

پایش شوری خاک با استفاده از داده‌های سنجنده ASTER

برای ارزیابی بیابان‌زایی در دشت مروست، استان یزد

- ❖ زهرا گیوئی اشرف*؛ کارشناس ارشد مدیریت مناطق بیابانی
- ❖ محمدعلی حکیم‌زاده؛ استادیار گروه مدیریت مناطق بیابانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد
- ❖ محمد زارع؛ استادیار گروه مدیریت مناطق بیابانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد
- ❖ زهره ابراهیمی خوسفی؛ کارشناس ارشد مدیریت مناطق بیابانی
- ❖ کاظم دشتکیان؛ عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی یزد

چکیده

بیابان‌زایی فرایند و وضعیت نهایی تخریب مناطق خشک است. از طرفی، شور و قلیایی‌شدن خاک از فرایندهای تخریب خاک در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌شمار می‌آید. در این تحقیق با استفاده از فناوری سنجش از دور با قدرت تفکیک طیفی و مکانی بالا، به منظور ارزیابی بیابان‌زایی در دشت مروست (استان یزد)، به پایش شوری خاک اقدام شد. در این تحقیق از تصاویر مربوط به سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۱۰ سنجنده ASTER، ماهواره Terra استفاده شد. با اجرای عملیات پیش‌پردازش و تشکیل و ارزیابی مدل رابطه مؤلفه‌های شوری خاک (EC و SAR) با مؤلفه‌های بازتاب طیفی، تصاویر برای هر دو مؤلفه به روش حداکثر احتمال طبقه‌بندی شد. سپس، مساحت هر طبقه و میزان تغییرات آن در دوره زمانی مورد مطالعه محاسبه شد. نتایج به‌دست آمده نشان داد که در دوره زمانی هفت‌ساله (۲۰۰۳ - ۲۰۱۰) از سطح اراضی غیر شور کاسته و بر مساحت اراضی شور افزوده شده است. این امر بیانگر تخریب خاک و کاهش بازدهی اراضی و، در نهایت، پیشرفت بیابان‌زایی در منطقه است. دقت طبقه‌بندی نقشه EC، برای تصویر سال ۲۰۰۳، ۸۷/۵ درصد و برای تصویر سال ۲۰۱۰، ۸۲/۵ درصد و ضریب کاپای آن به ترتیب ۰/۸۳ و ۰/۷۶ برآورد شد. همچنین، دقت طبقه‌بندی نقشه SAR برای تصویر به سال ۲۰۰۳، ۸۷/۵ درصد و برای تصویر سال ۲۰۱۰، ۸۷/۵ درصد و ضریب کاپا به ترتیب ۰/۸۱ و ۰/۷۷ به‌دست آمد. این تحقیق کارایی بالای تصاویر ASTER را در زمینه آشکارسازی تغییرات شوری خاک و مدیریت منابع طبیعی نشان می‌دهد.

واژگان کلیدی: بیابان‌زایی، پایش، سنجنده ASTER، شوری، مروست.

مقدمه

بیابان‌زایی فرایند و وضعیت نهایی تخریب مناطق خشک (شامل فرسایش خاک، تخریب خاک، جنگل‌زدایی، تخریب پوشش گیاهی طبیعی، و همچنین کاهش تولید بیولوژیکی اراضی) است [۱۵]. شورش‌دگی یکی از فرایندهای بیوژئوفیزیکی ناشی از بیابان‌زایی و از ویژگی‌های بارز خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک است. بیش از یک‌سوم خاک‌های دنیا و بخش وسیعی از خاک‌های ایران در مناطق خشک و نیمه‌خشک واقع شده است [۴].

از سوی دیگر، با توجه به گستره زیاد تخریب و محدودیت شدید منابع طبیعی، شناخت جنبه‌های مختلف منابع طبیعی برای به‌کارگیری مدیریت علمی امری اجتناب‌ناپذیر است. تغییرات زمانی (پایش) منابع طبیعی، به علت محسوس نبودن نمایش یا ترسیم این تغییرات در فاصله‌های زمانی کوتاه، می‌تواند مدیران و برنامه‌ریزان را از خطرهای احتمالی در آینده آگاه سازد. وسعت زیاد اراضی در معرض خطر شورش‌دگی و هزینه‌های بالای شناسایی و تشخیص خاک‌های شور به وسیله روش‌های سنتی، ضرورت استفاده از فناوری‌های جدید و روش‌های نوین را بیش از پیش آشکار می‌سازد.

سنجش از دور با فراهم کردن اطلاعات به‌روز از جمله فناوری‌های برتر و کارآمد در بررسی تغییرات محیطی و مدیریت منابع طبیعی است. تصاویر ماهواره‌ای، به علت رقومی بودن، ارائه اطلاعات به‌هنگام، فراهم آوردن دید همه‌جانبه، استفاده از قسمت‌های مختلف طیف الکترومغناطیس برای ثبت خصوصیات پدیده‌ها، پوشش‌های تکراری، سرعت انتقال، و تنوع در شکل داده‌ها از ارزش زیادی برخوردار است [۸].

به منظور مطالعه بیابان‌زایی و تعیین روند و سرعت آن، دامنه وسیعی از مجموعه اطلاعات مکانی

و زمانی مورد نیاز است. شاخص بازتاب‌های طیفی، که در اثر تغییر در سایر عوامل تغییر می‌نماید، می‌تواند در شناخت بیابان‌زایی به‌کار رود. افزایش ناهمگونی در تصاویر ماهواره‌ای را می‌توان شاخصی از بیابان‌زایی به‌شمار آورد. با توجه به دردسترس بودن داده‌های ماهواره‌ای در زمان‌های گوناگون و باندهای طیفی مختلف و همچنین اثبات کارایی آن‌ها در بسیاری از شاخص‌های بیابان‌زایی، کاربرد این داده‌ها در مطالعات بیابان‌زایی بسیار کاراست [۲].

به منظور بررسی بیابان‌زایی و تغییرات اراضی پلایای دامغان، از داده‌های ماهواره‌ای چندزمانه و چندطیفی سه سنجنده MSS در سال ۱۹۷۷، TM سال ۱۹۸۸، و ETM+ مربوط به ۲۰۰۰ استفاده شد [۳]. نتایج نشان داد که ۷۴ درصد تغییرات مربوط به بیابان‌زایی است که ۶۸ درصد آن بین سال‌های ۱۹۸۸ تا ۲۰۰۰ اتفاق افتاده است. در تحقیقی، با استفاده از داده‌های رقومی ماهواره لندست سنجنده TM مربوط به دو سری زمانی ۱۹۸۷ و ۲۰۰۱، به بررسی کمیّت پیشروی بیابان در دشت سبزوار پرداخته شد. در این تحقیق از باندهای ۵، ۲، و PCA سوم تهیه‌شده از باندهای ۴، ۳، و ۲ برای تهیه نقشه طبقه‌بندی پنجگانه شوری استفاده شد. همچنین، افت سطح آب زیرزمینی و تغییرات کیفی آن نیز بررسی شد. نتایج نشان داد که روند تغییرات شوری خاک نمی‌تواند دلیلی برای بیابانی شدن منطقه به حساب آید و مقدار کمی آب‌های زیرزمینی در منطقه با روند نزولی همراه است. نتایج همچنین ثابت نمود که، در بررسی روند بیابان‌زایی، به‌کارگیری داده‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی مفید است [۵].

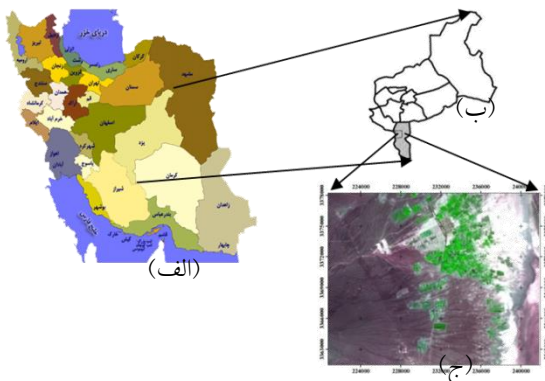
پهنه‌بندی نقشه شوری خاک با استفاده از پردازش تصویر ماهواره‌ای ASTER و GIS در اراضی نیشکر واحد کشت و صنعت دعبل خزاعی انجام شد [۱۳]. با بررسی روابط میان داده‌های زمینی شوری خاک و

بوده است. در مرحله دوم (از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۶) بیابان‌زایی به شدت کاهش یافته است که کنترل آن را کاری طولانی مدت دانستند.

با توجه به اینکه با رونمایی شوری در دوره‌های زمانی مختلف می‌توان به روند بیابان‌زایی در این مناطق پی برد و با توجه به اینکه در گذشته از مؤلفه شوری خاک در مطالعات بیابان‌زایی کمتر استفاده شده است، پایش شوری خاک با استفاده از داده‌های رقومی سنجنده ASTER از ماهواره Terra و مقایسه آن‌ها در سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۱۰ هدف اصلی این پژوهش است. همچنین، برآورد دقت تصاویر ماهواره‌ای سنجنده ASTER در تهیه نقشه شوری خاک به منظور ارزیابی بیابان‌زایی از دیگر هدف‌های این پژوهش است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه، دشت مروست، در استان یزد در گستره طول جغرافیایی $23^{\circ} 5' 54''$ تا $18^{\circ} 52' 54''$ شرقی و عرض جغرافیایی $21^{\circ} 8' 30''$ تا $33^{\circ} 33'$ شمالی واقع شده است (شکل ۱). این محدوده وسعتی در حدود ۳۵۷۲۲ هکتار دارد. میانگین بارندگی پانزده‌ساله در ایستگاه هواشناسی مروست ۷۷ میلی‌متر، میانگین دمای سالانه 18.3°C ، و اقلیم محدوده مورد مطالعه بر اساس روش دومارتن اصلاح شده خشک سرد تا فراخشک سرد است [۷].



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه در الف) ایران؛ ب) استان یزد؛ ج) منطقه مروست

داده‌های تصویر ماهواره‌ای، مدلی استخراج شد که در آن باندهای ۱ تا ۵ تصویر ماهواره‌ای با دقت ۷۳/۶ درصد بیشترین انطباق را با داده‌های زمینی شوری خاک داشت. در پایان با عمل طبقه‌بندی بر روی تصویر، نقشه شوری خاک اراضی نیشکر تهیه شد، که می‌تواند برای مدیریت هر چه بهتر اراضی نیشکر به کار گرفته شود. در پژوهشی دیگر، به پایش خطر تخریب زمین با استفاده از داده‌های ASTER در منطقه نیمه‌خشک جنوب شرقی اسپانیا اقدام نمودند. آن‌ها از اطلاعات باندهای حرارتی و انعکاسی تصویر ASTER، کسر غیر تبخیری، و شاخص NDVI استفاده کردند. در این تحقیق، میزان همبستگی ۰/۸۸ و مقدار خطا ۰/۱۸ به دست آمد [۹]. با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست سال‌های ۱۹۷۳، ۱۹۷۷، ۱۹۸۸، ۱۹۹۱، ۱۹۹۶، ۲۰۰۱، و ۲۰۰۶ چگونگی تغییرات شوری خاک در منطقه هتایو در منگولیای چین با هدف مرتبط کردن این تغییرات با کیفیت زمین و آب و به منظور دریافت اطلاعات برای کنترل شوری بررسی شد. این یافته‌ها نشان داد که سنجش از دور ابزاری مفید برای بررسی شوری خاک و بهبود مدیریت آب و زمین است [۱۴]. [۱۲] اقدام به پایش بیابان‌زایی بر اساس تصاویر سنجش از دور در اراضی ماسه‌ای Otindag نمودند. در این تحقیق، آن‌ها از تصویر لندست TM در سال ۱۹۸۷، ETM+ سال ۲۰۰۰ و تصویر با دوربین (CCD) مربوط به سال ۲۰۰۶ استفاده کردند. برای منطقه پنج کلاس تعریف شد: تپه‌های ماسه‌ای فعال، ثابت، نیمه‌ثابت، تپه‌های بین علفزار، و تالاب. نتایج نشان داد که پیشروی بیابان‌زایی در منطقه Otindag طی دو مرحله مختلف صورت گرفته است: در مرحله اول (از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۰)، که با عنوان دوره شدید بیابان‌زایی معرفی شده، تپه‌های ماسه‌ای ثابت کاهش یافته، در حالی که تپه‌های ماسه‌ای نیمه‌ثابت و فعال با افزایش همراه

با استفاده از مؤلفه‌های خطای نسبی ارزیابی شد و مدل‌هایی که ضریب تعیین و فاکتور F بالاتر، خطای تخمین پایین‌تر، و تعداد پارامتر کمتری داشتند مناسب‌ترین مدل انتخاب شدند. پس از اجرای عملیات پیش‌پردازش، با هدف بررسی تغییرات شوری، تصاویر ماهواره‌ای طبقه‌بندی شد. از روش‌های طبقه‌بندی، به علت ضریب اطمینان بالا، بیش از روش‌های دیگر استخراج اطلاعات استفاده می‌شود. در این تحقیق، از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده و الگوریتم حداکثر احتمال استفاده شد. این روش به داده‌های تمرینی یا پیکسل‌های معلوم نیاز دارد، که برای هر کلاس جداگانه تعریف می‌شود. به منظور وارد کردن داده‌های تمرینی به سیستم طبقه‌بندی، از نتایج آزمایشگاهی نمونه‌های صحرایی استفاده شد. از عمق ۰ تا ۲۰ سانتی‌متری در ۳۰ محل نمونه‌برداری شد. نمونه‌برداری خاک در هر نقطه شامل چهار برداشت بود: یک نمونه از مرکز و سه نمونه در سه جهت با زاویه ۱۲۰ درجه و فاصله ۲۰ متری از مرکز. سپس، نمونه‌ها با هم مخلوط شد و یک نمونه یکسان از آن‌ها تهیه گردید. پس از آزمایش نمونه‌های خاک در آزمایشگاه، EC و SAR آن‌ها تعیین شد و نتایج آن بر اساس طبقه‌بندی شوری و طبقه‌بندی EC به روش امریکایی استفاده شد. سپس، با نمایش هر تصویر با ترکیب رنگی مناسب و استفاده از اطلاعات جانبی، پنج کلاس مشخص شد و به ازای هر کلاس یک ناحیه تعریف گردید. پس از طبقه‌بندی تصاویر، دقت آن‌ها از طریق نمونه‌های شاهد با محاسبه ضریب کاپا^۱ و دقت کلی^۲ ارزیابی شد. در نهایت، نقشه آشکارسازی تغییرات در دوره زمانی مورد نظر (۲۰۰۳ - ۲۰۱۰) تهیه شد. شکل ۲ مراحل اجرای این پژوهش را نشان می‌دهد.

در این تحقیق، به منظور آشکارسازی تغییرات شوری به‌وجودآمده در خاک منطقه، از تصاویر سنجنده ASTER، ماهواره Terra مربوط به ۳۰ آگوست ۲۰۰۳ در سطح B و ۳۰ ژوئن ۲۰۱۰ در سطح A استفاده شد. همچنین، از نتایج موجود آزمایشگاهی EC و SAR مربوط به طرح ملی پایش شوری خاک سال ۱۳۸۴ [۶] و نتایج به‌دست‌آمده از نمونه‌برداری‌های سال ۱۳۸۹ [۱۰] استفاده شد.

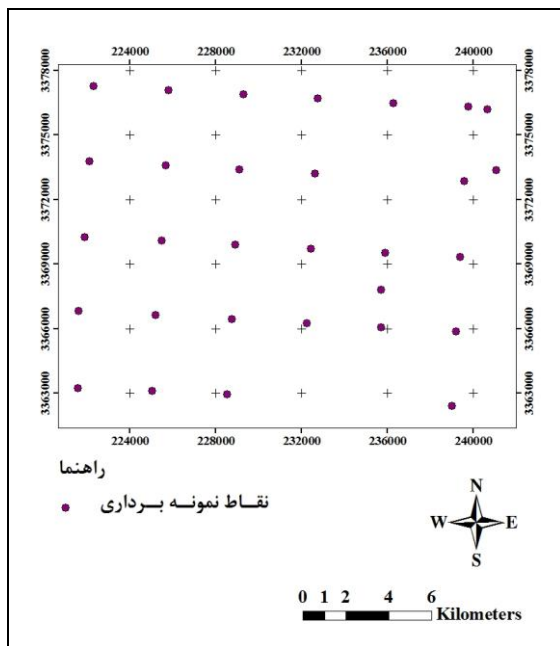
به منظور پایش شوری خاک، نخست عملیات پیش‌پردازش شامل یافتن ترکیب باندهای مناسب جهت تفسیر اولیه تصاویر و جداکردن مرز منطقه مورد مطالعه و تصحیح هندسی تصویر سال ۲۰۱۰ با استفاده از نرم‌افزار ENVI 4.4 صورت گرفت. در این تحقیق، از ترکیب باندهای اصلی ۱، ۳، و ۲ استفاده شد. تصحیح هندسی به روش تصویر به تصویر، که در آن تصویر سال ۲۰۰۳ تصویر مرجع و تصویر سال ۲۰۱۰ تصویر تابع برگزیده شد، صورت گرفت. سپس، با انتخاب ۴۰ نقطه کنترل زمینی بر روی تصویر مرجع و نقاط نظیر آن در تصویر تابع و انتخاب معادله درجه ۲ و روش نمونه‌برداری مجدد نزدیک‌ترین همسایه، تصویر سال ۲۰۱۰ با RMSE کل برابر ۰/۲۳ پیکسل تطابق هندسی داده شد. دلیل استفاده از تصویر سال ۲۰۰۳ به عنوان تصویر مرجع در تصحیح این بود که این تصویر تصحیح شده بود و در سطح B از تصاویر ASTER قرار داشت.

بر روی هر دو تصویر پردازش‌های طیفی انجام شد و نقاط نمونه‌برداری با تمامی باندهای طبیعی و مصنوعی مطابقت داده شد و ارزش پیکسل این نقاط استخراج گردید. سپس، با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS و آزمون Stepwise، ضرایب و مدل‌های رگرسیونی بین هر یک از مؤلفه‌های EC و SAR با تمامی باندها، شاخص‌ها، نسبت‌های طیفی، و مؤلفه‌های اصلی تعیین گردید. در مرحله بعد، مدل‌ها

1. Kappa index
2. Overall accuracy

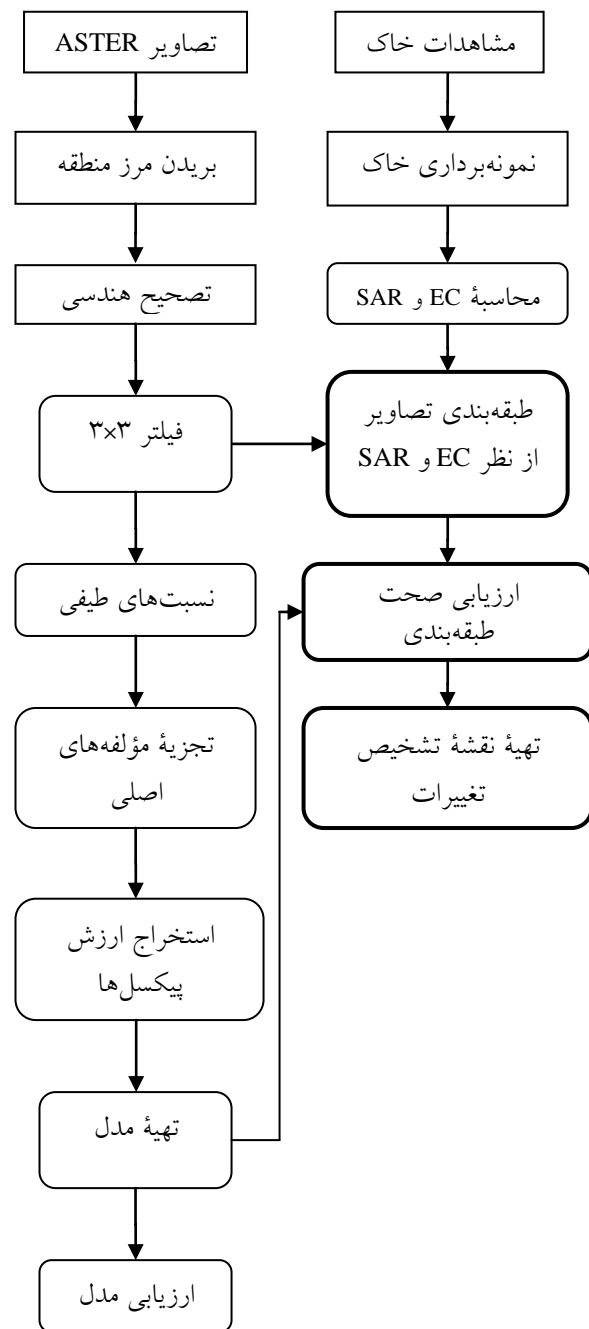
نتایج

شکل ۳ موقعیت نقاط نمونه‌برداری خاک را نشان می‌دهد. جدول ۱ نتایج آزمایش نمونه‌های برداشت خاک در سال ۱۳۸۴ و ۱۳۸۹ را نشان می‌دهد. همچنین، شکل ۴ چگونگی تغییرات pH، EC، و SAR در نمونه‌های خاک آزمایش شده در سال‌های ۱۳۸۴ و ۱۳۸۹ را نشان می‌دهد.



شکل ۳. موقعیت نقاط نمونه‌برداری در محدوده مورد مطالعه

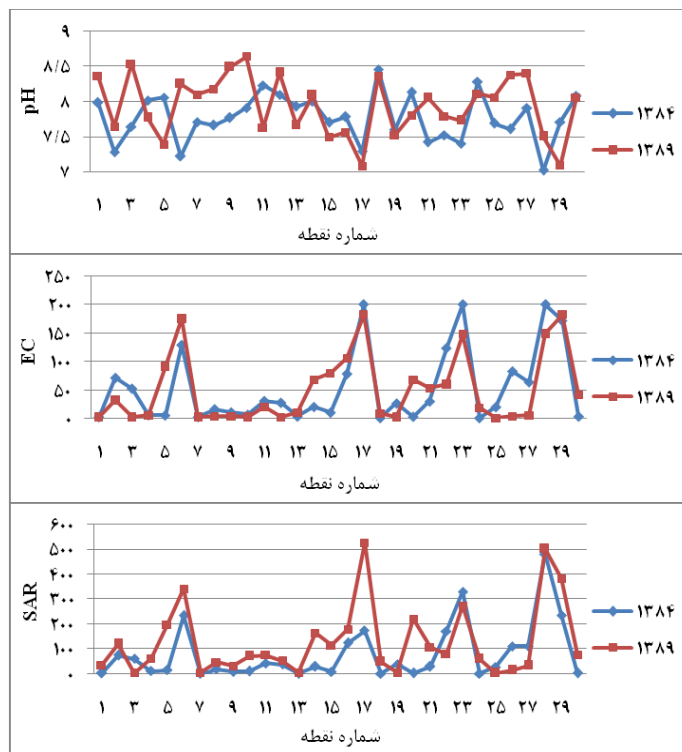
مقایسه نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که pH در بیشتر نقاط افزایش یافته است (شکل ۴). وضعیت تغییرات EC منظم نبوده، به طوری که در برخی نقاط کاهش و در بعضی نقاط افزایش یافته است و تعداد نقاط با EC افزایش یافته بیشتر است. تغییرات SAR بیشتر با افزایش و در برخی نقاط با افزایش بسیار زیاد همراه است.



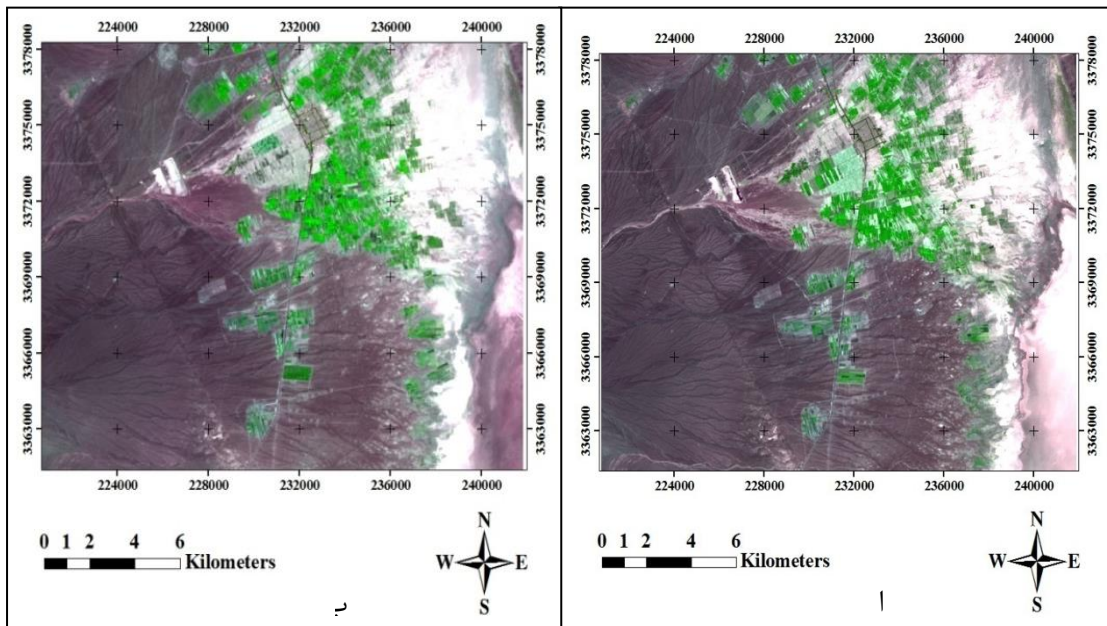
شکل ۲. نمودار جریان‌ی مراحل اجرای پژوهش

جدول ۱. نتایج آزمایشگاهی نمونه‌های خاک سطحی در سال ۱۳۸۴ و ۱۳۸۹

سال ۱۳۸۹			سال ۱۳۸۴			شماره نقاط
SAR	EC (mS/cm) در عصاره اشباع	pH	SAR	EC (mS/cm) در عصاره اشباع	pH	
۳۵,۷۱	۳,۶۳	۸,۳۶	۳,۷۲	۲,۵	۷,۹۸	۱
۱۲۰,۴۱	۳۳,۴	۷,۶۴	۷۵,۶۵	۷۱,۱۳	۷,۲۸	۲
۴,۳۳	۳,۹۲	۸,۱	۶۰,۸۶	۵۲,۲۸	۷,۶۴	۳
۶۱,۸۳	۶,۵۵	۷,۷۷	۱۱,۹۹	۵,۸۱۱	۸,۰۲	۴
۱۹۶,۹۶	۹۲,۴	۷,۳۹	۱۵,۶۷	۵,۳۹	۸,۰۶	۵
۳۴۰	۱۷۵,۴	۸,۲۵	۲۳۲,۹۳	۱۲۸,۷۳	۷,۲۲	۶
۴,۸۴	۴,۱۱	۸,۱	۰,۷۶	۲,۶۳	۷,۷۱	۷
۴۶,۸۷	۴,۵۴	۸,۱۸	۱۹,۵۹	۱۶,۳	۷,۶۶	۸
۳۱,۰۳	۴,۷۲	۸,۴۹	۱۰,۲۸	۱۰,۷۳	۷,۷۷	۹
۷۱,۴۲	۴,۰۵	۸,۶۴	۱۱,۰۲	۶,۵	۷,۹۱	۱۰
۷۵,۵۸	۲۱	۷,۶۳	۴۳,۸۴	۳۰,۷۲	۸,۲۳	۱۱
۵۳,۳۵	۳,۵۴	۸,۴۱	۳۸,۳	۲۷,۵۵	۸,۱	۱۲
۴,۷۴	۱۱,۴	۷,۶۶	۱,۳۸	۳,۴۱	۷,۹۳	۱۳
۱۶۳,۸۴	۶۸,۹	۸,۰۹	۳۰,۱۴	۲۰,۲۶	۸	۱۴
۱۱۵,۳۸	۸۰,۲	۷,۴۹	۱۰,۲۱	۱۰,۳۲	۷,۷	۱۵
۱۷۸,۱	۱۰۶,۶	۷,۵۶	۱۲۴,۷	۷۸,۱۴	۷,۷۸	۱۶
۵۲۴,۳	۱۸۲,۷	۷,۰۸	۱۷۳,۹	۲۰۰	۷,۲۹	۱۷
۴۹,۰۱	۹,۳۲	۸,۳۶	۱,۹۶	۰,۸۲	۸,۴۶	۱۸
۵,۱۶	۳,۹۱	۷,۵۲	۳۹,۸۵	۲۶,۲۷	۷,۶	۱۹
۲۱۹,۸۸	۶۹	۷,۸	۳,۷۸	۳,۱۴	۸,۱۳	۲۰
۱۰۶,۴۸	۵۳,۹	۸,۰۵	۲۹,۶	۲۹,۷	۷,۴۲	۲۱
۷۹,۵۲	۶۱,۴	۷,۷۹	۱۷۱,۸۹	۱۲۳,۱۲	۷,۵۲	۲۲
۲۷۳,۶۳	۱۴۸,۵	۷,۷۳	۳۲۹,۳	۲۰۰	۷,۴	۲۳
۵۹,۸۲	۱۹,۸۷	۸,۱۱	۱,۴۳	۰,۷	۸,۲۸	۲۴
۳,۴۵	۱,۷۷	۸,۰۶	۲۸,۰۷	۲۰	۷,۶۹	۲۵
۱۵,۱۶	۴,۴۷	۸,۳۸	۱۱۱,۷۹	۸۲,۶	۷,۶۱	۲۶
۳۳,۶۹	۳۱,۳۲	۸,۴	۱۱۱,۷۹	۶۳,۵۵	۷,۹۱	۲۷
۵۰۰	۱۴۹,۷	۷,۵	۴۸۰,۷۶	۲۰۰	۷,۰۲	۲۸
۳۸۲	۱۸۲,۷	۷,۰۹	۲۳۴,۷۲	۱۷۱,۲۶	۷,۷۱	۲۹
۷۷,۲۹	۴۲,۶	۸,۰۶	۳,۱۴	۳,۳۶	۸,۰۸	۳۰



شکل ۴. تغییرات pH، EC، و SAR خاک در نمونه‌های سال‌های ۱۳۸۴ و ۱۳۸۹



شکل ۵. محدوده مورد مطالعه در ترکیب باندهای ۱، ۲، ۳، و ۴ تصویر ASTER: الف) سال ۲۰۰۳؛ ب) سال ۲۰۱۰

مؤلفه‌های شوری خاک (EC و SAR) را نشان می‌دهد. مدل‌ها بر اساس مؤلفه‌های فاکتور F، ضریب تعیین، و خطای تخمین ارزیابی شده‌اند.

شکل ۵ ترکیب حاصل از باندهای ۱، ۲، ۳، و ۴ از مرز منطقه به ترتیب در دو تصویر ماهواره‌ای ASTER سال ۲۰۰۳ و ۲۰۱۰ نشان می‌دهد. جداول ۲ تا ۵ مشخصات مدل‌های مربوط به

جدول ۲. مدل‌های تخمین مؤلفه EC نمونه‌های خاک مربوط به سال ۲۰۰۳

شماره	مدل	F	ضریب تعیین	خطای تخمین
۱	$(۸۹,۵۹۸ \times a) + ۴۰,۲۱۷$	۱۶,۱۹	۰,۳۴	۵۳,۳
۲	$(۸۹,۰۱۴ \times a) - (۱۸,۶۶۹ \times b) + ۳۶,۰۱۷$	۱۷,۹۸	۰,۵۴	۴۴,۶۶
۳	$(۸۴,۶۶۹ \times a) - (۲۳,۷۶۵ \times b) + (۵,۹۲۴ \times c) - ۵۶۵,۹۸۳^*$	۱۹,۹۶	۰,۶۶	۳۸,۲۳

a: معادل مؤلفه ۷ از تجزیه مؤلفه‌های اصلی باندهای ۱ تا ۳ و ۱۰ تا ۱۴؛ b: معادل مؤلفه ۵ از تجزیه مؤلفه‌های اصلی باندهای ۱ تا ۳ و ۱۰ تا ۱۴.

c: باند ۱۱ در تصویر اصلی؛ * بهترین مدل انتخابی.

جدول ۳. مدل‌های تخمین مؤلفه EC نمونه‌های خاک مربوط به سال ۲۰۱۰

شماره	مدل	F	ضریب تعیین	خطای تخمین
۱	$(۰,۳۱۸ \times a) - ۲۰,۱۸۰۷$	۱۸,۹۳	۰,۳۸	۴۷,۵
۲	$(۰,۴۲۹ \times a) + (۹,۹۶۳ \times b) - ۱۳۹۱,۶۴۱$	۲۰,۰۷	۰,۵۷	۳۹,۷۱
۳	$(۰,۶۰۳ \times a) + (۲۱,۶۱۷ \times b) - (۰,۸۷۵ \times c) - ۲۸۲۶,۵۲۰^*$	۲۵,۸۶	۰,۷۲	۳۱,۹۷

a: معادل باند ۳ تصویر اصلی؛ b: معادل باند ۱۲ تصویر اصلی.

c: معادل مؤلفه ۳ از تجزیه مؤلفه‌های اصلی باندهای ۱ تا ۳؛ * بهترین مدل انتخابی.

جدول ۴. مدل‌های تخمین مؤلفه SAR نمونه‌های خاک مربوط به سال ۲۰۰۳

شماره	مدل	F	ضریب تعیین	خطای تخمین
۱	$(۱۵۸,۹۵۴ \times a) + ۵۷,۳۴۷$	۱۷,۷۴	۰,۳۷	۹۰,۳۴
۲	$(۱۵۷,۹۵۶ \times a) - (۳۱,۹۰۴ \times b) + ۵۰,۱۷۰^*$	۱۹,۳۴	۰,۵۶	۷۵,۳۹
۳	$(۱۵۲,۲۵۲ \times a) - (۲۸,۱۱۹ \times b) + (۹,۵۲۹ \times c) - ۹۵۸,۱۹۰$	۱۹,۵۸	۰,۶۶	۶۶,۳۷

a: معادل مؤلفه ۷ از تجزیه مؤلفه‌های اصلی باندهای ۱ تا ۳ و ۱۰ تا ۱۴؛ b: معادل مؤلفه ۵ از تجزیه مؤلفه‌های اصلی باندهای ۱ تا ۳ و ۱۰ تا ۱۴.

c: باند ۱۳ در تصویر اصلی؛ * بهترین مدل انتخابی.

جدول ۵. مدل‌های تخمین مؤلفه SAR نمونه‌های خاک مربوط به سال ۲۰۱۰

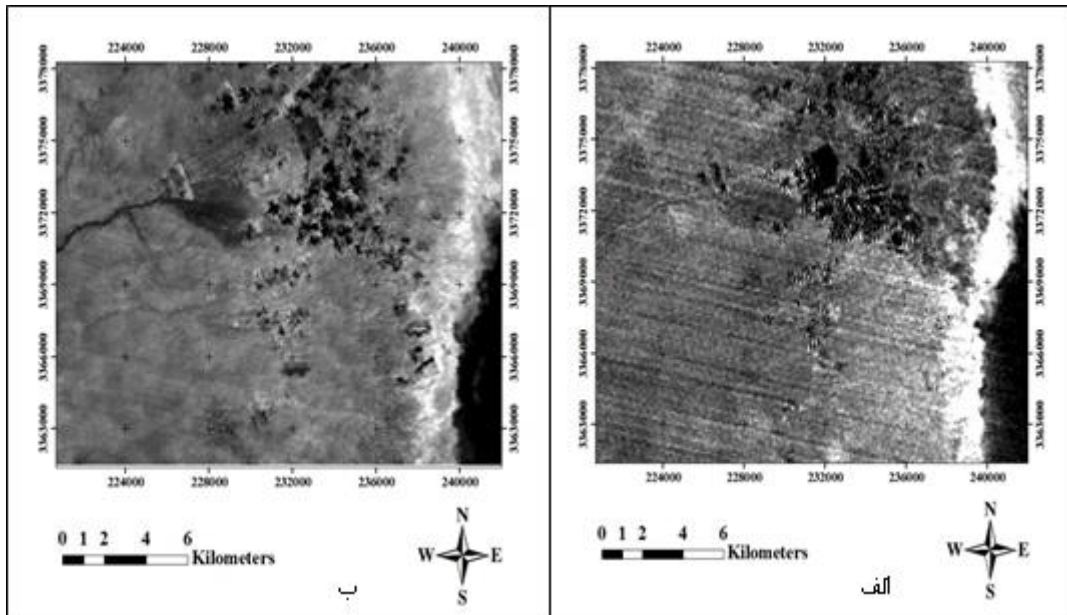
شماره	مدل	F	ضریب تعیین	خطای تخمین
۱	$(۱,۴۶۵ \times a) - ۹۹۷,۷$	۱۸,۹۱	۰,۳۸	۲۱۹,۰۲
۲	$(۲,۳۸۲ \times a) + (۴۸,۳۳۰ \times b) - ۷۰۰,۲۵۷^*$	۳۰,۰۶	۰,۶۷	۱۶۰,۷۱
۳	$(۲,۵۴۸ \times a) + (۶۳,۳۳۷ \times b) - (۱۵۴۵,۸۲۳ \times c) - ۶۵۶۶,۹۷۲$	۳۲,۷۳	۰,۷۷	۱۳۴,۶

a: معادل باند ۳ تصویر اصلی؛ b: معادل باند ۱۱ تصویر اصلی

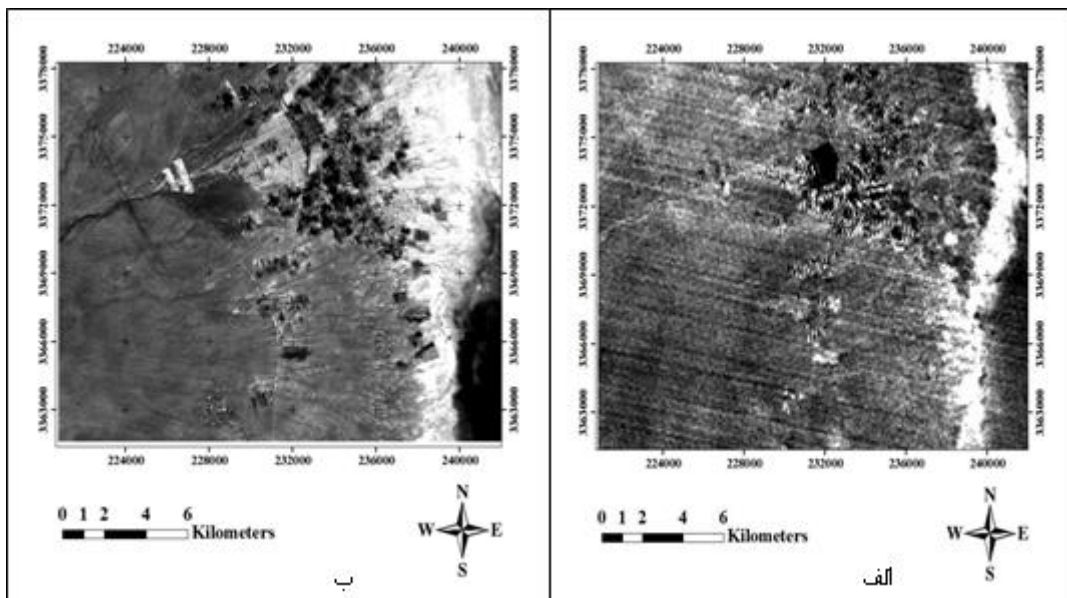
c: حاصل تقسیم باند ۱ به باند ۳؛ * بهترین مدل انتخابی

خطای تخمین و کمترین تعداد فاکتور را داراست. شکل‌های ۸ و ۹ نقشه‌های طبقه‌بندی مؤلفه‌های شوری خاک (EC و SAR) را نشان می‌دهد.

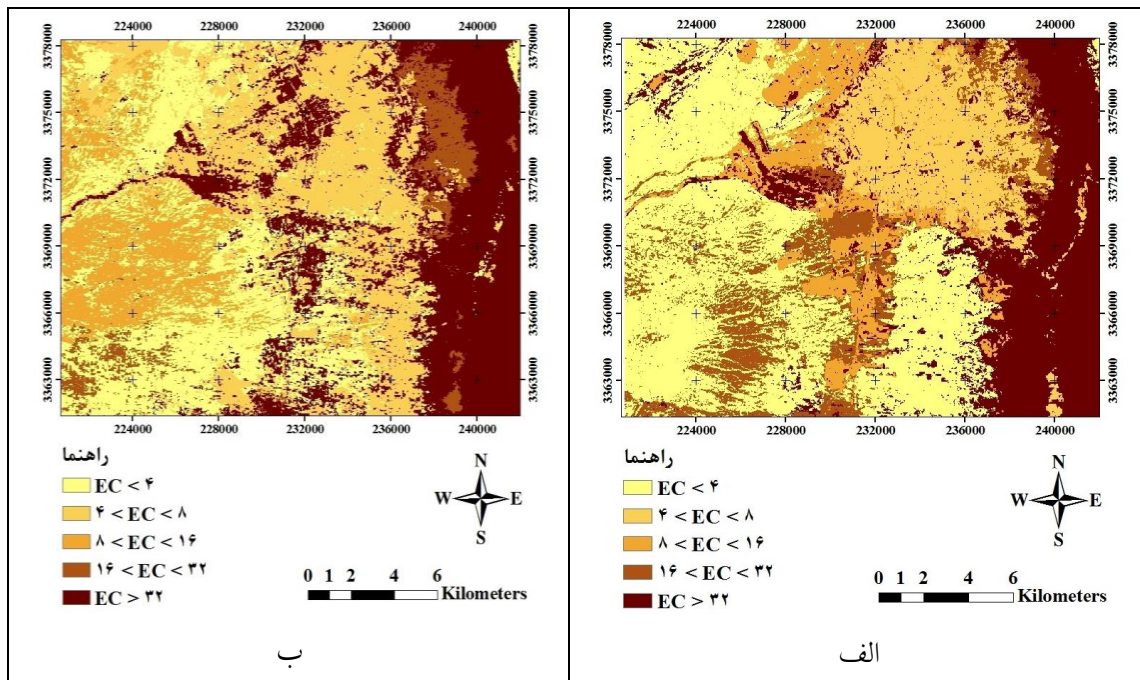
پس از بررسی مدل‌های تخمین مؤلفه‌های شوری (EC و SAR)، بهترین مدل بر روی باندها اعمال شد (شکل‌های ۶ و ۷). مدل‌هایی بر روی باندها اعمال گردید که بیشترین فاکتور F و ضریب تعیین، کمترین



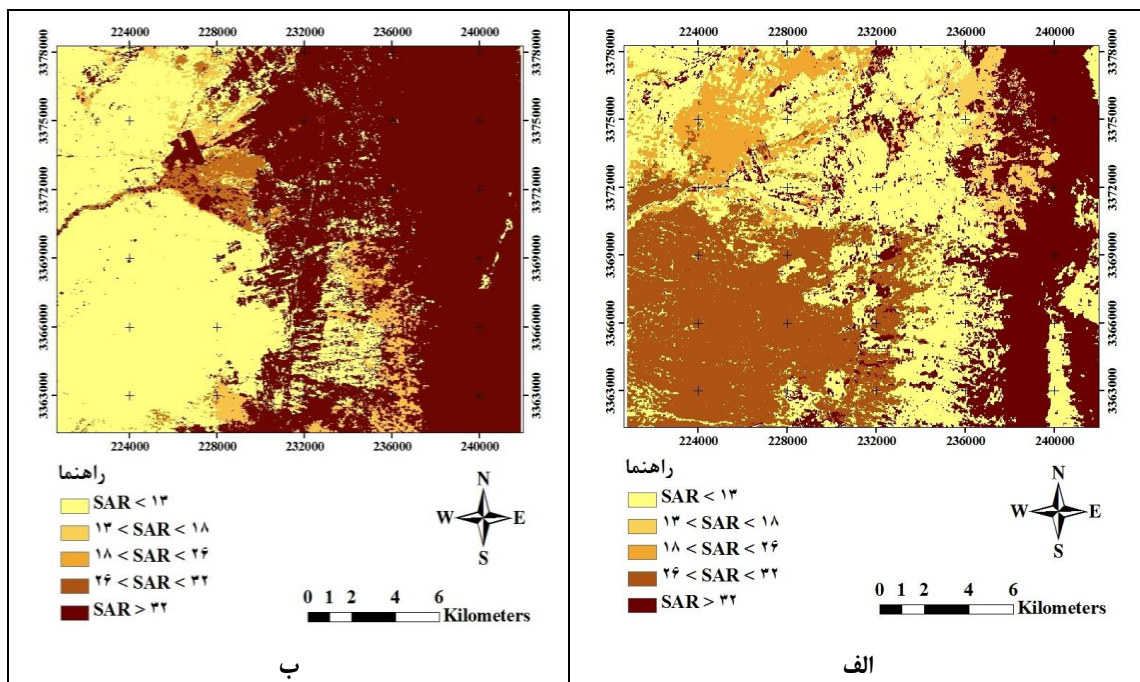
شکل ۶. خروجی مدل EC مربوط به الف) سال ۲۰۰۳ و ب) سال ۲۰۱۰



شکل ۷. خروجی مدل SAR مربوط به الف) سال ۲۰۰۳ و ب) سال ۲۰۱۰



شکل ۸. نقشه طبقه‌بندی EC مربوط به نمونه خاک: الف) سال ۲۰۰۳ و ب) سال ۲۰۱۰



شکل ۹. نقشه طبقه‌بندی SAR نمونه خاک: الف) سال ۲۰۰۳ و ب) سال ۲۰۱۰

نامنظمی برای EC در هر دو دوره زمانی مشاهده می‌شود؛ بدین صورت که مساحت طبقه اول با عنوان اراضی بدون شوری ($EC < 4$) در دوره هفت‌ساله

شکل‌های ۱۰ و ۱۱ میزان تغییرات EC و SAR و مساحت هر واحد در هر دو زمان (سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۱۰) را نشان می‌دهد. بر اساس شکل ۱۰، تغییرات

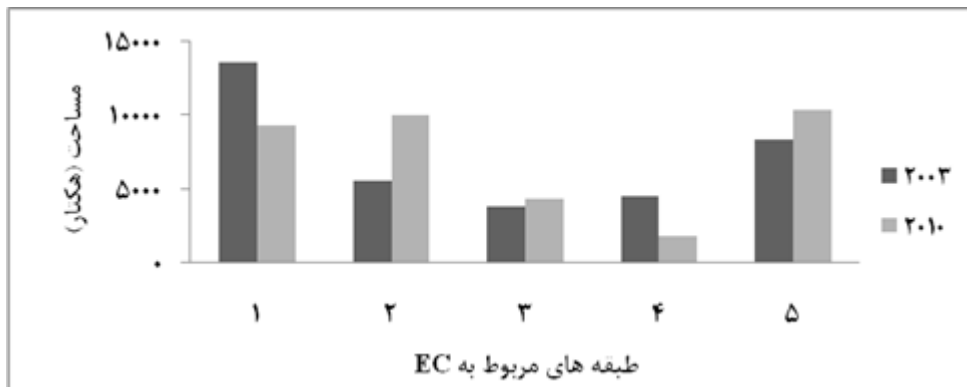
افزایش مساحت همراه است. به طور کلی، با در نظر گرفتن این تغییرات نامنظم در مقدار SAR می‌توان دریافت که میزان شوری در دوره هفت‌ساله افزایش داشته است.

دقت طبقه‌بندی و ضریب کاپا جهت نقشه EC برای تصویر سال ۲۰۰۳ به ترتیب برابر با ۸۷٫۵ درصد و ۰٫۸۳ و برای تصویر سال ۲۰۱۰ به ترتیب ۸۲٫۵ درصد و ۰٫۷۶ به دست آمد.

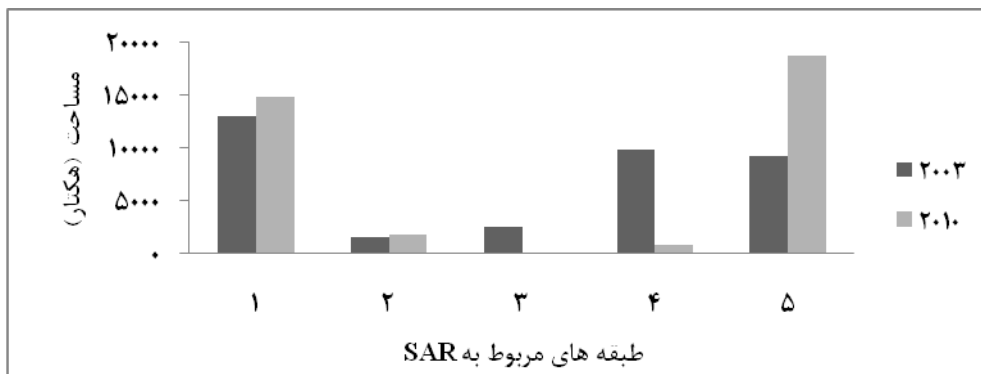
همچنین، دقت طبقه‌بندی نقشه SAR برای هر دو تصویر سال ۲۰۰۳ و ۲۰۱۰، ۸۷٫۵ درصد محاسبه شد. ضریب کاپا برای تصویر سال ۲۰۰۳ و ۲۰۱۰ به ترتیب ۰٫۸۱ و ۰٫۷۷ به دست آمد.

شکل ۱۲ نقشه تغییرات مؤلفه‌های EC و SAR را در دو بازه زمانی نشان می‌دهد. در هر نقشه پنج طبقه افزایش یافته، کاهش یافته، کمی افزایش یافته، کمی کاهش یافته، و بدون تغییر ملاحظه می‌شود.

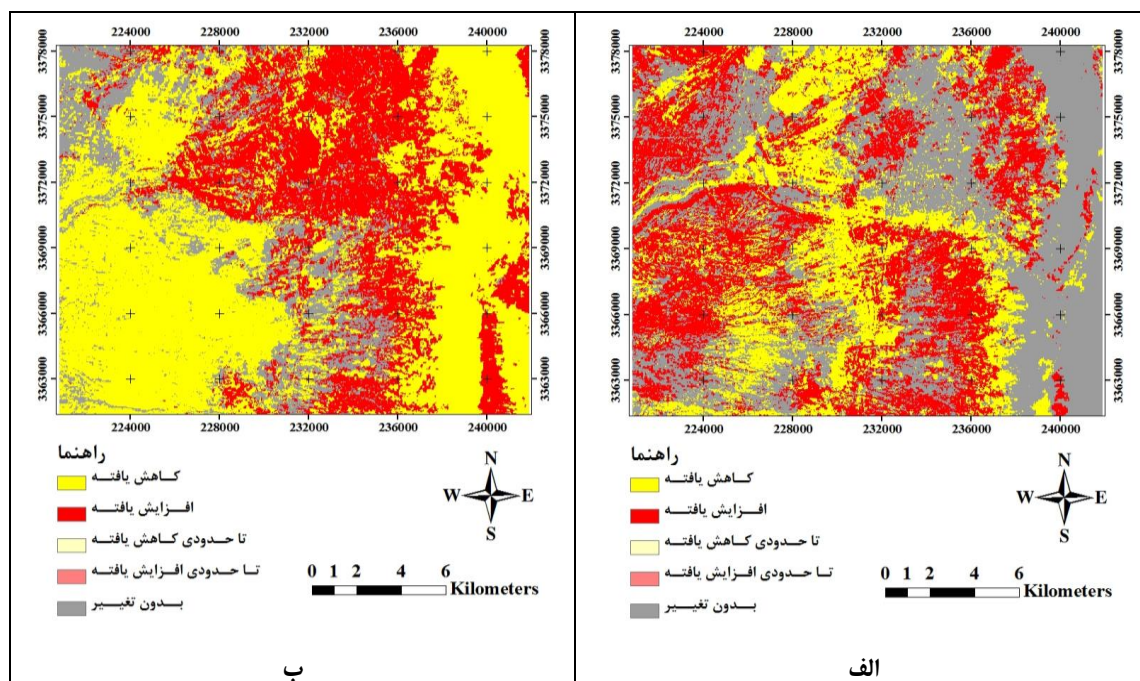
(۲۰۰۳ تا ۲۰۱۰) ۳۰ درصد کاهش را نشان می‌دهد. طبقه دوم (شوری کم) با حدود ۴۰ درصد و طبقه سوم (اراضی با شوری متوسط) با حدود ۱۰ درصد افزایش سطح همراه است. در این میان، مساحت طبقه چهارم (شوری زیاد) تقریباً ۶۰ درصد کاهش یافته است. این در حالی است که طبقه پنجم، که بیانگر شوری بسیار زیاد است، ۲۰ درصد افزایش در سطح را دربر دارد. به طور کلی، با بررسی این تغییرات نامنظم در مقدار EC، می‌توان دریافت که میزان شوری در دوره هفت‌ساله با افزایش همراه بوده است. شکل ۱۱ نیز مساحت دامنه تغییرات SAR را در دو دوره زمانی ۲۰۰۳ و ۲۰۱۰ نشان می‌دهد. این تغییرات روند منظمی را نشان نمی‌دهند. طبقه‌های اول و دوم مقادیر SAR خاک با ۱۰ درصد افزایش، طبقه سوم با حدود ۱۰۰ درصد کاهش، طبقه چهارم با ۹۰ درصد کاهش، و طبقه پنجم با ۵۰ درصد



شکل ۱۰. چگونگی تغییرات EC در دوره زمانی ۲۰۰۳ و ۲۰۱۰



شکل ۱۱. چگونگی تغییرات SAR در دوره زمانی ۲۰۰۳ و ۲۰۱۰



شکل ۱۲. نقشه تغییرات مؤلفه‌های شوری در طول دوره هفت‌ساله (۲۰۰۳ تا ۲۰۱۰): الف (E؛ ب) SAR

یک از فاکتورهای مؤثر در شوری (EC و SAR) با استفاده از داده‌های تصاویر ماهواره‌ای ASTER مدلی تهیه شد. در مدل‌های تهیه‌شده، بیشتر از تکنیک تجزیه مؤلفه اصلی (PCA) استفاده شد. و، در این میان، نقش مؤلفه‌های حاصل از PCA باندهای ۱ تا ۳ و ۱۰ تا ۱۴ بیشتر بود. نتایج بیانگر آن است که در انتخاب بهترین مدل در این تحقیق، باندهای حرارتی سهم و کارایی بیشتری دارند و این نتیجه با تحقیق [۱۳] مطابق است.

نتایج نشان می‌دهد که بیشتر نقشه‌های طیفی (طبقه‌بندی شده) حاصل از سنجش از دور دارای دقت بیش از ۸۵ درصد است و نشان‌دهنده کارایی تصاویر ماهواره‌ای ASTER برای مطالعات شوری خاک و طبقه‌بندی دامنه‌های شوری است. نتایج به دست آمده در این زمینه با مطالعات [۹ و ۱۳] به ترتیب در اراضی نیشکر خوزستان و در جنوب شرقی اسپانیا مطابقت دارد.

مقادیر EC خاک‌های منطقه دارای تغییرات

همان گونه که شکل ۱۲ نشان می‌دهد، سطح اراضی بدون تغییر و افزایش یافته از نظر مقدار EC بیش از اراضی با کاهش یافته است. در زمین‌های کشاورزی مقدار EC بدون تغییر بوده و علت آن آبیاری در محل و آب‌شویی نمک است.

سطح اراضی بدون تغییر از نظر مقدار SAR بسیار کم و سطح اراضی که در آن مقدار SAR کاهش یافته بیش از اراضی ای است که در آن مقدار SAR افزایش یافته است. اراضی کشاورزی با افزایش SAR همراه بوده، هرچند با آب‌شویی مقداری EC از سطح خاک شسته می‌شود، SAR باقی مانده و خاک به سمت قلیایی شدن پیشروی دارد.

بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق، پایش شوری خاک در دشت مروست (استان یزد) با استفاده از داده‌های سنجش از دور در بازه زمانی هفت‌ساله (۲۰۰۳ - ۲۰۱۰) انجام شد. به منظور تهیه نقشه شوری خاک و پایش آن برای هر

افزوده شده است. سطح اراضی بدون تغییر از نظر مقدار SAR بسیار کم است. همچنین، سطح اراضی‌ای که در آن مقدار SAR کاهش یافته بیش از اراضی‌ای است که در آن مقدار SAR افزایش یافته است. خاک اراضی کشاورزی با افزایش SAR همراه است. هرچند با آب‌شویی مقداری از EC سطح خاک شسته شده است، SAR آن تغییری پیدا نکرده و خاک به سمت قلیایی شدن پیشروی دارد. این روند قلیایی شدن برای همه منطقه به‌ویژه اراضی کشاورزی نامناسب است، زیرا، با آب‌شویی نمک‌های خاک، افزایش سدیم به‌تنهایی به پودر شدن خاک و به‌هم خوردن ساختمان خاک منجر می‌شود. این امر نه‌تنها برای رشد گیاهان زراعی و مرتعی مشکل‌ساز است، بلکه باعث افزایش میزان فرسایش، به‌ویژه فرسایش بادی و بادبردگی خاک، در منطقه می‌شود. پیامد این امر افزایش بیابان‌زایی در منطقه است.

میزان و درصد تغییرات متغیرهای شوری (EC) و SAR در هر دامنه بیانگر افزایش کلی اراضی شور و پیشرفت بیابان‌زایی در منطقه است. آسیب به مراتع، تبدیل مراتع به زمین‌های کشاورزی، استفاده از اراضی خارج از توانایی و استعداد آن‌ها (ظرفیت تحمل) و آسیب به سایر منابع طبیعی، مانند آب‌های زیرزمینی، به افزایش شوری و، در نهایت، پیشروی بیابان‌زایی منجر شده است.

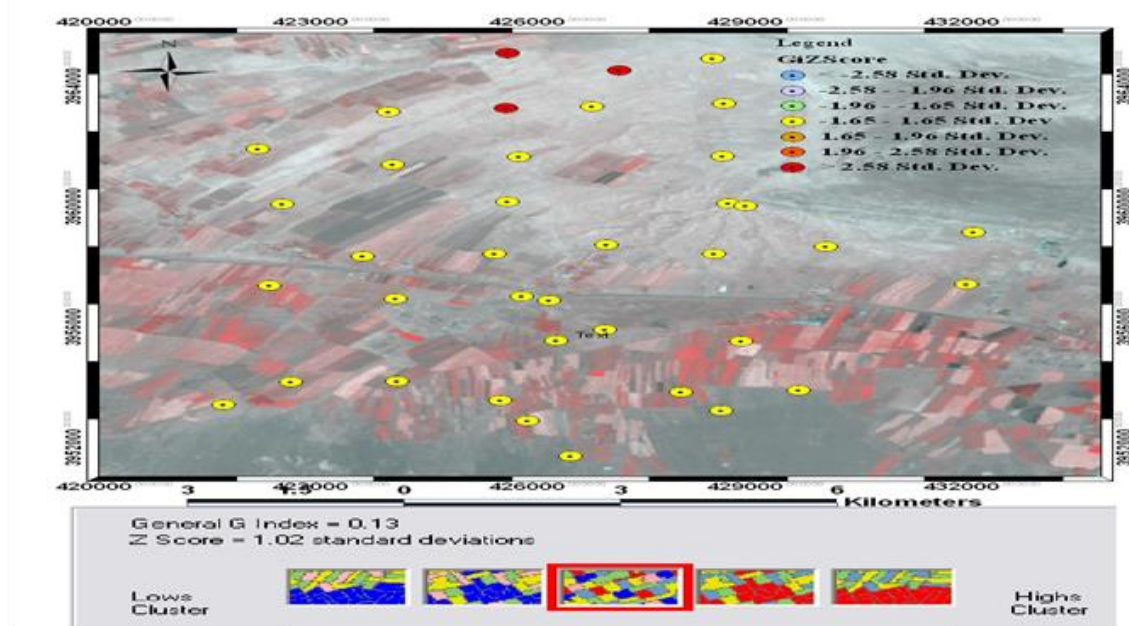
در این تحقیق با استفاده از سنجش از دور، با بررسی میزان شوری و قلیایی شدن خاک، که عوامل اصلی و تشدیدکننده بیابان‌زایی‌اند، روند بیابان‌زایی در منطقه مروست ارزیابی شد. نتایج کلی این تحقیق نشان‌دهنده مفید بودن سنجش از دور در مطالعات بیابان‌زایی است که مشابه با نتایج مطالعات [۳، ۵، ۹، ۱۲] است.

نامنظمی در دو دوره زمانی مورد مطالعه است. کاهش ۳۰ درصدی اراضی بدون شوری ($EC < 4$) در دوره هفت‌ساله (۲۰۰۳ - ۲۰۱۰) و افزایش ۴۰ درصدی در اراضی با شوری کم و افزایش ۱۰ درصدی شوری متوسط نشان‌دهنده افزایش شوری در این منطقه است. همچنین، کاهش ۶۰ درصدی مساحت طبقه چهارم (شوری زیاد) و افزایش ۲۰ درصدی طبقه پنجم (شوری بسیار زیاد) بیانگر روند افزایشی در مقدار شوری خاک منطقه مروست است. به طور کلی، نتایج تغییرات EC در این منطقه نشان داد که در دوره زمانی هفت‌ساله مذکور، از سطح اراضی بدون شوری، کاسته و بر وسعت اراضی با دامنه‌های شوری کم و متوسط افزوده شده است. همچنین، در این دوره زمانی گستره اراضی با شوری زیاد کاهش و به سطح اراضی با شوری بسیار زیاد افزوده شده است. در این منطقه، وسعت اراضی‌ای که در آن‌ها مقدار EC افزایش یافته بیش از اراضی‌ای است که در آن‌ها مقدار EC کاهش یافته است. در زمین‌های کشاورزی مقدار EC بدون تغییر بود و علت آن را می‌توان آبیاری در محل و آب‌شویی نمک بیان کرد. این امر می‌تواند در سال‌های آتی به انباشت نمک در افق‌های زیرین خاک منجر شود و باعث ایجاد اختلال در رشد کمی و کیفی محصولات کشاورزی گردد.

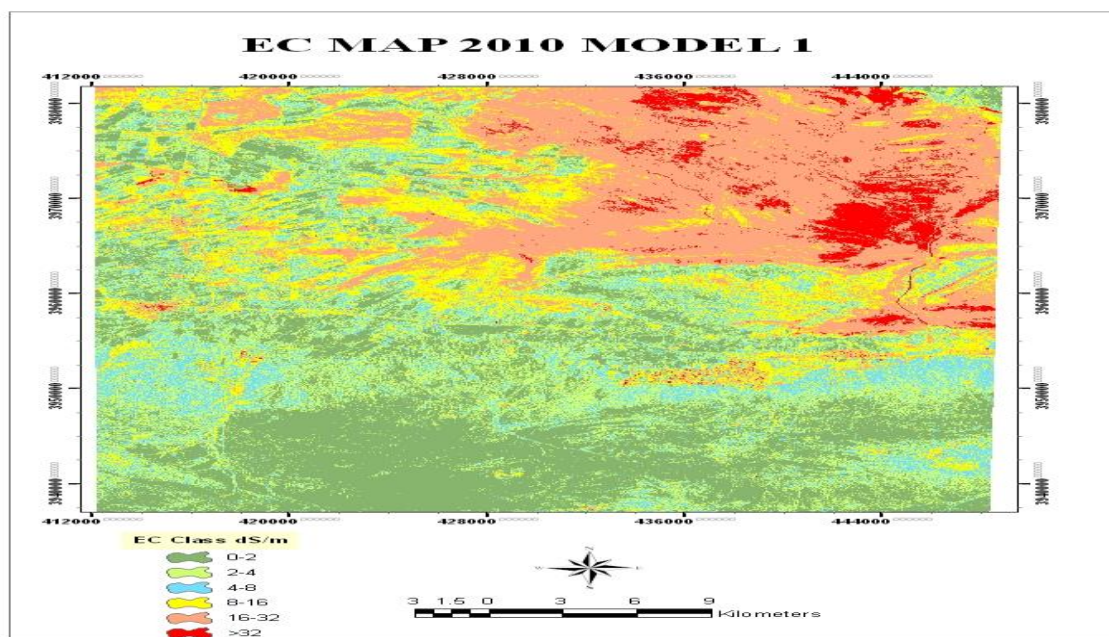
تغییرات SAR در خاک‌های این منطقه روند منظمی را نشان نداد. طبقه‌های اول و دوم مقادیر SAR خاک با ۱۰ درصد افزایش، طبقه سوم با حدود ۱۰۰ درصد کاهش، طبقه چهارم با ۹۰ درصد کاهش، و طبقه پنجم با ۵۰ درصد افزایش مساحت همراه است. به طور کلی، نتایج تغییرات SAR نشان‌دهنده افزایش دامنه مجاز ($SAR < 13$) و دامنه با SAR کم است. همچنین، از وسعت دامنه‌هایی با SAR متوسط و زیاد کاسته شده و بر دامنه با SAR بسیار زیاد

References

- [1] Abrams, M. and Hook, S. (2004). *ASTER User Guide (version 2)*, Jet Propulsion Laboratory (JPL) and EROS Data Center, Pasadena, 135 pp.
- [2] Alavipanah, S.K. (2003). *Application of remote sensing in Earth sciences (Soil science)*, Tehran University Press, 478 pages (in Farsi).
- [3] Alavipanah, S.K., Ehsani, A. H. and Omidi, P. (2004). Study of desertification and changes in Damghan playa using multi-spectral and multi-temporal satellite data, *Iranian Journal of Desert*, 9(1):143-154 (in Farsi).
- [4] Amini, M. (1999). *Evaluation of soil salinity and alkalinity using Geostatistical in the selected soil of Rodasht*, MSc Thesis, Department of Agriculture, Isfahan University of Technology, 119 pages (in Farsi).
- [5] Dadrasi Sabzevari, A. and Pakparvar, M. (2007). Determination of lands affected by desertification using near and remote sensing in Sabzevar desert area, *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 14(1): 33-52 (in Farsi).
- [6] Dashtakian, K. and Pakparvar, M. (2007). *Study of soil salinity trend using Landsat images in Marvast*, Natural Resources and Agriculture Research Center of Yazd, Technical Report (in Farsi).
- [7] Dashtakian, K., Pakparvar, M. and Abdollahi, J. (2008). Study of soil salinity preparing methods by using landsat images in Marvast, *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 15(2): 139-157 (in Farsi).
- [8] Feizi Zadeh, B., Jafari, F. and Nazmfar, H. (2008). Application of remote sensing data in change detection of urban land uses: (Case study: Green spaces in Tabriz), *Journal of Fine Art*, 34, 17-24 (in Farsi).
- [9] Garcia, M., Oyonarte, C., Villagarcia, L., Contreras, S., Domingo, F. and Puigdefabregas, J. (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.
- [10] Giveii Ashraf, Z. (2011). Monitoring of soil salinity using remote sensing data in order to specific management of agricultural lands in the Marvast Plain, Yazd province, MSc thesis, Yazd University, Yazd, (in Farsi).
- [11] Huang, S. and Siegert, F. (2006). Land cover classification optimized to detect areas at risk of desertification in North China based on SPOT VEGETATION imagery, *Journal of Arid Environments*, 67(2): 308-327.
- [12] Liu, H., Zhou, CH., Cheng, W., Long, E. and Li, R. (2008). Monitoring sandy desertification of Otindag sandy land based on multi-date remote sensing images, *Acta Ecologica Sinica*, 28(2): 627-635.
- [13] Nazari, R., Rangzan, K., Abshirini, A. and Moezi, A. (2008). Mapping of soil salinity using satellite ASTER data and GIS in sugarcane land management (Case study: Sugarcane land of industry of Khazae Debal, Khuzestan), *Proceeding of Geomatics 1387* (in Farsi).
- [14] Wu, J., Vincent, B., Yang, J., Bouarfa, S. and Vidal, A. (2008). Remote sensing monitoring of changes in soil salinity: A case study in Inner Mongolia, China, *Journal of Sensors*, 8, 7035-7049.
- [15] Zare Ernani, M. (2009). *Biophysical Assessment of Desertification in the Yazd-Ardakan basin, Iran*, PhD thesis, Ghent University, Belgium.



شکل ۳. توزیع Hotspot در منطقه مطالعاتی



شکل ۴. نقشه نهایی مدل شوری منطقه مطالعاتی

نتایج نشان داد که از داده‌های TM می‌توان برای ایجاد و پایش نقشه‌های شوری استفاده کرد. تفسیر داده‌های TM و GIS ابزار مفیدی برای پیش‌بینی و پایش آثار شوری هستند و می‌توان آن‌ها را به عنوان

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که می‌توان از داده‌های TM برای پیش‌بینی شوری خاک استفاده کرد. کاربرد این داده‌ها سریع و نسبتاً ارزان است.

می‌کنند [۱۵]. همچنین، همبستگی بالایی بین شوری و تصاویر ماهواره‌ای وجود دارد، که در تحقیق حاضر این همبستگی بین شاخص‌های SI1، SI2، SI3، BI، و EC بود.

سیستم‌های هشدار برای بررسی تخریب اراضی به کار گرفت. با ایجاد یک معادله و اعتبارسنجی آن می‌توان شوری را در آینده پیش‌بینی کرد. نتایج نشان داد که داده‌های سنجش از دور، که از سنسورهای مختلف گرفته می‌شوند، نقش مهمی در پیش‌بینی شوری ایفا

References

- [1] Abdinam, A. (2004). An investigation on preparing of the soil salinity map using correlation method between imagery and soil salinity data in the Qazvin plain, *Journal of Pazhouhesh and Sazandegi*, 64, 33-38.
- [2] Abdel-Hamid, M.A., Sherestha, D. and Valenzuela, C. (1992). Delineating, Mapping and Monitoring of Soil Salinity in the Northern Nile Delta (Egypt). Using Landsat Data and a Geographic Information System, Egypt, *J. Soil Sci*, 32,(3).
- [3] Alavi Panah, S.K. (2000). Investigation and evaluation of the use of the soil salinity map, *Journal of desert*, 5, 1-15.
- [4] Amini, M. (1999). Geostatistical assessment of soil salinity and alkalinity in selected soils from Rudasht area, M.Sc. thesis of pedology, Isfahan University of technology, College of Agriculture, Department of Soil Science, 119p.
- [5] Brunner, P.H.T.L. and Kinzelbach, W. (2007). Generating soil electrical conductivity maps at regional level by integrating measurements on the ground and remote sensing data, *International Journal of Remote Sensing*, 28(15), 3341-3361.
- [6] Darvishsefat, M., Jafari, M. and Zehtabian, Gh. (1999). Study on feasibility salt affected soil classification by Landsat Imagery, *Journal of desert*, 5(2).
- [7] Dwivedi, R.S. and Rao, B.R.M. (1992). The selection of the best possible Landsat TM band combination for delineating salt-affected soils, *International Journal of Remote Sensing*, 13, 2051-2058.
- [8] Hillel, D. (2000). *Salinity management for sustainable irrigation: integrating science, environment and economics*, The World Bank: Washington., D.C.
- [9] Jafari Gorzin, B. (2002). Study of landsat ETM⁺ capability in detecting salt affected lands (a case study in Gorgan Plain), A thesis of presented for M.Sc. Gorgan university of Agriculture and Natural Resource Science, College of Range and Watershed Management, 127p.
- [10] Metternicht, G.I. and Zinck, J.A. (1997). Spatial discrimination of salt- and sodium affected soil surfaces, *International Journal of Remote Sensing*, 18, 2571-2586.
- [11] Noroozi, A.A. (2011). A model for soil salinity prediction integrated multi spatial-temporal satellite imagery with spatial statistic model, Ph.D. thesis. Tarbiat Modares University, 172 pp.
- [12] Postel, S. (1999). *Pillar of Sand: Can the Irrigation Miracle Last?* W.W. Norton and Co., New York, NY.
- [13] Saleh, A. A-H. (2009). Remote sensing of soil salinity in arid areas in Saudi Arabia, *International Journal of Civil & Environmental Engineering IJCEE-IJENS*.
- [14] Tajgardan, T., Ayoubi, SH., Shataii, SH. and Khormali, F. (2009). Mapping soil surface salinity using remote sensing data of ETM⁺ (Case study: North of Agh Ghala, Golestan Province), *Water and Soil Conservation Journal*, 16(2).
- [15] Tajgardan, T., Ayoubi, S., Shataee, S. and Sahrawat, K.L. (2010). Soil Surface Salinity Prediction Using ASTER Data: Comparing Statistical and Geostatistical Models, *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 4(3): 457-467.
- [16] Verma, K.S., Saxena, R.K., Barthwal, A.K. and Deshmukh, S.N. (1993). Remote Sensing Technique for Mapping Salt Affected Soils, *Int. J. Remote Sensing*, 15(9).

ارزیابی وضعیت فعلی بیابان‌زایی و شناخت مهم‌ترین عوامل تخریب با استفاده از مدل ایرانی ارزیابی پتانسیل بیابان‌زایی

- ❖ شیمیا نیکو: استادیار دانشکده کوبرشناسی، دانشگاه سمنان
- ❖ حسین آذر نیوند*: استاد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران
- ❖ غلامرضا زهتابیان: استاد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران
- ❖ حسن احمدی: استاد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران
- ❖ محمدعلی زارع چاهوکی: دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

چکیده

مبارزه با بیابان‌زایی، که امروزه تهدیدی جدی برای محیط و رفاه انسان به‌شمار می‌رود، نیازمند درک مسائل پیچیده این پدیده از طریق ارزیابی، آگاهی از شدت عمل فرایندها، و مشخص نمودن عوامل آن است. بنابراین، در این بررسی، پس از مطالعه شرایط حاکم بر منطقه دامغان، که نشان‌دهنده وجود بیابان‌زایی است، شدت و وضعیت فعلی بیابان‌زایی با تکیه بر معیارهای اقلیم، آب، زمین‌شناسی-ژئومورفولوژی، خاک، و فرسایش بادی، به عنوان مهم‌ترین معیارهای بیابان‌زایی، ارزیابی شد. با توجه به اعتبار بیشتر مدل‌های منطقه‌ای و مدل‌های دارای قابلیت بازنگری و اصلاح، در اینجا از مدل ایرانی ارزیابی پتانسیل بیابان‌زایی (IMDPA)، که برای استفاده در مناطق خشک و اسنچی شده است، برای ارزیابی بیابان‌زایی استفاده شد. نخست شاخص فصلی بودن بارش، با توجه به ویژگی‌های خاص اقلیمی منطقه، به مدل اضافه شد. سپس، ارزیابی اولیه بیابان‌زایی انجام شد. سپس، با توجه به نتایج ارزیابی اولیه، شرایط منطقه، و مسائل مطرح‌شده در مراحل مختلف ارزیابی، اصلاحات لازم در مدل انجام شد و ارزیابی نهایی بیابان‌زایی و ارائه نقشه آن صورت گرفت. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که شدت بیابان‌زایی در ۳۳،۹۴ درصد از سطح منطقه شدید و در ۶۶،۰۶ درصد از سطح آن متوسط است. همچنین، اقلیم، شورشیدن منابع آب و خاک، کاربری نامناسب اراضی، بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی، شیوه نامناسب آبیاری، و چرای مفرط مهم‌ترین عوامل بیابان‌زایی در منطقه است.

واژگان کلیدی: ارزیابی بیابان‌زایی، شدت بیابان‌زایی، عوامل بیابان‌زایی، مدل اصلاح‌شده IMDPA، منطقه دامغان

مقدمه

- کمبود اطلاعات و ابزارهای لازم برای ارزیابی؛
- عدم توافق بین‌المللی درباره شاخص‌ها و معیارها و فرایندهای بیابان‌زایی؛ به طوری که شاخص‌های تعیین‌شده در روش‌های ارزیابی بیابان‌زایی، همچون FAO-UNEP، GLASOD، TORKAMANESTAN، اعتبار آن‌ها در ارزیابی بیابان‌زایی تاکنون در سطح جهانی پذیرش نشده است.

با وجود مشکلات مذکور، بهترین روش برای ارزیابی بیابان‌زایی کاربرد مدل‌هایی است که با توجه به شرایط اقلیمی، اکولوژیکی، و اقتصادی-اجتماعی هر منطقه تدوین می‌شود [۵] یا، مشابه مدل مدالوس، برای افزودن معیارها و شاخص‌های مهم بیابان‌زایی در هر منطقه خاص دارای انعطاف‌پذیری لازم هستند. [۷]. بنابراین، در تحقیق حاضر، پس از بررسی اولیه شرایط منطقه، که نشان‌دهنده وجود بیابان‌زایی است، از مدل ایرانی ارزیابی پتانسیل بیابان‌زایی (IMDPA)، که بر اساس مدل مدالوس و با توجه به شرایط کشور ایران تدوین و در مناطق مختلف اقلیمی واسنجی شده است [۲]، برای ارزیابی این پدیده استفاده شد. همچنین، به دلایل زیر شدت و وضعیت فعلی بیابان‌زایی ارزیابی و مهم‌ترین معیارها، شاخص‌ها، و عوامل بیابان‌زایی، با تکیه بر معیارهای محیطی و شاخص‌های آن‌ها، مشخص می‌شود:

- صرف‌نظر از نوع عامل بیابان‌زایی (طبیعی و انسانی)، بیابان‌زایی در نهایت موجب تغییر شرایط محیطی می‌شود [۲۰].

- بررسی اولیه شرایط منطقه و نتایج مطالعات قبلی صورت‌گرفته [۳، ۱۳، ۱۸] همگی گویای حاکمیت شرایط نامساعد اقلیمی و محیطی است.

تاکنون بیابان‌زایی، با استفاده از روش مذکور، در مناطق مختلف کشور با شرایط اقلیمی مشابه منطقه مورد مطالعه و با تکیه بر معیارهای محیطی، به عنوان مهم‌ترین معیارهای بیابان‌زایی، ارزیابی شده است.

تاکنون پذیرفته‌شده‌ترین تعریف برای پدیده بیابان‌زایی، که نتیجه عدم تعادل در کنش متقابل چهار عنصر اکوسیستم (اقلیم، خاک، پوشش گیاهی، و انسان) است [۲۲]، عبارت است از: تخریب اراضی در مناطق خشک، نیمه‌خشک، و خشک نیمه‌مرطوب در نتیجه عوامل مختلف شامل تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی [۱۶، ۱۹].

کنترل و کاهش آثار یا، به عبارتی، مبارزه با بیابان‌زایی، که امروزه تهدیدی جدی برای محیط و رفاه انسان به‌شمار می‌رود [۱۶]، نیازمند درک مسائل پیچیده این پدیده، ارزیابی و پایش انواع آن، آگاهی از شدت عمل فرایندهای آن (تخریب منابع گیاهی، تخریب ساختمان خاک، افت سطح و کاهش کیفیت منابع آب زیرزمینی، کاهش حاصل‌خیزی خاک، و ...) به‌ویژه در مناطق خشک، مشخص‌نمودن عوامل تخریب، و، در نهایت، انتخاب و اجرای اقدامات مناسب برای رفع مشکلات ایجادشده است [۶].

با توجه به اهمیت این معضل، تاکنون روش‌های مختلفی برای تخمین یا ارزیابی بیابان‌زایی ارائه و نقد شده است. اما، به‌رغم پیشرفت‌های صورت‌گرفته در زمینه روش‌های ارزیابی بیابان‌زایی، مشکلات عدیده‌ای در استفاده از آن‌ها وجود دارد؛ از جمله اینکه این روش‌ها هنوز تا حد زیادی بر پایه قضاوت و نظر کارشناسی است که به عدم توافق نظر عمومی در ارتباط با اراضی تخریب‌یافته حتی در سطح ملی منجر شده است، مثلاً ارزیابی‌های صورت‌گرفته از بیابان‌زایی در هند، سطح اراضی تخریب‌یافته در این کشور را بین ۵۳ تا ۲۳۹ میلیون هکتار می‌داند [۱۰]. در خصوص دیگر مشکلات ارزیابی بیابان‌زایی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد [۲۰]:

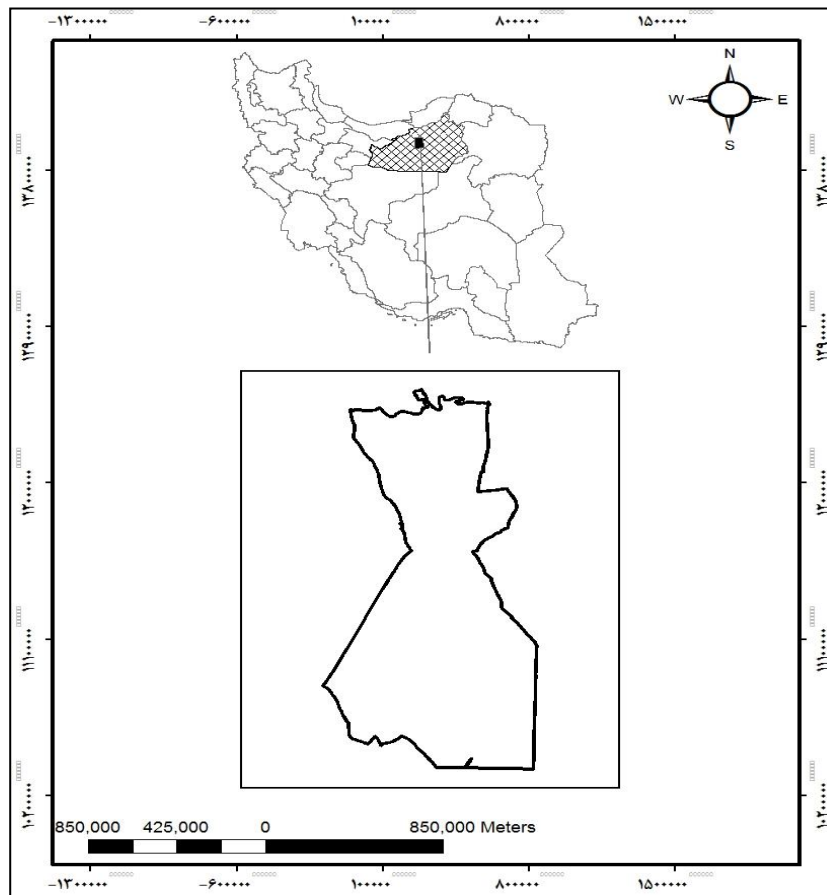
- برخی از آشکال تخریب به‌آسانی قابل رؤیت نیستند، مثل فشردگی خاک، اسیدی‌شدن، و کاهش فعالیت‌های بیولوژیکی؛

دامنه جنوبی رشته‌کوه‌های البرز است که در حد فاصل عرض‌های جغرافیایی $35^{\circ}54'$ تا $36^{\circ}19'11''$ و طول جغرافیایی $54^{\circ}15'$ تا $54^{\circ}30'$ واقع شده است (شکل ۱). این منطقه، با گستره‌ای برابر $63068/67$ هکتار، از نظر تقسیمات کشوری، بخشی از شهرستان دامغان از توابع استان سمنان است. بر پایه روش دومارتن اصلاح‌شده، منطقه دارای اقلیم فراخشک سرد با میانگین بارش سالانه $104/5$ میلی‌متر، میانگین دمای سالانه $16/3$ درجه سانتی‌گراد، حداکثر مطلق دمای ماهانه $43^{\circ}C$ در تیر، حداقل مطلق دمای ماهانه $12^{\circ}C$ در دی‌ماه و میانگین سرعت باد در منطقه $4/73$ متر بر ثانیه است [۹].

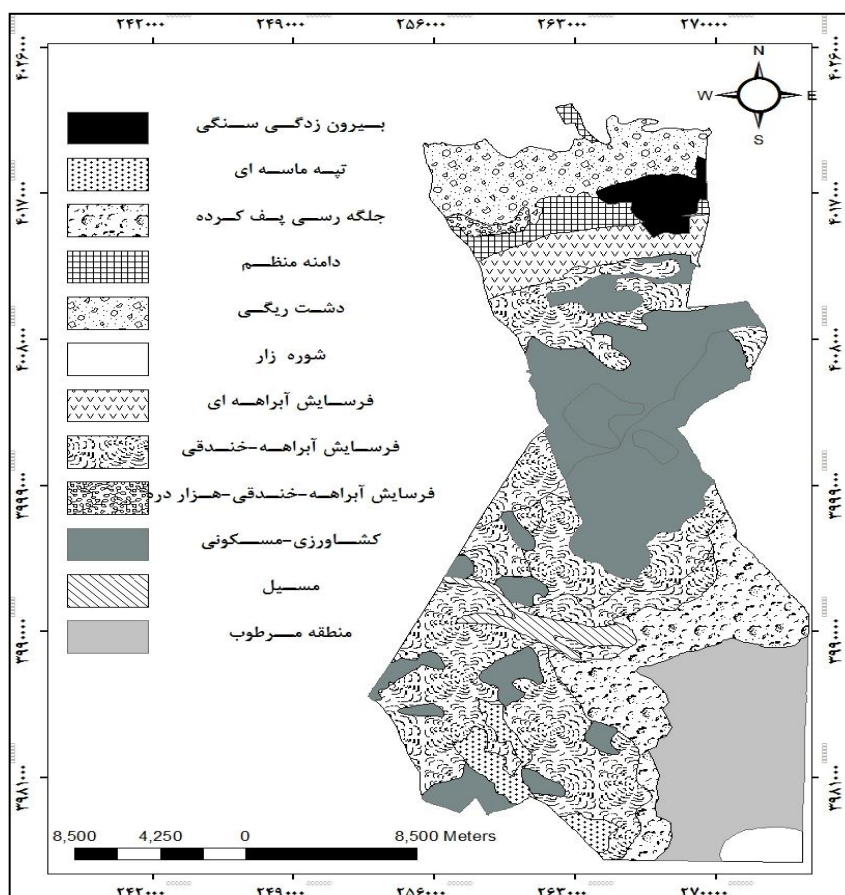
نتایج به‌دست‌آمده اهمیت این معیارها را در بیابان‌زایی مناطق خشک آشکار می‌سازد [۱۱، ۱۲، ۱۵، ۱۷]. اما، با وجود بیابان‌زایی و مشکلات ناشی از آن، همچون بیکاری و مهاجرت، خشک‌شدن چاه‌ها، غیر قابل استفاده‌شدن سطح وسیعی از اراضی کشاورزی، و، در نتیجه، متروکه‌شدن آن‌ها [۱۳]، تا کنون در جهت ارزیابی کمی بیابان‌زایی، شناخت مهم‌ترین عوامل آن، و ارائه راهکارهای مناسب برای مبارزه با این معضل در منطقه دامغان اقدامی انجام نشده است. بنابراین، تحقیق حاضر با هدف ارائه تصویری گویا از پدیده بیابان‌زایی و شناخت عوامل آن در جهت کنترل و کاهش آثار مخرب آن در منطقه مورد مطالعه انجام شد.

روش‌شناسی تحقیق

منطقه مورد مطالعه بخشی از حوضه آبخیز دامغان در



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه



شکل ۲. نقشه واحدهای کاری منطقه دامغان

... که فقط در بخشی از منطقه حائز اهمیت‌اند)، ارزیابی می‌شود (شکل ۳).

همچنین، با توجه به وقوع بیشتر بارندگی‌های منطقه به ترتیب در فصول بهار و زمستان [۳، ۱۴]، شاخص فصلی بودن بارندگی به معیار اقلیم اضافه شد که برای ارزیابی آن از رابطه ۱ و جدول ۱ استفاده می‌شود [۵، ۲۱].

(۱)

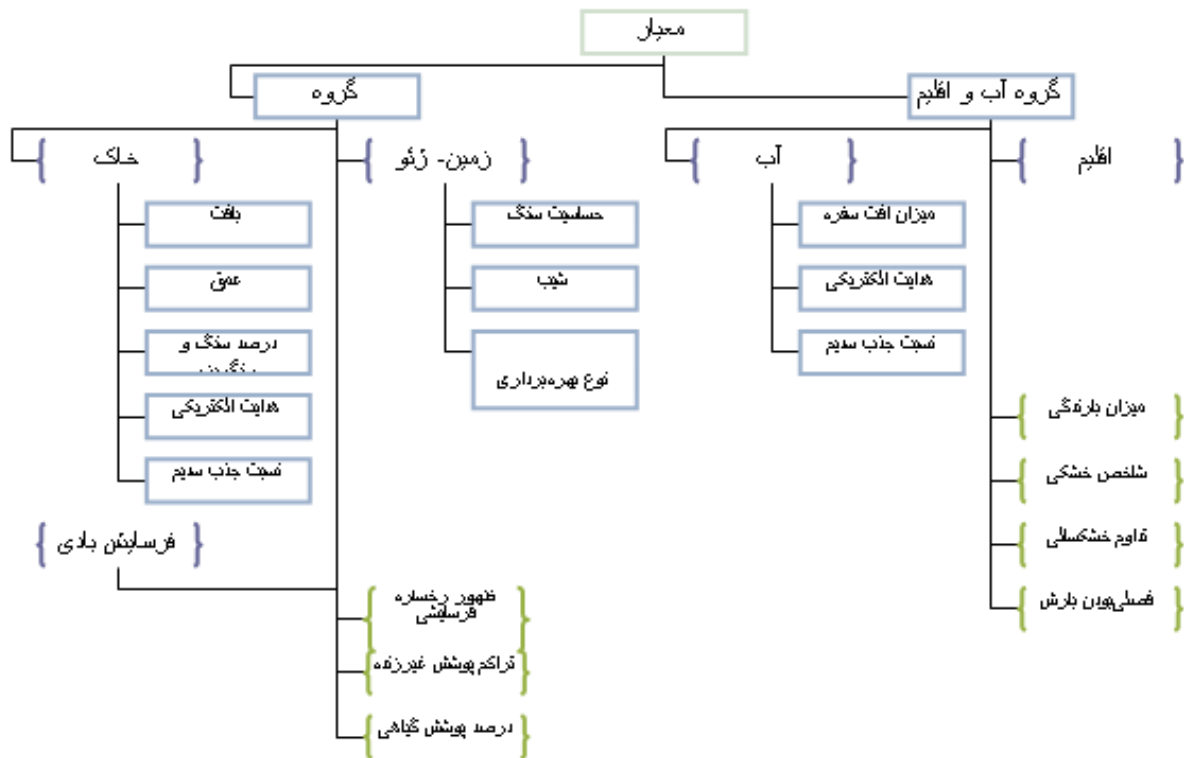
$$Sli = \frac{1}{Ri} \sum_{n=1}^{n-12} \left| Xin - \frac{Ri}{12} \right|$$

که در آن Sli شاخص فصلی بودن بارش، Ri میزان بارندگی در سال i و Xin میزان بارندگی در ماه n سال i است.

در این تحقیق، برای ارزیابی وضعیت بیابان‌زایی و شناخت عوامل بیابان‌زایی در منطقه دامغان از مدل ایرانی ارزیابی پتانسیل بیابان‌زایی استفاده شد. در اینجا از میان نه معیار (اقلیم، آب، خاک، زمین‌شناسی-ژئومورفولوژی، پوشش گیاهی، کشاورزی، فرسایش (آبی و بادی)، اقتصادی-اجتماعی، و توسعه شهری-صنعتی) و ۳۹ شاخص ارائه‌شده در مدل IMDPA برای ارزیابی بیابان‌زایی در مناطق خشک کشور [۲]، پنج معیار اقلیم، آب، زمین‌شناسی-ژئومورفولوژی، خاک، فرسایش بادی، و هجده شاخص مربوطه، به عنوان مهم‌ترین معیارها و شاخص‌ها، با توجه به شرایط حاکم، مطالعات پیشین و مطرح بودن آن‌ها در تمام سطح مورد بررسی (برخلاف معیارهای پوشش گیاهی، فرسایش آبی، و

جدول ۱. وضعیت بیابان‌زایی شاخص فصلی بودن بارش، معیار اقلیم

حدود شاخص	طبقه	فصلی بودن بارش (Sli)	تشریح حدود شاخص	بیان کیفی	بیان کمی
۱	۱	<۴۰	پراکنش بارش به صورت یک‌نواخت در طول سال	کم	۱
۲	۲	۴۰-۸۰	بارش نسبتاً فصلی تا فصلی با فصل خشک کوتاه تا متوسط	متوسط	۲
۳	۳	۸۰-۱۲۰	بارش فصلی مشخص با یک فصل خشک طولانی	زیاد	۳
۴	۴	>۱۲۰	بارش به شدت فصلی به گونه‌ای که بیشترین بارندگی در کمتر از سه ماه از سال به وقوع می‌پیوندد	بسیار شدید	۴



شکل ۳. شاخص‌ها و معیارهای بیابان‌زایی مورد مطالعه در منطقه دامغان

جمع‌آوری شده، عملیات صحرائی و آزمایشگاهی لازم و جداول امتیازدهی ارائه شده در مدل، بر اساس میزان تأثیر در بیابان‌زایی، وزنی بین ۱ (بهترین ارزش) تا ۴ (بدترین ارزش) دریافت می‌کند. سپس، ارزش‌های عددی تولیدشده شاخص‌ها در واحدهای

شاخص‌ها در واحدهای کاری که نقشه آن در محیط نرم‌افزار GIS 9.3 از تلفیق نقشه‌های شیب، جهت، ارتفاع، رخنساره‌های ژئومورفولوژی، سنگ‌شناسی، و کاربری‌های اراضی حاصل شده است (شکل ۲)، بر استفاده از اطلاعات و آمار

توجه به شرایط منطقه و مسائل مطرح شده در مراحل مختلف ارزیابی، انجام می‌شود. با استفاده از مدل اصلاح شده، وضعیت و شدت بیابان‌زایی ارزیابی نهایی می‌شود و نقشه آن ارائه می‌گردد.

در مرحله آخر، با توجه به میانگین وزنی ارزش‌های عددی شاخص‌ها و معیارها (بر اساس مساحت واحدهای کاری)، در کل سطح منطقه، مهم‌ترین آن‌ها مشخص می‌شود و، با تجزیه و تحلیل این نتایج، شرایط حاکم بر منطقه و مطالعات پیشین بررسی می‌شود و مهم‌ترین عوامل بیابان‌زایی مشخص می‌گردد. همچنین، بر اساس این عوامل، روش‌های مناسب برای مبارزه با بیابان‌زایی ارائه می‌شود.

نتایج

جداول ۲ تا ۶ نتایج اولیه حاصل از ارزیابی شاخص‌های معیارهای مورد ارزیابی در منطقه دامغان را نشان می‌دهد. همچنین، بر طبق نتایج ارزیابی اولیه، شدت بیابان‌زایی معیار اقلیم از نظر کمی برابر با ۲/۰۵ و از نظر کیفی متوسط است؛ شدت بیابان‌زایی معیار زمین-ژئومورفولوژی برابر با ۱/۹۳ و از نظر کیفی متوسط است؛ شدت بیابان‌زایی منطقه با تکیه بر معیار آب با میانگین وزنی ۱/۸۸ متوسط است؛ شدت بیابان‌زایی منطقه با تکیه بر معیار خاک با میانگین وزنی ۱/۸۵ متوسط است؛ و شدت بیابان‌زایی منطقه با تکیه بر معیار فرسایش بادی با میانگین وزنی ۲/۲۵ متوسط است.

کاری در نرم‌افزار GIS تبدیل به نقشه‌های موضوعی می‌شود. هر نقشه نشان‌دهنده وضعیت بیابان‌زایی شاخص مربوطه است و در چهار کلاس کم، متوسط، شدید، و خیلی شدید ارائه خواهند شد. سپس، هر معیار از میانگین هندسی شاخص‌های آن به دست می‌آید. سپس، نقشه‌های مربوط به معیارهای بیابان‌زایی مشابه نقشه‌های شاخص‌ها تهیه می‌شود که نشان‌دهنده وضعیت بیابان‌زایی معیارهای مربوطه است و در چهار کلاس کم، متوسط، شدید، و خیلی شدید قرار می‌گیرند. در مرحله بعد، سنتز و تلفیق معیارها به صورت خوشه‌ای انجام می‌شود و چهار گروه معیار اصلی زیر از میانگین هندسی معیارها حاصل می‌شود. البته، در تحقیق حاضر دو گروه به شرح زیر بررسی می‌شود:

۱. گروه اقلیم و آب (Q1)، شامل دو معیار اقلیم و آب؛
 ۲. گروه زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی (Q2)، شامل معیارهای زمین-ژئومورفولوژی، خاک، و فرسایش.
- سپس، پتانسیل بیابان‌زایی در هر واحد کاری از میانگین هندسی دو گروه مذکور طبق رابطه ۲ ارزیابی می‌شود و نقشه بیابان‌زایی منطقه تهیه می‌گردد.

(۲)

$$DPA_i = \sqrt[2]{Q_1 \cdot Q_2}$$

در ادامه، برای ارائه نتایج، با دقت و صحت بیشتر، مدل بازنگری می‌شود و اصلاحات لازم، با

جدول ۲. وضعیت کمی و کیفی بیابان‌زایی شاخص‌های معیار اقلیم

ردیف	شاخص‌ها	وضعیت بیابان‌زایی (کمی)	وضعیت کیفی بیابان‌زایی
۱	مقدار بارش سالانه	۳	شدید
۲	شاخص خشکی UTI	۳	شدید
۳	تداوم خشکسالی	۱	ناچیز
۴	شاخص فصلی بودن بارندگی	۲	متوسط

جدول ۳. میانگین وزنی ارزش عددی شاخص‌های معیار آب

ردیف	شاخص‌ها	میانگین وزنی ارزش عددی شاخص	وضعیت کیفی بیابان‌زایی
۱	هدایت الکتریکی آب	۳,۰۳	شدید
۲	نسبت جذب سدیم	۱,۲۳	کم
۳	افت سفره آب زیرزمینی	۲,۳۲	متوسط

جدول ۴. میانگین وزنی ارزش عددی شاخص‌های معیار زمین - ژئومورفولوژی

ردیف	شاخص‌ها	میانگین وزنی ارزش عددی شاخص	وضعیت کیفی بیابان‌زایی
۱	حساسیت سنگ	۲,۸۴	شدید
۲	شیب	۱,۰۱	کم
۳	نوع بهره‌برداری از واحد کاری	۲,۶۵	متوسط

جدول ۵. میانگین وزنی ارزش عددی شاخص‌های معیار خاک

ردیف	شاخص‌ها	میانگین وزنی ارزش عددی شاخص	وضعیت کیفی بیابان‌زایی
۱	بافت خاک	۱,۸۴	متوسط
۲	عمق خاک	۱,۴۹	کم
۳	هدایت الکتریکی خاک	۲,۹۱	شدید
۴	نسبت جذب سدیم	۲,۷۸	شدید
۵	درصد سنگ و سنگریزه	۱,۳۵	کم

جدول ۶. میانگین وزنی ارزش عددی شاخص‌های معیار فرسایش بادی

ردیف	شاخص‌ها	میانگین وزنی ارزش عددی شاخص	وضعیت کیفی بیابان‌زایی
۱	ظهور رخساره فرسایشی	۱,۴۷	کم
۳	درصد پوشش غیرزنده	۳,۵۷	خیلی شدید
۴	درصد پوشش گیاهی	۲,۳۲	متوسط

کاری طبق تعریف ارائه‌شده در مدل برای ارزیابی شاخص‌های مذکور دارای دقت و صحت کافی نیستند. بنابراین، نخست واحدهای کاری را به زیرواحدهایی که از نظر خصوصیات مذکور همگن‌اند تقسیم می‌کنند و شاخص‌ها در زیرواحدها ارزیابی می‌شود. در نهایت، برای ارزیابی این شاخص در هر واحد کاری از میانگین وزنی آن در زیرواحدها استفاده می‌شود.

مسائل مطرح‌شده در حین ارزیابی بیابان‌زایی شاخص‌ها و معیارهای بیابان‌زایی به بازنگری و اجرای اصلاحات زیر منجر شد:

با توجه به آمار و اطلاعات مربوط به چاه‌ها و پیژومترهای منطقه، شاخص‌های افت سفره آب زیرزمینی و هدایت الکتریکی آب در نقاط مختلف یک واحدکاری یکسان نیست و در چند کلاس مختلف بیابان‌زایی قرار می‌گیرند. بنابراین، واحدهای

بیابان‌زایی شاخص نسبت جذب سدیم در ۶۹/۶۲ درصد از سطح منطقه کم و ناچیز است و واردکردن این شاخص در میانگین هندسی برای ارزیابی معیار آب در سطح مذکور موجب می‌شود که تأثیر شاخص هدایت الکتریکی آب با بیابان‌زایی شدید از بین برود و، نهایتاً، بیابان‌زایی معیار آب متوسط ارزیابی شود. برای رفع این مشکل، شاخص نسبت جذب سدیم (در واحدهای کاری موجود در سطح مذکور) در ارزیابی معیار آب لحاظ نمی‌شود. بنابراین، با حذف شاخص مذکور، میانگین وزنی معیار آب، که در مدل اولیه برابر با ۱/۸۸ با بیابان‌زایی متوسط است، در مدل اصلاح‌شده برابر با ۲/۵۱ و وضعیت بیابان‌زایی آن شدید است.

با توجه به نتایج حاصل از ارزیابی شاخص شیب، متوسط وزنی ارزش عددی این شاخص برابر با ۱/۰۱ است. این شاخص در ۹۶/۳۵ درصد از سطح منطقه کم و در ۱/۲۵ درصد (کویر) بدون کلاس است؛ دلیل این امر آن است که سطح محدوده مورد مطالعه عمدتاً در واحد دشت‌سر و پلایا با شیب کم قرار گرفته است و عامل شیب در بیابان‌زایی آن مطرح نیست. واردکردن این شاخص در میانگین هندسی برای ارزیابی معیار زمین-ژئومورفولوژی موجب می‌شود که این معیار کمتر از مقدار واقعی ارزیابی شود. بنابراین، برای ارزیابی دقیق‌تر و صحیح‌تر معیار مذکور، شاخص شیب در ارزیابی نهایی معیار فوق لحاظ نشده است. بدین ترتیب، با حذف اثر این شاخص، میانگین وزنی معیار زمین-ژئومورفولوژی، که در مدل اولیه برابر با ۱/۹۳ با بیابان‌زایی متوسط است، در مدل اصلاح‌شده برابر با ۲/۷۱ و وضعیت بیابان‌زایی آن شدید است.

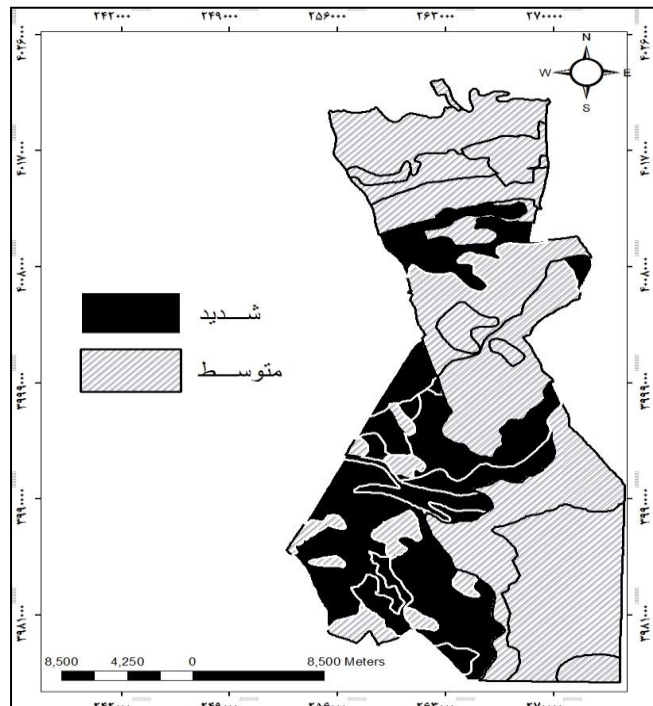
بیابان‌زایی شاخص عمق خاک در ۸۱/۱۵ درصد

از سطح منطقه کم و ناچیز است و واردکردن این شاخص در میانگین هندسی برای ارزیابی معیار خاک در سطح مذکور موجب می‌شود که تأثیر شاخص هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم با بیابان‌زایی شدید از بین برود و، نهایتاً، ارزیابی وضعیت بیابان‌زایی معیار خاک دارای دقت و صحت کافی نباشد. بنابراین، برای رفع این مشکل، اثر شاخص عمق خاک (در واحدهای کاری موجود در سطح مذکور) در ارزیابی نهایی شدت بیابان‌زایی معیار خاک لحاظ نمی‌شود. همچنین، بیابان‌زایی شاخص درصد سنگ و سنگریزه عمقی خاک در ۷۳/۱۹ درصد از سطح منطقه کم و ناچیز است و واردکردن این شاخص نیز در میانگین هندسی برای ارزیابی معیار خاک در سطح مذکور موجب می‌شود تا شدت بیابان‌زایی این معیار کمتر از مقدار واقعی ارزیابی شود. بنابراین (مشابه شاخص عمق خاک)، اثر این شاخص در سطح مذکور در ارزیابی بیابان‌زایی معیار خاک لحاظ نمی‌شود. بدین ترتیب، با حذف شاخص‌های عمق خاک و درصد سنگ و سنگریزه عمقی از سطح مذکور، میانگین وزنی معیار خاک، که در مدل اولیه برابر با ۱/۸۵ با بیابان‌زایی متوسط است، در مدل اصلاح‌شده برابر با ۲/۴۲ است و وضعیت بیابان‌زایی آن متوسط، ولی در آستانه ورود به کلاس بالاتر یا بیابان‌زایی شدید است.

پس از اعمال اصلاحات مذکور، نتایج حاصل از ارزیابی بیابان‌زایی معیارهای مورد مطالعه - گروه‌های اقلیم - آب، زمین‌شناسی - ژئومورفولوژی، و پتانسیل - بیابان‌زایی را در هر واحد نشان می‌دهد. شکل ۴ نقشه وضعیت و شدت فعلی بیابان‌زایی منطقه دامغان را نشان می‌دهد.

جدول ۷. نتایج ارزیابی بیابان‌زایی معیارهای مورد ارزیابی، دو گروه اقلیم- آب و زمین‌شناسی- ژئومورفولوژی و پتانسیل بیابان‌زایی (DPAi) در واحدهای کاری

توصیف شدت بیابان‌زایی	پتانسیل بیابان‌زایی (DPAi)	گروه زمین- ژئو	گروه آب و اقلیم	معیار فرسایش بادی	معیار خاک	معیار زمین- ژئومورفولوژی	معیار آب	معیار اقلیم	بیابان‌زایی واحد کاری
متوسط	۲,۳۸	۲,۵۱	۲,۲۶	-	۲,۵۱	-	۲,۵۲		۱
متوسط	۲,۲۸	۲,۵۸	۲,۰۲	۲	۲,۵۱	۳,۴۶	۲		۲
شدید	۲,۵۵	۳,۱۹	۲,۰۵	۲,۸۸	۲,۸۲	۴	-		۳
متوسط	۲,۱۳	۱,۸۲	۲,۵۱	۱,۵۸	۱,۵۸	۲,۴۴	۳,۰۸		۴
شدید	۲,۷۴	۲,۸۱	۲,۶۹	۲,۸۸	۳,۱۷	۲,۴۴	۳,۵۵		۵
شدید	۲,۶۴	۳,۰۱	۲,۳۲	۲,۸۸	۳,۱۷	۳	۲,۶۳		۶
متوسط	۲,۳۳	۲,۷	۲,۰۲	۲,۵۱	۲,۲۸	۳,۴۶	۲		۷
متوسط	۲,۴۴	۲,۹۱	۲,۰۵	۲,۲۸	۳,۱۳	۳,۴۶	-		۸
متوسط	۲,۲۹	۱,۹۷	۲,۶۷	۲	۱,۵۸	۲,۴۴	۳,۴۶	۲,۰۵	۹
شدید	۲,۶۹	۲,۹۳	۲,۴۷	۲,۸۸	-	۳	۳		۱۰
متوسط	۲,۲۱	۱,۹۷	۲,۴۸	۲	۱,۵۸	۲,۴۴	۳,۰۱		۱۱
متوسط	۲,۲۹	۱,۹۷	۲,۶۷	۲	۱,۵۸	۲,۴۴	۳,۴۶		۱۲
شدید	۲,۵۷	۲,۷	۲,۴۶	۲,۸۸	۲,۸۲	۲,۴۴	۲,۹۵		۱۳
متوسط	۲,۰۸	۲,۱۶	۲,۰۲	۱,۵۸	۲,۶۳	۲,۴۴	۲		۱۴
متوسط	۲	۱,۹۷	۲,۰۵	۱,۵۸	۲,۴۵	۲	-		۱۵
متوسط	۲,۱۵	۲,۲۶	۲,۰۵	۱,۸۱	۲,۶۳	۲,۴۴	-		۱۶
متوسط	۱,۹۱	۲,۱۶	۱,۷	۱,۵۸	۲,۶۳	۲,۴۴	۱,۴۱		۱۷
متوسط	۱,۸۵	۲,۰۲	۱,۷	۱,۵۸	۲,۶۳	۲	۱,۴۱		۱۸



شکل ۴. نقشه وضعیت بیابان‌زایی منطقه دامغان

ویژگی‌های خاص اقلیمی منطقه، ارائه شود. سپس، ارزیابی اولیه بیابان‌زایی به بازنگری مدل IMDPA و اعمال اصلاحات لازم برای ارزیابی دقیق‌تر و صحیح‌تر این پدیده منجر شد که، بر طبق آن و با توجه به اینکه کاربرد میانگین هندسی در مدل IMDPA موجب می‌شود تا تأثیر مناطقی با بیابان‌زایی کم، شدید، و خیلی شدید از بین برود و در اکثر موارد شدت بیابان‌زایی متوسط ارزیابی شود، در واحدهایی که تأثیر شاخص‌های هر معیار در بیابان‌زایی منطقه کم و ناچیز ارزیابی شده است در ارزیابی نهایی بیابان‌زایی آن معیار اثر شاخص‌های مذکور لحاظ نشده است. همچنین، در این مدل واحدهای کاری به عنوان مینا و پایه مطالعات انتخاب شدند؛ مشخص بودن برخی از عوامل محیطی و انسانی مورد ارزیابی در آن‌ها موجب سهولت کار و افزایش سرعت عمل می‌شود. اما، برخی از شاخص‌ها (مثل شاخص افت سفره آب زیرزمینی، هدایت الکتریکی آب، و سیستم‌های آبیاری) در نقاط مختلف یک واحد کاری یکسان نبودند و واحدهای کاری برای ارزیابی شاخص‌های مذکور دارای دقت و صحت کافی نیستند. بنابراین، نخست واحدهای کاری به زیرواحدهایی که از نظر خصوصیات مرتبط با شاخص‌های مذکور همگن‌اند تقسیم و شاخص‌ها در زیرواحدها ارزیابی شدند. در نهایت، برای ارزیابی این شاخص در هر واحد کاری از میانگین وزنی آن در زیرواحدها استفاده شد. این موضوعی است که در ارزیابی‌های قبلی بیابان‌زایی در نظر گرفته نشده است و لحاظ کردن آن در تحقیق حاضر موجب افزایش دقت و صحت ارزیابی شده است.

پس از اعمال اصلاحات مذکور، ارزیابی نهایی بیابان‌زایی شاخص‌ها، معیارها، و شدت و وضعیت فعلی نشان داد که به دلیل حاکم بودن اقلیم فراخشک با بارندگی کم، میانگین بالای دمای سالیانه، و تبخیر و

در مجموع، نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل شاخص‌ها، معیارها، گروه‌ها، و ارزیابی پتانسیل بیابان‌زایی در کل منطقه گویای موارد زیر است:

(الف) از میان دو گروه مورد بررسی، گروه زمین‌شناسی- ژئومورفولوژی با میانگین وزنی ۲/۴۶ دارای تأثیر بیشتری در بیابان‌زایی منطقه در مقایسه با گروه اقلیم- آب با میانگین وزنی ۲/۳ است.

(ب) از میان پنج معیار مورد ارزیابی، معیار زمین- ژئومورفولوژی با میانگین وزنی ۲/۷۱ و معیار آب با میانگین وزنی ۲/۵۱ بیشترین تأثیر را در بیابان‌زایی کل منطقه دارند.

(ج) از میان ۱۸ شاخص مورد ارزیابی، شاخص‌های درصد پوشش غیرزنده مربوط به معیار فرسایش بادی، هدایت الکتریکی آب، میزان بارش سالانه، شاخص خشکی، و هدایت الکتریکی خاک به ترتیب با میانگین وزنی ۳/۵۷، ۰۳، ۳، ۳، و ۲/۹۱ بیشترین تأثیر را در بیابان‌زایی منطقه دارند.

(د) شدت بیابان‌زایی در کل منطقه برابر با ۲/۳۶ (DPAi=2.36) است، و وضعیت بیابان‌زایی متوسط، ولی در آستانه ورود به کلاس بالاتر با بیابان‌زایی شدید است.

بحث و نتیجه‌گیری

استفاده از مدل ایرانی ارزیابی پتانسیل بیابان‌زایی، که برای استفاده در مناطقی با اقلیم خشک و اسنجی شده است، موجب می‌شود تا لزوم اجرای اصلاحات، با توجه به شرایط خاص اقلیمی و میزان خطای ارزیابی، به حداقل برسد. با این حال، بررسی شرایط حاکم بر منطقه نشان داد که فصلی بودن بارش یکی از خصوصیات اقلیمی منطقه است. بنابراین، فصلی بودن بارش، به عنوان یکی از شاخص‌های معیار اقلیم، در مدل ارزیابی بیابان‌زایی منطقه وارد شد تا تصویر گویاتری از بیابان‌زایی این معیار، با توجه به

دیگر نیز، شاخص هدایت الکتریکی آب را مهم‌ترین شاخص بیابانزایی منطقه ابوزیدآباد معرفی کرد [۱].

- اختلاط آب شور و شیرین در اثر برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی و افت سطح سفره؛

- سازندهای موجود در محل تغذیه آب‌های زیرزمینی؛

- بالابودن میزان تبخیر.

بیابانزایی شاخص افت سفره آب زیرزمینی در ۵۰/۴۳ درصد از سطح منطقه، به دلیل بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی، شدید و خیلی شدید است. ولی در مجموع بیابانزایی این شاخص با میانگین وزنی ۲/۳۲ متوسط و در آستانه ورود به کلاس بالاتر (شدید) است. این امر به افزایش شدت بیابانزایی شاخص فوق در آینده نزدیک در صورت ادامه روند کنونی بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی دلالت دارد.

بیابانزایی معیار آب (با حذف اثر شاخص نسبت جذب سدیم در ۶۹/۶۲ درصد از سطح منطقه به دلیل کم‌اهمیت بودن آن در بیابانزایی منطقه)، با توجه به بیابانزایی شدید شاخص‌های افت سفره و هدایت الکتریکی آب، در بیشترین سطح منطقه، در ۵۸/۲۸ درصد از سطح منطقه شدید و خیلی شدید است و این معیار با بیابانزایی شدید دومین معیار مهم بیابانزایی در منطقه مورد مطالعه است. در این زمینه، در دشت سگری نیز بیابانزایی معیار آب را به دلایل افت شدید سفره و هدایت الکتریکی بالای منابع آب شدید ارزیابی نمودند [۱۲].

بیابانزایی شاخص حساسیت سنگ به دلیل حساسیت بالای سازندهای دوره کواترنر به فرسایش در ۸۲/۳۱ درصد از سطح منطقه شدید و خیلی شدید ارزیابی شد. در مجموع، این شاخص مهم‌ترین شاخص معیار زمین‌شناسی - ژئومورفولوژی است و بیشترین تأثیر را در بیابانزایی این معیار دارد.

تعرق شدید در منطقه دامغان، بیابانزایی شاخص‌های میزان بارش و شاخص خشکی شدید است، و با توجه به وقوع ۳۹/۴۵ و ۳۳/۸۵ درصد بارندگی‌های سالیانه، به ترتیب در فصول بهار و زمستان، بیابانزایی شاخص فصلی‌بودن بارش متوسط ارزیابی شد. همچنین، به دلیل عدم تداوم خشکسالی در دوره آماری مورد مطالعه (۱۳۵۹ - ۱۳۸۹)، بیابانزایی شاخص مربوطه کم ارزیابی شد. در مجموع، با توجه به شرایط نامساعد اقلیمی منطقه مورد مطالعه، انتظار می‌رود که بیابانزایی معیار اقلیم برای منطقه مورد مطالعه شدید باشد، ولی نتایج حاصل از ارزیابی بیانگر بیابانزایی متوسط این معیار است. نتیجه مذکور به این صورت قابل توضیح است که واردکردن شدت کم بیابانزایی شاخص تداوم خشکسالی در میانگین هندسی شاخص‌ها برای ارزیابی بیابانزایی معیار اقلیم موجب می‌شود تا تأثیر شاخص‌هایی با بیابانزایی شدید از بین برود و شدت بیابانزایی این معیار متوسط ارزیابی شود. در اینجا ذکر این نکته ضروری است که تداوم خشکسالی یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های اقلیمی مناطق خشک و نیمه‌خشک است و بیابانزایی کم و ناچیز شاخص مربوطه در یک دوره زمانی مذکور به معنی کم‌اهمیت بودن آن نیست. متأسفانه، اطلاعات لازم برای ارزیابی این شاخص در سال‌های پیش از دوره زمانی مذکور وجود ندارد، ولی احتمالاً تداوم خشکسالی یکی از دلایل اصلی بیابانزایی در گذشته بوده و یکی از مهم‌ترین دلایل آن در آینده خواهد بود [۳].

با توجه به شوربودن آب در ۷۴/۲ درصد از سطح منطقه، که به دلایلی که در پی می‌آید به وقوع می‌پیوندد [۴، ۱۸]، شاخص هدایت الکتریکی آب با بیابانزایی شدید مهم‌ترین شاخص معیار آب است و بیشترین تأثیر را در بیابانزایی این معیار دارد. محقق

زیاد املاح در خاک مواجه‌اند، شدید و خیلی شدید است. در ۲۳/۵۸ درصد از سطح منطقه (شامل اراضی کشاورزی)، که در مجاورت اراضی مذکور قرار دارند، به دلیل فعالیت‌های کشاورزی، شدت بیابان‌زایی این شاخص متوسط ارزیابی شد. همچنین، در ۱۸/۶۳ درصد از منطقه (شامل دشت‌سر فرسایشی)، که در مجاورت واحد کوهستان قرار دارد و مشکل تجمع املاح مختلف و قلیائیت بالا وجود ندارد، بیابان‌زایی شاخص مذکور کم و ناچیز ارزیابی شد. در مجموع، میانگین وزنی بیابان‌زایی این شاخص، با توجه به بیابان‌زایی شدید آن در بیش از نیمی از سطح منطقه، شدید است.

بیابان‌زایی معیار خاک (با حذف اثر شاخص‌های عمق خاک و درصد سنگ و سنگریزه عمقی در واحدهای کاری که بیابان‌زایی این شاخص‌ها کم است) در ۶۴/۱۴ درصد از منطقه شدید و در ۳۴ درصد از منطقه متوسط ارزیابی شد. در مجموع، شدت بیابان‌زایی منطقه با تکیه بر این معیار متوسط، ولی در آستانه تغییر کلاس بیابان‌زایی است. بنابراین، در صورت ادامه استفاده از آب‌هایی با کیفیت نامناسب جهت آبیاری، استفاده از سیستم‌های نامناسب آبیاری، رهاکردن اراضی کشاورزی، و آیش‌های غیراصولی در آینده نزدیک شاهد تشدید تخریب خاک و بیابان‌زایی شدید این معیار خواهیم بود.

درصد پوشش غیرزنده (سنگ و سنگریزه سطح خاک)، به عنوان یک عامل حفاظتی در برابر فرسایش بادی، در ۸۱/۷۲ درصد از سطح منطقه کمتر از ۲۰ درصد است. بنابراین، بیابان‌زایی شاخص درصد پوشش غیرزنده در سطح مذکور خیلی شدید است. همچنین، بیابان‌زایی شاخص مذکور در ۱۸/۲۸ درصد از سطح منطقه متوسط ارزیابی شد. در مجموع، این شاخص با بیابان‌زایی خیلی شدید در منطقه دامغان

شدت بیابان‌زایی شاخص بهره‌برداری از واحد کاری در ۵۲ درصد از منطقه متوسط، در ۴۴/۸۴ درصد از آن غالباً به دلیل چرای مفرط دام در مراتع شدید و خیلی شدید، و میانگین وزنی آن در کل منطقه شدید است.

بیابان‌زایی معیار زمین‌شناسی - ژئومورفولوژی (با حذف اثر شاخص شیب در ۹۰/۶ درصد از منطقه) در ۶۶ درصد از سطح محدوده مورد مطالعه متوسط، در ۳۲/۷۱ درصد از سطح منطقه شدید و خیلی شدید، و در مجموع شدت بیابان‌زایی منطقه با تکیه بر معیار زمین‌شناسی - ژئومورفولوژی به دلیل بیابان‌زایی شدید شاخص‌های حساسیت سنگ و بهره‌برداری از واحد کاری شدید است و این معیار بیشترین تأثیر را در بیابان‌زایی منطقه دارد.

بیابان‌زایی شاخص هدایت الکتریکی خاک (به عنوان مهم‌ترین شاخص معیار خاک)، با توجه به شوری خاک در ۵۵/۹۳ درصد از سطح منطقه، خیلی شدید است، که به دلایل زیر به وقوع می‌پیوندد [۴، ۱۸]:

- آبیاری با آب‌های شور؛

- رهاکردن اراضی کشاورزی و آیش‌های غیراصولی و طولانی‌مدت؛

- شیوه نامناسب آبیاری (ستتی غالباً غرقابی)؛

- میزان تبخیر چندین برابر میزان بارندگی است، که به افزایش استعداد شورشیدن خاک منجر می‌شود. در ارتباط با شاخص مذکور، نتایج تحقیق دیگری نیز شاخص هدایت الکتریکی خاک را مؤثرترین شاخص بیابان‌زایی معیار خاک و دومین شاخص مهم بیابان‌زایی منطقه ابوزیدآباد معرفی کرد [۱]. همچنین، نتایج بررسی‌های مشابه در منطقه زابل نشان داد که این شاخص تأثیر زیادی در بیابان‌زایی این منطقه دارد [۱۱].

بیابان‌زایی شاخص نسبت جذب سدیم خاک در ۵۵/۹۱ درصد از سطح منطقه (شامل اراضی کشاورزی رهاشده و اراضی حاشیه کویر)، که با مشکل تجمع

- با احداث بندهای خاکی، حوضچه‌های ذخیره مصنوعی آب در بالادست، جمع‌آوری آب باران از سطح جاده‌های منطقه در فصل بارندگی در مناطقی با نفوذپذیری خوب و تزریق آن‌ها به سفره‌های زیرزمینی، یک‌پارچه‌سازی اراضی، استفاده از روش‌های آبیاری مدرن، آبیاری قطره‌ای در باغات و آبیاری بارانی در اراضی زراعی، و ترویج و تشویق کشاورزان به کشت محصولاتی که ارزش افزوده آن‌ها از سایر محصولات بیشتر و نیاز آبی آن‌ها کمتر است می‌توان مشکلات کمبود آب و استفاده از آب‌های لب شور در آبیاری ناشی از آن را، که به متروکه شدن اراضی کشاورزی و نهایتاً شوری خاک و بیابان‌زایی منجر شده است، برطرف کرد. همچنین، اقدامات مذکور مانع ادامه روند افت شدید سفره‌های آب زیرزمینی و افزایش شوری منابع آبی ناشی از اختلاط آب شور و شیرین می‌شود.

- با کاهش تعداد دام‌های وابسته به مراتع از طریق تبدیل دامداری سنتی به دامداری نیمه‌صنعتی و صنعتی می‌توان مشکل چرای مفرط دام از اراضی مرتعی را، که به بیابان‌زایی شدید شاخص بهره‌برداری از واحد کاری (معیار زمین - ژئومورفولوژی) منجر شده است، حل کرد.

- انجام دادن سایر مطالعات در این زمینه لازم است و تدوین سیستم هشدار بیابان‌زایی در منطقه از دیگر اقدامات سودمند در این زمینه است.

مهم‌ترین شاخص معیار فرسایش بادی است و بیشترین تأثیر را در بیابان‌زایی این معیار دارد.

شدت بیابان‌زایی معیار فرسایش بادی در ۴۴٫۹ درصد از منطقه، به دلیل وجود اراضی کشاورزی رها شده و تپه‌های ماسه‌ای با حساسیت زیاد نسبت به فرسایش بادی، شدید و در ۵۳٫۸۵ درصد از سطح منطقه متوسط ارزیابی شد. در مجموع، میانگین وزنی شدت بیابان‌زایی منطقه با تکیه بر معیار مذکور متوسط است.

در نهایت، نقشه وضعیت فعلی بیابان‌زایی منطقه نشان داد که بیابان‌زایی در ۳۳٫۹۴ درصد از سطح منطقه شدید و در ۶۶٫۰۶ درصد از سطح منطقه متوسط است. همچنین، بر طبق نتایج، در حدود ۱۳ درصد از سطح منطقه، که در کلاس متوسط بیابان‌زایی قرار دارد، در آستانه ورود به کلاس بالاتر بیابان‌زایی است و در صورت ادامه روند کنونی بیابان‌زایی در آینده نزدیک با تشدید تخریب و بیابان‌زایی شدید مواجه خواهد شد. در این زمینه، تحقیقات مشابه بیابان‌زایی دشت سگزی و کویر میقان اراک را، که شرایط اقلیمی نزدیکی به منطقه مورد مطالعه دارند، شدید ارزیابی نمودند [۱۲، ۱۵].

بنابراین، با توجه به مهم‌ترین معیارها، شاخص‌ها، و عوامل بیابان‌زایی قابل کنترل، راهکارهای زیر برای مبارزه با بیابان‌زایی و کاهش این روند پیشنهاد می‌شود:

References

- [1] Abdi, zh. (2007). Determination and mapping of desertification based on water and soil in Abuzeyd Abad region, Ms.c thesis of Tehran University, 118pp.
- [2] Ahmadi, H. (2006). Calibration of Desertification Assessment Indices and Criteria in Iran (Dasht-e-Segzi of Isfahan), Iran Forests, Range & Watershed Management Organization.
- [3] Azarnivand, h. (1990). Study of vegetation cover and soil in relation to geomorphologic units of Damghan, M.S.c thesis of Tarbiat Modarres University, 162pp.
- [4] Baradaran Nasiri, M. (1993). Determination of the sources of Damghan playa salt deposits, Ms.c thesis of Tehran University, 175pp.
- [5] DESERTLINK (2004). *Desertification Indicators System for Mediterranean Europe*, 336pp.
- [6] Dregne, H.E. (1999). *Desertification assessment and control .In: The United Nations University (Ed.). New Technologies to Combat Desertification, Proceedings of the International Symposium held in Tehran, Iran, 12-15 October 1998*, 121pp.
- [7] Farajzadeh, M. and Nik Eghbal, M. (2007). Evaluation of MEDALUS Model for Desertification Hazard Zonation Using GIS in Izad Khast Plain, Iran, *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 10(16):2622-2630.
- [8] Hastenrath, S. (1991). *Climate dynamics of the tropics*, 512p.
- [9] Iran Meteorological Organization (2011). Scientific journal of Meteorological Organization of Semnan province, *Journal of Arid Environments*, 66, 751-763.
- [10] Katyal, R.K., Zhang, Y., Jones, R.H. and Dyer, P.D. (1997). Atmospheric mold spore counts in relation to meteorological parameters, *Journal of Biometeorology*, 41, 17-22.
- [11] Mohammadghasemi, S. (2006). Assessment and mapping of desertification intensity based on water and soil in Zabol, Ms.c thesis of Tehran University, 134pp.
- [12] Nateghi, S., Zehtabiyani, GH.R. and Ahmadi, H. (2009). Determination of desertification intensity using IMDPA model in Segzi plain, *Iranian journal of Natural Resources*, 62(3): 419-430
- [13] Natural Resources office of Semnan province (2005). *The plan of combating desertification in Amir Abad of Damghan*, 265pp.
- [14] Nikoo, Sh. (2006). Study of effective environmental factors on distribution of vegetation cover in Damghan region, Ms.c thesis of Tehran University, 105pp.
- [15] Razavi, S.M. (2009). Determination of desertification intensity using IMDPA model with emphasis on water, soil, vegetation cover and climate criterias in Kavir-e-Mighan of Arak, Ms.c thesis of Tehran University, 100pp.
- [16] Reynolds, J.F. and Stafford Smith, D.M. (2002). *Global Desertification: Do Humans Cause Deserts?*, Dahlem University Press, Berlin, 88, 437.
- [17] Shokouhi, E.S. (2011). Study of desertification status using IMDPA model with emphasis on water and soil criterias in Khezr Abad-Elah Abad of Yazd, Ms.c thesis of Tehran University, 120pp.
- [18] Torabi, S.R. (2003). Water and soil salinization factor in Baram region of Damghan, Ms.c thesis of Tehran University, 146pp.
- [19] UN (United Nations) (1994). UN Earth Summit, Convention on Desertification, *UN Conference*

- in Environment and Development, Rio de Janeiro, Brazil, June 3-14, 1992. DPI/SD/1576. United Nations, New York.*
- [20] Veron, S.R., Paruelo, J.M. and Oesterheld, M. (2006). Assessing desertification, *Journal of Arid Environment*, 66, 751-763.
- [21] Walsh, P.D. and Lawler, DM. (1981). Rainfall seasonality: description, spatial patterns and change through time, *Weather journal*, 36, 201-208.
- [22] Zerey, E.W. (2010). Critical Reading of Desertification Indicators, EDN/CSFD contribution to a European proposal of a minimum set of indicators for the UNCCD 10 year Strategy.