

## شناسایی مناطق مستعد بیابان زایی در استان سمنان با استفاده از مدل رگرسیون

### لجستیک (LRM)

مهران مقصودی\*؛ دانشیار، گرایش ژئومورفولوژی، جغرافیای طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

سارا معلمی گرچی؛ دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، جغرافیای طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۲۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۰۱

### چکیده

بیابان‌زایی نوعی تخریب زمین است که بر زندگی انسان‌ها و محیط زیست اثر مستقیم دارد. امروزه این بحران بسیاری از کشورهای جهان را تحت تاثیر قرار داده است. برای مهار این بحران نیاز به شناخت و درک صحیح از عوامل و فرآیندهای آن می‌باشد. این مطالعه با هدف ارزیابی مناطق حساس به بیابان‌زایی در استان سمنان با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک (LRM) انجام شد. شاخص اندازه دانه سطحی خاک (TGSI)، شاخص پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI)، شاخص خشکی (AI) و فشار عامل انسانی بر محیط (APSE) به عنوان شاخص‌های بیابان‌زایی در منطقه مورد مطالعه مدنظر بوده است. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد بافت خاک با درصد بالای شن و ماسه و نوع پوشش گیاهی از نوع استپ بیابانی مهم‌ترین عوامل بیابان‌زایی در استان سمنان هستند. ۹۹ درصد مساحت استان در معرض خطر بیابان‌زایی شدید و بسیار شدید است. در مجموع تنها شمال استان در معرض خطر بیابان‌زایی کمی می‌باشد و سایر مناطق استان در معرض بیابان‌زایی است. به طور کل (LRM) می‌تواند ابزار موثری برای نظارت بر بیابان‌زایی در محیط‌هایی با داده‌های کم باشد.

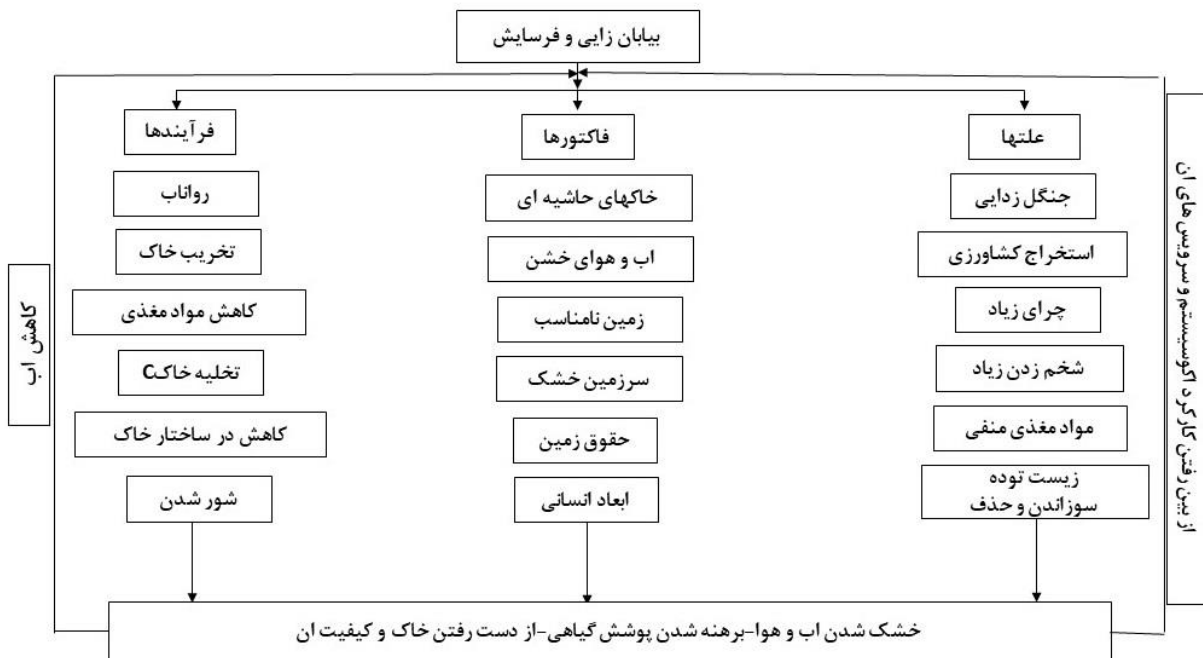
واژه‌های کلیدی: استان سمنان، بیابان‌زایی، مدل LRM، نرم افزار GIS، تصاویر لندست ۸.

### مقدمه

تخریب زمین یکی از بزرگترین مشکلات زیست محیطی ناشی از فعالیت‌های نامناسب انسانی و تغییرات آب و هوایی است (می‌هی و همکاران، ۲۰۲۱). بیابان‌زایی به عنوان فرآیند تخریب زمین در مناطق خشک، نیمه خشک و نیمه مرطوب خشک تعریف می‌شود که ناشی از عوامل مختلف است که در میان آن‌ها فعالیت‌های انسانی و تغییرات آب و هوایی مهم‌ترین محرک‌ها برای وقوع آن هستند (یونپ، ۱۹۹۴). علل بیابان‌زایی به دو دسته کلی طبیعی و انسانی تقسیم می‌شوند. علل ناشی از انسان مربوط به شیوه‌های کشت، استفاده از مراتع و آتش‌سوزی گونه‌های گیاهی است. منشأ علل طبیعی تغییرات آب و هوایی است.

چه طولانی مدت و چه نامحدود. هم اقلیم و هم عوامل انسانی باعث کاهش کمیت و تنوع پوشش گیاهی طبیعی می شود (فردریکسون و همکاران، ۱۹۸۸). برآوردهای جهانی سطح زمین که تحت تأثیر تخریب زمین (جدول ۱) و بیابان زایی می باشند به دلیل فقدان داده های معتبر و حقیقی، و در نتیجه اتکا به روش های پراکسی، بسیار متفاوت است. بنابراین، نیاز شدیدی به تقویت پایه های علمی برای اکوسیستم های خشک وجود دارد (رینولد، ۲۰۰۷). از دهه ۱۹۷۰، پدیده بیابان زایی در مقیاس محلی، منطقه ای و جهانی به عنوان یک مشکل دائمی مطرح بوده است. بیش از ۹۰۰ میلیون نفر در ۱۰۰ کشور به طور مستقیم تحت تأثیر بیابان زایی (حدود ۴ میلیارد هکتار از سطح زمین) قرار دارند (پاناگوس و کاتسوپانیس، ۲۰۱۹).

جدول ۱. فرآیند، فاکتورها و عوامل بیابان زایی (راتان لاه، ۲۰۱۲)



ایران در کمربند خشک دنیا قرار دارد و دو سوم وسعت آن در قلمرو مناطق خشک واقع شده است. به بیان دیگر ۴۳ میلیون هکتار، معادل یک چهارم وسعت ایران را بیابان فراگرفته است (مرادی و همکاران، ۱۳۸۷). بیابان زایی یکی از مهمترین مشکلات استان سمنان محسوب می شود. استانی خشک و کم آب که در سال های اخیر به خصوص با تغییر اقلیم، دست کاری بشر در طبیعت، شامل معدن کاری غیر اصولی و راه سازی، ابنیه و غیره درگیر معضلات بیشتری هم شده است.

در سال‌های اخیر به خصوص با توسعه بیابان‌ها و خشکسالی، مشکل حرکت بیابان‌های استان به سمت روستاها و شهرها، از جمله مهمترین دغدغه‌های مردم و مسئولان است که باید راهکار عملی برای مقابله با آن در نظر داشت (خبرگزاری مهر، ۱۴۰۱). تاکنون پژوهش‌ها و تکنیک‌های متعددی برای شناسایی مناطق مستعد بیابان‌زایی بکار برده شده‌اند. بسیاری از این پژوهش‌ها توسط محققان ایرانی در استان‌های مختلف اعمال شده‌اند که من جمله می‌توان استفاده از مدل IMDPA<sup>۱</sup> (مبینی و همکاران، ۱۳۹۵)، بررسی اثر فرسایش بادی در شدت بیابان‌زایی یا استفاده از روش ICD<sup>۲</sup>,FAO/UNEP<sup>۳</sup> (زهتاییان و همکاران، ۱۳۸۵)، پهنه‌بندی مناطق آسیب‌پذیر به بیابان‌زایی به کمک مدل MEDALUS<sup>۴</sup> (حسین زاده و همکاران، ۱۳۹۳)، ارزیابی و پهنه‌بندی ریسک بیابان‌زایی به کمک مدل ESAI<sup>۵</sup> (آذریان و همکاران، ۱۳۹۵)، شناسایی مناطق آسیب‌پذیر در مقابل بیابان‌زایی با استفاده از شاخص DVIF<sup>۶</sup> (مقصودی و پیره، ۱۴۰۰). امروزه مدل‌های ریاضی متعددی برای ارزیابی توانایی آسیب‌پذیر بیابان‌زایی مانند طبقه‌بندی‌کننده درخت تصمیم DTV<sup>۷</sup> (لامچین و همکاران، ۲۰۱۶)، تجزیه و تحلیل طیفی SMA<sup>۸</sup> (پن و لی، ۲۰۱۳)، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی AHP<sup>۹</sup> (ساندپ و همکاران، ۲۰۲۱)، مدل رگرسیون لجستیک LRM<sup>۱۰</sup> (جدویو همکاران، ۲۰۱۷)، مدل ارزیابی خطر فرسایش خاک PESERA<sup>۱۱</sup> (ایروین و کازماس، ۲۰۰۳)، مرور کلی جهانی برای رویکردهای حفاظتی و فناوری WOCAT/LADA<sup>۱۲</sup> (لاینگرو همکاران، ۲۰۰۸)، ابزار پشتیبانی ارزیابی خطر بیابان‌زایی DRAST<sup>۱۳</sup> (کاراویتیس و همکاران، ۲۰۲۰) توسعه یافته است.

مدل LRM به منظور پهنه‌بندی خطر بیابان‌زایی برای اولین بار در کشور الجزایر مورد استفاده قرار گرفته است (می‌هی، ۲۰۲۲). این کار بر استان سمنان در ایران به منظور مطالعه ارزیابی حساسیت به بیابان‌زایی متمرکز شده است. بیابان‌زایی در این منطقه به دلیل موقعیت جغرافیایی، شرایط اقلیمی، استفاده طولانی مدت از زمین، استفاده نادرست از منابع تشدید شده است. دانستن شدت بیابان‌زایی از آن جنبه که می‌تواند موجب کنترل فرآیندهای بیابان‌زایی شود مهم است. روش فعلی شامل تجزیه و تحلیل مناطق بیابانی به کمک مشاهدات بصری، اندازه‌گیری، بررسی و پردازش شاخص‌های اصلی با استفاده از مدل‌های ریاضی و آماری می‌باشد و نوآوری آن نسبت به دیگر پژوهش‌های مشابه استفاده از تصاویر لندست

<sup>1</sup> Iranian Model of Desertification Potential Assessment

<sup>2</sup> Iranian Classification of Desertification

<sup>3</sup> FAO-UNEP

<sup>4</sup> Mediterranean Desertification and Land Use

<sup>5</sup> Environmental Sensitive Area Index

<sup>6</sup> Desertification vulnerability Index

<sup>7</sup> Decision Tree classifier

<sup>8</sup> spectral mixture analysis

<sup>9</sup> Analytic Hierarchy Process

<sup>10</sup> Logistic Regression Model

<sup>11</sup> Soil Erosion Risk Assessment Model

<sup>12</sup> World Overview for Conservation Approaches

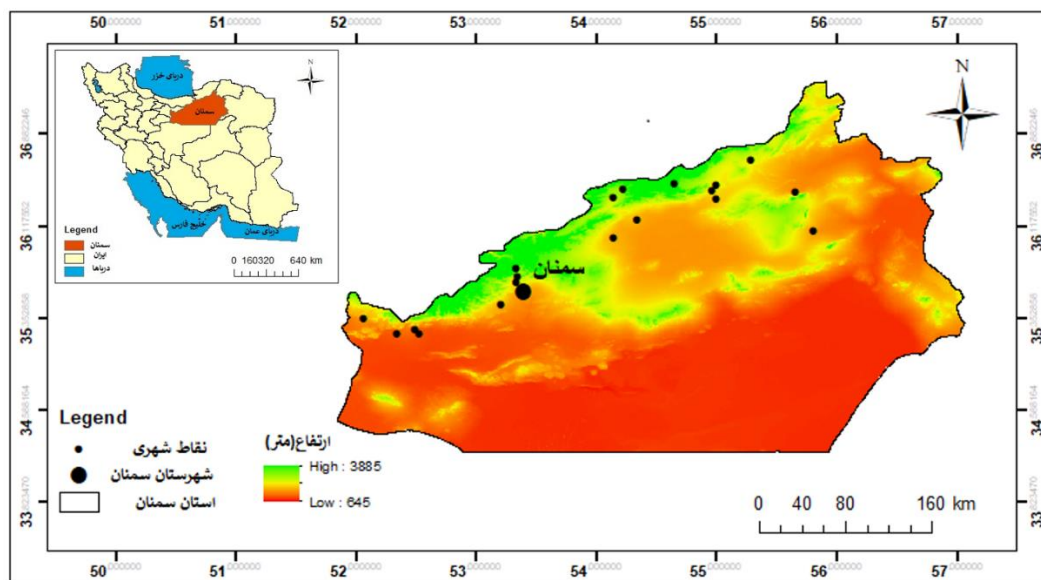
<sup>13</sup> Desertification Risk Assessment Support Tool

سری ۲) به منظور تهیه نقشه های NDVI و TGSi) و انتخاب پارامترهای موثر عوامل انسانی در بیابان زایی متناسب با منطقه مورد مطالعه است. سایر پژوهش های انجام شده در ارتباط با بیابان زایی به ندرت به عامل انسانی توجه کرده اند.

### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه استان سمنان می باشد. استان سمنان در دامنه سلسله جبال البرز واقع شده است با مساحتی برابر ۹۷۴۹۱ کیلومتر مربع واقع شده است. این استان از شمال به استان های گلستان و مازندران، از طرف جنوب به استان یزد و اصفهان، از شرق و استان های خراسان شمالی و خراسان رضوی و از طرف غرب به استان های تهران و قم محدود است. با توجه به قرار گرفتن رشته کوه البرز در شمال کشور و واقع شدن استان سمنان در دامنه های جنوبی این رشته کوه، ارتفاعات این استان بخشی از رشته کوه البرز محسوب می شود. وجود رشته کوه البرز در شمال استان با جهت غربی-شرقی مانع از ورود رطوبت دریای خزر به نواحی جنوبی البرز شده و همچنین مجاورت استان با دشت کویر به طور کلی موجب بروز شرایط آب و هوایی خشک و نیمه خشک شده است. میزان بارش در استان از شمال به جنوب کاسته می شود. میانگین بارندگی سالانه استان ۱۴۷ میلی متر است و بیشترین میزان بارش در فصل بهار و زمستان ثبت شده است. میانگین سالانه تبخیر واقعی در استان ۱۰۸ میلی متر است. میزان دمای از شمال به جنوب استان افزایش می یابد. میانگین دمای استان ۱۶ درجه سانتی گراد، حداکثر مطلق دمای آن ۴۷ و حداقل مطلق دما ۱۸/۲- درجه سانتی گراد است. تعداد روزهای یخبندان در استان به طور میانگین ۷۳ روز و میانگین ساعات آفتابی ۳۱۸۶ است. در تحلیلی کلی می توان بیان کرد که این استان بیشتر تحت تاثیر جریان های گرم و خشک دشت کویر قرار دارد ولی عاملی چون دوری از دریا، جهت و امتداد کوه ها، ارتفاع مکان و وزش بادهای نیز در آب و هوای آن موثرند (سالنامه آماری استان سمنان، ۱۳۹۹).

بر اساس آخرین مطالعات منابع طبیعی و آبخیزداری استان ۵ میلیون و ۵۰۰ هزار هکتار از مساحت استان را بیابان تشکیل می دهد که این رقم معادل ۵۳ درصد سطح استان است که از اثرات آن می توان نابودی منابع آب، آفت سطح آب های زیرزمینی، نابودی حیات وحش، افزایش بیماری های تنفسی و... را نام برد.



شکل ۱- موقعیت استان سمنان

## مواد و روش‌ها

فرآیندهای بیابان‌زدایی به چند متغیر متقابل بستگی دارد. ویژگی‌های اصلی بیابان‌زدایی کاهش پوشش گیاهی، تخریب خاک، تغییر اقلیم و فعالیت‌های انسانی است. با این حال، در نظر گرفتن تمامی داده‌ها مشکل است. همچنین در دسترس بودن داده‌ها عامل محدودکننده‌ای در فرآیند مدل‌سازی است. داده‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل داده‌های آماری، اطلاعات کارتوگرافی و استفاده از دستاورد سایر پژوهش‌ها می‌باشد: (۱) آمار و اطلاعات میانگین سالانه دما و بارندگی برحسب میلیمتر (ده سال اخیر) که این داده‌ها برای منطقه مورد مطالعه از سایت داده‌های منابع آب ایران (<https://data.wtm.ir>) تهیه شده است. (۲) ده تصاویر لندست ۸ از منطقه مورد مطالعه که از سایت (<https://earthexplorer.usgs.gov>) دریافت شده است. تمامی تصاویر در تابستان سال ۲۰۲۲ انتخاب شده‌اند زیرا حداقل پوشش ابر در فصل تابستان می‌باشد و وضوح تصویر بهتر است. (۳) مدل رقومی ارتفاع (tdm90) از استان سمنان که از سایت (<https://geoservice.dlr.de/web/dataguide/tdm90>) دریافت شده است. (۴) داده‌های مربوط به سواد، اراضی کشاورزی، نقاط شهری، جمعیت و... از سایت سازمان مربوطه من جمله آب منطقه‌ای و منابع طبیعی استان جمع‌آوری شده است. تمامی داده‌ها به Universal Transverse Mercator (UTM) سیستم مختصات جهانی مریکاتور معکوس (WGS84) ارجاع داده شدند.

## - استفاده از مدل رگرسیون لجستیک (LRM)

روش کلی به کار رفته در این مقاله مدل رگرسیون لجستیک (LRM) است که به صورت نمودار در شکل ۲ نشان داده شده است. مک فادن روش (LRM) را در دهه ۱۹۷۰ برای توضیح احتمال وقوع یک پدیده فضایی در یک قطعه زمین معرفی کرده است (مک فادن، ۱۹۷۳). در هر قطعه زمین مشخص مدل‌های رگرسیون لجستیک به عنوان مدل‌های آماری تعریف می‌شوند که رابطه بین یک متغیر وابسته و چندین متغیر مستقل را توصیف می‌کنند (نیک و کمپبل ۲۰۰۷). روش (LRM) به این صورت است در آن متغیر وابسته باید دارای پاسخ دوگانه (باینری) مانند موفقیت یا شکست، حضور و یا عدم حضور باشد اما متغیرهای وابسته می‌توانند از نوع پیوسته، گسسته و یا ترکیبی از این دو باشد. در این پژوهش هدف (LRM) پیدا کردن بهترین مدل برای توصیف رابطه‌ی بیابان‌زایی (متغیر وابسته) و دیگر شاخص‌های موثر در بیابان‌زایی که عبارتند از ۱) (AI)، ۲) (NDVI)، ۳) (TGSI)، ۴) (APSE) به عنوان متغیر مستقل است. (LRM) به عنوان یک معادله خطی در فرمول (۱) ذکر شده است:

$$Y = \text{Logit}(P) = \ln\left(\frac{P}{1-P}\right)$$

$$Y = C_0 + C_1 \times X_1 + C_2 \times X_2 \dots C_n \times X_n$$

در فرمول‌های بالا P احتمال وقوع بیابان‌زایی، P/(1-p) احتمال حضور تقسیم بر احتمال غیبت (احتمال وقوع بیابان-زدایی)، C0, C1... CN مقدار رگرسیون جزئی و X1, X2... XN معیارهای موثر در بیابان‌زایی که عنوان متغیرهای مستقل هستند.

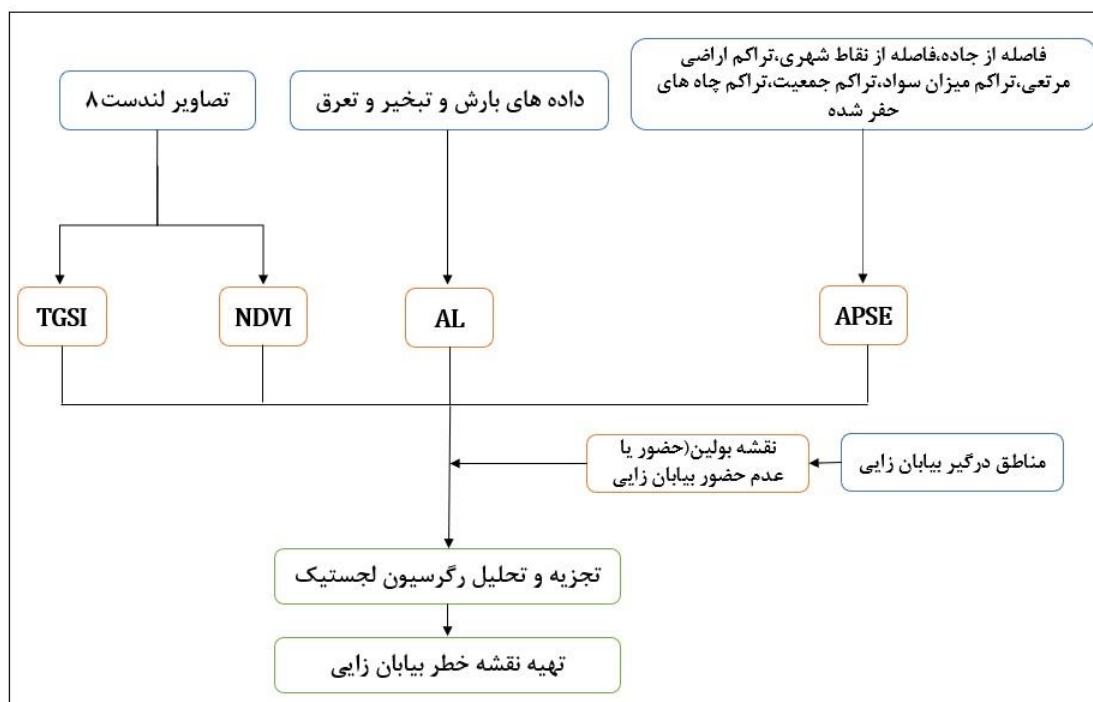
---

<sup>1</sup> Aridity index

<sup>2</sup> Normalized Difference Vegetation Index

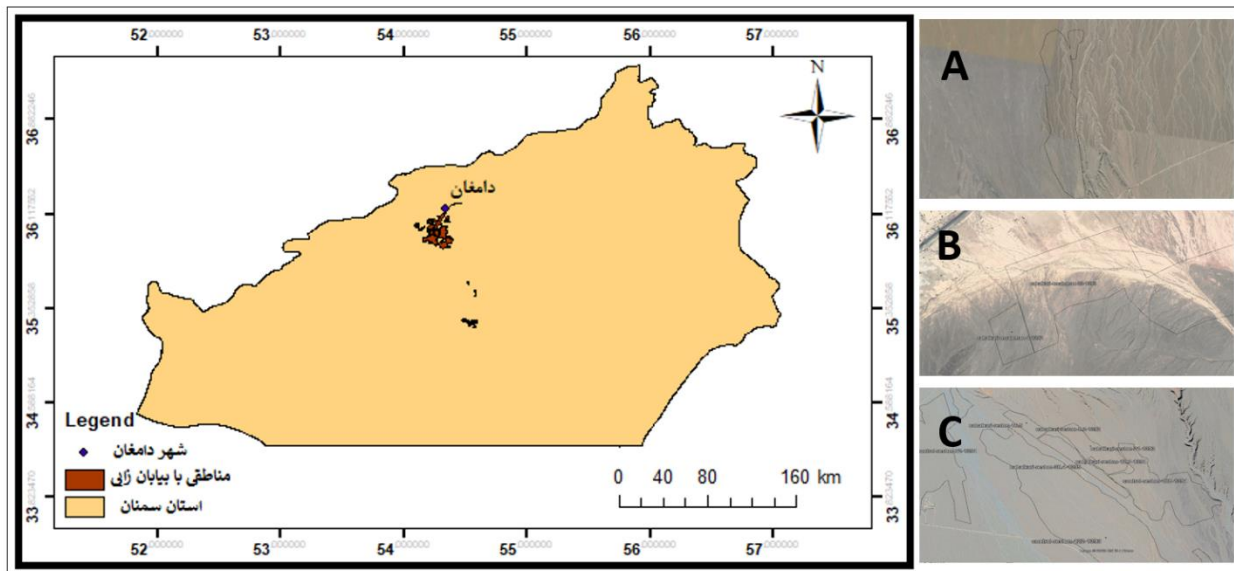
<sup>3</sup> Topsoil Grain Size Index

<sup>4</sup> Anthropogenic pressure on the steppe environment



شکل ۲- نمودار روش کلی استفاده شده برای تهیه نقشه خطر بیابان‌زایی

در این پژوهش موقعیت مناطقی در اطراف شهرستان دامغان که امروزه بیابان‌زایی در حال پیش روی است از سازمان منابع طبیعی استان سمنان دریافت شده است. این مناطق به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شده است. به منظور تهیه لایه اطلاعاتی در محیط Arc map 10.8.2 نقشه بولین این مناطق تهیه شده است. مناطقی که بیابان‌زایی در آن رخ داده است ارزش ۱ و سایر مناطق ارزش صفر را گرفته‌اند (شکل ۳).



شکل ۳- موقعیت مناطق درگیر بیابان‌زایی در استان سمنان (متغیروابسته)

سایر متغیرها که شمال شاخص بافت خاک (TGSI)، شاخص پوشش گیاهی (NDVI)، شاخص خشکی (AI) و شاخص تاثیر عامل انسانی (APSE) به عنوان متغیرهای مستقل نیز در نرم افزار Arc map 10.8.2 و Terrset 2020 تهیه شده است.

برای متغیرهای بافت خاک (TGSI) و شاخص پوشش گیاهی (NDVI) از تصاویر لندست ۸ سری دو استفاده شده است. مزیت این تصاویر نسبت به سری یک این است که نیاز به تصحیحات اتمسفری و رادیومتریک نمی‌باشد.

شاخص بافت خاک (TGSI) به طور گسترده در چندین مطالعه در مورد بیابان‌زدایی استفاده شده است. خاک یک عامل مهم و حیاتی برای ارزیابی بیابان‌زایی می‌باشد. برای محاسبه بافت خاک از فرمول زیر استفاده شده است:

$$TGSI = \frac{(R - B)}{(R + B + G)}$$

در این فرمول R، B و G به ترتیب باندهای آبی و قرمز و سبز لندست ۸ می‌باشند. مقدار (TGSI) بین ۱- و ۱+ متغیر می‌باشد. مقادیر صفر نشان دهنده‌ی مناطقی با پوشش گیاهی یا مناطقی با پوشش آبی است و مقادیر بالاتر از ۰.۲ نشان دهنده اراضی پوشیده از ماسه‌های ریز یعنی مناطق بیابانی هستند.

یکی دیگر از مشخصه‌های اصلی نشان دهنده مناطقی که در آن بیابان‌زایی رخ داده است شاخص پوشش گیاهی می‌باشد. یکی از شاخص‌های خوب برای تجزیه و تحلیل پوشش گیاهی (NDVI) می‌باشد. این شاخص بر اساس فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$NDVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R)}$$

در فرمول بالا R باند قرمز و NIR باند مادون قرمز نزدیک می‌باشد. مقدار (NDVI) از +۱ تا -۱ متغیر می‌باشد. خاک بایر با مقادیر صفر و مناطقی با تراکم پوشش گیاهی بالا مقدار ۰/۶ الی ۱ را شامل می‌شود. چهار نوع پوشش گیاهی را می‌توان در منطقه مورد مطالعه تعریف کرد: آب (۰/۷۱- تا ۰)، استپ بیابانی (۰/۱۵- تا ۰)، استپی (۰/۱۵- تا ۰/۳۰) و استپ جنگلی (۰/۳۰- تا ۰/۸۸). در اینجا، استپ بیابانی به عنوان بدترین نوع پوشش گیاهی از نظر خطر بیابان‌زایی، پس از آن استپ و استپ جنگلی در نظر گرفته می‌شود.

آب و هوا عامل مهمی است که باید در ارزیابی خطر بیابان‌زدایی در نظر گرفته شود. در اینجا عامل خشکی یکی از مهمترین عوامل در بین تمامی پارامترهای اقلیمی تلقی می‌شود. زارعی و همکاران (۲۰۱۹) شاخص خشکی (UNEP-AI) را به عنوان یک شاخص خوب برای ارزیابی شرایط خشکسالی در مناطق مختلف انتخاب کرده‌اند. AI را می‌توان همانطور که در معادله زیر نشان داده شده است محاسبه کرد:

$$AI = \frac{P}{ETP}$$

که در آن P کل بارندگی سالانه برحسب میلیمتر و ETP تبخیر و تعرق برحسب میلیمتر است. ضریب خشکی بین ۰ تا ۱ متغیر است (زارعی و همکاران ۲۰۱۹). مناطقی با مقدار کمتر از ۰/۰۵ زمین فوق خشک در نظر گرفته می‌شوند، در حالی که مناطق مرطوب با مقادیر بالاتر از ۰/۶۵ مشخص می‌شوند (زارعی و همکاران ۲۰۱۹). در این پژوهش پس از دریافت داده‌های بارندگی و میزان تبخیر و تعرق ده سال اخیر از روش‌های درون‌یابی برای تهیه لایه رستری استفاده شده است. برای هر کدام میزان درصد خطای هر کدام از روش‌های درون‌یابی محاسبه شده است. روش (IW2, IW3) با کمترین میزان خطا در این پژوهش استفاده شده است.

اثر عامل انسانی یکی دیگر از متغیرهای مدنظر در پژوهش بوده است. عوامل انسانی می‌توانند به صورت سریع یا آهسته در تخریب یک اکوسیستم موثر باشند. در این پژوهش: حفر چاه‌ها، تراکم جمعیت، فاصله از جاده، فاصله از نقاط شهری، فاصله از اراضی مرتعی و سواد به عنوان عوامل انسانی در استان سمنان مد نظر بوده است. روش AHP توسط توماس ال ساعتی در اوایل دهه ۱۹۷۰ معرفی شد. این روش تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) به کاربران این اجازه را می‌دهد که تصمیمات پیچیده را با استفاده از روابط ساده ریاضی و نظر کارشناسان تجزیه و تحلیل کنند (ساعتی، ۱۹۷۷). (APSE)

براساس اصل AHP و با یک ترکیب خطی وزنی (WLC) براساس قضاوت‌های مقایسه زوجی (قضاوت انسانی) تولید شد. در این روش هنگامی که معیارها دو به دو با یکدیگر مقایسه می‌شوند امتیاز ۱ نشان دهنده اهمیت برابر و ۹ نشان دهنده ارجعیت قوی می‌باشد. امتیاز بین آنها به شدت متاثر از نظر کارشناسان می‌باشد. شاخص سازگاری (CI) و نسبت سازگاری (CR) برای ارزیابی سازگاری نظر کارشناسان مورد استفاده قرار می‌گیرد که در معادلات زیر نشان داده شده است:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1},$$

$$CR = CI/RI,$$

که در آن  $\lambda_{\max}$  بزرگترین مقدار ویژه ماتریس است و  $n$  اندازه ماتریس، اگر شاخص نسبت سازگاری بیشتر از ۰/۱ باشد، باید در ماتریس ترجیح تجدید نظر شود. در مطالعه حاضر CR برابر با ۰/۰۲ بوده است که نشان دهنده سازگاری کافی در ماتریس مقایسه زوجی است. اثر عامل انسانی و یا (APSE) را می‌توان از طریق رابطه زیر محاسبه کرد:

$$APSE = \sum_{i=1}^n W_i \times X_i; \quad \text{with } \sum W_i = 1,$$

روش چند معیاره AHP ساعتی (۱۹۸۰) در نرم افزار Terrset2020 ادغام شده است، (APSE) مطابق با معادله زیر به صورت ریاضی فرموله شد.

$$APSE_{AHP} = 0.4225 * \text{تراکم چاه‌ها} + 0.1742 * \text{فاصله از اراضی مرتعی} + 0.1812 * \text{فاصله از نقاط شهری} + 0.074 * \text{تراکم جمعیت} + 0.074 * \text{سطح سواد} + 0.074 * \text{فاصله از جاده}$$

برای داشتن لایه اثر عامل انسانی در منطقه مورد مطالعه لایه‌ی فاصله از جاده و نقاط شهری از روش اقلیدسی در نرم افزار Arc map و برای سایر لایه‌ها از روش محاسبه تراکم استفاده شده است. تراکم هر لایه از نسبت مساحت عامل مورد نظر به مساحت کل منطقه مورد مطالعه به دست می‌آید. نقشه (APSE) همانطور که در جدول نشان داده شده است به چهار کلاس از ارزش‌های ضعیف (تأثیر انسانی کم) تا قوی‌ترین ارزش‌ها (تأثیر انسانی بالا) طبقه‌بندی شده است. مناطق با فشار آنتروپیک بالا در برابر خطر بیابان‌زایی آسیب‌پذیرتر هستند و بالعکس.

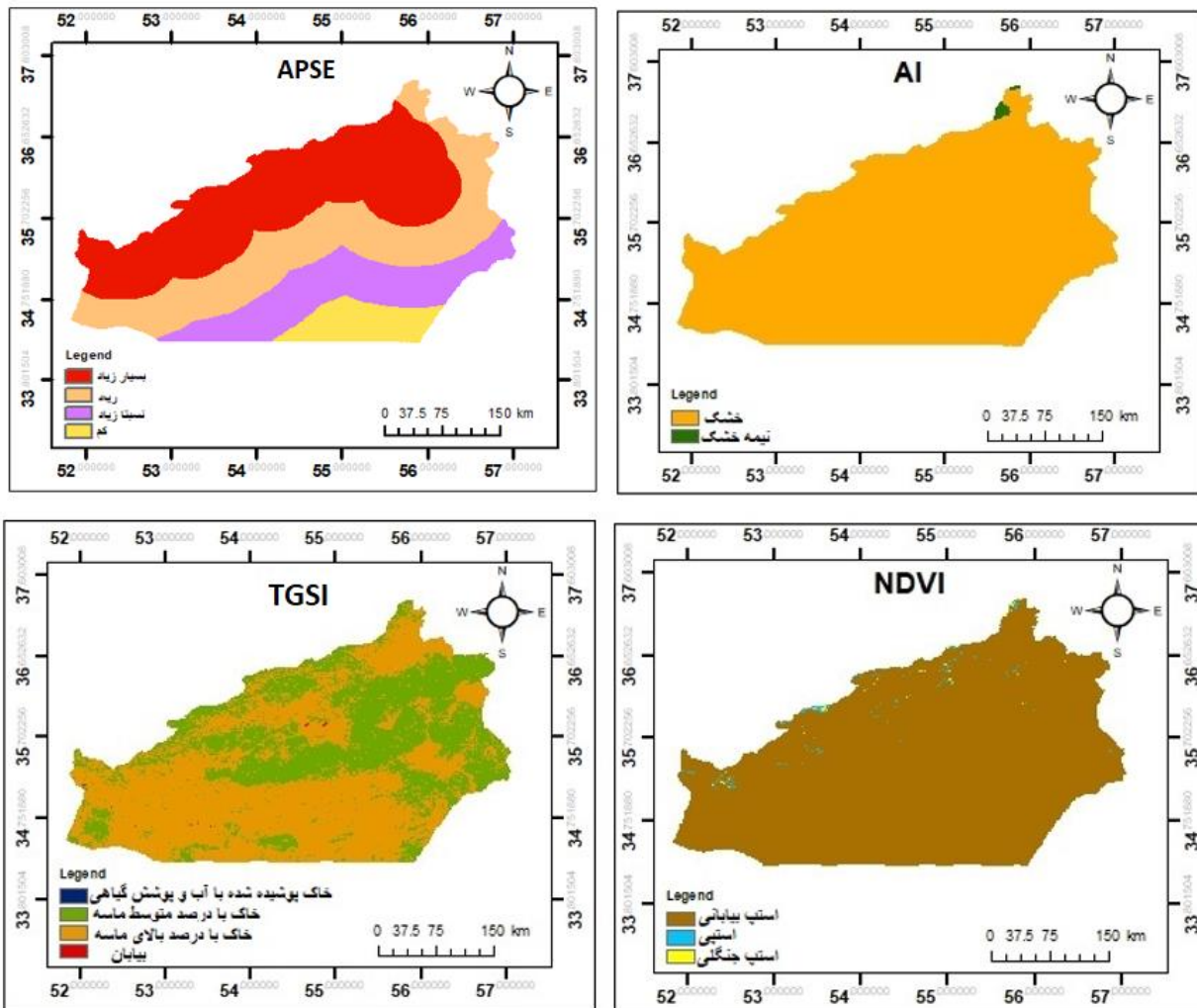
### یافته‌های پژوهش:

نتایج حاصل از محاسبه این متغیرها در منطقه مورد مطالعه در جدول ۱ و شکل ۴ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌کنید. نتایج بررسی بافت خاک منطقه (TGS) نشان می‌دهد که تقریباً بیش از نیمی از منطقه ۶۰٪ دارای زمینی با

محتویات بالای شن و ماسه می‌باشد که در سرتاسر استان پراکنده شده است. نتایج نقشه (NDVI) نشان می‌دهد که تقریباً تمامی پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه از نوع استپ بیابانی بوده است و استپ بیابانی ۹۹٪ منطقه را اشغال کرده است. پوشش گیاهی استپی و استپ جنگلی تنها کمتر از یک درصد منطقه را اشغال کرده که در نواحی شمالی استان واقع شده است. با توجه به شکل ۴ شاخص خشکی (AI) در کل منطقه به استثنای مناطق شمالی از نوع خشک است که ۹۹/۶٪ استان را شامل می‌شود. اثر فشار عامل انسانی در کل استان از قسمت شمال به جنوب استان کاهش می‌یابد. بیشترین فشار عوامل انسانی در ناحیه شمالی استان است که ۴۱/۶٪ استان را در بر می‌گیرد.

جدول ۲: مساحت، درصد و توصیف عوامل کنترل کننده بیابان زایی (شاخص اندازه دانه سطحی خاک، NDVI، شاخص خشکی و عوامل انسانی) مورد استفاده در ارزیابی خطر بیابان‌زایی در استان سمنان

مساحت (درصد)	مساحت (کیلومتر مربع)	توضیحات	کلاس بندی	معیارها
۰.۰۰۲	۱.۹۴۳	خاک پوشیده شده با گیاه و محدوده آبی	۰-۰/۲۷	بافت خاک (TGSI)
۳۹.۴۹	۳۸۳۸۱.۳۸	محتویات متوسط شن و ماسه	۰-۰/۰۱	
۶۰.۴۶	۵۸۷۶۲.۶۹	محتویات زیاد شن و ماسه	۰/۰۱_۰/۲	
۰.۰۳	۲۹.۱۵۷	محتویات کامل شن و ماسه (کویر)	۰/۲_۰/۲۶	
۹۹.۱۵	۹۶۳۶۶.۵۴	استپ بیابانی	۰-۰/۱۵	شاخص پوشش گیاهی (NDVI)
۰.۶۵	۶۳۱.۷۵	استپی	۰/۱۵_۰/۳۰	
۰.۱۹۲	۱۸۶.۶۰	استپ جنگلی	۰/۳۰_۰/۸۸	
۹۹.۶۴	۹۶۸۴۲.۷۹	خشک	۰/۰۶_۰/۲۰	شاخص خشکی (AI)
۰.۳۶	۳۴۹.۸۹	نیمه خشک	۰/۲_۰/۳۵	
۷.۲۳۸	۷۰۳۵.۴۸	کم		اثر عامل انسانی (APSE)
۱۸.۷۱۲	۱۸۱۸۶.۶۹	نسبتاً زیاد		
۳۲.۳۷۸	۳۱۴۶۹.۰۴	زیاد		
۴۱.۶۵	۴۰۴۸۰.۷۵	بسیار زیاد		



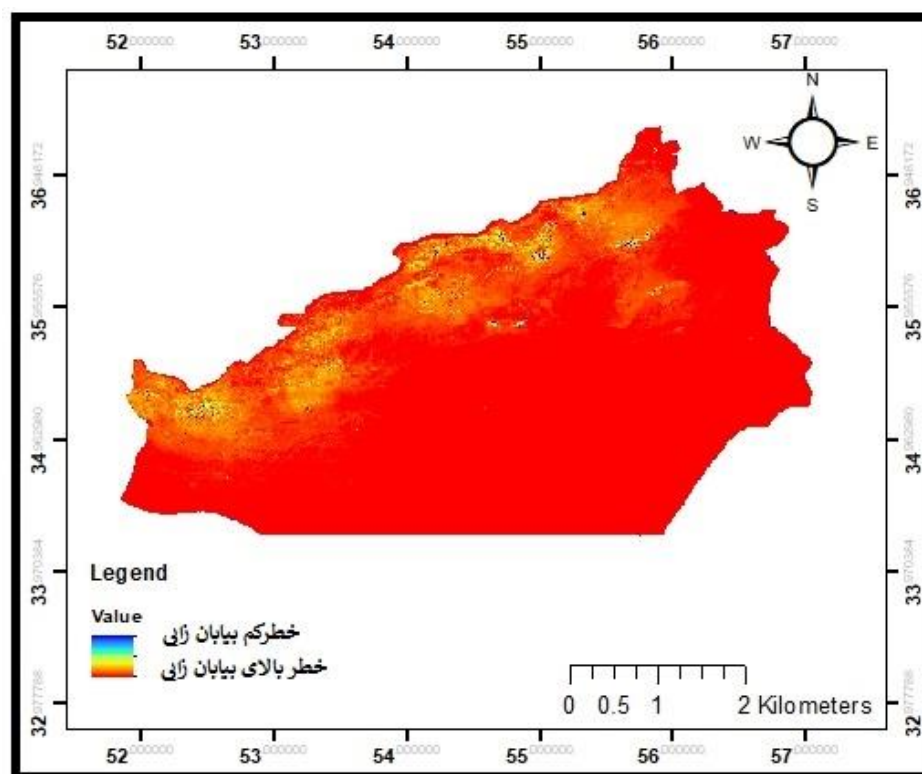
شکل ۴: نقشه طبقه بندی شده چهار متغیر مستقل: شاخص پوشش گیاهی (NDVI)، شاخص بافت خاک (TGSI)، ضریب خشکی (AI)، تاثیر عامل انسانی (APSE)

نقشه نهایی خطر بیابان‌زایی در استان سمنان با مشخص شدن ضریب هر یک از متغیرهای مستقل در نرم افزار Terrset2020 و از طریق فرمول زیر به دست آمده است:

$$\text{logit}(\text{BOL}) = -7.2633 + 23.6860 * \text{TGSI} - 3.657\text{E-}04 * \text{APSE} + 7.5601 * \text{NDVI} + 0.0014 * \text{AI}$$

از میان متغیرها عامل بافت خاک (TGSI) پیوستگی بیشتری با بیابان‌زایی داشته است. نقشه نهایی حاصل از مدل رگرسیون لجستیک (LRM) در شکل ۵ و جدول ۲ نشان داده شده است. همانطور که در نقشه مشاهده می‌کنید میزان خطر بیابان‌زایی از جنوب استان به سمت شمال

افزایش می‌یابد. شمال استان به دلیل مجاورت با رشته کوه البرز و آب و هوای معتدل خزری شمال ایران در منطقه کوهستانی واقع شده که نسبت به جنوب آن آب و هوای و پوشش گیاهی متفاوتی را دارد. پس از طبقه‌بندی خطر بیابان‌زایی به چهار طبقه ی مساوی مشخص شد که بیش از ۹۹٪ درصد مساحت استان در معرض خطر بیابان‌زایی بسیار شدید و شدید هستند. خطر بیابان‌زایی در منطقه با کاهش کیفیت خاک و کاهش تراکم پوشش گیاهی و شرایط آب و هوایی افزایش می‌یابد. به منظور بررسی صحت نتایج میزان  $R2$  محاسبه شده است. اگر میزان  $R2$  بیشتر از ۰.۲ باشد نشان می‌دهد که نتایج صحیح است. همانطور که در جدول مشاهده می‌کنید در این پژوهش میزان آن از ۰.۲ بیشتر است.



شکل ۵: نقشه پراکندگی خطر بیابان‌زایی در استان سمنان

جدول ۳: نتایج طبقه بندی خطر بیابان زایی در استان سمنان

میزان خطر بیابان زایی	مساحت (کیلومتر مربع)	مساحت (درصد)
خطر کم	۵/۶۳۷	۰/۰۰۵۸
خطر متوسط	۵۰/۵۴۰	۰/۰۵۲
خطر زیاد	۳۰۱/۲۹۷	۰/۳۱۰
خطر بسیار زیاد	۹۶۸۳۳/۰۶	۹۹/۶۳

جدول ۴: محاسبات آماری برای چهار متغیر مستقل

نتایج	مقدار
Number of total observations	۱۵۶۵۰۰
Number of 0s in study area	۱۵۶۲۳۶
Number of 1s in study area	۲۶۴
-2logL0	۴۲۰.۱۶۳۶
-2ln (Likelihood)	۳۳۲.۳۱۷۴
Pseudo R2	۰.۲۰۹۱
Goodness of fit	۶۱۸۴.۰۰۹۹
Chi- Square (7)	۸۷.۸۴۶۲

### نتیجه گیری:

پیشروی بیابان یا بیابان‌زایی حیات انسان و زمین را به مخاطره می‌اندازد و مقابله با این پدیده در قدم اول نیازمند شناسایی مناطق مستعد بیابان‌زایی برای مراقبت سپس توسعه پوشش گیاهی، جلوگیری از برداشت آب‌های زیرزمینی و مدیریت مصرف آب و پرهیز از بخشی‌نگری و داشتن یک برنامه‌ریزی مدون است. برطبق پژوهش‌ها و تحقیقات سازمان منابع طبیعی نیمی از اراضی استان فاقد پوشش گیاهی است که این مناطق بیشتر در جنوب و جنوب شرق استان واقع شده و به دلیل بهره‌برداری بی‌رویه از منابع زیستی اغلب مناطق استان حتی اراضی شمالی نیز تحت تاثیر شدید پدیده بیابان‌زایی قرار دارد. این بررسی‌ها نشان دهنده صحت مدل LRM به منظور شناسایی مناطق با خطر بالای بیابان‌زایی در استان سمنان است. علاوه بر آن نمونه مشابه مدل LRM در کشور الجزایر به منظور پهنه‌بندی خطر بیابان‌زایی استان تیساکار برده شده که نتایج حاصل از مدل مشابه اطلس بیابان‌زایی در آن استان بوده است (می‌هی، ۲۰۲۲). میزان R2 در این

پژوهش برابر با میزان آن در پژوهش مشابه انجام شده در کشور الجزایر است. به طور کلی، هر روش یا مدل دارای محدودیت‌هایی است که باعث ایجاد سطحی از عدم قطعیت در ارزیابی دقت مدل می‌شود. برای تهیه یک نقشه خطر بیابان‌زایی قابل اعتماد باید دو مرحله مهم در نظر گرفته شود. اولین مورد انتخاب یک رویکرد ارزیابی مرتبط است، و دوم شناسایی پارامترهای مناسبی است که بر پدیده بیابان‌زدایی تأثیر می‌گذارد (آگگون و ترک، ۲۰۱۰). پارامترهای مؤثر می‌تواند براساس شناخت به منطقه مورد مطالعه با دقت بیشتری انتخاب شود به این ترتیب، روش LRM برای تبدیل به نرم‌افزار آماری به نیاز دارد و زمانی که مجموعه داده وسیع باشد و همچنین در صورت وجود مجموعه داده‌های محدود به منظور تهیه نقشه بولین به عنوان متغیر وابسته، در این مورد استفاده از LRM برای ارزیابی توصیه نمی‌شود (آگگون و ترک، ۲۰۱۰؛ پارک و همکاران، ۲۰۱۳). همچنین انواع LRM مجموعه داده‌ها را می‌پذیرد و به داده‌های دقیقی نیاز ندارد (پارک ۱ و همکاران، ۲۰۱۳؛ جدویی و همکاران، ۲، ۲۰۱۷). در نتیجه، مدل توسعه‌یافته در این مقاله می‌تواند در مناطق فقیر از داده (کشورهای در حال توسعه) با شرایط مشابه اعمال شود. با این حال، این مدل پیشنهادی باید تحت شرایط مختلف (اقلیم، محیط جغرافیایی و مقیاس‌های زمانی و مکانی متفاوت) مورد بررسی قرار گیرد. نقشه موضوعی به‌دست‌آمده از سطح بیابان‌زایی، ابزار مفیدی برای مهندسان، برنامه‌ریزان و مسئولان برای کنترل مؤثرتر بیابان‌زایی است. براساس نتایج، روش اتخاذ شده در چارچوب این مقاله به اندازه کافی قوی به نظر می‌رسد تا نقشه خطر بیابان‌زایی را برای سایر نقاط کشور نشان دهد. علاوه بر این، این مدل بسیار سازگار، عملی است و می‌توان آن را به راحتی با داده‌های محلی موجود در کشورهای در حال توسعه تنظیم کرد.

---

<sup>1</sup> Park

<sup>2</sup> Djeddaoui

## منابع

- اذریان، فاطمه؛ ولی زاده، سارا؛ دهقان، پویان؛ خسروی، حسن (۱۳۹۴). ارزیابی و پهنه‌بندی ریسک بیابان‌زایی منطقه روداب خراسان رضوی. *مجله منابع طبیعی ایران*، دوره ۶۹، شماره ۴، صفحات ۸۰۴-۷۸۹.
- حسین‌زاده، محمدمهدی؛ نصرتی، کاظم؛ محمدی، فیروزه (۱۳۹۳). بررسی عوامل موثر بر بیابان‌زایی، پهنه‌بندی مناطق آسیب‌پذیر و پیشنهاد راهکارهای موثر برای کاهش پدیده بیابان‌زایی در منطقه خمین. *مجله امایش سرزمین*، دوره ۶، شماره اول، صص ۱۵۲-۱۲۹.
- زهنایان، علامرضا؛ جوادی، محمدرضا؛ احمدی، حسن؛ اذرنیوند، حسین (۱۳۸۵). بررسی اثر فرسایش بادی در افزایش شدت بیابان‌زایی و ارائه مدل منطقه‌ای بیابان‌زایی در حوزه آبخیز ماهان. *مجله پژوهش و ساندگی در منابع طبیعی*، شماره ۷۳، صص ۶۵.
- سالنامه اماری استان سمنان، ۱۳۹۹
- مقصودی، مهران؛ پیره، مهین (۱۴۰۰). شناسایی مناطق آسیب‌پذیر در مقابل بیابان‌زایی با استفاده از مدل DVI (مطالعه موردی: استان کرمان). *پژوهش‌های فرسایش محیطی*، دوره ۴۷، شماره ۳، صفحات ۱-۱۷.
- مرادی، حمیدرضا؛ فاضل‌پور، محمدرضا؛ صادقی، سیدحمیدرضا؛ حسینی، سیدزین‌العابدین (۱۳۸۷). بررسی تغییر کاربری اراضی در بیابان‌زایی محدوده شهر اردکان با استفاده از سنجش از دور. *فصل‌نامه تحقیقات مرتع و بیابان ایران*، دوره ۱۵، شماره ۱، صص ۱-۱۲.
- ممبئی، مریم؛ کرشاهی، عبدالعلی؛ آزادنی، فرزاد؛ گرای، پرویز؛ کریمی، کامران (۱۳۹۵). ارزیابی شدت بیابان‌زایی با استفاده از مدل ایرانی بیابان‌زایی (IMDPA) (مطالعه موردی: دشت عباس، اسلام). *مجله سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*، سال هفتم، شماره سوم، صص ۱۰۰-۱۱۱.
- Akgun A, Türk N (2010) Landslide susceptibility mapping for Ayvalik (Western Turkey) and its vicinity by multicriteria decision analysis. *Environ Earth Sci* 61(3):595–611. <https://doi.org/10.1007/s12665-009-0373-1>.
- Karavitis CA, Tsemelis DE, Oikonomou PD, Kairis O, Kosmas C, Fassouli V, Ritsema C, Hessel R, Jetten V, Moustakas N Todorovic B, Skondras NA, Vasilakou CV, Alexandris S, Koloky-tha E, Stamatakos DV, Stricevic R, Chatzigeorgiadis E, Brandt J, Geeson N, Quaranta G (2020) A desertification risk assessment decision support tool (DRAST). *CATENA* 187:104413. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104413>.
- Lamchin M, Lee JY, Lee WK, Lee EJ, Kim M, Lim CH, Choi HA, Kim SR (2016) Assessment of land cover change and desertification using remote sensing technology in a local region of Mongolia. *Adv Space Res* 57(1):64–77. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2015.10.006>.
- Mihi A (2021) Dynamic simulation of future date palm plantation (*Phoenix dactylifera* L.) growth using CA–Markov model and FAO-LCCS data in Algerian dryland oases desert. *Model Earth Syst Environ*. <https://doi.org/10.1007/s40808-021-01289-z>.
- Pan J, Li T (2013) Extracting desertification from Landsat TM imagery based on spectral mixture analysis and Albedo-Vegetation feature space. *Nat Hazards* 68(2):915–927. <https://doi.org/10.1007/s11069-013-0665-3>.
- Pan J, Li T (2013) Extracting desertification from Landsat TM imagery based on spectral mixture analysis and Albedo-Vegetation feature space. *Nat Hazards* 68(2):915–927. <https://doi.org/10.1007/s11069-013-0665-3>.
- Park S, Choi C, Kim B, Kim J (2013) Landslide susceptibility mapping using frequency ratio, analytic hierarchy process, logistic regression, and artificial neural network methods at the Inje area. *Korea Environ Earth Sci* 68(5):1443–1464. <https://doi.org/10.1007/s12665-012-1842-5>

- Panagos P, Katsoyiannis A (2019) Soil erosion modelling: the new challenges as the result of policy developments in Europe. *Environ Res* 172:470–474. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.02.043>
- Reynolds JF, Stafford Smith DM, Lambin EF, Turner BL, Mortimor M, Batterbury SPJ, Downing TE, Dowlatabad H, Fernandez RJ, Herrick JE, Huber-Sannwald E, Jiang H, Leemans R, Lynam T, Maestne FT, Ayarza M, Walker B (2007) Global desertification: building a science for drylands development. *Science* 316(5826):847–851
- Rattan Lal(2012),Climate Change and Soil Degradation Mitigation by Sustainable Management of Soils and Other Natural Resources, *Agricultural Research* volume 1, pages199–212 (2012)
- rvine B, Cosmas C (2003) PESERA (Pan-European Soil Erosion Risk Assessment Model)
- Liniger H, Van Lynden G, Nachtergaele F, Schwilch G, Biancalani R(2008) A questionnaire for mapping land degradation and sustain-able land management. CDE/WOCAT, FAO/LADA, ISRIC.
- Sandeep P, Reddy GO, Jegankumar R, Kumar KA (2021) Modeling and assessment of land degradation vulnerability in semi-arid ecosystem of Southern India using temporal satellite data, AHP and GIS. *Environ Model Asse* 26(2):143–154. <https://doi.org/10.1007/s10666-020-09739-1>.
- UNEP (1994) UN Earth Summit. Convention on Desertification. UN Conference in Environment and Development, Rio de Janeiro, Brazil, June 3–14: 1992. DPI/SD/1576. United Nations, New York