

## **Spatial Simulation of Land Degradation in The Qazvin Plain Using A Frequency Ratio Model**

A. Abolhasani<sup>1</sup>, Gh. R. Zehtabian<sup>2</sup>, H. Khosravi<sup>3\*</sup>, O. Rahmati<sup>4</sup>, E. Heydari Alamdarloo<sup>5</sup>, P. D'odorico<sup>6</sup>

1. Phd Candidate, Desert Control and Management, Department of Reclamation of Arid and Mountains Regions, University of Tehran, Tehran, Iran.
2. Professor, Department of Reclamation of Arid and Mountains Regions, University of Tehran, Tehran, Iran.
3. Associate Professor, Department of Reclamation of Arid and Mountains Regions, University of Tehran, Tehran, Iran.
4. Assistant Professor, Kurdistan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Kurdistan, Iran.
5. Postdoc, Department of Reclamation of Arid and Mountains Regions, University of Tehran, Tehran, Iran.
6. Professor of Ecohydrology and Water Resources, ESPM Department, University of California, Berkeley, USA.

\* Corresponding Author: hakhosravi@ut.ac.ir

Received date: 18/03/2022

Accepted date: 18/06/2022

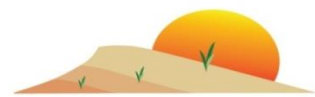
 [10.22034/JDMAL.2022.550268.1379](https://doi.org/10.22034/JDMAL.2022.550268.1379)

### **Abstract**

Although land degradation is a worldwide challenge and a destructive phenomenon, little studies have been done on the application of new numerical methods (data mining and statistically), for spatial simulation of this phenomenon and identification of areas sensitive to land degradation. The aim of this study is to spatially simulate land degradation in the Qazvin plain using the frequency ratio model to identify areas prone to land degradation. For this purpose, using the trend of changes in net primary production during the years 2001 to 2020, the points of occurrence of land degradation in the Qazvin plain were determined. Approximately 70% and 30% of the points were used to prepare the land degradation vulnerability map and validate the model's efficiency, respectively. For this research, 15 parameters affecting land degradation (directly and indirectly) including temperature, rainfall, slope, aspect, elevation, EC and SAR of ground water, ground water level, annual ground water decline, land use, normalized difference vegetation index, normalize difference salinity index, vegetation soil salinity index, normalized difference moisture index, and visible and shortwave infrared drought index, were introduced into the model as predictors factors or independent parameters. Finally, using the area under the ROC curve, the effectiveness of the frequency ratio model for spatial simulation of land degradation was assessed. The map of land degradation susceptibility shows that the areas prone to degradation are located in the northeast, north, northwest, west, southwest, and south of the Qazvin plain, which mainly includes good, moderate and poor rangelands. For the land use parameter, the highest frequency ratio was associated with the sum of good, moderate, and poor rangeland (5.66). The value of  $AUC = 0.7$  indicates the good performance of the frequency ratio model in spatial simulation of land degradation.

**Keywords:** Land degradation; Data mining; Remote sensing; ROC curve; Frequency ratiom





## شبیه‌سازی مکانی تخریب سرزمین با بهره‌گیری از مدل نسبت فراوانی در دشت قزوین

اعظم ابوالحسنی<sup>۱</sup>، غلامرضا زهتابیان<sup>۲</sup>، حسن خسروی<sup>۳\*</sup>، امید رحمتی<sup>۴</sup>، اسماعیل حیدری علمدارلو<sup>۵</sup>، پائولو دی‌اودوریکو<sup>۶</sup>

۱. دانشجوی دکتری مدیریت و کنترل بیابان، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
۲. استاد گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
۳. دانشیار گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
۴. استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کردستان، کردستان، ایران.
۵. پژوهشگر پسادکتری، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
۶. استاد منابع آب و اکوهیدرولوژی، دانشگاه برکلی، کالیفرنیا، ایالات متحده آمریکا.

\* نویسنده مسئول: [hakhosravi@ut.ac.ir](mailto:hakhosravi@ut.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۲۸

doi

[10.22034/JDMAL.2022.550268.1379](https://doi.org/10.22034/JDMAL.2022.550268.1379)

### چکیده

با وجود اینکه تخریب سرزمین به‌عنوان چالش محیط زیستی در سطح جهان مطرح است، بررسی‌های اندکی در به‌کارگیری روش‌های جدید عددی (داده‌کاوی و آماری) برای تعیین مناطق حساس به تخریب انجام شده است. هدف از بررسی حاضر، شبیه‌سازی مکانی تخریب سرزمین در دشت قزوین بهره‌گیری از مدل نسبت فراوانی و تعیین نواحی مستعد تخریب در این دشت است. بدین منظور با بهره‌گیری از روند تغییرات تولید خالص اولیه طی سال‌های ۱۳۸۰-۱۳۹۹، نقاط وقوع تخریب سرزمین در دشت قزوین تعیین شد و به ترتیب ۷۰٪ و ۳۰٪ نقاط برای تهیه نقشه قابلیت تخریب سرزمین و اعتبار سنجی مدل مورد استفاده قرار گرفت. متغیرهای تأثیرگذار (مستقیم و غیرمستقیم) بر تخریب سرزمین شامل دما، بارش، شیب، جهت، ارتفاع، هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم آب زیرزمینی، افت سالانه آب زیرزمینی، تراز آب زیرزمینی، کاربری اراضی، شاخص تفاوت نرمال شده پوشش گیاهی، شاخص تفاوت نرمال شده شوری، شاخص شوری خاک-پوشش گیاهی، شاخص تفاوت نرمال شده رطوبت و شاخص خشکسالی مرئی و مادون قرمز کوتاه، به‌عنوان عامل پیش‌بینی‌کننده (مستقل) به مدل معرفی شد. در پایان، با بهره‌گیری از شاخص سطح زیر منحنی (AUC) کارایی مدل در شبیه‌سازی مکانی تخریب سرزمین ارزیابی شد. نقشه قابلیت تخریب سرزمین نشان داد که مناطق حساس به تخریب در قسمت‌های شمال شرقی، شمال، شمال غربی، غرب، جنوب غربی و جنوب دشت قزوین واقع شده و بیشتر کاربری مراتع خوب، متوسط و فقیر را شامل می‌شود. برای کاربری اراضی، بیشترین مقدار نسبت فراوانی نیز به مجموع کاربری‌های مرتع خوب، متوسط و فقیر (۵/۶۶) اختصاص داشت. مقدار  $AUC = 0.7$  نیز حاکی از کارایی مناسب مدل نسبت فراوانی در شبیه‌سازی مکانی تخریب سرزمین بود.

واژگان کلیدی: تخریب سرزمین؛ داده‌کاوی؛ سنجش از دور؛ منحنی ROC؛ نسبت فراوانی



## ■ مقدمه

تخریب سرزمین مسئله مهم اجتماعی و محیط زیستی در دهه‌های پیش‌رو طبقه‌بندی شده (۱۸) که شناخت فرآیندها و نیروهای محرک آن در مناطق خشک و نیمه خشک به منظور تضمین توسعه پایدار محیط طبیعی لازم و ضروری است (۲۶). تخریب سرزمین به‌عنوان کاهش مداوم ظرفیت تولید زیستی (بیولوژیک) یا اقتصادی زمین تعریف می‌شود (۱) که ارتباط نزدیکی با امنیت غذایی، رفاه جوامع انسانی و توسعه دارد (۱۱). به دلیل تأثیر قابل توجهی که تخریب سرزمین بر تولید غذا، منابع آب، منابع انرژی و خدمات بوم‌نظام (اکوسیستم) دارد، این پدیده به‌عنوان مهمترین چالش در سطح جهان مطرح شده است (۱۲). بررسی‌های مختلف نشان داده‌اند که تخریب سرزمین تحت تأثیر عامل‌های مستقیم و غیرمستقیم متعددی از جمله نوسان اقلیم، تغییر کاربری اراضی، تغییر کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی و سطحی، شوری خاک و تغییرات پوشش گیاهی رخ می‌دهد (۳، ۱۳). شدت پدیده تخریب سرزمین که زیر تأثیر عامل انسانی - محیطی رخ می‌دهد، در مقیاس زمان و مکان، متفاوت است (۱۵). طبق بررسی‌ها، عامل انسانی علاوه بر اینکه با سرعت بیشتری نسبت به عامل طبیعی رخ می‌دهد، دارای شدت تأثیر بیشتری بر وقوع تخریب سرزمین است (۳۰).

پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد که اراضی متعددی با اقلیم‌های مختلف در سطح جهان، در معرض تخریب قرار گرفته‌اند و این مسئله بر اهمیت مقابله با تخریب سرزمین و بیابان‌زایی افزوده است (۲۱، ۲۵). تاکنون روش‌های مختلفی برای ارزیابی، پایش، تهیه نقشه وضع موجود تخریب سرزمین و نیز شبیه‌سازی مکانی این پدیده جهت تعیین مناطق مستعد تخریب بکار گرفته شده است. نتایج پژوهشی که بهره‌گیری از مدل‌های یادگیری ماشین و مطالعات میدانی، به تهیه نقشه خطر تخریب سرزمین در حوزه آبخیز پل‌دوآب در ایران پرداخت، نشان می‌دهد که مطابق با نقشه‌های تولید شده توسط مدل‌های SVM، GLM، MARS و DA به ترتیب ۱۹/۱۶، ۱۹/۲۹، ۲۱/۷۶ و ۲۲/۴۰٪ منطقه در معرض خطر تخریب بسیار بالا قرار دارد. همچنین این پژوهش که بهره‌گیری از سطحی زیر

منحنی ROC به ارزیابی کارایی مدل‌ها پرداخته است، نشان می‌دهد که مدل DA کارایی بالاتری نسبت به سایر مدل‌ها دارد (۱۷). نتایج مطالعه‌ای دیگر که به‌منظور ارزیابی تخریب سرزمین در مراتع منطقه فیروزکوه در ارتفاعات البرز، بهره‌گیری از الگوریتم‌های یادگیری ماشین انجام شد، ۲۰٪ مراتع این منطقه را در وضعیت بحرانی تخریب نشان می‌دهد. این پژوهش همچنین گویای کارایی بسیار خوب مدل جنگل تصادفی در شبیه‌سازی تخریب سرزمین است به‌طوری‌که بر اساس نتایج ROC-AUC این مدل کارایی بهتری نسبت به مدل ماشین بردار پشتیبان و درخت رگرسیون و طبقه‌بندی دارد (۳۲). ارزیابی شدت بیابان‌زایی در منطقه خضراآباد استان یزد که بهره‌گیری از مدل منطق فازی و شاخص‌های آسیب‌پذیری انجام شد، نشان می‌دهد که ۹/۳۵٪ منطقه مورد بررسی در طبقه بسیار شدید بیابان‌زایی قرار دارد و مدل مورد استفاده دارای کارایی مناسبی جهت ارزیابی شدت بیابان‌زایی و تخریب سرزمین است (۲۵). همچنین نتایج مطالعه ارزیابی آسیب‌پذیری تخریب سرزمین در حوضه آبخیز مهارلو-بختگان بهره‌گیری از فرآیند تحلیل شبکه و سامانه اطلاعات جغرافیایی نشان می‌دهد که بیشترین طبقه آسیب‌پذیری در طبقه شدید و عمدتاً با کاربری مرتع است که حدود ۶۴/۳۱٪ از مساحت منطقه را در برمی‌گیرد (۲۱). موضوع حائز اهمیت در پدیده تخریب سرزمین، تعیین به‌موقع و سریع فرآیند تخریب، شناسایی مناطق مستعد تخریب و ارائه راهکارهای مدیریتی مناسب برای جلوگیری از گسترش این پدیده در اکوسیستم‌های شکننده است (۲۱). روش‌های جدید که در سال‌های اخیر به‌منظور تعیین آسیب‌پذیری مناطق مختلف نسبت به پدیده تخریب سرزمین مورد بهره‌برداری قرار گرفته است، بیشتر بر پایه بررسی‌های میدانی و تعیین نقاط وقوع این پدیده با به‌کارگیری خوارزمیک (الگوریتم) یادگیری ماشین بوده است و در زمینه شبیه‌سازی مکانی تخریب سرزمین با بهره‌گیری از مدل نسبت فراوانی که از جمله مدل‌های آماری داده‌کاوی می‌باشد، بررسی انجام نشده است. با توجه به اینکه دشت قزوین در سال‌های اخیر، زیر تأثیر عامل‌های طبیعی و فعالیت‌های انسانی، در وضعیت بحرانی و در

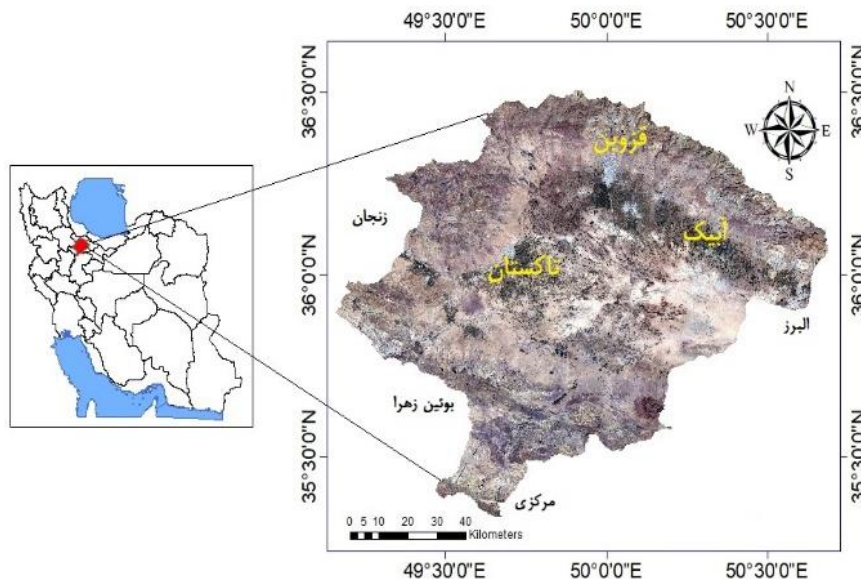
دمای مینیمم و ماکزیمم سالانه دشت به ترتیب حدود  $2^{\circ}\text{C}$  در قسمت‌های شمال شرقی و  $28^{\circ}\text{C}$  در شمال غرب منطقه است (۳۳). این منطقه در دو محدوده زمین‌ساختی البرز مرکزی و آتشفشانی ارومیه- دختر قرار دارد و به همین دلیل ویژگی‌های متفاوتی از نظر زمین‌ساخت و سنگ‌شناسی، نوع و جنس سازندها و ژئومورفولوژی دارد. کوهستان‌های شمالی دشت در زون البرز مرکزی قرار دارد. شیب توپوگرافی در این نواحی گاهی به بیش از  $70^{\circ}$  درجه نیز می‌رسد و این قسمت‌ها را در معرض فرسایش و تخریب قرار می‌دهد. تیپ‌های عمده گیاهی این منطقه شامل *Astragalus glaucacanthus*, *Artemisia siebei*, *Halocnemum Acantholimon* و ... می‌باشد (۷). بر پایه تقسیم‌بندی دومارتن، اقلیم بخش وسیعی از دشت، نیمه‌خشک می‌باشد.

#### روش پژوهش

به‌طور خلاصه روش مورد استفاده در پژوهش حاضر به صورت زیر می‌باشد (شکل ۲).

- (۱) تهیه لایه اطلاعاتی پراکنش تخریب سرزمین
- (۲) تهیه لایه‌های اطلاعاتی متغیرهای تأثیرگذار بر تخریب سرزمین و طبقه‌بندی آنها
- (۳) اعمال مدل نسبت فراوانی و تهیه نقشه قابلیت تخریب سرزمین
- (۴) ارزیابی کارایی مدل نسبت فراوانی در شبیه‌سازی تخریب سرزمین با بهره‌گیری از سطح زیر منحنی

ROC



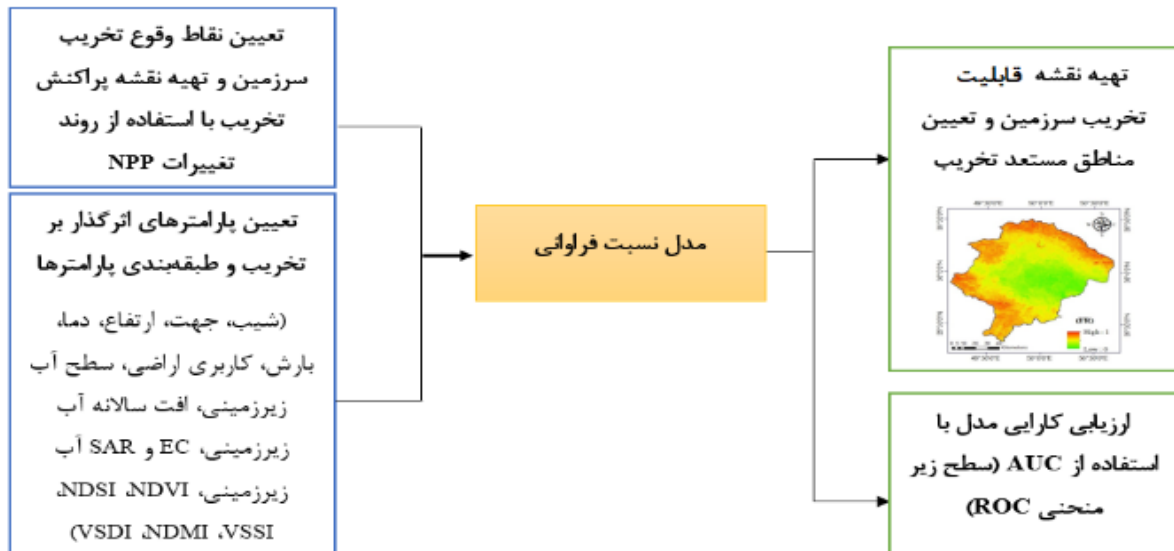
شکل ۱. موقعیت جغرافیایی دشت قزوین

معرض تخریب گرفته است، انجام پژوهشی که بهره‌گیری از شیوه‌های جدید، به تعیین مناطق مستعد تخریب در این دشت بپردازد، لازم و ضروری است. بنابراین هدف کلی در پژوهش حاضر بهره‌گیری از شاخص تولید اولیه خالص و مدل نسبت فراوانی برای شبیه‌سازی مکانی تخریب سرزمین و تعیین ناحیه‌های حساس و مستعد تخریب در محدوده دشت قزوین می‌باشد و در ادامه: (۱) شبیه‌سازی مکانی تخریب سرزمین بهره‌گیری از مدل نسبت فراوانی در دشت قزوین، (۲) استفاده از روند تغییر تولید خالص اولیه برای تعیین نقاط وقوع تخریب سرزمین به‌عنوان شاخصی از این پدیده، (۳) تعیین کارایی مدل مورد استفاده در شبیه‌سازی مکانی تخریب سرزمین با بهره‌گیری از سطح زیر منحنی مورد توجه بوده است.

#### ■ مواد و روش

##### منطقه مورد بررسی

دشت قزوین بین طول‌های شرقی  $49^{\circ} 10'$  و  $50^{\circ} 40'$  و عرض‌های شمالی  $35^{\circ} 20'$  و  $36^{\circ} 30'$  در استان قزوین قرار گرفته است (شکل ۱). ارتفاع حداکثر آن حدود  $2900\text{m}$ ، ارتفاع حداقل  $950\text{m}$  از سطح دریا و مساحت آن حدود  $9500\text{km}^2$  کیلومترمربع است. متوسط بارندگی سالانه دشت از  $210\text{mm}$  در قسمت‌های شرقی تا بیش از  $500\text{mm}$  در قسمت‌های شمال شرقی متغیر است. متوسط



شکل ۲. روند انجام پژوهش

انتخاب شد. ۷۰٪ نقاط وقوع که شامل ۸۴ نقطه بود، برای تهیه نقشه قابلیت تخریب سرزمین و ۳۰٪ نقاط که شامل ۳۶ نقطه بود، برای اعتبار سنجی مورد استفاده قرار گرفت. لازم به ذکر است که برای انتخاب نقاط، اراضی کشاورزی، اراضی شورزار و مرطوب و اراضی بایر که فاقد پوشش گیاهی بودند و یا پوشش گیاهی ناچیزی داشتند، نادیده گرفته شد (شکل ۳).

$$NPP = \sum_{i=1}^{365} GPP - R_m - R_g \quad (1)$$

که  $R_m$  و  $R_g$  به ترتیب تنفس نگهداری و تنفس رشد گیاه و  $GPP$  تولید اولیه ناخالص می‌باشد.

#### متغیرهای تأثیرگذار بر تخریب سرزمین

در مناطق مختلف بسته به عامل اقلیم، خاکشناسی، ژئومورفولوژی و ...، عامل تأثیرگذار بر تخریب سرزمین و بیابان‌زایی متفاوت است. برای پی بردن به اهمیت هر یک در وقوع تخریب سرزمین و بیابان‌زایی مدل‌های مختلفی از جمله فائو-یونپ، آسود، گلاسود، مدالوس و IMDPA ارائه شده است.

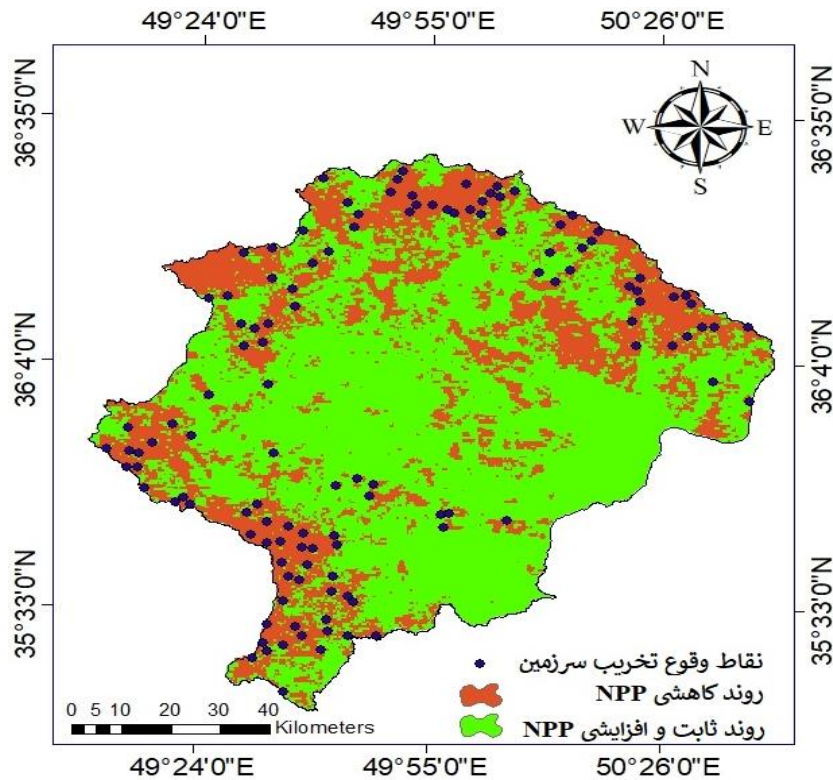
#### داده‌ها

به‌منظور تعیین تغییرات تولید اولیه خالص، از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده مودیس استفاده شد. لایه اطلاعاتی کاربری اراضی با بهره‌گیری از نقشه سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور تهیه شد و با بهره‌گیری از پایگاه گوگل ارث تا حد امکان مورد اصلاح قرار گرفت. همچنین برای تهیه دیگر لایه‌های اطلاعاتی عامل‌های تأثیرگذار بر تخریب سرزمین، تصاویر ماهواره لندست ۸، سنجنده OLI برای ماه‌های خرداد تا مهر سال ۱۳۹۹ با شماره ردیف ۳۵ و شماره گذر ۱۶۶، بهره‌گیری از سامانه ابری google earth engine مورد استفاده قرار گرفت.

#### لایه اطلاعاتی پراکنش تخریب سرزمین

به‌منظور اجرای مدل نسبت فراوانی در محیط GIS، ابتدا نقشه پراکنش نقاط تخریب در منطقه با بهره‌گیری از تصاویر سالانه تولید خالص اولیه ( $NPP^1$ )، محصول MOD17A3 تهیه شد (رابطه ۱). بدین منظور روند تغییر این شاخص طی سال‌های ۱۳۹۸-۱۳۷۸ در نرم‌افزار TerrSet و بهره‌گیری از آزمون روند من‌کنندال به‌دست آمد. مناطقی که تغییرات  $NPP$  دارای روند کاهشی بود به‌عنوان مناطق تخریب‌یافته در نظر گرفته شد و ۱۲۰ نقطه به‌صورت تصادفی توسط نرم‌افزار ArcGIS در این نواحی

<sup>1</sup> Net primary production



شکل ۳. نقشه پراکنش نقاط وقوع تخریب سرزمین

میانگین سالانه EC و SAR، افت و سطح آب زیرزمینی در سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۸، میانگین ۱۰ ساله هر متغیر برای چاه‌های واقع در محدوده مطالعاتی تعیین شد. همچنین میانگین سالانه دما و مجموع بارش سالانه هریک از سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۸ محاسبه شد و در پایان میانگین ۱۰ ساله دما و بارش تعیین شد. درونیابی متغیرهای هواشناسی و آب زیرزمینی با روش IDW<sup>۵</sup> در سامانه اطلاعات جغرافیایی انجام شد و لایه‌های اطلاعاتی مذکور تهیه شد. برای تهیه لایه‌های اطلاعاتی شیب، جهت و ارتفاع، DEM ۳۰ متری محدوده مورد نظر استفاده گردید. لایه اطلاعاتی کاربری اراضی بهره‌گیری از نقشه پایه سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور تهیه شد و بهره‌گیری از گوگل ارث و کارشناسان آشنا به منطقه، تا حد امکان مورد بازبینی قرار گرفت و تصحیح شد. همچنین جهت تهیه لایه‌های اطلاعاتی شاخص پوشش گیاهی، شاخص رطوبت سطح و شوری خاک، تصاویر ماهواره لندست ۸، سنجنده OLI

در تمام مدل‌های ارائه شده، بیشتر معیارهای اقلیم، پوشش گیاهی، خاک، آب و مدیریت اراضی به‌عنوان عامل کلیدی تعریف شده‌اند. در پژوهش حاضر نیز متغیرهای دما و بارش (۲۱)، شیب، جهت، ارتفاع (۱۷)، هدایت الکتریکی (EC<sup>۱</sup>) و نسبت جذب سدیم (SAR<sup>۲</sup>) آب زیرزمینی، افت سالانه آب زیرزمینی، تراز آب زیرزمینی (۹)، کاربری اراضی (۱۷)، شاخص تفاوت نرمال شده پوشش گیاهی<sup>۳</sup> (۱۸)، شاخص تفاوت نرمال شده شوری<sup>۴</sup> (۲)، شاخص شوری خاک-پوشش گیاهی<sup>۵</sup> (۲۲)، شاخص تفاوت نرمال شده رطوبت خاک<sup>۶</sup> (۲۱، ۲۸) و شاخص خشکسالی مرئی و مادون قرمز کوتاه<sup>۷</sup> (۵) به‌عنوان عوامل پیش‌بینی‌کننده و پارامترهای اثرگذار بر تخریب سرزمین در نظر گرفته شدند. به‌منظور تهیه نقشه متغیرهای هواشناسی و کمیت و کیفیت منابع آب زیرزمینی به‌ترتیب از داده‌های ایستگاه‌های همدیدی (سینوپتیک) سازمان هواشناسی و شرکت مدیریت منابع آب ایران استفاده شد. بهره‌گیری از

5 Vegetation soil salinity index (VSSI)

6 Normalized difference moisture index (NDMI)

7 Visible and shortwave infrared drought index (VSDI)

8 Inverse distance weighting

1 Electrical conductivity

2 Sodium absorption ration

3 Normalized difference vegetation index (NDVI)

4 Normalized difference salinity index (NDSI)

$$NDSI = (B4 - B5)/(B5 + B4) \quad (۳)$$

$$VSSI = (2 \times B3) - 5 \times (B4 + B5) \quad (۴)$$

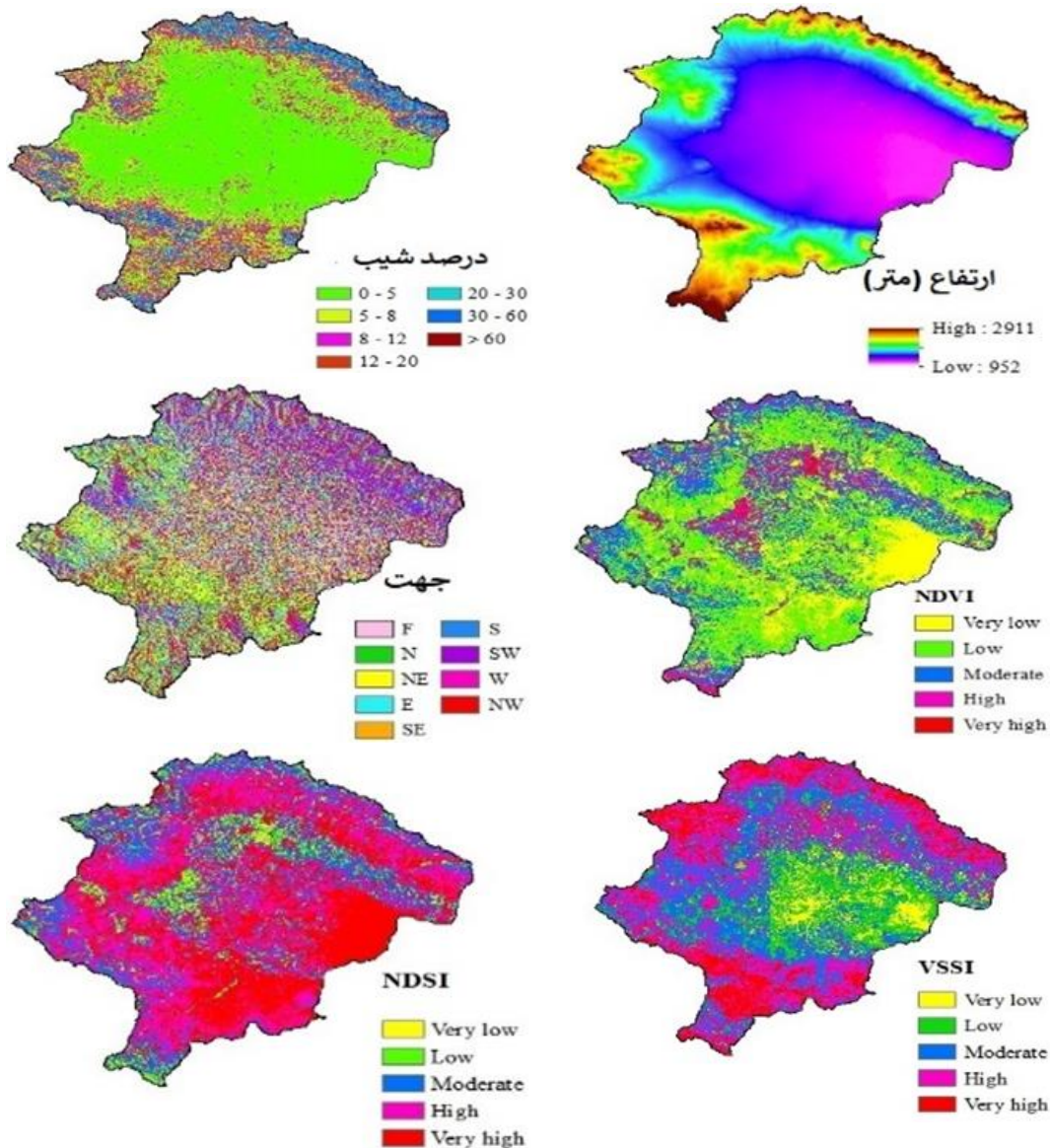
$$NDMI = (B5 - B6)/(B5 + B6) \quad (۵)$$

$$VSDI = (B6 - B2)/(B4 - B2) \quad (۶)$$

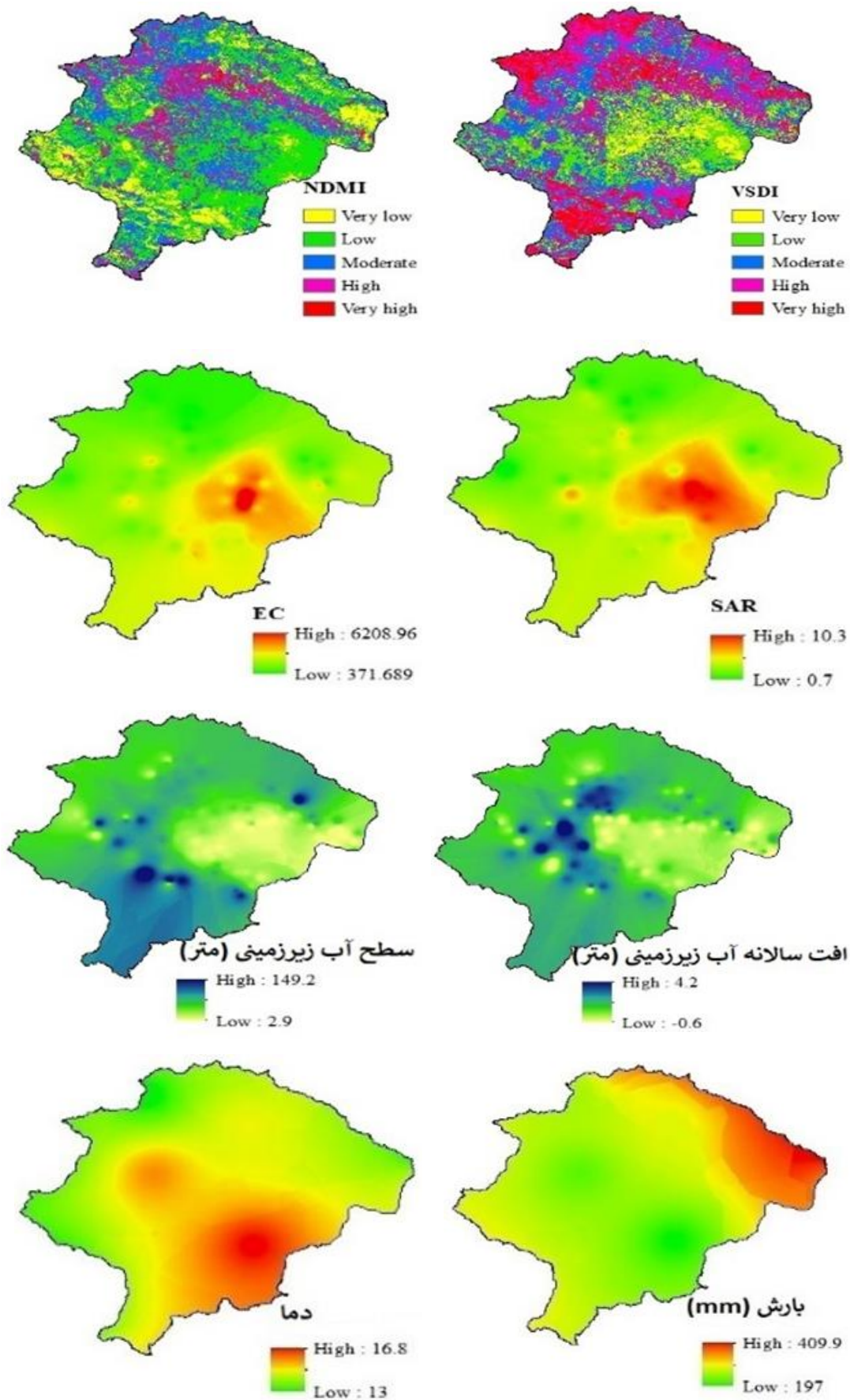
که در آنها: B3 و B4 به ترتیب باند طیفی قرمز و باند طیفی سبز می‌باشد. B5 و B6 به ترتیب باند مادون قرمز نزدیک و باند مادون قرمز طول موج کوتاه باند ۶، و B2 باند طیفی آبی را نشان می‌دهد.

برای ماه‌های خرداد تا مهر سال ۱۳۹۹ با شماره ردیف ۳۵ و شماره گذر ۱۶۶، در فضای ابری Google Earth Engine اخذ شد (شکل ۴). طبقه‌بندی نقشه‌ها بر اساس روش Natural break در نرم‌افزار ArcGIS انجام شد. این روش بهترین آرایش مقادیر را در چندین طبقه تعیین می‌کند به‌طوری‌که واریانس بین طبقه را به حداکثر می‌رساند و واریانس درون طبقه را به حداقل می‌رساند (۱۰). در پایان تمام لایه‌های اطلاعاتی با پیکسل سایز ۳۰×۳۰ ذخیره شد. نحوه استخراج شاخص‌های حاصل از تصاویر ماهواره‌ای در رابطه‌های ۲ تا ۶ ارائه شده است.

$$NDVI = (B5 - B4)/(B5 + B4) \quad (۲)$$

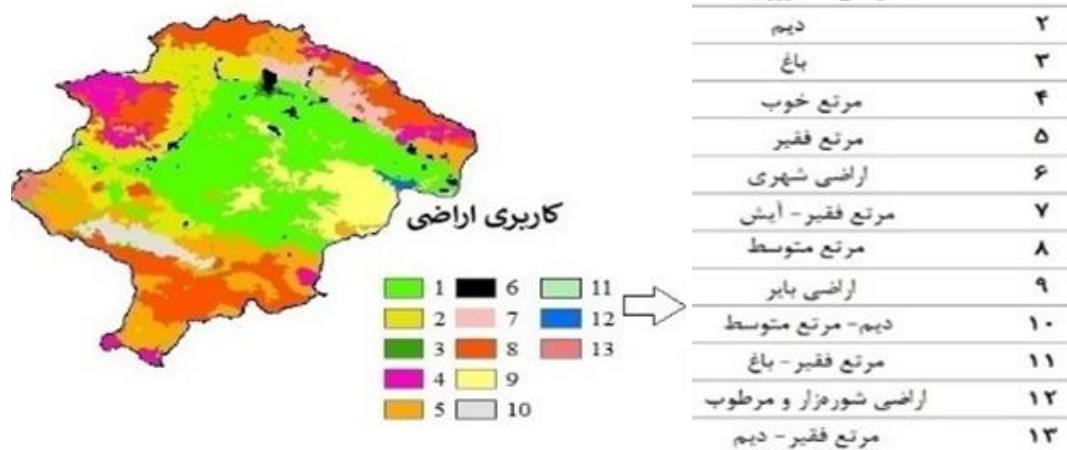


شکل ۴. متغیرهای تأثیرگذار بر تخریب سرزمین



ادامه شکل ۴. متغیرهای تأثیرگذار بر تخریب سرزمین





ادامه شکل ۴. متغیرهای تأثیرگذار بر تخریب سرزمین

در این رابطه  $N_{pix}(SX_i)$  تعداد پیکسل‌هایی با تخریب سرزمین در طبقه  $i$  معیار  $X$  است.  $N_{pix}(X_j)$  تعداد پیکسل‌های واقع در معیار  $X_j$ ،  $m$  تعداد طبقه‌های واقع در معیار  $X_i$ ،  $n$  تعداد معیارها در منطقه مطالعاتی و  $FR$  نسبت فراوانی است (۲۴).

#### کارایی مدل نسبت فراوانی جهت شبیه‌سازی تخریب سرزمین

به‌منظور ارزیابی کارایی مدل نسبت فراوانی جهت شبیه‌سازی تخریب سرزمین در دشت قزوین، بهره‌گیری از ۳۰٪ نقاط تخریب، معادل ۳۶ نقطه، که به‌عنوان مجموعه داده‌های آزمایش و یا اعتبارسنجی، به‌طور تصادفی انتخاب شدند و نیز ۳۶ نقطه در مناطق فاقد تخریب (شکل ۵)، AUC یا سطح زیر منحنی ROC در نرم‌افزار MedCalc محاسبه شد. این منحنی یک نمایه گرافیکی از موازنه بین خطای منفی و مثبت برای هر مقدار احتمالی از برش‌ها است (۲۷، ۳۱). منحنی ROC و سطح زیر منحنی AUC حاکی از مقدار پیش‌بینی سامانه از طریق توصیف توانایی آن در تخمین درست وقوع و عدم وقوع پدیده مورد نظر که در پژوهش حاضر تخریب سرزمین است، می‌باشد (۲۳). نحوه محاسبه مؤلفه افقی یا نرخ مثبت کاذب منحنی که با  $X$  نشان داده می‌شود و مؤلفه قائم یا نرخ مثبت صحیح که با  $Y$  نشان داده می‌شود، در زیر ارائه شده است (رابطه ۸ و ۹).

#### مدل نسبت فراوانی

برای اعمال مدل نسبت فراوانی، طبقه‌بندی هر یک از متغیرها و تعیین سطح هر طبقه بهره‌گیری از نرم‌افزار GIS تعیین و فراوانی تخریب سرزمین در هر طبقه بهره‌گیری از روابط مربوطه در اکسل محاسبه شد. در نهایت نقشه قابلیت تخریب سرزمین بهره‌گیری از مدل نسبت فراوانی و ۷۰٪ نقاط وقوع تخریب در محیط ArcGIS تهیه گردید. نسبت فراوانی عبارت است از نسبت درصد مساحت یا نقاط تخریب سرزمین به درصد مساحت یا پیکسل‌های هر طبقه از متغیرهای تأثیرگذار بر تخریب. به‌عبارتی می‌توان گفت که نسبت فراوانی عبارت است از احتمال وقوع تخریب سرزمین به عدم وقوع آن برای یک عامل (۱۴). برای اجرای مدل، ابتدا درصد مساحت هر طبقه از متغیرهای تأثیرگذار و نیز درصد نقاط تخریب را در هر طبقه از متغیرها محاسبه می‌کنیم. در پایان وزن هر طبقه که حاصل نسبت درصد تخریب به درصد مساحت طبقه مورد نظر است، به دست می‌آید (رابطه ۷) و وزن پایانی هر پیکسل برابر است با مجموع وزن‌های هر طبقه در آن پیکسل خاص (رابطه ۸). پتانسیل تخریب سرزمین پژوهش حاضر با LDI نشان داده شده است.

$$FR = \frac{[N_{pix}(SX_i) / \sum_{i=1}^m SX_i]}{[N_{pix}(X_j) / \sum_{j=1}^n N_{pix} X_j]} \quad (7)$$

$$LDI = \sum_{j=i}^n FR \quad (8)$$

وقوع تخریب، نقشه قابلیت تخریب سرزمین و نیز نقشه طبقه قابلیت تخریب در ۵ طبقه خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد بهره‌گیری از روش Natural break تهیه شد (شکل ۶). مطابق با نتایج حاصل شده بیشترین قابلیت تخریب سرزمین در دشت قزوین مربوط به قسمت‌های شمال شرق، شمال، شمال غرب، بخش‌هایی از غرب منطقه، جنوب و جنوب غرب منطقه می‌باشد. این ناحیه‌ها که بیشتر کاربری مرتع با درجه خوب، متوسط و فقیر را شامل می‌شود، اغلب در ارتفاعات و مناطق شیب‌دار دشت با بارش‌های نسبتاً زیاد واقع شده‌اند و در اثر بهره‌برداری بیش از حد در معرض فرسایش و تخریب قرار دارند.

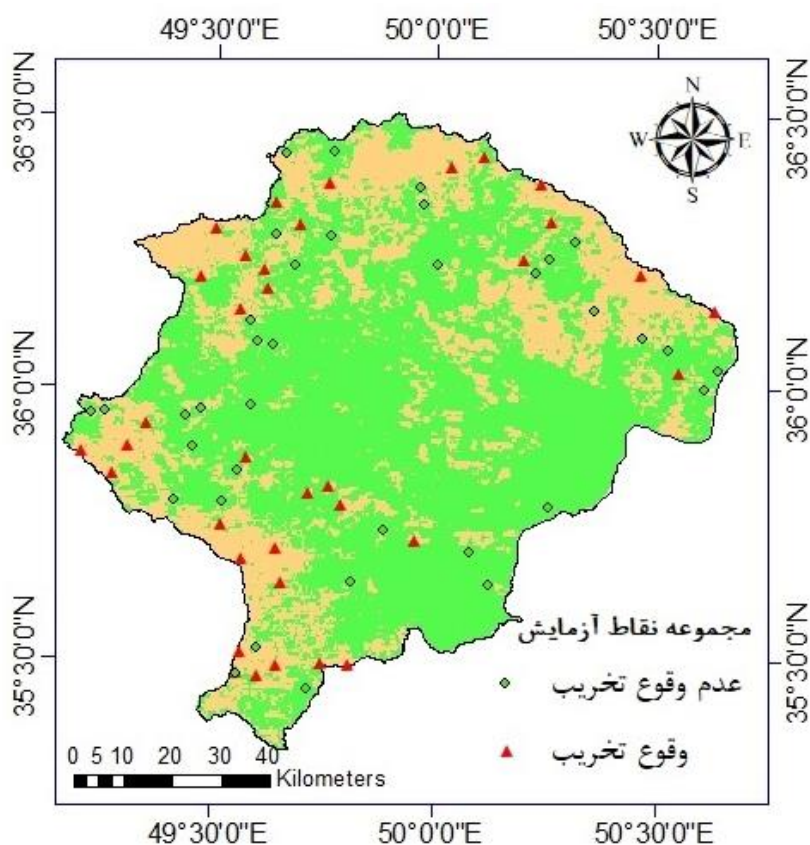
$$X = 1 - \frac{TN}{TN + FP} \quad (8)$$

$$Y = \frac{TP}{TP + FN} \quad (9)$$

در این روابط TP برابر با نرخ مثبت صحیح، TN نرخ منفی صحیح، FP نرخ مثبت کاذب و FN نرخ منفی کاذب است. نحوه تفسیر مقادیر AUC در جدول ۱ نشان داده شده است.

### نتایج و بحث

با اعمال ضرایب به‌دست‌آمده برای هر طبقه از عامل‌های تأثیرگذار بر تخریب سرزمین و محاسبه مقدار پایانی احتمال



شکل ۵. مجموعه نقاط اعتبار سنجی

جدول ۱. توصیف مقادیر AUC

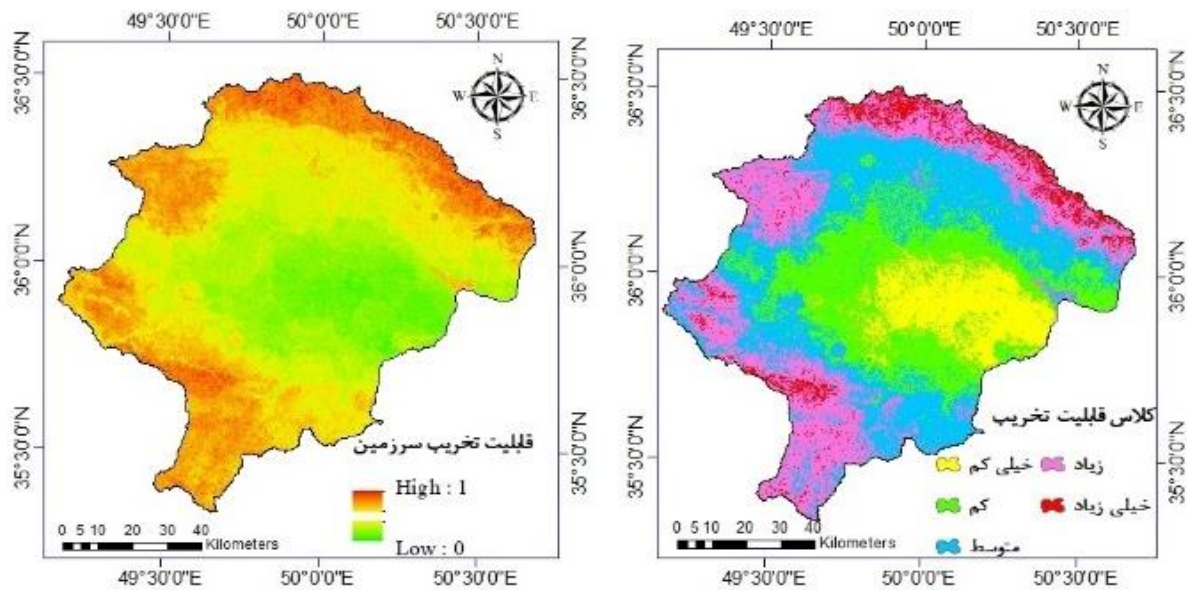
کارایی آزمون	مقادیر AUC
ضعیف	۰/۵ - ۰/۶
متوسط	۰/۶ - ۰/۷
خوب	۰/۷ - ۰/۸
خیلی خوب	۰/۸ - ۰/۹
عالی	۰/۹ - ۱

(جدول ۳)، نشان می‌دهد که بیشترین نسبت فراوانی به دو متغیر شیب با مقدار ۱۴/۵۵ و کاربری اراضی با مقدار ۱۴/۲۲ اختصاص دارد. علاوه بر تأثیر مستقیم عامل شیب بر تخریب اراضی و فرسایش، عدم رعایت اصول صحیح مرتعداری و در نظر نگرفتن ظرفیت برد مراتع که بیشتر در قسمت‌های شیب‌دار و مرتفع استان واقع شده‌اند، موجب شده که این دو متغیر نقش زیادی در تخریب سرزمین استان قزوین داشته باشند. برای معیار شیب، بیشترین مقدار نسبت فراوانی در طبقه شیب‌های بیشتر از ۳۰٪ و کمترین آن در طبقه صفر تا ۵٪ است. فرسایش خاک و تخریب اراضی به‌طور مستقیم با شیب زمین در ارتباط است و با افزایش شیب، شدت فرسایش و تخریب نیز افزایش می‌یابد. علاوه بر آن، شیب‌های بیشتر از ۳۰٪ در دشت قزوین عمدتاً به اراضی مرتعی و دیم اختصاص دارد.

در واقع چرای بی‌رویه و نادیده گرفتن ظرفیت اکولوژیک مراتع که منجر به تخریب پوشش گیاهی و در پی آن تخریب خاک و در نهایت فرسایش می‌گردد، از جمله مهمترین عوامل تخریب سرزمین و بیابان‌زایی محسوب می‌شود (۱۶). با تخریب پوشش گیاهی در این نواحی که نقش مهمی در حفظ پایداری خاک دارد و در اثر وقوع بارش‌های زیاد و در نتیجه اشکال مختلف فرسایش آبی، مراتع دشت قزوین در معرض تخریب سرزمین قرار گرفته‌اند.

بیشترین طبقه تخریب سرزمین در دشت قزوین نیز به ترتیب به طبقه‌های متوسط و زیاد با وسعت ۳۲/۹۱ و ۲۶/۳۳٪ اختصاص دارد (جدول ۲).

یافته‌های رابطه مکانی بین تخریب سرزمین و طبقه‌های مختلف متغیرهای تأثیرگذار بر این پدیده



شکل ۶. نقشه قابلیت و طبقه قابلیت تخریب سرزمین با بهره‌گیری از مدل نسبت فراوانی

جدول ۲. درصد مساحت طبقه‌های مختلف قابلیت تخریب سرزمین در دشت قزوین

درصد مساحت	کلاس تخریب
۱۱/۶۷	خیلی کم
۲۴/۱۴	کم
۳۲/۹۱	متوسط
۲۶/۳۳	زیاد
۹/۴۹	خیلی زیاد

نادیده گرفتن ظرفیت مراتع و بهره‌برداری بیش از حد از آن‌ها، منجر به کاهش بیوماس گیاهی و به تبع آن فرسایش خاک و افزایش بیابان‌زایی می‌شود (۴). اراضی دیم به‌ویژه آن دسته اراضی که زیر کشت غلات هستند نیز به دلیل رعایت نکردن استانداردهای صحیح کشت، نقش عمده‌ای در فرسایش خاک و تخریب اراضی دارند (۶، ۲۰). با توجه به نقشه کاربری اراضی دشت قزوین و نیز نقشه طبقه‌بندی قابلیت تخریب سرزمین، این کاربری در طبقه‌بندی قابلیت تخریب متوسط قرار دارد. در بررسی نقش متغیرهای کاربری اراضی، مشخص شد که مجموع سه طبقه مرتع خوب، مرتع متوسط و مرتع فقیر با مقدار ۵/۶۶ بیشترین نسبت فراوانی را دارد. اراضی مرتعی دشت قزوین که در مناطق مرتفع و پربارش دشت واقع شده است در نتیجه چرای دام، لگدکوبی خاک و بهره‌برداری بیش از حد، مستعد فرسایش آبی و در نهایت تخریب سرزمین می‌باشند که پژوهش مروری بر عوامل مؤثر بر فرسایش آبی خاک در ایران این نتیجه را تأیید می‌کند (۶). بنابراین اقدامات مدیریتی جهت بهبود شرایط مراتع، می‌تواند در کاهش شدت تخریب سرزمین در دشت قزوین مفید باشد. شبیه‌سازی اثر عملیات اصلاح و احیای مراتع بر هدررفت خاک بهره‌گیری از مدل RUSLE نیز نشان می‌دهد که عملیات اصلاح مراتع از جمله بذرکاری و کپه‌کاری می‌تواند فرسایش خاک را به مقدار قابل توجهی کاهش دهد (۱۹). برای معیار ارتفاع، بیشترین نسبت فراوانی در طبقه‌های ارتفاعی بیش از ۲۰۰۰m اتفاق افتاده است. عامل ارتفاع نه‌تنها به‌طور مستقیم در تکامل خاک نقش دارد بلکه متغیرهای مهم جوی از جمله دما و بارش را در تأثیر خود قرار می‌دهد و به‌عنوان متغیرهای تغییردهنده اقلیم در سطح ناحیه‌ای و عامل پایه در تخریب سرزمین محسوب می‌شود. برای معیار جهت، بیشترین مقدار نسبت فراوانی در طبقه غرب اتفاق افتاده است. جهت‌های مختلف جغرافیایی به دلیل نقش مهمی که در میزان رطوبت دریافتی، تحول خاک و استقرار پوشش گیاهی دارند، در تخریب و فرسایش خاک و اراضی نیز تأثیرگذار می‌باشند. در بررسی نقش متغیرهای دما و بارش به‌ترتیب طبقه‌های کمتر از ۱۴°C و ۳۰۰-۳۵۰mm دارای بیشترین نسبت

فراوانی است که با عامل ارتفاع و شیب نیز در ارتباط می‌باشد. در واقع با افزایش ارتفاع و شیب و در نتیجه کاهش درجه حرارت و افزایش بارش، اشکال مختلف فرسایش و تخریب رخ می‌دهد (۲۳). طبقه کمتر از ۲۰۰۰mho/cm برای پارامتر EC و طبقه کمتر از ۲ برای پارامتر SAR دارای بیشترین نسبت فراوانی بودند. عمده چاه‌های پیرومتری دشت قزوین در قسمت مرکزی دشت واقع شده است که پس از تعیین میانگین ۱۰ ساله EC و SAR درونیایی متغیرهای مذکور صورت گرفت. به‌طور کلی مطابق با نتایج حاصل از مدل نسبت فراوانی، نقش متغیرهای EC و SAR در تخریب سرزمین دشت قزوین چندان قابل توجه نمی‌باشد. همچنین طبقه ۰/۶m تا ۱/۶m در متغیر افت سالانه آب زیرزمینی و طبقه بیشتر از ۱۲۰m برای فاکتور سطح آب زیرزمینی، بیشترین مقدار نسبت فراوانی را دارند. نتایج بررسی بوعلی و همکاران نیز نشان می‌دهد که افت تراز سطح آب زیرزمینی از جمله متغیرهای مهم در توسعه بیابان‌زایی و تخریب سرزمین است (۹). در رابطه با اثر عامل شوری بر تخریب سرزمین نتایج نشان می‌دهد که طبقه ۰/۸-۰/۶ در متغیر NDSI و طبقه ۱-۰/۸ در متغیر VSSI بیشترین نسبت فراوانی را دارد. زیاد بودن شوری خاک در دشت قزوین، دیگر عامل مؤثر بر تخریب سرزمین است (۲۰). طبقه ۰/۶-۰/۴ و نیز ۰/۴-۰/۲ در متغیر NDVI، طبقه صفر تا ۰/۲ در متغیر NDMI و طبقه ۱-۰/۸ در متغیر VSDD نیز دارای بیشترین مقدارهای نسبت فراوانی هستند که نشان می‌دهد کاهش پوشش گیاهی، کاهش رطوبت خاک و افزایش خشکی خاک منجر به توسعه تخریب سرزمین می‌گردد. مطالعات گذشته نشان می‌دهد که مقدار رطوبت خاک و نیز درصد تراکم پوشش گیاهی از مهمترین عوامل تأثیرگذار بر فرسایش خاک است که به‌عنوان یکی از فرآیندهای تخریب سرزمین به شمار می‌رود (۸).

لازم به ذکر است که طبقه‌بندی متغیرهای تأثیرگذار، مطابق با نظر پژوهشگران در نرم‌افزار GIS تعیین می‌شود و در بررسی‌های مختلف و حتی منطقه مطالعاتی یکسان، قابل تغییر است.

جدول ۳. رابطه مکانی قابلیت تخریب سرزمین و متغیرهای تأثیرگذار بر تخریب در دشت قزوین

متغیرهای تأثیرگذار بر تخریب	طبقه	تعداد پیکسل در هر درصد پیکسل در هر		تعداد نقاط تخریب درصد نقاط تخریب در		نسبت فراوانی
		طبقه	طبقه	در هر طبقه	هر طبقه	
NDSI	صفر تا ۰/۲	۳۱۷۰۵۳	۲/۹۹	۲	۲/۳۸	۰/۸
	۰/۲ - ۰/۴	۸۳۰۷۷۷	۷/۸۴	۳	۳/۵۷	۰/۴۶
	۰/۴ - ۰/۶	۲۱۴۶۶۰۷	۲۰/۲۷	۲۰	۲۳/۸۱	۱/۱۷
	۰/۶ - ۰/۸	۳۶۲۳۹۵۹	۳۴/۲۲	۲۵	۴۱/۶۷	۱/۲۲
	۰/۸ - ۱	۳۶۷۱۱۸۹	۳۴/۶۶	۲۴	۲۸/۵۷	۰/۸۲
مجموع		۱۰۵۸۹۵۸۵	۱۰۰	۸۴	۱۰۰	۴/۴۷
VSSI	صفر تا ۰/۲	۷۷۵۴۸۲	۷/۳۲	۱	۱/۱۹	۰/۱۶
	۰/۲ - ۰/۴	۱۸۶۲۲۲۵	۱۷/۵۹	۱	۱/۱۹	۰/۰۷
	۰/۴ - ۰/۶	۳۱۷۹۴۲۹	۳۰/۰۲	۲۳	۲۷/۳۸	۰/۹۱
	۰/۶ - ۰/۸	۳۱۷۲۴۵۱	۲۹/۹۶	۳۱	۳۶/۹۰	۱/۲۳
	۰/۸ - ۱	۱۵۹۹۹۹۸	۱۵/۱۱	۲۸	۳۳/۳۳	۲/۲۱
مجموع		۱۰۵۸۹۵۸۵	۱۰۰	۸۴	۱۰۰	۴/۵۸
NDVI	صفر تا ۰/۲	۲۲۲۳۹۷۲	۲۱	۱۲	۱۴/۲۹	۰/۶۸
	۰/۲ - ۰/۴	۴۳۸۸۸۹۶	۴۱/۴۵	۴۰	۴۷/۶۲	۱/۱۵
	۰/۴ - ۰/۶	۲۵۶۵۲۸۳	۲۴/۲۲	۲۸	۳۳/۳۳	۱/۳۸
	۰/۶ - ۰/۸	۱۰۲۲۵۶۰	۹/۶۶	۱	۱/۱۹	۰/۱۲
	۰/۸ - ۱	۳۸۸۸۷۴	۳/۶۷	۳	۳/۵۷	۰/۹۷
مجموع		۱۰۵۸۹۵۸۵	۱۰۰	۸۴	۱۰۰	۴/۳۰
NDMI	صفر تا ۰/۲	۱۴۴۱۶۵۴	۱۳/۶۱	۱۷	۲۰/۲۴	۱/۴۹
	۰/۲ - ۰/۴	۴۴۳۶۵۲۴	۴۱/۸۹	۳۰	۳۵/۷۱	۰/۸۵
	۰/۴ - ۰/۶	۲۹۸۳۹۵۴	۲۸/۱۷	۳۱	۳۶/۹۰	۱/۳۱
	۰/۶ - ۰/۸	۱۲۸۸۶۴۱	۱۲/۱۶	۴	۴/۷۶	۰/۳۹
	۰/۸ - ۱	۴۳۸۸۱۲	۴/۱۴	۲	۲/۳۸	۰/۵۷
مجموع		۱۰۵۸۹۵۸۵	۱۰۰	۸۴	۱۰۰	۴/۶۱
VSDI	صفر تا ۰/۲	۸۹۹۶۹۰	۸/۴۹	۱	۱/۱۹	۰/۱۴
	۰/۲ - ۰/۴	۲۳۳۰۹۲۴	۲۲/۰۱	۷	۸/۳۳	۰/۳۸
	۰/۴ - ۰/۶	۳۰۸۶۳۶۷	۲۹/۱۴	۳۴	۴۰/۴۷	۱/۳۹
	۰/۶ - ۰/۸	۲۷۶۶۴۴۳	۲۶/۱۲	۲۴	۲۸/۵۷	۱/۰۹
	۰/۸ - ۱	۱۵۰۶۱۶۱	۱۴/۲۲	۱۸	۲۱/۴۲	۱/۵۱
مجموع		۱۰۵۸۹۵۸۵	۱۰۰	۸۴	۱۰۰	۴/۵۱
جهت	مسطح	۶۶۴۱۰۱	۶/۲۷۱	۱	۱/۱۹	۰/۱۹
	شمال	۹۸۱۲۷۷	۹/۲۶۶	۱۱	۱۳/۱۰	۱/۴۱
	شمال شرق	۱۴۳۵۷۴۶	۱۳/۵۵۸	۱۰	۱۱/۹۰	۰/۸۸
	شرق	۱۳۹۳۹۵۵	۱۳/۱۶۳	۶	۷/۱۴	۰/۵۴
	جنوب شرق	۱۳۲۵۱۸۶	۱۲/۵۱۴	۱۴	۱۶/۶۷	۱/۳۳
	جنوب	۱۴۸۴۳۰۹	۱۴/۰۱۷	۱۱	۱۳/۱۰	۰/۹۳
	جنوب غرب	۱۲۹۴۹۴۹	۱۲/۲۲۹	۸	۹/۵۲	۰/۷۸
		۱۰۴۳۵۹۶		۱۵	۱۷/۸۶	۱/۸۱

ادامهٔ جدول ۳. رابطه مکانی قابلیت تخریب سرزمین و متغیرهای تأثیرگذار بر تخریب در دشت قزوین

نسبت فراوانی	تعداد نقاط تخریب در هر طبقه		تعداد پیکسل در هر درصد پیکسل در هر طبقه		طبقه	متغیرهای تأثیرگذار بر تخریب
	هر طبقه	در هر طبقه	طبقه	طبقه		
۱/۰۴	۹/۵۲	۸	۹/۸۵۵	۹۶۶۴۶۶	غرب	جهت
۸/۹۲	۱۰۰	۸۴	۹/۱۲۷	۱۰۵۸۹۵۸۵	شمال غرب	
			۱۰۰			مجموع
۰/۴۱	۲۱/۴۳	۱۸	۵۲/۱۹	۵۵۲۶۴۷۸	صفر تا ۵٪	
۱/۰۲	۱۴/۲۹	۱۲	۱۴/۰۴	۱۴۸۶۹۰۸	۵-۸٪	شیب
۱/۴۲	۱۵/۴۸	۱۳	۱۰/۵۷	۱۱۱۹۰۲۱	۸-۱۲٪	
۱/۴۳	۱۵/۴۸	۱۳	۱۰/۷۹	۱۱۴۳۰۷۱	۱۲-۱۵٪	
۱/۹۷	۱۳/۱۰	۱۱	۶/۶۵	۷۰۳۷۰۱	۱۵-۳۰٪	
۳/۳۹	۱۷/۸۶	۱۵	۵/۲۸	۵۵۸۶۲۵	۳۰-۶۰٪	
۴/۸۷	۲/۳۸	۲	۰/۴۹	۵۱۷۸۱	>۶۰٪	
۱۴/۵۵	۱۰۰	۸۴	۱۰۰	۱۰۵۸۹۵۸۵		مجموع
صفر	صفر	صفر	صفر	۱۶	<۱۰۰۰	
۰/۳۴	۲۰/۲۴	۱۷	۶۰	۶۳۵۴۲۱۱	۱۰۰۰-۱۵۰۰	ارتفاع
۱/۸۰	۵۳/۵۷	۴۵	۲۹/۸۱	۳۱۵۶۸۵۶	۱۵۰۰-۲۰۰۰	
۲/۵۶	۲۵	۲۱	۹/۷۷	۱۰۳۴۴۸۸	۲۰۰۰-۲۵۰۰	
۲/۸۶	۱/۱۹	۱	۰/۴۲	۴۴۰۱۴	>۲۵۰۰	
۷/۵۶	۱۰۰	۸۴	۱۰۰	۱۰۵۸۹۵۸۵		مجموع
۰/۲۵	۷/۱۴	۶	۲۸/۳	۲۹۹۶۹۲۹	<۲۵۰	
۱/۱۵	۵۸/۳۳	۴۹	۵۰/۶	۵۳۵۵۰۸۴	۲۵۰-۳۰۰	
۱/۷۲	۱۷/۸۶	۱۵	۱۰/۴	۱۰۹۶۳۱۰	۳۰۰-۳۵۰	بارش
۱/۵۵	۱۶/۶۷	۱۴	۱۰/۸	۱۱۴۱۲۶۲	>۳۵۰	
۴/۶۸	۱۰۰	۸۴	۱۰۰	۱۰۵۸۹۵۸۵		مجموع
۱/۴۷	۱۶/۶۷	۱۴	۱۱/۳۷	۱۲۰۳۶۹۲	<۱۴	
۱/۳۲	۶۴/۲۹	۵۴	۴۸/۵۴	۵۱۴۰۱۷۵	۱۴-۱۵	
۰/۴۸	۱۴/۲۹	۱۲	۲۹/۸۰	۳۱۵۵۲۹۶	۱۵-۱۶	دما
۰/۴۶	۴/۷۶	۴	۱۰/۳۰	۱۰۹۰۴۲۲	>۱۶	
۳/۷۳		۸۴		۱۰۵۸۹۵۸۵		مجموع
۱/۵۶	۱۶/۶۷	۱۴	۱۰/۶۶	۱۱۲۹۲۲۹	<۲	
۱/۳۷	۷۶/۱۹	۶۴	۵۵/۷۲	۵۹۰۰۷۵۹	(۲-۴)	SAR
۰/۳۲	۷/۱۴	۶	۲۲/۰۳	۲۳۳۳۱۳۵	(۴-۶)	
صفر	صفر	صفر	۸/۸۴	۹۳۶۵۳۰	(۶-۸)	
صفر	صفر	صفر	۲/۷۴	۲۸۹۹۳۲	>۸	
۳/۲۵	۱۰۰	۸۴	۱۰۰	۱۰۵۸۹۵۸۵		مجموع
۱/۱۹	۷/۳۸	۶۵	۶۴/۸۱	۶۸۶۲۷۷۱	<۲۰۰۰	
۰/۶۶	۲۲/۶۲	۱۹	۳۴/۴۰	۳۶۴۲۵۷۳	۲۰۰۰-۴۰۰۰	EC
صفر	صفر	صفر	۰/۸۰	۸۴۲۴۱	>۴۰۰۰	
۱/۸۵	۱۰۰	۸۴	۱۰۰	۱۰۵۸۹۵۸۵		مجموع

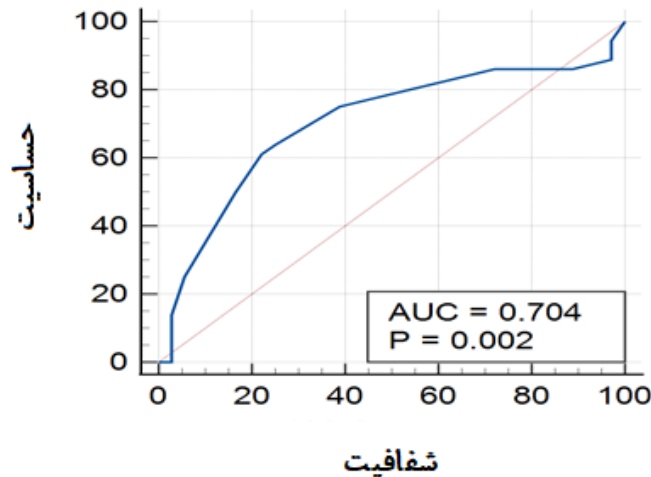
## ادامه جدول ۳. رابطه مکانی قابلیت تخریب سرزمین و متغیرهای تأثیرگذار بر تخریب در دشت قزوین

متغیرهای تأثیرگذار بر تخریب	طبقه	تعداد پیکسل در هر طبقه	درصد پیکسل در هر طبقه	تعداد نقاط تخریب در هر طبقه	درصد نقاط تخریب در هر طبقه	نسبت فراوانی
سطح آب زیرزمینی	<۲۰	۸۶۶۰۳۳	۸/۱۸	صفر	صفر	صفر
	۲۰-۴۰	۱۷۳۵۶۸۱	۱۶/۳۹	۴	۴/۷۶	۰/۲۹
	۴۰-۶۰	۳۸۹۹۷۰۵	۳۶/۸۳	۴۰	۴۷/۶۲	۱/۲۹
	۶۰-۸۰	۲۷۵۴۸۶۳	۲۶/۰۱	۲۵	۲۹/۷۶	۱/۱۴
	۸۰-۱۰۰	۱۲۲۸۴۴۱	۱۱/۶۰	۱۴	۱۶/۶۷	۱/۴۴
	۱۰۰-۱۲۰	۷۷۵۵۶	۰/۷۳	صفر	صفر	صفر
مجموع	>۱۲۰	۲۷۳۰۶	۰/۲۶	۱	۱/۱۹	۴/۶۲
		۱۰۵۸۹۵۸۵	۱۰۰	۸۴	۱۰۰	۸/۷۸
	< ۰/۶	۱۴۷۴۸۶۵	۱۳/۹۳	۱	۱/۱۹	۰/۰۹
افت سالانه آب زیرزمینی	۰/۶ - ۱/۶	۷۶۲۰۳۳۰	۷/۱۹۶	۷۸	۹۲/۸۶	۱/۲۹
	۱/۶ - ۲/۶	۱۴۳۱۴۷۲	۱۳/۵۲	۵	۵/۹۵	۰/۴۴
	۲/۶ - ۳/۶	۵۴۸۳۰	۰/۵۲	صفر	صفر	صفر
مجموع	> ۳/۶	۸۰۸۸	۰/۰۸	صفر	صفر	صفر
		۱۰۵۸۹۵۸۵	۱۰۰	۸۴	۱۰۰	۱/۸۲
	کشاورزی	۳۱۵۶۴۹۳	۲۹/۸۱	صفر	صفر	صفر
کاربری اراضی	باغ	۶۹۰۰۰	۰/۶۵	۲	۲/۳۸	۳/۶۵
	بایر	۸۹۳۴۴۷	۸/۴۴	صفر	صفر	صفر
	دیم	۱۲۵۱۲۸۸	۱۱/۸۲	۶	۷/۱۴	۰/۶
	مرتع خوب	۶۴۰۲۶۸	۶/۰۵	۷	۸/۳۳	۱/۳۸
	دیم-مرتع متوسط	۲۷۷۱۴۳	۲/۶۲	۳	۳/۵۷	۱/۳۶
	دیم-مرتع فقیر	۱۱۲۳۵۴	۱/۰۶	۲	۲/۳۸	۲/۲۴
شوره‌زار و اراضی مرطوب	آیش-مرتع فقیر	۳۶۳۶۰۵	۳/۴۳	۲	۲/۳۸	۰/۶۹
	شوره‌زار و اراضی مرطوب	۳۷۴۳۱	۰/۳۵	صفر	صفر	صفر
	مرتع متوسط	۱۹۰۹۲۶۱	۱۸/۰۳	۳۵	۴۱/۶۷	۲/۳۱
	مرتع فقیر	۱۷۲۶۷۵۸	۱۶/۳۱	۲۷	۳۲/۱۴	۱/۹۷
	اراضی شهری	۱۵۲۵۳۷	۱/۴۴	صفر	صفر	صفر
	مجموع	۱۰۵۸۹۵۸۵	۱۰۰	۸۴	۱۰۰	۱۴/۲۲

## نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف ارزیابی کارایی مدل نسبت فراوانی در شبیه‌سازی مکانی تخریب سرزمین و نیز تهیه نقشه قابلیت تخریب سرزمین دشت قزوین انجام شد. انطباق عوامل مؤثر بر تخریب سرزمین با نقشه قابلیت تخریب سرزمین نشان داد که عمده مناطق حساس به تخریب را کاربری مرتع با وضعیت خوب، متوسط و فقیر شامل می‌شود که بیشتر در ارتفاعات و مناطق شیب‌دار دشت با بارش‌های نسبتاً زیاد واقع شده‌اند.

منحنی ROC و مقدار سطح زیر منحنی برای ارزیابی کارایی مدل نسبت فراوانی در شکل (۵) ارائه شده است. با توجه به مقدار  $AUC=0/7$ ، مدل نسبت فراوانی، کارایی خوبی در شبیه‌سازی مکانی تخریب سرزمین در دشت قزوین داشته است (شکل ۷). بررسی‌های مختلفی کارایی خوب و بسیار خوب مدل را در تهیه نقشه حساسیت پدیده‌های مختلف فرسایش از جمله زمین‌لغزش گزارش کرده‌اند (۲۳، ۱۴).



شکل ۷. تشخیص عملکرد نسبی مدل نسبت فراوانی در تهیه نقشه قابلیت تخریب سرزمین دشت قزوین

AUC انجام شد، نشان داد که مدل نسبت فراوانی دقت خوبی در شبیه‌سازی مکانی تخریب سرزمین در دشت قزوین داشته است. از آنجا که بررسی در رابطه با کارایی مدل نسبت فراوانی برای تهیه نقشه حساسیت تخریب سرزمین صورت نگرفته است، امکان مقایسه نتیجه تحقیق حاضر با دیگر پژوهش‌ها در زمینه تخریب سرزمین میسر نبود.

بنابراین اقداماتی از جمله در نظر گرفتن ظرفیت برد مراتع و جلوگیری از چرای زودرس دام می‌تواند در کنترل تخریب در آن منطقه مؤثر واقع شود. همچنین به دلیل شرایط بارش خوب در این مناطق، بذریاشی و بذرکاری از دیگر اقداماتی است که می‌تواند به منظور کنترل تخریب سرزمین مورد توجه قرار گیرد. همچنین، نتیجه اعتبارسنجی نقشه قابلیت تخریب سرزمین که توسط

## References

1. Abdel-Kader, F.H. (2019). Assessment and monitoring of land degradation in the northwest coast region, Egypt using Earth observations data. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 22(2), 165-173.
2. AbdelRahman, M.A., Natarajan, A., Hegde, R. and Prakash, S.S. (2019). Assessment of land degradation using comprehensive geostatistical approach and remote sensing data in GIS-model builder. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 22(3), 323-334.
3. Akbari, M., Modarres, R., and Noughani, M.A. (2020). Assessing early warning for desertification hazard based on E-SMART indicators in arid regions of northeastern Iran. *Arid Environments*, 174, 104086.
4. Amani, S., Joneidi, H., & Karami, P. (2018). *Investigation of the effect of livestock grazing intensity on vegetation changes in rangelands of Bijar protected area*. 7th National Conference on Rangeland and Rangeland Management of Iran. April, karaj, Iran. (in Farsi)
5. Al-Quraishi, A.M.F. and Negm, A.M. (2019). *Environmental remote sensing and GIS in Iraq*. Springer-Water, Springer, Cham.
6. Arabkhedri, M. (2014). A Review on the factors affecting water erosion of soil in Iran. *Land Management*, 2(1), 17-26. (in Farsi)



7. Bagheri, S., Tamrtash, R., Jafari, M., Tatian, M.R., Malekian, A., & Payravand, V. (2021). Investigation of the capability of MODIS satellite data in preparing vegetation canopy percentage map of Qazvin plain's rangelands. *Rangeland*, 15(1), 24-36. (in Farsi)
8. Baruti, J.H.M. (2004). Study of soil moisture in relation to soil erosion in the proposed Tancitaro Geopark, Central Mexico.
9. Boali, A.H, Jafari, R., & Bashari, H. (2017). Analyzing the effect of groundwater quality on desertification using Bayesian Belief Networks in Segzi desertification hotspots. *Water and Soil Science*, 21(3), 205-218. (in Farsi)
10. Brewer, C.A. & Pickle, L. (2002). Evaluation of methods for classifying epidemiological data on choropleth maps in series. *Annals of the Association of American Geographers*, 92(4), 662-681.
11. Crossland, M., Winowiecki, L.A., Pagella, T., Hadgu, K., & Sinclair, F. (2018). Implications of variation in local perception of degradation and restoration processes for implementing land degradation neutrality. *Environmental development*, 28, 42-54.
12. Ewunetu, A., Simane, B., Teferi, E., & Zaitchik, B.F. (2021). Mapping and quantifying comprehensive land degradation status using spatial multicriteria evaluation technique in the headwaters area of upper Blue Nile River. *Sustainability*, 13(4), 2244.
13. Feyzi Koushki, F., Akbari, M., Memarian, H., Azamirad, M. (2018). Identifying and ranking important factors of desertification in Khorasan Razavi Province using Delphi method. *Geography and Environmental Hazards*, 8(31), 205-225. (in Farsi)
14. Gholami. M., Soleimani, K., & Nekoei Ghachkanloo, E. (2017). Preparing map of landslide susceptibility using Weight of Evidence (Woe), Frequency Ration (FR), and Demster-Schaefer (DSH) Models (Case Study: Sari-Kiasar). *Range and Watershed Management, Volume 70(3)*, 735-750. (in Farsi)
15. Gichenje, H., Pinto-Correia, T. & Godinho, S. (2019). An analysis of the drivers that affect greening and browning trends in the context of pursuing land degradation-neutrality. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 15, 100251.
16. Goudie, A.S. (1990). *Techniques for desert reclamation*, Chichester: John Wiley & Sons press.
17. Haghghi, A.T., Darabi, H., Karimidastenaie, Z., Davudirad, A.A., Rouzbeh, S., Rahmati, O., Sajedi-Hosseini, F., & Klove, B. (2021). Land degradation risk mapping using topographic, human-induced, and geo-environmental variables and machine learning algorithms, for the Pole-Doab watershed, Iran. *Environmental Earth Sciences*, 80(1), 1-21.
18. Higginbottom, T.P., & Symeonakis, E. (2014). Assessing land degradation and desertification using vegetation index data: Current frameworks and future directions. *Remote Sensing*, 6(10), 9552-9575.
19. Jafarian, Z., Beshtar, V., & Kavian, A. (2017). Simulation Effects of Improvement and Restoration Operations of Rangeland on Soil Loss using RUSLE Model, *Physical Geography Research*, 49(1), 55-69. (in Farsi)
20. Khaledian, H., & Nikkami, D. (2017). The role of land use optimization in reducing the potential of erosion and sedimentation using linear programming model (Case study: Chehel-Gazi basin in Sanandaj), *Water and Soil Science*, 21(1), 95-111. (in Farsi)
21. Moradi, E., Khosravi, H., Zehtabian, Gh.R., Khalighi-Sigaroodi, Sh., & Cerda, A. (2020). Vulnerability assessment of land degradation using network analysis process and geographic information system (Case

- Study: Maharloo-Bakhtegan watershed). *Water and Soil Research of Iran*, volume 51(5), 1069-1080. (in Farsi)
22. Nguyen, K.A., Liou, Y.A., Tran, H.P., Hoang, P.P. and Nguyen, T.H. (2020). Soil salinity assessment by using near-infrared channel and Vegetation Soil Salinity Index derived from Landsat 8 OLI data: a case study in the Tra Vinh Province, Mekong Delta, Vietnam. *Progress in Earth and Planetary Science*, 7(1), 1-16.
  23. Razavi Termeh, S.V., & Shirani, K. (2019). Land slide hazard zoning using frequency ration, entropy methods and TOPSIS decision making methods (Case study: Fahliyan basin, Fars). *RS & GIS for Natural Resources*, 9(4), 119-138. (in Farsi)
  24. Regmi, A.D., Devkota, K.C., Yoshida, K., Pradhan, B., Pourghasemi, H.R., Kumamoto, T., & Akgun, A. (2014). Application of frequency ratio, statistical index, and weights-of-evidence models and their comparison in landslide susceptibility mapping in Central Nepal Himalaya. *Arabian Journal of Geosciences*, 7(2), 725-742.
  25. Sadeghiravesh, M.H., Khosravi, H., Abolhasani, A., Ghodsi, M., & Mosavi, A. (2021). Fuzzy logic model to assess desertification intensity based on vulnerability indices. *Acta Polytechnica Hungarica*, 18(3), 7-24.
  26. Shao, Y., Jiang, Q.O., Wang, C., Wang, M., Xiao, L., & Qi, Y. (2020). Analysis of critical land degradation and development processes and their driving mechanism in the Heihe River Basin. *Science of the Total Environment*, 716, 137082.
  27. Su, C., Wang, L., Wang, X., Huang, Z., & Zhang, X. (2015). Mapping of rainfall-induced landslide susceptibility in Wencheng, China, using support vector machine. *Natural Hazards*, 76(3), 1759-1779.
  28. Tabib Mahmoodi, F., & Ghasemi Dastgerdi, N. (2020). Investigating the potential of soil moisture indices in desertification. *Natural Environment*, 73(3), 529-542. (in Farsi)
  29. Vogt, J.V., Safriel, U., Von Maltitz, G., Sokona, Y., Zougmore, R., Bastin, G. & Hill, J. (2011). Monitoring and assessment of land degradation and desertification: towards new conceptual and integrated approaches. *Land Degradation & Development*, 22(2), 150-165.
  30. Wijitkosum, S. (2021). Factor influencing land degradation sensitivity and desertification in a drought prone watershed in Thailand. *International Soil and Water Conservation Research*, 9(2), 217-228.
  31. Xu, C., Xu, X., Dai, F., Xiao, J., Tan, X., & Yuan, R. (2012). Landslide hazard mapping using GIS and weight of evidence model in Qingshui river watershed of 2008 Wenchuan earthquake struck region. *Earth Science*, 23(1), 97-120.
  32. Yousefi, S., Pourghasemi, H.R., Avand, M., Janizadeh, S., Tavangar, S., & Santosh, M. (2021). Assessment of land degradation using machine-learning techniques: A case of declining rangelands. *Land Degradation & Development*, 32(3), 1452-1466.
  33. Yousefi, N., & Hejam, S. (2012). Investigating the effect of ENSO on climatic parameters of temperature and precipitation, case study: Qazvin plain. *Geographic Space*, 12(39), 195-210. (in Farsi)