

پیش‌بینی آینده بیابان‌زایی استان تهران متأثر از تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی

ملیکا صیادی، حسن خسروی*، سلمان زارع، خالد احمدآلی و سمانه باقری^۱

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۵/۲۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۱۲)

چکیده

بیابان‌زایی پدیده‌ای است که در مناطق خشک، نیمه‌خشک و خشک نیمه‌مرطوب اثرات تخریبی بیشتری نسبت به سایر مناطق دارد. هدف از انجام این پژوهش تهیه نقشه شدت بیابان‌زایی استان تهران، برای آینده‌نگری در مواجهه با تخریب سرزمین و بیابان‌زایی است. بدین منظور برای ارزیابی تخریب سرزمین و بیابان‌زایی از مدل IMDPA استفاده شد. بنابراین برای ارزیابی بیابان‌زایی سه معیار آب زیرزمینی، معیار اقلیم و معیار کاربری اراضی، با توجه به شرایط منطقه به‌عنوان معیارهای کلیدی بیابان‌زایی در نظر گرفته شد. نقشه شاخص کاربری اراضی با استاندارد IGBP و نقشه پهنه‌بندی سایر شاخص‌ها به روش IDW برای سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ تهیه شد. با استفاده از مدل CA - Markov در نرم‌افزار TerrSet نقشه کاربری اراضی و با استفاده از نرم‌افزار MATLAB و روش RBF در جعبه ابزار شبکه‌های عصبی مصنوعی نقشه سایر شاخص‌ها برای سال ۱۴۰۰ پیش‌بینی شدند. سپس با استفاده از مدل IMDPA، نقشه امتیاز شاخص‌ها و معیارها برای سال‌های ۱۳۹۰، ۱۳۹۵ و ۱۴۰۰ تهیه شد. در نهایت با میانگین‌گیری هندسی برای هر سه معیار، شدت بیابان‌زایی در هر دوره زمانی محاسبه شد. نتایج نشان داد که در سال ۱۳۹۰، ۵۹/۷۸ درصد از مساحت استان تهران در کلاس کم و ۴۰/۲۲ درصد در کلاس متوسط بیابان‌زایی قرار گرفته است. اما در سال ۱۳۹۵ مساحت کلاس متوسط بیابان‌زایی به ۴۴/۸ درصد افزایش یافته و پیش‌بینی می‌شود که این افزایش تا سال ۱۴۰۰ نیز ادامه یابد و ۴۷/۶۵ درصد از مساحت استان در کلاس متوسط بیابان‌زایی قرار خواهد گرفت. همچنین در این سال حدود یک درصد از مساحت استان در نواحی غربی به کلاس شدید بیابان‌زایی اختصاص پیدا خواهد کرد که در دو دوره قبل وجود نداشته است. به‌طور کلی شدت بیابان‌زایی در نواحی غربی و جنوبی استان تهران بیشتر از نواحی شرقی و شمالی است که به فعالیت‌های انسانی مربوط می‌شود.

واژه‌های کلیدی: دل IMDPA، مدل CA - Markov، شبکه عصبی RBF، استاندارد IGBP، کاربری اراضی.

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

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: hakhosravi@ut.ac.ir

مقدمه

کاهش توان بیولوژیک در اکوسیستم مناطق فراخشک، خشک، نیمه خشک و خشک نیمه مرطوب بر اثر تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی را بیابان‌زایی گویند (۱۶، ۲۸ و ۲۶). این پدیده برای اکوسیستم‌های طبیعی یک تهدید جدی به‌شمار می‌آید. از این‌رو درک ویژگی‌های زمانی و مکانی فرایند بیابان‌زایی از طریق ارزیابی و پایش شاخص‌های مهم کاری بسیار دشوار است (۲). برای جلوگیری از پیشروی پدیده بیابان‌زایی، شناخت عوامل، شاخص‌ها و معیارهای آن ضروری است (۱۹). تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی، از عواملی هستند که در تکامل روند بیابانی شدن تأثیر گذارند (۹ و ۱۱). در دهه‌های اخیر، تغییرات اقلیمی و خشکسالی‌های طولانی‌مدت همراه با افزایش شدید بهره برداری‌های انسان باعث تخریب شدید محیط بوم‌شناختی شده است (۲۳ و ۲۴). اقلیمی یکی از مشکلات عمده محیط زیست است. این فرایند باعث گسترش خشکسالی‌ها و تداوم آن، عدم یکنواختی توزیع بارش، افزایش درجه حرارت، افزایش تبخیر و تعرق، کاهش نزولات جوی، شور شدن خاک و افزایش بیابان‌زایی می‌شود (۶). فعالیت‌های انسانی از جمله چرای مفرط، فعالیت‌های معدن‌کاوی، برداشت گیاهان دارویی و منابع پایه محیطی، تغییر کاربری اراضی و توسعه زمین باعث تشدید بیابان‌زایی و طوفان‌های گردوغبار می‌شود (۲۸).

از آنجایی که پدیده بیابان‌زایی نوعی تخریب طبیعی و انسانی محسوب می‌شود (۲۲)؛ بنابراین در کشورهایی از جمله ایران که در مناطق خشک و نیمه‌خشک واقع شده‌اند به‌دلیل کمبود منابع آب تأثیر مخرب بیشتری خواهد داشت. از این‌رو ارزیابی وضعیت بیابان‌زایی بر اساس تعیین معیارها و شاخص‌های مناسب امری ضروری است. با مشخص شدن معیارها و شاخص‌های مربوط به هر منطقه و پایش آنها در طی دوره‌های زمانی، امکان تجزیه و تحلیل داده‌های سری زمانی برای پی بردن به عوامل اصلی بیابان‌زایی و اثرات ناشی از آن، همچنین توسعه و ابداع سیستم‌های پیش‌بینی آینده

بیابان‌زایی امکان‌پذیر است. پدیده بیابان‌زایی خسارات زیادی را به دنبال دارد و مطالعات متعددی در این زمینه انجام گرفته است.

تجزیه و تحلیل آینده تغییرات آب و هوایی، با استفاده از داده‌های AVHRR GIMMS NDVI3g در آسیا نشان داد از سال ۲۰۰۶ تا ۲۱۰۰، تحت سه سناریو آب و هوایی (RCP 26، RCP 45 و RCP 85)، میانگین درجه حرارت از ۱۴/۴ به ۱۷/۳ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد. با توجه به سناریوی RCP 85، شتاب کلی در روند بیابان‌زایی مربوط به نواحی مرکزی و شمالی آسیای میانه و شمال غربی چین است. در حالی که RCP 85 روند بیابان‌زایی را شدیدتر از RCP 26 نشان می‌دهد (۱۷). در واحه شرقی مصر، بر اساس روش مدالوس اصلاح شده، سنجش از دور و GIS حساسیت خاک نسبت به پدیده بیابان‌زایی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که کل منطقه مورد مطالعه در معرض بیابان‌زایی است که بیشتر ناشی از عوامل طبیعی و انسانی است (۵). هانگ و همکاران (۱۵) با استفاده از شاخص آسیب‌پذیری بیابان‌زایی جهانی (GDVI) با ترکیب تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی، بیابان‌زایی را به چهار کلاس بسیار زیاد، زیاد، متوسط و پایین طبقه بندی کرده‌اند. نتایج نشان داد که مناطق واقع در اطراف بیابان‌ها و زمین‌های بی‌ثمر بیشتر در معرض بیابان‌زایی هستند. ژانگ و همکاران (۲۹) طی بررسی عوامل مؤثر بر بیابان‌زایی نشان دادند که تغییرات اقلیمی عامل اصلی بیابان‌زایی در مناطق شمال شرقی و شمال غربی چین در بازه زمانی ۱۹۹۰-۱۹۷۵ بوده است. در حالی که در نزدیکی بیابان Mu Us بیابان‌زایی در درجه اول تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی بوده است در شمال چین مطالعه‌ای در مورد سهم نسبی تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی در گسترش بیابان‌زایی از سال ۱۹۸۱ تا ۲۰۱۰ انجام شد. نتایج نشان داد که بیابان‌زایی طی ۳۰ سال اخیر به‌طور چشمگیری تغییر کرده است. همچنین نقش تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی در وقوع این پدیده به ترتیب ۲۲/۶ و ۲۶ درصد است (۲۶).

خط‌الراس چین‌خوردگی البرز مرکزی و حاشیه غربی دشت کویر واقع شده است. متوسط بارش سالانه این استان معادل ۳۲۳/۸ میلی‌متر است و دارای رژیم بارندگی مدیترانه‌ای است. حداکثر دمای ثبت شده در تهران ۳۹/۴ درجه و حداقل آن ۷/۴- درجه سانتی‌گراد و میانگین ماهانه حداکثر ۲۹ و حداقل ۱/۰ درجه است. اقلیم استان تهران در مناطق کوهستانی دارای آب و هوای معتدل و در دشت، نیمه‌بیابانی است (۱۴).

داده‌های جمع‌آوری شده

داده‌های هواشناسی: داده‌های بارندگی ایستگاه‌های موجود در محدوده مورد مطالعه از سازمان هواشناسی ایران تهیه شد. شکل ۱ موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی محدوده مورد مطالعه و پیرامون آن را نشان می‌دهد.

داده‌های کمی و کیفی آب زیرزمینی: برای ارزیابی تغییرات کمی و کیفی آب زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه از آمار چاه‌های پیژومتری و مشاهداتی وابسته به وزارت نیرو استفاده شد. با بررسی این داده‌ها، ۸۰ چاه پیژومتری برای ارزیابی کمی و ۷۳ چاه مشاهداتی برای ارزیابی کیفی آب زیرزمینی در بازه زمانی ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۶ انتخاب شد. شکل ۲ موقعیت چاه‌های پیژومتری و مشاهداتی مورد استفاده را نشان می‌دهند.

داده‌های MCD12Q1: در این پژوهش از محصول MCD12Q1 با قدرت تفکیک زمانی سالانه و قدرت تفکیک مکانی ۵۰۰ متر به‌عنوان محصول شبکه‌ای Level-3 در سیستم تصویر سینوسی استفاده شد. محصول MCD12Q1 که شامل ۱۳ لایه است برای ارزیابی پوشش سطح زمین (Land Cover) استفاده شد. در این محصول پوشش سطح زمین بر اساس استانداردهای LAI/FPAR، PFT، IGBP و UMD طبقه‌بندی شده است. در این پژوهش از استاندارد IGBP برای ارزیابی پوشش سطح زمین و کاربری استفاده شد.

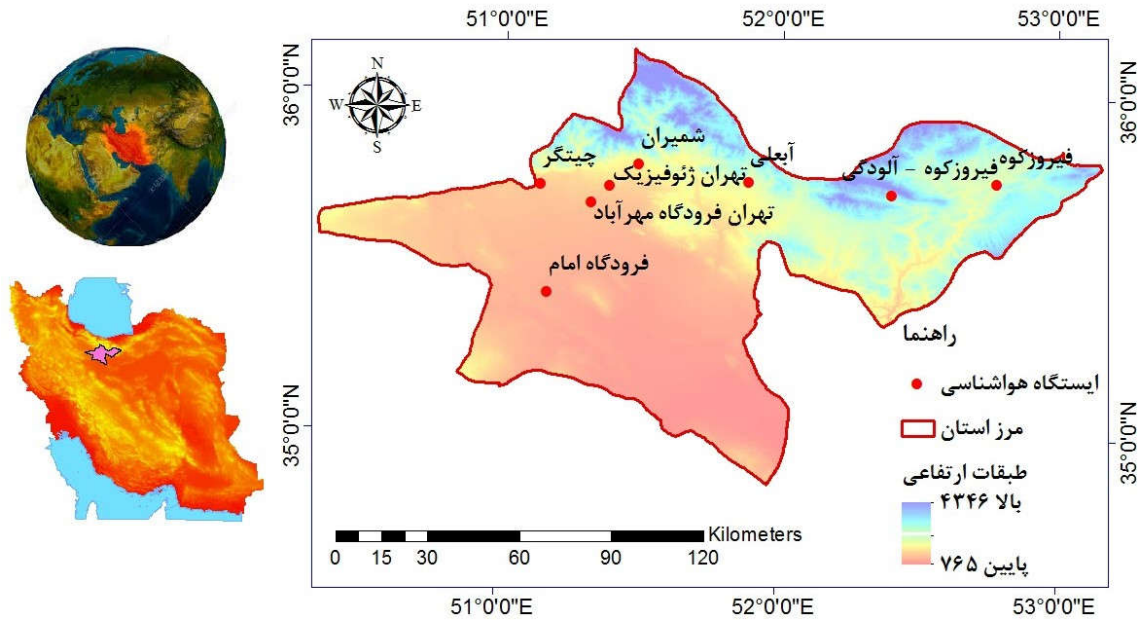
نتایج مطالعه گو و همکاران (۱۱) در فلات Ordos واقع در شمال چین نشان داد که فعالیت‌های انسانی عامل اصلی بیابان‌زایی در این منطقه بوده است. حبشی و همکاران (۱۲) طی مطالعه پایش و پیش‌بینی تغییرات کاربری و پوشش اراضی و ارتباط آن با خشکسالی در حوزه آبخیز زاینده‌رود نشان دادند که در صورت وقوع خشکسالی و رها شدن اراضی کشاورزی دیم، فرسایش خاک افزایش می‌یابد و همچنین فشار چرا، بر مراتع باقی‌مانده سبب تخریب اراضی مرتعی خواهد شد.

ارزیابی تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد که در مطالعات، کمتر به بررسی آینده بیابان‌زایی و تخریب سرزمین پرداخته شده است. درحالی‌که پیش‌بینی وضعیت بیابان‌زایی در آینده و تعیین نقش هر یک از عوامل مؤثر بر آن کمک فراوانی به مدیریت و کنترل این پدیده مخرب می‌کند. از آنجایی‌که تراکم جمعیت در استان تهران بالا است، کنترل بیابان‌زایی در آینده می‌تواند در توسعه پایدار منطقه نقش بسزایی داشته باشد. بنابراین در این پژوهش سعی شده است نقشه آینده تخریب سرزمین و بیابان‌زایی استان تهران متأثر از فعالیت‌های انسانی و نوسانات اقلیمی تهیه شود.

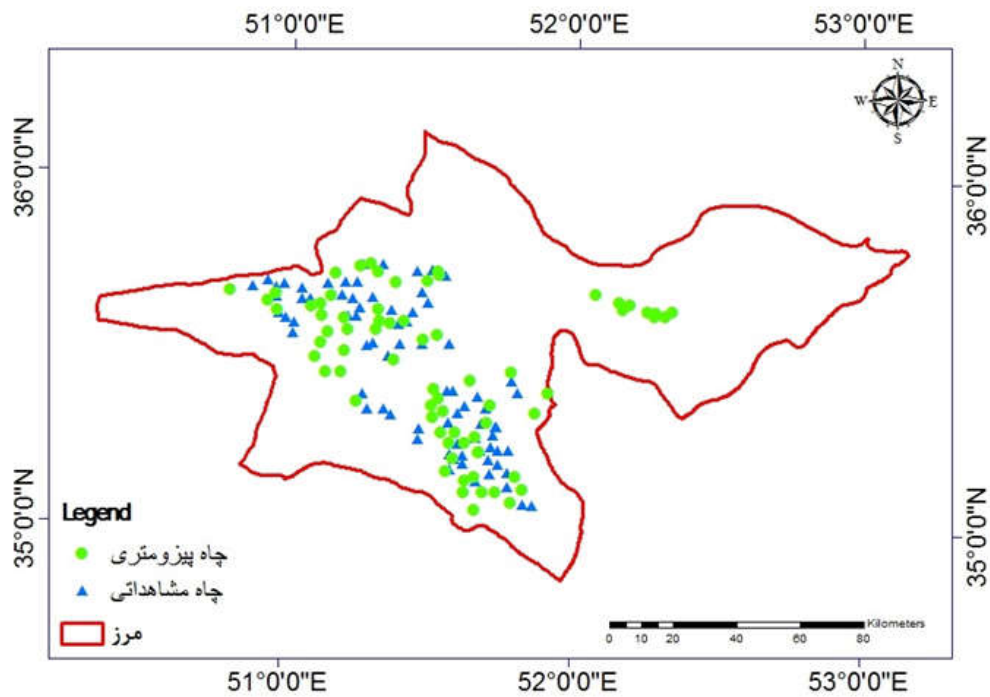
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان تهران با وسعتی معادل ۱۳۶۹۰ کیلومتر مربع و ارتفاع متوسط ۹۰۰-۱۸۰۰ متر از سطح دریا در دامنه‌های جنوبی بخش مرکزی سلسله جبال البرز واقع شده است و از نظر جغرافیایی در ۵۱ درجه و ۸ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۳۷ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۵۰ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است. این استان از شمال به استان مازندران، از جنوب شرقی به استان قم، از جنوب غربی به استان مرکزی، از غرب به استان قزوین و از شرق به استان سمنان محدود شده است (شکل ۱). استان تهران بین



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی و ایستگاه‌های هواشناسی محدوده مورد مطالعه



شکل ۲. موقعیت چاه‌های پیزومتری و مشاهداتی

روش تحقیق

همان‌طور که گفته شد، هدف از این پژوهش ارزیابی شدت بیابان‌زایی بر اساس مدل IMDPA برای سال‌های ۱۳۹۰، ۱۳۹۵ و ۱۴۰۰ است. شکل ۳ شمای کلی از روش تحقیق را نشان می‌دهد که شامل داده‌های هواشناسی، داده‌های آب زیرزمینی و داده‌های کاربری است.

در این پژوهش برای ارزیابی تخریب سرزمین و بیابان‌زایی از مدل IMDPA استفاده شد. برای استفاده از این مدل و ارزیابی بیابان‌زایی در سه دوره زمانی ۱۳۹۰، ۱۳۹۵ و ۱۴۰۰ سه معیار آب زیرزمینی، اقلیم و کاربری اراضی با توجه به شرایط منطقه به‌عنوان معیارهای کلیدی بیابان‌زایی در نظر گرفته شد.

(الف) معیار اقلیم: معیار اقلیم از سه شاخص بارش، خشکی و استمرار خشکسالی تشکیل شده است.

شاخص بارش ابتدا با استفاده از روش وزن‌دهی معکوس فاصله (IDW) در نرم‌افزار ArcGIS، نقشه بارش برای سال‌های ۱۳۹۰، ۱۳۹۵ و ۱۴۰۰ تهیه شد. سپس طبق جدول ۱ برای هر دوره امتیازدهی بین یک تا چهار صورت گرفت.

از شاخص ترانسو برای ارزیابی شاخص خشکی استفاده شد. ابتدا شاخص ترانسو برای سال‌های ۱۳۹۰، ۱۳۹۵ و ۱۴۰۰ محاسبه شد. در مرحله بعد با توجه به عرض جغرافیایی ایستگاه‌ها، ETPC اصلاح شده تعیین شد. این شاخص با استفاده از داده‌های میانگین دما، بارش و مختصات جغرافیایی شاخص ترانسو محاسبه شد و سپس در محیط نرم‌افزار ArcGIS با استفاده از روش IDW برای کل استان تهران پهنه‌بندی شد. سپس طبق جدول ۱ برای هر سه دوره، مقادیر شاخص خشکی بین یک تا چهار امتیازدهی شد.

برای ارزیابی شاخص خشکسالی از شاخص SPI استفاده شد (۲۰). با استفاده از این شاخص می‌توان برای هر مکان به شرط داشتن داده‌های بارندگی، دوره خشکسالی و ترسالی را در یک مقیاس زمانی خاص محاسبه کرد (۱۸). پس از محاسبه شاخص SPI برای هر ایستگاه هواشناسی، طبق جدول ۱ امتیازدهی شاخص استمرار خشکسالی برای هر سه دوره انجام شد. سپس

میانگین هندسی ارزش لایه‌ها طبق معادله (۱) برای هر ایستگاه و کل منطقه محاسبه شد.

(۱)

شاخص خشکسالی \times استمرار خشکسالی = معیار اقلیم \times (بارش سالانه)^{3/2}

(ب) معیار آب زیرزمینی: برای بررسی معیار آب از سه شاخص افت، EC و SAR استفاده شد. داده‌های این شاخص با استفاده از چاه‌های پیزومتری و مشاهداتی به‌دست آمد. جدول ۲ نحوه امتیازدهی به این شاخص‌ها را نشان می‌دهد و در نهایت نقشه معیار کیفیت آب طبق فرمول زیر به‌دست آمد.

(۲)

الکتریکی هدایت \times سدیم جذب نسبت) = آب معیار \times (افت آب زمینی)^{1/3}

(ج) معیار کاربری اراضی: با استفاده از کاربری اراضی سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ کاربری اراضی سال ۱۴۰۰ پیش‌بینی شد. طبق مدل IMDPA، امتیاز دهی برای معیار کاربری انجام شد. طوری که از منظر شدت بیابان‌زایی به کاربری مسکونی امتیاز ۱، کشاورزی ۱/۷، مرتع فقیر ۲/۱، اراضی بایر و رها شده ۳/۵ و اراضی شورزار ۳/۷ تعلق گرفت (۲۷).

محاسبه شدت بیابان‌زایی: پس از محاسبه سه معیار اقلیم، آب زیرزمینی و کاربری اراضی که نشان‌دهنده تأثیر آنها در وقوع بیابان‌زایی است، نقشه نهایی وضعیت بیابان‌زایی از میانگین هندسی معیارهای مذکور بر اساس فرمول زیر تهیه شد:

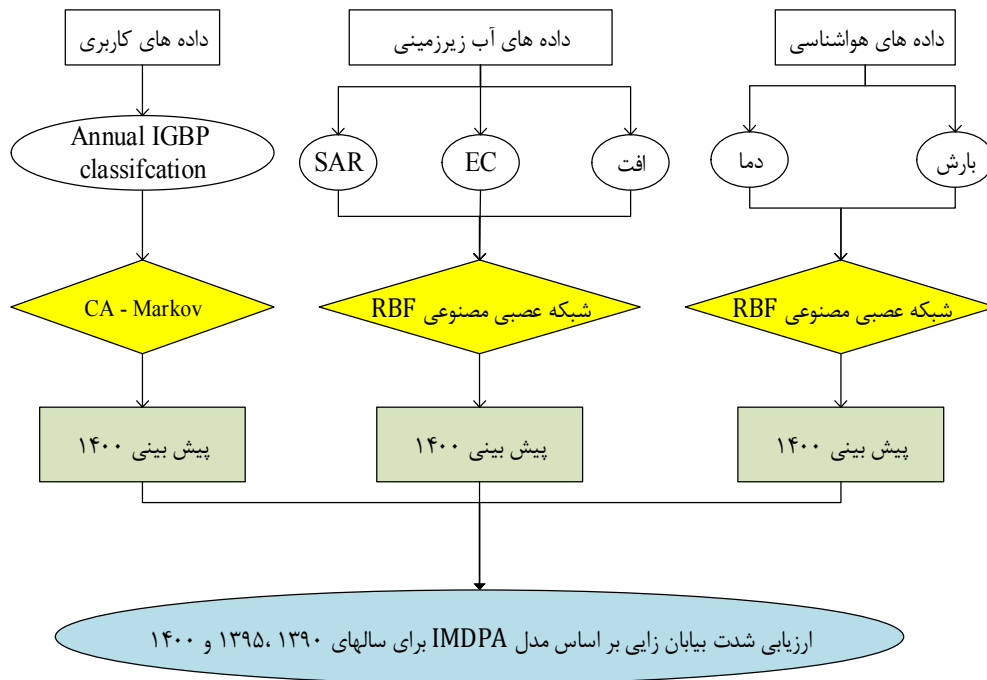
$$D = P (GWI \times LQI \times CQI)^{1/3} \quad (3)$$

که در آن:

GWI: معیار آب، LQI: معیار پوشش گیاهی، CQI: معیار اقلیم

DM: نقشه وضعیت فعلی بیابان‌زایی منطقه

همان‌طور که در جدول زیر ملاحظه می‌شود هر معیار در چهار کلاس کم و ناچیز، متوسط، شدید و بسیار شدید با توجه به وزن اخذ شده، طبقه‌بندی شده است. مرحله نهایی شامل جمع‌بندی کیفیت معیارهای مورد بررسی است؛ که در نتیجه آن



شکل ۳. شمای کلی روش تحقیق

جدول ۱. تعیین امتیاز شاخص های معیار اقلیم در روش IMDPA

کلاس	کم	متوسط	شدید	بسیار شدید	شاخص ارزیابی
امتیاز	۰ - ۱/۵	۱/۵ - ۲/۵	۲/۵ - ۳/۵	۳/۵ - ۴	
بارش سالیانه (میلی متر)	> ۲۸۰	۱۵۰ - ۲۸۰	۷۵ - ۱۵۰	< ۷۵	
شاخص خشکی ترانسو	> ۰/۴۵	۰/۲ - ۰/۴۵	۰/۰۵ - ۰/۲	< ۰/۰۵	
استمرار خشکسالی	۱ تا ۴ سال	۵ تا ۶ سال	۶ تا ۷ سال	بیشتر از ۷ سال	

جدول ۲. شاخص های ارزیابی معیار آب مؤثر بر شدت بیابانزایی در مدل IMDPA

شاخص ها	کم و ناچیز	متوسط	شدید	بسیار شدید	کلاس بیابانزایی
	۰ - ۱/۵	۱/۶ - ۲/۵	۲/۶ - ۳/۵	۳/۶ - ۴	
افت آب زیرزمینی (سانتی متر)	< ۲۰	۲۰ - ۳۰	۳۰ - ۵۰	> ۵۰	
نسبت جذب سدیم (SAR)	< ۱۸	۱۸ - ۲۶	۲۶ - ۳۲	> ۳۲	
هدایت الکتریکی (EC) (میکروموس بر سانتی متر)	< ۷۵۰	۷۵۰ - ۲۲۵۰	۲۲۵۰ - ۵۰۰۰	> ۵۰۰۰	

دما برای سال ۱۴۰۰ نشان می‌دهد که نسبت به دو دوره قبل حداکثر بارش و دما در سال ۱۴۰۰ به‌ترتیب کاهش و افزایش خواهد یافت.

نتایج ارزیابی و پیش‌بینی کمیت و کیفیت آب زیرزمینی: نقشه‌های افت سطح آب زیرزمینی در سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ در شکل ۶ نشان داده شده است. تغییرات مکانی این دو دوره روند خاصی را نشان نمی‌دهد. با توجه به نقشه میزان خطای آموزش شبکه عصبی برای پیش‌بینی افت آب زیرزمینی قسمت‌های شرق و شمالی کمترین میزات خطا و قسمت‌های غربی بیشترین میزان خطا را دارا هستند. نقشه میزان خطای تست شبکه عصبی برای افت آب زیرزمینی نیز الگوی مشابه نقشه میزان خطای آموزش را دارد (شکل ۷). نقشه پیش‌بینی نوسانات سطح سفره برای سال ۱۴۰۰ نشان می‌دهد که بیشترین و کمترین میزان افت به‌ترتیب در قسمت‌های مرکزی و قسمت‌های شرقی استان تهران اتفاق خواهد افتاد.

شکل ۸ نقشه پهنه‌بندی هدایت الکتریکی آب (EC) مربوط به سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ را نشان می‌دهد. نواحی شمالی و شرقی دارای کمترین میزان شوری و نواحی غربی دارای بیشترین میزان شوری هستند. نقشه میزان خطای آموزشی شبکه عصبی برای پیش‌بینی میزان EC آب زیرزمینی نشان می‌دهد که بیشترین میزان خطا در نواحی جنوب شرقی رخ داده است ولی در نقشه میزان خطای تست شبکه عصبی پراکنش ناهمگنی در نواحی دارای خطای زیاد و یا کم وجود دارد (شکل ۹). نقشه پیش‌بینی میزان هدایت الکتریکی در سال ۱۴۰۰ نیز از الگوی مشابه با سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ پیروی می‌کند، به‌طوری که این شاخص در نواحی غربی دارای بیشترین مقدار است (شکل ۸).

با توجه به شکل ۱۰ که شاخص نسبت جذب سدیم را نشان می‌دهد، مناطق شمالی و شرقی استان تهران دارای کمترین و مناطق جنوبی و غربی دارای بیشترین میزان SAR هستند. نقشه‌های میزان خطای آموزش و تست شبکه عصبی برای شاخص SAR نشان می‌دهد که نواحی مختلف از الگوی مکانی خاصی پیروی نمی‌کنند (شکل ۱۱). همچنین با توجه به شکل ۱۰

تیپ‌های مختلف حساسیت مناطق به بیابان‌زایی مشخص می‌شوند. جدول ۳ کلاس‌ها و وزن‌های اخذ شده برای ارزیابی وضعیت معیارها در مدل IMDPA را نشان می‌دهد.

پیش‌بینی داده‌های اقلیمی و آب زیرزمینی تا ۱۴۰۰ با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی RBF: در این مطالعه پیش‌بینی شاخص‌های دما، بارش، EC، SAR و تغییرات سطحی آب زیرزمینی چاه‌های واقع در استان تهران با استفاده از نرم‌افزار MATLAB و روش RBF در جعبه‌ابزار شبکه‌های عصبی مصنوعی صورت گرفت (۲۱). با تعریف ماتریس‌های سری زمانی هر پارامتر به صورت مجزا، با تأخیرهای متناسب با مقادیر حداقل، خطای تست شبکه برای پیش‌بینی تعیین شد. پس از ایجاد بهترین ماتریس و ایجاد شبکه به بررسی میزان خطای ایجاد شده در مرحله آموزش شبکه پرداخته شد و پس از اجرا، از خروجی شبکه ایجاد شده برای پیش‌بینی تا سال ۱۴۰۰ استفاده شد.

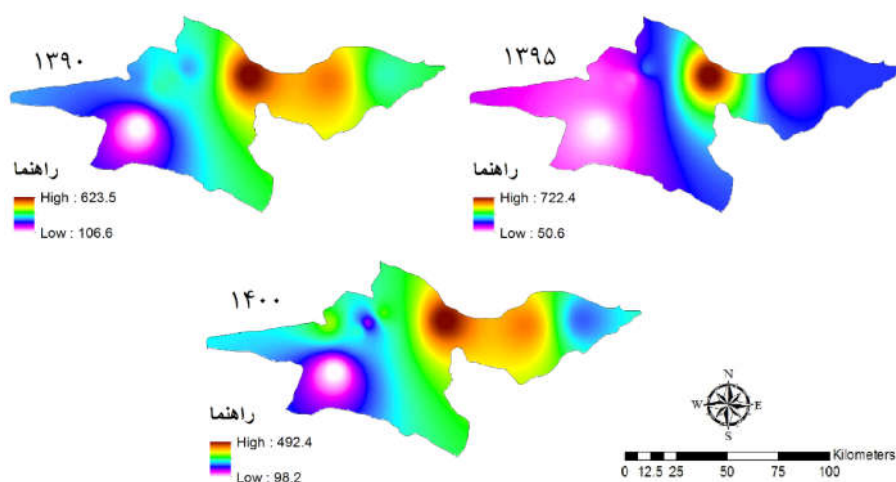
پیش‌بینی پوشش اراضی سال ۱۴۰۰ با استفاده از مدل CA - Markov: مدل CA - Markov یک مدل شبیه‌سازی پویا است که ترکیبی از مدل زنجیره مارکوف و مدل سلول‌های خودکار است. مدل زنجیره مارکوف تغییرات کاربری زمین را از یک دوره به دوره دیگر بیان می‌کند و از آن به عنوان پایه‌ای برای نقشه‌سازی تغییرات آینده استفاده می‌شود (۱۰). تمام مراحل مدل CA - Markov با استفاده از نرم‌افزار TerrSet انجام شد و با استفاده از آن، نقشه پوشش زمین برای سال ۱۴۰۰ پیش‌بینی شد.

بحث و نتایج

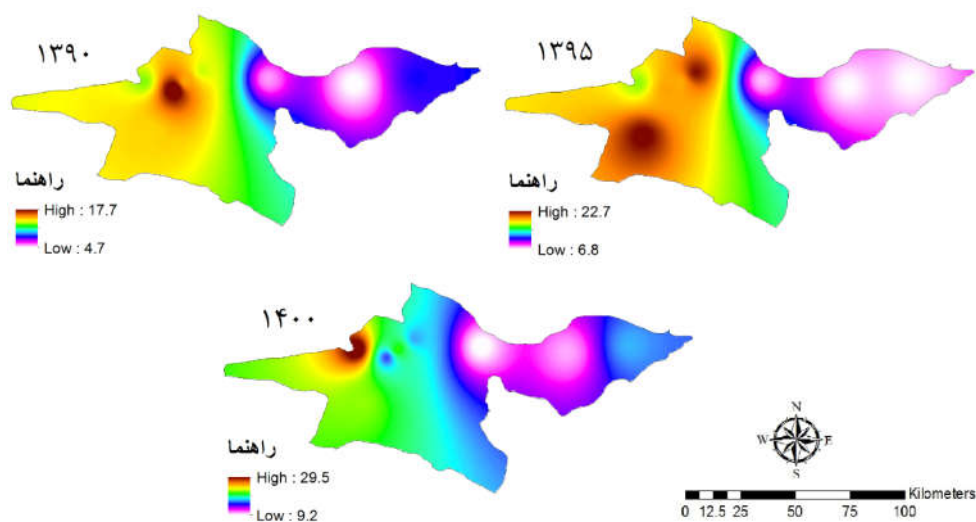
نتایج ارزیابی و پیش‌بینی دما و بارش: شکل‌های ۴ و ۵ نقشه پهنه‌بندی بارش و دمای سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ را نشان می‌دهند. نواحی شمال شرقی بیشترین مجموع بارش سالانه و کمترین میانگین دمای سالانه را به‌خود اختصاص می‌دهد. این درحالی است که نواحی جنوب غربی دارای کمترین مجموع بارش و بیشترین میانگین دما است. نقشه‌های پیش‌بینی بارش و

جدول ۳. کلاس‌ها و وزن‌های اخذ شده برای ارزیابی وضعیت معیارها در مدل IMDPA

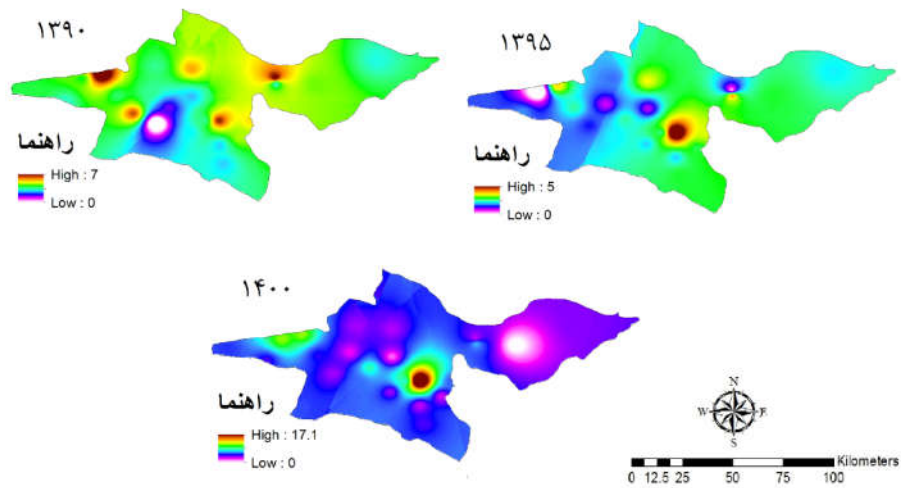
ردیف	دامنه ارزش عددی	وضعیت بالفعل بیابان‌زایی	کلاس بیابان‌زایی
۱	۰ - ۱/۵	کم و ناچیز	I
۲	۱/۵ - ۲/۵	متوسط	II
۳	۲/۵ - ۳/۵	شدید	III
۴	۳/۵ - ۴	بسیار شدید	IV



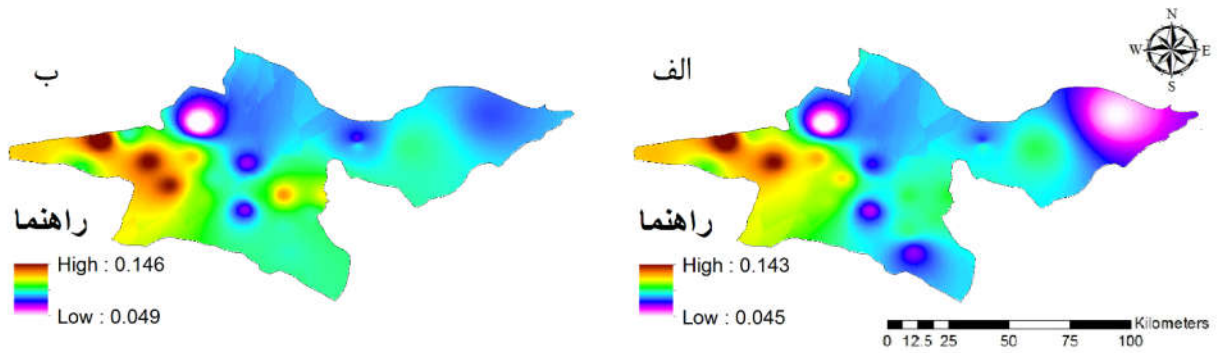
شکل ۴. نقشه شاخص بارش (رنگی در نسخه الکترونیکی)



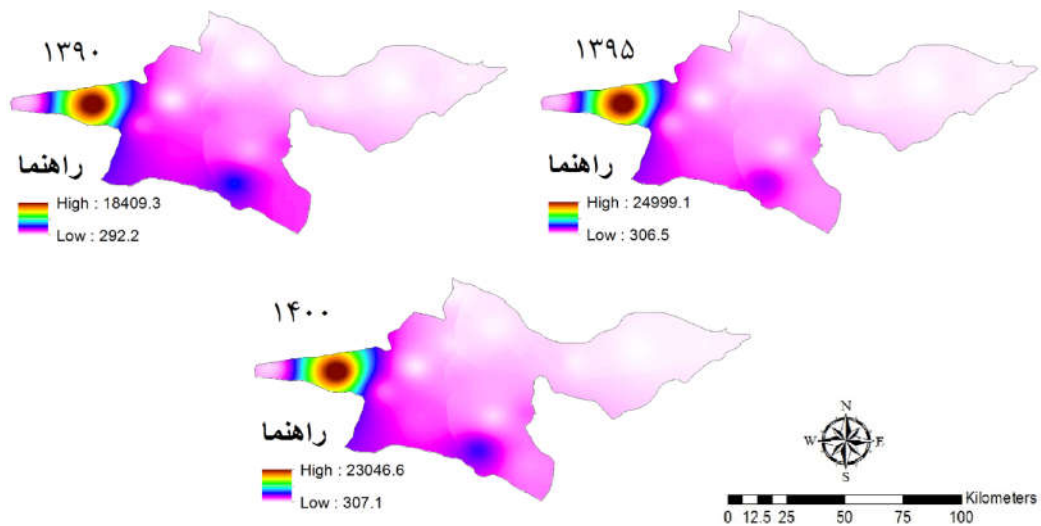
شکل ۵. نقشه شاخص دما (رنگی در نسخه الکترونیکی)



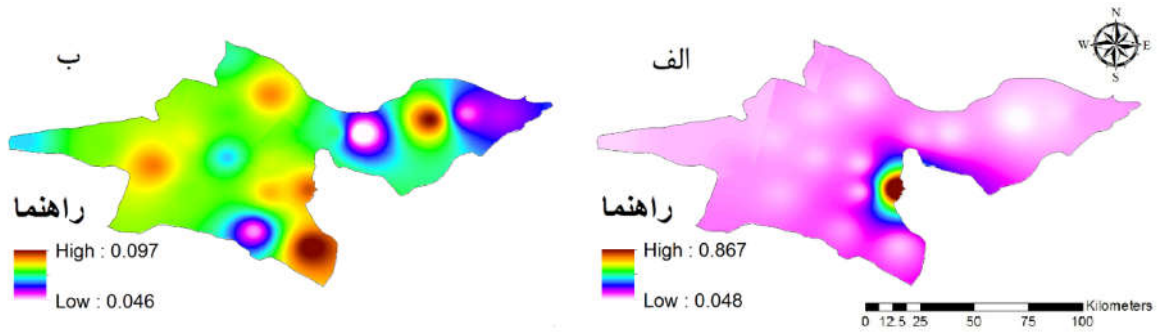
شکل ۶. نقشه شاخص افت آب زیرزمینی (رنگی در نسخه الکترونیکی)



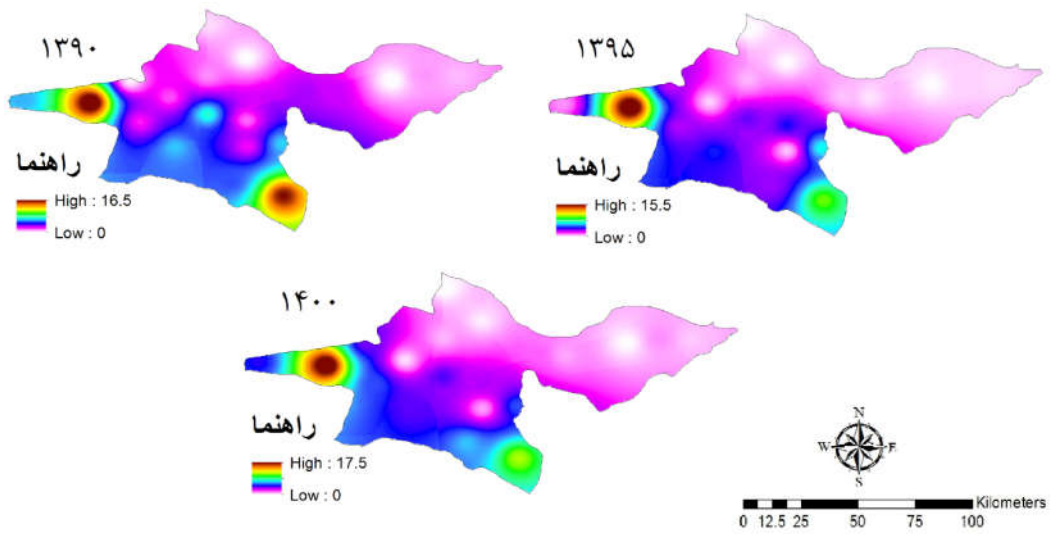
شکل ۷. نقشه: الف) خطای آموزش و ب) خطای تست شبکه عصبی افت آب زیرزمینی (رنگی در نسخه الکترونیکی)



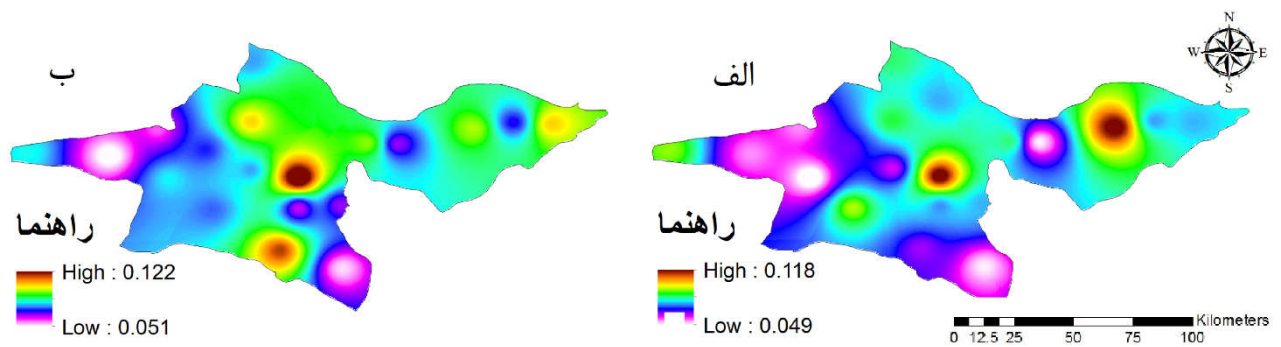
شکل ۸. نقشه EC آب زیرزمینی (رنگی در نسخه الکترونیکی)



شکل ۹. نقشه: الف) خطای آموزش و ب) خطای تست شبکه عصبی EC آب زیرزمینی



شکل ۱۰. نقشه شاخص SAR آب زیرزمینی



شکل ۱۱. نقشه: الف) خطای آموزش و ب) خطای تست شبکه عصبی SAR آب زیرزمینی

(شکل ۱۴) در همه استان در هر سه دوره در کلاس کم قرار گرفته است. ارزیابی مکانی شاخص خشکی در این سه دوره زمانی (شکل ۱۵) نیز نشان می‌دهد که با گذشت زمان شاخص خشکی افزایش یافته است. به طوری که در سال ۱۴۰۰ اکثر مساحت استان تهران در کلاس شدید و بسیار شدید بیابان‌زایی قرار خواهد گرفت.

شکل ۱۶ نقشه معیار اقلیم استان تهران را در سه دوره زمانی ۱۳۹۰، ۱۳۹۵ و ۱۴۰۰ نشان می‌دهند. در هر سه دوره کل استان در دو کلاس کم و متوسط قرار دارد. نکته مهم این است که با گذشت زمان از مساحت کلاس کم کاسته و به مساحت کلاس متوسط افزوده شده است. کلاس متوسط در قسمت‌های غربی استان بیشتر متمرکز شده است و نشان می‌دهد که از نظر اقلیمی این مناطق برای بیابان‌زایی مستعدتر هستند. تغییرات کلاس‌های شاخص بارش و خشکی کاملاً مشهود بوده و همین امر باعث تغییرات مساحت در کلاس‌های معیار اقلیم شده است. به طوری که کلاس متوسط در سال ۱۳۹۰ فقط ۱۰/۶۷ درصد از استان را شامل شده است در حالی که سال ۱۴۰۰، ۵۷/۲۸ درصد از محدوده را فرا خواهد گرفت.

معیار آب زیرزمینی: با توجه به نقشه شدت بیابان‌زایی از منظر کمیت آب زیرزمینی (شکل ۱۷) اکثر نواحی استان در هر سه دوره در کلاس‌های شدید و بسیار شدید قرار گرفته‌اند. همچنین از نظر شاخص EC (شکل ۱۸) مناطق غرب و جنوب غربی استان تهران در کلاس‌های بسیار شدید و شدید و نواحی شرقی و شمالی در کلاس کم بیابان‌زایی قرار گرفته است. شاخص SAR (شکل ۱۹) استان تهران در هر سه دوره در کلاس کم قرار گرفته است.

شکل ۲۰ نقشه شدت بیابان‌زایی معیار آب زیرزمینی را نشان می‌دهد. به طور کلی در سال ۱۳۹۰ سه کلاس کم، متوسط و شدید در استان تهران مشاهده می‌شود که در سال ۱۳۹۵ کلاس شدید حذف شده اما پیش‌بینی می‌شود در سال ۱۴۰۰ کلاس شدید در نواحی غربی وجود داشته باشد. لازم به ذکر است که

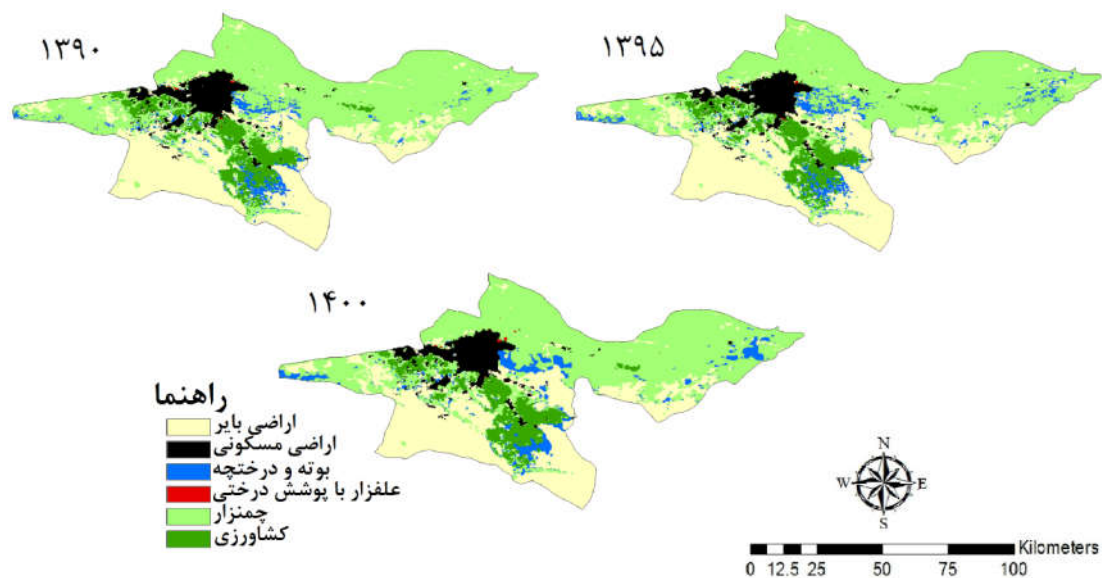
الگوی مکانی میزان SAR آب زیرزمینی در سال ۱۴۰۰ شبیه به الگوی مکانی این پارامتر در سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ خواهد بود. برای پیش‌بینی دما، بارش، افت آب زیرزمینی، EC و SAR از شبکه عصبی RBF استفاده شد. نتایج این بخش نشان داد که این روش از توانایی پیش‌بینی مناسبی برخوردار است. در تحقیقات متعددی مانند (۳، ۴ و ۷) از این روش برای پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی یا آب زیرزمینی استفاده شده است.

نتایج ارزیابی و پیش‌بینی کاربری اراضی: شکل ۱۲ نقشه‌های کاربری اراضی سال ۱۳۹۰، ۱۳۹۵ و ۱۴۰۰ را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل‌ها قسمت‌های شمالی استان تهران عموماً مراتع (چمنزار) و قسمت‌های جنوبی بخش‌های بایر را تشکیل می‌دهند و عموم بخش کشاورزی در بخش جنوبی شهر تهران قرار گرفته است. درصد احتمالی تبدیل کاربری‌ها به یکدیگر را بین دو دوره ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ در جدول ۴ نشان داده شده است. نقشه‌های تغییرات کاربری اراضی (شکل ۱۲) نشان می‌دهد که درصد مساحت اراضی کشاورزی و مرتعی در طی این سه دوره در حال کاهش است این در حالی است که اراضی بایر و مسکونی در حال افزایش است.

برای پیش‌بینی کاربری اراضی از CA - Markov در نرم‌افزار TerrSet استفاده شد. این پیش‌بینی نشان داد که درصد مساحت اراضی کشاورزی، چمنزارها (مراتع) در طی این سه دوره در حال کاهش است این در حالی است که اراضی بایر و مسکونی در حال افزایش است که با نتایج (۱ و ۲۵) مطابقت دارد.

نتایج ارزیابی شدت بیابان‌زایی

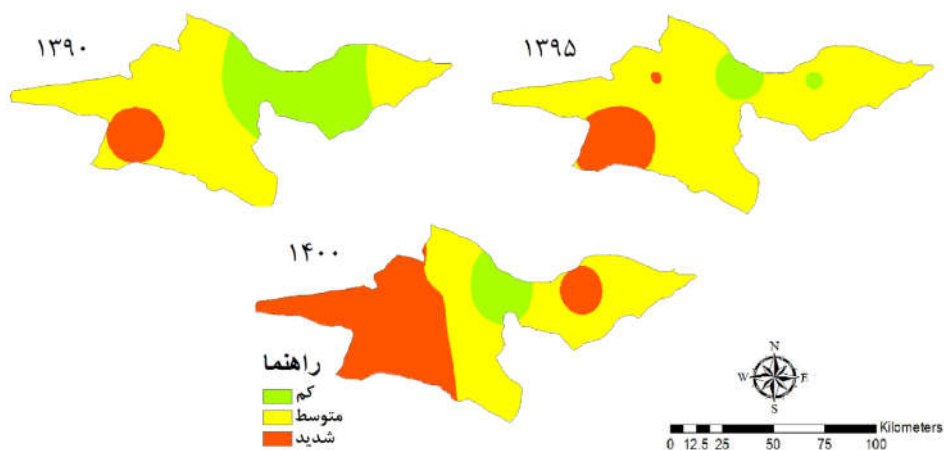
معیار اقلیم: شکل ۱۳ نقشه کلاس بندی شاخص بارش برای سه دوره زمانی ۱۳۹۰، ۱۳۹۵ و ۱۴۰۰ را نشان می‌دهد. با توجه به این نقشه‌ها اکثر مساحت استان تهران در هر سه دوره زمانی در کلاس متوسط قرار دارد. این در حالی است که با گذشت زمان مساحت کلاس شدید در حال افزایش است به طوری که در سال ۱۴۰۰ اکثر نواحی غربی استان از نظر مقدار بارش در کلاس شدید قرار خواهد گرفت. شاخص استمرار خشکسالی



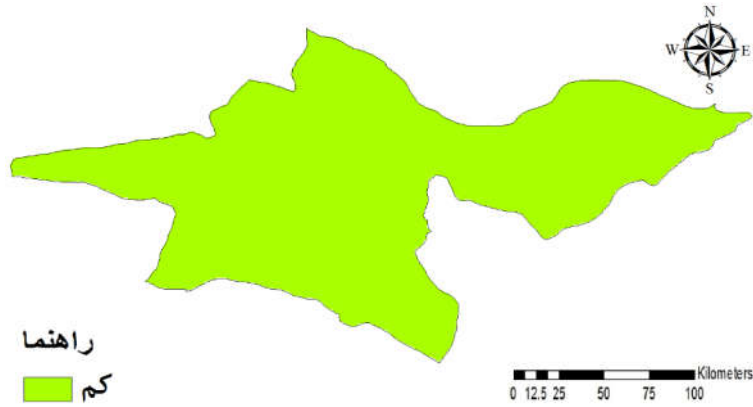
شکل ۱۲. نقشه کاربری اراضی (رنگی در نسخه الکترونیکی)

جدول ۴. درصد احتمال تبدیل کاربری‌ها به یکدیگر

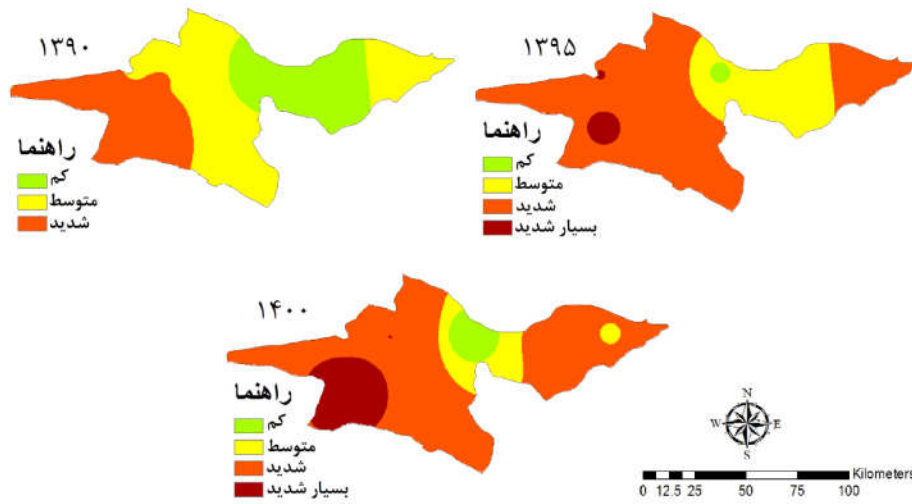
بوته و درختچه						علفزار با پوشش درختی						مرتع (چمنزار)						کشاورزی						اراضی مسکونی						اراضی بایر					
۶/۷	۰	۵/۵	۳/۴	۰	۸۴/۴	۰	۰	۱/۶	۱۰/۳	۸۸/۱	۰	۰/۶	۰/۱	۰/۱	۹۷/۴	۳/۹	۰	۰	۱۰۰	۰	۰	۰	۹۷/۷	۰/۱	۰	۱/۴	۰	۰/۸							



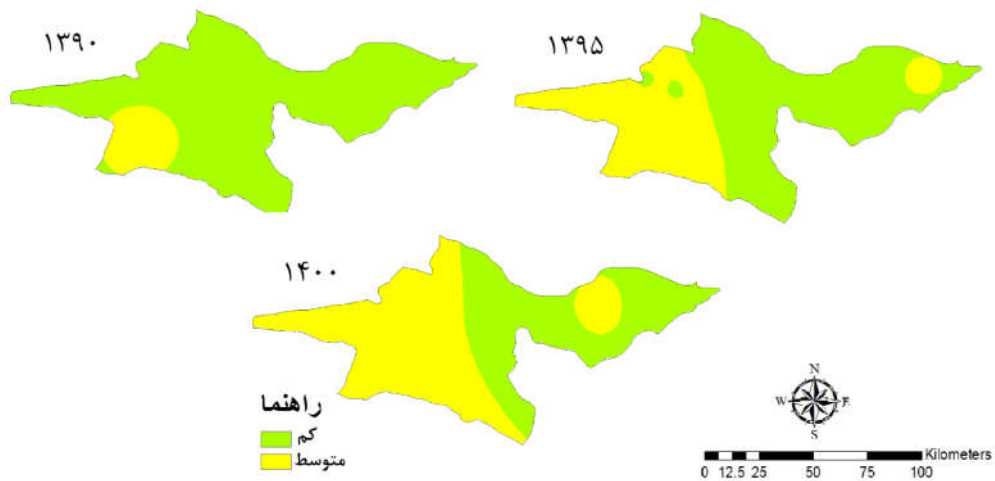
شکل ۱۳. نقشه شدت بیابانزایی شاخص بارش (رنگی در نسخه الکترونیکی)



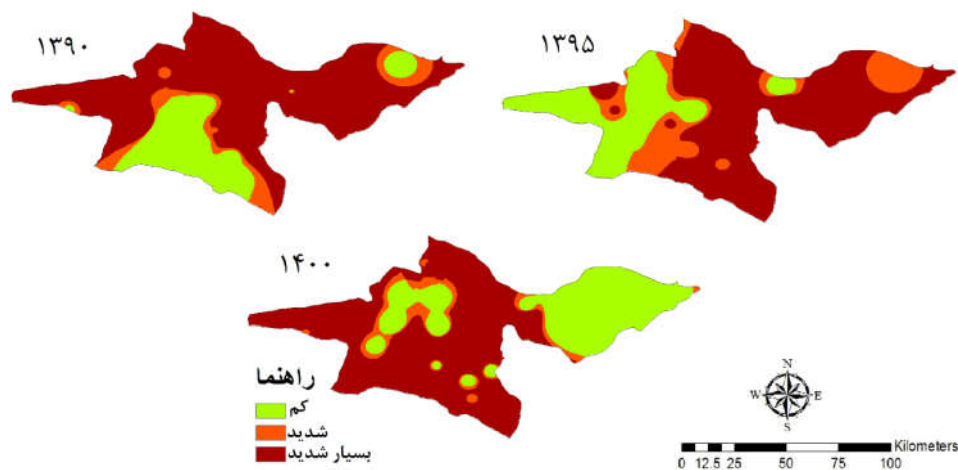
شکل ۱۴. نقشه شدت بیابان‌زایی شاخص استمرار خشکسالی در هر سه دوره (رنگی در نسخه الکترونیکی)



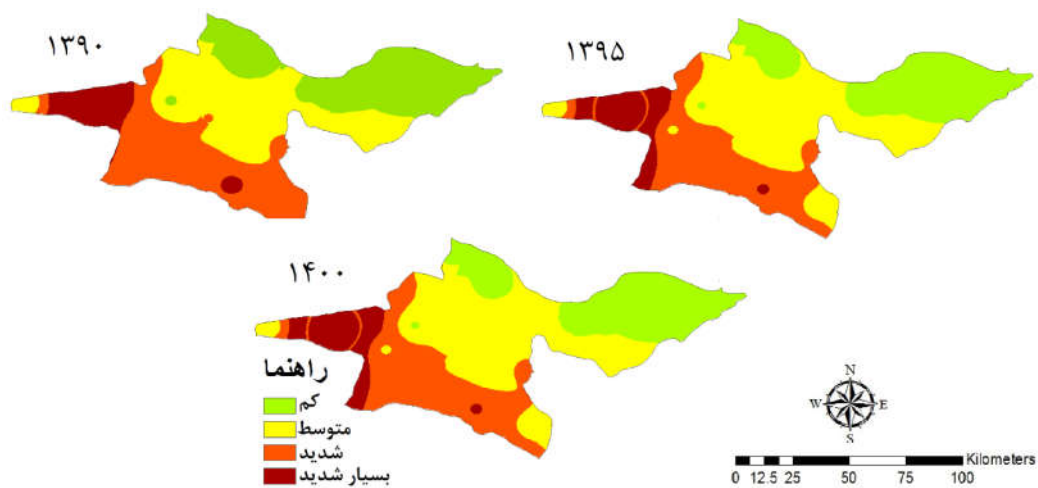
شکل ۱۵. نقشه شدت بیابان‌زایی شاخص خشکی (رنگی در نسخه الکترونیکی)



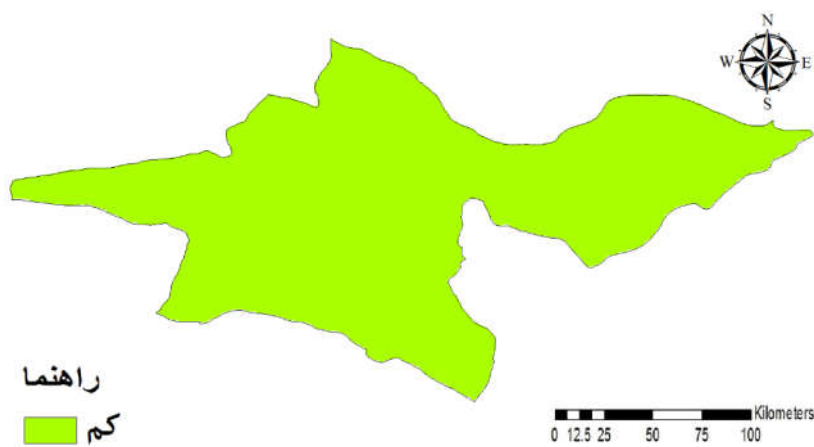
شکل ۱۶. نقشه شدت بیابان‌زایی معیار اقلیم (رنگی در نسخه الکترونیکی)



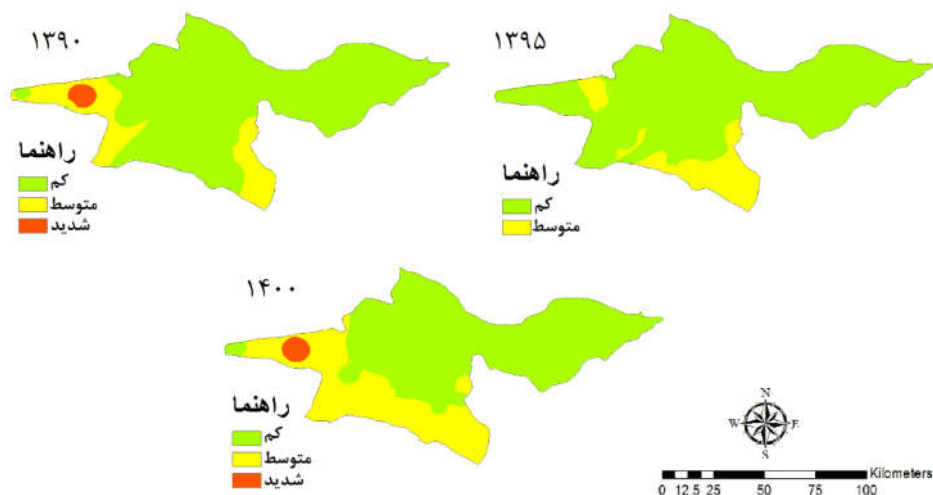
شکل ۱۷. نقشه شدت بیابانزایی شاخص افت (رنگی در نسخه الکترونیکی)



شکل ۱۸. نقشه شدت بیابانزایی شاخص EC (رنگی در نسخه الکترونیکی)



شکل ۱۹. نقشه شدت بیابانزایی شاخص SAR در هر سه دوره (رنگی در نسخه الکترونیکی)



شکل ۲۰. نقشه شدت بیابان‌زایی معیار آب زیرزمینی (رنگی در نسخه الکترونیکی)

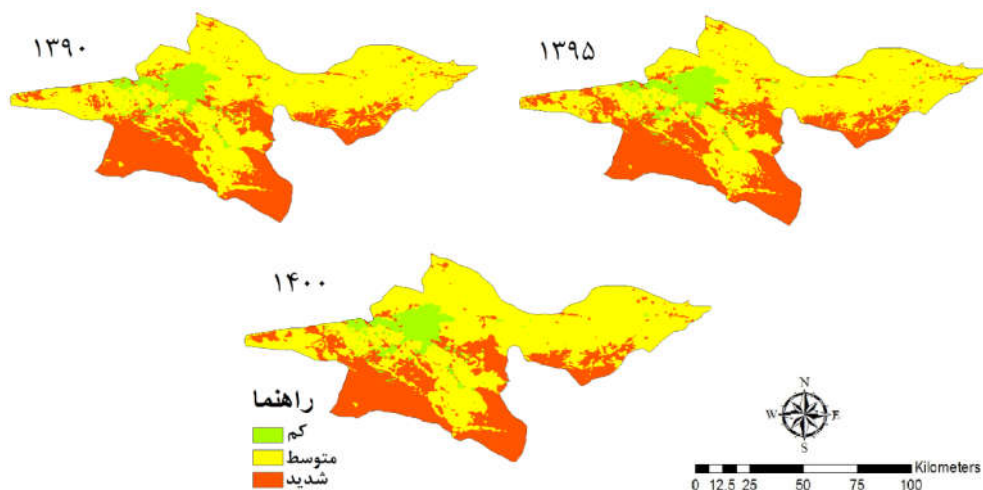
کشاورزی و مرتعی نشان می‌دهند که اراضی استان تهران در آینده دچار تخریب خواهد شد. ارزش بالای معیار کاربری نشان می‌دهد که نقش انسان و راهکارهای مدیریتی در افزایش یا کاهش شدت بیابان‌زایی در آینده به شدت قابل توجه است. از طرف دیگر امتیاز بالای معیار کاربری و آب زیرزمینی که مستقیم تحت تأثیر بشر قرار دارند، نشان می‌دهد که بیابان‌زایی در استان تهران بیشتر تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی است که با نتایج (۱۱، ۲۸ و ۲۹) مطابقت دارد.

شدت بیابان‌زایی: شکل ۲۲ نقشه شدت بیابان‌زایی استان تهران را در سه دوره ۱۳۹۰، ۱۳۹۵ و ۱۴۰۰ نشان می‌دهند. نتایج حاکی از آن است که در سال ۱۳۹۱، ۵۹/۷۸ درصد از مساحت استان تهران در کلاس کم و ۴۰/۲۲ درصد در کلاس متوسط قرار گرفته است. اما در سال ۱۳۹۵ مساحت کلاس متوسط (۴۴/۸ درصد) افزایش یافته است و پیش‌بینی می‌شود که این افزایش در سال ۱۴۰۰ نیز ادامه داشته باشد. به طوری که ۴۷/۶۵ درصد از مساحت استان تهران در کلاس متوسط قرار خواهد گرفت. همچنین در سال ۱۴۰۰، ۰/۸۸ درصد از مساحت استان تهران در نواحی غربی به کلاس شدید اختصاص پیدا کرده که در دو دوره قبل وجود نداشته است. به طور کلی در استان تهران شدت بیابان‌زایی در نواحی غربی و جنوبی استان بیشتر از نواحی شرقی و شمالی است.

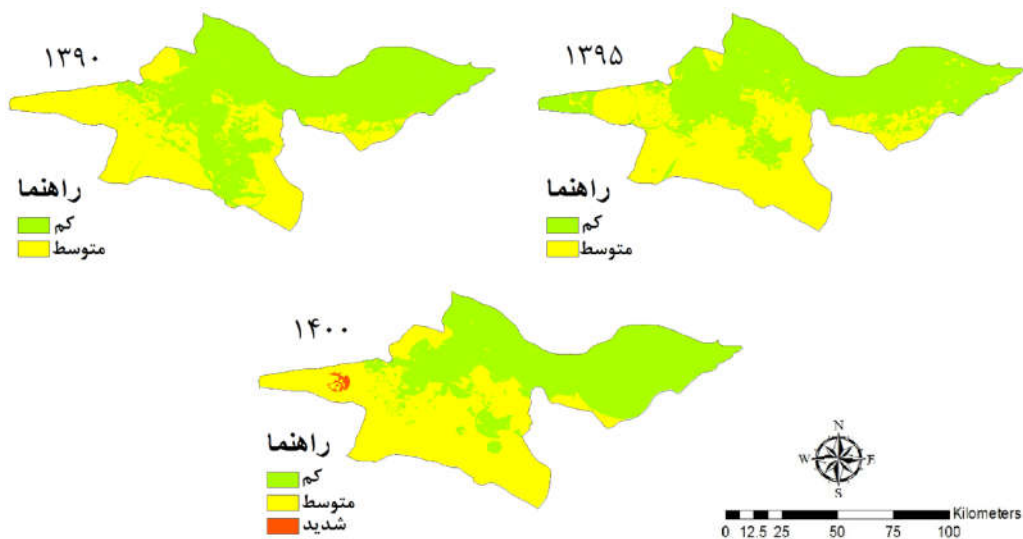
نواحی غربی و جنوبی از نظر معیار آب شرایط بدتری نسبت به نواحی شمالی و شرقی دارند. طبق نتایج به دست آمده افزایش مساحت کلاس در سال ۱۴۰۰ کاملاً مشهود است. به طوری که به ترتیب ۳۰/۱۳ و ۱/۶۹ درصد از مساحت استان تهران در سال ۱۴۰۰ در کلاس متوسط و شدید قرار خواهد گرفت.

نتایج ارزیابی شاخص‌های هریک از معیارهای بیابان‌زایی استان تهران نشان داد که در معیار اقلیم، شاخص خشکی بیشترین امتیاز را به خود اختصاص داده است. همچنین در معیار آب زیرزمینی نیز شاخص افت آب زیرزمینی دارای بیشترین امتیاز است. این نتایج با (۸) مطابقت دارد.

معیار کاربری اراضی: شکل ۲۱ معیار شدت بیابان‌زایی تغییرات کاربری اراضی در سه دوره ۱۳۹۰، ۱۳۹۵ و ۱۴۰۰ را نشان می‌دهند. به طور کلی نواحی جنوبی و غربی استان در کلاس شدید، نواحی مسکونی در مناطق مرکزی که تغییر کاربری اراضی نداشته‌اند در کلاس کم و مابقی استان در کلاس متوسط قرار دارد. نتایج نشان می‌دهد که اکثر استان (حدود ۶۰ درصد) در کلاس متوسط قرار گرفته و کلاس شدید در حال افزایش است و پیش‌بینی می‌شود در سال ۱۴۰۰، ۳۳/۳۶ درصد از استان تهران از نظر معیار کاربری در کلاس شدید قرار گیرد. نتایج نشان داد که کاربری اراضی مهم‌ترین عامل در برآورد شدت بیابان‌زایی است. افزایش اراضی بایر و کاهش اراضی



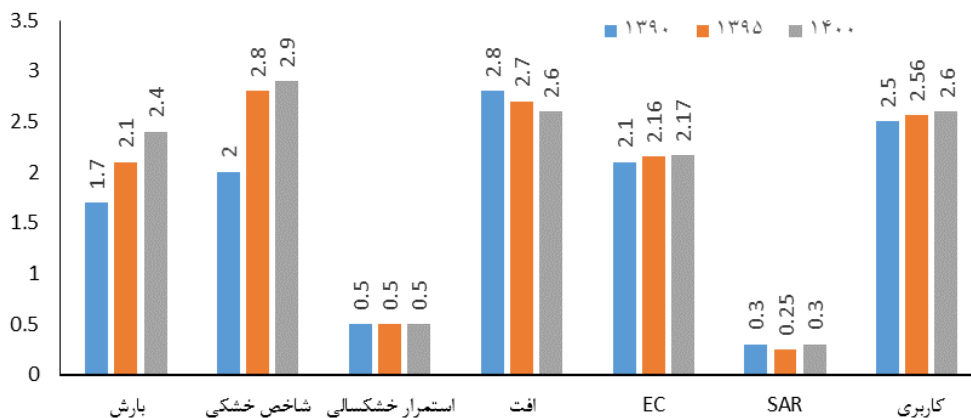
شکل ۲۱. نقشه شدت بیابان‌زایی معیار کاربری اراضی (رنگی در نسخه الکترونیکی)



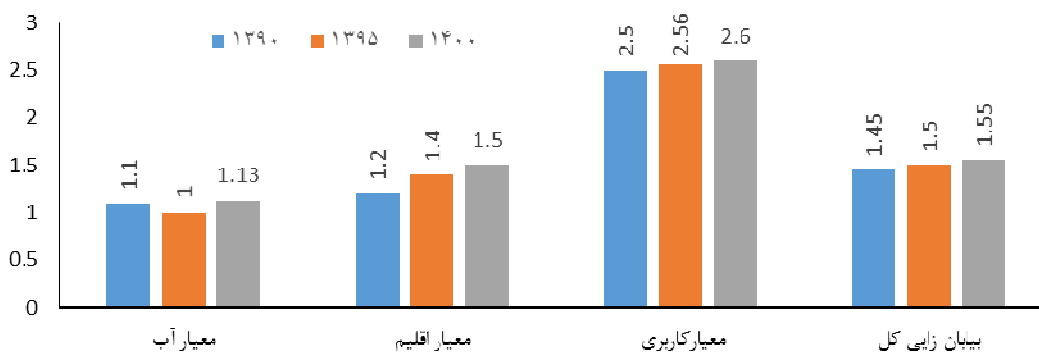
شکل ۲۲. نقشه شدت بیابان‌زایی استان تهران (رنگی در نسخه الکترونیکی)

جدول ۵. درصد مساحت کلاس‌های شدت بیابان‌زایی

سال	کم	متوسط	شدید
۱۳۹۰	۵۹/۷۸	۴۰/۲۲	۰
۱۳۹۵	۵۵/۲	۴۴/۸	۰
۱۴۰۰	۵۱/۵۱	۴۷/۶۵	۰/۸۴



شکل ۲۳. میانگین ارزش عددی شاخص‌های بیابان‌زایی (رنگی در نسخه الکترونیکی)



شکل ۲۴. میانگین ارزش عددی معیارهای بیابان‌زایی (رنگی در نسخه الکترونیکی)

گذشت زمان میانگین شاخص‌های بارش، خشکی، EC و کاربری در حال افزایش هستند ولی شاخص افت در حال کاهش است. با توجه به شکل ۲۴ تقریباً تمامی معیارها (آب، اقلیم و کاربری) در طول زمان در حال افزایش هستند. به‌طور کلی در میان معیارها، به ترتیب تغییر کاربری اراضی، اقلیم و آب زیرزمینی بیشترین تأثیر را بر بیابان‌زایی استان تهران دارند.

نتیجه‌گیری

اساساً شناخت و ارزیابی روند بیابان‌زایی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و شدت بیابان‌زایی در هر منطقه می‌تواند زمینه را برای مدیریت بهینه محیط مهیا کند (۱۳). از مهم‌ترین اثرات بیابان‌زایی در هر پهنه جغرافیایی می‌توان به کاهش توان

ضیایی و همکاران (۳۰) در ارزیابی بیابان‌زایی حبله رود نیز اظهار داشتند که شدت بیابان‌زایی در آینده در حال افزایش است. بنابراین اگر مدیریت صحیحی در راستای کنترل پدیده بیابان‌زایی به‌کار گرفته نشود در آینده این پدیده اثرات منفی زیادی بر توسعه پایدار استان تهران خواهد گذاشت که با نتایج تحقیق حاضر هم‌راستا است.

شکل‌های ۲۳ و ۲۴ نمودار میانگین شدت بیابان‌زایی شاخص‌ها و معیارهای مؤثر در بیابان‌زایی استان تهران را نشان می‌دهند. با توجه به شکل ۲۳ در میان شاخص‌های معیار اقلیم به ترتیب شاخص خشکی، شاخص بارش و شاخص استمرار خشکسالی بیشترین تأثیر را در بیابان‌زایی دارند. همچنین در میان شاخص‌های معیار آب زیرزمینی، شاخص افت و EC بیشترین امتیاز را به‌خود اختصاص داده‌اند. به‌طور کلی با

مدیریتی در افزایش یا کاهش شدت بیابان‌زایی در آینده به‌شدت قابل توجه است. از طرف دیگر امتیاز بالا معیار کاربری و آب زیرزمینی که مستقیم توسط انسان تحت تأثیر قرار می‌گیرند نشان‌دهنده این است که بیابان‌زایی در استان تهران بیشتر تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی است. این نکته بسیار مهم است که با مدیریت درست در برداشت آب زیرزمینی در استان تهران می‌توان به کنترل هر چه بیشتر پدیده بیابان‌زایی کمک کرد. در این راستا پیشنهاد می‌شود، شدت بیابان‌زایی در اقلیم مختلف مورد ارزیابی قرار داده شود تا بتوان تأثیر اقلیم در آینده بیابان‌زایی را بهتر درک کرد. با توجه به فواصل ۵ ساله دوره‌های زمانی در این پژوهش، پیشنهاد می‌شود که با تعداد دوره‌ها و فواصل زمانی بیشتر تحقیقات دیگری هم‌راستا با این موضوع انجام شود.

اکولوژیکی و بیولوژیکی زمین اشاره کرد که ممکن است به‌صورت طبیعی و یا غیرطبیعی رخ دهد. در این پژوهش سه معیار اقلیم، آب زیرزمینی و کاربری اراضی به‌عنوان مهم‌ترین عوامل مؤثر بر بیابان‌زایی تهران در سه دوره زمانی ۱۳۹۰، ۱۳۹۵ و ۱۴۰۰ مورد ارزیابی قرار گرفت. یافته‌های تحقیق حاضر نشان داد که شبکه عصبی RBF برای پیش‌بینی دما، بارش، افت آب زیرزمینی، EC و SAR از توانایی مناسبی برخوردار است. لذا پیشنهاد می‌شود برای پیش‌بینی شاخص‌های مؤثر در بیابان‌زایی از دیگر شبکه‌های عصبی مصنوعی استفاده شود تا بتوان کارایی آنها را با هم مقایسه کرد و برترین روش را معرفی کرد. همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که کاربری اراضی مهم‌ترین عامل در برآورد شدت بیابان‌زایی است. افزایش اراضی بایر و کاهش اراضی کشاورزی و مرتعی خود نشان‌دهنده تخریب اراضی در آینده در استان تهران است. ارزش بالای معیار کاربری نشان می‌دهد که نقش انسان و راهکارهای

منابع مورد استفاده

1. Akbari, M., M. Ownegh, H. R. Asgari, A. Sadoddin and H. Khosravi. 2016. Desertification risk assessment and management program. *Global Journal of Environmental Science and Management* 2(4): 365-380.
2. Akbari, M., M. Jafari Shalamzari, H. Memarian and A. Golami. 2019. Monitoring desertification processes using ecological indicators & providing management programs in arid regions of Iran. *Ecological Indicators* 111:106011, DOI: 10.1016/j.ecolind.2019.106011.
3. Akbarzadeh, F., H. Hassanpour and S. Emamgholi. 2016. Predicting the groundwater level of Shahroud plain. Using artificial neural network, radial base function. *Journal of Watershed Management* 7(13): 104-118.
4. Alimarzaii, F., M. Azarakhshi, A. Malekian and M. Rostami Khalaj. 2019. Simulation of the groundwater level of Sarakhs plain by combining artificial intelligence and statistical methods. *Journal of Water and Soil Conservation Research* 26(4): 207-222.
5. Ashraf, M., A. Osama, M. Yahia and Kh. Nor Al-Deen. 2020. Desertification sensitivity analysis east of Siwa Using GIS and remote sensing. *Alexandria Science Exchange Journal* 41: 1-14.
6. Atashgahi, M., M. R. Haji Hashemi Jazi and H. Azarnivand. 2010. Effects of climate change on natural resources Its role in desertification and ways to deal with it. *Second National Conference on Wind Erosion ISADMC02_165*.
7. Bidokhti, H. and K. Shokoohi-Mehr. 2019. The precipitation modeling through the CPSO-based artificial neural networks. *Journal of Soft Computing and Decision Support Systems* 6(1): 7-13.
8. Emadodin, I., T. Reinsch and F. Taube. 2019. Drought and desertification in Iran. *Hydrology* 6(3): 66.
9. Eskandari, H., M. Borji, H. Khosravi and T. Mesbahzadeh. 2016. Desertification of Forest, Range and Desertin Tehran Province, Affected by Climate Change. Published in Solid Earth Discuss.
10. Estman, J. R. 2012. IDRISI Selva Tutorial. ClarkLabs, Clark University, Worcester, Ma.
11. Guo, Q., B. Fu, P. Shi, T. Cudahy, J. Zhang and H. Xu. 2017. Satellite monitoring the spatial-temporal dynamics of desertification in response to climate change and human activities across the ordos plateau, China. *Remot Sensing Journal* 9(6): 525.
12. Habashi, Kh., Sh. Mohammadi and S. Pour Manafi. 2018. Monitoring and forecasting land use changes / land cover and its relationship with drought (Case study: Parsel B2 basin, Zayandehroud watershed). *Remote Sensing Journal and Geographic Information System in Natural Resources* (9)1: 24-39.

13. Halbiyan, A. and M. Soltaniyan. 2016. Evaluation and forecasting of desertification changes in the east and south of Isfahan with CA-Markov model. *Spatial Analysis of Environmental Hazards* 3(4): 71-88.
14. Hamdi, K. and Sh. AmirEntakhabi. 2010. Greater Tehran metropolis and the challenges of urban management. *Geographical Territory* 7(26): 1-13.
15. Huang, J., G. Zhang, Y. Zhang, X. Guan, Y. Wei and R. Guo. 2020. Global desertification vulnerability to climate change and human activities. *Land Degradation & Development* 31(11): 1380-1391.
16. Javadi, M. R. 2005. Investigate the factors affecting the intensity of desertification & regional development in Kerman. Iran, MSc. Thesis, Tehran University.
17. Miao, L., P. Ye, B. He, L. Chen and X. Cui. 2015. Future climate impact on the desertification in the dry land Asia using AVHRR GIMMS NDVI3g data. *Remote Sensing* 7(4).
18. Mishra, A. K., V. P. Singh and V. R. Desai. 2009. Drought Characterization: a Probabilistic Approach. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* 23 (1): 41-55.
19. Mohammadi, A., H. Karimi, J. Khojasteh and F. MahdaviFar. 2013. The effect of alkaline groundwater change changes on desertification process using geographical information system (Case study: Mehran plain). The First National Conference on Agriculture and Natural Resources, Tehran.
20. Potop, V., M. Mozny and J. Soukup. 2012. Drought evolution at various time scales in the lowland regions and their impact on vegetable crops in the Czech Republic. *Agricultural and Forest Meteorology* 156: 121-133.
21. Teshnehlab, M. and K. Watanabe. 1999. Intelligent Control Based on Flexible Neural Networks (Intelligent Systems, Control and Automation: Science and Engineering).
22. Wei, X., L. Zhou, G. Yang, Y. Wang and Y. Chen. 2020. Assessing the effects of desertification control projects from the farmers' perspective: A case study of Yanchi county, Northern China. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 17(3).
23. Wu, W. 2013. The generalized difference vegetation index (GDVI) for Dryland Characterization. *Remote Sensing* 6 (2): 1211-1233.
24. Wu, J., L. Zhou, X. Mo, H. Zhou, J. Zhang and R. Jia. 2015. Drought monitoring and analysis in China based on the integrated surface drought index (ISDI). *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 4: 23-33.
25. Xia, M., Y. Zhang, Z. Zhang, J. Liu, W. Ou and W. Zou. 2020. Modeling agricultural land use change in a rapid urbanizing town: Linking the decisions of government, peasant households and enterprises. *Land Use Policy* 90: 104-266.
26. Xu, D., A. Song, D. Li, X. Ding and W. Ziyu. 2019. Assessing the relative role of climate change and human activities in desertification of North China from 1981 to 2010. *Frontiers of Earth Science* 43-54.
27. Zehtabiyani, G. R., H. Khosravi and R. Masoudi. 2013. Models of desertification assessment, University of Tehran. *Journal of Desert* 19(1): 45-55.
28. Zhang, Ch., G. Rong and Y. Wu Zhongxia. 2017. Combating Climate Change, Desertification and Sandstorms: A Collaborative Approach. Part of the Research Series on the Chinese Dream and China's Development Path book series (RSCDCDP).
29. Zhang, C., X. Wang, J. Li and T. Huaa. 2020. Identifying the effect of climate change on desertification in northern China via trend analysis of potential evapotranspiration and precipitation. *Ecological Indicators* 112(1): 106-141.
30. Ziyaii, N., M. Onegh, H. Asgari, A. Masah Boani, A. Mahini and M. Hosein Alizabeh. 2017. Comparison of the effect of climate change scenarios on the severity of risk and desertification risk in Hablehroud basin, Tehran province. *Desert Ecosystem Engineering Magazine* 6(16): 105-118.

Predicting the Future of Desertification in Tehran Province Affected by Climate Change and Human Activities

M. Sayadi, H. Khosravi *, S. Zareh, Kh. Ahmadali and S. Bagheri¹

(Received: August 14-2020; Accepted: January 31-2021)

Abstract

Desertification is a phenomenon that has more destructive effects in arid, semi-arid, and semi-humid regions than in other regions. This paper tries to provide a map of the future of desertification in Tehran Province, for futurism in the face of land degradation and desertification. The IMDPA model was used to evaluate land degradation and desertification. To use this model and evaluate desertification, three criteria of groundwater including groundwater depletion, electrical conductivity, and sodium adsorption ratio indices, climate criterion including precipitation, aridity, and drought indices, and land use criteria were selected as key criteria effected on desertification according to regional conditions. Land use index map with IGBP standard and zoning map of other indicators were prepared by IDW method for 2011 and 2016. The maps of land use index and other indices were predicted using the CA-Markov model in TerrSet software, and using the RBF method in artificial neural network toolbox, respectively. Scoring based on the IMDPA model, the maps of indices and criteria maps were prepared for 2011, 2016, and 2021. Finally, the desertification intensity map was calculated by geometric averaging for all three criteria for all three time periods. The results showed that 59.78% and 40.22% of the area of Tehran Province were in the low and medium classes, respectively. However, in 2016, the area of the medium class has increased to a 44.8%, and it is predicted that this increase will continue until 2021 so that 47.65% of the area of Tehran Province will be in the medium class. In addition, in this year, about 1% of the area of Tehran Province will be allocated to the high class in the western regions, which did not exist in the previous two periods. In general, due to human activities, the intensity of desertification in the western and southern parts of the province is higher than in the eastern and northern regions.

Keywords: IMDPA model, CA–Markov model, RBF neural network, IGBP standard, Land use

1. Deptment of Arid and Mountainous Regions Reclamation, College of Agriculture and Natural Resources, Tehran University, Tehran, Iran.

Corresponding author, Email: hakhosravi@ut.ac.ir