



## Modeling Spatial and Temporal Changes in Land-Uses and Land Cover of the Urmia Lake Basin Applying Cellular Automata and Markov Chain

Hadi Eskandari Damaneh<sup>1</sup>, Hamid Gholami<sup>1</sup>, Hassan Khosravi<sup>2\*</sup>, Rasoul Mahdavi Najafabadi<sup>1</sup>, Asadollah Khorani<sup>3</sup>, Junran Li<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, Bandar-Abbas, Iran

<sup>2</sup> Department of Arid and Mountainous Regions Reclamation, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Tehran, Iran

<sup>3</sup> Department of geography, faculty of letters and humanities, Hormozgan University, Bandar-Abbas, Iran

<sup>4</sup> Department of Geosciences, College of Engineering & Natural Sciences, University of Tulsa, Tulsa, Oklahoma

### ARTICLE INFO

*Article Type:* Research article

*Article history:*

Received 7 May 2020

Accepted 20 July 2020

Available online 27 August 2020

*Keywords:*

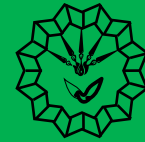
Land Use and Land Cover, Lake Urmia, Prediction, CA-Markov.

*Citation:* Eskandari Damaneh, H., Gholami, H., Khosravi, H., Mahdavi Najafabadi, R., Khorani, A., Li, J. (2020). Modeling Spatial and Temporal Changes in Land-Uses and Land Cover of the Urmia Lake Basin Applying Cellular Automata and Markov Chain. *Geography and Sustainability of Environment*, 10 (2), 57-72.

doi: [10.22126/GES.2020.5303.2238](https://doi.org/10.22126/GES.2020.5303.2238)

### ABSTRACT

Land use and land cover change are critical motivations for environmental changes. It mainly arises from human activities, e.g., the expansion of urban areas, the changes in agricultural land areas, and the destruction of water area which rooted in population growth. The present research used a combination of cellular automata (CA) and the Markov chain to simulate the present land-uses in the Lake Urmia Basin using remote sensing data. First, the land-use map was produced by the maximum likelihood classification method using the Landsat satellite imagery for the years 1998, 2008, and 2018. After the integrated CA-Markov approach assessed the model, the land-use maps were predicted for the years 2028 and 2038. The trend of land-use change between 1998 and 2018 revealed that agricultural areas and urban/human-made areas have increased by 3.31 and 2.74 percent, respectively, but water areas and other uses have decreased by 6.87 and 0.71 percent, respectively. The kappa coefficient was estimated at 80% for the model, implying its high accuracy in predicting land-uses. Based on the simulation results for 2028 and 2038, agricultural land area and urban/man-made areas will expand by 40.12 and 476.36% versus those in 1998 whereas water areas and other uses will shrink by 26.67 and 5.80%, respectively. The results can greatly help policymakers and managers of natural resources to make management decisions on land uses in different regions.



## مدل سازی تغییرات مکانی و زمانی کاربری و پوشش اراضی حوضه دریاچه ارومیه با استفاده از ترکیب سلول خودکار و زنجیره مارکوف

هادی اسکندری دامنه<sup>۱</sup>، حمید غلامی<sup>۱</sup>، حسن خسروی<sup>۲\*</sup>، رسول مهدوی<sup>۱</sup>، اسداله خورانی<sup>۳</sup>، جوران لی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup>گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، هرمزگان، ایران

<sup>۲</sup>گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

<sup>۳</sup>گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

<sup>۴</sup>گروه علوم زمین، دانشکده مهندسی و علوم طبیعی، دانشگاه تولسا، تولسا، اوکلاهاما

### چکیده

تغییرات کاربری و پوشش اراضی به‌مثابه یکی از مهم‌ترین محرک‌های تغییرات محیطی به‌طور عمده بر اثر فعالیت‌های انسانیک مانند افزایش مناطق شهری، تغییرات در سطح زمین‌های کشاورزی و از بین بردن پهنه‌های آبی اتفاق می‌افتد که این فعالیت‌ها ناشی از افزایش جمعیت بوده است. در نوشتار پیش رو با استفاده از روش ترکیبی سلول خودکار و زنجیره مارکوف به شبیه‌سازی کاربری‌های موجود در حوضه دریاچه ارومیه با استفاده داده‌های سنجش از دوری پرداخته شد. در ابتدا برای سال‌های ۱۳۷۷، ۱۳۸۷ و ۱۳۹۷ نقشه کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره لندست با روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال تولید و پس از ارزیابی مدل با استفاده از روش ترکیبی Ca-Markov نقشه کاربری برای سال ۱۴۰۷ و ۱۴۱۷ پیش‌بینی شد. بررسی روند تغییرات کاربری بین سال ۱۳۷۷ تا ۱۳۹۷ نشان داد که زمین‌های کشاورزی و اراضی شهری - انسان ساخت به ترتیب افزایش ۳/۳۱ و ۲/۷۴ درصدی داشته؛ اما پهنه‌های آبی و سایر کاربری‌ها به ترتیب ۶/۸۷٪ و ۰/۷۱٪ کاهش نشان داده است. ارزیابی مدل با استفاده از شاخص کاپا بالای ۰/۸۰ نشان‌دهنده دقت بالای مدل برای پیش‌بینی کاربری‌ها است. نتایج شبیه‌سازی برای سال ۱۴۰۷ و ۱۴۱۷ نشان داد که کاربری‌های زمین‌های کشاورزی و مناطق شهری انسان‌ساخت نسبت به سال ۱۳۷۷ به ترتیب ۴۰/۱۲٪ و ۴۷۶/۳۶٪ افزایش داشته این در حالی است که پهنه‌های آبی و سایر کاربری‌ها در این بازه به ترتیب ۲۶/۶۷٪ و ۵/۸۰٪ کاهش داشته‌اند. نتایج این تحقیق می‌تواند به سیاست‌مداران و مدیران عرصه‌های طبیعی در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی و آینده‌نگری کاربری اراضی مناطق مختلف بسیار کارآمد باشد.

### مشخصات مقاله

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخچه مقاله:

دریافت ۱۸ اردیبهشت ۱۳۹۹

پذیرش ۳۰ تیر ۱۳۹۹

دسترسی آنلاین ۶ شهریور ۱۳۹۹

کلیدواژه‌ها:

کاربری و پوشش اراضی، دریاچه ارومیه، پیش‌بینی، Ca-Markov.

استناد: اسکندری دامنه، هادی، غلامی، حمید؛ خسروی، حسن؛ مهدوی، رسول؛ خورانی، اسداله؛ لی، جوران (۱۳۹۹). مدل سازی تغییرات مکانی و زمانی کاربری و پوشش اراضی حوضه دریاچه ارومیه با استفاده از ترکیب سلول خودکار و زنجیره مارکوف. جغرافیا و پایداری محیط، ۱۰ (۲)، ۵۷-۷۲.

doi: [10.22126/GES.2020.5303.2238](https://doi.org/10.22126/GES.2020.5303.2238)

## مقدمه

تغییرات پوشش و کاربری اراضی به موضوعی جهانی تبدیل شده است که این امر نگرانی شدید دولت‌ها و مدیران منابع طبیعی را به دنبال داشته است. این تغییرات بیشتر بر اثر افزایش سریع جمعیت بوده و باعث تبدیل زمین‌های حاصلخیز به اراضی شهری یا از بین رفتن تالاب‌ها و دریاچه‌های طبیعی می‌شود (هانگ<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۲۰؛ گان<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۱). روند این تغییرات بسیار پیچیده، پویا و در حال گسترش است؛ همچنین، بسیار تأثیر پذیر و تأثیر گذار از راه تعامل در زمان و مکان و در مقیاس‌های مختلف است؛ برای مثال عوامل سیاسی، اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی و بسیاری از عوامل دیگر، بر این تغییرات اراضی تأثیر پذیر و تأثیر گذار خواهند بود (شو<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۲۰؛ هی<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۰۶). در سطح جهانی روند تغییرات اراضی به طور چشم‌گیری در حال افزایش است که بر اساس گزارش سازمان ملل در سال ۲۰۱۹، رشد شهری از ۱۴٪ در سال ۱۹۰۰ به ۲۹٪ در سال ۱۹۵۰ افزایش یافته است و در سال ۲۰۱۴ این رشد به ۵۴٪ رسیده است و همچنین پیش‌بینی می‌شود در سال ۲۰۵۰ به ۶۶٪ افزایش یابد (منصور<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۲۰).

رشد جمعیت و تأمین مسکن و غذا برای این جمعیت در حال رشد، باعث تبدیل و تغییر در کاربری‌های مختلف شده است (پرستیل<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۱۶). تغییرات زیاد در کاربری و استفاده از زمین، اثرات زیادی بر تنوع زیستی، آب، مقدار تشعشع خورشید، انتشار گازها و دیگر فرایندهایی که بر اقلیم و بیوسفر تأثیر گذارند، از خود برجا می‌گذارد (ریبسیم<sup>۷</sup> و همکاران، ۱۹۹۴). پایش تغییرات اراضی برای فهم محرک‌های پویا مؤثر بر زمین‌ها در بازه زمانی طولانی‌مدت برای مدیریت مناسب آن‌ها اهمیت بسزایی دارد؛ زیرا این تغییرات اراضی بسیار گسترده و سریع تحت تأثیر عوامل مختلف طبیعی و انسانی هستند که باعث تغییر اکوسیستم‌های طبیعی می‌شوند (راوات<sup>۸</sup> و کومار<sup>۹</sup>، ۲۰۱۵؛ تورنر<sup>۱۰</sup> و راشکر<sup>۱۱</sup>، ۱۹۹۸). بررسی الگو تغییرات چشم‌اندازها، تغییرات و تعامل بین فعالیت‌های انسانی و پدیده‌های طبیعی برای مدیریت اراضی و اتخاذ تصمیم‌های مدیریتی مناسب روز به روز ضروری‌تر می‌شود (دادهیچی و هاناوکا<sup>۱۲</sup>، ۲۰۱۱؛ اوتمان<sup>۱۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۴). با این حال، برای پایش، شبیه‌سازی و پیش‌بینی صحیح و مؤثر تغییرات پوشش و کاربری اراضی مقدار قابل توجهی از اطلاعات درباره منطقه مورد مطالعه لازم است. از این رو استفاده از داده‌های سنجش از دوری، اطلاعات به‌روزی از پوشش و کاربری اراضی را در اختیار پژوهشگران قرار می‌دهد و در تحلیل و شبیه‌سازی مکانی تغییرات اراضی در بازه زمانی مختلف بسیار مفید خواهد بود (واکودی<sup>۱۴</sup> و همکاران، ۲۰۱۴؛ یوسف<sup>۱۵</sup> و همکاران، ۲۰۱۱؛ بیلتی<sup>۱۶</sup> و همکاران، ۲۰۲۰). امروزه علم سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، ابزارهای کارآمدی برای بررسی اکوسیستم‌های طبیعی و مدیریت اقتصادی -

- 1- Huang
- 2- Guan
- 3- Shu
- 4- He
- 5- Mansour
- 6- Prestele
- 7- Riebsame
- 8- Rawat
- 9- Kumar
- 10- Turner
- 11- Ruscher
- 12- Dadhich & Hanaoka
- 13- Othman
- 14- Wakode
- 15- Youssef
- 16- Belete

اجتماعی آن‌ها در اختیار پژوهشگران قرار می‌دهد (گاشاو<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۷). این داده‌های مکانی و سنجش از دوری برای تحلیل عملکرد سیستم زمین، الگوها در مقیاس‌های محلی، منطقه‌ای و جهانی در بازه‌های زمانی مختلف بسیار دقیق عمل می‌کنند (اسلام<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۸؛ رودپشتی<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۹).

در حال حاضر، از مدل‌ها و روش‌های مختلف سنجش از دوری و سیستم اطلاعات جغرافیایی برای بررسی روند تغییرات اراضی و پیش‌بینی آن‌ها استفاده می‌شود (آبراس<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۱۶). مطالعات زیادی از مدل‌های قدیمی‌ای همچون مدل‌های سلول خودکار<sup>۵</sup> که برای ارزیابی پویایی و رشد کاربری به کار می‌روند، استفاده می‌کنند (کلارک<sup>۶</sup> و همکاران، ۱۹۹۷؛ باریدو<sup>۷</sup> و همکاران، ۲۰۰۳). بعضی دیگر از مدل‌های کیفی مانند رگرسیون لجستیک<sup>۸</sup> برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری استفاده کرده‌اند (الشریف و پاردهان<sup>۹</sup>، ۲۰۱۴). پژوهش‌های دیگر نیز از ادغام روش‌های مختلف مانند زنجیره مارکوف<sup>۱۰</sup> و سلول خودکار استفاده کرده‌اند که نتایج واقع‌بینانه‌ای را نشان داده‌اند (آبراس و همکاران، ۲۰۱۶؛ الشریف و پاردهان، ۲۰۱۶). ترکیب دو روش سلول خودکار و زنجیره مارکوف تکنیک بسیار مؤثری برای تخمین مکانی و زمانی داده‌های سنجش از دوری بوده؛ زیرا این نوع داده‌ها به خوبی روند تغییرات اراضی را ثبت می‌کنند (آبراس و همکاران، ۲۰۱۶؛ الشریف و پاردهان، ۲۰۱۴ و ۲۰۱۶)؛ بنابراین ترکیب مدل‌های شبیه‌سازی دینامیک مانند سلول خودکار با مدل تجربی آماری مانند زنجیره مارکوف نتایج بهتری نسبت به استفاده جداگانه این دو مدل خواهد داشت (گوان و همکاران، ۲۰۱۱) که نوآوری نوشتار پیش رو است. در پژوهش حاضر حوضه دریاچه ارومیه و شهرستان‌هایی که با این دریاچه مرز مشترک دارند برای مطالعه انتخاب شدند؛ زیرا این حوضه، در چند دهه گذشته از لحاظ گسترش شهری، پوشش گیاهی و سطح دریاچه ارومیه تغییرات بسیاری داشته که این تغییرات، تحولات فراوانی را در کاربری‌های یادشده ایجاد کرده است (بخشیان لاموکی<sup>۱۱</sup> و همکاران، ۲۰۲۰)؛ بنابراین برای بررسی روند تغییرات اراضی بین سال‌های ۱۳۷۷، ۱۳۸۹ و ۱۳۹۷ و برای پیش‌بینی کمی و مکانی این روند تغییرات تا سال ۱۴۰۷ و ۱۴۱۷ از ترکیب دو روش سلول خودکار و زنجیره مارکوف استفاده شد.

## مواد و روش‌ها

### معرفی منطقه مورد بررسی

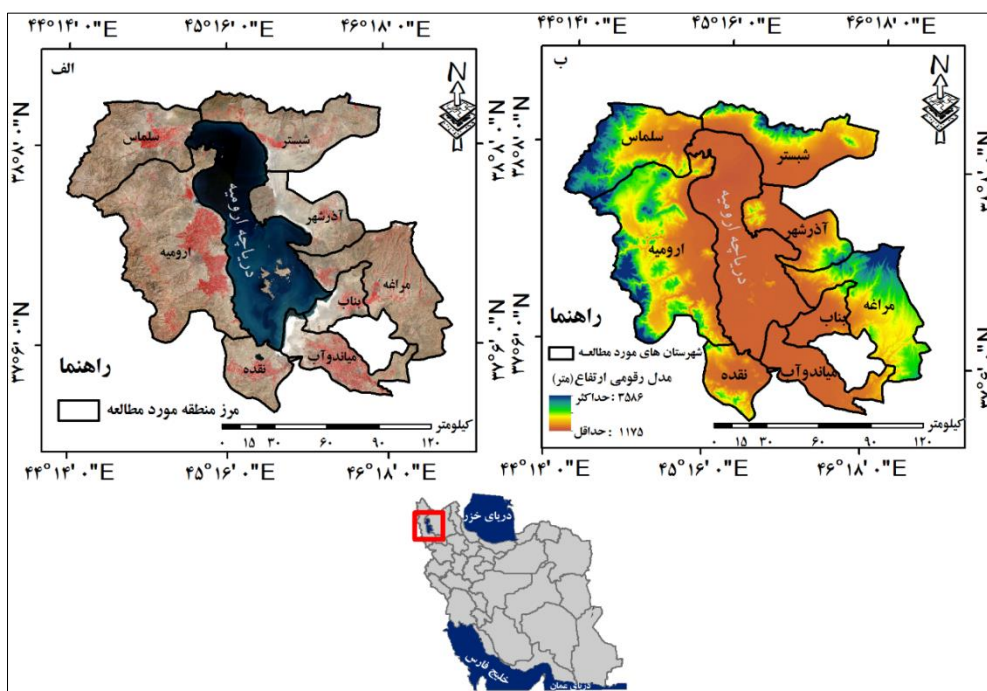
دریاچه ارومیه به عنوان بزرگ‌ترین دریاچه داخلی ایران، نقش اجتماعی - اقتصادی و اکولوژیکی مهمی در شمال غرب ایران دارد. با این حال، سطح آب این دریاچه در طی سال‌های گذشته کاهش یافته و بیش از یک‌چهارم آن به اراضی شور تبدیل شده است (حسن‌زاده<sup>۱۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۲). حوضه دریاچه ارومیه یکی از شش حوضه اصلی رودخانه‌ای در کشور ایران است. بیش از ۶/۵ میلیون نفر که اقتصادشان به کشاورزی دیم و صنعت وابسته است، در این حوضه زندگی می‌کنند (بخشیان لاموکی و همکاران، ۲۰۲۰). مختصات جغرافیایی این حوضه بین عرض

- 1- Gashaw
- 2- Islam
- 3- Roodposhti
- 4- Aburas
- 5- Cellular-Automata (CA)
- 6- Clarke
- 7- Barredo
- 8- Logistic Regression (LR)
- 9- Alsharif & Pradhan
- 10- Markov Chain (MC)
- 11- Bakhshianlamouki
- 12- Hassanzadeh

جغرافیایی "۳۵° ۴۰" تا "۳۸° ۳۰" شمالی و طول جغرافیایی "۴۴° ۱۲" تا "۴۷° ۵۴" شرقی واقع شده است (شکل ۱ الف). میانگین درازمدت بارندگی ۳۷۸ میلی‌متر بوده، در حالی که میانگین بارندگی بین سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۷ حدود ۲۸۰ میلی‌متر گزارش شده است و تبخیر این منطقه نیز حدود ۸۰۰ میلی‌متر است (مرادی<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۷). در این مطالعه شهرستان‌های شبستر، آذرشهر، مراغه، بناب، میاندوآب، نقده، ارومیه و سلماس که با دریاچه ارومیه مرز مشترک داشته‌اند مدنظر بوده است. حداقل و حداکثر ارتفاع منطقه به ترتیب ۱۱۷۵ و ۳۵۸۶ متر است (شکل ۱ ب).

### داده‌های مورد استفاده

در نوشتار پیش رو برای برآورد تغییرات کاربری، تصاویر ماهواره‌ای لندست از سایت زمین‌شناسی ایالات متحده (USGS) تهیه شد. قدرت تفکیک مکانی این تصاویر سی متر بوده و در سه تصویر برای هر سال داندلود و پس از موزاییک کردن مرز منطقه مورد مطالعه، برش داده شد (جدول ۱). خلاصه روش‌شناختی استفاده‌شده در این پژوهش با استفاده از مدل CA-Markov برای پیش‌بینی تغییرات کاربری در منطقه مورد مطالعه در (شکل ۲) آورده شده است؛ همچنین، برای بررسی نقاط ارتفاعی منطقه از مدل رقومی ارتفاع<sup>۳</sup> سی متری سنجنده ASTER<sup>۴</sup> استفاده شد.



شکل ۱. موقعیت حوضه دریاچه ارومیه در ایران؛ الف: تغییرات ارتفاعی؛ ب: مرز منطقه مورد مطالعه

جدول ۱. جزئیات تصاویر ماهواره‌ای لندست استفاده‌شده در پژوهش حاضر

تصاویر	سال	تفکیک مکانی	سطر / ستون
لندست ۵	۱۳۷۷	۳۰	۳۴/۱۶۹, ۳۳/۱۶۹, ۳۴/۱۶۸
لندست ۵	۱۳۸۷	۳۰	۳۴/۱۶۹, ۳۳/۱۶۹, ۳۴/۱۶۸
لندست ۸	۱۳۹۷	۳۰	۳۴/۱۶۹, ۳۳/۱۶۹, ۳۴/۱۶۸

1- Moradi

2- United States Geological Survey (USGS)

3- Digital Elevation Model (DEM)

4- Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER)

### طبقه‌بندی و ارزیابی صحت تصاویر

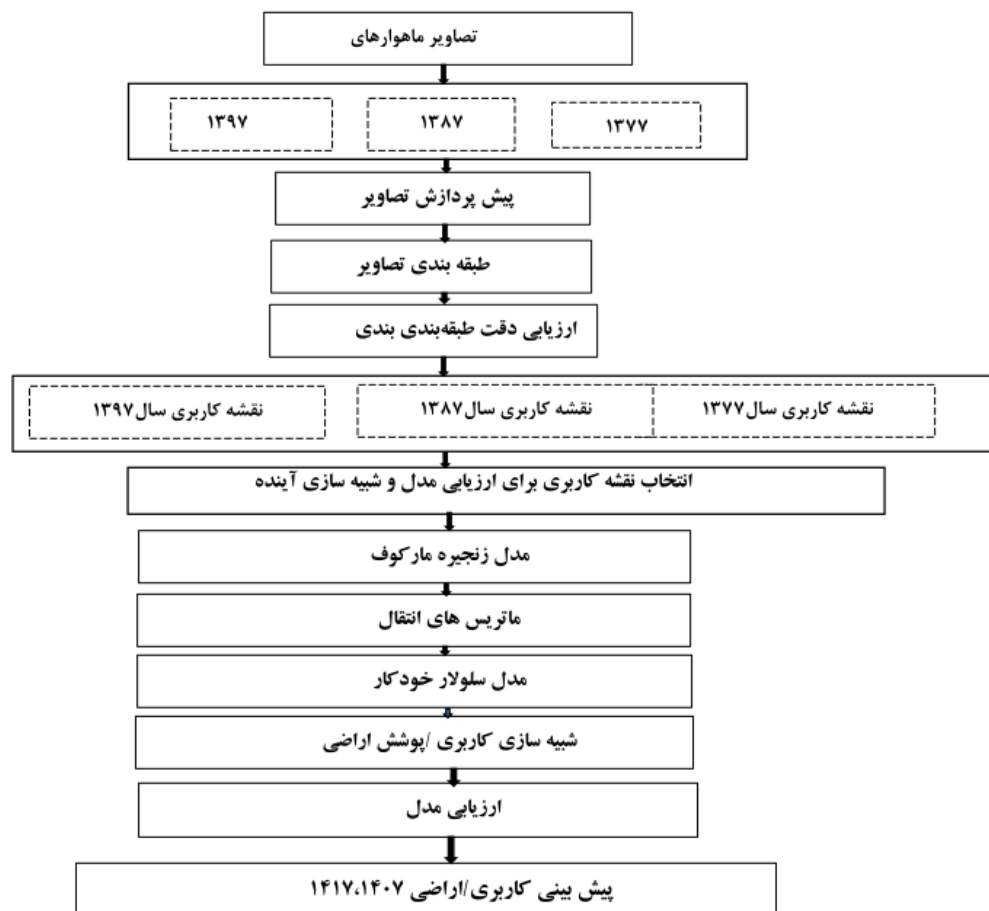
پس از تهیه تصاویر، تصحیحات اتمسفری و رادیومتری با استفاده از ماژول فلش<sup>۱</sup> در نرم افزار ENVI5.3 انجام پذیرفت. پارامترهای مورد نیاز برای تصحیحات اتمسفری از فایل متنی همراه با تصاویر تهیه شده استخراج شد و همچنین از اطلاعات ارتفاعی مورد نیاز از مدل رقومی ارتفاع تهیه شده، به دست آمد. تمامی تصاویر از نظر تصحیحات هندسی در سیستم مختصات UTM WGS84<sup>۲</sup> و زون ۳۸ شمالی پس از موزاییک کردن در قالب مرز منطقه مورد مطالعه برش داده شد. پس از انجام تصحیحات لازم، با استفاده از روش حداکثر شباهت<sup>۳</sup> که روش طبقه‌بندی نظارت شده‌ای است، انجام پذیرفت. این روش طبقه‌بندی با توجه به اینکه نقاط آموزش به صورت دقیق انتخاب و به نرم افزار معرفی می‌شوند، به عنوان روش قدرتمند و در عین حال ساده‌ای شناخته شده است (یوسفی و همکاران، ۲۰۱۱؛ بیرو<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۱۳؛ پارداهان و سلیمان<sup>۵</sup>، ۲۰۰۹). در طبقه‌بندی تصاویر برای سال‌های ۱۳۷۷، ۱۳۸۷ و ۱۳۹۷ در چهار کلاس اراضی کشاورزی، پهنه‌های آبی، مناطق شهری - انسان ساخت و سایر کاربری‌ها طبقه‌بندی شدند (جدول ۲).

برای طبقه‌بندی درست تصاویر و انتخاب صحیح نقاط آموزش به برداشت نقاط آموزشی از راه سامانه گوگل ارث<sup>۶</sup>، بررسی میدانی، ترکیب رنگی کاذب<sup>۷</sup> و استفاده از شاخص‌های به دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای مانند شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی<sup>۸</sup> برای تشخیص پوشش گیاهی، شاخص نرمال شده اختلاف مناطق پوشیده از آب<sup>۹</sup> برای بررسی بسترهای آبی و شاخص نرمال شده اختلاف مناطق شهری<sup>۱۰</sup> برای بررسی مناطق شهری و انسان ساخت استفاده شد. جزئیات هر کدام از این شاخص‌ها در (جدول ۳) آورده شده است. پس از طبقه‌بندی تصاویر برای سال‌های ۱۳۷۷، ۱۳۸۷ و ۱۳۹۷ در چهار کاربری اراضی کشاورزی، بسترهای آبی، مناطق انسان شهری و انسان ساخت و سایر کاربری‌ها دقت این طبقه‌بندی ارزیابی شد. برای ارزیابی صحت کاربری‌های تولید شده بین کاربری تولید شده و واقعیت زمینی ماتریس خطا<sup>۱۱</sup> ایجاد شد و در این ماتریس، دقت تهیه کننده<sup>۱۲</sup>، دقت کاربر<sup>۱۳</sup>، صحت کلی<sup>۱۴</sup> و ضریب کاپا<sup>۱۵</sup> محاسبه شد (کوالست<sup>۱۶</sup>، ۱۹۹۱).

### پیش‌بینی با مدل ترکیبی CA-Markov

مدل Ca-Markov تلفیقی از سلول خودکار و زنجیره مارکوف است که با در نظر گرفتن ساختار مکانی و جهت‌های جغرافیایی تغییرات پیکسلی کاربری‌های مختلف را از سالی به سال دیگر را نشان می‌دهد (سورابودین موندال<sup>۱۷</sup> و همکاران، ۲۰۱۳).

- 1- FLAASH
- 2- Universal Transverse Mercator (UTM) projection system datum World Geodetic System (WGS) 1984
- 3- Maximum Likelihood Classification
- 4- Biro
- 5- Suleiman
- 6- Google Eaeth
- 7- False Color Composite (FCC)
- 8- Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)
- 9- Normalized Difference Water Index (NDWI)
- 10- Normalized Difference Built-Up Index (NDBI)
- 11- Confusion matric
- 12- Producer accuracy
- 13- User's accuracy
- 14- Overall accuracy
- 15- Kappa index
- 16- Kvalseth
- 17- Surabuddin Mondal



شکل ۲. خلاصه مراحل انجام پژوهش

جدول ۲. خصوصیات کاربری های استفاده شده

کاربری و استفاده زمین	توضیحات
زمین های کشاورزی	شامل زمین های کشاورزی، باغی، زراعی و اراضی آیش
مناطق شهری - انسان ساخت	محیط توسعه یافته شامل همه مناطق مسکونی، تجاری و صنعتی، مناطق شهری و زیرساخت های حمل و نقل
پهنه های آبی	دریاچه، تالاب، استخرها و سدها
سایر کاربری ها	شامل کاربری های دیگر به جز اراضی کشاورزی، مناطق شهری - انسان ساخت پهنه های آبی

جدول ۳. جزئیات شاخص های به دست آمده از تصاویر ماهواره لندست استفاده شده در پژوهش حاضر

شاخص	دامنه	توضیحات
$NDVI = \frac{NIR-R}{NIR+R}$	بین -۱ تا ۱	شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی (توکر <sup>۱</sup> و همکاران، ۱۹۸۶)
$NDWI = \frac{NIR-SWR}{NIR+SWR}$	بین -۱ تا ۱	شاخص نرمال شده اختلاف مناطق پوشیده از آب (گائو <sup>۲</sup> ، ۱۹۹۶)
$NDBI = \frac{SWR-NIR}{SWR+NIR}$	بین -۱ تا ۱	شاخص نرمال شده اختلاف مناطق شهری (زا <sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۰۳)

(<sup>۴</sup>NIR = باند مادون قرمز، <sup>۵</sup>R = باند قرمز و <sup>۶</sup>SWR = باند قرمز کوتاه)

- 1- Tucker
- 2- Gao
- 3- Zha
- 4- Near Infrared (NIR)
- 5- Red
- 6- Short-Wave infrared (SWIR)

این مدل ترکیبی از سلول خودکار، زنجیره مارکوف، مکان پیکسل و پیش بینی کاربری ها و همچنین اضافه کردن ساختار مکانی و توزیع جغرافیایی کاربری در زنجیره مارکوف را نیز شامل می شود (سورابودین و همکاران، ۲۰۱۳؛ کومار<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۶). این مدل با به کارگیری احتمال تغییر طبقات کاربری اراضی به یکدیگر در قالب یک ماتریس تغییر وضعیت کاربری ها و بر مبنای تغییرات صورت گرفته بین زمان اول و دوم محاسبه می شود (ارسنجانی<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۱). ساختار مدل برای چهار طبقه کاربری اراضی کشاورزی، پهنه های آبی، مناطق شهری و انسان ساخت و سایر کاربری ها به صورت زیر است:

$$t_{LULC_{ij}} = \begin{cases} ۱ = \text{اراضی کشاورزی} \\ ۲ = \text{مناطق شهری و انسان ساخت} \\ ۳ = \text{پهنه آبی} \\ ۴ = \text{سایر کاربری ها} \end{cases}$$

انتقال سلول ها از زمان  $t$  به زمان  $t+1$  به موقعیت سلول، سلول همسایه و مجموعه ای از انتقالات وابسته است. روند انتقال سلول کاربری ها از سال اول به دوم به صورت زیر محاسبه می شود (رابطه ۱):

$$t+1_{LULC_{i,j}} = f\left(\left(t_{LULC_{i,j}}\right) \cdot \left(t_{s_{i,j}}\right) \cdot \left(t_{p_{x,y,i,j}}\right) \cdot \left(t_{N_{i,j}}\right)\right) \quad \text{رابطه ۱}$$

در اینجا  $t+1_{LULC_{i,j}}$ : موقعیت سلول  $i,j$  هر کاربری در زمان  $t+1$  در حالی که  $t_{LULC_{i,j}}$ : موقعیت سلول  $i,j$  در زمان  $t$ ؛  $t_{s_{i,j}}$ : شاخص مناسب بودن سلول  $i,j$  در زمان  $t$ ؛  $t_{p_{x,y,i,j}}$ : احتمال تغییر سلول  $i,j$  از  $x$  به  $y$  و  $t_{N_{i,j}}$ : شاخص همسایگی سلول  $i,j$  است. این پیش بینی در نرم افزار ایدرسی سلوا<sup>۳</sup> انجام شد.

### ارزیابی مدل

در نوشتار پیش رو، برای ارزیابی مدل از نقشه کاربری سال ۱۳۹۷ استفاده شد؛ که ابتدا با استفاده از نقشه سال های ۱۳۷۷ و ۱۳۸۷ نقشه کاربری اراضی سال ۱۳۹۷ شبیه سازی شد؛ سپس، این نقشه شبیه سازی شده با نقشه واقعی زمینی سال ۱۳۹۷ مقایسه شد و مقدار صحت و تطابق این مدل برآورد گردید. برای ارزیابی مدل از پارامترهای کاپا استفاده شد. مطالعات مختلف (موسمم<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۱۷، مونسرودال<sup>۵</sup>، ۱۹۹۰) بیان کردند که مقدار این شاخص کاپا بین ۱- و ۱ هست و ضریب کاپا بالای ۰/۸ مناسب بودن طبقه بندی با نمونه های واقعی را نشان می دهد (ویرا و گاریت<sup>۶</sup>، ۲۰۰۵)، پس از تأیید اعتبار مدل نقشه چهار کلاس کاربری برای سال های ۱۴۰۷ و ۱۴۱۷ پیش بینی شد.

### تغییرات کاربری و استفاده از زمین

تحلیل روند تغییرات کاربری و استفاده از زمین برای تصمیم گیری های آینده بسیار مهم است. برای بررسی تغییرات کلاس های طبقه بندی سال های مورد نظر، تغییرات بین سال های ۱۳۷۷، ۱۳۸۷، ۱۳۹۷، ۱۴۰۷ و ۱۴۱۷ بررسی شد. در این راستا، با استفاده از رابطه های ۲ و ۳ تغییرات کلاس های مختلف بر حسب درصد (گاشاو و همکاران، ۲۰۱۴) و نرخ تغییرات (هسن<sup>۷</sup> و همکاران، ۲۰۱۸) به ترتیب محاسبه شد.

1- Kumar  
2- Arsanjani  
3- IDRISI Selva  
4- Mosammam  
5- Monserud  
6- Viera and Garrett  
7- Hassen



$$\text{Percent of change} = \left( \frac{A-B}{B} \right) * 100 \quad \text{رابطه ۲}$$

$$\text{Rate of change (ha/year)} = \left( \frac{A-B}{C} \right) \quad \text{رابطه ۳}$$

که در اینجا A: مساحت کاربری و پوشش اراضی در سال دوم؛ B: مساحت کاربری و پوشش اراضی در سال اول و C: فاصله زمانی بین سال دوم و اول است؛ و در نهایت روند تغییرات بین این دوره چهار ساله به دست آمد.

## نتایج

نتایج ارزیابی دقت چهار کاربری اراضی کشاورزی، بسترهای آبی، مناطق انسان شهری و انسان ساخت و سایر کاربری حوضه دریاچه ارومیه در بازه زمانی ۱۳۷۷ تا ۱۳۹۷ نشان داد که دقت کلی بالای ۹۱٪ و ضریب کاپا نیز بالای ۰/۹۳ بوده که این نشان دهنده دقت مناسب و کافی نقشه‌های کاربری تهیه شده است (جدول ۴).

تجزیه تحلیل الگوهای تغییرات منطقه مورد مطالعه نشان داد که پوشش گیاهی و مناطق مسکونی نسبت به سال ۱۳۷۷ در حال افزایش بوده، این در حالی است که عرصه پهنه‌های آبی و سایر کاربری‌ها در طول این سه دهه در حال کاهش بوده‌اند (شکل ۳). در طول این دوره مساحت پوشش گیاهی، مناطق شهری و انسان ساخت و سایر کاربری‌ها به ترتیب از ۱۲/۵۵٪، ۰/۹۳٪ و ۶۶/۰۸٪ در سال ۱۳۷۷ به ۱۵/۸۶٪، ۳/۶۷٪ و ۶۶/۷۹٪ در سال ۱۳۹۷ رسیده است (جدول ۵).

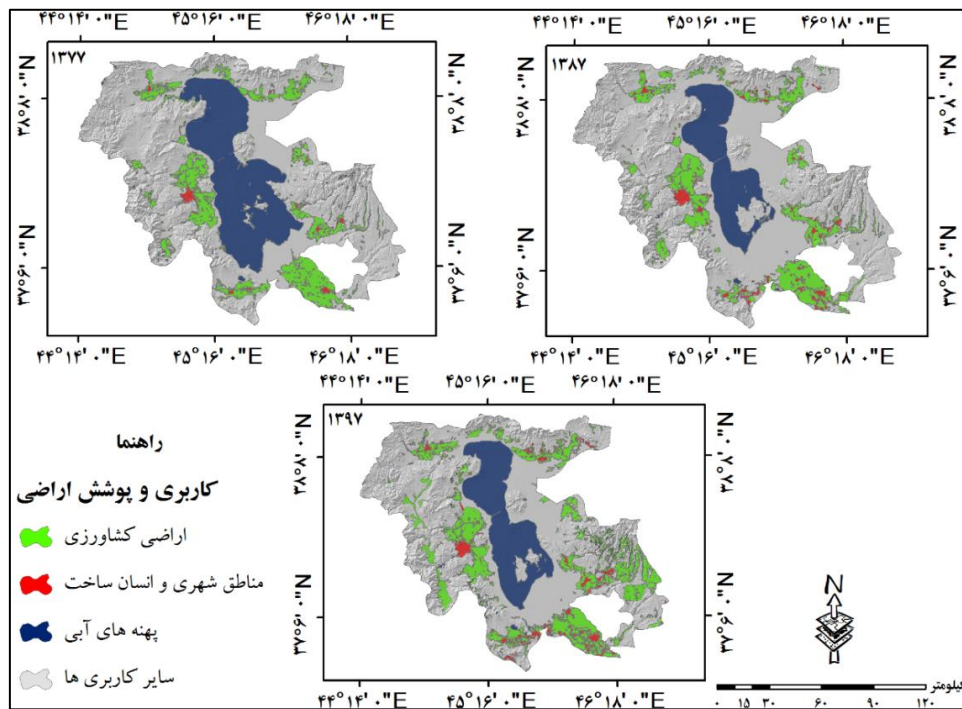
بین سال‌های ۱۳۷۷ تا ۱۳۸۷ و ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۷ به ترتیب زمین‌های کشاورزی ۲٪ و ۳۶/۵٪ افزایش و به‌طور مشابه اراضی شهری و انسان ساخت نیز به ترتیب افزایش ۱۶۰ و ۴۸/۳ را نشان داده است. در حالی که بین سال‌های ۱۳۷۷ تا ۱۳۸۷ پهنه‌های آبی و سایر کاربری‌ها به ترتیب کاهش و افزایش ۴۴ و ۱۰/۹ درصدی داشته است. بین سال‌های ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۷ نیز پهنه‌های آبی و سایر کاربری‌ها به ترتیب افزایش و کاهش ۱۷/۲ و ۱۰/۶ درصدی نشان داده‌اند. به‌طور کلی بین سال‌های ۱۳۷۷ تا ۱۳۹۷ روند تغییرات زمین‌های کشاورزی و اراضی شهری و انسان ساخت به ترتیب افزایش ۱۱۹/۴ و ۳۱ کیلومتر مربع داشته این در حالی است که پهنه‌های آبی و سایر کاربری‌ها به ترتیب ۷۶/۸ و ۲۱/۷ کیلومتر مربع کاهش را نشان داده است (جدول ۶).

بر اساس نتایج جدول ۷، ضریب کاپا به‌منظور ارزیابی مدل، بالای ۰/۸ بوده که نشان دهنده دقت بالای مدل برای پیش‌بینی آینده است (ویرا و گاریت، ۲۰۰۵). مقایسه نقشه پیش‌بینی شده با نقشه واقعیّت زمینی سال ۱۳۹۷ (شکل ۳) نشان می‌دهد که از نظر منطقی کمابیش به هم شبیه هستند (شکل ۳ الف و ب).

جدول ۴. ارزیابی دقت کلاس‌های کاربری‌های سال‌های ۱۳۷۷، ۱۳۸۷ و ۱۳۹۷ حوضه دریاچه ارومیه

کلاس کاربری	سال ۱۳۷۷		سال ۱۳۸۷		سال ۱۳۹۷	
	دقت تهیه‌کننده (%)	دقت کاربر (%)	دقت تهیه‌کننده (%)	دقت کاربر (%)	دقت تهیه‌کننده (%)	دقت کاربر (%)
اراضی کشاورزی	۹۸/۴	۹۱/۲	۸۰/۶	۹۱/۳	۸۹/۴	۹۴/۹
مناطق شهری و انسان ساخت	۸۶/۳	۹۸/۶	۹۳/۸۵	۹۰/۴۰	۸۸/۹۸	۹۰/۶
پهنه‌های آبی	۹۵/۸	۸۷/۳	۹۴/۹۸	۹۳/۹	۹۰/۸	۹۰/۹
سایر کاربری‌ها	۹۵	۹۶/۸	۸۵/۸۰	۸۶/۲	۸۹/۲	۹۳/۸
دقت کلی (%)	۹۴/۷		۹۲/۴		۹۱/۵	
ضریب کاپا	۰/۹۸		۰/۹۵		۰/۹۳	

از طرفی مقایسه مساحت کاربری‌ها نیز این را تأیید می‌کند؛ به طوری که مساحت کاربری‌های اراضی کشاورزی، مناطق شهری و انسان‌ساخت، پهنه‌های آبی و سایر کاربری‌ها به ترتیب در نقشه واقعت زمینی ۱۷/۴۷٪، ۳/۶٪، ۱۳/۴۱٪، ۶۵/۵۱٪ و در نقشه پیش‌بینی شده ۲۲/۳۸٪، ۴/۲۴٪، ۱۳/۴۳٪، ۵۹/۹۲٪ مساحت منطقه بوده است (شکل ۳ ج).



شکل ۳. نقشه کاربری سال ۱۳۸۷، ۱۳۷۷ و ۱۳۹۷ حوضه دریاچه ارومیه

جدول ۵. مساحت و درصد مساحت کاربری‌های حوضه دریاچه ارومیه

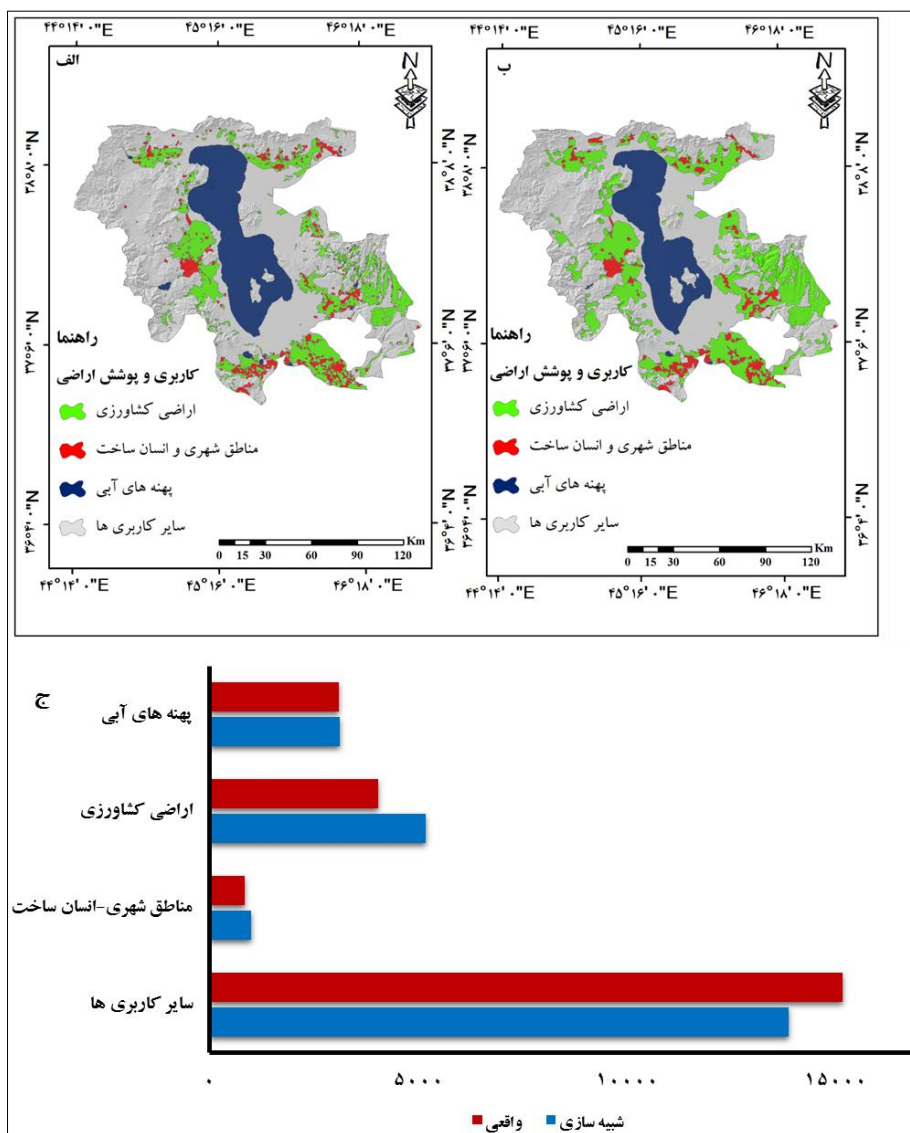
۱۳۹۷		۱۳۸۷		۱۳۷۷		کاربری / پوشش زمین
درصد مساحت	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد مساحت	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد مساحت	مساحت (کیلومتر مربع)	
۱۵/۸	۳۶۰۴	۱۲/۹	۲۹۲۲	۱۳	۲۸۵۲	اراضی کشاورزی
۳/۷	۸۳۴	۲/۴	۵۵۱	۰/۹۳	۲۱۳	مناطق شهری و انسان‌ساخت
۱۳/۷	۳۱۰۶۳	۱۱/۵	۲۵۹۸۳	۲۰/۷	۴۶۴۱۳	پهنه‌های آبی
۶۶/۸	۱۵۱۷۴/۳	۱۳/۳	۱۶۶۴۷/۳	۶۶	۱۵۰۱۲/۳	سایر کاربری‌ها
۱۰۰	۲۲۷۱۸/۶	۱۰۰	۲۲۷۱۸/۶	۱۰۰	۲۲۷۱۸/۶	کل

جدول ۶. نرخ و درصد مساحت تغییرات ۱۳۷۷ تا ۱۳۹۷ کاربری‌های حوضه دریاچه ارومیه

نرخ تغییرات (کیلومتر مربع / سال)						کاربری / پوشش زمین
درصد تغییرات			نرخ تغییرات			
تا ۱۳۷۷	تا ۱۳۸۷	تا ۱۳۹۷	تا ۱۳۷۷	تا ۱۳۸۷	تا ۱۳۹۷	
۱۳۷۷	۱۳۸۷	۱۳۹۷	۱۳۷۷	۱۳۸۷	۱۳۹۷	اراضی کشاورزی
۱۸/۰۱	۳۶/۵	۲	۱۱۹/۴	۱۱۳/۹	۵/۵	مناطق شهری و انسان‌ساخت
۸۲/۷	۴۸/۳	۱۶۰	۳۱	۲۸/۷	۳۳/۹	پهنه‌های آبی
-۲۰/۲	۱۷/۲	-۴۴	-۷۶/۸	۵۰/۸	-۲۰۴/۴	سایر کاربری‌ها
-۶	-۱۰/۶	۱۰/۹	-۲۱/۷	-۱۴۷/۲	۱۶۳/۴	

جدول ۷. ضرایب کاپا برای ارزیابی نتایج

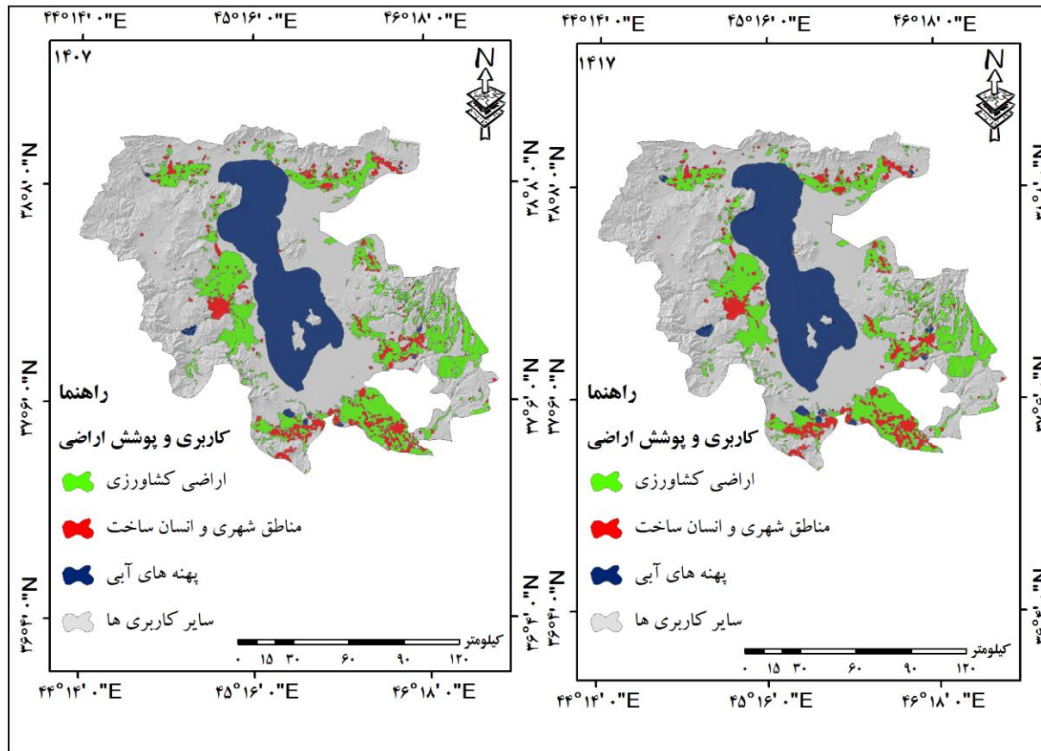
K <sub>standard</sub>	K <sub>location</sub>	K <sub>no</sub>	ضریب کاپا مقدار
۰/۸۰	۰/۹۲	۰/۹۵	



شکل ۳. الف: نقشه واقعیّت زمینی سال ۱۳۹۷؛ ب: نقشه پیش بینی شده سال ۱۳۹۷؛ ج: مساحت کاربری های واقعیّت زمینی و پیش بینی شده سال ۱۳۹۷ بر حسب کیلومتر مربع

### پیش بینی کاربری و استفاده از زمین برای سال های ۱۴۰۷ و ۱۴۰۱۷

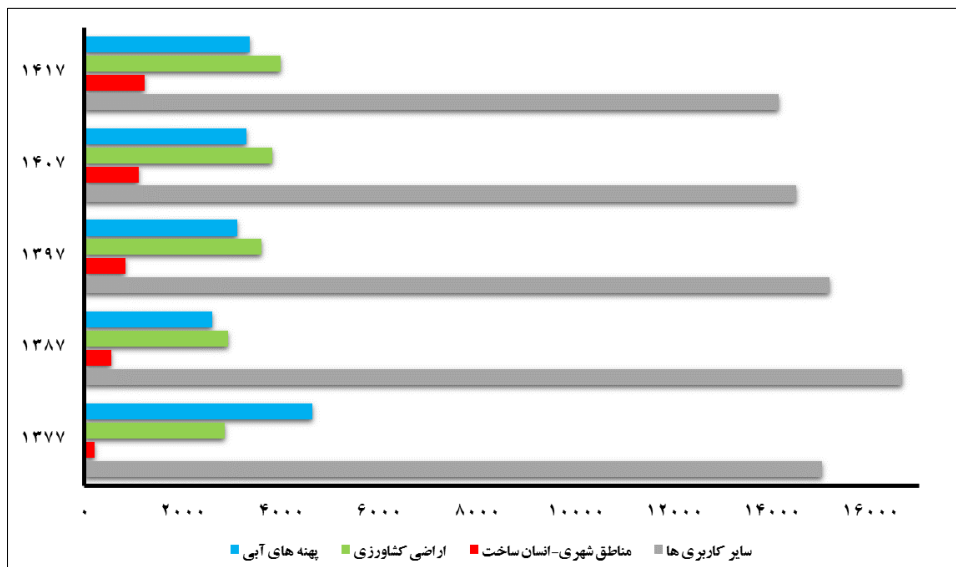
با توجه به مناسب بودن مدل سازی در پیش بینی کاربری سال ۱۳۹۷ و با استفاده از ماتریس احتمال انتقال بین سال ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۷ تغییرات کاربری بیست سال آینده؛ یعنی تا سال ۱۴۱۷ پیش بینی شد. نقشه سال ۱۳۹۷ به عنوان نقشه اولیه برای پیش بینی تغییرات در سال ۱۴۰۷ و مشابه آن نقشه سال ۱۴۰۷ به منزله نقشه اولیه برای پیش بینی تغییرات در سال ۱۴۱۷ استفاده شد. پیش بینی تغییرات سال ۱۴۰۷ و ۱۴۱۷ نشان می دهد که زمین های کشاورزی، مناطق شهری و انسان ساخت، پهنه های آبی در حال افزایش است؛ این در حالی است که سایر کاربری ها در حال کاهش است (شکل ۴). براساس جدول ۸ روند کاربری های اراضی کشاورزی، مناطق شهری و انسان ساخت، پهنه های آبی در حال افزایش است؛ حال آنکه سایر کاربری ها در حال کاهش هستند. بر این اساس، بین سال ۱۴۰۷ تا ۱۴۱۷ بیشترین درصد تغییرات افزایش مربوط به مناطق شهری و انسان ساخت با ۹/۴۸٪ و پس از آن، مربوط به زمین های کشاورزی و پهنه های آبی به ترتیب با ۴/۱۸٪ و ۱/۷۷٪ بوده است؛ برخلاف این کاربری ها سایر کاربری ها در این بازه زمانی ۲/۴۲٪ کاهش داشته است.



شکل 4. تغییرات کاربری و پوشش اراضی شبیه‌سازی‌شده سال 1417 و 1407

جدول 8. نرخ و درصد مساحت تغییرات سال 1407 تا 1417 شبیه‌سازی‌شده حوضه دریاچه ارومیه

کاربری / پوشش زمین	1407		1417		1407 تا 1417	
	مساحت به کیلومتر مربع	درصد مساحت	مساحت به کیلومتر مربع	درصد مساحت	نرخ تغییرات (کیلومتر مربع / سال)	درصد تغییرات
اراضی کشاورزی	3828/9	16/9	3996/1	17/6	167/2	0/7
مناطق شهری و انسان ساخت	1106/7	4/9	1222/7	5/4	115/9	0/5
پهنه‌های آبی	3298/2	14/5	3357/6	14/8	59/4	0/3
سایر کاربری‌ها	14484/8	63/8	14142/2	62/2	-342/6	-1/5
کل	22718/6	100	22718/6	100		



شکل 5. کاربری اراضی و پیش‌بینی‌شده بین سال 1377 تا 1377 برحسب کیلومتر مربع

## بحث

نتایج به دست آمده نشان داد که بین سال‌های ۱۳۷۷ تا ۱۳۸۷ به سرعت پهناهای آبی کاهش داشته این در حالی است که مناطق شهری و انسان ساخت و زمین‌های کشاورزی افزایش را نشان داده‌اند. نتایج گزارش شده از پژوهش‌ها با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی موجود در منطقه و داده‌های ماهواره‌ای نشان داده است که حوضه دریاچه ارومیه در این بازه زمانی تحت تأثیر خشک سالی‌های مختلف بوده که باعث کاهش نزولات آسمانی شده است (رضایی بنفشه<sup>۱</sup> و همکاران، ۱۳۹۴؛ کاظم‌پور چورسی و همکاران، ۱۳۹۸). مطالعه بارانی پسیان و همکاران (۱۳۹۶) بر روی خشک شدن دریاچه ارومیه نشان داد که بین دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ روند خشک شدن دریاچه به شدت رو به افزایش بوده است، به طوری که مساحت دریاچه در این سال‌ها از ۴۷۹۱/۹ کیلومتر مربع به ۹۴۲/۸ کیلومتر مربع رسیده است؛ از سویی، با توجه به اینکه اقتصاد منطقه مورد مطالعه بر پایه کشاورزی است، روند افزایش کشاورزی همچنان ادامه داشته است. نتایج نشان داد که بین سال‌های ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۷ افزایش در کاربری‌های پهناهای آبی، مناطق شهری و انسان ساخت و زمین‌های کشاورزی مشهود بوده، این در حالی است که در سایر کاربری‌ها روند کاهشی داشته است؛ همچنین بین سال ۱۳۷۷ تا ۱۳۹۷ زمین‌های کشاورزی و اراضی شهری انسان ساخت به ترتیب افزایش ۳/۳۱ و ۲/۷۴ درصدی داشته، اما پهناهای آبی و سایر کاربری‌ها به ترتیب ۶/۸۷٪ و ۰/۷۱٪ کاهش نشان داده است.

پژوهش حسن‌زاده و همکاران (۲۰۱۲) نشان داد که حوضه دریاچه ارومیه در سال‌های اخیر با مشکلات متعددی از جمله خشک سالی، استفاده بیش از حد از آب سطحی و احداث سد روبه‌رو بوده است. این مشکلات سطح آب دریاچه را در طول ده سال اخیر به زیر یک چهارم سطح کاهش داده‌اند؛ همچنین توریان<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعه روی حوضه دریاچه ارومیه بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ کاهش سطح این دریاچه را گزارش دادند که علت این کاهش سطح را دلایل زنجیروار وابسته به هم بیان کردند. از مهم ترین این دلایل، فعالیت‌های انسانی است که از این فعالیت‌های انسانی، استفاده سنتی از آب زیرزمینی برای کشاورزی و ذخیره آب در پشت سدها را می‌توان نام برد. روند کاهشی در پهناهای آبی و زمین‌های کشاورزی افزایشی بوده؛ زیرا شغل اصلی مردم همچنان کشاورزی بر پایه آب‌های زیرزمینی بوده است و از سویی مناطق شهری و انسان ساخت با توجه به جمعیت در حال رشد افزایشی بوده است (بخشیان لاموکی و همکاران، ۲۰۲۰؛ حسن‌زاده و همکاران، ۲۰۱۱).

در پژوهش حاضر برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری در آینده از تکنیک ترکیب مدل سلول خودکار و مدل زنجیره مارکوف استفاده شده است. از آنجاکه مدل سلول خودکار تحت تأثیر نوع سلول مجاور و اندازه آن است (وانگ<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۲) و همچنین در مدل زنجیره مارکوف ابعاد و توزیع مکانی کاربری‌های تعریف شده در نظر گرفته نمی‌شود (ارسنجانی و همکاران، ۲۰۱۲)؛ بنابراین ترکیب این دو روش دقت شبیه‌سازی و پیش‌بینی را بهبود می‌بخشد. دقت پیش‌بینی مدل ترکیبی Ca-Markov با استفاده از ضریب کاپا بالاتر از ۰/۸۰ برآورد شد. اگر ضریب کاپا بین نقشه تولیدشده با نقشه واقعییت زمینی بیش از ۰/۸۰ باشد، نشان دهنده دقت بالای مدل برای شبیه‌سازی است (ماهرابراس و همکاران، ۲۰۱۶؛ مسمم، ۲۰۱۶؛ ناسجی<sup>۴</sup> و صالحی<sup>۵</sup>، ۲۰۱۹؛ منصور و همکاران، ۲۰۲۰).

1- Rezaei Banafsheh

2- Tourian

3- Wang

4- Nasehi

5- Salehi

در ارزیابی تغییرات جنگل‌های مانگرو جنوب ایران و پیش‌بینی تغییرات آن‌ها با استفاده از مدل ترکیبی Ca-Markov ضریب کاپا بالای ۰.۸۶ بین نقشه واقعیت زمینی و پیش‌بینی برآورد شد که بیانگر دقت بالای این مدل ترکیبی است (اعتمادی<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۸؛ هاملی<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۵). پایش تغییرات کاربری اراضی عمان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل Ca-Markov نشان داد که بین نقشه‌های شبیه‌سازی‌شده سال ۲۰۱۸ و ۲۰۰۸ با نقشه‌های واقعیت زمینی آن‌ها با توجه به ضریب کاپا بالای ۰.۸۵ همخوانی بالایی وجود دارد (منصور و همکاران، ۲۰۲۰)؛ بنابراین نتایج مدل ترکیبی Ca-Markov با توجه به کارایی و دقت بالای آن در مناطق مختلف کارآمد بوده و برای پیش‌بینی آینده بسیار مفید است. نتایج پیش‌بینی با استفاده از مدل Ca-Markov برای سال ۱۴۰۷ و ۱۴۱۷ نشان داد که زمین‌های کشاورزی، مناطق شهری و انسان‌ساخت، پهنه‌های آبی نسبت به سال ۱۳۹۷ افزایشی بوده و سایر کاربری‌ها در این مدت زمانی کاهش یافته است. این درحالی است که کاربری اراضی کشاورزی، مناطق شهری و انسان‌ساخت در سال ۱۴۰۷ و ۱۴۱۷ نسبت به ۱۳۷۷ افزایش داشته و پهنه‌های آبی و سایر کاربری‌ها در این بازه زمانی کاهش داشته‌اند. برحسب این نتایج می‌توان بیان کرد، اگرچه بین سال ۱۳۸۷ تا سال ۱۴۱۷ روند افزایشی پهنه آبی مشاهده می‌شود؛ ولی این افزایش از سال ۱۳۹۷ مشاهده شده است؛ اما تا سال ۱۳۹۷ روند همچنان کاهش یافته است (توریان و همکاران، ۲۰۱۵). با این حال، پهنه‌های آبی و سایر کاربری‌ها روند کاهشی داشته ولی کاربری اراضی کشاورزی، مناطق شهری و انسان‌ساخت روند افزایشی را نشان می‌دهد.

### نتیجه‌گیری

نوشتار پیش رو با هدف آشکارسازی تغییرات و بررسی تحلیل مکانی و زمانی تغییرات کاربری‌های در حوضه دریاچه ارومیه و در طول دوره ۱۳۷۷ تا ۱۳۹۷ با ترکیب روش‌های سنجش از دوری و سیستم اطلاعات مکانی انجام شد؛ سپس، با استفاده از روش تلفیقی CA-Markov کاربری‌ها تا سال ۱۴۱۷ پیش‌بینی شد. مطالعات نشان داده است که تلفیق دو روش سلول خودکار و زنجیره مارکوف برای پایش و شبیه‌سازی کاربری‌های آینده در مناطق مختلف بسیار مفید بوده و در بعضی مناطق با ضریب کاپا ۰.۸۵ دقت بالای شبیه‌سازی را نشان داده است. برای این هدف از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده حداکثر احتمال برای تولید نقشه کاربری و استفاده زمین از تصاویر ماهواره‌ای لندست TM و OLI به‌ترتیب برای سال‌های ۱۳۷۷، ۱۳۸۷ و ۱۳۹۷ استفاده شد؛ بنابراین استفاده از روش ترکیبی Ca-Markov در پژوهش حاضر مد نظر قرار گرفت که با توجه به ضریب کاپای بالای ۰.۸۰ در مناطق مختلف کارآمد بوده و برای پیش‌بینی آینده بسیار مفید است؛ همچنین با توجه به نتایج شبیه‌سازی کاربری‌های مورد استفاده این مدل ترکیبی توانایی پایش تغییرات مکانی و زمانی را با محدودیت کمتر و دقت بالاتر در اختیار پژوهشگران قرار می‌دهد.

روند تغییرات کاربری در حوضه دریاچه ارومیه به‌طور مستقیم بر منابع طبیعی و اکوسیستم‌های اطراف آن به‌ویژه حیات دریاچه که اثر مستقیم بر درآمد و زندگی ساکنان این حوضه دارد، مؤثر است. از آنجاکه این حوضه در طول چند دهه اخیر شاهد تغییرات شدید اقلیمی مانند خشک‌سالی‌های شدید بوده که این تغییرات شدید تأثیرات مخرب به‌سزایی بر منابع طبیعی، تغییرات محیط‌زیست و افزایش تقاضای ناشی از توسعه‌های اقتصادی داشته است. با توجه به مشکلات ذکرشده، بررسی تغییرات سطح دریاچه، تولیدات کشاورزی، رشد شهری و سایر کاربری‌ها برای برنامه‌ریزی‌های آینده با استفاده از داده‌های سنجش از دوری گذشته و حال و دقت بالای روش ترکیبی Ca-Markov بسیار کارآمد خواهد بود. رویکرد اتخاذشده در نوشتار پیش رو می‌تواند با پیش‌بینی تغییرات کاربری

1- Etemadi

2- Halmly

آینده در حوزه دریاچه ارومیه خسارت‌ها و تغییرات احتمالی را محاسبه کرده و متناسب با این تغییرات، سیاست‌های درست و به‌موقع را اتخاذ کنند.

## منابع

بارانی پسبان، وحید، پورااکرمی، محمد؛ فتوحی مهربانی، باقر؛ پورااکرمی، سعید (۱۳۹۶). تحلیل روند خشک شدن دریاچه ارومیه و مهم‌ترین تأثیرات آن بر سکونتگاه‌های پیرامونی. پژوهش‌های روستایی، ۸ (۳)، ۴۳۸-۴۵۳.  
کاظم‌پور چورسی، سیما؛ عرفانیان، مهدی؛ عبادی نهاری، زهرا (۱۳۹۸). ارزیابی داده‌های ماهواره‌ای MODIS و TRMM در پایش خشکسالی حوضه آبریز دریاچه ارومیه. جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، ۳۰ (۲)، ۱۷-۳۴.

## References

- Abadi, B. (2020). Farmers' intention to participate in environmental nongovernmental organizations: evidence of northwest Iran. *Social and Economic Development*, 56, 1-22.
- Aburas, M. M., Ho, Y. M., Ramli, M. F. & Ash'aari, Z. H. (2016). The simulation and prediction of spatio-temporal urban growth trends using cellular automata models: A review. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 52, 380-389.
- Alsharif, A. A. & Pradhan, B. (2014). Urban sprawl analysis of Tripoli Metropolitan city (Libya) using remote sensing data and multivariate logistic regression model. *the Indian Society of Remote Sensing*, 42 (1), 149-163.
- Alsharif, A. A. & Pradhan, B. (2016). Spatio-temporal prediction of urban expansion using bivariate statistical models: assessment of the efficacy of evidential belief functions and frequency ratio models. *Applied Spatial Analysis and Policy*, 9 (2), 213-231.
- Arsanjani, J. J., Kainz, W. & Mousivand, A. J. (2011). Tracking dynamic land-use change using spatially explicit Markov Chain based on cellular automata: the case of Tehran. *International Journal of Image and Data Fusion*, 2 (4), 329-345.
- Bakhshianlamouki, E., Masia, S., Karimi, P., van der Zaag, P. & Sušnik, J. (2020). A system dynamics model to quantify the impacts of restoration measures on the water-energy-food nexus in the Urmia lake Basin, Iran. *Science of the Total Environment*, 708, 134874.
- Barani Pesyan, V.; Porakrami, M; Fotouhi Mehrbani. B. & Porkaram, S. (2017). The Investigation of Lake Urmia Drying Trend and Its Important Consequence on the Surrounding Settlements. *Rural Research*, 8 (3), 438-453 (In Persian)
- Barredo, J. I., Kasanko, M., McCormick, N. & Lavalle, C. (2003). Modelling dynamic spatial processes: simulation of urban future scenarios through cellular automata. *Landscape and Urban Planning*, 64 (3), 145-160.
- Belete, M., Deng, J., Abubakar, G. A., Teshome, M., Wang, K., Woldetsadik, M., ... & Gudo, A. (2020). Partitioning the Impacts of Land Use/Land Cover change and Climate Variability on Water Supply over the Source Region of Blue Nile Basin. *Land Degradation & Development*. 52, 152-168.
- Biro, K., Pradhan, B., Buchroithner, M. & Makeschin, F. (2013). Land use/land cover change analysis and its impact on soil properties in the northern part of Gadarif region, Sudan. *Land Degradation & Development*, 24 (1), 90-102.
- Clarke, K. C., Hoppen, S. & Gaydos, L. (1997). A self-modifying cellular automaton model of historical urbanization in the San Francisco Bay area. *Environment and Planning B: Planning and design*, 24 (2), 247-261.
- Dadhich, P. N. & Hanaoka, S. (2011). Spatio-temporal urban growth modeling of Jaipur, India. *Journal of Urban Technology*, 18 (3), 45-65.
- Etemadi, H., Smoak, J. M. & Karami, J. (2018). Land use change assessment in coastal mangrove forests of Iran utilizing satellite imagery and CA-Markov algorithms to monitor and predict future change. *Environmental Earth Sciences*, 77 (5), 208.
- Gao, B. C. (1996). NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, 58 (3), 257-266.

- Gashaw, T., Bantider, A. & Mahari, A. (2014). Evaluations of land use/land cover changes and land degradation in Dera District, Ethiopia: GIS and remote sensing based analysis. *International Journal of Scientific Research in Environmental Sciences*, 2 (6), 199.
- Gashaw, T., Tulu, T., Argaw, M. & Worqlul, A. W. (2017). Evaluation and prediction of land use/land cover changes in the Andassa watershed, Blue Nile Basin, Ethiopia. *Environmental Systems Research*, 6(1), 17.
- Guan, D., Li, H., Inohae, T., Su, W., Nagaie, T. & Hokao, K. (2011). Modeling urban land use change by the integration of cellular automaton and Markov model. *Ecological Modelling*, 222 (20-22), 3761-3772.
- Halmy, M. W. A., Gessler, P. E., Hicke, J. A. & Salem, B. B. (2015). Land use/land cover change detection and prediction in the north-western coastal desert of Egypt using Markov-CA. *Applied Geography*, 63 (2), 101-112.
- Hassanzadeh, E., Zarghami, M. & Hassanzadeh, Y. (2012). Determining the main factors in declining the Urmia Lake level by using system dynamics modeling. *Water Resources Management*, 26 (1), 129-145.
- Hassen, E. E. & Assen, M. (2018). Land use/cover dynamics and its drivers in Gelda catchment, Lake Tana watershed, Ethiopia. *Environmental Systems Research*, 6 (1), 4.
- He, C., Okada, N., Zhang, Q., Shi, P. & Zhang, J. (2006). Modeling urban expansion scenarios by coupling cellular automata model and system dynamic model in Beijing, China. *Applied Geography*, 26 (3-4), 323-345.
- Huang, Y., Yang, B., Wang, M., Liu, B. & Yang, X. (2020). Analysis of the future land cover change in Beijing using CA–Markov chain model. *Environmental Earth Sciences*, 79 (2), 60.
- Islam, K., Rahman, M. F. & Jashimuddin, M. (2018). Modeling land use change using cellular automata and artificial neural network: the case of Chunati Wildlife Sanctuary, Bangladesh. *Ecological Indicators*, 88 (4), 439-453.
- Kazempour Choursi, S., Erfanian, M. & Ebadi Nehari, Z. (2019). Evaluation of MODIS and TRMM Satellite Data for Drought Monitoring in the Urmia Lake Basin. *Geography and Environmental Planning*, 30 (2), 17-34 (In Persian)
- Kumar, K. S., Kumari, K. P. & Bhaskar, P. U. (2016). Application of Markov Chain & Cellular Automata based model for prediction of urban transitions. In 2016 *International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICEEOT)* 12 (4), 4007-4014.
- Kvalseth, T. O. (1991). A coefficient of agreement for nominal scales: An asymmetric version of Kappa. *Educational and psychological measurement*, 51 (1), 95-101.
- Mansour, S., Al-Belushi, M. & Al-Awadhi, T. (2020). Monitoring land use and land cover changes in the mountainous cities of Oman using GIS and CA-Markov modelling techniques. *Land Use Policy*, 91, 104414.
- Monserud, R. A. (1990). *Methods for comparing global vegetation maps*.
- Moradi, M., Asadi, S. Shahbaz, H. (2017). *A brief report of Urmia Lake Restoration Program*. Available from the ULRP at: <http://www.ulrp.ir/wp-content/uploads/2019/03/Annual-Report-2018.pdf>
- Mosammam, H. M., Nia, J. T., Khani, H., Teymouri, A. & Kazemi, M. (2017). Monitoring land use change and measuring urban sprawl based on its spatial forms: The case of Qom city. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 20 (1), 103-116.
- Nasehi, S. & Salehi, E. (2019). Simulation of land cover changes in urban area using CA-MARKOV model (case study: zone 2 in Tehran, Iran). *Modeling Earth Systems and Environment*, 5 (1), 193-202.
- Othman, A. A., Al-Saady, Y. I., Al-Khafaji, A. K. & Gloaguen, R. (2014). Environmental change detection in the central part of Iraq using remote sensing data and GIS. *Arabian Journal of Geosciences* 7 (3), 1017-1028.
- Pradhan, B. & Suleiman, Z. (2009). Landcover mapping and spectral analysis using multi-sensor satellite data fusion techniques: case study in Tioman Island, Malaysia. *Geomatics*, 3 (2), 71-78.
- Prestele, R., Alexander, P., Rounsevell, M. D., Arneth, A., Calvin, K., Doelman, J. ... & Havlik, P.



- (2016). Hotspots of uncertainty in land-use and land-cover change projections: a global-scale model comparison. *Global Change Biology*, 22 (12), 3967-3983.
- Rawat, J. S. & Kumar, M. (2015). Monitoring land use/cover change using remote sensing and GIS techniques: A case study of Hawalbagh block, district Almora, Uttarakhand, India. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 18 (1), 77-84.
- Rezaei Banafsheh, M., Rezaei A. & Faridpour M. (2015). Analyzing Agricultural Drought in East Azarbaijan Province Emphasizing Remote Sensing Technique and Vegetation Condition Index. *Water and Soil Science*, 25 (1), 113-123.
- Riebsame, W. E., Meyer, W. B., & Turner, B. L. (1994). Modeling land use and cover as part of global environmental change. *Climatic change*, 28 (1-2), 45-64.
- Roodposhti, M. S., Aryal, J. & Bryan, B. A. (2019). A novel algorithm for calculating transition potential in cellular automata models of land-use/cover change. *Environmental modelling & software*, 112 (1), 70-81.
- Shu, Bangrong, Shouhong Zhu, Yi Qu, Honghui Zhang, Xin Li & Gerrit, J. (2020). "Modelling multi-regional urban growth with multilevel logistic cellular automata." *Computers, Environment and Urban Systems*. 80 (2), 101-114.
- Surabuddin Mondal, M., Sharma, N., Kappas, M. & Garg, P. K. (2013). Modeling of spatio-temporal dynamics of land use and land cover in a part of Brahmaputra River basin using Geoinformatic techniques. *Geocarto International*, 28 (7), 632-656.
- Tourian, M. J., Elmi, O., Chen, Q., Devaraju, B., Roohi, S. & Sneeuw, N. (2015). A spaceborne multisensor approach to monitor the desiccation of Lake Urmia in Iran. *Remote Sensing of Environment*, 156 (2), 349-360.
- Tucker, C. J., Fung, I. Y., Keeling, C. D. & Gammon, R. H. (1986). Relationship between atmospheric CO<sub>2</sub> variations and a satellite-derived vegetation index. *Nature*, 319 (6), 195-199.
- Turner, M. G. & Ruscher, C. L. (1988). Changes in landscape patterns in Georgia, USA. *Landscape ecology*, 1 (4), 241-251.
- Wakode, H. B., Baier, K., Jha, R. & Azzam, R. (2014). Analysis of urban growth using Landsat TM/ETM data and GIS—a case study of Hyderabad, India. *Arabian Journal of Geosciences*, 7 (1), 109-121.
- Wang, S. Q., Zheng, X. Q. & Zang, X. B. (2012). Accuracy assessments of land use change simulation based on Markov-cellular automata model. *Procedia Environmental Sciences*, 13 (6), 1238-1245.
- Youssef, A. M., Pradhan, B. & Tarabees, E. (2011). Integrated evaluation of urban development suitability based on remote sensing and GIS techniques: contribution from the analytic hierarchy process. *Arabian Journal of Geosciences*, 4 (3-4), 463-473.
- Zha, Y., Gao, J. & Ni, S. (2003). Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. *International journal of remote sensing*, 24 (3), 583-594.