

## **Assessment of Land Degradation Using GLASOD and IMDPA Models (Case study: Yazd-Ardakan plain)**

A. Entezari Zarch<sup>1</sup>, H. Ahmadi<sup>2\*</sup>, A. Moeini<sup>3</sup>, E. Pazira<sup>4</sup>

1. Ph. D. Candidate, Faculty of Watershed Science and Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
2. Professor, Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, University of Tehran, Karaj, Iran.
3. Assistant Professor, Department of Forest, Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
4. Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture and Food Science, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

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

Received date: 15/09/2022

Accepted date: 09/11/2022

 [10.22034/JDMAL.2022.562179.1396](https://doi.org/10.22034/JDMAL.2022.562179.1396)

### **Abstract**

Land degradation is manifested by a significant decrease in the biological productivity of the land, following natural events or inappropriate human activities. The consequences of these processes are threats to food security, economic well-being and environmental issues caused by the reduce use of water, soil and plant resources. The aim of the present research is to compare and measure the state of land degradation based on the Global Assessment of Soil Degradation (GLASOD) model and the Iranian Model of Desertification Potential Assessment (IMDPA). For this purpose, the Yazd-Ardakan plain, located in Central Iran, was selected as the study area. The land unit map of the area was prepared. The severity of land degradation was then investigated using the GLASOD and IMDPA models in each of the land units. The assessment of the accuracy and performance of the two models was carried out by calculating the overall accuracy and kappa coefficient of the production maps, as well as the nonparametric tests of Spearman and Mann-Kendall. The results of the accuracy evaluation showed that the IMDPA production map corresponded to the actual field data of 82%, whereas this correspondence for the GLASOD model was 69%. According to the IMDPA and GLASOD models, desertification is increasing significantly in 33% and 12% of the region, respectively. The intensity of desertification in the moderate class is closing to the severe class. With no strategies for reducing or controlling desertification in the region, the area of land where desertification is severe will increase in the near future. In general, the lack of plant cover is the main factor contributing to increasing the intensity of desertification in the Yazd-Ardakan plain. This problem is the result of the combination of natural factors and destructive human factors in the region, which has significant effects on increasing the process of desertification and soil degradation in this plain.

**Keywords:** Soil degradation; Desertification; Wind erosion; GLASOD; Yazd





## ارزیابی تخریب سرزمین با بهره‌گیری از مدل جهانی ارزیابی تخریب خاک و مدل ایرانی ارزیابی پتانسیل بیابان‌زایی (مطالعه موردی: دشت یزد-اردکان)

احمد انتظاری زارچ<sup>۱</sup>، حسن احمدی<sup>۲\*</sup>، ابوالفضل معینی<sup>۳</sup>، ابراهیم پذیرا<sup>۴</sup>

۱. دانشجوی دکتری، علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران.

۲. استاد، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۳. استادیار، گروه جنگل‌ها مراتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران.

۴. استاد، گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی و علوم غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران.

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

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۱۸

doi: [10.22034/JDMAL.2022.562179.1396](https://doi.org/10.22034/JDMAL.2022.562179.1396)

### چکیده

تخریب سرزمین با کاهش چشمگیر تولید بیولوژیک زمین، در نتیجه وقوع رخداد‌های طبیعی و یا فعالیت‌های نادرست انسانی نمایان می‌شود. پیامدهای ناگوار این پدیده، تهدید امنیت غذایی، رفاه اقتصادی و مشکلات محیط زیستی ناشی از کاهش توان بهره‌برداری از منابع آب، خاک و پوشش گیاهی است. هدف از پژوهش حاضر مقایسه و سنجش وضعیت تخریب سرزمین براساس دو مدل جهانی گلاسود و مدل ایرانی IMDPA است. به این منظور دشت یزد-اردکان واقع در ایران مرکزی به‌عنوان محدوده مورد بررسی انتخاب شد. سپس شدت تخریب سرزمین براساس دو مدل گلاسود و IMDPA در هر یک از واحدهای اراضی بررسی شد. صحت و عملکرد دو مدل، از طریق محاسبه شاخص‌های صحت کلی، ضریب کاپای نقشه‌های تولیدی و همبستگی غیرپارامتری اسپیرمن و من‌کندال ارزیابی شد. نتایج ارزیابی صحت نشان داد که نقشه تولیدی IMDPA به‌مقدار ۸۲٪ با واقعیت زمینی تطابق دارد. در حالی که این تطابق در نقشه حاصل از مدل گلاسود ۶۹٪ بود. برپایه مدل IMDPA و گلاسود بیابان‌زایی به‌ترتیب در ۳۳٪ و ۱۲٪ از منطقه، به شدت در حال پیشروی است. شدت بیابان‌زایی از طبقه متوسط، در حال نزدیک شدن به طبقه شدید است. در صورتی که مدیریت صحیح در امر کنترل و پیشگیری بیابان‌زایی در منطقه صورت نپذیرد، وسعت اراضی با شدت بیابان‌زایی شدید و خیلی شدید در آینده‌های نه‌چندان دور اضافه خواهد شد. در مجموع فقر پوشش سطح خاک، اصلی‌ترین عامل در افزایش شدت بیابان‌زایی دشت یزد-اردکان است. این موضوع حاصل تلفیق عوامل طبیعی و عوامل مخرب انسانی در منطقه است که بر افزایش روند بیابان‌زایی و تخریب خاک این دشت تأثیر زیادی دارد.

**واژگان کلیدی:** تخریب خاک؛ معیارهای بیابان‌زایی؛ فرسایش بادی؛ گلاسود؛ یزد



## ■ مقدمه

تخریب سرزمین اغلب به‌عنوان کاهش چشمگیر بهره‌وری زیستی زمین در نتیجه وقوع رخداد‌های طبیعی یا فعالیت‌های ناصحیح انسانی توصیف می‌شود (۲۰). در این نوع از تخریب، ظرفیت تولید سرزمین به‌طور مداوم در حال کاهش است و خود را به‌صورت مختلف همچون فرسایش خاک، زوال مواد مغذی خاک، از دست رفتن تنوع زیستی، جنگل‌زدایی و کاهش سلامت گیاهی و یا اضمحلال آن نشان می‌دهد (۲۴). در گزارش ارائه شده از سوی کنوانسیون سازمان ملل متحد برای مبارزه با بیابان‌زایی<sup>۱</sup>، تخریب سرزمین، یکی از قابل توجه‌ترین نگرانی‌های محیط‌زیستی در عصر کنونی قلمداد شده است (۴۷، ۴۸) به‌طوری‌که کاهش بهره‌وری در حدود ۴۰ تا ۷۵٪ از زمین‌های کشاورزی جهان را نشان می‌دهد (۲۲). در مناطق خشک، تخریب سرزمین از پیامدهای بیابان‌زایی معرفی می‌شود (۱۰) و علاوه بر عوامل محیطی فیزیکی، بیشتر تحت تأثیر و واکنش به فعالیت‌های نادرست انسانی است، به‌طوری‌که مدیریت ضعیف در بهره‌برداری از زمین و تشدید فعالیت‌های کشاورزی غیراصولی و فناوری ناکافی، ازدیاد جمعیت، فقر، و تصمیمات ساختارهای اجتماعی و سیاسی این روند را تسریع می‌کند (۳۴، ۵۰). ارتباط بین پدیده تخریب سرزمین و فعالیت‌های اجتماعی - اقتصادی، رابطه‌ای متقابل و در عین حال چند لایه و پیچیده است، به‌طوری‌که در صورت ادامه روند فعلی تخریب سرزمین و از بین رفتن قدرت باروری و کاهش کیفیت خاک‌ها، وضعیت عرضه مواد غذایی در آینده با مشکل اساسی روبرو خواهد شد (۱). بنابراین نظارت و ارزیابی میزان تخریب سرزمین و یا احیای زمین مسئله‌ای بسیار مهم است که نیاز به شناخت روند پویای تخریب، و در ادامه ارائه راه‌حل‌های پیشگیرانه علمی و حفاظت‌های محیط‌زیستی به‌منظور احیای آن دارد (۴۴). در همین راستا، اندازه‌گیری‌های میدانی و سنجش از دور، دو رویکرد گسترده برای ارزیابی

تخریب سرزمین هستند. مشاهدات میدانی مبتنی بر پیمایش و نمونه‌برداری محیطی است و شامل رویکردهایی مانند بهره‌مندی از نظرات کارشناس‌ها، کاربران اراضی، سنجش و اندازه‌گیری میدانی، بررسی تغییرات بهره‌وری اراضی، مطالعات میدانی و مدل‌سازی در سطوح مختلف ملی و محلی می‌باشد (۴۹). در حالی‌که مطالعات بر روی ارزیابی و اندازه‌گیری تخریب سرزمین با فناوری‌های سنجش از دور، از طریق تصاویر ماهواره‌ای و راداری همراه با ابزار سامانه اطلاعات جغرافیایی قابل دست‌یابی است. با این وجود، استفاده از این ابزارها در کنار نقاط قوت، محدودیت‌هایی را نیز دارد (۲۲، ۳۱، ۴۶). برای بررسی عوامل مؤثر در پیدایش و گسترش بیابان‌زایی و تخریب زمین، و راه‌های مبارزه با آن مدل‌ها، شاخص‌ها و معیارهای زیادی ابداع شده است و به‌طور گسترده در داخل و خارج از کشور، از آنها استفاده می‌شود. ولی هر کدام از این مدل‌ها دارای مزایا و محدودیت‌هایی نسبت به همدیگر هستند و با توجه به منطقه و مقیاس قابل انجام برای آنها، عوامل پارامترهای خاصی دخالت داده می‌شوند. از جمله این مدل‌ها می‌توان به مدل فائو - یونپ<sup>۲</sup> (۱۷)، گلاسود<sup>۳</sup> (۱۹)، لاد<sup>۴</sup> (۳۰)، مدالوس<sup>۵</sup> (۲۶)، مدل طبقه‌بندی نوع و شدت بیابان‌زایی ایرانی<sup>۶</sup> (۴۵)، مدل طبقه‌بندی بسط‌یافته بیابان‌زایی ایرانی<sup>۷</sup> (۳۵) و مدل ارزیابی پتانسیل بیابان‌زایی ایرانی<sup>۸</sup> (۲۳) اشاره کرد که برای ارزیابی و تهیه نقشه بیابان‌زایی و تخریب سرزمین، از آنها بهره‌گیری می‌شود.

مدل گلاسود با توجه به نبود اطلاعات لازم و هماهنگی از سراسر جهان و برای تسریع کار و نیاز شدید به یک نقشه سراسری از سهم فرآیندهای بیابان‌زایی در جهان، توسط سازمان یونپ و موسسات وابسته، با بکارگیری داده‌های خاکشناسی، و تهیه نقشه جهانی تخریب خاک تدوین شده است. گلاسود مهمترین روش ارزیابی تخریب سرزمین در سطح قاره‌ای است. در سال ۱۹۸۷ پروزال اولیه این مدل توسط یونپ ارائه شد. در سال ۱۹۹۱ اولین پروژه منطقه‌ای

<sup>5</sup> The Mediterranean desertification and land use (MEDALUS)

<sup>6</sup> Iranian Classification of Desertification (ICD)

<sup>7</sup> Modified Classification of Desertification (MICD)

<sup>8</sup> Iranian Model of Desertification Potential Assessment (IMDPA)

<sup>1</sup> The United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD)

<sup>2</sup> The United Nations Environment Programme- The Food and Agriculture Organization (UNEP-FAO)

<sup>3</sup> The Global Assessment of Soil Degradation (GLASOD)

<sup>4</sup> Land Degradation Assessment in Drylands (LADA)

بیابان‌زایی در چهار گروه آب و هوا شامل معیارهای اقلیم و آب آبیاری، گروه زمین با معیارهای زمین و ژئومورفولوژی، خاک و فرسایش، گروه پوشش زمین متشکل از معیارهای پوشش گیاهی و کشاورزی و گروه اثرات انسانی شامل معیارهای اقتصادی-اجتماعی و توسعه شهری - صنعتی مورد بررسی قرار می‌گیرد (۱۳). بر این اساس، در گروه آب و اقلیم شاخص‌های افت آب زیرزمینی، بیلان منفی آب، نسبت جذب سدیم، شوری، تداوم خشکسالی، شاخص خشکی و مقدار بارش سالانه در منطقه مورد ارزیابی واقع می‌شوند. در گروه زمین و ژئومورفولوژی، شاخص‌های وضعیت فیزیوگرافی، حساسیت سنگ، نوع بهره‌برداری از واحد کاری، درصد سنگریزه عمق خاک، هدایت الکتریکی، فرسایش آبی و بادی شامل تعداد روزهای با شاخص طوفانی گردوخاک DSI، پوشش گیاهی، تراکم پوشش غیرزنده، ظهور رخساره‌های فرسایش، نوع و تراکم فرسایش آبی، نوع استفاده از زمین و تراکم پوشش گیاهی بررسی می‌شوند. سومین گروه با نام پوشش زمین، شاخص‌های بهره‌برداری از پوشش، وضعیت پوشش، تجدید پوشش، کاربرد نهاده‌ها و ماشین آلات، الگوی کشت و عملکرد محصولات را مورد سنجش و اندازه‌گیری قرار می‌دهد. در نهایت، گروه انسانی، شاخص‌های عوامل اجتماعی، فرهنگی، تشکل و مشارکت آگاهی، تجربه، دانش بومی، عوامل نهادی - حقوقی و قانونی، فقر و اقتصاد، تبدیل اراضی باغی و زراعی به مسکونی-صنعتی، تبدیل اراضی جنگلی و مرتعی به شهری - صنعتی و کشاورزی نامناسب، میزان فضای سبز به ازای هر نفر و تراکم جاده و معدن را شامل می‌گردد (۱۳).

ارزیابی تخریب سرزمین با بهره‌گیری از مدل گلاسود و رویکرد جامع زمین‌آماری در بخش جنوبی ایالت کاراناکا<sup>۴</sup> کشور هند نشان می‌دهد که خاک‌های منطقه در معرض تخریب‌های فیزیکی و شیمیایی در افق‌های سطحی و زیرسطحی قرار دارند، و از نتایج آن می‌توان به‌عنوان ابزاری مفید برای اجرای سیاست‌های مدیریت پایدار منابع زمین در منطقه استفاده نمود (۲). نتایج ارزیابی تخریب سرزمین دلتای نیل، واقع در شرق مصر با تلفیق سنجش از دور، GIS

ارزیابی تخریب خاک در جنوب و جنوب‌شرقی آسیا با همکاری ۱۷ کشور انجام شد (۹). در این مدل، تخریب خاک از ۴ جنبه فرسایش‌های آبی و بادی، و تخریب‌های فیزیکی و شیمیایی محاسبه می‌شود. نتایج حاصل از بررسی ۴ جنبه مذکور درجه تخریب و عوامل مؤثر بر آن را علاوه بر ارزیابی مساحت، شدت و میزان تخریب‌ها در گذشته نشان می‌دهد (۳۲). با وجود اینکه از طریق مدل گلاسود نمی‌توان به درجه آسیب‌پذیری زمین در آینده دست‌یافت، ولی وضعیت فعلی تخریب، که به شکلی تخریب از گذشته تا حال است را می‌توان تعیین کرد. در ارزیابی تخریب خاک با مدل گلاسود، چهار عامل مؤثر در تخریب خاک در نتیجه فعالیت‌های انسانی، شامل عامل فرسایش آبی با ۳ مشخصه کلی فرسایش ورقه‌ای ( $W_i$ )، فرسایش خندقی، شیاری یا توده‌ای ( $W_d$ ) و سیل و آلودگی ( $W_o$ )، عامل فرسایش بادی ( $E_o$  و  $E_d$ ) (مشخصه اندیس‌های آن مشابه با مشخصه‌های فرسایش آبی)، تخریب شیمیایی با ۶ شاخص کلی کاهش حاصلخیزی و مواد آلی خاک ( $C_n$ )، شوری و قلیائیت ( $C_s$ )، اسیدی شدن ( $C_a$ )، آلودگی ( $C_p$ )، تغییر pH ( $C_t$ ) و افزایش بیش از اندازه نیتروژن و فسفر ( $C_e$ ) و تخریب فیزیکی با ۵ مشخصه کلی ب فشردگی و سله بستن ( $P_c$ )، غرقاب شدن خاک‌ها ( $P_w$ )، کاهش رطوبت خاک ( $P_a$ )، کاهش مواد آلی ( $P_s$ ) و فعالیت‌های فیزیکی انسانی ( $P_o$ ) بررسی می‌شود. همچنین علت وقوع هر یک از عوامل مذکور، با توجه به مواردی مانند جنگل‌زدایی<sup>۱</sup> ( $f$ )، چرای بی‌رویه<sup>۲</sup> ( $g$ )، فعالیت‌های کشاورزی<sup>۳</sup> ( $a$ )، بهره‌برداری بیش از حد از پوشش گیاهی<sup>۴</sup> ( $e$ )، فعالیت‌های صنعتی<sup>۵</sup> ( $i$ ) مشخص می‌شود (۲۹).

مدل IMDPA، روش ارزیابی پتانسیل بیابان‌زایی است که توسط احمدی و همکاران، در سال ۱۳۸۵، با همکاری معاونت امور مراتع و خاک سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران و دانشگاه یزد، با ۹ معیار و ۳۶ شاخص، سازگار با شرایط کشور ایران، تهیه و در سه ناحیه اقلیمی خشک، نیمه خشک و خشک نیمه مرطوب اجرا شد. در این مدل وضعیت

<sup>4</sup> Overexploitation of vegetation for domestic use

<sup>5</sup> Industrial activities

<sup>6</sup> Karnataka

<sup>1</sup> Deforestation and removal of the natural vegetation

<sup>2</sup> Overgrazing

<sup>3</sup> Agricultural activities

۳۰۹۵۶۳۵۶ متر عرض شمالی و ۴۹۴۳۵۹۱ تا ۵۰۹۶۷۰۸ متر طول شرقی در فلات مرکزی ایران، با مساحت تقریبی ۱۱۵۴۵ کیلومتر مربع، واقع شده است (شکل ۱). این دشت یکی از مهم‌ترین دشتهای استان یزد از دیدگاه منابع طبیعی، منابع انسانی و اقتصادی به شمار می‌رود، که به دلیل واقع بودن در زیر مرکز پرفشار جنب حاره‌ای دارای نوسان دمایی زیاد است. بارش‌های منطقه اندک و نامنظم است. به‌طوری‌که با ضریب تغییرات ۵۱٪ در نوسان است. از قدیمی‌ترین تا جوان‌ترین سازندهای زمین‌شناسی و انواع رخساره‌های ژئومورفولوژی را می‌توان در حوزه آبخیز دشت یزد- اردکان مشاهده کرد. تراکم پوشش گیاهی در این منطقه، از صفر تا ۲۰٪ متغیر بوده و گونه غالب آن، در حال حاضر درمنه دشتی (*Artemisia sieberi Besser*) است. بافت غالب خاک در نقاط مختلف این منطقه را بافت‌های لومی شنی، لومی رسی و لومی تشکیل می‌دهند (۴۰). این منطقه یکی از وسیع‌ترین و مهم‌ترین دشتهای استان یزد، با بیشترین تراکم جمعیت شهری و روستایی است، که با توجه به شرایط خاص اقلیمی و جغرافیایی آن، مشکل فرسایش، تخریب سرزمین و به‌طور کلی تهدید جنبه‌های مختلف منابع آب، خاک و گیاه در آن نمایان است (۱۶، ۴۳).

#### داده‌های پژوهش

به‌منظور تولید نقشه‌های پایه و استاندارد برای ارزیابی پتانسیل بیابان‌زایی مرتبط با تخریب سرزمین منطقه مورد مطالعه در مدل‌های IMDPA و گلاسود، جمع‌آوری داده و اطلاعات موردنیاز، از سازمان‌های دولتی و نیمه‌دولتی انجام شد. در پاره‌ای از موارد نیز برای به‌روزرسانی داده‌های موردنیاز در بررسی ویژگی‌های خاک منطقه، برداشت میدانی توسط پژوهشگر انجام و تحلیل‌های لازم برای دریافت اطلاعات موردنیاز انجام شد. در مجموع داده‌های زیر برای اجرای مدل‌های IMDPA و گلاسود در دشت یزد - اردکان استفاده گردید:

- داده‌های ۳۰ ساله ایستگاه‌های هواشناسی استان یزد تا سال ۱۳۹۷، شامل داده‌های بارندگی، دما، باد، رطوبت نسبی، روزهای گردوخاک، کدها گردوغبار و تبخیر و تعرق؛

و روش گلاسود نشان می‌دهد که نوع اصلی تخریب سرزمین در منطقه، فرآیندهای شور و قلیایی شدن، فشردگی خاک و ورود به سیستم آب است و علت به وجود آورنده انواع تخریب سرزمین در این منطقه، ناشی از عوامل انسانی از طریق آبیاری بیش از حد، دخالت در زهکشی طبیعی، استفاده نامناسب از ماشین آلات سنگین و عدم وجود روشهای حفاظتی است (۴۷). سنجش جهانی تخریب خاک از طریق روش گلاسود برای شناسایی منابع رسوب و فرآیندهای فرسایش در نیومبا<sup>۱</sup> واقع در تانزانیا نشان می‌دهد که روش گلاسود برای به تصویر کشاندن تفاوت‌های منطقه‌ای بزرگ مرتبط با تخریب خاک رضایت‌بخش است و یک ابزار مفید برای بررسی فرسایش و شناسایی منابع رسوب است (۲۹). هدف اصلی از ارائه مدل تخریب خاک گلاسود را می‌توان تقویت آگاهی تصمیم‌گیرندگان و سیاست‌گذاران در مورد خطرات ناشی از مدیریت نامناسب خاک برای رفاه جهانی و ایجاد مبنایی برای تعیین اولویت‌ها برای برنامه‌های عملی بیان کرد (۲۸).

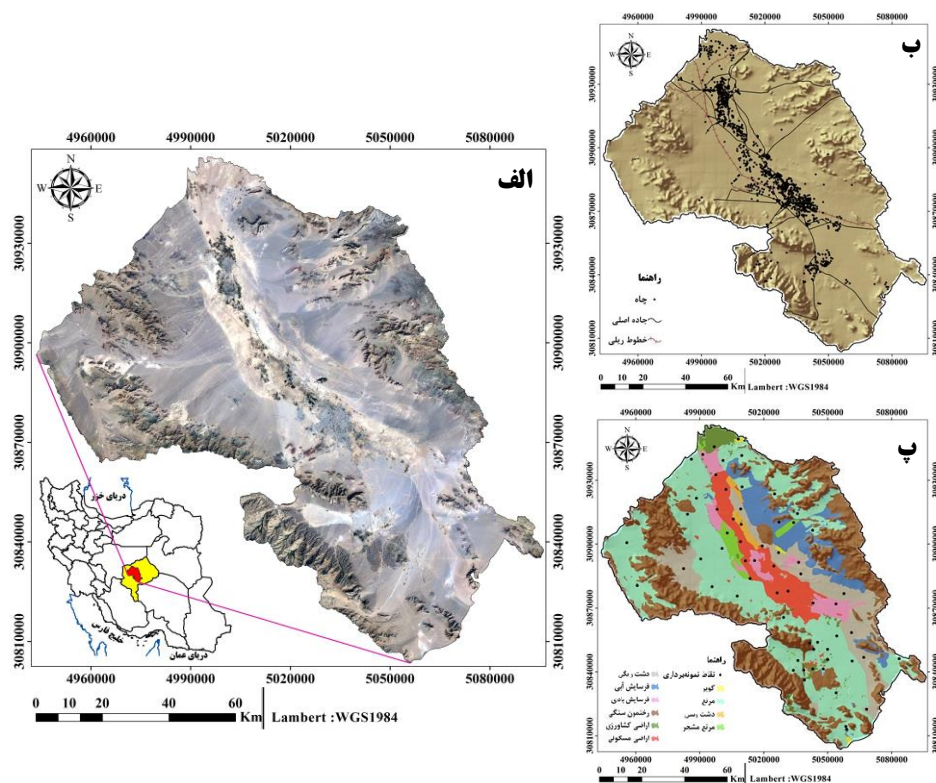
ارزیابی پتانسیل بیابان‌زایی با بهره‌گیری از مدل ایرانی IMDPA در جنوب شرق اهواز (۲۳)، منطقه سراوان سیستان و بلوچستان (۵۱) و منطقه فاریاب کرمان (۲۱)، با بررسی ۴ معیار خاک، پوشش گیاهی، فرسایش بادی و اقلیم، شدت، طبقات و میزان خطر بیابان‌زایی را در مناطق مذکور مشخص می‌سازد. هدف از پژوهش حاضر مقایسه و سنجش وضعیت تخریب اراضی بر پایه مدل جهانی گلاسود مبتنی بر مشاهده‌های میدانی گسترده و مدل ایرانی IMDPA مبتنی بر داده‌های عددی است. به‌این‌منظور دشت یزد-اردکان با توجه به افزایش در شدت فرآیندهای فرسایش بادی و ایجاد تخریب سرزمین طی سال‌های گذشته و بروز مسائلی مانند افزایش شدت توفان‌های گردوغبار و آلودگی هوا به عنوان محدوده مورد بررسی انتخاب شد.

#### ■ مواد و روش

##### منطقه مورد بررسی

محدوده دشت یزد - اردکان و آبخیز مشرف به آن در سیستم مختصات لامبرت در موقعیت ۳۰۸۰۳۴۶۵ تا

<sup>۱</sup> Nyumba



شکل ۱. موقعیت محدوده دشت یزد- اردکان به عنوان منطقه مورد مطالعه (الف)؛ موقعیت جاه‌های مشاهداتی (ب)؛ موقعیت نقاط نمونه برداری خاک (پ)

- اطلاعات خاک‌شناسی حاصل از تجزیه آزمایشگاهی پروفیل‌های خاک  
 - گزارش طرح‌ها و پروژه‌های اجرایی و مطالعاتی در سطح منطقه مورد مطالعه.

### روش پژوهش

#### تهیه نقشه واحدهای کاری

در پژوهش حاضر، از تلفیق لایه‌های کاربری اراضی، شیب، رخساره‌های ژئومورفولوژی و سنگ‌شناسی منطقه، اقدام به تهیه لایه واحدهای کاری با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ شد. ۱۰ واحد کاری یا رخساره زیستی<sup>۱</sup> شامل توده‌ها و برونزدهای سنگی، اراضی شهری و روستایی، مرتع، مشجر، اراضی کشاورزی، فرسایش آبی، فرسایش بادی، سنگفرش بیابان، دشت رسی و کویر (۱۳) برای ارزیابی پتانسیل بیابان‌زایی و تخریب خاک در دو مدل IMDPA و گلاسود، معرفی شدند (شکل ۲).

- نقشه‌های کاربری اراضی، تیپ‌بندی و تراکم پوشش گیاهی اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان یزد؛  
 - نقشه‌های توپوگرافی مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ استان یزد، نقاط ارتفاعی و اطلاعات پایه شامل مراکز مسکونی، راه‌ها، خطوط ارتباطی و سایر اطلاعات مرتبط؛  
 - نقشه زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی دشت یزد - اردکان؛  
 - آمار مربوط به منابع آب سطحی و زیرزمینی شامل چاه‌های پیژومتری، عمق سفره‌های آب زیرزمینی و اطلاعات مربوط به کیفیت و کمیت آب‌های سطحی و زیرزمینی اداره کل آب منطقه‌ای استان یزد؛  
 - آمار جمعیتی روستاها، دهستان‌ها و بخش‌های منطقه، شامل تعداد خانوار، نوع معیشت، اشتغال، تعداد دام، تعاونی‌ها و سایر موارد لازم برای ارزیابی مدل IMDPA، فرمانداری استان یزد؛  
 - آمار عملکرد محصول‌های کشاورزی براساس نوع کشت و الگوی کشت، اداره کل جهاد کشاورزی استان یزد؛  
 - نقشه تراکم جاده و معادن دشت یزد - اردکان؛

<sup>1</sup> Geobiofaces

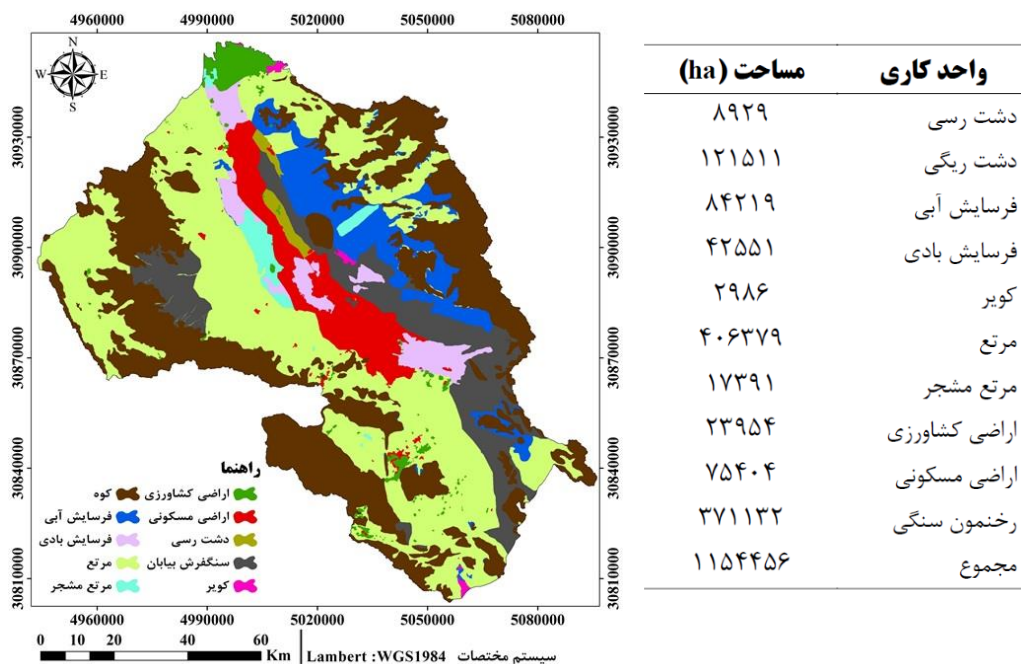
## مدل گلاسود

بهره‌گرفته شد. سپس لایه‌های رقمی مربوط به نوع تخریب، درجه و میزان شدت آن برطبق طبقه‌بندی عوامل اصلی چهارگانه فرسایش آبی، فرسایش بادی، تخریب شیمیایی و تخریب فیزیکی، و زیرمجموعه‌های فرعی آنها (۴۲) تهیه شد (شکل ۳). بدین ترتیب، هر یک از عوامل مذکور از نظر درجه تخریب، به چهار طبقه کم، متوسط، زیاد و خیلی‌زیاد و از لحاظ گسترش تخریب به پنج دسته تقسیم شد. در نهایت، حاصل ترکیب این طبقه‌ها در هر یک از واحدهای کاری مورد بررسی، شدت تخریب خاک حوزه آبخیز دشت یزد - اردکان را مشخص نمود. لازم به توضیح است که در بررسی ویژگی‌های مختلف خاک، واحد کاری رخنمون سنگی مورد ارزیابی واقع نشد و امتیازی به آن تعلق نگرفت.

## ارزیابی پتانسیل بیابان‌زایی ایرانی IMDPA

در اجرای مدل IMDPA، از ۹ معیار ارائه شده در این مدل بهره‌گرفته شد. برای امتیاز دهی هر یک از معیارهای مورد بررسی شاخص‌های معرفی شده در دستورالعمل آن (۱۳) بررسی گردید.

در ارزیابی تخریب خاک با مدل گلاسود، در آغاز در ۶۳ نقطه زمینی واقع در واحدهای کاری تهیه شده در دشت یزد-اردکان (شکل ۱)، پروفیل خاک در تمام افق‌های خاک برداشت شد. نمونه‌های برداشت شده، برای انجام آزمایش‌های شیمیایی و فیزیکی به آزمایشگاه خاکشناسی منتقل شد. بعد از هوا خشک‌شدن نمونه‌های خاک، اندازه‌گیری پارامترهای pH گل اشباع توسط pH متر، هدایت الکتریکی عصاره اشباع توسط هدایت‌سنج الکتریکی، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک به روش باور<sup>۱</sup> (۵)، بافت خاک از طریق روش هیدرومتری (۱۸)، فسفر قابل جذب به روش اولسن<sup>۲</sup> (۳۳)، و کربن آلی با روش بلک<sup>۳</sup> (۸) انجام شد. با توجه به اینکه در مدل گلاسود، بررسی بر روی ویژگی‌های خاکشناسی و طبقه‌بندی اراضی از منظر فرسایش آبی و بادی صورت می‌گیرد تجزیه آزمایشگاهی نمونه‌ها به صورتی انجام شد که علاوه بر تأمین الزام‌های معمول در بررسی‌های بخش خاکشناسی، توانایی ارزیابی تخریب خاک را نیز داشته باشد. به‌منظور ارزیابی حساسیت منابع خاک به تخریب از منظر عوامل مرتبط با فرسایش‌های آبی و بادی، از مشاهدات میدانی، و تجربه و دانش کارشناسی



شکل ۲. نقشه واحدهای کاری اراضی محدوده مطالعاتی دشت یزد - اردکان

<sup>3</sup> Black

<sup>1</sup> Baver

<sup>2</sup> Olsen



به‌عنوان مثال در بررسی معیارهای اقلیم، سه شاخص خشکی، بارندگی سالانه و تداوم خشکسالی بررسی شد، که برای ارزیابی شاخص‌های مذکور ابتدا نقشه‌های شاخص خشکی<sup>۱</sup>، بارندگی سالانه و خشکسالی با بهره‌گیری از داده‌های هواشناسی تولید و در ادامه برطبق دستورالعمل مذکور امتیاز بندی شد.

در مجموع امتیازدهی هر یک از شاخص‌ها با توجه به داده‌های مرتبط با شرایط منطقه، مشاهدات میدانی و نظر کارشناس، مشخص شد و به آن از طریق جداول امتیازدهی در دستورالعمل (۱۳) این روش، امتیاز بین ۰ تا ۴ تعلق گرفت. هر شاخص در ۴ طبقه کم، متوسط، شدید و خیلی شدید ارزیابی شد. در پایان میانگین هندسی شاخص‌ها، مطابق رابطه ۱ (۳۸) محاسبه و به عنوان امتیاز معیار مورد ارزیابی، در نظر گرفته شد.

$$DM = (Q_C \times Q_V \times Q_S \times Q_G \times Q_A \times Q_E \times Q_W \times Q_{SE} \times Q_T)^{\frac{1}{9}} \quad (2)$$

که در آن:

$Q_C^2$ : معیار کیفیت اقلیم؛  $Q_V^3$ : معیار کیفیت پوشش گیاهی؛  
 $Q_S^4$ : معیار کیفیت خاک؛  $Q_G^5$ : معیار کیفیت زمین‌شناسی  
 و ژئومورفولوژی؛  $Q_A^6$ : معیار کیفیت کشاورزی؛  $Q_E^7$ : معیار  
 کیفیت فرسایش؛  $Q_W^8$ : معیار کیفیت آب؛  $Q_{SE}^9$ : معیار  
 کیفیت مسائل اجتماعی - اقتصادی؛  $Q_T^{10}$ : معیار کیفیت  
 توسعه شهری و صنعتی؛  $M^{11}$ : پتانسیل بالفعل بیابان‌زایی

$$IndexX = [(Layer1) \cdot (Layer2) \dots (LayerN)]^{1/n} \quad (1)$$

که در آن:

گسترش تخریب (درصد واحد نقشه)

درجه تخریب	0-5%	5-10%	10-25%	25-50%	50-100%
کم	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
متوسط	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5
زیاد	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5
خیلی زیاد	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5

شکل ۳. سنجش میزان شدت تخریب خاک براساس مدل گلاسود (۴۲)

جدول ۱. طبقه‌بندی طبقه‌های بیابان‌زایی در مدل IMDPA (۱۳)

دامنه ارزش عددی	وضعیت بالفعل بیابان‌زایی	طبقه شدت بیابان‌زایی
۱ - ۱/۵	کم و ناچیز	I
۱/۶ - ۲/۵	متوسط	II
۲/۶ - ۳/۵	شدید	III
۳/۵ <	بسیار شدید	IV

<sup>7</sup> Erosion Quality Index

<sup>8</sup> Water Quality Index

<sup>9</sup> Social \_ Economical Quality Index

<sup>10</sup> Technogenic Quality Index

<sup>11</sup> Desertification mapping

<sup>1</sup> Aridity Index

<sup>2</sup> Climate Quality Index

<sup>3</sup> Vegetation Quality Index

<sup>4</sup> Soil Quality Index

<sup>5</sup> Geomorphology Quality Index

<sup>6</sup> Agriculture Quality Index



$$OA = \frac{\sum_{i=1}^{kC} n_{ii}}{|T|} \quad (3)$$

$$k = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \times x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \times x_{+i})} \quad (4)$$

که در آن:

OA: صحت کلی؛ |T|: تعداد کل پیکسل‌های آزمایشی؛  $n_{ii}$ : تعداد پیکسل‌های درست طبقه‌بندی شده؛ C: تعداد طبقه‌ها؛ k: ضریب کاپا؛ r: تعداد ردیف‌ها و ستون‌ها در ماتریس خطا؛ N: تعداد کل مشاهدات (پیکسل‌ها)؛  $x_{ij}$ : تعداد مشاهدات در ردیف i و ستون j؛  $x_{+i}$ : تعداد کل مشاهدات در ردیف i؛  $x_{+j}$ : تعداد کل مشاهدات در ستون j.

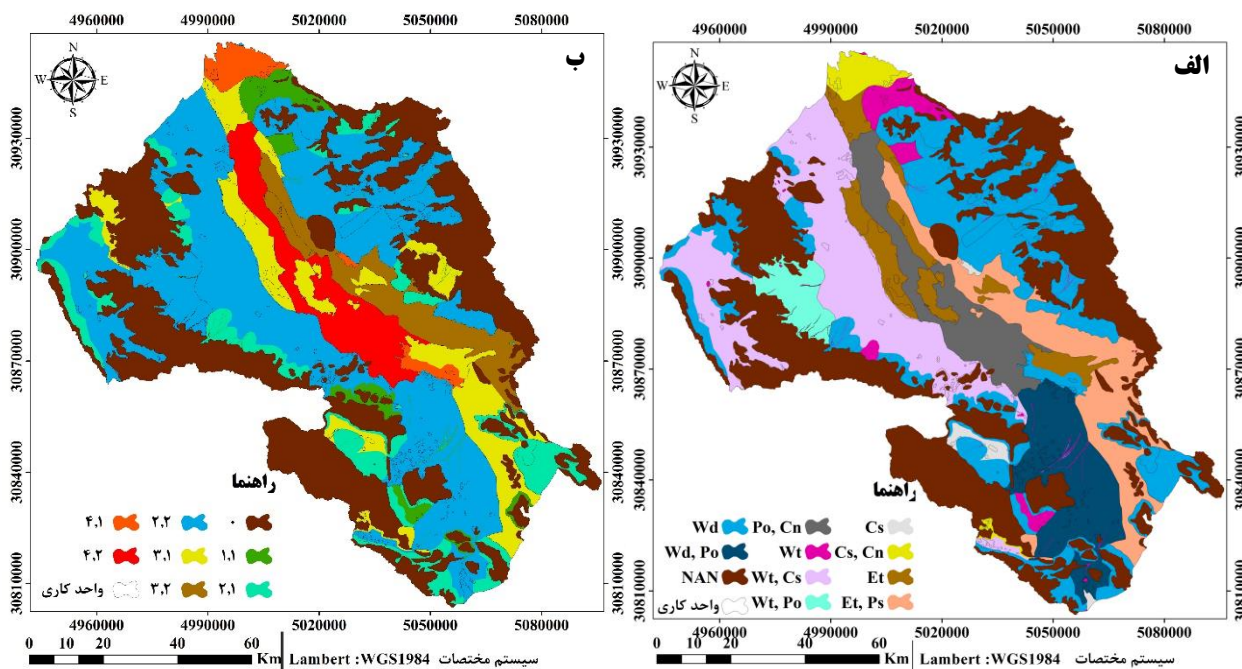
### نتایج و بحث

#### مدل گلاسود

براساس نتایج به‌دست آمده از سنجش تخریب خاک، ۴ عامل تخریب مرتبط با عوامل فرسایش آبی وادی، و تخریب‌های شیمیایی و فیزیکی در سطح منطقه مشاهده شد (شکل ۴).

### ارزیابی صحت نقشه‌های بیابان‌زایی و تخریب سرزمین

صحت نتایج مدل‌های مورد بررسی، با توجه به شواهد زمینی منطقه مورد مطالعه، انجام بازدیدهای میدانی، نظر کارشناسی خبرگان و صاحب‌نظران، مورد ارزیابی بصری قرار گرفت. به این منظور، بعد از تهیه نقشه‌های بیابان‌زایی و تخریب سرزمین، ۱۷۱ نقطه به طور تصادفی انتخاب گردید و با بازدید میدانی از نقاط مذکور، طبقه بیابان‌زایی و تخریب سرزمین به روش بصری و با توجه به خصوصیات منطقه با نظر پنج کارشناس خبره بومی و متخصص، تعیین شد. در ادامه، نقشه‌های بیابان‌زایی و تخریب سرزمین حاصل از مدل‌های IMDPA و گلاسود در محیط نرم‌افزاری ERDAS Imagin 2014، با واقعیت زمینی تطبیق، و ضریب کاپا (۲۷) تعیین شد. همچنین، برای انتخاب مدل برتر، علاوه بر ضریب کاپا (رابطه ۳) و صحت کلی (رابطه ۴) (۲۷) نقشه‌های به‌دست آمده، مقایسه آماری با استفاده از ضریب همبستگی غیرپارامتری اسپیرمن<sup>۱</sup> (۳۷) و کندال<sup>۲</sup> (۱۴) انجام شد. در آزمون همبستگی اسپیرمن و کندال، محدوده تغییرات در بیشینه همبستگی مستقیم، از یک تا حداکثر همبستگی معکوس با مقدار ۱- متغیر است.



شکل ۴. تخریب خاک دشت یزد - اردکان بر اساس مدل گلاسود. انواع تخریب (الف)، درجه و شدت تخریب (ب)

<sup>2</sup> Kendall's

<sup>1</sup> Non Parametric Spearman

بر این اساس، در واحدهای اراضی دارای کاربری‌های دق، کلوتک، تپه‌های ماسه‌ای و سطوح شلجمی، فرسایش بادی از نوع سطحی مشاهده شد که در حدود ۵٪ از سطح محدوده مورد بررسی را شامل شد. علاوه بر فرسایش بادی سطحی در واحد اراضی مرتع، تخریب فیزیکی در نتیجه کاهش در میزان مواد آلی مشاهده شد، که گسترش آن در حدود ۸٪ از سطح منطقه بود (جدول ۲). در مجموع نتایج نشان داد که فرسایش‌های سطحی و در ادامه، شوری زایی و تخریب حاصل از فعالیت فیزیکی انسانی، مؤثرترین نقش را در تخریب سرزمین محدوده مطالعاتی دارد. تخریب سرزمین حوزه آبخیز دشت یزد - اردکان از منظر مدل گلاسود، در ۴ درجه و ۲ شدت، ارزیابی شد و در حدود ۳۴٪ از سطح مورد بررسی، در درجه ۲ و شدت ۲ قرار گرفت. وضعیت مذکور، در بخش‌هایی از مراتع و اراضی درگیر با فرسایش آبی مشاهده گردید. رخساره‌های کویری و تحت تأثیر فرسایش

بادی، در اطراف واحدهای اراضی مسکونی، با درجه ۳ و شدت ۱، در ۱۰٪ از مساحت مطالعاتی شناسایی شد (جدول ۳). موقعیت درجه و شدت تخریب سرزمین هر یک از واحدهای اراضی مورد مطالعه، در شکل ۵ ارائه شده است. در واحد اراضی مسکونی، بیشترین درجه و شدت تخریب، مشاهده گردید. منطقه مذکور، در حدود ۶٪ از سطح منطقه مورد مطالعه را پوشانده است.

### مدل IMDPA

ارزیابی پتانسیل بالفعل وضعیت بیابانی شدن دشت یزد - اردکان در ۹ معیار و بیش از ۳۰ شاخص متنوع مورد بررسی، نشان داد که سهم هر یک از شاخص، معیارها و گروه‌های مورد بررسی (جدول ۴) در ایجاد پتانسیل و بسترسازی بیابان‌زایی و تخریب سرزمین، با استفاده از مدل IMDPA متفاوت است.

جدول ۲. ویژگی عوامل تخریب خاک محدوده دشت یزد - اردکان در مدل گلاسود

علامت اختصاری	عامل اصلی تخریب	عامل فرعی تخریب	مساحت (ha)	مساحت (%)
Cs	تخریب شیمیایی	شوری و قلیائیت	۷۴۰۷	۱
Cs, Cn	تخریب شیمیایی	شوری و قلیائیت؛ کاهش در میزان حاصلخیزی خاک و مواد آلی آن	۱۸۴۸۰	۲
Et	فرسایش بادی	فرسایش سطحی	۶۰۰۳۹	۵
Et, Ps	فرسایش بادی؛ تخریب فیزیکی	فرسایش سطحی؛ کاهش مواد آلی	۹۵۱۵۲	۸
Po, Cn	تخریب فیزیکی؛ تخریب شیمیایی	فعالیت فیزیکی انسانی؛ کاهش در میزان حاصلخیزی خاک و مواد آلی آن	۷۱۶۸۶	۶
Wt	فرسایش آبی	فرسایش سطحی	۲۲۸۵۵۵	۲۰
Wt, Cs	فرسایش آبی، تخریب شیمیایی	فرسایش سطحی، شوری و قلیائیت	۸۷۱۳۴	۸
Wt, Po	فرسایش آبی، تخریب فیزیکی	فرسایش سطحی، فعالیت فیزیکی انسانی	۲۷۲۱۰	۲
Wd	فرسایش آبی	فرسایش عمقی	۱۶۶۲۱۵	۱۴
Wd, Po	فرسایش آبی، تخریب فیزیکی	فرسایش عمقی، فعالیت فیزیکی انسانی	۲۶۳۷۸	۲
NAN	بدون امتیاز	رخنمون سنگی	۳۶۶۲۷۷	۳۲

جدول ۳. درجه و شدت تخریب سرزمین محدوده دشت یزد - اردکان در مدل گلاسود

درجه	شدت	مساحت (ha)	مساحت (%)
۱	۱	۳۳۷۱۵	۳
۲	۱	۹۳۸۲۰	۸
۲	۲	۳۸۷۶۱۷	۳۳
۳	۱	۱۱۲۰۴۳	۱۰
۳	۲	۶۵۴۷۸	۶
۴	۱	۲۳۹۹۵	۲
۴	۲	۷۱۶۹۰	۶
بدون درجه	بدون شدت	۳۶۶۲۷۷	۳۲

و ویژگی‌های اقلیمی، در روند شدید بیابان‌زایی و در ادامه، تخریب سرزمین محدوده مورد مطالعه نقش قابل توجهی را دارند. حال آنکه نمی‌توان از فعالیت‌های انسانی و اثرات منفی آن بر تشدید وضعیت موجود چشم‌پوشی نمود.

تجزیه و تحلیل میانگین وزنی هر یک از گروه‌ها و معیارهای ارزیابی بیابان‌زایی، گروه‌های پوشش‌زمین، آب و هوا، پوشش گیاهی و آب و آبیاری را مؤثرترین عوامل در وضعیت بالفعل بیابان‌زایی حوزه آبخیز دشت یزد - اردکان معرفی کرد. بر این اساس، وضعیت پوشش گیاهی، منابع آب

جدول ۴. میزان سهم پتانسیل بیابان‌زایی معیارها و شاخص‌های مدل IMDPA در محدوده دشت یزد - اردکان

گروه	معیار	شاخص	ارزش وزنی (شاخص)	ارزش وزنی (معیار)	ارزش وزنی (گروه)
اقليم		بارش سالانه	۳		۲/۶
		خشکی	۴		
		استمرار خشکسالی	۱/۴		
آب و هوا	آب و آبیاری	هدایت الکتریکی	۲/۷		۲/۷
		میزان نسبت جذب سدیم	۲/۳		
		افت آب زیرزمینی	۲/۶	۲/۸	
		نوع سیستم آبیاری	۴		
زمین و ژئومرفولوژی		شیب	۱/۳		۱/۱
		نوع بهره‌برداری از واحد کاری	۱/۳		
		حساسیت سنگ	۱/۷		
خاک		هدایت الکتریکی	۲/۶		۲/۳
		عمق خاک	۳/۱		
		بافت خاک	۳/۷		
فرسایش	فرسایش	میزان سنگریزه عمقی	۱/۲		۱/۹
		ظهور رخساره فرسایشی	۲/۲		
		درصد پوشش غیرزنده	۲/۹		
		درصد پوشش گیاهی	۲/۶		
		تعداد روزهای با شاخص توفانی گردو غبار	۲/۶	۲/۴	
		تراکم پوشش گیاهی	۳/۹		
		نوع استفاده از زمین	۲/۱		
		نوع و تراکم فرسایش آبی	۲/۳		
		وضعیت پوشش گیاهی	۳/۷		
		بهره برداری از پوشش گیاهی	۳/۱	۳/۸	
تجدید پوشش گیاهی	۳/۸				
کشاورزی	کشاورزی	الگوی کشت	۲		۲/۸
		عملکرد محصول	۱/۳	۱/۸	
		کاربرد مکانیزاسیون و نهاده‌های کشاورزی	۲/۶		

## ادامه جدول ۴. میزان سهم پتانسیل بیابان‌زایی معیارها و شاخص‌های مدل IMDPA در محدوده دشت یزد - اردکان

گروه	معیار	شاخص	ارزش وزنی (شاخص)	ارزش وزنی (معیار)	ارزش وزنی (گروه)
گروه انسانی	اقتصادی و اجتماعی	جمعیت	۲/۳		۱/۹
		فقر و اقتصاد	۲/۵	۲/۳	
		عوامل نهادی، حقوقی و قانونی	۲/۵		
		تشکل و مشارکت	۳/۵		
		تبدیل اراضی باغی و زارعی به مسکونی و صنعتی	۱/۸		
توسعه شهری و صنعتی	تراکم جاده و معدن	تبدیل اراضی مرتعی و جنگلی به شهری و صنعتی	۱	۱/۵	
		تراکم جاده و معدن	۲/۱		
		سرانه فضای سبز	۳/۳		

بارش، طولانی بودن دوره‌های خشکی، درجه حرارت بالا و شدت تبخیر، بالا بودن سفره‌های آب زیر زمینی شور و بهره‌برداری‌های نادرست در منطقه، در غلبه معیار مذکور بر افزایش شدت بیابان‌زایی دشت یزد - اردکان، تأثیرگذار می‌باشد. توسعه بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی با پمپاژهای قوی بر روی چاه‌ها، علاوه بر نابودی قنات‌های این منطقه، افت زیاد سطح سفره آب زیرزمینی و کاهش کیفیت و شور شدن هرچه بیشتر آب را بدنبال داشته است. در مجموع، شرایط اقلیمی و بوم‌شناختی حاکم بر حوزه آبخیز دشت یزد - اردکان، با دخالت‌ها و بهره‌برداری‌های نادرست انسانی، بر افزایش روند بیابان‌زایی و تخریب خاک منطقه تأثیر شگرفی را دارد.

**ارزیابی تخریب سرزمین بر اساس مدل گلاسود و IMDPA**  
تخریب سرزمین حوزه آبخیز دشت یزد - اردکان، بر اساس مدل گلاسود در سه طبقه کم، متوسط و زیاد قرار گرفت. براساس نتایج به‌دست آمده، ۴۵٪ از منطقه مورد بررسی، از نظر کیفی، تخریب سرزمین متوسطی را نشان داد (جدول ۵). این مناطق به‌طور عمده در واحد اراضی مرتع محدوده مطالعاتی مشاهده گردید (شکل ۵). این در حالی است که در برآورد مدل گلاسود، واحد اراضی مسکونی و اراضی اطراف آن، با میزان تخریب زیاد، ۱۲٪ از سطح منطقه، را شامل شد. از مهمترین عوامل تخریب سرزمین در محدوده مطالعاتی، کاهش و از بین رفتن پوشش سطح زمین و انجام فعالیت‌های صنعتی تشخیص

در گروه آب و هوا شامل معیارهای اقلیم و آب‌های زیرزمینی، خطر بیابان‌زایی در طبقه شدید ارزیابی شد. در این گروه شاخص‌های نوع سیستم آبیاری، خشکی و میانگین بارندگی سالانه بیشترین سهم را در افزایش خطر بیابان‌زایی و تخریب سرزمین داشتند. در گروه فرسایش شامل معیارهای زمین و ژئومورفولوژی، خاک و فرسایش خطر بیابان‌زایی در طبقه متوسط مشخص شد. در این گروه شاخص‌های تراکم پوشش گیاهی، بافت و عمق خاک بیشترین سهم افزایش در شدت بیابان‌زایی را نشان دادند. در گروه پوشش زمین شامل معیارهای پوشش گیاهی و کشاورزی، پتانسیل بیابان‌زایی در طبقه شدید قرار داشت، به‌طوری‌که هر سه شاخص مربوط به معیار پوشش گیاهی بیشترین نقش را در افزایش خطر بیابان‌زایی نشان دادند. گروه انسانی شامل معیارهای اقتصادی و اجتماعی، و توسعه شهری و صنعتی پتانسیل خطر بیابان‌زایی را در درجه متوسط قرار داد. به‌طوری‌که مهمترین شاخص‌های تأثیرگذار در افزایش شدت خطر بیابان‌زایی منطقه مورد مطالعه مرتبط با شاخص مذکور در میزان مشارکت و سرانه فضای سبز مشخص گردید.

برداشت بیش از حد از منابع آب زیرزمینی، تغییرات کاربری غیراصولی و فعالیت‌های صنعتی و معدنی نادرست، زمینه تخریب سرزمین، برهم زدن و از بین بردن پوشش سطحی زمین را فراهم آورده است. معیار آب و آبیاری دومین معیار غالب با وضعیت شدید در محدوده مورد مطالعه است. ماهیت خشک منطقه مورد بررسی و کمبود

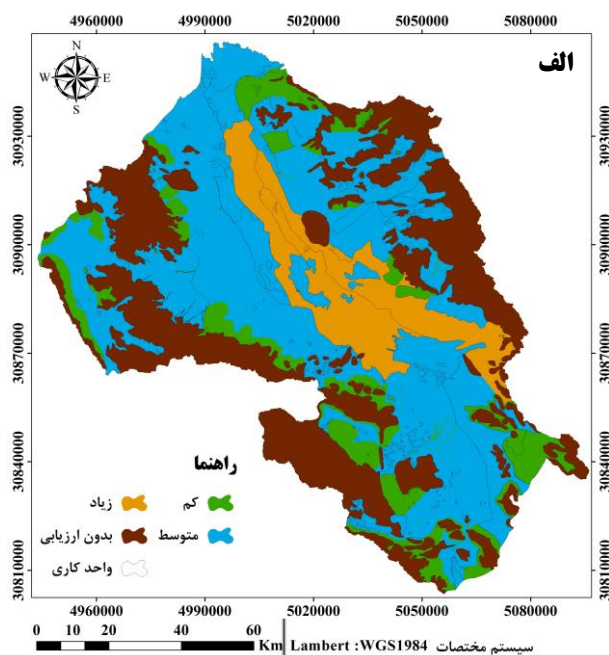
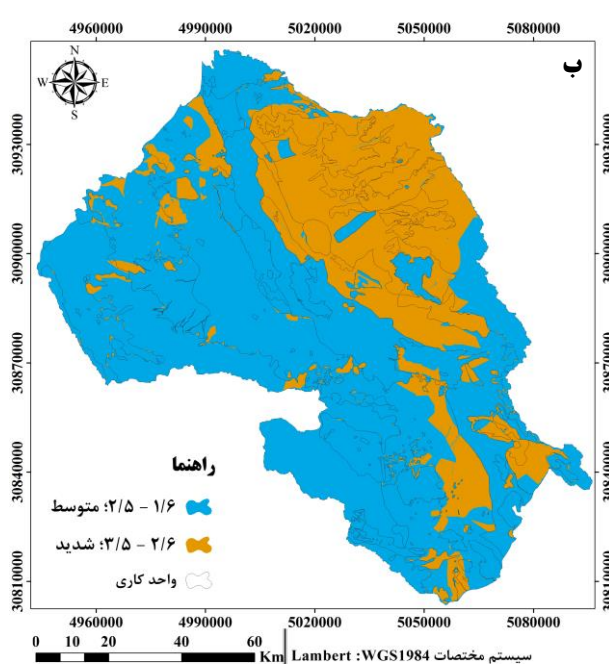
این منطقه به وقوع پیوسته است. در این منطقه کاهش شدید در میزان مواد آلی خاک، فشردگی در خاک سطحی به واسطه چرای مفرط دام، از بارزترین دلایل در کاهش حاصلخیزی و تخریب خاک معرفی شده است (۱۲). در پژوهشی دیگر بر روی ارزیابی تخریب خاک شرق استان قزوین مبتنی بر مدل گلاسود، درجات مختلفی از تخریب خاک مشاهده می‌شود که بیشترین سطح منطقه در تخریب با درجه متوسط قرار گرفته است. در این پژوهش بارزترین نوع تخریب در منطقه، تخریب شیمیایی خاک به دلیل کاهش مواد آلی، شوری خاک و هدررفت مواد غذایی است (۱۹).

داده شد. بر اساس نتایج حاصل از مدل گلاسود، بیشترین سطح از منطقه در وضعیت تخریب خاک متوسط قرار دارد. به طوری که عوامل فرسایش آبی، تخریب فیزیکی ناشی از فعالیت انسانی و کاهش مواد آلی بر روی وضعیت مذکور تأثیرگذار بوده است. بخش دیگری از منطقه را تخریب خاک با وضعیت شدید احاطه نموده است. به طوری که، این بخش، متأثر از عوامل تخریب فیزیکی ناشی از فعالیت فیزیکی مرتبط با انسان و کاهش مقدار مواد آلی در خاک، و فرسایش بادی است.

بررسی حساسیت منابع خاک به تخریب در دشت ابرهر خرم دره با مدل گلاسود، نشان می‌دهد که تخریب خاک با درجات مختلف کم تا زیاد ناشی از فعالیت‌های انسانی در

جدول ۵. ارزیابی تخریب سرزمین محدوده دشت یزد - اردکان در مدل گلاسود

طبقه	ارزیابی گلاسود	مساحت (ha)	مساحت (%)
۱	کم	۱۲۷۵۳۸/۲	۱۱
۲	متوسط	۵۲۲۷۲۹/۹	۴۵/۳
۳	زیاد	۱۳۷۹۸۸/۹	۱۲
بدون ارزیابی	بدون ارزیابی	۳۶۶۲۷۷/۲	۳۱/۷



شکل ۵. شدت تخریب سرزمین دشت یزد - اردکان بر اساس مدل گلاسود (الف) و مدل IMDPA (ب)

حالی که برخی از پژوهشگرها از روابط آماری ناپارامتریک و تعیین میزان کاپای نقشه‌های تولیدی، اقدام به ارزیابی صحت مدل‌ها می‌نمایند (۳، ۴۱). برآورد صحت کلی و ضریب کاپای نقشه‌های حاصل از مدل‌های پژوهش حاضر، صحت بیشتر نقشه پتانسیل بیابان‌زایی حاصل از مدل IMDPA را در مقایسه با مدل گلاسود، نسبت به واقعیت زمینی نشان داد (جدول ۷). در مجموع، با توجه به مقدار ضریب کاپای به‌دست آمده، هر دو نقشه نسبت به واقعیت زمینی صحت متوسطی را ارائه دادند. همچنین بررسی همبستگی غیرپارامتریک در دو مدل مورد بررسی، برتری مدل IMDPA را نسبت به مدل گلاسود، نشان داد (جدول ۷).

نقشه تخریب سرزمین اساس و زمینه‌ای برای برنامه‌ریزی منطقی مبارزه با تخریب است، که ضمن تعیین هریک از شاخص‌های مؤثر بر تخریب، نقشه‌ای نهایی از تخریب سرزمین را برای استفاده کاربران و مدیران اراضی در منطقه ارائه می‌دهد. هدف اصلی از نقشه تخریب خاک گلاسود تقویت آگاهی تصمیم‌گیرندگان و سیاست‌گذاران در مورد خطرات ناشی از مدیریت نامناسب زمین و خاک برای رفاه جهانی و ایجاد مبنایی برای تعیین اولویت‌ها برای برنامه‌های اجرایی است (۲۸). با وجود اینکه در مدل گلاسود، توجه بر ارزیابی تخریب خاک ناشی از فعالیت‌های انسانی است (۳۲)، اما منابع تخریب مانند وضعیت پوشش گیاهی، منابع آب و عوامل اصلی انسانی در تخریب سرزمین، مانند رشد و تراکم جمعیت، تغییر کاربری اراضی و غیره مورد ارزیابی قرار نمی‌گیرد. از سویی دیگر، در مدل مذکور، تعداد عامل‌های در نظر گرفته شده برای تخریب سرزمین محدود و در برخی موارد، تأثیر آنها بیش از واقعیت برآورد می‌شود. این موضوع موجب شده تا مدل گلاسود نسبت به مدل IMDPA، از عملکرد کمتری برخوردار باشد و توانایی ارائه مطلوب واقعیت منطقه را در امر تخریب سرزمین نداشته باشد.

نتایج محاسبه امتیاز کل پتانسیل بیابان‌زایی در مدل IMDPA (رابطه ۲)، شدت بیابان‌زایی در حوزه آبخیز دشت یزداردکان را در دو طبقه متوسط و شدید نشان داد. به‌طوری‌که، پتانسیل بیابان‌زایی حدود ۶۷٪ از سطح مورد مطالعه، با وضعیت متوسط بیابان‌زایی و ۳۳٪ از آن در وضعیت شدید ارزیابی شد (جدول ۶). ارزیابی میانگین وزنی شدت بیابان‌زایی در این محدوده، ۲/۴ محاسبه گردید که در طبقه متوسط قرار گرفت و خطر نزدیک شدن، به وضعیت شدید در آن ملموس است. شدت پتانسیل بیابان‌زایی شمال‌شرق منطقه مطالعاتی و بخش‌هایی از کاربری اراضی مسکونی و نواحی اطراف آن، در وضعیت شدید قرار داشت (شکل ۶). در پژوهش حاضر، معیار پوشش گیاهی، مؤثرترین عامل در افزایش شدت بیابان‌زایی بر مبنای مدل IMDPA معرفی گردید که با پژوهش‌های مشابه در حوضه چشمه‌خان (۳۹) و منطقه آق‌بند استان گلستان (۴)، و در منطقه سبزوار واقع در خراسان رضوی (۴۱) مطابقت دارد.

در بین شاخص‌های بکار گرفته شده در مدل IMDPA، شاخص خشکی در معیار اقلیم، شاخص نوع سیستم آبیاری در معیار آب و آبیاری، شاخص بافت خاک و شاخص پوشش گیاهی از نظر تراکم، وضعیت و تجدید پوشش، با امتیاز بالاتر از ۳/۵، ارزیابی گردید (جدول ۴). بنابراین، وضعیت شدید بیابان‌زایی و تخریب سرزمین در منطقه، متأثر از شاخص‌های مذکور می‌باشد.

**ارزیابی صحت نقشه‌های حاصل از مدل IMDPA و گلاسود**  
برای مقایسه نقشه‌های حاصل از مدل‌های بیابان‌زایی و تخریب سرزمین، روش مشخصی وجود ندارد. به‌طوری‌که، در برخی از پژوهش‌ها مقایسه‌های محدودی بین دو مدل مورد بررسی انجام شده و مدل برتر با یک نظر کلی و بدون به‌کارگیری روشی معین، انتخاب شده است (۱۵، ۳۶). در

جدول ۶. ویژگی طبقات وضعیت بالفعل بیابان‌زایی محدوده دشت یزد - اردکان در مدل IMDPA

دامنه ارزش عددی	وضعیت بالفعل بیابان‌زایی	طبقه	مساحت (ha)	مساحت (%)
۱/۶ - ۲/۵	متوسط	۲	۷۷۰۷۴۷	۶۷
۲/۶ - ۳/۵	شدید	۳	۳۸۳۷۸۷	۳۳



جدول ۷. ارزیابی صحت نقشه‌های شدت بیابان‌زایی IMDPA و تخریب سرزمین گلاسود در محدوده دشت یزد - اردکان

متغیر	صحت کلی	کاپای کلی	کاپای جزئی			آزمون همبستگی	
			۱ با ۱	۲ با ۲	۳ با ۳	اسپیرمن	کندال
IMDPA و واقعیت زمینی	٪۸۱/۷	۰/۶۱	-	۰/۵۱	۰/۷۳	۰/۶۹۸**	۰/۶۷۹**
گلاسود و واقعیت زمینی	٪۶۹/۱	۰/۴۳	۰/۳۷	۰/۴۴	۰/۴۸	۰/۳۹۶**	۰/۳۸۲**

در همین راستا، دیگر مدل مورد بررسی، از صحت نسبی در ارائه وضعیت موجود در منطقه برخوردار است. اما همچنان، در ارائه واقعیت زمینی با صحت بالا، توانمندی زیادی را ندارد. اگرچه، در مدل مذکور، از شاخص‌های زیاد و متنوع متناسب با شرایط کشور ایران، بهره گرفته شده است، اما در بعضی موارد، برخی از شاخص‌های بکار گرفته شده، تأثیر چندانی را بر روی شدت تخریب سرزمین در منطقه‌ای خاص ندارد، و این موضوع در محاسبه نهایی شدت بیابان‌زایی، کاهش ارزیابی کلی شرایط منطقه را بدنبال دارد. بنابراین، وجود انعطاف‌پذیری در مدل و امکان اصلاح شاخص‌های تخریب سرزمین نتایج همسوتری را نسبت به واقعیت زمینی به همراه خواهد داشت (۱). کاهش بیشتر تعداد شاخص‌های مورد بررسی در هر معیار و گزینش مؤثرترین شاخص‌های مرتبط با ایجاد بستر تخریب سرزمین و افزایش شدت آن در هر منطقه امکان اثربخشی بیشتری را در ارائه نتایج دقیق‌تر از وضعیت منطقه می‌تواند داشته باشد. همچنین تأثیر فعالیت‌های انسانی تنها مختص به چهار شاخص معیار بیابان‌زایی تکنوژنیک نبوده، و در نظر گرفتن تأثیر مخرب عوامل انسانی در تمام معیارهای مورد بررسی، برای دستیابی به نتایج مطلوب‌تر، احساس می‌گردد. مدل گسترده IMDPA با ۹ معیار و بیش از ۳۰ شاخص در بررسی پتانسیل بیابان‌زایی، عوامل مؤثر زیادی را برای ارزیابی تخریب سرزمین دخالت می‌دهد اما وجود شاخص‌های زیاد و متنوع همیشه دلیل بر نقطه قوت یک مدل نمی‌باشد و می‌تواند بر کاهش و یا افزایش نادرست ارزش نهایی تخریب تأثیرگذار باشد. این امکان وجود دارد که بخش عوامل انسانی و توسعه صنعتی، و یا عوامل نهادی مانند مالکیت و تعارض نقش تعیین‌کننده‌ای بر روی تخریب سرزمین نداشته باشند و امتیازدهی این عوامل

موجب کاهش در ارزش نهایی میزان تخریب سرزمین در نتیجه بیابان‌زایی می‌شود. بنابراین گزینش شاخص‌های مؤثر برای هر منطقه نسبت به پتانسیل‌های موجود در آن اهمیت دارد. همچنین در ارزش‌دهی به شاخص‌های مرتبط با عوامل انسانی مانند شاخص‌های جمعیتی، نیاز به آمار ثبت شده می‌باشد که این آمار تنها در مناطق روستایی و شهری منطقه قابل تهیه بوده و قابل تعمیم به کل پهنه مورد مطالعه نیست. در واقع آثار تخریب انسان محدود به یک پهنه خاص که مراکز جمعیتی در آن قرار دارد می‌شود و تمام محدوده مورد بررسی را پوشش نمی‌دهد. با این وجود، استفاده از روش میانگین هندسی، انعطاف‌پذیری مدل و استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی در تلفیق لایه‌ها، از نکات قوت مدل IMDPA می‌باشد (۴۱).

از نکات مورد انتقاد در مدل گلاسود، نشان ندادن دینامیک فرآیند فرسایش است، به طوری که برخی از جنبه‌های تخریب خاک به خصوص در حوضه‌های آبریز کوچک رانشان نمی‌دهد. با این وجود، نقشه حاصل از این مدل می‌تواند در شناخت منابع تولید رسوب در سطح منطقه‌ای یا مقیاس‌های فضایی بزرگتر استفاده شود (۲۹).  
مطالعات انجام شده در زمینه احیای تخریب سرزمین نشان می‌دهد که اتخاذ شیوه‌های احیای مناسب در محل اراضی تخریب شده نوع زیستی و خدمات اکوسیستمی را افزایش می‌دهد. در مقابل، اقدامات احیای این اراضی در خارج از محل تخریب، به طور قابل توجهی کیفیت خاک را بهبود می‌بخشد (۶). از آنجایی که خدمات اکوسیستم ارتباط مستقیمی با رفاه انسان دارد، احیای اراضی در محل تخریب، تأثیر زیادی را بر این موضوع دارد. به عنوان مثال نگهداشت کاه و کلش در عملیات خاک‌ورزی حفاظتی علاوه بر افزایش عملکرد و تولید علوفه، افزایش پتانسیل

این موضوع بیانگر نقش بسیار مؤثر عامل انسانی، در افزایش شدت بیابان‌زایی و تخریب سرزمین منطقه مطالعاتی بود. نتایج حاصل از مدل IMDPA شدت بیابان‌زایی و یا به عبارتی تخریب سرزمین منطقه را در دو طبقه متوسط و شدید نشان داد. در حالی‌که، در مدل گلاسود، شدت تخریب سرزمین در سه طبقه کم، متوسط و زیاد ارزیابی گردید. با این وجود در هر دو مدل مورد ارزیابی، بیشترین سطح تخریب در طبقه متوسط نشان داده شد. با وجود تفاوت در موقعیت و مساحت طبقات تخریب سرزمین برگرفته شده از هر دو مدل، شباهت‌هایی در طبقات شدت تخریب در واحدهای اراضی یکسان مشاهده شد، که می‌تواند تا حدودی به دلیل شباهت معیارهای مورد بررسی در هر دو مدل باشد. اما با توجه بررسی معیارهای مرتبط بیشتر در بررسی پتانسیل بیابان‌زایی در مدل IMDPA نسبت به مدل گلاسود مانند بررسی شرایط اقلیمی، زمین‌شناسی و غیره، نتایج حاصل از این مدل، به واقعیت منطقه نزدیک‌تر است. در مجموع با توجه به نتایج ارزش وزنی معیارها و شاخص‌های مورد بررسی در مدل IMDPA، فقر پوشش سطح خاک، اصلی‌ترین عامل در افزایش شدت بیابان‌زایی دشت یزد-اردکان است، به‌طوری‌که تلفیق عوامل طبیعی اقلیمی و عوامل مخرب انسانی مانند بهره‌برداری بیش از حد مجاز از آب‌های زیرزمینی، نوع سیستم آبیاری و همچنین عوامل اقتصادی - اجتماعی حاکم بر منطقه می‌تواند دلیل بر این وضعیت باشد.

ترسیب کربن کربن را در بردارد (۷). فنآوری‌های یکپارچه پایدار نیز می‌توانند فرآیندهای احیای اراضی تخریب شده را به‌طور کارآمدی تضمین نماید و بنابراین اصلاح اراضی تخریب شده به کاهش و اصلاح تخریب در جهت اهداف توسعه پایدار، کمک می‌نماید (۱۱)

## ■ نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از نقشه نهایی شدت بیابان‌زایی در مدل IMDPA، نشان داد که بیابان‌زایی در ۳۳٪ از منطقه، به شدت در حال پیشروی است، و در سایر مناطق وضعیت بیابان‌زایی متوسط ارزیابی شد. با این وجود، مقادیر به‌دست آمده در مناطق دارای طبقه متوسط، به‌میزان زیادی، نزدیک به مقادیر مربوط به طبقه شدید بود. چنانچه مدیریتی صحیح در کنترل و پیشگیری روند بیابان‌زایی منطقه صورت نپذیرد، در آینده‌ای نه‌چندان دور به مساحت اراضی با شدت بیابان‌زایی شدید و خیلی شدید افزوده خواهد شد.

بر اساس مدل گلاسود، شدت تخریب زیاد اراضی، در ۱۲٪ از سطح مورد بررسی مشاهده شد، و در ۴۵٪ از منطقه، وضعیت تخریب در حد متوسط ارزیابی گردید. در همین راستا، فعالیت‌های فیزیکی انسانی، کاهش در مقدار مواد آلی خاک، و عامل فرسایش، سه معیار مؤثر در افزایش شدت روند تخریب، در این مدل بود. در نتایج حاصل از هر دو مدل مورد ارزیابی، واحد اراضی مسکونی و محدوده اطراف آن شدت بیابان‌زایی و تخریب زیادی را نشان داد.

## ■ References

1. AbdelKawy, W. A. M., & Darwish, K. M. (2019). Assessment of land degradation and implications on agricultural land in Qalyubia Governorate, Egypt. *Bulletin of the National Research Centre*, 43(1), 70.
2. AbdelRahman, M. A. E., Natarajan, A., Hegde, R., & 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), 324-334.
3. Akbari, M., Feyzi Koushki, F., Memarian, H., Azamirad, M., & Alizadeh Noughani, M. (2020). Prioritizing effective indicators of desertification hazard using factor-cluster analysis, in arid regions of Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(8), 319.
4. Arami, S. A., & Ownagh, M. (2017). Assessment of desertification hazard, risk and development of management plans. *Desert*, 22(1), 51-67.

5. Baver, L. D., Gardner, W. H., & Gardner, W. R. (1973). *Fisica de suelos*. Mexico, Union Tipografica Editorial Hispano Americana.
6. Benayas, J. M. R., Newton, A. C., Diaz, A., & Bullock, J. M. (2009). Enhancement of biodiversity and ecosystem services by ecological restoration: a meta-analysis. *Science*, 325(5944), 1121-1124.
7. Bhattacharyya, R., Ghosh, B. N., Mishra, P. K., Mandal, B., Rao, C. S., Sarkar, D., Das, K., Anil, K. S., Lalitha, M., Hati, K. M., & Franzluebbbers, A. J. (2015). Soil Degradation in India: Challenges and Potential Solutions. *Sustainability*, 7(4), 3528-3570.
8. Blake, G. R., & Hartge, K. (1986). Particle density. *Methods of Soil Analysis: Part 1 Physical and Mineralogical Methods*, 5, 377-382.
9. Bridges, E. (1992). *World map of the status of humaninduced soil degradation*, oldeman, LR, Hakkeling, RTA and Sombroek, WG UNEP/ISRIC, Nairobi, Kenya, 1990. ISBN 90 6672 042 5, US, 3 maps and explanatory note+ 27 pp, Wiley Online Library.
10. Dregne, H. E. (2002). Land degradation in the drylands. *Arid Land Research and Management*, 16(2), 99-132.
11. Edrisi, S. A., Sarkar, P., Son, J., Prakash, N. T., & Baral, H. (2022). Assessing the Realization of Global Land Restoration: A Meta-analysis. *Anthropocene Science*, 1(1), 179-194.
12. Eftekhari, K., Moameni, A., Esfandiari, M., & Pazira, E. (2011). Susceptibility of the Soils to Human-induced Degradation in the Abhar-Khorramdarreh Plain, Based on GLASOD and Geopedologic Approaches. *Soil Research*, 25(2), 159-176. (in Farsi)
13. Ekhtesasi, M. R., & Sepehr, A. (2011). *Methods and models of desertification assessment and mapping*. Yazd, Yazd University.
14. Entezari Zarch, A., Ahmadi, H., Moeini, A., & Pazira, E. (2021). Impacts of environmental and human factors on desertification-induced land degradation in arid areas. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(22), 2447.
15. Fathi, M., Jafari, R., & Soltani, S. (2015). Performance comparison of MEDALUD, MICD and FAO-UNEP desertification mapping models in the desertification hotspot of Jarghoyeh region, Isfahan province. *Water and Soil Science*, 19(71), 299-310. (in Farsi)
16. Fattahi, A. (2013). Investigation of social and economic development levels in villages of Ardakan - Yazd plain. *Agricultural Economics and Development Research*, 44(4), 593-602 (in Farsi).
17. Fattahi, M. M., Darvish, M., Javidkia, H. R., & Adnani, M. (2011). Assessment and mapping of desertification total risk using FAO-UNEP method (case study: Qomroud watershed). *Range And Desert Research*, 17(4 (41)), 575-588. (in Farsi)
18. Gee, G. W., & Or, D. (2002). 2.4 Particle-size analysis. *Methods of Soil Analysis: Part 4 Physical Methods*, 5, 255-293.
19. Haji Maleki, K., Mousavi, S. R., Gorji, M., & Sarmadian, F. (2016). Mapping soil degradation based on geopedological method and GLASOD model using GIS in east QAZVIN province. *Range and Watershed Management*, 68(4), 853-867. (in Farsi)
20. Johnson, D. L., & Lewis, L. A. (2007). *Land degradation: creation and destruction*. Lanham, DM, Boulder, New York, Toronto, Oxford.: Rowman & Littlefield.

21. Kamali Maskooni, E., Kamali, M .A., & Khanamani, A. (2021). Investigation and preparation of desertification map based on iranian model of desertification potential (IMDPA) with an emphasis on two criteria of soil and vegetation (case study: Faryab-Kerman province). *Environmental Science and Technology*, 22(12), 163-178. (in Farsi)
22. Kapalanga, T. S. (2008). *A review of land degradation assessment methods*. Land restoration training programme, 2011. Keldnaholt, 112 Reykjavík, Iceland.
23. Keramatzadeh, M., Fathi, A., & Moazed, H. (2022). Investigate the situation of desertification in south east Ahvaz region using IMDPA model with emphasis on the criteria climate and vegetation. *Irrigation Sciences and Engineering*, 45(1), 153-166. (in Farsi)
24. Le, Q. B., Tamene, L., & Vlek, P. L. (2012). Multi-pronged assessment of land degradation in West Africa to assess the importance of atmospheric fertilization in masking the processes involved. *Global and Planetary Change*, 92, 71-81.
25. Low, P. (2013). *Economic and social impacts of desertification, land degradation and drought. White paper I. UNCCD 2nd scientific conference*, prepared with the contributions of an international group of scientists. Retrieved from <http://2sc.unccd.int> (accessed 26 March 2013.), ISBN 978-92-95043-66-4, Bonn, Germany.
26. Lukic, S., Baumgartel, A., Obradovic, S., Kadovic, R., Beloica, J., Pantic, D., Miljkovic, P., & Belanovic Simic, S. (2022). Assessment of land sensitivity to degradation using MEDALUS model-a case study of Grdelica Gorge and Vranjska Valley (southeastern Serbia). *iForest-Biogeosciences and Forestry*, 15(3), 163.
27. Moghani Rahimi, F., Mazidi, A., & Ghafarian Malamiri, H. R. (2022). An investigation of urban development and land cover changes in abarkoh city combining bands from landsat 7 and 8 satellite images. *Geographical Data (Sepehr)*, 31(121), 127-141. (in Farsi)
28. Mushi, C. A., Ndomba, P. M., Trigg, M. A., Tshimanga, R. M & .Mtalo, F. (2019). Assessment of basin-scale soil erosion within the Congo River Basin: A review. *Catena*, 178, 64-76.
29. Ndomba, P. M. (2015). Validation of GLASOD map for sediment sources and erosion processes identification in the Nyumba ya Mungu reservoir catchment. *Geosciences*, 6(09), 972.
30. Nikpour, N., Fotoohi, S., Hosseini, S. Z., Negaresh, H., & Bahrami, S. (2022). An assessment of land degradation and its effects on geomorphology using LADA model: a case study of Ilam Province ,west of Iran. *Environmental Earth Sciences*, 81(10), 1-25.
31. Nkonya, E., Gerber, N., Baumgartner, P., von Braun, J., De Pinto, A., Graw, V., Kato, E., Kloos, J., & Walter, T. (2011). *The economics of land degradation: toward an integrated global assessment*, Vol 66, Development economics and policy series: Peter Lang GmbH, Frankfurt.
32. Oldeman, L. R. (1991). World map of the status of human-induced soil degradation, An explanatory note, Global assessment of soils degradation, GLASOD. *The Map Sheets*.
33. Olsen, S. R. (1954). *Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate*: US Department of Agriculture.
34. Omidvari, S., Nikkami, D., Masihabady, M. H., Barzegar, R., Alizadeh, O., & Ordoorkhani, K. (2010). Investigation of soil degradation using glasod model by photomorphic working units. *Advances in Environmental Biology*, 495-501.

35. Ownegh, M., Ramezani, N., Salman Mahini, A., & Sepehr, A. (2020). Assessing desertification hazards in north khorasan province via MICD and IMDPA models. *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 9(26), 29-42. (in Farsi)
36. Parvari, H., Hosseini, S. M., Pahlavanravi, A., Moghaddam Nia, A. R., Shahriari, A & ,Ekhtesasi, M. R. (2011). Comparison of ICD and ESA<sub>s</sub> models to desertification map in the Nyatk region of SISTAN. *Watershed Management Researches (Pajouhesh-Va-Sazandegi)*, 1(90), 42-54. (in Farsi)
37. Pashaei, m., Rashki, A., & Sepehr, A. (2016). Investigation of statistical analysis of desertification integrated indicators by using the ANOVA Non-Parametric tests. *Water and Soil Conservation*, 23(3), 257-272. (in Farsi)
38. Raeesi, A., Zehtabian, G. R., Ahmadi, H., Khosravi, H., & Dastourani, M. (2013). Evaluation of current desertification status in shore deserts using biophysical criteria of IMDPA model (case study: Kahire Konarak, Chabahar). *Watershed Management Researches (Pajouhesh-Va-Sazandegi)*, 25(4 ), 43-51. (in Farsi)
39. Rezaee Rad, N. (2009). *The study of desertification potential Cheshme Khan basin by IMDPA method.* (M.Sc. Thesis), University of Tehran. (in Farsi)
40. Saremi Naeini, M. A. (2021). Evaluation of the effects of land use change in Meybod and Ardakan cities on the intensity of wind erosion. *Range and Watershed Managment*, 74(1), 121-135. (in Farsi)
41. Silakhori, E., Ownegh, M., Sadoddin, A., & Filekesh, E. (2014). Comparing efficiency of iranian desert hazard assessment models, namely MICD and IMDPA (case study: Sabzevar region). *Water and Soil Conservation (Agricultural Sciences and Natural Resources)*, 21(4), 1-28. (in Farsi)
42. Sokouti, R., Gholamazad, S., & Ghaemian, N. (2015). Assessing Soil Degradation by GLASOD Method, Case of Orumieh Plain. *Land Management*, 2(2), 161-169. (in Farsi)
43. Soltani GerdFaramarzy, M., Mozafari, G., & Shafie, S. (2018). Analysis of the effects of recent climatic droughts on the salinity of subterranean waters using geostatistical and GIS methods in Yazd- Ardakan Plain. *Geographical Data (SEPEHR)*, 27(106), 179-199. (in Farsi)
44. Sun, B., Li, Z., Gao, Z., Guo, Z., Wang, B., Hu, X., & Bai, L. (2017). Grassland degradation and restoration monitoring and driving forces analysis based on long time-series remote sensing data in Xilin Gol League. *Acta Ecologica Sinica*, 37(4), 219-228.
45. Tavakoli, M., Nourinejad, S., & Rostaminia, M. (2017). Evaluation and comparison of ICD and ESAs models for desertification zonation in Mehran plain, Ilam. *Range and Desert Research*, 24(4), 853-869. (in Farsi)
46. Tiwari, N. D., & Mishra, D. (2022). Geospatial analysis of land degradation by fuzzy membership algorithm in reference to Satna river basin in northern foreland of Peninsular India. *Arabian Journal of Geosciences*, 15(12), 1-23.
47. UNCCD. (1994). *United Nations convention to combat desertification in those countries experiencing serious drought and/or desertification, particularly in Africa.* UN, Paris.
48. UNCCD. (2002). *Global alarm: dust and sandstorms from the world's drylands, Asia Regional Coordinating Unit, Secretariat of the United Nations, Convention to Combat Desertification (UNCCD-CRIC1).* Bangkok.

49. Van Lynden, G., & Kuhlmann, T. (2002). *Review of degradation assessment methods*. World Soil Information (ISRIC), Wageningen, The Netherlands.
50. Wim, G., & El Hadji, M. (2002), *Causes, general extent and physical consequence of land degradation in arid, semi-arid and dry sub-humid areas*. Forest conservation and natural resources, Forest Department, FAO, Rome, Italy.
51. Zolfaghari, F., & Sepahi, S. (2022). Identify the similar geomorphological units to apply the same management based on desertification intensity (case study Sistan and Baluchestan province, Saravan). *Natural Environmental Hazards*, 10(30), 167-182. (in Farsi)