

## **Feasibility of Estimating the Percentage of Desert Pavement Using Tasseled Cap Transformation Indices Extracted from Landsat 8 Images**

F. Fotouhi Firoozabad<sup>1\*</sup>, A. Jebali<sup>2</sup>

1. Assistant Professor of Department of Nature Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Ardakan University, Ardakan, Iran.
  2. PhD of Combating Desertification, General Directorate of Natural Resources and Watershed Management of Yazd Province, Yazd, Iran
- \* Corresponding Author: f.fotouhi@ardakan.ac.ir

Received date: 04/06/2024

Accepted date: 17/08/2024

 [10.22034/JDMAL.2024.2031223.1467](https://doi.org/10.22034/JDMAL.2024.2031223.1467)

### **Extended Abstract**

#### **Introduction**

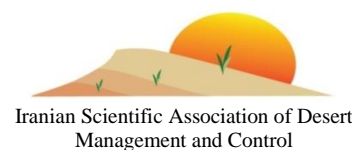
Desert pavements, which are one of the drylands landforms, play a crucial role in the processes of these ecosystems. Desert surfaces that are covered in stones, rubble, and sand that can't be carried by wind are known as desert pavements. The identification of areas that have desert pavement and the estimated percentage of pavement coverage, as well as the sensitivity of the land unit to wind erosion, can lead to the identification of critical centers of wind erosion. Creating a detailed surface map is the initial step towards quantitative analysis of this role. Remote sensing technology is an effective tool for identifying and classifying landforms because it produces satellite images with spectral and spatial resolution, and it can also be a valuable tool for classifying desert pavements. Satellite images have been used in research to reveal the desert pavement. In these studies, the land cover classification method has been used to distinguish between the desert pavement surface and other types of land cover. Satellite image classification methods can adequately distinguish between desert pavement surfaces and other land covers. Knowing the percentage of paved stones in the region is of special importance in the study of natural resources, particularly in desert zones. Remote sensing techniques can be used to separate desert pavements, and their integration with field observations and statistical methods can help improve the estimation of the percentage of desert pavements, especially in vast, inaccessible and remote areas. This study is aimed at defining a model to estimate the percentage of desert pavement by employing statistical methods and satellite images to explore the possibility of estimating the amount of desert pavement coverage. The correlation between Tasseled Cap Transformation (TCT) bands and ground sampling points of the pavement percentage was utilized for this purpose. Finally, a map of the amount of desert pavement coverage in the study area was prepared.

#### **Material and Methods**

The study area falls within a 20-kilometer distance of Yazd city, situated at north latitude 3526361 to 3551713 and east longitude 215108 to 238866. A long strip runs from Khezrabad mountain

## Desert Management

www.isadmc.ir



upstream to Ashkezar and Zarch cities downstream, and it is composed of coarse, medium, and fine glacial plains. The study area's boundary was determined using topographic maps, aerial photos, Landsat ETM images, and Google Earth images. Geological maps, lithology units, and geomorphological facies were prepared based on the UTM coordinate system of the study area. The percentage of desert pavement coverage was measured on 27/12/2023 using the aforementioned maps and stratified-random sampling method. The OLI sensor image of the Landsat satellite was obtained simultaneously with the field sampling date. The initial process involved performing pre-processing operations on the satellite image, including radiometric and geometric corrections, to prepare it for processing operations. In the image processing stage, Tasseled Cap Transformation (TCT) was used and images of brightness, greenness, humidity, fourth, fifth and sixth bands were extracted based on standard coefficients for Landsat 8 satellite. After that, the TCT bands' numerical values, which were related to the locations of the sampled points on the ground, were retrieved. Pearson's correlation coefficient was used to calculate the statistical correlation between ground pavement coverage and TCT bands. Using a factor analysis method, the suitable variables were determined to prepare the desert pavement percentage estimation model. The desert pavement model was created using a stepwise multiple regression method after determining the appropriate variables. In this method, the values of one variable (dependent variable Y) were estimated from the values of two or more variables. (independent variables X1, X2, ..., XP).

### Discussion and Conclusion

To determine the most suitable model for estimating the percentage of desert pavement, factor analysis was used. Tasseled cap transformation functions were used to present the characteristics of soil brightness, greenness, and moisture in six distinct maps. The indicated indices are a single-band index that ranges from zero to 1. The problem is more easily distinguished when the values are close to zero. Statistical correlation between the percentage of pavement and six components of TCT by Pearson's method, indicate a significant correlation at 1% between the components of Brightness, Greenness, Tasseled Cap Transformation 5, and the percentage of pavement coverage. The highest correlation coefficients between the percentage of pavement coverage and the Brightness components and TCT (respectively 0.64 and 0.62), and the lowest one related to the humidity component, were estimated at 0.02. The principal component analysis algorithm in the factor analysis method detected the selected indicators of Greenness and Brightness by analyzing the input data output. Greenness and brightness variables were considered independent variables. Their relationship with desert pavement was investigated as a dependent variable using the stepwise regression method. The selected model shows the relationship between the amount of desert pavement and the Greenness and Brightness variables, with a correlation coefficient of 0.61 and a standard error of 23.2. The obtained model can predict approximately 61% of surface pavement changes in the study area. The connection between the bands obtained from Tasseled Cap Transformation 5 and the ground collection points of pavement percentage was employed for this purpose. At last, a map of the desert pavement coverage in the study area was created. The research's findings indicated that a suitable model for preparing a map of desert pavement percentage can be created by combining ground observations with statistical methods and satellite images.

**Keywords:** Tasseled Cap Transformation; Factor Analysis; Desert pavement; Landsat8



## امکان سنجی برآورد درصد سنگفرش بیابان با استفاده از شاخص‌های تبدیل تسلدکپ مستخرج از تصاویر لندست ۸

فرزانه فتوحی فیروزآباد<sup>۱\*</sup>، عاطفه جبالی<sup>۲</sup>

۱. استادیار، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران
  ۲. دکتری تخصصی بیابان‌زدایی، اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان یزد، یزد، ایران.
- \* نویسنده مسئول: [f.fotouhi@ardakan.ac.ir](mailto:f.fotouhi@ardakan.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۲۷

 [10.22034/JDMAL.2024.2031223.1467](https://doi.org/10.22034/JDMAL.2024.2031223.1467)

### چکیده

سنگفرش بیابان به‌عنوان یکی از ناهموارهای مناطق بیابانی می‌باشد که از جنبه‌های مختلفی همچون توزیع مکانی شار گرمایی سطح زمین و مقاومت خاک سطحی در برابر فرسایش بادی اهمیت دارد. در پژوهش حاضر، درصد پوشش سنگی با روش پلات‌گذاری میدانی اندازه‌گیری شد. سپس تصویر سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ هم‌زمان با تاریخ نمونه‌برداری، دریافت شد. در مرحله پردازش تصاویر با بهره‌گیری از باندهای روشنایی، سبزیگی، رطوبت، چهارم، پنجم و ششم بر اساس ضرایب استاندارد تبدیل تسلدکپ (TCT) انجام شد. همبستگی آماری بین مقدار درصد پوشش سنگفرش زمینی و باندهای TCT با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون محاسبه شد. برای تعیین متغیرهای مناسب برای تهیه مدل برآورد مقدار کمی سنگفرش از روش تحلیل عاملی استفاده شد و با ارتباط بین باندهای حاصل از تبدیل تسلدکپ و نقاط برداشت زمینی نقشه مقدار پوشش سنگفرش بیابان تهیه شد. نتایج همبستگی آماری بین مقادیر درصد سنگفرش و شش مؤلفه TCT به روش پیرسون، همبستگی معنی‌داری در سطح یک درصد بین مؤلفه‌های درخشندگی، سبزیگی، تبدیل تسلدکپ ۵ با درصد پوشش سنگفرش محاسبه شد. به‌طوری‌که بیشترین ضریب همبستگی بین درصد پوشش سنگفرش و مؤلفه‌های درخشندگی و تبدیل تسلدکپ ۵ به ترتیب ۰/۶۴ و ۰/۶۲ و کمترین آن مربوط به مؤلفه رطوبت به مقدار ۰/۰۲ برآورد شد. با توجه به خوارزمیک (الگوریتم) تجزیه مؤلفه اصلی، خروجی داده‌های ورودی، شاخص‌های سبزیگی و روشنایی تشخیص داده شد. سپس، با استفاده از روش رگرسیون کام‌به‌گام ارتباط آنها با سنگفرش بیابان بررسی شد. مدل انتخابی، رابطه بین مقدار سنگفرش بیابان با متغیرهای سبزیگی و روشنایی را با ضریب همبستگی ۰/۶۱ و خطای استاندارد ۲۳/۲ نشان می‌دهد. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که امکان برآورد درصد سنگفرش بیابان با استفاده از شاخص‌های تبدیل تسلدکپ مستخرج از تصاویر لندست ۸ وجود دارد.

واژگان کلیدی: تحلیل عاملی؛ درصد سنگفرش؛ مدل‌سازی؛ رگرسیون؛ لندست ۸



## ■ مقدمه

سنگفرش‌های بیابانی به‌عنوان یکی از ناهمواری‌های مناطق خشک، نقش اساسی در فرآیندهای سطحی دارند. سنگفرش بیابانی، ناحیه‌ای موزاییک مانند سنگی به‌نسبت هموار در سطح زمین است که در اثر برداشت مواد ریزدانه‌تر (توسط آب، باد و یخبندان)، به شکل نزدیکی، کنار یکدیگر جای می‌گیرند. به‌عبارت‌دیگر، به سطوح بیابانی که از سنگ، قلوه‌سنگ و ریگ‌ها پوشیده شده باشند که باد قادر به حمل آن‌ها نیست، سنگفرش بیابانی یا رگ می‌گویند. مهمترین کارکرد آنها در بحث فرسایش بادی است؛ و بنابراین با شناسایی مناطق دارای سنگفرش بیابان و برآورد درصد پوشش سنگفرش مذکور می‌توان حساسیت آن واحد اراضی را نسبت به فرسایش بادی و تعیین موقعیت کانون‌های بحرانی فرسایش بادی شناسایی کرد. اولین گام برای تجزیه و تحلیل کمی آنها، تهیه نقشه مکانی دقیق آنها می‌باشد. برای بیان تغییرات فیزیکی سطح سنگفرش بیابانی در مقیاس بزرگ، واحد نقشه  $dm/m$  در نظر گرفته شده است (۱۱). فناوری سنجنش‌ازدور به دلیل تولید تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک طیفی و مکانی، وسیله‌ای کارآمد برای شناسایی و طبقه‌بندی ناهمواری‌هاست (۲، ۱۸) و می‌تواند ابزاری ارزشمند برای شناسایی و طبقه‌بندی سنگفرش‌های بیابانی به‌عنوان یکی از مهمترین ناهمواری‌های مناطق خشک باشد (۳، ۱۴). پژوهش‌های متعددی برای بررسی رخساره‌های مناطق بیابانی و ویژگی‌های آنها از طریق روش‌های سنجنش‌ازدور، انجام شده است. نتایج حاصل از این تحقیقات حاکی از دقت خوب و روبه‌پیشرفت داده‌های ماهواره‌ای در شناسایی و طبقه‌بندی رخساره‌های ژئومورفولوژیک مناطق بیابانی است. تاکنون پژوهش‌هایی با هدف آشکارسازی پوشش سنگفرش بیابانی با بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای در داخل (۴، ۲۵) و در خارج از کشور (۲۳) انجام شده است. در این پژوهش‌ها از روش طبقه‌بندی پوشش‌های اراضی برای تفکیک رخساره سنگفرش بیابانی استفاده شده است. در ادامه به چند مورد از این پژوهش‌ها اشاره می‌شود. کارایی روش‌های طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان و سطوح موازی تصاویر ماهواره‌ای در تهیه نقشه سنگفرش بیابان مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفته است

(۲۵). شاخص کاپای برآورد شده برای دو روش مورد بررسی ماشین بردار پشتیبان  $۸۵/۰۵$  و سطوح موازی  $۲۱/۰۶$  بودند که بر این اساس روش ماشین بردار پشتیبان از دقت بیشتری برخوردار بوده است (۲۵). بررسی ضرایب دقت کلی به‌دست‌آمده نیز حاکی از برتری روش ماشین بردار پشتیبان نسبت به روش سطوح موازی بوده است به‌طوری‌که به‌ترتیب برابر با  $۸۸/۷۸$  و  $۴۱/۲۵$  برآورد گردیدند. با شناسایی و طبقه‌بندی انواع سنگفرش بیابانی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست  $ETM^+$  در منطقه خشک جنوب سمنان نشان داده شد که تصاویر حاصله از سنجنده  $ETM^+$  توانایی قابل‌توجهی در تفکیک طبقات سنگفرش بیابان دارد. همچنین بر اساس شاخص کاپا روش‌های حداکثر احتمال  $۸۶/۸۵$ ، ماشین بردار پشتیبان  $۸۵/۰۵$ ، آرت‌مپ فازی  $۸۱/۴۴$ ، حداقل فاصله از میانگین  $۷۵/۵۴$ ، فاصله ماهالانویی  $۶۸/۸۹$ ، شبکه عصبی  $۵۵/۱۷$ ، نقشه زاویه طیفی  $۵۳/۸۹$ ، واگرایی اطلاعات طیفی  $۵۰/۲۲$  و سطوح موازی  $۴۲/۲۵$  به ترتیب بیشترین توانایی را در تفکیک طیفی طبقات مختلف سنگفرش بیابان منطقه خشک جنوب سمنان دارند. بر پایه روش حداکثر احتمال،  $۵۶/۶۲$ ٪ از منطقه در طبقه سنگفرش با تراکم  $۴۰ - ۲۰$ ٪،  $۲۰/۶۲$ ٪ در طبقه سنگفرش با تراکم  $۴۰ - ۷۰$ ٪ و  $۱۹/۹۲$ ٪ از منطقه در طبقه سنگفرش با تراکم  $۷۰ - ۹۰$ ٪ قرار گرفت (۲۵). قابلیت سنجنش‌ازدور و زمین‌آمار در اندازه‌گیری متغیرهای دانه‌بندی سنگفرش بیابان مورد ارزیابی قرار گرفت. در بررسی تصاویر ماهواره‌ای نتایج نشان دادند که مؤلفه تبدیل تسلدکپ ۵ بیشترین ضریب همبستگی ( $۰/۷۲۵$ ) را با درصد پوشش سنگفرش دارد. نقشه درصد پوشش با کمک معادله رگرسیون و باند ۵ تهیه شد. در ضمن پهنه‌بندی درصد پوشش با روش کریجینگ انجام گرفت و همچنین از باند ۵ و قطر میانگین به‌عنوان داده‌های کمکی برای پهنه‌بندی درصد پوشش به روش کوکریجینگ استفاده گردید (۴). قابلیت تصاویر ماهواره‌ای سنتینل را در برآورد درصد پوشش سنگفرش بیابان را مورد بررسی قرار دادند. نتایج همبستگی بین تک‌تک باندها و درصد پوشش سنگفرش نشان داد که بهترین باند معرف درصد پوشش سنگفرش حاصل از ترانسکت، مربوط به باند ۲ با مقدار  $۰/۵۲$  بود و در روش پلات نیز بیشترین همبستگی مربوط به باند ۳ با مقدار  $۰/۰۷۶$  می‌باشد. با توجه به کم بودن مقدار

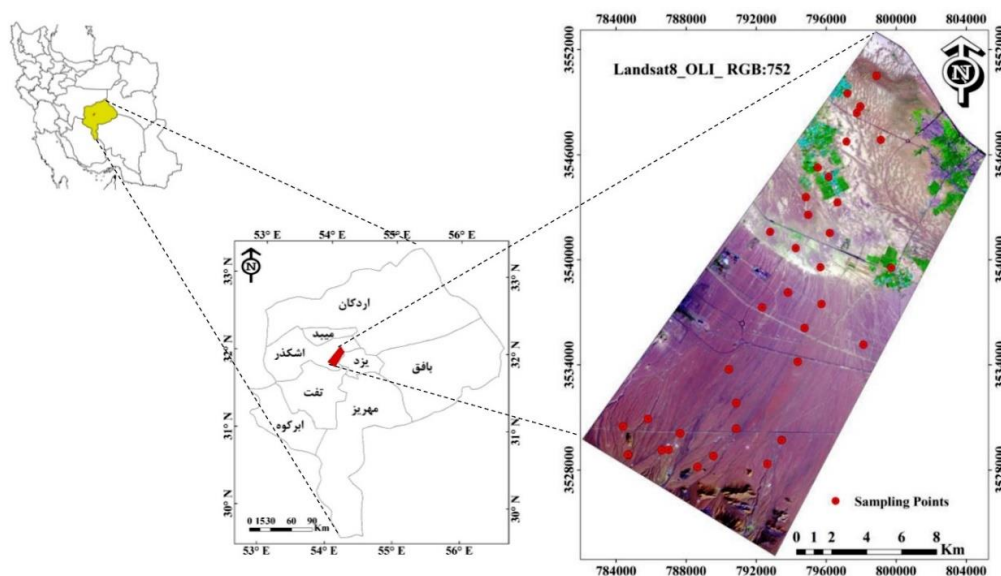
جداسازی سنگفرش بیابانی و تلفیق آن با مشاهدات میدانی و به‌کارگیری روش‌های آماری می‌تواند در برآورد درصد سنگفرش‌های بیابانی به‌ویژه در مناطق وسیع، صعب‌العبور و دور از دسترس مرتفع سازد. هدف از پژوهش حاضر تعریف مدلی برای برآورد درصد سنگفرش بیابان با بهره‌گیری از روش‌های آماری و تصاویر ماهواره‌ای می‌باشد. بدین منظور از ارتباط بین باندهای حاصل از تبدیل تسلدکپ و نقاط برداشت زمینی درصد سنگفرش استفاده شد و در نهایت نیز نقشه میزان پوشش سنگفرش بیابان در منطقه مطالعاتی تهیه گردید.

## ■ مواد و روش

### مشخصات کلی منطقه

موقعیت مکانی منطقه مورد بررسی واقع در ۲۰ km شهر یزد و محدوده دشت یزد- اردکان می‌باشد؛ و در سیستم مختصات متریک با موقعیت  $35^{\circ}23'09.2''$  تا  $35^{\circ}53'03.9''$  عرض شمالی و  $78^{\circ}20'08.0''$  تا  $80^{\circ}51'39.9''$  طول شرقی واقع شده‌است. منطقه با وسعت  $208 \text{ km}^2$  به شکل نوار طولی است که در حد واسط کوه خضرآباد در بالادست و شهرهای اشکذر و زارچ در پایین‌دست واقع شده و دشت‌سرهای لخت، اپانداژ و پوشیده را در بر می‌گیرد. بیشترین و کمترین ارتفاع از سطح دریا به ترتیب  $1780 \text{ m}$  و  $1140 \text{ m}$  (شکل ۱).

همبستگی، در نتیجه نمی‌توان از آن برای تعیین درصد سنگفرش بهره‌گیری کرد (۵). جداسازی طبقه‌های مختلف سنگفرش بیابانی با بهره‌گیری از تصاویر سنجنده  $\text{ETM}^+$  از ماهواره لندست در جنوب استان سمنان نشان می‌دهد که تصاویر مذکور توانایی قابل‌توجهی را در تفکیک طبقات سنگفرش بیابان دارد. در پژوهش مذکور خوارزمیک حداکثر احتمال نسبت به دیگر خوارزمیک‌های حداقل فاصله از میانگین، فاصله ماهالانویس و سطوح موازی بیشترین کارایی را در تفکیک طبقات مختلف سنگفرش نشان می‌دهد (۶). بررسی قابلیت خوارزمیک‌های مختلف طبقه‌بندی نظارت شده مانند خوارزمیک حداکثر احتمال، ماشین بردار پشتیبان، شبکه عصبی در آشکارسازی رخساره سنگفرش بیابان نشان داد که روش ماشین بردار پشتیبان در هر سه کرنل با دقت  $0.83/0.42$ ، بیشترین دقت را نسبت به دو روش دیگر دارد (۲۲). همچنین، در پژوهش‌هایی دیگر، مشاهدات میدانی و به‌کارگیری روش‌های زمین‌آمار برای پهنه‌بندی میزان سنگفرش در مناطق بیابانی انجام شده است (۱۳)، اگرچه به‌کارگیری روش‌های طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای قابلیت مناسبی را در تفکیک رخساره سنگفرش بیابانی از سایر پوشش‌های اراضی دارد. با این وجود در مطالعات منابع طبیعی به‌ویژه بیابان آگاهی داشتن از مقدار درصد سنگفرش در منطقه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به نظر می‌رسد که بهره‌گیری از فناوری سنجش از دوری برای



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد بررسی و نقاط نمونه‌برداری



شکل ۲. نحوه پلات گذاری در صحرا برای برآورد درصد پوشش سنگفرش بیابانی

جدول ۱. مشخصات تصویر ماهواره‌ای مورد استفاده

ماهواره	سنجنده	گذر	ردیف	تاریخ (میلادی)	تاریخ (شمسی)	قدرت تفکیک مکانی (m)
لندست ۸	OLI	۱۶۲	۳۸	۲۰۲۳/۱۲/۲۷	۱۴۰۲/۱۰/۰۶	۳۰

### عملیات صحرائی

در پژوهش حاضر، ابتدا به کمک نقشه‌های توپوگرافی مرز منطقه مطالعاتی مشخص و نقشه‌های واحدهای سنگ‌شناسی و رخساره‌های ژئومورفولوژی بر اساس سیستم مختصات UTM از منطقه مطالعاتی تهیه شد. در ادامه، با استفاده از روش نمونه‌برداری تصادفی طبقه‌بندی شده<sup>۱</sup> در تاریخ ۱۴۰۲/۱۰/۰۶ درصد پوشش سنگفرش بیابانی در صحرا با پلات گذاری در ۳۷ نقطه اندازه‌گیری شد.

### تصویر ماهواره‌ای

نمونه‌برداری میدانی در تاریخ ۰۶ دی‌ماه ۱۴۰۲ صورت گرفت و سپس تصویر سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ هم‌زمان با تاریخ نمونه‌برداری صحرائی، دریافت شد. جزئیات تصویر مورد استفاده در جدول ۱ ارائه شده است.

در آغاز عملیات پیش‌پردازش بر روی تصویر ماهواره‌ای شامل تصحیحات رادیومتریک و هندسی برای آماده‌سازی تصویر برای اجرای عملیات پردازشی، انجام شد (۲۶). در مرحله پردازش تصاویر از روش تبدیل تسلدکپ (TCT)<sup>۲</sup> استفاده شد و تصاویر باندهای روشنایی (رابطه ۱)، سبزی‌نگی (رابطه ۲)، رطوبت (رابطه ۳) و دیگر پوشش‌های سطحی در قالب تسلدکپ چهارم (رابطه ۴)، پنجم (رابطه ۵) و ششم (رابطه ۶) بر اساس ضرایب استاندارد برای ماهواره لندست ۸ استخراج شد (۱۰). در ادامه، مقادیر ارزش رقومی<sup>۳</sup> باندهای TCT، متناظر با محل نقاط نمونه‌برداری شده زمینی استخراج شد. مقدار به‌دست‌آمده به همراه نمونه‌های درصد سنگفرش حاصل از مشاهدات میدانی برای تجزیه و تحلیل آماری استفاده شد.

<sup>3</sup> Digital Number (DN)

<sup>1</sup> Stratified Random sampling pattern

<sup>2</sup> Tassled Cap Transformation (TCT)

$$Z_{ji} = a_{j1}F_{1i} + \dots + a_{jm}F_{mi} + d_j U_{ji} \quad (۷)$$

که در آن:

$Z_{ji}$ : نمره‌ی معیار فرد  $i$ ام در پارامتر  $j$ ام است،  $F_{1i}$ : نمره‌ی معیار فرد  $i$  در اولین عامل مشترک و  $F_{mi}$ : نمره‌ی معیار وی در  $m$ امین عامل مشترک است. عبارت  $U_{ji}$ : نمره‌ی معیار فرد  $i$  در چیزی است که عامل اختصاصی نامیده می‌شود؛ یعنی عاملی که تنها در یک متغیر واحد موجود است که در این مورد متغیر  $z$  است. ضرایب  $a_{jm}$ : بارهای عاملی هستند. ضرایبی هستند که به نمره‌های عامل مشترک اختصاص می‌یابد. ضریب  $d_j$ : وزنی است که به نمره‌های عامل اختصاصی نسبت داده می‌شوند (۲۷).

در پایان برای مدل‌سازی برآورد مقدار کمی سنگفرش بیابان، روش رگرسیون چندگانه گام‌به‌گام<sup>۱</sup> به کار برده شد. رابطه رگرسیون خطی چندمتغیره به صورت رابطه (۸) مورد توجه بوده است: (۲۷، ۲۱)

$$Y = b_0 + b_1(x_1) + b_2(x_2) + \dots + b_p(x_p) \quad (۸)$$

که در آن:

$b_0, b_1, b_2, \dots, b_p$ : ضرایب متغیرهای مستقل،  $b_0$ : مقدار ثابت رگرسیون،  $x_1, x_2, \dots, x_p$ : متغیرهای مستقل و  $Y$ : متغیر وابسته می‌باشد. در این روش با اهمیت‌ترین متغیرها مرحله‌به‌مرحله وارد معادله رگرسیون می‌شود و این عمل تا هنگامی ادامه پیدا می‌کند که سطح خطای آزمون معنی‌داری به ۵ درصد برسد. ضریب تبیین تعدیل‌شده از رابطه (۹) محاسبه شد (۲۷).

$$R_{adjusted}^2 = 1 - \frac{(1 - R^2)(N - 1)}{N - P - 1} \quad (۹)$$

که در آن:

$R^2$ : مجذور ضریب همبستگی چند متغیره،  $N$ : تعداد کل مشاهدات،  $P$ : تعداد متغیرهای پیش‌بینی و  $R_{adjusted}^2$ : ضریب تبیین تعدیل‌شده می‌باشد.

$$\text{Brightness} = (b_1 \times 0.3029) + (b_2 \times 0.2786) + (b_3 \times 0.4733) + (b_4 \times 0.5599) + (b_5 \times 0.508) + (b_6 \times 0.1872) \quad (۱)$$

$$\text{Greeness} = (b_1 \times (-0.2941)) + (b_2 \times (-0.243)) + (b_3 \times (-0.5424)) + (b_4 \times (0.7276)) + (b_5 \times 0.0713) + (b_6 \times (-0.1608)) \quad (۲)$$

$$\text{Wetness} = (b_1 \times 0.1511) + (b_2 \times 0.1973) + (b_3 \times 0.3283) + (b_4 \times 0.3407) + (b_5 \times (-0.7117)) + (b_6 \times (-0.4559)) \quad (۳)$$

$$\text{TC4} = (b_1 \times (-0.8239)) + (b_2 \times 0.0849) + (b_3 \times 0.4396) + (b_4 \times (-0.058)) + (b_5 \times (0.2013)) + (b_6 \times (-0.2773)) \quad (۴)$$

$$\text{TC5} = (b_1 \times (-0.3294)) + (b_2 \times 0.0557) + (b_3 \times 0.1056) + (b_4 \times (0.1855)) + (b_5 \times (-0.4349)) + (b_6 \times 0.8085) \quad (۵)$$

$$\text{TC6} = (b_1 \times (0.1079)) + (b_2 \times (-0.9023)) + (b_3 \times 0.4119) + (b_4 \times (0.0575)) + (b_5 \times (-0.0259)) + (b_6 \times 0.0252) \quad (۶)$$

که در آن:

$b_1$ : باند آبی،  $b_2$ : باند سبز،  $b_3$ : باند قرمز،  $b_4$ : باند مادون قرمز نزدیک،  $b_5$ : باند مادون قرمز میانی ۱،  $b_6$ : باند مادون قرمز میانی ۲ در ماهواره لندست ۸،  $TC4$ : تسلدکپ ۴،  $TC5$ : تسلدکپ ۵ و  $TC6$ : تسلدکپ ۶ است (۱۰). همبستگی آماری بین مقدار درصد پوشش سنگفرش زمینی و باندهای TCT با بهره‌گیری از ضریب همبستگی پیرسون محاسبه شد.

#### مدل برآورد درصد سنگفرش بیابان

به منظور تعیین مهم‌ترین متغیرها برای برآورد سنگفرش بیابان از روش تحلیل عاملی اکتشافی استفاده شد. عمده‌ترین هدف استفاده از تحلیل عاملی، کاهش حجم داده‌ها و تعیین مهم‌ترین متغیرهای مؤثر در شکل‌گیری پدیده‌هاست (۲۷). در تحلیل عاملی نمره‌ی فرد  $i$  در پارامتر  $z$  را می‌توان به عنوان مجموع ضرایب نمره‌ها تعریف کرد. هر فاکتور، ترکیب خطی پارامترهاست و بر اساس رابطه‌ی (۷) به دست می‌آید (۲۷).

<sup>۱</sup> Stepwise Regression

نقطه در سه تپ از دشت سر اندازه‌گیری شد. در منطقه مورد مطالعه سه تپ از دشت سر به شرح ذیل مشاهده شد.

#### تپ دشت سر لخت یا فرسایشی

دشت سر فرسایشی بعد از واحد کوهستان واقع شده است (شکل ۳). عمق رسوبات حدود ۱ تا ۳m و شیب ۲۰-٪ تا ۸-٪ می‌باشد (۱۳). حدوداً ۱۰۰٪-۸۰٪ سطح از سنگفرش درشت پوشیده شده است (۱۴). ۳۳٪ از قطر سنگریزه‌ها در خاک سطحی و ۶۷٪ آن آزاد است. بافت خاک درشت تا متوسط می‌باشد. دامنه تغییرات قطر سنگریزه ۵-۳/۷cm تا متوسط می‌باشد و درصد پوشش گیاهی ۲۰٪-۵ بوده است. مساحت رخساره رگ درشت‌دانه حدود ۴۲/۳km<sup>2</sup> می‌باشد.

#### تپ دشت سر ایپانداژ

این دشت سر، بین دشت سر فرسایشی و پوشیده قرار دارد (شکل ۴) و عمق رسوبات حدوداً ۱۰m و شیب نیز ۳ تا ۸٪ می‌باشد (۱). ۶۰-۸۰٪ از سنگفرش متوسط پوشیده شده است و ضخامت سله ۵-۱cm است. دامنه تغییرات قطر سنگریزه ۵/۵-۳/۵cm و پوشش گیاهی ۵٪-۱ است. مساحت دشت سر ایپانداژ با رخساره رگ متوسط تا ریزدانه حدود ۸۵/۵km<sup>2</sup> می‌باشد.

#### تپ دشت سر پوشیده

شیب تقریباً ۳٪-۵٪ و ضخامت رسوب تا ۱۰۰m است (شکل ۵). خاک بدون سنگفرش، عمق سله ۴/۳-۰/۰cm و پایداری آن نسبتاً متوسط می‌باشد. پوشش گیاهی متغیر و مساحت آن برابر ۸۰km<sup>2</sup> می‌باشد. خلاصه برخی از ویژگی‌های مختلف رخساره‌های ژئومورفولوژی منطقه مطالعاتی در جدول ۲ عنوان شده است.

همان‌طور که قبلاً نیز اشاره شد، با استفاده از روش نمونه‌برداری تصادفی طبقه‌بندی شده، درصد پوشش سنگفرش بیابانی در صحرا با پلات‌گذاری در ۳۷ نقطه اندازه‌گیری شد. مختصات جغرافیایی نقاط نمونه‌برداری شده به همراه درصد پوشش سنگفرش و همچنین شاخص‌های تبدیل تسلدکپ مستخرج از تصاویر لندست ۸ در جدول (۳) آورده شده است.

در آخر با بررسی مدل‌های به‌دست‌آمده از روابط رگرسیونی، مدل بهینه برای برآورد میزان درصد سنگفرش بیابان در منطقه مورد مطالعه معرفی شد. سپس بعد از تهیه نقشه حاصل از مدل سنگفرش برای صحت‌سنجی مدل نهایی و ارزیابی دقت مدل برآوردی، ابتدا مقدار درصد پوشش سنگفرش مطابق با مدل اشتقاقی برآورد شد و سپس بین مقدار اندازه‌گیری و برآورده شده درصد پوشش سنگفرش، رگرسیون خطی برازش داده شد. ضرایب صحت‌سنجی از جمله RMSE، MAD، MSE و MAPE از طریق روابط (۱۰)، (۱۱)، (۱۲) و (۱۳) به دست آمد (۲۷).

$$MAD = \text{median}(|x_i - \text{median}(x_i)|) \quad (10)$$

$$RMSE = \left[ \frac{\sum (Z^*(x_i) - Z(x_i))^2}{n} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (11)$$

$$MSE = \frac{\sum (Z^*(x_i) - Z(x_i))^2}{n} \quad (12)$$

$$MAPE = \frac{100\%}{n} \sum_{x=1}^n \frac{Z(x_i) - Z^*(x_i)}{Z(x_i)} \quad (13)$$

که در آن:

$Z^*(x_i)$ : مقدار برآورد شده متغیر مورد نظر،  $Z(x_i)$ : مقدار اندازه‌گیری شده متغیر مورد نظر،  $n$ : تعداد داده‌ها،  $x_i$ : متغیر مورد نظر، median: میانگین، MAD: میانگین قدر مطلق خطا، RMSE: مجذور میانگین مربع خطا، MSE: میانگین مربع خطا و MAPE: میانگین درصد قدر مطلق خطا می‌باشد.

#### نتایج و بحث

همان‌طور که قبلاً نیز اشاره شد، هدف از پژوهش حاضر تعریف مدلی برای برآورد درصد سنگفرش بیابان با بهره‌گیری از روش‌های آماری و تصاویر ماهواره‌ای می‌باشد. درصد پوشش سنگفرش بیابانی در صحرا با پلات‌گذاری در ۳۷



شکل ۳. مقطعی از رخساره دشت سر لخت یا فرسایشی در منطقه مطالعاتی



شکل ۴. مقطعی از رخساره دشت سر اپانداژ در منطقه مطالعاتی



شکل ۵. رخساره دشت سر پوشیده در منطقه مورد بررسی

جدول ۲. مقایسه نسبی برخی از ویژگی‌های مختلف رخساره‌های ژئومورفولوژی

تیپ دشت سر	وسعت (Km <sup>۲</sup> )	وسعت (%)	شیب عمومی (%)	پوشش سنگفرش (%)	پوشش گیاهی (%)	دامنه قطر سنگفرش (cm)
فرسایشی	۴۲/۳	۲۰/۴	۸-۲۰	۱۰۰-۸۰	۵-۲۰	۳/۵-۷
اپانداژ	۸۵/۵	۴۱/۱	۳-۸	۶۰-۸۰	۱-۵	۰/۵-۳/۵
پوشیده	۸۰	۳۸/۵	۰/۵-۳	فاقد سنگفرش	متغیر	-

جدول ۳. مشخصات نمونه‌های برداشت‌شده در صحرا و مؤلفه‌های مستخرج شده از تصاویر لندست ۸

ردیف	X (m)	Y (m)	پوشش سنگفرش (%)	تابع درخشندگی	تابع سبزی‌نگی	تابع رطوبت	تبدیل ۴ تسلدکپ	تبدیل ۵ تسلدکپ	تبدیل ۶ تسلدکپ
۱	۲۱۷۰۰۳	۳۵۲۸۸۰۷	۱۰۰	۰/۴۷۳	۰/۰۴۱	۰/۰۶۵	-۰/۰۱۰	۰/۰۷۹	-۰/۰۲۳
۲	۲۱۸۹۱۳	۳۵۲۸۹۷۶	۹۰	۰/۴۸۸	۰/۰۲۸	۰/۰۵۹	-۰/۰۱۷	۰/۰۷۸	-۰/۰۳۴
۳	۲۲۰۰۲۱	۳۵۲۹۸۷۱	۹۰	۰/۵۵۵	۰/۰۳۵	۰/۰۸۷	-۰/۰۱۶	۰/۰۹۴	-۰/۰۳۳
۴	۲۲۵۷۹۶	۳۵۲۹۱۶۹	۹۰	۰/۵۵۰	۰/۰۲۹	۰/۰۸۹	-۰/۰۲۲	۰/۰۹۶	-۰/۰۳۴
۵	۲۱۸۲۱۸	۳۵۳۰۷۹۶	۸۰	۰/۵۳۰	۰/۰۳۱	۰/۱۰۰	-۰/۰۱۶	۰/۰۹۰	-۰/۰۳۲
۶	۲۲۴۸۹۷	۳۵۲۷۸۵۵	۸۰	۰/۵۴۷	۰/۰۳۱	۰/۰۸۶	-۰/۰۱۸	۰/۰۹۶	-۰/۰۳۴
۷	۲۲۵۷۸۷	۳۵۲۹۱۶۳	۹۰	۰/۵۵۰	۰/۰۲۹	۰/۰۸۹	-۰/۰۲۲	۰/۰۹۶	-۰/۰۳۴
۸	۲۲۱۸۵۱	۳۵۲۸۴۷۴	۸۰	۰/۵۳۸	۰/۰۳۲	۰/۰۹۵	-۰/۰۱۷	۰/۰۹۳	-۰/۰۳۲
۹	۲۱۹۳۱۰	۳۵۲۸۹۸۱	۱۰	۰/۵۴۰	۰/۰۳۲	۰/۰۹۵	-۰/۰۱۴	۰/۰۹۶	-۰/۰۳۱
۱۰	۲۱۶۹۷۷	۳۵۲۸۸۳۲	۷۰	۰/۵۳۶	۰/۰۳۶	۰/۰۹۵	-۰/۰۱۵	۰/۰۹۶	-۰/۰۲۹
۱۱	۲۲۰۸۹۹	۳۵۲۷۹۱۱	۸۰	۰/۵۰۶	۰/۰۳۲	۰/۰۸۶	-۰/۰۱۶	۰/۰۸۹	-۰/۰۳۰
۱۲	۲۱۶۷۸۸	۳۵۳۰۴۴۱	۸۰	۰/۵۱۷	۰/۰۳۴	۰/۰۹۲	-۰/۰۱۷	۰/۰۸۹	-۰/۰۲۹
۱۳	۲۲۳۲۴۱	۳۵۲۹۹۵۶	۹۰	۰/۵۱۵	۰/۰۳۵	۰/۰۵۹	-۰/۰۱۷	۰/۰۷۹	-۰/۰۳۳
۱۴	۲۳۰۷۵۷	۳۵۳۴۳۴۹	۸۰	۰/۶۱۲	۰/۰۳۶	۰/۰۷۵	-۰/۰۱۷	۰/۱۱۱	-۰/۰۳۴
۱۵	۲۲۶۹۶۱	۳۵۳۳۵۸۷	۸۰	۰/۵۵۳	۰/۰۲۵	۰/۰۸۱	-۰/۰۲۰	۰/۰۹۰	-۰/۰۳۶
۱۶	۲۲۳۳۲۰	۳۵۳۱۴۲۱	۸۰	۰/۵۰۳	۰/۰۲۶	۰/۰۶۹	-۰/۰۲۱	۰/۰۷۹	-۰/۰۳۴
۱۷	۲۲۷۴۵۶	۳۵۳۵۴۸۸	۵۰	۰/۵۸۵	۰/۰۲۴	۰/۰۷۴	-۰/۰۲۱	۰/۰۹۷	-۰/۰۳۹
۱۸	۲۲۳۰۰۰	۳۵۳۳۳۷۲	۸۰	۰/۵۱۱	۰/۰۲۳	۰/۰۷۷	-۰/۰۲۱	۰/۰۸۲	-۰/۰۳۴
۱۹	۲۲۸۴۹۲	۳۵۳۶۷۹۸	۶۰	۰/۶۴۸	۰/۰۳۷	۰/۰۸۴	-۰/۰۲۱	۰/۱۱۴	-۰/۰۴۰
۲۰	۲۲۸۵۴۸	۳۵۳۸۸۹۹	۵۰	۰/۶۵۸	۰/۰۳۲	۰/۰۸۰	-۰/۰۲۳	۰/۱۱۳	-۰/۰۴۲
۲۱	۲۲۶۶۱۲	۳۵۳۷۵۷۰	۶۰	۰/۵۶۲	۰/۰۲۵	۰/۰۷۰	-۰/۰۲۳	۰/۰۹۱	-۰/۰۳۸
۲۲	۲۲۵۰۹۵	۳۵۳۶۷۹۰	۵۰	۰/۵۴۰	۰/۰۲۲	۰/۰۸۳	-۰/۰۲۴	۰/۰۸۸	-۰/۰۳۷
۲۳	۲۳۲۳۵۴	۳۵۴۹۶۳۲	۵	۰/۵۰۱	۰/۰۴۵	۰/۰۷۵	-۰/۰۱۵	۰/۰۸۸	-۰/۰۲۴
۲۴	۲۳۰۶۳۹	۳۵۴۸۷۳۰	۰	۰/۶۰۰	۰/۰۴۰	۰/۱۰۰	-۰/۰۱۶	۰/۱۱۶	-۰/۰۳۳
۲۵	۲۲۸۷۰۲	۳۵۴۴۵۹۵	۰	۰/۶۴۴	۰/۰۵۷	۰/۰۸۶	-۰/۰۱۰	۰/۱۲۳	-۰/۰۲۹
۲۶	۲۲۷۱۹۷	۳۵۴۰۰۷۳	۰	۰/۷۸۱	۰/۰۵۷	۰/۰۷۶	-۰/۰۲۳	۰/۱۳۸	-۰/۰۴۵
۲۷	۲۳۲۵۸۴	۳۵۳۸۶۵۱	۵	۰/۴۵۵	۰/۱۸۲	۰/۰۰۷	-۰/۰۱۲	۰/۰۶۹	-۰/۰۰۹
۲۸	۲۳۱۳۳۰	۳۵۴۷۹۴۸	۱۰	۰/۶۷۶	۰/۰۴۹	۰/۱۰۰	-۰/۰۱۳	۰/۱۲۷	-۰/۰۳۳
۲۹	۲۳۱۱۱۱	۳۵۴۷۵۸۳	۰	۰/۶۳۴	۰/۰۴۵	۰/۱۰۴	-۰/۰۱۲	۰/۱۲۱	-۰/۰۲۹
۳۰	۲۳۰۴۲۵	۳۵۴۵۹۸۹	۰	۰/۸۷۶	۰/۰۵۸	۰/۰۸۷	-۰/۰۲۰	۰/۱۶۲	-۰/۰۴۷
۳۱	۲۲۷۹۴۶	۳۵۴۲۹۴۵	۳۰	۰/۶۲۱	۰/۰۳۶	۰/۰۸۸	-۰/۰۲۰	۰/۱۱۳	-۰/۰۳۵
۳۲	۲۲۹۲۹۴	۳۵۴۴۰۳۴	۰	۰/۶۳۱	۰/۰۵۹	۰/۰۶۱	-۰/۰۲۴	۰/۰۸۹	-۰/۰۳۴
۳۳	۲۲۹۱۸۵	۳۵۴۰۸۲۱	۵	۰/۷۱۳	۰/۰۴۳	۰/۰۸۵	-۰/۰۲۰	۰/۱۲۶	-۰/۰۴۱
۳۴	۲۳۲۴۰۳	۳۵۴۵۹۷۷	۰	۰/۶۹۹	۰/۰۵۴	۰/۰۹۴	-۰/۰۱۵	۰/۱۳۲	-۰/۰۳۵
۳۵	۲۲۸۰۱۴	۳۵۴۱۹۳۵	۱۰	۰/۶۰۰	۰/۰۲۹	۰/۰۸۵	-۰/۰۲۰	۰/۱۰۶	-۰/۰۳۵
۳۶	۲۲۵۷۸۳	۳۵۴۱۰۸۲	۲۵	۰/۷۰۶	۰/۰۴۰	۰/۰۸۰	-۰/۰۲۰	۰/۱۲۳	-۰/۰۴۱
۳۷	۲۲۹۷۲۰	۳۵۴۲۵۴۹	۵	۰/۷۷۲	۰/۰۵۸	۰/۰۶۹	-۰/۰۲۴	۰/۱۳۹	-۰/۰۴۴

نقشه توابع تبدیل تسلدکپ

با به‌کارگیری توابع TCT، ویژگی‌های درخشندگی، میزان سبزی‌نگی و رطوبت خاک و دیگر ویژگی‌های سطحی

زمین، در قالب شش نقشه مجزا تولید شد (شکل ۶). شاخص‌های بیان‌شده، شاخصی تک باندی در محدوده عددی ۱- تا ۱ است که هر چه مقادیر به یک نزدیک‌تر باشد

۴). با توجه به جدول ۴ اعدادی که دو ستاره دارند بدین معنی است که در سطح اطمینان ۹۹٪ و خطای ۱٪ معنی دار شده است و اعدادی که یک ستاره دارند در سطح اطمینان ۹۵٪ و خطای ۵٪ معنی دار است. نتایج همبستگی آماری بین مقادیر درصد سنگفرش و شش مؤلفه TCT به روش پیرسون نشان داد که همبستگی منفی و معنی داری در سطح اطمینان ۹۹٪ بین مؤلفه‌های روشنایی، سبزیگی و تبدیل تسلدکپ ۵ با درصد پوشش سنگفرش به ترتیب با مقادیر  $(R^2 = -0/۶۴)$ ،  $(R^2 = -0/۴۶)$  و  $(R^2 = -0/۶۲)$  وجود دارد.

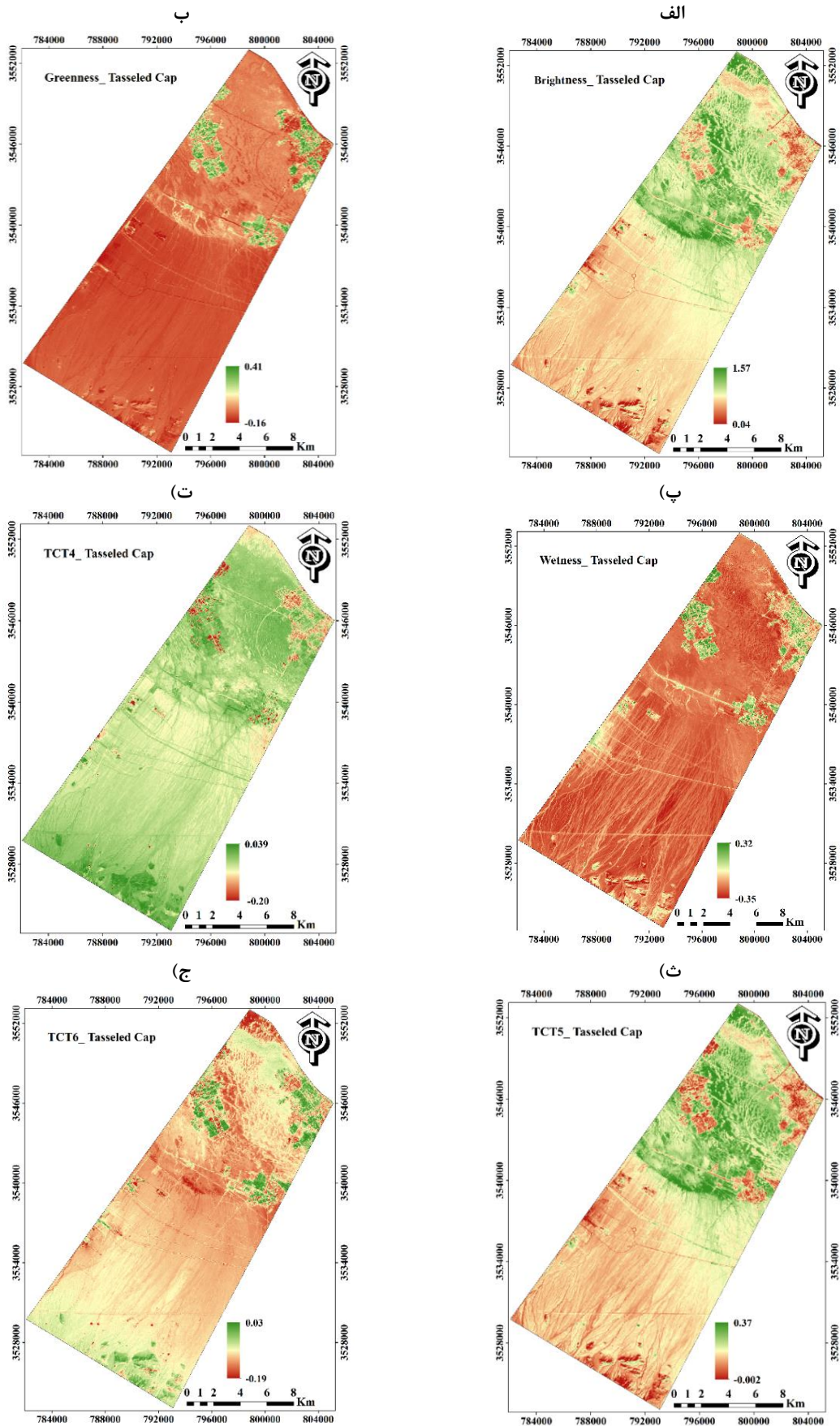
همبستگی منفی بین درصد پوشش سنگفرش و مقادیر درخشندگی، سبزیگی و تابع تسلدکپ ۵ ارتباط قوی اما در راستای عکس را بین متغیرها نشان داد. به عبارتی دیگر، هراندازه مقدار درخشندگی در سطح منطقه بیشتر باشد بیانگر این موضوع است که زمین بدون پوشش بوده و ذرات خاک به طور مستقیم در معرض تابش خورشید و امواج الکترومغناطیس قرار می‌گیرد بنابراین از نظر دمایی درجه حرارت در این نقاط که روشن می‌باشد بیشتر بوده و میزان امواج دریافتی نیز مقادیر بالاتری را نشان می‌دهد (۱۵) اما زمانی که پوشش زمین توسط سنگریزه به‌ویژه با رنگ تیره قرار گیرد، میزان درخشندگی ارائه شده در امواج کمتر است. این موضوع در مورد حضور پوشش گیاهی و سایر عوارض سطحی زمین نیز وجود دارد. هراندازه پوشش گیاهی بیشتر باشد از میزان درصد سنگریزه در محیط کاسته خواهد شد و ارتباط معکوس بین شاخص‌ها وجود دارد

عارضه موردنظر مناسب‌تر تفکیک می‌شود. به‌عنوان مثال در نقشه ارائه‌دهنده میزان سبزیگی حاصل از تابع TCT مقادیر نزدیک به یک نشان‌دهنده میزان پوشش گیاهی بیشتر و مقادیر نزدیک به صفر پوشش کمتری را نشان می‌دهد (۸، ۲۴). امروزه در مطالعات سنجش‌ازدور به‌کارگیری توابع TCT به دلیل فشردگی داده‌های چندطیفی در چند باند متناسب با ویژگی‌های فیزیکی مرتبط کاربرد بیشتری را نسبت به تحلیل مؤلفه اصلی<sup>۱</sup> (PCA) در شناخت بهتر پوشش‌های اراضی دارد (۱۶، ۱۹). تصویر حاصل از تابع درخشندگی با حداکثر مشارکت تمام باندهای مورداستفاده در تهیه این تابع، بیشترین اطلاعات از منطقه مورد مطالعه را در خود جای‌داده است. درجه درخشندگی در این تصویر نشان‌دهنده خاک‌های روشن و یا اراضی بدون پوشش است (شکل ۶-الف). در تصویر حاصل از تابع سبزیگی، میزان مختلف تراکم پوشش گیاهی ارائه شده است (شکل ۶-ب). میزان اطلاعات ارائه‌دهنده منطقه مورد مطالعه در تصویر سبزیگی بعد از تصویر درخشندگی در درجه دوم قرار دارد. ویژگی رطوبتی در سومین مؤلفه حاصل از TCT ارائه می‌شود (شکل ۶-پ). مؤلفه‌های تبدیل تسلدکپ ۴ (شکل ۶-ت)، تبدیل تسلدکپ ۵ (شکل ۶-ث) و تبدیل تسلدکپ ۶ (شکل ۶-ج) کمترین اطلاعات موجود در تصویر را دارند. نتایج همبستگی آماری بین مقادیر درصد سنگفرش و شش مؤلفه TCT به روش پیرسون همبستگی معنی داری را بین مؤلفه‌های درخشندگی، سبزیگی، تبدیل تسلدکپ ۵ و درصد پوشش سنگفرش در محدوده مورد مطالعه نشان داد (جدول

جدول ۴. ماتریس همبستگی پیرسون مقادیر درصد پوشش سنگفرش زمینی و مؤلفه‌های TCT

درصد سنگفرش	روشنایی	سبزیگی	رطوبت	تبدیل تسلدکپ ۴	تبدیل تسلدکپ ۵	تبدیل تسلدکپ ۶
۱						
۰/۶۴**	۱					
۰/۴۶**	۰/۰۶۳	۱				
۰/۰۲	۰/۲۷	۰/۷۱**	۱			
۰/۰۶	۰/۳۲	۰/۳۱	۰/۰۲	۱		
۰/۶۲**	۰/۹۶**	۰/۰۳	۰/۴۱*	۰/۱۲	۱	
۰/۱۱	۰/۷۳**	۰/۵۱**	۰/۴۱*	۰/۷۱**	۰/۶۳**	۱

<sup>۱</sup> Principal Component Analysis (PCA)



شکل ۶. نقشه‌های ویژگی زمین بر اساس توابع TCT (الف) تابع درخشندگی (ب) تابع سبزیگی (پ) تابع رطوبت (ت) مؤلفه تبدیل تسلدکپ ۴ (ث) مؤلفه تبدیل تسلدکپ ۵ (ج) مؤلفه تبدیل تسلدکپ ۶

## نتایج تحلیل عاملی

استفاده از ضریب<sup>۱</sup> KMO یکی از روش‌های تشخیص مناسب بودن داده‌ها برای استفاده از روش تحلیل عاملی می‌باشد. مقدار آن همیشه بین صفر و یک متغیر است. در صورتی که مقدار KMO از ۰/۵ کمتر باشد، داده‌ها برای تحلیل عاملی مناسب نیستند و اگر بین ۰/۵ تا ۰/۶۹ باشد می‌توان با ملاحظه بیشتری روش تحلیل عاملی را بکار برد؛ اما اگر مقدار آن از ۰/۷ بیشتر باشد، همبستگی‌های بین داده‌ها جهت تحلیل عاملی مناسب است (۲۷). از آنجایی که مقدار شاخص KMO در پژوهش حاضر برابر با ۰/۷۶ به دست آمد، بنابراین همبستگی موجود بین داده‌ها برای تحلیل عاملی مناسب می‌باشد.

بررسی مقدار سنگفرش بیابان در منطقه مطالعاتی با استفاده از ۶ متغیر روشنایی، سبزی‌نگی، رطوبت، مؤلفه‌های تبدیل تسلدکپ ۴، ۵ و ۶ انجام شد. به منظور کاهش تعداد متغیرها، از روش تحلیل عاملی اکتشافی استفاده شد. تعداد فاکتورها با توجه به مقدار ویژه هر عامل مشخص می‌شود. فاکتورهایی که معیار مقدار ویژه آن‌ها بزرگ‌تر از یک باشد، به‌عنوان عامل‌های معنی‌دار حساب می‌شود (۲۷). از بین شاخص‌های ارائه‌شده شاخص‌هایی که معیار مقادیر ویژه آن‌ها بالاتر از یک بود، انتخاب شدند (۱۲). مقدار ویژه هر فاکتور، نسبتی از واریانس کل پارامترهاست که به‌واسطه‌ی آن فاکتور بیان می‌شود. کم بودن این مقدار برای یک فاکتور نشان‌دهنده‌ی این موضوع است که آن فاکتور نقش کمی در تبیین واریانس متغیرها داشته است. مقدار ویژه واریانس متناظر با عامل‌ها در جدول (۵) نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود دو عامل قابلیت تبیین واریانس‌ها را دارند. عامل اول و دوم به ترتیب ۶۷/۴٪ و ۱۶/۸٪ و در مجموع ۸۴/۲٪ از واریانس را در بردارند.

بنابراین روش تحلیل عاملی، شاخص‌های انتخابی را سبزی‌نگی و روشنایی تشخیص داد. متغیرهای سبزی‌نگی و روشنایی به‌عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شد. سپس، با استفاده از روش رگرسیون مرحله‌ای ارتباط آن‌ها با مقدار سنگفرش بیابان به‌عنوان متغیر وابسته بررسی شد. جدول (۶) نتایج تجزیه واریانس رابطه رگرسیون را نشان

می‌دهد که در آن مجموع و میانگین مربعات برای منابع رگرسیون و باقیمانده ذکر شده است. تجزیه واریانس رگرسیون فرض وجود رابطه خطی معنی‌دار بین متغیرها را بررسی می‌کند. با توجه به مقدار معنی‌دار؛ که کمتر از ۰/۰۱ است، پس با اطمینان ۹۹٪، رابطه رگرسیونی خطی بین متغیر وابسته و متغیرهای مستقل وجود دارد. مدل انتخابی رابطه بین مقدار سنگفرش بیابان با متغیرهای سبزی‌نگی و روشنایی را با ضریب همبستگی برابر ۰/۶۱ و خطای استاندارد ۲۳/۲ نشان می‌دهد (رابطه ۱۴). این بدین معناست که مدل به‌دست‌آمده قادر است حدود ۶۱٪ تغییرات سنگفرش سطحی را در منطقه مطالعاتی پیش‌بینی کند.

$$R = 185.97 - (385.45 \times B) - (874.51 \times G) \quad (14)$$

که در آن R: Rockfragment، B: Brightness و G: Greeness به ترتیب درصد پوشش سنگفرش، روشنایی و سبزی‌نگی است. نقشه حاصل از مدل که در واقع نقشه درصد سنگفرش بیابان است در شکل (۸) آورده شده است. مقادیر صفر نشان‌دهنده مناطق بدون پوشش سنگفرش است و هرچه مقدار زیاد باشد درصد سنگفرش در منطقه بیشتر است. ارتباط معکوس بین میزان درصد سنگفرش با مقدار شاخص‌های درخشندگی و سبزی‌نگی تابع تسلدکپ در رابطه به‌دست‌آمده موجب شد تا ضرایب رگرسیونی شاخص‌های روشنایی تسلدکپ و سبزی‌نگی، منفی باشد. در بررسی آشکارسازی جزایر حرارتی نیز با توجه به ارتباط معکوس بین میزان سبزی‌نگی حاصل از پوشش گیاهی و میزان رطوبت خاک با مناطق دارای دمای زیاد و جزایر حرارتی ضرایب شاخص‌های مذکور در رابطه ارائه شده منفی می‌باشد (۱۵). بعد از تهیه نقشه حاصل از مدل سنگفرش برای صحت‌سنجی مدل نهایی و جهت ارزیابی دقت مدل برآوردی، ابتدا مقدار درصد پوشش سنگفرش مطابق با مدل اشتقاقی (رابطه ۱۰) برآورد شد و سپس بین مقدار درصد پوشش سنگفرش اندازه‌گیری و برآوردی، رگرسیون خطی برازش داده شد که نتایج حاصل از آن در شکل ۹ آمده است. ضرایب صحت‌سنجی از جمله MAD، MSE، RMSE و MAPE به دست آمد (جدول ۷).

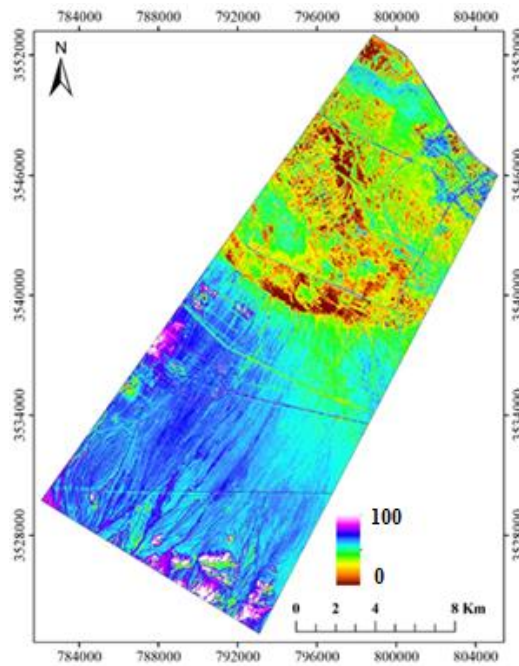
<sup>1</sup> Kaiser Meyer Olkin

جدول ۵. درصد واریانس و مقادیر ویژه عامل‌های مختلف

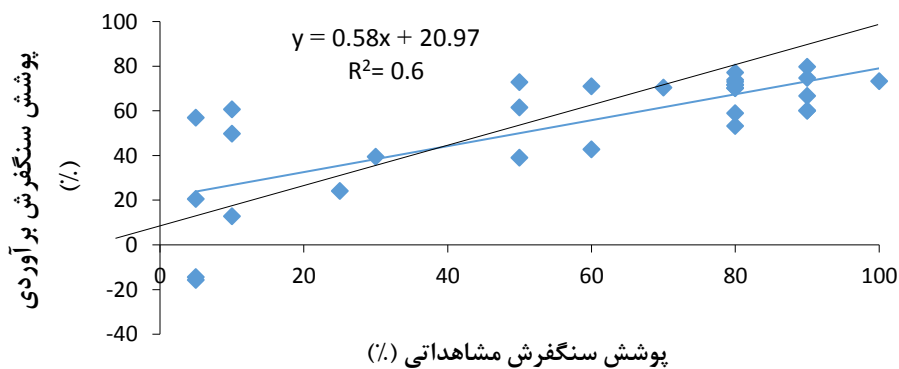
مؤلفه	مقادیر ویژه اولیه			مجموع ضرایب عامل چرخش داده نشده		
	درصد واریانس	کل	درصد تجمعی	درصد واریانس	کل	درصد تجمعی
۱	۶۷/۴۰۲	۴/۰۴۴	۶۷/۴۰۲	۶۷/۴۰۲	۴/۰۴۴	۶۷/۴۰۲
۲	۱۶/۸۳۳	۱/۰۱۰	۸۴/۲۳۵	۱۶/۸۳۳	۱/۰۱۰	۱۶/۸۳۳
۳	۹/۴۰۰	۰/۵۶۴	۹۳/۶۳۵	۹/۴۰۰	۰/۵۶۴	۹۳/۶۳۵
۴	۳/۲۳۳	۰/۱۹۴	۹۶/۸۶۸	۳/۲۳۳	۰/۱۹۴	۹۶/۸۶۸
۵	۲/۴۵۰	۰/۱۴۷	۹۹/۳۱۸	۲/۴۵۰	۰/۱۴۷	۹۹/۳۱۸
۶	۰/۶۸۳	۰/۰۴۱	۱۰۰/۰۰	۰/۶۸۳	۰/۰۴۱	۱۰۰/۰۰

جدول ۶. آزمون تجزیه واریانس رگرسیون

مدل	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	Sig.
رگرسیون	۳۱۷۶۶/۳۴	۲	۱۵۸۸۳/۱۷	۲۹/۴۰۳۵۳	۰.۸e-۳/۸۶
باقیمانده	۱۸۳۶۶/۰۹	۳۴	۵۴۰/۱۷۹۱		
کل	۵۰۱۳۲/۴۳	۳۶			



شکل ۸. نقشه درصد سنگفرش بیابان در منطقه مطالعاتی



شکل ۹. ارتباط مقادیر درصد پوشش سنگفرش مشاهداتی و برآوردی

جدول ۷. مقادیر انواع شاخص‌های آماری خطا (ضرایب صحت سنجی)

مقادیر	انواع شاخص‌های آماری خطا
۱۷/۳۷	MAD (میانگین قدر مطلق خطا)
۴۷۲/۲۵	MSE (میانگین مربع خطا)
۲۱/۷۳	RMSE (مجذور میانگین مربع خطا)
۱۱۷/۶۷	MAPE (میانگین درصد قدر مطلق خطا)

نیز، به منظور کاهش تعداد متغیرها و گروه‌بندی آن‌ها در چهارچوب شاخص‌های مرتبط و همسان، از روش تحلیل عاملی استفاده شد (۷). از این نظر نیز نتایج تحقیق مذکور با پژوهش حاضر مطابقت دارد.

### ■ نتیجه‌گیری

برای آماده‌سازی نقشه درصد پوشش سنگفرش بیابانی با کمک سنجش‌ازدور، روش ریاضی دقیقی وجود ندارد، بنابراین ارائه روشی مناسب برای آماده‌سازی نقشه درصد پوشش سنگفرش، می‌تواند برای محققان مفید باشد. نتایج پژوهش حاضر بیانگر این موضوع است که با کمک نمونه‌برداری زمینی و داده‌های سنجش‌ازدور می‌توان مدل مناسبی برای آماده‌سازی نقشه پوشش سنگفرش بیابان ارائه داد. به‌طور کلی نتایج پژوهش نشان داد که هراندازه مقدار درخشندگی در سطح منطقه بیشتر باشد بیانگر این موضوع است که زمین بدون پوشش بیشتر است و مقدار بازتابش خورشید از سطح زمین بیشتر می‌شود؛ بنابراین از نظر دمایی، درجه حرارت در این نقاط که روشن می‌باشد، کمتر است و میزان امواج دریافتی نیز مقادیر کمتری را نشان می‌دهد (۱۵) اما زمانی که پوشش زمین توسط سنگریزه به‌ویژه با رنگ تیره قرار گیرد، میزان درخشندگی ارائه‌شده در امواج کمتر است. این موضوع در مورد حضور پوشش گیاهی و سایر عوارض سطحی زمین نیز وجود دارد. هراندازه پوشش گیاهی بیشتر باشد از میزان درصد سنگریزه در محیط کاسته خواهد شد و ارتباط معکوس بین پارامترها وجود دارد.

### ■ سپاسگزاری

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند مراتب تشکر و قدردانی خود را از دانشگاه اردکان و کلیه اعضای که در انجام این پژوهش یاری کردند، اعلام کنند.

طبق شکل ۹ مدل به‌دست آمده در مقدار سنگریز کمتر از ۵۰٪ بیش‌برآورد و در مقدار زیاد کم‌برآورد می‌باشد. پژوهش‌های معدودی در خصوص ارتباط بین باندهای تصاویر ماهواره‌ای از طریق پردازش تصاویر لندست با اجرای خوارزمیک‌های مختلف طبقه‌بندی نظارت‌شده برای تفکیک بخش سنگفرش بیابانی از سایر مناطق انجام‌شده است (۶). با این وجود برای آماده‌سازی نقشه درصد پوشش سنگفرش بیابانی با کمک سنجش‌ازدور، روش ریاضی دقیقی وجود ندارد، بنابراین ارائه روشی مناسب برای آماده‌سازی نقشه درصد پوشش سنگفرش، می‌تواند برای محققان مفید باشد. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که امکان برآورد و تهیه نقشه درصد سنگفرش بیابان با استفاده از شاخص‌های تبدیل تسلدکپ مستخرج از تصاویر لندست ۸ وجود دارد. در پژوهش حاضر مدلی برای برآورد درصد سنگفرش بیابان با بهره‌گیری از روش آماری و تصاویر ماهواره‌ای تعریف شد تا امکان برآورد میزان پوشش سنگفرش بیابان فراهم شود. بدین منظور از ارتباط بین باندهای حاصل از تبدیل تسلدکپ و نقاط برداشت زمینی درصد سنگفرش استفاده‌شده است و در پایان نیز نقشه مقدار پوشش سنگفرش بیابان تهیه شد. نتایج به‌دست آمده از پژوهش حاضر نشان داد که کاربرد داده‌های ماهواره‌ای لندست روشی مناسب و کم‌هزینه برای برآورد سنگفرش سطحی است. در پژوهشی دیگر نقشه هدایت الکتریکی خاک با استفاده از شاخص‌های تبدیل تسلدکپ مستخرج از تصاویر لندست ۸ و تحلیل عاملی تهیه شد (۱۸). از این جهت که امکان تلفیق تکنیک سنجش‌ازدور و روش‌های آماری برای برآورد و تهیه نقشه فاکتورهای از جمله سنگفرش بیابان و شوری خاک وجود دارد، نتایج تحقیق مذکور با پژوهش حاضر مطابقت دارد. در بررسی برآورد شوری سطح خاک با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست

## ■ References

1. Ahmadi, H., (2009). *Applied Geomorphology: Desert - Wind Erosion (Volume 2)*. University of Tehran Press. [In Persian]
2. Akbari Nasab, M., Safarrad, T., & Akbarzadeh, M. (2018). *Detection of Coastline Using Satellite Image-Processing Technique. Environmental Erosion Research Journal*, 7(4), 58-81.[In Persian]
3. Alavi Panah, S.K. (2000). Landsat TM spectral bands effectiveness evaluation in the studies of the deserts of Iran, *Iranian Journal of Natural Resources*, 53(1), 67-78. [In Persian]
4. Amiri doumari, S., Tazeh, M., Sadeghinia, M. & Ghaneii Bafghi, M.J. (2017). *Investigation of the capability of remote sensing and geostatistic in grain size assessment of desert pavement*. M.Sc. Thesis in Natural Resources Engineering Desertification. Ardakan University. [In Persian]
5. Amiri doumari, S., Tazeh, M., Sadeghinia, M. & Ghaneii Bafghi, M.J. (2018). *Investigating the capability of Sentinel satellite images in estimating the percentage of desert pavement coverage*. The first national conference on agriculture, natural resources and veterinary medicine, Ardakan University, Ardakan, Iran. [In Persian]
6. Ara, H., kianiyan, M. K., Sohrabi, H., & Ahmadabadi, A. (2020). Studying Effectiveness of Landsat ETM<sup>+</sup> Satellite Images Classification Methods in Identification of desert pavements (Case study: South of Semnan). *Environmental Erosion Research Journal*, 10(2), 1-20. DOI: 20.1001.1.22517812.1399.10.2.1.4 [In Persian]
7. Arehki, S. & Niazi, Y. (2014). Comparison of Different Vegetation Land Use Monitoring Techniques Using RS and GIS (Case Study: Valley city watershed, Ilam Province). *Journal of the Application of Remote Sensing and GIS in Natural Resources Sciences*, 5(3), 13-28. [In Persian]
8. Azimzadeh, H.R. & Fotouhi, F. (2013). The study on the effects of desert pavement on wind erodibility (Case study: Yazd- Ardakan plain). *Iranian Journal of Range and Desert Reseach*, 20(4), 695-705. DOI: <https://doi.org/10.22092/ijrdr.2014.5809> [In Persian]
9. Baig, M.H.A., Zhang, L., Shuai, T & Tong, Q. (2014) Derivation of a tasselled cap transformation based on Landsat 8 at-satellite reflectance, *Remote Sensing Letters*, 5(5), 423-431. DOI: <https://doi.org/10.1080/2150704X.2014.915434>
10. Balcik, F. B. & Ergene, E. M. (2016). *Determining the impacts of land cover/use categories on land surface temperature using Landsat8-OLI*. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing Spatial Information Sciences Volume XLI-B8, XXIII ISPRS Congress, Prague, Czech Republic. DOI: 10.5194/isprsarchives-XLI-B8-251-2016
11. David, P.A., Staid, M.I., Plescia, J.B. & Johnson, J.R. (2002). *Evaluation of airborne image data for mapping riparian vegetation within the Grand Canyon*. Report 02-470. U.S. Geological Survey, Flagstaff, USA.
12. Fotouhi firoozabad, F. (2022). Presenting Prediction Equation of Soil Erodibility Amount Based on Physicochemical Properties Affecting It (Case Study: Crosssection of Yazd-Ardakan Plain), *Journal of Environmental Erosion Research*, 12(1), 129-144. [In Persian]

13. Fotouhi, F., Azimzadeh, H.R., Talebi, A. & Ekhtesasi, M.R. (2011). Effect of Pavement Cover Variation on Erodibility Factor of USLE Model Using Geostatistics Technique (Case Study: Yazd-Ardakan plain), *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 5(16), 1-12. [In Persian]
14. Fotouhi, F. (2010). *Zonation of the soil erodibility index of USLE in Yazd-Ardakan plain faces (Khezrabad-Elahabad transect)*. M.Sc. Thesis. Faculty of Natural Resources, Yazd University. [In Persian]
15. Ghiasvand Nanji, H., Tashayo, B., Momeni, M., & Yazdanpanah, H. (2021). Modelling the Effective Factors on Temporal and Thermal Island Distribution of Qom applying Tasseled Cap Transformation (TCP). *Geography and Environmental Sustainability*, 11(1), 73-91. DOI: 10.22126/GES.2021.5922.2322 [In Persian]
16. Ghorbani, A. & Sadeghi, V. (2022). Unsupervised change detection of water, soil and vegetation covers using multi-sensor remote sensing images based on Tasseled Cap transformation. *Iranian Journal of EchoHydrology*, 8(4), 1173-1187. [In Persian]
17. Gohari, Z., Ara, H., & Memarian, H. (2019). Comparison of Performance in Image Classification Algorithms of Satellite in Detection of Sarakhs Sandy zones. *Environmental Erosion Research*, 9(2), 19-36. [In Persian]
18. Hakimzadeh, M.A., Mahdavi Ardakani, S.R. Jebali, A. & Esfandiari, M. (2014). Evaluation of soil salinity by using satellite images and statistical methods: A case study of Chah-Afzal area, Ardakan. *The Journal of Geographical Research on Desert Areas*, 3(2), 25-46. [In Persian]
19. Liu, Q., Guo, Y., Liu, G. & Zhao, J. (2014). *Classification of Landsat 8 OLI image using support vector machine with Tasseled Cap Transformation*. Paper presented at the 2014 10th International Conference on Natural Computation (ICNC), 10, 665-669.
20. McCormack, D. E., Young, K. K. & Darby, G. M. (1984). *Rock fragments and the K factor of the Universal Soil Loss Equation*. In: J. D. Nichols, P. L. Brown, and W. J. Grant (Eds.), *Erosion and Productivity of Soils Containing Rock Fragments*. SSSA Special Publication No. 13, Madison, WI. pp. 73-81.
21. Mokhtari, M.H., Adnan, R. & Busu, I. (2013). A new approach for developing comprehensive agricultural drought index using satellite-derived biophysical parameters and factor analysis method. *Natural Hazards*, 65, 1249–1274. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0408-x>
22. Noroozi, A.A., Homaei, M., & Farshad, A. (2014). Estimating Topsoil Salinity from LANDSAT Data: A Comparison between Classic and Spatial Statistics, *Journal of Range and Watershed Management*, 66(4), 609-620. DOI: <https://doi.org/10.22059/jrwm.2014.50034> [In Persian]
23. Potter, C. (2016). Mapping changes in desert pavement surfaces of the lower colorado desert of southern california using landsat time series analysis. *International Journal of Advanced Remote Sensing and GIS*, 5(6), 1747-1754.
24. Rahman, S., & Mesev, V. (2019). Change Vector Analysis, Tasseled Cap, and NDVI-NDMI for Measuring Land Use/Cover Changes Caused by a Sudden Short-Term Severe Drought: 2011 Texas Event. *Remote sensing*, 11(19), 1-21. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs11192217>
25. Sohrabi, H., Ara, H., Ahmadabadi, A. & kianiyan, M.K. (2016). *Comparing the effectiveness of vector machine classification methods and parallel planes of satellite images in preparing the desert pavement*

*map*. The first research congress on the application of modern sciences in geographical studies of Iran, Mashhad. [In Persian]

26. Vidhya, S., Balaji, M., & Kamaraj, V. (2024). Satellite Image Classification using CNN with Particle Swarm Optimization Classifier, *Procedia Computer Science*. 233, 979-987. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.03.287>
27. Zare Chahouki, M.A. (2014). *Data analysis in natural resources research using SPSS software*. Tehran: Publications of Daneshgahi Jahad. [In Persian]