



ص ۳۸۳-۳۷۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۲/۲۱

تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۰۶/۱۰

## پیش‌بینی روند تغییرات مکانی کاربری اراضی در حوزه آبخیز کسلیان با استفاده از مدل سلول خودکار - مارکوف

- ❖ محمد زارع؛ دانش‌آموخته دکتری آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران.
- ❖ علی اکبر نظری سامانی؛ دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران.
- ❖ شهرام خلیقی سیگارودی؛ دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران.
- ❖ جواد بذرافشان؛ دانشیار پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران.
- ❖ محمد حسن جوری؛ استادیار، گروه مرتع‌داری دانشگاه آزاد اسلامی واحد نور، ایران.

### چکیده

تهیه نقشه کاربری اراضی و شبیه‌سازی تغییرات آن یکی از ضروری‌ترین اطلاعات مورد نیاز برای مدیریت منابع طبیعی می‌باشد به طوری که پایش زمانی و دقیق تغییرات آینده عوارض سطح زمین برای درک روابط و کنش متقابل بین انسان و پدیده‌های طبیعی به منظور تصمیم‌گیری بهینه، از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. پژوهش حاضر نیز در راستای شبیه‌سازی تغییرات آینده کاربری اراضی حوزه آبخیز کسلیان پرداخته است. بدین منظر در ابتدا نقشه‌های کاربری/ پوشش سرزمین حوزه آبخیز کسلیان با پردازش چند زمانه ماهواره لندست در سال‌های ۱۹۸۶، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۱ تهیه گردید. سپس با استفاده از مدل سلول‌های خودکار - مارکوف، وضعیت کاربری / پوشش سال ۲۰۱۱ با منحنی ROC برابر ۰/۹ پیش‌بینی شد. سپس این مدل برای شبیه‌سازی تغییرات کاربری / پوشش سال ۲۰۳۰ اجرا گردید. بر اساس نتایج حاصل از آشکارسازی و شبیه‌سازی تغییرات روند کاهشی سطح اراضی جنگلی ادامه داشته و بر مساحت مراتع و مناطق مسکونی افزوده خواهد شد. اراضی کشاورزی نیز به دلیل خصوصیات ویژه حوزه مانند پرشیب بودن غالب منطقه و بازدهی کم اراضی زراعی بعد از چند سال کشت تغییر چندانی در وسعت و یا تغییر آن‌ها ایجاد نخواهد شد. به طور کلی بیشترین تغییرات کاربری در حاشیه جنگل و حاشیه مرتع رخ داده است و هرچه از این حواشی فاصله گرفته شود از میزان تغییرات کاسته می‌شود. نتایج این پژوهش می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های آتی منطقه که با تغییرات کاربری/ پوشش مرتبط است مد نظر قرار گیرد.

**کلید واژگان:** تغییر کاربری، سلول‌های خودکار، سنجش از دور، کسلیان.

## ۱. مقدمه

کاربری اراضی (Lu) و پوشش زمین (LC) دو موضوع اساسی در ارتباط با مطالعات زیست محیطی بوده که متأثر از فرآیندهای طبیعی و فعالیت‌های انسانی می‌باشند [۱۱]. مدیریت یکپارچه کاربری اراضی/پوشش امکان درک تغییرات مهمی چون مشکلات و معضلات اقتصادی - اجتماعی و زیست محیطی را می‌دهد. همین امر سبب شده در سالیان اخیر مطالعات بر روی تغییرات کاربری اراضی/پوشش توسعه پیدا نماید که این رشد با توسعه و پیشرفت علوم سنجش از دور و GIS همراه بوده است [۱۷]. در دو قرن اخیر بسیاری از پروژه‌های تحقیقاتی در رابطه با تغییرات کاربری اراضی/پوشش بر اساس داده‌های سنجش از دور انجام شده و تکنیک‌های مختلفی در این رابطه ایجاد شده است [۱۲]. علاوه بر این، سنجش از دور در بررسی روند تغییرات کاربری گذشته، این امکان را به کاربران و محققان می‌دهد تا بتوانند با پیش‌بینی تغییرات کاربری، میزان گسترش و تخریب منابع را مشخص و این تغییرات را در مسیرهای مناسب هدایت نمایند [۳، ۸].

مدل‌سازی الگوی مکانی تغییرات کاربری اراضی/پوشش اطلاعات ارزشمندی جهت درک بهتر فرآیند تغییر، تعیین عوامل مؤثر و پیش‌بینی مناطق در معرض تغییر فراهم می‌آورد؛ لذا استفاده از مدل‌های تغییر کاربری، ابزار مناسبی برای پیش‌بینی الگوی مکانی تغییرات کاربری اراضی در طی زمان محسوب می‌شود [۱۹]. به منظور پیش‌بینی الگوی مکانی تغییرات کاربری مدل‌های مختلفی ارائه شده است که مدل‌های دینامیکی یکی از پرکاربردترین این مدل‌ها است. در بین مدل‌های دینامیکی، مدل سلول‌های خودکار - مارکوف با تعیین احتمال تغییرات کاربری/پوشش سرزمین در فرآیند زنجیره مارکوف و نیز شبیه‌سازی تغییرات مکانی آن از راه تعیین قوانین محلی با استفاده از فیلتر مکانی سلول‌های خودکار و نقشه‌های شایستگی کاربری‌ها به

مدل‌سازی دینامیک تغییرات زمانی و مکانی کاربری / پوشش می‌پردازد [۹]. استفاده از مدل Ca-Markov برای بررسی و پیش‌بینی رشد یکی از شهرهای ساحلی تایلند نشان داد که تغییرات گسترده‌ای از کاربری اراضی در طی سال‌های ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۸ به واسطه افزایش توریسم رخ داده و شهر به صورت افقی رشد نموده است [۱۰]. به طوری که روند تغییرات از مناطق جنگلی به کشاورزی و از کشاورزی به گراسلند و سپس مناطق بایر و مسکونی بوده است و این روند با رشد مناطق شهری در آینده ادامه خواهد داشت. تغییر کاربری اراضی و اثرات ناشی از این تغییرات در کشور ایران و به ویژه در شمال کشور اهمیت زیادی دارد. حوزه آبخیز کسلیان به دلیل داشتن شرایط اقلیمی مناسب، طبیعت زیبا و مجاورت آن با جاده مواصلاتی تهران - شمال همواره در معرض تخریب منابع طبیعی و تبدیل جنگل‌ها به دیگر کاربری‌ها بوده است. هدف از این پژوهش ارزیابی روند تغییرات پوشش گیاهی و کاربری اراضی حوزه آبخیز کسلیان و بررسی برخی عوامل مؤثر در تغییر کاربری و همچنین ارزیابی قابلیت مدل CA-MARKOV در پیش‌بینی تغییرات و شبیه‌سازی تغییرات آینده کاربری اراضی در این منطقه می‌باشد. با توجه به نقش کلیدی کاربری اراضی در مدیریت حوزه آبخیز، شبیه‌سازی تغییرات آن موجب آگاهی مدیران از شرایط پیش روی آینده می‌شود و می‌توان استفاده بهتری از پتانسیل‌های حوض به دست آورد.

## ۲. روش شناسی

در این پژوهش (۱) پیش پردازش تصاویر ماهواره‌ای اعم از تصحیحات هندسی، اتمسفریک و رادیومتریک بر روی تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۱۹۸۶، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۱ انجام گرفته و (۲) طبقه‌بندی تصاویر از طریق برداشت‌های صحرائی با استفاده از روش حداکثر احتمال انجام و مورد ارزیابی قرار گرفت (۳) با استفاده از مدل

ENVI 4.8 و ArcGIS 9.3 استفاده شده است. به منظور تصحیح هندسی تصاویر TM از نقشه ۱:۵۰۰۰۰ توپوگرافی و تصاویر Google earth استفاده شد. سپس موقعیت ۳۰ نقطه بر روی نقشه مشخص و موقعیت همان نقاط بر روی تصویر منتقل شد. در انتخاب نقاط انتخابی سعی شده است که از پراکنش خوبی برخوردار باشند. سپس با استفاده از روش رگرسیون در نرم افزار ENVI مقدار DN<sub>۱</sub> پیسکل‌ها از تصویر اولیه به تصویر ایجاد شده منتقل و تصحیح هندسی انجام گیرد. برای این منظور سعی گردید در انتخاب مقادیر RMS<sub>۲</sub> (خطای جذر میانگین مربعات)، آن‌هایی انتخاب شوند که مقدار RMS آن‌ها کمتر از ۱ بدست آمده است. تصحیح رادیومتریک یکی دیگر از پیش پردازش‌های مورد استفاده در این تحقیق بوده که شامل دو مرحله می‌باشد. در مرحله اول مقادیر DN به رادیانس طیفی تبدیل شده و در مرحله دوم رادیانس طیفی سنجنده به بازتاب تبدیل می‌شود. برای محاسبه رادیانس طیفی از رابطه ۱ استفاده می‌شود:

رابطه ۱

$$L_{\lambda} = \left( \frac{LMAX_{\lambda} - LMIM_{\lambda}}{Q_{calmax} - Q_{calmin}} \right) (Q_{cal} - Q_{calmin}) + LMIM_{\lambda}$$

$L_{\lambda}$ : میزان رادیانس طیفی

$Q_{cal}$ : میزان DN در نقشه خام

$Q_{calmax}$ : حداکثر مقدار DN برای هر سنجنده که برای تصاویر لندست این مقدار برابر با ۲۵۵ می‌باشد.

$Q_{calmin}$ : حداقل مقدار DN برای هر سنجنده که برای تصاویر لندست این مقدار برابر با ۱ می‌باشد.

$LMAX_{\lambda}$ : حداکثر مقدار رادیانس مربوط به هر باند

تصویر ماهواره‌ای

$LMIM_{\lambda}$ : حداقل مقدار رادیانس مربوط به هر باند

تصویر ماهواره‌ای

در مرحله بعد، پس از بدست آوردن مقدار رادیانس

زنجیره مارکوف ماتریس احتمال انتقال توسط نرم افزار IDRISI-KILIMANJARO ساخته شده و با تلفیق این ماتریس با مدل سلول‌های خودکار نقشه کالیبراسیون سال ۲۰۱۱ تهیه گردید (۴) که از طریق ضریب کاپا دقت مدل CA-MARKOV بررسی شد (۵) و در نهایت با استفاده از نقشه سال ۲۰۱۱ و میزان تغییرات کاربری ۲۵ سال گذشته نقشه شبیه‌سازی سال ۲۰۳۰ تهیه گردید. شکل شماره ۲ روند اجرایی مراحل پژوهش را نشان می‌دهد.

## ۱.۲. معرفی منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز کسلیان یکی از زیر حوزه‌های حوزه آبخیز تالار بوده و در ارتفاعات منطقه مرکزی سلسله جبال البرز، در استان مازندران واقع شده است. مساحت این حوزه ۳۴۲/۸۶ کیلومتر مربع و از نظر جغرافیایی در بین طول شرقی ۵۳°۱' تا ۵۳°۲۶' و عرض شمالی ۱' - ۳۵° تا ۳۶°۳۲' واقع شده است (شکل ۱). حداقل ارتفاع آن ۲۸۶ و حداکثر ارتفاع آن ۳۲۸۸/۸۸ متر از سطح دریاست و متوسط بارندگی در حوزه آبخیز کسلیان حدود ۷۳۳/۳ میلی‌متر و دارای اقلیم نیمه‌مرطوب سرد می‌باشد. از نظر تقسیمات زمین شناسی ایران این حوزه جزء البرز مرکزی محسوب می‌شود که اکثر سنگ‌های تشکیل دهنده سطح حوزه از نظر زمانی مربوط به دوران دوم، سوم و چهارم زمین شناسی است [۱۳]. بخش اعظمی از این حوزه توسط گونه‌های مختلف جنگلی پوشانده شده است و کاربری‌هایی چون مرتع، مناطق روستایی و کشاورزی نیز در کنار کاربری جنگل وجود دارد. خاک‌های حوزه نیز عمدتاً از نوع پدوزولیک، قهوه‌ای جنگلی و رسوبی می‌باشد [۵].

## ۲.۲. پیش پردازش تصاویر ماهواره‌ای

در این پژوهش از تصویر ماهواره لندست (TM) مربوط به منطقه مورد مطالعه در سال‌های ۱۹۸۶، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۱ استفاده شد. همچنین عکس‌های هوایی ۱:۲۰۰۰۰ سال ۱۳۴۷، تصاویر Google earth و نرم افزار

<sup>1</sup> Digital Number

<sup>2</sup> Root Mean Square error

### ۳.۲. طبقه بندی تصاویر ماهواره‌ای

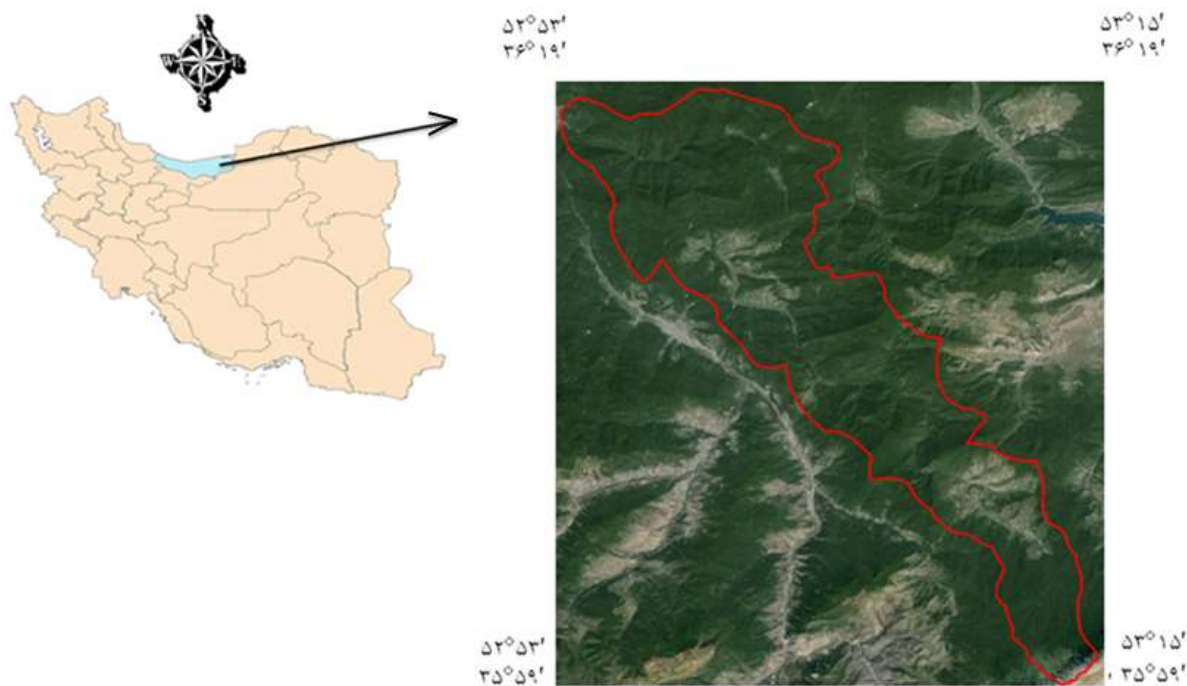
طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای به شکل نظارت شده و نظارت نشده انجام می‌گیرد. در طبقه‌بندی نظارت شده برای رده‌بندی پیکسل‌ها از نمونه‌های آموزشی استفاده می‌گردد، بدین معنی که با تعریف پیکسل‌های مشخصی از تصویر برای هر کدام از کلاس‌ها، عمل طبقه‌بندی در قالب کلاس‌های در نظر گرفته شده انجام می‌شود [۱۵]. در این مطالعه از روش نظارت شده حداکثر احتمال جهت طبقه‌بندی استفاده شده است. سپس میزان صحت نقشه‌های تهیه شده، با مقایسه نقشه‌ها با اطلاعات زمینی و تجزیه و تحلیل ماتریس خطا مورد ارزیابی قرار گرفت. ارزیابی صحت نقشه‌های تهیه شده با استفاده از عملیات میدانی و تصاویر Google Earth انجام شد. به طوری که ۳۲۰ نمونه آموزشی برای طبقه‌بندی نظارت شده تهیه شد. از این تعداد نمونه، دو سوم نمونه‌ها برای طبقه‌بندی و یک سوم نمونه‌ها برای ارزیابی روش طبقه‌بندی استفاده گردید.

مربوط به هر باند بایستی آن‌ها به بازتاب تبدیل شوند لذا از رابطه ۲ استفاده شده است:

$$\rho_{\lambda} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda} \cdot d^2}{ESUN_{\lambda} \cdot \cos \theta_s} \quad \text{رابطه ۲}$$

$\rho_{\lambda}$ : میزان بازتابش،  $L_{\lambda}$ : میزان رادیانس طیفی،  $\pi$ : ضریب ریاضی ۳/۱۴،  $d$ : فاصله نجومی زمین تا خورشید،  $ESUN_{\lambda}$ : میانگین تابش خورشید فرا اتمسفری،  $\cos \theta_s$ : زاویه تابش خورشید

لازم به ذکر است که تمامی این مراحل در نرم افزار ENVI قابل اجراست. در نهایت نقشه خروجی حاصل از پیش پردازش رادیومتریک به صورت ۰ تا ۱ طبقه‌بندی شده است. هرچه اعداد کوچک‌تر باشد، اجرای الگوریتم طبقه‌بندی راحت‌تر صورت می‌پذیرد. سپس بر اساس سطح اول طبقه‌بندی اندرسون و همکاران [۲]، تعداد ۴ طبقه کاربری/ پوشش سرزمین شامل مناطق جنگلی، مناطق کشاورزی، مراتع و مناطق مسکونی در منطقه مورد مطالعه شناسایی شد.



شکل ۱: موقعیت حوزه آبخیز کسلیان

## ۴.۲. آشکارسازی تغییرات

یک طبقه کاربری یا کلاس اراضی به دیگر طبقه کاربری از زمان t1 به زمان t2 حرکت کرده است [۴]. ماتریس احتمال انتقال نتیجه همپوشانی دو تصویر در بازه زمانی متفاوت از یک منطقه بوده که حاوی یک جدول و یک نقشه می‌باشد که در این جدول برای هر کلاس کاربری احتمال انتقال تصویر را برای هر کلاس کاربری از دوره t1 به دوره t2 نشان می‌دهد. خروجی نقشه‌های مارکوف برگرفته از ماتریس انتقال احتمال می‌باشد.

## ۷.۲. تلفیق مدل زنجیره مارکوف و سلول‌های

خودکار (Ca-Markov) به منظور شبیه‌سازی

### تغییرات کاربری اراضی

مدل CA-Markov تلفیقی از سلول‌های خودکار، زنجیره مارکوف است که به منظور شبیه‌سازی تغییرات آینده کاربری اراضی استفاده شد. یعنی اگر تغییرات زمانی t به t+1 بدست آورده شود، می‌توان تغییرات t+2 را پیش‌بینی نمود. برای انجام مدل سلول‌های خودکار - مارکوف به ورودی‌هایی نظیر نقشه مبنا (Initial states)، نقشه‌های شایستگی و ماتریس احتمال انتقال سرزمین (Markov transition matrix)، و همچنین پارامترهایی از جمله تعداد تکرار (بیانگر تعداد سال‌های مدل‌سازی) و فیلتر مجاورت (برای اختصاص رتبه‌های پایین شایستگی به سلول‌های منفرد) نیاز است.

## ۸.۲. مرحله کالیبراسیون

این مرحله شامل مقایسه تهیه نقشه شبیه‌سازی شده سال ۲۰۱۱ با نقشه واقعی طبقه بندی شده سال ۲۰۱۱ است که با استفاده از ضریب کاپا و منحنی ROC مقایسه می‌شود. ضریب کاپا پیکسل‌های نادرست طبقه‌بندی شده را مدنظر قرار داده و از رابطه ۳ محاسبه می‌شود [۳]:

$$\text{Kappa} = \frac{P_o - P_c}{1 - P_c} * 100 \quad \text{رابطه ۳}$$

$P_o$ : درستی مشاهده شده،  $P_c$ : توافق مورد انتظار

در بیشتر روش‌های آشکارسازی تغییرات، با مقایسه یک داده (تصویر) با داده (تصویر) دیگر در دو تاریخ پرداخته می‌شود. در وضعیتی که داده‌های بیشتری در دو تاریخ موجود باشد، امکان مقایسه چند بعدی داده‌ها فضایی با یکدیگر وجود خواهد داشت. این روش مقایسه را آشکارسازی تغییرات گویند [۵]. به منظور درک این که طی دوره ۲۵ ساله، تغییرات منطقه چگونه بوده است، آشکارسازی تغییرات در سه حالت تصویر ۱۹۸۶ تا ۲۰۰۰، ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۱ و ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۱ مورد بررسی قرار گرفت.

## ۵.۲. مدل سلول‌های خودکار<sup>۱</sup> (CA)

مدل‌های سلول‌های خودکار سامانه‌هایی پویا و گسسته‌اند که با بهره‌گیری از قوانین و برهم‌کنش‌های محلی می‌توانند رفتار بسیار پیچیده‌ای برای شبیه‌سازی سراسری سامانه‌های پویا بروز دهند [۱۸]. با پیشرفت GIS از این مدل به منظور شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی استفاده شد. مدل CA از بخش‌های مختلفی تشکیل شده است که شامل: فضای سلولی یا فضای اقلیدوسی، سلول همسایگی، وضعیت سلول، مراحل زمانی ناپیوسته و قوانین انتقال می‌باشد.

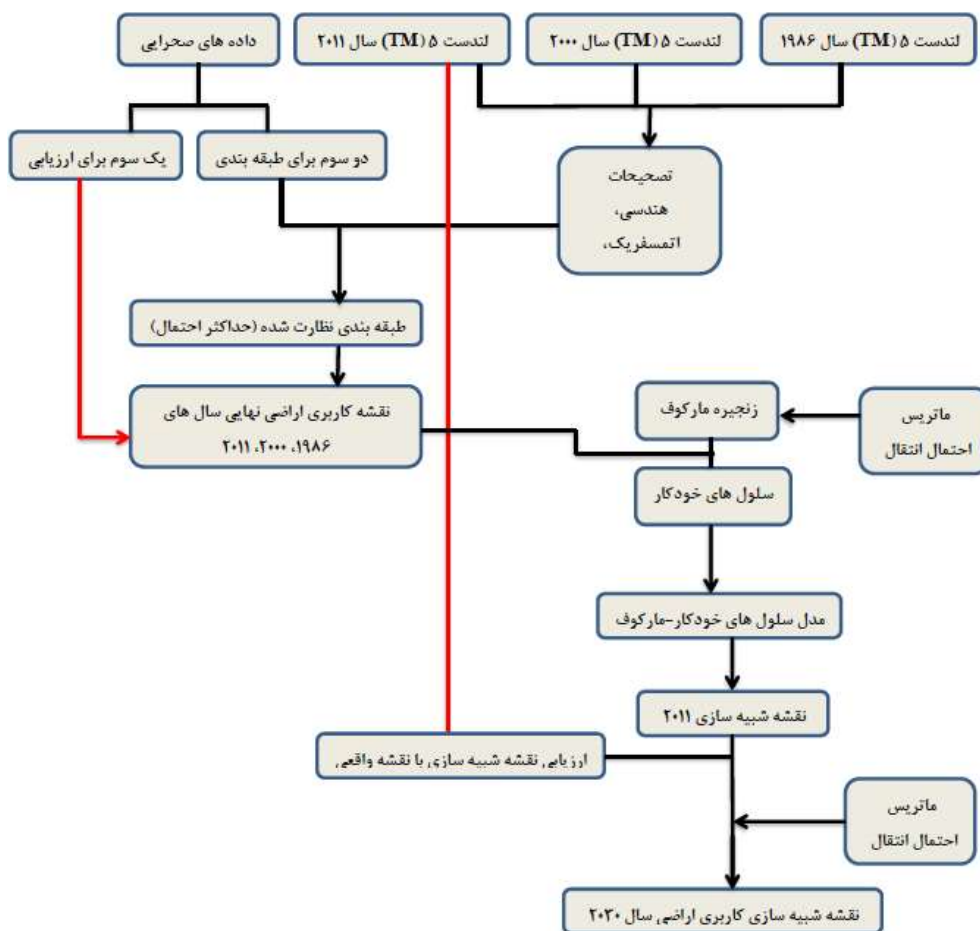
## ۶.۲. مدل مارکوف با استفاده از ماتریس انتقال

به حرکت تصادفی مقادیر عددی خاص از یک حالت به حالت دیگر در بازه زمانی داده شده زنجیره مارکوف گویند [۷]. زنجیره مارکوف ابزاری مناسب جهت مدل‌سازی تغییر کاربری و پوشش اراضی است و زمانی کاربرد دارد که تغییرات موجود در چشم اندازها به راحتی قابل توصیف نباشند [۶]. ماتریس احتمال انتقال یکی از ورودی‌های مدل سلول خودکار - مارکوف می‌باشد. این ماتریس تعیین می‌کند کدام سلول یا پیکسل همسایه از

<sup>1</sup> Cellular Automata

طور کلی برای بیان دقت مدل از تقسیم‌بندی ۱-۰/۹ (عالی)، ۰/۸-۰/۹ (خیلی خوب)، ۰/۷-۰/۸ (خوب)، ۰/۶-۰/۷ (متوسط) و ۰/۵-۰/۶ (ضعیف) استفاده می‌شود [۱۴].

همچنین از منحنی ROC برای ارزیابی نقشه سال ۲۰۱۱ استفاده شد. سطح زیر منحنی بیانگر مقدار پیش‌بینی سیستم از طریق توصیف توانایی آن در تخمین درست وقایع رخ داده و عدم وقوع رخداد است. هر چه سطح زیر منحنی بیشتر باشد دقت مدل بیشتر است. به

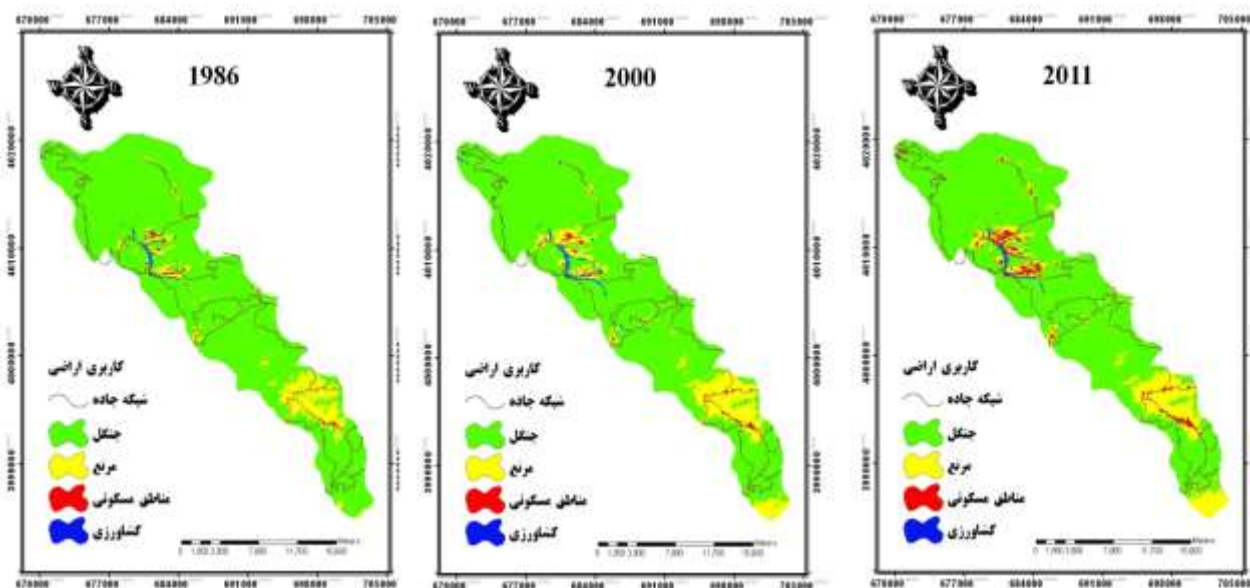


شکل ۲: روند نمای مراحل اجرای پژوهش

همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود ضریب کاپا نشان دهنده قابل قبول بودن نقشه‌های کاربری اراضی می‌باشد. نتایج حاصل از کاربری اراضی، مساحت هر یک از واحدهای کاربری اراضی در سال‌های مختلف و روند تغییرات در طی ۲۵ سال را نشان داده است که بیشترین مساحت کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه مربوط به کاربری جنگل می‌باشد.

### ۳. نتایج

با استفاده از روش حداکثر احتمال نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه در سال‌های ۱۹۸۶، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۱ در چهار کاربری جنگل، مرتع، مناطق مسکونی و کشاورزی به دست آمد (شکل ۳). به منظور تعیین دقت هر یک از نقشه‌ها از ضریب کاپا استفاده استفاده شد.



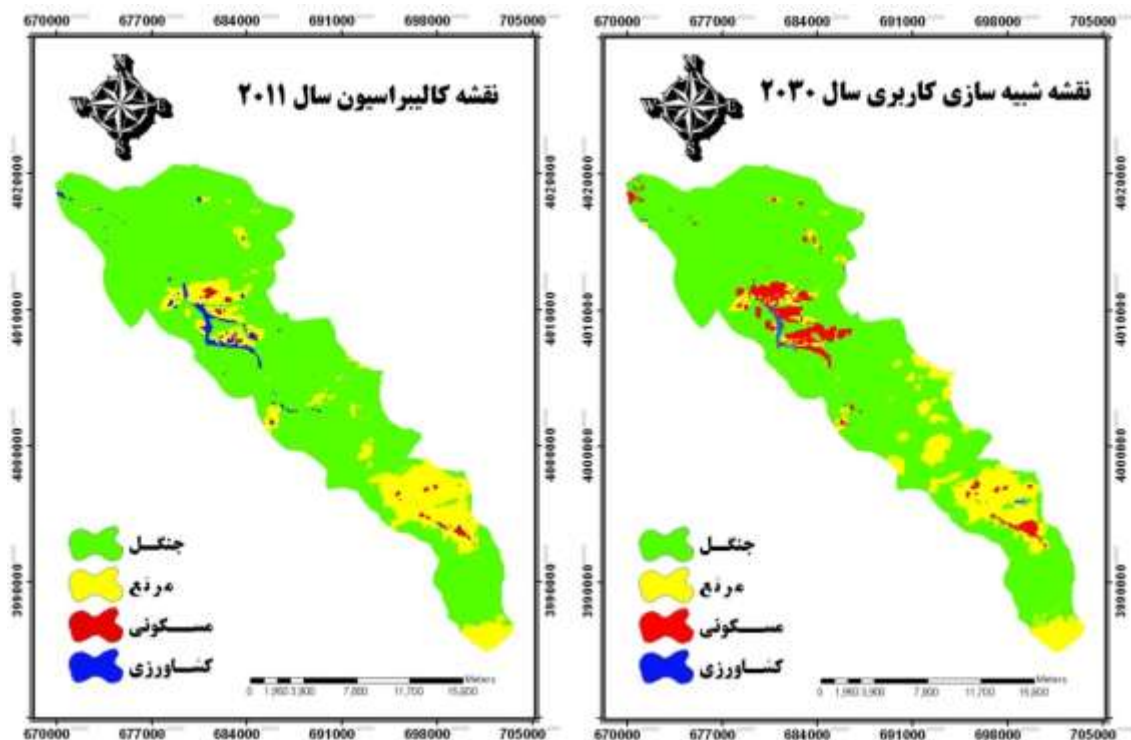
شکل ۳: نقشه کاربری اراضی با استفاده از روش حداکثر احتمال

جدول ۲: ارزیابی دقت نقشه های کاربری اراضی به روش حداکثر احتمال

مقدار ضریب کاپا	تاریخ نقشه کاربری اراضی
۰/۷۹	تصویر سال ۱۹۸۶
۰/۸۱	تصویر سال ۲۰۰۰
۰/۸۲	تصویر سال ۲۰۱۱

مساحت مناطق جنگلی در سال ۱۹۸۶ به مقدار ۸۹/۷۹ درصد از کل حوضه بوده و در سال ۲۰۱۱ به ۸۲/۷۱ درصد کاهش پیدا کرده است. همچنین روند تبدیل هر کاربری به کاربری دیگر در طول زمان (ماتریس احتمال انتقال سرزمین) از سال ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۱ مطابق جدول شماره ۴ به دست آمد. همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود در قطر اصلی این ماتریس‌ها تعداد پیکسل‌های ثابتی وجود دارد که نشان دهنده عدم تغییر، از یک کاربری به کاربری دیگر است.

در مرحله شبیه‌سازی به منظور ایجاد ماتریس احتمال انتقال از تصاویر سال‌های ۱۹۸۶ و ۲۰۱۱ برای ۱۹ سال آینده زنجیره مارکوف ساخته شده است. میزان کاپای استاندارد برای نقشه کالیبراسیون سال ۲۰۱۱ برابر با ۰/۹ بدست آمد. از طرفی به منظور دقت بیشتر نقشه کالیبراسیون از منحنی ROC استفاده شد که این ضریب نیز برابر با ۰/۹ گردید. شکل شماره ۴ نقشه کالیبراسیون و شبیه‌سازی شده حوزه آبخیز کسلیان را با استفاده از مدل زنجیره مارکوف نشان داده شده است. همان‌طور که در جدول ۳ نیز مشاهده می‌شود



شکل ۴: نقشه‌های کالیبراسیون و شبیه‌سازی شده منطقه مورد مطالعه بر اساس مدل سلول خودکار - مارکوف

جدول ۳: روند تغییر مساحت کاربری اراضی (هکتار) در دوره‌های مختلف

کاربری اراضی	سال ۱۹۸۶	سال ۲۰۰۰	سال ۲۰۱۱
جنگل	۳۰۲۹۶/۸	۲۸۴۱۱/۸۳	۲۷۹۹۲/۱۶
مرتع	۳۰۳۵/۳۴	۴۶۴۴/۸۱	۴۷۳۷/۱۶
مسکونی	۲۰۳/۴۹	۲۰۵	۸۳۴/۴۸
کشاورزی	۲۰۵/۷۴	۴۷۹/۵۲	۲۷۷/۶۵

جدول ۴: ماتریس آشکارسازی تغییرات از سال ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۱

نوع طبقه	جنگل	مرتع	مسکونی	کشاورزی	جمع
جنگل	۳۰۹۰۶۱	۱۷۷۵	۷	۲۷	۳۱۰۸۷۰
مرتع	۲۲۸۷۰	۲۷۸۳۰	۴۰۵	۳۳۸	۵۱۴۴۳
مسکونی	۳۲۱۵	۳۷۹۵	۱۵۸۶	۶۵۱	۹۲۴۷
کشاورزی	۱۲۷۳	۲۷۷	۲۶۲	۱۲۶۸	۳۰۸۰
جمع	۳۳۶۴۱۹	۳۳۶۷۷	۲۲۶۰	۲۲۸۴	۳۷۴۶۴۰



#### ۴. بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش نقشه‌های کاربری اراضی سال‌های ۱۹۸۶، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۱ با استفاده از روش حداکثر احتمال تهیه شد. از ۴ کاربری جنگل، مرتع، مناطق مسکونی و کشاورزی، بخش عمده‌ای از منطقه همانند بسیاری از حوزه‌های آبخیز شمال ایران راه، اراضی جنگلی تشکیل داده است (شکل ۳). به منظور ارزیابی دقت نقشه‌های کاربری به‌دست آمده از ضریب کاپا استفاده شد که نتایج نشان داد هر سه نقشه تهیه شده دارای دقت بالایی بودند. در طول دوره ۲۵ ساله مورد بررسی نتایج نشان داد از سال ۱۹۸۶ تا به امروز از سطح جنگل‌های حوضه کاسته شده و بر سطح مراتع و مناطق مسکونی افزوده است به طوری که سطح مسکونی در طی این دوره تقریباً ۴ برابر شده است. نتایج حاصل از ماتریس تغییرات کاربری از سال ۸۶ تا ۲۰۰۰ نشان می‌دهد بیشترین تغییر مربوط به تغییر جنگل به مرتع بوده است و این وضعیت برای ماتریس‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۱ و ۸۶ تا ۲۰۱۱ نیز بدین شکل بوده است. نبود نظارت کافی سازمان‌هایی نظیر منابع طبیعی و آبخیزداری در طی دوره‌های یاد شده، افزایش زیاده‌خواهی ساکنین به منظور تبدیل جنگل‌ها به مراتع به منظور بالابردن سطح تعلیف علوفه برای دام‌های داشتی سبب شده است که وضعیت اسف‌باری در تغییرات کاربری بوجود آید. به‌عبارتی در سیستم دامداری روستایی، به‌علت حضور تقریباً مداوم خانوارهای روستایی، نیاز به منابع کم‌هزینه‌ی علوفه دام افزایش می‌یابد. در چنین وضعیتی کاهش تدریجی اراضی جنگلی به منظور گسترده شدن تولیدات علوفه (مرتعی شدن) منطقی به نظر می‌رسد و بنابراین افزایش سطح مراتع به مرور شدت گرفته است. پس مدتی که عرصه‌های مرتعی پتانسیل اولیه خود را از دست دادند (به‌علت استفاده بیش از حد دام)، مناطق با توپوگرافی مناسب، مستعد تغییر کاربری از مرتع به مسکونی گشته است. هرچند که در این روند، تبدیل مستقیم جنگل به مسکونی به‌علت خوش

آب و هوا بودن چشم‌اندازهای منطقه نیز ملاحظه شده است، اما بیشترین تبدیلات مذکور از مرتع به مسکونی بوده است. فروش زمین‌های به تملک درآمده مرتعی به ساکنین غیربومی و افزایش تقاضا از سوی این افراد برای ساخت ویلاهای ییلاقی از دیگر عوامل اصلی این تبدیلات بوده است. در کل، حوزه آبخیز کسلیان با توجه به اینکه جزء حوزه‌های معرف آبخیزداری ایران است به نسبت سایر حوزه‌های آبخیز شمال ایران تغییرات کاربری کمتری را داشته است. اگر چه نتایج پیش‌بینی با ماتریس تبدیل کاربری با داده‌های نقشه‌ای موجود اختلافاتی را نشان می‌دهد، اما به علت قابل توجه نبودن خطاها، مدل مارکوف برای پیش‌بینی تغییر کاربری قابلیت خوبی را دارا می‌باشد [۱]

به منظور آماده سازی مدل شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی ۲۵ سال آینده حوزه آبخیز کسلیان، نقشه کالیبراسیون سال ۲۰۱۱ تهیه و با نقشه واقعی آن مورد مقایسه قرار گرفت که نتایج نشان داد با توجه به مساحت سطح زیر منحنی ROC و ضریب کاپا به‌دست آمده، نقشه تهیه شده از دقت بالایی برخوردار بوده است. نتایج حاصل از نقشه شبیه‌سازی شده کاربری اراضی ۱۹ سال آینده حوزه آبخیز کسلیان با استفاده از سلول‌های خودکار - مارکوف نشان داد روند کاهش سطح اراضی جنگلی همچنان ادامه داشته و بر مساحت مراتع و مناطق مسکونی افزوده خواهد شد. همچنین بخش‌های بسیاری از اطراف مراتع بیشتر از سایر قسمت‌ها در معرض تغییر کاربری به مناطق مسکونی قرار خواهد گرفت. در بخش اراضی کشاورزی نیز به دلیل خصوصیات ویژه حوزه مانند پرشیب بودن غالب منطقه و بازدهی کم اراضی زراعی بعد از چند سال کشت تغییر چندانی در وسعت و یا تغییر آن‌ها ایجاد نخواهد شد. این مسئله به خصوص در اطراف روستاهای مدکلا، سنگ نیش، سودکالا و ویکچال بیشتر به چشم می‌خورد و حتی در بخشی از مناطق بالادست حوزه آبخیز کسلیان بخشی از زمین‌های کشاورزی به علت کم بازده بودن اراضی زراعی به اراضی رها شده

نقش اساسی را در این زمینه ایفا می‌نمایند و حتی در بخش‌هایی از حوضه که در حواشی کاربری‌ها نیز قرار ندارند، به واسطهٔ سهولت دسترسی به جاده در معرض تغییر قرار دارند و نقش اساسی را به خصوص در تغییر کاربری مرتع به مسکونی ایفا نموده است. به ویژه نتایج حاصل از شبیه‌سازی کاربری اراضی سال ۲۰۳۰ نشان می‌دهد مناطق بیلاقی و بالادست شهر زیراب مانند روستای بهمنان، سپی، امیرکلا و آتو جزو مناطق بحرانی تغییرات کاربری اراضی قرار دارد. در صورت تحقق چنین تغییراتی و با توجه به وضعیت توپوگرافی خاص منطقه، فرسایش خاک، رانش زمین، سیل‌خیزی و در نهایت بیابان‌زایی را در حوزه آبخیز کسلیان که جزء حوزه‌های آبخیز معرف ایران است، دور از انتظار نخواهد بود.

تبدیل شده است. به طور کلی بیشترین تغییرات کاربری در حاشیهٔ جنگل و حاشیهٔ مرتع رخ داده است و هرچه از این حواشی فاصله گرفته شود از میزان تغییرات کاسته می‌شود. مناطق نزدیک به مناطق مسکونی نیز به دلیل سهولت دسترسی، نسبت به مناطق دور دست تغییرات بیشتری را متحمل خواهد شد، که موارد فوق با نتایج سایر محققان [۱۹ و ۱۶] مطابقت دارد. مدل‌سازی تغییرات پوشش اراضی حکایت از آن دارد که در صورت ادامهٔ روند کنونی، تا سال ۲۰۳۰ کاهش ۹۷۴ هکتاری سطح جنگل‌ها و تبدیل آن‌ها به اراضی مرتعی و مسکونی اتفاق خواهد افتاد. علاوه بر حواشی کاربری‌ها، سهولت دسترسی نیز یکی از مهم‌ترین عوامل تغییرات کاربری در منطقهٔ مورد مطالعه به‌شمار می‌رود، به‌طوری که جاده‌ها

## References

- [1] Alimohammadi, A., Mosivand, A. and Shayan, S. (2009). Prediction of Land use and Land cover change by using remot sensing and markov chain. *International Journal of Human-planning and preparation space*, 14(2), 1-14 (In Persian).
- [2] Anderson, J. R., E. Hardey, E., Roach, J. and Witmer, R.E. (1976). A land use and land cover classification system for use with remote sensor data. US geological survey professional paper, Washington, DC, 964, 28 p.
- [3] Bonyad, A. and Taha, H. (2008). Natural forest map Zanjan by using landsat data 7, *Journal of Sciences and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 11, 627-638 (In Persian).
- [4] Brown, D. G., Pijanowski, B. C. and Duh, D. J. (2000). Modeling the relationships between land use and land cover on private lands in the Upper Midwest, *Journal of Environmental Management* 59, 247-263.
- [5] Chilar J. (2000). Land cover mapping of large areas from satellites: status and research priorities. *International Journal of Remote Sensing*, 21(67), 1093 – 1114.
- [6] Fan, F., Wang, Q. and Wang, Y. (2007). Land use and land cover change in Guangzhou, China, from 1998 to 2003, based on landsat TM/ETM+ imagery, 7, 1323-1342.
- [7] Guan, D., Li, H., Inohae, T., Su, W., Nagaie, T. and Hokao, K.(2011). Modeling urban land use change by the integration of cellular automaton and Markov model, *Ecological Modelling*, 222, 3761-3772.
- [8] Hathout, S. (2002). The use of GIS for monitoring and predicting urban growth in East and West St Paul, Winnipeg, Manitoba, Canada. *Journal of Environmental Management* 66, 229-238.
- [9] Khoshgofta, M. and Talei, M. (2010). Simulating Urban Growth in Tehran, CA-Markov Model, *Iranian Journal of Remote Sencing & GIS*, 2(6), 17-34 (In Persian).
- [10] Kityuttachai, K., Tripathi, N., Tipdecho, T. and Shreshta, R. (2013). CA-Markov Analysis of Constrained Coastal Urban Growth Modeling: Hua Hin Seaside City, Thailand, *Sustainability*, 5, 1480-1500; doi:10.3390/su5041480

- [11] Mendoza, M., Granados, E., Geneletti, D., Perez-Salicrup, D. and Salinas, V. (2011). Analysing land cover and land use change processes at watershed level: a multitemporal study in the Lake Cuitzeo Watershed, Mexico (1975–2003). *Appl. Geogr.*, 31, 237–250.
- [12] Miao, C.Y., Yang, L. and Chen, X.H. (2012). The vegetation cover dynamics (1982–2006) in different erosion regions of the Yellow River basin, *China. Land Degradation & Development*, 23 (1), 62–71.
- [13] Mohseni, B., Ahmadi, J. and Tahmasbi, R. (2011). Evaluation EPM, MPSIAC and Geomorphology model in estimate sediment and erosin(Case study: Kasilian catchment), *Geography and Development Iranian Journal*, 22, 107-127 (In Persian).
- [14] Nefeslioglu, H.A., Duman T.Y. and Durmaz, S. (2008). Landslide susceptibility mapping for a part of tectonic Kelkit Valley (Easten Black Sea Region of Turkey). *Geomorphology*, 94, 401-418.
- [15] Niazi, Y., Ekhtesasi, M., Maleki nejad, H. and Hosseiny, S. (2011). Comparison of maximum likelihood classification method and artificial neural network mining land use map, *Journal of Geography and development*, 20, 119-132 (In Persian).
- [16] Pirbavaghar, M. (2004). Investigating forest extent changes and related topographic and human factors (case study: eastern forests of Gilan). M.Sc. Thesis, University of Tehran, 136 p (In Persian).
- [17] Wang, D., Gong, J., Chen, L., Zhang, L., Song, Y. and Yue, Y. (2013). Comparative analysis of land use/cover change trajectories and their driving forces in two small watersheds in the western Loess Plateau of China, *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 21, 241-252.
- [18] White, R. and Engelen, G. (2000). High-resolution integrated modelling of the spatial dynamics of urban and regional systems, *Computers, Environment and Urban Systems* 24, 383-400.
- [19] Zare, A. G., Sheikh, V., Sadoddin, A., Mahiny, S. (2012). Simulating the spatiotemporal changes of forest extent for the Chehelchay watershed (Golestan province), using integrated CA-Markov model, *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 20(2), 273-285 (In Persian).