

مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره دهم، شماره ۲۹، پاییز ۱۴۰۰

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۱۲/۰۵

تاریخ بازنگری نهایی مقاله: ۱۳۹۹/۰۷/۱۰

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۹/۰۸

صفحات: ۸۶ - ۶۹

مقاله علمی پژوهشی

بررسی ارتباط بین معیارهای بیابان‌زایی و تغییر کاربری اراضی: ارائه متدولوژی عملیاتی پایش با استفاده از مدل IMDPA

مرجان بهنیا^۱، غلامرضا زهتابیان^۲، حسن خسروی^{۳*}، خالد احمدالی^۴، علی اکبر نظری سامانی^۵، طیبه مصباح زاده^۶

۱. کارشناس ارشد بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

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

۳. دانشیار، گروه احیا و مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

۴. استادیار، گروه احیا و مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

۵. دانشیار، گروه احیا و مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

۶. دانشیار، گروه احیا و مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

چکیده

بررسی و ارائه یک مدل پایش بیابان‌زایی بر اساس تغییرات کاربری زمین و پوشش سطح آن و ارتباط آن با معیارهای بیابان‌زایی به منظور ارزیابی بیابان‌زایی در منطقه مورد مطالعه با استفاده از فناوری سنجش‌ازدور و تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک طیفی و مکانی بالا، هدف این پژوهش است. در یک دوره آماری ۲۴ ساله، نقشه شدت بیابان‌زایی با استفاده از مدل IMDPA بر اساس معیارهای آب، اقلیم، پوشش گیاهی و خاک تهیه گردید. نقشه کاربری اراضی منطقه برای سه دوره ۱۳۷۰، ۱۳۸۲ و ۱۳۹۴ شامل شش کاربری کشاورزی، مرتع، اراضی شورزار، نیزار و رودخانه و مناطق مسکونی تهیه شد. نتایج نقشه شدت بیابان‌زایی نشان داد که شدت بیابان‌زایی در ابتدای دوره از سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۸۲ افزایش یافته است. به طوری که در سال ۱۳۷۰ حدود ۹/۶ درصد منطقه در کلاس کم و ۹۰/۴ درصد منطقه در کلاس متوسط بیابان‌زایی قرار گرفته است. از سال ۱۳۸۲ کلاس شدید در قسمت‌های شمال شرقی و مرکز منطقه مطالعاتی مشاهده شده که ۸/۳ درصد منطقه را شامل می‌شود و کلاس‌های کم و متوسط به ترتیب حدود ۸/۷ و ۸۷/۴ درصد منطقه را در بر گرفته‌اند. روند بیابان‌زایی از سال ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۴ کاهش یافته بوده به طوری که در سال ۱۳۹۴ کلاس کم، متوسط و شدید به ترتیب حدود ۱۴/۸، ۸۵ و ۰/۱ درصد از کل منطقه را شامل می‌شوند. همچنین ارزش عددی شدت بیابان‌زایی در هر کاربری و مقایسه آن نشان داد که بیشترین تأثیر را به ترتیب کاربری مرتع، کشاورزی و مناطق مسکونی داشته و کم‌ترین تأثیر را کاربری نیزار در بیابان‌زایی منطقه داشته است. برای بررسی بهتر ارتباط معیارهای بیابان‌زایی و تغییر کاربری، مدل‌های مختلف بر داده‌های حاصل، برازش داده شد و از بهترین مدل برای تعیین ارتباط بین نوع کاربری اراضی و شدت بیابان‌زایی استفاده شد. از بین کاربری‌های مختلف با توجه به ضریب همبستگی، بهترین ارتباط بین شدت بیابان‌زایی و تغییر کاربری را کاربری شورزار با $R^2 = 0/96$ داشت.

واژگان کلیدی: شدت بیابان‌زایی، تصاویر ماهواره‌ای، روش نظارت شده، مدل سازی و خوزستان.

مقدمه

بیابان‌زایی را می‌توان ناشی از دو عامل شکنندگی اکوسیستم مناطق خشک و نیمه‌خشک و فشار برای بهره‌برداری از اراضی دانست (پیش‌یار و همکاران، ۲۰۲۰؛ علوی پناه، ۲۰۰۳). در دهه‌های اخیر همزمان با افزایش جمعیت جهان و گسترش شهرنشینی در دنیا، بخش زیادی از زمین‌های شهری دستخوش تغییرات کاربری شده و موجب جایگزینی سطوح طبیعی نسبتاً نفوذپذیر با سطوح سخت غیرقابل نفوذ شامل فضاهای سنگ فرش، آسفالت و نواحی متراکم و پر از ساختمان گردیده است (مزیدی و حسینی، ۲۰۱۵؛ ذوالفقاری و همکاران، ۲۰۱۹). به‌طور کلی در حوزه‌های مدیترانه‌ای تخریب زمین به شرایط اکولوژیکی (به‌عنوان مثال خشکی، ویژگی‌های خاک، فرسایش، شیب، پوشش گیاهی) به همراه جنبه‌های خاصی از خشکسالی و فشار جمعیت (به‌عنوان مثال تراکم جمعیت) و مدیریت ناپایدار زمین مربوط می‌شود (موسوی و همکاران، ۲۰۱۴). به‌طور کلی می‌توان گفت که بیابان‌زایی در نتیجه عوامل طبیعی یا فعالیت‌های انسانی می‌باشد که منجر به تخریب و یا کم‌شدن حاصلخیزی زمین می‌شود و همچنین به‌عنوان رخدادی اقتصادی-اجتماعی-محیط‌زیستی در مناطق خشک، نیمه‌خشک و نیمه‌مرطوب شناخته شده است (سومرا و همکاران، ۲۰۱۱). این پدیده از شیوه‌های تخریب خاک در مناطق خشک، نیمه‌خشک و خشک نیمه‌مرطوب است که بر اثر عوامل مختلف از جمله تغییر اقلیم و فعالیت‌های انسانی حادث می‌شود. باتوجه به نقش منابع طبیعی در زندگی بشر، لازم است اطلاع دقیقی از روند تغییرات آن کسب گردد. نظارت بر روند تغییرات و دسترسی به آمار و اطلاعات به‌روز و به‌نگام‌شده، از عوامل کلیدی در برنامه‌ریزی‌ها، تصمیم‌گیری‌ها و ابزار مدیریت در هر سازمانی می‌باشد (زی، ۲۰۱۴).

یکی از موارد مهمی که در ارزیابی استعداد اراضی برای بیابانی‌شدن مدنظر قرار می‌گیرد، کاربری اراضی است. کاربری زمین، استفاده خاصی است که انسان از زمین می‌کند و این کاربری‌ها در فواصل زمانی در حال تغییر است. در مناطق خشک و نیمه‌خشک معمولاً این تغییرات منجر به افزایش بیابان‌زایی می‌شوند.

پایش تغییرات، فرآیند تعیین تفاوت‌ها در وضعیت یا حالت شیء یا پدیده با مشاهده آن در زمان‌های مختلف است. همان‌گونه که اشاره گردید، تخریب سرزمین و بیابان‌زایی خطری جدی و در حال پیش‌روی برای حاصل‌خیزی اراضی کشورهای درگیر با آن می‌باشد. بنابراین ارزیابی و پایش آنها به‌منظور برآورد کمی و کیفی شدت تخریب ناشی از آنها ضروری است (خسروی و همکاران، ۲۰۱۹). ماهیت ارزیابی و پایش بیابان‌زایی از نوع آشکارسازی تغییرات می‌باشد که طی زمان صورت می‌گیرد. آشکارسازی تغییرات فرآیندی است که امکان مشاهده و تشخیص تفاوت‌ها و اختلافات سری‌های زمانی پدیده‌ها و عوارض و الگوهای سطح زمین را فراهم می‌کند. در روند ارزیابی، تشخیص و درک به موقع و دقیق تغییرات بسیار مهم است (مدنیان، ۲۰۰۹). فرآیندی که در تخریب سرزمین و بیابان‌زایی رخ می‌دهد، تغییر خصوصیات پدیده‌های سطحی است. بدین مفهوم که با وقوع تخریب و بیابان‌زایی، شرایط شاخص‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی پدیده‌ها تغییر می‌نماید. بنابراین، در روش‌های مختلف ارزیابی تخریب سرزمین و بیابان‌زایی، هدف آن است که بتوان این تغییرات به‌منظور بررسی‌های مختلف به‌صورت کمی و کیفی به تصویر کشیده شود.

¹- Sommer et al

²- Xie

تناظر این ویژگی‌ها با ویژگی‌های رو به گسترش کمی و کیفی فناوری‌های دریافت داده‌ها و تولید اطلاعات ماهواره‌ای، اهمیت جنبه‌های کاربردی تصاویر ماهواره‌ای در بررسی و مطالعه تخریب سرزمین را نمایان‌تر می‌نماید.

تنوع بسیار زیاد انواع ماهواره‌های سنجش‌ازدوری و قابلیت‌های فراوان بررسی تغییرات سطح زمین به کمک فن‌های گوناگون نمایش کمی و کیفی تغییرات همراه با مزایای صرف وقت و هزینه کمتر و نیز پایش‌ها در مقاطع زمانی، سبب افزایش استقبال روز افزون به‌کارگیری روش‌های مبتنی بر سنجش‌ازدور در ارزیابی تخریب سرزمین و بیابان‌زایی شده است (پودفابریگس^۱، ۲۰۰۹). بنابراین برای تهیه مدل‌های تصمیم‌گیری بهتر جهت مقابله با بیابان‌زایی، مدیران می‌بایست سیستم‌های پایش بیابان‌زایی عملیاتی را طوری طراحی کنند که پیچیدگی سیستم‌های انسانی-محیط‌زیستی را در نظر بگیرد و شاخص‌های ریسک بیابان‌زایی که مستقیماً به تغییرات LU / LC (کاربری پوشش / کاربری زمین) مربوط می‌شود را در اختیار کاربران بگذارد.

امروزه شاخص‌هایی که جهت ارزیابی بیابان‌زایی استفاده می‌شوند عموماً شاخص‌های وضعیت موجود هستند که مستقیماً در مطالعات میدانی قابل‌اندازه‌گیری یا از تصاویر ماهواره‌ای قابل‌مشاهده می‌باشد. این شاخص‌ها وضعیتی از سیستم را بدون همبستگی زمانی و مکانی با عواملی نشان می‌دهند که این وضعیت را در مقیاس محلی بیان می‌کنند. به‌دلیل هزینه‌های زیاد و انبوهی شاخص‌های ارزیابی، رویکرد جدید اکوسیستم برای ارزیابی تخریب سرزمین پیشنهاد می‌شود. بهتر است مدلی ارائه شود که تغییرات در زمان را در نظر گرفته و به بررسی رابطه بین شاخص‌های ریسک بیابان‌زایی و تغییرات کاربری اراضی بپردازد. با توجه به‌اینکه با ارزیابی تغییرات کاربری اراضی در دوره‌های زمانی متفاوت می‌توان به روند بیابان‌زایی در مناطق پی برد؛ بنابراین ارائه چنین مدل‌هایی می‌تواند بسیار سودمند باشد. Kuang و همکاران (۲۰۲۰) در ارزیابی شدت بیابان‌زایی با استفاده از تلفیق تصاویر ماهواره‌ای در مراتع شمال چین بیان کردند که با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدوری با دقت بالای ۸۲/۵ درصد می‌توان نقشه بیابان‌زایی را تهیه کرد. Bezerra و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعه مناطق تحت تخریب و بیابان‌زایی با استفاده از سری زمانی داده‌های ماهواره‌ای در شمال برزیل بیان کردند که از سال ۲۰۱۶-۲۰۰۰ حدود ۱۶۷/۸۱۴ کیلومتر از منطقه پتانسیل تخریب و بیابان‌زایی را دارد که تقریباً ۲۳/۶۳٪ از این مناطق تحت تأثیر تخریب خیلی شدید و شدید می‌باشند. عشقی‌زاده (۱۳۹۷) در پایش و ارزیابی بیابان‌زایی منطقه عمرانی گناباد با استفاده از مدل ماتریس مارکو بیان داشت که اراضی مرتعی در حال کاهش و اراضی ماسه‌ای و کف‌های رسی و بدون پوشش در حال افزایش است که به‌طور متوسط ۲۰ هکتار در سال می‌باشد. سلیمانی ساردو و همکاران (۲۰۱۸) در بررسی بیابان‌زایی دشت جیرفت با استفاده از مدل IMDPA با تأکید بر معیارهای آب و اقلیم بیان کردند که از کلاس بیابان‌زایی کم کاسته شده و بر درصد مساحت کلاس‌های بالاتر افزوده شده است که این بیانگر وخیم‌شدن شرایط بیابانی‌شدن منطقه در گذر زمان است.

لی^۲ و همکاران (۲۰۱۳) پایش و آنالیز دینامیک شدت بیابان‌زایی را با استفاده از تصاویر ماهواره لندست در مراتع چین بررسی کردند که نتایج آنها بیان کرد بین سال ۱۹۹۳ تا ۲۰۱۱ روند افزایش بیابان‌زایی کاهشی بوده، به‌طوری که مساحت اراضی تحت بیابان‌زایی از ۸۷۰۲ کیلومتر مربع در سال ۱۹۹۳ به ۷۴۸۵ کیلومتر مربع در سال ۲۰۱۱ رسیده است. زهتابیان (۲۰۱۲) با انجام طرح اطلس ملی بیابان‌زایی، وضعیت تخریب منابع پایه سرزمین را به‌صورت

^۱- Puigdefabregas

^۲- Li

رقومی و تصویری در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰۰ به تصویر کشید. نتایج پژوهش نشان داد که بیشتر مساحت ایران در کلاس متوسط بیابان‌زایی قرار می‌گیرد. مراری و دالبیت^۱ (۲۰۱۲) به بررسی فرآیند بیابان‌زایی با استفاده از تصاویر لندست پرداخته‌اند. در این پژوهش سنجنده‌های ETM سال ۱۹۸۷، TM سال ۲۰۰۸ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. Liu و همکاران (۲۰۰۷) به بررسی مدیریت روند بیابان‌زایی بر اساس کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌های لندست پرداختند. در این پژوهش از سنجنده TM سال ۱۹۸۷ و سنجنده ETM+ سال ۲۰۰۰، ۲۰۰۶ و CCD (Charge Coupled Device) استفاده شده است. جعفری‌زاده (۲۰۱۰) به انجام مطالعه‌ای تحت عنوان ارزیابی شدت بیابان‌زایی با استفاده از مدل IMDPA در شمال استان خوزستان پرداخت. نظری سامانی و همکاران (۲۰۱۰) روند تغییرات کاربری اراضی حوضه آبخیز طالقان را با استفاده از سنجش‌ازدور و GIS بررسی کردند.

در مطالعات مختلف بیشتر به بررسی وضعیت موجود و همچنین روند تغییرات شدت بیابان‌زایی پرداخته شده است. باتوجه به اینکه جهت ارزیابی و پایش شدت بیابان‌زایی لازم است معیارها و شاخص‌های بیابان‌زایی در هر منطقه تعیین و امتیازدهی شود که این کار وقت‌گیر و پرهزینه است. در این پژوهش سعی شده است با بررسی ارتباط بین شدت بیابان‌زایی و نوع کاربری اراضی مدلی پایش عملیاتی بیابان‌زایی ارائه شود تا روند شدت بیابان‌زایی در یک منطقه با بررسی تغییرات کاربری اراضی مشخص شود. به‌طور کلی هدف از این پژوهش ارائه یک مدل برای پایش بیابان‌زایی بر اساس نقشه تغییرات کاربری اراضی می‌باشد. این پژوهش براساس روشی پایه‌ریزی شده که می‌تواند یک مدل‌سازی محیط‌زیستی موسوم به LEIS^۲ (سیستم اطلاعات محیط‌زیستی محلی) را با تغییرات عینی در مناطق خشک و نیمه‌خشک مرتبط کند تا یک مدل پایش عملیاتی برای بیابان‌زایی پیشنهاد کند. به‌عبارت‌دیگر، باتوجه به مطالعات انجام‌شده، هدف از این پژوهش پایش بیابان‌زایی با استفاده از داده‌های مبتنی بر سنجش‌ازدور و ارائه بهترین مدل پایش بیابان‌زایی در کاربری‌های موجود در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

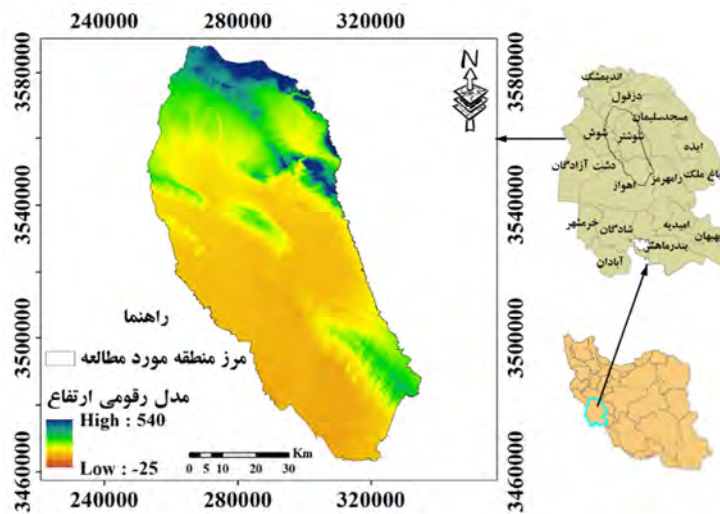
داده‌ها و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی با حدود ۵۵۲۰۳۱ هکتار مساحت در طول شرقی ۴۹°۱۴' تا ۴۸°۲۴' و عرض شمالی ۳۱°۱۶' تا ۳۲°۲۴' قرار دارد (شکل ۱). این منطقه در شمال استان خوزستان که دهستان‌ها و شهرستان‌های دزآب، میانرود، گتوند، شوشتر، ویس و ملاتانی را شامل می‌شود. بخش اعظم منطقه دارای ارتفاعی بین ۲۵- تا ۵۴۰ متر از سطح دریاست و یک دشت مسطح به شمار می‌آید. ولی با این وجود، حاشیه‌های شمال شرقی آن، یعنی حد فاصل این منطقه با رشته کوه‌های زاگرس ارتفاعات بیشتری دارد. بر اساس داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک اهواز، میانگین بارندگی و درجه حرارت سالیانه منطقه مورد مطالعه به ترتیب ۲۰۹/۲ میلی‌متر و ۲۵ درجه سانتی‌گراد است. از لحاظ اقلیمی نیز این منطقه مورد مطالعه به دو قسمت نیمه‌خشک میانی (شمال، شرق و شمال شرقی منطقه) و نیمه‌خشک خفیف (غرب، مرکز و جنوب و جنوب شرقی) تقسیم بندی می‌شود. همچنین، بخش زیادی از این منطقه دارای خاکی سنگین و مارنی است و مشکل شوری دارد.

^۱- Dawelbait, Morari

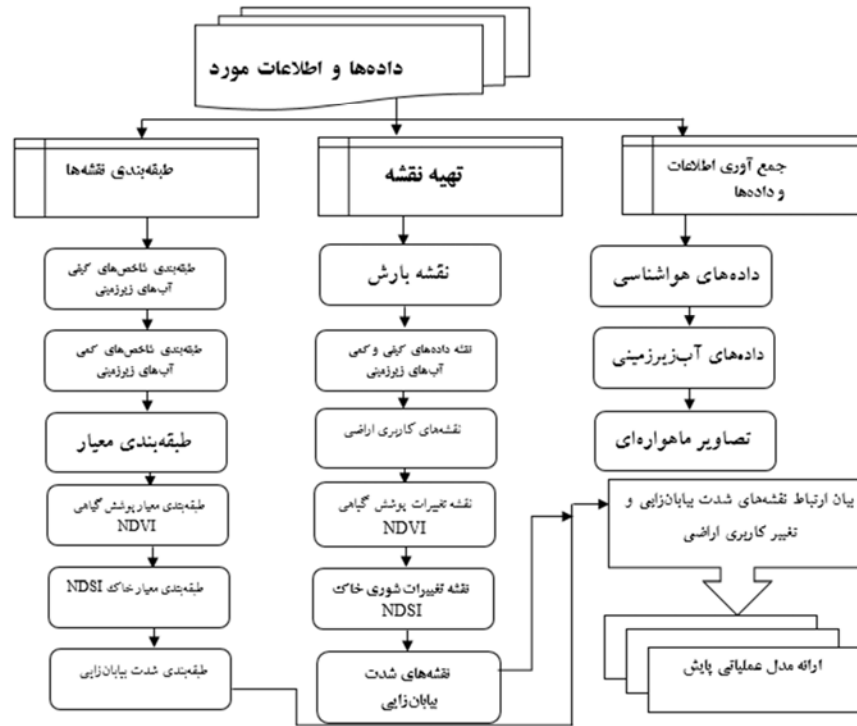
^۲ Local Environment and Information System



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه

داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز

در این پژوهش از اطلاعات حاصل از بازدید میدانی استفاده شده است و همچنین یکسری اطلاعات با پرس‌وجو از ادارات منابع طبیعی و آبخیزداری و جهاد کشاورزی استان خوزستان تهیه شد. شکل ۲ چارت کلی پژوهش را نشان می‌دهد.



شکل ۲: چارت عملیاتی پژوهش

داده‌های هواشناسی

در این پژوهش برای برآورد معیار اقلیم از شاخص میزان بارش سالانه استفاده شد. اطلاعات مربوط به ریزش‌های جوی ایستگاه‌های واقع در منطقه و همچنین مجاور منطقه مورد مطالعه از مرکز مطالعات منابع آب (تماب) و اداره کل هواشناسی کشور دریافت شد. اطلاعات مربوط به ایستگاه‌های نهایی انتخاب شده در جدول ۱ آورده شده است. طبقه‌بندی کلاس‌های بیابان‌زایی از نظر میزان بارش سالانه در جدول ۲ قابل مشاهده است.

جدول ۱: مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی منطقه مورد مطالعه

ردیف	نام ایستگاه	نوع ایستگاه	ارتفاع (بر حسب متر)	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی
۱	اهواز	سینوپتیک	۲۲/۵	۳۱° ۱۱' ۵۹"	۴۸° ۲۹' ۵۹"
۲	رامهرمز	سینوپتیک	۱۵۰/۵	۳۱° ۸' ۵۹"	۴۹° ۲۱'
۳	بستان	سینوپتیک	۷/۸	۳۱° ۲۱'	۴۸° ۳۱' ۴۸"
۴	صفی آباد دزفول	سینوپتیک	۸۲/۹	۳۲° ۱۲'	۴۸° ۱۷' ۵۹"
۵	شوشتر	سینوپتیک	۶۷	۳۱° ۲۱' ۳۵"	۴۸° ۲۱'

جدول ۲: تعیین امتیازهای شاخص معیار اقلیم در روش IMDPA (Zehabian et al., 2014)

شاخص ارزیابی	کم	متوسط	شدید	بسیار شدید
بارش سالانه (میلی متر)	بیشتر از ۲۸۰	۱۵۰ - ۲۸۰	۷۵-۱۵۰	<۷۵
	کمتر از ۱/۵	۱/۵۱ - ۲/۵۰	۲/۵۱ - ۳/۵	۳/۵۱ - ۴

معیار آب زیرزمینی

در این پژوهش برای ارزیابی وضعیت فعلی بیابان‌زایی، در مورد معیار آب در منطقه مورد مطالعه از دو شاخص افت سفره آب زیرزمینی و کیفیت آب زیر زمینی که از دو زیرشاخص هدایت الکتریکی (EC) و نسبت جذب سدیم (SAR) تشکیل شده است، استفاده شد (جدول ۳).

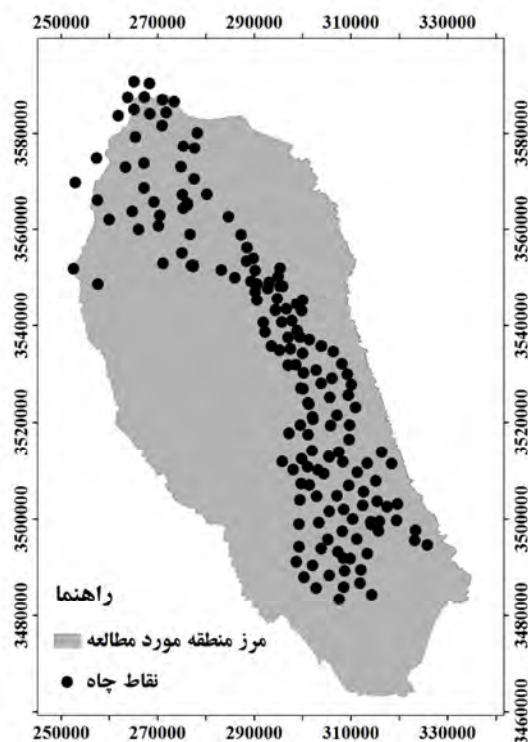
الف: معیار افت آب زیر زمینی

برای بررسی این معیار از افت آب زیرزمینی، ۱۷۰ حلقه چاه عمیق و نیمه‌عمیق در طول دوره (۱۳۹۴-۱۳۷۰) که از سازمان آب و برق استان خوزستان دریافت شده بود (شکل ۲) استفاده شد.

ب: کیفیت آب زیرزمینی

برای بررسی کیفیت آب زیرزمینی از نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی ۱۱۵ حلقه چاه عمیق و نیمه‌عمیق استفاده گردید.

برای تهیه نقشه‌های مربوط به معیار اقلیم و معیار آب زیرزمینی از روش درون‌یابی کریجینگ در نرم‌افزار ۱۰/۳ ArcGIS استفاده شد.



شکل ۲: پراکنش مکانی حلقه چاه عمیق و نیمه‌عمیق در منطقه مورد مطالعه

جدول ۳: تعیین امتیازهای شاخص معیارهای آب در روش IMDPA (Zehtabian et al., 2014)

شاخص ارزیابی	کم	متوسط	شدید	بسیار شدید
افت آب زیرزمینی (cm)	کمتر از ۱/۵	۱/۵۱ - ۲/۵۰	۲/۵۱ - ۳/۵	۳/۵۱ - ۴
EC ($\mu\text{mhos/cm}$)	<۲۰	۲۰-۳۰	۳۰-۵۰	>۵۰
SAR ($\mu\text{mhos/cm}$)	<۱۵	۱۵-۲۶	۲۶-۳۲	>۳۲

تصاویر ماهواره‌ای

در این پژوهش از داده‌های سنجنده‌های ماهواره لندست استفاده شد. جزئیات تصاویر استفاده شده در جدول ۲ آمده است. تصاویر از سازمان زمین‌شناسی آمریکا درخواست و سپس از سایت مربوطه دریافت شد. در تهیه نقشه NDVI، کاربری اراضی و تغییرات آن‌ها به‌ویژه در مناطقی که پوشش‌های گیاهی نقش عمده‌ای دارند، انتخاب زمان مناسب تصاویر بسیار مهم می‌باشد. در این پژوهش داده‌های فصل رویش برای تجزیه و تحلیل در هر مقطع زمانی تهیه شد (بهرنگ‌منش و همکاران، ۲۰۱۹)

جدول ۴: مشخصات تصاویر استفاده شده در پژوهش

سنجنده	ردیف	گذر	تاریخ	مینا	سطح تصحیحات
TM	۳۸	۱۶۵	۲۵-۰۷-۱۹۹۱	WGS84	L1T
ETM+	۳۸	۱۶۵	۲۹-۰۴-۲۰۰۳	WGS84	L1T
OLI	۳۸	۱۶۵	۰۹-۰۶-۲۰۱۵	WGS84	L1T

در این پژوهش برای محاسبه میزان درصد پوشش گیاهی از شاخص تفاضل نرمال پوشش گیاهی (NDVI) استفاده شد؛ زیرا این شاخص به‌عنوان یک شاخص کاربردی و مفید برای محاسبه میزان پوشش گیاهی از طریق داده‌های سنجنده‌ها در بسیاری از مطالعات استفاده شده است. این شاخص از طریق فرمول زیر محاسبه گردید (خسروی و همکاران، ۲۰۱۷)

$$NDVI = \frac{B4 - B3}{B4 + B3} \quad (1)$$

که در آن b3 باند سوم که همان باند قرمز و b4 باند چهارم یا همان باند مادون قرمز نزدیک می‌باشد. با توجه به اینکه شوری خاک یک پارامتر بسیار مهم در بررسی بیابان‌زایی مناطق می‌باشد، در این مطالعه از شاخص NDSI^۱ برای بررسی میزان بیابان‌زایی فاکتور خاک استفاده گردید. این شاخص با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌گردد:

$$NDSI = \frac{B3 - B4}{B3 + B4} \quad (2)$$

که در آن b3 باند سوم که همان باند قرمز و b4 باند چهارم یا همان باند مادون قرمز نزدیک است.

¹ Normalized Difference Soil Index

طبقه‌بندی شدت بیابان‌زایی

برای ارزیابی روند بیابان‌زایی در منطقه مورد مطالعه از مدل بیابان‌زایی IMDPA استفاده شد و شدت بیابان‌زایی برای سال‌های ۱۳۷۰، ۱۳۸۰ و ۱۳۹۴ محاسبه گردید. در این روش برای محاسبه هر معیار از میانگین هندسی شاخص‌های خود براساس رابطه (۱) به دست آمد.

$$\text{Index-X} = [(\text{Layer-1}) \cdot (\text{Layer-2}) \dots (\text{Layer-n})]^{1/n} \quad (3)$$

در این رابطه Index-x: معیار مورد نظر، Layer: شاخص‌های هر معیار و n: تعداد شاخص‌های هر معیار است. ابتدا، در نهایت نقشه وضعیت بیابان‌زایی منطقه از میانگین هندسی معیارهای اقلیم، آب، پوشش گیاهی و خاک در نرم افزار ArcGIS ۱۰/۳ تهیه شد و با توجه به جدول (۳) شدت بیابان‌زایی منطقه مورد مطالعه برای دوره‌های مورد مطالعه محاسبه گردید.

جدول ۵: کلاس و ارزش عددی شدت بیابان‌زایی بر اساس مدل IMDPA (زمتابیان و همکاران، ۲۰۱۴)

کلاس بیابان‌زایی				
کلاس	کم	متوسط	شدید	بسیار شدید
ارزش عددی	۱-۰/۵	۱/۲-۵۱/۵	۲/۳-۵۱/۵	۳/۴-۵۱

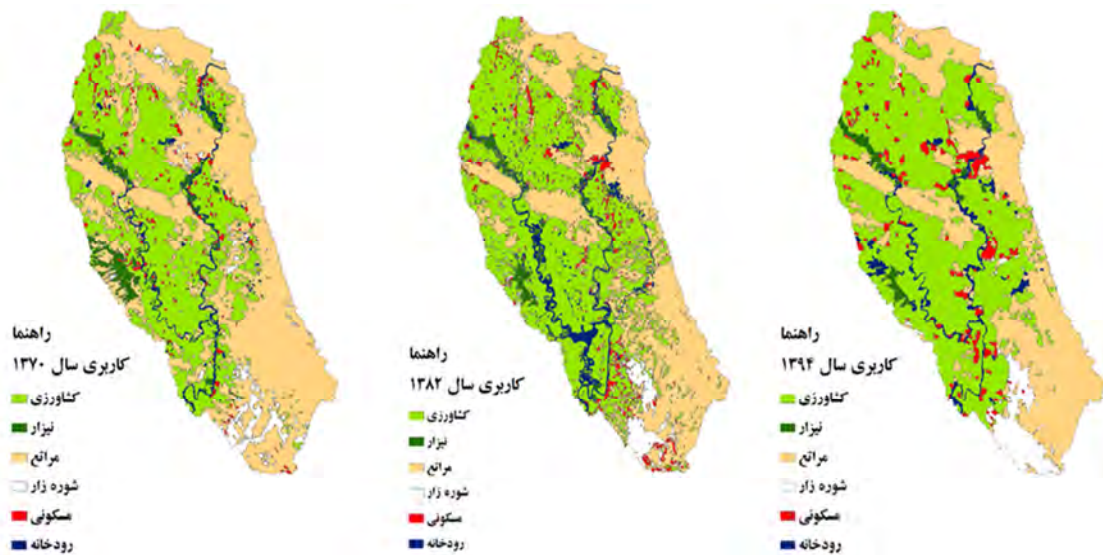
ارائه مدل عملیاتی پایش

برای ارائه مدل عملی پایش، ابتدا با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، نقشه کاربری اراضی برای سال‌های ۱۳۷۰، ۱۳۸۲ و ۱۳۹۴ تهیه شد. با روی هم گذاری نقشه‌های شدت بیابان‌زایی و کاربری اراضی (پیکسل به پیکسل)، شدت بیابان‌زایی هر کاربری تعیین شد. سپس ارتباط شدت بیابان‌زایی و کاربری اراضی با استفاده از مدل‌های مختلفی رگرسیونی خطی و غیرخطی در نرم‌افزار Excel برازش داده شد و با استفاده از آمار ضریب تعیین مورد مقایسه قرار گرفتند که پس از مقایسه مدل‌های مختلف، مدل رگرسیون خطی به عنوان بهترین مدل انتخاب شد.

یافته‌های پژوهش

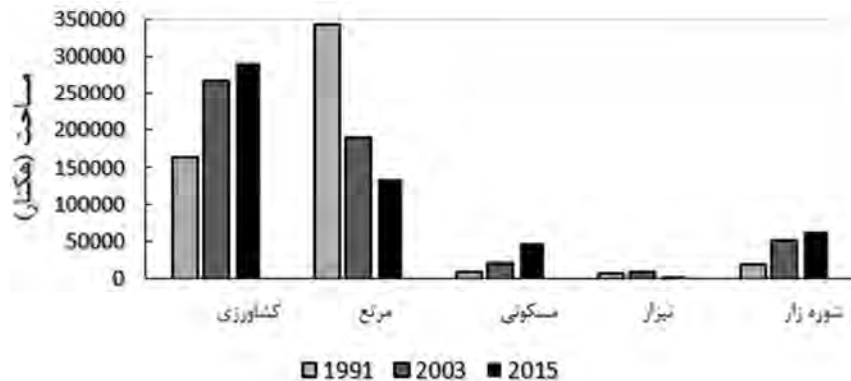
نقشه‌های کاربری‌های مختلف اراضی

نتایج تفسیر بصری تصاویر ماهواره‌ای مربوط به سال‌های ۱۳۷۰، ۱۳۸۲ و ۱۳۹۴ در شکل ۳ نشان داده شده است. در طی دوره مورد بررسی (۱۳۷۰-۱۳۹۴) مناطق مسکونی، اراضی کشاورزی و شوره‌زار توسعه چشم‌گیری داشته‌اند و وسعت مراتع نیز بسیار کاهش پیدا کرده است و کاربری نیز کاهش کمتری را نشان می‌دهد.



شکل ۳: نقشه تغییرات کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه (۱۳۷۰، ۱۳۸۲، ۱۳۹۴)

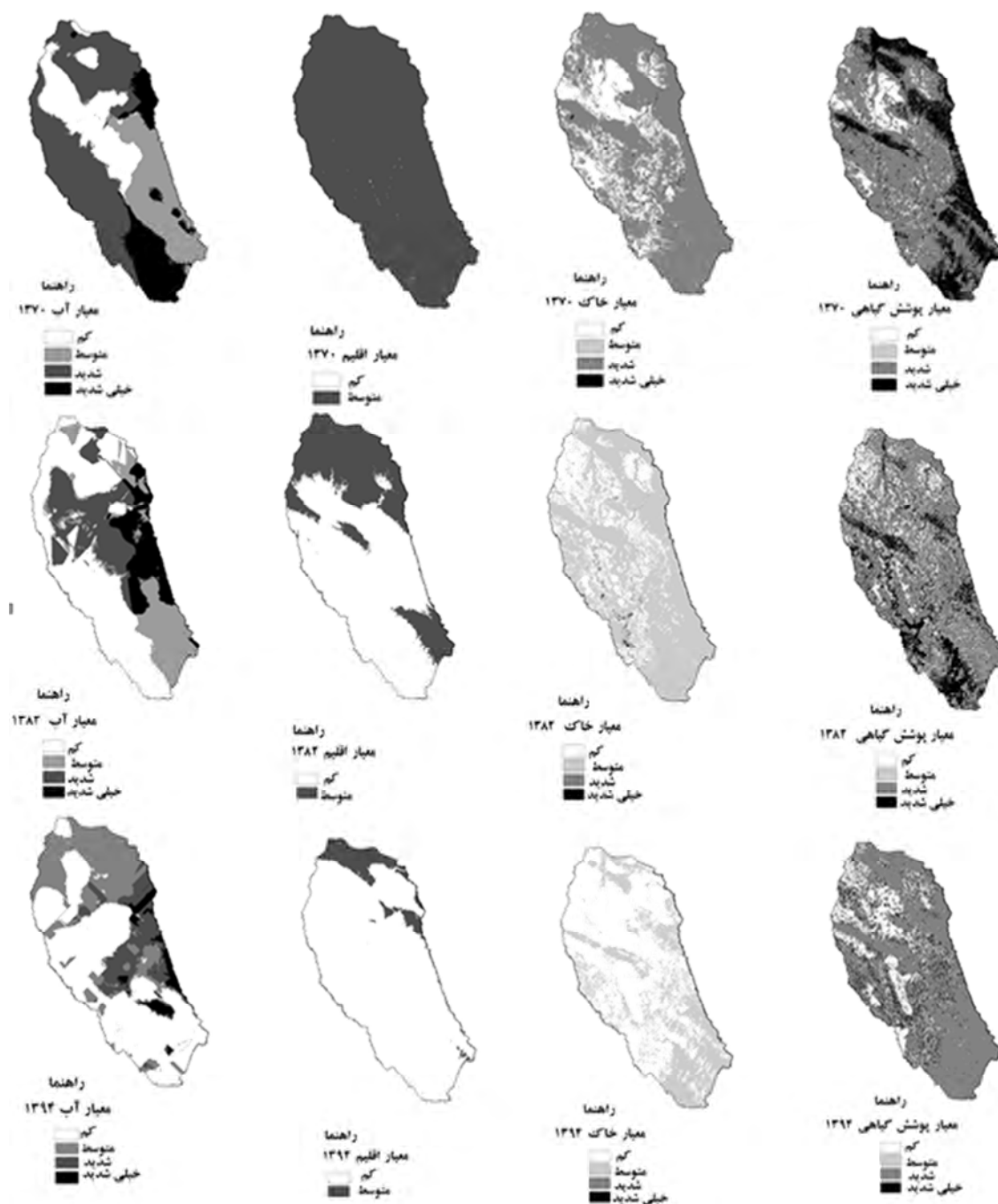
باتوجه به نقشه کاربری اراضی تهیه شده مربوط به سال ۱۳۷۰، بیشترین سطح مربوط به کاربری مرتع با مساحت ۳۴۲۱۱۸ هکتار معادل ۶۲ درصد از کل مساحت منطقه مورد مطالعه می باشد. کاربری اراضی کشاورزی دارای مساحت ۱۶۴۶۶۲ هکتار و سطحی معادل با ۳۰ درصد از سطح کل منطقه را تشکیل داده است. مساحت کاربری کشاورزی در سال ۱۳۸۲ با سطح ۲۶۷۲۷۸ هکتار معادل با ۴۸ درصد از سطح کل منطقه، بزرگترین طبقه را تشکیل داده است. اراضی مرتعی نیز با مساحت ۱۸۹۷۲۶ هکتار، ۳۴ درصد از کل سطح را به خود اختصاص داده است. در سال ۱۳۹۴ اراضی کشاورزی افزایش یافته و دارای مساحت ۲۹۲۶۹۴ هکتار که معادل ۵۳ درصد از کل منطقه می باشد. مناطق انسان ساخت در طول دوره ۱۳۷۰-۱۳۹۴ افزایش چشم گیری داشته است. مساحت هر یک از کاربری ها در شکل ۵ نشان داده شده است. در طی ۲۴ سال دوره آماری، کاربری های مختلف دچار تغییر شده اند به طوری که سطح اراضی کشاورزی افزایش یافته است. علاوه بر آن اراضی مسکونی- شهری بر وسعت شان اضافه شده است و کاهش چشم گیر کاربری مرتع نیز کاملاً مشهود می باشد و کاربری شوره زار نیز با افزایش همراه بوده و این در حالی است که کاربری نيزار تغییر چندانی را نشان نمی دهد.



شکل ۴: مساحت کاربری‌های مختلف در طول دوره‌ی آماری

تجزیه و تحلیل معیارها، شاخص‌ها و شدت بیابان‌زایی

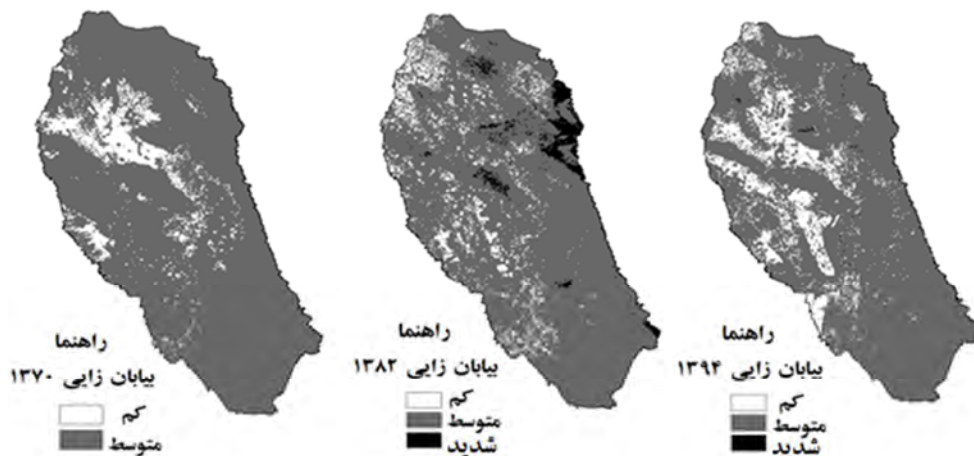
شکل ۵ و ۶ نقشه شاخص‌ها، معیارها و شدت بیابان‌زایی در منطقه مورد مطالعه در سه دوره مورد مطالعه را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل معیارهای انتخابی برای برآورد نقشه بیابان‌زایی نشان می‌دهد که بین سال‌های ۱۳۷۰، ۱۳۸۲ و ۱۳۹۴ درصد مساحت کلاس‌های کم و متوسط معیار آب روند افزایشی را داشته است؛ به طوری که کلاس کم در سال‌های ۱۳۷۰ و ۱۳۹۴ به ترتیب حدود ۲۰ و ۴۲ درصد و کلاس متوسط در این سال‌ها نیز به ترتیب ۲۲ و ۲۹ درصد از منطقه را در بر گرفته است. این در حالی است که درصد مساحت کلاس‌های شدید و خیلی شدید کاهش یافته است؛ به طوری که کلاس شدید در سال ۱۳۷۰ و ۱۳۹۴ به ترتیب حدود ۴۳ و ۱۴ و کلاس خیلی شدید نیز به ترتیب در این سال‌ها ۱۵ و ۵ درصد منطقه را شامل شده است. این در حالی است که در این بازه زمانی ۲۴ ساله، کلاس کم معیار اقلیم افزایش زیادی داشته ولی کلاس متوسط به شدت کاهش داشته است. در مورد معیار خاک، کلاس‌های کم و متوسط معیار خاک روند صعودی داشته و کلاس‌های شدید و خیلی شدید روند کاهشی را نشان می‌دهد. درصد کلاس‌های کم و متوسط معیار خاک به ترتیب از ۲۰ و ۱۰ درصد در سال ۱۳۷۰ به ۶۵ و ۳۰ درصد در سال ۱۳۹۴ رسیده، در حالی که درصد کلاس‌های بسیار شدید از ۵ به ۲ درصد رسیده است. کلاس‌های پوشش گیاهی نیز نشان می‌دهد که در طول دوره مورد بررسی، کلاس‌های کم و متوسط دهنده روند صعودی و کلاس شدید و خیلی شدید نیز روند کاهشی داشته‌اند.



شکل ۵: نقشه معیارهای آب، اقلیم، پوشش و خاک در دوره‌های مختلف

نقشه‌های شدت بیابان‌زایی (شکل ۶) نشان می‌دهد که در سال ۱۳۷۰ حدود ۹/۶ درصد منطقه در کلاس کم و ۹۰/۴ درصد منطقه در کلاس متوسط قرار گرفته است. از سال ۱۳۸۲ کلاس شدید بیابان‌زایی در قسمت شمال شرقی

مشاهده شده که ۸/۳ درصد منطقه را شامل می‌شود و کلاس‌های کم و متوسط به‌ترتیب حدود ۸/۵ و ۸۳/۲ درصد منطقه را در بر گرفته‌اند. درصد کلاس‌های کم، متوسط و شدید در سال ۱۳۹۴ به‌ترتیب حدود ۱۴/۸، ۸۵ و ۰/۲ درصد از کل منطقه را شامل می‌شوند.



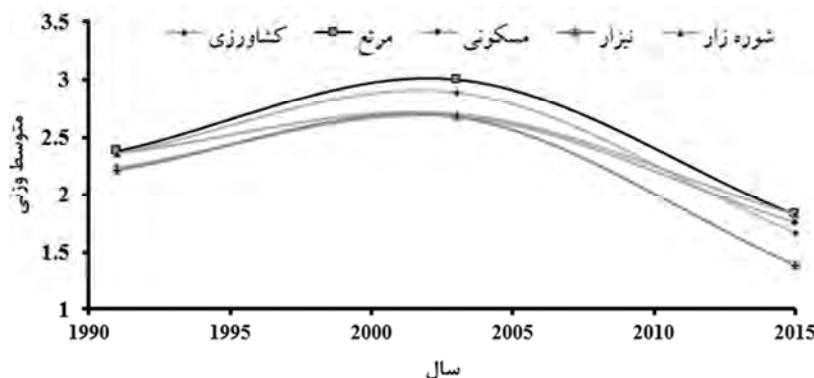
شکل ۶: نقشه شدت بیابان‌زایی در دوره‌های مختلف

بررسی رابطه بین شاخص‌های ریسک بیابان‌زایی و تغییرات کاربری اراضی

ارتباط بین متوسط ارزش کمی شدت بیابان‌زایی و هر کاربری در طول دوره آماری در شکل ۷ نشان داده شده است. شدت بیابان‌زایی با شیب متفاوت در همه کاربری‌ها دارای روند یکسان می‌باشد. این بررسی نشان می‌دهد که در همه کاربری‌ها از ۱۳۷۰ تا سال ۱۳۸۲ بیابان‌زایی روند افزایشی را دنبال می‌کند؛ ولی پس از آن تا سال ۱۳۹۴ این روند کاهشی بوده است. در طول دوره شدت بیابان‌زایی، در کاربری مرتع از همه کاربری‌ها بیشتر بوده است. در سال ۱۳۷۰ و ۱۳۸۲ کاربری کشاورزی از نظر شدت بیابان‌زایی در رتبه دوم قرار داشته است؛ ولی در انتهای دوره کاربری‌های شوره‌زار و اراضی مسکونی بالاتر از کشاورزی قرار گرفته‌اند. باتوجه به شیب روند تغییرات، این انتظار وجود دارد که در آینده نزدیک کاربری شوره‌زار بیشترین تأثیر را در بیابان‌زایی منطقه داشته باشد.

جدول ۶: متوسط ارزش کمی شدت بیابان‌زایی در هر کاربری اراضی

کاربری اراضی	۱۳۷۰	۱۳۸۲	۱۳۹۴
کشاورزی	۲/۳۶	۲/۸۹	۱/۶۷
مرتع	۲/۳۸	۳	۱/۸۳
مسکونی	۲/۲۴	۲/۶۸	۱/۷۶
نیزار	۲/۲۲	۲/۶۸	۱/۳۹
شوره زار	۲/۳۶	۲/۷	۱/۸۳



شکل ۷: ارتباط متوسط وزنی ارزش کمی شدت بیابان‌زایی مختص به هر کاربری

مدل عملیاتی پایش

نتایج مدل‌سازی رابطه بین شدت بیابان‌زایی و کاربری اراضی در کل منطقه مورد مطالعه در جدول ۵ آورده شده است. باتوجه به میزان ضریب تعیین کاربری‌های مختلف ملاحظه می‌شود که از میان کاربری‌های مختلف بهترین مدل، مدل به‌دست‌آمده برای کاربری شوره‌زار می‌باشد.

جدول ۷: رابطه شدت بیابان‌زایی و کاربری اراضی در کل منطقه مورد مطالعه

کاربری	R^2	رابطه شدت بیابان‌زایی و کاربری اراضی
کشاورزی	۰/۳۳۹	$D = -7E - 11AL_{agri}^2 + 3E - 05AL_{agri}$
مرتع	۰/۶۰۴	$D = -4E - 11AL_{rangl}^2 + 2E - 05AL_{rangl}$
مسکونی	۰/۴۶۱	$D = -4E - 09AL_{urb}^2 + 0.0002AL_{urb}$
نیزار	۰/۸۸۹	$D = 2E - 09AL_{flg}^2 + 0.0003AL_{flg}$
شوره‌زار	۰/۹۶۰	$D = -2E - 09AL_{saltl}^2 + 0.0002AL_{saltl}$

AL=مساحت کاربری agri=کشاورزی rangl=مرتع urb=مسکونی flg=نیزار saltl=شوره‌زار

D=امتیاز بیابان‌زایی

نتایج و بحث

در این پژوهش، به بررسی ارتباط بین شاخص‌های ریسک بیابان‌زایی و تغییر کاربری اراضی و ارائه مدل عملیاتی پایش پرداخته شد. به‌منظور تهیه نقشه کاربری اراضی منطقه از تصاویر ماهواره‌ای استفاده شد و کاربری‌های اراضی کشاورزی، مرتع، مسکونی، نیزار، شوره‌زار، رودخانه و اراضی بایر، شوره‌زار مشخص شدند. باتوجه به نتایج به‌دست‌آمده از تفسیر نقشه‌های تغییرات کاربری اراضی در طول ۲۴ سال دوره آماری، منطقه مورد مطالعه با گسترش شهرسازی، افزایش کشاورزی و کاهش چشم‌گیر اراضی مرتعی مواجه بوده است. در رابطه با بررسی تغییرات پوشش گیاهی منطقه از تصاویر ماهواره‌ای و شاخص NDVI استفاده شد. نتایج نشان داد، با افزایش اراضی کشاورزی مقدار NDVI افزایش پیدا کرده است. نتایج به‌دست‌آمده بر فرضیه مبنی بر صنعتی‌شدن منطقه مورد مطالعه در طول زمان تایید می‌کند، چراکه این افزایش در مقدار NDVI به‌دنبال به‌کارگیری کشاورزی مکانیزه توسط کشاورزان و بهبود راندمان کشت و تولید ایجاد شده است. کاظمی‌نیا (۲۰۱۷) در بررسی وضعیت پوشش گیاهی با استفاده از داده‌های سنجنش-

از دور نشان داد مناطقی که شاخص NDVI کاهش پیدا کرده است، مناطق تخریب شده هستند و بیابان‌زایی در این مناطق در حال وقوع است. افزایش میزان NDVI در منطقه تاییدکننده افزایش اراضی کشاورزی که خود تاییدکننده افزایش استفاده از آب زیرزمینی برای آبیاری کشاورزی است. ایزدپناه و همکاران (۱۳۹۰) نیز بیان کردند که بیشترین بهره‌برداری از سفره آب زیرزمینی در استان خوزستان با ۹۰ درصد به بخش کشاورزی اختصاص داده می‌شود.

در رابطه با بررسی تغییرات شوری خاک منطقه از تصاویر ماهواره‌ای و شاخص NDSI استفاده شد که منطقه به سه طبقه مختلف تقسیم شد. بر طبق نقشه‌های به‌دست‌آمده، در سال ۱۳۷۰ بیشتر منطقه در کلاس شوری متوسط سپس مقدار NDSI تا سال ۱۳۸۲ به تدریج افزایش پیدا کرده است. به‌طورکلی مقدار شوری خاک در منطقه کم بوده، به‌طوری‌که در سال ۱۳۹۴ قسمت عمده‌ای از مساحت منطقه در کلاس شوری کم قرار می‌گیرد. به‌طورکلی در سال ۱۳۷۰ بیشترین افت در سطح آب زیرزمینی مشاهده شد، درحالی‌که در سال ۱۳۹۴ بیشترین افزایش در سطح آب زیرزمینی اتفاق افتاد. باتوجه به نتایج به‌دست‌آمده از کیفیت و کمیت آب‌های زیرزمینی در طول دوره آماری، مشاهده شد که به تدریج مقدار کمیت و کیفیت در قسمت شمال، شرق و جنوبی رو به کاهش است.

نتایج تحلیل روند سالانه بارش دوره آماری ۳۶ ساله (۱۳۵۸-۱۳۹۴) نشان داد که بارش منطقه از روندی کاهشی در بین سال‌های ۱۳۸۲-۱۳۷۰ برخوردار بوده است؛ اما این روند ادامه نداشته و در بین سال‌های ۱۳۹۴-۱۳۸۲ میزان بارش افزایش یافت. باتوجه به‌اینکه میزان بارش در طول دوره آماری بلندمدت، روند افزایشی را نشان می‌دهد، می‌توان چنین نتیجه گرفت که عوامل طبیعی نیز نقش بسزایی در کاهش شدت بیابان‌زایی در این دوره را داشته‌اند. براساس مطالعه آروین و اسکندریان (۲۰۱۷) در بررسی روند خشکسالی استان خوزستان بین سال‌های ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۵، حدود ۸۵ درصد منطقه مورد مطالعه تحت تأثیر خشکسالی نبوده و همچنان ادامه دارد که این بیانگر افزایش بارش و کاهش شدت است.

بررسی تغییر کاربری در این سه دوره نشان داد که کاربری کشاورزی به‌طورکلی روند افزایشی را دنبال کرده است که علت آن را می‌توان توسعه و رونق کشاورزی به شیوه‌های جدید و علمی در منطقه دانست. همچنین دوره ابتدایی مورد مطالعه با تمام‌شدن جنگ تحمیلی و دوره بازسازی در این مناطق هم‌زمان بوده است که خود افزایش کاربری‌های کشاورزی و مسکونی را تا حد زیادی توجیه می‌کند. کاربری شوره‌زار نیز با افزایش همراه بوده و نیاز روند کاهش با شیب ملایمی را دنبال می‌کند. کاربری مرتع نیز به‌دلیل تغییر کاربری اراضی به شدت کاهش یافته است که با نتایج نظری سامانی و همکاران (۲۰۱۰) در طالقان هم‌سویی دارد. نتایج روند تغییرات کاربری در برخی کاربری‌ها مانند اراضی رها شده و مراتع در طالقان است، اراضی رها شده از ۸ به ۱۶ درصد افزایش یافته و اراضی مرتعی با کاهش ۱۱ درصدی بیشترین تغییرات را داشته‌اند.

در بررسی وضعیت بیابان‌زایی مشخص شد که در هر سه دوره بیابان‌زایی در حال وقوع است و در دوره دوم با شدت بیشتری نسبت به دوره اول اتفاق افتاده است. به‌طوری‌که از مساحت طبقه کم کاسته شده و بر مساحت طبقات متوسط و شدید افزوده گردید؛ ولی در دوره سوم شدت بیابان‌زایی کاهش یافته است. نتایج بالا با مطالعات دیگران

هم‌خوانی دارد. لی^۱ و همکاران (۲۰۱۳) در پایش و آنالیز دینامیک شدت بیابان‌زایی بیان داشتند که مساحت مراتع از ۳۵۷۳ کیلومتر مربع در سال ۱۹۹۳ تا ۱۴۵۰ کیلومتر مربع در سال ۲۰۱۱ کاهش یافته است و به اراضی بیابانی تبدیل شده است. نتایج پژوهش مراری و دالبیت^۲ (۲۰۱۲) نیز نشان داد که بیشترین فرآیند بیابان‌زایی در کلاس کم ۱۷ کیلومتر مربع و کلاس شدید ۷۰/۹۴ کیلومتر مربع می‌باشد، در نتیجه بیابان‌زایی در سال ۲۰۰۸ نسبت به ۱۹۸۷ افزایش یافته است. نتایج پژوهش Liu و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی مدیریت روند بیابان‌زایی بر اساس تغییرات کاربری اراضی نشان داد که در کل دوره درصد تپه شنی فعال، نیمه فعال و ثابت افزایش یافته است. اراضی مرتعی در طول این دوره روند کاهش را نشان داد که باعث افزایش روند بیابان‌زایی در منطقه شده است. جعفری زاده (۲۰۱۰) در مطالعه‌ای با عنوان ارزیابی شدت بیابان‌زایی با استفاده از مدل IMDPA در منطقه ملاثانی به این نتیجه رسید که معیار پوشش گیاهی با ارزش ۳/۵۲ در کلاس بسیار شدید قرار دارد و ارزش کمی شدت بیابان‌زایی برای کل منطقه مورد مطالعه $DS = 1/83$ محاسبه شد. با مقایسه این مقدار با طبقه‌بندی رایج در IMDPA کلاس بیابان‌زایی برای کل منطقه متوسط برآورد می‌گردد. زهتابیان (۲۰۱۲) در طرح اطلس ملی بیابان‌زایی بیان داشت، بیشتر مناطق ایران در وضعیت بیابان‌زایی متوسط قرار گرفته است.

بررسی‌های صورت گرفته بر روی متوسط ارزش عددی شدت بیابان‌زایی در هر کاربری در هر سال و مقایسه آن نشان می‌دهد که بیشترین تأثیر را کاربری مرتع، کشاورزی و سپس مناطق مسکونی داشته و کمترین تأثیر را کاربری نیزار در بیابان‌زایی منطقه داشته است. همچنین برای بررسی بهتر ارتباط شاخص‌های ریسک بیابان‌زایی و تغییر کاربری از میان مدل‌های برازش داده‌شده، مدل رگرسیون خطی بیان‌کننده بیشترین ارتباط بین کاربری و شدت بیابان‌زایی است. باتوجه به ضریب همبستگی، بهترین ارتباط بین شدت بیابان‌زایی و تغییر کاربری اراضی در کاربری شوره‌زار $R^2 = 0/96$ مشاهده شد. در پایان پیشنهاد می‌شود این مطالعه برای مدت زمان طولانی‌تر و این روند به صورت سالانه بررسی گردد.

نتیجه‌گیری

تغییرات کاربری اراضی و پوشش سطح زمین به شدت ریسک بیابان‌زایی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. امروزه با استفاده امکانات سنجش‌ازدوری که داده‌های ثبت شده از گذشته و به‌روز خود را در اختیار محققان گذاشته است، به‌خوبی می‌توان در ارزیابی ریسک بیابان‌زایی مورد استفاده قرار گیرند. از داده‌های ماهواره لندست برای بررسی روند تغییرات کاربری‌های اراضی در یک دوره ۲۴ ساله به‌ترتیب برای سال‌های ۱۳۷۰، ۱۳۸۲ و ۱۳۹۴ در مدل IMDPA برای برآورد نقشه بیابان‌زایی استفاده شد و مدل عملیاتی مناسب در هر کاربری ارائه گردید. در طول این دوره ۲۴ ساله مناطق مسکونی و شهری، اراضی کشاورزی و شوره‌زار افزایش و وسعت مراتع و نیزار کاهش یافته‌اند. بررسی‌های شدت بیابان‌زایی در هر کاربری در هر سال نشان داد که بیشترین تأثیر در بیابان‌زایی منطقه مورد مطالعه را کاربری مرتع، کشاورزی و سپس مناطق مسکونی و کمترین آن را کاربری نیزار داشته است. همچنین ارتباط شاخص‌های در بررسی ریسک بیابان‌زایی و تغییر کاربری نشان داد که مدل رگرسیون خطی بیشترین ارتباط بین کاربری و شدت

¹- Li

²- Dawelbait, Morari

بیابان‌زایی را نشان می‌دهد. باتوجه به ضریب همبستگی، بهترین ارتباط بین شدت بیابان‌زایی و تغییر کاربری اراضی در کاربری شوره‌زار با ضریب تبیین مناسب مشاهده شد. بنابراین تغییرات کاربری غیر اصولی نقش بسزایی در افزایش ریسک بیابان‌زایی در منطقه مورد مطالعه داشته است که این نشان دهنده مدیریت نامناسب اراضی که تأثیر مستقیمی بر افزایش تخریب اراضی و در نتیجه افزایش شرایط بیابان‌زایی منطقه می‌باشد. در حالت کلی با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدوری به‌عنوان ورودی، با استفاده از مدل‌های منطقه‌ای مانند IMDPI به‌خوبی می‌توان روند بیابان‌زایی و تخریب اراضی را بررسی کرد و مطابق با این روند تغییرات سیاست‌های اجرایی و برنامه‌ریزی مدیریتی برای مقابله با بیابان‌زایی و تخریب اراضی اتخاذ نمود.

منابع

- ایزدپناه زهرا. مجید بهزاد و صدیقه حیدری (۱۳۹۰)، وضعیت بهره‌برداری از سفره‌های آب زیرزمینی در استان خوزستان جهت مصارف کشاورزی، پنجمین کنفرانس سراسری آبخیزداری و مدیریت منابع آب و خاک کشور، کرمان، انجمن مهندسی آبیاری و آب ایران.
- جعفری زاده مسعود (۱۳۸۹)، ارزیابی شدت بیابان‌زایی با استفاده از مدل IMDPA (مطالعه موردی: منطقه ملائانی اهواز)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.
- زبیری محمود و علی رضا مجد (۱۳۷۷). آشنایی با سنجش‌ازدور و کاربرد در منابع طبیعی، انتشارات دانشگاه تهران
- زهتابیان، غلامرضا. (۱۳۹۱)، اطلس ملی بیابان‌زایی. مرکز هم‌زیستی با بیابان دانشگاه تهران.
- سلیمانی ساردو فرشاد، مصباح زاده طیبه، برومند ناصر، آذره علی و الهام رفیعی ساردوئی (۱۳۹۷). بررسی روند تغییرات بیابان‌زایی در دشت کرمان با استفاده از مدل IMDPA، فصلنامه جغرافیا (برنامه‌ریزی منطقه‌ای)، ۸ (۳)، صص ۴۰-۲۵.
- http://jgeoqeshm.ir/article_68867.html
- آروین عباسعلی و غلامرضا اسکندریان (۱۳۹۶). بررسی روند خشکسالی استان خوزستان. پژوهش‌های مکانی-فضایی، ۴ (۳)، صص ۳۰-۱۹.
- <http://ensani.ir/fa/article/377160>
- عشقی زاده مسعود (۱۳۹۷). کاربرد شاخص‌های اکولوژی چشم‌انداز در پایش و ارزیابی بیابان‌زایی (مطالعه موردی: منطقه عمرانی گناباد). جغرافیا و پایداری محیط، ۸ (۲)، صص ۸۷-۷۵.
- https://ges.razi.ac.ir/article_919.html
- علوی پناه سید کاظم، (۱۳۸۲). کاربرد سنجش‌ازدور در علوم زمین، انتشارات دانشگاه تهران، ۴۷۸ صفحه
- کاظمی نیا عبدالرضا (۱۳۹۶). کاربرد سنجش‌ازدور و GIS در بررسی پوشش گیاهی. نشریه علمی ترویجی مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، ۹ (۱)، صص ۸۵-۷۵.
- <http://gej.issge.ir/article-1-260-fa.html>
- مدنیان ملیحه سادات (۱۳۸۸)، مروری بر برخی از روش‌های آشکارسازی تغییرات با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور، مجله سپهر، ۲۱ (۸۲)، ۴۹-۴۴.
- http://sepehr.org/article_26258.html
- مزیدی، حسینی و احمد فاطمه السادات (۱۳۹۴). تأثیر تغییر کاربری و پوشش زمین بر جزیره گرمایی در منطقه شهری یزد با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور، مجله جغرافیا و توسعه، ۳۸، صص ۱-۱۲.
- <http://ensani.ir/fa/article/340216>
- نظری‌سامانی علی. قربانی مهدی و حمید کوهبانی (۱۳۸۹). ارزیابی روند تغییرات کاربری اراضی حوزه آبخیز طالقان در دوره ۱۳۶۶ تا ۱۳۸۰، مجله علمی پژوهشی مرتع، ۴ (۳)، صص ۴۴۲-۴۵۱.
- <https://sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=142072>
- Behrang Manesh M, Khosravi H, Heydari lamdarloo E, Sadi Alekasir MS, Gholami A, Singh, VP (2019). Linkage of agricultural drought with meteorological drought in different climates of Iran. Theoretical and Applied Climatology, 138(2), pp 1-25-1033. doi: 10.1007/s00704-019-02878-w
- Bezerra, F. G. S., Aguiar, A. P. D., Alvalá, R. C. S., Giarolla, A., Bezerra, K. R. A., Lima, P. V. P. S.,... & Arai, E. (2020). Analysis of areas undergoing desertification, using EVI2 multi-temporal data based on MODIS imagery as indicator. Ecological Indicators, 117, 106579. doi: 10.1016/j.ecolind.2020.106579
- Dawelbait, M and Morari, F. (2012). Monitoring desertification in a Savannah region in Sudan using Landsat images and spectral mixture analysis. Journal of Arid Environments, 80: pp 45-55. doi: 10.1016/j.jaridenv.2011.12.011

- De Jong, J. G., Lauzon, H. A., Dominy, C., Poloumienko, A., Carstens, E. B., Arif, B. M., & Krell, P. J. (2005). Analysis of the *Choristoneura fumiferana* nucleopolyhedrovirus genome. *Journal of General Virology*, 86(4), pp 929-943. doi: 10.1099/vir.0.80490-0
- Dougill AJ, Fraser EG., Reed MS. (2010). Anticipating vulnerability to climate change in dryland pastoral systems: using dynamic systems models for the Kalahari. *Ecology and Society* 15:17.
- Goovaerts, P. (1997). *Geostatistics for natural resources evaluation*. Oxford University Press on Demand.
- Isaaks, E. H., & Srivastava, R. M. (1988). Spatial continuity measures for probabilistic and deterministic geostatistics. *Mathematical geology*, 20(4), pp 313-341. doi: 10.1007/BF00892982
- James, L. F; Young, J. A and Sanders, K. (2003). A new approach to monitoring rangeland. *Arid Land Research and Management*, 17, pp 319-328. doi: 10.1080/713936118
- Khosravi, H., E. Haydari, S. Shekoohzadegan. S. Zareie, (2017). Assessment the effect of drought on vegetation in desert area using landsat data. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 20, s3-s12. doi: 10.1016/j.ejrs.2016.11.007
- Khosravi, H., Zehtabian, G. R., Abolhasani, A., & Damaneh, H. E. (2019). Assessment, Monitoring and Early Warning System for Desertification Based on Water Criterion (case Tudy: Kashan, Iran). *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, pp 629-637. doi: 10.5194/isprs-archives-XLII-4-W18-629-2019
- Kuang, Q., Yuan, Q. Z., & Han, J. C. (2020). A remote sensing monitoring method for alpine grasslands desertification in the eastern Qinghai-Tibetan Plateau. *Journal of Mountain Science*, 17(6), pp 1423-1437. doi: 10.1007/s11629-020-5986-6
- Li, J., Yang, X; Jin, Y., Yang, Z., Huang, W., Zhao, L., Gao, T., Yo, H., Ma, H., Qin, Z and Xu, B. (2013). Monitoring and analysis of grassland desertification dynamics using landsat images in Ningxia China. *Remote Sensing of Environment*, 138, pp 19-26. doi: 10.1016/j.rse.2013.07.010
- Liu, H., Zhou, Ch., Cheng, W and Long, Li. (2008). Monitoring sandy desertification of Otindag Sandy Land based on multi-date remote sensing images. *Journal ActaEcological Sinica*, 28, pp 627-635. doi: 10.1016/S1872-2032(08)60029-3
- Loireau M, Sghaier M, Fetoui M, Ba M, Abdelrazik M, (2007). Local Environmental Information System (LEIS) for assessing desertification risk: circum-saharien compared situations (réseau ROSELT). *Sci planet changes / Sécheresse* 18, pp 328-335.
- Mousavi, S.A., Shahriari, A., fakhire, A., Ranjbar Fordoi, A., & Rahdari, V. (2014). Assessment of changes trend of land cover with use of remote sensing data in Hamoon wetland. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, 4(5), pp 146-156.
- Ping, J. L., & Dobermann, A. (2003). Creating spatially contiguous yield classes for site-specific management. *Agronomy Journal*, 95(5), pp 1121-1131. doi: 10.2134/agronj2003.1121
- Pishyar, S., Khosravi, H., Tavili, A., Malekian, A., & Sabourirad, S. (2020). A Combined AHP-and TOPSIS-Based Approach in the Assessment of Desertification Disaster Risk. *Environmental Modeling & Assessment*, 25(2), pp 219-229. doi: 10.1007/s10666-019-09676-8
- Puigdefabregas J. (2009). *Ecosystemic Approaches To Land Degradation*, *Advances in studies on desertification*
- Razavi B. (1993). Appointment descent of Kutum (*Rutilus frisii kutum*) with *Electrophorus*. Thesis of M.Sc in fisheries. Azad University of Tehran, 5-9 p .
- Reynolds JF, Grainger A, Sattford Smith DM, Bastin G, Garcia-Barrios L. (2011) Scientific concepts for an integrated analysis of desertification. *Land Degradation Development*, 22, pp 83-166. doi: 10.1002/ldr.1104
- Roel, A., & Plant, R. E. (2004). Spatiotemporal analysis of rice yield variability in two California fields. *Agronomy Journal*, 96(1), pp 77-90. doi: 10.2134/agronj2004.7700
- Schepers, A. R., Shanahan, J. F., Liebig, M. A., Schepers, J. S., Johnson, S. H., Luchiari, A. (2004). Appropriateness of management zones for characterizing spatial variability of soil properties and irrigated corn yields across years. *Agronomy Journal*, 96(1), pp 195-203. doi: 10.2134/agronj2004.1950
- Sommer S, zucca C, Grainger A, Cherlet M, Zougmore R, (2011). Application of indicator systems for monitoring and assessment of desertification from national to global scales. *Land Degradation and Development* 22, pp 184-97. doi: 10.1002/ldr.1084
- Symeonakis. E and N. Drake (2004), Monitoring desertification and land degradation over sub-Saharan Africa, *International Journal of Remote Sensing*, 25(3), pp 1-12. doi: 10.1080/0143116031000095998
- Verestreat M, Hutchinson C, Grainger A, Stafford Smith DM, Scholes RJ. (2011). Towards a global dryland observing system: observational requirements and institutional solutions. *Land Degradation and Development*. 22, pp 189-213. doi: 10.1002/ldr.1046
- Xie, Z. (2014). *Research Advance in Remote Sensing to Land Desertification Monitoring*, School of Surveying and Prospecting Engineering, Jilin, Jilin Jianzhun University, Changchun, China, Changchun, China.
- Zolfaghari, F., Khosravi, H., Shahriyari, A., Jabbari, M., & Abolhasani, A. (2019). Hierarchical cluster analysis to identify the homogeneous desertification management units. *Plos one*, 14(12), e0226355. doi: 10.1371/journal.pone.0226355.

Research Article

Investigating the relationship between desertification criteria and land use change and providing operational monitoring methodology Using IMDPA

Marjan Behnia¹, Gholamreza Zehtabian², Hassan Khosravi^{3*}, Khaled Ahmadali⁴, Aliakbar Nazari Samani⁵, Tayebeh Mesbahzadeh⁶

1. M.Sc. Expert in Combating Desertification, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

2. Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

3*. Associate Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

4. Assistant Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

5. Associate Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

6. Associate Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

Received: 24-02-2020

Final Revised: 01-10-2020

Accepted: 28-11-2020

Abstract

Desertification is one of the destructive phenomena in the human court that causes the destruction of natural resources. Since Iran is located on a dry and semi-arid belt, recognizing the phenomenon of desertification and the factors affecting its intensification in our country is very important. In this research, satellite image information was used to study the role of land use change on desertification phenomena in the study area in northern Khuzestan. In a 24-year statistical period, a desertification intensity map was prepared using the IMDPA model based on water, climate, vegetation and soil criteria. The land use map of the area was prepared for three periods of 1991, 2003 and 2015, including six landuses: agriculture, rang land, salt land, flaggy and river. The results of the desertification intensity map showed that the intensity of desertification was initially in the period from 1991 to 2003, so that in 1991, about 9.6% of the region was in the low desertification class and 90.4% of the region was in the middle deserification class. In addition, since 2003, severe desertification class has been observed, which includes 8.3% of the region, and low and medium classes have covered about 8.7% and 87.4% of the region, respectively. Moreover, in 2015, low, medium and severe classes include about 14.8, 85 and 0.1 percent of the total area, respectively. In addition, the numerical value of the intensity of desertification in each use and its comparison showed that the most effective effect was the use of pastures, agriculture and residential areas, respectively, and the least effect was the use of Nizar in desertification of the region. To better examine the relationship between desert risk indicators and land use change, different models were adapted to the obtained data, and among these models, the best model was used for each use and intensity of desertification. Among the various uses, according to the correlation coefficient, the best relationship between desertification intensity and land use change was the use of salt land with $0.29 = 96$.

Keywords: Desertification Intensity, Satellite Imagery, Supervised Method, Modeling, and Khuzestan.

* Corresponding Author Email: hakhosravi@ut.ac.ir

References

References (in Persian)

- Alavi Panah, S. K. 2003. Application of Remote Sensing in Geosciences, University of Tehran Press, 478 p. [In Persian]
- Arvin, A., Eskandarian Gh. (2017). Investigating the drought trend in Khuzestan province. *Spatial-spatial Research*, 4(3), pp 19-30. <http://ensani.ir/fa/article/377160>. [In Persian]
- Eshghizadeh, M. (2018). Application of Landscape Ecology Indices in Monitoring and Assessing Desertification (Case Study: Omrani Area of Gonabad). *Geography and Sustainability of Environment*, 8(2), pp 75-87. https://ges.razi.ac.ir/article_919.html. [In Persian]
- Izadpanah, Z., Behzad, M., Haydari, S. (2011). Exploitation status of groundwater aquifers in Khuzestan province for agricultural purposes, 5th National Conference on Watershed Management and Water and Soil Management, Kerman, Iran Irrigation and Water Engineering Association. [In Persian]
- Jafari Zadeh, M. (2010). Assessment of Desertification Intensity Using IMDPA Model (Case Study: Ahlaz Mollasani Area), MSc Thesis, Faculty of Natural Resources, University of Tehran. [In Persian]
- Kazemi Nia, A. (2017). Application of remote sensing and GIS in the study of vegetation. *Journal of Mapping and Spatial Information Engineering*, 9 (1), pp 85-75. <http://gej.issge.ir/article-1-260-fa.html>. [In Persian]
- Madinyan, M. (2009). A review of some methods of detecting changes using remote sensing data, *Sepehr Journal* 21: pp 2-6. http://sepehr.org/article_26258.htm. [In Persian]
- Mazidi, A and F. Hosseini. (2015). The Impact of Land Use Change and Land Cover on Heat Island in Yazd Urban Area Using Remote Sensing Data. *Journal of Geography and Development* 38: pp 1-12. <http://ensani.ir/fa/article/340216>. [In Persian]
- Nazari Samani, A., M. Ghorbani and H. Kohbani. (2010). Evaluation of Land Use Change Trends in Taleghan Watershed in the Period of 1987 to 2001. *Journal of Range Research* 4 (3): pp 442-451. <http://sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=142072>. [In Persian]
- Soleimani sardoo, F., Mesbahzadeh, T., Broomand, N., Azareh, A., Rafiei Sardooi, E. (2018). Investigating the trend of desertification changes in Kerman plain using IMDPA model. *Geography (Regional Planning)*, 8(3), pp 25-40. http://jgeoqeshm.ir/article_68867.html [In Persian]
- Zehtabian, G and A. A. Damavandi. (2011). *Deserts and Wilderness Ecosystems*, University of Tehran Press. [In Persian]
- Zehtabian, G and M. Tabatabaie. (1999). Survey of desertification process using satellite imagery processing and GIS. *Biaban Journal*. [In Persian]
- Zehtabian, G. (2012). *National Desertification Atlas*. International Desert Research Center, University of Tehran. [In Persian]
- Zehtabian, Gh., Khosravi, H., Masoudi, R., (2014). *Desertification Assessment Models (Criteria and Indices)*. University of Tehran Press. [In Persian]
- Zobari, M and A. Majd. (1998). *Introduction to Remote Sensing and Application in Natural Resources*, University of Tehran Publications. [In Persian]

References (in English)

- Behrang Manesh M, Khosravi H, Heydari lamdarloo E, Sadi Alekasir MS, Gholami A, Singh, VP (2019). Linkage of agricultural drought with meteorological drought in different climates of Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 138(2), pp 1-25-1033. doi: [10.1007/s00704-019-02878-w](https://doi.org/10.1007/s00704-019-02878-w)
- Bezerra, F. G. S., Aguiar, A. P. D., Alvalá, R. C. S., Giarolla, A., Bezerra, K. R. A., Lima, P. V. P. S.,... & Arai, E. (2020). Analysis of areas undergoing desertification, using EVI2 multi-temporal data based on MODIS imagery as indicator. *Ecological Indicators*, 117, 106579. doi: [10.1016/j.ecolind.2020.106579](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106579)
- Dawelbait, M and Morari, F. (2012). Monitoring desertification in a Savannah region in Sudan using Landsat images and spectral mixture analysis. *Journal of Arid Environments*, 80: pp 45-55. doi: [10.1016/j.jaridenv.2011.12.011](https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2011.12.011)
- De Jong, J. G., Lauzon, H. A., Dominy, C., Poloumienko, A., Carstens, E. B., Arif, B. M., & Krell, P. J. (2005). Analysis of the Choristoneura fumiferana nucleopolyhedrovirus genome. *Journal of General Virology*, 86(4), pp 929-943. doi: [10.1099/vir.0.80490-0](https://doi.org/10.1099/vir.0.80490-0)
- Dougill AJ, Fraser EG., Reed MS. (2010). Anticipating vulnerability to climate change in dryland pastoral systes: using dynamic systems models for the Kalahari. *Ecology and Society* 15:17.
- Goovaerts, P. (1997). *Geostatistics for natural resources evaluation*. Oxford University Press on Demand.
- Isaaks, E. H., & Srivastava, R. M. (1988). Spatial continuity measures for probabilistic and deterministic geostatistics. *Mathematical geology*, 20(4), pp 313-341. doi: [10.1007/BF00892982](https://doi.org/10.1007/BF00892982)
- James, L. F; Young, J. A and Sanders, K. (2003). A new approach to monitoring rangeland. *Arid Land Research and Management*, 17, pp 319-328. doi: [10.1080/713936118](https://doi.org/10.1080/713936118)
- Khosravi, H., E. Haydari, S. Shekoohizadegan. S. Zareie, (2017). Assessment the effect of drought on vegetation in desert area using landsat data. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 20, s3-s12. doi: [10.1016/j.ejrs.2016.11.007](https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2016.11.007)
- Khosravi, H., Zehtabian, G. R., Abolhasani, A., & Damaneh, H. E. (2019). Assessment, Monitoring and Early Warning System for Desertification Based on Water Criterion (case Tudy: Kashan, Iran). *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, pp 629-637. doi: [10.5194/isprs-archives-XLII-4-W18-629-2019](https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-4-W18-629-2019)

- Kuang, Q., Yuan, Q. Z., & Han, J. C. (2020). A remote sensing monitoring method for alpine grasslands desertification in the eastern Qinghai–Tibetan Plateau. *Journal of Mountain Science*, 17(6), pp 1423-1437. doi: [10.1007/s11629-020-5986-6](https://doi.org/10.1007/s11629-020-5986-6)
- Li, J., Yang, X; Jin, Y., Yang, Z., Huang, W., Zhao, L., Gao, T., Yo, H., Ma, H., Qin, Z and Xu, B. (2013). Monitoring and analysis of grassland desertification dynamics using landsat images in Ningxia China. *Remote Sensing of Environment*, 138, pp 19-26. doi: [10.1016/j.rse.2013.07.010](https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.07.010)
- Liu, H., Zhou, Ch., Cheng, W and Long, Li. (2008). Monitoring sandy desertification of Otindag Sandy Land based on multi-date remote sensing images. *Journal ActaEcologica Sinica*, 28, pp 627–635. doi: [10.1016/S1872-2032\(08\)60029-3](https://doi.org/10.1016/S1872-2032(08)60029-3)
- Loireau M, Sghaier M, Fetoui M, Ba M, Abdelrazik M, (2007). Local Environmental Information System (LEIS) for assessing desertification risk:circum-saharien compared situations (réseau ROSELT). *Sci planet changes / Sécheresse* 18, pp 328-335.
- Mousavi, S.A., Shahriari, A., fakhire, A., Ranjbar Fardoi, A., & Rahdari, V. (2014). Assessment of changes trend of land cover with use of remote sensing data in Hamoon wetland. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, 4(5), pp 146-156.
- Ping, J. L., & Dobermann, A. (2003). Creating spatially contiguous yield classes for site-specific management. *Agronomy Journal*, 95(5), pp 1121-1131. doi: [10.2134/agronj2003.1121](https://doi.org/10.2134/agronj2003.1121)
- Pishyar, S., Khosravi, H., Tavili, A., Malekian, A., & Sabourirad, S. (2020). A Combined AHP-and TOPSIS-Based Approach in the Assessment of Desertification Disaster Risk. *Environmental Modeling & Assessment*, 25(2), pp 219-229. doi: [10.1007/s10666-019-09676-8](https://doi.org/10.1007/s10666-019-09676-8)
- Puigdefabregas J. (2009). Ecosystemic Approaches To Land Degradation, *Advances in studies on desertification*
- Razavi B. (1993). Appointment descent of Kutum (*Rutilus frisii kutum*) with Electrophorus. Thesis of M.Sc in fisheries. Azad University of Tehran, 5-9 p.
- Reynolds JF,Grainger A,Sattford Smith DM,Bastin G,Garcia-Barrios L. (2011) Scientific concepts for an integrated analysis of desertification. *Land Degradation Development*, 22, pp 83-166. doi: [10.1002/ldr.1104](https://doi.org/10.1002/ldr.1104)
- Roel, A., & Plant, R. E. (2004). Spatiotemporal analysis of rice yield variability in two California fields. *Agronomy Journal*, 96(1), pp 77-90. doi: [10.2134/agronj2004.7700](https://doi.org/10.2134/agronj2004.7700)
- Schepers, A. R., Shanahan, J. F., Liebig, M. A., Schepers, J. S., Johnson, S. H., Luchiari, A. (2004). Appropriateness of management zones for characterizing spatial variability of soil properties and irrigated corn yields across years. *Agronomy Journal*, 96(1), pp 195-203. doi: [10.2134/agronj2004.1950](https://doi.org/10.2134/agronj2004.1950)
- Sommer S,zucca C,Grainger A,Cherlet M, Zougmore R, (2011). Application of indicator systems for monitoring and assessment of desertification from national to global scales. *Land Degradation and Development* 22, pp 184–97. doi: [10.1002/ldr.1084](https://doi.org/10.1002/ldr.1084)
- Symeonakis. E and N. Drake (2004), Monitoring desertification and land degradation over sub-Saharan Africa, *International Journal of Remote Sensing*, 25(3), pp 1-12. doi: [10.1080/0143116031000095998](https://doi.org/10.1080/0143116031000095998)
- Verestreat M, Hutchinson C,Grainger A,Stafford Smith DM, Scholes RJ. (2011). Towards a global dryland observing system: observational requierments and institutional solutions. *Land Degradation and Development*. 22, pp 189–213. doi: [10.1002/ldr.1046](https://doi.org/10.1002/ldr.1046)
- Xie, Z. (2014). Research Advance in Remote Sensing to Land Desertification Monitoring, School of Surveying and Prospecting Engineering,Jilin, Jilin JianzhunUniversity,Changchun,China, Changchun,China.
- Zolfaghari, F., Khosravi, H., Shahriyari, A., Jabbari, M., & Abolhasani, A. (2019). Hierarchical cluster analysis to identify the homogeneous desertification management units. *Plos one*, 14(12), e0226355. doi: [10.1371/journal.pone.0226355](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0226355).