت پذیرد (۱۵، ۱۹، ۱۳، ۱۲). بواسطه‌ی ماهیت فرسایش و پیچیدگی‌های حاکم بر این رخداد؛ بهره‌گیری از روش‌های مختلف جهت پایش آن نیاز است تا تغییرات زمانی و مکانی فرسایش را پوشش بدهد؛ از جمله‌ی این روش‌ها می‌توان به بازتاب‌سنجی^۱ اشاره نمود (۸، ۲۰). روش‌های طیف‌سنجی از جمله روش‌هایی هستند که سبب کاهش هزینه‌ها و نیز افزایش سرعت عمل در اندازه‌گیری‌ها می‌شوند بدین ترتیب در مطالعات فرسایش خاک می‌توانند موثر واقع شوند. علاوه بر تخمین مقدار فرسایش، استفاده از روش طیف‌سنجی در قالب تصاویر ماهواره‌ای همچون ماهواره‌ی لندست دارای پتانسیل لازم جهت ارزیابی و پایش فرسایش خاک و مشخص نمودن سطوح فرسایش یافته در حوزه‌ها می‌باشد (۱۰). استفاده از این روش، ظرفیت قابل توجهی را جهت پایش فرسایش خاک و تصمیم‌گیری جهت اقدامات حفاظتی فراهم می‌سازد و به بیان بهتر استفاده از داده‌های سنجش از دور درک بهتری از وضعیت تغییرات مکانی و زمانی فرسایش خاک در مقایسه با روش‌های سنتی ارائه می‌دهد (۱۰). فناوری سنجش از دور و بهره‌گیری از مبانی طیف-سنجی و بازتاب‌سنجی به عنوان یک راهکار و گزینه‌ی مناسب جهت پایش مناطق ساحلی متاثر از رخدادهای فرسایش و رسوب است که در تامین داده‌های زمانی و مکانی با کیفیت بالا و نیز جمع‌آوری منظم داده‌ها نقش بسزایی دارد (۱۴)؛ در اختیار داشتن داده‌های زمانی و مکانی منظم و با کیفیت بالا ابزاری موثر و کارآمد جهت انجام اقدامات حفاظتی متناسب با شرایط منطقه است که در مجموع منجر به مدیریت بهینه‌ی منابع طبیعی می‌گردد. استفاده از سنجش از دور که مشتمل بر روش‌های طیف‌سنجی و نیز آنالیز شاخص‌ها و تصاویر حاصل از سنجنده‌ها می‌باشد؛ راهکاری

مناسب و جامع جهت پایش و ارزیابی رخدادهای فرسایشی و نیز تعیین نواحی بحرانی در حوزه‌ها است که با توجه به پیچیدگی‌های حاکم بر حوزه‌های آبخیز و هزینه‌های بالای ارزیابی‌های میدانی؛ روش‌های طیف‌سنجی می‌تواند در کاهش معنی‌دار هزینه‌ها نیز موثر باشد (۱).

رنگ خاک سطحی یکی از ویژگی‌های ظاهری خاک است که می‌تواند نماینده‌ای از یکسری خصوصیات خاک باشد؛ ضمناً رنگ خاک بر ویژگی‌های جذبی و بازتابی امواج در خاک اثرگذار است که در قالب مفهومی به نام ضریب آلبدو نیز معرفی می‌شود (۱۱). پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد که با توجه به اینکه محتوای ماده‌ی آلی خاک می‌تواند بر روی رنگ خاک‌ها موثر باشد و همزمان وضعیت ماده‌ی آلی خاک بر روی رفتارهای فرسایش‌پذیری خاک اثرگذار است؛ در نتیجه می‌توان از رنگ خاک به عنوان یک شاخص جهت ارزیابی فرسایش خاک استفاده نمود (۱۸). در ارتباط با بهره‌گیری از رنگ خاک جهت پایش فرسایش خاک؛ کمی‌سازی^۲ رنگ خاک به عنوان رویکردی موثر در استفاده از این پارامتر زودیافت خاک جهت ارزیابی هدررفت خاک محسوب می‌شود. به بیان بهتر کمی بودن رنگ خاک بهتر از کیفی بودن است زیرا امکان کاربرد آمار کلاسیک و نیز مقایسات آماری فراهم است. شایان ذکر است که بیان رنگ خاک به صورت علمی بر اساس هیو، ویو و کروما انجام می‌شود که با تبدیل آن به سیستم RGB (Red-Green-Blue) می‌توان ارتباطاتی بین طیف سنجنده‌ها، رنگ خاک و ویژگی‌های خاک برقرار نمود که این ارتباط در ارزیابی رخدادهای فرسایشی خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد (۲). پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد که امکان استفاده از تغییرات رنگ خاک به عنوان ابزاری جهت تشخیص و طبقه‌بندی فرسایش آبی در حوزه‌ها وجود دارد که این امکان با بهره‌گیری از دو مکانیزم مشتمل بر کاهش در ضخامت لایه‌ی هوموسی سطح خاک و دیگری تغییر در محتوای کربن آلی خاک در مقایسه با بخش‌های فرسایش نیافته؛ فراهم می‌گردد

ژئومورفولوژیکی زیر مجموعی تراس ها و مخروط افکنه‌های کم ارتفاع تشکیل شده بر روی سازندهای مارنی آغاچاری بوده و بجز یک سوم غربی منطقه که از پوشش گیاهی گراس‌های با تراکم حدود ۱۰ درصد پوشیده شده است، عمدتاً اراضی منطقه برهنه بوده و دارای تراکم زیاد خندق‌ها است (۳).

سیمای عمومی منطقه اراضی بدلند دارای خاکهای Typic Calcicusteps بوده با توجه به عمق خاک و حضور سنگ در خاک زیرین به چهار شبه سری (Taxadjunct) طبقه‌بندی شده‌اند. توزیع مکانی واحدهای خاک و واحدهای زمین-شناسی منطقه مطالعاتی در شکل (۲) آمده است؛ کد ۲۲ بیانگر خاک‌های کم عمق سنگریزه‌دار است، کد ۳ معرف خاک‌های کم عمق سنگریزه‌دار با بافت سنگین، کد ۸ نشان دهنده‌ی خاک‌های عمیق با بافت سنگین و کد ۳۲ به عنوان خاک‌های نیمه عمیق با بافت متوسط می‌باشد. شبه سری‌ها خاک‌های مرتبطی هستند که تغییرات ویژگی‌های آنها منجر به طبقه‌بندی جداگانه آنها در یک سری خاک جدید نمی‌شود. همچنین زمین‌شناسی منطقه‌ی مطالعاتی مشتمل بر تراس‌ها و مخروط افکنه‌های کوهپایه‌ای کم ارتفاع (Qft2) و نیز سازند آغاچاری مربوط به دوران میوسن (Mu) عمدتاً دارای ماسه‌سنگ‌ها و سیلت‌استون‌ها (MuPlaj) می‌باشد.

با توجه به خصوصیات زمین‌شناسی و خاک منطقه‌ی مطالعاتی؛ منطقه مستعد انواع رخدادهای فرسایش آبی بویژه از نوع خندقی است که با نتایج بررسی‌های پژوهشگران مبتنی بر وضعیت فرسایش آبی از نوع فرسایش خندقی در خاک-های توسعه یافته بر مارن‌های سازند آغاچاری منطبق است (۹). ضمناً از لحاظ وضعیت پوشش گیاهی در منطقه‌ی مطالعاتی می‌توان آن را در سه بخش کلی تقسیم‌بندی نمود که شامل اراضی متروکه و شور، اراضی برهنه و گراس (۲۵-۵ درصد) می‌باشند. مجموع شرایط حاکم بر منطقه‌ی مطالعاتی از لحاظ پوشش گیاهی، زمین‌شناسی و خاک؛ آن را مستعد رخدادهای فرسایشی می‌نماید (۳).

(۷، ۱۷ و ۱۹). خوان‌یغما و همکاران^۱ (۱۳۹۲) طی پژوهشی با تایید وجود ارتباط بین ویژگی‌های خاک و نیز طیف‌های سنجنده‌ها بیان کردند که استفاده از تکنیک سنجنش از دور راهکاری مناسب جهت مدیریت منابع خاک و آگاهی از وضعیت و گستردگی فرسایش و رسوبگذاری در عرصه‌های فرسایشی است که بر مبنای آن انتخاب استراتژی حفاظتی میسر خواهد بود (۵). استفاده از روش طیف‌سنجی امکان پایش ویژگی‌های خاک و نیز پهنه‌بندی رخدادهای تخریب‌کننده‌ی خاک را فراهم می‌سازد (۴).

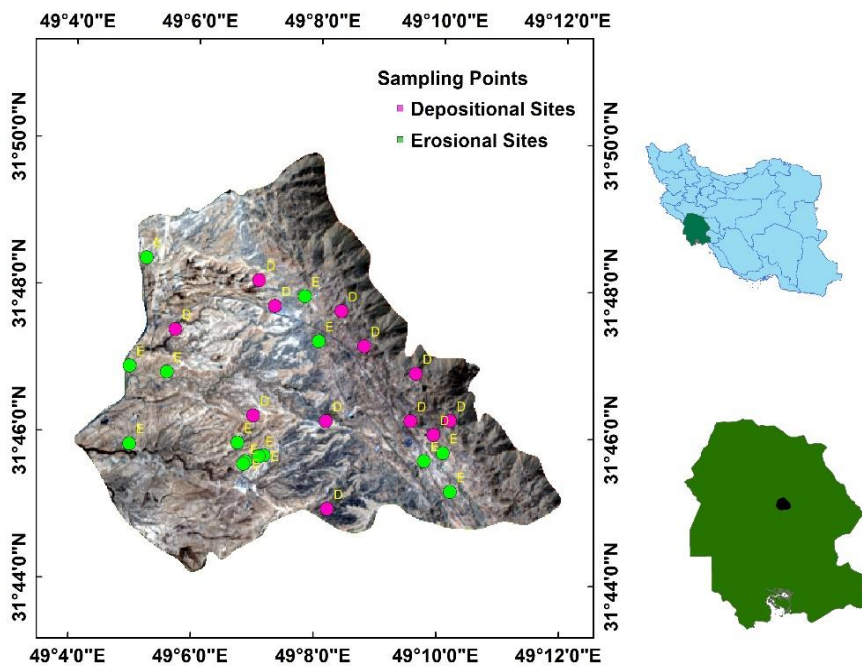
با توجه به اهمیت موضوع و امکان‌سنجی استفاده از تکنیک‌های طیف‌سنجی جهت ارزیابی فرسایش خاک بالاخص فرسایش خندقی که با توجه به ویژگی‌های این فرسایش؛ حجم قابل توجهی از خاک را از منطقه‌ی فرسایشی خارج نموده و در نتیجه دارای اثرات برون حوضه‌ای قابل توجهی می‌باشد؛ لذا پژوهش حاضر با هدف ارزیابی استفاده از تکنیک بازتاب‌سنجی و ارتباطات بازتاب‌ها با ویژگی‌های سطحی خاک در منطقه‌ی ظهیری واقع در استان خوزستان در محور اهواز-مسجدسلیمان پایه‌ریزی و عملیاتی شد.

مواد و روش‌ها

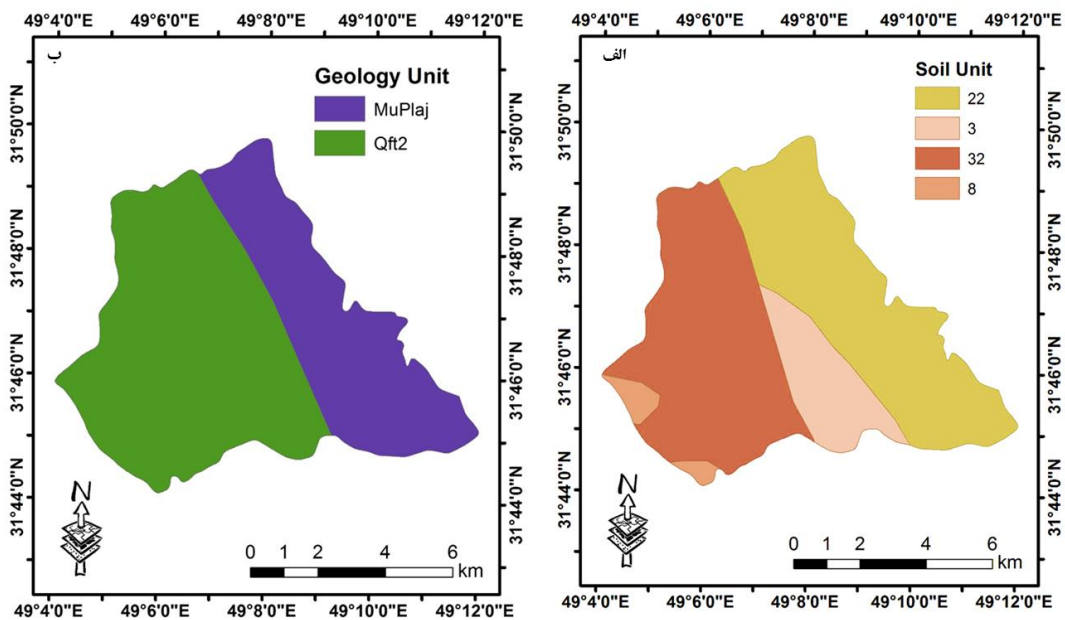
موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی

منطقه‌ی مطالعاتی حوضه‌ی ظهیری در محور اهواز-مسجدسلیمان، حدود ۴۰ کیلومتری غرب شهرستان اهواز و واقع در موقعیت جغرافیایی ۳۱° ۷۰' تا ۳۱° ۸۳' شمالی و ۷۹° ۰۷' تا ۴۹° ۱۷' شرقی با وسعت تقریبی ۷۱۰۰ هکتار می‌باشد. منطقه‌ی مطالعاتی دارای آب و هوای گرم و خشک با متوسط بارندگی ۲۱۸/۶ میلی‌متر، حداکثر مطلق درجه حرارت ۵۴ درجه سانتی‌گراد و حداقل آن ۷ درجه سانتی‌گراد می‌باشد و در تقسیم بندی اقلیمی به روش آمبرژه این منطقه جزو اقلیم بیابانی گرم محسوب می‌شود (۳).

غلبه‌ی سیلت و شن و وجود خاک‌های با بافت سبک تا متوسط؛ تشکیل عرصه‌های فرسایش از نوع خندقی متراکم را در منطقه سبب شده است. منطقه مورد مطالعه از لحاظ



شکل (۱) موقعیت جغرافیایی سطوح فرسایشی (E) و رسوبی (D) در منطقه‌ی مطالعاتی
 Figure (1) The geographical location of erosional (E) and depositional (D) surfaces in the study area



شکل (۲) (الف) توزیع مکانی واحدهای خاک و (ب) واحدهای زمین‌شناسی منطقه‌ی مطالعاتی
 Figure (2) (a) The spatial distribution of soil units and (b) Geological units in the study area

دقت یک نانومتر در دامنه طیفی ۳۵۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر برای ۲۵۰۰ طیف الکترومغناطیسی را داشته و مدت زمان جمع‌آوری داده‌ها برای هر طیف حدود ۰/۱ ثانیه است. داده‌های برداشت شده یعنی مقدار بازتاب‌های ثبت شده توسط سنجنده ماهواره از ماهواره لندست ۸ به نرم‌افزار آماری SPSS 26 انتقال داده شد. تجزیه تحلیل آماری برای بارزسازی تصاویر به منظور جداسازی بهتر سطوح فرسایشی و رسوبی برای داده‌های منطقه مطالعاتی و از طریق روشهای آماری منجر به ایجاد شاخص‌های Erosion Deposition indices (EDI) گردید. پس از آنالیزهای متعدد و بررسی ضرایب همبستگی پیرسون و نیز استفاده از روش‌های بارزسازی مبتنی بر تقسیم باند بر باند مانند EDI₁ در جدول ۵ و نیز تفریق باندها در نهایت بهترین آنها در قالب شاخص‌های EDI₁ تا EDI₅ استخراج گردید.

تجزیه آماری

تحلیل‌های آماری و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS 26 انجام شد. اصلاحات تصاویر ماهواره‌ای و تبدیلات در نرم‌افزار ENVI 4.7 و خروجی‌های بصری و نقشه‌ها در نرم‌افزار ArcGIS 10.4 صورت گرفت.

نتایج و بحث

مقایسه آماری شاخص‌های رنگ خاک سطحی مشتمل بر ولیو و کروما در حالت خشک و مرطوب برای سطوح فرسایشی و رسوبی ارائه شده است (جدول ۱). نتایج مندرج در جدول ۱ وجود اختلاف در مقادیر ولیو و کروما را در شرایط رطوبتی خشک و مرطوب نشان می‌دهد. وجود اختلاف در مقادیر آماره‌های محاسبه شده برای سطوح فرسایش یافته و رسوبی تایید کننده‌ی امکان بهره‌گیری از شاخص‌های مذکور جهت تفکیک سطوح است. نتایج پژوهش‌های توبالو (۲۰۲۲) نیز موید وجود اختلاف در شاخص‌های رنگ خاک در شرایط رطوبتی مختلف است

نمونه‌برداری سطوح فرسایشی و رسوبی

با توجه به اینکه در این پژوهش هدف مقایسه و تفکیک میان واحدهای تحت فرسایش، تحت فرایندهای رسوبگذاری و یا سطوح پایداری از لحاظ فرسایش و رسوب بوده است. ابتدا با استفاده از بررسی چشمی تصاویر رنگ کاذب ماهواره لندست ۸ منطقه به چندین ناحیه تقسیم بندی شد سپس با استفاده از ابزار ایجاد کننده نقاط تصادفی^۱ در نرم‌افزار ArcGIS10.4 نقاط نمونه‌برداری تصادفی برای اجرای روش نمونه‌برداری تصادفی درون بلوک ایجاد گردید. نقاط تصادفی ایجاد شده با استفاده از بازدید صحرائی از لحاظ وابستگی به بلوک کاری (فرسایش، رسوب، پایدار) کنترل شده و نقاط غیر وابسته حذف شدند. در نهایت ۱۲ نقطه نمونه‌برداری معرف سطوح فرسایشی و ۱۴ نقطه معرف سطوح رسوبگذاری جهت نمونه‌برداری برای تعیین ویژگی‌های خاک سطحی انتخاب و نمونه‌برداری گردیدند. رنگ خاک سطحی با استفاده از دفترچه رنگ مانسل در نور طبیعی روز در دو حالت خشک و مرطوب تعیین گردید.

سنجش از دور و رادیواسپکتروفتومتری نمونه‌ها

در پژوهش حاضر برای استخراج شاخص‌های سنجش از دور از تصاویر ماهواره لندست ۸ مربوط به آوریل ۲۰۲۲ استفاده شده است. در بخش رادیواسپکتروفتومتری پس از برداشت نمونه‌های خاک در شرایط رطوبتی هواخشک و همچنین در حالت مرطوب (حد ظرفیت زراعی) آنالیز طیف‌سنجی آنها توسط دستگاه رادیواسپکتروفتومتر صورت پذیرفت و این وضعیت رطوبتی برای تمامی نمونه‌های خاک سطوح فرسایش یافته و رسوبی در نظر گرفته شد زیرا شرایط رطوبتی خاک بر روی رفتارهای بازتابی آن موثر است. همچنین وضعیت طیف‌ها و پیک‌های مستخرج از آنها با تصاویر ماهواره‌ای تطبیق داده شد. دستگاه رادیواسپکتروفتومتر قادر است بازتاب‌های طیفی اجسام و پدیده‌ها را متناظر با سنجنده‌های ماهواره بر روی زمین با

وجود اختلاف در ویژگی‌های خاک سطوح فرسایش یافته و رسوبی در نتیجه در مقادیر آماره‌ها اختلاف وجود دارد. زمانیکه سطح خاک دچار فرسایش می‌شود طبیعتاً لایه‌ی سطحی خاک جابجا شده و به مکان دیگری منتقل می‌گردد که با توجه به اختلاف رنگ خاک در لایه‌ی سطحی و لایه‌ی های زیرین آن، در نتیجه وضعیت بازتاب‌ها و انعکاس نور از سطح دستخوش تغییر قرار می‌گیرد (او ۴). وجود این تغییرات می‌تواند مبنایی جهت تفکیک سطوح فرسایشی و رسوبی از یکدیگر باشد (جدول ۳).

بررسی نتایج مندرج در جدول ۳ نشان می‌دهد که در عرصه های رسوبی با خشک شدن خاک بازتاب‌های آبی، قرمز و سبز هر سه کاهش پیدا می‌کنند ولیکن این کاهش برای آبی مقدار مضاعف و حدود شش برابری دارد. کاهش بازتاب‌های آبی در سیستم RGB منجر به افزایش زرد شدگی رنگ می‌گردد. در مورد خاک‌های سطوح فرسایشی روندی عکس دیده می‌شود و افزایش بازتاب‌ها و به تبع آن روشن شدن رنگ خاک در حالت خشک شدن خاک را شاهد هستیم. با توجه به آنچه در سیستم مانسل نیز دیده شده به نظر می‌رسد این مسئله ارتباط مستقیمی با مقدار ماده آلی و نسبت اسید فولویک به اسید هیومیک ماده آلی خاک دارد (۶).

نتایج آزمون مقایسه‌ی میانگین برای شاخص‌های کمی شده (RGB) رنگ خاک سطحی در حالت خشک و مرطوب به منظور تفکیک سطوح فرسایش یافته و رسوبی ارائه گردیده است (جدول ۴). همانگونه که نتایج مندرج در جدول نشان می‌دهد شاخص‌های کمی شده‌ی رنگ خاک براساس قرمز (R)، سبز (G) و آبی (B) برای حالت خشک در سطح ۵ درصد معنی‌دار شده است. نتیجه‌ی حاصله موید این مطلب است که شاخص‌های RGB خاک سطحی در حالت خشک می‌توانند جهت تفکیک سطوح فرسایشی و رسوبی مورد استفاده قرار گیرند. در حالیکه نتایج مندرج در جدول ۴ حاکی از عدم معنی‌داری شاخص‌های کمی شده‌ی RGB خاک سطحی برای حالت مرطوب است در نتیجه این شاخص‌ها یعنی R، G و B نمی‌توانند جهت تفکیک سطوح فرسایشی و رسوبی مورد استفاده قرار بگیرند.

که این اختلاف مبنایی جهت بهره‌گیری از شاخص‌ها به منظور تفکیک سطوح می‌باشد (۱۸). تفکیک سطوح فرسایش یافته و رسوبی به انتخاب مناسب و اجرای صحیح استراتژی‌های حفاظتی کمک می‌کند.

همچنین بررسی نتایج مندرج در جدول ۱ نشان می‌دهد که بر خلاف روال مورد انتظار در عرصه های دارای خاک های رسوبی و سطوح حاصل از رسوبات انتقال یافته از اراضی بالا دستی با مرطوب شدن خاک مقدار ولیو افزایش نشان می‌دهد. پژوهش‌های مشابه نشان دهنده‌ی ارتباط آن با مقدار ماده آلی خاک و همچنین نسبت هیومیک به فلویک اسید می‌باشد؛ بدین ترتیب میزان ماده‌ی آلی خاک و چگونگی توزیع آن می‌تواند بر روی ویژگی‌های بازتاب-سنجی از سطح خاک تاثیرگذار باشد (۶).

نتایج مربوط به آزمون مقایسه‌ی میانگین برای شاخص‌های رنگ خاک سطحی در دو عرصه‌ی فرسایشی و رسوبی مشتمل بر ولیو (خشک و مرطوب) و کروما (خشک و مرطوب) در جدول ۲ آورده شده است. همانگونه که نتایج مندرج در جدول ۲ نشان می‌دهد در بین شاخص‌های رنگ خاک ارزیابی شده، پارامتر ولیوی خشک در سطح ۱ درصد معنی‌دار می‌باشد. این سطح از معنی‌داری به خوبی نشان می‌دهد که شاخص ولیو در حالت خشک می‌تواند به عنوان یک پارامتر موثر جهت شناسایی و تفکیک سطوح فرسایشی و رسوبی در منطقه‌ی مطالعاتی مورد استفاده قرار بگیرد (۲ و ۱۸). شاخص‌های رنگ خاک مشتمل بر ولیو در حالت مرطوب، کروما در حالت خشک و مرطوب نمی‌توانند به عنوان شاخص‌های تفکیک سطوح مورد استفاده قرار بگیرند زیرا فاقد اختلاف معنی‌دار هستند (جدول ۲).

مقایسه آماری شاخص‌های کمی‌سازی شده‌ی رنگ خاک سطحی به منظور تفکیک سطوح فرسایشی و رسوبی؛ ارائه گردیده است (جدول ۳). همانگونه که نتایج مربوط به شاخص‌های آماری محاسبه شده نشان می‌دهد بین مقادیر آماره‌ها برای RGBهای قرمز، سبز و آبی در حالت خشک برای سطوح فرسایشی و رسوبی اختلاف وجود دارد که این اختلافات برای حالت مرطوب نیز مشهود است. با توجه به

شکل ۳ نشان دهنده میانگین بازتاب‌های زیر اتمسفری
 ثبت شده برای نمونه‌های خاک دست نخورده خشک
 برداشت شده از سطوح فرسایش و رسوبی منطقه‌ی
 مطالعاتی است که به وسیله دستگاه رادیواسپکتروفتومتر
 قرائت شده‌اند. نمودار مذکور (شکل ۳) نشان دهنده‌ی
 میانگین بازتاب‌های ثبت شده برای نمونه‌های برداشت
 شده در سطوح فرسایشی و رسوبی است که در محور
 Xها طول موج بر حسب نانومتر و در محور Yها بازتاب
 نمایش داده شده است.

جدول (۱) مقایسه آماری شاخص‌های ولیو و کروما رنگ خاک سطحی (۰-۲۰ سانتیمتر) در حالت خشک و مرطوب برای تفکیک سطوح فرسایشی و رسوبی

Table (1) Statistical comparisons of Value and Chroma indices (0-20 cm) at dry and moist conditions for separation of erosional and depositional surfaces

میانگین خطای استاندارد Mean standard error	انحراف استاندارد Standard dev.	میانگین Average	تعداد Number	فرایند سطح خاک Soil process	شاخص رنگ خاک Soil color index
0.38	1.34	5.17	12	رسوب Deposition	ولیو (مرطوب) Value (Moist)
0.27	1.03	5.14	14	فرسایش Erosion	
0.41	1.42	4.75	12	رسوب Deposition	ولیو (خشک) Value (Dry)
0.14	0.53	5.86	14	فرسایش Erosion	
0.14	0.49	3.67	12	رسوب Deposition	کروما (مرطوب) Chroma (Moist)
0.09	0.36	3.86	14	فرسایش Erosion	
0.19	0.67	5.08	12	رسوب Deposition	کروما (خشک) Chroma (Dry)
0.16	0.62	4.93	14	فرسایش Erosion	

جدول (۲) نتایج آزمون مقایسه‌ی میانگین برای شاخص‌های رنگ خاک سطحی (۰-۲۰ سانتیمتر)

Table (2) Results of Mean Comparison Test for soil color indices (0-20 cm)

کروما خشک Chroma (Dry)	کروما مرطوب Chroma (Moist)	ولیو خشک Value (Dry)	ولیو مرطوب Value (Moist)	پارامتر Parameter
0.54 ^{ns}	0.27 ^{ns}	0.01 ^{**}	0.96 ^{ns}	معنی‌داری / Sig.

ns: عدم معنی‌داری، *: معنی‌داری سطح ۵ درصد، **: معنی‌داری سطح ۱ درصد

ns, * and ** are non-significant, significant $P \leq 0.05$ and $P \leq 0.01$, respectively

جدول (۳) مقایسه آماری شاخص‌های کمی شده رنگ خاک سطحی (۰-۲۰ سانتیمتر) برای تفکیک سطوح فرسایشی و رسوبی
Table (3) Statistical comparisons of quantified soil color indices (0-20 cm) for separation of erosional and depositional surfaces

میانگین خطای استاندارد Mean standard error	انحراف استاندارد Standard dev.	میانگین Average	تعداد Number	فرایند سطح خاک Soil process	شاخص رنگ خاک Soil color index
10.3	35.8	146.2	12	رسوب Deposition	قرمز (خشک) Red (Dry)
3.6	13.6	174.5	14	فرسایش Erosion	
10.5	36.4	108.4	12	رسوب Deposition	سبز (خشک) Green (Dry)
3.8	14.2	136.8	14	فرسایش Erosion	
10.5	36.3	64.8	12	رسوب Deposition	آبی (خشک) Blue (Dry)
4.6	17.4	91.7	14	فرسایش Erosion	
10.0	34.8	151.1	12	رسوب Deposition	قرمز (مرطوب) Red (Moist)
6.6	24.9	156.8	14	فرسایش Erosion	
9.7	33.7	121.0	12	رسوب Deposition	سبز (مرطوب) Green (Moist)
6.5	24.4	128.1	14	فرسایش Erosion	
8.9	30.7	90.3	12	رسوب Deposition	آبی (مرطوب) Blue (Moist)
5.3	19.7	91.0	14	فرسایش Erosion	

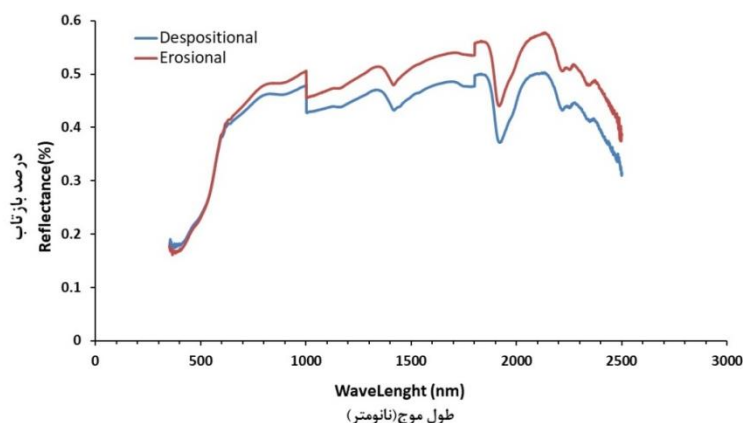
جدول (۴) نتایج آزمون مقایسه میانگین برای شاخص‌های کمی شده (RGB) رنگ خاک سطحی (۰-۲۰ سانتیمتر)

Table (4) Results of Mean Comparison Test for quantified soil color (RGB) indices (0-20 cm)

آبی (مرطوب) Blue (Moist)	سبز (مرطوب) Green (Moist)	قرمز (مرطوب) Red (Moist)	آبی (خشک) Blue (Dry)	سبز (خشک) Green (Dry)	قرمز (خشک) Red (Dry)	پارامتر Parameter
0.947 ^{ns}	0.538 ^{ns}	0.628 ^{ns}	0.021*	0.012*	0.011*	معنی‌داری / Sig.

ns: عدم معنی‌داری، *: معنی‌داری سطح ۵ درصد، **: معنی‌داری سطح ۱ درصد

ns, * and ** are non-significant, significant $P \leq 0.05$ and $P \leq 0.01$, respectively



شکل (۳) نمودار میانگین بازتاب‌های زیر اتمسفری سطوح فرسایشی و رسوبی منطقه مطالعاتی

Figure (3) The diagram of the average subatmospheric reflections of the erosional and depositional surfaces of the study area

این شاخص‌ها پیشنهاد می‌شود (در سطح معنی‌داری ۵ درصد).

آماره‌های مربوط به ارزیابی قابلیت باندهای ماهواره لندست ۸ در تفکیک سطوح فرسایشی و رسوبی ارائه شده است (جدول ۷). همانگونه که نتایج مندرج در جدول ۷ نشان می‌دهد در برخی از باندها اختلاف میانگین بین سطوح فرسایشی و رسوبی ناچیز است که سبب شده قابلیت باندها در تفکیک سطوح متفاوت باشد. به بیان بهتر باندهای حرارتی از قابلیت تفکیک سطوح فرسایشی و رسوبی برخوردار نمی‌باشند که نتایج مربوط به بررسی معنی‌داری آن در جدول ۸ آورده شده است.

همچنین در قالب آزمون مقایسه میانگین معنی‌داری باندهای ماهواره لندست در امکان تفکیک سطوح فرسایشی و رسوبی ارزیابی شد که نتایج آن در جدول ۸ آورده شده است. همانگونه که نتایج مندرج در جدول ۸ نشان می‌دهد باندهای ۲، ۳ و ۴ در سطح معنی‌داری ۱ درصد در تفکیک سطوح فرسایش یافته و رسوبی معنی‌دار شده‌اند که تایید کننده استفاده از این باندها جهت تفکیک سطوح فرسایشی و رسوبی در منطقه‌ی مطالعاتی است. باند ۵ ماهواره‌ی لندست نیز در سطح ۵ درصد جهت تفکیک سطوح فرسایشی و رسوبی معنی‌دار شده است. ولیکن باندهای ۱۰ و ۱۱ که به عنوان باندهای حرارتی (ترمال) هستند معنی‌دار نشده‌اند که مفهوم آن عدم امکان استفاده از باندهای ۱۰ و ۱۱ (باندهای حرارتی) جهت تفکیک سطوح فرسایشی و رسوبی می‌باشد.

همبستگی پیرسون بین باندهای ماهواره لندست ۸ با شاخص‌های کمی شده‌ی رنگ خاک در دو حالت خشک (dfr) و مرطوب (wt) ارائه شده است (جدول ۹). بر اساس نتایج مندرج در جدول ۹ و همبستگی‌های ارائه شده، شاخص کمی رنگ خاک سطحی قرمز در حالت خشک (Rdr20) با باندهای ۳ و ۵ ماهواره لندست ۸ دارای همبستگی مثبت معنی‌دار در سطح ۱ درصد می‌باشد. شاخص کمی رنگ خاک سطحی سبز در حالت خشک

نمودار میانگین بازتاب‌های زیراتمسفری سطوح فرسایشی با رنگ قرمز و سطوح رسوبی با رنگ آبی بر روی نمودار نمایان هستند. مقدار انحراف معیار نمونه‌های رسوبی برابر ۰/۱۴۷ و این مقدار برای نمونه‌های فرسایشی ۰/۰۸۸ می‌باشد. با بررسی نمودار مشخص است بجز در بخش ابتدایی بازتاب‌های طول موج آبی تقریباً در تمام بخش طول موج-های مرئی در نمونه‌های خشک تفاوت چندانی میان دو سطح رسوبی و فرسایشی نیست لیکن در بخش‌های مادون قرمز تفاوت‌های قابل شناسایی مشهود است. به طور کل در تمام بخش‌های طول موج بزرگتر از طول موج مرئی سطوح فرسایشی بازتاب بیشتری از خود نشان می‌دهند. کمتر بودن بازتاب‌های سطوح رسوبی خصوصاً در طول موج‌های ۱۴۰۰ و ۱۹۰۰ و ۲۱۰۰ نانومتر به علت وجود مقادیر بیشتر وجود باندهای هیدروکسیل (OH) در خاک سطحی است که دلالت بر بافت سنگین‌تر و تجمع بیشتر ماده آلی دارد. آماره‌های مربوط به شاخص‌های مستخرج از باندهای رادیواسپکتروفومتري برای تفکیک سطوح فرسایشی و رسوبی ارائه شده است (جدول ۵). به منظور ارزیابی دقیقتر این باندها در تفکیک سطوح خاک درگیر فرایندهای فرسایش و رسوب از یکسری شاخص‌ها که بر اساس باندهای موجود محاسبه شدند، استفاده گردید. در این حالت و بر اساس شاخص‌های مستخرج، اختلافات معنی‌دار شد. بدین ترتیب این شاخص‌ها امکان ارزیابی و تفکیک سطوح فرسایش یافته و رسوبی را فراهم می‌نماید. نتایج مربوط به ارزیابی این شاخص‌ها در جدول ۵ ارائه شده است.

نتایج آزمون مقایسه میانگین شاخص‌های ترکیبی مستخرج در جدول ۶ نشان داد که برخی از این شاخص‌ها در سطح ۵ درصد برای تفکیک سطوح فرسایشی و رسوبی معنی‌دار هستند و در نتیجه امکان استفاده از این شاخص‌ها برای جداسازی سطوح فرسایشی و رسوبی وجود دارد. بدین ترتیب و بر اساس نتایج مندرج در جدول ۶ امکان استفاده از شاخص‌های EDI₁ تا EDI₅ جهت تفکیک سطوح فرسایش یافته و رسوبی در منطقه‌ی مطالعاتی وجود دارد و استفاده از

(Gdr20) با باند ۳ ماهواره لندست ۸ در سطح ۵ درصد و باند ۵ ماهواره لندست در سطح ۱ درصد؛ همچنین شاخص رنگ آبی در حالت خشک (Bdr20) فقط با باند ۵ ماهواره لندست در سطح ۵ درصد دارای همبستگی مثبت معنی‌دار هستند. با توجه به نتایج مندرج در جدول ۹ به نظر می‌رسد ارتباط قوی و کارآمدی میان داده‌های ماهواره لندست ۸ و مقدار برداشت زمینی رنگ خاک وجود ندارد. علت این اختلاف را شاید بتوان در تغییرپذیری زیاد منطقه بواسطه‌ی غلبه

منظره خندقی متراکم و مقیاس کم تفکیک‌پذیری مکانی ماهواره لندست ۸ برای چنین منظوری دانست. اعتبارسنجی سایه نما (خوشه بندی) داده‌های کمی شده رنگ خاک سطحی (۲۰-۰ سانتیمتر) برای تفکیک سطوح فرسایشی و رسوبی نشان داده شده است (شکل ۴). خوشه-بندی انجام شده به خوبی نشان می‌دهد که با امکان تفکیک سطوح فرسایشی و رسوبی با بهره‌گیری از خصوصیات بازتابی بین سطوح وجود دارد.

جدول (۵) آماره‌های مربوط به شاخص‌های مستخرج از باندهای رادیواسپکتروفتومتری برای سطوح فرسایشی و رسوبی
Table (5) The statistics of indices originate from radio spectrophotometer bands for erosional and depositional surfaces

شاخص Index	فرایند Process	تعداد Number	میانگین Mean	انحراف معیار Standard Dev.	میانگین خطا Mean Error
EDI ₁ = NIR/R	رسوب Deposition	7	1.31	0.15	0.06
	فرسایش Erosion	7	1.45	0.04	0.01
EDI ₂ =(wb4-wb3)/(wb4+wb3)	رسوب Deposition	7	0.13	0.06	0.02
	فرسایش Erosion	7	0.18	0.01	0.00
EDI ₃ =(b4-b3)/(b4+b3)	رسوب Deposition	7	0.11	0.06	0.02
	فرسایش Erosion	7	0.16	0.01	0.00
EDI ₄ =NIR * R	رسوب Deposition	7	0.13	0.07	0.02
	فرسایش Erosion	7	0.14	0.02	0.00
EDI ₅ =Red/Green	رسوب Deposition	7	1.30	0.18	0.06
	فرسایش Erosion	7	1.45	0.02	0.00

جدول (۶) نتایج آزمون مقایسه‌ی میانگین شاخص‌های مستخرج از باندهای رادیواسپکتروفتومتری
Table (6) Results of Mean Comparison Test of originate from radio spectrophotometer bands

شاخص (Index)	EDI ₅	EDI ₄	EDI ₃	EDI ₂	EDI ₁
معنی‌داری	0.04*	0.84 ^{ns}	0.05*	0.05*	0.04*

ns: عدم معنی‌داری، *: معنی‌داری سطح ۵ درصد، **: معنی‌داری سطح ۱ درصد

ns, * and ** are non-significant, significant $P \leq 0.05$ and $P \leq 0.01$, respectively

جدول (۷) آماره‌های مربوط به باندهای ماهواره لندست ۸ (شامل باندهای ۲، ۳، ۴، ۵، ۱۰ و ۱۱)
Table (7) The statistical parameters of Landsat 8 bands (Bands 2, 3, 4, 5, 10 and 11)

میانگین خطای استاندارد Mean of standard error	انحراف معیار SD	میانگین Mean	تعداد Number	فرایند Process	باندهای لندست ۸ Bands of Landsat8
218.7	757.7	13794.6	12	رسوب Deposition	باند ۲ Band 2
58.6	219.3	14709.1	14	فرسایش Erosion	
371.8	1288.2	15132.2	12	رسوب Deposition	باند ۳ Band 3
100.6	376.6	16621.8	14	فرسایش Erosion	
637.2	2207.5	17900.5	12	رسوب Deposition	باند ۴ Band 4
157.1	587.7	20317.5	14	فرسایش Erosion	
754.9	2615.3	21993.1	12	رسوب Deposition	باند ۵ Band 5
217.9	815.5	24009.3	14	فرسایش Erosion	
279.6	968.6	39046.5	12	رسوب Deposition	باند ۱۰ Band 10
64.6	241.8	39327.1	14	فرسایش Erosion	
199.3	690.5	34373.7	12	رسوب Deposition	باند ۱۱ Band 11
53.7	201.1	34562.8	14	فرسایش Erosion	

جدول (۸) نتایج آزمون مقایسه میانگین باندهای ماهواره لندست ۸ در تفکیک سطوح فرسایشی و رسوبی
Table (8) Results of Mean Comparison Test of Landsat 8 for separation of erosional and depositional surfaces

Band 11	Band10	Band5	Band 4	Band 3	Band 2	Bands
باند ۱۱	باند ۱۰	باند ۵	باند ۴	باند ۳	باند ۲	باند ماهواره
0.337 ^{ns}	0.304 ^{ns}	0.011 ^{**}	0.001 ^{**}	0.000 ^{**}	0.000 ^{**}	Sig./معنی‌داری

ns: عدم معنی‌داری، * : معنی‌داری سطح ۵ درصد، ** : معنی‌داری سطح ۱ درصد
 ns, * and ** are non-significant, significant $P \leq 0.05$ and $P \leq 0.01$, respectively

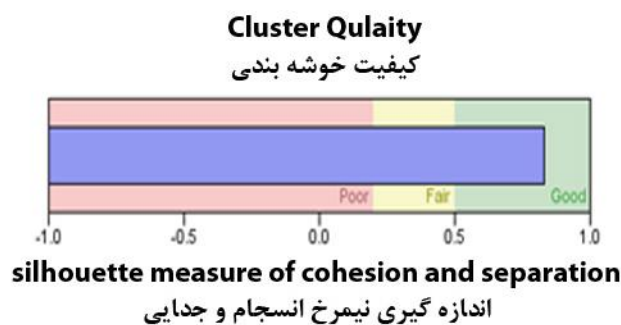
جدول (۹) همبستگی پیرسون باندهای ماهواره لندست ۸ با شاخص‌های کمی شده‌ی رنگ خاک سطحی
Table (9) Pearson s correlation of Landsat 8 bands with quantified soil surface color indices

Bwt20	Gwt20	Rwt20	Bdr20	Gdr20	Rdr20	Band 11	Band 10	Band 5	Band 4	Band 3	Band 2
											۱
										۱	۰.۹۹۵**
									۱	۰.۹۹۴**	۰.۹۸۶**
								۱	۰.۷۹۵**	۰.۸۰۱**	۰.۷۴۵**
							۱	۰.۳۹۹*	۰.۶۸۹**	۰.۶۶۰**	۰.۶۶۴**
						۱	۰.۹۹۴**	۰.۳۲۲	۰.۶۴۲**	۰.۶۱۲**	۰.۶۲۲**
					۱	۰.۲۵۱	۰.۲۵۷	۰.۵۲۹**	۰.۳۷۶	۰.۴۰۱**	۰.۳۷۶
				۱	۰.۹۸۵**	۰.۲۲۸	۰.۲۳۴	۰.۵۲۶**	۰.۳۷۰	۰.۳۹۲*	۰.۳۶۷
			۱	۰.۹۵۷**	۰.۹۵۲**	۰.۲۴۲	۰.۲۳۳	۰.۴۳۵*	۰.۲۳۱	۰.۳۵۹	۰.۳۴۱
		۱	۰.۲۷۵	۰.۳۸۷	۰.۴۱۵*	۰.۱۲۳	۰.۱۵۷	۰.۳۶۶	۰.۲۰۵	۰.۲۴۳	۰.۲۳۰
	۱	۰.۹۸۶**	۰.۲۹۷	۰.۴۲۳*	۰.۴۵۱*	۰.۱۲۹	۰.۱۶۰	۰.۳۵۱	۰.۱۹۱	۰.۲۲۴	۰.۲۰۹
۱	۰.۹۷۵**	۰.۹۷۶**	۰.۳۰۶	۰.۳۹۷*	۰.۴۲۶*	۰.۱۵۴	۰.۱۷۴	۰.۲۸۶	۰.۱۵۶	۰.۱۹۲	۰.۱۷۹

Rdr: Red dry, Gdr: Green dry, Bdr: Blue dry, Rwt: Red wet, Gwt: Green wet, Bwt: Blue wet

*: معنی‌داری سطح ۵ درصد، **: معنی‌داری سطح ۱ درصد

* and ** are significant $P \leq 0.05$ and $P \leq 0.01$, respectively



شکل (۴) اعتبارسنجی سایه نما (خوشه بندی) داده‌های کمی شده رنگ خاک سطحی برای تفکیک سطوح فرسایش و رسوب
Figure (4) Shadow validation (clustering) of quantified soil color (RGB) indices (0-20 cm) for separation of erosional and depositional surfaces

داده‌های کمی شده رنگ خاک سطحی وجود داشته باشد. با بررسی‌های آماری این فرضیه تایید گردید و به عنوان موید رابطه‌ی آماره‌های کمی شده با مقدار رس خاک آورده شده است (رابطه ۱).

با توجه به نتایج موفق امکان خوشه بندی داده‌ها برای تفکیک سطوح فرسایشی و رسوبی و با توجه به اختلاف ویژگی‌های خاک‌های رسوبی و فرسایشی به نظر می‌رسد امکان مدل‌سازی ویژگی‌های خاک سطحی با استفاده از

$$\text{Clay (\%)} = 0.487 \text{ Rdr20} - 0.563 \text{ Gdr20} + 0.034 \text{ Bdr20} \quad (R_{sq}: 0.822, \text{Sig}: 0.000) \quad (\text{رابطه } ۱)$$

استفاده شوند. با توجه به تفاوت در ویژگی‌های رنگی سطوح فرسایشی و رسوبی در نتیجه امکان تفکیک آنها بر اساس ویژگی‌های بازتاب‌سنجی وجود دارد و می‌توان با استفاده از شاخص‌های رنگی اقدام به تفکیک سطوح فرسایش یافته و رسوبی نمود. نتایج نشان داد که امکان مدلسازی ویژگی‌های خاک سطحی با استفاده از داده‌های کمی شده رنگ خاک سطحی وجود داشته و با بررسی‌های آماری این فرضیه تایید گردید. تغییرات بازتاب‌های کمی شده آبی، قرمز و سبز از رنگ خاک به روش مانسل نشان دهنده‌ی روند متفاوت میان عرصه‌های فرسایشی و رسوبی است؛ که بررسی دلایل روند متفاوت و ارتباط آن با نوع و مقدار ماده آلی در مطالعات آتی پیشنهاد می‌گردد.

سپاس‌گزاری

بدین وسیله از حوزه معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز به جهت تامین هزینه مورد نیاز این تحقیق که قسمتی از قرارداد پژوهانه به شماره SCU.AS1402.364 می‌باشد، تشکر و قدردانی می‌گردد.

در ارتباط با تفکیک سطوح فرسایشی یافته و رسوبی با بهره‌گیری از ویژگی‌های بازتاب‌سنجی معادله‌ی مستخرج برای پارامتر رس تایید کننده‌ی وجود اختلاف بین سطوح فرسایشی و رسوبی و در نتیجه امکان تفکیک آنها می‌باشد. در معادله‌ی استخراج شده، درصد رس موجود در سطوح فرسایشی و رسوبی به عنوان تابعی از شاخص کمی شده رنگ خاک به صورت قرمز در حالت خشک (Rdr20)، شاخص کمی شده رنگ خاک به صورت سبز در حالت خشک (Gdr20) و شاخص کمی شده رنگ خاک به صورت آبی در حالت خشک (Bdr20) می‌باشد.

نتیجه‌گیری

در مجموع نتایج حاصله از پژوهش حاضر حاکی از امکان بهره‌گیری از رنگ خاک و شاخص‌های کمی شده‌ی رنگ خاک سطحی (در قالب RGB ۰ تا ۲۰ سانتیمتری از سطح خاک) جهت تفکیک سطوح فرسایشی و رسوبی می‌باشد ولیکن نتایج موید تاثیر عامل رطوبتی بر روی قابلیت استفاده از شاخص‌ها است. نتایج نشان داد که شاخص‌های RGB کمی شده‌ی خاک سطحی (۰-۲۰ سانتیمتر) در حالت خشک قادر به تفکیک سطوح فرسایشی و رسوبی هستند در حالیکه در شرایط مرطوب امکان استفاده از شاخص‌های مذکور جهت تفکیک سطوح وجود ندارد. همچنین نمودار میانگین بازتاب‌های زیراتمسفری سطوح فرسایشی و رسوبی نشان می‌دهد که بازتاب‌های سطوح رسوبی خصوصاً در طول موج‌های ۱۴۰۰، ۱۹۰۰ و ۲۱۰۰ نانومتر کمتر از سطوح فرسایشی است که علت آن وجود باندهای هیدروکسیل (OH) در خاک سطحی است. نتایج مقایسه‌ی میانگین باندهای ماهواره لندست ۸ نشان می‌دهد باندهای ۲، ۳ و ۴ در سطح ۱ درصد قادر به تفکیک سطوح فرسایشی و رسوبی هستند ولیکن باندهای حرارتی نمی‌توانند جهت تفکیک سطوح

References

1. Campbell, J.B., and R.H. Wynne. 2011. Introduction to remote sensing. 5th edition, The Guilford Press, New York. [ISBN: 160918176X]
2. Centore, P. 2013. Conversion between the Munsell and sRGB color systems. Qualia Communications Timo Teichert. [Technical Report]
3. Comprehensive studies of Shahid Modarres Basin Parcel 15. 1990. General Directorate of Natural Resources of Khuzestan Province. Technical Report. [In Persian]
4. Dehni, A., and M. Louisa. 2012. Remote sensing techniques for salt affected soil mapping: application to the Oran region of Algeria. *Procedia Engineering* 33: 188-198.[<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.01.1193>]
5. Khan-Yaghma, M., Nabizadeh, A., Jalil-Nejad, N., and Khan-Yaghma, S. 2013. Improving soil erosion and sedimentation management using soil geographic information system (GIS) and remote sensing (RS). Second National Conference on Modern Management Sciences. Gorgan. [In Persian]
6. Kim, K. I., and Hong, S. D. 2002. Relationship between soil color characteristics and measurement values by colorimeter. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 35(2), 77-86.
7. Kozmenko A. S. 1948. Soil erosion and control. *Agroforestry (Moscow: Selkhozgiz)* 328.
8. Liu, L., Zhang, K.L., Fu, S.H., Liu, B.Y., Huang, M.B., Zhang, Z.D., Zhang, F.B., and Yu, Y. 2019. Rapid magnetic susceptibility measurement for obtaining superficial soil layer thickness and its erosion monitoring implications. *Geoderma*, 351 (2019), pp. 163-173.[<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.05.030>]
9. Makki, S., Rezaee, P., and Peyrowan, H.R. 2016. Assessing the effective factors on water erosion in Marly deposits of Mishan and Aghajary formations in the west of Bandar Abbas. *E.E.R.6 (1)* :30-51. [In Persian]
10. Musasa, T., Timothy, D., and Marambanyika, T. 2024. Landsat satellite programme potential for soil erosion assessment and monitoring in arid environments: A review of applications and challenges. *International Soil and Water Conservation Research*. Volume 12, Issue 2, June 2024, Pages 267-278.[<https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2023.10.003>]
11. Owens, P.R., and Rutledge, E.M. 2005. Morphology. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences *Encyclopedia of Soils in the Environment 2005*, Pages 511-520.[ISBN: 9780124095489]
12. Phinzi, K., Ngetar, N.S., and Ebhuoma, O. 2021. Soil erosion risk assessment in the Umzintlava catchment (T32E), Eastern Cape, South Africa, using RUSLE and random forest algorithm. *South African Geographical Journal*, 103 (2) (2021), pp. 139-162.[<https://doi.org/10.1080/03736245.2020.1716838>]
13. Rezaei Arshad, R., Mahmoudabadi, M., Farpour, M. H., and Fekri, M. 2018. The effect of wind-induced rain on inter-furrow erosion using a simultaneous wind, rain and runoff simulator. *Agricultural Engineering*, 41(3), 55-72.[doi: 10.22055/agen.2019.22959.1365]
14. Sakti, Anjar Dimara, Sembiring, E., Rohayani, P., Fauzan, K.N., Anggraini, T.S., Santoso, C., Patricia, V.A., Ihsan, K.T.N., Ramadan, A.H., and Arjasakusuma, S. 2023. Identification of illegally dumped plastic waste in a highly polluted river in Indonesia using Sentinel-2 satellite imagery. *Sci Rep* 13, 5039.[<https://doi.org/10.1038/s41598-023-32087-5>]
15. Sepuru, T.K., and Dube, T. 2018. Understanding the spatial distribution of eroded areas in the former rural homelands of South Africa: Comparative evidence from two new non- 59 commercial multispectral sensors. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 69 (2018), pp. 119-132.[DOI:[10.1016/j.jag.2018.02.020](https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.02.020)]
16. Shirjandi, S, Khademalrasoul, A., Moradi Sabzkouhi, A. and Amerikhah, H. 2019. Optimal location of gabion dams using hierarchical analysis and non-dominated sorting genetic algorithm (case study of Imamzadeh Baghmalek basin). *Agricultural Engineering*, 43(3), 315-330. [doi: 10.22055/agen.2020.31651.1522]

17. Surmach, G. P. 1955. Classification of washed away soils and its application in drawing up largescale soil-erosion maps. *Eurasian Soil Science* **5** 66-68.
18. Tubalov, A.A. 2022. Use of digital characteristics of soil color for assessing the degree of soil erosion. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 1045 (2022) 012076. [DOI 10.1088/1755-1315/1045/1/012076]
19. Zaslavsky, M .N. 1962. Some issues of classification and mapping of eroded soils. Issues of erosion and increasing the productivity of slope lands in Moldova 2 79-90.
20. Zhongdian, Z., Liang L., Mingbin H., Feiyan C., Jiqiang N., and Minghua L. 2022. Feasibility of soil erosion measurement using time domain Reflectometry. *Catena*. Vol. 218. 106571.[<https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106571>]