

ارزیابی و پیش بینی تغییرات بیابان زایی در شرق و جنوب اصفهان با مدل CA-Markov

امیرحسین حلبیان^۱، دانشیار، گروه جغرافیا، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.
محمود سلطانیان، دانشجوی دکتری دانشگاه اصفهان، ایران.

پذیرش نهایی: ۱۳۹۵/۰۸/۰۴

دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۰۲/۰۱

چکیده

یکی از مهمترین بلاهایی که مناطق خشک و نیمه خشک را تحت تاثیر قرار می دهد و در زمره عوامل تهدید کننده حیات بشری و تخریب منابع طبیعی محسوب می شود بیابان زایی است، بنابراین شناخت و پیش بینی این پدیده از اهمیت بسزایی برخوردار است. در این راستا به منظور بررسی وضعیت بیابان زایی منطقه شرق و جنوب اصفهان از تصاویر ماهواره لندست ۴ و ۷ و ۸ در ۵ دوره ۱۹۸۶، ۱۹۹۴، ۲۰۰۰، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۶ استفاده گردید. شاخص NDVI برای شناسایی پوشش گیاهی و شاخص شوری خاک برای شناسایی مناطق بیابانی و شور به کار گرفته شد. به منظور شناسایی و تهیه نقشه کاربری های منطقه مطالعاتی مشتمل بر (اراضی بیابانی و شور، پوشش گیاهی، شهر، زمین های بایر و گاوخونی) از روش طبقه بندی نظارت شده Fuzzy ARTMAP و برای محاسبه تغییرات در کاربری های پهنه مورد بررسی در ۵ دوره فوق از مدل LCM بهره گرفته شد. در ادامه، مدل ترکیبی زنجیره مارکوف و سلولهای خودکار (CA-Markov) برای پیش بینی تغییرات کاربری اراضی استفاده گردید. برای تعیین اعتبار پیش بینی نیز از شاخص انطباق کاپا بهره گرفته شد که میزان ۷۸ درصد را نشان می دهد. نتایج این پژوهش نشان داد که بیشترین تغییرات در طی دوره مورد مطالعه را پوشش گیاهی داشته است. این حجم تغییر طی دوره ۱۹۸۶-۱۹۹۴ بوده است که ۱۰۶۲ کیلومتر مربع کاهش را نشان می دهد. از طرفی بیشترین شدت افزایش مناطق شور و بیابانی طی دوره ۱۹۹۴-۲۰۰۰ رخ داده که حدود ۴۹۵ کیلومتر مربع افزایش را نشان می دهد. در نهایت مشخص گردید که بیشترین تغییرات طی دوره ۲۰۱۶-۲۰۲۴ در پوشش گیاهی رخ خواهد داد که حدود ۶۰ درصد از پوشش گیاهی منطقه از بین خواهد رفت و اراضی بایر جایگزین آن خواهد شد. اراضی شور و بیابانی نیز جایگزین حدود ۳/۳ درصد از اراضی بایر، حدود ۱ درصد از پوشش گیاهی و کمتر از ۰/۱ درصد از شهر و تالاب گاوخونی می گردد.

واژه های کلیدی: بیابان زایی، زنجیره مارکوف، اصفهان، لندست، سلولهای خودکار، پوشش گیاهی.

مقدمه

روند روزافزون تخریب منابع در بسیاری از نقاط جهان، تهدیدی جدی برای بشریت است. بیابان‌زایی که یکی از مظاهر این تخریب است، اکثر کشورها را تحت تاثیر قرار داده و سومین چالش قرن بیست و یکم معرفی شده است. (زهتالیان و رفیعی امامی، ۱۳۸۲). این پدیده مشتمل بر فرایندهایی است که در نتیجه عوامل طبیعی و عملکرد نادرست انسان ایجاد می‌گردد (Reynolds, ۲۰۰۸). در حال حاضر بیابان‌زایی بعنوان یک معضل گریبان‌گیر بسیاری از کشورهای جهان از جمله کشورهای در حال توسعه می‌باشد که نتیجه آن از بین رفتن منابع تجدید شونده در هر یک از این کشورهاست (احمدی، ۱۳۸۳). این عارضه به عنوان یکی از مظاهر تخریب اراضی در زمره مخاطرات طبیعی است که در دهه‌های اخیر با توجه به رشد روزافزون جمعیت در جهان به عنوان پدیده‌ای مخاطره‌آمیز زندگی ساکنین پهنه‌های مستعد بیابان‌زایی را بویژه در مناطق خشک و نیمه خشک، از جمله ایران تهدید می‌کند. بنابراین، توجه خاص به مقوله بیابان‌زایی برای کشوری همچون ایران که حدود ۱۰۰ میلیون هکتار از اراضی آن در معرض پدیده بیابان‌زایی قرار دارد ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است. زیرا، پیامدهای ناشی از بیابانی‌زایی، نظیر از بین رفتن اراضی بارور، کاهش زیست توده (بیوماس) در جنگل‌ها، مراتع و دشت‌های حاصلخیز، افت سطح آب‌های زیرزمینی و کاهش آب‌های سطحی، شور شدن اراضی و کاهش کیفیت منابع آبی، خسارات غیرقابل جبرانی در کشور به دنبال دارد. بدین ترتیب، پایش و ارزیابی این پدیده مخاطره‌آمیز و تدوین برنامه‌های بلندمدت کنترل بیابان‌زایی، اجرای طرح‌های آمایش سرزمین و توسعه پایدار بیش از پیش ضروری می‌نماید. به منظور ارزیابی پدیده بیابان‌زایی تحقیقات گسترده‌ای در نقاط مختلف جهان صورت گرفته است؛ از جمله، هاراشه و تاتاشی (Harasheh and Tatashi., ۲۰۰۰) در مطالعه‌ای در غرب آسیا با در نظر گرفتن عوامل تخریب پوشش گیاهی، فرسایش آبی، بادی و شوری خاک به عنوان مهمترین عوامل بیابان‌زایی اقدام به تهیه نقشه شدت بیابان‌زایی نمودند. آنان نقشه حاصله را در ۴ طبقه بیابان‌زایی کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تهیه و ارائه دادند. لی و یا (Le and Yeh., ۲۰۰۰) چگونگی توسعه و ترکیب سلولهای خودکار را با استفاده از سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی برای کمک به برنامه ریزان، برای بهتر شدن فرم‌های شهری جهت توسعه پایدار را مورد بحث قرار داده‌اند. کوپین و همکاران (Coppin et al., ۲۰۰۴)، روشهای شناسایی تغییرات اکوسیستم را با استفاده از داده‌های چند طیفی و چند زمانه ماهواره‌ای مورد مطالعه قرار داده و بیان کردند که برای پایش تغییرات اکوسیستم، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای از کارایی بالایی برخوردار است. کوئینگ و همکاران (Qiong, et al., ۲۰۰۶)، از ترکیب سامانه اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور برای بررسی تغییرات کاربری زمین در پکن چین استفاده کردند. نتایج آنان مبین رشد قابل توجه کاربری شهری و کاهش مراتع طی سالهای ۱۹۸۶ و ۲۰۰۱ بوده است. چانگ چنگ و چانگ جویی (Chang, and Chang, ۲۰۰۶) برای بررسی پوشش گیاهی و پیش‌بینی تغییرات منطقه جیوجیو از روش CA-Markov و داده‌های ماهواره اسپات در دوره‌های زمانی ۱۹۹۹، ۲۰۰۲ و ۲۰۰۵ استفاده کردند. نتایج آنان گویای قابلیت بالای مدل مذکور در پیش‌بینی روند تغییرات پوشش گیاهی است. واکلاویک و روگان (Vaclavik and Rogan., ۲۰۰۹) با روش LCM اقدام به آشکارسازی تغییرات در جمهوری چک کردند و به این نتیجه رسیدند که ۶٪ از جنگل‌های مخلوط به جنگل پهن برگ تبدیل شده و ۳/۵٪ افزایش در مناطق مسکونی رخ داده است. داوولیت و موراری (Dawelbaita and Morari., ۲۰۱۲)، بیابان‌زایی را در منطقه سودان با استفاده از تصاویر ماهواره لندست و تحلیل طیفی ترکیبی بررسی کردند. نتایج این پژوهش بیانگر این است که استفاده از تحلیل طیفی ترکیبی و تصاویر لندست نتایج سازگار، دقیق و کم هزینه را برای مناطق در خطر نشان می‌دهد. لامچین و همکاران (Lamchin, et al., ۲۰۱۶) تغییرات کاربری

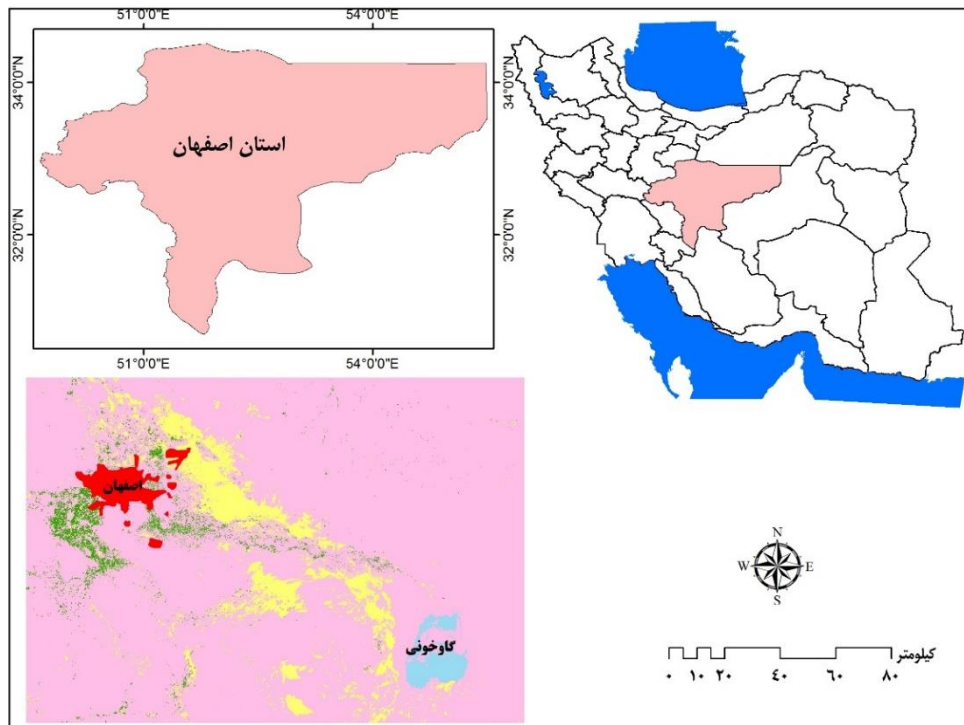
اراضی و بیابان زایی را در مغولستان با تکنیک سنجش از دور بررسی کردند. نتایج این تحقیق هیچ رابطه ای بین شاخص پوشش گیاهی و میزان آلودگی یا شاخص TGSi نشان نداد، اما رابطه زیادی بین میزان TGSi و آلودگی را آشکار ساخت. همبستگی بالا بین دو شاخص TGSi و آلودگی در مناطق فاقد بیابان زایی نیز قابل توجه بود. در ایران، دادرسی سبزواری و پاکپور، (۱۳۸۶)، روند بیابان زایی به روش سنجش از دور و نزدیک در اراضی دشت سبزواری را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج این بررسی نشان می دهد که تغییر قابل ملاحظه ای در سطح اراضی غیرشور حادث نگشته و تغییرات دسته های اراضی شور به گونه ای است که هیچ زمین شوری به غیرشور تبدیل نشده، ولی از وسعت دسته های با شوری متوسط به بالا به صورت پلکانی کاسته و بر مساحت اراضی با شوری کم افزوده شده است. مرادی و همکاران (۱۳۸۷) به بررسی تغییر کاربری اراضی در بیابان زایی محدوده شهر اردکان با استفاده از سنجش از دور پرداختند. نتایج حاصل بیانگر کاهش وسعت مناطق بیابانی از سال ۱۳۳۴ تا ۱۳۷۶ به میزان ۲۰۰۰ هکتار و سال ۱۳۷۶ تا ۱۳۸۱ به میزان ۱۶۰ هکتار و افزایش مساحت کاربری های دیگر می باشد. فتاحی (۱۳۸۸) روند بیابان زایی در استان قم را با استفاده از داده های سنجش از دور با تاکید بر تغییرات استفاده از اراضی و تغییرات کمی و کیفی منابع آب بررسی نمود. وی به این نتیجه رسید که فعالیت های انسانی و دستکاری او در طبیعت به ویژه احداث سدهای ۱۵ خرداد و ساوه بر روی دو رودخانه قمرود و قره چای به عنوان دو عامل اصلی تغییر انواع استفاده از اراضی با کاهش پوشش گیاهی، شورشیدن بیشتر اراضی و افت کمی و کیفی منابع آب در استان قم همراه بوده که می تواند تشدید بیابان زایی را به دنبال داشته باشد. فلاحتکار و همکاران (۱۳۸۸)، به بررسی توانایی مدل CA مارکوف در پیش بینی تغییرات پوشش اراضی در شهر اصفهان پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد، در صورت ثابت ماندن فرایندهای تغییر پوشش اراضی در منطقه، مدل فوق با اعتباری حدود ۷۰٪ به پیش بینی تغییرات در ۲۴ سال آینده (۱۴۰۴) می پردازد. علی محمدی و همکاران (۱۳۸۹) تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین در حومه جنوب غربی تهران را با استفاده از مدل سلول های خودکار شبیه سازی کرده و کارایی این مدل را برای شرایط منطقه مورد مطالعه مناسب ارزیابی کردند. سرودی و جوزی (۱۳۹۰)، تغییرات پوشش گیاهی منطقه ۴ شهرداری تهران را با مدل مارکوف و تصاویر ماهواره بررسی و پیش بینی کردند. نتایج نشان داد، با بکارگیری مدل مارکوف در پیش بینی تغییرات پوشش گیاهی منطقه تا افق ۱۴۰۴ بیشترین احتمال تخریب در اراضی تحت پوشش گیاهی با درجه سرسبزی ضعیف دیده می شود و مقدار عددی آن ۰/۱۶۷ می باشد. گلکار و همکاران (۱۳۹۱)، وضعیت بیابان زایی استان خراسان جنوبی را بررسی و اقدام به مقابله با آن با روش پیش بینی خشکسالی با زنجیره احتمالی مارکوف کردند. نتایج نشان داد که استان خراسان جنوبی بطور متوسط هر ۴ سال پتانسیل پشت سر گذاشتن یک دوره خشک با درجه خشکسالی متوسط را داراست. عسگریان و همکاران (۱۳۹۲)، رشد مکانی و توسعه پراکنده شهر ساری را با بکارگیری مدل سلولهای خودکار-مارکوف و شاخص آنتروپی شانون پیش بینی کردند. نتایج این پژوهش نشان از افزایش میزان پراکندگی شهر ساری دارد. کاوه و ابراهیمی (۱۳۹۲)، تغییرات کاربری/پوشش اراضی را با مدل CA مارکوف در منطقه رودخانه آقبلاغ بررسی کردند. نتایج حاصل از پژوهش بیان می کند که کاربری کشاورزی، پایداری زیاد و رودخانه، پایداری کمی در منطقه خواهد داشت. موسوی و همکاران (۱۳۹۲) وضعیت بیابان زایی کویر حاج علیقلی را با تکنیک سنجش از دور در طی دوره ۱۹۸۷-۲۰۰۶ پایش کردند. نتایج شناسایی وضعیت بیابان زایی این پژوهش حاکی از تغییرات گسترده در ویژگی های اکوتومورفولوژی پهنه مطالعاتی است؛ به گونه ای که ۷۴۸ کیلومتر مربع از مساحت منطقه تحت تاثیر تغییر کاربری و کاهش توان اکولوژیک و بیولوژیک قرار گرفته است. صدری (۱۳۹۴) وضعیت بیابان زایی کویر درانجیر را طی دوره ۱۹۸۵ تا

۲۰۱۴ بررسی کرد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که کاربری شوری خاک در منطقه تغییر قابل توجهی داشته است؛ به گونه‌ای که شوری خاک منطقه افزایش زیادی را نشان می‌دهد. صیدی‌لو و امینی (۱۳۹۵)، گسترش فیزیکی شهر رباط کریم و تأثیر آن بر روی اراضی کشاورزی بر مبنای روش ترکیبی زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار را بررسی کردند. در این پژوهش برای جلوگیری از تخریب اراضی کشاورزی در سال ۱۴۰۴ بر اثر گسترش فیزیکی شهر، رشد هوشمند شهری پیشنهاد شد. عزیزی قلاتی (۱۳۹۵) روند تغییرات مکانی کاربری اراضی را با استفاده از مدل زنجیره مارکوف CA در منطقه کوهمره سرخی استان فارس بر اساس تصاویر ماهواره‌ای پیش‌بینی کردند. نتایج نشان داد که بیش‌ترین تغییر کاربری برای چشم-انداز ۱۴۰۳ نسبت به سال ۱۳۹۱ در ناحیه جنگل صورت می‌گیرد که به کاربری‌های کشاورزی آبی و مرتع تبدیل می‌شود. این موضوع می‌تواند در برنامه‌ریزی آینده مسئولان مورد استفاده قرار گیرد.

اساساً فرایند شناخت تفاوت‌ها در وضعیت یک پدیده با مشاهده آن در زمان‌های مختلف، پایش تغییرات نام دارد (Singh, ۱۹۸۹) و تشخیص به‌هنگام تغییرات ویژگی‌های عوارض سطح زمین، پایه و اساس برای درک بهتر روابط بین پدیده‌های انسانی و طبیعی به منظور مدیریت بهتر و استفاده از منابع را فراهم می‌آورد. به‌طور کلی، پایش تغییرات، شامل استفاده از مجموعه داده‌های چند زمانه برای تجزیه و تحلیل کمی اثرهای موقتی یک پدیده است (Lu, et al., ۲۰۰۴). با توجه به مطالب فوق، هدف از پژوهش حاضر ارزیابی و پیش‌بینی تغییرات پدیده بیابان‌زایی در منطقه اصفهان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و بهره‌گیری از مدل تلفیقی نوین زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار است.

داده‌ها و روش کار

محدوده مورد مطالعه در این پژوهش منطقه اصفهان است که در قسمت شرق آن تالاب گاوخونی قرار گرفته و در بخش غربی آن شهر اصفهان واقع شده است. این منطقه در طول‌های جغرافیایی ۵۱ درجه ۱۷ دقیقه تا ۵۳ درجه و ۵ دقیقه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۱ درجه و ۴۳ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۳ دقیقه شمالی گسترده شده است. (شکل شماره ۱)



شکل ۱: موقعیت منطقه مطالعاتی

یکی از منابع اطلاعات موثر، مفید و قابل کاربرد در شناسایی پوشش های زمین و تغییرات آن، داده های سنجنش از دور است (ضیائیان و همکاران، ۱۳۸۸، نیازی و همکاران، ۱۳۸۹). در این میان، تصاویر دوره ای ماهواره لندست یکی از مهمترین منابع برای مطالعه انواع مختلف تغییر کاربری و پوشش اراضی است. در عین حال، استخراج اطلاعات از تصاویر ماهواره ای به وسیله طبقه بندی از پرکاربردترین روش های موجود است (میرزایی زاده و همکاران، ۱۳۹۴) و از آن جایی که داده های سنجنش از دور به سادگی در محیط GIS وارد می شود، می توان از آنها به طور خیلی گسترده در مدل سازی GIS استفاده کرد (آذرمهر و همکاران، ۱۳۸۹). در واقع، مدل سازی یکی از روش های تجزیه و تحلیل پویایی نظام کاربری اراضی است که با استفاده از آن، چارچوب علمی آنالیز سیستم های تغییر کاربری اراضی از حالت توصیفی به سمت کمی تغییر پیدا می کند (Eastman, ۲۰۰۶). بدین ترتیب، مدل هایی که برای پیش بینی تغییرات کاربری اراضی مورد استفاده قرار می گیرند، ابزارهای مفید، تکرارپذیر و مکمل توانایی های ذهنی موجود ما در تجزیه و تحلیل تغییر کاربری اراضی و تصمیم گیری آگاهانه تر هستند (Costanza, ۱۹۹۸). مدلی که در این پژوهش جهت بررسی تغییرات کاربری اراضی و پیش بینی آن استفاده شده، مدل تلفیقی زنجیره مارکوف و سلول های خودکار است. مدل زنجیره مارکوف به تنهایی قادر به شرح کمیت حالت های تبدیل بین انواع کاربری نیست، اما توانایی آشکارسازی میزان تبدیل بین انواع کاربری های گوناگون را دارد (Sang, ۲۰۱۱). از طرفی مدل سلول های خودکار یک تکنیک مدل سازی است که در فضای رستری تعریف می شود. وضعیت سلول معمولاً پوشش و کاربری اراضی آن سلول را ارائه می دهد و تغییر در نوع کاربری یک سلول به کاربری دیگر، وابسته به وضعیت کاربری سلول در زمان حال و وضعیت سلول های همسایه

است (جباری و احمدی، ۱۳۹۱). در عین حال، استفاده از مدل تلفیقی با افزودن مشخصه مجاورت مکانی به مدل تصادفی زنجیره مارکوف، کاربری اراضی را برای آینده شبیه‌سازی می‌نماید (زارع و همکاران، ۱۳۹۰).
در این پژوهش از ۴ سین تصویر در دوره زمانی ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۶ استفاده شده است. جدول شماره ۱ ویژگی‌های تصاویر مزبور را نشان می‌دهد.

جدول ۱: تاریخ تصاویر ماهواره لندست مورد استفاده

سنجنده	شماره تصویر	میلادی	خورشیدی
TM ۵	۱۶۳۰۳۷	۱۹۸۶/۶/۱۱	۱۳۶۵/۳/۲۱
TM ۵	۱۶۳۰۳۸	۱۹۹۴/۶/۱۷	۱۳۷۳/۳/۲۷
ETM+ ۷	۱۶۴۰۳۷	۲۰۰۰/۷/۰۲	۱۳۷۹/۳/۱۲
TM ۵	۱۶۴۰۳۸	۲۰۰۸/۶/۲۳	۱۳۸۷/۴/۳
LDCM ۸		۲۰۱۶/۶/۱۳	۱۳۹۵/۳/۲۴

همچنین، مدل رقومی ارتفاعی زمین (DEM) ۱۰ متری نیز برای شناسایی تغییرات مورد استفاده قرار گرفت (سازمان زمین شناسی ایالات متحده). از نظر رادیومتریک تصاویری که از سازمان زمین شناسی امریکا اخذ می‌شوند در سطح ۱ اصلاح شده هستند. از آن جایی که این تصاویر دارای مقادیر DN بین ۰ تا ۲۵۵ هستند بنابراین برای پردازش این تصاویر باید این مقادیر به تابش تبدیل گردند. برای محاسبه تابش طیفی تصاویر لندست TM و ETM+ و OLI از رابطه شماره ۱ استفاده شده است.

$$L_{\lambda} = \frac{(LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda})}{QCALMAX - QCALMIN} \times (DN - QCALMIN) + LMIN_{\lambda}$$

در این رابطه L_{λ} بیانگر تابش طیفی در روزنه سنسور و $LMIN$ حداقل تابش طیفی و $LMAX$ بیانگر حداکثر تابش طیفی برای هر باند است. $QCALMAX$ بیانگر حداکثر مقدار هر یاخته واسنجی شده در واحد DN و $QCALMIN$ بیانگر حداقل مقدار هر یاخته واسنجی شده در واحد DN است. DN مقدار عددی هر یاخته است و بیانگر λ طول موج است. این مقادیر به همراه هر تصویر ماهواره‌ای موجود است. (Haibin, et al, ۲۰۱۰).
در ادامه از شاخص پوشش گیاهی برای شناسایی پوشش گیاهی استفاده گردید.

$$NDVI = \frac{(\rho NIR - \rho RED)}{(\rho NIR + \rho RED)}$$

برای محاسبه شاخص NDVI از باند قرمز برای محدوده مرئی و از باند مادون قرمز نزدیک استفاده شد (کرکئل، ۱۹۹۷).
از آن جایی که شورش‌دگی خاک یکی از فرایندهای بیولوژیکی ناشی از بیابان‌زایی است و برعکس، افزایش شوری خاک می‌تواند یکی از دلایل کاهش توان بوم‌شناختی و زیست‌شناختی یک منطقه و به نوع عامل تخریب اراضی و رخداد بیابان‌زایی باشد. بنابراین با استفاده از ارزیابی شاخص شورش‌دگی خاک در دوره‌های زمانی مختلف می‌توان به روند بیابان‌زایی یک منطقه پی‌برد (زارعانی و همکاران، ۱۳۹۰). در این پژوهش از شاخص‌های زیر برای تعیین مقدار شوری خاک استفاده گردید.

(Douaouietal, ۲۰۰۶)

$$S1 = \sqrt{b2 \times b3}$$

$$S2 = \sqrt{b2^2 + b3^2 + b4^2}$$

$$S3 = \sqrt{b2^2 + b3^2}$$

در ادامه، نقشه کاربری‌های منطقه به صورت طبقه‌بندی نظارت شده به روش Fuzzy ARTMAP تهیه گردید (Mannan amd Roy, ۱۹۹۸). به منظور آشکارسازی تغییرات در منطقه نیز از مدل LCM بهره گرفته شد.

مدل زنجیره مارکوف -

بنیان‌گذار این روش آندره آندروویچ مارکوف، آماردان و ریاضی‌دان بزرگ روسی است که این روش را در سال ۱۹۰۵ برای توصیف اصل حرکت سیکلوئیدی (زنجیره ای) به صورت سلسله آزمایش‌های زنجیره ای انجام داده است (قهرمان، ۱۳۸۳). آنالیز زنجیره مارکوف ابزارهای مناسب جهت مدلسازی تغییرات کاربری و پوشش اراضی است و زمانی کاربرد دارد که تغییرات موجود در چشم اندازه‌ها به راحتی قابل توصیف نباشد. زنجیره مارکوف مجموعه ای از مقادیر تصادفی است که احتمال آنها در فاصله زمانی داده شده به مقدار اعداد در زمان گذشته وابسته است (فان و همکاران، ۲۰۰۷). مدل مارکوف به طور معمول در پیش‌بینی ویژگی‌های جغرافیایی بدون هیچ اثر ثانوی استفاده می‌شود و در حال حاضر به یک روش پیش‌بینی مهم در تحقیقات جغرافیایی تبدیل شده است (Sang, et al, ۲۰۱۱). زنجیره مارکوف تغییرات کاربری زمین را از یک دوره به دوره دیگر را بیان کرده و از آن به عنوان پایه ای برای نقشه سازی تغییرات آینده استفاده می‌کند. این کار با استفاده از توسعه یک ماتریس احتمال انتقال تغییرات کاربری زمین از زمان ۱ به زمان ۲ انجام می‌گیرد که بعنوان پایه ای برای نقشه سازی دوره های زمانی آینده مورد استفاده قرار خواهد گرفت (ماهینی و کامیاب، ۱۳۸۹). بر اساس احتمال شرطی رابطه بیز، پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در مدل مارکوف با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌گردد (Sang et al, ۲۰۱۱).

$$S(t + 1) = p_{ij} \times s(t)$$

در این رابطه؛ $S(t)$ و $S(t + 1)$ حالت های سیستم در زمان t و $t+1$ هستند، و p_{ij} ماتریس احتمال انتقال در یک حالت است که از طریق رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

$$p_{ij} = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1n} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{n1} & p_{n2} & \dots & p_{nn} \end{bmatrix}$$

$$\left(0 \leq p_{ij} < 1 \text{ and } \sum_{j=1}^N p_{ij} = 1. (i, j = 1, 2, \dots, n) \right)$$

در مباحث مربوط به زنجیره های مارکوف، بر اساس یک روش احتمالاتی و با در نظر گرفتن گذشت زمان بر کاربری‌ها (یاخته های تصویر) تغییرات ایجاد شده را نشان می‌دهند و بر اساس این تحلیل مشخص می‌کنند که در زمان مورد نظر، کاربری های مورد نظر به چه میزان تغییر می‌یابند.

- مدل سلولهای خودکار (CA^۲)

در این مدل فضا به صورت یک شبکه تعریف می‌گردد که به هر خانه آن یک سلول گفته می‌شود. سلولهای خودکار در زمان‌های گسسته به طور همزمان و بر طبق یک قانون محلی به‌نگام می‌شوند. مقدار هر سلول بر اساس مقادیر سلولهای همسایه و خود آن سلول تعیین می‌گردد (اسلمی و همکاران، ۱۳۹۳). مدل سلول‌های خودکار را می‌توان از رابطه زیر بدست آورد (Sang, et al, ۲۰۱۱):

$$S(t,t+1)=f(S(T),N)$$

در این رابطه؛ S مجموعه محدود و مجزا از حالت‌های سلولی، N زمینه سلولی، t و t+1 نشان‌دهنده زمانی‌های مختلف و f قوانین انتقال حالت‌های سلولی در فضای محلی است.

- مدل تلفیقی زنجیره مارکوف و سلولهای خودکار

با اجرای مدل زنجیره مارکوف چند تصویر احتمال ایجاد می‌شود. این تصاویر که از ماتریس احتمال انتقال بدست آمده‌اند، احتمال اینکه هر نوع از پوشش زمین در هر موقعیت مکانی در آینده پیدا شود را بیان می‌کنند. اگرچه احتمالات انتقال در هر کاربری دارای دقت زیادی است، اما اطلاعاتی از توزیع مکانی مربوط به کاربری‌ها وجود ندارد. بنابراین، مدل تصادفی مارکوف فاقد هر گونه اطلاعات وابستگی مکانی است و در مقابل شبکه خودکار عاملی است که توانایی تغییر وضعیتش را بر اساس بکارگیری قانونی که وضعیت جدید را مطابق با وضعیت قبلی و وضعیت همسایگانش نشان می‌دهد داراست. از فیلتر CA نیز برای توسعه یک فاکتور وزندهی-مجاورت مکانی برای تغییر وضعیت سلول‌ها بر اساس وضعیت همسایه‌اش استفاده خواهد شد. بنابراین برای مرتفع ساختن مشکلات این دو روش، از روش ترکیبی CA-MARKOV استفاده می‌شود (ماهینی و کامیاب، ۱۳۹۰).

- صحت سنجی و اعتبار پیش‌بینی

برای تعیین اعتبار پیش‌بینی از شاخص انطباق کاپا استفاده گردید که هر چه به عدد یک یا بر حسب درصد به عدد صد نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده اعتبار بالای مدل در پیش‌بینی مورد نظر است.

$$K = \frac{\sum_{i=1}^T X_{ii} - \sum_{i=1}^T (X_{i+} \times X_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^T (X_{i+} \times X_{+i})}$$

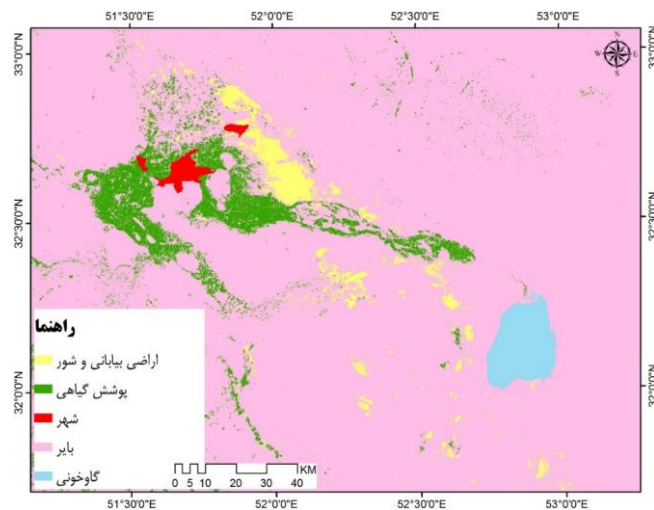
در این رابطه: T تعداد سطرهای ماتریس خطا، X_{ii} تعداد مشاهدات در سطر i و ستون، X_{i+} جمع کل درایه‌های سطری غیر از درایه‌های قطر اصلی، X_{+i} جمع کل درایه‌های ستونی غیر از درایه‌های قطر اصلی، N تعداد کل یاخته‌های موجود در ماتریس است (Cangalton, ۱۹۹۱).

شرح و تفسیر نتایج

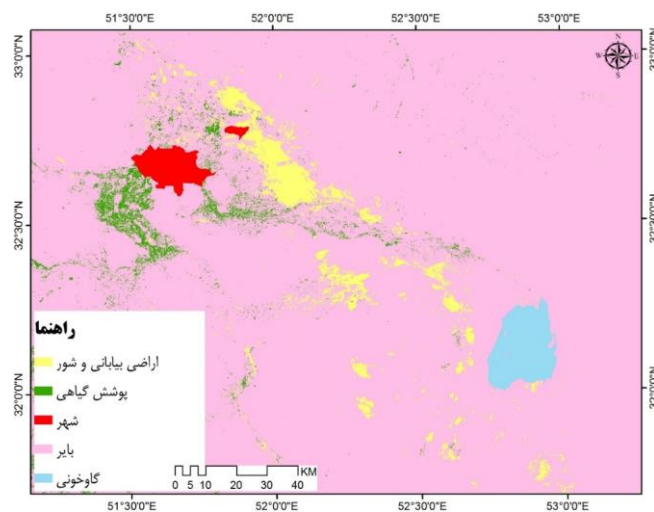
در پژوهش حاضر از تصاویر ماهواره لندست (۵ و ۷ و ۸) و روش طبقه‌بندی نظارت شده Fuzzy ARTMAP جهت تهیه نقشه کاربری منطقه استفاده گردید. شکل‌های ۲ تا ۶ نقشه‌های کاربری اراضی برای ۵ تاریخ ارائه شده را نشان

می‌دهد. بر این اساس منطقه مطالعاتی به پنج کاربری اراضی بیابانی و شور، پوشش گیاهی، شهر، اراضی بایر و منطقه گاوخونی تقسیم بندی گردید. پس از تهیه نقشه کاربری ها اقدام به آشکارسازی تغییرات و بررسی تغییرات اتفاق افتاده در طی دوره های زمانی مورد مطالعه گردید. این تغییرات شامل کاهش ها، افزایش ها و تغییرات خالص برای هر کاربری و انتقال از یک کاربری به کاربری دیگر می شود. طبق نتایج بدست آمده در جدول شماره ۲ بیشترین شدت تغییرات را می توان در پوشش گیاهی سال ۱۹۹۴ نسبت به سال ۱۹۸۶ مشاهده کرد به گونه ای که در طی این دوره ۸ ساله حدود ۱۰۶۳ کیلومتر مربع از وسعت پوشش گیاهی کاسته شده است. اما در طی همین دوره اراضی بایر حدود ۷۲۸ کیلومتر مربع افزایش داشته است. در عین حال، اراضی شور و بیابانی در همین دوره ۸ ساله حدود ۲۳۳ کیلومتر مربع افزایش را نشان می دهد. همچنین محدوده گاوخونی کاهش ۳۰ کیلومتر مربعی را در وسعت خود در طی ۸ سال فوق نشان می دهد که حکایت از کاهش ورودی آب به این تالاب و خشکی شدید منطقه دارد. در عین حال، وسعت شهر اصفهان رشد حدود ۱۳۰ کیلومتر مربعی را به همراه داشته است که گسترش شهرنشینی را در این دوره نسبت به دیگر دوره ها نشان می دهد. در طی دوره ۲۰۰۰ نسبت به دوره ۱۹۹۴ اراضی بیابانی و شور ۴۹۵ کیلومتر مربع افزایش وسعت داشته و محدوده اراضی بایر ۵۲۷ کیلومتر مربع کاهش را نشان می دهد. به عبارت دیگر، بیشترین افزایش اراضی بیابانی و شور در طی ۵ تاریخ مورد مطالعه در طی دوره ۲۰۰۰ نسبت به دوره ۱۹۹۴ رخ داده است؛ به گونه ای که افزایش شدیدی در حدود ۴۹۵ کیلومتر مربع را آشکار می سازد. این بدان معنا است که وسعت این بخش از ۷۷۰ کیلومتر مربع به ۱۰۰۳ کیلومتر مربع افزایش یافته است. البته این افزایش در اراضی بیابانی و شور با کاهش شدید محدوده اراضی بایر همراه بوده است؛ به گونه ای که ۵۲۷ کیلومتر مربع کاهش را در این اراضی در طی حدود ۶ سال مزبور شاهد هستیم. همچنین محدوده شهر در طی این دوره ۶ ساله در رده سوم تغییرات قرار دارد که با ۵۷ کیلومتر مربع افزایش همراه بوده است؛ به طوری که وسعت آن به ۲۶۲ کیلومتر مربع رسیده است. اما محدوده گاوخونی کماکان همانند دوره قبلی با کاهش مساحت همراه بوده؛ به گونه ای که وسعتی در حدود ۲۴ کیلومتر مربع از این تالاب مهم و حیاتی در طی این دوره ۶ ساله کسر شده است. در دوره هشت ساله ۲۰۰۸ نسبت به سال ۲۰۰۰ بیشترین تغییرات کماکان در اراضی بیابانی و شور دیده می شود که ۲۴۳ کیلومتر مربع افزایش را نشان می دهد. بیشترین تغییرات افزایشی در رده دوم در محدوده شهر دیده می شود که افزایشی حدود ۴۵ کیلومتر مربع را نشان می دهد. این میزان افزایش حدود ۲۹۰ کیلومتر مربعی در اراضی شور و بیابانی و محدوده شهر با کاهش ۲۱۱ کیلومتر مربعی اراضی بایر و ۶۵ کیلومتر مربعی کاهش محدوده گاوخونی در طی ۸ سال همراه بوده است. در عین حال، در طی همین دوره پوشش گیاهی نیز ۱۲ کیلومتر مربع کاهش را نشان می دهد. در نهایت در دوره ۸ ساله آخر بین سال های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۶ شدیدترین تغییرات با افزایش ۲۹۰ کیلومتر مربعی اراضی شور و بیابانی و کاهش ۲۳۶ کیلومتر مربعی اراضی بایر اتفاق افتاده است. شهر نیز در طی همین دوره ۸ ساله افزایش وسعت ۲۵ کیلومتر مربع را نشان می دهد. همانند سه دوره قبلی همچنان وسعت محدوده باتلاق گاوخونی با کاهش همراه بود، به گونه ای که ۷۷ کیلومتر مربع نسبت به سال ۲۰۰۸ از وسعت این تالاب ارزشمند کاسته شده است. به طور کلی می توان گفت که وسعت اراضی بیابانی و شور در طی دوره ۳۰ ساله مورد بررسی حدود ۱۲۶۰ کیلومتر مربع در منطقه افزایش یافته

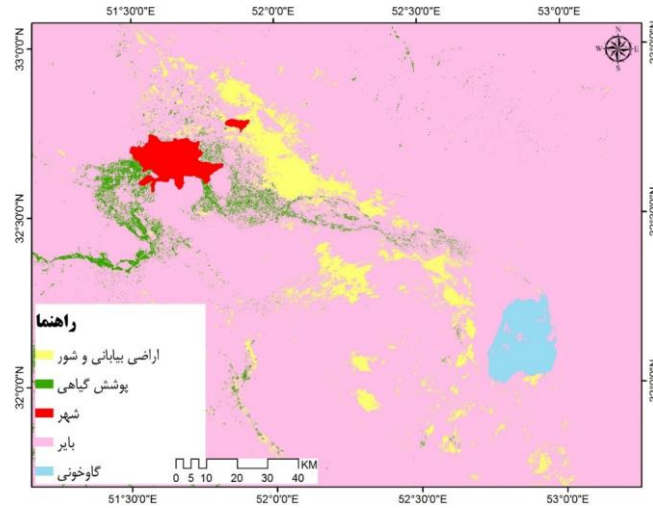
است. این میزان رشد اراضی بیابانی و شور در طی ۳۰ سال باعث کاهش حدود ۲۰۰ کیلومتر مربع از اراضی تالاب گاوخونی و حدود ۲۵۰ کیلومتر مربع از اراضی بایر شده است. در عین حال، وسعت پوشش گیاهی نیز در بازه زمانی مطالعاتی با کاهش حدود ۱۰۷۹ کیلومتر مربعی همراه بوده است. در حالی که رشد شهر در همین ۳۰ سال افزایشی در حدود ۲۶۰ کیلومتر مربع را نشان می‌دهد (جدول شماره ۲).



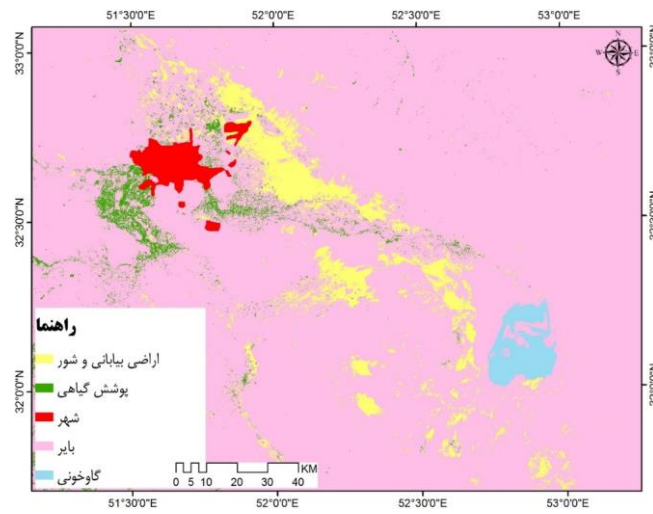
شکل ۲: کاربری اراضی در سال ۱۹۸۶



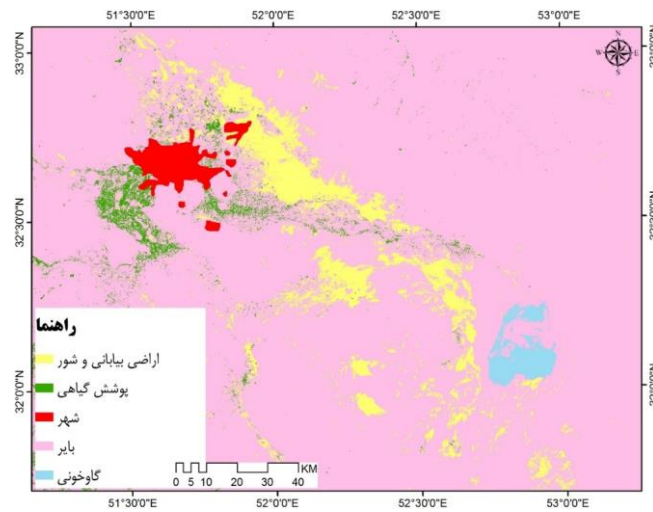
شکل ۳: کاربری اراضی در سال ۱۹۹۴



شکل ۴: کاربری اراضی در سال ۲۰۰۰



شکل ۵: کاربری اراضی در سال ۲۰۰۸



شکل ۶: کاربری اراضی در سال ۲۰۱۶

جدول ۲: مساحت کاربری‌ها (کیلومتر مربع)

کاربری	سال ۱۹۸۶	سال ۱۹۹۴	سال ۲۰۰۰	سال ۲۰۰۸	سال ۲۰۱۶
پوشش گیاهی	۱۶۹۵	۶۳۲	۶۳۱	۶۱۹	۶۱۶
اراضی بیابانی و شور	۷۷۰	۱۰۰۳	۱۴۹۸	۱۷۴۲	۲۰۳۲
گاوخونی	۴۹۴	۴۶۴	۴۴۰	۳۷۴	۲۹۷
اراضی بایر	۲۷۹۶۳	۲۸۶۹۱	۲۸۱۶۴	۲۷۹۵۲	۲۷۷۱۶
شهر	۱۳۰	۲۶۲	۳۱۹	۳۶۵	۳۹۰

بر اساس جدول ۳ تا ۶ که ماتریس درصد تغییرات را در کاربری‌ها نشان می‌دهد، طی دوره ۸ سال ۱۹۸۶ تا ۱۹۹۴، کاربری پوشش گیاهی بیشترین کاهش را به سمت کاربری شهر داشته، به گونه‌ای که حدود ۶۷ درصد از این کاهش به نفع رشد شهر بوده است. اراضی بایر و شور و بیابانی نیز در رده‌های بعدی هستند که کاهش ۳/۵ درصدی و ۱/۳ درصدی را نشان می‌دهد. همچنین اراضی شور و بیابانی بیشترین پیشروی را به سمت اراضی بایر آشکار می‌سازد که باعث کاهش حدود ۳۰ درصدی این اراضی شده است. در دوره ۲۰۰۰ نسبت به ۱۹۹۴ پوشش گیاهی همچنان به نفع رشد شهر کاهش را نشان می‌دهد. در این بازه زمانی اراضی شور و بیابانی همانند دوره قبلی بیشترین پیشروی را به سمت اراضی بایر داشته که این میزان حدود ۴۹ درصد بوده است. در عین حال، بیشترین رشد شهر نیز به سمت اراضی بایر بوده که با کاهش حدود ۱۸ درصدی اراضی بایر همراه بوده است. همچنین این افزایش رشد شهری کاهش حدود ۳/۳ درصدی پوشش گیاهی را نیز نشان می‌دهد. در طی دوره سوم منتهی به سال ۲۰۰۸ رشد شهر همراه با کاهش وسعت اراضی بایر بوده است، به گونه‌ای که کاهشی در حدود ۱۱/۵ درصد را آشکار می‌سازد. اراضی شور و بیابانی نیز در این دوره ۸ ساله بیشترین پیشروی را به سمت اراضی بایر داشته است؛ کاهش حدود ۱۶/۷ درصدی اراضی بایر به نفع زمین‌های شور و بیابانی این موضوع را نشان می‌دهد. در دوره ۸ ساله آخر ۲۰۰۸ به ۲۰۱۶ نیز کماکان گسترش اراضی شور و بیابانی منجر به کاهش وسعت اراضی بایر شده است. این پیشروی نیز رقمی در حدود ۱۶/۷ درصد را نشان می‌دهد. به عبارت دیگر، در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۶ اراضی شور و بیابانی حدود ۳۳ درصد از وسعت اراضی بایر را اشغال و به تصرف خود در آورده است. در عین حال در بازه زمانی ۲۰۰۸-۲۰۱۶ اراضی بایر نیز به سمت تالاب گاوخونی پیشروی قابل توجهی را نشان می‌دهد.

جدول ۳: ماتریس درصد تغییرات کاربری‌های در دوره ۱۹۸۶-۱۹۹۴

شهر	گاوخونی	بایر	اراضی شور و بیابانی	پوشش گیاهی	شهر
پوشش گیاهی	۰	-۳/۴۷	-۱/۲۶	۰	-۶۷/۵۴
اراضی بیابانی و شور	۰/۵۶	۰/۸۲	۰	۰/۱۲	-۰/۱۲
بایر	۵۷/۰۴	۰	-۲۹/۹۴	۵/۹۱	-۳۳/۱۴
گاوخونی	۰/۰۱	-۰/۱	۰/۰۳	۰	۰
شهر	۵/۱۸	۰/۱۵	۰/۰۲	۰	۰

جدول ۴: ماتریس درصد تغییرات کاربری های در دوره ۱۹۹۴-۲۰۰۰

شهر	پوشش گیاهی	اراضی شور و بیابانی	بایر	گاوخونی
پوشش گیاهی	۰	-۰/۴۹	۰/۰۴	۰
اراضی بیابانی و شور	۰/۷۸	۰	۱/۷۱	-۰/۰۱
بایر	-۱/۹	-۴۹/۲	۰	۵/۱۵
گاوخونی	۰	۰/۰۱	-۰/۰۸	۰
شهر	۱/۳۸	۰/۰۴	۰/۱۷	۰

جدول ۵: ماتریس درصد تغییرات کاربری های در دوره ۲۰۰۰-۲۰۰۸

شهر	پوشش گیاهی	اراضی شور و بیابانی	بایر	گاوخونی
پوشش گیاهی	۰	۰/۱۲	-۰/۰۳	۰
اراضی بیابانی و شور	-۰/۲۹	۰	۰/۸۹	-۰/۰۱
بایر	۱/۳۸	-۱۶/۶۹	۰	-۱۴/۹۶
گاوخونی	۰	۰	-۰/۲۳	۰
شهر	۰/۰۹	۰/۵۶	۰/۱۳	۰

جدول ۶: ماتریس درصد تغییرات کاربری های در دوره ۲۰۰۸-۲۰۱۶

شهر	پوشش گیاهی	اراضی شور و بیابانی	بایر	گاوخونی
پوشش گیاهی	۰	۰	۰	۰
اراضی بیابانی و شور	۰	۰	۱/۰۴	۰
بایر	۰	-۱۶/۶۹	۰	۲۰/۵
گاوخونی	۰	۰	-۰/۲۷	۰
شهر	۰/۲	۰/۰۵	۰/۰۸	۰

پس از تهیه نقشه کاربری اراضی برای پیش بینی تغییرات کاربری اراضی از مدل زنجیره مارکوف و سلولهای خودکار استفاده گردید. زنجیره مارکوف بر روی دو نقشه کاربری اراضی که از تصاویر ماهواره ای بدست آمده و ماتریس احتمال انتقال اجرا شد. بر این اساس، وضعیت کاربری زمین و تغییرات کاربری ها در سال ۲۰۰۸ متکی به دوره ۸ ساله قبلی است. در ادامه نقشه احتمال تغییر برای ۸ سال دوم منتهی به سال ۲۰۱۶ ایجاد گردید و سپس این نقشه با نقشه واقعی که از تصویر ماهواره ای سال ۲۰۱۶ حاصل گردید مقایسه شد. یکی از مسائل شایسته توجه پس از پردازش تصویر ماهواره ای و طبقه بندی و نهایتاً پیش بینی، ارزیابی دقت است. با توجه به تطابق نتایج تحلیل کاربری ها با واقعیت، ضریب کاپای حاصل از ماتریس خطا بین نقشه بدست آمده از مدل سازی و نقشه کاربری اراضی به دست آمده از تصویر ماهواره ای سال ۲۰۱۶، عدد ۷۸ درصد را نشان داد. در ادامه، اقدام به ساخت سناریوی آینده در دوره ۸ سال بعدی (۲۰۲۴-۲۰۱۶) شد. این کار با توجه به تغییرات رخ داده در دوره (۲۰۰۸-۲۰۱۶) بر اساس مدل CA-Markov اجرا گردید. نتایج بدست آمده به صورت

ماتریس احتمال انتقال ارائه گردید. بر اساس نتایج جدول شماره ۷ بیشترین میزان تغییر در پوشش گیاهی منطقه دیده می‌شود، که حدود ۶۰٪ از پوشش گیاهی منطقه از بین خواهد رفت و به اراضی بایر تبدیل خواهد شد. از طرفی حدود ۱٪ از پوشش گیاهی منطقه نیز به اراضی شور و بیابانی بدل خواهند شد و شهر نیز حدود کمتر از یک درصد از پوشش گیاهی را خواهد گرفت. فقط ۳۷٪ از پوشش گیاهی منطقه در ۸ سال آینده بدون تغییر خواهد بود. از طرفی اراضی شور و بیابانی علاوه بر هجوم به سمت پوشش گیاهی، حدود ۳/۳٪ از اراضی بایر را نیز تحت سلطه خود در می‌آورد و کمتر ۰/۰۱٪ از شهر و گاوخونی را نیز اشغال می‌کند. بیشترین میزان ثبات و پایداری در کاربری های اراضی با حدود ۹۸/۹٪ در شهر دیده می‌شود. گاوخونی نیز حدود ۳۲٪ از وسعت خود را نسبت به سال ۲۰۱۶ از دست خواهد داد و به اراضی بایر تبدیل می‌گردد.

جدول ۷: ماتریس احتمال انتقال

پوشش گیاهی	پوشش گیاهی	اراضی شور و بیابانی	گاوخونی	بایر	شهر
پوشش گیاهی	۰/۳۷۶۲	۰/۱۰۱	۰	۰/۶۰۶۲	۰/۰۰۷۵
اراضی بیابانی و شور	۰/۰۰۴۵	۰/۹۸۷۸	۰	۰/۰۰۱۶	۰/۰۰۶۱
گاوخونی	۰	۰/۰۰۰۱	۰/۶۷۶۰	۰/۳۲۳۹	۰
بایر	۰/۰۲۳۵	۰/۰۳۳۵	۰	۰/۹۳۹۲	۰/۰۰۳۸
شهر	۰/۰۰۲۸	۰/۰۰۰۱	۰	۰/۰۰۷۵	۰/۹۸۹۶

نتیجه گیری

اساساً شناخت و ارزیابی روند بیابان‌زایی و پیش‌بینی تغییرات کاربری‌ها در هر منطقه می‌تواند زمینه را برای مدیریت بهینه محیط مهیا نماید. از مهمترین دستاوردهای بیابان‌زایی در هر پهنه جغرافیایی می‌توان به کاهش توان اکولوژیکی و بیولوژیکی زمین اشاره نمود که ممکن است به صورت طبیعی و یا غیرطبیعی رخ دهد. با توجه به گسترش بیابان‌زایی در منطقه اصفهان بویژه در سال‌های اخیر، این پژوهش با هدف پایش روند این پدیده مخاطره‌آمیز و تغییرات کاربری‌های منطقه شرق و جنوب اصفهان طی ۳۰ سال اخیر و در عین حال پیش‌بینی این تغییرات در آینده صورت گرفت. بدین منظور از داده‌های رقومی ماهواره لندست ۵ و ۷ و ۸ در ۵ تاریخ مختلف استفاده گردید. تاریخ‌ها به گونه‌ای انتخاب شدند که دارای حداقل پوشش ابر باشند. از طرفی چون پیش‌بینی به عنوان هدف در این پژوهش مدنظر قرار گرفت از مدل ترکیبی CA-Markov استفاده گردید. در این راستا ابتدا بر مبنای روش Fuzzy-ARTMAP اقدام به شناسایی کاربری اراضی در تاریخ‌های ۵ گانه شد. سپس بر مبنای روش LCM تغییرات کاربری‌های منطقه تعیین گردید. طبق نتایج بدست آمده در طی دوره ۱۹۹۴-۱۹۸۶ اراضی بایر بیشترین افزایش را نشان می‌دهد که باعث تخریب ۵۷٪ از پوشش گیاهی منطقه شده است. ولی اراضی شور و بیابانی حدود ۳۰٪ از اراضی بایر را اشغال کرده است. در دوره بعدی (۲۰۰۰-۱۹۹۴) اراضی شور حدود ۴۹٪ از اراضی بایر را اشغال کرده و باعث تخریب حدود ۰/۵ کیلومتر مربع از پوشش گیاهی نسبت به دوره قبل شده است. در دوره ۲۰۰۸-۲۰۰۰ اراضی شور و بیابانی افزایش ۱۶٪ را نشان می‌دهد. در دوره آخر (۲۰۱۶-۲۰۰۸)، شهر فقط باعث کاهش پوشش گیاهی شده، ولی اراضی بایر حدود ۲۰٪ به سمت گاوخونی پیشروی داشته است. با توجه به اجرای مدل

پیش بینی CA-Markov مشخص گردید که فقط ۳۷٪ از پوشش گیاهی منطقه در ۸ سال آینده (۲۰۲۴-۲۰۱۶) بدون تغییر خواهد بود. در عین حال، اراضی شور و بیابانی علاوه بر هجوم به سمت پوشش گیاهی، حدود ۳/۳٪ از اراضی بایر را نیز تحت تسلط خود در می آورد و کمتر از ۰/۱٪ از شهر و گاوخونی را نیز اشغال می کند. گاوخونی نیز حدود ۳۲٪ از مساحت خود را در مقایسه با سال ۲۰۱۶ از دست خواهد داد و اراضی بایر جایگزین آن می گردد.

منابع

- احمدی، حسن؛ ۱۳۸۳. بررسی عوامل موثر در بیابان زایی. *جنگل و مرتع*، ۶۲: ۶۶-۷۱.
- اسلمی، فرنوش؛ اردوان قربانی، بهروز سبحانی و محسن پناهنده. ۱۳۹۳. مقایسه ی روش های شبکه عصبی مصنوعی، ماشین بردار پشتیبان و شیء‌گرا در استخراج کاربری و پوشش اراضی از تصاویر لندست ۸. *کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی*، ۳: ۱-۱۴.
- آذر مهر، محمدرضا؛ محمدسعدی مسگری و محمد کریمی. ۱۳۸۹. مدل سازی مکانی زمانی بیماری مالاریا با استفاده از Geographic Information System و روش Cellular Automata. *بیماریهای عفونی و گرمسیری ایران*، ۴۸: ۶۱-۶۹.
- جباری، کاظم و سیمین احمدی. ۱۳۹۱. *مدلسازی توسعه شهری با استفاده از GIS و سلولهای خودکار*. چاپ اول. انتشارات آذرکوک. زنجان.
- دادرسی، سبزواری و ابوالقاسم پاکپور. ۱۳۸۶. بررسی روند بیابان زایی به روش سنجش از دور و نزدیک در اراضی دشت سبزواری. *تحقیقات مرتع و بیابان ایران*، ۱۴: ۳۳-۵۲.
- زارع گاریزی، آرش؛ سعدالدین امیر شیخ واحدبردی و عبدالرسول سلمان ماهینی. ۱۳۹۰. شبیه سازی مکانی- زمانی تغییرات گستره جنگل در آبخیز چهل چای استان گلستان با استفاده از مدل تلفیقی سلول های خودکار و زنجیره مارکف. *تحقیقات جنگل و صنوبر ایران*، ۴: ۲۷۳-۲۸۵.
- زارعانی ارنانی، محمد؛ محمدعلی حکیم زاده، زهرا گیوئی اشرف و زهره ابراهیمی خوسفی. ۱۳۹۰. روندیابی شوری خاک با استفاده از سنجش از دور به منظور ارزیابی بیابان زایی مطالعه موردی دشت مروست استان یزد. *مجموعه مقالات دومین همایش ملی مقابله با بیابان زایی و توسعه پایدار تالابهای کویری ایران*. تهران.
- زهنایان، غلامرضا و عمار رفیعی امام. ۱۳۸۲. ESAs روشی جدید برای ارزیابی و تهیه نقشه حساسیت مناطق به بیابان زایی. *بیابان*، ۸: ۱۲۰-۱۲۶.
- سرودی، منا و سیدعلی جوزی. ۱۳۹۰. پیش بینی تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از مدل مارکوف (مطالعه موردی: منطقه ۴ شهرداری تهران). *کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی*، ۲: ۸۳-۹۶.
- سلمان ماهینی، عبدالرسول و حمیدرضا کامیاب. ۱۳۹۰. *سنجش از دور و سامانه های اطلاعات جغرافیایی کاربرد ی با نرم افزار ادریسی*. چاپ اول. نشر مهر مهدیس.
- صدری، سجاد. ۱۳۹۴. *پایش بیابان زایی کویر درانجیر*، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه اصفهان.

صیدی لو، محمود؛ الهام امینی و فرهاد حمزه. ۱۳۹۵. ارزیابی گسترش فیزیکی شهر رباط کریم و تأثیر آن بر روی اراضی کشاورزی با استفاده از فناوری سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی. کنفرانس بین‌المللی مهندسی معماری و شهرسازی. تهران.

ضیائیان فیروزآبادی، پرویز؛ علیرضا شکیبا. علی اکبر متکان و علی صادقی. ۱۳۸۸. سنجش از دور (RS)، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و مدل سلول‌های خودکار (CA) به عنوان ابزاری برای شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی شهری (مطالعه موردی: شهر شهرکرد). علوم محیطی، ۱: ۱۳۳-۱۴۸.

عزیزی قلاتی، سارا؛ کاظم رنگزن، جواد سدیدی، پیمان حیدریان و ایوب تقی زاده. ۱۳۹۵. پیش‌بینی روند تغییرات مکانی کاربری اراضی با استفاده از مدل زنجیره مارکوف-CA (مطالعه موردی: منطقه کوهمره سرخی استان فارس). سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۱: ۵۹-۷۱.

عسگریان، علی؛ بهمن جباریان امیری، افشین علیزاده شعبانی و جهانگیر فقهی. ۱۳۹۲. پیش‌بینی رشد مکانی و توسعه پراکنده شهر ساری با بکارگیری مدل سلول‌های خودکار-مارکوف و شاخص آنتروپی شانون. بوم‌شناسی کاربردی، ۶: ۱۳-۲۵.

علی محمدی سراب، عباس؛ علی اکبر متکان و بابک میرباقری. ۱۳۸۹. ارزیابی کارایی مدل سلول‌های خودکار در شبیه‌سازی گسترش اراضی شهری در حومه جنوب غرب تهران. برنامه ریزی و آمایش فضا (مدرس علوم انسانی)، ۴: ۸۱-۱۰۲.

فتاحی، محمدمهدی. ۱۳۸۸. بررسی روند بیابان‌زایی در استان قم با استفاده از داده‌های سنجش از دور با تأکید بر تغییرات استفاده از اراضی و تغییرات کمی و کیفی منابع آب. تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۱۶: ۲۳۴-۲۵۳.

فلاح‌تکار، سامره؛ علیرضا سفیانیان، سیدجمال الدین خواجه الدین و حمیدرضا ضیایی. ۱۳۸۸. بررسی توانایی مدل CA مارکوف در پیش‌بینی نقشه پوشش اراضی (مطالعه موردی: شهر اصفهان). همایش ژئوماتیک ۸۸. تهران. سازمان نقشه برداری کشور.

قهرمان، جعفر. ۱۳۸۳. کاربرد زنجیره‌های مارکوف در برنامه ریزی نیروهای انسانی (رویکرد کاربردی برای مدیران منابع انسانی در سازمان‌های اجتماعی). تحول/اداری، ۴۳-۴۴: ۷۵-۹۳.

کاوه، ندا و عطالله ابراهیمی. ۱۳۹۲. پیش‌بینی تغییرات کاربری/پوشش اراضی با مدل CA مارکوف (مطالعه موردی: رودخانه آق‌بلاغ). کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی، ۲: ۴۱-۵۱.

گل‌کار، حمیدرضا؛ مجتبی طاووسی و ایوب صادقی. ۱۳۹۱. مقابله با بیابان‌زایی با استفاده از پیش‌بینی خشکسالی. سومین همایش ملی مقابله با بیابان‌زایی و توسعه پایدار تالاب‌های کویری ایران. اراک. دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک.

مرادی، حمیدرضا؛ محمدرضا فاضل‌پور، حمیدرضا صادقی و زین‌الدین حسینی. ۱۳۸۷. بررسی تغییر کاربری اراضی در بیابان-زایی محدوده شهر اردکان با استفاده از سنجش از دور. تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۱۵: ۱-۱۲.

موسوی، حجت؛ عباسعلی ولی، مسعود معیری و ابوالفضل رنجبر. ۱۳۹۲. پایش وضعیت بیابان‌زایی کویر حاج علی قلی (۱۹۸۷، ۲۰۰۶). پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۴: ۸۵-۱۰۲.

میرزایی زاده، وحید؛ مریم نیک‌نژاد و جعفر اولادی. ۱۳۹۴. ارزیابی الگوریتم‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده غیرپارامتریک در تهیه نقشه پوشش زمین با استفاده از تصاویر لندست ۸. سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی، ۳: ۲۹-۴۴.

نیازی، یعقوب؛ محمدرضا اختصاصی، حسین ملکی نژاد، سیدزین العابدین حسینی و جعفر مرشدی. ۱۳۸۹. مقایسه دو روش طبقه بندی حداکثر احتمال و شبکه عصبی مصنوعی در استخراج نقشه کاربری اراضی (مطالعه موردی: حوضه سد ایلام)، *جغرافیا و توسعه*، ۴۰: ۱۱۹-۱۳۲.

Chang, CL. and J. Chang. ۲۰۰۶. Markov model and cellular automata for vegetation. *Journal of Geographical Research*, ۴۵: ۴۵-۵۷.

Congalton, RG. ۱۹۹۱. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, ۳۷: ۳۵-۴۶. Doi ۱۰,۱۰۱۶/۰۰۳۴-۴۲۵۷(۹۱)۹۰۰۴۸-B.

Coppin, P.; I, Jonckheere. K. Nackaerts, and B. Muys. ۲۰۰۴. Digital Change Detection Methods in Ecosystem Monitoring: A Review, *International Journal of Remote Sensing*, ۲۵: ۱۵۶۵-۱۵۹۶. DOI ۱۰,۱۰۸۰/۰۱۴۳۱۱۶۰۳۱۰۰۰۱۰۱۶۷۵

Costanza, R, and M, Ruth. ۱۹۹۸. Using dynamic modeling to scope environmental problems and build consensus. *Environmental Management*, ۲۲: ۱۸۳-۱۹۵. DOI ۱۰,۱۰۰۷/s۰۰۲۶۷۹۹۰۰۰۹۵.

Cracknell, A.P. ۱۹۹۷. *The Advanced Very High Resolution Radiometer*. Taylor & Francis, London.

Dawelbaita.; F. Morari, ۲۰۱۲. Monitoring desertification in a Savannah region in Sudan using Landsat images and spectral mixture analysis, *Journal of Arid Environments*, ۸۰: ۴۵-۵۵. DOI ۱۰,۱۰۱۶/j.jaridenv.۲۰۱۱,۱۲,۰۱۱.

Douaoui, A.E.K.; H, Nicolas, and Walteer, Ch. ۲۰۰۶, Detecting Salinity Hazards within a Semi-arid Context by Means of Combining Soil and Remote Sensing Data, *Journal of Geoderma*, ۱۳۴: ۲۱۷-۲۳۰. DOI ۱۰,۱۰۱۶/j.geoderma.۲۰۰۵,۱۰,۰۰۹.

Eastman, J.R. ۲۰۰۶. *IDRISI Andes. Tutorial*. Clark-Labs, Clark University, Worcester.

Fan, F.; Q, Wang, and Y, Wang. ۲۰۰۷, land use and land cover change in Guangzhou, China, from ۱۹۹۸ to ۲۰۰۳, based on land sat TM/ETM+ imagery, *Sensors*, ۷: ۱۳۲۳-۱۳۴۲. DOI ۱۰,۳۳۹۰/s۷۰۷۱۳۲۳

Haibin, S.; Z, Jin, Y, Shuqing, and L, Liang. ۲۰۱۰. Study of regional evapotranspiration of Hetao irrigation district based on TM Images. In: *Proceedings of the 11th World Congress of the International Commission of Agriculture and Bio systems Engineering (CIGR)*, Quebec City, Canada, June.

Harasheh, and R. Tatashi. ۲۰۰۰. desertification mapping of west ASIA –GIS and Remote sensing application available at <http://www.gis.development.net/aars>

Lamchin, M.; JY, Lee, K, Lee, eun, Lee, M, Kim, H, Lim, H, Choi and S, Kim, ۲۰۱۶, Assessment of land cover change and desertification using remote sensing technology in a local region of Mongolia, *advances in space research*, ۵۷: ۶۴-۷۷. DOI ۱۰,۱۰۱۶/j.asr.۲۰۱۵,۱۰,۰۰۶

- Li.; X and AG-O Yeh, ۲۰۰۰. Modelling sustainable urban development by the integration of constrained cellular automata and GIS. *International Journal of Geographical Information Science*, ۱۴: ۱۳۱-۱۵۲. DOI ۱۰.۱۰۸۰/۱۳۶۵۸۸۱۰۰۲۴۰۸۸۶
- Lu.; D, P, Mausel, E, Brondizio and E, Moran, ۲۰۰۴, Change detection techniques, *International Journal of Remote Sensing*, ۲۵: ۲۳۶۵-۲۴۰۱, DOI ۱۰.۱۰۸۰/۰۱۴۳۱۱۶۰۳۱۰۰۰۱۳۹۸۶۳.
- Mannan.; B. and Roy, J, ۱۹۹۸, Fuzzy ARTMAP supervised classification of multi-spectral remotely-sensed images. *International Journal of Remote Sensing*, ۱۹: ۷۶۷-۷۷۴. DOI ۱۰.۱۰۸۰/۰۱۴۳۱۱۶۹۸۲۱۵۹۹۱. DOI ۱۰.۱۰۸۰/۰۱۴۳۱۱۶۹۸۲۱۵۹۹۱.
- Qiong.; W, H, Li, R, Wang, J, Paulussen, H, Yong, M, Wang, B, Wang and Z, Wang, ۲۰۰۶. Monitoring and predicting land use change in Beijing using remote sensing and GIS, *Landscape and Urban Planning*, ۷۸: ۳۲۲-۳۳۳. DOI ۱۰.۱۰۱۶/j.landurbplan.۲۰۰۵.۱۰.۰۰۲
- Reynolds J. F. ۲۰۰۸, Cutting through the confusion: Desertification, an old problem viewed through the lens of a new framework, the Dry lands Development Paradigm (DDP), *Dry lands, Deserts & Desertification Conference December ۱۴-۱۷. SedeBoque Campus, Israel.*
- Sang, L.; C, Zhang, J, Yang, D, Zhu, and W, Yun. ۲۰۱۱. Simulation of land use spatial pattern of towns and villages based on CA-Markov model. *Mathematical and Computer Modelling*, ۵۴: ۹۳۸-۹۴۳. DOI ۱۰.۱۰۱۶/j.mcm.۲۰۱۰.۱۱.۰۱۹
- Singh, A, ۱۹۸۹, Digital Change Detection Techniques Using Remotely Sensed Data, *International Journal of Remote Sensing*, ۱۰: ۹۸۹-۱۰۰۳. DOI ۱۰.۱۰۸۰/۰۱۴۳۱۱۶۸۹۰۸۹۰۳۹۳۹
- Vaclavik.; T, and J, Rogan. ۲۰۰۹. Identifying trends in land use/land cover changes in the context of post-socialist transformation in central Europe: a case study of the greater Olomouc region, Czech Republic, *GIScience & Remote Sensing*, ۴۶: ۵۴-۷۶. DOI: ۱۰.۲۷۴۷/۱۵۴۸-۱۶۰۳,۴۶,۱,۵۴.