

ارزیابی و پیش‌بینی تغییرات بیابان‌زایی 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 بلایابی که مناطق خشک و نیمه خشک را تحت تاثیر قرار می‌دهد و در زمرة عوامل تهدید کننده حیات بشری و تغیریب منابع طبیعی محسوب می‌شود بیابان‌زایی است، بنابراین شناخت و پیش‌بینی این پدیده از اهمیت بسزایی برخوردار است. در این راستا به منظور بررسی وضعیت بیابان‌زایی منطقه شرق و جنوب اصفهان از تصاویر ماهواره لندست ۴ و ۷ و ۸ در ۵ دوره ۱۹۸۶، ۱۹۹۴، 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 کاربری‌های منطقه مطالعاتی مشتمل بر (اراضی بیابانی و شور، پوشش گیاهی، شهر، زمین‌های بایر و گاوخونی) از روش طبقه بندی نظارت شده Fuzzy ARTMAP و برای محاسبه تغییرات در کاربری‌های پنهانه مورد بررسی در ۵ دوره فوق از مدل LCM بهره گرفته شد. در ادامه، مدل ترکیبی زنجیره مارکوف و سلولهای خودکار (CA-Markov) برای پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی استفاده گردید. برای تعیین اعتبار پیش‌بینی نیز از شاخص انطباق کاپا بهره گرفته شد که میزان ۷۸ درصد را نشان می‌دهد. 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 می‌دهد. از طرفی بیشترین شدت افزایش مناطق شور و بیابانی طی دوره ۱۹۹۴-۲۰۰۰ رخ داده که حدود ۴۹۵ کیلومتر مربع افزایش را نشان می‌دهد. در نهایت مشخص گردید که بیشترین تغییرات طی دوره ۲۰۲۴-۲۰۱۶ 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 ۲/۳ درصد از اراضی بایر، حدود ۱ درصد از پوشش گیاهی و کمتر از ۰/۰۱ درصد از شهر و تالاب گاوخونی می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: بیابان‌زایی، 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 مظاہر این تخریب است، اکثر کشورها را تحت تاثیر قرار داده و سومین چالش قرن بیست و یکم معرفی شده است. (زهتابیان 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 عنوان یک معضل گریبان گیر 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 کشورهای است (احمدی، ۱۳۸۳). این عارضه به عنوان یکی از مظاہر تخریب اراضی در زمرة مخاطرات طبیعی است که در دهه‌های اخیر با توجه به رشد روز افزون جمعیت در جهان به عنوان پدیدهای مخاطره آمیز 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 بیابان‌زایی، نظیر از بین رفتن اراضی بارور، کاهش زیست توده (بیوماس) در جنگل‌ها، مراتع و دشت‌های حاصلخیز، افت سطح آب‌های زیرزمینی و کاهش آبهای سطحی، شورشدن 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 گسترشده‌ای 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 فرم های شهری جهت توسعه پایدار را مورد بحث قرار داده اند. کوبین 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 مبنی 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 دوره های زمانی ۱۹۹۹، ۱۹۹۲ 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. داولبیت و موراری (Dawelbaita and Morari., ۲۰۱۲)، بیابان‌زایی را در منطقه سودان با استفاده از تصاویر ماهواره لنdest و تحلیل طیفی ترکیبی بررسی کردند. نتایج این پژوهش بیانگر این است که استفاده از تحلیل طیفی ترکیبی و تصاویر لنdest نتایج سازگار، دقیق و کم هزینه را برای مناطق در خطر نشان می‌دهد. لامچین و همکاران (Lamchin, et al., ۲۰۱۶) تغییرات کاربری

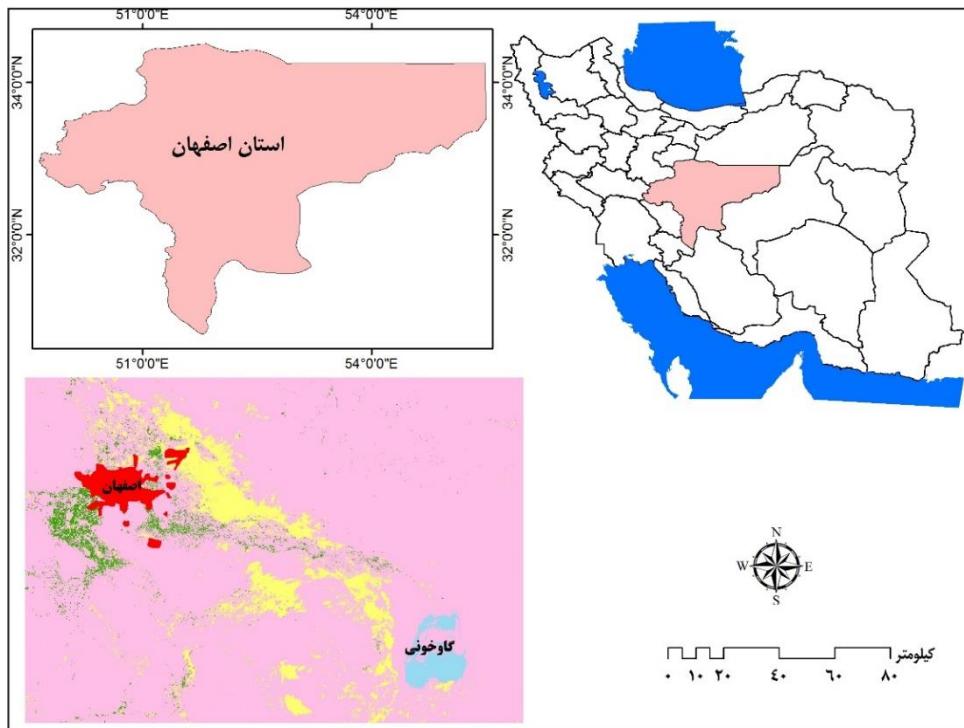
اراضی و بیبلان زایی را در مغولستان با تکنیک سنجش از دور بررسی کردند. نتایج این تحقیق هیچ رابطه‌ای بین شاخص پوشش گیاهی و میزان آلبدو یا شاخص TGSI نشان نداد، اما رابطه زیادی بین میزان TGSI و آلبدو را آشکار ساخت. همبستگی بالا بین دو شاخص TGSI و آلبدو در مناطق فاقد بیبلان زایی نیز قابل توجه بود. در ایران، دادرسی سبزواری و پاکپور، (۱۳۸۶)، روند بیبلان زایی به روش سنجش از دور و نزدیک در اراضی دشت سبزوار را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج این بررسی نشان می‌دهد که تغییر قابل ملاحظه‌ای در سطح اراضی غیرشور حادث نگشته و تغییرات دسته‌های اراضی شور به گونه‌ای است که هیچ زمین شوری به غیرشور تبدیل نشده، ولی از وسعت دسته‌های 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 بیبلان زایی محدوده شهر اردکان با استفاده از سنجش از دور پرداختند. نتایج حاصل بیانگر کاهش وسعت مناطق بیبلانی از سال ۱۳۳۴ تا ۱۳۷۶ به میزان ۲۰۰۰ هکتار و سال ۱۳۷۶ تا ۱۳۸۱ به میزان ۱۶۰ هکتار و افزایش مساحت کاربری‌های دیگر می‌باشد. فتاحی (۱۳۸۸) روند بیبلان زایی در استان قم را با استفاده از داده‌های سنجش از دور با تأکید بر تغییرات استفاده از اراضی و تغییرات کمی و کیفی منابع آب بررسی نمود. وی به این نتیجه رسید که فعالیت‌های 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، شورشدن بیشتر اراضی و افت کمی و کیفی منابع آب در استان قم همراه بوده که می‌تواند تشديد بیبلان زایی را به دنبال داشته باشد. فلاحتکار و همکاران (۱۳۸۸)، به بررسی توانایی مدل CA مارکوف در پیش‌بینی 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 پیش‌بینی تغییرات در ۲۴ سال آینده (۱۴۰۴) می‌پردازد. علی‌محمدی و همکاران (۱۳۸۹) تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین در حومه جنوب غربی تهران را با استفاده از مدل سلول‌های 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 پیش‌بینی کردند. نتایج نشان داد؛ با بکارگیری مدل مارکوف در پیش‌بینی تغییرات پوشش گیاهی منطقه تا افق ۱۴۰۴ بیشترین احتمال تخریب در اراضی تحت پوشش گیاهی با درجه سرسبی ضعیف دیده می‌شود و مقدار عددی آن ۱۶۷٪ می‌باشد. گلکار و همکاران (۱۳۹۱)، وضعیت بیبلان زایی استان خراسان جنوبی را بررسی و اقدام به مقابله با آن با روش پیش‌بینی خشکسالی با زنجیره احتمالی مارکوف کردند. نتایج نشان داد که استان خراسان جنوبی بطور متوسط هر ۴ سال پتانسیل پشت سرگذاشتن یک دوره خشک با درجه خشکسالی متوسط را دارد. عسگریان و همکاران (۱۳۹۲)، رشد مکانی و توسعه پراکنده شهر ساری را با بکارگیری مدل سلولهای خودکار-مارکوف و شاخص آنتروپی شانون پیش‌بینی 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 می‌کند که کاربری کشاورزی، پایداری زیاد و رودخانه، پایداری کمی در منطقه خواهد داشت. موسوی و همکاران (۱۳۹۲) وضعیت بیبلان زایی کویر حاج علیقلی را با تکنیک سنجش از دور در طی دوره ۱۹۸۷-۲۰۰۶ پیش‌کردند. نتایج شناسایی وضعیت بیبلان زایی این پژوهش حاکی از تغییرات گسترده در ویژگی‌های اکوژئومورفوژئی پهنه مطالعاتی است؛ به گونه‌ای که ۷۴۸ کیلومتر مربع از مساحت منطقه تحت تاثیر تغییر کاربری و کاهش توان اکولوژیک و بیولوژیک قرار گرفته است. صدری (۱۳۹۴) وضعیت بیبلان 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 چشم‌انداز 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 تغلوت‌ها در وضعیت یک پدیده با مشاهده آن در زمان‌های مختلف، پایش تغییرات نام دارد (Singh, ۱۹۸۹) و تشخیص به هنگام 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. به طور کلی، پایش تغییرات، شامل استفاده از مجموعه داده‌های چند زمانه برای تجزیه و تحلیل کمی اثرهای موقتی یک پدیده است (Luu, 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 سنجش 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 (میرزاچی زاده و همکاران، ۱۳۹۴) و از آن جایی که داده های سنجش 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، تکارپذیر 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 شبیه سازی 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 مذبور را نشان می‌دهد.

جدول ۱: تاریخ تصاویر ماهواره لندست مورد استفاده

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

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 روزنہ سنسور و LMAX حداقل تابش طیفی و LMIN بیانگر حداقل تابش طیفی برای هر باند است. QCALMAX بیانگر حداقل مقدار هر یاخته و استجی 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 (کرکنل، ۱۹۹۷). از آن جایی که شورشگی خاک یکی از فرایندهای بیولوژیکی ناشی از بیابان‌زایی است و برعکس، افزایش شوری خاک می‌تواند یکی از دلایل کاهش توان بوم شناختی و زیست شناختی یک منطقه و به نوع عامل تخریب اراضی و رخداد بیابان‌زایی باشد. بنابراین با استفاده از ارزیابی شاخص شورشگی 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)

$$\begin{aligned} S1 &= \sqrt{b_2 \times b_3} \\ S2 &= \sqrt{b_2^2 + b_3^2 + b_4^2} \\ S3 &= \sqrt{b_2^2 + b_3^2} \end{aligned}$$

در ادامه، نقشه کاربری‌های منطقه به صورت طبقه‌بندی نظارت شده به روش Fuzzy ARTMAP (Tehrīyeh گردید) Mannan (1998). به منظور آشکارسازی تغییرات در منطقه نیز از مدل LCM بهره گرفته شد.

- مدل زنجیره مارکوف

بنیان گذار این روش آندره آندرویچ مارکوف، آماردان و ریاضی دادن بزرگ روسی است که این روش را در سال ۱۹۰۵ برای توصیف اصل حرکت سیکلولئیدی (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 اندازها 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 دوره‌های 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؛ $S(t+1)$ و $S(t)$ حالت‌های سیستم در زمان $t+1$ و t هستند، و p_{ij} ماتریس احتمال انتقال در یک حالت است که از طریق رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

$$p_{ij} = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1n} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{n1} & p_{n2} & \dots & p_{nn} \end{bmatrix} \quad \left(0 \leq p_{ij} < 1 \text{ and } \sum_{j=1}^N P_{ij} = 1. \quad (i, j = 1, 2, \dots, n) \right)$$

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

- مدل سلولهای خودکار (CA^۳)

در این مدل فضای 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 مجرماً 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 دارد. از فیلتر CA نیز برای توسعه یک فاکتور وزندگی-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 ساختار انطباق کاپا استفاده گردید که هر چه به عدد یک یا بر حسب درصد به عدد صد نزدیک تر 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 خطای X_{ii} تعداد مشاهدات در سطر i و ستون i X_i^+ جمع کل درایه‌های سطrix 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).

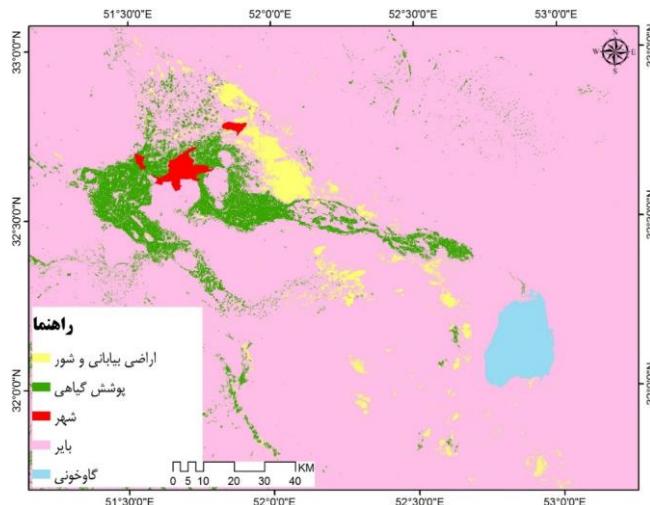
شرح و تفسیر نتایج

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

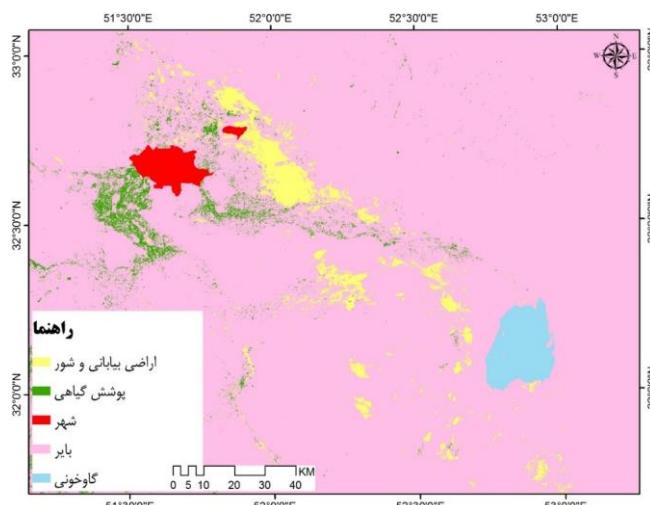
^۳ - Cellular Automata

می‌دهد. بر این اساس منطقه مطالعاتی به پنج کاربری اراضی بیابانی و شور، پوشش گیاهی، شهر، اراضی بایر و منطقه گاوه‌خونی تقسیم بندی گردید. پس از تهیه نقشه کاربری‌ها اقدام به آشکارسازی تغییرات و بررسی تغییرات اتفاق افتاده در طی دوره‌های زمانی مورد مطالعه گردید. این تغییرات شامل کاهش‌ها، افزایش‌ها و تغییرات خالص برای هر کاربری و انتقال از یک کاربری به کاربری دیگر می‌شود. طبق نتایج بدست آمده در جدول شماره ۲ بیشترین شدت تغییرات را می‌توان در پوشش گیاهی سال ۱۹۹۴ نسبت به سال ۱۹۸۶ مشاهده کرد به گونه‌ای 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 می‌دهد. همچنین محدوده گاوه‌خونی کاهش ۳۰ کیلومتر مربعی را در وسعت خود در طی ۸ سال فوق نشان می‌دهد 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 دوره‌ها نشان می‌دهد. 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 می‌دهد. 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 گونه‌ای که افزایش شدیدی در حدود ۴۹۵ کیلومتر مربع را آشکار می‌سازد. 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 گونه‌ای 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 گاوه‌خونی کماکان همانند دوره قبلی با کاهش مساحت همراه بوده؛ به گونه‌ای 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 می‌شود که افزایشی حدود ۴۵ کیلومتر مربع می‌دهد. بیشترین تغییرات افزایشی در رده دوم در محدوده شهر دیده می‌شود که افزایشی حدود ۲۱۱ کیلومتر مربع افزایش حدود ۲۹۰ کیلومتر مربعی در اراضی شور و بیابانی و محدوده شهر با کاهش را نشان می‌دهد. این میزان افزایش دوره ۲۰۰۸ نسبت به دوره ۱۹۹۴ افزایشی حدود ۶۵ کیلومتر مربعی در طی این دوره ۲۹۰ کیلومتر مربعی در اراضی شور و بیابانی و محدوده شهر با کاهش را نشان می‌دهد. در طی همین دوره پوشش گیاهی نیز ۱۲ کیلومتر مربع کاهش را نشان می‌دهد. در نهایت در دوره ۸ ساله آخر بین سال‌های 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 می‌دهد. همانند سه دوره قبلی همچنان وسعت محدوده با تلاقی گاوه‌خونی با کاهش همراه بود، به گونه‌ای که ۷۷ کیلومتر مربع نسبت به سال ۲۰۰۸ از وسعت این تالاب ارزشمند کاسته شده است. به طور کلی می‌توان گفت که وسعت اراضی بیابانی و شور در طی دوره ۳۰ ساله مورد بررسی حدوده ۱۲۶۰ کیلومتر مربع در منطقه افزایش یافته

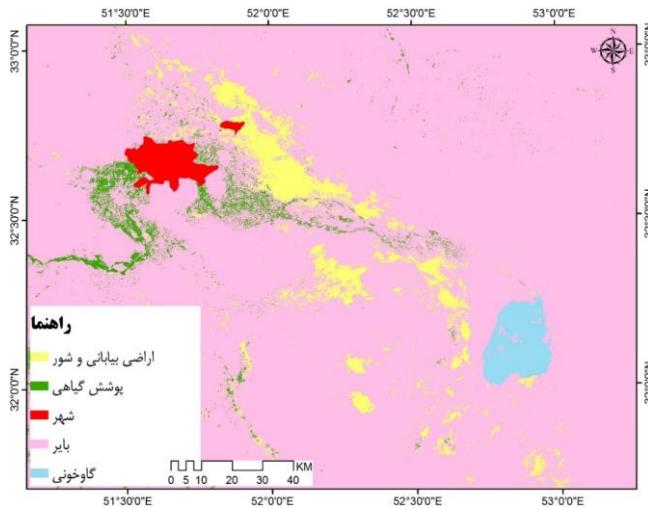
است. این میزان رشد اراضی بیابانی و شور در طی ۳۰ سال باعث کاهش حدود ۲۰۰ کیلومتر مربع از اراضی تالاب گاوخونی و حدود ۲۵۰ کیلومتر مربع از اراضی بایر شده است. در عین حال، وسعت پوشش گیاهی نیز در بازه زمانی مطالعاتی با کاهش حدود ۱۰۷۹ کیلومتر مربعی همراه بوده است. در حالی که رشد شهر در همین ۳۰ سال افزایشی در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



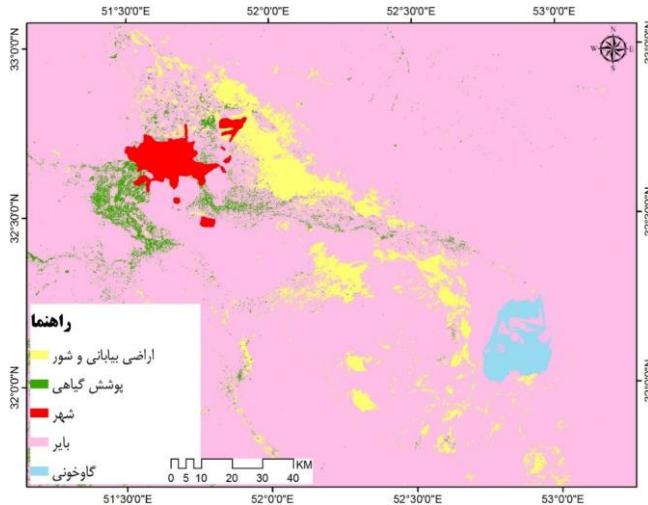
شکل ۲: کاربری اراضی در سال ۱۹۸۶



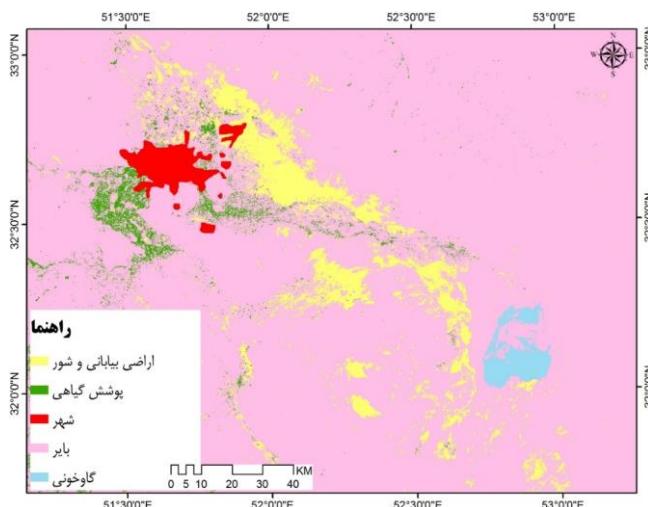
شکل ۳: کاربری اراضی در سال ۱۹۹۴



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	شهر	۱۳۰	۲۶۲	۳۱۹	۲۰۰۸	۲۰۱۶
پوشش گیاهی				۶۱۶	۶۱۹	۶۱۶
اراضی بیابانی و شور				۲۰۳۲	۱۷۴۲	۱۴۹۸
گاوخونی				۲۹۷	۳۷۴	۴۴۰
اراضی بایر				۲۷۷۱۶	۲۷۹۵۲	۲۸۱۶۴
				۳۹۰	۳۶۵	۳۱۹

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 بیابانی نیز در رده‌های بعدی هستند که کاهش $\frac{3}{5}$ درصدی و $\frac{1}{3}$ درصدی را نشان می‌دهند. 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 $\frac{3}{2}$ 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 $\frac{11}{5}$ 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 $\frac{16}{7}$ 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 $\frac{16}{7}$ 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 ۱۹۹۴-۱۹۸۶

پوشش گیاهی	باير	اراضی شور و بیابانی	گاوخونی	شهر
پوشش گیاهی	-۳/۴۷	-۱/۲۶	۰	-۶۷/۵۴
اراضی بیابانی و شور	۰/۸۲	۰	-۰/۰۵	-۰/۱۲
باير	-۲۹/۹۴	۵۷/۰۴	۵/۹۱	-۳۳/۱۴
گاوخونی	۰/۰۳	۰/۰۱	۰	۰
شهر	۰/۰۲	۵/۱۸	۰	۰

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

شهر	گاوخرنی	بایر	اراضی شور و بیابانی	پوشش گیاهی	
-۳/۳۴	.	۰/۰۴	-۰/۴۹	.	پوشش گیاهی
-۰/۱۶	-۰/۰۱	۱/۷۱	.	۰/۷۸	اراضی بیابانی و شور
-۱۸/۳	۵/۱۵	.	-۴۹/۲	-۱/۹	بایر
.	.	-۰/۰۸	۰/۰۱	.	گاوخرنی
.	.	۰/۱۷	۰/۰۴	۱/۳۸	شهر

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

شهر	گاوخرنی	بایر	اراضی شور و بیابانی	پوشش گیاهی	
-۰/۱۷	.	-۰/۰۳	۰/۱۲	.	پوشش گیاهی
-۲/۶۱	-۰/۰۱	۰/۸۹	.	-۰/۲۹	اراضی بیابانی و شور
-۱۱/۵۸	-۱۴/۹۶	.	-۱۶/۶۹	۱/۳۸	بایر
.	.	-۰/۲۳	.	.	گاوخرنی
.	.	۰/۱۳	۰/۵۶	۰/۰۹	شهر

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

شهر	گاوخرنی	بایر	اراضی شور و بیابانی	پوشش گیاهی	
-۰/۲۴	پوشش گیاهی
-۰/۲۵	.	۱/۰۴	.	.	اراضی بیابانی و شور
-۶/۴۷	۲۰/۵	.	-۱۶/۶۹	.	بایر
.	.	-۰/۲۷	.	.	گاوخرنی
.	.	۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۲	شهر

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 مตکی 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 بندهی و نهایتاً پیش بینی، ارزیابی دقت است. با توجه به تطابق نتایج تحلیل کاربری ها با واقعیت، ضربی کاپای حاصل از ماتریس خطابین 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 (۲۰۱۶-۲۰۲۴) شد. این کار با توجه به تغییرات رخ داده در دوره ۲۰۰۸-۲۰۱۶ (۲) 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 ۱٪ از شهر و گاوخونی را نیز اشغال می‌کند. بیشترین میزان ثبات و پایداری در کاربری‌های 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

شهر	باير	گاوخونی	اراضی شور و بیابانی	پوشش گیاهی	
۰/۰۰۷۵	۰/۶۰۶۲	۰	۰/۰۱۰۱	۰/۳۷۶۲	پوشش گیاهی
۰/۰۰۶۱	۰/۰۰۱۶	۰	۰/۹۸۷۸	۰/۰۰۴۵	اراضی بیابانی و شور
۰	۰/۳۲۳۹	۰/۶۷۶۰	۰/۰۰۰۱	۰	گاوخونی
۰/۰۰۳۸	۰/۹۳۹۲	۰	۰/۰۳۳۵	۰/۰۲۳۵	باير
۰/۹۸۹۶	۰/۰۰۷۵	۰	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۲۸	شهر

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 باير بیشترین افزایش را نشان می‌دهد که باعث تخریب ۵٪ از پوشش گیاهی منطقه شده است. ولی اراضی شور و بیابانی حدود ۳۰٪ از اراضی باير را اشغال کرده است. در دوره بعدی (۲۰۰۰-۱۹۹۴) اراضی شور حدود ۴۹٪ از اراضی باير را اشغال کرده و باعث تخریب حدود ۵/۰ 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 (۲۰۰۸-۲۰۱۶)، شهر فقط باعث کاهش پوشش گیاهی شده، ولی اراضی باير حدود ۲۰٪ به سمت گاوخونی پیشروی داشته است. با توجه به اجرای مدل

پیش‌بینی 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 می‌آورد و کمتر از ۰/۰۱٪ از شهر و گاوخونی را نیز اشغال می‌کند. گاوخونی نیز حدود ۳۲٪ از مساحت خود را در مقایسه با سال ۲۰۱۶ از دست خواهد داد و اراضی بایر جایگزین آن می‌گردد.

منابع

- احمدی، حسن؛ ۱۳۸۳. بررسی عوامل موثر در بیابان زایی. *جنگل و مرتع*، ۶۲: ۷۱-۶۶.
- اسلمی، فرنوش؛ اردوان قربانی، بهروز سیحانی و محسن پناهنه. ۱۳۹۳. مقایسه‌ی روش‌های شبکه عصبی مصنوعی، ماشین بردار پشتیبان و شبکه‌گرا در استخراج کاربری و پوشش اراضی از تصاویر لندست. *کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی*، ۳: ۱-۱۴.
- آذمehr، محمدرضاء؛ محمدسعدي مسگري و محمد كريمي. ۱۳۸۹. مدل سازی مکانی زمانی بیماری مalaria با استفاده از Cellular Automata و GIS. *Geographic Information System و بیماری‌های عفونی و گرم‌سیری* / ایران، ۴۸: ۶۱-۶۹.
- جباری، کاظم و سیمین احمدی. ۱۳۹۱. مدل‌سازی توسعه شهری با استفاده از GIS و سلوبهای خودکار. *چاپ اول. انتشارات آذرکلک. زنجان.*
- دادرسی، سبزواری و ابوالقاسم پاکپور. ۱۳۸۶. بررسی روند بیابان زایی به روش سنجش از دور و نزدیک در اراضی دشت سبزوار. *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 سلول‌های خودکار و زنجیره مارکف. *تحقیقات جنگل و صنوبر ایران*، ۲: ۷۳-۲۸۵.
- زارعی 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 مرöst استان یزد. *مجموعه مقالات دومین همایش ملی مقابله با بیابان زایی و توسعه پایدار تابهای کویری ایران. تهران.*
- زهتابیان، غلامرضا و عمار رفیعی امام. ۱۳۸۲. ESAs روشهای جدید برای ارزیابی و تهیه نقشه حساسیت مناطق به بیابان زایی. *بیابان*، ۸: ۱۲۰-۱۲۶.
- سرودی، مانا و سیدعلی جوزی. ۱۳۹۰. پیش‌بینی 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 سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی کاربردی با نرم افزار ادريسی. *چاپ اول. نشر مهر مهندیس.*
- صدری، سجاد. ۱۳۹۴. پایش بیابان زایی کویر در انحری، 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 متكان و علی صادقی. ۱۳۸۸. سنجش از دور (RS)، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و مدل سلول‌های خودکار (CA) به عنوان ابزاری برای شبیه سازی تغییرات کاربری اراضی شهری (مطالعه موردی: شهر شهرکرد). *علوم محیطی*، ۱: ۱۴۸-۱۳۳.

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: ۷۱-۵۹.

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 آنتropی شانون. *بوم شناسی کاربردی*، ۶: ۲۵-۱۳. علی محمدی سراب، عباس؛ علی اکبر متكان و بابک میرباقری. ۱۳۸۹. ارزیابی کارایی مدل سلول‌های خودکار در شبیه سازی گسترش اراضی شهری در حومه جنوب غرب تهران. *برنامه ریزی و آمایش فضا (مدرس علوم انسانی)*، ۲: ۸۱-۱۰۲. فتاحی، محمد Mehdi. 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.

فلاختکار، سامرہ؛ 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* ۱۱. تهران. سازمان نقشه برداری کشور.

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

گل کار، حمیدرضا؛ مجتبی طاووسی و ایوب صداقتی. ۱۳۹۱. مقابله با بیابان‌زایی با استفاده از پیش‌بینی خشکسالی. سومین همایش ملی مقابله با بیابان‌زایی و توسعه پایدار تلااب‌های کویری ایران. اراک. دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک. مرادی، حمیدرضا؛ محمدرضا فاضل پور، حمیدرضا صادقی و زین الدین حسینی. ۱۳۸۷. بررسی تغییر کاربری اراضی در بیابان‌زایی 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 (۲۰۰۶، ۱۹۸۷). *پژوهش‌های ژئومورفوژئی کمی*، ۴: ۸۵-۱۰۲.

میرزایی زاده، وحید؛ مریم نیک نژاد و جعفر اولادی. ۱۳۹۴. ارزیابی الگوریتم‌های طبقه‌بندی نظارت شده غیرپارامتریک در تهییه نقشه پوشش زمین با استفاده از تصاویر لندست ۸. *سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی*، ۳: ۲۹-۴۴.

نیازی، یعقوب؛ محمد رضا اختصاصی، حسین ملکی نژاد، سیدزن العابدین حسینی و جعفر مرشدی. ۱۳۸۹. مقایسه دو روش طبقه بندی حداقل احتمال و شبکه عصبی مصنوعی در استخراج نقشه کاربری اراضی (مطالعه موردی: حوضه سد ایلام)، *جغرافیا و توسعه*، ۲۰: 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 ۱۰.1016/0034-4257(91)90048-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 ۱۰.1080/01431160.2004.1016758

Costanza, R, and M, Ruth. ۱۹۹۸. Using dynamic modeling to scope environmental problems and build consensus. *Environmental Management*, 22: 183-195. DOI 10.1007/s002679900095.

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 ۱۰.1016/j.jaridenv.2011.12.011.

Douaoui, A.E.K.; H, Nicolas, and Walteer, Ch. ۲۰۰۶, Detecting Salinity Hazards within a Semiarid Context by Means of Combining Soil and Remote Sensing Data, *Journal of Geoderma*, 134: 217-230.. DOI 10.1016/j.geoderma.2005.10.009.

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 ۲۰۰۴, based on land sat TM/ETM+ imagery, *Sensors*, 7: ۱۳۲۳-۱۳۴۲. DOI 10.3390/s7071323

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 applicione 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*, 57: ۶۴-۷۷. DOI 10.1016/j.asr.2015.10.006

- Li.; X and AG-O Yeh, ۲۰۰۷. Modelling sustainable urban development by the integration of constrained cellular automata and GIS. *International Journal of Geographical Information Science*, ۱۴: ۱۳۱-۱۵۲. DOI ۱۰.1080/۱۳۶۵۸۸۱۰۰۲۴۰۸۸۶
- Lu.; D, P, Mausel, E, Brondizio and E, Moran, ۲۰۰۴, Change detection techniques, *International Journal of Remote Sensing*, ۲۵: ۲۳۶۵-۲۴۰۱, DOI ۱۰.1080/۰۱۴۳۱۱۶۰۳۱۰۰۱۳۹۸۶۲.
- 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 ۱۰.1080/۰۱۴۳۱۱۶۹۸۲۱۵۹۹۱. DOI ۱۰.1080/۰۱۴۳۱۱۶۹۸۲۱۵۹۹۱.
- 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 ۱۰.1016/j.landurbplan.۲۰۰۵.۰۰۰۲
- 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*, 54: ۹۳۸-۹۴۳. DOI ۱۰.1016/j.mcm.۲۰۱۰.۱۱.۰۱۹
- Singh, A, ۱۹۸۹, Digital Change Detection Techniques Using Remotely Sensed Data, *International Journal of Remote Sensing*, 10: ۹۸۹-۱۰۰۳. DOI ۱۰.1080/۰۱۴۳۱۱۶۸۹۰۸۹۰۳۹۳۹
- 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*, 46: ۵۴-۷۶. DOI: ۱۰.۲۷۴۷/۱۵۴۸-۱۶۰۳,۴۶,۱,۵۴.

.