

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و یک، شماره چهار، تیرماه ۹۸

## بررسی توزیع مکانی خطر بیابان‌زایی منطقه سبزوار با استفاده از مدل IMDPA

اسماعیل سیلاخوری<sup>۱\*</sup>

[esmaeil.silakhori@gmail.com](mailto:esmaeil.silakhori@gmail.com)

مجید اونق<sup>۲</sup>

امیر سعدالدین<sup>۳</sup>

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۳/۰۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۱۵

### چکیده

**زمینه و هدف:** بیابان‌زایی مسئله‌ای جهانی، با پیامدهای جدی برای تنوع زیستی، ایمنی محیط‌زیست، ریشه‌کنی فقر، ثبات اجتماعی-اقتصادی و توسعه پایدار در سراسر جهان می‌باشد. مناسب‌ترین روش برای تعیین شدت خطر بیابان‌زایی، استفاده از مدل‌های تجربی است. هدف از این پژوهش تعیین توزیع مکانی خطر بیابان‌زایی منطقه سبزوار با استفاده از مدل IMDPA و سیستم اطلاعات جغرافیایی است. **روش بررسی:** به منظور بررسی شدت بیابان‌زایی در منطقه سبزوار، از تمام معیارهای مدل IMDPA استفاده گردید. برای این منظور، ابتدا نقشه واحدهای کاری (رخساره‌های ژئومورفولوژی) با استفاده از نقشه‌های شیب، زمین‌شناسی، پوشش گیاهی، کاربری اراضی، تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵ و گوگل ارث در ۴ واحد، ۱۰ تیپ و ۹۶ رخساره تهیه گردید. سپس در هر واحد کاری، با استفاده از مدل IMDPA شاخص‌ها ارزش‌دهی شد و از میانگین هندسی آن‌ها ارزش هر معیار تعیین گردید. ارزش هر گروه از میانگین هندسی معیارهای آن مشخص؛ و از میانگین هندسی ارزش گروه‌ها، نقشه شدت بیابان‌زایی منطقه به دست آمد.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد، که معیارهای آب و آبیاری و فرسایش با میانگین وزنی ۲/۹۴ و ۲/۷۲ بیش‌ترین تأثیر را در بیابان‌زایی منطقه داشتند. منطقه سبزوار با استفاده از این مدل به دو کلاس متوسط (II) و شدید (IV) تقسیم شد، که بیش‌ترین سطح منطقه را کلاس متوسط (۸۵/۰۷ درصد) پوشش داد.

**بحث و نتیجه‌گیری:** منطقه سبزوار از روند ژئومورفولوژیکی متنوعی از کوهستان تا پلایا برخوردار می‌باشد و تقسیم‌بندی آن به دو کلاس بیابان‌زایی نشان‌دهنده آسان‌گیری مدل IMDPA در تهیه نقشه خطر بیابان‌زایی است. دلیل این امر را می‌توان در شاخص‌های متنوع، میانگین هندسی و کلاس‌بندی نامتوازن جستجو کرد. نقشه خطر مذکور به همراه شاخص‌ها کلیدی مؤثر در بیابان‌زایی منطقه سبزوار می‌توانند در جهت مهار بیابان‌زایی و نیل به توسعه پایدار مورداستفاده برنامه‌ریزان قرار گیرند.

**واژه‌های کلیدی:** شدت خطر بیابان‌زایی، مدل IMDPA، منطقه سبزوار، رخساره ژئومورفولوژی.

۱- دکتری، بیابان‌زایی، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. \* (مسئول مکاتبات)

۲- استاد، ژئومورفولوژی، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

۳- دانشیار، مدیریت منابع آبخیز، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

## Spatial distribution of desertification hazard in Sabzevar using IMDPA model

Esmail Silakhori <sup>1\*</sup>

[esmaeil.silakhori@gmail.com](mailto:esmaeil.silakhori@gmail.com)

Majid Ownegh <sup>2</sup>

Amir Sadoddin <sup>3</sup>

Admission Date: May 24, 2017

Date Received: February 3, 2017

### Abstract

**Background and Objective:** Desertification is a global issue with serious implications worldwide on biodiversity, eco-safety, poverty eradication, socio-economic stability, and sustainable development. The most efficient methods for assessing desertification intensity are experimental methods. The aim of this study was to assess desertification hazard in Sabzevar using the GIS and IMDPA model.

**Method:** The IMDPA model was applied to evaluate the desertification intensity in Sabzevar. For this purpose, first the land unit map (geomorphologic facies) was created using slope, geology, vegetation cover, land use, Landsat 5 and Google Earth satellite images in 4 units, and 10 types and 96 facies were identified. Then, in each work unit, all the criteria were valued based on the selected indices which resulted in the qualitative mapping of each criterion based on the geometric mean of the indices. The mapping of each group was done based on the geometric mean of the studied criterion. Then, the desertification intensity map of the region was obtained using a geometric average of all groups.

**Findings:** The results showed that water, irrigation, and erosion have the most severe impact on desertification with weighted means of 2.94 and 2.72, respectively. Sabzevar was divided into two classes of moderate (II) and intensive (IV) classes, with the largest area covered by the moderate class (85.07%.)

**Discussion and Conclusion:** Sabzevar has a diverse variety of geomorphologic terrains from high mountains to Playa, and dividing it into two classes indicates the simplicity of the IMPDA in preparing desertification. The reason for this peculiarity is the diverse features, geometric mean and unbalanced classification. The mentioned hazard map along with key factors in desertification can be used by the related managers for combating desertification and moving towards sustainable development in Sabzevar.

**Keywords:** Desertification hazard intensity, IMDPA model, Sabzevar, Geomorphologic facies .

---

1- PhD, Combating Desertification, Faculty of Rangeland and Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. \* (Corresponding Author)

2- Professors, Geomorphology, Faculty of Rangeland and Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

3 Associate Professors, Watershed Resources Management, Faculty of Rangeland and Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

## مقدمه

بیابان‌زایی؛ مجموعه‌ای از پیامدهای ناخوشایند محیطی را برای انسان به بار می‌آورد. گروهی از این پیامدها به اثرات غیرمستقیم انسانی هم‌چون مهاجرت جمعی، فقر، کمبود آب و غذا و کشمکش بر سر منابع زمینی و آبی مربوط می‌شود و گروه دیگر مشکلات بهداشتی مربوط به کاهش کیفیت آب از دید نمک و ذرات اضافی آن را شامل می‌شود (۱). دفتر همکاری‌های زیست‌محیطی وابسته به سازمان ملل متحد (۱۹۷۷ میلادی) بیابان را اکوسیستم‌های تخریب‌شده‌ای نامیده که تولید و توده زنده حیاتی آن‌ها کم شده و یا از بین رفته باشد. و این امر علاوه بر شرایط آب و هوایی به عوامل دیگری نیز چون زمین-شناسی، توپوگرافی، منابع آب و خاک به‌ویژه دخالت انسان در محیط بستگی دارد (۲). بیابان‌زایی تخریب اراضی در مناطق خشک، نیمه‌خشک و نیمه مرطوب ناشی از تغییرات اقلیم و فعالیت‌های انسانی تعریف شده است (۳ و ۴). حدود ۴۵/۶ میلیون کیلومترمربع اراضی بیابانی شده در جهان وجود دارد، که ۳۵ درصد خشکی‌های کره زمین را به خود اختصاص داده است. و در بیش از ۱۰۰ کشور و ۸,۵×۱۰۸ مردم جهان را تحت تأثیر قرار داده است (۵، ۶ و ۷). از دست دادن زمین‌های قابل کشت ۳۰ تا ۳۵ برابر نرخ تاریخی برآورد شده است. سالانه ۱۲ میلیون هکتار زمین (۲۳ هکتار در دقیقه) در نتیجه خشک‌سالی و بیابان‌زایی از بین می‌رود، فضایی که می‌توانست محل رشد ۲۰ میلیون تن غلات باشد. ۷۴ درصد از مردمان فقیر در سراسر جهان (۴۲ درصد بسیار فقیر و ۳۲ درصد قشر متوسط رو به فقیر) به‌طور مستقیم تحت تأثیر تخریب زمین قرار می‌گیرند. بیابان‌زایی یک مسأله جهانی، با پیامدهای جدی برای تنوع زیستی، ایمنی محیط‌زیست، ریشه‌کنی فقر، ثبات اجتماعی- اقتصادی و توسعه پایدار در سراسر جهان می‌باشد (۸). بیابان واژه نامأنوسی در ایران و بسیاری از سرزمین‌های خشک و کم‌آب جهان نیست؛ ولی بیابانی‌شدن (بیابان‌زایی) برای بسیاری از ساکنین ایران و حتی ساکنین مناطق نیمه-خشک تا مرطوب جهان واژه‌ای ناشناخته و حیرت‌آور است (۹). در اجلاس سال ۱۹۹۲ میلادی جامعه ملل در باب محیط‌زیست

و توسعه بیابان‌زایی را تخریب اراضی در مناطق خشک، نیمه-خشک و نیمه‌مرطوب-خشک تعریف نمود که به‌وسیله عوامل گوناگونی از جمله تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی رخ می‌دهد (۱۰). طبق بررسی‌های صورت گرفته توسط IFAD، بیابان‌زایی ۴۰ درصد از کل اراضی زمین را تهدید نموده و سالانه ۱۲ میلیون هکتار از اراضی را زیر تأثیر مستقیم خود قرار می‌دهد. این پدیده سالانه ۴۲ میلیارد دلار به اقتصاد جهانی زیان رسانده و حدود دو میلیارد نفر از مردم جهان با این پدیده روبرو بوده و سالانه موجب مهاجرت پنج میلیون نفر از شهر و کاشانه خود می‌شود (۱۱). جهت ارزیابی بیابان‌زایی تحقیقات مختلفی در داخل و خارج کشور صورت گرفته که منجر به ارایه مدل‌های منطقه‌ای فراوانی شده است از آن جمله می‌توان به مدل IMDPA- که یکی از جدیدترین مدل‌های بیابان‌زایی است- اشاره کرد. پس از نهایی شدن متن کنوانسیون بین‌المللی مقابله با بیابان‌زایی در ژوئن ۱۹۹۴، ایران یکی از اولین کشورهایی بود که عملاً از دی‌ماه سال ۱۳۷۵ به عضویت این کنوانسیون درآمد. از جمله اقداماتی که می‌بایست برای ایجاد امکان اجرای برنامه اقدام ملی و مقابله با بیابان‌زایی انجام گیرد تعیین شاخص‌ها و معیارهای بیابان‌زایی کشور بود. ایجاد امکان مدیریت این پدیده با تکیه بر شرایط خاص اکولوژیکی، اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی کشور، در قالب طرح ملی تعیین شاخص‌ها و معیارهای بیابان‌زایی توسط دفتر تثبیت شن و بیابان‌زدایی سازمان در سال ۱۳۸۳ و توسط دکتر حسن احمدی و با مشارکت ۳۵ نفر از اساتید و محققین برجسته کشور نهایی و تدوین شد و به دنبال آن مدل IMDPA با نه معیار و ۳۵ شاخص بیابان‌زایی معرفی گردید (۱۲). مدل مذکور پرکاربردترین مدل در ارزیابی خطر بیابان‌زایی ایران می‌باشد. از مزایای این مدل علی‌رغم جدیدتر بودن و تطابق با شرایط بیابان‌های داخلی ایران می‌توان به استفاده از میانگین هندسی و

1- International Fund for Agricultural Development (IFAD)

اقلیم، پوشش گیاهی، خاک و فرسایش بادی به‌عنوان مهم‌ترین معیارهای مؤثر در بیابان‌زایی منطقه در نظر گرفته و ارزش‌دهی شد. نتایج حاصل از این ارزیابی نشان داد ۵۱/۰۹ درصد منطقه از نظر درجه بیابان‌زایی در کلاس متوسط و ۴۵/۰۹ درصد آن در کلاس شدید قرار دارد. معیار فرسایش بادی با ارزش عددی ۱/۶۷ بیش‌ترین تأثیر و معیار خاک با ارزش عددی ۱/۳۴ کم‌ترین تأثیر را در بیابان‌زایی منطقه دارد (۱۶). سیلاخوری (۱۳۹۳) خطر بیابان‌زایی در منطقه مزیان سبزوار را با استفاده از معیار خاک مدل ESAs مورد پهنه‌بندی قرار داد و در نهایت معیارهای زهکشی و درصد سنگریزه‌ی سطحی را مؤثرترین شاخص‌ها در منطقه معرفی کرد. بیش‌ترین سطح منطقه مزیان در کلاس شکننده قرار گرفت (۱۷). هاشمی و همکاران (۱۳۹۰)، پتانسیل بیابان‌زایی در دشت سیستان را با استفاده از مدل IMDPA مورد ارزیابی قرار دادند و در نهایت ۶۳/۶ درصد از منطقه را در کلاس متوسط طبقه‌بندی کردند و معیار اقلیم را با ارزش عددی ۳/۸۸ مؤثرترین عامل در شدت بیابان‌زایی منطقه عنوان کردند (۱۸). ولی و همکاران (۱۳۹۴) شدت بیابان‌زایی حوضه‌ی مسجسدلیمان را با استفاده از مدل IMDPA مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج تحقیق ایشان نشان داد که بیش‌ترین پراکنش منطقه در کلاس متوسط قرار دارد و معیار اقلیم را مهم‌ترین عامل در بیابان‌زایی منطقه عنوان کردند (۱۹). پروری و همکاران (۲۰۱۱) برای تهیه نقشه بیابان‌زایی بستر خشک هامون از مدل ESAs استفاده کردند و این‌طور نتیجه گرفتند که ۴۸/۲ درصد منطقه در طبقه بحرانی متوسط قرار دارد (۲۰). النسا توپا و همکاران (۲۰۱۳)، حساسیت به بیابان‌زایی دو منطقه نیمه شهری جنوب صحرائی اوآگادوگو (بورکینافاسو) و سنت لوئیس (سنگال) را با استفاده از روش اصلاح شده ESAs مورد بررسی قرار دادند و بخش شمالی منطقه سنت لوئیس را با حساسیت بحرانی به بیابان‌زایی معرفی کردند؛ و در نهایت نقشه بیابان‌زایی توسعه یافته را ابزاری ارزشمند برای ترویج مدیریتی کارآمدتر از مناطق آسیب‌دیده و

سیستم اطلاعات جغرافیایی اشاره کرد که با استفاده از ضرب نقشه‌ها در محیط GIS خطای کاربر را به حداقل می‌رساند. ابریشم (۱۳۸۳) وضعیت فعلی بیابان‌زایی حوضه فخرآباد - مهریز، واقع در استان یزد را بر اساس روش‌های مدالوس تغییر یافته ICD و MICD به‌طور جداگانه ارزیابی و نقشه مربوط به هر یک را تهیه کرد؛ و بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، منطقه مورد مطالعه را جزء بیابان‌های طبیعی محسوب و نقش عوامل انسانی را در بیابان‌زایی منطقه بسیار کم گزارش کرد (۱۳). رضایی‌راد (۱۳۸۷) با استفاده از مدل IMDPA و تأکید بر معیارهای خاک، آب و آبیاری، پوشش گیاهی و اجتماعی - اقتصادی، پتانسیل بیابان‌زایی حوضه چشمه‌خان را مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان داد که منطقه مورد مطالعه تحت دو کلاس کم و ناچیز (۳۶/۵۱ درصد) و متوسط (۶۳/۴۹ درصد) قرار دارد. از بین معیارها، معیار پوشش گیاهی مساحت بیش‌تری را به کلاس شدید اختصاص داده و معیار آب و آبیاری کمترین نقش را در بیابان‌زایی منطقه داشتند (۱۴). نیکو (۱۳۹۰) برای شناخت عوامل مؤثر در تخریب اراضی، پتانسیل بیابان‌زایی را بر اساس روش IMDPA و با دخیل تمام معیارها و شاخص‌های مربوطه مورد ارزیابی قرار داد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده معیارهای زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی و آب به ترتیب با ارزش‌های عددی ۲/۷۱ و ۲/۵۱ هر دو با بیابان‌زایی شدید مهم‌ترین معیارهای بیابان‌زایی معرفی شدند. در مجموع شدت و وضعیت فعلی بیابان‌زایی در منطقه‌ی مورد مطالعه با ارزش عددی ۲/۲۷ متوسط و در آستانه‌ی افزایش کلاس بیابان‌زایی (شدید)، ارزیابی شد. همچنین مهم‌ترین عوامل بیابان‌زایی در منطقه شامل فقر پوشش گیاهی و درصد کم سنگ و سنگریزه، توان طبیعی کم منطقه جهت کشاورزی و دامداری سنتی، برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی، دارا بودن اقلیم فراخشک و آبیاری و کشاورزی غیر اصولی معرفی کرد (۱۵). ذوالفقاری و همکاران (۱۳۹۰) با استفاده از روش IMDPA، حساسیت اراضی دشت سیستان به بیابان‌زایی را مورد ارزیابی قرار دادند. برای این منظور پس از بررسی و ارزیابی‌های اولیه، چهار معیار

1- Modified Mediterranean Desertification and Land Use

2- Elena Topa

که قسمت بزرگ آن در حوضه کویر مرکزی ایران واقع شده است (شکل ۱). ارتفاع منطقه از حدود ۷۹۶ متر در پلایا تا ۱۷۰۱ متر در کوهستان تغییر می‌کند. آبراهه اصلی آن رودخانه کال شور سبزوار با جهت شرق به غرب می‌باشد. میانگین بارندگی منطقه از حدود ۱۲۰ میلی‌متر در مناطق بیابانی تا نزدیک به ۴۰۰ میلی‌متر در مناطق کوهستانی (ارتفاعات جغتای) متفاوت است. تبخیر منطقه از ۲۷۰۰ تا ۳۰۰۰ میلی‌متر تغییر می‌کند. از مراکز جمعیتی مهم این منطقه می‌توان به دو شهر داورزن و روداب اشاره کرد (۲۲).

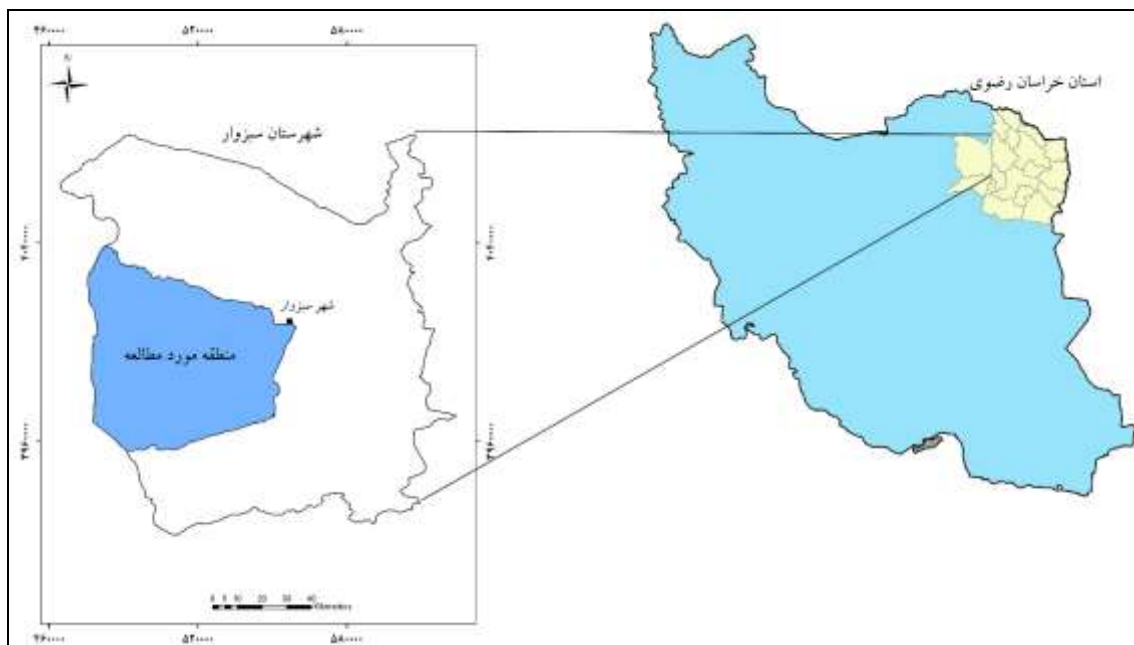
جهت‌یابی مؤثر برای سیاست‌های پیشگیری از بیابانزایی قلمداد کردند (۲۱).

هدف از این پژوهش ارزیابی خطر بیابانزایی در منطقه سبزوار توسط نه معیار مدل IMDPA است.

### روش‌شناسی تحقیق

#### مشخصات منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه با وسعت ۴۶۷۷۳۹/۸۵ هکتار بین عرض‌های ۳۶° ۲۹' ۴۵" و ۳۵° ۴۴' ۴۳" و طول‌های ۴۳° ۳۸' ۵۶" و ۵۶° ۲۰' ۱۶" جغرافیایی قرار دارد. از نظر تقسیمات سیاسی جزء شهرستان سبزوار از استان خراسان رضوی می‌باشد



شکل ۱- نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه در شهرستان سبزوار و استان خراسان رضوی

Figure 1- Location of the study area in Khorasan Razavi province

### روش تحقیق

#### تهیه نقشه واحدهای کاری (رخساره‌های ژئومورفولوژی)

برای تهیه نقشه واحدهای کاری مراحل زیر صورت گرفت: با استفاده از نقشه توپوگرافی و نرم افزار ILWIS نقشه شیب تهیه شد. سپس ورقه‌های زمین‌شناسی داورزن، احمدآباد، دارین و باشتین در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ که توسط سازمان زمین‌شناسی تهیه شده بود، رقومی شد تا مورد استفاده قرار گیرد. برای تفسیر بصری واحدهای فتومورفیک از تصاویر ماهواره‌ای

(سال ۲۰۱۱ میلادی) سنجنده TM مربوط به گذر ۱۶۱ و ردیف ۳۵ و سایت Google Earth استفاده شد. در نهایت از تلفیق نقشه‌های ذکر شده، نقشه رخساره‌های ژئومورفولوژی بدست آمد.

#### ارزیابی وضعیت بیابانزایی با استفاده از مدل IMDPA

روش IMDPA، شدت بیابانزایی را در غالب چهار گروه و به کمک نه معیار: اقلیم، آب و آبیاری، زمین و ژئومورفولوژی،

$$DPAi = \left[ \prod_{i=1}^4 Qi \right]^{\frac{1}{4}} = \sqrt[4]{Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4}$$

که در آن:

Q1: ارزش گروه آب و اقلیم

Q2: ارزش گروه زمین و ژئومورفولوژی

Q3: ارزش گروه پوشش زمین و ژئومورفولوژی

Q4: ارزش گروه انسانی

#### گروه آب هوا (Q1)

همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌کنید، ارزش گروه آب و هوا از میانگین هندسی دو معیار «اقلیم» و «آب و آبیاری» بدست آمد.

#### معیار اقلیم

کیفیت اقلیم از نظر بیابانزایی، میانگین هندسی شاخص‌های بارندگی و شاخص خشکی است و از رابطه ۱ بدست آمد.

#### معیار آب و آبیاری

برای تهیه نقشه این معیار از میانگین هندسی دو شاخص هدایت الکتریکی و سیستم آبیاری استفاده شد.

#### گروه زمین (Q2)

این گروه از میانگین هندسی دو معیار «زمین شناسی و ژئومورفولوژی» و «خاک» بدست آمد.

#### جدول ۱- طبقه‌بندی کلاس‌های بیابانزایی در مدل

##### IMDPA

Table 1- Desertification hazard classification in IMDPA model

علامت	دامنه اعداد	کلاس
I	۱-۰/۵۹	کم و ناچیز
II	۱/۲-۶/۵۹	متوسط
III	۲/۳-۶/۵۹	شدید
IV	۳/۴-۶	خیلی شدید

خاک، فرسایش (آبی و بادی)، پوشش گیاهی، کشاورزی، اقتصادی و اجتماعی و توسعه شهری و صنعتی مورد ارزیابی قرار می‌دهد. در این مدل ارزیابی را از شاخص‌های هر معیار آغاز می‌کنند (رابطه ۱). شاخص‌ها در هر واحدکاری بر اساس میزان تأثیرشان در بیابانزایی، وزنی بین ۰ تا ۴، دریافت کردند. در ادامه ارزش‌های عددی تولید شده شاخص‌ها در واحدهای کاری در نرم افزار Arc GIS تبدیل به نقشه‌های موضوعی شد (۲۳). هر نقشه که نشان‌دهنده وضعیت بیابانزایی شاخص مربوط بود، در چهار کلاس کم، متوسط، شدید و خیلی شدید طبقه‌بندی شد (جدول ۱). هر یک از معیارها، معیار کیفیت نام دارد و با Q مشخص شده است. ارزش هر معیار از میانگین هندسی شاخص‌های آن معیار بدست می‌آید؛ به عنوان مثال ارزش معیار اقلیم با استفاده از رابطه ۱ بدست آمد (۲۳):

$$QC = \sum_{i=1}^3 Qc = \sqrt[3]{Qc_1 + Qc_2 + Qc_3} \quad \text{رابطه ۱}$$

QC: ارزش معیار اقلیم

QC<sub>1</sub>: ارزش شاخص بارش سالانه

QC<sub>2</sub>: ارزش شاخص خشکی

QC<sub>3</sub>: ارزش شاخص مدت خشکسالی

درباره سایر معیارها نیز به همین منوال عمل شد؛ یعنی ارزش هر معیار از میانگین هندسی شاخص‌های آن معیار بدست آمد.

#### نحوه محاسبه ارزش کل پتانسیل بیابانزایی

همان‌طور که در معیار اقلیم بیان شد از ریشه n ام شاخص‌های هر معیار، ارزش آن معیار (Q) و از ریشه n ام ارزش‌های معیارهای مربوط به هر یک از گروه‌ها، ارزش آن گروه مشخص می‌شود. در نهایت از ریشه n ام ارزش‌های هر یک از گروه‌های ۴ گانه بر اساس رابطه ۲ ارزیابی کلی پتانسیل بیابانزایی (DPAi) حاصل خواهد شد که نشان‌دهنده وضعیت بیابانزایی می‌باشد (۲۳).

رابطه ۲



شکل ۲- نمودار نحوه محاسبه شدت بیابان‌زایی بر اساس معیارها و گروه‌ها به روش IMDPA

Figure 2- Desertification intensity calculation method based on the criteria and groups

#### معیار زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی

شاخص‌هایی که برای این معیار مورد استفاده قرار گرفت، نوع بهره‌برداری از زمین، شیب و حساسیت سنگ بود.

#### معیار خاک

نقشه خطر بیابان‌زایی معیار خاک از میانگین هندسی سه شاخص هدایت الکتریکی، عمق خاک و بافت خاک تهیه شد.

#### معیار فرسایش

معیار فرسایش از میانگین هندسی دو زیر معیار خود، یعنی فرسایش آبی و فرسایش بادی بدست آمد:

#### فرسایش آبی

شاخص‌های مورد استفاده برای فرسایش آبی، رخساره‌های فرسایشی، درصد اراضی لخت و تعداد روزهای با شاخص طوفانی گرد و غبار می‌باشد.

#### فرسایش بادی

این زیرمعیار، از شاخص‌های تراکم فرسایش آبی، استفاده از اراضی و تراکم تاج پوشش گیاهی تشکیل شده است.

#### گروه پوشش زمین (Q3)

این گروه از میانگین هندسی معیارهای «پوشش گیاهی» و «کشاورزی» بدست آمد:

#### معیار پوشش گیاهی

برای این معیار از شاخص‌های بهره‌برداری از پوشش، وضعیت پوشش و تجدید پوشش گیاهی استفاده شد.

#### معیار کشاورزی

از میان عوامل مختلف و مؤثر بر معیار بیابان‌زایی کشاورزی، سه عامل شاخص‌های الگوی کشت، عملکرد محصولات و کاربرد نهاده‌ها به عنوان شاخص‌های اصلی مؤثر در تخریب سرزمین بیابان‌زایی مورد بررسی قرار گرفت.

#### گروه انسانی (Q4)

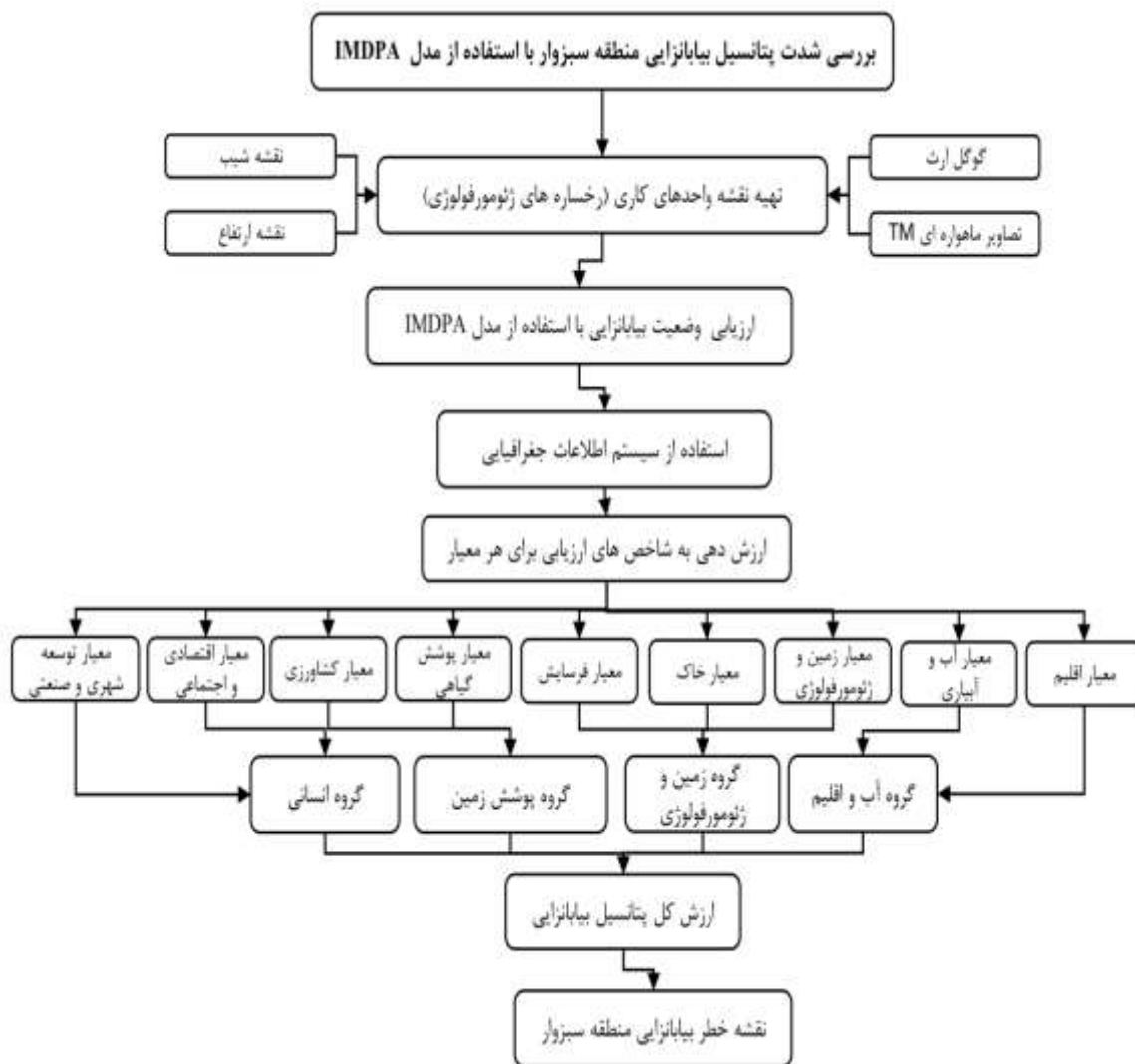
این گروه از میانگین هندسی دو معیار «مسائل اقتصادی - اجتماعی» و «توسعه صنعتی و شهری» بدست آمد.

#### معیار مسائل اقتصادی - اجتماعی

برای بدست آمدن نقشه خطر بیابان‌زایی بر اساس این معیار، از شاخص‌های «جمعیت»، «فقر» و «اقتصاد»، «عوامل نهادی» و «تشکل و مشارکت» استفاده شد.

#### معیار توسعه صنعتی و شهری

و در نهایت برای معیار توسعه صنعتی و شهری از شاخص‌های تبدیل اراضی و تراکم جاده و معدن استفاده شد.



شکل ۳- نمودار جریان‌ی مراحل انجام پژوهش

Figure 3- Flowchart of research steps

### نتایج

#### واحدهای کاری (رخساره‌های ژئومورفولوژی)

با ادغام و تفسیر بصری نقشه‌ها، ۴ واحد، ۱۰ تیپ و ۹۶ رخساره در ۲۶۱ تکرار بدست آمد. واحد کاری «مخروط‌فکنه با فرسایش آبراه‌های» (کد واحد کاری: ۳۶) با مساحت ۳۷۵/۴۳ هکتار بزرگ‌ترین رخساره و واحد کاری «آبرفت رودخانه‌ای» (کد واحد کاری: ۴۷) با مساحت ۰/۴۸۶ هکتار کوچکترین رخساره ژئومورفولوژی در منطقه مورد مطالعه محسوب شد (شکل ۴).

برای ارزیابی وضعیت بیابانزایی با استفاده از مدل IMDPA، پس از ارزش‌دهی به هر یک از شاخص‌های معرفی شده در

مدل، لایه اطلاعاتی مربوط به شاخص‌ها تهیه شد؛ سپس به- ترتیب نقشه معیارها از میانگین هندسی شاخص‌ها، گروه‌ها از میانگین هندسی معیارها و در نهایت نقشه بیابانزایی از میانگین هندسی گروه‌ها برای منطقه مورد مطالعه تهیه گردید (شکل ۹).

#### گروه آب و آبیاری (Q1)

این گروه از میانگین هندسی دو معیار اقلیم و آب بدست آمد (جدول ۲).



جدول ۲- توزیع فراوانی گروه‌های بیابان‌زایی در مدل IMDPA

Table 2- Frequency distribution of desertification groups in IMDPA model

گروه انسانی		گروه پوشش زمین		گروه زمین		گروه آب و آبیاری		کلاس بیابان-زایی
مساحت (درصد)	مساحت (کیلومتر مربع)	مساحت (درصد)	مساحت (کیلومتر مربع)	مساحت (درصد)	مساحت (کیلومتر مربع)	مساحت (درصد)	مساحت (کیلومتر مربع)	
۵۸/۷۳	۲۷۴۶/۸۷	۷/۱۷	۳۳۵/۴۲	۳/۶۶	۱۷۱/۱۸	-	-	کم و ناچیز (I)
۴۱/۲۷	۱۹۳۰/۵۳	۲۹/۶۱	۱۳۸۴/۹۹	۷۱/۳۵	۳۳۳۷/۵۶	۳۵/۱۱	۱۶۴۲/۱۲	متوسط (II)
-	-	۶۳/۲۲	۲۹۵۶/۹۹	۲۲/۴۶	۱۰۵۰/۷۴	۵۹/۳۹	۲۷۷۷/۷۹	شدید (III)
-	-	-	-	۲/۵۲	۱۱۷/۹۱	۵/۵۱	۲۵۷/۴۹	خیلی شدید (IV)
۱۰۰	۴۶۷۷/۳۹	۱۰۰	۴۶۷۷/۳۹	۱۰۰	۴۶۷۷/۳۹	۱۰۰	۴۶۷۷/۳۹	جمع

متوسط و شدید تفکیک شد بیش‌ترین سطح منطقه را کلاس شدید به خود اختصاص داد (شکل ۷).

**رعایت فاصله گروه انسانی (Q4)**

این گروه از میانگین هندسی دو معیار «مسایل اقتصادی - اجتماعی» و «توسعه صنعتی و شهری» بدست آمد (جدول ۲). بر اساس نتایج بدست آمده توسط این گروه، منطقه مورد مطالعه به دو کلاس کم و ناچیز (I) و متوسط (II) تقسیم شد که بیش‌ترین سطح منطقه را کلاس کم و ناچیز (۵۸/۷۳ درصد) تشکیل داد (شکل ۸).

**نقشه خطر بیابان‌زایی بر اساس مدل IMDPA**

با استفاده از میانگین هندسی چهار گروه اقلیم، زمین، پوشش زمین و انسانی کلاس خطر بیابان‌زایی بر اساس این مدل در منطقه مورد مطالعه در دو کلاس متوسط (II) تا شدید (III) تغییر کرد (شکل ۹).

**پهنه‌بندی خطر بیابان‌زایی با استفاده از مدل IMDPA**

با توجه به نقشه بیابان‌زایی تهیه شده توسط گروه آب و هوا، منطقه مورد مطالعه به سه کلاس متوسط، شدید و خیلی شدید تقسیم شد که کلاس متوسط (II) با مساحتی بالغ بر ۳۵/۱۱ درصد، بیش‌ترین سطح را به خود اختصاص داد (شکل ۱۰).

**گروه زمین (Q2)**

این گروه از میانگین هندسی سه معیار زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی، خاک و فرسایش بدست آمد (جدول ۲). نقشه بیابان‌زایی منطقه سبزوار بر اساس گروه زمین به سه کلاس کم و ناچیز، متوسط، شدید و خیلی شدید تقسیم بندی گردید که بیش‌ترین سطح منطقه را کلاس متوسط (۷۱/۳۵ درصد) پوشش داد (شکل ۶).

**گروه پوشش زمین (Q3)**

این گروه دو معیار پوشش گیاهی و کشاورزی را در برمی‌گیرد که از میانگین هندسی این دو بدست آمد (جدول ۲). بر اساس این گروه، منطقه مورد مطالعه به سه کلاس کم و ناچیز،

جدول ۳- توزیع فراوانی کلاس‌های خطر بیابانزایی مدل IMDPA

Table 3- Frequency distribution of desertification hazard classes in IMDPA model

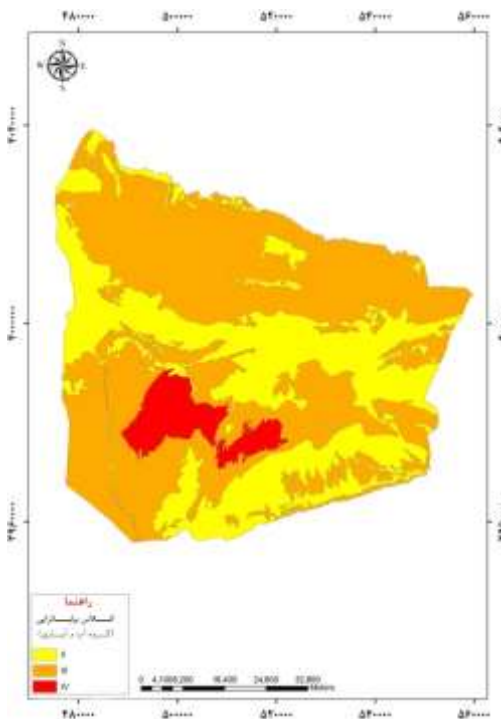
کلاس خطر	فراوانی	درصد فراوانی	مساحت (Km <sup>2</sup> )	درصد مساحت
متوسط (II)	۸۴	۸۵/۰۷	۳۹۷۹/۲۳	۸۵/۰۷
شدید (III)	۱۲	۱۴/۹۳	۶۹۸/۱۶	۱۴/۹۳
جمع	۹۶	۱۰۰	۴۶۷۷/۳۹	۱۰۰
مربع کای	۵۴**	۵۰/۴**	۱۲۵۰**	۵۰/۴**

(-) بدون معنی، (\*) معنی دار در سطح ۵ درصد، (\*\*\*) معنی دار در سطح ۱ درصد

آن را کلاس شدید (III) به خود اختصاص داد (شکل ۹ و جدول ۳).

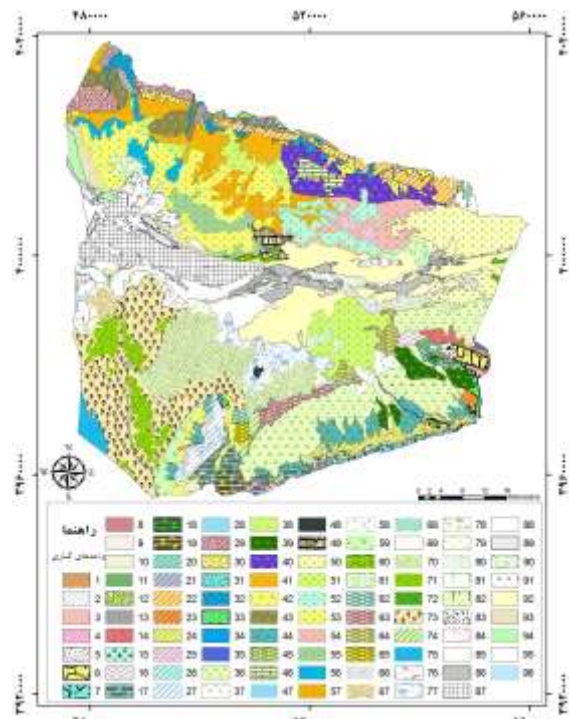
همان‌طور که در شکل ۱۱ مشاهده می‌کنید گروه پوشش زمین با میانگین وزنی ۲/۵۷ بیش‌ترین و گروه انسانی با میانگین وزنی ۱/۵۵ کم‌ترین سطح منطقه را به خود اختصاص دادند.

با توجه به آزمون تفاوت آماری بین کلاس‌های خطر بیابانزایی با آزمون مربع کای، تعداد و فراوانی، مساحت و درصد مساحت کلاس‌های خطر در سطح ۱ درصد دارای اختلاف معنی‌دار بود (جدول ۴). با توجه به نتایج حاصل از ارزیابی مدل، ۸۵/۰۷ درصد از منطقه سبزوار در کلاس متوسط (II) و ۱۴/۹۳ درصد



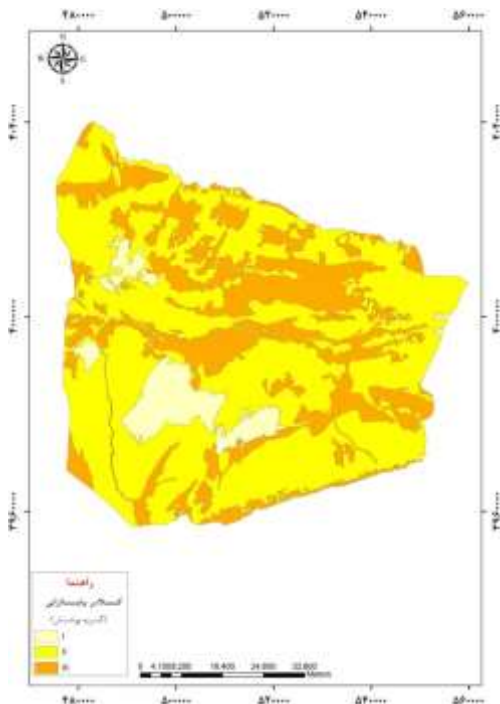
شکل ۵- نقشه شدت بیابانزایی منطقه سبزوار بر اساس گروه آب و آبیاری

Figure 5- Desertification intensity map based on the water and irrigation group



شکل ۴- نقشه واحدهای کاری (رخساره‌های ژئومورفولوژی) منطقه مورد مطالعه

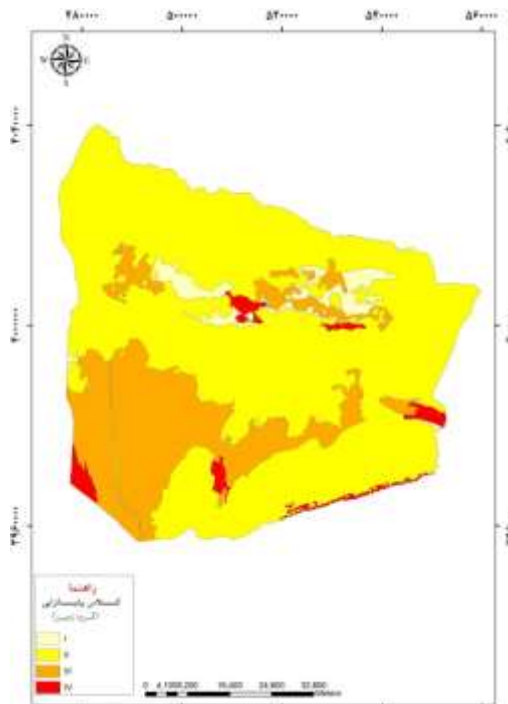
Figure 4- Land units map (geomorphology facies) of the study area



شکل ۷- نقشه شدت بیابان‌زایی منطقه سبزوار بر اساس

گروه پوشش زمین

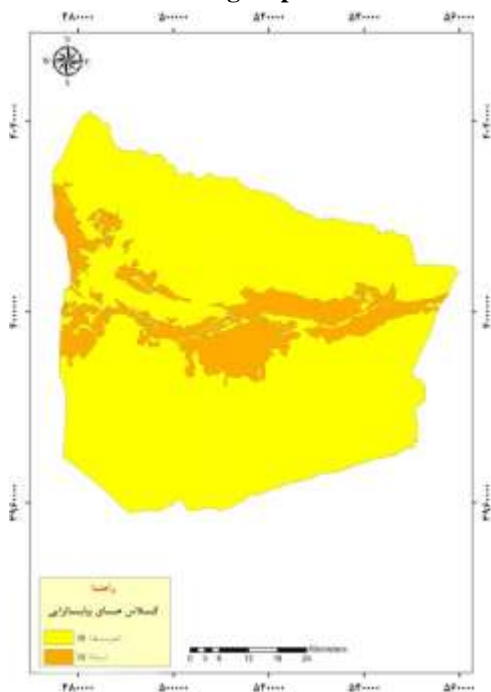
Figure 7- Desertification intensity map based on the land cover group



شکل ۶- نقشه شدت بیابان‌زایی منطقه سبزوار بر اساس

گروه زمین

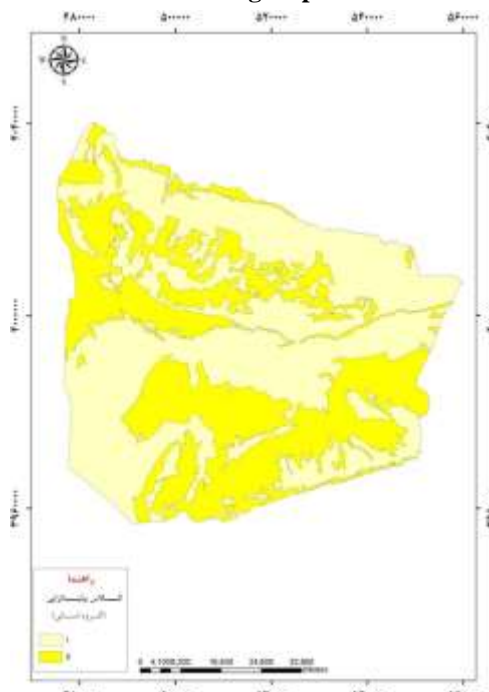
Figure 6- Desertification intensity map based on the land group



شکل ۹- نقشه شدت خطر بیابان‌زایی منطقه مورد مطالعه با

استفاده از مدل IMDPA

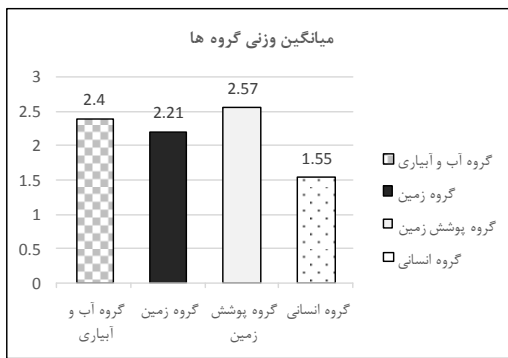
Figure 9- Desertification intensity map with using IMDPA model



شکل ۸- نقشه شدت بیابان‌زایی منطقه سبزوار بر اساس

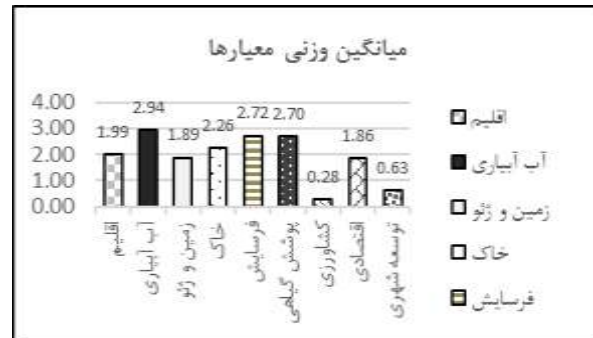
گروه انسانی

Figure 8- Desertification intensity map based on the human group



شکل ۱۱- میانگین وزنی گروه‌های مدل IMDPA

Figure 11- Weighted average of IMDPA model groups



شکل ۱۰- میانگین وزنی معیارهای مدل IMDPA

Figure 10- Weighted average of IMDPA model criteria

### بحث و نتیجه‌گیری

با نتایج رضایی‌راد (۱۴) که پوشش گیاهی را مؤثرترین عامل معرفی می‌کنند و با تحقیقات ذوالفقاری و همکاران (۱۶) که معیار فرسایش بادی را مؤثرترین عامل می‌داند هم‌خوانی دارد. در بین شاخص‌های استفاده شده برای معیار اقلیم، شاخص بارش سالانه با میانگین وزنی ۲/۱۸، در معیار آب و آبیاری شاخص EC آب با میانگین وزنی ۲/۹۴ و در معیار زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی شاخص سنگ‌شناسی با میانگین وزنی ۱/۸۲، بیش‌ترین تأثیر را در بیابان‌زایی منطقه داشته‌اند. در بین شاخص‌های معیار خاک، شاخص بافت خاک با میانگین وزنی ۲/۱۷ بیشترین تأثیر را در بیابان‌زایی منطقه داشته است که با نتایج تحقیقات رضایی‌راد (۱۴) هم‌خوانی دارد. در زیرمعیار فرسایش آبی، شاخص تاج پوشش گیاهی با میانگین وزنی ۲/۸۵، زیرمعیار فرسایش بادی تعداد روزهای گرد و غبار با میانگین وزنی ۲/۷۵ مؤثرترین عوامل بودند. در معیار پوشش گیاهی شاخص بهره‌برداری با میانگین وزنی ۲/۵۹ و در معیار کشاورزی شاخص الگوی کشت با میانگین وزنی ۰/۳۷ بیش‌ترین تأثیر را در بیابان‌زایی منطقه داشتند. در بین معیار اقتصادی - اجتماعی شاخص فقر عامل مؤثر به شمار می‌آید که با نتایج رضایی‌راد (۱۴) که عامل معیشت را مؤثر در بیابان‌زایی می‌داند هم‌خوانی ندارد. همچنین از مهم‌ترین عوامل بیابان‌زایی در منطقه می‌توان به فقر پوشش سطح خاک، دارا بودن اقلیم

در این پژوهش توزیع مکانی خطر بیابان‌زایی منطقه سبزواری با استفاده از تمام معیارهای مدل IMDPA مورد ارزیابی قرار گرفت. برای این منظور ابتدا نقشه واحدهای کاری با استفاده از نقشه‌های شیب، زمین‌شناسی، پوشش گیاهی، کاربری اراضی، تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵ و گوگل‌ارت در ۴ واحد، ۱۰ تیپ و ۹۶ رخساره تهیه شد. نقشه تهیه شده مبنای ارزش‌دهی شاخص‌های بیابان‌زایی قرار گرفت. پس از ارزش‌دهی به شاخص‌های بیابان‌زایی و تهیه نقشه بیابان‌زایی، منطقه مورد مطالعه به دو کلاس متوسط (II) و زیاد (III) تقسیم شد که بیش‌ترین سطح منطقه را کلاس بیابان‌زایی متوسط (II) (۸۵/۰۷ درصد) به خود اختصاص داد که با نتایج تحقیقات رضایی‌راد (۱۴)، و نیکو (۱۵) و ذوالفقاری و همکاران (۱۶)، هاشمی و همکاران (۱۸)، ولی و همکاران (۱۹) و پروری و همکاران (۲۰) مبنی بر غالب بودن کلاس متوسط بیابان‌زایی در مدل هم‌خوانی دارد. در مقایسه گروه‌ها، گروه پوشش با میانگین وزنی ۲/۵۷ بیش‌ترین و گروه انسانی با میانگین وزنی ۱/۵۵ کمترین تأثیر را در بیابان‌زایی داشتند که با تحقیقات ابریشم (۱۳) - که نقش عوامل انسانی را در بیابان‌زایی منطقه بسیار کم گزارش کرده است - هم‌خوانی دارد. دو معیار فرسایش و پوشش گیاهی به ترتیب با میانگین وزنی ۲/۷۲ و ۲/۷۰ بیش‌ترین و دو معیار توسعه شهری و کشاورزی به ترتیب با میانگین وزنی ۰/۶۳ و ۰/۲۸ کمترین تأثیر را در بیابان‌زایی منطقه داشتند؛ که

2. Biroudian, Nader. 2001. Principles of Desert Resources Management. Rashad Publication. 205 pp. (In Persian)
3. Dawelbait, M. and Morari, F., (2012) Monitoring desertification in a Savannah region in Sudan using Landsat images and spectral mixture analysis, *Journal of Arid Environments*, 80: 45-55.
4. UNCCD, (1994) Status of Ratification and Entry into Force. *United Nations Convention to Combat Desertification Paris*.
5. Zhu, Z.D., Chen, G.T., (1994) Sandy Desertification in China. Science Press, Beijing.
6. Zhao, H.L., 2012. Desert Ecology. China Science Press, Beijing.
7. Zhao, H.L., Li, J., Liu, R., Zhou, R., Qu, H., Pan, Ch., (2014) Effects of desertification on temporal and spatial distribution of soil macro-arthropods in Horqin sandy grassland, Inner Mongolia, *Geoderma* 223-225: 62-67.
8. UNCCD Brochure., (2012) Desertification land degradation and drought (DLDD) – some global facts and figures, <http://www.un.org/>.
9. Ekhtessassi, M.R., and Sepehr. A., (2011) Methods and models of desertification assessment and mapping. Yazd University Press, 286p. (In Persian)
10. Feiznia, S., Gooya, A.N., Ahmadi, H., and Azarnivand, H., (2001) Investigation on Desertification Factors in Hossein-Abad Mish Mast Plain and a Proposal for a Regional Model, *Biaban*, 6 (2): 1-6. (In Persian)
11. Hoseini, S.M., Ekhtesasi, M.R., Shahriyari, A.R., and Shafiei, H., (2010) Study of current and potential

خشک و فراخشک و آبیاری و کشاورزی غیر اصولی اشاره کرد که با نتایج نیکو (۱۵) هم‌خوانی دارد.

همچنین با استفاده از آزمون مربع کای، مقایسه آماری بین فراوانی، درصد فراوانی، مساحت و درصد فراوانی برقرار شد که معنی دار شدن در سطح ۱ درصد، برآورد متفاوتی را از کلاس‌های خطر نشان داد. مدل IMDPA مدل گسترده‌ای با ۹ معیار و بیش از ۳۰ شاخص بیابان‌زایی است که عوامل مؤثر زیادی را در بیابان‌زایی دخیل می‌کند؛ اما شاخص‌های زیاد و متنوع همیشه از نقاط قوت یک مدل محسوب نمی‌شود؛ چرا که می‌تواند عامل مؤثری در کاهش و یا افزایش ارزش نهایی بیابان‌زایی باشد. به عنوان مثال در این منطقه عوامل انسانی و توسعه صنعتی نقش تعیین‌کننده‌ای را در بیابانی شدن منطقه ندارند و ارزش‌دهی به آن‌ها باعث کاهش ارزش نهایی بیابان‌زایی گردید. برای ارزش‌دهی به معیار اقتصادی-اجتماعی، شاخص‌های جمعیتی نیاز به آمار ثبت شده دارد که در صورت وجود آمار به همراه سایر شاخص‌های این معیار، برای روستاهای منطقه قابل تهیه است و قابل تعمیم به پهنه نیست. آثار تخریب انسان به یک پهنه خاص مختص نمی‌شود. ضمن اینکه همان‌طور که عنوان شد، در مناطقی هم‌چون منطقه سبزوار که بیابان‌زایی انسانی نقشی در بیابانی شدن منطقه ندارند، ارزش‌دهی به این شاخص می‌تواند عاملی برای کاهش ارزش کل بیابان‌زایی باشد. واحدهای کاری «راضی شور با نیکا و ربدو»، «راضی سیلابی با پوشش شورپسند» و «دشت سیلابی کالشور» با ارزش عددی ۲/۵۰، ۲/۵۱ و ۲/۵۱ از کلاس I در حال گذار به کلاس II می‌باشند و نیازمند دقت بیش‌تر در برنامه‌ریزی‌های آتی هستند. در نهایت پیشنهاد می‌گردد از نقشه توزیع مکانی خطر بیابان‌زایی و همچنین شاخص‌های مؤثر در بیابان‌زایی منطقه سبزوار، در جهت پیشنهاد و اجرای برنامه‌های مدیریت بیابان‌زایی استفاده شده تا گامی مؤثر در جهت مهار بیابان‌زایی و نیل به توسعه پایدار باشد.

## Reference

1. Goudie, A.S., (2011) Desertification. *Encyclopedia of Environmental Health*: 30-35.

17. Silakhori, E., (2014) Mapping of desertification hazard intensity based on soil index using ESAs methodology in Mazinan of Sabzevar, Emergency Management, 57 (6): 57-63. (In Persian)
18. Hashemi, Z., Pahlevanravi, A., and Miri, A., (2011) Evaluating the present situation of desertification in Zahak region of Sistan based on water erosion criteria. Watershed Management Research (Pajouhesh & Sazandegi). 91: 68-79. (In Persian)
19. Vali, A.A., Mousavi, S.H., SadatAhmadi, S.M., (2015), Assessment of Desertification Intensity in Masjed Soleiman Basin Using IMDPA Model, Desert Ecosystem Engineering Journal, 4 (9): 43-56. (In Persian)
20. Parvari, S.H., Pahlavanravi, A., Moghaddam Nia, A.R., Dehvari, A., and Parvari, D., (2011) Application of Methodology for Mapping Environmentally Sensitive Areas (ESAs) to Desertification in Dry Bed of Hamoun Wetland (Iran), International Journal of Natural Resources and Marine Sciences, 1 (1): 65-80.
21. Elena Topa, M., Iavazzo, P., Terracciano, S., Adamo, P., Coly, A., De Paola, F., Giardano, S., Giugni, M., and Eric Traore, S., (2013) Evaluation of sensitivity to desertification by a modified ESAs method in two sub-Saharan peri-urban areas: Ouagadougou (Burkina Faso) and Saint Louis (Senegal), Geophysical Research Abstracts Vol. 15.
22. Silakhori, E., (2013) Assessing desertification hazard (comparing MICD and IMDPA models), risk and desertification status with emphasis on wind erosion criterion using MICD method (Case Study: Niatak Region of Sistan). Journal of Range and Watershed Management. Iranian journal of natural Resources. 63:2. 165-181. (In Persian)
12. Tabatabaie-Zadeh, M., (2010) The comparison of desertification intensity potential using MICD and IMDPA methods with emphasis on wind erosion (Case Study: Fakhr-Abad of Mehriz). A thesis of MSc in University of Tehran, 92p. (In Persian)
13. Abrisham, E., (2004) Assessment and mapping of desertification using FAO-UNEP, ICD and MICD models in Fakhrrabad-Mehriz (Yazd), A thesis of MSc in combating desertification, University of Tehran, 130p. (In Persian)
14. Rezaee Rad, N., (2009) The Study of desertification potential Cheshme Khan Basin by IMDPA method. A thesis of MSc in combating desertification, University of Tehran, 110p. (In Persian)
15. Niko, S.H., (2011) Assessment of potential desertification, land degradation to identify the effective factors by using IMDPA method (Case study: Damghan region). A thesis of PhD in combating desertification, University of Tehran, 233p. (In Persian)
16. Zolfaghari, F., Shahriari, A, R., Fakhireh, A., Rashki, A.R., Noori, S., and Khosravi, H., (2011) Assessment of desertification potential using IMDPA model in Sistan plain. Watershed Management Research (Pajouhesh and Sazandegi). 91: 97-107. (In Persian)

- and Natural Resources, 172 p. (In Persian)
23. Zehtabian, Gh., Khosravi, H., and Masoudi, R., (2016) Models of Desertification Assessment (Criteria and Indices), University of Tehran Press, 268 p. (In Persian)

developing management plan in Sabzevar region, Iran, a thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of M.Sc. in Natural Resources – Arid Zone Management, Collage of Range and Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences