

بررسی وضعیت بیابانزایی منطقه روداب سبزوار با استفاده از مدل MICD

اسماعیل سیلاخوری^۱

دانشجوی دکتری تخصصی بیابانزدایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

قربان وهاب‌زاده

دانشیار و عضو هیأت علمی گروه مرتع و آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۲/۰۶

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۱۱/۲۵

چکیده

از مهمترین چالش‌های بشر در قرن حاضر در ابعاد گوناگون بیابان‌زایی بوده که از آن تحت‌عنوان تخریب اراضی نه تنها در مناطق خشک، نیمه‌خشک و نیمه‌مرطوب بلکه در مناطق مختلف به‌ویژه کشورهای در حال توسعه یاد می‌شود. مناسب‌ترین روش برای بررسی عوامل مؤثر در تخریب اراضی و شدت بیابان‌زایی از نظر متخصصان استفاده از مدل‌های ارزیابی بیابان می‌باشد. روش‌های متعددی برای شناسایی مناطق حساس و تهیه نقشه خطر بیابان‌زایی وجود دارد که از میان آن‌ها روش MICD انتخاب و بر اساس آن نقشه وضعیت فعلی بیابان‌زایی برای منطقه روداب سبزوار با وسعت ۶۴۹۰۰/۱۴ هکتار تهیه شد. در این تحقیق ابتدا بر اساس تلفیق اطلاعات مربوط به نقشه‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی، تصاویر ماهواره‌ای و بازدیدهای صحرائی، منطقه مورد مطالعه به ۱۰ رخساره تفکیک گردید که هر رخساره ژئومورفولوژی به عنوان واحد اصلی ارزیابی بیابان‌زایی مد نظر گرفته شد؛ سپس در هر کدام از واحدهای همگن بیابانی، ارزش شاخص‌های تعریف شده تکمیل شد و در نهایت با جمع ارزش‌های مربوط به هر شاخص و بر پایه جداول مبنای شدت بیابان‌زایی تعیین و نقشه مربوط به وضعیت کنونی در هر یک از کاربری‌ها ترسیم شد. نتایج نشان داد که منطقه مورد بررسی از نظر وضعیت کنونی بیابان‌زایی، در دو کلاس متوسط و زیاد قرار گرفت. از کل منطقه مورد مطالعه؛ کلاس زیاد (IV) با مساحت ۱۰۹۰۰۳/۹۳ هکتار (۶۵/۷۷ درصد)، بیشترین سطح منطقه و کلاس کم (II) با مساحت ۱۰۲۲۵/۲۴ هکتار (۶/۱۷ درصد) کمترین سطح منطقه را پوشاند.

واژگان کلیدی: روداب سبزوار، بیابان‌زایی، مدل MICD

مقدمه

در لغت‌نامه‌های معتبر، بیابان به مناطق خشک، بدون پوشش و عاری از سکنه تعبیر شده است، منطقه‌ای که به دلیل کمبود آب، ادامه حیات با مشکل مواجه شده و تراکم جمعیت موجودات زنده بسیار کم است (بیرودیان، ۱۳۸۰، ص ۶). در فرهنگ ایران، واژه بیابان، به مناطق خشک و کم آب و علف اتلاق می‌شود، که در فارسی کهن؛ ویاپان، در فرهنگ عرب؛ صحرا و در زبان لاتین و انگلیسی معادل کلمه Desert آمده است (اختصاصی و سپهر، ۱۳۹۰، ص ۳). در کنفرانس توسعه پایدار (ریو+۲۰) سازمان ملل متحد در ژوئن ۲۰۱۲، دولت‌ها سندی تهیه کردند که در بند ۲۰۶ آن، اقدام فوری جهت معکوس کردن بیابان‌زایی به رسمیت شناخته شده است (چاسک^۱ و همکاران، ۲۰۱۴؛ سازمان ملل^۲، ۲۰۱۲). بیابان‌زایی در مناطق خشک رفاه بیش از ۲۵۰ میلیون نفر را تحت تأثیر خود قرار داده است (وسل^۳ و همکاران، ۲۰۱۲؛ آدگر^۴ و همکاران، ۲۰۱۲) و از مهمترین مسائل زیست محیطی زمان معاصر محسوب می‌شود (رینولدس^۵ و همکاران، ۲۰۰۷؛ وسل و همکاران، ۲۰۱۲). حدود ۴۵/۶ میلیون کیلومتر مربع 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 ۸۰۸×۱۰۸ مردم جهان را تحت تأثیر قرار داده است (ژاو^۶، ۲۰۱۲؛ ژو^۷ و چن^۸، ۱۹۹۴؛ ژو و همکاران، ۲۰۱۴). هجوم ماسه‌های روان، افت کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی، کاهش حاصلخیزی خاک و افزایش حساسیت اراضی به فرسایش، نشست زمین، شور شدن اراضی، افزایش سیل‌خیزی و سرانجام برهنگی زمین، قحطی، محو آبدی و عقب‌نشینی آثار حیات، پیامدهای چشمگیر پدیده بیابان‌زایی می‌باشد (فیض‌نیا و همکاران، ۱۳۸۰، ص ۲). توجه به مسائل بیابان‌زایی متناظر با فقر، گرسنگی، بیماری و نابرابری‌های فزاینده جوامع بشری است. افزایش روزافزون جمعیت جهان و به تبع آن افزایش آلودگی‌های زیست‌محیطی، در برابر مقادیر نسبتاً ثابت و غیر قابل افزایش منابع آب و خاک، سبب نگرانی کارشناسان شده است (محمدقاسمی، ۱۳۸۵، ص ۳). آثار پدیده بیابان‌زایی را می‌توان در هر منطقه به کمک ظهور پاره‌ای از فرآیندهای تخریبی در اکوسیستم دید و برای ارزیابی، آن‌ها را به کمک روش‌های چندی به صورت کیفی و کمی توصیف کرد (حسینی و همکاران، ۱۳۸۹، ص ۱۶۶). طبق تحقیقات انجام گرفته توسط فائو و یونپ در سال ۲۰۰۱، بیش از یکصد کشور جهان و بیش از ۳۳ درصد اراضی زمین، تحت تأثیر تخریب اراضی و بیابان‌زایی قرار دارند، در حدود ۷۳ درصد از مراتع در مناطق خشک در معرض این پدیده قرار دارند (زهتابیان و رفیعی امام، ۱۳۸۲، ص ۱۲۱). برای مقابله با بیابان‌زایی می‌توان با ارائه راهکارها و روش‌های مدیریتی مناسب، از شدت این پدیده کاست و از گسترش و پیشروی آن جلوگیری به عمل آورد. در این راه، شناخت فرآیندهای بیابان‌زایی و عوامل بوجود آورنده و تشدیدکننده آن و همچنین آگاهی از شدت و ضعف این فرآیندها و عوامل، مهم و ضروری است که باید مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد (زهتابیان، ۱۳۸۲، ص ۷۲۸).

¹ Chasek

² United Nations

³ Wessels

⁴ Adger

⁵ Reynolds

⁶ Zhao

⁷ Zhu

⁸ Chen

هدف از این بررسی تعیین وضعیت کنونی بیابانزایی منطقه روداب سبزوار با استفاده از مدل MICD^۱ می‌باشد، لذا برآورد وضعیت بیابانزایی در این منطقه به دلیل قرار گرفتن در غرب شهر سبزوار و دارا بودن چندین روستا امری ضروری به نظر می‌رسد. تا کنون بررسی‌های گسترده‌ای در رابطه با ارزیابی بیابانزایی انجام شده که برخی از آنها به شرح زیر است: احمدی و همکاران (۲۰۰۶) برای ارزیابی مناطق بیابانی شده ایران، مدل‌های ICD و MICD را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج بدست آمده به این صورت بود که: در روش ICD، از شدت بیابان‌زایی، منطقه فخرآباد-مهریز در کلاس‌های پایین و متوسط بیابان‌زایی قرار داشت. در این منطقه کلاس کم حدود ۸۲۳۵۱ هکتار (۹۱/۵۹ درصد) و کلاس متوسط حدود ۷۵۶۵ هکتار (۸/۴۱ درصد) از کل منطقه را شامل شد؛ و در روش MICD دارای چهار کلاس آرام، کم، متوسط و زیاد بود. کلاس آرام حدود ۳۳۳۲۷ هکتار (۳۷/۰۶ درصد) است، کلاس کم حدود ۸۳۴۶ هکتار (۹/۲۸ درصد)، کلاس متوسط حدود ۳۷۲۴۵ هکتار (۴۱/۴۲ درصد) و کلاس زیاد حدود ۱۰۹۹۸ هکتار (۱۲/۲۳ درصد) منطقه را تشکیل می‌داد. بر اساس نتایج این تحقیق و مقایسه آن با شرایطی که در منطقه فخرآباد-مهریز مشاهده شد، MICD روش بهتری برای ارزیابی بیابان‌زایی منطقه معرفی شد. حسینی و همکاران (۱۳۸۹) با استفاده از مدل MICD وضعیت بالفعل و بالقوه بیابان‌زایی را مورد بررسی قرار دادند. در نهایت منطقه مورد مطالعه به سه کلاس کم (۸/۷ درصد)، متوسط (۳۲/۳ درصد) و زیاد (۵۹ درصد) تقسیم شد. همچنین بیشترین ارزش شدت کنونی بیابان‌زایی، را تپه‌های بارخانی با ارزش ۲۲/۵ که از نظر کیفی با فرسایش خیلی زیاد مشخص شده است معرفی کردند. شهریاری و همکاران (۱۳۸۹) تخریب سرزمین در منطقه سیستان را با استفاده از مدل MICD مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که منطقه مورد مطالعه در سه کلاس متوسط (III)، زیاد (IV) و شدید (V) قرار دارد که به ترتیب ۵۹/۳، ۳۱/۲ و ۹/۵ درصد از مساحت کل منطقه را دربرمی‌گرفتند. هاشمی و همکاران (۱۳۹۰) وضعیت فعلی بیابان‌زایی منطقه زهک سیستان را با تأکید بر معیار فرسایش آبی با استفاده از تجزیه، تحلیل و تلفیق دو روش FAO-UNEP و MICD مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج بدست آمده نشان داد که ۵/۹ درصد منطقه در کلاس کم (I) و ۹۴/۱ درصد منطقه در کلاس متوسط (II) قرار دارد. طباطبائی‌زاده و همکاران (۱۳۸۹) پتانسیل شدت بیابان‌زایی را در دشت فخرآباد مهریز با استفاده از دو مدل ایرانی IMDPA و MICD با تأکید بر فرسایش بادی مقایسه کردند. نتایج حاصل از این ارزیابی نشان داد که در روش IMDPA، مساحتی بالغ بر ۳۴۷۳۲/۹۳ هکتار (۸۸/۳ درصد) از منطقه مطالعاتی در کلاس متوسط قرار گرفت و شاخص رخساره‌های فرسایشی بیشترین نقش را در بیابان‌زایی داشت. و در روش MICD نیز مساحتی برابر ۳۲۰۶۱/۵۸ هکتار (۸۱/۴ درصد) در کلاس متوسط قرار گرفت. در مجموع مدل MICD را برای مقیاس‌های بزرگ و مدل IMDPA را برای مقیاس‌های کوچکتر توانمند معرفی کردند.

روش بررسی

منطقه مورد مطالعه: با وسعت ۶۴۹۰۰/۱۴ هکتار در غرب شهرستان سبزوار قرار دارد. آبراهه اصلی آن رودخانه کال

^۱ Modified Iranian Classification of Desertification (MICD)

شور سبزوار با جهت شرق به غرب می‌باشد. میانگین بارندگی منطقه با توجه به آمار ۳۴ ساله ایستگاه سینوپتیک سبزوار حدود ۲۰۷/۴ میلیمتر است (شکل و جدول ۱).



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان خراسان رضوی و ایران

منبع: نویسندگان، ۱۳۹۶

جدول ۱- مشخصات ایستگاه هواشناسی منطقه و میانگین بارندگی سالانه

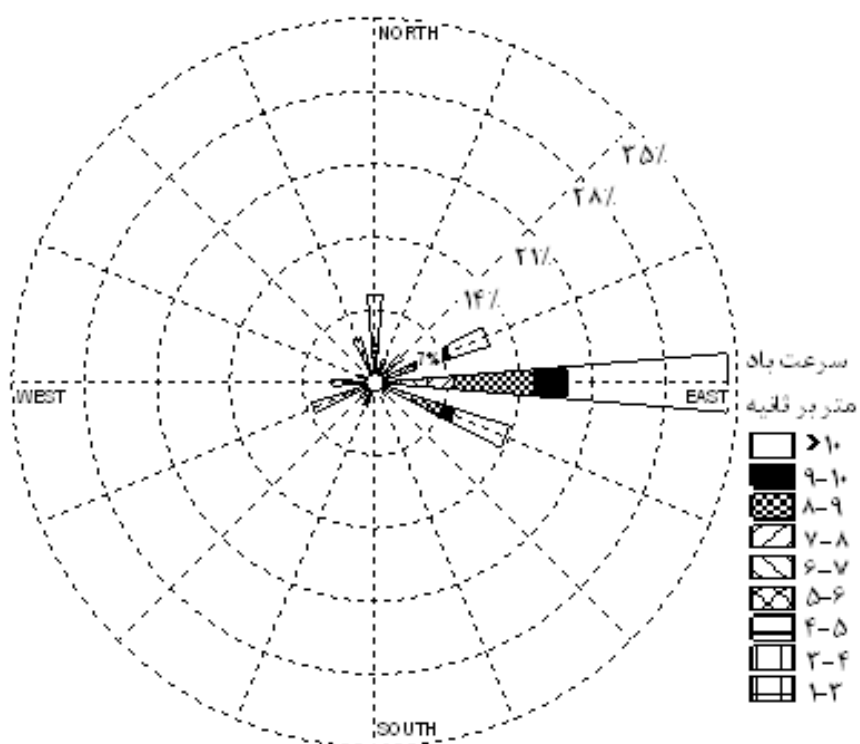
نام ایستگاه	نوع	مختصات UTM		ارتفاع (متر)	میانگین بارندگی (میلیمتر)
		طول	عرض		
سبزوار	سینوپتیک	۵۵۰۰۵۷/۲	۴۰۰۲۳۵۲	۹۷۷/۶	۲۰۷/۴

منبع: یافته‌های تحقیق، ۱۳۹۶

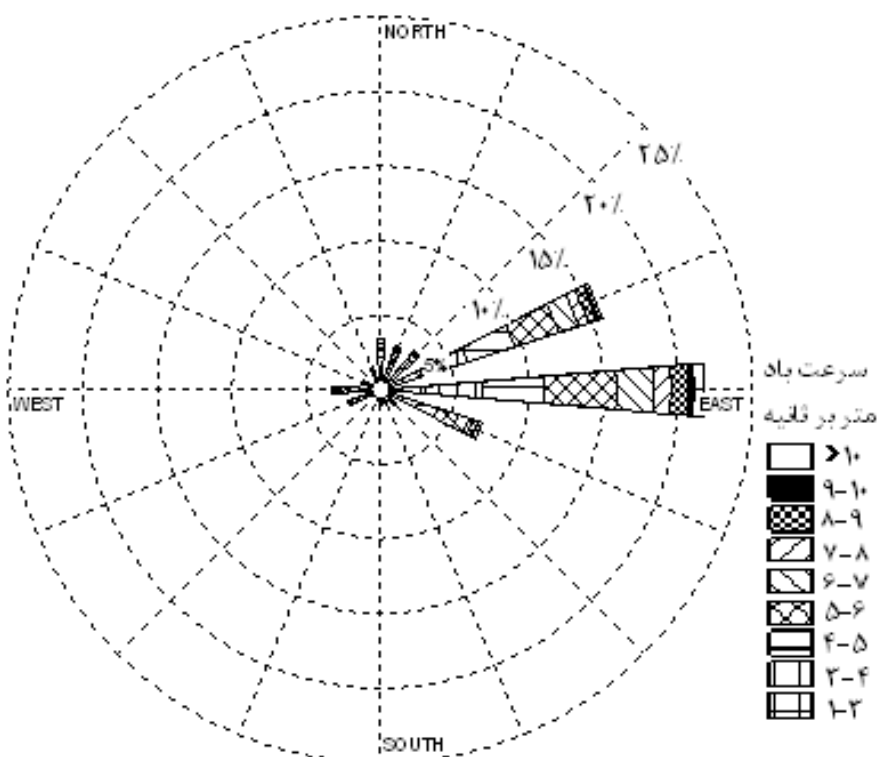
رژیم باد منطقه

باد عامل اصلی تخریب و فرسایش در مناطق بیابانی می‌باشد؛ بنابراین برای جلوگیری از اثرات تخریبی آن باید شناخت کافی از آن داشت. به طور کلی قسمت مرکزی ایران در مقیاس سینوپتیک، تحت تأثیر جریان‌هایی قرار دارد که توده‌های هوا را از مبداهای مختلف جغرافیایی به آنها هدایت می‌کند (طباطبایی زاده، ۱۳۸۹، ص ۲۳).

استفاده از گلباد روشی متداول جهت بررسی رژیم باد در یک منطقه است. در حقیقت گلباد مدلی گرافیکی است که فراوانی، سمت و سرعت باد را در منطقه مورد مطالعه به صورت سالانه، فصلی و یا حتی ماهانه نشان می‌دهد (مشهدی، ۱۳۸۶، ص ۴۵). شکل‌های ۲ و ۳ گلباد و گل‌غبار ایستگاه سینوپتیک سبزوار را که بر اساس داده‌های بادسنجی یک دوره آماری ۲۰ ساله از سال ۱۳۶۷ تا ۱۳۸۷ تهیه شده، نشان می‌دهد (امیدوار، ۱۳۹۰، صص ۹۳ تا ۹۶).



شکل ۲- گلباد سالیانه ایستگاه سینوپتیک سبزوار در دوره آماری ۱۳۶۷ تا ۱۳۸۷



شکل ۳- گل غبار سالیانه ایستگاه سینوپتیک سبزوار در دوره آماری ۱۳۶۷ تا ۱۳۸۷

(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۶)

در این تحقیق عامل‌های مؤثر در تشدید بیابانزایی منطقه روداب سبزوار به صورت گام به گام مورد بررسی قرار گرفته و در نهایت نقشه کنونی بیابانزایی منطقه مورد مطالعه بدست آمده است. مراحل این تحقیق به شرح زیر است:

تعیین و جداسازی واحدهای کاری

برای ارزیابی به روش MICD ابتدا با توجه به مطالعات پایه، نقشه کاربری اراضی و تصاویر ماهواره‌ای، واحدهای کاری به شرح زیر در سه دسته بزرگ پهنه‌بندی شدند:

- ۱- واحد اراضی کشاورزی (زرعی، باغی، دیم، آیش و بایر) (جدول ۱)
 - ۲- واحد اراضی مرتعی و جنگلی (مرتع، جنگل، بیشه‌زار و ...) (جدول ۲)
 - ۳- اراضی فاقد کاربری (اراضی کویری، تپه‌های ماسه‌ای، سطوح سنگفرشی، تپه‌ها، کوه‌های لخت و ...) (جدول ۳)
- برای تفکیک واحدهای کاری در این سه دسته بزرگ، از روشهای زیر استفاده شد:

تهیه نقشه شیب

با استفاده از نقشه رقومی توپوگرافی و نرم افزار ILWIS نقشه شیب منطقه تهیه شد. با توجه به دامنه تغییر شیب از کوهستان تا پلایا در ۴ طبقه تهیه گردید (شکل ۷) (احمدی و همکاران، ۱۳۸۳، ص ۲۴).

تهیه نقشه زمین شناسی

ورقه‌های زمین‌شناسی روداب سبزوار در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ که توسط سازمان زمین‌شناسی تهیه شده بود، رقومی گردید (شکل ۸).

استفاده از نقشه پوشش گیاهی

از نقشه پوشش گیاهی شهرستان سبزوار که بر اساس تفسیر تصویر ماهواره‌ای Landsat 5 در سیستم اطلاعات جغرافیایی و بازدیدهای میدانی در سال ۱۹۹۸ صورت گرفته، استفاده شد.

تفسیر بصری واحدهای فتومورفیک و تلفیق با واحدهای ژئومورفولوژی

با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵ و سایت Google Earth واحدهای فتومورفیک مورد تفسیر چشمی قرار گرفت و با واحدهای ژئومورفولوژی تلفیق گردید. از این تصاویر همچنین نقشه واحدهای کاربری منطقه؛ یعنی همان واحدهای ارزش‌دهی مدل MICD، استخراج گردید. برای این منظور ابتدا داده‌های ماهواره‌ای چند طیفی سنجنده TM (سال ۲۰۱۱ میلادی) که دارای ۶ باند طیفی و یک باند حرارتی (باند شش) بود در گذر ۱۶۱ و ردیف ۳۵ تهیه و وارد نرم‌افزار ILWIS گردید و تصاویر کاذب رنگی^۱ (ترکیب رنگی مرکب از باندهای TM 4، TM 7 و TM 2 برای شناسایی و جداسازی اراضی کشاورزی) ساخته شد (شکل‌های ۹ و ۱۰). در نهایت نقشه واحدهای کاری (رخساره‌های ژئومورفولوژی) منطقه از تلفیق لایه‌های شیب، زمین‌شناسی و کاربری اراضی و تفسیر تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵ بدست آمد (شکل ۱۱).

^۱ False Color Composite (FCC)

ارزش دهی به شاخص ها

بعد از اینکه نقشه واحدهای کاری منطقه مورد مطالعه تعیین شد، در هر کدام اقدام به ارزش دهی و ارزیابی بیابانزایی کردیم (جدول های ۱ تا ۳).

از آنجا که در روش یاد شده شمار شاخص ها در کاربری های مختلف یکسان نبود، پیش از آغاز ارزیابی وضعیت بیابانزایی در منطقه مورد بررسی، شمار شاخص ها در همه کاربری ها یکسان و همسنگ شد. بدین صورت که در جدول مربوط به ارزیابی وضعیت بیابانزایی اراضی بدون کاربری (جدول ۳)، شاخص بافت خاک اضافه شد و در جدول مربوط به ارزیابی وضعیت بیابانزایی در اراضی با کاربری جنگل و مرتع (جدول ۲)، شاخص تراکم پوشش گیاهی مؤثر در سطح خاک و تراکم سنگریزه (بزرگ تر از ۲ میلیمتر) در سطح خاک در یک گروه قرار گرفتند (حسینی و همکاران، ۱۳۸۹، ص ۱۶۷).

برای ارزش دهی به شاخص وزش بادهای با سرعت بیش از سرعت آستانه (۶ متر بر ثانیه در ارتفاع ۱۰ متری) از اطلاعات ایستگاه سینوپتیک سبزوار در طی دوره آماری بیست ساله از سال ۱۳۶۷ تا ۱۳۸۷ استفاده شد.

جدول ۱- شاخص های ارزیابی وضعیت فعلی بیابانزایی در اراضی با کاربری کشاورزی

ردیف	نوع شاخص	زیرشاخص و دامنه ارزش		
		کم (۰-۱)	متوسط (۱-۲)	شدید (۲-۳)
۱	الگوهای کشت در محدوده اراضی تحت کشاورزی	کلیه اراضی کشاورزی به صورت باغات و یا کشت گونه های دائمی، بدون آیش زراعی	بیش از ۲۰ درصد اراضی منطقه تحت زراعت اراضی باغی فی مابین زراعی	بیش از ۵۰ درصد زراعت آبی و دیم جدا و دور از باغی
۲	وضعیت بادشکن در اطراف مزارع	گونه های درختی عمود بر بادهای فرساینده و یا مزرعه دارای بادشکن مناسب بیش از ۵ درصد مزارع، اختصاص به بادشکن دارد.	گونه های درختی موازی به مسیر باد، و یا بخشی از مزرعه فاقد بادشکن درختی	بیش از ۵۰ درصد مزارع مورد بررسی فاقد بادشکن مناسب و یا وسعت بادشکن به کل مزارع کمتر از ۱ درصد
۳	مدیریت خاک و زمین	شخم عمود بر جهت باد، ردیف های جوی و پشته عمود بر جهت باد	شخم مایل با جهت باد، ردیف های جوی و پشته مایل بر جهت باد	شخم نسبتاً مایل با جهت باد، ردیف های جوی و پشته نسبتاً مایل بر جهت باد
۴	بافت خاک	سنگریزه ای و یا رسی، میزان کلوخه های شدن خاک زیاد	رسی شنی میزان کلوخه ای شدن خاک کم	شنی لومی - لومی شنی امکان تشکیل کلوخه محدود
۵	مدیریت بقایای گیاهی	باقی ماندن بقایا بعد از برداشت محصول با تراکم بیش از ۵۰ درصد و ایستا با ارتفاع بیش از ۳۰ سانتیمتر	بقایای گیاهی با تراکم ۲۰-۴۰ درصد، ایستا و ۴۰-۶۰ درصد خوابیده	بقایای گیاهی با تراکم ۲۰-۵۰ درصد، ایستا و ۲۰-۴۰ درصد خوابیده
۶	رطوبت خاک و دور آبیاری	خاک همیشه مرطوب، در حد رطوبت مزرعه ای	رطوبت خاک، همیشه بالاتر از حد رطوبت پژمردگی	خاک سطحی عموماً خشک و پایین تر از حد پژمردگی
۷	وزش بادهای با سرعت بیش از سرعت آستانه (۶ متر بر ثانیه در ارتفاع ۱۰ متری)	کمتر از ۵ روز در سال	۲۰-۵ روز در سال	بیش از ۶۰ روز در سال

منبع: (حسینی و همکاران، ۱۳۸۹، ص ۱۷۰)

جدول ۲- شاخص‌های ارزیابی وضعیت فعلی بیابانزایی در اراضی با کاربری مرتعی و جنگلی مخروطه

ردیف	نوع شاخص	زیرشاخص و دامنه امتیاز		
		کم (۰-۱)	متوسط (۱-۲)	شدید (۲-۳)
۱	تراکم پوشش گیاهی مؤثر در خاک یا تراکم سنگریزه (بزرگ‌تر از ۲ میلی‌متر) در سطح خاک	بیش از ۵۰ درصد	۲۵-۵۰ درصد	شدید (۲-۳)
		کمتر از ۱۰ درصد	خیلی شدید (۳-۴)	
۲	مدت زمان ماندگاری گیاه در سطح خاک	بیش از ۷۰ درصد	۴۰-۷۰ درصد	۲۰-۴۰ درصد
		کمتر از ۲۰ درصد	کمتر از ۳ ماه و منطبق با فصل باد	کمتر از ۳ ماه و منطبق با فصل باد
۳	آثار آشفته‌گی ناشی از تردد دام و ادوات در سطح خاک	بسیار کم	کم	زیاد
		خیلی زیاد	خیلی زیاد	
۴	تداوم وزش باد با سرعت بیش از سرعت آستانه (۶ متر بر ثانیه در ارتفاع ۱۰ متری)	کمتر از ۵ روز در سال	۵-۲۰ روز در سال	۲۰-۶۰ روز در سال
		بیش از ۶۰ روز در سال	بیش از ۶۰ روز در سال	
۵	آثار بادساییدگی خاک و ظهور رخساره‌های شلجمی شکل و یا کلوت و یاردانگ در سطح خاک	بسیار کم- غیر قابل مشاهده	کم - کمتر از ۲ درصد عرصه	زیاد - ۱۰-۲ درصد عرصه
		خیلی زیاد - بیش از ۱۰ درصد عرصه	کمتر از ۰/۵ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع	کمتر از ۰/۵ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع
۶	مقاومت فشاری خاک در شرایط خشک	بیش از ۲ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع	۱-۲ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع	۰/۵-۱ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع
		کمتر از ۰/۵ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع	کمتر از ۰/۵ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع	
۷	آثار انباشت خاک (ماسه بادی) در پای گیاهان و یا سنگ‌ها (Pedestal) دیده نمی‌شود	اشکال انباشت ماسه بادی در سطح خاک	اشکال انباشت رسوب بادی کمتر از ۲ درصد عرصه	اشکال انباشت ماسه بادی ۱۰-۲۰ درصد عرصه
		اشکال انباشت ماسه بادی و پهنه	اشکال انباشت ماسه بادی	اشکال انباشت ماسه بادی

منبع: (حسینی و همکاران، ۱۳۸۹، ص ۱۶۸)

جدول ۳- شاخص‌های ارزیابی وضعیت فعلی بیابانزایی در اراضی فاقد کاربری (بیابان طبیعی مثل کوه‌های لخت و توده سنگی، تپه ماهوری لخت، تپه‌های ماسه‌ای لخت، سطوح سنگفرشی، کویرها و کلیه اراضی لخت و بدون پوشش گیاهی)

ردیف	نوع شاخص	زیرشاخص و دامنه امتیاز		
		کم (۰-۱)	متوسط (۱-۲)	شدید (۲-۳)
۱	وضعیت خاک سطحی	کاملاً سنگی، سنگفرشی	نیمه سنگی، سنگفرش غیر مترکم (۷۰-۴۰ درصد)، سله	سنگ و یا خاک نسبتاً حساس، و یا سله رسی نمکی نیمه پایدار، سنگریزه خاک سطحی کمتر از ۲۰ درصد
		بیش از ۷۰ درصد، سله رسی و یا نمکی سخت	بیش از ۲۰ درصد	بیش از ۲۰ درصد
۲	آثار آشفته‌گی ناشی از تردد دام و ادوات در سطح خاک	بسیار کم	کم	زیاد
		خیلی زیاد	خیلی زیاد	
۳	تداوم وزش باد با سرعت بیش از سرعت آستانه (۶ متر بر ثانیه در ارتفاع ۱۰ متری)	کمتر از ۵ روز در سال	۵-۲۰ روز در سال	۲۰-۶۰ روز در سال
		بیش از ۶۰ روز در سال	بیش از ۶۰ روز در سال	
۴	آثار بادساییدگی خاک و ظهور رخساره‌های شلجمی شکل و یا کلوت و یاردانگ در سطح خاک	بسیار کم - غیر قابل مشاهده	کم - کمتر از ۲ درصد عرصه	زیاد - ۱۰-۲ درصد عرصه
		خیلی زیاد - بیش از ۱۰ درصد عرصه	کمتر از ۰/۵ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع	کمتر از ۰/۵ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع
۵	آثار انباشت خاک (ماسه بادی) در سطح محدوده مورد نظر	اشکال انباشت ماسه بادی در سطح خاک دیده نمی‌شود	اشکال انباشت رسوب بادی کمتر از ۲ درصد عرصه	اشکال انباشت ماسه بادی ۱۰-۲۰ درصد عرصه
		اشکال انباشت ماسه بادی و پهنه	اشکال انباشت ماسه بادی	اشکال انباشت ماسه بادی
۶	مقاومت فشاری خاک در شرایط خشک	بیش از ۲ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع	۱-۲ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع	۰/۵-۱ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع
		کمتر از ۰/۵ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع	کمتر از ۰/۵ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع	
۷	یافت خاک	سنگریزه‌ای و یا رسی، میزان کلوخه‌ای شدن خاک زیاد	رسی شنی میزان کلوخه‌ای شدن خاک کم	شنی لومی - لومی شنی امکان تشکیل کلوخه محدود
		کلوخه‌ای شدن خاک زیاد	شدن خاک کم	کلوخه وجود ندارد

منبع: (حسینی و همکاران، ۱۳۸۹، ص ۱۷۲)

برای ارزش‌دهی به شاخص «مقاومت فشاری خاک» از جدول ۴ استفاده شد:

جدول ۴- راهنمای ارزش‌دهی به شاخص مقاومت فشاری خاک در شرایط خشک

کلاس کیفی	شرح و امتیازدهی
نرم	بدون سله
کمی سخت	سله رسی و یا نمکی بسیار ضعیف و یا پراکنده در سطح زمین دیده می‌شود، ردپا و فشار انگشت براحتی قابل مشاهده است، برداشت مثنی از خاک به کمک دست به راحتی امکان‌پذیر است و مقاومت فشاری خاک در حالت خشک بسیار کم: کمتر از ۰/۵ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع
سخت	سله رسی یا نمکی ضعیف و پراکنده در سطح خاک یا مزرعه دیده می‌شود، ردپا و اثر انگشت در سطح خاک قابل مشاهده است، امکان برداشت خاک با دست وجود دارد و مقاومت فشاری خاک در حالت خشک: ۰/۵-۱ کیلوگرم بر سانتی-مترمربع
خیلی سخت	سله رسی یا نمکی نسبتاً سخت در سطح خاک وجود دارد، ردپا و یا اثر انگشت در سطح خاک تا حدی محسوس است، امکان برداشت خاک با دست به سختی امکان‌پذیر است و مقاومت فشاری خاک در حالت خشک ۱-۲ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع
بسیار سخت	سله رسی و یا نمکی کاملاً سخت در سطح خاک وجود دارد، ردپا و یا اثر انگشت در سطح خاک باقی نمی‌ماند، امکان برداشت مثنی از خاک با دست غیر ممکن می‌باشد، از مقاومت فشاری در حالت خشک بالا: بیش از ۲ کیلوگرم بر سانتی-مترمربع

منبع: (طباطبائی‌زاده، ۱۳۸۹، ص ۳۷)

با توجه به جدول‌های بالا مشخصه‌های مربوط به هر یک از کاربری‌ها در هر واحد کاری ارزش‌دهی شدند. از جمع ارزش شاخص‌ها بر اساس کاربری آنها و بر پایه جدول ۵ کلاس‌های شدت بیابانزایی برای هر واحد کاری برآورده شد (جدول ۶ تا ۹).

جدول ۵- طبقه‌بندی کلاس‌های بیابانزایی در مدل MICD

کلاس	دامنه اعداد	علامت
آرام (پنهان)	۰-۵/۶	I
کم	۵/۶-۱۱/۲	II
متوسط	۱۱/۲-۱۶/۸	III
زیاد	۱۶/۸-۲۲/۴	IV
شدید (اوج)	۲۲/۴-۲۸	V

منبع: (حسینی و همکاران، ۱۳۸۹، ص ۱۷۴)

نتایج

پس از تعیین مرز منطقه، نقشه‌های پایه مورد نیاز تهیه گردید. سپس بر پایه نتایج بدست آمده از تفسیر چشمی واحدهای فتومورفیک تصاویر ماهواره‌ای و استفاده از نقشه‌های ذکر شده، ۳۸ رخساره ژئومورفولوژی (واحدکاری) در ۴ واحد ژئومورفولوژی به شرح جدول ۶ بدست آمد (شکل ۷) که مبنای ارزش‌دهی و ارزیابی بیابان‌زایی قرار گرفت.

جدول ۶- تعیین و جداسازی واحدهای کاری بر اساس چشم‌اندازهای بیابانی و کلاس بیابانزایی آنها

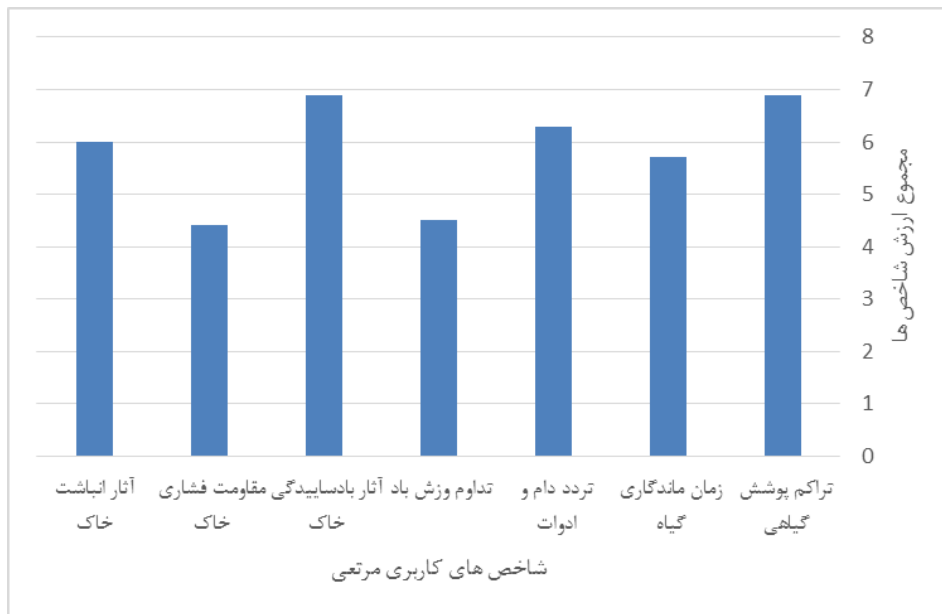
کلاس واحد کاری	شماره واحد کاری	رخساره (واحد کاری)	تیپ	واحد	واحد بزرگ		
کوهستان	۱	۱/۹۷	کوه‌های آهکی بسیار مرتفع با دیواره تند	کوه			
	۲	۰/۳۰	تپه‌های مارن با فرسایشی خندقی و پوشش مرتعی				
	۳	۰/۳۳	تناوبی از سنگ آهک نازک و شیل کرم رنگ				
	۴	۱/۷۹	تناوبی از سنگهای آتشفشانی کاهک				
	۵	۱/۳۸	سنگ آهک مارنی و ماسه‌ای				
دشت سر	۶	۰/۱۵	مخروط افکنه مرتفع و کهن درقدم	دشت سر	دشت سر		
	۷	۰/۰۶	آبرفت رودخانه‌ای جنوبی				
	۸	۲/۵۵	مخروط افکنه های کم ارتفاع جوان پروند				
	۹	۱/۱۸	مخروط افکنه های مرتفع کهن جنوبی				
	۱۰	۰/۰۳	آبرفت‌های رودخانه‌ای				
	۱۱	۰/۱۵	اینسلیرگ پروند				
	۱۳	۱/۹۹	مخروط افکنه های کم ارتفاع جوان پروند				
	۱۴	۱/۰۳	اراضی شور و رسی با پوشش شورپسند ملوند				
	۱۶	۱/۷۵	سیلت و رس				
	۱۷	۰/۷۴	سیلت و رس با پوشش کم روداب				
اراضی مرتعی و جنگلی	۱۸	۰/۵۹	سیلت و رس با پوشش کم پروند	دشت سر پوشیده	اراضی مرتعی و جنگلی		
	۱۹	۱/۱۶	تپه‌های ماسه‌ای فعال با سیف، اشکال بارخانی و پیش بارخانی				
	۲۰	۰/۱۸	بارخان های ناقص تا طولی				
	۲۱	۰/۱۸	تپه‌های کشیده (سیف)				
	۲۲	۱۵/۵۴	سیلک				
	۲۳	۶/۶۸	تپه‌های ماسه‌ای عرضی و تثبیت شده با پوشش کم				
	۲۴	۲۱/۹۰	تپه‌های ماسه‌ای عرضی و تثبیت شده				
	۲۵	۰/۷۲	تپه‌های ماسه‌ای عرضی و تثبیت شده متراکم				
	۲۶	۱/۶۴	تپه‌های ماسه‌ای موازی تثبیت شده				
	۲۷	۵/۰۸	پهنه‌های ماسه‌ای فعال				
ارگ و رسوبگذاری	۲۸	۰/۴۵	آبرفت رودخانه‌ای صبری	تپه ماسه‌ای	ارگ و رسوبگذاری		
	۲۹	۲/۶۱	اراضی شور با تلماسه‌های گیاهی				
	۳۰	۰/۸۰	راضی سیلابی با پوشش شورپسند				
	۳۱	۰/۲۸	اراضی سیلابی شمال ارگ با پوشش درختی				
	۳۲	۰/۳۴	اراضی سیلابی با پوشش درختی شمس آباد				
	۳۴	۰/۵۹	دشت سیلابی کالشور				
	۳۶	۶/۷۶	کفه‌های رسی شور روداب				
	۱۲	۷/۲۱	مخروط افکنه‌های کشت شده روداب			دشت سر پوشیده	دشت سر
	۱۵	۰/۴۲	سیلت و رس با اراضی کشت شده				
	اراضی فاسد کاربری	۳۳	۱/۸۲			اراضی شور و مرطوب با سطوح نرم و پف کرده	جلاگه رسی
۳۵		۱/۵۶	اراضی سیلابی مسطح و شور				
۳۷		۷/۸۸	سطوح نمکی و پف کرده شمال ارگ				
۳۸		۰/۲۱	پهنه‌های رسی نمکی با رشته گنده‌های نمکی				

منبع: یافته‌های تحقیق، ۱۳۹۶

ارزیابی وضعیت بیابانزایی در اراضی با کاربری مرتعی و جنگلی مخروطه

برای ارزیابی بیابانزایی در این واحد بزرگ، از هفت شاخص استفاده شد. برای ارزش‌دهی به شاخص وزش بادهای با سرعت بیش از سرعت آستانه (۶ متر بر ثانیه در ارتفاع ۱۰ متری) از اطلاعات ایستگاه سینوپتیک سبزواری در طی دوره آماری بیست ساله از سال ۱۳۶۷ تا ۱۳۸۷ استفاده شد. ۲۸/۸ درصد (۱۰۵ روز) از توزیع طبقات سرعت باد در

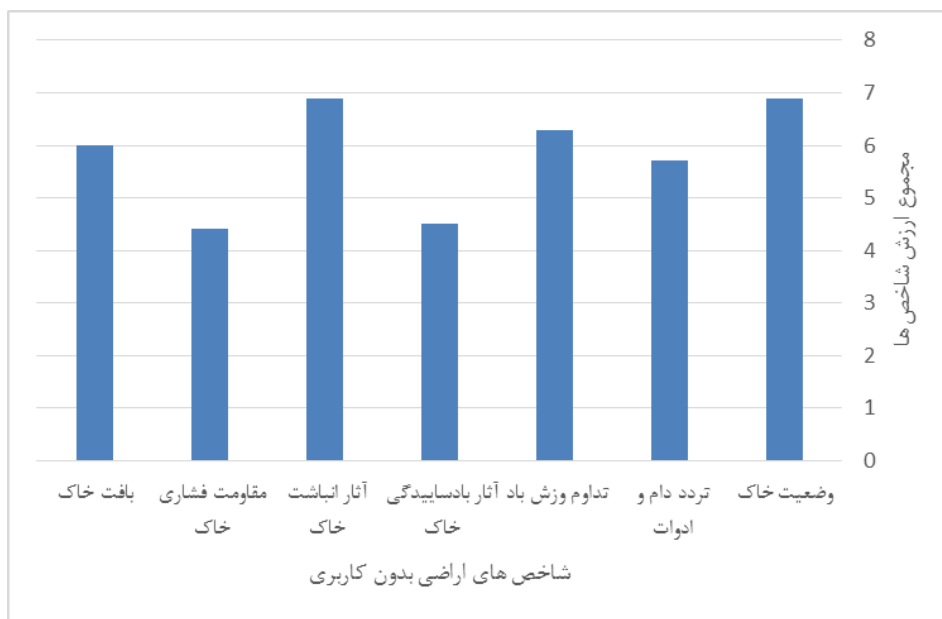
این دوره آماری را سرعت باد بیشتر از ۶ متر بر ثانیه به خود اختصاص می‌داد. برای ارزش‌دهی به سایر شاخص‌ها بازدید میدانی صورت گرفت و از نقشه‌های موجود استفاده شد. نقش بیابانزایی هر شاخص را در شکل ۴ مشاهده می‌کنید.



شکل ۴- نمودار ستونی ارزش کمی شاخص‌های بیابانزایی برای اراضی با کاربری جنگلی و مرتعی (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۶)

ارزیابی وضعیت بیابانزایی در اراضی بدون کاربری

برای ارزیابی به این واحد بزرگ از هفت شاخص استفاده شد که در نهایت ارزش کمی هر شاخص در منطقه مورد مطالعه را در شکل ۵ مشاهده می‌کنید.



شکل ۵- نمودار ارزش کمی شاخص‌های بیابانزایی برای اراضی بدون کاربری (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۶)

ارزیابی وضعیت بیابانزایی در اراضی با کاربری کشاورزی

در این واحد بزرگ نیز ارزش هفت شاخص جمع گردید و کلاس بیابانزایی برای هر رخساره بدست آمد (شکل ۶).



شکل ۶- نمودار ارزش کمی شاخص‌های بیابانزایی برای اراضی با کاربری کشاورزی (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۶)

جدول ۷- توزیع فراوانی کلاس‌های خطر بیابانزایی مدل MICD (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۶)

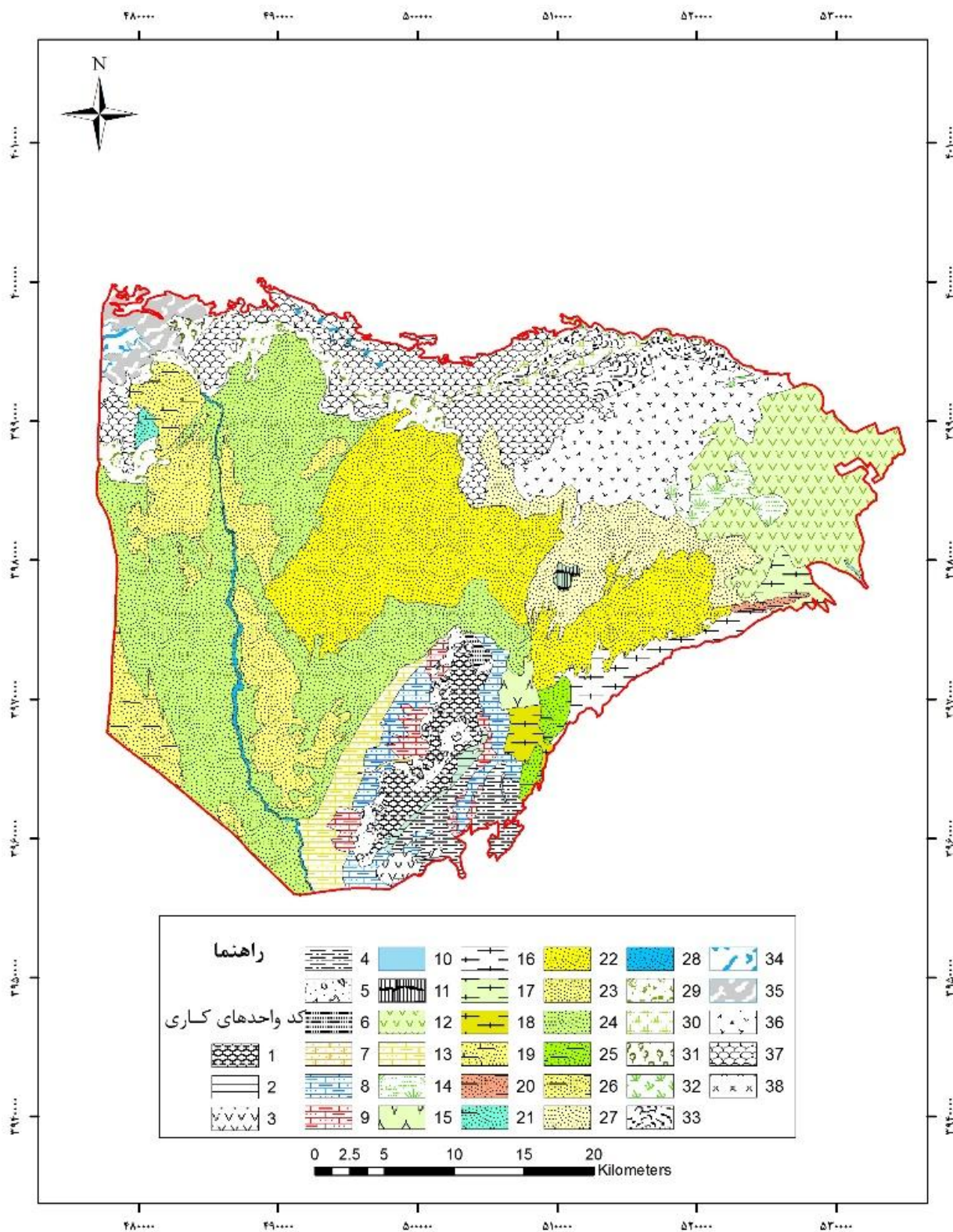
کلاس خطر MICD	فراوانی	درصد فراوانی	مساحت (هکتار)	درصد مساحت
کم (II)	۷	۱۸/۴۲	۱۰۲۲۵/۲۴	۶/۱۷
متوسط (III)	۱۵	۳۹/۴۷	۳۳۵۰۲/۵۲	۲۰/۲۲
زیاد (IV)	۱۴	۳۶/۸۴	۱۰۹۰۰۳/۹۳	۶۵/۷۷
شدید (اوج) (V)	۲	۵/۲۶	۱۲۹۹۵/۳۶	۷/۸۴
جمع	۳۸	۱۰۰/۰۰	۱۶۵۷۲۷/۰۶	۱۰۰/۰۰
مربع کای ^۱	۷/۳۷	۱۹/۳۹	۶۴۹۰۰/۱۴	۳۹/۱۶
معنی‌داری	*	**	**	**

(* معنی دار در سطح ۵ درصد، (** معنی دار در سطح ۱ درصد)

منبع: یافته‌های تحقیق

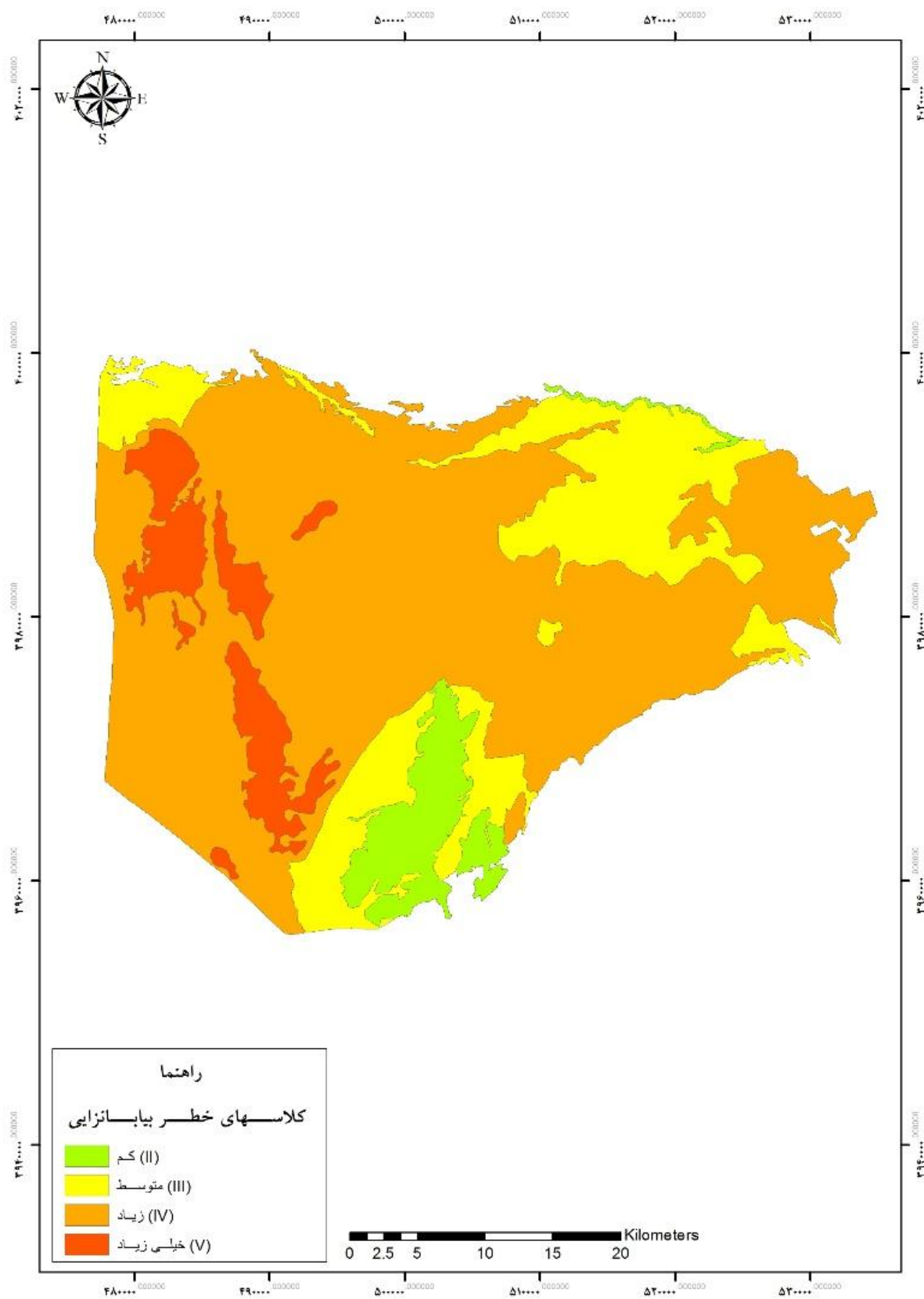
منطقه مورد بررسی از نظر وضعیت کنونی بیابانزایی، در چهار کلاس کم تا شدید قرار گرفت؛ که بیشترین درصد منطقه مورد مطالعه (۶۵/۷۷ درصد) در کلاس زیاد (IV) و کمترین درصد مساحت منطقه مورد مطالعه (۶/۱۷ درصد) را کلاس کم (II) تشکیل می‌دهد (جدول ۷ و شکل ۸).

¹ Chi Square



شکل ۷- نقشه واحدهای کاری منطقه روداب سبزوار

(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۶)



شکل ۸- نقشه کلاس‌های بیابانزایی منطقه روداب سبزوار

(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۶)

بحث و نتیجه‌گیری

با بررسی‌هایی که در این تحقیق صورت گرفت، مشخص شد که سهم عمده‌ای از بیابانزایی و تخریب در منطقه مورد بررسی الگوهای کشاورزی غلط و شرایط طبیعی منطقه همچون تداوم وزش باد فرساینده است؛ که این بادهای با سرعت بیشتر از سرعت آستانه فرسایش ($>6m/s$)، باعث افزایش تخریب خاک، فرسایش بادی، ایجاد تنش‌های خشکی و دمایی شده و بر شدت بیابانزایی و تخریب منطقه افزوده است. پس از تهیه نقشه بیابانزایی، منطقه مورد مطالعه به چهار کلاس تقسیم شد که بیشترین سطح منطقه را کلاس زیاد به خود اختصاص داد که با نتایج تحقیقات طباطبائی‌زاده و همکاران (۱۳۸۹) و حسینی و همکاران (۱۳۸۹) مبنی بر غالب بودن کلاس متوسط بیابانزایی، همخوانی داشت. با توجه به آزمون تفاوت آماری بین کلاس‌های خطر بیابانزایی مدل MICD با روش مربع کای، فراوانی و درصد فراوانی و مساحت کلاس‌های خطر بیابانزایی در سطح ۱ درصد و ۵ درصد معنی‌دار شد که برآورد متفاوتی از خطر بیابانزایی در منطقه را نشان داد. بیشترین ارزش بیابانزایی به «تپه‌های ماسه‌ای فعال با سیف، اشکال بارخانی و پیش بارخانی» (کد واحد کاری: ۱۹) و «تپه‌های ماسه‌ای عرضی و تثبیت شده با پوشش کم» (کد واحد کاری: ۲۳) به ترتیب با ارزش عددی ۲۲/۷ و ۲۲/۶ و با کلاس کیفی زیاد تعلق گرفت؛ که علت آن را می‌توان فرسایش بادی و رسوب‌گذاری پهنه‌های ماسه‌ای اشاره کرد؛ همچنین کمترین ارزش شدت کنونی بیابانزایی به کفه‌های رسی حاوی نمک با ارزش عددی ۱۳ و کلاس کیفی متوسط تعلق گرفت که علت آن مقاومت بالای کفه رسی به فرسایش بادی است و با تحقیقات حسینی و همکاران (۱۳۸۹) مبنی بر تأثیر کم کفه‌های رسی در بیابانزایی، همخوانی داشت. ارزیابی وضعیت بیابانزایی در کاربری مرتعی و جنگلی مخروبه نشان داد که شاخص‌های «تراکم پوشش گیاهی مؤثر در خاک» و «آثار بادساییدگی خاک و ظهور رخساره‌های شلجمی شکل و یا کلوت و یاردانگ در سطح خاک» از عوامل اصلی در بیابانی شدن این منطقه به شمار می‌رود. ارزیابی وضعیت بیابانزایی در اراضی بدون کاربری، مهم‌ترین عوامل در تشدید بیابانزایی منطقه را «وضعیت خاک سطحی» و «آثار انباشت خاک (ماسه بادی) در سطح محدوده مورد نظر» معرفی کرد. در اراضی با کاربری کشاورزی، مهم‌ترین عوامل بیابانزایی، مدیریت ناصحیح بقایای گیاهی و الگوی کشاورزی غلط به‌شمار می‌آیند. با توجه به نتایج بدست آمده احداث بادشکن، اصلاح روش‌های ناصحیح کشاورزی، راهکارهای زراعی، آگروفارستی و باقی ماندن بقایای گیاهی از برنامه‌های مدیریتی مناسب و مؤثر برای کاهش اثرات بیابانزایی در اراضی کشاورزی منطقه محسوب می‌شود. در اراضی با کاربری مرتعی و جنگلی مخروبه نیز با توجه به غالب بودن سرعت باد فرساینده، احداث بادشکن، تقویت پوشش گیاهی و اقدامات حفاظتی به عنوان برنامه‌های مدیریتی مناسب پیشنهاد گردید. در مجموع این مدل شاخص‌های بیابانزایی را با تأکید بر فرسایش بادی عنوان می‌کند و اراضی فاقد فرسایش طبیعی همچون پلایاها، دشت‌ها با وجود قابلیت بیابانزایی و کلاس بالای خطر، سهم کمی از کلاس خطر را بخود اختصاص می‌دهند. در نهایت می‌توان گفت مدل MICD برای ارزیابی خطر بیابانزایی مناطق تحت تأثیر فرسایش بادی و رسوب‌گذاری بادی، (همچون منطقه روداب سبزوار) بسیار مناسب است.

منابع

- احمدی، حسن [...] و دیگران (۱۳۸۳). گزارش نهایی طرح تدوین شرح خدمات جامع و متدولوژی تعیین معیارها و شاخص‌های بیابان‌زایی در ایران، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.
- اختصاصی، محمدرضا؛ و سپهر، عادل (۱۳۹۰). روش‌ها و مدل‌های ارزیابی و تهیه نقشه بیابان‌زایی. یزد: انتشارات دانشگاه یزد، ۲۸۶ ص.
- امیدوار، کمال. و نکونام، زری (۱۳۹۰). کاربرد گلباد و گل‌غبار در تحلیل پدیده‌ی گردوخاک و تعیین رژیم فصلی بادهای همراه با این پدیده (مطالعه‌ی موردی: شهر سبزوار)، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۶، صص ۸۵-۱۰۴.
- بیرویدیان، نادر (۱۳۸۰). اصول مدیریت مناطق بیابانی. گرگان: انتشارات رشد، ۲۰۵ ص.
- حسینی، سیدمحمود؛ اختصاصی، محمدرضا؛ شهریاری، علیرضا؛ و شفیع، حامد (۱۳۸۹). بررسی وضعیت بالفعل و بالقوه بیابان‌زایی با تأکید بر معیار فرسایش بادی به روش MICD (بررسی موردی: منطقه نیاتک سیستان)، نشریه مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران، دوره ۶۳، شماره ۲، صص: ۱۸۱ - ۱۶۵.
- زهتابیان، غلامرضا؛ احمدی، حسن؛ اختصاصی، محمدرضا؛ و خسروی، حسن (۱۳۸۲). واسنجی مدل مدالوس به منظور ارائه یک مدل منطقه‌ای برآورد شدت بیابان‌زایی در منطقه کاشان، نشریه دانشکده منابع طبیعی، جلد ۶۰، شماره ۲، صص: ۷۲۷-۷۴۴.
- زهتابیان، غلامرضا؛ و رفیعی امام، عمار (۱۳۸۲). ESAs روشی جدید برای ارزیابی و تهیه نقشه حساسیت مناطق به بیابان‌زایی، بیابان، جلد ۸، شماره ۱، صص: ۱۲۶-۱۲۰.
- شهریاری، علیرضا؛ حسینی، سیدمحمود؛ اختصاصی، محمدرضا؛ و فخیره، اکبر (۱۳۸۹). ارزیابی تخریب سرزمین در منطقه سیستان با تأکید بر فرسایش بادی، جغرافیا و توسعه، شماره ۲۰، صص: ۳۶-۲۱.
- طباطبائی‌زاده، منیرالسادات (۱۳۸۹). مقایسه پتانسیل شدت بیابان‌زایی به دو روش IMDPA و MICD با تأکید بر معیار فرسایش بادی (مطالعه موردی: دشت فخرآباد مهریز). پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.
- فیض‌نیا، سادات؛ گویا، علینقی؛ احمدی، حسن؛ و آذرینوند، حسین (۱۳۸۰). بررسی عوامل بیابان‌زایی دشت حسین‌آباد میش-مست قم، بیابان، جلد ۶، شماره ۲، صص: ۱۴-۲.
- محمدقاسمی، سیلوانا (۱۳۸۵). بررسی معیارها و شاخص‌های بیابان‌زایی با تکیه بر آب و خاک جهت ارزیابی و تهیه نقشه بیابان‌زایی (مطالعه موردی: منطقه زابل). پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی بیابان‌زایی. دانشکده منابع طبیعی. دانشگاه تهران.
- مشهدی، ناصر (۱۳۸۶). مطالعه فرآیندهای فرسایش بادی بر اساس رخساره‌های ژئومورفولوژی (منطقه برداشت و حمل - مطالعه موردی: خارتوران)، رساله برای دریافت درجه دکتری در رشته آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، ۲۶۸ ص.
- هاشمی، زهره؛ پهلوانزوی، احمد؛ مقدم‌نیا، علیرضا؛ جوادی، محمدرضا؛ و میری، عباس (۱۳۹۰). ارزیابی وضعیت فعلی بیابان‌زایی منطقه زهک سیستان با تأکید بر معیار فرسایش آبی، پژوهش‌های آبخیزداری، شماره ۹۱، صص: ۷۹-۶۰.
- Adger, W. N., Benjaminsen, T. A., Brown, K., & Svarstad, H. (2000). Advancing a political ecology of global environmental discourse. London: Centre of Social and Economic research on the global Environment, University of East Anglia.
- Ahmadi, H., Abrisham, E., Zehtabian, G.R., and Amiraslani, F. (2006). The comparison of ICD and MICD models for assessment of desertification in a desertified pilot region, Iran, 14th International Soil Conservation Organization Conference. Water Management and Soil Conservation in Semi-Arid Environments. Marrakech, Morocco, May 14-19, 2006.
- Chasek, P., Safriel, U., Shikongo, S., & Fuhrman, V.F. (2014). Operationalizing Zero Net Land Degradation: The next stage in international efforts to combat desertification? Journal of Arid Environments., 112 (A): 5-13.
- Reynolds, J. F., Smith, D. M. S., Lambin, E. F., Turner, B. L., Mortimore, M., Batterbury, S. P. J., Downing, T.H., Dowlatabadi, H., Fernández, R.J., Herrick, J.E., Huber-Sannwald, E., Jiang, H., Leemans, R., Lynam, T., T. Maestre, F., Ayarza, M., Walker, B. (2007) Global desertification: Building a science for dryland development. Science, 316 (5826): 847-851.

- United Nations, (2012) The Future We Want. Document A/CONF.216/L.1. (19 June). <http://sustainabledevelopment.un.org/futurewewant.html> (accessed 17.12.13.).
- Wessels, K. J., van den Bergh, F. & Scholes, R. J. (2012) Limits to detectability of land degradation by trend analysis of vegetation index data. *Remote Sensing of Environment*, 125: 10–22.
- Zhao, H. L. (2012) *Desert Ecology*. China Science Press, Beijing.
- 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.
- Zhu, Z.D., Chen, G.T., 1994. *Sandy Desertification in China*. Science Press, Beijing.