

## نقدی بر مدل ایرانی ارزیابی پتانسیل بیابان‌زایی (IMDPA)

بهزاد رایگانی<sup>۱\*</sup>، غلامرضا زهتابیان<sup>۲</sup> و سوسن براتی<sup>۳</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۶/۱۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۸/۵)

### چکیده

مناطق خشک، وسعت زیادی از خشکی‌های کره زمین را اشغال نموده‌اند و درصد زیادی از جمعیت جهان در این مناطق زندگی می‌کنند. از بزرگ‌ترین مشکلات موجود در مناطق خشک، تخریب زمین و بیابان‌زایی است. به‌طور کلی تلاش‌های کمی برای نقشه‌برداری تخریب زمین در مقیاس‌های منطقه‌ای تا جهانی صورت گرفته است. در ایران نیز آخرین تلاش‌ها برای ارزیابی بیابان‌زایی منجر به ایجاد مدل ایرانی ارزیابی پتانسیل بیابان‌زایی یا IMDPA شده است. در این مقاله قصد داریم تا با در نظر گرفتن ملاحظات مدل‌های بیابان‌زایی بین‌المللی (فائو-یونپ، مدالوس و لادا)، اجرای مجدد مدل ایرانی ارزیابی پتانسیل بیابان‌زایی در شرق اصفهان و مطالعات انجام شده بر روی این مدل تا به امروز به ارزیابی و نقد معیارهای خاک، پوشش گیاهی و فرسایش در مدل IMDPA بپردازیم. هدف ما در این مقاله روشن نمودن بسیاری از نقاط تاریک مطالعات بیابان‌زایی در ایران است، قصد داریم، روشن کنیم در یک مطالعه بیابان‌زایی باید از کجا شروع کرد و چه چیزی انتظار داشت. در این مطالعه معیارهای آب، خاک و پوشش گیاهی و شاخص‌های هر یک از آنها در ۱۷۲ واحد همگن با استفاده از دستورالعمل IMDPA، مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج با مطالعه انجام گرفته در دهه ۹۰ مقایسه شد. با مطالعاتی که بر روی پدیده تخریب زمین و بیابان‌زایی انجام گرفت، پیشنهاد دادیم مدلی با عنوان "مدل ایرانی ارزیابی وضعیت بیابان‌زایی" یا IMDSA ایجاد شود که در آن سه معیار تخریب زمین، یعنی تخریب خاک، پوشش گیاهی و آب به کار برده شود. با توجه به مطالعه ما، برای معیار تخریب خاک، چهار شاخص سخت‌کفه؛ نفوذپذیری؛ توزیع اندازه خاکدانه‌ها؛ امتیاز کلی شوری و برای معیار تخریب پوشش گیاهی، چهار شاخص گونه‌های مهاجم، کاهش بایومس، لکه‌های بدون پوشش، نسبت گونه‌های مفید، برای استفاده در این مدل ایرانی ارزیابی وضعیت بیابان‌زایی مناسب تشخیص داده شدند.

واژه‌های کلیدی: مدل ایرانی ارزیابی پتانسیل بیابان‌زایی، تخریب پوشش گیاهی، تخریب خاک، فرسایش، مدل ایرانی ارزیابی وضعیت بیابان‌زایی

۱. گروه منابع طبیعی، دانشکده محیط زیست، دانشگاه محیط زیست

۲. گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

۳. گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

\*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: rayegani@ut.ac.ir

## مقدمه

مناطق خشک حدود ۴۱ درصد از سطح خشکی‌های کره زمین را اشغال نموده‌اند و مامن ۳۸ درصد از جمعیت ۶/۵ میلیاردی زمین به شمار می‌روند (۳۶). ۱۰ تا ۲۰ درصد از این مناطق برخی از اشکال شدید تخریب زمین را متحمل شده‌اند و تخمین زده شده است که در نتیجه آن، زندگی ۲۵۰ میلیون انسان در کشورهای در حال توسعه تحت تأثیر قرار گرفته باشد که به علت رشد جمعیت و تغییر اقلیم این جمعیت متأثر دائماً در حال افزایش است (۳۱ و ۳۶). البته در منابع مختلف آمار متفاوتی از مناطق خشک دیده می‌شود: مناطق خشک نزدیک به یک سوم از سطح خشکی‌های کره زمین را اشغال نموده‌اند (۳۳٪) و ۱۳ درصد از جمعیت جهان در این مناطق زندگی می‌کنند (۱۸)؛ مناطق خشک و نیمه خشک بیش از ۴۰ درصد از سطح خشکی‌های زمین را پوشانده‌اند و برای بیش از ۱ میلیارد نفر محیط زندگی فراهم نموده‌اند (۴۶)؛ در حال حاضر مناطق خشک بیش از ۴۵ درصد از سطح خشکی‌های زمین را پوشانده‌اند و مدل‌های گردش عمومی (General Circulation Models (GCMs)) پیش‌بینی می‌کنند، به علت گرم شدن جهانی، وسعت این مناطق خشک افزایش خواهد یافت (۱۵)؛ مناطق خشک موجود در زمین به دلیل تأمین زیستگاه برای بیش از ۲ میلیارد نفر و پوشاندن بیش از ۴۱ درصد از سطح خشکی‌ها و اغلب قرار گرفتن در جهان در حال توسعه، منبع نگرانی خاصی به شمار می‌روند (۳۵). درگنی (۱۲) در یک مطالعه جامع وسعت مناطق خشک را در قاره‌های مختلف مورد ارزیابی قرار داده است و آماری از گسترش آنها بدین شکل ارائه نموده است: آسیا = ۲۱ میلیون کیلومترمربع؛ آفریقا = ۲۱ میلیون کیلومترمربع؛ استرالیا = ۳/۳۵۶ میلیون کیلومترمربع؛ اروپا = ۶۵۰ هزار کیلومترمربع؛ آمریکای شمالی = ۵/۸ میلیون کیلومترمربع و آمریکای جنوبی نامشخص.

به هر حال اگر تمام ارقام و آمار بالا را در ذهن مرور نماییم، متوجه خواهیم شد، بدون توجه به آمار دقیق مناطق خشک، این نواحی وسعت زیادی از خشکی‌های کره زمین را اشغال نموده‌اند

و درصد زیادی از جمعیت جهان در این مناطق زندگی می‌کنند. اما مناطق خشک به چه نواحی اطلاق می‌شود؟ مطابق با پذیرفته شده‌ترین تعاریف از مناطق خشک: در این نواحی نسبت متوسط بارش سالیانه به پتانسیل تبخیر و تعرق کمتر از ۰/۶۵ است (۱۲) و طول دوره رویش گیاه (Length of growing period days) در آنها کمتر از ۱۸۰ روز می‌باشد (۳۰).

یکی از بزرگ‌ترین مشکلات موجود در مناطق خشک، تخریب زمین و بیابان‌زایی است (۳۴، ۳۹ و ۴۹). برآوردهای بسیار متفاوتی وجود دارد، ولی گفته می‌شود در حدود ۱۰ تا ۲۰ درصد از مناطق خشک، دچار تخریب زمین شده‌اند (۲۹ و ۳۶)، این رقم در برخی منابع تا ۷۰ درصد از مناطق خشک (حدود ۳۶۰۰ میلیون هکتار) را شامل شده است (۴۵).

همان‌گونه که می‌دانیم بیابان‌زایی به معنی تخریب در مناطق خشک است (۴۵) و در تعریف رسمی‌تر: بیابان‌زایی معادل تخریب زمین در مناطق خشک، نیمه خشک و خشک نیمه مرطوب در اثر فاکتورهای مختلف مانند تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی می‌باشد (۴۴ و ۵۲).

در نگارش‌های پژوهشی و علمی آن‌قدر بر پدیده جهانی بیابان‌زایی، تخریب زمین و مشکلات ناشی از آن تأکید شده است (۱۲، ۱۴، ۳۱، ۳۴ و ۴۳) که دیگر بر هیچ‌کس پوشیده نیست که برای مدیریت پایدار زیست‌محیطی و انجام فعالیت‌های مرتبط با محیط‌زیست به پایش و ارزیابی همیشگی این فرآیند نیاز داریم (۸، ۲۵ و ۵۰).

اما چگونه می‌توان، نیاز مذکور را برطرف ساخت؟ معمولاً برای انجام ارزیابی‌های زیست‌محیطی از یکسری معیارها (Indicators) و شاخص‌های (Indices) زیست‌محیطی که نشان‌دهنده وضعیت هستند، استفاده می‌شود (۹ و ۱۰). این معیارها در قالب مدل‌های مختلف قرار گرفته و وضعیت را نشان می‌دهند (۱۶، ۱۷، ۱۹، ۲۲ و ۳۸). بنابراین از دیرباز تلاش شده تا با معرفی یک مدل جدید به شناخت هر چه بهتر یک مشکل کمک شود که بیابان‌زایی نیز از این قاعده مستثنی نیست.

Aridlands) یا LADA که توسط سازمان خوار و بار جهانی (Food and Agricultural Organization) (FAO) هدایت و اجرا شده است.

به طور کلی تلاش‌های کمی برای نقشه‌برداری تخریب زمین در مقیاس‌های منطقه‌ای تا جهانی صورت گرفته (به کمک سه مدل بالا یا بدون کمک از آنها) و در این تلاش‌ها معمولاً مناطق مستعد به فرسایش بادی ملاک ارزیابی بوده‌اند نه مناطق تخریب شده (۴۸) به طوری که تا سال ۲۰۰۲ تنها چهار ارزیابی جهانی از شدت و گسترش بیابانزایی صورت گرفته است (۱۲).

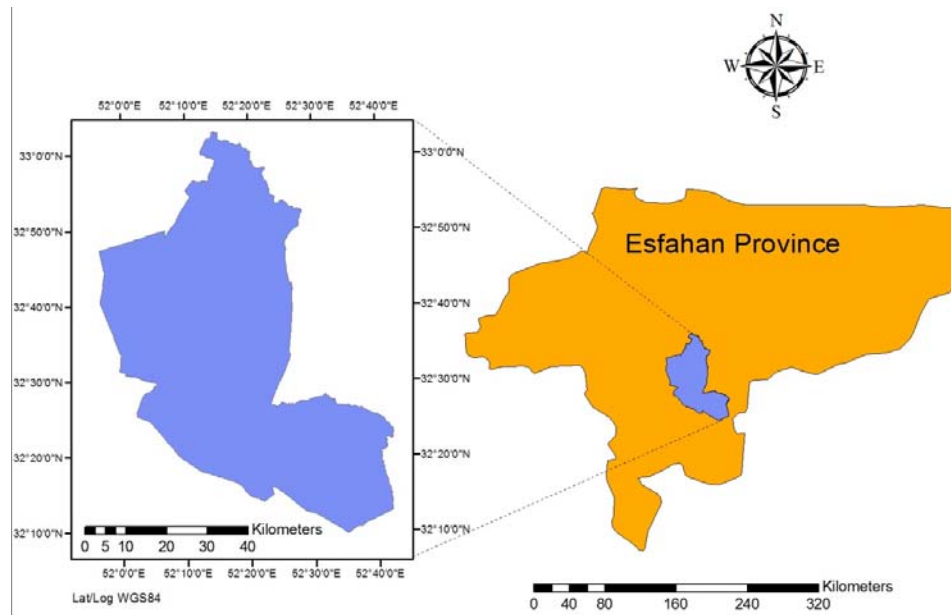
در ایران نیز آخرین تلاش‌ها برای ارزیابی بیابانزایی منجر به ایجاد مدل ایرانی ارزیابی پتانسیل بیابانزایی (Iranian Model of Desertification Potential Assessment) یا IMDPA شده است. این مدل در حقیقت مدل تغییر یافته ESAs یا مدالوس است که در سال ۱۳۸۳ مطالعات اولیه آن صورت گرفته (۳ و ۴) و در سال ۱۳۸۴ اقدام به کالیبره نمودن مدل در شرق اصفهان و حوزه حبله رود شمالی شده است.

در این پژوهش قصد داریم تا با در نظر گرفتن ملاحظات مدل‌های بیابانزایی بین‌المللی (فائو- یونپ، مدالوس و لادا)، اجرای مجدد مدل ایرانی ارزیابی پتانسیل بیابانزایی در شرق اصفهان و مطالعات انجام شده روی این مدل تا به امروز به ارزیابی و نقد معیارهای خاک، پوشش گیاهی و فرسایش در مدل IMDPA بپردازیم. هدف ما در این مقاله روشن نمودن بسیاری از نقاط تاریک مطالعات بیابانزایی در ایران است، قصد داریم روشن کنیم در یک مطالعه بیابانزایی باید از کجا شروع کرد و چه چیزی انتظار داشت. در حقیقت ضمن بررسی مدل ایرانی ارزیابی پتانسیل بیابانزایی به اعتبارسنجی مجدد آن در ناحیه پایلوت خواهیم پرداخت و سعی می‌نماییم با پرهیز از یک جانبه‌گرایی در ابتدا برای پژوهشگران مشخص نماییم، در این مدل باید به دنبال چه بود، با چه نقاط ضعفی در آن مواجه خواهیم بود، توان مدل در چه سطحی قرار دارد و برای اصلاح آن در زمینه مورد

به طور کلی تقریباً همه می‌دانند بیابانزایی چیست (۴۰)، با این وجود تهیه نقشه تخریب زمین و بیابانزایی به کمک یک مدل، کار مشکل و چالش‌برانگیزی به حساب می‌آید (۴۹ و ۵۲)، زیرا اطلاعات ما از فرآیندهای تخریب و بیابانزایی و روابط میان آنها خیلی ناچیز است (۷). این امر باعث شده علی‌رغم به دست آوردن داده‌های بی‌شماری از منابع زمین، هنوز تصویر روشنی از وضعیت تخریب زمین در سطوح ملی و منطقه‌ای وجود نداشته باشد (۴۶).

### گذری به گذشته تا به امروز

تخریب زمین به معنی کاهش یا هدررفت توان تولید بیولوژیکی یا اقتصادی زمین است که از سه بخش اصلی تشکیل شده است: تخریب خاک، تخریب پوشش گیاهی - تنوع‌زیستی و تخریب منابع آب (۲۸). از گذشته تا به امروز تلاش‌های مختلفی برای ارزیابی هر یک از این بخش‌های تخریب در سطوح ملی و محلی صورت پذیرفته است (۱۱، ۹، ۳۲، ۳۱ و ۴۲). اما جمع‌بندی همه این پارامترهای تخریب در یک مدل تخریب زمین یا بیابانزایی با مشکلات زیادی مواجه بوده است (۵۲) به طوری که هنوز هم تصویر روشنی از وضعیت ملی و منطقه‌ای تخریب زمین در جهان وجود ندارد (۴۶). با جستجوی موشکافانه در پژوهش‌های ارزیابی بیابانزایی، تنها می‌توان ۳ مدل بین‌المللی که جنبه عام‌تری دارند از این پدیده یافت: اولین روش ارزیابی و نقشه‌برداری واقعی بیابانزایی را می‌توان به متدولوژی مشروط ارزیابی و نقشه‌برداری بیابانزایی (Provisional Methodology for Assessment and Mapping of Desertification) که توسط FAO و UNEP ارائه گردیده است (۱۳)، نسبت داد؛ دومین مدل ارزیابی بیابانزایی مربوط می‌شود به شناخت مناطق زیست‌محیطی حساس به بیابانزایی (ESAs) که در غالب پروژه مدالوس (MEDALUS) اجرا شده است (۲۰ و ۲۳)؛ اما آخرین و جدیدترین مدل ارزیابی تخریب زمین مربوط است به پروژه ارزیابی تخریب زمین در مناطق خشک (Land Degradation Assessment in



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان اصفهان

۲. زمین‌های کشاورزی (حدود ۱۷ درصد) ۳. تاغ‌زارها و ماسه‌زارها (حدود ۱۳ درصد) می‌باشند (شکل ۲). ارتفاع ناحیه مطالعاتی بین حدود ۱۱۰۰ متر در دشت‌های جنوبی تا حدود ۳۵۰۰ متر در کوه‌های شمال شرق منطقه متغیر است. بخش وسیعی از محدوده مطالعاتی در جنوب جلگه‌ای به ارتفاع متوسط ۱۴۰۰ متر را تشکیل می‌دهد.

میانگین بارش سالانه در منطقه مورد مطالعه در بخش کم ارتفاع حدود ۷۵ میلی‌متر و در مناطق مرتفع شمال در حدود ۲۰۰ میلی‌متر در سال می‌باشد. رژیم بارندگی محدوده مطالعاتی، مدیترانه‌ای با فصل خشک متمرکز بر تابستان است. حداکثر بارش سالانه در بهمن ماه با میانگین ۱۵/۳ درصد بارش سالانه و حداقل آن در شهریور ماه با متوسط ۰/۲ درصد بارندگی سالانه به وقوع می‌پیوندد (۳ و ۴).

### مواد و روش‌ها

#### مدل IMDPA

جزئیات مدل IMDPA همراه با شیوه اندازه‌گیری‌های هر یک از معیارها و شاخص‌ها در دستورالعمل منتشر شده توسط دانشکده

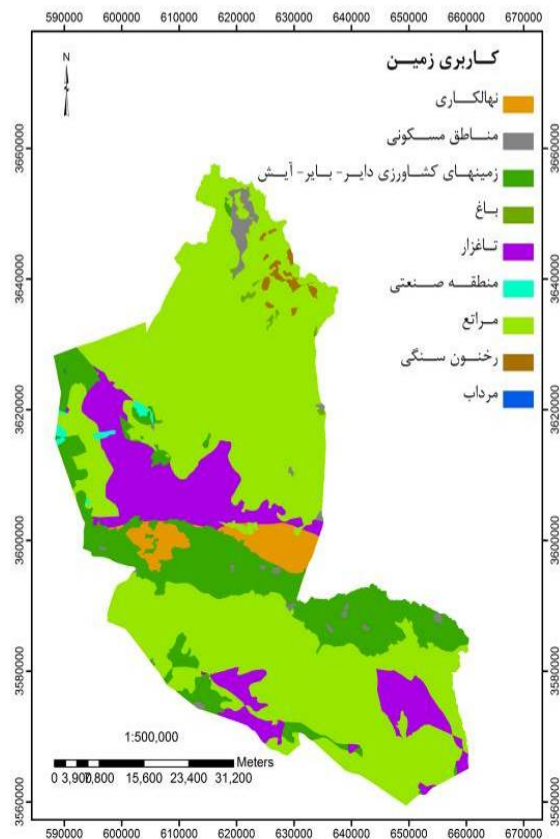
بررسی نیاز به چه تغییراتی می‌باشد. هم‌چنین مشخص نماییم چگونه باید مدل را اجرا نمود و در روند بررسی به چه نکاتی توجه داشت.

#### منطقه مورد مطالعه

با توجه به مسطح بودن بیشتر بخش‌های شرقی شهرستان اصفهان، این ناحیه یکی از کم‌بارش‌ترین نواحی استان اصفهان به حساب می‌آید به طوری که میانگین بارش آن براساس آمار ایستگاه‌های هواشناسی ورزنه، کوهپایه و هریرزه در مناطق کم‌ارتفاع جنوب شرقی کمتر از ۷۵ میلی‌متر در سال است (۳ و ۴). با توجه به مشکلات ناشی از بیابان‌زایی در شهرستان اصفهان، در مطالعات قبلی بیابان‌زایی بخشی از آن به‌عنوان منطقه پایلوت بیابان‌زایی در نظر گرفته شده است (۳ و ۴). محدوده مورد مطالعه در این تحقیق با مساحت حدود

۳۴۵۵۹۱ هکتار بین طول‌های شرقی ۵۱° ۲۲' تا ۵۶' ۲۹' شرقی و عرض‌های شمالی ۴۱' ۰۹' تا ۳۲° ۰۵' ۰۳' قرار گرفته است (شکل ۱).

کاربری‌های عمده زمین در این ناحیه مطالعاتی شامل: ۱. مراتع و زمین‌های بدون پوشش (حدود ۶۵ درصد)،



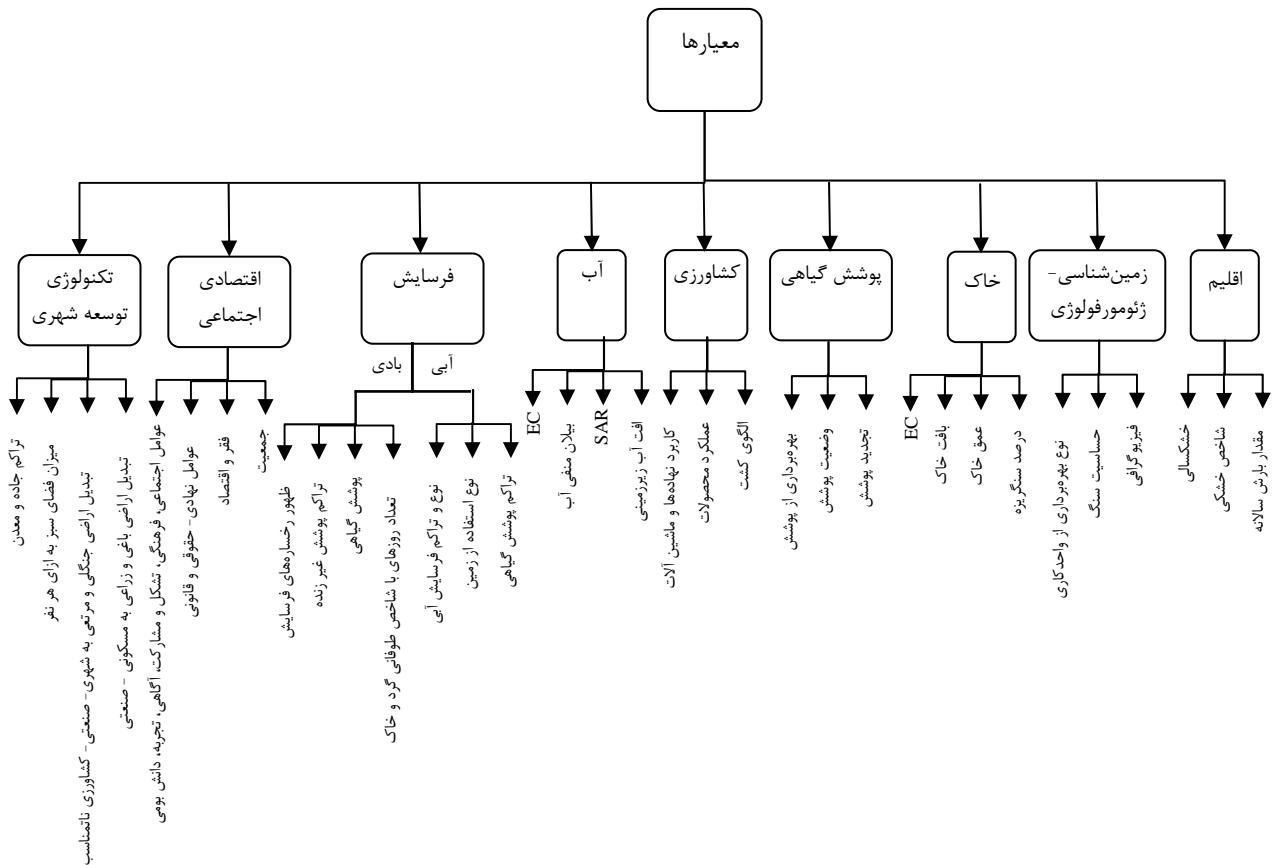
شکل ۲. کاربری‌های زمین در منطقه مورد مطالعه (سازمان جنگل‌ها و مراتع)

واژه‌های "بیابان‌شدگی" و "تخریب یافتگی" استفاده می‌شود. را نشان می‌دهند (بالفعل)، ولی برخی دیگر تنها نشان می‌دهند، چه میزان قدرت و پتانسیل برای بیابانی شدن وجود دارد (بالقوه). برای انجام ارزیابی پتانسیل بیابان‌زایی در این مدل نه معیار مختلف پیشنهاد شده است (شکل ۳: ۱) اقلیم؛ ۲) زمین‌شناسی - ژئومورفولوژی؛ ۳) خاک؛ ۴) پوشش گیاهی؛ ۵) کشاورزی؛ ۶) آب؛ ۷) فرسایش؛ ۸) اقتصادی - اجتماعی؛ ۹) تکنولوژی و توسعه شهری. معیارها مدل ایرانی ارزیابی پتانسیل بیابان‌زایی همراه با شاخص‌های هر معیار در شکل (۳) به نمایش در آمده است.

همان‌طور که در ذهن تداعی می‌شود، معیارهای ۱، ۲، ۸، ۹ و تا اندازه‌ای ۵ (به ترتیب اقلیم، زمین‌شناسی - ژئومورفولوژی، اقتصادی - اجتماعی، تکنولوژی و توسعه شهری و کشاورزی)، از دسته دوم معیارها به حساب می‌آیند که تنها خطر یا پتانسیل

منابع طبیعی دانشگاه تهران (۳ و ۴)، به طور کامل بیان شده است. با این حال به طور مختصر به بیان برخی از اصلی‌ترین بخش‌های این مدل پرداخته می‌شود.

همان‌گونه که از عنوان این مدل مشخص است، در آن پتانسیل بیابان‌زایی یا به عبارت بهتر خطر بیابان‌زایی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. بنابراین وقتی خطر بیابان‌زایی بررسی می‌شود، برخی از معیارها درجه بیابان‌شدگی یا تخریب‌یافتگی (با توجه به استفاده از واژه‌های Desertified و Degradated برای نشان دادن درجه‌ای که قبلاً تخریب اتفاق افتاده است و با توجه به این که استفاده از واژه بیابان‌زایی برای این دو واژه تا اندازه‌ای نمی‌تواند مفهوم اصلی را برساند، در این رساله برای بررسی جنبه یا وجه "درجه بیابان‌زایی" برای آن که نشان دهیم در حال حاضر تخریب انجام گرفته است (نه این که تخریب انجام خواهد شد)، از



شکل ۳. معیارها و شاخص‌های مدل ارزیابی پتانسیل بیابان‌زایی در ایران (IMDPA)

از شاخص‌هایی برای ارزیابی استفاده می‌کنند:

خاک: الف) شوری (هدایت الکتریکی)؛ ب) بافت خاک؛ ج) عمق

خاک؛ د) درصد سنگریزه

پوشش گیاهی: الف) وضعیت پوشش؛ ب) تجدید پوشش؛ ج)

بهره‌برداری از پوشش

فرسایش آبی: الف) نوع و تراکم فرسایش آبی؛ ب) نوع استفاده

از زمین؛ ج) تراکم تاج پوشش گیاهی

فرسایش بادی: الف) ظهور رخساره‌های فرسایش بادی؛

ب) تراکم پوشش گیاهی غیرزنده؛ ج) تراکم پوشش گیاهی؛

د) تعداد روزهای دارای طوفان و گرد و خاک. هر شاخص

در ابتدا به کمک دستورالعمل روش اندازه‌گیری می‌شود،

سپس به وسیله جداول امتیازدهی، ارزیابی (۳ و ۴) و در

نهایت میانگین هندسی شاخص‌ها، مطابق رابطه (۱) محاسبه

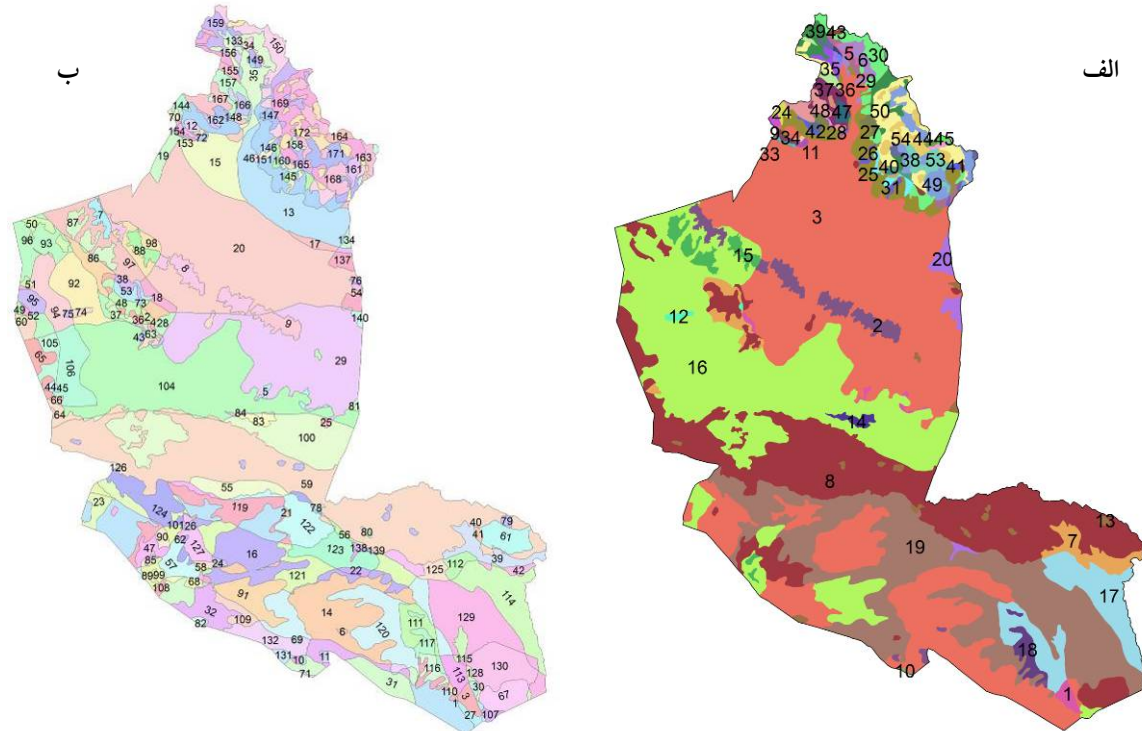
بیابان‌زایی را نشان می‌دهند. اما معیارهای ۳، ۴، ۶ و ۷ (به ترتیب خاک، پوشش گیاهی، آب و فرسایش) ضمن نشان دادن خطر و پتانسیل بیابان‌زایی، در برخی موارد درجه بیابان‌شدگی و تخریب یافتگی را نیز نشان می‌دهند (دسته اول).

در مدل ایرانی ارزیابی پتانسیل بیابان‌زایی برای هر معیار دست‌کم سه شاخص ارزیابی ارائه شده است (شکل ۳) که میانگین هندسی ارزش کمی این شاخص‌ها به عنوان ارزش کمی آن معیار در نظر گرفته می‌شود (رابطه ۱) و در نهایت میانگین هندسی ارزش کمی تمام معیارها، ارزش کمی پتانسیل بیابان‌زایی را نشان می‌دهد.

در این پژوهش چهار معیار از مدل IMPDA مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند:

۱. خاک؛ ۲. پوشش گیاهی؛ ۳. فرسایش بادی؛ ۴. فرسایش آبی

مطابق با دستورالعمل مدل IMDPA هر یک از معیارهای مذکور



شکل ۴. واحدهای نمونه برداری همگن (واحدکاری): الف) ۵۴ واحدکاری گروه احیاء؛ ب) ۱۷۲ واحدهای کاری این مطالعه

شده و به عنوان امتیاز معیار آن شاخص‌ها در نظر گرفته می‌شود. امتیاز هر معیار به وسیله جدول دیگری ارزیابی کیفی خواهد شد (امتیاز کمتر از ۱/۶، پتانسیل کم؛ امتیاز بین ۱/۶ تا ۲/۶، پتانسیل متوسط؛ امتیاز بین ۲/۶ تا ۳/۶، پتانسیل زیاد؛ امتیاز بیش از ۳/۶، پتانسیل بسیار زیاد).

در رابطه (۱)،  $X_n$  امتیاز مربوط به شاخص‌های یک معیار و  $I_i$  امتیاز معیار مورد بررسی می‌باشند.

$$I_i = (\prod_{j=1}^n X_j)^{1/n} = \sqrt[n]{X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \dots X_n} \quad [1]$$

با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ و تصاویر ماهواره لندست سال ۲۰۰۴ و همچنین استفاده از طرح‌های تحقیقاتی، طرح‌های مطالعاتی، پایان‌نامه‌های کارشناسی ارشد و رساله دکتری و حاصل تلاش بیش از ۳۰ سال کار در سطح کشور مشخص گردید که در طرح معیارها و شاخص‌های بیابانزایی، ۱۳ کاربری مختلف باید مد نظر قرار گیرد (۳ و ۴)، در این میان هفت کاربری (۱) مرتع ضعیف تا متوسط؛

کشاورزی و آیش؛ (۳) توده سنگی؛ (۴) مناطق مسکونی؛ (۵) کویر و جلگه‌های رسی؛ (۶) تپه‌های ماسه‌ای و (۷) جنگل‌های دست‌کاشت در منطقه مورد مطالعه وجود داشتند که مبنای ساخت واحدهای همگن نمونه برداری قرار گرفته‌اند. هم‌چنین به منظور ایجاد واحدهای نمونه برداری همگن‌تر دو معیار حساسیت سنگ (زمین‌شناسی) و شیب نیز با کاربری‌ها تلفیق شده‌اند تا در نهایت ۵۴ واحد نمونه برداری یا به بیان دیگر واحد کاری در محدوده مطالعاتی شکل گیرد (شکل ۴).

در روش IMDPA تمامی اندازه‌گیری‌ها در واحدکاری انجام می‌گیرد. این نقشه واحد کاری با ترکیب نقشه‌های زمین‌شناسی، نقشه شیب و کاربری زمین تهیه می‌شود. هر چند توصیه شده است در صورتی که خاک به تنهایی مطالعه می‌شود، از واحدهای خاک (مجموعه پدوئ‌های خاک که دارای خصوصیات شبیه یکدیگر هستند) استفاده شود (۳ و ۴).

در مطالعه اولیه مدل IMDPA در منطقه شرق اصفهان در سال ۱۳۸۳، نمونه برداری‌ها و امتیازدهی‌ها در درون این

جدول ۱. شاخص‌های بیابان‌زایی از منظر خاک در روش پیشنهادی (IMDPA) (۳ و ۴)

حدود کلاس				عامل ارزیابی
خیلی شدید (امتیاز: ۴)	شدید (امتیاز: ۳)	متوسط (امتیاز: ۲)	ناچیز (امتیاز: ۱)	
<۲۰	۲۰-۵۰	۵۰-۸۰	>۸۰	عمق خاک (سانتی‌متر)
درشت تا خیلی درشت	سبک	متوسط	سنگین تا خیلی سنگین	بافت خاک
>۶۵	۳۵-۶۵	۱۵-۳۵	<۱۵	سنگ و سنگریزه (منظور سنگریزه داخل نیمرخ خاک است) (درصد)
				هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)
>۱۶	۸-۱۶	۴-۸	<۴	(حداکثر مقدار در شورترین لایه ۱۵ سانتی‌متری واقع در عمق ۷۵ سانتی‌بالایی خاک)

اندازه‌گیری‌های انجام شده در درون آن به دست آید و خطای مقایسه کاهش پیدا کند. با این روش جمعاً، ۱۷۲ واحد همگن یا واحدهای کاری به دست آمد (شکل ۴). با توجه به فرض همگنی این واحدهای کاری، سایت‌های نمونه‌برداری برای امتیازدهی به هر شاخص به صورت تصادفی در داخل این واحدها انتخاب شدند.

مطابق با روش پیشنهادی IMDPA در هر واحد کاری براساس جداول پیشنهاد شده امتیاز هر شاخص به دست آمد و از میانگین هندسی این شاخص‌ها، امتیاز کمی معیار و سپس امتیاز کیفی آن محاسبه شد. جداول ۱ تا ۵ شیوه امتیازدهی به هر یک از شاخص‌های معیارهای خاک، پوشش گیاهی، فرسایش آبی و فرسایش بادی را نشان می‌دهند.

در نهایت به منظور اعتبارسنجی هر معیار از روش دقت کلی و کاپای کل طبقه‌بندی استفاده شد تا مشخص شود کدام معیار در عملکرد خود، کمترین تغییر را داشته است.

### نتایج

مکان دقیق سایت‌های نمونه‌برداری به کمک GPS گارمین مدل eTrex Vista HCx مشخص شد و همراه با اطلاعات امتیازی هر شاخص به محیط ArcGIS 10 وارد گردید. در نهایت، میانگین هندسی شاخص‌ها و میانگین هندسی واحدهای کاری

واحدهای کاری همگن انجام گرفته است تا مطابق بسیاری از مطالعات، نمونه‌برداری به صورت تصادفی در داخل این واحدهای همگن انجام گیرد (۲۶ و ۳۵).

در این مطالعه با بررسی اولیه منطقه و مقایسه نقشه‌های گروه بزرگ خاک در طبقه‌بندی FAO و تیپ پوشش گیاهی و تصاویر ماهواره‌ای متوجه شدیم، این واحدهای پیشنهاد شده در منطقه مورد مطالعه خیلی هم همگن نیستند. هم‌چنین با بررسی صورت گرفته، متوجه شدیم مکان نمونه‌برداری‌های سال ۱۳۸۳ در هیچ گزارش یا نقشه‌ای قید نشده است. بنابراین امکان آن که فقط از هر واحدکاری یک نمونه ارزیابی شود و همان نمونه به عنوان ارزش آن واحد کاری در نظر گرفته شده و با سال ۱۳۸۳ مقایسه شود، وجود نداشت. در واقع ارزیابی‌های اولیه تأکید داشتند این مقایسه بدون دانستن مکان نمونه‌برداری‌های اولیه اشتباه خواهد بود. با توجه به آن که یکی از اهداف این مطالعه، بررسی صحت مدل IMDPA بود، مجبور شدیم، هر واحد کاری پیشنهاد شده را در صورتی که نقشه‌ها حکایت از همگنی آن نداشتند، به وسیله نقشه‌های گروه بزرگ خاک در طبقه‌بندی FAO و تیپ پوشش گیاهی و تصاویر ماهواره‌ای به واحدهای کوچک‌تری تقسیم کنیم و در نهایت از امتیازهای به دست آمده در این واحدهای کوچک‌تر، میانگین هندسی بگیریم تا امتیاز یک واحدکاری قدیمی از میانگین



جدول ۲. شاخص‌های ارزیابی معیار پوشش گیاهی مؤثر بر شدت بیابان‌زایی بالفعل (۳)

شاخص	وضعیت بالفعل بیابان‌زایی			
	۰-۱/۵ (کم)	۱/۶-۲/۵ (متوسط)	۲/۶-۳/۵ (زیاد)	۳/۶-۴ (خیلی زیاد)
۱. وضعیت پوشش	گونه‌های مهاجم کمتر از ۵ درصد از ترکیب گیاهی را تشکیل می‌دهد و کمتر از ۲۵ درصد ترکیب گیاهی از گونه‌های یکساله می‌باشد.	گونه‌های مهاجم ۲۰-۵ درصد ترکیب گیاهی را تشکیل داده و ۲۵-۵۰ درصد ترکیب گیاهی منطقه از گیاهان یکساله می‌باشد.	گونه‌های مهاجم ۵۰-۲۰ درصد ترکیب گیاهی را تشکیل داده و اکثر پوشش گیاهی منطقه از گیاهان یکساله می‌باشد.	گونه‌های مهاجم بیش از ۵۰ درصد از ترکیب گیاهی را تشکیل داده و پوشش گیاهی منطقه از گیاهان یکساله می‌باشد.
	درصد پوشش تاجی دائمی بیش از ۳۰ درصد	درصد پوشش تاجی دائمی ۱۵-۳۰ درصد	درصد پوشش تاجی دائمی ۵-۱۵ درصد	درصد پوشش تاجی دائمی کمتر از ۵ درصد
	آثار بوته‌کنی مشاهده نمی‌شود.	قطع بوته‌ها، درختچه‌ها و درختان نسبتاً زیادتر از بیوماس سالانه	قطع بوته‌ها، درختچه‌ها و درختان زیاد و کاملاً محسوس	قطع بی‌رویه بوته‌ها، درختان و درختچه‌ها در حال حاضر و یا گذشته نه چندان دور
۲. بهره‌برداری از پوشش	چرا متعادل و یا کمتر از ظرفیت و در فصل مناسب	مازاد دام تا ۲۵ درصد بیش از ظرفیت چرا	مازاد دام ۲۵ تا ۵۰ درصد بیش از ظرفیت چرا	مازاد دام بیش از ۵۰ درصد بیشتر از ظرفیت چرا
	- تجدید حیات به‌طور طبیعی انجام می‌شود.	- تجدید حیات با هزینه کم امکان‌پذیر است.	- تجدید حیات با هزینه زیاد امکان‌پذیر است.	- تجدید حیات پوشش گیاهی بسیار مشکل و یا غیرممکن و غیرقابل توجه اکولوژیکی - اقتصادی
	- زادآوری گیاهان کم‌شونده مناسب است.	- زادآوری گیاهان کم‌شونده کم است.	- زادآوری گیاهان کم‌شونده به ندرت دیده می‌شود.	- عدم زادآوری گیاهان کم‌شونده
۳. تجدید پوشش گیاهی	نیازی به عملیات اصلاحی نمی‌باشد.	عملیات احیاء پوشش تاکنون مؤثر بوده است.	عملیات اصلاحی انجام شده نسبتاً موفق بوده است.	عملیات اصلاح و احیاء پوشش تاکنون موفق نبوده است.

را در شکل ۵ در نظر بگیریم، در ابتدا ممکن است بگوییم مدل مورد استفاده صحت ندارد و تشابه دو نقشه تهیه شده توسط این مدل در سطح بسیار پایینی قرار گرفته است. اما بهتر است کمی عمیق‌تر به این مساله بپردازیم. اول ببینیم این عدم تشابه ناشی از چه عواملی است:

اگر به دقت به معیار خاک در شکل ۵ توجه کنیم، متوجه خواهیم شد، بین اشکال چندضلعی‌های تشکیل‌دهنده هر پتانسیل بیابان‌زایی در بخش (الف) و (ب) شباهت‌های زیادی وجود دارد. اساساً مرزهای این چندضلعی‌ها بسیار به هم شبیه

شکسته شده به بخش‌های کوچک‌تر به دست آمد تا نقشه‌های حاصله با نقشه‌های تهیه شده در سال ۱۳۸۳ مقایسه شوند. مطابق با شکل ۵ نقشه‌های به دست آمده در این تحقیق، تفاوت بسیاری با نقشه‌های تهیه شده در سال ۱۳۸۳ دارد.

به دلیل آن‌که هدف اصلی این مقاله، نقد مدل IMDPA است، در اینجا مطالب خود را در قالب چند عنوان مطرح خواهیم نمود.

### صحت

در صورتی که نقشه‌های گروه (الف) و (ب) متعلق به هر معیار

جدول ۳. مقادیر کیفی و کمی شاخص‌های ارزیابی پتانسیل بیابان‌زایی براساس معیار فرسایش آبی (اقلیم نیمه‌خشک)

اقلیم	شاخص و ارزش کیفی آن	ویژگی‌های شاخص	امتیاز	ویژگی‌های شاخص	امتیاز	ویژگی‌های شاخص	امتیاز	ویژگی‌های شاخص	امتیاز
۱. نوع و تراکم فرسایش آبی	نوع I با تراکم کمتر از ۵۰ درصد	نوع I با تراکم	۱	نوع I با تراکم	۱	نوع I با تراکم	۱	نوع I با تراکم	۲
	نوع II با تراکم کمتر از ۴۰ درصد	نوع II با تراکم	۱	نوع II با تراکم	۲	نوع II با تراکم	۲	نوع II با تراکم	۲
	نوع III با تراکم کمتر از ۳۰ درصد	نوع III با تراکم	۱	نوع III با تراکم	۲	نوع III با تراکم	۲	نوع III با تراکم	۲
	نوع IV با تراکم کمتر از ۲۰ درصد	نوع IV با تراکم	۱	نوع IV با تراکم	۲	نوع IV با تراکم	۳	نوع IV با تراکم	۳
۲. تراکم زه‌کشی	کمتر از ۱۰ کیلومتر در کیلومتر مربع	نوع V با تراکم کمتر از ۱۵ درصد	۱	نوع V با تراکم	۲	نوع V با تراکم	۳	نوع V با تراکم	۴
	بیش از ۱۰ کیلومتر در کیلومتر مربع	نوع VI با تراکم کمتر از ۳۰ درصد	۱	نوع VI با تراکم	۲	نوع VI با تراکم	۳	نوع VI با تراکم	۴
نیمه خشک	مرتع و مرتع مشجر خوب	مرتع متوسط	۱	مرتع فقیر	۲	مرتع خیلی فقیر یا ضعیف	۲	مرتع خیلی فقیر یا ضعیف	۲
	زراعت آبی براساس اصول زراعی با استفاده از آبهای سطحی به میزان ۷۰٪	زراعت آبی در اراضی با شیب حداکثر ۲۰٪ و با آبهای سطحی به میزان ۵۰٪	۱	زراعت آبی غیراصولی با استفاده از آبهای زیرزمینی به میزان ۷۰٪	۲	زراعت آبی نمکی به آبهای زیرزمینی (>۷۰ درصد) و غیراصولی	۳	زراعت آبی نمکی به آبهای زیرزمینی (>۷۰ درصد) و غیراصولی	۳
	زراعت دیم بدون آیش در اراضی با شیب کمتر از ۲۰ درصد و یا همراه با آیش اراضی به میزان حداکثر ۱۰ درصد وسعت اراضی دیم	زراعت دیم همراه با آیش کمتر از ۳۰٪ وسعت اراضی در اراضی با شیب حداکثر ۵۰٪	۱	زراعت دیم همراه با آیش ۵۰-۳۰ درصد وسعت اراضی در اراضی با شیب ۷۰-۵۰ درصد	۲	زراعت دیم همراه با آیش بیش از ۵۰٪ وسعت اراضی در اراضی با شیب بیش از ۷۰٪	۳	زراعت دیم همراه با آیش بیش از ۵۰٪ وسعت اراضی در اراضی با شیب بیش از ۷۰٪	۴
۳. نوع استفاده از اراضی	اراضی بایر، رها شده کم بازده و یا موات	اراضی بایر، رها شده کم بازده و یا موات به میزان بیش از ۳۰٪ کل مساحت واحد کاری	۱	اراضی بایر، رها شده کم بازده و یا موات به میزان بیش از ۳۰٪ کل مساحت واحد کاری	۲	اراضی بایر، رها شده کم بازده و یا موات به میزان بیش از ۳۰٪ کل مساحت واحد کاری	۳	اراضی بایر، رها شده کم بازده و یا موات به میزان بیش از ۳۰٪ کل مساحت واحد کاری	۴
	نوع فرسایش I	نوع فرسایش II	نوع فرسایش III	نوع فرسایش IV	نوع فرسایش V	نوع فرسایش VI	نوع فرسایش VII	نوع فرسایش VIII	
	>۷۰ درصد	۵۰-۷۰ درصد	۴۰-۵۰ درصد	۳۰-۵۰ درصد	۳۰-۵۰ درصد	۴۰-۳۰ درصد	۳۰-۲۵ درصد	۲۵-۱۵ درصد	
	>۶۰ درصد	۳۰-۶۰ درصد	۳۰-۵۰ درصد	۳۰-۵۰ درصد	۳۰-۵۰ درصد	۴۰-۳۰ درصد	۳۰-۲۵ درصد	۲۵-۱۵ درصد	
۴. تراکم تاج پوشش گیاهی	>۷۰ درصد	۵۰-۷۰ درصد	۴۰-۵۰ درصد	۳۰-۵۰ درصد	۳۰-۵۰ درصد	۴۰-۳۰ درصد	۳۰-۲۵ درصد	۲۵-۱۵ درصد	
	>۶۰ درصد	۳۰-۶۰ درصد	۳۰-۵۰ درصد	۳۰-۵۰ درصد	۳۰-۵۰ درصد	۴۰-۳۰ درصد	۳۰-۲۵ درصد	۲۵-۱۵ درصد	
	>۵۰ درصد	۵۰-۴۰ درصد	۳۰-۵۰ درصد	۳۰-۵۰ درصد	۳۰-۵۰ درصد	۴۰-۳۰ درصد	۳۰-۲۵ درصد	۲۵-۱۵ درصد	
	>۴۰ درصد	۴۰-۳۰ درصد	۳۰-۲۵ درصد	۳۰-۲۵ درصد	۳۰-۲۵ درصد	۴۰-۳۰ درصد	۳۰-۲۵ درصد	۲۵-۱۵ درصد	

جدول ۴. مقادیر کیفی و کمی شاخص‌های ارزیابی پتانسیل بیابان‌زایی براساس معیار فرسایش آبی (اقلیم خشک)

اقلیم	شاخص و ارزش کیفی آن	ویژگی‌های شاخص	امتیاز	ویژگی‌های شاخص	امتیاز	ویژگی‌های شاخص	امتیاز	ویژگی‌های شاخص	امتیاز
۱. نوع و تراکم فرسایش آبی	نوع I با تراکم کمتر از ۶۰ درصد	نوع I با تراکم کمتر از ۶۰ درصد	۱	نوع I با تراکم ۶۰-۷۵ درصد	۱	نوع I با تراکم ۵۰-۶۰ درصد	۱	نوع I با تراکم بیش از ۷۵ درصد	۲
	نوع II با تراکم کمتر از ۵۰ درصد	نوع II با تراکم ۵۰-۶۰ درصد	۱	نوع II با تراکم ۴۰-۵۰ درصد	۱	نوع II با تراکم ۳۰-۴۰ درصد	۱	نوع II با تراکم بیش از ۶۰ درصد	۳
	نوع III با تراکم کمتر از ۴۰ درصد	نوع III با تراکم ۳۰-۴۰ درصد	۱	نوع III با تراکم ۲۰-۳۰ درصد	۲	نوع III با تراکم ۱۰-۲۰ درصد	۲	نوع III با تراکم بیش از ۵۰ درصد	۳
	نوع IV با تراکم کمتر از ۳۰ درصد	نوع IV با تراکم ۲۰-۳۰ درصد	۲	نوع IV با تراکم ۱۰-۲۰ درصد	۳	نوع IV با تراکم ۰-۱۰ درصد	۳	نوع IV با تراکم بیش از ۴۰ درصد	۳
	نوع V با تراکم کمتر از ۲۰ درصد	نوع V با تراکم ۱۰-۲۰ درصد	۳	نوع V با تراکم ۰-۱۰ درصد	۴	نوع V با تراکم ۰-۱۰ درصد	۴	نوع V با تراکم بیش از ۳۰ درصد	۴
۲. تراکم زه‌کشی	کمتر از ۱۰ کیلومتر در هر کیلومتر مربع	۲۰-۳۰ کیلومتر در هر کیلومتر مربع	۲	۳۰-۴۰ کیلومتر در هر کیلومتر مربع	۳	بیش از ۳۰ کیلومتر در هر کیلومتر مربع	۴		
خشک	مرتع و علف زار خشک	مرتع یا چراگاه متوسط	۲	مرتع یا چراگاه فصلی فقیر	۲	مرتع یا چراگاه اتفاقی خیلی فقیر	۳		
	زراعت آبی براساس اصول زراعی با استفاده از آب‌های سطحی به میزان ۷۰٪	زراعت آبی در اراضی با شیب حداکثر ۲۰٪ و با آب‌های سطحی به میزان ۵۰٪	۱	زراعت آبی غیراصولی با استفاده از آب‌های زیرزمینی بمیزان ۷۰٪	۲	زراعت آبی نمکی به آب‌های زیرزمینی (>۷۰ درصد) و غیراصولی	۴		
	زراعت دیم بدون آیش در اراضی با شیب کمتر از ۲۰ درصد و یا همراه با آیش اراضی به میزان حداکثر ۱۰ درصد	زراعت دیم همراه با آیش کمتر از ۳۰٪ وسعت اراضی در اراضی با شیب حداکثر ۵۰٪	۱	زراعت دیم همراه با آیش ۳۰-۵۰ درصد وسعت اراضی در اراضی با شیب ۵۰-۷۰ درصد	۲	زراعت دیم همراه با آیش ۵۰٪ اراضی و یا همراه با آیش در اراضی با شیب بیش از ۷۰٪	۴		
	اراضی بایر، رها شده کم یا موات	اراضی بایر، رها شده کم بازده و یا موات بیش از ۳۰٪ کل مساحت واحد کاری	-	اراضی بایر، رها شده کم بازده و یا موات بیش از ۳۰٪ کل مساحت واحد کاری	۳	اراضی بایر، رها شده کم بازده و یا موات بیش از ۵۰٪ کل مساحت واحد کاری	۴		
۴. تراکم تاج پوشش گیاهی	نوع فرسایش I >۷۵ درصد	نوع فرسایش I >۷۵ درصد	۱	نوع فرسایش I ۶۰-۷۵ درصد	۱	نوع فرسایش I ۵۰-۶۰ درصد	۲		
	نوع فرسایش II >۷۰ درصد	نوع فرسایش II >۷۰ درصد	۱	نوع فرسایش II ۵۰-۷۰ درصد	۲	نوع فرسایش II ۴۵-۵۰ درصد	۲		
	نوع فرسایش III >۶۵ درصد	نوع فرسایش III >۶۵ درصد	۱	نوع فرسایش III ۴۵-۶۵ درصد	۲	نوع فرسایش III ۴۰-۴۵ درصد	۲		
	نوع فرسایش IV >۶۰ درصد	نوع فرسایش IV >۶۰ درصد	۱	نوع فرسایش IV ۴۰-۶۰ درصد	۲	نوع فرسایش IV ۳۰-۴۰ درصد	۳		
	نوع فرسایش V >۵۰ درصد	نوع فرسایش V >۵۰ درصد	۱	نوع فرسایش V ۳۰-۵۰ درصد	۲	نوع فرسایش V ۲۰-۳۰ درصد	۳		

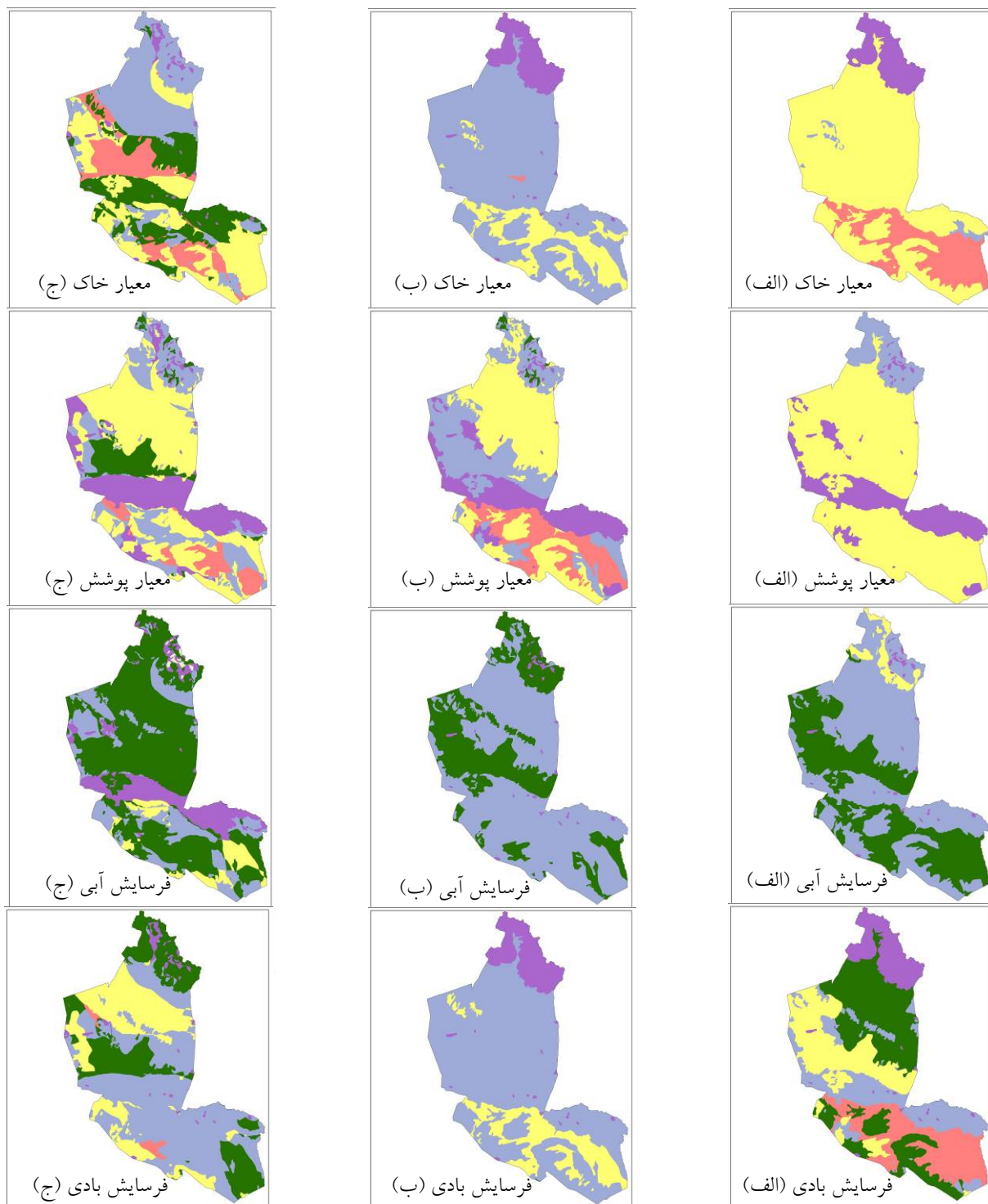
جدول ۵. شاخص‌های مربوط به معیار فرسایش بادی جهت ارزیابی وضع موجود بیابان‌زایی

وضعیت بالفعل بیابان‌زایی و دامنه امتیازدهی			نوع شاخص و دامنه امتیاز
خیلی شدید ۷۵-۱۰۰ (۳/۶-۴)	شدید ۵۰-۷۵ (۲/۶-۳/۵)	متوسط ۲۵-۵۰ (۱/۶-۲/۵)	آرام یا کم ۰-۲۵ (۰-۱/۵)
تپه‌های ماسه‌ای فعال کلوتک‌های فشرده	پهنه ماسه‌ای کلوتک و یاردانگ تشکیل سنگفرش بیابانی کم تراکم	دارای آثار باد بردگی در سطح خاک سطوح شلجمی شکل تشکیل سنگریزه و سنگفرش متراکم در سطح خاک	بدون آثار و اشکال فرسایش بادی و آشفته‌گی خاک در طول سال
IRIFR>80	50<IRIFR<80	25<IRIFR<50	0<IRIFR<25
MC<20	20<MC<40	40<MC<80	MC>80
PC<10	10<PC<20	20<PC<40	PC>40
DSI>60	30<DSI<60	10<DSI<30	DSI<10
			شدت فرسایش و رسوبدهی IRIFR1,2
			تراکم پوشش غیرزنده (MC)
			تراکم پوشش گیاهی (PC)
			تعداد روزهای با شاخص طوفانی گرد و خاک (DSI)

۱۳۸۳)، چنین تغییری در وسعتی در حدود ۶۱ هزار هکتار کاملاً نامحتمل است. پس این تفاوت ناشی از چیست؟ بخشی از جواب به این سوال با مشاهده بخش (ج) معیار خاک (شکل ۴) قابل پاسخ دهی می‌باشد.

اگر به قسمت مرکزی بخش (ج) نگاه کنیم؛ متوجه خواهیم شد در آن تمامی پتانسیل‌های بیابان‌زایی (از کم تا خیلی زیاد) وجود دارد. حالا اگر به شکل ۴ و همان بخش مرکزی نگاه کنیم، متوجه می‌شویم، به دلیل ناهمگنی، واحدهای کاری اولیه شکسته شده‌اند. بنابراین در مطالعه گروه احیاء، یک بخش زرد منطقه، نمایانگر کل منطقه مرکزی شده است (مثلاً بخش زرد رنگ موجود در بخش شمالی، قسمت (ج) شکل ۵). ما این پتانسیل بیابان‌زایی را برای بخش مرکزی منطقه داشته‌ایم، ولی در کنار آن پتانسیل‌های دیگری هم دیده شده است که میانگین هندسی آنها تعدیل شده پتانسیل گروه احیاء را نشان می‌دهد. پس بخشی از عدم تشابه میان نقشه ما و مطالعه دهه ۹۰ به ناهمگن بودن واحدهای کاری اولیه بر می‌گردد. اگر دقت کنیم در مورد معیار فرسایش آبی و بادی هم، به خصوص در بخش جنوبی، همین مساله را خواهیم دید (مطابق شکل ۴ بخش جنوبی

است، ولی ارزیابی‌های کیفی پتانسیل بیابان‌زایی در آنها متفاوت است. در اصل در مورد بیشتر این چندضلعی‌ها در مطالعه ما تنها یک درجه از پتانسیل ارائه شده توسط گروه احیاء کاسته شده است. به طوری که پتانسیل بسیار زیاد (چندضلعی قرمز رنگ بخش جنوبی در قسمت الف) تبدیل به پتانسیل زیاد (بخش زرد رنگ بخش جنوبی در قسمت ب) و پتانسیل زیاد (اغلب بخش‌های زرد رنگ قسمت الف) تبدیل به پتانسیل متوسط (اغلب بخش‌های آبی رنگ قسمت ب) شده است. اما این تفاوت یک درجه‌ای از چه عواملی ناشی شده است؟ ممکن است به نظر برسد که حتماً وضعیت خاک بهتر شده است. ولی با توجه به شاخص‌های مورد استفاده برای معیار خاک، این امر تقریباً غیرممکن است: غیر ممکن است بافت، عمق و درصد سنگریزه با گذشت کمتر از یک دهه در منطقه تغییر نموده باشد؛ تنها فاکتوری که ممکن است تغییر کرده باشد، شوری خاک است که با توجه به وسعت منطقه، خشک بودن اقلیم آن، عدم وجود بارش حداقل به مدت ۳۰ روز قبل از شروع مطالعه و عدم بارش در طی کل مطالعه و نیاز به تغییر چهار واحدی هدایت الکتریکی برای تغییر در کلاس پتانسیل (گروه احیاء،



پتانسیل بیابانزایی

خیلی زیاد (قرمز) متوسط (بنفش) کم (سبز)

زیاد (زرد)

ناحیه ای که به هر دلیلی اندازه گیری نشده است (مسکونی و ...)

شکل ۵. مقایسه نقشه‌های تهیه شده به وسیله: الف) گروه احیا؛ ب) میانگین هندسی واحدهای جدید؛ ج) خود واحدهای کاری جدید (بدون میانگین گیری)

استفاده شود، در چند مترمربع پلات اندازه‌گیری، باید چه نوع فرورفتگی (شیار) با چه ابعادی را به‌عنوان زه‌کشی در نظر گرفت. آیا واقعاً می‌توان این همه شیار روی زمین را اندازه‌گیری نمود؟ و آیا در این زمینه باید از نقشه شبکه آبراهه‌ها و نقشه‌های توپوگرافی استفاده نمود؟ مورد بعد در این معیار، تراکم تاج پوشش گیاهی است که اتفاقاً امتیازهای متنوعی را دربر دارد، ولی اساساً حتی برای گروه ما که سال‌ها با مسائل اندازه‌گیری پارامترها زیست‌محیطی درگیر بوده‌ایم، خیلی روشن نبود که چگونه می‌توان میانگینی از تراکم تاج یک گیاه به‌دست آورد، حتی وقتی در میان تیم ارزیابی اقدام به تخمین این تراکم‌ها نمودیم، جواب‌ها بسیار متفاوت بودند، حال فرض کنید یک ارزیاب که اصلاً اطلاعات زیست‌محیطی ندارد، چگونه می‌تواند چنین تخمین‌هایی را انجام دهد؟ بنابراین اولین گام برای افزایش صحت مدل، تکمیل توضیحات مربوط به هر شاخص است، به گونه‌ای که افراد را دچار تردید در انتخاب امتیازها نکند.

در همین جا باید به یک نکته دیگر اشاره کنیم: در اندازه‌گیری‌هایی که کل عملیات میدانی بیش از ۵۰ روز به طول خواهد انجامید، حتی اگر ارزیابی توسط یک ارزیاب هم انجام شود، باز هم مشکل و همگن نگاه داشتن دیدگاه برای دادن امتیازهای مشابه به واحدهای مشابه کار بسیار دشواری است. بنابراین بهتر است مانند جداول معیار فرسایش آبی برای هر طبقه فقط یک امتیاز قرار دهیم نه محدوده‌ای از امتیازها (مثلاً برای طبقه کم فرسایش بادی نیز به جای حدود ۰ تا ۱/۵ می‌توان عدد ۱ را قرار داد و ...). دقیقاً به همین دلیل (طولانی بودن ارزیابی) بهتر است از سایت‌های نمونه‌برداری عکس تهیه شود و قبل از تهیه نقشه نهایی یکبار دیگر به‌وسیله عکس‌ها، کلیه امتیازدهی‌ها چک شوند (کاری که ما در این تحقیق انجام دادیم). بهتر است ارزیابی‌ها در سال‌های متمادی به‌وسیله یک گروه از ارزیاب‌ها صورت گیرد و تیم ارزیابی در سال‌های مختلف تغییر نکند تا خطای کاربر کمتر شود. چون این کار معمولاً مقدور نیست، بهتر است، فرد یا افراد قبل از ارزیابی

به واحدهای بسیار ریزتری نیز تجزیه شده است). یک نکته را نیز نباید فراموش کرد: اگر تمامی نقشه‌های موجود در شکل ۵ را در نظر بگیریم، متوجه می‌شویم در کل در مورد سه معیار خاک، فرسایش آبی و فرسایش بادی، دید ارزیاب یا ارزیاب‌های دست‌اندرکار دهه ۹۰، منفی‌تر از دید گروه حاضر و در مورد معیار پوشش گیاهی دید گروه حاضر منفی‌تر از ارزیاب‌های گروه دهه ۹۰ بوده است. در حقیقت در این حالت، خطا بیشتر مربوط به کاربر است نه مدل، در حقیقت در اغلب مدل‌ها، دقت مدل بیشتر از آن‌که مربوط به قدرت و توان مدل باشد، به همت و انگیزه کاربر در استفاده از آن بستگی دارد (۴۱).

اما برای افزایش صحت این مدل و مدل‌های مشابه باید چه فعالیت‌هایی انجام داد؟ مهم نیست که یک مدل در ابتدا ناقص و ناکامل باشد، بلکه مهم، روحیه تکمیل مدل است (۴۱). با توجه به تجربه‌ای که ما در این تحقیق به‌دست آوردیم، برای کم کردن خطای کاربر یا ارزیاب می‌توان این پیشنهادات را مطرح نمود: برای آن‌که ارزیاب دچار سردرگمی در انتخاب امتیازها نشود، باید توضیحات جداول کاملاً مشروح گردد. اگر شکل ۵ را در نظر بگیریم، متوجه خواهیم شد، معیار پوشش گیاهی بهترین عملکرد را نشان داده است. به نظر گروه حاضر، جدول ارائه شده توسط گروه دهه ۹۰، برای معیار پوشش گیاهی به خوبی مشروح است و کمتر فرد را در انتخاب امتیاز دچار تردید خواهد نمود (جدول ۲). هم چنین اگر هر دو فاکتور دقت کلی و کاپای کل را در نظر بگیریم، معیار فرسایش بادی بهترین معیار از نظر صحت به‌شمار خواهد رفت، جدول ارائه شده برای این معیار نیز کمتر فرد ارزیاب را دچار تردید خواهد نمود (جدول ۵). ولی در مورد فرسایش آبی، دو شاخص نوع و تراکم فرسایش آبی و به‌خصوص شاخص تراکم زه‌کشی، کاربر را به شدت دچار تردید در انتخاب امتیاز می‌نماید. مشخص نیست ارزیاب چگونه باید کیلومتر تراکم زه‌کشی در کیلومترمربع (۱۰۰۰ متر در ۱۰۰۰ متر) را تخمین بزند یا اندازه‌گیری کند. حتی اگر از پلات اندازه‌گیری برای این تخمین

در این مدل ضمن تشریح عبارت بیابانزایی، هفت فرآیند برای بیابانزایی در نظر گرفته شده است (۱). تخریب پوشش گیاهی؛ ۲. فرسایش آبی؛ ۳. فرسایش بادی؛ ۴. شورشدن خاک؛ ۵. تشکیل سله و فشرده شدن خاک؛ ۶. کاهش مواد آلی خاک؛ ۷. تجمع مواد سمی برای گیاهان و حیوانات در خاک). این فرآیندها در چهار وجه یا جنبه مختلف (وضعیت بیابانزایی یا درجه بیابان‌شدگی؛ نرخ یا شدت بیابانزایی؛ استعداد طبیعی یا خطر ذاتی بیابانزایی؛ خطر بیابانزایی) به وسیله یکسری فاکتورهای ارزیابی، مورد بررسی قرار می‌گیرند و در نهایت نقشه هر یک تهیه می‌شود (۱۳).

مطلبی که باید در مطالعات بیابانزایی مورد توجه قرار بگیرد، دقیقاً همین جنبه‌های مختلف بیابانزایی می‌باشند. در حقیقت قبل از انتخاب یک مدل بیابانزایی و گزینش معیارها و شاخص‌هایی برای آن، باید بدانیم می‌خواهیم، کدام وجه از بیابانزایی را مطالعه کنیم؟ هدفمان مشخص نمودن وضعیت موجود است، می‌خواهیم شدت یا سرعت بیابانزایی را بررسی کنیم یا استعداد بیابانی شدن یا پتانسیل بیابانزایی را؟ اتفاقاً عنوان مدل IMDPA بسیار هوشمندانه انتخاب شده و در برگیرنده حوزه عملکرد آن است: "مدل ایرانی ارزیابی پتانسیل بیابانزایی". بنابراین حوزه عملکرد این مدل بررسی پتانسیل یا به عبارت بهتر توان بالقوه بیابانی شدن است.

با کمال تعجب در برخی از گزارش‌ها و نقشه‌های ارائه شده توسط این مدل، از عبارت "شدت" یا "وضعیت" یا حتی "توان بالفعل" بیابانزایی استفاده شده است (۵). حتی این اشتباه در مطالعات انجام گرفته براساس مدل مدالوس که خود به نوعی پتانسیل بیابانزایی (مناطق حساس به بیابانزایی) را نشان می‌دهد، هم دیده می‌شود (۶). در صورتی که منظور از واژه شدت، نرخ یا سرعت است، به غیر از یکسری شاخص‌ها که مستقیم سرعت بیابانزایی را نشان می‌دهند (مثل هدررفت خاک)، برای سایر شاخص‌ها باید وضعیت بیابان‌شدگی (در بحث وضعیت موجود بیابانزایی به نظر ما بهتر است به جای

توسط افراد آگاه و یا ارزیاب‌های قبلی، توجیه شوند. اما چه کنیم که تا خطای ناهمگنی واحدهای کاری کم شود؟ در چنین مطالعاتی اولین مرحله تفکیک ناحیه به چندضلعی‌های همگن است (۲۶، ۳۵، ۳۷ و ۵۱)، مطابق با یافته‌های این تحقیق در طول مطالعات بعدی اصلاً نباید به این واحدهای همگن دست زد و آنها را تغییر داد. برای آن‌که ارزیابی‌ها به صورت همگن انجام گیرد، باید نقاط ارزیابی یا به عبارت بهتر سایت‌های نمونه‌برداری را ثابت در نظر گرفت. بدین منظور لازم است در ابتدای مطالعه چنین محیط‌هایی یک پایگاه داده‌ای ایجاد کرد تا ارزیاب‌ها با مراجعه به این پایگاه، نقاط نمونه‌برداری قبلی، عکس‌های مربوطه و جاده‌های دسترسی به این نقاط ثابت نمونه‌برداری را دریافت کنند. با این کار مطمئن خواهیم بود، پایش دقیقاً در یک مکان انجام شده است. البته در صورتی که واحدهای همگن اولیه نمونه‌برداری به درستی انتخاب شده باشند، فرضیه اولیه همگن بودن تمامی منطقه درست خواهد بود و می‌توان به صورت تصادفی در هر قسمت از واحد کاری نمونه‌برداری را انجام داد ولی معمولاً در عمل فرض همگن بودن تمامی سطوح یک واحد کاری، نادرست است.

### حوزه عملکردی

اما باید مشخص کنیم با انجام چنین مدل‌هایی به چه نتایجی می‌توانیم برسیم و به چه نتایجی نخواهیم رسید؟ برای پاسخ به این سوال از سه مدل بین‌المللی مطالعه بیابانزایی، استفاده خواهیم نمود.

ابتدا سال ۱۹۸۳ و مدل فائو- یونپ: با مطالعه‌ای که ما داشتیم، همه مدل‌های بعدی بیابانزایی در تمامی سطوح ملی و بین‌المللی از این مدل ناشی شده‌اند. اما چه نکته‌ای در این مدل جالب توجه است؟ دو نکته بسیار تأمل برانگیز درباره این مدل وجود دارد: ۱. جنبه‌های مختلف بیابانزایی (Desertification Aspects)؛ ۲. تلفیق لایه‌های مختلف در آن.

هندسی این معیارهای هم‌وزن یک پتانسیل مطابق با واقعیت است. حال پرسش اینجاست که برای رفع این مشکل باید چه تغییری در مدل ایجاد کرد؟ با در نظر گرفتن مدل‌های مدالوس و فائو- یونپ می‌توان دو راه‌حل برای رفع این مشکل به‌کار برد: الف) با بررسی‌ای که گروه بر روی مدل مدالوس انجام داد، متوجه شدیم یک عامل مهم در ارائه نقشه نهایی نادیده گرفته شده است. در روش مدالوس برای آنکه کیفیت‌های چهار معیار اقلیم، پوشش گیاهی، خاک و مدیریت مشخص شود، در روبه‌روی علامت ESAI بر روی نقشه، علامت این معیارها همراه با درجه کمی آنها (۱ تا ۳ برای نشان دادن کمترین و بیشترین حساسیت) نوشته می‌شود (۲۰ و ۲۱). در شکل ۶ نمونه‌ای از علامت‌های به‌کار گرفته شده در نقشه نهایی ESAI، ارائه شده و در جدول ۶ حدود هرکدام از این نوع علائم مشخص گردیده است.

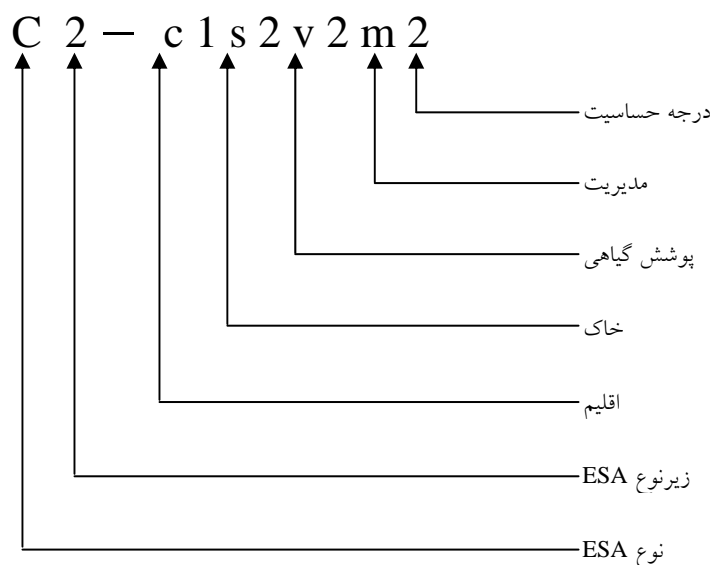
بنابراین کافی است تا مطابق شکل ۶ به جای نمایش تنها یک کیفیت یا کمیت از پتانسیل بیابان‌زایی یکسری علائم استفاده کنیم تا در فرآیند مدیریتی اولویت‌های کاری نیز مشخص شوند؛ ب) دقیقاً مشابه مدل مدالوس در مدل فائو- یونپ نیز برای نقشه نهایی هر جنبه از بیابان‌زایی، علائم مربوط به نوع و شدت هر فرآیند نمایش داده می‌شود (۱۳). در حقیقت در روش فائو- یونپ مشابه با فرآیند تهیه یک نقشه واحد کاری (مثلاً واحدهای همگن ژئومورفولوژیکی) (۱) برای تهیه نقشه نهایی تنها اقدام به رویهم‌گذاری (Overlay) نقشه هر فرآیند بیابان‌زایی می‌شود. در اصل در نقشه نهایی، چندضلعی‌های به وجود می‌آید که به‌جای یک عدد، در آن شدت یا وضعیت هر فرآیند مشخص شده است. هرچند با این روش نقشه نهایی دارای چندضلعی‌های زیادی خواهد بود، ولی با مشاهده راهنمای این نقشه به راحتی می‌توان یک منطقه با ویژگی‌های خاص را برای انجام یک کار مدیریتی انتخاب نمود. با توجه به ماهیت نزدیک مدل IMDPA به مدالوس، راه‌حل اول مناسب این مدل خواهد بود که پیشنهاد می‌شود حتماً در مطالعات مشابه از آن استفاده شود.

واژه "بیابان‌زایی" از واژه "تخریب‌یافتگی" و "بیابان‌شدگی" که معادل واژه‌های Desertified و Degradated هستند و وضعیت حال را نشان می‌دهند، استفاده نمود و برای جنبه بیابان‌زایی "سرعت" می‌توان از همان واژه "بیابان‌زایی" استفاده کرد. یا تخریب‌یافتگی در دو مقطع زمانی را به‌دست آورد و سپس به‌سرعت و شدت رسید. اگر منظور از واژه شدت، درجه بیابان‌شدگی یا تخریب‌یافتگی است، باید وضعیت موجود بررسی شود که خود مدل در عنوان خود، حوزه عملکرد متفاوتی را بیان نموده است. مثلاً در مورد معیار خاک، هرگز شاخص‌های عمق، بافت و سنگریزه، را نمی‌توان شاخص مناسبی برای بررسی وضعیت بیابان‌زایی دانست. فقط شاخص شوری در این زمینه قابل بررسی می‌باشد. در مورد فرسایش بادی و آبی برای بررسی وضعیت فقط کافی است، مطابق دستورالعمل لادا (۲۷ و ۲۸) به‌وسیله جداول خاصی وضعیت هر نوع فرسایش را مشخص نمود. در این میان فقط معیار پوشش گیاهی به همین شکل نیز می‌تواند وضعیت بیابان‌زایی را نشان دهد.

باید توجه نمود که برخی از معیارهای مدل IMDPA مثل زمین‌شناسی، اقتصادی- اجتماعی، کشاورزی و تکنولوژی و توسعه شهری و غیره، صرفاً پتانسیل بیابان‌زایی را نشان می‌دهند و برخی دیگر می‌توانند در بررسی وضعیت و گاهی شدت کاربرد داشته باشند (مثل معیارهای آب، پوشش گیاهی و فرسایش).

نکته بعدی در مدل IMDPA، تلفیق معیارها با یکدیگر است. مطابق با دستورالعمل مدل مدالوس، در اینجا نیز میانگین هندسی کلیه معیارها به‌عنوان پتانسیل نهایی بیابان‌زایی در نظر گرفته می‌شود (۳). مسأله اساسی در این مورد آنست که نقشه نهایی که تنها پتانسیل نهایی بیابان‌زایی در آن قرار گرفته باشد، قابل استفاده برای یک فرآیند مدیریتی نخواهد بود زیرا اولویت‌های مربوط به هر معیار در آن مشخص نیست. حتی با قطعیت هم نمی‌توان گفت که تمامی معیارهای مورد استفاده در عمل نیز هم‌وزن هستند و پتانسیل نهایی حاصل از میانگین





شکل ۶. علامت‌های مورد استفاده در نقشه‌های ESA به بیابانزایی

جدول ۶. انواع ESAها در محدوده‌های ESAI

نوع	زیرنوع	محدوده ESAI
Critical	C3	>1.53
«	C2	1.42-1.53
«	C1	1.38-1.41
Fragile	F3	1.33-1.37
«	F2	1.27-1.32
«	F1	1.23-1.26
Potential	P	1.17-1.22
Non affected	N	<1.17

### نظرات و پیشنهادات

می‌گذارد و باعث می‌شود جامعه از خود واکنش نشان دهد. بنابراین می‌توان کلیه معیارها و شاخص‌های بررسی‌کننده پدیده بیابانزایی را در یکی از این بخش‌ها قرار داد. حال خود مبحث "وضعیت" اشاره شده در این چارچوب جدید لادا را می‌توان مطابق با مدل فائو- یونپ به جنبه‌های شدت یا سرعت بیابانزایی و درجه یا وضعیت بیابان‌شدگی تفکیک نمود. بنابراین در یک مطالعه بیابانزایی ابتدا باید مشخص نمود کدام جنبه از بیابانزایی مدنظر است: نیروی محرکه، فشار، وضعیت (شامل شدت و درجه بیابانزایی)، اثر و پاسخ یا واکنش؛ سپس برای شناخت آن جنبه، معیارها و سپس شاخص‌هایی انتخاب نمود و سپس آنها را در قالب یک مدل به‌کار گرفت یا مدلی برای شناخت آن جنبه ساخت.

در بخش نتیجه‌گیری به جنبه‌های مختلف بیابانزایی اشاره نمودیم. باید توجه داشته باشیم مدل جدیدتری که جنبه‌های مختلف بیابانزایی را چارچوب‌بندی نموده است، مدل DPSIR ارائه شده از طرف لاداست (۲۷ و ۲۸). در حقیقت معیارهایی که برای سنجش پدیده بیابانزایی به‌کار گرفته می‌شوند در یک یا چند دسته از جنبه‌های بیابانزایی نیروی محرکه (Driving Force)، فشار (Pressure)، وضعیت (State)، اثر (Impact) و پاسخ یا واکنش (Response) قرار خواهند گرفت. در حقیقت نیروهای محرک روی محیط فشار وارد می‌سازند که این فشار باعث تغییر وضعیت یا شرایط محیط خواهد شد. این تغییر وضعیت بر ویژگی‌های بیوفیزیکی و اقتصادی- اجتماعی اثر

## نتیجه گیری

پیشنهاد ایجاد یک مدل ایرانی ارزیابی وضعیت بیابانزایی  
(Iranian Model of Desertification Status) (IMDSA)  
(Assessment)

باید اشاره کنیم، در مدیریت پدیده بیابانزایی آنچه درجه اهمیت بیشتری دارد، وضعیت فعلی و درجه تخریب یافتگی واقعی است (۲۹، ۴۹ و ۵۲)، پس از تعیین وضعیت موجود و مدیریت بحران می‌توانیم به بحث پتانسیل بیابانزایی بپردازیم. زیرا ممکن است هرگز این پتانسیل‌ها به فعل نرسند و در حقیقت وضعیت موجود، به فعل درآمده پتانسیل است. بنابراین نیاز است یک مدل ملی برای بررسی وضعیت موجود داشته باشیم. در اینجا نام این مدل را: "مدل ایرانی ارزیابی وضعیت بیابانزایی" یا به عبارت دیگر IMDSA خواهیم گذاشت. چون این مدل، از میان جنبه‌های مختلف بیابانزایی، وضعیت یا شرایط تخریب‌یافتگی را بررسی خواهد کرد، مطابق با آخرین دستورالعمل‌های بررسی بیابانزایی (۲۷ و ۲۸) فقط می‌توانیم برای آن سه معیار در نظر بگیریم: آب، خاک و پوشش گیاهی. در صورتی که تمایل داشته باشیم، می‌توانیم از معیار خاک، معیار فرسایش را جدا در نظر بگیریم یا در خود معیار خاک، بحث فرسایش را نیز مطالعه کنیم. حال برای بررسی تخریب این سه معیار، باید به دنبال شاخص یا شاخص‌هایی بگردیم که تخریب آب، تخریب پوشش گیاهی و تخریب خاک را نشان دهند.

برای این کار نیاز است پایگاه داده‌ای خاصی ایجاد شود که در آن هر شاخص همراه با روش اندازه‌گیری و حدود طبقه‌بندی مشخص شود و در این پایگاه به ارزیابی پیشنهاد شود، چه موقع بهتر است از این شاخص استفاده شود و چه موقع نباید آنرا به کار برد. اما برای شروع کار برای آن که بتوانیم شاخص‌هایی برای مدل ایرانی خود ارائه نماییم، از آخرین دستورالعمل بررسی وضعیت بیابانزایی که توسط لادا ارائه شده است استفاده می‌نماییم (۲۷ و ۲۸). در منطقه مورد مطالعه، وضعیت بیابانزایی مطابق با دستورالعمل لادا مورد ارزیابی قرار گرفته است که نتایج این مطالعات در قالب دو مطالعه با عناوین

"ارزیابی کارکرد مدل لادا در بررسی تخریب پوشش گیاهی" و "ارزیابی تخریب خاک در منطقه شرق اصفهان با استفاده از روش لادا" در مجله مرتع و آبخیزداری در سال‌های ۹۳ و ۹۴ به چاپ خواهد رسید. اما در اینجا نیاز است تا با اشاره به برخی از نتایج به‌کارگیری مدل لادا در شرق اصفهان، شاخص‌هایی برای مدل ایرانی خود برگزینیم. در حقیقت قصد داریم براساس نتایجی که از مدل لادا و IMDPA به‌دست آوردیم، چند شاخص برای بررسی وضعیت تخریب خاک (معیار خاک) و چند شاخص برای بررسی وضعیت تخریب پوشش گیاهی (معیار پوشش گیاهی) پیشنهاد کنیم.

اما به جای صرفاً پیشنهاد دادن شاخص‌های بررسی‌کننده هر معیار ترجیح می‌دهیم، آمار به‌دست آمده در مطالعه مدل لادا را که در دو مقاله قبلی این تحقیق به آنها اشاره‌ای نشده است را نیز ارائه نماییم. در جداول ۷ تا ۱۰ برای مشخص شدن دلیل انتخاب هر شاخص، آنالیز آماری تأثیر هر شاخص در معیار تخریب مدل لادا را ارائه نموده‌ایم.

مطابق با اعداد جدول ۸ ترتیب تأثیر شاخص‌ها در پیش‌بینی تخریب خاک در مدل Stepwise آماری بدین ترتیب است: EC طبقه‌بندی شده، ریشه‌های گیاهان، نفوذپذیری، توزیع اندازه خاکدانه، کربن آلی ناپایدار، سخت لایه ناشی از کشت و دیگر سخت لایه‌ها، میلی‌مول پرمنگنات پتاسیم باقی‌مانده، متلاشی شدن و شکسته شدن خاکدانه‌ها، سله و پوسته‌های منفی خاک، سله و پوسته‌های مثبت خاک.

مطابق با اعداد جدول ۷، ترتیب ضرایب همبستگی برای شاخص‌های مختلف تخریب خاک بدین ترتیب است: EC طبقه‌بندی شده، سخت لایه ناشی از کشت، توزیع اندازه خاکدانه‌ها، ریشه‌ها، نفوذپذیری

اما در مورد تخریب پوشش گیاهی مطابق با اعداد جدول ۱۰ ترتیب تأثیر شاخص‌ها در پیش‌بینی تخریب پوشش گیاهی در مدل Stepwise آماری بدین ترتیب است: بهره‌برداری، لکه‌های بدون پوشش، گونه‌هایی که با فشار چرا افزایش پیدا می‌کنند، کاهش بايومس، نسبت گونه‌های مفید، نسبت گونه‌های

جدول ۷. ضرایب همبستگی پیرسون بین امتیاز تخریب خاک و شاخص‌های به کارگرفته شده

EC طبقه‌بندی شده	EC	کربن آلی ناپایدار	نفوذپذیری	pH	مناشئی شدن و شکسته شدن	ریشه‌ها	موجودات خاکزی	پوسته و سله خاک منفی	پوسته و سله خاک مثبت	توزیع اندازه خاکدانه‌ها	سخت لایه ناشی از کشت و دیگر سخت لایه‌ها	امتیاز نهایی معیار خاک	همبستگی پیرسون
	.586(**)	-.475(**)	.262(**)	.404(**)	-.091	.368(**)	.494(**)	-.018	-.199(*)	.212(**)	.521(**)	.534(**)	1
	.000	.000	.001	.000	.264	.000	.000	.826	.014	.009	.000	.000	سطح معنی‌داری دو طرفه
	152	152	152	152	152	152	152	152	152	152	152	152	تعداد

\*\* همبستگی در سطح یک درصد (دو طرفه) معنی‌دار است.

\* همبستگی در سطح پنج درصد (دو طرفه) معنی‌دار است.

شاخص بهره‌برداری نیز عیناً در مدل لادا وجود دارد و شاخص کاهش بایومس نیز به نوعی مربوط به این شاخص می‌باشد. پس تنها شاخصی که در مدل لادا وجود ندارد، شاخص تجدید پوشش گیاهی است. بنابراین با توجه به نتایج حاصله در این تحقیق، می‌توانیم جمعاً یازده شاخص برای معیار تخریب پوشش گیاهی در مدل IMDSA در نظر بگیریم: (۱) بهره‌برداری (بوته‌کنی، جنگل‌زدایی)؛ (۲) نسبت گونه‌های مفید؛ (۳) نسبت گونه‌های دائمی؛ (۴) قدرت پوشش گیاهی؛ (۵) نسبت هر طبقه؛ (۶) کاهش بایومس؛ (۷) خسارت آفات؛ (۸) گونه‌های مهاجم؛ (۹) کل خاک لخت؛ (۱۰) گیاهان سمی و (۱۱) تجدید پوشش گیاهی.

در مورد شاخص تجدید پوشش گیاهی، می‌توان به راحتی جدول ۱۱ را به آخرین ردیف جدول لادا با ده شاخص مورد اشاره اضافه نمود:

کاهش تعداد شاخص‌ها به سه عدد یا حداکثر چهار عدد (مانند شرطی که در مدل IMDPA گذاشته شده است)، توصیه نمی‌شود، ولی در صورت تقلیل شاخص‌ها، چون مدل نهایی فرق می‌کند، نمی‌توان سه شاخص پیشنهادی اول از ۱۱ شاخص پیشنهادی، را انتخاب کرد. در این حالت مطابق با شکل‌های ۷ و ۸، به ترتیب سه شاخص یا چهار شاخص انتخابی برای مدل

دائمی، سطح تاج پوشش گیاهی و مطابق با اعداد جدول ۹، ترتیب ضرایب همبستگی برای شاخص‌های مختلف تخریب پوشش بدین ترتیب است: بهره‌برداری، خسارت در اثر بیماری، کاهش بایومس، نسبت گونه‌های مفید، لکه‌های بدون پوشش و مواد آلی.

بنابراین در صورتی که بخواهیم در مدل ایرانی خود از مدل لادا الگوبرداری کنیم، می‌توانیم با توجه به اطلاعات جداول ۷ تا ۱۰، نسبت به انتخاب شاخص‌های مورد نیاز خود اقدام کنیم.

اما در صورتی که بخواهیم در مدل ایرانی پیشنهادی خود از مدل IMDPA الگوبرداری کنیم، باید مدلی از مجموعه داده‌های روش لادا استخراج کنیم که با سه یا حداکثر چهار شاخص برای هر معیار، اطلاعات مورد نظر را برای ما تأمین کند، در این صورت:

#### معیار تخریب پوشش گیاهی

در مدل IMDPA از میان سه شاخص وضعیت، بهره‌برداری و تجدید پوشش گیاهی دو شاخص وضعیت و بهره‌برداری در مدل لادا نیز وجود دارند (در مدل لادا، شاخص وضعیت مجموعه‌ای از چند زیرشاخص مانند کل خاک لخت، قدرت پوشش، گونه‌های سمی، مهاجم و غیره را در بر می‌گیرد و

جدول ۸. مدل‌های ساخته شده برای پیش‌بینی تخریب خاک همراه با پارامترهای آماری آنها

مدل	R	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> تعدیل شده	خطای استاندارد برآوردها
1	.586(a)	.344	.339	.461
2	.732(b)	.535	.529	.389
3	.785(c)	.617	.609	.355
4	.826(d)	.682	.674	.324
5	.844(e)	.712	.702	.310
6	.855(f)	.731	.719	.301
7	.862(g)	.743	.730	.295
8	.867(h)	.751	.737	.291
9	.871(i)	.759	.744	.287
10	.876(j)	.767	.751	.283
11	.881(k)	.776	.758	.279

a: شاخص‌های به‌کار گرفته شده در مدل: عدد ثابت، EC طبقه‌بندی شده b: شاخص‌های به‌کار گرفته شده در مدل: عدد ثابت، EC طبقه‌بندی شده، ریشه‌های گیاهان c: شاخص‌های به‌کار گرفته شده در مدل: عدد ثابت، EC طبقه‌بندی شده، ریشه‌های گیاهان، نفوذپذیری d: شاخص‌های به‌کار گرفته شده در مدل: عدد ثابت، EC طبقه‌بندی شده، ریشه‌های گیاهان، نفوذپذیری، توزیع اندازه خاکدانه e: شاخص‌های به‌کار گرفته شده در مدل: عدد ثابت، EC طبقه‌بندی شده، ریشه‌های گیاهان، نفوذپذیری، توزیع اندازه خاکدانه، کربن آلی ناپایدار f: شاخص‌های به‌کار گرفته شده در مدل: عدد ثابت، EC طبقه‌بندی شده، ریشه‌های گیاهان، نفوذپذیری، توزیع اندازه خاکدانه، کربن آلی ناپایدار، سخت لایه ناشی از کشت و دیگر سخت لایه‌ها g: شاخص‌های به‌کار گرفته شده در مدل: عدد ثابت، EC طبقه‌بندی شده، ریشه‌های گیاهان، نفوذپذیری، توزیع اندازه خاکدانه، کربن آلی ناپایدار، سخت لایه ناشی از کشت و دیگر سخت لایه‌ها، میلی‌مول پرمنگنات پتاسیم باقی‌مانده h: شاخص‌های به‌کار گرفته شده در مدل: عدد ثابت، EC طبقه‌بندی شده، ریشه‌های گیاهان، نفوذپذیری، توزیع اندازه خاکدانه، کربن آلی ناپایدار، سخت لایه ناشی از کشت و دیگر سخت لایه‌ها، میلی‌مول پرمنگنات پتاسیم باقی‌مانده، متلاشی شدن و شکسته شدن خاکدانه‌ها i: شاخص‌های به‌کار گرفته شده در مدل: عدد ثابت، EC طبقه‌بندی شده، ریشه‌های گیاهان، نفوذپذیری، توزیع اندازه خاکدانه، کربن آلی ناپایدار، سخت لایه ناشی از کشت و دیگر سخت لایه‌ها، میلی‌مول پرمنگنات پتاسیم باقی‌مانده، متلاشی شدن و شکسته شدن خاکدانه‌ها سل و پوسته‌های منفی خاک. z: شاخص‌های به‌کار گرفته شده در مدل: عدد ثابت، EC طبقه‌بندی شده، ریشه‌های گیاهان، نفوذپذیری، توزیع اندازه خاکدانه، کربن آلی ناپایدار، سخت لایه ناشی از کشت و دیگر سخت لایه‌ها، میلی‌مول پرمنگنات پتاسیم باقی‌مانده، متلاشی شدن و شکسته شدن خاکدانه‌ها، سل و پوسته‌های منفی خاک، کربن مثبت خاک k: شاخص‌های به‌کار گرفته شده در مدل: عدد ثابت، EC طبقه‌بندی شده، ریشه‌های گیاهان، نفوذپذیری، توزیع اندازه خاکدانه، کربن آلی ناپایدار، سخت لایه ناشی از کشت و دیگر سخت لایه‌ها، میلی‌مول پرمنگنات پتاسیم باقی‌مانده، متلاشی شدن و شکسته شدن خاکدانه‌ها، سل و پوسته‌های منفی خاک، pH

لازم به ذکر است در صورتی‌که قرار بود ما، با توجه به تجربیات این پژوهش، سه یا چهار شاخص برای مدل ایرانی خودمان انتخاب کنیم، قطعاً نظرم‌ان روی هر سه یا چهار شاخص ارائه شده در شکل‌های ۷ و ۸ که توسط مدل‌سازی پیشنهاد شده‌اند، مثبت بود. اساساً گونه‌های مهاجم در کلیه سایت‌های مورد مطالعه ما، وضعیت تخریب پوشش را به خوبی نشان می‌دادند و براساس شدت تخریب این گونه‌ها نیز تغییر می‌نمودند. کاهش بایومس، نتیجه فعالیت‌های بهره‌برداری، خسارت آفات و

IMDSA همراه با اهمیت آنها در مدل (که داخل پرانتز نگارش شده است) بدین صورت خواهند بود: الف) مدل سه شاخصی معیار تخریب پوشش IMDSA: ۱) گونه‌های مهاجم و علف هرز (۰/۶۷)؛ ۲) لکه‌های بدون پوشش (۰/۲۱) و ۳) کاهش بایومس (۰/۱۲)؛ ب) مدل چهار شاخصی معیار تخریب پوشش IMDSA: ۱) گونه‌های مهاجم و علف هرز (۰/۶۲)؛ ۲) کاهش بایومس (۰/۱۴)؛ ۳) لکه‌های بدون پوشش (۰/۱۴) و ۴) نسبت گونه‌های مفید (۰/۱۰).

جدول ۹. ضرایب همبستگی پیرسون بین امتیاز تخریب پوشش گیاهی و شاخص‌های به‌کارگرفته شده

شاخص	همبستگی پیرسون	معنی‌داری دو طرفه	تعداد
کاهش بایومس	.659(**)	.000	135
بهره‌برداری	.757(**)	.000	135
تجاوز بوته‌ها	.365(**)	.000	135
خسارت در اثر بیماری	.728(**)	.000	135
خسارت آفات	.599(**)	.000	135
گونه مهاجم	.619(**)	.000	135
گیاهان سمی	.474(**)	.000	135
گونه‌های زیاد شونده	.645(**)	.000	135
گونه‌های کم شونده	.364(**)	.000	135
نسبت هر طبقه	.508(**)	.000	135
نسبت گونه‌های مفید	.653(**)	.000	135
نسبت گونه‌های دائمی	.568(**)	.000	135
قدرت پوشش	.497(**)	.000	135
ماده آلی	.642(**)	.000	135
لکه‌های بدون پوشش	.649(**)	.000	135
کل خاک لخت	.589(**)	.000	135
وضعیت پوشش	1		

\*\* همبستگی در سطح یک درصد (دو طرفه) معنی‌دار است.

\* همبستگی در سطح پنج درصد (دو طرفه) معنی‌دار است.

جدول ۱۰. مدل‌های ساخته شده برای پیش‌بینی تخریب پوشش گیاهی همراه با پارامترهای آماری آنها

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.756(a)	.572	.569	.589
2	.837(b)	.700	.696	.494
3	.911(c)	.830	.826	.374
4	.921(d)	.848	.844	.354
5	.928(e)	.861	.856	.340
6	.932(f)	.869	.863	.332
7	.936(g)	.876	.869	.324

a: شاخص‌های به‌کار گرفته شده در مدل: عدد ثابت، بهره‌برداری b: شاخص‌های به‌کار گرفته شده در مدل: عدد ثابت، بهره‌برداری، لکه‌های بدون پوشش c: شاخص‌های به‌کار گرفته شده در مدل: عدد ثابت، بهره‌برداری، لکه‌های بدون پوشش، گونه‌هایی که با فشار چرا افزایش پیدا می‌کنند. d: شاخص‌های به‌کار گرفته شده در مدل: عدد ثابت، بهره‌برداری، لکه‌های بدون پوشش، گونه‌هایی که با فشار چرا افزایش پیدا می‌کنند، کاهش بایومس e: شاخص‌های به‌کار گرفته شده در مدل: عدد ثابت، بهره‌برداری، لکه‌های بدون پوشش، گونه‌هایی که با فشار چرا افزایش پیدا می‌کنند، کاهش بایومس، نسبت گونه‌های مفید f: شاخص‌های به‌کار گرفته شده در مدل: عدد ثابت، بهره‌برداری، لکه‌های بدون پوشش، گونه‌هایی که با فشار چرا افزایش پیدا می‌کنند، کاهش بایومس، نسبت گونه‌های دائمی g: شاخص‌های به‌کار گرفته شده در مدل: عدد ثابت، بهره‌برداری، لکه‌های بدون پوشش، گونه‌هایی که با فشار چرا افزایش پیدا می‌کنند، کاهش بایومس، نسبت گونه‌های مفید، نسبت گونه‌های دائمی، سطح تاج پوشش گیاهی.

می‌توان نتیجه گرفت این سه یا چهار شاخص پیشنهادی برای مدل IMDSA، بسیار مناسب خواهند بود.

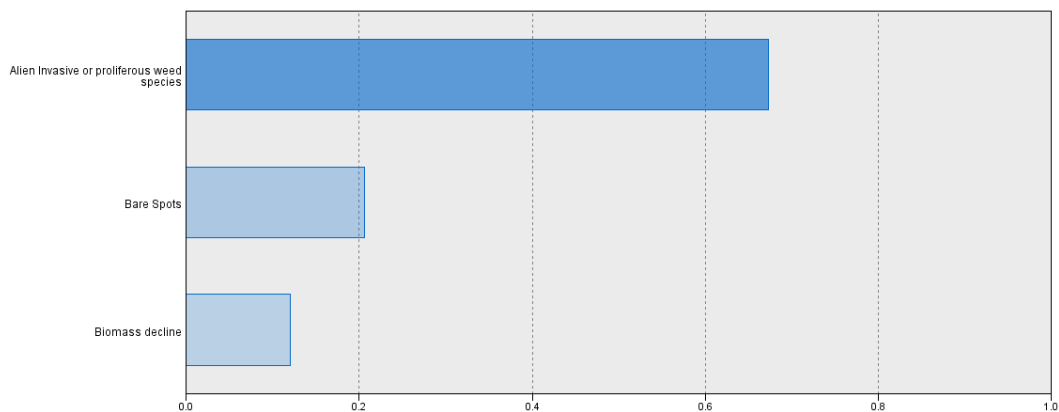
#### معیار تخریب خاک

معیار خاک در روش IMDPA بیشتر پتانسیل را نشان می‌دهد تا وضعیت را و تنها شاخص نشانه وضعیت در این مدل، هدایت

بیماری گیاهان است. شاخص لکه‌های بدون پوشش، نمادی از زادآوری نیز هست. در بسیاری از موارد علی‌رغم درصد تاج پوشش پایین در سایت مطالعاتی، امتیاز لکه‌های بدون پوشش به‌علت زادآوری، بالا به‌دست می‌آید. شاخص گونه‌های مفید نیز می‌تواند به تمایز دادن میزان تخریب در دو سایت با درصد تاج پوشش یکسان و گونه‌های مهاجم یکسان کمک کند. پس

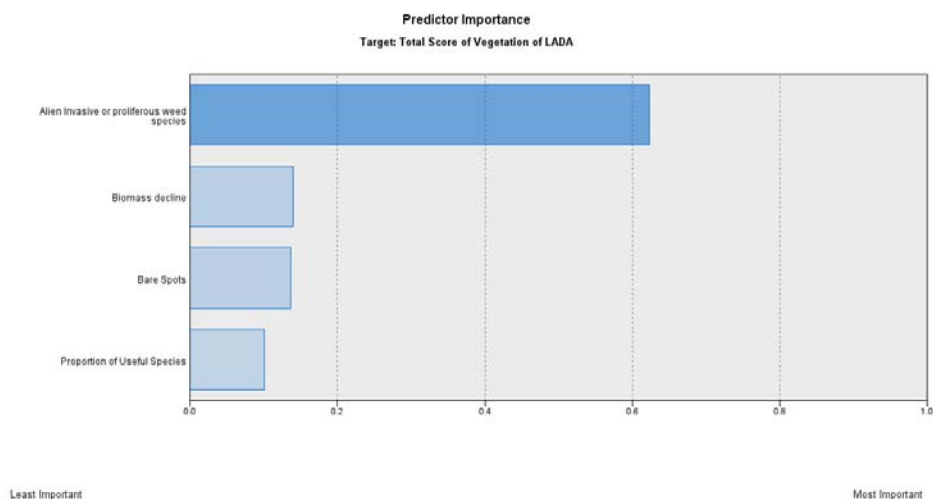
جدول ۱۱. تغییر امتیاز شاخص تجدید پوشش گیاهی برای استفاده در مدل IMDSA

وضعیت بیابان‌زایی				شاخص
بدترین کلاس (امتیاز: صفر)	فقیر (امتیاز: ۱)	متوسط (امتیاز: ۳)	بهترین کلاس (امتیاز: ۵)	
تجدید حیات به‌طور طبیعی - تجدید حیات با هزینه - تجدید حیات با هزینه زیاد - تجدید حیات پوشش گیاهی بسیار انجام می‌شود.	کم امکان‌پذیر است.	امکان‌پذیر است.	مشکل و یا غیرممکن و غیر قابل	شاخص تجدید پوشش گیاهی
زادآوری گیاهان کم‌شونده - زادآوری گیاهان کم‌شونده - زادآوری گیاهان کم‌شونده - اقتصادی	مناسب است.	کم شونده، کم است.	به ندرت دیده می‌شود.	
نیازی به عملیات اصلاحی عملیات احیاء پوشش عملیات اصلاحی انجام شده عملیات اصلاح و احیاء پوشش تاکنون نمی‌باشد.	تاکتون مؤثر بوده است.	نسبتاً موفق بوده است.	موفق نبوده است.	



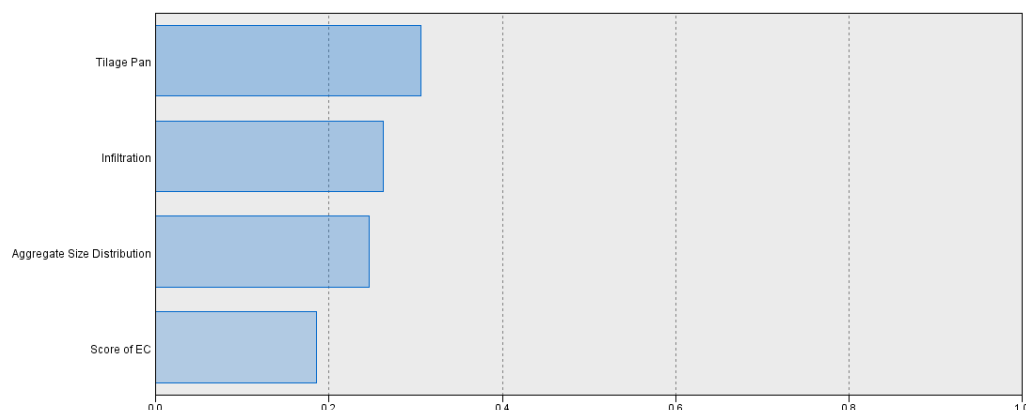
شکل ۷. نسبت اهمیت شاخص‌ها در مدل سه شاخصه معیار تخریب پوشش گیاهی (IMDSA)؛ شاخص‌ها به ترتیب از بالا:

گونه‌های مهاجم؛ لکه‌های بدون پوشش و کاهش بایومس (دقت کلی مدل ۸۹/۱٪)



شکل ۸. نسبت اهمیت شاخص‌ها در مدل چهار شاخصه معیار تخریب پوشش گیاهی (IMDSA)؛ شاخص‌ها به ترتیب از بالا: گونه‌های

مهاجم؛ کاهش بایومس؛ لکه‌های بدون پوشش؛ نسبت گونه‌های مفید (دقت کلی مدل ۹۳٪)



شکل ۹. نسبت اهمیت شاخص‌ها در مدل چهار شاخصه معیار تخریب خاک (IMDSA)؛ شاخص‌ها به ترتیب از بالا: سخت کفه (۰/۳۱)؛ نفوذپذیری (۰/۲۶)؛ توزیع اندازه خاکدانه‌ها (۰/۲۵)؛ امتیاز کلی شوری (۰/۱۹) (دقت کلی مدل ۰/۸۴/۳)

در مدل IMDSA پیشنهادی، وضعیت فرسایش نیز باید بررسی شود. چون مدل برای جنبه شدت و وضعیت بیابان‌زایی طراحی خواهد شد، تنها می‌توان به شدت و وضعیت حال حاضر فرسایش پرداخت. بنابراین مدل لادا، ایده آل برای این بررسی است. حسن مدل لادا جدا شدن وضعیت حال (فعال بودن یا نبودن) از روند فرسایش (وضعیت تا به امروز) است. تنها در صورت نیاز می‌توان توضیحات مربوط به بررسی فرسایش را در مدل IMDSA پیشنهادی مطابق با شرایط آب و هوایی ایران نمود (هر چند در مراحل این مطالعه، ما مشکلی با تفسیر توضیحات مرتبط با مبحث فرسایش و یا عدم تطابق ارزیابی‌های انجام شده با واقعیت نداشتیم).

### سپاسگزاری

بدین وسیله از تلاش‌های دلسوزانه جناب آقای مهندس پرویز براتی که ما را در انجام کلیه مراحل اندازه‌گیری‌های میدانی و نگارش این مقاله یاری رسانیدند، کمال تشکر و قدردانی را می‌نمایم و برای ایشان موفقیت روز افزون آرزو مندیم.

الکتریکی است که در روش لادا نیز به کار گرفته شده است. بنابراین ناگزیر به انتخاب شاخص‌های IMDSA از مدل لادا هستیم. در شکل ۹ اهمیت هر شاخص بررسی‌کننده تخریب خاک در مدل لادا ارائه شده است. در صورتی که بخواهیم برای مدل IMDSA پیشنهادی خود سه شاخص در نظر بگیریم، دقت مدل‌سازی به ۷۴ درصد کاهش خواهد یافت و در صورتی که بخواهیم برای این مدل چهار شاخص انتخاب کنیم دقت مدل ۸۴/۳٪ خواهد بود و در اینجا نیز مانند پوشش گیاهی، در هر دو حالت سه شاخص مشترک وجود دارد. بنابراین فقط نتیجه مدل‌سازی چهار شاخصه در شکل ۹ ارائه شده است.

دقیقاً مانند پوشش گیاهی در اینجا نیز، نظر ما با شاخص‌های انتخاب شده توسط مدل یکسان است. در برخی از موارد با وجود شور نبودن خاک وجود سخت لایه در یک ناحیه به شدت میزان پوشش گیاهی منطقه را تحت تأثیر قرار داده بود. شاخص نفوذپذیری، آب در دسترس گیاه را نشان می‌دهد. توزیع اندازه خاکدانه‌ها وضعیت ساختمان خاک و در نتیجه نفوذ ریشه را در کنترل دارد و شوری نیز عامل مهمی در دریافت آب از خاک می‌باشد.

### منابع مورد استفاده

۱. احمدی، ح. ۱۳۷۷. ژئومورفولوژی کاربردی، جلد ۲: فرسایش بادی، انتشارات دانشگاه تهران، ۵۷۰ ص.

۲. احمدی، ح.، م. اختصاصی، ع. گلکاریان و ا. ابریشم. ۱۳۸۵. ارزیابی و تهیه نقشه بیابان‌زایی با استفاده از مدل مدالوس تغییر یافته در منطقه فخرآباد- مهریز یزد. نشریه دانشکده منابع طبیعی ۵۹ (۳): ۵۱۹-۵۳۲.
۳. احمدی، ح. ۱۳۸۳. گزارش نهایی طرح تدوین شرح خدمات جامع و متدولوژی تعیین معیارها و شاخص‌های ارزیابی بیابان‌زایی در ایران. دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.
۴. احمدی، ح. ۱۳۸۳. گزارش نهایی طرح کالیبره نمودن مدل ارزیابی پتانسیل بیابان‌زایی در ایران. دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.
۵. اسفندیاری، م. م. و م. ع. حکیم‌زاده اردکانی. ۱۳۸۹. ارزیابی وضعیت بالفعل بیابان‌زایی، با تأکید بر تخریب منابع خاک براساس مدل IMDPA (مطالعه موردی: آباده طشک- فارس). فصلنامه علمی- پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران ۱۷ (۴): ۶۲۴-۶۳۱.
۶. سپهر، ع.، م. معیری، م. اختصاصی و س. آقاجانی. ۱۳۸۷. بررسی کاربرد روش مدالوس به منظور ارائه یک مدل منطقه‌ای برای ارزیابی و تهیه نقشه بیابان‌زایی. نشریه دانشکده منابع طبیعی ۶۱ (۳): ۵۳۷-۵۵۴.
7. Albaladejo, M., P. Chisci, G. Gabriels, V. Rubio and N. Stocking. 1988. Soil Degradation and Its Impact On Desertification: A Research Design For Mediterranean Environments. *Soil Technology* 1: 169-174.
8. Bakr, N., D. C. Weindorf, M. H. Bahnassy and M. M. El-Badawi. 2012. Multi-temporal assessment of land sensitivity to desertification in a fragile agro-ecosystem: Environmental indicators. *Ecological Indicators* 15 : 271-280.
9. Cammeraat, L. H. and A. C. Imeson. 1998. Deriving indicators of soil degradation from soil aggregation studies in southeastern Spain and southern France. *Geomorphology* 23: 307-321.
10. Cousins, S. A. O. and R. Lindborg. 2004. Assessing changes in plant distribution patterns—indicator species versus plant functional types. *Ecological Indicators* 4: 17-27.
11. De Paz, J. M., J. Sánchez and F. Visconti. 2006. Combined use of GIS and environmental indicators for assessment of chemical, physical and biological soil degradation in a Spanish Mediterranean region. *Journal of Environmental Management* 79: 150-162.
12. Dregne, H. E. 2002. Land Degradation in the Drylands. *Arid Land Research and Management* 16: 99-132.
13. FAO/UNEP. 1983. Provisional Methodology for Assessment and Mapping of Desertification. FAO Library, No. 240997, p.95.
14. Feoli, E., L. G. Vuerich and W. Zerihun. 2003. Evaluation of environmental degradation in northern Ethiopia using GIS to integrate vegetation, geomorphological, erosion and socio-economic factors. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 91: 313-325.
15. García, M., C. Oyonarte, L. Villagarcía, S. Contreras, F. Domingo and J. Puigdefábregas. 2008. Monitoring land degradation risk using ASTER data: The non-evaporative fraction as an indicator of ecosystem function. *Remote Sensing of Environment* 112: 3720-3736.
16. Hanafi, A. and S. Jauffret. Are long-term vegetation dynamics useful in monitoring and assessing desertification processes in the arid steppe, southern Tunisia. *Journal of Arid Environments* 72: 557-572.
17. Ibanez, J., J. M. Valderrama and J. Puigdefábregas, J. 2008, Assessing desertification risk using system stability condition analysis. *Ecological Modelling* 213: 180-190.
18. Jafari, R., M. M. Lewis and B. Ostendorf. 2008. An image-based diversity index for assessing land degradation in an arid environment in South Australia. *Journal of Arid Environments* 72: 1282-1293.
19. Jauffret, S. and M. Visser. 2003, Assigning life-history traits to plant species to better qualify arid land degradation in Presaharian Tunisia. *Journal of Arid Environments* 55: 1-28.
20. Kosmas C., A. Ferrara, H. Briasouli, A. Imeson. 1999. Methodology for mapping Environmentally Sensitive Areas (ESAs) to Desertification. PP: 31-47. In: Kosmas, C.; M. Kirkby, N. Geeson. (Eds.), The Medalus project: Mediterranean Desertification and Land Use. Manual on key indicators of desertification and mapping environmentally sensitive areas to desertification, European Union 18882.
21. Kosmas C., A. Ferrara, H. Briasouli and A. Imeson. 1999. Methodology for mapping Environmentally Sensitive Areas (ESAs) to Desertification. PP: 31-47. In: Kosmas, C., M. Kirkby and N. Geeson. (Eds.), The Medalus project: Mediterranean desertification and land use. Manual on key indicators of desertification and mapping environmentally sensitive areas to desertification, European Union 18882.
22. Ladisa, G., M. Todorovic and G. T. Liuzzi. 2011, A GIS-based approach for desertification risk assessment in Apulia region, SE Italy. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 49:103-113
23. Lavado Contador, J. F., S. Schnabel and A. Gómez Gutiérrez. 2009, An evaluation of the MEDALUS ESA index (environmental sensitivity to land degradation), from regional to plot scale. International Conference on



- Desertification (ICOD), University of Murcia, Spain.
24. Lillesand, T. M. 2002. Remote Sensing and image Interpretation. PP: 572-575. In: Kiefer, R. W. (Ed.), John Wiley & Sons Pub., Dehli, India.
  25. Liu, Y., J. Gao and Y., Yang. 2003, A Holistic Approach Towards Assessment Of Severity Of Land Degradation Along The Greatwall In Northern Shaanxi Province, CHINA. *Environmental Monitoring and Assessment* 82: 187–202.
  26. Ludwig, J. A., G. N. Bastin, V. H. Chewings, R.W. Eager and A.C. Liedloff. 2007. Leakiness: A new index for monitoring the health of arid and semiarid landscapes using remotely sensed vegetation cover and elevation data. *Ecological Indicators* 7: 442–454.
  27. McDonagh, J., S. Bunning, D. McGarry, H. Liniger and J. Rioux. 2009. Field Manual for Local Level Land Degradation Assessment in Drylands; LADA-L Part 1: Methodological Approach, Planning and Analysis, LADA, in: [http://www.fao.org/nr/lada/index.php?option=com\\_content&view=article&id=152&Itemid=168&lang=en](http://www.fao.org/nr/lada/index.php?option=com_content&view=article&id=152&Itemid=168&lang=en)
  28. McDonagh, J., S. Bunning, D. McGarry, H. Liniger and J. Rioux. 2009. Field Manual for Local Level Land Degradation Assessment in Drylands; LADA-L Part 2: Local Assessment: Tools and Methods for Fieldwork, LADA, In: [http://www.fao.org/nr/lada/index.php?option=com\\_content&view=article&id=152&Itemid=168&lang=en](http://www.fao.org/nr/lada/index.php?option=com_content&view=article&id=152&Itemid=168&lang=en)
  29. Millennium Ecosystem Assessment. 2005. Ecosystems and Human Well-being: Desertification Synthesis. Washington, DC, World Resources Institute.
  30. Nachtergaele, F. and M. Petri. 2010. Mapping Land Use Systems at global and regional scales for Land Degradation Assessment Analysis, LADA.
  31. Okin, G. S., A. J. Parsons, J. Wainwright, J.E. Herrick, B.T. Bestelmeyer, D.P.C. Peters and E.L. Fredrickson. 2009. Do changes in connectivity explain desertification? *BioScience* 59: 237-244.
  32. Oldeman, L.R. (Ed.) 1988. Guidelines for General Assessment of the Status of Human-Induced Soil Degradation. Global Assessment of Soil Degradation (GLASOD). Work. Pap. 88/04, ISRIC, Wageningen in: [http://www.isric.org/UK/About+ISRIC/Staff+Publications/ISRIC+reports+and+publications/Working+Papers+\(1989-1999\).htm](http://www.isric.org/UK/About+ISRIC/Staff+Publications/ISRIC+reports+and+publications/Working+Papers+(1989-1999).htm)
  33. Oldeman, L. R., R. T. A. Hakkeling and W.G. Sombroek. 1991. World map of the status of human-induced soil degradation: an explanatory note, Wageningen: International Soil Reference and Information Centre; Nairobi: United Nations Environment Programme, [www.isric.org/isric/webdocs/Docs/ExplanNote.pdf](http://www.isric.org/isric/webdocs/Docs/ExplanNote.pdf).
  34. Rasmy, M., A. Gad, H. Abdelsalam and M. Siwailam. 2010. A dynamic simulation model of desertification in Egypt, *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences* 13(2): 101-111
  35. Ravi, S., D. D. Breshears, T. E. Huxman and P. D'Odorico. 2010. Land degradation in drylands: Interactions among hydrologic–aeolian erosion and vegetation dynamics. *Geomorphology* 116: 236–245.
  36. Reynolds, J. F., D. M. S. S. Smith, B. L. Turner, M. Mortimore, S.P.J. Battetbury, T. E. Downing, H. Dowlatabadi, R.J. F. Fernández, J. E. Herrick, E. Huber-Sannwald, H. Jiang, R. Leemans, T. Lynam, F. Maestre, M. Ayarza and B. Walker. 2007. Global desertification: Building a science for dryland development. *Science* 316: 847–851.
  37. Salvati, L. and M. Zitti. 2009. Assessing the impact of ecological and economic factors on land degradation vulnerability through multiway analysis. *Ecological Indicators* 9: 357-363.
  38. Santini, M., G. Caccamo, A. Laurenti, S. Noce and R. Valentini. 2010. A multi-component GIS framework for desertification risk assessment by an integrated index. *Applied Geography* 30: 394–415.
  39. Sauer, T. and J. D. Ries. 2008. Vegetation cover and geomorphodynamics on abandoned fields in the Central Ebro Basin (Spain). *Geomorphology* 102: 267–277.
  40. Spooner, B. 1989. Desertification: the historical significance: on the association of desertification with drought, famine and poverty in Africa in the late twentieth century. PP. 111-162. In: R. Huss- Ashmore and S.H. Katz (Eds.), African Food Systems in Crisis. Part one: Microsystems. Gordon and Breach, New York.
  41. Starfield, A. M. and A. L. Bleloch. 1991. Building models for conservation and wildlife management. Burgess International Group.
  42. Stocking, M. and N. Murnaghan. 2001. A Handbook for the Field Assessment of Land Degradation. Earthscan Pub., USA.
  43. Thomas, D. S. G. 1997. Science and the desertification debate. *Journal of Arid Environments* 37: 599–608
  44. UN (United Nations). 1994. UN Earth Summit. Convention on Desertification. UN Conference in Environment and Development, Rio de Janeiro, Brazil.
  45. UNCCD (United Nations Convention to Combat Desertification). 2008. Desertification is the degradation of drylands.
  46. Veron, S. R., J. M. Paruelo and M. Oesterheld. 2006. Assessing desertification. *Journal of Arid Environments* 66: 751–763.

47. Wanga, Z., C. Duanc, L. Yuana, J. Roa, Z. Zhoua, J. Lia, C. Yanga and W. Xua. 2010. Assessment of the restoration of a degraded semi-humid evergreen broadleaf forest ecosystem by combined single-indicator and comprehensive model method. *Ecological Engineering* 36: 757–767
48. Wessels, K. J., S. D. Prince and I. Reshef. 2008. Mapping land degradation by comparison of vegetation production. *Journal of Arid Environments* 72: 1940– 1949.
49. Whitfield, S., M. S. Reed. 2012. Review: Participatory environmental assessment in drylands: Introducing a new approach. *Journal of Arid Environments* 77: 1-10.
50. Yang, X., K. Zhang and B. Ci. 2005. Desertification assessment in China: An overview. *Journal of Arid Environments* 63: 517–531.
51. Zerger, A., P. Gibbons, J. Seddon, S. Briggs and D. Freudenberger. 2009. A method for predicting native vegetation condition at regional scales. *Landscape and Urban Planning* 91: 65–77.
52. Zucca, C., R. Della Peruta, R., Salvia, S. Sommer, M. Cherlet. 2012. Towards a World Desertification Atlas. Relating and selecting indicators and data sets to represent complex issues. *Ecological Indicators* 15: 157–170.