

ارزیابی کارایی مدل سلول‌های خودکار- مارکوف در پیش‌بینی تغییرات مکانی-زمانی کاربری اراضی در کانون ریزگرد جنوب و جنوب شرق اهواز

آذین نوروژی و محمدرضا انصاری^{۱*}

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۷/۲۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۹/۱۸)

چکیده

در حال حاضر رخداد طوفان ریزگرد از مهم‌ترین معضلات زیست‌محیطی استان خوزستان است و ناحیه جنوب و جنوب شرق اهواز به‌عنوان یکی از کانون‌های داخلی منشأ ریزگرد شناخته شده و در اولویت اول اجرای عملیات اصلاحی قرار دارد. با توجه به اینکه تغییرات کاربری اراضی از عوامل بیابان‌زایی در منطقه مذکور است، مدل‌سازی تغییرات آن ضروری و اطلاعات مفیدی را برای برنامه‌ریزان به‌منظور مهار و احیای اراضی تخریب شده فراهم می‌کند. این پژوهش با هدف ارزیابی کارایی مدل CA-Markov در پیش‌بینی روند تغییرات کاربری اراضی در منطقه مذکور بر اساس دو رویکرد بلندمدت و کوتاه‌مدت انجام شد. در رویکرد بلندمدت از نقشه‌های کاربری اراضی سال‌های ۱۹۸۶ و ۲۰۰۲ و در رویکرد کوتاه‌مدت از نقشه‌های کاربری اراضی سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۰۷ برای پیش‌بینی کاربری اراضی سال ۲۰۱۶ استفاده و سپس نتایج مدل‌سازی اعتبارسنجی شد. بر اساس نتایج مقادیر خطای مکانی، خطای کمی و ضریب کاپا برای رویکرد بلندمدت به ترتیب برابر با ۴۲/۵۵ درصد، ۱۳/۹۵ درصد و ۰/۰۸ و برای رویکرد کوتاه‌مدت به ترتیب ۱۲/۵۶ درصد، ۱۰/۴۲ درصد و ۰/۲۲ حاصل شد که مبین توانایی ضعیف مدل CA-Markov در پیش‌بینی روند تغییرات کاربری اراضی در کانون ریزگرد جنوب و جنوب شرق اهواز است. استفاده از قانون یکنواخت در طول شبیه‌سازی بدون در نظر گرفتن عوامل و فرایندهای مؤثر بر تغییرات کاربری اراضی، یکسان نبودن روند تغییرات کاربری اراضی طی دوره‌های مطالعاتی، تغییرات متأثر از فعالیت‌های انسانی، وقوع خشکسالی و طولانی بودن دوره پیش‌بینی را می‌توان از دلایل عملکرد ضعیف مدل CA-Markov دانست.

واژه‌های کلیدی: سنجش از دور، مدل‌سازی، خشکسالی، بیابان‌زایی، ضریب کاپا

۱. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: m_ansari@asnrkh.ac.ir

مقدمه

مفیدی در مورد کمیت و کیفیت تغییرات احتمالی آینده برای برنامه‌ریزان به منظور اخذ تصمیم‌های مدیریتی مناسب در راستای مهار و احیا اراضی تخریب شده فراهم می‌کند. در این راستا انتخاب مدل مناسب و کارآمد برای پیش‌بینی روند تغییرات کاربری اراضی از اهمیت بالایی برخوردار است و قبل از پیش‌بینی تغییرات آینده باید با اعتبارسنجی مدل نسبت به قابل اجرا بودن مدل در منطقه آگاهی پیدا کرد. این عمل را می‌توان با مقایسه نقشه پیش‌بینی شده کاربری اراضی در سال مدنظر با نقشه واقعیت زمینی مربوط به همان سال (نقشه کاربری استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای) و برآورد شاخص‌های ارزیابی دقت انجام داد. در صورت قابل قبول بودن عملکرد مدل می‌توان عملیات مدل‌سازی را برای پیش‌بینی نقشه کاربری اراضی آینده انجام داد و در غیر این صورت محدودیت‌های مدل شناسایی شده و می‌توان برای رفع آنها اقدام کرد.

در سال‌های اخیر مطالعاتی در خصوص پایش و پیش‌بینی روند تغییرات کاربری اراضی با استفاده از داده‌های سنجش از دور و مدل CA-Markov صورت گرفته که به مواردی اشاره می‌شود:

در بررسی روند تغییرات کاربری اراضی در منطقه شرق اصفهان گزارش شد که ۸۶/۴۳ درصد حاشیه رودخانه زاینده‌رود به دلیل گسترش فعالیت‌های کشاورزی در حریم رودخانه و خشک شدن رودخانه تخریب شده و سطح اراضی کشاورزی به علت خشکسالی و کمبود نزولات جوی، تغییرات کاربری اراضی و همجواری منطقه با کویر ۶۴ درصد کاهش یافته است؛ همچنین سطح شوره‌زار و اراضی بایر افزایش و سطح مراتع کاهش یافته که نشان‌دهنده پیشرفت بیابان‌زایی در منطقه است (۱۴). در بررسی خطر بیابان‌زایی در منطقه خشک و نیمه‌خشک باخرز در استان خراسان رضوی طی دوره (۲۰۱۶-۱۹۷۷) گزارش شد که اقدامات مکانیکی مانند احداث سازه‌هایی برای صرفه‌جویی در مصرف آب، گابیون‌ها و سدهای کنترل و اقدامات بیولوژیکی مانند کاشت گونه‌های مقاوم تاحدی موجب تثبیت تپه‌های شنی

بیابان‌زایی فرایندی از تخریب اراضی در نتیجه فرایندهای مختلفی از جمله تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی است و به‌ویژه در مناطق خشک، نیمه‌خشک و نیمه‌مرطوب اتفاق می‌افتد که در آن آب مهم‌ترین عامل محدود کننده کاربری اراضی است (۳۱). در این تعریف، اراضی شامل کلیه منابع آب و خاک محلی، سطوح زمین، پوشش گیاهی و محصولات کشاورزی است و منظور از تخریب بروز کاهش در توان بالقوه منابع زمینی است که ممکن است به‌واسطه یک فرایند یا ترکیبی از فرایندها حادث شود (۳۶). چرای بیش از حد دام، بهره‌برداری بی‌رویه از اراضی طبیعی، مدیریت نامناسب آب و جنگل‌زدایی به‌عنوان چهار عامل اصلی ایجاد بیابان شناخته شده‌اند (۹). از اثرات بیابان‌زایی می‌توان به فرسایش خاک و رخداد طوفان‌های گردوغبار (۳۴)، تخریب پوشش گیاهی، کاهش پایداری خاکدانه‌ها، کاهش محتوای ماده آلی، تغییر در خصوصیات هیدرولوژیکی خاک، از بین رفتن تنوع بیولوژیکی، کاهش ظرفیت ذخیره‌سازی کربن (۳۱)، شور شدن اراضی و کاهش کیفیت منابع آبی، افت سطح آب‌های زیرزمینی و کاهش آب‌های سطحی (۱۳) اشاره کرد.

در دهه اخیر استان خوزستان با معضل زیست‌محیطی وقوع طوفان ریزگرد مواجه بوده و منطقه جنوب و جنوب شرق اهواز به‌عنوان یکی از کانون‌های داخلی منشأ ریزگرد شناسایی شده و در اولویت اول اجرای عملیات حفاظتی قرار دارد (۳ و ۴). در این منطقه تغییرات اقلیمی مانند افزایش دما و کاهش بارش و فعالیت‌های انسانی مانند تغییر کاربری اراضی به‌صورت تخریب پوشش گیاهی، خشک شدن هورهای محلی و افزایش سطح اراضی بدون پوشش، بیابانی شدن اراضی منطقه را به‌همراه داشته است (۲۴).

پیش‌بینی روند تغییرات کاربری اراضی در منطقه جنوب و جنوب شرق اهواز با توجه به تداوم طوفان‌های ریزگرد و افزایش سهم کانون‌های داخلی در وقوع آن و همچنین آثار مخربی که بر محیط زیست داشته ضروری است و اطلاعات

درصد و همچنین خطای کمی (Quantity Error) و خطای مکانی (Allocation Error) به ترتیب برابر با ۰/۴۱ و ۲/۲۱ درصد است (۳۳).

نتایج بررسی پیشینه تحقیق نشان داد که پایش تغییرات کاربری اراضی اهمیت بالایی در ارزیابی استعداد اراضی به بیابانی شدن دارد و روند تغییرات کاربری اراضی در مناطق خشک و نیمه‌خشک اغلب در جهت بیابان‌زایی بوده است. در بیشتر مطالعات برای بررسی ارزیابی کارایی مدل CA-Markov از ضریب کاپا استفاده شده و دیگر پارامترهای ارزیابی کارایی مدل کمتر مورد توجه بوده است. با توجه به اینکه تاکنون مطالعه‌ای در خصوص معرفی مدل کارآمد برای پیش‌بینی روند تغییرات کاربری اراضی در کانون ریزگرد جنوب و جنوب شرق اهواز انجام نشده است، پژوهش حاضر با هدف بررسی کارایی مدل سلول‌های خودکار-مارکوف (CA-Markov) در پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در منطقه مذکور با استفاده از تکنیک سنجش از دور و با در نظر گرفتن دیگر شاخص‌های اعتبارسنجی مدل از جمله موفقیت، خطای مکانی و خطای کمی انجام شد.

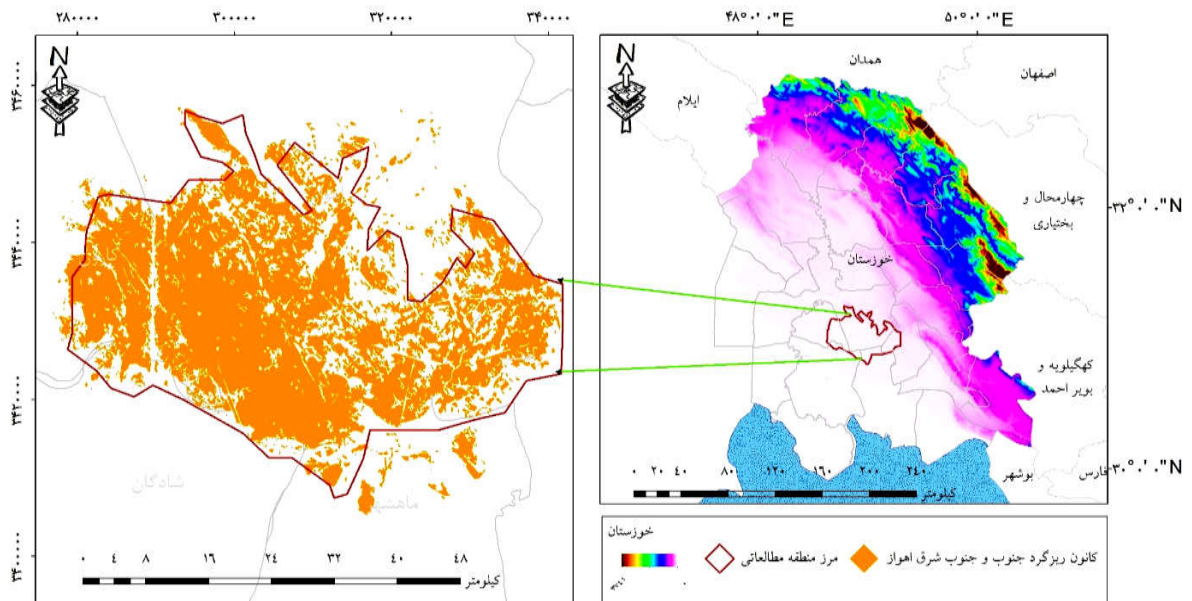
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی کانون ریزگرد جنوب و جنوب شرق اهواز با اقلیم فراهشک گرم است که در موقعیت جغرافیایی ۴۷' ۴۰" تا ۴۸' ۲۴" ۲۰' ۲۴" تا ۴۹' ۰۰" طول شرقی و ۴۸' ۴۸" تا ۳۰' ۱۱" عرض شمالی گسترده شده (شکل ۱) و مساحت آن ۱۶۹۳۶۷/۰۴ هکتار و ارتفاع متوسط آن ۳۴۹/۹۱ متر از سطح دریا و متوسط بارش بلندمدت سالانه ۲۲۳ میلی‌متر است. این منطقه بر اساس مطالعه انجام شده توسط اداره کل زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی منطقه جنوب باختری (اهواز)، بیشترین مساحت از میان کانون‌های منشأ ریزگرد داخلی در استان خوزستان را دارد و به‌عنوان کانون شماره ۴ معرفی شده و در اولویت اول برای مهار کانون‌های تولید ریزگرد در استان

و کاهش فعالیت‌های بادی شده است، با وجود این عدم توجه به فعالیت‌های انسانی از قبیل روش‌های کشاورزی، استخراج معادن، پمپاژ بیش از حد منابع آب زیرزمینی و چرای بی‌رویه دام که به‌طور مستقیم و غیرمستقیم با معیشت مردم در ارتباط هستند، منجر به افزایش خطر بیابان‌زایی از ۲/۱۷ به ۲/۲۵ در منطقه شده است (۲۹). در بررسی تغییرات کاربری اراضی در شمال نیجریه در دوره (۲۰۱۶-۱۹۸۴) گزارش شد که در طول دوره ۳۲ ساله میزان پوشش گیاهی کاهش یافته است. به‌طوری که از ۴۰/۷۱ درصد در سال ۱۹۸۴ به ۲۰/۶۱ درصد در سال ۲۰۱۶ رسیده است، در حالی که سطح اراضی بایر از ۵۶/۵۱ درصد در سال ۱۹۸۴ به ۷۱/۸۸ درصد در سال ۲۰۱۶ رسیده که گواهی پیشرفت بیابان‌زایی در منطقه است (۲۵). در نتیجه مطالعه (۱۶) گزارش شد که وقوع خشکسالی هیدرولوژیک، نظام بهره‌برداری نامناسب و تأمین نشدن نیاز آبی اراضی دشت سیستان، تغییرات چشمگیر کاربری اراضی و از بین رفتن اکوسیستم‌های وابسته به آب را به‌همراه داشته است، در نتیجه از بین رفتن کاربری‌های پهنه آبی، جنگل-تالاب و مرتع، مساحت کاربری بایر افزایش یافته است که این فرایند نشان‌دهنده زوال منابع طبیعی و گسترش مناطق بیابانی در دشت سیستان است.

در ارزیابی و پیش‌بینی تغییرات بیابان‌زایی در شرق و جنوب اصفهان با استفاده از مدل CA-Markov ضریب کاپای مدل در پیش‌بینی روند تغییرات طی ۱۶ ساله آینده (۲۰۱۶-۲۰۲۴) برابر با ۰/۷۸ درصد گزارش شد (۱۳). در پژوهشی دیگر دقت مدل CA-Markov برای پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در حوضه مستعد بیابان‌زایی رودخانه ویرا در مونتس کلاروس برزیل برابر با ۰/۴۵ گزارش و بیان شد که در نقشه پیش‌بینی شده، کلاس جنگل (۸۳٪) بیشترین و کلاس اراضی بایر (۳۰٪) کمترین انطباق را با نقشه طبقه‌بندی شده دارد (۵). در ارزیابی کارایی مدل CA-Markov در منطقه‌ای در مجارستان، گزارش شد که میزان مؤلفه‌های موفقیت (Hits)، خطا (Misses) و هشدار خطا (False Alarms) به ترتیب برابر با ۰/۰۲، ۱/۰۶ و ۱/۴۷



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی

میزان تراکم پوشش، مقدار فاکتور تعدیل کننده اثر خاک ۵/۰ در نظر گرفته شد. نقشه‌های خروجی شاخص SAVI با استفاده از روش طبقه‌بندی درختی به پنج کلاس پوشش گیاهی شامل: خوب، متوسط، ضعیف، بسیار ضعیف و سایر سطوح طبقه‌بندی شدند. این طبقات با بررسی تغییرات ارزش نقشه‌های شاخص SAVI در سطح محدوده مطالعاتی، به شرح جدول ۱ تعیین شد.

زنجیره مارکوف

زنجیره مارکوف به صورت دنباله‌ای از فرایندهای تصادفی است که نتیجه فرایند در زمان t تنها به نتیجه فرایند در زمان قبل آن $(t-1)$ بستگی دارد. پیش‌بینی آینده با مدل مارکوف با تجزیه و تحلیل دو نقشه کیفی کاربری اراضی مربوط به سال‌های مختلف انجام و فاصله زمانی بین دو تصویر و فاصله زمانی پیش‌بینی نیز در نظر گرفته می‌شود. خروجی‌های این تحلیل شامل ماتریس احتمال انتقال، ماتریس مساحت انتقال و تصاویر احتمال شرطی (نقشه‌های شایستگی) هستند. ماتریس احتمال انتقال، احتمال انتقال هر کدام از کاربری‌ها به کاربری دیگر را ارائه می‌کند. این ماتریس نتیجه جدول حاصل از تطابق نقشه‌های دو تصویر

خوزستان است (۳ و ۴). این محدوده بخش‌هایی از غرب نهر مالچ در جنوب اهواز تا نواحی غرب جراحی و رامشیر را دربر می‌گیرد و شامل مجموعه‌ای از آبیگرهای خشک شده است که در غرب مالچ، انتهای رودخانه کوپال و انتهای برخی آبراهه‌های فصلی در پهلوی جنوبی تاقدیس مارون قرار داشته است (۴).

مبانی نظری

شاخص گیاهی تعدیل کننده اثر خاک (SAVI)

شاخص SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) شاخصی مناسب برای بارزسازی عوارض پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه است (۳). برای بررسی تغییرات بلندمدت وضعیت پوشش گیاهی این شاخص با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد:

$$SAVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red + L)} \times (L + 1) \quad (1)$$

در این رابطه، NIR باند مادون قرمز نزدیک، Red باند قرمز و L فاکتور تعدیل کننده اثر خاک است که دامنه آن از صفر برای مناطق با پوشش گیاهی بسیار متراکم و یک برای مناطق با پوشش گیاهی پایین متغیر است. در پژوهش حاضر به دلیل دامنه متغیر

جدول ۱. مشخصات طبقات پوشش گیاهی

ردیف	شرح طبقه *	نوع پوشش
۱	$b_1 \geq 0/5$	خوب
۲	$0/3 \leq b_1 < 0/5$	متوسط
۳	$0/1 \leq b_1 < 0/3$	ضعیف
۴	$0/05 \leq b_1 < 0/1$	بسیار ضعیف
۵	$b_1 < 0/05$	سایر سطوح

*: متغیر b_1 شاخص SAVI است.

فیلتر سلول‌های خودکار (CA) برای توسعه یک فاکتور وزن‌دهی-مجاورت مکانی برای تغییر وضعیت سلول‌ها بر اساس وضعیت همسایه‌اش استفاده خواهد شد (۲۲).

فیلتر CA فاکتور وزن‌دهی را برای نقشه‌های شایستگی که قبلاً ایجاد شده‌اند به‌کار می‌گیرد. وزن بیشتر به مناطقی که نزدیک به کاربری زمین کنونی هستند داده می‌شود؛ این فرایند موجب می‌شود که تغییرات کاربری اراضی در نزدیک کلاس‌های کاربری زمین مشابه کنونی ایجاد شود و کاملاً به‌طور تصادفی نباشد. فیلتر CA به‌صورت یک پنجره متحرک روی تصویر بولین هر طبقه نقشه کاربری حرکت می‌کند با این عمل تصویر جدیدی ایجاد می‌شود که با ضرب این تصویر در تصویر مربوط به نقشه‌های شایستگی می‌توان این نقشه‌ها را بر مبنای فاصله از کاربری فعلی به‌هنگام کرد (۲۲).

با استفاده از مدل CA-Markov، وضعیت پیکسل‌ها برای پیش‌بینی تغییرات وضعیت آنها در آینده از قوانین خاصی پیروی می‌کند. به‌طور مثال پیکسل C_{ij} (پیکسل قرار گرفته در سطر I و ستون J) به چهار عامل، وضعیت سلول در زمان t، پنجره همسایگی $(St C_{ij})$ ، وضعیت همسایگان سلول در زمان t $(\Omega t C_{ij})$ و قوانین تبدیل (وضعیت هر یک از سلول‌ها در گذر زمان بر اساس قوانین تبدیل، به‌طور خودکار بروز می‌شوند) بستگی دارد که گام‌های بروزرسانی از زمان t_0 (مبدأ زمانی) تا زمان t_n (زمان پایان عملیات) در اصطلاح تکرار نامیده می‌شود (۷). در هر تکرار پیکسل‌های نقشه‌های

است که توسط خطای نسبی اصلاح شده است. ماتریس مساحت انتقال، تعداد سلول‌هایی را که برای تغییر از یک نوع پوشش زمین به نوع دیگر در دوره زمانی آینده مورد انتظار هستند، ثبت می‌کند. این ماتریس با ضرب هر ستون از ماتریس احتمال انتقال در تعداد سلول‌های کاربری زمین مربوط به آن در تصویر دوم ایجاد شده است. تصاویر احتمال شرطی که از ماتریس احتمال به‌دست می‌آیند، احتمال اینکه هر نوع از کاربری زمین در هر موقعیت مکانی در آینده پیدا شود را بیان می‌کند که بر اساس دو تصویر کاربری اراضی قبلی نقشه‌سازی شده است (۱۱ و ۱۵).

مدل سلول‌های خودکار – مارکوف (CA-Markov)

مدل CA-Markov تلفیقی از سلول‌های خودکار و زنجیره مارکوف و تخصیص چندمنظوره اراضی (Multi Objective Land Allocation: MOLA) است. مسئله اساسی در زنجیره مارکوف این است که اطلاعات و موقعیت مکانی را در نظر نمی‌گیرد و هیچ بحثی از عنصر مکانی در مدل‌سازی نشده است. احتمالات انتقال ممکن است برای هر یک از کاربری‌ها به‌دست آمده باشد، اما هیچ اطلاعاتی از توزیع مکانی تغییرات مربوط به هر کدام از طبقات کاربری در آن وجود ندارد. در مقابل شبکه خودکار با پدیده‌های مکانی و پویا سروکار دارد و توانایی تغییر وضعیت جدیدش را بر اساس به‌کارگیری قانونی که وضعیت جدید را مطابق با وضعیت قبلی و وضعیت همسایگانش نشان می‌دهد، دارا هست. بنابراین از

برای پیش‌بینی (۲۰۱۶) به‌میزان ۱۴ سال در نظر گرفته شد. سپس مدل CA-Markov اجرا شد که در این مرحله تعداد تکرار سلول‌های خودکار ۱۴ بار به‌علت فاصله زمانی بین سال‌های ۲۰۱۶-۲۰۰۲ در نظر گرفته شد و با هر بار اجرای سلول‌های خودکار، هر نقشه شایستگی به‌دلیل اعمال فیلتر مجاورت ۵×۵ مجدداً وزن‌دهی شد تا مکان کلاس‌های کاربری شبیه‌سازی شده تعیین شود.

اجرای رویکرد کوتاه‌مدت

رویکرد کوتاه‌مدت با استفاده از نقشه‌های کاربری اراضی سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۰۷ برای پیش‌بینی وضعیت کاربری اراضی در سال ۲۰۱۶ صورت پذیرفت. برای اجرای رویکرد کوتاه‌مدت، مراحل انجام پیش‌بینی مانند رویکرد بلندمدت انجام شد. با این تفاوت که در رویکرد کوتاه‌مدت، فاصله زمانی بین نقشه‌های کاربری اراضی ورودی به مدل مارکوف ۵ سال و فاصله زمانی بین نقشه کاربری اراضی سال پایه (۲۰۰۷) تا سال مدنظر برای پیش‌بینی (۲۰۱۶) به میزان ۹ سال و تعداد تکرار سلول‌های خودکار ۹ بار به‌دلیل فاصله زمانی بین سال‌های ۲۰۱۶-۲۰۰۷ در نظر گرفته شد.

اعتبارسنجی مدل Ca-Markov

در پژوهش حاضر اعتبارسنجی مدل CA-Markov با استفاده از ماژول اعتبارسنجی Validation در مدل LCM بر پایه مقایسه ۳ نقشه کاربری اراضی، شامل نقشه کاربری اراضی آخرین سال مشاهده‌ای، نقشه کاربری اراضی پیش‌بینی شده و نقشه کاربری اراضی سال مرجع (واقعیت زمینی) با برآورد ۴ مؤلفه پیشنهادی (۶) بررسی شد. این مؤلفه‌ها به این شرح هستند: ۱- موفقیت خنثی (Null Successes): پیکسل‌هایی که در نقشه مرجع و نقشه پیش‌بینی ثابت است، ۲- موفقیت: پیکسل‌هایی که در نقشه مرجع تغییر کرده و مدل نیز این تغییر را به درستی پیش‌بینی کرده است، ۳- خطا: پیکسل‌هایی که در نقشه مرجع تغییر کرده و در مدل به اشتباه ثابت پیش‌بینی شده است و ۴- هشدار خطا: پیکسل‌هایی که در نقشه مرجع تغییر

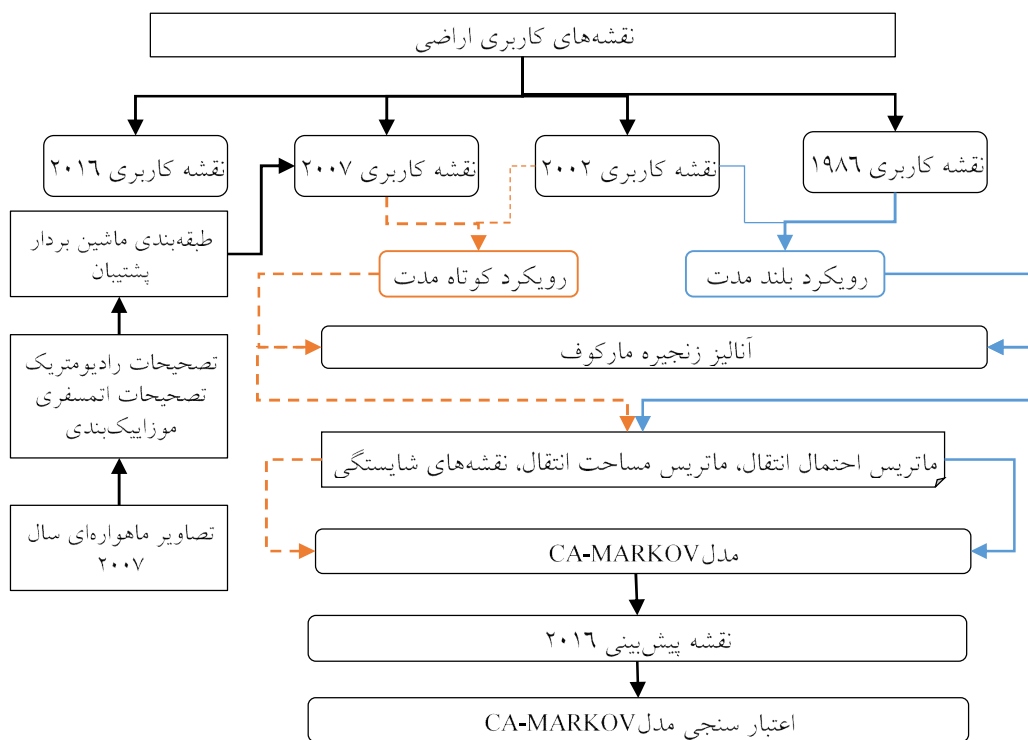
شایستگی با اعمال فیلتر مجاورت با توجه به کاربری فعلی وزن‌دهی شده و مقادیر جدیدی اختیار می‌کنند، سپس فرایند MOLA برای تخصیص مکان کاربری‌ها بر مبنای شایستگی سرزمین به آن کاربری‌ها و آستانه مساحتی تهیه شده توسط آنالیز زنجیره مارکوف به‌کار گرفته می‌شود. در نهایت نقشه آینده کاربری اراضی با استفاده از نقشه‌های شایستگی کاربری اراضی با اعمال فیلتر مجاورت طی فرایند تخصیص چندمنظوره اراضی تهیه می‌شود (۲۲).

روش پژوهش

در پژوهش حاضر برای ارزیابی کارایی مدل CA-Markov دو رویکرد شامل: ۱- رویکرد پیش‌بینی بلندمدت و ۲- رویکرد پیش‌بینی کوتاه‌مدت در نظر گرفته شد. برای اجرای رویکرد بلندمدت از نقشه‌های کاربری اراضی تهیه شده توسط (۲۴) استفاده شد. برای اجرای رویکرد کوتاه‌مدت نقشه کاربری اراضی در تاریخ ۷ مارس سال ۲۰۰۷ که بر اساس نتایج محاسبه شاخص SPI در وضعیت نزدیک به نرمال قرار دارد از تصاویر ماهواره لندست ۷ پس از انجام پردازش‌های لازم و اخذ نمونه‌های تعلیمی به روش طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان در کرنل چند جمله‌ای در ۴ کلاس پوشش گیاهی، سطوح مرطوب با پوشش گیاهی، سطوح آبی و مرتع ضعیف و بایر با ضریب کاپا ۰/۹۱ و دقت کلی ۹۷/۲۷ درصد استخراج شد. روندنمای روش انجام پژوهش در شکل ۲ ارائه شده است.

اجرای رویکرد بلندمدت

در رویکرد بلندمدت، نقشه‌های کاربری اراضی سال‌های ۱۹۸۶ و ۲۰۰۲ به مدل زنجیره مارکوف معرفی و ماتریس احتمال انتقال، ماتریس مساحت انتقال و نقشه‌های شایستگی هر یک از طبقات کاربری اراضی برای پیش‌بینی وضعیت کاربری اراضی در سال ۲۰۱۶ محاسبه شد. در این رویکرد فاصله زمانی بین نقشه‌های کاربری اراضی ورودی به مدل مارکوف ۱۶ سال است و فاصله زمانی بین نقشه کاربری اراضی سال پایه (۲۰۰۲) تا سال مدنظر



شکل ۲. روندنمای مراحل انجام پژوهش

$$A = (F + M) - Q = 2 \times \text{MIN}(F, M) \quad (3)$$

$$T = F + M = Q + A \quad (4)$$

در این روابط، Q خطای کمی، A خطای مکانی، T خطای کل، F هشدار خطا، H موفقیت و M خطا است.

$$\hat{K} = \frac{N \sum_{i=1}^r X_{ii} - \sum_{i=1}^r X_{i+} \times X_{+j}}{N^2 - \sum_{i=1}^r X_{i+} \times X_{+j}} \quad (5)$$

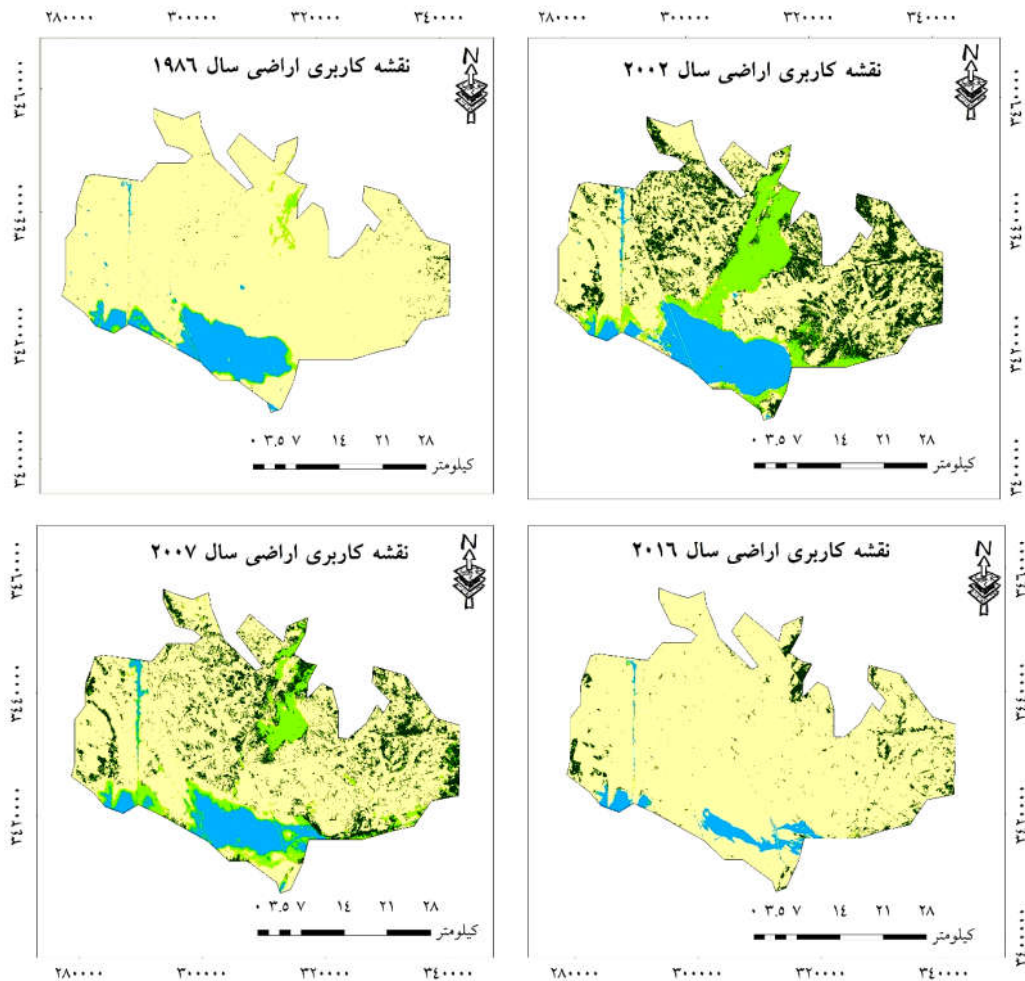
در این رابطه، N تعداد کل پیکسل‌های واقعیت زمینی، X_{i+} مجموع عناصر سطر i ام و X_{+j} مجموع عناصر ستون j ام هستند.

نتایج و بحث

نقشه‌های کاربری اراضی سال‌های ۱۹۸۶، ۲۰۰۲، ۲۰۱۶ و (۲۴) سال ۲۰۰۷ در شکل ۳ و نتایج حاصل از مقایسه مساحت کاربری‌ها در نقشه پیش‌بینی و نقشه طبقه‌بندی شده بر اساس رویکرد بلندمدت در جدول ۲ ارائه شده است.

نداشته و در مدل این عدم تغییر به اشتباه تغییر پیش‌بینی شده است. این مؤلفه‌ها در مطالعات دیگر محققین نیز برای ارزیابی دقت مدل‌سازی به کار برده شده است (۶، ۸، ۱۷ و ۳۰). علاوه بر آن میزان خطای کمی که بیان‌کننده این است که تعداد سلول‌های کلاس‌های کاربری اراضی در نقشه مرجع و پیش‌بینی متفاوت است و خطای مکانی که بیان‌کننده این است که مکان کلاس‌های کاربری اراضی در نقشه مرجع و پیش‌بینی متفاوت است و میزان کل خطا که در مطالعات (۱۲ و ۳۳) نیز به کار رفته‌اند، به ترتیب از روابط ۲ تا ۴ محاسبه شدند (۶). علاوه بر محاسبه پارامترهای ذکر شده، ضریب کاپای مدل مذکور که در فرایند محاسبه علاوه بر پیکسل‌هایی که درست پیش‌بینی شده، پیکسل‌هایی که نادرست پیش‌بینی شده است را نیز لحاظ می‌کند، با مقایسه نقشه پیش‌بینی شده و نقشه مرجع از رابطه ۵ به دست آمد (۱۰).

$$Q = |(F + H) - (M + H)| = |F - M| \quad (2)$$



طبقات کاربری

پوشش گیاهی، سطوح مرطوب با پوشش گیاهی، سطوح آبی، مرتع ضعیف و بایر

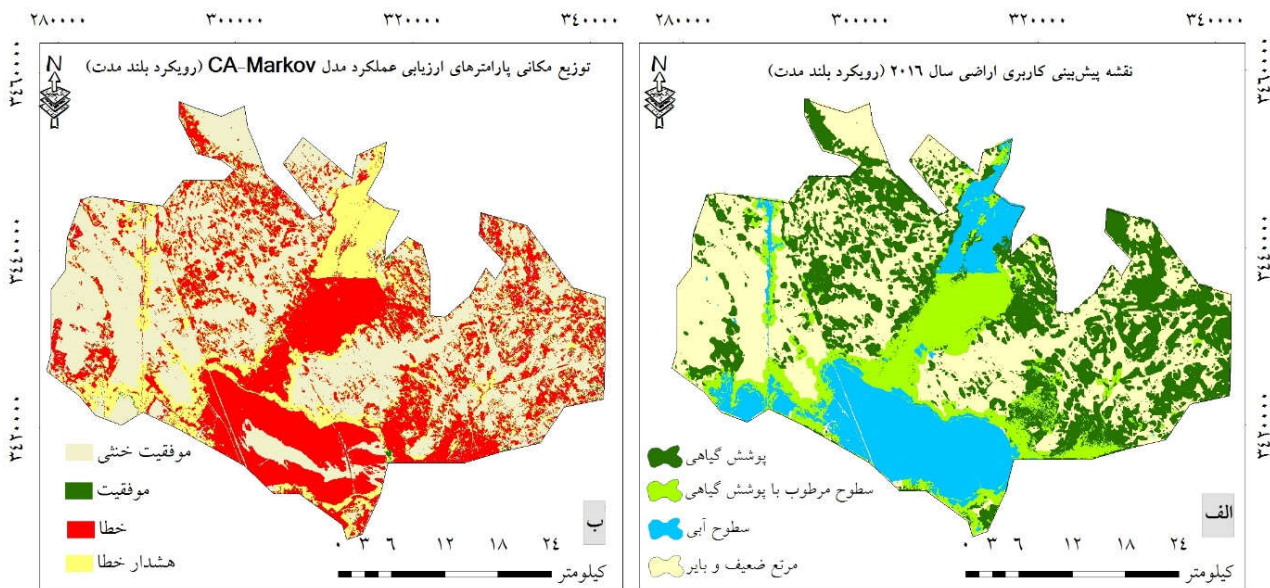
شکل ۳. نقشه‌های کاربری اراضی منطقه مطالعاتی (رنگی در نسخه الکترونیکی)

است. بر اساس نتایج حاصل از محاسبه پارامترهای اعتبارسنجی مدل CA-Markov در رویکرد بلندمدت، میزان موفقیت خنثی (۴۳/۴۳ درصد)، موفقیت (۵۲/۰ درصد)، خطا (۳۵ درصد) و هشدار خطا (۲۱/۰۵ درصد) به دست آمد که توزیع مکانی این پارامترها در شکل ۴-ب ارائه شده است. در رویکرد بلندمدت میزان خطای کمی و خطای مکانی به ترتیب برابر با ۱۳/۹۵ درصد و ۴۲/۵۵ درصد به دست آمد. علاوه بر آن میزان خطای کل مدل مذکور ۵۶/۰۵ درصد و ضریب کاپای آن ۰/۰۸ به دست آمد که نشان‌دهنده کارایی پایین مدل CA-Markov در پیش‌بینی روند تغییرات کاربری اراضی بر اساس رویکرد بلندمدت است.

در این جدول مقادیر منفی اختلاف مساحت کاربری‌ها، بیانگر این است که مدل مذکور مساحت کاربری را کمتر از مساحت واقعی آن پیش‌بینی کرده و مقادیر مثبت اختلاف مساحت کاربری‌ها بیانگر این است که مدل CA-Markov مساحت کاربری را بیشتر از مساحت واقعی آن پیش‌بینی کرده است. مساحت کاربری‌های پوشش گیاهی، سطوح مرطوب با پوشش گیاهی و سطوح آبی بیشتر و مساحت مرتع ضعیف و بایر کمتر از میزان واقعی آن در سال ۲۰۱۶ پیش‌بینی شده است (جدول ۲). نقشه پیش‌بینی کاربری اراضی سال ۲۰۱۶ توسط مدل CA-Markov بر اساس رویکرد بلندمدت در شکل ۴-الف ارائه شده

جدول ۲. مقایسه مساحت واقعی و پیش‌بینی شده کاربری‌های اراضی در سال ۲۰۱۶ (رویکرد بلندمدت)

طبقات کاربری اراضی	مساحت در سال ۲۰۱۶ برحسب هکتار (درصد)		اختلاف مساحت درصد اختلاف
	پیش‌بینی شده	طبقه‌بندی شده	
پوشش گیاهی	۵۰۶۵۱/۳۷ (۲۹/۹۱)	۶۲۵۴/۲۸ (۳/۶۹)	+۲۶/۲۲
سطوح مرطوب با پوشش گیاهی	۲۴۰۱۵/۴۲ (۱۴/۱۸)	۱۶۳/۴۴ (۰/۱۰)	+۱۴/۰۸
سطوح آبی	۲۷۵۵۷/۲۶ (۱۶/۲۷)	۵۳۴۵/۳۷ (۳/۱۶)	+۱۳/۱۱
مرتع ضعیف و بایر	۶۷۱۴۲/۹۹ (۳۹/۶۴)	۱۵۷۶۰۳/۹۵ (۹۳/۰۵)	-۵۳/۴۱

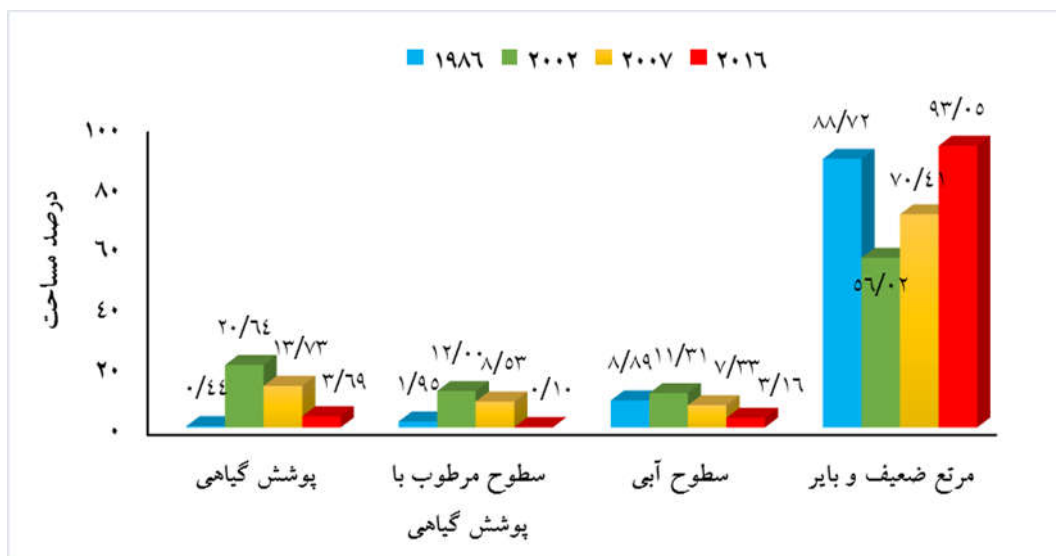


شکل ۴. الف) نقشه پیش‌بینی کاربری اراضی سال ۲۰۱۶ (ب) توزیع مکانی پارامترهای اعتبارسنجی مدل CA-Markov بر اساس رویکرد بلندمدت (رنگی در نسخه الکترونیکی)

پوشش گیاهی، سطوح مرطوب با پوشش گیاهی و سطوح آبی روند افزایشی و مرتع ضعیف و بایر روند کاهشی داشته است، اما در دوره (۲۰۱۶-۲۰۰۲) سطح پوشش گیاهی، سطوح مرطوب با پوشش گیاهی و سطوح آبی کاهش و در مقابل سطح مرتع ضعیف و بایر افزایش یافته است (شکل ۵).

تغییرات رخ داده در منطقه مطالعاتی تحت تأثیر توأم عوامل اقلیمی و انسانی بوده است. نتایج حاصل از تحلیل تغییرات بارش با توجه به آمار ایستگاه هواشناسی اهواز به‌عنوان ایستگاه معرف منطقه مطالعاتی نشان داد که میانگین بارش سالانه در

علت عملکرد ضعیف مدل CA-Markov در پیش‌بینی تغییرات آینده کاربری‌ها بر اساس رویکرد بلندمدت را می‌توان استفاده از یک قانون انتقال یکنواخت در طول دوره شبیه‌سازی بدون در نظر گرفتن عوامل و فرایندهای مؤثر بر تغییرات کاربری اراضی با وجود پویا بودن آنها در طول زمان دانست. این مدل با فرض ثابت بودن روند فعلی تغییرات به پیش‌بینی تغییرات در آینده می‌پردازد. در صورتی که روند تغییرات کاربری اراضی در طول دوره اول مطالعاتی (۲۰۰۲-۱۹۸۶) و دوره دوم مطالعاتی (۲۰۱۶-۲۰۰۲) متفاوت بوده است. در دوره (۲۰۰۲-۱۹۸۶)



شکل ۵. روند تغییرات کاربری اراضی (رنگی در نسخه الکترونیکی)

خشکسالی، پیامدهایی همچون رها کردن اراضی کشاورزی، کاهش سطح منابع آبی و سطوح مرطوب و در نهایت از بین رفتن تدریجی پوشش گیاهی و افزایش فقر مراتع را به همراه داشته است (۳ و ۲۴).

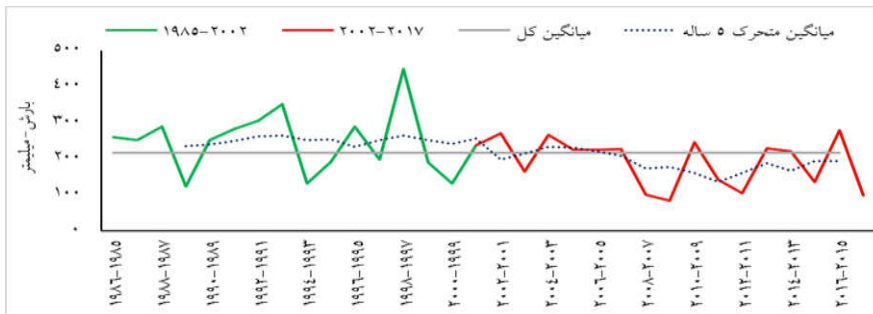
بررسی نقشه‌های کیفیت پوشش گیاهی گواهی تخریب آن در دوره ۲۰۱۶-۲۰۰۲ است، در سال ۲۰۱۶ سطح پوشش خوب و متوسط به ترتیب به ۰/۲۸ و ۲/۹۷ درصد کاهش و سطح پوشش بسیار ضعیف به ۷۲/۷۶ درصد افزایش یافته است (شکل ۸).

بنابراین کاربری‌های اراضی تحت تأثیر عوامل مختلفی تغییر کرده‌اند؛ در صورتی که مدل CA-Markov این عوامل را در مدل‌سازی تغییرات آینده دخالت نداده و بر اساس ماتریس تبدیل کاربری‌ها در دوره زمانی اول (۱۹۸۶-۲۰۰۲) نقشه سال ۲۰۱۶ را پیش‌بینی کرده است. بنابراین عملکرد ضعیف مدل CA-Markov در پیش‌بینی کاربری اراضی در سال ۲۰۱۶ طی رویکرد بلندمدت منطقی به نظر می‌رسد. در مطالعه‌ای ضریب کاپای مدل CA-Markov برابر ۵۳/۰ درصد به دست آمد و علت عملکرد ضعیف مدل CA-Markov را تأثیر مقیاس، وقوع خشکسالی و تأثیرات انسانی گزارش شد (۲۶). در پژوهشی ضریب کاپای مدل CA-Markov در پیش‌بینی تغییرات اراضی جنگلی ۲۶/۰ درصد به دست آمده و تغییر روند تغییرات طی دوره‌های

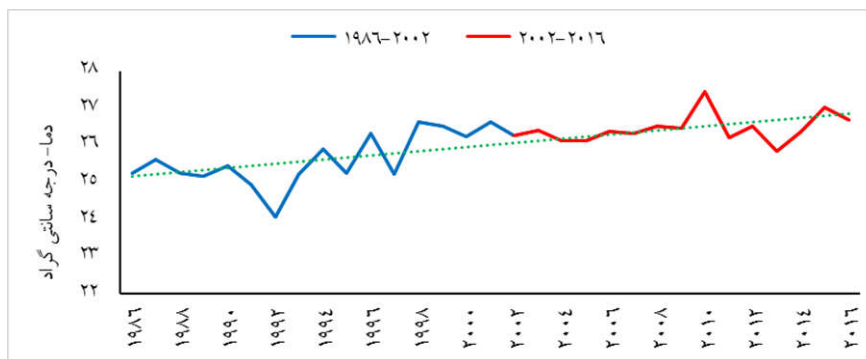
فاصله سال‌های آبی ۲۰۰۲-۱۹۸۵ برابر با ۲۴۷/۱۹ میلی‌متر بوده که این مقدار در فاصله سال‌های آبی ۲۰۱۷-۲۰۰۲ به ۱۸۳/۲۴ میلی‌متر کاهش پیدا کرده است، بررسی میانگین متحرک ۵ ساله روند نزولی تغییرات بارش بلندمدت سالانه به‌ویژه در دوره دوم مطالعاتی را نشان می‌دهد و در دوره ۲۰۱۷-۲۰۰۲ به‌طور عمده میزان بارش سالانه از میانگین بلندمدت بارش (۲۱۵/۸۱ میلی‌متر) کمتر بوده که نشان‌دهنده وقوع خشکسالی در منطقه مطالعاتی است (شکل ۶).

بررسی آماری روند تغییرات متوسط دما در ایستگاه سینوپتیک اهواز در دوره ۳۰ ساله (۲۰۱۶-۱۹۸۶) نشان داد که دمای متوسط منطقه دارای روند افزایشی است، در فاصله سال‌های ۲۰۰۲-۱۹۸۶ میانگین دما برابر با ۲۵/۶۱ درجه سانتی‌گراد بوده که این مقدار در فاصله سال‌های ۲۰۱۶-۲۰۰۲ به ۲۶/۴۵ درجه سانتی‌گراد رسیده و نسبت به دوره قبل ۰/۸۴ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است (شکل ۷).

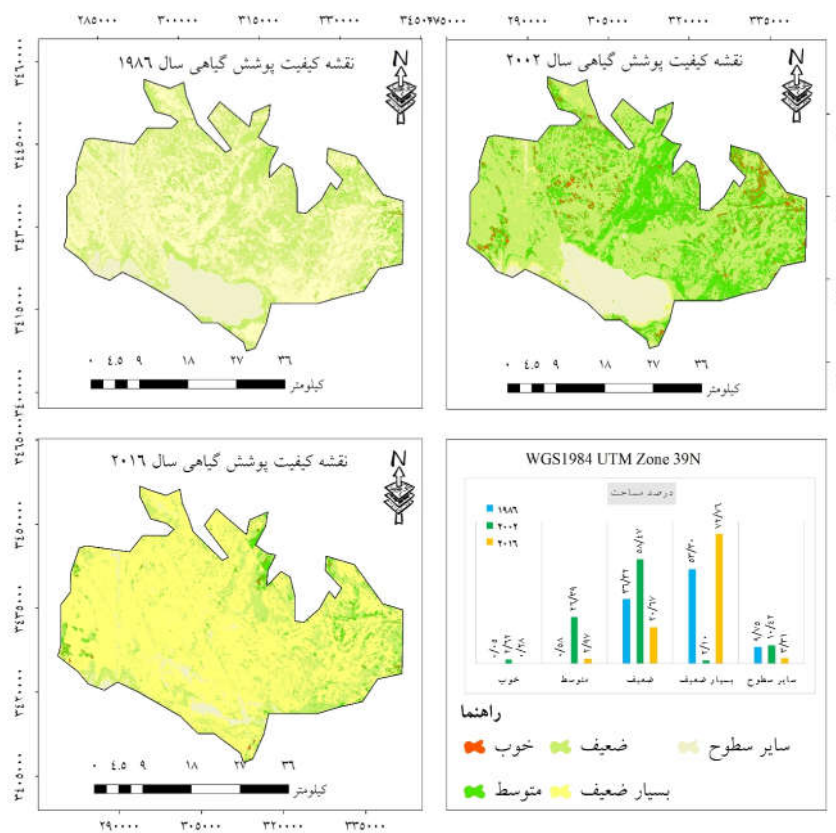
از سوی دیگر، فعالیت‌های انسانی از جمله مهار و برداشت بی‌رویه منابع آب سطحی در بالادست حوضه کوپال و عدم رعایت حقایق اکوسیستم‌های پایین‌دست، احداث سدها و بندهای آبخیزداری، جاده‌سازی، احداث خطوط انتقال نفت و گاز در مسیر رودها و آبراهه‌های اصلی در کنار وقوع



شکل ۶. روند تغییرات بلندمدت بارش ایستگاه اهواز (سال آبی ۲۰۱۷-۱۹۸۵) (رنگی در نسخه الکترونیکی)



شکل ۷. روند تغییرات بلندمدت متوسط دمای سالانه ایستگاه اهواز (۲۰۱۶-۱۹۸۶) (رنگی در نسخه الکترونیکی)



شکل ۸. نقشه‌های کیفیت پوشش گیاهی (رنگی در نسخه الکترونیکی)

اراضی در نتیجه حاصل از ارزیابی دقت مدل‌سازی است که با نتیجه پژوهش (۲۷) همسو است. پژوهشگران (۳۵) یکی از اصلی‌ترین محدودیت‌های مدل مذکور را فرض ثابت ماندن عوامل تغییر دهنده کاربری اراضی در گذشته، برای پیش‌بینی تغییرات آینده دانستند و اظهار کردند که استفاده تنها از ۳ تصویر و تغییرات فصلی منجر به کاهش دقت مدل‌سازی می‌شود.

هر چند که عملکرد مدل CA-Markov در پیش‌بینی روند تغییرات کاربری اراضی در رویکرد کوتاه‌مدت نسبت به رویکرد بلندمدت افزایش یافته است و خطای کل مدل مذکور از ۵۶/۰۵ درصد در رویکرد بلندمدت به ۲۲/۹۸ درصد در رویکرد کوتاه‌مدت کاهش یافته است و مدل CA-Markov بر اساس رویکرد کوتاه‌مدت، پیش‌بینی صحیحی از تداوم روند کاهشی برای کاربری‌های پوشش گیاهی، سطوح مرطوب با پوشش گیاهی، سطوح آبی و تداوم روند افزایشی برای مرتع ضعیف و بایر در سال ۲۰۱۶ داشته و مساحت و توزیع مکانی کاربری‌ها را با دقت بالاتری پیش‌بینی کرده است، با وجود این عملکرد مدل مذکور همچنان پایین بوده و این مدل نتوانسته برآورد صحیح و قابل قبولی از روند تغییرات کاربری اراضی در کانون ریزگرد جنوب و جنوب شرق اهواز ارائه دهد و عملکرد ضعیفی داشته است. پژوهشگران دیگری (۲۱ و ۳۲) در نتیجه پژوهش خود کارایی پایین مدل CA-Markov را در پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی گزارش کرده‌اند که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. از سوی دیگر (۱، ۲، ۱۹، ۲۰ و ۲۳) در نتیجه مطالعات خود به این نتیجه رسیدند که مدل CA-Markov از توانایی بالایی در پیش‌بینی تغییرات برخوردار است که با نتایج این پژوهش مغایرت دارد.

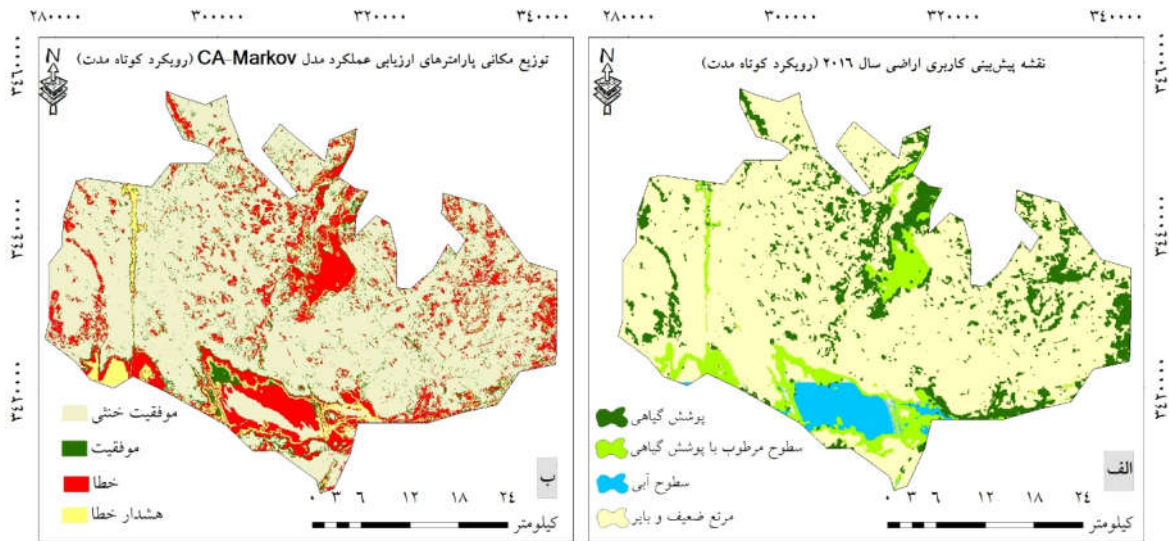
نتیجه‌گیری

روند تغییرات کاربری اراضی در طول دوره مطالعاتی (۲۰۱۶-۱۹۸۶) در جهت کاهش سطح منابع آبی و پوشش گیاهی و افزایش سطح اراضی بایر بوده که این تغییرات بیابانی شدن اراضی منطقه را به همراه داشته است. با توجه به وضعیت تخریبی کاربری‌های اراضی در کانون ریزگرد جنوب و جنوب

مورد بررسی، تغییر سیاستگذاری‌ها، توسعه اقدامات زیرساختی و سیاستگذاری‌های اقتصادی و تجاری از جمله دلایل کارایی ضعیف مدل CA-Markov گزارش شد (۳۲). در نتایج پژوهش (۱۸) در نظر نگرفتن عوامل انسانی و سیاست‌های دولت و مطالعه (۲۸) در نظر نگرفتن عوامل اقتصادی و اجتماعی در تغییرات کاربری اراضی به‌عنوان محدودیت‌های مدل CA-Markov گزارش شد.

نقشه پیش‌بینی کاربری اراضی سال ۲۰۱۶ توسط مدل CA-Markov بر اساس کوتاه‌مدت در شکل ۹- الف و نتایج حاصل از مقایسه مساحت کاربری‌ها در نقشه پیش‌بینی شده و نقشه طبقه‌بندی شده بر اساس رویکرد کوتاه‌مدت در جدول ۳ ارائه شده است. مساحت کاربری‌های پوشش گیاهی، سطوح مرطوب با پوشش گیاهی و سطوح آبی، بیشتر و مساحت مرتع ضعیف و بایر کمتر از میزان واقعی آن در سال ۲۰۱۶ پیش‌بینی شده است (جدول ۳).

بر اساس نتایج حاصل از محاسبه پارامترهای اعتبارسنجی مدل CA-Markov در رویکرد کوتاه‌مدت، میزان موفقیت خنثی (۷۱/۱۷ درصد)، موفقیت (۵/۸۴ درصد)، خطا (۱۶/۷ درصد) و هشدار خطا (۶/۲۸ درصد) به‌دست آمد که توزیع مکانی این پارامترها در شکل ۹- ب ارائه شده است. علاوه بر آن میزان خطای کمی و خطای مکانی به‌ترتیب برابر با ۱۰/۴۲ و ۱۲/۵۶ درصد حاصل شد. در رویکرد کوتاه‌مدت، میزان خطای کل مدل مذکور ۲۲/۹۸ درصد و ضریب کاپا برابر با ۰/۲۲ به‌دست آمد که نشان‌دهنده عملکرد بهتر مدل CA-Markov در پیش‌بینی روند تغییرات کاربری اراضی نسبت به رویکرد بلندمدت است. بررسی روند تغییرات کاربری اراضی برای رویکرد کوتاه‌مدت نشان‌دهنده روند یکسان کاهشی طی دوره‌های (۲۰۰۷-۲۰۰۲ و ۲۰۰۷-۲۰۰۲) برای کاربری‌های پوشش گیاهی، سطوح مرطوب با پوشش گیاهی و سطوح آبی و روند افزایشی برای کاربری مرتع ضعیف و بایر است (شکل ۵) که این نتایج نشان‌دهنده تأثیر طول دوره زمانی و روند تغییرات کاربری



شکل ۹. نقشه پیش‌بینی کاربری اراضی سال ۲۰۱۶ و (ب) پارامترهای اعتبارسنجی مدل CA-Markov بر اساس رویکرد کوتاه‌مدت (رنگی در نسخه الکترونیکی)

جدول ۳. مقایسه مساحت واقعی و پیش‌بینی شده کاربری‌های اراضی در سال ۲۰۱۶ (رویکرد کوتاه‌مدت)

طبقات کاربری اراضی	مساحت در سال ۲۰۱۶ بر حسب هکتار (درصد)		درصد اختلاف
	پیش‌بینی شده	طبقه‌بندی شده	
پوشش گیاهی	۲۲۶۱۹/۴۲ (۱۳/۳۶)	۶۲۵۴/۲۸ (۳/۶۹)	+۹/۶۷
سطوح مرطوب یا پوشش گیاهی	۱۲۴۸۹/۰۳ (۷/۳۷)	۱۶۳/۴۴ (۰/۱۰)	+۷/۲۷
سطوح آبی	۶۶۰۵/۱۹ (۳/۹)	۵۳۴۵/۳۷ (۳/۱۶)	+۰/۷۴
مرتع ضعیف و بایر	۱۲۷۶۵۳/۴ (۷۵/۳۷)	۱۵۷۶۰۳/۹۵ (۹۳/۰۵)	-۱۷/۶۸

قابل قبولی از روند تغییرات کاربری اراضی در منطقه ارائه دهد. استفاده از قانون یکنواخت در طول شبیه‌سازی بدون در نظر گرفتن عوامل و فرایندهای مؤثر بر تغییرات کاربری اراضی، یکسان نبودن روند تغییرات کاربری اراضی طی دوره‌های مطالعاتی، تغییرات متأثر از فعالیت‌های انسانی، وقوع خشکسالی و طولانی بودن دوره پیش‌بینی از دلایل عملکرد ضعیف مدل CA-Markov هستند.

عوامل متعددی بر بیابان‌زایی در منطقه جنوب و جنوب شرق اهواز مؤثر بوده‌اند و از این میان افزایش دما، کاهش رطوبت و تخریب پوشش گیاهی به‌عنوان عوامل اصلی ایجاد کانون منشأ ریزگرد در جنوب و جنوب شرق اهواز شناخته شده‌اند. بنابراین

شرق اهواز و تداوم رخداد طوفان‌های ریزگرد و آثار مخرب آن و نقشی که تغییرات کاربری اراضی در بیابانی شدن اراضی منطقه دارد، پیش‌بینی روند تغییرات آن ضروری است. در این راستا استفاده از فناوری سنجش از دور ابزاری مفید برای پایش تغییرات کاربری اراضی بوده و مدل‌سازی تغییرات آینده با فراهم آوردن روند احتمالی تغییرات کاربری اراضی اطلاعات مفیدی را برای مدیران و برنامه‌ریزان در راستای مدیریت کارآمد منطقه فراهم می‌کند.

نتایج بررسی کارایی مدل CA-Markov در پیش‌بینی روند تغییرات کاربری اراضی در کانون ریزگرد جنوب و جنوب شرق اهواز نشان داد که مدل CA-Markov نتوانسته برآورد

علاوه بر ضریب کاپا، دیگر مؤلفه‌های ارزیابی عملکرد مدل که در این پژوهش استفاده شد، محاسبه تا امکان مقایسه بهتر عملکرد مدل مذکور فراهم شود. علاوه بر آن استفاده از مدل‌ساز تغییر زمین (LCM) برای پیش‌بینی روند تغییرات کاربری اراضی در کانون ریزگرد جنوب و جنوب شرق اهواز پیشنهاد می‌شود.

ضرورت دارد که با به‌کارگیری رویکردهای احتمالی دیگر و دخالت عوامل شناسایی شده در فرایند مدل‌سازی و در مرحله تهیه نقشه‌های شایستگی کاربری اراضی نسبت به بهبود عملکرد مدل CA-Markov اقدام کرد. همچنین پیشنهاد می‌شود که از نقشه‌های کاربری اراضی با تعداد بیشتر و از چندین دوره ماتریس تبدیل وضعیت استفاده شود و پژوهش‌های مشابه توسط پژوهشگران دیگر برای بررسی عملکرد CA-Markov در مناطقی که به‌عنوان کانون ریزگرد شناسایی شده‌اند، انجام و

منابع مورد استفاده

1. Aliani, H., M. Malmir, M. Sourodi and S. Babaie Kafaky. 2019. Change detection and prediction of urban land use changes by ca-markov model (Case study: Talesh county). *Journal of Environmental Earth Sciences* 78(546): 1-12.
2. Al-sharif, A. A. and B. Pradhan. 2014. Monitoring and predicting land use change in tripoli metropolitan city using an integrated Markov chain and cellular automata models in gis. *Arabian Journal of Geosciences* 7(10): 4291-4301.
3. Azhdari, A., P. Heidarian, M. Joudaki, J. Darvishi Khatoni and R. Shahbazi. 2015. Recognized dust sources in khuzestan province. *Ministry of Industry, Mine and Trade Geological Survey of Iran South West Regional Center*, 1-73. (In Farsi).
4. Azhdari, A., P. Heidarian, S. Fathtabar, H. Salehi and A. Fuladi. 2017. Prioritizing the dust sources in khuzestan province. *Ministry of Industry, Mine and Trade Geological Survey of Iran South West Regional Center* 1-66. (In Farsi).
5. Barros, K. K. O., C. A. A. S. Riberio, G. E. Marcatti, A. S. Lorenzon, N. L. M. D. Castro, G. F. Domingues, J. R. D. Carvalho and A. R. D. Santos. 2018. Markov chains and cellular automata to predict environments subject to desertification. *Journal of Environmental Management* 255: 160-167.
6. Chen, H. and R. G. Pontius Jr. 2010. Diagnostic tools to evaluate a spatial land change projection along a gradient of an explanatory variable. *Journal of Landscape Ecology* 25: 1319-1331.
7. Ebrahimi, F. S. and A. Kamali. 2017. Predict possible change in land use by using satellite imagery and CA-markov model. *Journal of Water and Soil Conservation* 24(4): 259-271. (In Farsi).
8. Falahatkar, S., S. M. Hosseini and A. R. Salman Mahiny. 2016. Prediction of land use/cover change by using lcm model. *Journal of Environmental Researches* 7(13): 163-174. (In Farsi).
9. Falaki, M. A., H. T. Ahmed and B. Akpu. 2020. Predictive modeling of desertification in jibia local government area of katsina state, Nigeria. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences* 23(1): 1-8.
10. Fatemi, S. B. and Y. Rezaei. 2018. Conventional classification algorithm. P. 237. In: Bedostani, A., Principles of Remote Sensing. azade, Tehran. (In Farsi).
11. Ghosh, P., A. Mukhopadhyay, A. Chanda, P. Mondal, A. Akhnad, S. Mukherjee, S. k. Nayak, S. Ghosh, D. Mitra, T. Ghosh and S. Hazra. 2017. Application of cellular automata and Markov-Chain model in geospatial environmental modeling- A review. *Remote Sensing Applications: Society and Environment* 5: 64-77.
12. Hajibigloo, M., V. Berdi Sheikh, H. Memarian and C. B. Komaki. 2020. Compilation of a model for hazardous waste disposal site selection using gis-based multi-purpose decision-making models. *Journal of RS & GIS for Natural Resources* 11(2): 1-26. (In Farsi).
13. Halabian, A. H. and M. Soltanian. 2017. Assessment and forecasting the desertification changes in the east and south of isfahan by ca-markov model. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards* 3(4): 71-88. (In Farsi).
14. Hasheminasab, S. and R. Jafari. 2018. Evaluation of land use changes order to desertification monitoring using remote sensing techniques. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards* 5(3): 67-88. (In Farsi).
15. Heidarian, P. 2014. Modeling of urban growth using GIS techniques and geographically weighted regression (GWR): The case of Tehran metropolis. M.Sc. Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahwaz, Iran.
16. Jahanthigh, M., A. Najafinejad, M. Jahantigh and M. Hosseinalizadeh. 2020. Investigating the effect of hydrological drought and traditional utilization (distribution and transmission) of water resources (flood streams) on land degradation and desertification in drylands: a case study of sisthan plain. *Desert Ecosystem Engineering Journal* 9(27): 25-46. (In Farsi).

17. Joorabian Shooshtari, Sh., A. Esmaili-Sari, S. M. Hosseini and M. Gholamalifard. 2014. Application logistic regression an markov chain in land cover change prediction in east of mazandaran province. *Journal of Natural Environment (Iranian Journal of Natural Resources)* 66(4): 351-363. (In Farsi).
18. Kamusoko, C., M. Aniya, B. Adi and M. Manjoro. 2009. Rural sustainability under threat in zimbabwe-simulation of future land use/cover changes in the bindura district based on the Markov-cellular automata model. *Journal of Applied Geograpy* 29: 435-447.
19. Karimi, k. and Ch. B. Komaki. 2015. Monitoring, assessment and prediction of spatial changes of land use /cover using markov chain model (Case study: Bostagh plain - south khorasan). *Journal of RS & GIS for Natural Resources* 6(2): 75-88. (In Farsi).
20. Mahmoodabadi, S., A. Holisaz, H. Mohammadi Kangarani and H. Gholami. 2020. Forecasting land use changes and land cover in sirjan plain using Markov-cellular model. *Journal of Quantitative Geomorphological Research* 9(1): 102-116. (In Farsi).
21. Memarian, H., S. K. Balasundram, J. B. Talib, C. T. B. Sung, A. M. Sood and K. Abbaspour. 2012. Validation of ca-markov for simulation of land use and cover change in the langat basin, Malaysia. *Journal of Geographic Information System* 4: 542-554.
22. Mirzaei Zadeh, V., A. Mahdavi, A. Karmshahi and A. A. Jaefarzadeh. 2015. Application of an integrated ca-markov model in simulating spatiotemporal changes in forest cover: a case study of malekshahi county forests, Ilam province. *Journal of Ecology of Iranian Forests* 3(5): 42-52. (In Farsi).
23. Mombeni, M. and H. Asgari. 2018. Monitoring, assessment and prediction of spatial changes of land use/cover using Markov chain model (Case study: Shushtar-Khuzestan). *Journal of Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)* 27(105): 35-47. (In Farsi).
24. Norouzi, A., M. R. Ansari, M. Moazami and N. Asghari Pour Dasht Bozorg. 2019. Land use changes in dust sources of south and south-east ahwaz. *Journal of Water and Soil Science (Science and Technology of Agriculture and Natural Resources)* 23(3): 341-354. (In Farsi).
25. Nwilo, P. C., D. N. Olayinka, C. J. Okolie, E. I. Emmanuel, M. J. Otji and O. E. Daramola. 2020. Impacts of land cover changes on desertification in northern Nigeria and implications on the lake chad basin. *Journal of Arid Environments* 181: 1-10.
26. Rahdary, V., S. Maleki, A. R. Soffianian and S. Fakheran. 2014. Investigation of vegetation cover crown percentage changes prediction using markov chain using rs and gis. *Iranian Remote Sensing & GIS* 6(2): 99-111. (In Farsi).
27. Samat, N., R. Hasni and Y. A. E. Elhadary. 2011. Modelling land use changes at the peri-urban areas using geographic information systems and cellular automata model. *Journal of Sustainable Development* 4(6): 71-84.
28. Sang, L., C. Zhanga, J. Yanga, D. Zhua and W. Yun. 2011. Simulation of land use spatial pattern of towns and villages based on ca-Markov model. *Journal of Mathematical and Computer Modelling* 54: 938-943.
29. Sarparast, M., M. Ownegh and A. Sepehr. 2020. Evaluating the impacts of combating-action programs on desertification hazard trends: A case study of taybad-bakharz region, northeastern iran. *Environmental and Sustainability Indicators* 7:1-12.
30. Shakeri, R., K. Shayesteh and M. Ghorbani. 2019. Assessment and prediction of land use changes in the anzali wetland basin, based on land change modeler (lcm). *Iranian Remote Sensing & Gis* 11(2): 93-114. (In Farsi).
31. Unzer, C. and O. Dengiz. 2020. Desertification risk assessment in turkey based on environmentally sensitive areas. *Journal of Ecological Indicators* 114: 1-12.
32. Vafaei, S., M. Pir Bavahgar and A. A. Darvishsefat. 2014. Modeling forest cover change using ca-markov (Case study: Marvian region). 2th National Iranian Conference on Natural Resources, 16-17April, Kordestan, Iran:1-11. (In Farsi).
33. Vargaa, O. G., R. G. Pontius Jr, S. K. Singhc and S. Szabo. 2019. Intensity analysis and the figure of merit's components for assessment of a cellular automata-markov simulation model. *Journal of Ecological Indicators* 101: 931-942.
34. Wang, X., T. Hua, L. Lang and W. Ma. 2017. Spatial differences of aeolian desertification responses to climate in arid Asia. *Journal of Global and Planetary Change* 148: 22-28.
35. Yagoub, M. M. and A. A. Bizreh. 2014. Prediction of land cover change using markov and cellular automata models: case of al-ain, uae, 1992-2030. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing* 42(3): 665-671.
36. Zehrabian, Gh., H. Khosravi and R. Masoudi. 2014. Models of desertification assessment (criteria and indices), University of Tehran Press. (In Farsi).

Evaluation of the Efficiency of the CA-Markov Model in Predicting Spatio-Temporal Changes of Land Use in Dust Source of South and Southeast Ahwaz

A. Norouzi and M. R. Ansari^{1*}

(Received: October 14-2020; Accepted: December 9-2020)

Abstract

At present, the occurrence of dust storms is one of the most important environmental problems in Khuzestan Province, and the south and southeast regions of Ahwaz have been recognized as one of the interior dust sources and are the priority of corrective operations. Given that land use change is one of the desertification factors in the mentioned region, therefore, modeling its changes is necessary and provides useful information for planners to control and revive the degraded lands. The objective of this study was to evaluate the efficiency of the CA-Markov model in predicting land use changes in the dust source of south and southeast of Ahwaz based on two long-term and short-term approaches. In the long-term approach, land use maps of 1986 and 2002 years and in the short-term approach, land use maps of 2002 and 2007 years have been used to predict land use for the year 2016 and then the simulation results were validated. The results showed that the values of allocation error, quantity error, and kappa coefficient for the long-term approach were 42.55%, 13.95%, and 0.08 respectively, and for the short-term approach were 12.56%, 10.42%, and 0.22 respectively, which indicates the weak ability of the CA-Markov model to evaluate the desertification trend in the dust Source of south and southeast Ahwaz. Use of uniform transition rule throughout the simulation period without considering the factors and processes affecting land use change, the non-same trend of land use change during study periods, changes due to human activities, drought, and long forecast period can be the reasons for the poor performance of the CA-Markov model to predict the desertification trend the dust Source of south and southeast Ahwaz.

Keywords: Remote sensing, Simulation, Drought, Desertification, Kappa coefficient

1. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Khuzestan, Iran.

*: Corresponding Author, Email: m_ansari@asnrukh.ac.ir