CERTIFICATE

Article Acceptance & Presentation

The 2St International Conference of GIScience:

Basis & Trans/Interdisciplanary Applications

6th FUM-GIS Day

Certifies that article titled:

Desertification Sensitivity Zoning of Kavir e Namak Basin, in Khorasan Razavi Province Using by ESAs Model and GIS-RS Techniques

By:

Ali Asghar Taleban fard, Morteza Akbari, Mahmmoad Aezami rad, Ahmad Emamian

Has accepted in:

The 2St International Conference of GIScience:Basis & Trans/Interdisciplanary Applications
20 December 2021, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

Scientific Secretary
Dr. Masoud Minaei

Ferdowsi University of Mashhad

IRANIAN RS & GIS SOCIETY
انجمن سنجش از دور و GIS ایران

Sponsored and Indexed by CIVILICA We Respect the Science

RICeST

Chongqing University of Posts and Telecommunications

IGU UGI

ISC

Geo for All

Regional Water Company of Khorasan Razavi

University of TEHRAN

Shahid Beheshti University

International Conference of GIScience: Basis and Trans/ Interdisiciplanary Applications
دومین همایش بین المللی
علم اطلاعات جغرافیایی
بنیادها و کاربردهای بین رشته ای
ششمین بزرگداشت روز جهانی GIS
6th FUM_GISDay
2021/1400

پهنه‌بندی حساسیت به بیابان‌زایی حوضه کویر نمک استان خراسان رضوی با استفاده از مدل ESAs و فن‌آوری GIS و RS

علی اصغر طالبان فرد*[۱]، مرتضی اکبری[۲]، محمود اعظمی راد[۳]، احمد امامیان[۴]

[۱] کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه فردوسی مشهد، ataleban_fard@yahoo.com

[۲] استادیار، گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه فردوسی مشهد، m_akbari@um.ac.ir

[۳] دکتری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه فردوسی مشهد، azamyrad@yahoo.com

[۴] کارشناس ارشد، اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان خراسان رضوی، ahmad_emamian@yahoo.com

چکیده

هدف اصلی این پژوهش، شناسایی و ارزیابی شاخص‌ها و معیارهای بیابان‌زایی و تخریب سرزمین در حوضه کویر نمک و پهنه‌بندی عرصه بر اساس میزان حساسیت به بیابان‌زایی است. این پژوهش با استفاده از مدل ارزیابی حساسیت‌های زیست محیطی اراضی (ESAs) و جمع آوری داده های موجود و داده های سنجش از دور و پردازش آنها در سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) صورت گرفت. ابتدا ۵ معیار اصلی بیابان‌زایی و تخریب سرزمین، شامل خاک، اقلیم، پوشش گیاهی، فرسایش و نحوه مدیریت انتخاب، سپس براساس نظرات کارشناسی و مطالعات میدانی شاخص های هر معیار بین عدد ۱ و ۲ وزن دهی شدند. سپس با محاسبه میانگین هندسی شاخص‌های هر معیار، اندکس کیفیت معیارها تعیین و نقشه هر معیار تهیه گردید. نقشه پهنه بندی حساسیت به بیابان‌زایی اراضی حوضه کویر نمک استان با استفاده از کلاسه بندی استاندارد مدل و با محاسبه میانگین هندسی کیفیّت معیارها بدست آمد. نتایج نشان داد از میان ۵ معیار اصلی، بترتیب پوشش گیاهی، اقلیم، فرسایش، مدیریت و معیار خاک سهم موثری در بروز پدیده بیابان‌زایی دارند. در حدود ۸.۵ درصد از اراضی منطقه در کلاس شکننده (F) و در حدود ۹۱ درصد منطقه در کلاس های بحرانی (C1, C2, C3) و بخش کوچکی از منطقه دارای پتاسیل (P) بیابان‌زایی است.

واژه‌های کلیدی: تخریب سرزمین، پوشش گیاهی، شدت بیابان‌زایی، حوضه کویر نمک

* نویسنده مسئول مکاتبات: ۰۹۱۵۵۰۹۷۸۴۹

Desertification sensitivity zoning of Kavir e Namak basin, in Khorasan Razavi province using by ESAs model and GIS-RS techniques

Ali Asghar Talebanfard 1, Morteza Akbari 2, Mahmood Azami rad3, Ahmad Emamian[4]

[1]*Master, Ferdowsi University Faculty of natural resources and environment, ataleban_fard@yahoo.com*
[2]*Assistant professor, Ferdowsi University Faculty of natural resources and environment, m_akbari@um.ac.ir*
[3]*Phd, Ferdowsi University Faculty of natural resources and environment, azamyrad@yahoo.com*
[4]*Master, Natural resources and watershed head office of Khorasan Razavi province, ahmad_emamian@yahoo.com*

Abstract

The main purpose of this study is to identify and evaluate the indicators and criteria of desertification and land degradation in the Kavir e Namak basin and zoning of the area based on the sensitivity to desertification. This research was carried out using the Land Environmental Sensitivity Assessment Model (ESAs) and the collection of existing data and remote sensing data and their processing in the Geographic Information System (GIS). First, the 5 main criteria of desertification and land degradation, including soil, climate, vegetation, erosion and management methods were selected, then based on expert opinions and field studies, the indicators of each criterion were weighed between 1 and 2. Then, by calculating the geometric mean of the indicators of each criterion, the quality index of the criteria was determined and a map of each criterion was prepared. The zonation map of desertification susceptibility lands of Namak desert basin of the province was obtained using standard model classification and calculating the geometric average of quality criteria. The results showed that among the 5 main criteria, vegetation, climate, erosion, management and soil criteria have an effective share in the occurrence of desertification, respectively. About 8.5% of the area lands in the fragile class (F) and about 90% of the area in the various critical classes (C1, C2, C3) and a small part of the area has desertification potential.

Keywords: Land degradation, Vegetation, Desertification intensity, Kavir e Namak basin

۱ – مقدمه

کنفرانس محیط زیست و توسعه ملل متحد (۱۹۹۲)، بیان می‌دارد که بیابان‌زایی عبارت است از تخریب سرزمین در اراضی خشک و نیمه خشک که بدلیل عوامل گوناگونی از جمله تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسان صورت می‌گیرد. در بسیاری از کشورها، بیابان‌زایی یکی از چالش های اصلی آنها است. بیابان‌زایی یک چهارم اراضی کره زمین را تحت تاثیر قرار داده (کنوانسیون مقابله با بیابان‌زایی ، ۲۰۰۸) و در آفریقا بیش از یک میلیارد هکتار از اراضی این قاره تحت تاثیر بیابان‌زایی است (توماس، ۱۹۹۵) فاکتورهای متعددی به مانند ماشه، در بروز پدیده بیابان‌زایی عمل می‌نمایند که از جمله می‌توان به خشکی، فرسایش خاک، تخریب پوشش گیاهی در اثر چرای مفرط، فعالیت‌های معدنی، رشد جمعیت، فقر و سیاست‌های سیستم‌های تحقیقاتی توسعه کشاورزی و محیط زیست اشاره نمود(اکبری و همکاران، (۲۰۱۹) این نگاه و نتیجه گیری نیز در مطالعاتی دیگر همچون جیانگ و همکاران، (۲۰۱۹)، کار ، (۲۰۱۸) و بوستا و عبدالرحیم (۲۰۱۹)، اشاره شده است. در حال حاضر بیابان‌زایی به عنوان چالش مهمی است که بسیاری از کشورهای جهان بخصوص کشورهای در حال توسعه را تحت تاثیر قرارداده است. نتیجه فرآیند بیابان‌زایی از بین رفتن منابع تجدید شونده در این کشور ها است (گارگی و همکاران ۲۰۱۵ ، لهلایی و همکاران، ۲۰۱۷)، بیابان‌زایی فرآیندی است که در نتیجه تخریب سرزمین در اراضی خشک، نیمه خشک و خشک نیمه مرطوب تحت تاثیر عوامل مختلف از جمله تغییرات اقلیمی و عملکرد نادرست انسان ایجاد می‌شود(کنوانسیون ملل متحد برای مقابله با بیابان‌زایی، ۱۹۹۴). بیابان‌زایی به عنوان یکی از سه چالش اصلی فرا روی بشر در قرن ۲۱ پس از چالش های مهم تغییر اقلیم و کمبود آب شیرین است. این پدیده، بیش از ۷۸۵ میلیون نفر انسان ساکین مناطق خشک را که معادل ۱۷/۷ درصد جمعیت کل جهان است تهدید می‌کند. از این تعداد، بین ۶۰ تا ۱۰۰ میلیون نفر به طور مستقیم به علت کاهش حاصلخیزی اراضی و دیگر فرایندهای بیابانزایی تحت تأثیر قرار می‌گیرند (کنوانسیون سازمان ملل برای مقابله با بیابان‌زایی، ۲۰۰۸). به اعتقاد این کنوانسیون، شناسایی شاخص‌ها و معیارهای اصلی بیابان‌زایی، امر مدیریت و مقابله با این پدیده را تسهیل می‌نماید. علاوه بر آن برای هدف ارزیابی بیابان‌زایی و تخریب سرزمین، مدل‌ها، معیارها و شاخص‌های متعدد و با رویکردهای مختلف وجود دارد (باآرتمن و همکاران، ۲۰۰۷، کایریس و همکاران، ۲۰۱۵)، نتایج این ارزیابی‌ها می‌تواند راهنمای مفیدی در تصمیم‌گیری‌های مدیران باشد.. همچنین اکبری و همکاران (۱۰۱۹)، اشاره دارد به اینکه متدهای دقیقی برای ارزیابی و پهنه‌بندی ریسک بیابان‌زایی وجود دارد.

در ایران، آمار و گزارش ها نشان می‌دهدکه سالانه حدود یک میلیون هکتار از اراضی کشور به سمت بیابانی شدن سوق می‌نماید و گاهی برای نشان دادن عمق فاجعه، سرعت این روند تخریبی به صورت هکتار در ثانیه بیان می‌گردد. این پدیده موجب گردیده تا بخش هایی ازکشور ایران که دارای اکوسیستم‌های شکننده هستند، در سال های اخیر با افزایش جمعیت و گسترش فعالیت های غیر اصولی انسانی، در معرض تشدید فرسایش و بیابان‌زایی قرار گیرند

استان خراسان رضوی به ۵ حوضه بزرگ آبخیز تقسیم می‌گردد. پهنه‌بندی حوضه‌های اصلی استان عبارتند از حوضه قره قوم در بخش شمالی، حوضه شرق کشور در جنوب و جنوب شرق استان، حوضه کویر نمک در جنوب و جنوب غرب، حوضه کویر مرکزی در غرب و بخش کوچکی از حوضه اترک در شمال غرب استان قرار دارد (سیمای منابع طبیعی و آبخیزداری خراسان رضوی،۱۳۹۶). اگرچه مطالعات و پژوهش‌های متعددی در حوضه ها و زیر حوضه‌های بر شمرده فوق صورت گرفته، اما بررسی‌ها نشان می‌دهد که به استثنای مطالعات موردی و در مقیاس محلی، مطالعات جامعی در خصوص پهنه‌بندی عرصه‌های استان از نظر درجه حساسیت به عوامل تخریب سرزمین بر اساس ارزیابی‌های زیست محیطی صورت نگرفته است. از سوی دیگر به دلیل عدم وجود چنین نقشه ای، بررسی‌های تحلیلی و راهبردهای مدیریت سرزمین نیز در اختیار نیست تا با بهره برداری از آن، مدیران بتوانند در جانمایی، متناسب‌سازی و پایداری پروژه‌ها اقدام نمایند. بنابراین ضروری است با ارزیابی و پهنه‌بندی اراضی حساس به بیابان‌زایی، با استفاده از روش‌های علمی، نسبت به پیش بینی سناریوها و اقدامات مدیریتی برای کنترل مخاطرات ناشی از بیابان‌زایی اقدام گردد.

این پژوهش از این حیث که مبتنی بر متدولوژی ارزیابی و پهنه‌بندی میزان حساسیت‌های زیست محیطی اراضی به

پدیده بیابان‌زایی درحوضه کویر نمک بعنوان منطقه بیابانی و یکی از حوضه های بزرگ استان، اقدامی ضروری بنظر می‌رسد و از آنجا که نتایج آن بخصوص در زمینه آینده‌پژوهی و ارائه راهبردها و استراتژی‌های مدیریتی می‌تواند مورد بهره برداری مدیران واقع گردد، حائز اهمیت است. سایر اهداف این پژوهش عبارتند از استفاده از جمع آوری داده‌های موجود و قابل استفاده و پردازش نمودن آنها در محیط GIS و تهیه داده‌های سنجش از دور RS با استفاده از داده‌های ماهواره سنتینل ۲ و بهره برداری از آنها در سامانه اطلاعات جغرافیایی و نیز پردازش و تهیه نقشه های رقومی شاخص‌ها و معیارهای اصلی بیابان‌زایی در حوضه مورد مطالعه و در نهایت تهیه نقشه حساسیت های زیستی اراضی منطقه به بیابان‌زایی و ارائه راهکارهای مدیریت سرزمین می‌باشد.

مروری بر پیشینه پژوهش:

کوسماس و همکاران (۱۹۹۹)، مبتکر روش مدالوس برای ارزیابی بیابان‌زایی در کشورهای حوزه مدیترانه، متدولوژی پهنه‌بندی و تهیه نقشه اراضی حساس به بیابان‌زایی را تهیه و طی گزارشی به کمیسیون اروپا، نتایج پژوهش خود را در سه نقطه جغرافیایی هدف (یونان در جزیره لس وس، ایتالیا در حوضه اگری در باسیلیکاتا و پرتغال در منطقه آلنتیگو) ارائه نمود. نتایج بررسی‌های انجام شده تحت عنوان متدولوژی تهیه نقشه پهنه‌بندی اراضی حساس به بیابان‌زایی در سال ۱۹۹۹ منتشرگردید. بر اساس این روش، ارزش عددی کیفیت ۴ معیار خاک، اقلیم، پوشش گیاهی و عوامل اجتماعی اقتصادی از طریق محاسبه میانگین هندسی شاخص‌های هرمعیار طبق جدول شماره ۱ و فرمول های ذیل محاسبه می‌گردد:

جدول شماره ۱ - معیارها و شاخص‌های استاندارد حساسیت زیست محیطی اراضی به بیابان‌زایی

معیار	شاخص‌ها
کیفیت خاک (SQI)	بافت (t) $texture$ – مواد مادری (p) $parent\ material$ – قطعات سنگی (r) $rock\ fragment$ – عمق (d) $dept$ – شیب (s) $slope$ – زهکشی (d) $drainage$
کیفیت اقلیم (CQI)	بارندگی (r) $rainfall$ – خشکی (ar) $aridity$ – چهره زمین (as) $aspect$
کیفیت پوشش گیاهی (VQI)	خطرآتش سوزی (f) $fire\ risk$ – جلوگیری از فرسایش (e) $erosion\ protection$ – مقاومت به خشکی (d) $drought\ resistance$ – پوشش گیاهی (v) $vegetation\ cover$
کیفیت مدیریت (MQI)	شدت بهره برداری از زمین (L) $land\ use\ intensity$ – سیاست گذاری (p) $policy\ enforcement$

$$SQI = (t * p * r * d * s * d)^{1/6}$$

$$CQI = (r * ar * as)^{1/3}$$

$$VQI = (f * e * d * v)^{1/4}$$

$$MQI = (l * p)^{1/2}$$

برای تعیین و کلاسه بندی میزان حساسیت زیست محیطی اراضی به بیابان‌زایی نیز با محاسبه میانگین هندسی مقادیر معیارها از طریق فرمول زیر بدست آمد:

$$ESAs = (SQI * CQI * VQI * MQI)^{1/4}$$

کوسماس و همکاران (۲۰۰۶)، اعتقاد دارد که شناسایی شاخص‌های اصلی بیابان‌زایی یکی از اولویت‌های کنوانسیون بین المللی مقابله با بیابان‌زایی می‌باشد. از مجموع این شاخص‌ها می‌توان به سهولت به عنوان ابزاری برای کنترل بیابان‌زایی استفاده نمود. ابزارها یا معیارهای ارزیابی بیابان‌زایی مبتنی بر مدل ESAs ، بر حسب ماهیت و ارتباطشان،

به گروه های زیر تقسیم می‌گردند: الف) عوامل فیزیکی محیطی مانند خاک، پوشش گیاهی و اقلیم ب) عوامل مدیریت سرزمین مانند زراعت، آبیاری، تراکم خاک در اثر چرای دام، حفاظت از آتش سوزی در جنگل، میزان فرسایش و غیره ج) عوامل اجتماعی اقتصادی مانند سن کشاورزان، اندازه خانوارها، اندازه اراضی زراعی، یارانه ها، درآمد کشاورزان و غیره. در حال حاضر این مطلب پذیرفته شده است که در ارزیابی بیابان‌زایی بهتر است توامان از فاکتورهای اجتماعی اقتصادی و بیوفیزیکی استفاده شود تا منحصراً از فاکتورهایی که به سادگی قابل تغییرمی باشند (لامبین و همکاران، ۲۰۰۹). برخی دیگر از مدل‌های ارزیابی بیابان‌زایی عبارتند از FAO – UNEP ، آکادمی علوم ترکمنستان، DPSIR و مدل‌های ایرانی ICD و MICD (ا ختصاصی و همکاران، ۱۹۹۵)، و مدل IMDPA که یکی از جدیدترین مدل‌های ارزیابی بیابان‌زایی است که توسط سازمان جنگل ها، مراتع و آبخیزداری کشور در پروژه ای تحت عنوان تهیه شرح خدمات و متدولوژی تعیین معیارها و شاخص‌های بیابان‌زایی با همکاری گروهی از اساتید و محققین کشور در سال ۱۳۸۴ تدوین گردید (ذوالفقاری و همکاران ۱۳۹۰).

فتحی و همکاران (۱۳۹۳)، طی پژوهشی در کانون بحرانی بیابان‌زایی منطقه جرقویه استان اصفهان، کارایی مدل‌های پهنه‌بندی بیابان‌زایی MEDALUS، MICD و FAO – UNEP را در این منطقه مقایسه نمودند. نتایج حاصله نشان داد که بیش از ۹۵ درصد منطقه مطالعاتی دارای بیابان‌زایی شدید تا بسیار شدید می‌باشد که با مطالعات قبلی مطابقت دارد. مقایسه تفکیک کلاس‌های شدت بیابان‌زایی در واحدهای کاری نشان داد که حدود ۴۵ درصد توافق بین مدل‌های خارجی MEDALUS و FAO – UNEP با مدل ایرانی MICD وجود دارد. روش ۵ کلاسه بودن مدل ایرانی نسبت به ۴ کلاسه بودن دو مدل دیگر دلیل توافق پایین بین آنها است. در صورتیکه کلاسه‌بندی روش ایرانی مانند دو روش دیگر هماهنگ گردد، این روش با متد مدالوس بیش از ۸۳ درصد مساحت منطقه با کلاس‌های شدت بیابان‌زایی توافق خواهد داشت. با توجه به نتایج مطالعه، شرایط و ویژگی‌های منطقه مطالعاتی و عملیات میدانی بترتیب مدل‌های MEDALUS، MICD و FAO – UNEP کارایی موثری در پهنه‌بندی شدت بیابان‌زایی داشتند.

یغماییان مهابادی و همکاران (۱۳۹۶)، اعتقاد دارد استفاده از مدل ESAs بدلیل آسانی، در دسترس بودن داده‌ها و سازگاری با شاخص‌های موثر در تخریب اراضی و بکارگیری میانگین هندسی بجای میانگین حسابی، نسبت به سایر مدل‌ها مزایای بیشتری دارد. وی برای پهنه‌بندی و ارزیابی تخریب اراضی در حوضه سیاهپوش استان اردبیل از مدل مدالوس استاندارد و اصلاح شده استفاده و ۴ معیار کیفیت خاک، کیفیت اقلیم، کیفیت پوشش گیاهی و کیفیت مدیریت اراضی را با استفاده از میانگین هندسی شاخص‌های مربوط به هر یک از معیارها تعیین نمود. بر اساس نتایج حاصله، معیارهای مدیریت و اقلیم بیشترین تاثیر را در بیابان‌زایی حوضه مطالعاتی داشتند.

سپهر و همکاران (۲۰۰۷)، طی پژوهشی با عنوان ارزیابی کمی بیابان‌زایی در جنوب ایران با استفاده از متد مدالوس مطالعاتی را در منطقه فِدویه - گرمُشت از توابع خنج شهرستان لارستان فارس با استفاده از ۶ معیار ترکیبی اقلیم، خاک، پوشش گیاهی، فشار انسانی، فرسایش و آبهای زیر زمینی انجام و میانگین هندسی زیر فاکتورها یا شاخص‌های هر یک از معیارهای فوق را بین ۱ و ۲ وزن دهی و سیستم اطلاعات جغرافیایی برای تجزیه و تحلیل و تهیه نقشه لایه های اطلاعاتی هر یک از معیارهای فوق اقدام و با استفاده از میانگین هندسی معیارهای ششگانه و نقشه‌های مربوطه، نقشه اراضی حساس به بیابان‌زایی منطقه هدف را بر اساس این مدل تهیه نمود. علاوه بر این نتیجه گرفت که پوشش گیاهی و آبهای زیرزمینی مهمترین شاخص‌های بیابان‌زایی در منطقه مطالعاتی می باشند.

سیلاخوری (۱۳۹۳)، طی پژوهشی، پهنه‌بندی شدت خطر بیابان‌زایی منطقه مزینان سبزوار را از منظر معیار خاک با استفاده از مدل ESAs انجام داد. وی نتیجه گرفت که این مدل متوسط گرا بوده و برآورد متوسطی از بیابان‌زایی را نشان و از اینرو روش مناسبی برای ارزیابی بیابان‌زایی می‌باشد.

فزونی و همکاران (۲۰۱۲)، در پژوهشی تحت عنوان ارزیابی بیابان‌زایی با استفاده از متد مدالوس، با تاکید بر شاخص‌های بادی و آبی در منطقه قرقری در دشت سیستان اعتقاد دارد که مدل ابداعی کمیسیون اروپا برای ارزیابی بیابان‌زایی دارای دو ویژگی است. اول اینکه این مدل دارای دقت بالا می‌باشد و امتیاز دوم اینست که در محیط GIS با

استفاده از اندازه‌گیری وزن لایه ها، تهیه نقشه لایه ها نیز امکانپذیر است. از اینرو علاوه بر سرعت، خطاهای کارشناسی را نیز به حداقل می‌رساند. در این پژوهش ابتدا معیارهای اصلی و موثر در بیابان‌زایی را شناسایی، سپس دو معیار اصلی منطبق بر شرایط منطقه یعنی فرسایش بادی و آبی را انتخاب و شاخص‌های اصلی معیارهای فوق تعیین و مقدار هر شاخص را نیز بر اساس روش مدالوس کمی و وزن دهی نمود. در مرحله بعد، نقشه کمی فرسایش بادی و آبی با محاسبه میانگین هندسی شاخص‌های هر معیار تهیه و سرانجام نقشه حساسیت به بیابان‌زایی در محیط GIS تهیه گردید. نتایج نشان داد که معیار فرسایش بادی با میانگین ۲/۸۴ و معیار فرسایش آبی با میانگین ۱/۸۶ بترتیب در کلاس‌های بیابان‌زایی شدید و متوسط قرار دارند.

سبحانی و همکاران (۲۰۱۵)، در پژوهشی تحت عنوان ارزیابی حساسیت‌های زیست محیطی اراضی به بیابان‌زایی در شمال ایران (حوضه آبخیز چهل – چایی گرکانرود) از متد مدالوس برای ارزیابی خطر بیابان‌زایی و از مدل ESAs برای تعیین کلاس‌های مختلف حساسیت به بیابان‌زایی استفاده نمود. وی اعتقاد دارد که این روش دارای دقت بالا و توانایی وزن‌دهی و محاسبه، قابلیت استفاده از GIS و استفاده از میانگین هندسی بجای میانگین حسابی معیارها و شاخص‌های موثر بوده و در نهایت نیز قادر به تولید نقشه بیابان‌زایی می‌باشد. مطالعات انجام شده در این حوزه نشان می‌دهد که بیش از ۵۷ درصد عرصه این حوضه دارای اندکس بالاتر از ۱/۵ بوده و هر دو پدیده کاهش توانایی و تخریب سرزمین را که متاثر از فعالیت‌های غیر اصولی انسان و پوشش سطحی کم و نیز پوشش خاکی کم در این منطقه است مشاهده می‌گردد.

با استفاده از جدول شماره ۲ شدت و دامنه اندکس حساسیت به بیابان‌زایی، با توجه به مقادیر عددی ESAI استاندارد، در ۴ زیر کلاس بحرانی، شکننده، دارای پتانسیل و غیر موثر طبقه بندی می‌گردد (جعفری و همکاران، ۱۳۹۸).

جدول شماره ۲ - طبقه‌بندی حساسیت اراضی به بیابان‌زایی

کلاس / Type	زیر کلاس / Sub type	دامنه اندیکس / Range of ESAI
بحرانی	C3	۱/۵۳ <
بحرانی	C2	۱/۴۲ – ۱/۵۳
بحرانی	C1	۱/۳۸ – ۱/۴۱
شکننده	F3	۱/۳۳ – ۱/۳۷
شکننده	F2	۱/۲۷ - ۱/۳۲
شکننده	F1	۱/۲۳ – ۱/۲۶
دارای پتانسیل	P	۱/۱۷ – ۱/۲۲
غیر موثر	N	۱/۱۷ >

لی و همکاران (۲۰۱۹)، پژوهشی تحت عنوان ارزیابی اراضی حساس به بیابان‌زایی با استفاده از روش مدالوس در کشور مغولستان با حمایت مالی و گرنت موسسه تحقیقات ملی وزارت علوم کره جنوبی انجام داد، هدف اصلی این پژوهش، ارزیابی کمی اراضی حساس به بیابان‌زایی با رویکرد مدالوس و تهیه نقشه پوشش زمین در سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۰۸ بود. وی با استناد به پژوهش دو تن از محققین ایرانی (فرج زاده و اقبال، ۲۰۱۷)، معتقد است که متد مدالوس باید متناسب با شرایط هر منطقه اصلاح گردد. از اینرو در مطالعات خود، شاخص‌های موثر در بیابان‌زایی مغولستان را برای هر فاکتور یا معیار اصلاح نمود. در این مطالعات، میانگین هندسی معیارکیفیت خاک SQI (با شاخص‌های تیپ خاک، عمق خاک، زهکشی و شیب)، معیار کیفیت اقلیم CQI (با شاخص‌های میزان بارندگی و اندکس خشکی) ، معیار کیفیت پوشش گیاهی VQI (با شاخص‌های جلوگیری از فرسایش و پوشش گیاهی) و معیار کیفیت چرا GQI با شاخص دام مازاد محاسبه و نقشه هر معیار در محیط GIS برای سال ۲۰۰۳ و ۲۰۰۸ تهیه و با استفاده از میانگین هندسی معیارهای فوق، اندکس ESAI تهیه و در محیط GIS نقشه پوشش زمین در سال های ۲۰۰۳ و ۲۰۰۸ تهیه گردید. نتیجه مطالعات نشان داد که کشور مغولستان نسبت بالایی از بیابان‌زایی را از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۸ تجربه

نموده است. مقادیر ESAI نشان داد که مساحت اراضی در کلاس با حساسیت بحرانی شدید (ESAI > 1.53) در مناطق جنوبی مغولستان تقریباً ۵ برابر افزایش یافته است. در مناطق جنوبی مغولستان، مساحت کلی مناطقی که در کلاس حساسیت شکننده تا نیمه بحرانی هستند نیز افزایش داشته است. همچنین مقایسه نقشه های ESAI و Land Cover و نقشه های NDVI نشان دهنده شباهت زیادی بین هر سه توزیع فضایی است. نتایج نشان داد که نواحی جنوب غربی مغولستان که دارای توپوگرافی کوهستانی است با سرعت بیشتری بطرف بیابان‌زایی پیش می رود.

جمع‌بندی پژوهش‌های انجام شده حاکی از این است که:

۱ - شناسایی شاخص‌های اصلی بیابان‌زایی یکی از اولویت‌های کنوانسیون جهانی مقابله با بیابان‌زایی است. استفاده از این شاخص‌ها با سهولت می‌تواند به عنوان ابزاری برای کنترل بیابان‌زایی استفاده گردد. ابزارها یا معیارهای ارزیابی بیابان‌زایی مبتنی بر مدل ESAs بر حسب ارتباطشان به گروه های زیر تقسیم می‌گردند. الف) عوامل فیزیکی و محیطی مانند خاک، پوشش گیاهی و اقلیم ب) عوامل مدیریت سرزمین مانند زراعت، آبیاری، تراکم خاک در اثر چرا، حفاظت از آتش‌سوزی جنگل ها و میزان فرسایش ج) عوامل اجتماعی اقتصادی. در حال حاضر پذیرفته شده که در ارزیابی بیابان‌زایی بهتر است از فاکتورهای اجتماعی اقتصادی و بیوفیزیکی استفاده شود.

۲ - روش استاندارد مدالوس در سال ۱۹۸۷ توسط کمیسیون اروپا برای ارزیابی بیابان‌زایی کشورهای حوزه مدیترانه تهیه گردید. در این مدل حساسیت به بیابان‌زایی و تخریب سرزمین با استفاده از ۴ معیار ترکیبی موثر در بروز این پدیده مانند معیارخاک، معیار اقلیم، معیار پوشش گیاهی و معیار فعالیت‌های انسانی استفاده می‌گردد. اما می‌توان برای تهیه نقشه و پهنه‌بندی حساسیت به بیابان‌زایی مناطق مختلف و در مقیاس های گوناگون، از روش مدالوس اصلاح شده استفاده و شاخص‌های موثر در هر منطقه را انتخاب و آنها را در معیارهای محیطی و انسانی متعدد طبقه بندی نمود.

۳ - استفاده از این مدل بدلیل آسانی، در دسترس بودن داده ها و سازگاری با شاخص‌های موثر در تخریب اراضی و بکار گیری میانگین هندسی بجای میانگین حسابی، نسبت به سایر مدل‌ها مزایای بیشتری دارد. علاوه بر این می‌توان با انتخاب شاخص‌های مناسب، از این مدل برای تحلیل حساسیت و روند بیابان‌زایی در مقیاس استانی و کشوری نیز استفاده نمود.

معرفی منطقه مورد مطالعه:

محدوده مورد مطالعه، حوضه آبخیز کویر نمک در استان خراسان رضوی است که شامل تمامی مساحت شهرستان های مه ولات و بجستان و بخش های عمده ای از شهرستان های کاشمر، خلیل آباد، تربت حیدریه، زاوه، رشتخوار و گناباد و نیز قسمت محدودی از شرق شهرستان بردسکن است (اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری خراسان رضوی، ۱۳۹۶). قسمت جنوبی حوضه کویر نمک در خراسان جنوبی واقع می‌گردد که خارج از محدوده مورد مطالعه در این پژوهش می‌باشد. مساحت محدوده مورد مطالعه با توجه به نقشه رقومی شکل ۱ معادل ۲۱۲۱۸۵۹/۴۰ هکتار است

شکل ۱ – محدوده مورد مطالعه، حوضه کویر نمک در استان خراسان رضوی (منبع : نویسنده)

۲- داده‌ها و روش تحقیق

مراحل انجام کار به شرح زیر می‌باشد:

الف) تعیین شاخص‌ها و محاسبه کیفیت معیارهای بیابان‌زایی منطقه:

گام اول - جمع آوری داده‌ها: با توجه به اینکه بخش مهمی از کار می بایست با استفاده از نرم افزارهای سیستم اطلاعات جغرافیایی و نیز از طریق سنجش از دور انجام گردد، ضروری است داده‌های جمع آوری شده برای استفاده از مدل ESAs و پردازش در محیط GIS متناسب سازی و طبقه بندی گردند.

گام دوم - وزن دهی به شاخص‌های مورد نظر: با رویکرد بهره‌گیری از روش مدالوس اصلاح شده، و استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، تصاویر ماهواره‌ای گوگل (Google Engine) ، داده‌های مدل ارتفاعی (DEM) ، داده‌های پوشش گیاهی (NDVI & DVI) و کلاسه‌بندی (Classification) تصاویر ماهواره های لندست و سنتینل۲ و وزن دهی به شاخص‌های مورد نظر بین اعداد ۱ و ۲، مقادیر اندکس کیفیت معیارهای خاک، اقلیم، پوشش گیاهی، فرسایش و مدیریت از طریق وزن دهی شاخص‌ها و محاسبه اندکس کیفیت معیارها از طریق میانگین هندسی شاخص‌ها در محیط GIS که از روابط زیر مشخص می‌گردد (کوسماس و همکاران ۱۹۹۹، لی و همکاران (۲۰۱۹).

$$SQI = (texture * depth * slop * drainage)^{1/4}$$

$$CQI = (rainfall * evaporation * aridity\ index)^{1/3}$$

$$VQI = (fire\ risk * erosion\ protection * vegetation\ cover)^{1/3}$$

$$EQI = (water\ erosion * wind\ erosion)^{1/2}$$

$$MQI = (overgrazing * population\ density)^{1/2}$$

شاخص‌های معیار کیفیت خاک (SQI) عبارتند از: بافت خاک، عمق خاک، شیب، زهکشی خاک

شاخص‌های معیار کیفیت اقلیم (CQI) عبارتند از: بارندگی، تبخیر، خشکی

شاخص‌های معیار کیفیت پوشش گیاهی (VQI) عبارتند از: خطر آتش سوزی، جلوگیری از فرسایش، پوشش گیاهی

شاخص‌های معیار کیفیت فرسایش (EQI) عبارتند از، فرسایش آبی، فرسایش بادی

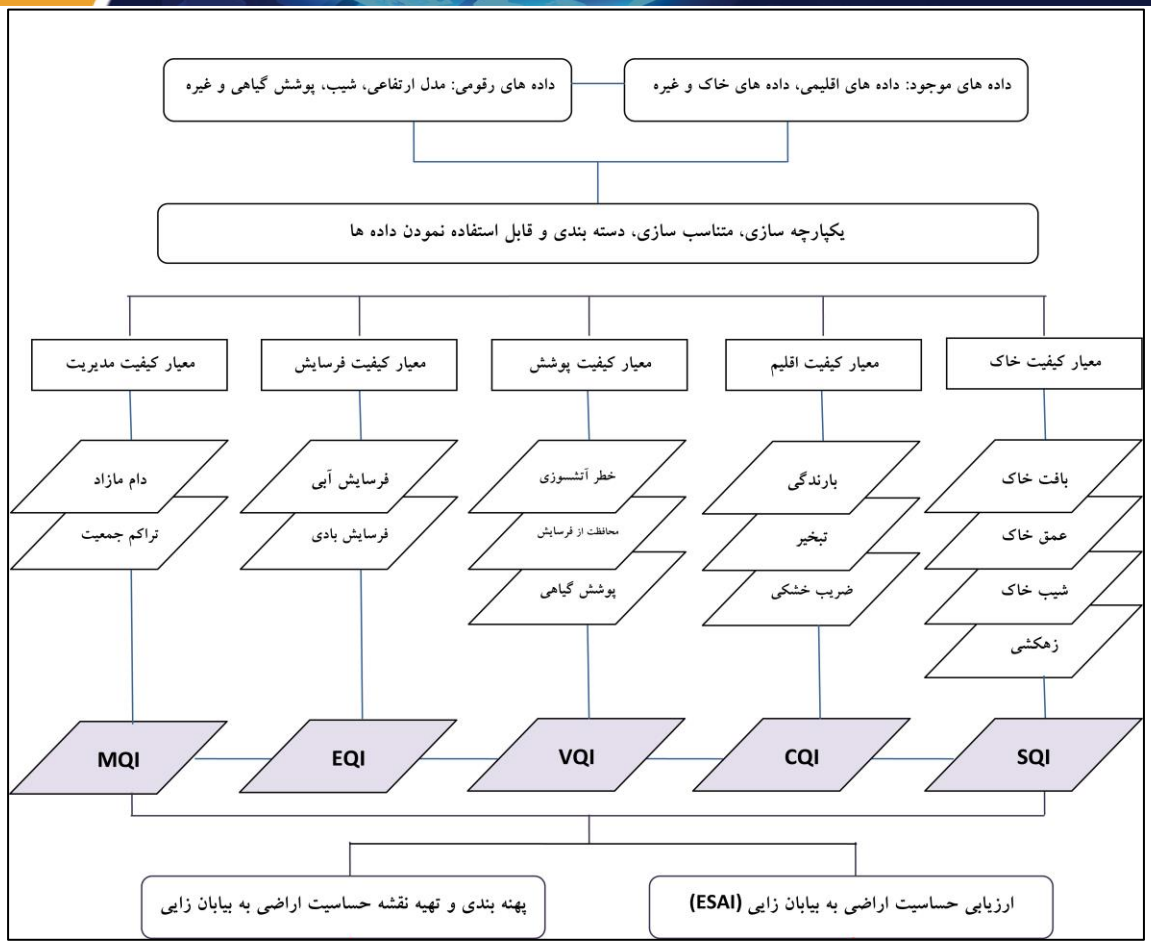
شاخص‌های معیار کیفیت مدیریت (MQI) عبارتند از: دام مازاد، تراکم جمعیت

گام سوم - محاسبه اندکس حساسیت به بیابان‌زایی: با محاسبه میانگین هندسی کیفیت ۵ معیار فوق، در محیط ArcMap ، اندکس حساسیت به بیابان‌زایی منطقه مورد مطالعه از فرمول های زیر بدست می‌آید:

$$ESAI = (SQI * CQI * VQI * EQI * MQI)^{1/5}$$

ب - پهنه‌بندی حساسیت به بیابان‌زایی منطقه:

پس از محاسبه میانگین هندسی معیارها از رابطه فوق، که به سهولت و دقت در محیط GIS امکانپذیر است مقدار اندکس حساسیت به بیابان‌زایی منطقه (ESAI) مشخص می‌گردد. سپس با استفاده از طبقه بندی مندرج در جدول شماره ۲ ، نقشه پهنه‌بندی حساسیت به بیابان‌زایی و مساحت عرصه تحت اشغال هر پهنه در سیستم اطلاعات جغرافیایی تهیه می‌گردد. در شکل ۲ نمودار درختی مراحل انجام پژوهش نمایش داده شده است.



شکل شماره ۲ - نمودار درختی روند انجام کار

۳ - نتایج و بحث

با توجه به اینکه محدوده مورد مطالعه، تمام و یا بخش قابل توجهی از گستره ۹ شهرستان را در بر می‌گیرد و از سویی شرایط خشک و بیابانی در اکثر نقاط امری بدیهی برای پژوهشگران بوده است، لذا تعداد ۱۴ شاخص موثر در بروز پدیده بیابان‌زایی شناسایی و در ۵ طبقه به عنوان معیارهای زیست محیطی تخریب سرزمین دسته بندی گردیدند. جدول شماره ۴ چگونگی تفکیک معیارها و شاخص ها به همراه دامنه تغییرات و وزن کمی هر شاخص نشان می دهد.

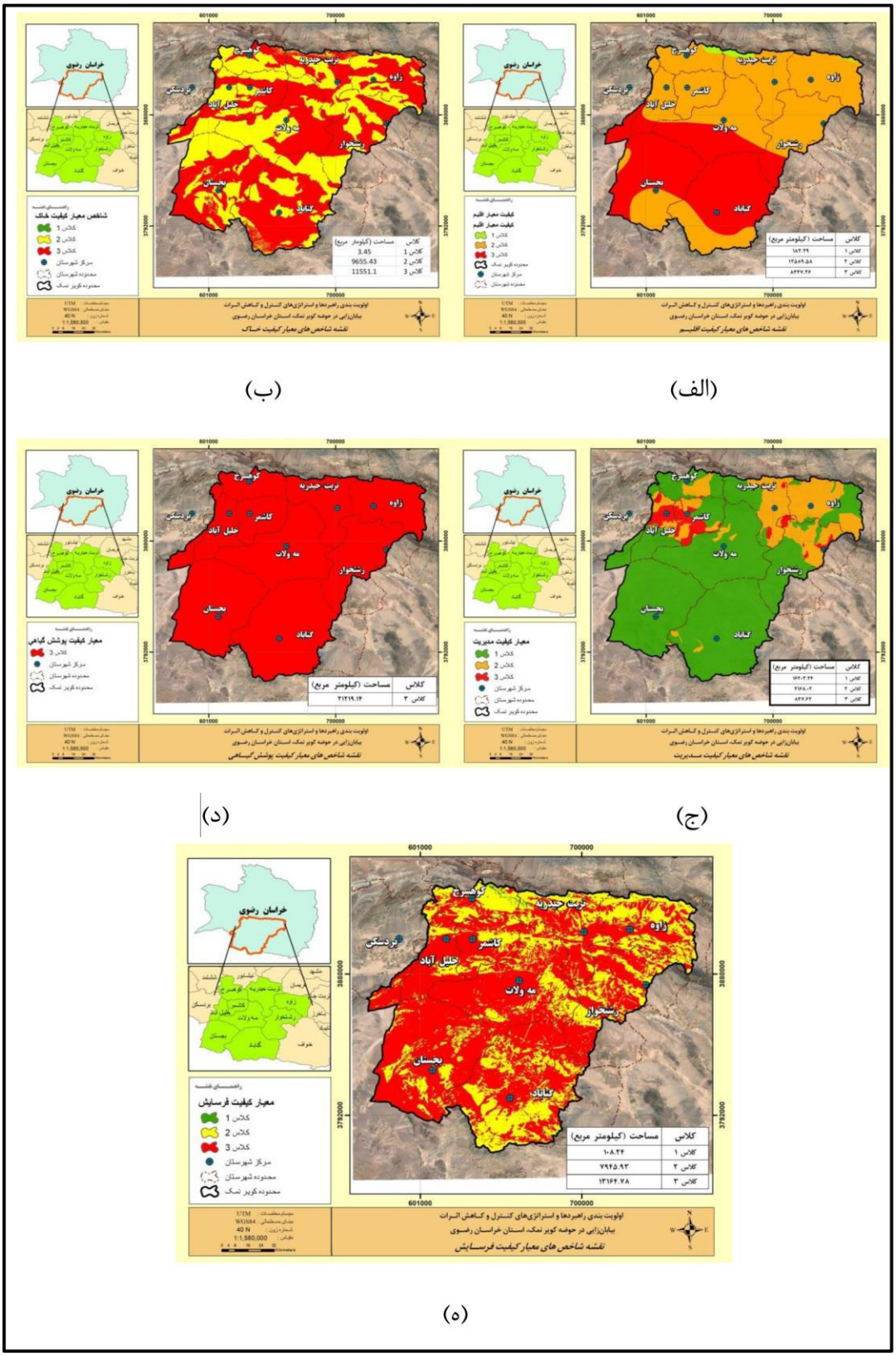
جدول ۴ - طبقه بندی معیارها و شاخص های موثر بیابان زایی

معیار / نماد	شاخص / نماد	ویژگی شاخص	ارزش کمی (وزن)
خاک (S)	بافت (T)	لومی - سندی کلی لوم – سندی لوم – لومی سند – کلی لوم	۱
		سندی کلی – سیلتی لوم – سیلتی کلی لوم	۱/۲
		سیلتی – کلی – سیلتی کلی	۱/۶
		سندی	۲
	عمق (D)	عمیق (۷۵ <)	۱
		متوسط (۳۰ - ۷۵)	۱/۲
		کم عمق (۱۵ - ۳۰)	۱/۶
		خیلی کم عمق (۱۵>)	۲
	شیب (S)	خیلی ملایم تا مسطح (۶ >)	۱
		ملایم (۱۸ - ۶)	۱/۲
		زیاد (۳۵ - ۱۸)	۱/۵

		خیلی زیاد (۳۵ <)	۲
	زهکشی خاک (Dr)	خوب	۱
		ناقص	۱/۲
		ضعیف	۲
اقلیم (C)	بارندگی(R)	> ۳۰۰	۱
		۲۰۰ - ۳۰۰	۱/۲
		۱۵۰ - ۲۰۰	۱/۵
		۱۰۰ – ۱۵۰	۱/۷
		< ۱۰۰	۲
	تبخیر و تعرق(Et)	> ۱۵۰۰	۱
		۱۵۰۰ - ۲۰۰۰	۱/۵
		> ۲۰۰۰	۲
	ضریب خشکی(Ai)	(> ۰/۶۵) نیمه مرطوب تا مرطوب	۱
		(۰/۶۵ - ۰/۵۰) نیمه خشک مرطوب	۱/۳
		(۰/۵۰ - ۰/۲۰) نیمه خشک	۱/۵
		(۰/۲۰ - ۰/۰۳) خشک	۱/۸
		(< ۰/۰۳) خیلی خشک	۲
پوشش گیاهی (V)	تراکم پوشش گیاهی(V)	۰ < DVI < ۰/۲۰	۲
	محافظت از فرسایش(Ep)	بوستان ها و باغات میوه – مراتع همیشه سبز	۱
		چمنزارها و مراتع دائمی	۱/۳
		کشتزارها و مزارع غلات – چمنزارهای یکساله	۱/۶
		فاقد پوشش (لخت)	۲
	خطر آتش سوزی(Fr)	فاقد پوشش (لخت)	۱
		کشتزارها و مزارع غلات – چمنزارهای یکساله	۱/۵
		بوستان ها و باغات میوه – مراتع همیشه سبز	۲
فرسایش (E)	فرسایش آبی (Wa.E)	کم	۱
		متوسط	۱/۴
		زیاد	۱/۷
		خیلی زیاد	۲
	فرسایش بادی (Wi.E)	کم	۱
		متوسط	۱/۵
		زیاد	۱/۸
		خیلی زیاد	۲
مدیریت (M)	تراکم جمعیت (Pd)	< ۲۰	۱
		۲۰- ۴۰	۱/۵
		۴۰ - ۶۰	۱/۷
		> ۶۰	۲
	تراکم دام (Og)	۰ - ۵۰	۱
		۵۰ - ۱۰۰	۱/۲
		۱۰۰ - ۲۰۰	۱/۴
		۲۰۰ - ۳۰۰	۱/۷
		> ۳۰۰	۲

پس از طبقه‌بندی معیارها و تفکیک و وزن دهی شاخص‌ها، از طریق محاسبه میانگین هندسی شاخص های هر طبقه در محیط ArcMap 10,8، اندکس کیفیت معیارها بدست می‌آید. سپس با استفاده از جدول شماره ۵ دامنه تغییرات

کیفیت معیارها در سه سطح کیفیت بالا، متوسط و پایین تقسیم و نقشه مربوط به هر معیار تهیه گردید. در شکل شماره ۳ نقشه‌های معیارهای پنجگانه نشان داده شده است.



شکل ۳ - نقشه‌های کیفیت معیارها: (الف) کیفیت معیار اقلیم، (ب) کیفیت معیار خاک، (ج) کیفیت مدیریت، (د) کیفیت معیار پوشش گیاهی، (ه) کیفیت معیار فرسایش

جدول ۵ - طیقه‌بندی کیفیت معیارهای مدل ESAs

معیارها	مقدار اندکس معیار	طبقه بندی کیفیت معیار	طبقه بندی اندکس معیار	کیفیت معیار	درصد
SQI	۱/۳۶	کیفیت بالا	< ۱/۱۳	متوسط	۳/۴۵
		کیفیت متوسط	۱/۱۳ - ۱/۴۵		۹۶۵۵/۴۳
		کیفیت پایین	> ۱/۴۶		۱۱۵۵۱/۱
CQI	۱/۵۷	کیفیت بالا	< ۱	پایین	۹۸۲/۲۹
		کیفیت متوسط	۱ - ۱/۴۹		۱۲۵۸۹/۵۸
		کیفیت پایین	۱/۵ - ۲		۸۴۴۷/۲۶
VQI	۱/۵۹	کیفیت بالا	< ۱/۱۳	پایین	۰
		کیفیت متوسط	۱/۱۴ - ۱/۳۷		۰
		کیفیت پایین	> ۱/۳۸		۲۱۲۱۹/۴
EQI	۱/۴۹	کیفیت بالا	< ۱/۱۳	پایین	۱۰۸/۲۴
		کیفیت متوسط	۱/۱۴ - ۱/۴۵		۷۹۴۵/۹۳
		کیفیت پایین	> ۱/۴۶		۱۳۱۶۴/۷۸
MQI	۱/۴۵	کیفیت بالا	< ۱/۳۰	متوسط	۱۶۲۰۳/۲۴
		کیفیت متوسط	۱/۳۰ - ۱/۵۰		۴۱۶۸/۰۲
		کیفیت پایین	> ۱/۵۰		۸۴۷/۶۲

پس از محاسبه اندکس معیارها، مجدداً در همان محیط نرم افزاری، با محاسبه میانگین هندسی ۵ معیار کیفیت خاک، کیفیت اقلیم، کیفیت پوشش گیاهی، کیفیت فرسایش و کیفیت مدیریت، اندکس حساسیت به بیابان‌زایی منطقه مورد پژوهش محاسبه می‌گردد. رابطه ریاضی این عمل به شرح زیر است:

$$ESAI = (SQI * CQI * VQI * EQI * MQI)^{1/5}$$

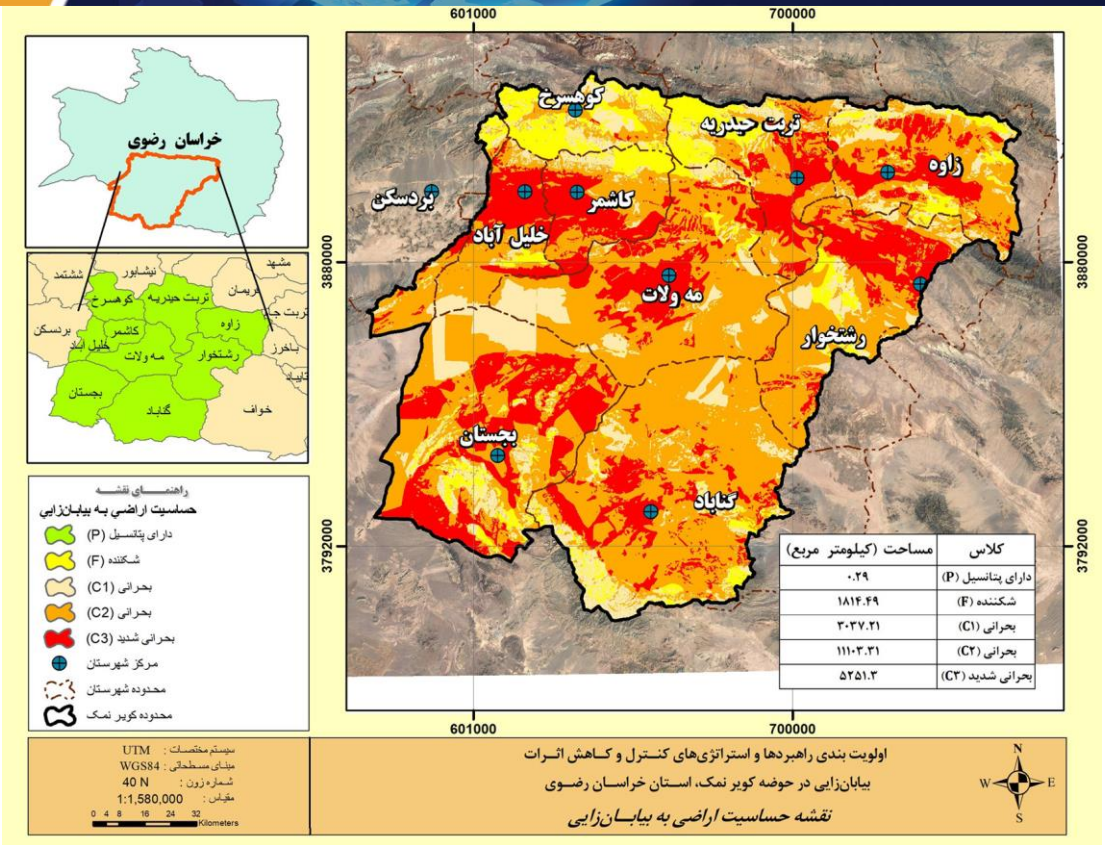
$$ESAI = (1.36 * 1.57 * 1.59 * 1.49 * 1.45)^{1/5}$$

$$\boldsymbol{ESAI = 1.48}$$

شکل شماره ۴ نقشه پهنه‌بندی حساسیت اراضی محدوده مطالعاتی به بیابان‌زایی که با بهره‌گیری از طبقه بندی استاندارد مندرج در جدول شماره ۲ تهیه گردیده، نشان می‌دهد. با مقایسه مقدار عددی اندکس فوق با مقادیر مندرج در جدول شماره ۲ مشخص گردید که منطقه از نظر میانگین حساسیت به بیابان زایی در کلاس بحرانی (C2) قرار دارد. جدول شماره ۶ پهنه‌بندی حساسیت اراضی به بیابان زایی و مساحت و درصد سطح اشغال هر پهنه را نشان می دهد.

جدول ۶ – کلاس‌بندی حساسیت به بیابان‌زایی حوضه کویر نمک

کلاس‌های حساسیت به بیابان‌زایی	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد
دارای پتانسیل (P)	۰/۲۹	۰/۲۰
شکننده (F)	۱۸۱۴/۴۹	۸/۵۰
بحرانی (C1)	۳۰۳۷/۲۱	۱۴/۳۰
بحرانی (C2)	۱۱۱۰۳/۳۱	۵۲/۳۰
بحرانی (C3)	۵۲۵۱/۳	۲۴/۴۰



شکل ۴ - نقشه حساسیت بیابان‌زایی اراضی حوضه کویر نمک استان خراسان رضوی

۴ - نتیجه گیری و جمع بندی

پس از ارزش‌گذاری و وزن دهی شاخص‌های موثر در تخریب سرزمین و بیابان‌زایی در حوضه کویر نمک و پردازش آنها در سیستم اطلاعات جغرافیایی، مشخص گردید که از میان ۱۴ شاخص انتخابی، بترتیب شاخص‌های پوشش گیاهی، فرسایش بادی، تراکم جمعیت، ضریب خشکی، بافت و عمق خاک به ترتیب دارای بیشترین تاثیر در توسعه و روند بیابان‌زایی منطقه داشته و شاخص زهکشی خاک نیز دارای کمترین تاثیر می‌باشند. بعلاوه پس از محاسبه میانگین هندسی شاخص های هر معیار، مشخص گردید که از میان ۵ معیار اصلی، بترتیب پوشش گیاهی، اقلیم، فرسایش، مدیریت و معیار خاک سهم موثری در بروز پدیده بیابان‌زایی حوضه کویر نمک دارند. با توجه به اینکه طبق جدول شماره ۵، کیفیت معیارها، در سه سطح کیفیت بالا، متوسط و پایین طبقه بندی می‌گردند، نقشه‌های تهیه شده از این طبقه بندی و داده‌های عددی پیوست هر نقشه، مبین میزان و درصد سطح اشغال هر طبقه در معیار مربوطه می‌باشد. با نگاهی به جدول شماره ۵ مشخص می‌گردد که معیار پوشش گیاهی در رتبه نخست تاثیر گذاری است و این معیار با توجه به تصویر سنجش از دور DVR و اندکس صفر تا ۰/۲۰۰۷۶ در کیفیت پایین طبقه بندی گردید. بنابراین می‌توان اینگونه ارزیابی نمود که فقر پوشش گیاهی تاثیرگذارترین عامل و معیار مهم بیابان زایی در این حوضه می‌باشد.

اندکس حساسیت به بیابان‌زایی و نقشه پهنه بندی اراضی حساس به بیابان‌زایی نیز حکایت از این دارد که مساحت ۱۸۱۴/۴۹ کیلومتر مربع در کلاس شکننده (F)، ۳۰۳۷/۲۱ کیلومتر مربع عرصه بحرانی (C1) ۱۱۱۰۳/۳۱ کیلومتر مربع بحرانی (C2)، ۵۲۵۱/۳ کیلومتر مربع تحت عنوان بحرانی شدید (C3) و سطح ناچیزی از اراضی دارای پتانسیل بیابان‌زایی(P) است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در دهه‌های گذشته، اراضی در کلاس P سطح بیشتری داشته و روند بیابان‌زایی موجب گردیده تا به مرور زمان از میزان این سطح کاسته و به سطوح در کلاس F و به همین ترتیب به سطوح کلاس‌های بحرانی C1, C2, C3 اضافه گردد. جالب توجه اینجاست که درصد اشغال پهنه C2 از C1 و C3 بیشتر و دقیقاً نقش گذار از بحراتی پایین به بحرانی شدید را ایفا می نماید.

بررسی های متعدد نشان داده است که در کشور ایران از این مدل برای ارزیابی حساسیت به بیابان‌زایی در حوضه‌های آبخیز با سطوح محدود استفاده گردیده است. اما این پژوهش نشان داد که با انتخاب شاخص های موثر و تهیه و جمع‌آوری و پردازش داده‌ها در مقیاس مناسب، می‌توان از این مدل برای ارزیابی زیست محیطی اراضی در سطوح حوضه های بزرگ استانی و کشوری نیز بهره‌برداری نمود. استان خراسان رضوی نیز از این قاعده مستثنا نبوده و به منظور پوشش دادن کل استان، می‌توان از این مدل برای مطالعه سایر حوزه های آبخیز بزرگ از جمله حوضه آبخیز قره قوم در بخش شمالی، حوضه آبخیز شرق کشور در جنوب و جنوب شرق استان، حوضه آبخیز کویر مرکزی در غرب و نیز بخش کوچکی از حوضه آبخیز اترک در شمال غرب استان استفاده نمود.

۵- تشکر و قدردانی

نتایج این پژوهش، بخشی از پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی است. لذا، نویسندگان این پژوهش، از تمامی کسانی که بنحوی از انحاء در فراهم نمودن داده‌های پایه، تحلیل درست و منطبق با واقعیت زمینی نقشه‌ها، کمک نموده‌اند تشکر و قدردانی می‌نمایند. علاوه بر آن از همکاری کارشناسان و مدیران محترم اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان خراسان رضوی نیز صمیمانه قدردانی و تشکر می‌گردد.

۶- منابع

- اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری خراسان رضوی، (۱۳۹۶): *سیمای منابع طبیعی استان خراسان رضوی*.
- جعفری، ح.، اکبری، م.، کاشکی، م.ت.، بدیعی، س.ح، (۱۳۹۸): مقایسه کارایی دو مدل IMDPA و ESAs جهت مدیریت ریسک خطر بیابانزایی منطقه عمرانی گناباد در جنوب غربی استان خراسان رضوی، *مجله علمی خشکبوم*. ۹(۱)، ۳۹-۵۴.
- ذوالفقاری، شهریاری، فخیره، راشکی، نوری، خسروی، (۱۳۹۰): ارزیابی شدت بیابان زایی دشت سیستان با استفاده از مدل IMDPA، *پژوهش‌های آبخیزداری*، شماره ۹۱/ ۱۳۹۰.
- فتحی، جعفری، سلطانی، (۱۳۹۳): مقایسه کارایی مدلهای پهنه بندی بیابان‌زایی MICD، MEDALUS و FAO-UNEP درکانون بحران بیابان‌زایی منطقه جرقویه استان اصفهان، *مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی*، علوم آب و خاک / سال نوزدهم / شماره هفتادویکم / بهار ۱۳۹۴.
- فیضی کوشکی، ف، اکبری، م، معماریان، ه، اعظمی‌راد، م، (۱۳۹۷): ارائه برنامه‌های راهبردی جهت مدیریت بحران بیابان‌زایی با استفاده از علم آینده پژوهشی، *فصلنامه دانش پیش‌گیری و مدیریّت بحران*، ۸(۴)، ۴۱۴-۴۰۱.
- فیضی کوشکی، ف، اکبری، م، معماریان، ه، اعظمی‌راد، م، (۱۳۹۸): شناسایی و رتبه‌بندی مهّم‌ترین عوامل بیابان‌زایی در استان خراسان رضوی با استفاده از روش دلفی، جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۳۱، ۲۰۵-۲۲۵.
- یغمائیان مهابادی، اسدی، رضایی، (۱۳۹۶): پهنه‌بندی و ارزیابی خطر تخریب اراضی با استفاده از روش مدالوس در حوضه سیاهپوش استان اردبیل، *نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، جلد بیست و چهارم، شماره اول، ۱۳۹۶.

- Akbari, M. Jafari Shalamzari, M. Memarian, H Gholami, A., (2019): Monitoring desertification processes using ecological indicators and providing management programs in arid regions of Iran, *Ecological Indicators* 111 (2020) 106011
- Akbari, M. Reza Modarres, Alizadeh Noughani, M. (2019): Assessing early warning for desertification hazard based on E-SMART indicators in arid regions of northeastern Iran, *Journal of Arid Environments*.
- Akbari, M. Feyzi Koushki, F. Memarian, H. and Azamirad, M. (2020): Prioritizing effective indicators of desertification hazard using factor-cluster analysis, in arid regions of Iran, *Arabian Journal of Geosciences*, 13(8), 1-17. https://doi.org/10.1007/s12517-020-05296-9
- Akbari, M., Memarian, H., Neamatollahi, E., Jafari Shalamzari, M., Alizadeh Noughani, M., & Zakeri, D. (2020), Prioritizing policies and strategies for desertification risk management using MCDM–DPSIR approach in northeastern Iran, *Environment, Development and Sustainability*. https://doi.org/10.1007/ s1066 8-020-00684 -3.

- Bastas, M., Abdelrahim, A.A., (2019): Awareness of desertification of arable land among university students in Libya, *Religación. Revista de Ciencias Sociales y Humanidades*. 4(14), 136–147.
- Baartman, J.E.M., Van Lynden, G.W.J., Reed, M.S., Ritsema, C.J. Hessel, R., (2007): Desertification and land degradation: origins, processes, and solutions, a literature review, Report number 4. Scientific reports, ISRIC, Netherlands, and November 20th 2007.
- Ekhtesasi, M. R., & Mohajeri, S. (1995): Iranian classification of desertification method, *In 2nd National Conference of Desertification and Combating Desertification Methods*, Kerman, Iran.
- Fozooni, Fakhiri, Ekhtesasi, Kazemi, Mohammadi, Shafey. (2012): Assessment of desertification using MEDALUS model, with emphasis on wind and water indices, "case study Sistan province, Iran", *Elixir Pollution* , 46 (2012) 8067-807.
- Jiang, L., Jiapaer, G., Bao, A., Kurban, A., Guo, H., Zheng, G., De Maeyer, P., (2019). Monitoring the long-term desertification process and assessing the relative roles of its drivers in Central Asia. *Ecol. Indic*., 195–208.
- Kairis, O., Karavitis, C.L., Salvati, A., Kounalaki, A., Kosmas, K., (2015): Exploring the impact of overgrazing on soil erosion and land degradation in a dry Mediterranean agro-forest landscape (Crete, Greece), Arid Land Res. Manag, 29, 360–374. https:// doi.org/10.1111/j.1365-2664.2012.02193.x.
- Kar, A., (2018): Desertification, causes and effects. In: Exploring Natural Hazards, *Chapman and Hall/CRC*, pp. 159–206.
- Kosmas C., Kirkby M., Geeson N., (1999): The Medalus Project, Mediterranean desertification and land use. *European Commission, European Union 18882*, p. 66–73.
- Kosmas,C.,Tsara, M. Moustakas, N. D., Kosma, D., Yassoglou,N., (2006): Environmentally Sensitive Areas And Indicators of Desertification, *Desertification in the Mediterranean*, Printed in the Netherlands, A Security Issue, 527–547.
- Lahlaoi, H., H. Rhinane, A. Hilali, S., Lahssini and S. Moukrim. (2017): Desertification assessment using MEDALUS model in watershed Oued El Maleh, Morocco, *Geosciences*, 7(50): 1-16.
- Lambin E.F., Geist H.J., Reynolds J.F., Stafford-Smith. D.M. (2009): Coupled human-environment system approaches to desertification: Linking people to pixels. In: *Recent advances in remote sensing and geo information processing for land degradation assessment*, Eds, A. Roder, J. Hill, London, CRC Press p. 3–14.
- Lamqadem, Pradhan, Saber, Rahimi, (2018): Desertification Sensitivity Analysis Using MEDALUS Model and GIS: A Case Study of the Oases of Middle Draa Valley, *Morocco Sensors* 2018, 18, 2230; doi: 10 .
- Lee, Eun Jung, Dongfan Piao, Cholho Song, Jiwon Kim, Chul-Hee Lim, Eunji Kim, Jooyeon Moon, Menas Kafatos, Munkhnsan Lamchin, Seong Woo Jeon & Woo-Kyun Lee, (2019): Assessing environmentally sensitive land to desertification using MEDALUS method in Mongolia, *Forest Science and Technology*, 15:4, 210-220, DOI: 10.1080/21580103.2019.1667880.
- Sepehr, A. Hassanli, A. M., Ekhtesasi, M. R., Jamali, J. B., (2007): Quantitative assessment of desertification in south of Iran using MEDALUS method. Springer Science, Business *Media* B.V., 2007, DOI 10.1007/s10661-007-9613-6.
- Sobhani, Khosravi, (2015): Assessing Environmental Sensitivity Areas to Desertification in North of Iran, *Current World Environment* Vol. 10(3), (2015) 890-902.
- Thomas D.S.G., (1995): Desertification: Causes and processes. In: *Encyclopaedia of environmental biology*, Vol. 1, Ed. W. A. Nierenberg. San Diego, Academic Press p. 463–473.
- UNCED (1992: Earth Summit'92. The UN Conference on Environment and Development, Rio de Janeiro, The Regency Press, London p. 15–17.
- UNCCD (1994): United Nations Convention to Combat Desertification In those countries experiencing serious drought and/or desertification, particulary in Africa. P.4.
- UNCCD (2008): Desertification – Coping with today's global challenges in the context of the strategy of the United Nations Convention to combat desertification, Unites Nations Convention to Combat Desertification. Report on the High Level Policy Dialogue. Bonn, Germany pp. 47.
- Emamian, A. Rashki, A. Kaskaoutis, D. Gholami, A. Opp, C. Middleton, N. (2021): Assessing vegetation restoration potential under different land uses and climatic classes in northeast Iran. Ecological indicators, Volume 122, March 2021, 107325.