

## شبیه سازی زمانی - مکانی تغییرات سیمای سرزمین با استفاده از مدل تلفیقی زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار (مطالعه موردی: منطقه خشک و نیمه‌خشک میمه دهلران)

۱- حسن فتحی زاد، دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی و کویر شناسی، دانشگاه یزد

۲- محمد زارع، استادیار گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی و کویر شناسی، دانشگاه یزد

۳- حاجی کریمی، دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام

[h.karimi@ilam.ac.ir](mailto:h.karimi@ilam.ac.ir)

۴- علی خانامانی، دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی و کویر شناسی، دانشگاه یزد

دریافت: ۱۳۹۵/۰۸/۰۱

پذیرش: ۱۳۹۶/۰۸/۰۲

### چکیده

آشکارسازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری ارضی، لازمه مراقبت از اکوسیستم به ویژه در کشورهای در حال توسعه با تغییرات سریع و اغلب بدون برنامه‌ریزی است. هدف از این تحقیق، پایش تغییرات کاربری ارضی در گذشته و بررسی امکان شبیه‌سازی آن در آینده با استفاده مدل تلفیقی زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار در منطقه خشک و نیمه‌خشک میمه دهلران واقع در استان ایلام است. در این تحقیق از تصاویر ماهواره‌ای لندست (TM) سال ۱۹۸۸ و لندست (TM) سال ۲۰۰۱ و لندست (ETM+) سال ۲۰۱۶ استفاده شد. با استفاده از طبقه‌بندی نظارت شده شبکه عصبی آرتمپ فازی، نقشه آشکارسازی تغییرات در هفت کلاس کشاورزی، جنگل، مرتع متوسط، مرتع فقیر، بیرون‌زدگی سنگی، اراضی مسکونی و اراضی شور و نم‌زار تهیه گردید. دقت کل طبقه‌بندی نقشه‌های کاربری ارضی سال‌های ۱۹۸۸، ۲۰۰۱ و ۲۰۱۶ به ترتیب ۹۳، ۹۵ و ۹۳ درصد بدست آمد. با به کارگیری مدل تلفیقی زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار، تغییرات کاربری ارضی برای سال ۲۰۳۰ پیش‌بینی شد. نتایج ماتریس پیش‌بینی تغییرات بر مبنای نقشه‌های سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۱۶ نشان داد که در فاصله‌ی زمانی ۲۰۱۶-۲۰۳۰ احتمال می‌رود که ۱۳٪ از اراضی کشاورزی، ۵۴٪ از جنگل، ۴۸٪ از مراتع متوسط، ۸۲٪ از مراتع فقیر، ۵۵٪ از بیرون‌زدگی سنگی، ۵۲٪ از اراضی مسکونی، ۹۳٪ از اراضی شوره‌زار و نم‌زار به کاربری‌های دیگر تبدیل شوند. برای اعتبارسنجی مدل، نقشه کاربری ارضی شبیه‌سازی شده سال ۲۰۱۶ با نقشه واقعی حاصل از طبقه‌بندی تصویر ماهواره‌ای همان سال مقایسه شد. ضریب کاپا محاسبه شده حدود ۸۷٪ که بیانگر قابلیت بالای مدل سلول‌های خودکار برای شبیه‌سازی تغییرات سیمای سرزمین در منطقه خشک و نیمه‌خشک میمه دهلران است.

**واژگان کلیدی:** آشکارسازی؛ شبکه عصبی آرتمپ فازی؛ ماتریس، مدل سلول خودکار؛ ایلام.

### مقدمه

بنابراین، در برنامه‌ریزی و مدیریت بهینه منابع طبیعی، آگاهی از چگونگی تغییرات پوشش گیاهی و کاربری ارضی و عوامل ایجاد کننده آن بسیار ضروری است. در این زمینه داده‌های سنجش از دور به دلیل داشتن ویژگی‌هایی مانند پوشش وسیع، به‌هنگام بودن، تکراری بودن، توان تفکیک طیفی، رادیومتریک و مکانی بالا، فرمت رقومی و امکان پردازش رایانه‌ای، از قابلیت بالایی برای بررسی تغییرات زمانی و مکانی پوشش گیاهی و کاربری ارضی برخوردار هستند [۱۳].

با توجه به تغییرات روز افزون کاربری ارضی و ضرورت آگاهی مدیران و کارشناسان از چگونگی تغییرات رخ داده

تغییرات کاربری ارضی و پوشش گیاهی یکی از عوامل مهم در تغییر رژیم آب‌شناسی، فرآیندهای فرسایشی و وضعیت تنوع زیستی است. با شبیه‌سازی روند تغییرات کاربری ارضی و به‌کارگیری سیاست‌های مدیریتی مؤثر می‌توان در راستای هدایت اکوسیستم به سمت مطلوب گام برداشت. تغییر کاربری و پوشش ارضی فرآیند پویا و پیچیده‌ای است که از تلاقی سیستم‌های طبیعی و انسانی به دست می‌آید و اثر مستقیمی بر آب، خاک و هوا دارد. وقوع این پدیده، پیامدهای اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی در مقیاس محلی، ناحیه‌ای و جهانی به همراه خواهد داشت [۱۵].

بیشترین پایداری (۶۸/۴۴ درصد) و کاربری اراضی بدون پوشش کمترین پایداری (۰/۶ درصد) را دارا هستند.

در پژوهشی، سلول خودکار و زنجیره مارکوف<sup>۷</sup> برای مدل سازی تغییرات کاربری اراضی با هدف بررسی توازن رشد شهری و حفاظت از محیط زیست تا سال ۲۰۴۹، به کار برده شد [۶]. نتایج این پژوهش نشان دهنده افزایش اراضی شهری و کاهش اراضی کشاورزی و پوشش جنگلی است.

تغییرات پوشش جنگل منطقه نامیبیا در نیجریه در سال های ۱۹۸۶ و ۲۰۱۰ و پیش بینی برای ۲۱ سال آینده را با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، سنجش از دور و مدل زنجیره مارکوف مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت [۲۲]. نتایج نشان داد که مساحت اراضی جنگلی به دلیل فعالیت های انسانی مانند قطع غیر قانونی درختان و فعالیت های کشاورزی در حال کاهش است.

هدف از پژوهش حاضر، بررسی تغییرات کاربری اراضی در یک دوره زمانی ۲۵ ساله (۲۰۱۶-۱۹۸۸) با استفاده از تصاویر ماهواره لندست و شبیه سازی تغییرات با استفاده از مدل سلول خودکار و زنجیره مارکوف تا افق ۲۰۳۰ در منطقه دهلران واقع در جنوب استان ایلام است.

## مواد و روش ها

### منطقه مورد مطالعه

منطقه میمه با مساحت ۱۱۴۱۷۸ هکتار، در شهرستان دهلران و در استان ایلام و در گستره جغرافیایی "۳۲/۹' ۰" تا "۴۷° ۳۷/۹' ۲۸" طول شرقی و "۵۲/۱' ۲۷" تا "۵۱/۵' ۳۲° ۵۲" عرض شمالی واقع شده است. حداکثر ارتفاع منطقه ۱۴۲۷ متر و حداقل ارتفاع آن برابر ۶۵ متر از سطح دریا است. این منطقه از نظر طبقه بندی اقلیمی کوپن جزء اقلیم خشک با تابستان های گرم به حساب می آید. متوسط بارندگی منطقه ۲۶۰ میلی متر، متوسط تبخیر سالانه ۳۵۵۳ میلی متر از تشت تبخیر و ۳۱۱۷ میلی متر در سطح آب آزاد است. میانگین دمای سالانه منطقه ۳۱/۴°C برآورد شده است. موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و استان ایلام در شکل ۱ نشان داده شده است.

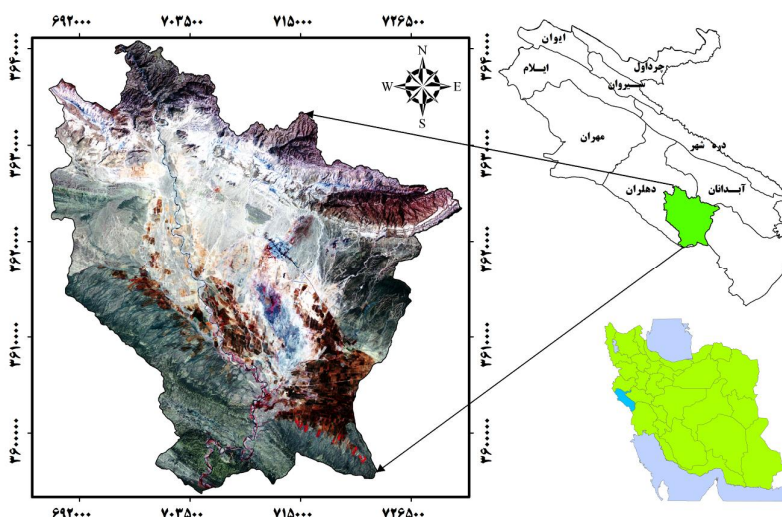
برای سیاست گذاری و چاره اندیشی برای رفع مشکل های احتمالی، آشکارسازی تغییرات برای مشخص کردن روند تغییرات در طول زمان، ضروری به نظر می رسد [۱۹]. از سوی دیگر، شبیه سازی و مدل سازی تغییرات، نیز برای آگاهی از کمیت و کیفیت تغییرات احتمالی آینده اهمیت دارد. بنابراین، آشکارسازی و پیش بینی تغییرات، پیش نیاز مراقبت از یک اکوسیستم با تغییرات سریع است. پیش بینی مکانی تغییرات کاربری اراضی را می توان به وسیله مدل های تجربی بر اساس برون یابی الگوهای تغییری مشاهده شده در گذشته نزدیک نشان داد [۱۹].

مدل های تغییر کاربری را می توان به سه گروه عمده تقسیم بندی نمود: مدل های تخمین تجربی<sup>۱</sup>، مدل های شبیه سازی پویا<sup>۲</sup>، و مدل های شبیه سازی مبتنی بر قاعده<sup>۳</sup> [۱۱].

مدل تلفیقی سلول های خودکار و زنجیره مارکوف<sup>۴</sup>، ترکیبی از مدل زنجیره مارکوف (از دسته مدل های تخمین تجربی) و مدل سلول های خودکار<sup>۵</sup> (از دسته مدل های شبیه سازی پویا) است. در حقیقت این مدل با افزودن مشخصه مجاورت مکانی<sup>۶</sup>، به مدل تصادفی زنجیره مارکوف، تغییرات کاربری اراضی را برای دوره های آینده شبیه سازی می کند. با شبیه سازی تغییرات کاربری، می توان میزان گسترش و تخریب منابع را مشخص کرد [۱۰، ۱۲]. در سال های اخیر پژوهش های زیادی در راستای شبیه سازی تغییرات کاربری اراضی در نقاط مختلف جهان انجام گرفته است.

از مدل زنجیره مارکوف در پیش بینی تغییرات پوشش زمین در منطقه شهری ناگورا واقع در کشور کنیا استفاده شده است [۱۷]. نتایج نشان دهنده افزایش تغییر کاربری زمین شهری از ۱۹/۰۴ کیلومتر مربع در سال ۱۹۷۳ به ۳۷/۳۱ کیلومتر مربع در سال ۲۰۰۰ است. نتایج مدل مارکوف نشان می دهد که برای سال ۲۰۰۵ کاربری آب

- 1- Empirical Estimation Models
- 2- Dynamic Simulation Models
- 3- Rule-base Simulation Models
- 4- CV-Markov
- 5- Cellular automata
- 6- Spatial contiguity

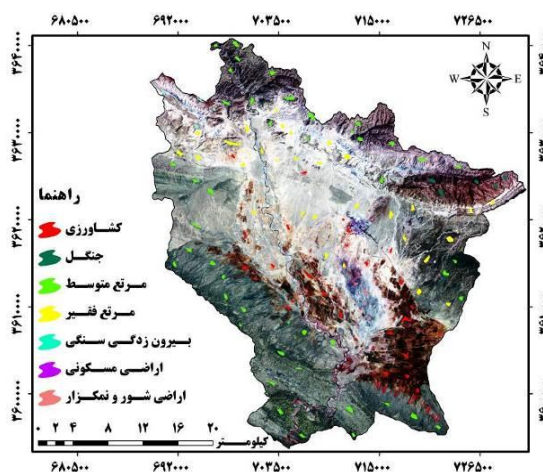


شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و استان ایلام

### روش تحقیق

در این تحقیق از تصاویر ماهواره‌ای لندست سنجنده TM سال ۱۹۸۸ و ۲۰۰۱ و سنجنده ETM+ سال ۲۰۱۶ استفاده شد. به منظور آماده‌سازی داده‌ها برای پردازش، عملیات تصحیح هندسی و زمین مرجع نمودن تصاویر با استفاده از لایه وکتوری شبکه راه‌ها و عکس هوایی منطقه صورت گرفت. تصحیح طیفی تصاویر به منظور بارز ساختن پدیده‌ها و بالا بردن سطح کیفی تصاویر و حذف تأثیرات نامطلوب نور و اتمسفر در تصاویر انجام شد. سپس با استفاده از روش همبستگی بین باندها، ترکیب کاذب رنگی ۳-۲-۴ برای تصاویر ایجاد و طبقه‌بندی شبکه عصبی مصنوعی آرتیمپ فازی انجام شد. با توجه به هدف تحقیق و نوع پوشش‌های موجود در منطقه، هفت طبقه شامل کشاورزی، جنگل، مرتع متوسط، مرتع فقیر، اراضی بایر، بیرون‌زدگی سنگی، اراضی مسکونی، شورزار و نمکزار

شناسایی و طبقه‌بندی شد. به منظور بررسی صحت طبقه‌بندی، مقایسه‌ای با نقشه‌های کاربری موجود و همچنین بازدیدهای میدانی صورت گرفت. در این مطالعه، از روش نمونه‌برداری تصادفی برای طبقه‌بندی داده‌ها استفاده شد. نمونه‌ها با توجه به نقشه کاربری اراضی و بازدیدهای محلی به روش تصادفی از هر گروه از پوشش گیاهی/کاربری اراضی انتخاب شد. به منظور بررسی دقت طبقه‌بندی تصاویر با استفاده از نمونه‌های آزمایشی، نسبت به محاسبه صحت با استفاده از ماتریس خطا و محاسبه متغیرهای آماری صحت کل، ضریب کاپا، دقت تولیدکننده و دقت استفاده‌کننده اقدام شد. سپس فیلتر حداکثر برای به دست آوردن تصویر یکنواخت و حذف پیکسل‌های پراکنده بر تصویرهای حاصل از طبقه‌بندی اعمال شد (شکل ۲).

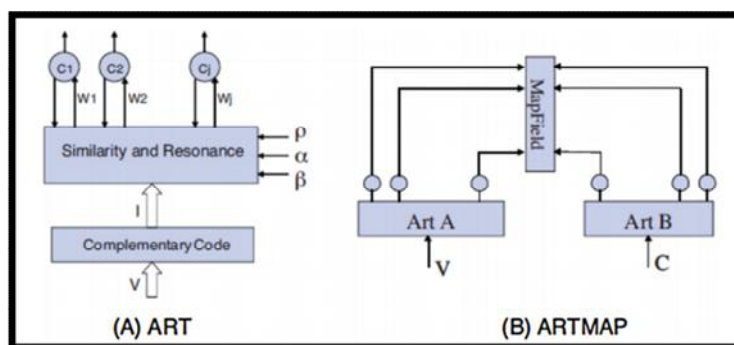


شکل ۲- نقشه نقاط واقعیت زمینی

### روش شبکه عصبی مصنوعی آرتمپ فازی (Fuzzy Art map)

مقادیر نزدیک به ۱ نشان‌دهنده‌ی خوشه‌بندی قوی هستند. پارامتر یادگیری ( $\beta$ ) نشان‌دهنده‌ی سرعت در یادگیری شبکه است. مقادیر بالای  $\beta$  یادگیری سریع فرآیند را نشان می‌دهد، اما نویز نیز می‌تواند افزایش یابد. بطوری‌که در نهایت لایه وکتور وزن‌ها ( $W_j$ ) که به طبقه‌بندی هر خروجی و داده‌های ورودی بستگی دارد، به دست می‌آید. همچنین یک ماتریس وزن با تمام خوشه‌بندی‌های خروجی تهیه می‌گردد. پارامتر  $\alpha$  نشان‌دهنده‌ی تعداد زیرکلاس‌های ساخته شده است و معمولاً عددی نزدیک به صفر می‌باشد (شکل ۳) [۹].

برای کمی کردن تعیین ظرفیت الکترونیکی داده‌ها برای طبقه‌بندی نظارت شده‌ی نمونه‌ها، شبکه عصبی مصنوعی آرتمپ فازی استفاده می‌شود. این روش یک طبقه‌بندی نظارت شده بر روی داده‌ها انجام می‌دهد و از ترکیب دو شبکه آرتمپ فازی بدست می‌آید [۵]. ART فازی یک کلاس شبکه عصبی است که آموزش طبقه‌بندی نظارت نشده در الگوهای ورودی تشابهی ( $V$ ) را در طبقه‌بندی‌های مختلف خروجی ( $C$ )، وابسته به روابط بین داده‌های ورودی انجام می‌دهد (شکل ۳). دسته‌بندی بوسیله سه مؤلفه کنترل می‌شود: پارامتر هوشیاری  $\rho$  ( $\rho$ )، پارامتر یادگیری  $\beta$  (beta) پارامتر پایه  $\alpha$  ( $\alpha$ ). پارامتر هوشیاری ( $\rho$ ) بین ۰ تا ۱ قرار می‌گیرد.



شکل ۳- نمودارهای شبکه عصبی (A) ART فازی و (B) ARTMAP فازی [۹].

داده‌ی وکتوری، که به وزن شبکه ( $W$ ) و داده‌های حداقل و حداکثر اجازه‌ی یافته شدن می‌دهد، بدست می‌آید [۹]. هر سیستم ART شامل سه لایه  $F_0$ ،  $F_1$  و  $F_2$  است که لایه  $F_1$  ورودی‌هایی از لایه پایینی خود ( $F_0$ ) و نیز از لایه بالایی خود ( $F_2$ ) را دریافت می‌کند. ساختار و معماری روش شبکه عصبی آرتمپ فازی برای طبقه‌بندی منطقه در جدول ۱ نشان داده شده است.

شبکه ARTMAP فازی از ترکیب دو شبکه آرتمپ فازی بوجود می‌آید. یکی برای تعلیم داده‌ها<sup>۱</sup> ( $C$ ) استفاده می‌شود و دیگری از داده‌های متغیر<sup>۲</sup> ( $V$ ) استفاده می‌کند. ارتباط بین دو شبکه ART فازی بوسیله‌ی یک نقشه حافظه که بنام نقشه صحرایی خوانده می‌شود، برقرار می‌گردد. داده‌های ورودی به سمت یک نرمال‌سازی شده و با افزودن مکمل خود ( $I$ )، دوتایی می‌شوند. بنابراین یک

جدول ۱- ساختار و معماری شبکه منطقه مورد مطالعه

| سال  | تعداد نرون‌های لایه ورودی ( $F_1$ ) | تعداد نرون‌های لایه طبقه بندی ( $F_2$ ) | تعداد تکرار |
|------|-------------------------------------|---|-------------|
| ۱۹۸۸ | ۱۲                                  | ۳۱۳۷                                    | ۲۵۵۲۴       |
| ۲۰۰۱ | ۱۲                                  | ۵۱۴۸                                    | ۳۴۳۸۸       |
| ۲۰۱۶ | ۱۲                                  | ۱۲۴۱                                    | ۲۴۶۳۱       |

## آشکارسازی تغییرات

برای بررسی تغییرات کاهش یا افزایش کلاس‌های طبقه بندی در دوره ۲۸ ساله، از نقشه‌های طبقه بندی شده استفاده شد. با مقایسه این نقشه‌ها و جدول ماتریس خطا، درصد تغییرات هر کلاس مشخص و نقشه آن ترسیم شد.

با استفاده از نقشه پوشش هر دوره، درصد مساحت کلاس پوشش زمین در محدوده مطالعاتی محاسبه شد. همچنین درصد هر کلاس نسبت به کل منطقه، برای آگاهی از میزان تغییرات به وقوع پیوسته در دوره‌های بعدی به دست آمد.

## مدل زنجیره مارکوف

زنجیره مارکوف، دنباله‌ای از فرآیندهای تصادفی است که نتیجه هر فرآیند در هر زمان، تنها به نتیجه فرآیند در زمان مجاور آن بستگی دارد [۱۸]. مدل‌های مبتنی بر زنجیره مارکوف قادرند اطلاعات پیچیده را در قالب ماتریس تغییر وضعیت گردآوری کنند. از این رو با کمک زنجیره مارکوف می‌توان سیستم‌های بسیار پیچیده و مرکب با فرآیندهای زیربنایی غیر قابل شناسایی را مدل‌سازی نمود [۲].

زنجیره‌های مارکوف کاربردهای گسترده‌ای در مدل کردن تغییرات کاربری و پوشش اراضی برای مناطق شهری و غیر شهری دارند [۲۴]. در بیشتر پژوهش‌ها درجه مارکوف برابر با یک و حالت ایستایی با زمان را برای مدل مارکوف قائل بوده‌اند. در تعداد محدودی ایستایی یا درجه مارکوف آزمایش شده است [۳]. در تحلیل زنجیره مارکوف از کلاس‌های پوشش به عنوان حالت یا همان وضعیت های زنجیر استفاده می‌شود. در این تحلیل همواره از دو نقشه رستری به عنوان ورودی مدل، استفاده می‌شود. افزون بر این دو نقشه، فاصله زمانی بین دو تصویر و فاصله زمانی شبه‌سازی نیز در مدل در نظر گرفته می‌شود. خروجی مدل نیز شامل احتمالات تبدیل وضعیت، ماتریس مساحت‌های تبدیل شده<sup>۱</sup> هر کلاس و در آخر

تصاویر احتمالات شرطی<sup>۲</sup> برای تبدیل کاربری‌های مختلف است [۲۳ و ۸].

زنجیره مارکوف نشان دهنده توالی متغیرهای تصادفی مانند  $X_1, X_2, X_3, \dots$  است. به بیانی دیگر، اگر مجموع‌های از حالات به صورت  $S = \{S_1, S_2, S_3, \dots, S_r\}$  وجود داشته باشد، رابطه زیر چگونگی به دست آمدن  $P_{ij}$  را نشان می‌دهد:

$$P_{ik} P_{kj} P_{ij}^{(n)} = \sum_k^r = 1$$

که در آن:

$P_{ij}^{(n)}$  احتمال رفتن از حالت  $i$  به حالت  $j$  از پس از  $n$  گام نشان می‌دهد.

تصاویر طبقه بندی شده سال‌های ۱۹۸۸، ۲۰۰۱ و ۲۰۱۶ به عنوان نقشه‌های پوشش برای تهیه ماتریس تبدیل وضعیت به کار برده شده است. فاصله زمانی بین سال‌های ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۶ (۲۸ سال) می‌باشد و همین بازه زمانی نیز برای پیش‌بینی تغییر کاربری استفاده شده است. با استفاده از نقشه‌های پوشش زمین به دست آمده برای هر دوره، ماتریس تبدیل وضعیت کلاس‌های پوشش زمین بین هر دو دوره زمانی به دست می‌آید. از نقشه‌های پوشش سال‌های ۱۹۸۸ و ۲۰۰۱ ماتریس تبدیل وضعیت اول و از نقشه‌های پوشش سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۱۶ ماتریس تبدیل وضعیت دوم محاسبه شد. این ماتریس‌ها حاوی اطلاعات درصد تبدیل هر کلاس به سایر کلاس‌ها هستند.

## مدل سلول‌های خودکار مارکوف

مدل CA-Markov تلفیقی از سلول‌های خودکار، زنجیره مارکوف و تخصیص چندمنظوره اراضی<sup>۳</sup> است که برای پیش‌بینی تغییرات آینده پوشش و کاربری اراضی به کار می‌رود. در ابتدا با به کارگیری مدل زنجیره مارکوف احتمال تغییر طبقات نقشه کاربری به یکدیگر در قالب ماتریس احتمال تغییر وضعیت کاربری‌ها و بر مبنای تغییرات مساحتی به وقوع پیوسته بین زمان  $t_0$  و  $t_1$  محاسبه می‌گردد. خروجی مدل مارکوف (ماتریس تغییر وضعیت کاربری‌ها) از نظر ماهیت غیرمکانی است. به

2- Conditional Probability Images

3- Multi- Objective Land Allocation (MOLA)

1- Transition Areas Matrix

افزار ادیسی سلوا برای شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی در منطقه دهلران بکار گرفته شد.

### نتایج

در این مطالعه، طبقه‌بندی تصاویر و تهیه نقشه کاربری اراضی، به روش شبکه عصبی آرتمپ فازی - به عنوان یک روش طبقه‌بندی نظارت شده - انجام شد (شکل ۴). برای بررسی دقت طبقه‌بندی تصاویرها، با بهره‌گیری از نمونه‌های آزمایشی، نسبت به محاسبه دقت با بهره‌گیری از ماتریس خطا و محاسبه شاخص‌های آماری دقت کل، ضریب کاپا، دقت تولید کننده و دقت بهره‌بردار اقدام شد (جدول ۲).

عبارتی، در آن هیچ دانش و آگاهی از موقعیت جغرافیایی کاربری‌های زمین وجود ندارد. برای پیش‌بینی موقعیت مکانی کاربری‌ها (نقشه پوشش و کاربری اراضی) در زمان t+1 تکنیک سلول‌های خودکار به همراه این مدل استفاده می‌شود. به این صورت که نقشه آینده کاربری اراضی با استفاده از نقشه‌های شایستگی تبدیل پوشش و کاربری با اعمال فیلتر مجاورت<sup>۲</sup> و طی فرآیند تخصیص چند منظوره اراضی تهیه می‌گردد [۷].

در حقیقت مدل سلول‌های خودکار مارکوف مؤلفه‌های مجاورت مکانی و دانش کاربر نسبت به توزیع مکانی احتمال تبدیل کاربری‌ها را به مدل زنجیره مارکوف اضافه می‌کند [۱۴]. در این پژوهش، مدل‌های موجود در نرم

جدول ۲- نتایج ارزیابی دقت تولید کننده، استفاده کننده، دقت کل و ضریب کاپا برای تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۱۹۸۵، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۶

| طبقه                | ۱۹۸۸            |                   | ۲۰۰۱            |                   | ۲۰۱۶            |                   |
|---------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|
|                     | دقت تولید کننده | دقت استفاده کننده | دقت تولید کننده | دقت استفاده کننده | دقت تولید کننده | دقت استفاده کننده |
| کشاورزی             | ۹۹              | ۹۹                | ۹۷              | ۹۷                | ۹۰              | ۹۹                |
| جنگل                | ۶۴              | ۹۹                | ۷۱              | ۹۷                | ۹۷              | ۹۷                |
| مرتع متوسط          | ۹۳              | ۹۲                | ۹۸              | ۹۶                | ۱۰۰             | ۸۳                |
| مرتع فقیر           | ۹۸              | ۸۰                | ۹۸              | ۷۵                | ۸۶              | ۱۰۰               |
| بیرون زدگی سنگی     | ۸۳              | ۴۴                | ۸۱              | ۱۰۰               | ۱۰۰             | ۹۴                |
| اراضی مسکونی        | ۱۰۰             | ۱۰۰               | ۹۹              | ۹۸                | ۱۰۰             | ۱۰۰               |
| اراضی شوره و نمکزار | ۷۹              | ۱۰۰               | ۹۵              | ۱۰۰               | ۱۰۰             | ۹۹                |
| دقت کل              | ۸۷              |                   | ۹۴              |                   | ۹۶              |                   |
| ضریب کاپا           | ۹۳              |                   | ۹۵              |                   | ۹۳              |                   |

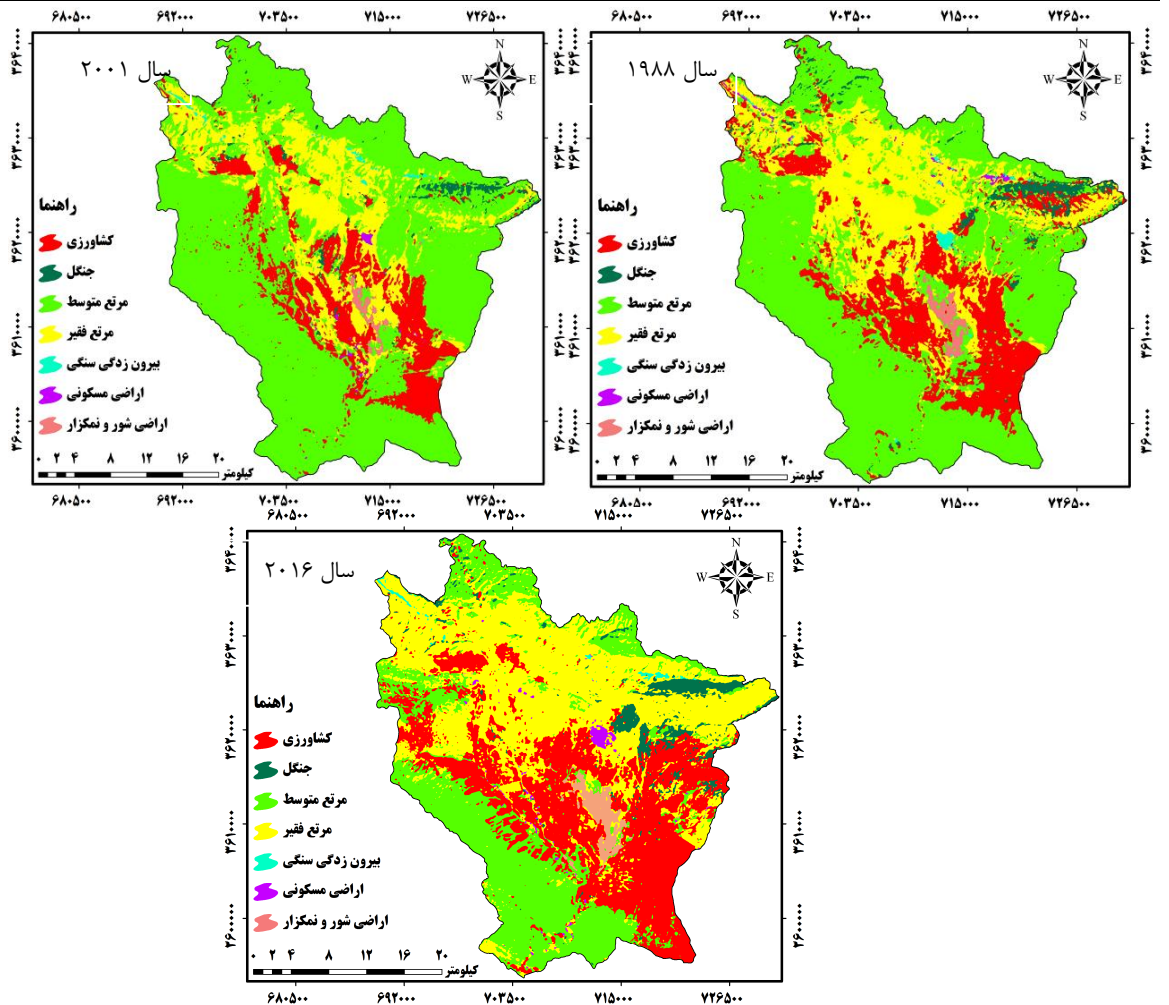
### مقایسه نقشه‌های کاربری اراضی طبقه‌بندی شده

پس از تهیه نقشه کاربری اراضی سال‌های ۱۹۸۸، ۲۰۰۱ و ۲۰۱۶ مساحت پنج کلاس پوشش اراضی به دست آمد. همانطور که در جدول ۳ و شکل ۵ مشخص است در دوره زمانی (۲۰۰۱-۱۹۸۸) وسعت کاربری‌های کشاورزی، جنگل و مرتع فقیر منطقه به ترتیب به میزان ۵۴۳۴، ۱۱۷۱ و ۶۶۸۰ هکتار (۴/۸، ۱ و ۵/۹ درصد)، افزایش یافته است، این در حالی است که وسعت مرتع متوسط با روند کاهشی ۱۳۸۷۶ هکتار (۲/۲ درصد) روبرو بوده است. به عبارت دیگر، در این دوره ۱۳ ساله، بیشترین تغییرات مربوط به کشاورزی و مرتع متوسط است. درصد اراضی کشاورزی از ۱۳/۵ درصد در سال ۱۹۸۸ به ۱۸/۲ درصد در سال ۲۰۰۱ رسیده است. سایر کاربری‌ها هم به نسبت کمتر افزایش یافته است. از طرف دیگر، وسعت

مرتع متوسط از ۶۵/۲ درصد در سال ۱۹۸۸ به ۵۳ درصد در سال ۲۰۰۱ کاهش یافته است. تغییرات در دوره زمانی (۲۰۰۱-۲۰۱۶) همانند روند تغییرات دوره (۱۹۸۸-۲۰۰۱) است. وسعت اراضی کشاورزی و مرتع فقیر به ترتیب ۱۲۴۵۹ و ۱۵۱۷۵ هکتار افزایش یافته است، در حالی که وسعت مرتع متوسط با روند کاهشی برابر با ۳۰۳۱۱ هکتار روبرو بوده است. الگوی مکانی تغییر هر کاربری به کل کاربری‌ها در شکل ۶ نشان داده شده است.

1- Transition Suitability Maps

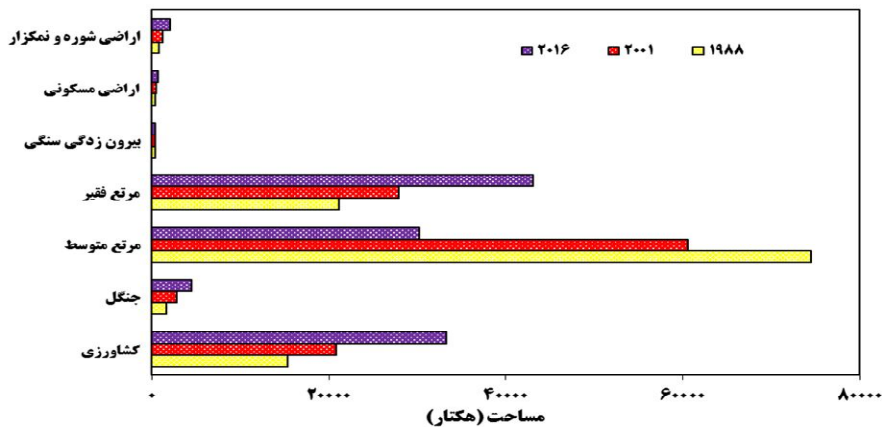
2- Filter Contiguity



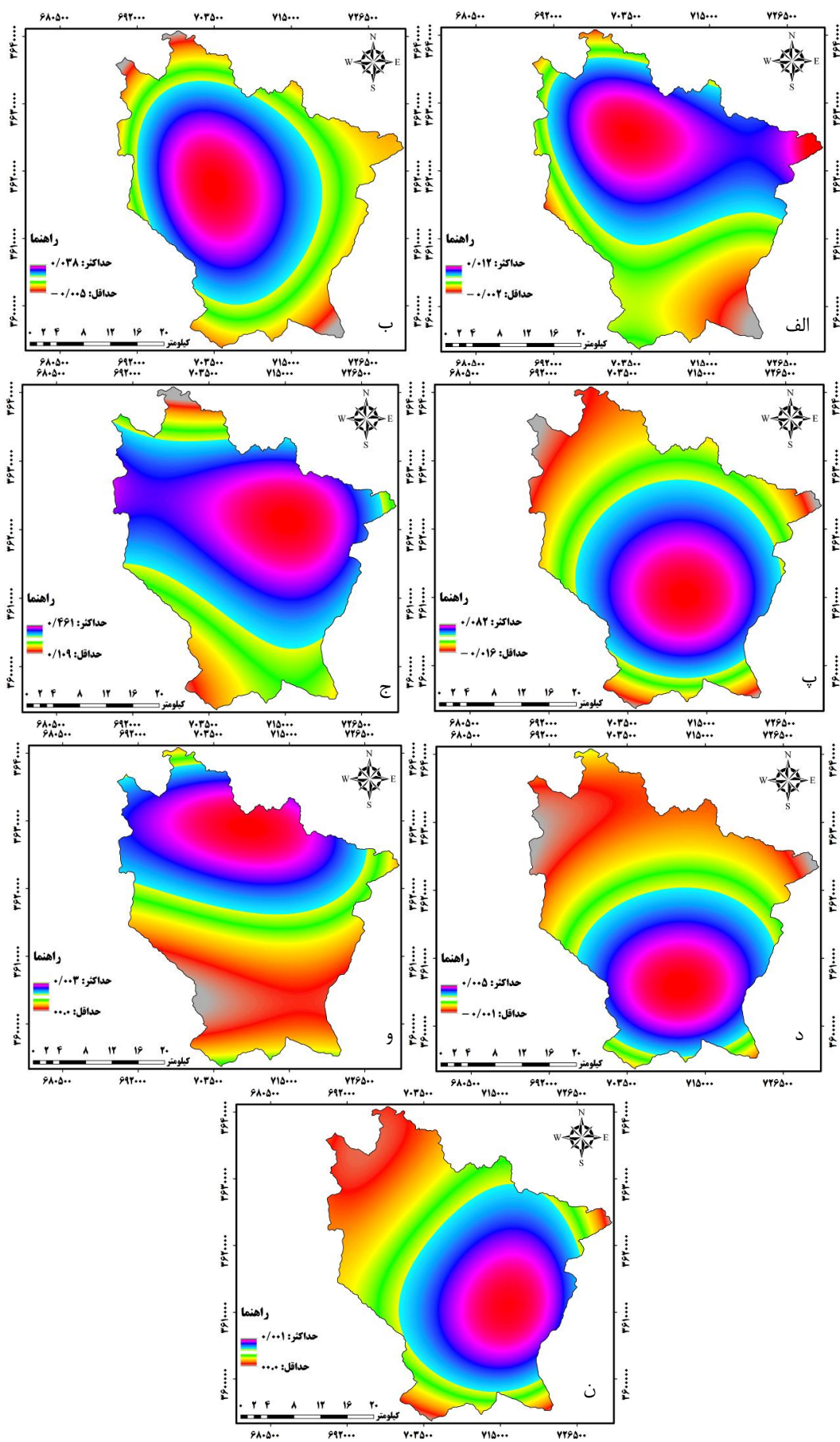
شکل ۴- نقشه کاربری اراضی منطقه دهلران در سال‌های ۱۹۸۸، ۲۰۰۱ و ۲۰۱۶

جدول ۳- مقایسه وسعت کاربری‌های مختلف در سال‌های ۱۹۸۸، ۲۰۰۱ و ۲۰۱۶ و اختلاف بین دو دوره زمانی طبقه

| طبقه               | ۱۹۸۸  |        | ۲۰۰۱  |        | ۲۰۱۶  |        | اختلاف (%) |
|--------------------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|------------|
|                    | هکتار | درصد   | هکتار | درصد   | هکتار | درصد   |            |
| کشاورزی            | ۱۳۷۵  | ۲۰.۸۰۴ | ۱۸۱۲  | ۲۰.۸۰۴ | ۲۹۰۱  | ۲۳.۲۶۳ | ۱۰/۹       |
| جنگل               | ۱/۵   | ۲۸۳۵   | ۲/۵   | ۲۸۳۵   | ۳/۹   | ۴۴۴۷   | ۱/۴        |
| مرتع متوسط         | ۶۵/۲  | ۶۰.۵۵۸ | ۵۳    | ۶۰.۵۵۸ | ۲۶/۵  | ۳۰.۲۴۶ | -۲۶/۵      |
| مرتع فقیر          | ۱۸/۶  | ۲۷۸۷۰  | ۲۴/۴  | ۲۷۸۷۰  | ۳۷/۷  | ۴۳.۰۴۶ | ۱۳/۳       |
| بیرون زدگی سنگی    | ۰/۳   | ۳۴۵    | ۰/۳   | ۳۴۵    | ۰/۳   | ۳۶۱    | ۰          |
| اراضی مسکونی       | ۰/۳   | ۵۱۸    | ۰/۵   | ۵۱۸    | ۰/۶   | ۷۲۸    | -۰/۲       |
| اراضی شور و نمکزار | ۰/۷   | ۱۲۴۸   | ۱/۱   | ۱۲۴۸   | ۱/۸   | ۲۰۸۷   | -۰/۷       |
| کل                 | ۱۰۰   | ۱۱۴۱۷۸ | ۱۰۰   | ۱۱۴۱۷۸ | ۱۰۰   | ۱۱۴۱۷۸ | ۰          |



شکل ۵- مساحت طبقه‌های مختلف کاربری‌ها در سال‌های ۱۹۸۸، ۲۰۰۱ و ۲۰۱۶



شکل ۶- نقشه پیش‌بینی تغییر کاربری ارضی برای سال ۲۰۳۰ (الف: کشاورزی، ب: جنگل پ، مرتع متوسط، ج: مرتع فقیر، د: بیرون زدگی سنگی و: اراضی مسکونی ن: اراضی شوره و نمکزار)



### تحلیل زنجیره مارکوف

نتایج پیش‌بینی تغییرات کاربری با بهره‌گیری از ماتریس تبدیل وضعیت دوره اول (۱۹۸۸-۲۰۰۱) برای سال ۲۰۱۶ به منظور ارزیابی مدل مارکوف با بهره‌گیری از نقشه کاربری موجود برای این سال در جدول ۴ ارائه شده است. در این جدول مجموع هر ستون نشان دهنده مساحت هر طبقه در سال ۲۰۱۶ است. نتایج مربوط به

ارزیابی دقت پیش‌بینی با مدل زنجیره‌ای مارکوف به کمک نقشه کاربری سال ۲۰۱۶ در جدول ۵ ارائه شده است. بر اساس جدول ۵، اختلاف بین طبقه‌های گوناگون، متفاوت است. بزرگی این اختلاف کمتر از یک درصد است، که نشان دهنده مفید بودن مدل مارکوف و قابلیت بهره‌گیری از آن در شبیه‌سازی تغییرات کاربری است [۱].

جدول ۴- پیش‌بینی مساحت کاربری‌های اراضی مختلف (هکتار) برای سال ۲۰۱۶، با استفاده از مدل زنجیره مارکوف و ماتریس انتقال برای دوره

۱۹۸۸-۲۰۰۱

| طبقه                | کشاورزی | جنگل | مرتع متوسط | مرتع فقیر | بیرون زدگی سنگی | اراضی مسکونی | اراضی شوره و نمکزار | مجموع  |
|---------------------|---------|------|------------|-----------|-----------------|--------------|---------------------|--------|
| کشاورزی             | ۳۱۱۶۹   | ۳۷۸  | ۸۵۰        | ۷۷        | ۸               | ۵۲۸          | ۳۱۹                 | ۳۳۳۳۹  |
| جنگل                | ۲۹۴     | ۳۲۸۹ | ۷۴۹        | ۵۰        | ۷               | ۳۱           | ۳                   | ۴۴۲۰   |
| مرتع متوسط          | ۶۰۱     | ۱۰۷۵ | ۲۵۴۹۰      | ۱۹۸۶      | ۲۹۱             | ۵۲۵          | ۵۳۶                 | ۳۰۵۰۴  |
| مرتع فقیر           | ۷۱۱     | ۲۸۴  | ۳۷۹        | ۳۹۶۱۳     | ۷۱۰             | ۳۳۱          | ۷۴۷                 | ۴۲۷۷۵  |
| بیرون زدگی سنگی     | ۰       | ۳    | ۲۷         | ۲۸۰       | ۴۶              | ۲۳           | ۴                   | ۳۸۳    |
| اراضی مسکونی        | ۵       | ۰    | ۳          | ۴         | ۱               | ۷۰۲          | ۳                   | ۷۱۸    |
| اراضی شوره و نمکزار | ۱۰۱     | ۳    | ۶          | ۵۱        | ۲۱              | ۵۰           | ۱۸۰۴                | ۲۰۳۶   |
| مجموع               | ۳۲۸۸۱   | ۵۰۳۲ | ۲۷۵۰۴      | ۴۲۰۶۱     | ۱۰۸۴            | ۲۲۰۰         | ۳۴۱۳                | ۱۱۴۱۷۵ |

جدول ۵- مقایسه مساحت‌های مختلف کاربری اراضی پیش‌بینی شده به وسیله مدل مارکوف با مساحت‌های کاربری اراضی واقعی

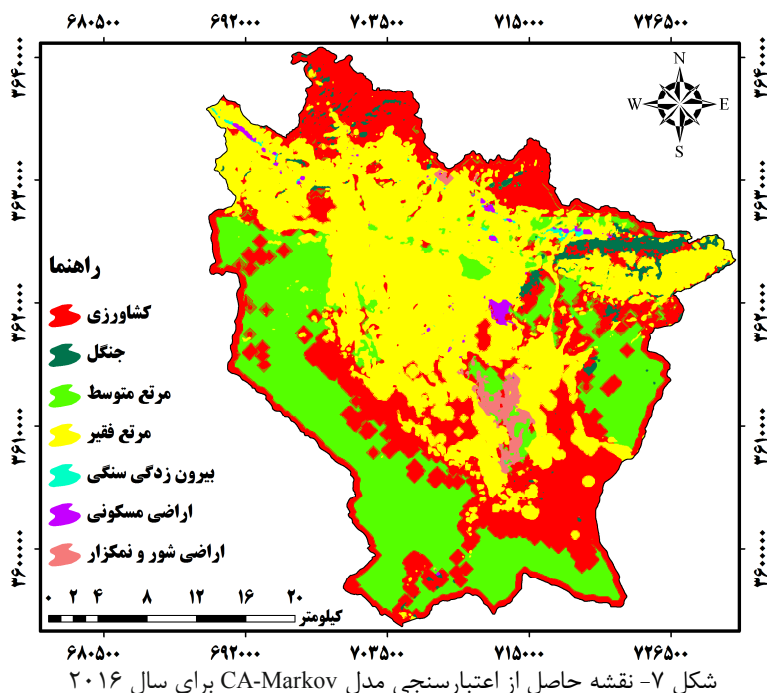
| طبقه                        | کشاورزی | جنگل  | مرتع متوسط | مرتع فقیر | بیرون زدگی سنگی | اراضی مسکونی | اراضی شوره و نمکزار | مجموع  |
|-----------------------------|---------|-------|------------|-----------|-----------------|--------------|---------------------|--------|
| پیش‌بینی برای سال ۲۰۱۶ (ha) | ۳۲۸۸۱   | ۵۰۳۲  | ۲۷۵۰۴      | ۴۲۰۶۱     | ۱۰۸۴            | ۲۲۰۰         | ۳۴۱۳                | ۱۱۴۱۷۵ |
| مساحت در نقشه سال ۲۰۱۶ (ha) | ۳۳۲۶۳   | ۴۴۴۷  | ۳۰۲۴۶      | ۴۳۰۴۶     | ۳۶۱             | ۷۲۸          | ۲۰۸۷                | ۱۱۴۱۷۵ |
| اختلاف مساحت‌ها (ha)        | -۷۶     | ۲۴    | -۲۵۸       | ۲۷۱       | -۲۲             | ۱۰           | ۵۱                  | ۰      |
| اختلاف (%)                  | -۰/۲۳   | +۰/۵۴ | -۰/۸۵      | +۰/۶۳     | -۵/۹۶           | ۱/۳۲         | +۲/۴۴               | ۰      |

برای اعتبارسنجی مدل، نقشه کاربری اراضی شبیه سازی شده سال ۲۰۱۶ با نقشه واقعی حاصل از طبقه‌بندی تصویر ماهواره‌ای همان سال مقایسه شد. ضریب کاپای محاسبه شده برابر با ۰/۸۷٪، قابلیت بالای مدل CA-Markov برای شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی در منطقه میمه دهلران است (شکل ۷).

چنان‌چه روند تغییرات آبی را معادل تغییرات فعلی در نظر بگیریم، ماتریس احتمال به دست آمده از نقشه‌های سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۱۶ با بهره‌گیری از زنجیره مارکوف برای شبیه‌سازی تغییرات ۱۴ سال آینده (۲۰۳۰) محاسبه

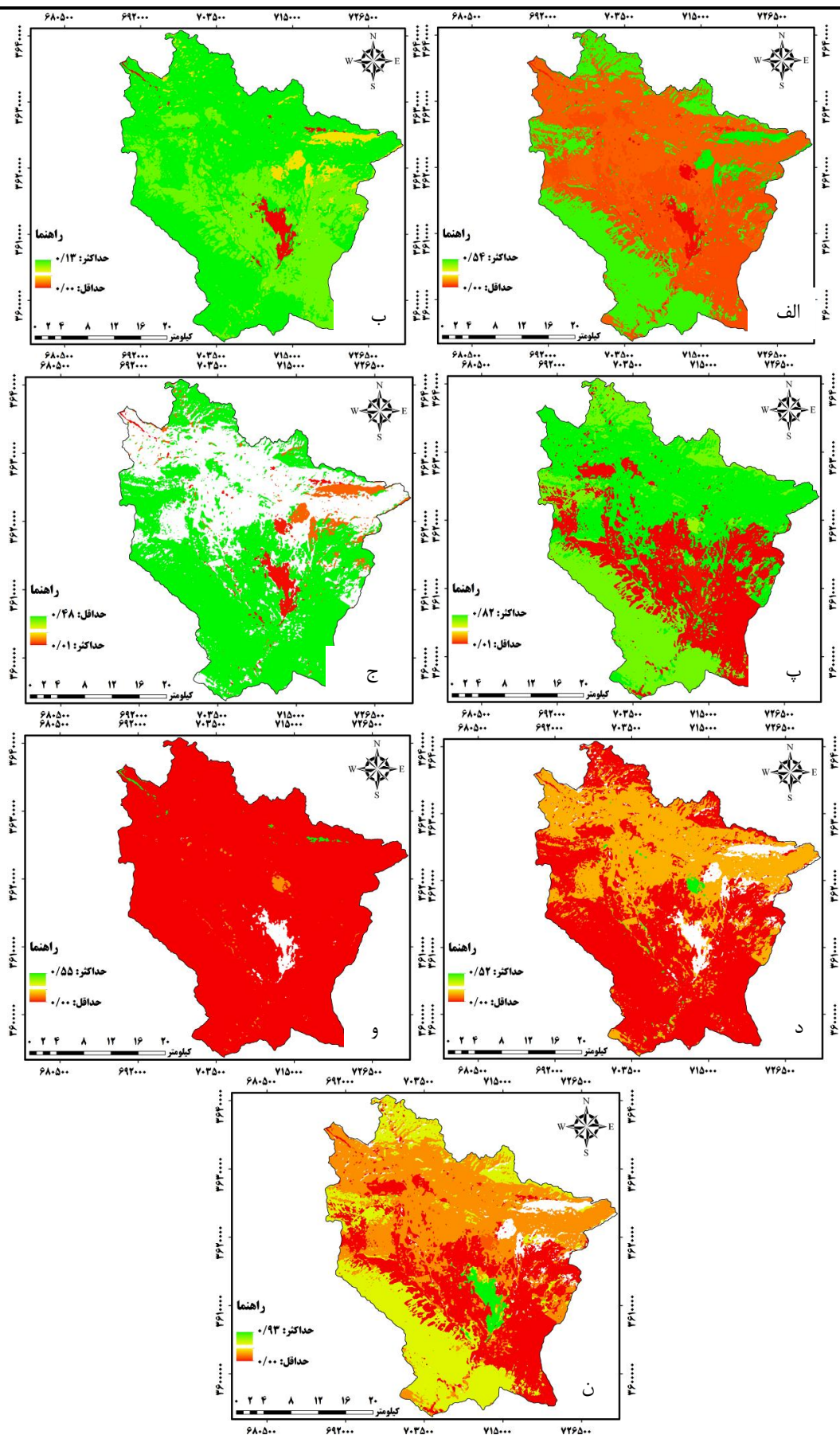
شده است (جدول ۶). همچنین نقشه حاصل از پیش‌بینی توسط زنجیره مارکوف برای هر یک از کاربری‌ها در شکل ۸ نشان داده شده است.

برای تهیه نقشه شبیه‌سازی سال ۲۰۳۰ از مدل CA-Markov استفاده شد. نقشه شبیه‌سازی منطقه میمه دهلران برای سال ۲۰۳۰ در شکل ۹ و تغییر مساحت هر یک از کاربری‌ها در سال ۲۰۳۰ نسبت به سال ۲۰۱۶ در شکل ۱۰ آمده است.

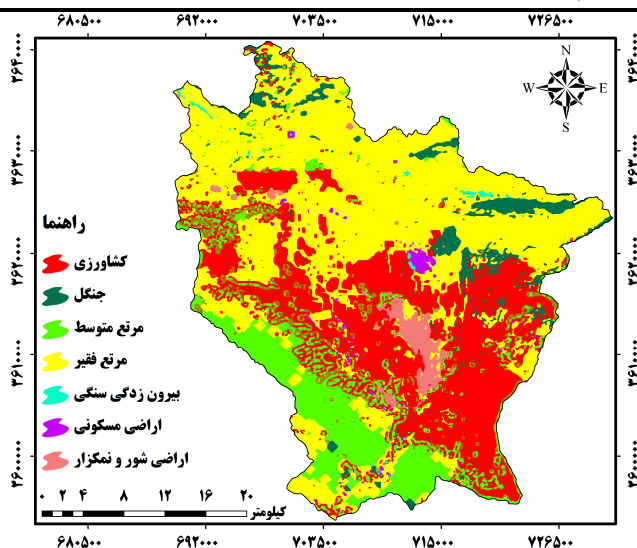


جدول ۶- ماتریس احتمال تغییر وضعیت کاربری‌های اراضی در دوره آماری ۲۰۱۶-۲۰۳۰ با استفاده از مدل زنجیره مارکوف

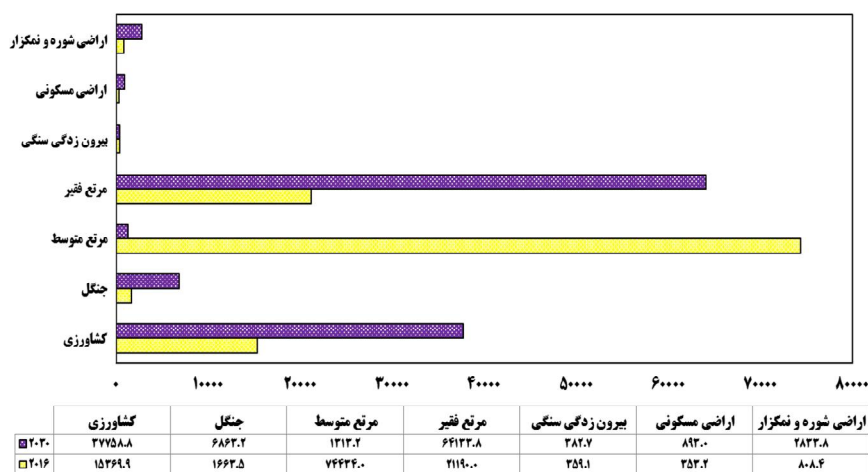
| طبقه               | کشاورزی | جنگل  | مرتع متوسط | مرتع فقیر | بیرون زدگی سنگی | اراضی مسکونی | اراضی شور و نمکزار |
|--------------------|---------|-------|------------|-----------|-----------------|--------------|--------------------|
| کشاورزی            | ۱۳/۴۲   | ۰/۳۹  | ۸۴/۳۴      | ۱/۹۰      | ۰/۰۲            | ۰/۰۲         | ۰/۰۱               |
| جنگل               | ۷/۴۷    | ۵۴/۰۹ | ۹/۴۲       | ۲۸/۸۲     | ۰/۰۲            | ۰            | ۰                  |
| مرتع متوسط         | ۲۲/۲۲   | ۳/۴۵  | ۴۸/۴۵      | ۲۴/۵۷     | ۰/۰۵            | ۰/۳۲         | ۰/۹۴               |
| مرتع فقیر          | ۱۵/۶۴   | ۰/۵۳  | ۰          | ۸۲/۱۱     | ۰/۱۷            | ۰/۷۱         | ۰/۸۳               |
| بیرون زدگی سنگی    | ۰/۰۱    | ۰/۱۵  | ۱۶/۶       | ۴۲/۱۹     | ۵۵/۵۷           | ۰/۳۵         | ۰/۰۷               |
| اراضی مسکونی       | ۷/۳۲    | ۰/۰۶  | ۳/۶۱       | ۲۱/۹۶     | ۱۳/۳۱           | ۵۲/۹۶        | ۰/۷۹               |
| اراضی شور و نمکزار | ۰/۵۴    | ۰/۰۸  | ۲/۹۵       | ۳/۱۲      | ۰               | ۰            | ۹۳/۳۱              |



شکل ۸- نقشه پیش‌بینی تغییر کاربری ارضی برای سال ۲۰۳۰ (الف: کشاورزی، ب: جنگل، پ: مرتع متوسط، ج: مرتع فقیر، د: بیرون زدگی سنگی، و: اراضی مسکونی، ن: اراضی شوره و نم‌زار)



شکل ۹- نقشه شبیه‌سازی کاربری اراضی سال ۲۰۳۰ با استفاده از مدل CA-Markov



شکل ۱۰- تغییر مساحت کاربری‌ها در بین بازه زمانی ۲۰۱۶ تا ۲۰۳۰ در منطقه مورد مطالعه (بر حسب هکتار)

## بحث و نتیجه‌گیری

سال ۱۹۸۸ به ترتیب حدود ۱۷۸۹۳، ۲۱۸۵۵ هکتار (۱۵/۷، ۱۹/۱ درصد) افزایش و مرتع متوسط در سال ۲۰۱۶ نسبت به سال ۱۹۸۸ حدود ۴۴۱۸۴ هکتار (۳۸/۷ درصد) کاهش یافته است. در طول این مدت، کاربری‌های جنگل، اراضی مسکونی و شور زار و نمکزار همانند دوره زمانی (۲۰۱۶-۱۹۸۸) با همان روند اما با شدت کمتر در حال افزایش است.

پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی با بهره‌گیری از ماتریس تبدیل وضعیت دوره اول (۱۹۸۸ تا ۲۰۰۱) برای سال ۲۰۱۶ صورت گرفت. اختلاف بین طبقه‌های مختلف کاربری اراضی متفاوت و بزرگی آن کمتر از یک درصد است که نشان دهنده مفید و کارا بودن مدل مارکوف در شبیه‌سازی تغییرات کاربری است.

مدل‌سازی الگوی مکانی تغییرات کاربری اراضی اطلاعات ارزشمندی را برای درک بهتر فرآیند تغییر، تعیین عوامل مؤثر و پیش‌بینی مناطق در معرض تغییر فراهم می‌آورد. استفاده از مدل‌های تغییر کاربری ابزار مناسبی برای پیش‌بینی الگوی مکانی تغییرات کاربری اراضی در طی زمان به شمار می‌آید. در این پژوهش به منظور بررسی روند تغییرات کاربری اراضی و همچنین پیش‌بینی این روند در منطقه خشک و نیمه خشک میمه دهلران واقع در استان ایلام از مدل CA-Markov استفاده شد. بر اساس نتایج بدست آمده می‌توان گفت که در بازه زمانی ۲۰۱۶-۱۹۸۸ (دوره ۲۸ ساله)، بیشترین تغییرات مربوط به اراضی کشاورزی و مرتع متوسط بوده است. اراضی کشاورزی و مرتع فقیر در سال ۲۰۱۶ نسبت به

طرف دیگر، در باز زمانی مورد مطالعه، میزان اراضی کشاورزی و مسکونی روند صعودی داشته است که نشان دهنده افزایش جمعیت و همچنین افزایش فشار انسانی در عرصه مورد مطالعه است. این تغییر کاربری‌ها و افزایش فشار انسانی بر عرصه‌های کشاورزی و مراتع، امروزه به نام بیابان‌زایی فن زاد (تکتوزنیک) نامیده می‌شود

از دلایل اصلی افزایش شوری و نم‌زار شدن منطقه، استفاده کشاورزان از منبع آبی چشمه‌های آبگرم است. آب این چشمه‌ها به صورت مجراهایی به اراضی پایین دست انتقال داده و در کشاورزی مصرف می‌شود. نتایج آزمایش کیفیت آب چشمه‌های آبگرم، مشخص کرد که میزان EC، TH،  $SO_4^{2-}$ ، Cl، Na به ترتیب برابر با  $(\mu mho/cm)$  ۸۰۰۰،  $(mg/L)$  ۲۱۷۵،  $(mg/L)$  ۱۶۸۹،  $(mg/L)$  ۱۱۶۲ و ۸۶۰ است. بر این اساس، کیفیت آب چشمه‌های آبگرم نامطلوب بوده و برای هیچ یک از بخش‌های کشاورزی، فضای سبز و تفرج گاهی، تغذیه سفره زیرزمینی و مصارف صنعتی قابل استفاده نمی‌باشد.

ارزیابی میزان تطابق نقشه پیش‌بینی شده و واقعی با شاخص کاپا نشان داد که CA-Markov مدلی مناسب برای شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی در منطقه دهلران بوده و قادر است وضعیت آینده کاربری اراضی را با دقت مناسبی پیش‌بینی کند. نتایج به دست آمده در این پژوهش هم‌راستا با چند تحقیق قبلی در ارتباط با امکان به کارگیری زنجیره مارکوف و مدل CA-Markov برای پیش‌بینی تغییرات پوشش اراضی است [۲۲، ۲۰ و ۶].

بهره‌گیری از زنجیره مارکوف و مدل CA-Markov در پیش‌بینی و تهیه نقشه پیش‌بینی تغییرات کاربری‌های مختلف از جنبه‌های مهم نوآوری این پژوهش محسوب می‌شود. با در اختیار داشتن نقشه موقعیت مکانی - احتمالی (طول و عرض جغرافیایی) تمام پیکسل‌های هر یک از کاربری‌ها، می‌توان از این مسئله در برنامه‌ریزی‌های آتی کمک گرفت.

نقشه‌های شبیه‌سازی شده در این بررسی می‌تواند راهنمای مناسبی برای مدیران و برنامه‌ریزان در بخش منابع طبیعی باشد. افزون بر این، نقشه‌های کاربری شبیه‌سازی شده می‌تواند به عنوان سامانه هشدار دهنده پیامدها و تأثیر آینده تغییر کاربری به کار گرفته شوند.

برای اعتبارسنجی مدل، نقشه کاربری اراضی شبیه‌سازی شده سال ۲۰۱۶ با نقشه واقعی حاصل از طبقه‌بندی تصویر ماهواره‌ای همان سال مقایسه شد. ضریب کاپای به دست آمده بیانگر قابلیت بالای مدل CA-Markov برای شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی در منطقه خشک و نیمه‌خشک میمه دهلران است.

با توجه به نتایج ماتریس به دست آمده (جدول ۶)، احتمال می‌رود در فاصله‌ی زمانی ۲۰۳۰-۲۰۱۶، ۱۳٪ از اراضی کشاورزی، ۵۴٪ از جنگل، ۴۸٪ از مراتع متوسط، ۸۲٪ از مراتع فقیر، ۵۵٪ از بیرون زدگی سنگی، ۳۲٪ از اراضی مسکونی، ۹۳٪ از اراضی شوره‌زار و نم‌زار به کاربری‌های دیگر تبدیل شوند. اراضی شوره‌زار و نم‌زار دارای بالاترین و از طرف دیگر کشاورزی کمترین احتمال تغییرات را خواهند داشت. همچنین در طی سال‌های ۲۰۳۰-۲۰۱۶، تبدیل مرتع متوسط به کشاورزی با ۸۲٪ دارای بالاترین احتمال است.

برای تهیه نقشه شبیه‌سازی سال ۲۰۳۰ از مدل CA-Markov استفاده شد. بر اساس مساحت‌های به دست آمده از هر کدام از کاربری‌ها در سال ۲۰۳۰ نسبت به سال ۲۰۱۶، مساحت‌های کاربری‌های اراضی کشاورزی، جنگل مرتع فقیر، اراضی مسکونی و شوره‌زار و نم‌زار همچنان در حال افزایش و کاربری‌های مرتع متوسط و در حال کاهش است. به طوری که مساحت کاربری‌های اراضی کشاورزی، جنگل مرتع فقیر، اراضی مسکونی و شوره‌زار و نم‌زار در سال ۲۰۳۰ نسبت به سال ۲۰۱۶ به ترتیب حدود ۴۴۹۶، ۲۴۱۶، ۲۱۰۸۸، ۱۶۵ و ۷۴۷ هکتار افزایش و مساحت مرتع متوسط در سال ۲۰۳۰ نسبت به سال ۲۰۱۶ حدود ۲۸۹۳۳ هکتار کاهش یافته است. افزایش مساحت کاربری جنگل به اجرای طرح کاشت جنگل دست کاشت در منطقه بوده است.

کاهش وسعت مراتع متوسط منطقه و روند افزایشی کاربری کشاورزی و مرتع فقیر بیانگر جایگزینی و تبدیل پوشش طبیعی منطقه با زمین‌های کشاورزی و کاربری‌های دارای ارزش پائین‌تر است. کاهش وسعت مراتع متوسط و روند افزایشی کاربری کشاورزی، اراضی مسکونی و شوره‌زار و نم‌زار بیانگر تخریب کلی در منطقه و جایگزینی کاربری‌های ضعیف‌تر در منطقه است. از

## References

- [1]. Baker, W. L. (1989). A review of models of landscape change. *Landscape Ecology*, 2: 111-133.
- [2]. Balzter, H. (2000). Markov chain models for vegetation dynamics. *Ecological Modelling*, 126: 139-154.
- [3]. Bell, E. J. (1974). Markov analysis of land use change: Application of stochastic processes to remotely sensed data. *Socioeconomic Planning Sciences*, 8: 311-316
- [4]. Brown, D. G, B. C. Pijanowski., & Duh, J. D. (2000). Modelling the relationships between land use and land cover on private lands in the Upper Midwest, USA. *Journal of Environmental Management*, 59: 247-263.
- [5]. Carpenter, G. A., Gossberg, S., & Rosen. D. (1991). Fuzzy ART: fast stable learning and cat-egorization of analog patterns by an adaptive resonance system, *Neural Network*, 4: 759-771.
- [6]. Dong Jie, G., HaiFeng, L., Takuro, I., Weici, S., Tadashi, N., & Kazunori, H. (2001). Modeling urban land use change by the integration of cellular automaton and Markov model. *Ecological Modelling*, 3761-3772.
- [7]. Eastman, J.R. (2006). Idrisi for windows user's guide ver.32. Clark University, 328 p.
- [8]. Gilks, W. R. (1996). Markov Chain Monte Carlo in Practice. Chapman & Hall/CRC.
- [9]. Gil-Sánchez, L., Garrigues, J., Garcia-Breijoa, E., Graub, R., Marta, A., Baigts, D., & Barab, J. M. (2015). Artificial neural networks (Fuzzy ARTMAP) analysis of the data obtained with an electronic tongue applied to a ham-curing process with different salt formulations. *Applied Soft Computing*, 30: 421-429.
- [10]. 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.
- [11]. He, Z., & Lo, C. (2007). Modeling urban growth in Atlanta using logistic regression. *Computers, Environment and Urban Systems*, 31 (6): 667-688.
- [12]. Jenerette Darrel, G., & Wu, J. (2001). Analysis and simulation of land use change in the central Arizona-Phonix region, USA. *Landscape ecology*, 16: 611-626.
- [13]. Jensen, J.R. (2007). Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective. Pearson Prentice Hall, 592 pp.
- [14]. Khoshgoftar, M.M., Talei, M., & Malekpour, P. (2010). Spatio-temporal modeling of urban sprawl: an approach based on integrating cellular automata and Markov chains. Proceedings of Geomatics (National Conference & Exhibition), 9 pp. (in Farsi).
- [15]. Koomen, E., Stillwell, J., Bakema, A. & Scholten, H.J. (2007). Modelling Land-use Change, Progress and Applications. Netherlands, Springer, 410 p.
- [16]. Lambin, E.F. (1997). Modelling and monitoring land-cover change processes in tropical regions. *Progress in Physical Geography*, 21: 375-393.
- [17]. Mubea, K. W., Ngigi T. G., & Mundia C. N. (2010). Assessing application of Markove chain analysis in Predicting land cover change: A case study of NAKURU municipality. *Journal of Advanced Computer Science & Technology*, 12 (2): 19.
- [18]. Norris, J.R. (1997). Markov Chains. Cambridge University Press, 237 p.
- [19]. Parker, D.C., Manson, S.M., Janssen, M. A., Hoffmann, M. J., & 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*, 43: 314-337.
- [20]. Peterson, L.K., Bergen, K.M., Brown, D.G., Vashchuk, L., & Blam, Y. (2009). Forested land-cover patterns and trends over changing forest management eras in the Siberian Baikal region. *Forest Ecology and Management*, 257: 911-922.
- [21]. Stéphane, N., & Lambin, E.F. (2001). A dynamic simulation model of land-use changes in Sudano-sahelian countries of Africa (SALU). *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 85: 154-161.
- [22]. Tudun-Wada1, M.I., Tukur, Y.M., Hussaini, Y., Sani1, M.Z., Musa, I., &

- Lekwot, V.E. (2014). Analysis of forest cover changes in Nimbia Forest Reserve, Kaduna State, Nigeria using Geographic Information System and Remote Sensing techniques. *International Journal of Environmental Monitoring and Analysis*, 2(2): 91-99.
- [23]. 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: 273-284.
- [24]. Wu, Q., Li, H.Q., Wang, R.S., Paulssen, J., He, Y., Wang, Min., Wang, B.H., & Wang, Z. (2006). Monitoring and predicting land use change in Beijing using remote sensing and GIS, Landscape and urban planning, Article in press.

## Spatio-temporal Modeling of Landscape Changes using Markov Chain Compilation Model and Automated Cells (Case Study: Arid and Semi-Arid Area Dehloran)

1- H. Fathizad, Ph.D student of Combating Desertification, Department of Arid land Management, Faculty of Natural Resources and Eremology, Yazd University, Iran

2- M. Zare, Assistant Professor, Department of Arid land Management, Faculty of Natural Resources and Eremology, Yazd University, Iran

3- H. Karimi, Associate Professor, Natural Resources Department, Agriculture Faculty, Ilam University, Ilam, Iran

[h.karimi@ilam.ac.ir](mailto:h.karimi@ilam.ac.ir)

4- A. Khanamani, Ph.D student of Combat Desertification, Department of Arid land Management, Faculty of Natural Resources and Eremology, Yazd University, Iran

Received: 22 Oct 2016

Accepted: 24 Oct 2017

### Abstract

Detection and prediction of changes in landscape, is necessary for the maintenance of an ecosystem, especially in developing countries with rapid changes and without planning. The object of this research, is monitoring landscape changes in past and it's simulation for future using Markov chain Consolidated and automated cells (CA-Markov) in arid and semi-arid region of Meymeh Dehloran, Ilam. Landsat satellite images of (TM) 1985, Landsat (TM) 2000 and Landsat (ETM<sup>+</sup>) 2016 were used. Change detection maps were prepared in seven classes of agriculture, Forest, fair range, poor range, rocky protrusions, residential land and salt land using supervised classification ARTMAP FUZZY neural network. Accuracy of the classification landscape maps for 1985, 2000 and 2016, are 93, 95 and 93 percent, respectively. Changes in landscape were predicted for 2030, using Markov chain model and automated cells. Predicted matrix results based on 2001 and 2016 maps showed that in span of 2016-2030, it is likely that 13% of agricultural land, 54% of Forest, 48% of the fair range, 82% of poor range, 55% of rocky protrusions, 52% of the residential land, 93% of salt lands and marsh land converted to other land uses. To validating the model, simulated landscape map of 2016, were compared with satellite image classification of the same year. Kappa coefficient was 87%, which shows the high capabilities of CA-Markov model to simulate landscape changes in arid and semi-arid region of Meymeh Dehloran.

**Keywords:** Detection; ARTMAP FUZZY neural network; Matrix; CA-Markov model; Ilam.