



پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل سلول‌های خودکار - مارکف در حوضه‌ی آبخیز بادآور لرستان

حافظ میرزاپور^۱، علی حقی‌زاده^{۲*}، ناصر طهماسبی‌پور^۳، حسین زینی‌وند^۴

۱- دانشجوی دکتری مدیریت حوزه‌ی آبخیز، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

۲- دانشیار و عضو هیئت علمی گروه مهندسی آبخیزداری، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

۳- دانشیار و عضو هیئت علمی گروه مهندسی آبخیزداری، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

۴- دانشیار و عضو هیئت علمی گروه مهندسی آبخیزداری، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران
تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۸/۰۷/۱۵
وصول مقاله: ۱۳۹۷/۰۸/۲۱

چکیده

آشکارسازی دقیق تغییرات کاربری اراضی، پایه‌ای برای فهم بهتر روابط و تعاملات انسان و پدیده‌های طبیعی برای مدیریت و استفاده بهتر از منابع را فراهم می‌آورد. هدف از این پژوهش بررسی تغییرات کاربری اراضی در سال‌های گذشته و امکان پیش‌بینی این تغییرات در سال‌های آینده در حوضه‌ی آبخیز بادآور نورآباد واقع در لرستان به مساحت ۷۱۶۰۰ هکتار است. به منظور آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی از تصاویر سنجنده‌های TM، ETM+ و OLI ماهواره لندست در سال‌های ۱۳۷۰، ۱۳۸۳ و ۱۳۹۵ برای تهیه‌ی نقشه‌ی کاربری اراضی منطقه‌ی مورد مطالعه استفاده شد. سپس با استفاده از مدل مارکف، کاربری اراضی سال ۱۳۹۵ شبیه‌سازی و ماتریس احتمال برای ۱۲ سال پیش‌بینی تهیه شد. نتایج مدل مارکف و نقشه‌ی کاربری اراضی سال ۱۳۹۵ به‌عنوان ورودی به مدل سلول‌های خودکار معرفی و کاربری اراضی سال ۱۴۰۷ پیش‌بینی شد. ارزیابی میزان تطابق نقشه‌ی شبیه‌سازی شده و نقشه‌ی واقعی با ضریب کاپای ۰/۹۷، نشان داد مدل سلول‌های خودکار- مارکف، مدلی مناسب جهت پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی می‌باشد. نتایج حاصل از تغییرات کاربری اراضی بین سال‌های ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۵ نشان داد به وسعت مناطق مسکونی، اراضی دیم، باغ و اراضی کشاورزی آبی افزوده شده است. همچنین نتایج حاصل از پیش‌بینی نشان داد از وسعت مراتع به مقدار ۶۵۹/۸۹ هکتار کاسته و به اراضی کشاورزی آبی به وسعت ۳۹۵/۴۷ هکتار افزوده خواهد شد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده تغییرات کاربری اراضی در جهت تخریب عرصه‌های منابع طبیعی بوده است، از این رو پیشنهاد می‌شود اقدامات حفاظتی و اتخاذ تصمیمات مدیریتی مناسب جهت کنترل تغییرات غیراصولی بیش از پیش ادامه اعمال گردد.

کلمات کلیدی: لندست، سنجش‌ازدور، تغییرات کاربری اراضی، ضریب کاپا.

۱- مقدمه

در سراسر جهان تغییرات کاربری اراضی در حال انجام است که اثرات مهمی بر ساختار و کارکرد اکوسیستم دارد. از جمله تحولات می‌توان به تخریب جنگل‌ها و مراتع در سطح وسیع و ایجاد زمین‌های کشاورزی آبی و دیم اشاره کرد. این تغییرات به‌طور طبیعی، به صورت تدریجی و پیش‌رونده اتفاق می‌افتد، اما گاهی به دلیل فعالیت‌های انسانی به صورت سریع و ناگهانی رخ می‌دهد (اسماعیل‌پور و عزیزپور، ۱۳۸۸: ۴۰). آشکارسازی دقیق و به موقع تغییرات سیما و پستی بلندی‌های سطح زمین پایه‌ای برای فهم بهتر روابط، برهم‌کنش‌های انسان و پدیده‌های طبیعی برای مدیریت و استفاده بهتر از منابع را فراهم می‌آورد. عمده‌تاً بارزسازی تغییرات دربرگیرنده‌ی کاربرد مجموعه داده‌های چندزمانه برای آنالیز کمی اثرات زمانی یک پدیده است (لو و همکاران^۱، ۲۰۱۴: ۲۳۶۶). تغییرات ناشی از فعالیت‌های انسانی که عامل تبدیل رویشگاه‌های طبیعی به دیگر کاربری‌ها است، باعث از دست رفتن زیستگاه، تخریب و چند تکه شدن آن می‌شود (کلارستاقی و جعفریان^۲، ۲۰۱۱: ۴۰۲؛ کاموسکو و آنیا^۳، آنیا^۳، ۲۰۰۷: ۲۲۳). امروزه شناخت روند تغییرات کاربری اراضی و پیش‌بینی آن مباحث مطرح و مهم در برنامه‌ریزی برای مسئولان می‌باشد. مدل‌های پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی برای برنامه‌ریزی استفاده پایدار از زمین یک نیاز ضروری است (م^۴ و همکاران، ۲۰۱۴: ۹۵). با توجه به آنکه تغییرات در کاربری اراضی - پوشش گیاهی در سطوح وسیع و گسترده صورت می‌گیرد لذا فناوری سنجش‌ازدور یک ابزار مهم در بررسی و پایش تغییرات آن می‌باشد (آرخی و نیازی، ۱۳۸۹: ۸۳). روش‌های زیادی برای مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات پوشش و کاربری اراضی وجود دارد که می‌توان به مدل آماری، مدل هیبرید، مدل تکاملی، مدل سیستم و مدل Cellular اشاره کرد. مدل Cellular شامل مدل‌های مارکوف و

۱- Lu et al.,

۲- Kelarestaghi and JafarianJeloudar

۳- Kamusoko and Aniya

۴- Mas

CA است (پارکر^۱ و همکاران، ۲۰۱۳: ۳۱۶). آل شریف و پرادهان^۲ (۲۰۱۴) با استفاده از مدل زنجیره‌ای مارکف و سلول‌های خودکار به شبیه‌سازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در منطقه‌ی شهری طرابلس کشور لیبی انجام شد، در مرحله‌ی اول مدل زنجیره‌ی مارکف برای شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی مورد استفاده قرار گرفت، سپس مدل CA برای شبیه‌سازی الگوهای فضایی پویا اعمال شد. در فرایند اعتبارسنجی مدل تلفیقی Ca-Markov با ضریب کاپای ۸۵ درصد مورد تأیید قرار گرفت در نهایت بر اساس قوانین انتقال و ماتریس حاصل از کالیبراسیون تغییرات کاربری اراضی سال ۲۰۲۰ و ۲۰۲۵ پیش‌بینی و نقشه‌برداری شد. جعفری و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهشی به‌منظور شبیه‌سازی و پیش‌بینی توسعه‌ی شهری از طریق مدل سلول‌های خودکار-مارکف در گیلان، تصاویر سال‌های ۱۹۸۹، ۲۰۰۱ و ۲۰۱۳ را مورد بررسی قرار دادند و نقشه‌ی طبقه‌بندی هر سه تصویر با صحت کلی بالاتر از ۸۹ درصد تهیه شد. سپس پیش‌بینی در دو مقطع برای سال‌های ۲۰۲۵ و ۲۰۳۷ انجام شد و نتایج حاصل نشان داد در سال‌های آتی گسترش شهر افزایش نگران‌کننده‌ای خواهد داشت. در نهایت مدل سلول‌های خودکار-مارکف ابزار کارآمد برای تصمیم‌گیری مدیران در مدیریت شهر گیلان تشخیص داده شد. کاوه و ابراهیمی (۱۳۹۲) به‌منظور پیش‌بینی تغییرات کاربری/ پوشش اراضی با مدل سلول‌های خودکار-مارکف در رودخانه‌ی آق‌بلاغ، نقشه‌ی کاربری و پوشش را با استفاده از داده‌های عکس هوایی (۱۳۳۵، ۱۳۴۸ و ۱۳۷۷) و تصاویر ماهواره‌ای (۱۳۸۵) تهیه نمودند. سپس با استفاده از روش تلفیق (cross) میزان توانایی مدل را با استفاده از شاخص کاپا تعیین کردند. نتایج حاصل از ماتریس پیش‌بینی تغییرات بر مبنای نقشه‌ی سال‌های ۱۳۷۷ و ۱۳۸۵ نشان داد که احتمال می‌رود در فاصله‌ی زمانی ۱۳۸۵-۱۳۹۵ کاربری کشاورزی پایداری زیاد و رودخانه پایداری کمی خواهد داشت. عبدالعلی‌زاده و ابراهیمی (۱۳۹۴) در پیش‌بینی تغییرات آینده پوشش اراضی منطقه حفاظت‌شده سبزکوه از داده‌های ماهواره‌ای و سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده کردند تا با توجه به روند تغییرات در گذشته و به‌شرط ادامه روند فعلی، وضعیت آینده‌ی

۱- Parker

۲- Al sharif and Pradhan

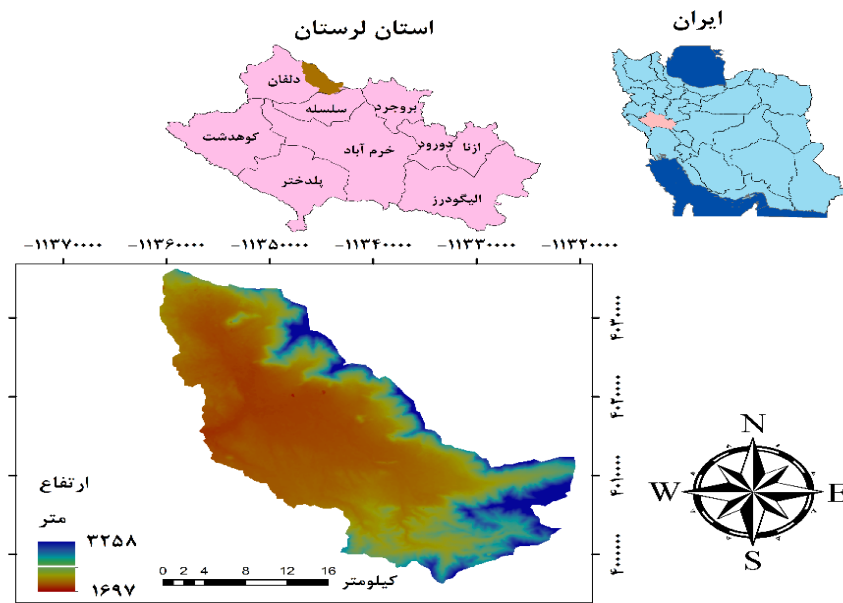
منطقه با استفاده از CA-Markov مورد پیش‌بینی قرار گیرد. در این مطالعه تصاویر سنجنده‌های MSS (۱۳۵۴) و ETM+ (۱۳۸۲) برای تهیه نقشه‌ی پوشش اراضی به روش طبقه‌بندی حداکثر شباهت به کار گرفته شد. سپس از مدل CA-Markov به منظور پیش‌بینی تغییرات احتمالی در ۱۵ سال آینده استفاده گردید. محاسبات مربوط به پیش‌بینی تغییرات نشان داد که به مساحت اراضی کشاورزی، مراتع بوته‌ای و جنگل‌های منطقه افزوده شده ولی از مساحت مراتع علفی و اراضی لخت کاسته خواهد شد. حیدری‌زادی و محمدی (۱۳۹۵) به منظور آشکارسازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی دشت مهران با استفاده از مدل سلول‌های خودکار-مارکف تصاویر ماهواره لندست مربوط به سال‌های ۱۹۸۹، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۵ را مورد بررسی قرار دادند. میزان تطابق نقشه‌ی شبیه‌سازی شده و نقشه واقعی با ضریب کاپای ۰/۷۹ نشان داد که مدل سلول‌های خودکار-مارکف مدلی مناسب برای پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی می‌باشد. سپس نقشه‌ی کاربری اراضی برای سال ۲۰۲۸ را پیش‌بینی و تهیه نمودند. در پژوهش حاضر با استفاده از روش طبقه‌بندی نظارت شده حداکثر احتمال به ارزیابی تغییرات کاربری اراضی پرداخته می‌شود، همچنین برای بررسی روند تغییرات، از روش تلفیقی زنجیره مارکف و سلول‌های خودکار استفاده شده و تغییرات احتمالی کاربری اراضی برای ۱۲ سال آینده (۱۴۰۷) نیز پیش‌بینی شده است.

۲- مواد و روش

- منطقه‌ی مورد مطالعه

محدوده‌ی مطالعاتی بادآور نورآباد با وسعت ۷۱۶۰۰ هکتار و میانگین ارتفاع ۲۰۶۲ متر در ناحیه غربی کشور در شهرستان دلفان، استان لرستان واقع گردیده است. از نظر جغرافیایی در مختصات 47° - 56° تا 48° - 18° طول شرقی و 33° - 13° تا 34° - 3° قرار دارد (شکل ۱). میانگین بارش ده‌ساله (۱۳۹۶-۱۳۸۶) ایستگاه بادآور نورآباد ۵۳۸ میلی‌متر می‌باشد. اقلیم منطقه با استفاده از روش دومارتن آب‌وهوای مدیترانه‌ای و نیمه‌مرطوب تعیین شد. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که ارتفاعات بلند منطقه از آهک‌های ضخیم لایه و

مناطق کم یا متوسط ارتفاع دشت از سنگ‌های آذرین، دگرگونی و سری آهکی همراه با سنگ‌های دگرگونی تشکیل شده است. واحد مرفولوژیکی دشت شامل مخروط افکنه‌ها، پادگانه‌های آبرفتی، واریزه‌ها و آبرفت‌های سیلابی و آبرفت‌های بین دشتی می‌باشد. رسوبات کنگلومرایی با پهنه‌ی وسیعی در انتهای جنوب شرقی دشت قابل رویت است و در شمال دشت آبرفت‌ها و واریزه‌های بادبزی به صورت نواری حاشیه دشت را می‌پوشاند و قسمت اعظم دشت را رسوبات واریزه‌ای اشغال نموده است (پورحقی و همکاران، ۱۳۹۳).



شکل (۱) منطقه‌ی مورد مطالعه

Fig(1) The study area

در این تحقیق از داده‌های سنجنش‌ازدور تصاویر ماهواره لندست، ۵، ۷ و ۸ به ترتیب در سال‌های ۱۳۷۰، ۱۳۸۳ و ۱۳۹۵ منطقه استفاده شد (جدول ۱).

جدول (۱) مشخصات تصاویر استفاده شده در تحقیق
 Table(1) characteristics of the used images in the research

سنجنده	ردیف	گذر	تاریخ	مینا
TM	۳۶	۱۶۶	۱۹۹۱/۰۵/۲۹	WGS84
ETM+	۳۶	۱۶۶	۲۰۰۴/۰۵/۰۸	WGS84
OLI	۳۶	۱۶۶	۲۰۱۶/۰۵/۱۷	WGS84

از آنجایی که تفکیک و شناسایی پدیده‌ها به لحاظ رنگ نتایج بهتری ارائه می‌دهد ولی نمایش داده‌های حاصل از اسکنرها در تک باندها با استفاده از گام‌های خاکستری است، تصویر رنگی کاذب هر تاریخ با استفاده از ترکیب باندهای ۲ (سبز) ۳ (قرمز) ۴ (مادون قرمز نزدیک) تولید می‌گردد (خوی و مارایاما، ۲۰۱۰: ۱۲۵۱)^۱. این تصاویر به تجسم انواع کاربری‌ها در منطقه کمک می‌کنند. از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده حداکثر احتمال برای تهیه نقشه‌های پوشش اراضی استفاده شد. اولین گام در انجام طبقه‌بندی نظارت‌شده تعریف مناطقی است که به‌عنوان نمونه‌های تعلیمی برای هر کلاس استفاده می‌شوند (استمن، ۲۰۰۶: ۱۸۹)^۲. پس از مرحله‌ی تعیین نمونه‌های تعلیمی، نوبت به طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای می‌رسد که در تحقیق حاضر از روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال استفاده شد. در نهایت برای حذف قطعات کوچک و ساده‌سازی تصاویر حاصل از طبقه‌بندی‌ها از فیلتر Mod استفاده شد.

مدل CA-Markov

مدل CA-Markov تلفیقی از سلول‌های خودکار زنجیره‌ی مارکف و تخصیص چندمنظوره اراضی است که برای پیش‌بینی تغییرات آینده پوشش و کاربری اراضی بکار می‌رود. در ابتدا با به‌کارگیری مدل زنجیره‌ی مارکف احتمال تغییر طبقات نقشه‌ی کاربری به یکدیگر در قالب ماتریس احتمال تغییر وضعیت کاربری‌ها و بر مبنای تغییرات مساحتی به وقوع پیوسته بین زمان t و $t+1$ محاسبه می‌گردد. خروجی مدل مارکف (ماتریس تغییر وضعیت کاربری‌ها)

۱- Khoi and Murayama

۲- Eastman

به لحاظ ماهیت غیرمکانی است، یعنی در آن هیچ دانش و آگاهی از موقعیت جغرافیایی کاربری‌های زمین وجود ندارد. برای پیش‌بینی موقعیت مکانی کاربری‌ها (نقشه‌ی پوشش و کاربری اراضی) در زمان $t+1$ تکنیک سلول‌های خودکار به همراه این مدل بکار گرفته می‌شود. بدین‌صورت که نقشه‌ی آینده کاربری اراضی با استفاده از نقشه‌های شایستگی تبدیل پوشش و کاربری با اعمال فیلتر مجاورت و طی فرآیند تخصیص چندمنظوره اراضی تهیه می‌گردد (استمن، ۲۰۰۶: ۱۰۵). در حقیقت مدل CA-Markov مؤلفه‌های مجاورت مکانی و دانش کاربر نسبت به توزیع مکانی احتمال تبدیل کاربری‌ها را به مدل زنجیره‌ی مارکوف اضافه می‌کند (خوش‌گفتار، ۱۳۸۹: ۳).

- مدل زنجیره مارکوف

زنجیره مارکوف، دنباله‌ای از فرایندهای تصادفی است که در آن نتیجه هر فرایند در هر زمان، تنها به نتیجه‌ی فرایند در زمان مجاور آن بستگی دارد (نوریس، ۱۹۹۸)^۱ اما، توزیع احتمالات آن‌ها می‌تواند متفاوت باشد و در ضمن هر متغیر تصادفی در یک زنجیره‌ی مارکوف تنها به متغیر قبل از خود وابسته است. دنباله‌ی متغیرهای تصادفی را به‌صورت رابطه‌ی (۱) نمایش می‌دهیم:

$$X^{(0)}, X^{(1)}, X^{(2)}, \dots \quad (1)$$

فضای نمونه‌ای متغیرهای تصادفی زنجیره مارکوف می‌تواند پیوسته یا گسسته، محدود یا نامحدود باشد. با فرض حالت گسسته‌ی محدود برای فضای نمونه‌ای، می‌توان هر متغیر تصادفی را با توزیع احتمالش نمایش داد. این توزیع را با یک بردار که احتمال هر کدام از مقادیر فضای نمونه‌ای را در خود جای‌داده است، نمایش می‌دهیم. بنابراین، نمایش دیگر زنجیره‌ی مارکوف عبارت است از:

$$p_0, p_1, p_2, \dots, p_i = [p(x^i = x_1), \dots, p(x^i = x_n)] \quad (2)$$

با توجه به تعریف زنجیره مارکوف، دانستن اولین مؤلفه زنجیره و رابطه‌ای که مؤلفه i -ام را از مؤلفه $(i-1)$ -ام تولید می‌کند، برای ساختن زنجیره کافی است. این رابطه را تابع تبدیل (T) می‌گوییم و نحوه‌ی به دست آوردن مؤلفه‌های بردار احتمال به‌وسیله این تابع مطابق رابطه‌ی (۳) به دست می‌آید:

$$p(x^{i+1} = x) = \sum p(x^i = \tilde{x}) T_i(\tilde{x}, x) \quad (3)$$

چنانچه در زنجیره‌ی مارکوف، رابطه‌ی بین متغیرهای تصادفی متوالی به موقعیت آن‌ها در زنجیره وابسته نباشد، زنجیره را همگن می‌گوییم. رابطه‌ی (۴) زنجیره‌ی همگن را نشان می‌دهد:

$$T_i(\tilde{x}, x) = T_j(\tilde{x}, x) = T(\tilde{x}, x) \quad (4)$$

می‌توان روابط گفته‌شده را به‌صورت رابطه‌ی ماتریسی (۵) خلاصه نمود:

$$T_m = \begin{pmatrix} T(X_1, X_1) & \dots & T(X_1, X_n) \\ \dots & \dots & \dots \\ T(X_n, X_1) & \dots & T(X_n, X_n) \end{pmatrix} \quad (5)$$

زنجیره‌های مارکوف کاربردهای گسترده‌ای در مدل کردن تغییرات کاربری و پوشش اراضی برای مناطق شهری و غیرشهری داشته‌اند (لی و همکاران^۱، ۲۰۰۶: ۱۴). در بیشتر پژوهش‌ها درجه‌ی مارکوف برابر با یک و حالت ایستایی با زمان را برای مدل مارکوف قائل بوده‌اند و فقط تعداد بسیار محدودی از آن‌ها ایستایی یا درجه‌ی مارکوف را برای منطقه‌ی مطالعاتی آزمایش کرده‌اند (بل^۲، ۱۹۷۴: ۳۱۳) در تحلیل زنجیره‌ی مارکوف از کلاس‌های پوشش به‌عنوان حالت یا همان وضعیت‌های زنجیر استفاده شده است. در این تحلیل همواره

۱- Li et al.,

۲- Bell

از دو نقشه‌ی رستری استفاده می‌شود که ورودی‌های مدل نامیده می‌شود. علاوه بر این دو نقشه، فاصله‌ی زمانی بین دو تصویر و فاصله‌ی زمانی پیش‌بینی نیز در مدل در نظر گرفته می‌شود. خروجی مدل نیز شامل احتمالات تبدیل وضعیت، ماتریس مساحت‌های تبدیل‌شده هر کلاس و در نهایت تصاویر احتمالات شرطی برای تبدیل کاربری‌های مختلف است (وَنگ^۱، ۲۰۰۲) مدل‌های مبتنی بر زنجیره مارکف قادرند اطلاعات پیچیده را در قالب ماتریس تغییر وضعیت گردآوری کنند. از این رو با کمک زنجیره‌ی مارکف می‌توان؛ سیستم‌های بسیار پیچیده و مرکبی را مدل‌سازی نمود، که فرایندهای زیربنایی در آن قابل‌شناسایی نباشند (بالزتر^۲، ۲۰۰۰: ۳۳۰). روش مارکف در مطالعات تغییرات کاربری اراضی؛ علاوه بر پیش‌بینی ماتریس تغییر وضعیت (که نشان‌دهنده‌ی تغییرات کاربری‌ها در طول دوره‌ی زمانی مورد نظر است)، امکانی را فراهم می‌آورد تا توزیع مساحتی کاربری اراضی در انتهای یک دوره‌ی زمانی، با استفاده از توزیع کاربری در ابتدای دوره صورت گیرد. ماتریس احتمال تغییر کاربری‌ها با توجه به تغییرات مشاهده‌شده در گذشته محاسبه می‌گردد و در پیش‌بینی تغییرات کاربری برای آینده بکار می‌رود (پیجانوسکی و همکاران^۳، ۲۰۰۰: ۵۵۴).

- مدل سلول‌های خودکار

سلول‌های خودکار (اتوماتای سلولی) مدل‌های دینامیک گسسته‌ای هستند که در شبیه‌سازی گسترده‌ی وسیعی از فرایندهای طبیعی و انسانی کاربرد دارند. مفاهیم سلول‌های خودکار بر پایه تئوری پیچیدگی بنا نهاده شده است و در آن چندین مؤلفه‌ی ساده برای ایجاد الگوهای پیچیده باهم همکاری می‌کنند. در مدل سلول‌های خودکار، فضا به صورت یک شبکه تعریف می‌گردد که به هر خانه آن یک سلول گفته می‌شود؛ هر سلول یک اتوماتون باحالت‌های محدود می‌باشد و می‌تواند $k > 1$ مقدار مختلف به خود بگیرد. سلول‌های اتوماتای سلولی در زمان‌های گسسته به‌طور هم‌زمان و بر طبق یک قانون محلی به هنگام می‌شوند.

۱- weng

۲- Balzter

۳- Pijanowski et al

مقدار هر سلول بر اساس مقادیر سلول‌های همسایه و خود آن سلول تعیین می‌گردد اجزای روش CA شامل چهار مؤلفه L, S, N و F می‌باشد. مؤلفه L مربوط به شبکه‌ی سلولی است که این شبکه از سلول‌های منفرد تشکیل شده و اجزای آن می‌توانند هر شکل هندسی داشته باشند ولی مهم‌ترین و پرکاربردترین یک S شکل آن شبکه مربعی معمولی است. مؤلفه مجموعه‌ی متناهی از مقادیر منتسب به سلول‌ها است که این مقادیر بیانگر وضعیت سلول‌ها در یک‌زمان خاص می‌باشد (مثلاً طبقات مختلف نقشه کاربری در یک سال معین). مجموعه‌ای از سلول‌های همسایه تأثیرگذار بر N مؤلفه بیانگر تابع F سلول موردبررسی می‌باشد. مؤلفه‌ی آخر یعنی انتقال وضعیت است. این مؤلفه، وضعیت سلول‌ها را قبل و بعد از به‌هنگام شدن با توجه به شرایط همسایگی تعیین می‌کند (آذر مهر و همکاران، ۱۳۸۹: ۴).

- ارزیابی صحت

لازمه‌ی استفاده از هر نوع اطلاعات موضوعی، آگاهی از میزان صحت و درستی آن است. صحت اطلاعات درواقع میزان احتمال درستی اطلاعات است (وریقات^۱، ۱۹۹۷: ۳۸۱۵) متداول‌ترین روش برای ارزیابی کمی صحت طبقه‌بندی، انتخاب تعدادی پیکسل از پیکسل‌های نمونه معلوم و مقایسه‌ی کلاس آن‌ها با نتایج طبقه‌بندی می‌باشد. برآورد صحت برای درک نتایج به‌دست‌آمده و به کار بردن این نتایج برای تصمیم‌گیری خیلی مهم هستند. برای ارزیابی دقت و صحت نقشه‌های طبقه‌بندی شده، با قطع دادن نقشه‌های طبقه‌بندی شده با نقشه‌ی واقعیت زمینی حاصل از مطالعات میدانی، ماتریس خطا^۲ تشکیل می‌شود و بر اساس آن دقت کلی^۳، ضریب کاپا^۴، دقت کاربر^۵ و صحت تولیدکننده^۶ محاسبه می‌گردد. دقت

۱- Wrighat

۲- Confuse Matrix

۳- Overall Accuracy

۴- Kappa Coefficient

۵- user's accuracy

۶- producer's accuracy

تولیدکننده، احتمال اینکه یک کلاس در تصویر کلاسه‌بندی در همان کلاس در روی زمین قرار بگیرد و دقت کاربر، احتمال اینکه یک کلاس مشخص در روی زمین در همان کلاس بر روی تصویر طبقه‌بندی شده قرار بگیرد می‌باشد که از روابط ۶ و ۷ محاسبه می‌گردند.

$$UA = \frac{ta}{n_1} \times 100 \quad (۶)$$

$$PA = \frac{ta}{ga} \times 100 \quad (۷)$$

که در این رابطه PA درصد دقت کلاس a برای دقت تولیدکننده، ta تعداد پیکسل‌های صحیح طبقه‌بندی شده به‌عنوان کلاس a، ga تعداد پیکسل‌های کلاس a در واقعیت زمینی UA درصد دقت کلاس a برای دقت کاربر n_1 تعداد پیکسل‌های کلاس a می‌باشد. از نظر تئوری احتمالات، دقت کل نمی‌تواند معیار خوبی برای ارزیابی نتایج طبقه‌بندی باشد. زیرا در این شاخص نقش شانس قابل توجه است. دقت کل از جمع عناصر قطر اصلی ماتریس خطا تقسیم بر تعداد کل پیکسل‌ها طبق رابطه‌ی (۸) به دست می‌آید (علوی‌پناه و همکاران، ۱۳۸۴).

$$OA = \frac{1}{N} \sum P_{ii} \quad (۸)$$

در این رابطه $OA =$ دقت کل $N =$ تعداد پیکسل‌های آزمایشی و $\sum P_{ii}$ جمع عناصر قطر اصلی ماتریس خطا می‌باشد. به دلیل ایرادات وارده بر دقت کل، اغلب در کارهای اجرایی که مقایسه دقت طبقه‌بندی مورد توجه است، از شاخص کاپا استفاده می‌شود. چون شاخص کاپا پیکسل‌های نادرست طبقه‌بندی شده را مورد توجه قرار می‌دهد. شاخص کاپا از رابطه‌ی (۹) محاسبه می‌شود (بنیاد و حاجی قادری ۲۰۰۷).

$$Kappa = \frac{P_0 - P_c}{1 - P_c} * 100 \quad (۹)$$

که در آن P_0 درستی مشاهده شده P_c توافق مورد انتظار می‌باشد.

۳- بحث و نتایج

در این پژوهش تصاویر سنجنده های TM، ETM+ و OLI ماهواره لندست به ترتیب برای سال‌های ۱۳۷۰، ۱۳۸۳ و ۱۳۹۵ مورد استفاده قرار گرفت. پس از تصحیحات هندسی و رادیومتریک روی تصاویر، همچنین تصویر سال ۱۳۸۳ دارای خطای نوار شدگی بود که تصحیح نوارشدگی روی آن اعمال شد، با کمک گوگل ارث و ترکیب‌های رنگی کاذب نمونه‌های تعلیمی برای تصاویر تعریف شد. سپس با استفاده از روش حداکثر احتمال در نرم‌افزار ENVI 5.3 نقشه‌ی طبقه‌بندی تصاویر سال‌های مورد استفاده تهیه شد. در نهایت نقشه‌ی طبقه‌بندی‌شده سال ۱۳۹۵ با نقاط حاصل از برداشت میدانی با استفاده از GPS و نقشه‌های سال‌های ۱۳۸۳ و ۱۳۷۰ با استفاده از ۳۰ درصد نقاط تعلیمی، مورد ارزیابی و صحت‌سنجی قرار گرفتند. برای ارزیابی نقشه‌های تولیدشده در هر کاربری از صحت تولیدکننده و صحت کاربر، همچنین برای ارزیابی کلی نقشه‌های طبقه‌بندی‌شده از دقت کلی و ضریب کاپا استفاده شده است (جدول ۲).

بررسی روی تصاویر طبقه‌بندی‌شده نشان می‌دهد تغییرات رخ داده در کاربری‌ها بین سال‌های ۱۳۷۰-۱۳۹۵ در مناطق مسکونی، اراضی کشاورزی دیم، اراضی کشاورزی آبی، باغات و سایر (صخره، خاک لخت، آب، جاده و...) سیر صعودی داشته و در مراتع و بوته‌زارها سیر نزولی داشته‌اند. تغییرات ایجادشده نشان می‌دهد بیشترین تغییرات مربوط به مراتع است با کاهش ۴۹۹/۸۸ هکتار و بخش کشاورزی آبی با ۳۴۵/۰۴ هکتار بیشترین رشد را دارا می‌باشند. نتایج این پژوهش با نتایج فیضی زاده (۱۳۹۶) که در حوضه‌ی آبخیز صوفی چای در شهرستان مراغه، مبنی برافزایش اراضی باغ و کاهش مراتع از سال ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۵ انجام شد همسو می‌باشد. جدول (۳) و اشکال ۲ و ۳ بیانگر مقدار تغییرات و نقشه‌های طبقه‌بندی‌شده سال‌های ۱۳۷۰، ۱۳۸۳ و ۱۳۹۵ می‌باشند.

جدول (۲) ارزیابی میزان صحت و دقت طبقات کاربری اراضی تولیدشده در سال‌های ۱۳۷۰، ۱۳۸۳ و ۱۳۹۵

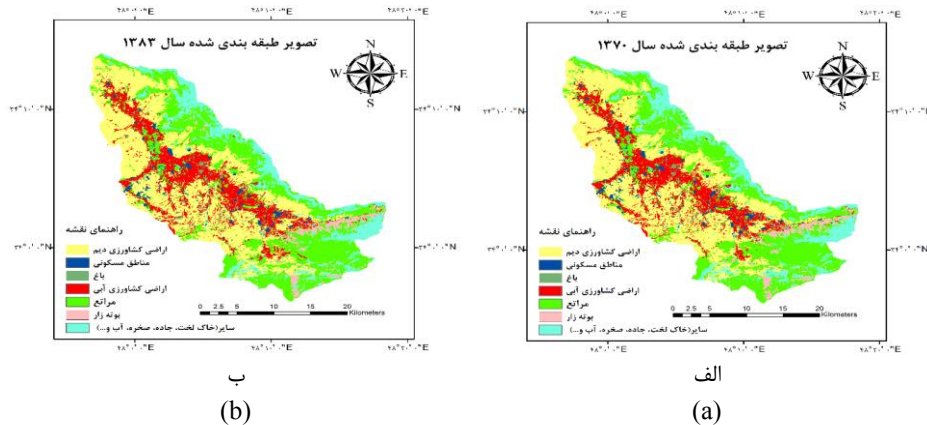
Table (2) Evaluation the Accuracy of Land Use Classes Produced in 1991, 2004 and 2016

سال	معیار ارزیابی	کشاورزی آبی	باغ	مسکونی	کشاورزی دیم	مرتع	بوته‌زار	سایر	دقت کلی	ضریب کاپا
۱۳۷۰	صحت تولیدکننده	۷۲/۲۱	۹۱/۳۹	۸۷/۶۱	۹۶/۱۵	۷۰	۹۱/۳	۷۸/۱۹	۸۴/۸	.۸۱
	صحت کاربر	۹۲/۳۱	۷۷/۵۳	۹۸/۰۲	۶۵/۱۷	۶۴/۲۲	۹۸/۸۸	۹۴/۰۶		
۱۳۸۳	صحت تولیدکننده	۷۷/۹۲	۹۴/۵۹	۸۶/۸۷	۸۰/۹۲	۷۸/۴۹	۹۶/۷۷	۸۰	۸۹/۸۷	.۸۵
	صحت کاربر	۷۵/۹۵	۶۷/۹۶	۹۷/۷۳	۹۲/۹۸	۶۸/۲۲	۹۷/۳۷	۸۸/۱۹		
۱۳۹۵	صحت تولیدکننده	۷۷/۹۲	۹۴/۵۹	۹۳/۶۷	۹۶/۱۹	۸۷/۵۰	۹۸/۵۶	۷۰/۶۷	۹۳/۶۲	.۹۰
	صحت کاربر	۸۵/۷۱	۸۱/۴۰	۹۷/۳۷	۹۴/۳۹	۷۹/۵۵	۹۸/۸۷	۸۱/۵۴		

جدول (۳) مساحت (برحسب هکتار) و میزان درصد هر کاربری در سال‌های ۱۳۷۰، ۱۳۸۳ و ۱۳۹۵

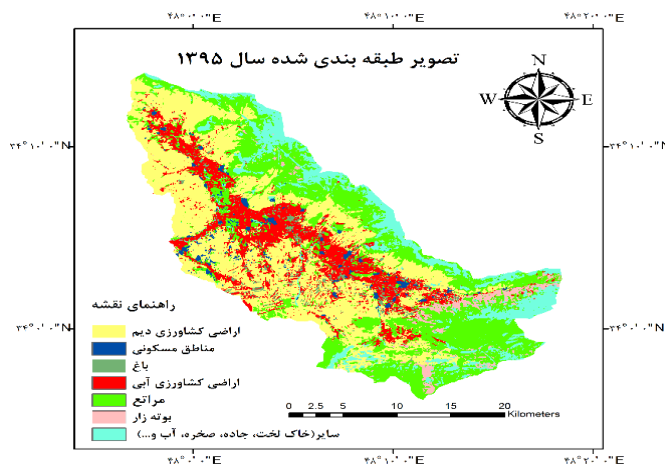
Table (3) Area (in hectares) and percentage of each Class in 1991, 2004 and 2016

کاربری	مساحت ۱۳۷۰	درصد	مساحت ۱۳۸۳	درصد	مساحت ۱۳۹۵	درصد
اراضی دیم	۲۵۶۹۴/۲	۳۵/۸	۲۵۷۳۹/۳	۳۵/۹	۲۵۷۰۵/۳	۳۵/۹
مسکونی	۱۲۹۱۱/۰۸	۱/۸۱	۱۳۲۸/۷	۱/۸۶	۱۳۴۴/۱	۱/۸
باغ	۱۳۳۰/۶	۱/۸۶	۱۴۸۳/۹	۲/۰۷	۱۴۸۲/۹	۲/۰۶
اراضی آبی	۱۰۵۳۹/۱	۱۴/۷	۱۰۸۳۵/۲	۱۵/۱	۱۰۸۸۴/۱	۱۵/۲
مرتع	۲۱۹۱۱/۴	۳۰/۶	۲۱۴۴۵/۱	۲۹/۹	۲۱۴۱۱/۵	۲۹/۹
بوته‌زار	۲۰۸۶/۴	۲/۹۱	۲۰۸۱/۲	۲/۹	۲۰۷۸/۱	۲/۸۹
سایر	۸۷۴۷/۸	۱۲/۲	۸۶۸۶/۷	۱۲/۱	۸۶۹۳/۹	۱۲/۱



شکل (۲) الف) تصویر طبقه‌بندی شده سال ۱۳۷۰ حوضه آبخیز بادآور نورآباد ب) تصویر طبقه‌بندی شده سال ۱۳۸۳ حوضه آبخیز بادآور نورآباد

Fig (2) a) Classified picture of Nourabad Badavar Watershed in 1991 b) Classified image of Nourabad Badavar Watershed in 2004



شکل (۳) تصویر طبقه‌بندی شده سال ۱۳۹۵ حوضه آبخیز بادآور نورآباد
Fig (3) Classified Image of Noorabad Badavar Watershed in 2016

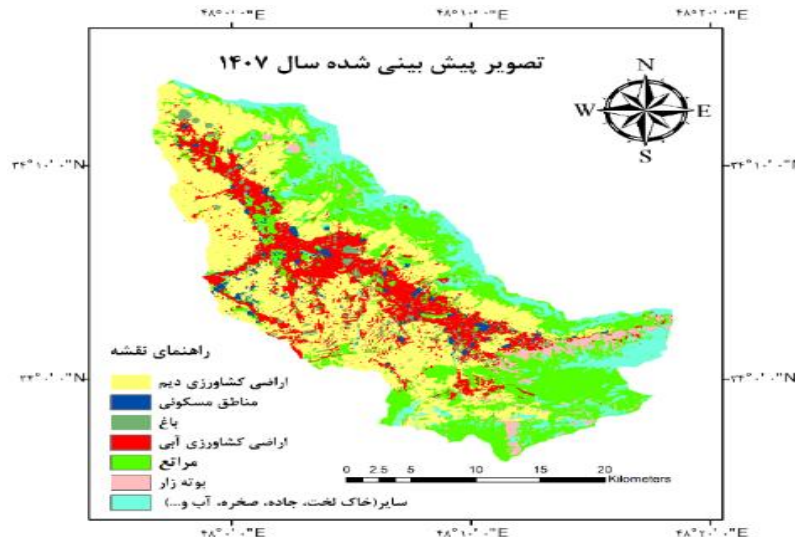
در پژوهش حاضر برای مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی حوضه بادآور نورآباد با استفاده از مدل سلول‌های خودکار-مارکف برای افق ۱۴۰۷، ابتدا با استفاده از روش زنجیره‌ای

مارکف در نرم‌افزار Idrisi Selva نقشه‌ی کاربری سال‌های ۱۳۷۰ و ۱۳۸۳ به‌عنوان ورودی مدل انتخاب شد و ۱۲ سال پیش‌بینی تغییرات تا سال ۱۳۹۵ مدنظر قرار گرفت تا ماتریس احتمال تغییرات کاربری‌ها حاصل شود. در ادامه با استفاده از روش سلول‌های خودکار-مارکف در نرم‌افزار Idrisi Selva داده‌های حاصل از روش زنجیره‌ی مارکف و نقشه کاربری سال ۱۳۹۵ به‌عنوان داده‌های ورودی برای روش سلول‌های خودکار-مارکف به کار گرفته شد و نتایج حاصل ضریب کاپای ۰/۹۷ را نشان داد. مساحت هر کاربری و نقشه‌ی طبقه‌بندی‌شده به ترتیب در جدول (۴) و شکل (۴) ارائه شده است.

ارزیابی میزان تطابق نقشه شبیه‌سازی‌شده سال ۱۳۹۵ و نقشه‌ی کاربری اراضی واقعی با شاخص کاپا نیز نشان داد که مدل سلول‌های خودکار-مارکف، مدلی مناسب برای پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی است و قادر است وضعیت آینده کاربری اراضی را با دقت مناسبی پیش‌بینی کند که با پژوهش‌های حیدری‌زادی و محمدی (۱۳۹۵)، کریمی و کمکی (۲۰۱۵) و چانگ (۲۰۰۶) مبنی بر امکان به‌کارگیری مدل زنجیره مارکف_سلول‌های خودکار برای پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی هم‌خوانی دارد.

جدول (۴) مساحت و میزان درصد طبقات کاربری اراضی پیش‌بینی‌شده، افق ۱۴۰۷
Table (4) Area and Percentage of Predicted Land Use Classes, 2028

مساحت	اراضی دیم	مسکونی	باغ	اراضی آبی	مرتع	بوته‌زار	سایر
هکتار	۲۵۶۸۸/۱۲	۱۳۵۰/۱۶	۱۷۹۷/۲۸	۱۱۲۷۹/۶۵	۲۰۷۵۱/۶۷	۲۱۲۱/۳۷	۸۶۰۲/۷۲
درصد	۳۵/۸۷	۱/۸۹	۲/۵۱	۱۵/۷۶	۲۸/۹۹	۲/۹۶	۱۲/۰۲



شکل (۴) تصویر طبقه‌بندی شده سال ۱۴۰۷ حوضه آبخیز بادآور نورآباد
Fig (4) Classified image of 2028 Noorabad Badavar watershed

۴- نتیجه‌گیری

پس از انجام تصحیحات هندسی و رادیومتریک در تصاویر ماهواره‌ای لندست، نقشه کاربری اراضی سال‌های ۱۳۷۰، ۱۳۸۶ و ۱۳۹۵ با استفاده از نقاط تعلیمی حاصل از؛ بازدید میدانی، تصاویر گوگل ارث، بازتاب طیفی و ترکیب رنگی کاذب، با دقت مناسب تهیه شد. در ادامه با استفاده از مدل سلول‌های خودکار-مارکف نقشه‌ی کاربری اراضی سال ۱۳۹۵ شبیه‌سازی شد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی کاربری اراضی با مدل سلول‌های خودکار-مارکف برای سال ۱۳۹۵، ضریب کاپای ۰/۹۷ را نشان داد، که مناسب بودن مدل در پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی را تایید می‌کند. نتایج این پژوهش با نتایج پژوهش میثاق و همکاران (۱۳۹۷) که در شهر تبریز مبنی بر کارایی بالای مدل مارکف (ضریب کاپا ۰/۹۱) در پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی داشت، همخوانی دارد. همچنین نتایج حاصل از پایش تصاویر بین سال‌های ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۵ نشان‌دهنده‌ی افزایش وسعت مناطق مسکونی، اراضی کشاورزی دیم، باغات، بوته‌زار و اراضی کشاورزی آبی است، در مقابل کاهش وسعت مراتع و سایر را نشان می‌دهد.

تغییرات ایجادشده نشان می‌دهد بیشترین تغییرات مربوط به مراتع است با کاهش ۴۹۹/۸۸ هکتار و بخش کشاورزی آبی با ۳۴۵/۰۴ هکتار بیشترین رشد را دارا می‌باشند. نتایج این پژوهش با نتایج پژوهش‌های کیانی و ابراهیمی (۱۳۹۷) در مرغزار شهرکرد و نظرنژاد و همکاران (۱۳۹۸) در حوضه‌ی آبخیز بالانچ‌چای مبنی بر تغییرات کاربری اراضی در جهت کاهش اکوسیستم‌های طبیعی و افزایش مناطق انسان‌ساخت همخوانی دارد. همچنین پیش‌بینی حاصل از مدل سلول‌های خودکار تغییرات جزئی برای ۱۲ سال آینده حوضه‌ی آبخیز بادآور نورآباد را نشان می‌دهد. با توجه به تغییرات ممکن در آینده پیشنهاد می‌شود: اقدامات حفاظتی و اتخاذ تصمیمات مدیریتی مناسب جهت کنترل تغییرات غیراصولی بیش‌ازپیش اعمال گردد.

۵- منابع

-Reference

- Abdolzadeh, Z., & Ebrahimi, A., (2015). Forecasting Future Changes in Landscape Coverage of Sabzkouh Protected Area Using CA_Markov Model, *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 22(1), 21-21.
- Ahadnejad, M., & Rabet, A., (2010). Evaluation and forecast of Haman Impacts Based on Land use Changes Using Multi Temporal Satellite Imagery and GIS: A Case Study on Zanjan, Iran (1984-2009), *Proceedings of The Joint International Conference on Theory. Data Handling and Modelling in Geo Spatial Information Science*, Hong kong.
- Al-Ahmadi F., & Hames A., (2009). Comparison of four classification methods to extract land use and land cover from raw satellite images for some remote arid areas. *kingdom of Saudi Arabia. Earth*, 20(1), 167-191.
- Al-sharif, A. A., & Pradhan, B., (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.
- Arkhi, S., Yaghoub, N. (2010). Comparison of Different Land Use Change Monitoring Techniques-Vegetation Coverage Using RS and GIS (Case Study: Valley City-Ilam Province), *Application of Remote Sensing and GIS in Natural Sciences*.1(1), 61-78
- Azar Mehr, M R., Mohammad, S. Mesgari & Karimi, M. (2010). Using Gis and CA Method in Simulation of Spatio-temporal Distribution of Malaria. *Geomatics Conference*. Tehran, Iran Mapping Organization.
- Balzer, H (2000). Markov chain models for vegetation dynamics, *Ecological Modelling*, 126(2), 139-154.
- Bell, E.J. (1974). Markov analysis of land use change-an application of stochastic processes to remotely sensed data, *Socio-Economic Planning Sciences*, 8(6), 311-316 .
- Bonyad, A.A., & Haji ghaderi, T. (2007). Mapping of Natural Forest Stands of Zanjan Province Using Landsat 7 ETM+ sensor data. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 11(42), 627-638.

- Chang CL., & Chang JC. (2006). Markov model and cellular automata for vegetation. *Journal of Geographical Research*, 1(1), 45-57.
- Eastman, J.R. (2006). IDRISI Andes guide to GIS and image processing. *Clark University*, Worcester, 328P.
- Fatemi, S.B. and Rezaei, Y. (2012). Remote Sensing Basics, *Azadeh Publications*, 296 p.
- Feizizadeh, B. (2017). Modeling the Trends of the Land Use/Cover Change and Its Impacts on the Erosion System of the Allavian Dam Based on the Remote Sensing and GIS Techniques, *Hydrogeomorphology*, 3(11), 21-38.
- Ghorbani, R., Pourmohammadi, M.R., & Mahmoodzadeh, H. (2013). Environmental Approach to Modeling Land Use Changes in Tabriz Metropolitan Area Using Multi-temporal Satellite Images, Multi-Criteria Evaluation and Markov Chain Automated Cells(1984-2038), *Urban Studies Quarterly*, 2(8), 30-13.
- HeidariZadi, Z. Mohammadi, A. (2016). Predicting the Land Use Change Using Markov- Cellular automata Model in Mehran Plain, *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 5(10), 57-68.
- Jafari, M., Majedi, H., Monavari, S.M., Alesheikh, A.A., & Zarkesh, M. K. (2016). Dynamic simulation of urban expansion through a CA-Markov model Case study: Hyrcanian region, Gilan, Iran. *European Journal of Remote Sensing*, 49(1), 513-529.
- Kamusoko C., & Aniya M., (2007).Land use/cover change and landscape fragmentation analysis in the Bindura District, Zimbabwe, *Land Degradation & Development* 18(2), 221-233.
- Karimi, K., & Komaki, Ch, B., (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 and GIS for natural resources*, 6(2), 75-88.
- Kaveh, N., & Ebrahimi, A. (2013). A Markov chain model for simulating land use/cover change (Case study: Aghbolagh river). *Journal of Remote Sensing and GIS in Natural Resources Science*, 4(2), 55-41.

- Kelarestaghi A., & JafarianJeloudar Z., (2011). Land use/cover change and driving force analyses in parts of northern Iran using RS and GIS techniques. *Arabian Journal of Geosciences*, 4(3), 401-411.
- Khoi, D.D., & Murayama, Y. (2010). Forecasting Areas Vulnerable to Forest Conversion in the Tam Dao National Park Region, Vietnam, *Remote Sens.* 2(5), 1249-1272.
- Khoshgoftar, M.M., & Talei, M. Malekpour, P. (2010). Temporal-Spatial Modeling of Urban Growth: A Method Based on Integration of Cellular Automata and Markov Chain. *Geomatics Conference*. Tehran, Iran Mapping Organization.
- Kianisalmi, E., & Ebrahimi, A. (2018). Evaluation of change detection and future condition of meadow-land ecosystem of Shahrekord using Landsat data. *Journal of Range and watershed management*, 71(2). 473-487.
- Lu D., Mausel P., Brondizio E., & Moran, E., (2004). Change detection techniques. *Int.J.RemoteSens.* 25(12), PP.2365-2401.
- Lu, D. and Q. Weng, (2007). A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance. *International Journal of Remote Sensing*. 28(5), PP.823-870.
- Mas, J.F., Kolb, M., Paegelow, M., Olmedo, M.T.C., & Houet, T. (2014). Inductive pattern-based land use/cover change models: A comparison of four software packages. *Environmental Modelling & Software*, 51, 94-111.
- Nazari Samani A., Ghorbani, M., & Koh Banani, H R. (2010). Assessment of Land Use Changes in Taleghan Watershed during the Period of 1987 to 2001. *Range Journal*, 4(3), 451-442.
- Nazarnejad, H., Hosseini, M., & Mostafaizadeh, R. (2019). Land Use Change Analysis of Balanjchai Watershed Using Landscape Measurements. *Geography and Development*, 17(54), 90-75.
- Norris, J.R., & Norris, J.R. (1998). *Markov chains* (No.2). Cambridge University press.
- Noureddine, M., Nisani Samani, N., & Toumanian, A. (2018). Tabriz Urban Growth Simulation Using CA-Markov Model and Multi-criteria Decision Making. *Human Geography Research*, 50(1), 231-217.

- Parker, DC., Manson, SM., Janssen, MA., Hoffmann, MJ., & Deadman P. (2003). Multi agent systems for the simulation of land use and land cover change: a Review, *Annals of the Association of American Geographers*, 93(2), 314-337.
- Pijanowski, B.C., Brown, D.G., Shellito, B.A., & Manik, G.A. (2002). Using neural networks and GIS to forecast land use changes: a land transformation model. *Computers, environment and urban systems*, 26(6), 553-575.
- Pourhaqi, A., Akhund Ali, A M., Radmensch, F., & Mirzaei, S.Y. (2014). Management of Groundwater Resources Utilization in Drought Conditions Using MODFLOW Model (Case Study: Nourabad Plain). *Irrigation Engineering Sciences*, 37(2), 81-71.
- Rafiee, R., Mahiny, A. & Khorasani, N. (2009). Assessment of changes in urban green spaces of Mashad city using satellite data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 11(6), 431-438.
- Veldkamp, A., & Lambin, EF., (2001). Predicting land-use change. *Agriculture, ecosystems & environment*, 85(1), 1-6.
- Weng, Q. (2002). Land use change analysis in the Zhujiang Delta of China using satellite remote sensing, GIS and stochastic modeling, *Journal of environmental management*, 64(3), 273-284.
- Wright, G.G. and J.G. Morrice, (1997). Landsat TM spectral information to enhance the land cover of Scotland 1988, Dataset. *International Journal of Remote Sensing*, 18(18), 3811-3834.