

Examining and Modeling the Changes in the Gardens Neighboring Lake Urmia During the Past Thirty Years

**Sayyad Asghari Sarasekanrood^{1*}, Mohammad Ali Porfatali², Maryam Mohammadzadeh
Shishehgaran³**

- 1. Professor, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Iran*
- 2. MSc. Student, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Iran*
- 3. PhD Student, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Iran*

(Received: July 11, 2022; Accepted: September 19, 2022)

Abstract

This study aimed at evaluating the supervised pixel-based classification of the maximum likelihood in the examination of the climatic changes of the Urmia Lake catchment area in 1-, 6-, 10-, and 14-year spans and then evaluating and modeling the changes in the gardens neighboring Lake Urmia during a 30-year span and its role in the changes at Lake Urmia water level. In this study, first the Landsat images of the years 1990, 2000, 2014, 2020, and 2021 were downloaded. Then, using the ENVI5.3 software, a classification was made based on the maximum likelihood method. Next, the IDRISI TERRSET software and CA-MARKOV model were used to model conditions for the year 2051. This model was then analyzed in the GIS software. It was found that the classification based on the maximum likelihood method has been an appropriate one. The results of this classification showed that overall, the maximum changes from 1990 to 2021 has been related to the irrigated gardens and fields. In this period, 3495 square kilometers have been added to these lands, i.e., the number has doubled. Modeling the 2051-year conditions in the light of the transition probability matrix showed that the maximum likelihood of land use changes is in the irrigated garden and farm use. On the other hand, the modeling in this study indicated that there has been a reduction in the expanse of irrigated gardens and fields as well as salt lands in the region. Finally, the model predicted an increase in water area in 2051.

Keywords

land cover, maximum likelihood algorithm, modeling, Ca-Markov, Urmia lake catchment area.

* **Corresponding Author, Email:** s.asghari@uma.ac.ir

بررسی و مدل‌سازی روند تغییرات باغ‌های حاشیه دریاچه ارومیه طی سی سال گذشته

صیاد اصغری سراسکانرود^{۱*}، محمدعلی پورفتح‌علی^۲، مریم محمدزاده شیشه‌گران^۳

۱. استاد، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۲. دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۳. دانشجوی دکتری، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۲۰ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۲۸)

چکیده

ارزیابی طبقه‌بندی نظارت‌شده پیکسل پایه حداکثر احتمال در بررسی تغییرات اقلیمی حوضه آبریز دریاچه ارومیه در بازه زمانی ده‌ساله، چهارده‌ساله، شش‌ساله و یک‌ساله و سپس ارزیابی و مدل‌سازی تغییرات باغ‌های حاشیه دریاچه ارومیه در بازه زمانی سی‌ساله و نقش آن در تغییرات سطح آب دریاچه ارومیه است. در این پژوهش ابتدا تصاویر ماهواره‌ای لندست برای سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۰۰، ۲۰۱۴، ۲۰۲۰، و ۲۰۲۱ دانلود شد. سپس با استفاده از نرم‌افزار ENVI5.3 طبقه‌بندی به روش حداکثر احتمال انجام و سپس با استفاده از نرم‌افزار IDRISI TERRSET و مدل CA-MARKOV برای سال ۲۰۵۱ مدل‌سازی انجام شد و در برنامه GIS مدل‌سازی انجام‌شده مورد بررسی قرار گرفت. طبقه‌بندی به روش حداکثر احتمال طبقه‌بندی مناسبی است و نتایج حاصل از این طبقه‌بندی نشان داد در مجموع بیشترین میزان تغییرات را کاربری باغات و مزارع آبی طی بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۱ داشته است که تغییر آن نسبت به سی سال گذشته ۳۴۹۵ کیلومتر مربع، به میزان بیش از دو برابر، روند صعودی داشته است و پس از مدل‌سازی برای سال ۱۴۳۱ نتیجه حاصل شد که با توجه به ماتریس احتمال انتقال سال ۱۴۳۱ بیشترین میزان احتمال انتقال در کاربری باغات و مزارع آبی است و از طرفی مدل‌سازی در این مطالعه نشان می‌دهد کاهش مساحت در کاربری‌های باغات و مزارع آبی و شوره‌زار در منطقه رخ داده است که از طرفی هم پهنه آبی در سال ۱۴۳۱ با روند افزایشی پیش‌بینی شده است.

کلیدواژگان

الگوریتم حداکثر احتمال، پوشش اراضی، حوضه آبریز دریاچه ارومیه، مدل‌سازی، CA-MARKOV.

* رایانامه نویسنده مسئول: s.asghari@uma.ac.ir

مقدمه

این روزها با کمک پردازش تصاویر و مقایسه چندین ساله داده‌ها می‌توانیم تغییرات کاربری اراضی را در مدت زمان‌ها مشخص و با توجه به نسبت تغییرات تغییرات کاربری و پوشش اراضی را پیش‌بینی و برای مدیریت آن‌ها در سال‌های آتی اقدام کنیم (فیضی‌زاده ۱۳۹۶: ۲۱). درک و فهم انواع فعالیت‌های اساسی در قسمت‌های مختلف پوشش سطح زمین یا به عبارتی نحوه استفاده از سطح زمین، به دلیل پایه‌ای بودن اطلاعات آن در برنامه‌ریزی‌های مختلف، از اهمیت بسیار ویژه‌ای برخوردار است. انواع روش‌ها برای به دست آوردن نقشه‌های کاربری اراضی وجود دارد که در این تحقیق از داده‌ها و تکنیک‌های سنجش از دوری به دلیل ویژگی‌های خاصی که دارد استفاده شده است. یکی از دلایل دید وسیع و یکپارچه محدوده‌های مختلف طیف انرژی الکترومغناطیسی به عنوان ثبت خصوصیات و رفتار پدیده‌ها و از طرفی به‌کارگیری نرم‌افزارها و سخت‌افزارهای مختلف باعث کاهش هزینه و سریع‌تر شدن پروژه شده است که فراهم آوردن امکان پایش منطقه بسیار حائز اهمیت است. در عصر حاضر مهم‌ترین ابزار موجود برای نمایش محیطی از طریق سنجش از دور در فواصل زمانی طولانی مدت و در مقیاس و در پویش چندین ساله حرف اول را می‌زند داده‌های تصاویر ماهواره‌ای لندست است که در حیطه تغییرات پوشش و کاربری اراضی بررسی‌های بسیار زیادی توسط متخصصان سنجش از دور به کار گرفته شده است. در این مطالعه از ماهواره‌های TM، ETM+ و OLI در چهار سال در بازه زمانی سی ساله استفاده شد که پس از بررسی تغییرات اراضی کشاورزی با استفاده از زنجیره مارکوف سال‌های آتی را مدل‌سازی خواهیم کرد.

بیان مسئله

با توجه به تغییرات روزافزون کاربری اراضی و ضرورت آگاهی مدیران و کارشناسان از چگونگی تغییر و تحولات رخ داده، آگاهی از نوع و درصد کاربری و پوشش‌های مختلف نیازی بنیادی جهت شناخت، مدیریت، سیاست‌گذاری، و چاره‌اندیشی برای رفع مشکل موجود در منطقه است (محمودی‌فریدون و همکاران ۱۳۹۴: ۴). تغییرات در کاربری و پوشش اراضی به دلیل فعالیت‌های انسان یا عوامل طبیعی می‌تواند با استفاده از داده‌های سنجش از دور حاضر یا بایگانی شده مشاهده شود (Zou & Liang 2015: 277).

اهداف و سؤالات پژوهش

در این پژوهش ارزیابی‌های مختلف که در مطالعات متفاوت هر یک نتایج قابل قبولی داشته انتخاب و ارزیابی شد. در حوزه مطالعات تغییرات اقلیمی، آنچه یک نقص اساسی در پیش‌بینی تغییرات اقلیمی در سال‌های پیش رو به شمار می‌آید نداشتن توجه کافی به نقشه‌های طبقه‌بندی‌شده جامع و کافی جهت آگاهی از تغییرات منطقه در اطراف و حاشیه‌های منطقه مورد مطالعه و محدودیت اطلاعاتی در تهیه داده‌های اولیه در مناطق وسیع است. منطقه مورد مطالعه نیز با این کمبود روبه‌روست و این محدودیت اهمیت موضوع انتخاب‌شده برای این پژوهش، جهت پیش‌بینی تغییرات اقلیمی حوضه آبریز دریاچه ارومیه با استفاده از فناوری سنجش از دور، را بیشتر نمایان می‌سازد. بدین منظور در این پژوهش سعی شد رابطه افزایش سطح باغات و زراعت آبی با تغییرات کاربری منطقه به‌خصوص سطح آب دریاچه ارومیه در دوره‌های زمانی ۱۹۹۰، ۲۰۰۰، ۲۰۱۰، ۲۰۲۰ و ۲۰۲۱ بررسی و برای سال‌های آتی با روش مارکوف پیش‌بینی و مدل‌سازی شود. تغییرات آب‌وهوا و رفته‌رفته گرم شدن سطح زمین باعث بروز تغییرات کاربری اراضی و پوشش اراضی در همه جای دنیا می‌شود. منطقه مورد مطالعه هم در این بحران مستثنی نبوده بلکه علاوه بر این تغییرات این منطقه تحت تأثیر عوامل انسانی شدیدی قرار گرفته است. به بیان دیگر، این منطقه علاوه بر بحران‌های زیست‌محیطی موجود که در کل ایران به صورت مخاطرات طبیعی وجود دارد بیشتر از مخاطرات انسانی رنج می‌برد. خشک شدن دریاچه ارومیه و خشک‌سالی در این منطقه، با توجه به شور بودن و نم‌کزار بودن محدوده دریاچه ارومیه، بحران‌آفرین است. در صورت خشکیدن آن بیماری‌های قلبی و عروقی و تنفسی و ... بیشتر می‌شود و در آینده باعث به وجود آمدن مشکلات جبران‌ناپذیری خواهد شد که در ایجاد مشکلات انسانی نقش مهمی را در سطح بحران ملی بازی می‌کند. در این میان به دست آوردن درصد و نوع کاربری اراضی در حوزه دریاچه ارومیه می‌تواند یکی از پارامترهای مهم مدیریتی برای برنامه‌ریزی آینده در بخش‌های مختلف در جهت مدیریت و توسعه همه‌جانبه باشد. به دلیل اینکه عوامل انسانی و ضعف در برنامه‌ریزی و مدیریت بخش‌های مختلف در تغییرات این منطقه کم است. یکی از ملزومات برای

اندیشیدن راهکار این است که باغاتی که در خشک شدن دریاچه ارومیه تأثیر داشتند شناسایی شوند و برای جلوگیری از خشکی دریاچه ارومیه مدیریت شوند.

پیشینه نظری پژوهش

ریمال و همکارانش (۲۰۱۸) با استفاده از تصاویر Landsat به تغییرات کاربری اراضی در هفت دوره زمانی در کشور نپال جهت مدل‌سازی روند توسعه شهری پرداختند. این طبقه‌بندی به روش ماشین بردار پشتیبان انجام شد و با تلفیق مدل شبکه خودکار و زنجیره مارکوف پیش‌بینی گسترش شهر در سال‌های ۲۰۲۴ و ۲۰۲۳ حاصل شد. نتایج نشان‌دهنده میانگین رشد سالیانه ۹/۱۵ درصد است. تراور و همکارانش (۲۰۱۸) در پایتخت کشور گینه با بهره‌گیری از دو مدل زنجیره مارکوف و شبکه خودکار و با استفاده از داده‌های لندست تغییر کاربری سال ۲۰۱۶ را با مدل مارکوف پیش‌بینی و شبیه‌سازی کردند. در نهایت از روی نتیجه شبیه‌سازی با نقشه تغییرات پوشش و کاربری اراضی سال ۲۰۱۶ نقشه تغییرات کاربری اراضی سال ۲۰۲۵ پیش‌بینی شد. نتایج نشان داد تغییر کاربری شهری از ۴۹ به ۵۹ درصد و پوشش گیاهی از ۳۵ به ۳۲ درصد به ترتیب افزایش و کاهش یافته است. گوان و همکارانش (۲۰۱۱) با بهره‌گیری از مدل زنجیره سلول خودکار تغییرات پوشش و کاربری اراضی ساگا در ژاپن را بر پایه سال ۲۰۱۵ - ۲۰۴۲ مدل‌سازی کردند. نتایج نشان‌دهنده افزایش کاربری شهری و کاهش کاربری‌های طبیعی و کشاورزی بود. واتر و همکارانش (۲۰۰۴) با بهره‌گیری از داده‌های سنجش از دوری و با استفاده از روش طبقه‌بندی شیء‌گرا و پیکسل پایه نقشه کاربری اراضی را برای دو دوره با استفاده از روش شیء‌گرا و پیکسل پایه به دست آوردند. این محققان با تشریح روش‌های طبقه‌بندی شیء‌گرا و پیکسل پایه مزایا و معایب این روش‌ها را بیان کردند. نتیجه نشان داد برای تهیه کاربری اراضی روش شیء‌گرا نسبت به روش پیکسل پایه نتایج بهتری را ارائه می‌دهد.

علی‌محمدی و همکارانش (۲۰۱۰) در جنوب غربی تهران تغییرات پوشش و کاربری اراضی را به وسیله سلول‌های خودکار مدل‌سازی و کاربرد و کارکرد این مدل را در آن منطقه آنالیز کردند. احدنژاد روشی و همکارانش (۱۳۹۰) در تحقیقشان با عنوان «آینده‌نگری گسترش شهرها» به وسیله داده‌ها و تصویرهای ماهواره‌ای تغییرهای کاربری اراضی کناره‌های شهری در مدت سال‌های

۱۳۶۳ تا ۱۳۹۰ را ارزیابی و در ادامه تغییرها را برای سال ۱۴۰۰ پیش‌بینی کردند. آن‌ها، برای پیش‌بینی، روش ترکیبی سلول‌های خودکار و زنجیره مارکوف را به کار بردند. نتایج نشان داد طی بیست و هفت سال کاربری اراضی ۳۴ درصد تغییر کرده است که این تغییرات بیشتر به دلیل افزایش جمعیت و فعالیت‌های انسانی بوده است. فیضی‌زاده و همکارانش (۱۳۸۷) در پژوهشی تغییرات فضای سبز تبریز را در یک دوره شصت و یک ساله (۱۳۶۹ - ۱۳۸۴) ارزیابی کردند. برای انجام دادن این تحقیق از تصاویر سنجنده TM ماهواره لندست و سنجنده HDR ماهواره Spot 5 استفاده شد و نقشه تغییرات با استفاده از روش طبقه‌بندی شیء‌گرا به دست آمد. نتایج این تحقیق نشان داد فضای سبز تبریز در دوره مورد مطالعه بیش از ۴۶ درصد کاهش یافته و سرانه آن از حدود ۱۴ متر مربع در سال ۱۳۸۶ به ۷/۵ متر مربع در سال ۱۳۸۴ افزایش یافته است. اصلاح و همکارانش (۱۳۹۳) در شهر تهران و حومه آن تغییرات پوشش و کاربری اراضی را به وسیله مدل زنجیره‌ای مارکوف در بازه زمانی سی ساله مدل‌سازی و بررسی کردند.

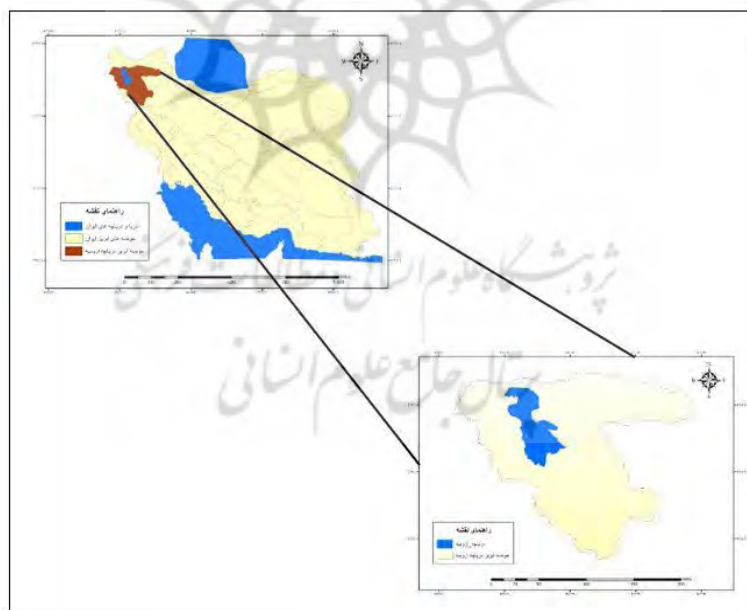
محدوده و قلمرو مورد مطالعه

حوضه آبریز دریاچه ارومیه با وسعتی در حدود ۵۱۸۰۱ کیلومتر مربع بین مختصات $35^{\circ} 40'$ تا $38^{\circ} 30'$ عرض شمالی و $44^{\circ} 14'$ تا $47^{\circ} 53'$ طول شرقی واقع شده است. این حوضه در شمال غربی ایران قرار دارد و توسط بخش شمالی رشته‌کوه زاگرس، دامنه جنوبی کوه سبلان، و دامنه‌های شمالی و غربی و جنوبی کوه سهند احاطه شده است. این حوضه از شمال به حوضه رودخانه ارس، از شرق به حوضه رودخانه سفیدرود، از جنوب به حوضه رودخانه سفیدرود و سیروان، و از غرب به حوضه رودخانه زاب محدود می‌شود. این حوضه با دشت‌هایی چون تبریز، ارومیه، مراغه، مهاباد، میاندوآب، نقده، سلماس، پیرانشهر، آذرشهر، و دشت اشنویه یکی از مراکز ارزشمند فعالیت‌های کشاورزی و دامپروری ایران است (مطالعات پایه منابع آب ۱۳۸۷).

روش و ابزار تحقیق

در این پژوهش جهت بررسی تغییرات پوشش و کاربری اراضی ابتدا تصاویر پنج دوره تهیه شد که هر دوره شامل هفت تصویر است؛ برای سال ۱۹۹۰ (لندست ۵ سنجنده TM)، سال ۲۰۰۰ (لندست

۷ سنجنده (ETM)، سال ۲۰۱۴ (لندست ۸ سنجنده OLI)، سال ۲۰۲۰ (لندست ۸ سنجنده OLI)، و سال ۲۰۲۱ (لندست ۸ سنجنده OLI) از وبسایت سازمان زمین‌شناسی ایالت متحده آمریکا (USGS). سپس با استفاده از نرم‌افزار ENVI ۳٫۵ عملیات پیش‌پردازش برای اعمال تصحیحات اتمسفری و رادیومتریکی و موزاییک هفت تصویر برای هر سال سپس برش حوضه آبریز بر روی تصاویر موزاییک‌شده صورت پذیرفت. همچنین تعیین نقاط تعلیمی و طبقه‌بندی نظارت‌شده تصاویر برای پوشش اراضی در سه طبقه (باغات و مزارع آبی، دیمزار، چمنزار، پهنه آبی، تالاب، بایر و خاک لخت، شهر و انسان‌ساخت، و پوشش ابری یا پوشش برفی) با استفاده از روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال صورت پذیرفت. سپس جهت ارزیابی دقت طبقه‌بندی تصاویر طبقه‌بندی‌شده پوشش اراضی تهیه‌شده با واقعیات زمینی صحت کلی و ضریب کاپای هر یک از طبقات مشخص شد. سپس برای شناخت تغییرات و پیش‌بینی و مدل‌سازی تغییرات از مدل CA-MARKOV در نرم‌افزار IDRISI SELVA و IDRISI TERRSAT استفاده شد. در نهایت بررسی خروجی نقشه‌های مدل‌سازی‌شده با استفاده از نرم‌افزار ARCGIS انجام شد.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی محدوده حوضه آبریز دریاچه ارومیه

نرم‌افزارهای مورد استفاده

نرم‌افزارهای مورد استفاده در تحقیق عبارت‌اند از:

۱. ENVI 5.3: برای اصلاحات رادیومتری و اتمسفری روی تصاویر ماهواره‌ای و طبقه‌بندی و صحت‌سنجی آن‌ها.
۲. IDRISI TERSAT و IDRISI SELVA: برای بررسی تغییرات تصاویر طبقه‌بندی‌شده و پیش‌بینی تغییرات طبقه‌بندی‌شده تصاویر ماهواره‌ای به روش CA-MARKOV.
۳. ARCGIS: تهیه نقشه‌های آمار فضایی.

تصاویر ماهواره‌ای

به منظور استخراج نقشه‌های پوشش اراضی و باغات حاشیة دریاچه ارومیه به دلیل در دسترس بودن، مقرون به صرفه بودن، و دارا بودن دیتاهای چندین‌ساله تصاویر ماهواره لندست مورد استفاده قرار گرفت. برای هر سال هفت تصویر ماهواره‌ای دانلود شد که اطلاعات جدول شماره ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ بیان‌کننده همه زمان‌ها و نوع داده‌های استفاده‌شده به طور جداگانه است. مدت زمان تهیه داده‌ها با توجه به موقعیت و شرایط منطقه از لحاظ آب‌وهوایی و همچنین با توجه به شرایط سنجنده‌ها گردآوری شده است.

جدول ۱. مشخصات تصاویر ماهواره‌ای سال ۱۳۶۹

| ماهواره | سنجنده | قدرت تفکیک مکانی | تعداد باندها | Raw | Path | تاریخ میلادی | تاریخ شمسی |
|---------|--------|------------------|--------------|-----|------|--------------|------------|
| | | | | ۰۳۴ | ۱۶۷ | ۱۹۹۰/۰۶/۰۲ | ۱۳۶۹/۰۳/۱۲ |
| | | | | ۰۳۵ | ۱۶۷ | ۱۹۹۰/۰۷/۰۴ | ۱۳۶۹/۰۴/۱۳ |
| | | | | ۰۳۳ | ۱۶۸ | ۱۹۹۰/۰۸/۱۲ | ۱۳۶۹/۰۵/۲۱ |
| لندست ۵ | TM | ۳۰ | ۷ | ۰۳۴ | ۱۶۸ | ۱۹۹۰/۰۸/۱۲ | ۱۳۶۹/۰۵/۲۱ |
| | | | | ۰۳۵ | ۱۶۸ | ۱۹۹۰/۰۸/۱۲ | ۱۳۶۹/۰۵/۲۱ |
| | | | | ۰۳۳ | ۱۶۹ | ۱۹۹۰/۰۸/۱۹ | ۱۳۶۹/۰۵/۲۸ |
| | | | | ۰۳۴ | ۱۶۹ | ۱۹۹۰/۰۸/۱۹ | ۱۳۶۹/۰۵/۲۸ |

جدول ۲. مشخصات تصاویر ماهواره‌ای سال ۱۳۷۹

| ماهواره | سنجنده | قدرت تفکیک مکانی | تعداد باند | Raw | Path | تاریخ میلادی | تاریخ شمسی |
|---------|--------|------------------|------------|-----|------|--------------|------------|
| | | | | ۰۳۴ | ۱۶۷ | ۲۰۰۰/۰۶/۰۵ | ۱۳۷۹/۰۳/۱۶ |
| | | | | ۰۳۵ | ۱۶۷ | ۲۰۰۰/۰۶/۰۵ | ۱۳۷۹/۰۳/۱۶ |
| | | | | ۰۳۳ | ۱۶۸ | ۲۰۰۰/۰۷/۱۴ | ۱۳۷۹/۰۴/۲۴ |
| لندست ۷ | ETM | ۳۰ | ۸ | ۰۳۴ | ۱۶۸ | ۲۰۰۰/۰۷/۱۴ | ۱۳۷۹/۰۴/۲۴ |
| | | | | ۰۳۵ | ۱۶۸ | ۲۰۰۰/۰۷/۱۴ | ۱۳۷۹/۰۴/۲۴ |
| | | | | ۰۳۳ | ۱۶۹ | ۲۰۰۰/۰۶/۰۳ | ۱۳۷۹/۰۳/۱۴ |
| | | | | ۰۳۴ | ۱۶۹ | ۲۰۰۰/۰۶/۰۳ | ۱۳۷۹/۰۳/۱۴ |

جدول ۳. مشخصات تصاویر ماهواره‌ای سال ۱۳۹۳

| ماهواره | سنجنده | قدرت تفکیک مکانی | تعداد باند | Raw | Path | تاریخ میلادی | تاریخ شمسی |
|---------|--------|------------------|------------|-----|------|--------------|------------|
| | | | | ۰۳۴ | ۱۶۷ | ۲۰۱۴/۰۸/۰۷ | ۱۳۹۳/۰۵/۱۶ |
| | | | | ۰۳۵ | ۱۶۷ | ۲۰۱۴/۰۸/۰۷ | ۱۳۹۳/۰۵/۱۶ |
| | | | | ۰۳۳ | ۱۶۸ | ۲۰۱۴/۰۷/۲۹ | ۱۳۹۳/۰۵/۰۷ |
| لندست ۸ | OLI | ۳۰ | ۱۱ | ۰۳۴ | ۱۶۸ | ۲۰۱۴/۰۷/۲۹ | ۱۳۹۳/۰۵/۰۷ |
| | | | | ۰۳۵ | ۱۶۸ | ۲۰۱۴/۰۷/۲۹ | ۱۳۹۳/۰۵/۰۷ |
| | | | | ۰۳۳ | ۱۶۹ | ۲۰۱۴/۰۸/۰۵ | ۱۳۹۳/۰۵/۱۴ |
| | | | | ۰۳۴ | ۱۶۹ | ۲۰۱۴/۰۸/۰۵ | ۱۳۹۳/۰۵/۱۴ |

جدول ۴. مشخصات تصاویر ماهواره‌ای سال ۱۳۹۹

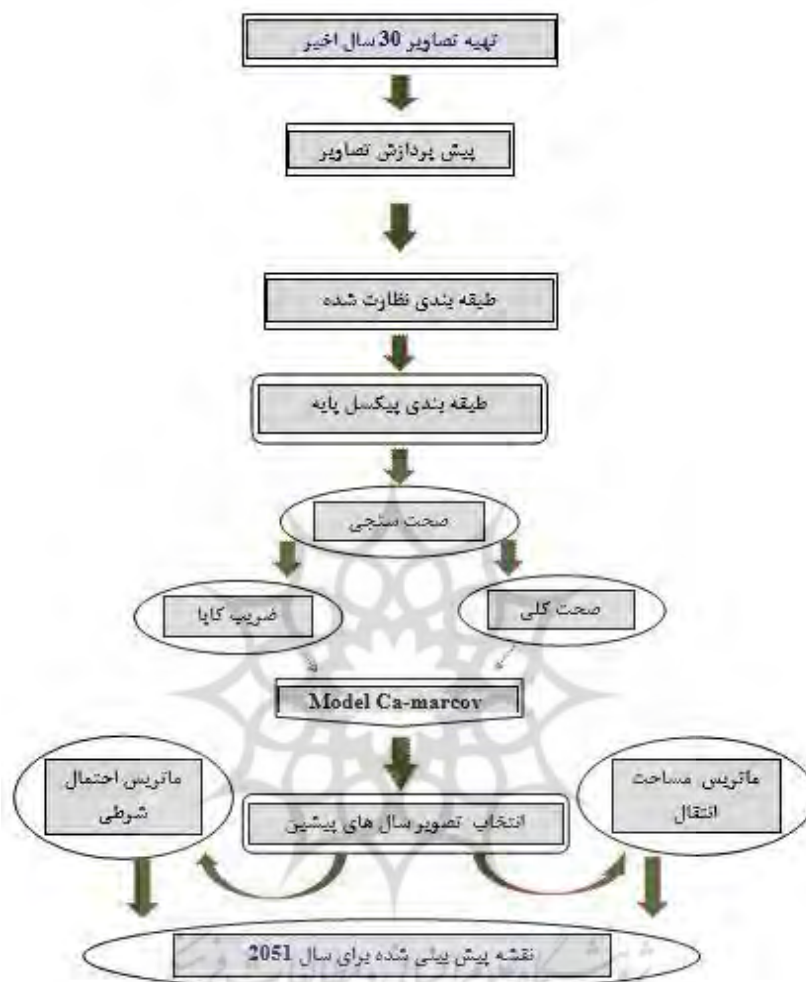
| ماهواره | سنجنده | قدرت تفکیک مکانی | تعداد باند | Raw | Path | تاریخ میلادی | تاریخ شمسی |
|---------|--------|------------------|------------|-----|------|--------------|------------|
| | | | | ۰۳۴ | ۱۶۷ | ۲۰۲۰/۰۶/۲۰ | ۱۳۹۹/۰۳/۳۱ |
| | | | | ۰۳۵ | ۱۶۷ | ۲۰۲۰/۰۶/۲۰ | ۱۳۹۹/۰۳/۳۱ |
| | | | | ۰۳۳ | ۱۶۸ | ۲۰۲۰/۰۵/۲۶ | ۱۳۹۹/۰۳/۰۶ |
| لندست ۸ | OLI | ۳۰ | ۱۱ | ۰۳۴ | ۱۶۸ | ۲۰۲۰/۰۵/۲۶ | ۱۳۹۹/۰۳/۰۶ |
| | | | | ۰۳۵ | ۱۶۸ | ۲۰۲۰/۰۶/۲۷ | ۱۳۹۹/۰۳/۰۷ |
| | | | | ۰۳۳ | ۱۶۹ | ۲۰۲۰/۰۷/۲۰ | ۱۳۹۹/۰۴/۳۰ |
| | | | | ۰۳۴ | ۱۶۹ | ۲۰۲۰/۰۷/۲۰ | ۱۳۹۹/۰۴/۳۰ |

جدول ۵. مشخصات تصاویر ماهواره‌ای سال ۱۴۰۰

| ماهواره | سنجنده | قدرت تفکیک مکانی | تعداد باندها | Raw | Path | تاریخ میلادی | تاریخ شمسی |
|---------|--------|------------------|--------------|-----|------|--------------|------------|
| | | | | ۰۳۴ | ۱۶۷ | ۲۰۲۱/۰۶/۲۳ | ۱۴۰۰/۰۴/۰۲ |
| | | | | ۰۳۵ | ۱۶۷ | ۲۰۲۱/۰۷/۲۵ | ۱۴۰۰/۰۵/۰۳ |
| | | | | ۰۳۳ | ۱۶۸ | ۲۰۲۱/۰۶/۱۴ | ۱۴۰۰/۰۳/۲۴ |
| لندست ۸ | OLI | ۳۰ | ۱۱ | ۰۳۴ | ۱۶۸ | ۲۰۲۱/۰۶/۱۷ | ۱۴۰۰/۰۵/۲۶ |
| | | | | ۰۳۵ | ۱۶۸ | ۲۰۲۱/۰۸/۱۷ | ۱۴۰۰/۰۵/۲۶ |
| | | | | ۰۳۳ | ۱۶۹ | ۲۰۲۱/۰۶/۲۱ | ۱۴۰۰/۰۳/۳۱ |
| | | | | ۰۳۴ | ۱۶۹ | ۲۰۲۱/۰۶/۲۱ | ۱۴۰۰/۰۳/۳۱ |

پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی (CA-MARKOV)

ابتدا از مدل زنجیره مارکوف برای ایجاد یک ماتریس احتمال انتقال و منطقه انتقال انواع مختلف پوشش زمین استفاده شد که اطلاعات دقیق‌تری در مورد انتقال بین طبقات در انواع مختلف پوشش زمین ارائه می‌دهد. سپس با استفاده از مدل CA-MARKOV و بر اساس احتمال انتقال حاصل از تحلیل زنجیره مارکوف پیش‌بینی تغییرات مساحت زمین انجام شد که می‌تواند نقشه شبیه‌سازی پوشش زمین را در آینده به ما ارائه دهد. برای پیش‌بینی طبقات کاربری اراضی در سال ۱۴۳۱ از نقشه‌های کاربری واقعی سال‌های ۱۳۶۹ و ۱۴۰۰ استفاده شد. در مرحله اول در مدل مارکوف نقشه کاربری ۱۳۶۹ به عنوان نقشه زمانی ۱ و نقشه کاربری ۱۴۰۰ به عنوان نقشه زمانی ۲ و ماتریس احتمال انتقال و ماتریس ناحیه انتقال برای سی و یک سال آینده معرفی شد. ۱۴۳۱ با خطای ۵ محاسبه شد. مدل CA-MARKOV به لحاظ نقشه کاربری در سال ۱۴۰۰ به عنوان نقشه پایه اجرا شد و معرفی فایل نهایی به دست آمده از مدل مارکوف و نقشه کاربری برای سال ۱۴۳۱ پیش‌بینی شد.



شکل ۲. نمودار روند کار پژوهش

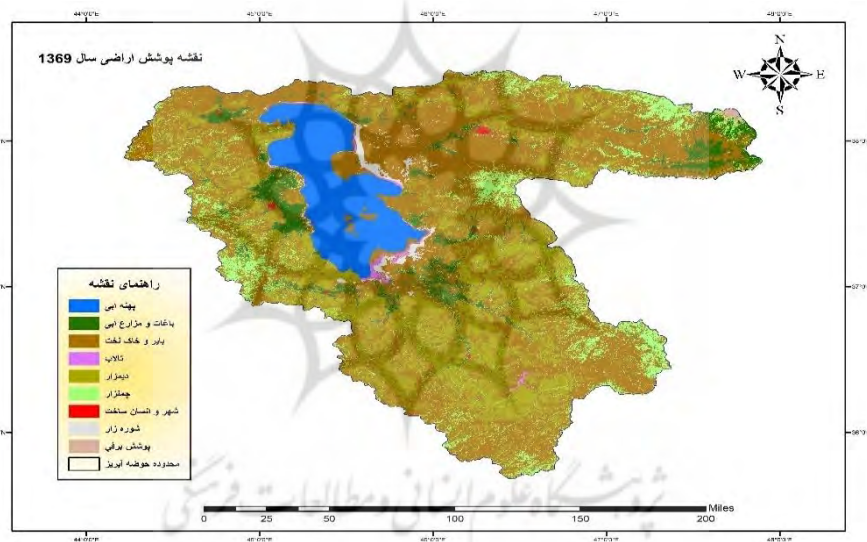
تجزیه و تحلیل داده‌ها

یافته‌های پژوهش

یکی از مراحل مهم و حساس هر تحقیق تجزیه و تحلیل داده‌های تحقیق است. برای دستیابی به اهداف تحقیق و پاسخگویی به سؤال‌ها و آزمون فرضیات، این تحقیق با رویکرد پایش و مدل‌سازی تغییرات پوشش اراضی و تغییرات باغات و مزارع آبی به تحول این تغییرات در حوضه

آبریز دریاچه ارومیه پرداخته است. بدین ترتیب ابتدا تصاویر هر دوره برای پوشش اراضی طبقه‌بندی و سپس مقدار مساحت‌های هر کاربری در هر سال مشخص شد. در نهایت با توجه به مطالعه سطح اراضی دوره‌های مورد بررسی چشم‌انداز آینده کاربری اراضی سال ۱۴۳۱ با استفاده از مدل زنجیره مارکوف تهیه شد.

با توجه به طبقه‌بندی سال ۱۳۶۹ از کل مساحت، حوضه آبریز دریاچه ارومیه شامل ۹,۱۷ درصد پهنه آبی، ۶ درصد باغات و مزارع آبی، ۰,۴۴ درصد تالاب، ۹,۲۳ درصد چمنزار، ۱,۳۲ درصد شورزار، ۵۰ درصد بایر و خاک لخت، ۲۳,۴۷ درصد دیمزار، ۰,۱۵ درصد شهر و انسان‌ساخت، و ۰,۱۳ درصد پوشش برفی است (شکل ۳).



شکل ۳. نقشه طبقه‌بندی پوشش اراضی سال ۱۳۶۹

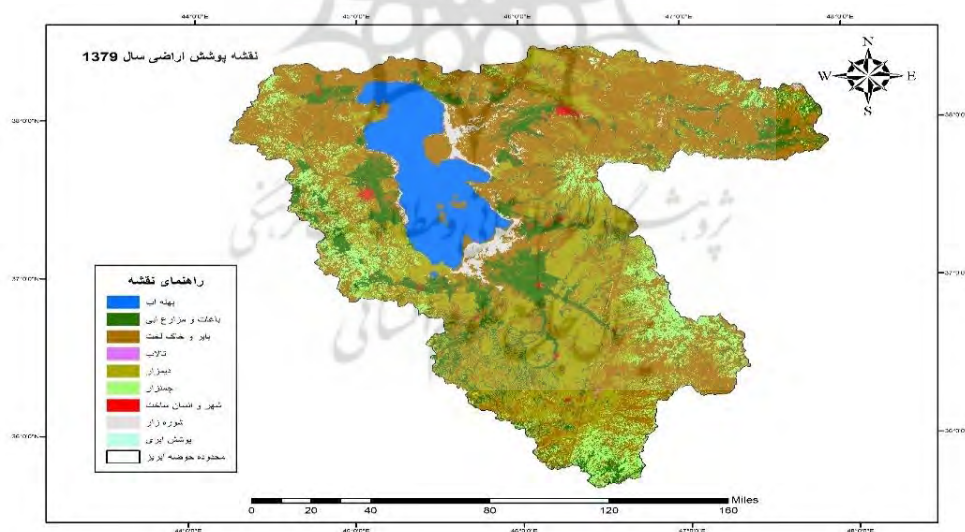
جدول ۶. مساحت اراضی طبقه‌بندی شده سال ۱۳۶۹

| پوشش برفی | شوره‌زار | شهر و انسان‌ساخت | چمنزار | دیمزار | تالاب | بایر و خاک لخت | باغات و مزارع آبی | پهنه آبی | مساحت (km ²) |
|-----------|----------|------------------|--------|--------|-------|----------------|-------------------|----------|--------------------------|
| ۶۸ | ۶۸۷ | ۷۴ | ۴۷۸۰ | ۱۲۱۴۵ | ۲۳۰ | ۲۶۲۲۶ | ۲۷۹۸ | ۴۷۵۰ | |

با توجه به شکل ۲، باغات و مزارع آبی در سال ۱۳۶۹ نسبت به کل منطقه بیشتر در حاشیه دریاچه ارومیه قرار داشته و همچنین سدها و دریاچه‌های کوچک حوضه آبریز از ذخیره آب کمی برخوردار بوده‌اند (سد بوکان، سد مهاباد) یا در سال ۱۳۶۹ هنوز احداث نشده بودند (سد شهرچایی) که این عوامل باعث شده بیشترین مساحت پهنه آبی، دریاچه ارومیه با وسعت ۴۷۴۲ کیلومتر پهنه آبی منطقه رو در طبقه‌بندی سال ۱۳۶۹ به خود اختصاص بدهد.

در سال ۱۳۷۹ باغات و مزارع آبی سال ۱۳۶۹ افزایش چشمگیری داشته است؛ طوری که از کل مساحت محدوده مورد مطالعه ۱۲,۵ درصد آن را باغات و مزارع تشکیل می‌دهد که نسبت به ده سال گذشته بیش از دو برابر افزایش یافته است. همچنین بقیه کاربری‌ها نسبت به کل محدوده به این ترتیب است:

تالاب ۰,۱ درصد، بایر و خاک لخت ۴۵ درصد، دیمزار ۲۰ درصد، چمنزار ۹,۹۲ درصد، پوشش ابری ۰,۰۸ درصد، شهر و انسان‌ساخت ۰,۳۰ درصد، شوره‌زار ۲,۱۶ درصد، و در نهایت پهنه آبی ۹ درصد که از کل کاربری پهنه آبی ۹۹,۶ درصد آن را دریاچه ارومیه به خود اختصاص داده است.



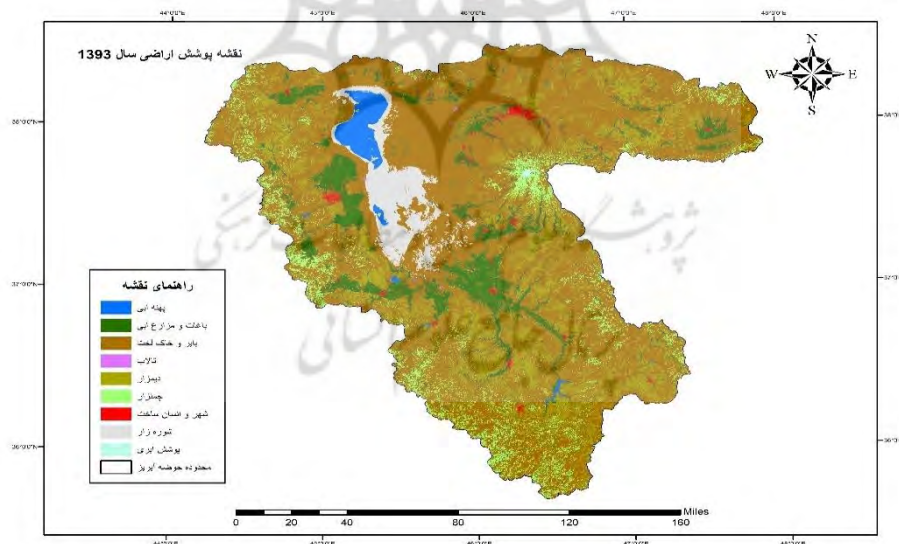
شکل ۴. نقشه طبقه‌بندی پوشش اراضی سال ۱۳۷۹

با توجه به شکل ۴ در کاربری‌های باغات و مزارع آبی، دیمزار، شهر و انسان‌ساخت، و همچنین شوره‌زار بیشترین تغییرات مشاهده می‌شود که در جدول ۲ مساحت همه کاربری‌ها از نرم‌افزار GIS استخراج شده است.

با در نظر گرفتن نقشه طبقه‌بندی پوشش اراضی سال ۱۳۹۳ باغات و مزارع آبی نسبت به سال ۱۳۷۹ به میزان ۳٫۵ درصد کاهش ولی نسبت به سال ۱۳۶۹ به میزان ۳ درصد رشد داشته است. در این سال مساحت کاربری‌ها به این صورت بود: باغات و مزارع آبی ۹ درصد، تالاب ۰٫۰۵ درصد، چمنزار ۷ درصد، شوره‌زار ۴٫۵ درصد، بایر و خاک لخت ۶۲ درصد، شهر و انسان‌ساخت ۰٫۷۳ درصد، پوشش ابری ۰٫۰۵ درصد، دیمزار ۱۵ درصد، پهنه آبی ۱٫۹۲ درصد.

جدول ۷. مساحت اراضی طبقه‌بندی‌شده سال ۱۳۷۹

| پوشش ابری | شوره‌زار | شهر و انسان‌ساخت | چمنزار | دیمزار | تالاب | بایر و خاک لخت | باغات و مزارع آبی | پهنه آبی | طبقه مساحت (km ²) |
|-----------|----------|------------------|--------|--------|-------|----------------|-------------------|----------|-------------------------------|
| ۴۵ | ۱۱۲۲ | ۱۵۵ | ۵۱۳۷ | ۱۰۴۰۷ | ۴۹ | ۲۳۶۳۱ | ۶۵۲۱ | ۴۶۹۹ | |



شکل ۵. نقشه طبقه‌بندی پوشش اراضی سال ۱۳۹۳

با توجه به شکل ۳ در سال ۱۳۹۳ تغییرات پوشش اراضی محسوسی رخ داد که باید با مساحت کاربری‌ها بررسی شود که در جدول ۳ به بررسی مساحت کاربری‌ها پرداخته شد.

جدول ۸. مساحت اراضی طبقه‌بندی‌شده سال ۱۳۹۳

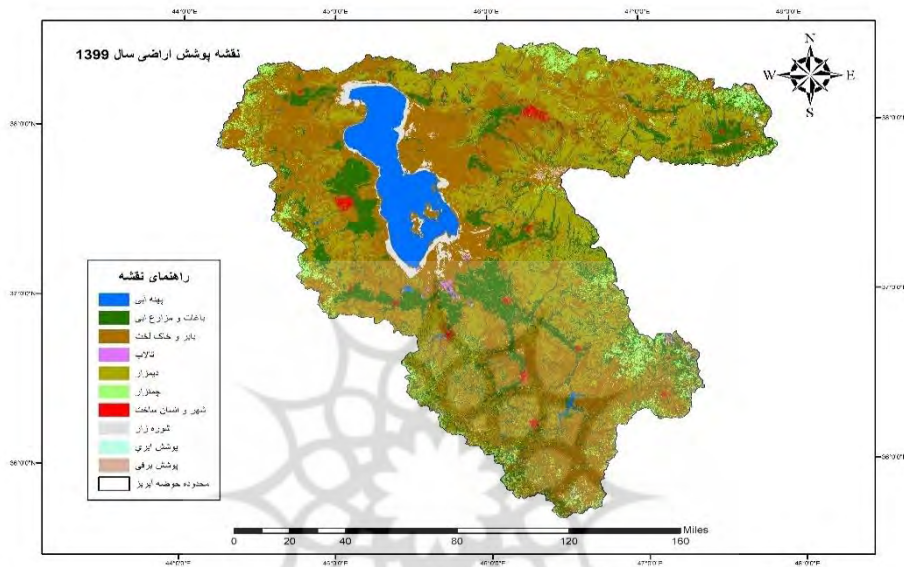
| پوشش ابری | شوره‌زار | شهر و انسان‌ساخت | چمنزار | دیمزار | تالاب | بایر و خاک لخت | باغات و مزارع آبی | پهنه آبی | طبقه |
|-----------|----------|------------------|--------|--------|-------|----------------|-------------------|----------|--------------------------|
| ۲۶ | ۲۲۹۴ | ۳۸۲ | ۳۳۳۵ | ۷۶۷۴ | ۲۴ | ۳۲۴۵۵ | ۴۶۰۰ | ۹۹۸ | مساحت (km ²) |

طبق نتایج به دست آمده از مساحت کاربری‌ها، در سال ۱۳۹۳ حوضه آبریز دریاچه ارومیه احتمالاً با مشکل کمبود آب مواجه بوده که این مورد ممکن است همچون بقیه مشکلات کمبود آب به دو عامل انسانی و طبیعی بستگی داشته باشد. سال ۱۳۹۳ نسبت به سال ۱۳۷۹ کاربری‌هایی مثل پهنه آبی ۳۷۰۱ کیلومتر مربع و دیمزار ۲۷۳۳ کیلومتر مربع کاهش یافته است و در کاربری‌هایی همچون شوره‌زار ۱۱۷۲ کیلومتر مربع افزایش نسبتاً محسوسی رخ داده است که این نتایج احتمالاً بیانگر کاهش نزولات آسمانی در آن سال است. از طرفی از کل کاربری پهنه آبی ۹۱۹ کیلومتر مربع آن برای دریاچه ارومیه است که شامل ۹۲ درصد پهنه آبی می‌شود و این نشان‌دهنده افزایش میزان ذخیره سدها یا احداث سدهای جدید همچون سد شهرچای در سال ۱۳۸۳ است که این سدها درصد قابل توجهی را به خودشان اختصاص داده‌اند. همچنین از سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۳ کم‌کم افزایش کاربری شهر و انسان‌ساخت در شهرهایی مثل سلماس، میاندوآب، شندآباد، و ... و افزایش بهره‌وری بیشتر از چاه‌های آبی هم اتفاق افتاده است که این عامل باعث شده باغات و مزارع آبی نسبت به بقیه کاربری‌ها کاهش کمتری داشته باشد. صحت و اعتبارسنجی این طبقه‌بندی با برداشت نمونه‌های تعلیمی از گوگل ارث انجام شد که نتیجه حاصل ضریب کاپای ۰,۹۳ و دقت کلی ۹۴,۷۳ درصد به دست آمد که از اعتبار خوبی برخوردار است.

طبقه‌بندی سال ۱۳۹۹ (۲۰۲۰ م)

در نقشه پوشش اراضی سال ۱۳۹۹، باغات و مزارع آبی ۱۶ درصد، بایر و خاک لخت ۴۲ درصد،

تالاب ۰,۳۷ درصد، دیمزار ۲۷ درصد، چمنزار ۵ درصد، شهر و انسان‌ساخت ۰,۸۸ درصد، شوره‌زار ۱,۷ درصد، پوشش ابری ۰,۰۷ درصد، پوشش برفی ۰,۱۵ درصد و پهنه آبی ۷ درصد از مساحت کل محدوده را شامل می‌شود (شکل ۶).



شکل ۶. نقشه پوشش اراضی سال ۱۳۹۹

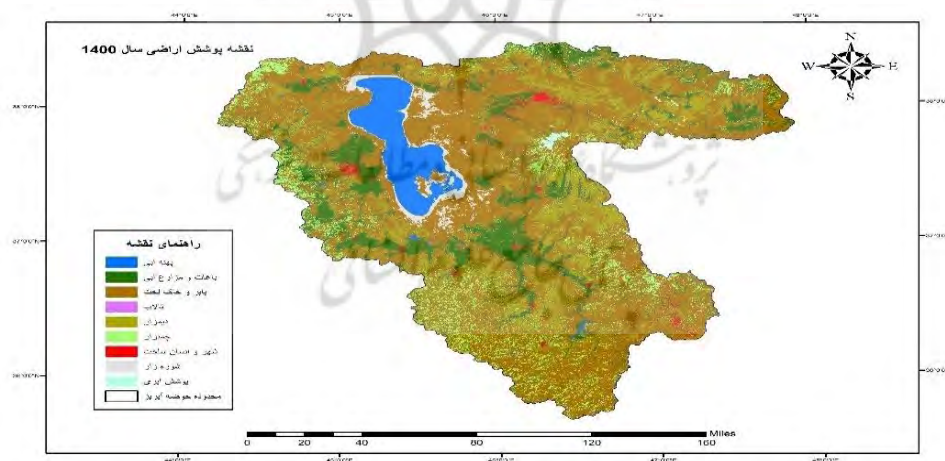
نقشه‌های پوشش اراضی سال ۱۳۹۳ و ۱۳۹۹ در برخی کاربری‌ها رشد بسزایی را طی شش سال بیان می‌کنند. کاربری‌هایی که رشد آن‌ها مشخص است عبارت‌اند از: پهنه آبی، باغات و مزارع آبی، دیمزار، شهر و انسان‌ساخت. در مقابل کاربری‌هایی همچون شوره‌زار و بایر و خاک لخت کاهش یافته‌اند که برای بررسی دقیق مساحت آن‌ها با استفاده از GIS ارزیابی شد (جدول ۹).

جدول ۹. مساحت اراضی طبقه‌بندی‌شده سال ۱۳۹۹

| پوشش برفی | پوشش ابری | شوره‌زار | شهر و انسان‌ساخت | چمنزار | دیمزار | تالاب | بایر و خاک لخت | باغات و پهنه آبی | مسطح (km ²) |
|-----------|-----------|----------|------------------|--------|--------|-------|----------------|------------------|-------------------------|
| ۷۸ | ۴۱ | ۹۱۰ | ۴۵۶ | ۲۴۴۱ | ۱۴۱۸۰ | ۱۹۵ | ۲۱۸۰۷ | ۸۴۱۶ | ۳۱۶۸ |

با توجه به جدول ۹ و ۱۰ باغات و مزارع آبی همچنین دیمزار طی شش سال تقریباً دو برابر افزایش داشته‌اند. از طرفی پهنه آبی هم نسبت به سال ۱۳۹۳ در محدوده ۵ درصد افزایش یافته است که از کل مساحت پهنه آبی ۳۰۶۶ کیلومتر مربع برابر با ۹۶ درصد متعلق به دریاچه ارومیه است و این برای حوضه آبریز دریاچه ارومیه حیاتی‌ترین مسئله حساب می‌شود. زیرا این ۵ درصد رشدی که در پهنه آبی وجود دارد بیانگر آن است که پهنه آبی طی شش سال سه برابر افزایش یافته است و این باعث کاهش شوره‌زار منطقه به وسعت ۱۳۸۴ کیلومتر مربع معادل ۳ درصد از کل محدوده شده است که این عامل برای باغات و مزارع آبی اتفاقی حیاتی خواهد بود. با توجه به تغییراتی که طی شش سال در محدوده رخ داده است احتمالاً طی این سال‌ها هم نزولات آسمانی افزایش یافته و هم مدیریت ذخیره آب سدها در پیش گرفته شده که مهم‌ترین آن احداث نشدن سدهای تازه داخل حوضه آبریز بوده است. با ارزیابی اعتبار و صحت‌سنجی نتیجه به‌دست‌آمده از ضریب کاپا ۰,۹۷ و دقت کلی ۹۷,۶۵ درصد شد.

نقشه پوشش اراضی سال ۱۴۰۰ تغییرات مختصری در حوضه آبریز دریاچه طی یک سال را بیان می‌کند. در این سال حوضه آبریز بیشتر با کاهش اراضی همچون باغات و مزارع آبی و دیمزار و پهنه آبی نسبت به سال ۱۳۹۹ همراه است (شکل ۷).



شکل ۷. نقشه طبقه‌بندی پوشش اراضی سال ۱۴۰۰

با توجه به شکل ۷، در کل محدوده نسبت به یک سال گذشته کاهش مختصری در کاربری باغات و مزارع آبی و همچنین کاهش مقدار پهنه آبی مشاهده می‌شود. ولی در واقعیت تراز آب دریاچه ارومیه بیش از آن چیزی است که در این سال در طبقه‌بندی مشاهده می‌شود. به بیانی دیگر در برخی از قسمت‌های دریاچه ارومیه عمق آب به ۲۰ سانتی‌متر می‌رسد؛ درحالی‌که در سال‌های گذشته در همان قسمت عمق آب بیشتر از سال ۱۴۰۰ بوده است و در طبقه‌بندی آن قسمت‌ها در کاربری پهنه آبی در سال‌های گذشته و سال ۱۴۰۰ یک اندازه در نظر گرفته شده است (شکل ۷) و این یعنی در سال ۱۴۰۰ پهنه آبی به میزان قابل توجهی کم شده است که در نقطه مقابل آن محدوده مورد مطالعه مطابق انتظارات با افزایش شوره‌زار مواجه شده است. برای دستیابی دقیق‌تر به مقدار تغییرات، مساحت‌های هر کاربری استخراج و در جدول ۱۰ آورده شد.

جدول ۱۰. مساحت اراضی طبقه‌بندی شده سال ۱۴۰۰

| پهنه آبی | باغات و مزارع آبی | بایر و خاک لخت | تالاب | دیمزار | چمنزار | شهر و انسان‌ساخت | شوره زار | پوشش آبری |
|----------|-------------------|----------------|-------|--------|--------|------------------|----------|-----------|
| ۲۸۸۹ | ۶۲۹۳ | ۲۹۶۰۷ | ۱۷ | ۷۱۸۴ | ۳۹۹۴ | ۵۰۳ | ۱۱۴۶ | ۱۳۲ |

مساحت (km²)

مقایسه و بررسی نتایج حاصل از طبقه‌بندی طی سی سال گذشته

با توجه به پنج طبقه‌بندی پوشش اراضی ایجادشده طی سی سال گذشته در کل محدوده حوضه آبریز تغییرات قابل توجهی رخ داده است که در جدول ۱۱ میزان تغییرات کاربری‌های مهم سال ۱۳۶۹ نسبت به سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ بررسی شده است.

جدول ۱۱. میزان تغییرات پوشش اراضی هر سال نسبت به سال ۱۳۶۹

| ۱۳۶۹ | ۱۳۹۳ | ۱۳۹۹ | ۱۴۰۰ |
|-------|-------|-------|--------|
| ۱ | -۴,۷۵ | -۱,۵۰ | -۱,۶۴ |
| ۲,۳۳ | ۱,۶۴ | ۳ | ۲,۲۴ |
| -۴,۶ | -۹,۶ | -۱,۱۷ | -۱۳,۵۲ |
| ۰,۹ | ۱,۲۳ | -۱,۲۰ | ۱,۱۲ |
| ۲,۱۰ | ۵,۱۶ | ۶,۱۶ | ۶,۷۹ |
| -۱,۱۶ | -۱,۵۸ | ۱,۱۶ | -۱,۶۹ |
| ۱,۶۳ | ۳,۳۳ | ۱,۳۲ | ۱,۶۶ |
| ۱,۰۷ | -۱,۴۳ | -۱,۹۵ | -۱,۱۹ |

با توجه به جدول ۱۱، استنباط می‌شود در کاربری پهنه آبی بیشترین میزان تغییر در سال ۱۳۹۳ به میزان نزدیک به پنج برابر کاهش پهنه آبی اتفاق افتاده است. ولی رفته‌رفته بر میزان پهنه آبی اضافه شده و اکنون پهنه آبی محدوده دریاچه ارومیه نسبت به سال ۱۳۶۹ نزدیک به دو برابر کاهش یافته است. در مقابل شوره‌زار در محدوده حوضه آبریز با پهنه آبی رابطه عکس دارد. زیرا بیشترین میزان پهنه آبی حوضه آبریز را دریاچه ارومیه تشکیل می‌دهد و با کاهش میزان پهنه آبی باعث افزایش میزان شوره‌زار در منطقه می‌شود و این باعث شده شوره‌زار در ۱۳۹۳ به بیشترین میزان حد ممکن خود، یعنی بیش از سه برابر سال ۱۳۶۹، برسد و در نهایت با بهبود وضعیت دریاچه ارومیه در سال ۱۴۰۰ به میزان تغییر ۱,۶۶ برابر رسیده است. در کاربری باغات و مزارع آبی هم بیشترین میزان تغییرات در سال ۱۳۹۹ رخ داده است که اکنون در شرایط خشکسالی نسبت به سال ۱۳۶۹ رشد بیش از دوبرابری را دارد. کاربری شهر و انسان‌ساخت هم در حوضه آبریز دریاچه با رشد چشمگیری همراه بوده و رفته‌رفته بر میزان رشد شهرها و انسان‌ساخت‌ها اضافه شده است و در سال ۱۴۰۰ نسبت به سال ۱۳۶۹ رشد کاربری شهر و انسان‌ساخت بیش از شش برابر اتفاق افتاده است.

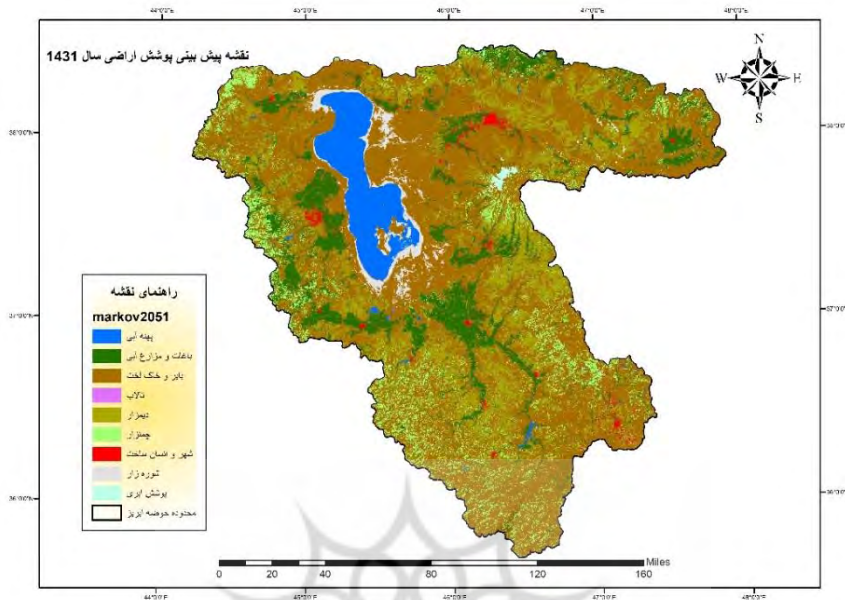
برای تهیه نقشه پوشش زمینی حاصل از پیش‌بینی سال ۱۳۹۹ از نقشه‌های پوشش اراضی سال‌های ۱۳۷۹ و ۱۳۹۳ و برای محاسبه احتمال و مساحت انتقال طبقات بین این دو سال از مدل مارکوف استفاده شد. سپس با استفاده از نقشه سال ۱۳۹۳ و ماتریس احتمال انتقال بین سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۳ در مدل CA_MARKOV مدل‌سازی نقشه پوشش زمین سال ۱۳۹۹ انجام شد. شکل ۶ نقشه پوشش اراضی سال ۱۳۹۹ به دست آمده از مدل و جدول ۱۲ ماتریس احتمال انتقال کاربری‌ها را نشان می‌دهد.

با توجه به ماتریس احتمالات به دست آمده از مدل مارکوف برای سال‌های ۱۳۷۹ - ۱۳۹۳ پایدارترین طبقه عبارت است از اراضی باغات و مزارع آبی که احتمال انتقال آن ۰,۹۰۲۵ بوده است. پس از آن شهر و انسان‌ساخت با احتمال انتقال ۰,۸۲۱۹ و بعد از آن بایر و خاک لخت با احتمال انتقال ۰,۷۵۳۲ و سپس دیمزار با احتمال انتقال ۰,۵۱۰۵ قرار دارد. ولی دیگر کاربری‌ها از ناپایداری در این بازه زمانی برخوردار بودند.

به منظور پیش‌بینی تغییرات آینده پوشش اراضی ابتدا ماتریس احتمال انتقال و مساحت انتقال با اجرای مدل مارکوف به دست آمد. سپس نقشه کاربری واقعی سال ۱۴۰۰ و همچنین فایل مساحت انتقال به دست آمده از مدل مارکوف در مدل CA-MARKOV استفاده شد و نقشه کاربری سال ۱۴۱۰ پیش‌بینی شد. نتایج مدل نشان می‌دهد نقشه شبیه‌سازی شده نسبت به سال ۱۴۰۰ تغییرات چشمگیری نداشته است. ولی بیشترین میزان تغییرات در محدوده مناطق پهنه آبی نسبتاً افزایش و مساحت کاربری‌های باغات و مزارع کشاورزی و اراضی شور نسبتاً کاهش یافته است.

جدول ۱۲. ماتریس احتمال انتقال کاربری‌ها بر اساس مدل مارکوف (۱۳۷۹-۱۳۹۳)

| سال | | ۱۳۹۳ | | | | | | |
|----------|------------------|--------|--------|--------|----------------|------------------|----------|------------------------|
| شوره‌زار | شهر و انسان‌ساخت | چمنزار | دیمزار | تالاب | بایر و خاک لخت | باغات و پهنه آبی | | کاربری اراضی |
| | | | | | | مزارع آبی | پهنه آبی | |
| ۰,۰۸۰۱ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۸۴۷۴ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۷۲۶ | پهنه آبی |
| ۰,۰۰۰۱ | ۰,۰۱۰۵ | ۰,۰۰۱۳ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۰۰۱ | ۰,۰۸۵۶ | ۰,۹۰۲۵ | ۰,۰۰۰۰ | باغات و مزارع آبی |
| ۰,۰۰۰۱ | ۰,۰۱۳۸ | ۰,۰۴۰۰ | ۰,۱۰۱۳ | ۰,۰۰۰۲ | ۰,۷۵۳۲ | ۰,۰۹۱۴ | ۰,۰۰۰۱ | ۱۳۷۹ بایر و خاک لخت |
| ۰,۰۰۶۴ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۹۹۳۶ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۰۰۰ | تالاب |
| ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۱۰۵ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۴۸۹۵ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۰۰۰ | دیمزار |
| ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۱۱۵۱ | ۰,۱۵۵۴ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۶۹۹۵ | ۰,۰۳۰۱ | ۰,۰۰۰۰ | چمنزار |
| ۰,۰۰۰۰ | ۰,۸۲۱۹ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۱۷۸۱ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۰۰۰ | شهر و انسان‌ساخت |
| ۰,۰۰۷۲ | ۰,۰۲۰۶ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۰۲۶ | ۰,۹۶۹۰ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۰۰۶ | شوره‌زار |



شکل ۸. نقشه پوشش اراضی پیش‌بینی‌شده سال ۱۴۳۱ از CA-MARKV

جدول ۱۳. ماتریس احتمال انتقال کاربری اراضی پوشش زمین از سال ۱۴۰۰ به ۱۴۳۱

| | | ۱۴۰۰ | | | | | | | سال |
|----------|------------------|--------|--------|--------|----------------|-----------|-------------------|----------|-------------------|
| شوره‌زار | شهر و انسان‌ساخت | چمنزار | دیمزار | تالاب | بایر و خاک لخت | مزارع آبی | باغات و مزارع آبی | پهنه آبی | کاربری اراضی |
| ۰,۱۸۶۶ | ۰,۰۰۰۳ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۰۰۱ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۲۵۷۳ | ۰,۰۰۰۳ | ۰,۵۵۵۴ | ۰,۰۰۰۰ | پهنه آبی |
| ۰,۰۰۰۶ | ۰,۰۲۳۱ | ۰,۰۲۷۴ | ۰,۰۲۰۲ | ۰,۰۰۱۰ | ۰,۱۸۷۷ | ۰,۷۳۷۴ | ۰,۰۰۲۶ | ۰,۰۰۰۰ | باغات و مزارع آبی |
| ۰,۰۰۸۶ | ۰,۰۱۶۹ | ۰,۱۱۲۱ | ۰,۱۲۴۳ | ۰,۰۰۰۴ | ۰,۶۳۶۲ | ۰,۰۹۹۶ | ۰,۰۰۲۰ | ۰,۰۰۰۰ | بایر و خاک لخت |
| ۰,۱۶۷۳ | ۰,۰۰۱۳ | ۰,۰۱۹۵ | ۰,۰۰۰۷ | ۰,۰۱۲۸ | ۰,۵۸۷۷ | ۰,۰۵۸۵ | ۰,۱۵۲۳ | ۰,۰۰۰۰ | تالاب |
| ۰,۰۰۰۳ | ۰,۰۰۲۰ | ۰,۰۷۴۲ | ۰,۳۴۳۵ | ۰,۰۰۰۱ | ۰,۵۱۴۴ | ۰,۰۶۵۱ | ۰,۰۰۰۵ | ۰,۰۰۰۰ | دیمزار |
| ۰,۰۰۰۵ | ۰,۰۰۳۵ | ۰,۱۴۹۲ | ۰,۰۴۲۱ | ۰,۰۰۰۴ | ۰,۵۲۷۳ | ۰,۲۷۴۵ | ۰,۰۰۲۴ | ۰,۰۰۰۰ | چمنزار |
| ۰,۰۰۰۵ | ۰,۶۲۷۳ | ۰,۰۰۰۴ | ۰,۰۰۲۲ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۳۵۸۳ | ۰,۰۱۰۶ | ۰,۰۰۰۸ | ۰,۰۰۰۰ | شهر و انسان‌ساخت |
| ۰,۱۳۱۴ | ۰,۰۱۶۱ | ۰,۰۰۷۳ | ۰,۰۰۴۴ | ۰,۰۰۲۱ | ۰,۸۱۱۲ | ۰,۰۰۸۵ | ۰,۰۱۹۰ | ۰,۰۰۰۰ | شوره‌زار |

با توجه به ماتریس احتمالات به‌دست‌آمده از مدل مارکوف برای سال‌های ۱۴۰۰ - ۱۴۳۱ پایدارترین طبقه عبارت از اراضی باغات و مزارع آبی بوده که احتمال انتقال آن عبارت از ۰,۷۳۷۴ بوده است. پس از آن بایر و خاک لخت با احتمال انتقال ۰,۶۳۶۲ و بعد از آن شهر و انسان‌ساخت با احتمال انتقال ۰,۶۲۷۳ و سپس دیمزار با احتمال انتقال ۰,۳۴۳۵ قرار دارد. ولی دیگر کاربری‌ها از ناپایداری در این بازه زمانی برخوردار بودند.

جدول ۱۴. مساحت اراضی نقشه پیش‌بینی‌شده سال ۱۴۳۱

| طبقه | پهنه آبی | مزارع آبی | خاک لخت | تالاب | دیمزار | چمنزار | شهر و انسان‌ساخت | شوره‌زار | پوشش آبری |
|--------------------------|----------|-----------|---------|-------|--------|--------|------------------|----------|-----------|
| مساحت (km ²) | ۲۹۱۳ | ۶۲۸۶ | ۲۹۶۲۰ | ۱۴ | ۷۱۷۰ | ۳۹۷۵ | ۵۱۰ | ۱۱۲۵ | ۱۳۲ |

تعیین اعتبار و ارزیابی نقشه پیش‌بینی‌شده و محاسبه جدول توافق و عدم توافق

برای محاسبه توافق و عدم توافق نقشه حاصل از پیش‌بینی سال ۱۳۹۹ با نقشه واقعی همان سال از طریق دستور Validat نرم‌افزار IDRISI مقایسه و توافق و عدم توافق کلی بین نقشه‌های پیش‌بینی‌شده و واقعی و شاخص کاپای مکانی Klocation محاسبه شد. نتایج ارزیابی مدل در سال ۱۳۹۹ در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ۱۵. توافق و عدم توافق نقشه واقعی و نقشه شبیه‌سازی‌شده بر مبنای مدل CA-MARKOV سال ۱۴۰۰

| Information of Allocation | Information of Quantity | | |
|---------------------------|-------------------------|---------------|---------------|
| | No[n] | Medium[m] | Perfect[p] |
| Perfect[P(x)] | P(n) = 0.4271 | P(m) = 0.9703 | P(p) = 1.0000 |
| PerfectStratum[K(x)] | K(n) = 0.4271 | K(m) = 0.9703 | K(p) = 1.0000 |
| MediumGrid[M(x)] | M(n) = 0.3396 | M(m) = 0.8538 | M(p) = 0.8643 |
| MediumStratum[H(x)] | H(n) = 0.1111 | H(m) = 0.4060 | H(p) = 0.4049 |
| No[N(x)] | N(n) = 0.1111 | N(m) = 0.4060 | N(p) = 0.4049 |

نتیجه

در چند دهه اخیر با کاهش آب رودخانه‌ها و کاهش سطح آب‌های زیرزمینی مشکلات زیادی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه ایجاد شده و همچنین گسترش باغات و مزارع آبی توانسته منجر به تغییر کاربری اراضی شود. اکنون این تغییر ممکن است استفاده از باغات و مزارع آبی مؤثر باشد یا

بر شوری و سطح آب دریاچه ارومیه تأثیر بگذارد. بنابراین با شناسایی نوع تغییر کاربری و ارائه راهکارهایی برای جلوگیری از تغییر کاربری مشکلات ناشی از کم‌آبی کاهش یافته و تغییرات ایجاد شده باعث تخریب کمتر زمین‌های کشاورزی و فضای سبز اطراف شهرها و افزایش شوری می‌شود. در این زمینه، پژوهش حاضر با هدف پایش و مدل‌سازی تغییرات کاربری و پوشش گیاهی به منظور شناسایی این تغییرات و پیش‌بینی روندهای آتی آن‌ها انجام شده است. امروزه روش‌ها و داده‌های مختلفی برای ارزیابی تغییرات یک منطقه در طول زمان وجود دارد. در این میان استفاده از داده‌های ماهواره‌ای به دلیل ویژگی‌های خاص آن مانند دید وسیع، یکپارچگی، استفاده از قسمت‌های مختلف طیف انرژی برای ثبت ویژگی‌های پدیده‌های دوره بازگشت کوتاه و امکان استفاده از سخت‌افزار و نرم‌افزار و هزینه کم و سرعت بررسی و امکان رصد منطقه در گذشته و حال باعث شده است که در دنیا مورد استقبال ویژه قرار گیرد.

نتایج به دست آمده از طبقه‌بندی حداکثر احتمال که در محدوده‌های وسیع نشان داد این روش یکی از دقیق‌ترین و پر استفاده‌ترین روش‌هاست که این مشابهت با پژوهش درانی‌زاده (۱۳۹۸) مطابقت دارد که همه نقشه‌های طبقه‌بندی شده در پنج دوره زمانی دارای ضریب کاپای ۰,۹۰ و دقت کلی ۹۰ درصد بودند و نقشه‌های طبقه‌بندی در این تحقیق نشان دادند که تغییرات کاربری اراضی در سال ۱۳۷۹ نسبت به سال ۱۳۶۹ به دلیل افزایش بهره‌برداری از سد بوکان با پژوهش اسفندیاری درآباد و همکارانش (۱۳۹۸) مطابقت دارد باعث افزایش باغات و مزارع آبی در قسمت شهرهای بوکان، میان‌دوآب، ملکان، بناب، عجبشیر، آذرشهر، و تبریز به میزان نزدیک به سه برابر طی ده سال شده است و این عامل با تحقیق اسفندیاری درآباد و همکارانش (۱۳۹۸) مطابقت دارد. از طرفی افزایش کاربری شهر و انسان‌ساخت نیز سبب رشد باغات و مزارع آبی در محدوده شهرهای ارومیه، سلماس، مهاباد، نقده، و مخصوصاً شبستر بوده است؛ طوری که با ساختن ویلاهای شخصی با کاربری باغات و مزارع آبی، که داخل هر یک چاه آب و استخراج آب احداث شده است، این عامل نیز باعث افزایش باغات و مزارع آبی در آن منطقه نسبت به سال ۱۳۶۹ شده که بیانگر این است که با افزایش کاربری شهر و انسان‌ساخت و با رشد شهرها انسان موجب تغییرات چشمگیر در آن منطقه می‌شود و این مورد با تحقیق مجیدی مسکین (۱۳۹۳) هم‌سوست.

بر اساس این موارد در سال ۱۳۹۳ کاهش بسیار زیاد آب دریاچه ارومیه شناسایی شد و به دنبال آن باغات و مزارع آبی هم کاهش یافت. از طرفی در سال ۱۳۹۳ کاربری دیمزار نیز کاهش داشته است و این نشان‌دهنده آن است که در سال ۱۳۹۳ احتمالاً خشکسالی نیز اتفاق افتاده است. همچنین در سال ۱۳۹۳ با احداث سد شهرچای، سد مهاباد، و ... باغات حاشیه دریاچه ارومیه از سمت غرب افزایش چشمگیری داشته و همچنین با افزایش بهره‌وری از سد بوکان در سال ۱۳۹۳ باغات و مزارع آبی شهرهای میاندوآب، ملکان، بناب، و تبریز ثابت مانده‌اند که در رابطه با این مورد اسفندیاری درآباد و همکارانش (۱۳۹۸) در تحقیق خود به این نتیجه رسیده‌اند که در سال‌های بعد از ۱۳۸۹ با توجه به دبی ۵۰ درصد در دوره بعد از احداث سد این مقدار ۴۰ درصد کمتر شده است که نشان از تأثیر سد حاضر بر دبی جریان رودخانه زرينه‌رود دارد. شایان ذکر است بخشی از آب سد از طریق سد انحرافی نوروزلو به شهرهای آذرشهر و تبریز منتقل می‌شود. سد انحرافی نوروزلو روی رودخانه زرينه‌رود ساخته شده است و آبیاری ۸۵۰۰۰ هکتار از اراضی کشاورزی به آن وابسته است و این موضوع نیز می‌تواند در تغییر مؤلفه‌های جریان رودخانه زرينه‌رود مؤثر باشد که این عوامل سبب ثبات نسبی باغات در سمت شرقی و جنوبی دریاچه ارومیه است. اما از طرفی به گفته انبوره (۱۳۹۴) با افزایش چاه‌های زیرزمینی و وجود رابطه مستقیم بین کم شدن باغات با پایین آمدن سطح آب با عدم رعایت صحیح در بخش کشاورزی و استفاده بیش از حد از سفره‌های زیرزمینی کشت محصولات با نیاز آبی بالا از سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۳ باعث کم شدن باغات و مزارع آبی در شهرهای شبستر، صوفیان، شندآباد، و شرفخانه شده‌اند و این عوامل در کنار هم باعث افزایش شوره‌زار بیش از سه‌برابری در حوضه آبریز و کم شدن آب دریاچه ارومیه به میزان ۳۸۲۳ کیلومتر مربع و یا به عبارتی کاهش ۵ برابری شده است. در سال ۱۳۹۹، کاربری باغات و مزارع آبی بیشترین رشد خود یعنی سه برابر سال ۱۳۶۹ را ثبت کرده است. از طرفی پهنه آبی و دریاچه ارومیه ۱,۵ برابر کاهش مساحت در سال ۱۳۹۹ نسبت به سال ۱۳۶۹ داشته است که با کاهش پهنه آبی افزایش شوره‌زار در محدوده ۱,۳ برابر را شاهدیم. این مطلب با نتایج به‌دست‌آمده از تحقیق انبوره (۱۳۹۴) در رابطه با اینکه کاهش پهنه آبی باعث افزایش شوره‌زارها می‌شود مطابقت دارد. در طبقه‌بندی سال ۱۴۰۰ هم نتیجه حاصل آمد که در

حوضه آبریز دریاچه ارومیه طی یک سال کاربری باغات و مزارع ۲۱۲۳ کیلومتر مربع کاهش یافته است و این در حالی است که نسبت به سی و یک سال پیش ۲,۵ برابر افزایش داشته است. از مطالعات میدانی نتیجه به عمل آمد که این مقدار از باغات و مزارع آبی در سال ۱۴۰۰ به علت خشک شدن آب چاه‌ها و به شدت پایین رفتن آب‌های زیرزمینی رها شده‌اند. پس از مطالعات راجع به سی و یک سال گذشته، مدل‌سازی به روش CA-MARKOV برای سی و یک سال با نتیجه صحت‌سنجی $kno = 0,83$ و توافق ۸۵ درصد انجام شد. نتایج بررسی نشان داد نواحی باغات و مزارع آبی، شوره‌زار، دیمزار و تالاب در حوضه آبریز دریاچه ارومیه روند کاهشی داشته و نواحی پهله آبی، بایر و خاک لخت، شهر و انسان‌ساخت، و چمنزار روند افزایشی را طی دوره مورد مطالعه داشته است. نتایج این مطالعات با برخی از تحقیقات انجام‌شده مانند پژوهش وانگ و همکارانش (۲۰۱۲)، پونتیسوس و همکارانش (۲۰۰۵)، محمدی و همکارانش (۱۳۹۶)، و کیانی‌سلمی و همکارانش (۱۳۹۷) هم‌سوست. در این تحقیقات نیز استفاده از مدل CA-MARKOV برای مدل‌سازی تغییرات پوشش اراضی پیشنهاد شده است. یکی از مسائل مهم این است که مدل افزایش سطح مناطق شهر و انسان‌ساخت را پیش‌بینی کرده است که این توسعه مستلزم برنامه‌ریزی است؛ طوری که کمترین آسیب به منابع منطقه وارد شود. البته این پیش‌بینی با فرض ثابت ماندن عوامل اجتماعی و اقتصادی، اقلیمی، و سیاسی انجام شده است. ولی در دنیای واقع چنین امری غیرممکن خواهد بود و این امر می‌تواند باعث متفاوت بودن نتایج حاصل از پیش‌بینی مدل و آنچه در آینده به وقوع می‌پیوندد شود. به طور کلی، با توجه به نتایج اعتبارسنجی مدل و همچنین نتیجه‌های حاصل از ضرایب کاپا و صحت کلی نقشه‌های طبقه‌بندی‌شده، می‌توان نتیجه گرفت که الگوریتم و روش حداکثر احتمال و مدل CA-MARKOV برای طبقه‌بندی پوشش اراضی وسیع و مدل‌سازی این تغییرات نتایج قابل قبولی ارائه داده است که این مطلب با تحقیق صادقی (۱۳۹۸) مطابقت داشته و استفاده از روش‌ها در مطالعات مشابه پیشنهاد داده می‌شود.

منابع

- آرخی، صالح؛ مصطفی ادیب‌نژاد (۱۳۹۰). «ارزیابی کارایی الگوریتم‌های ماشین بردار پشتیبان جهت طبقه‌بندی کاربری اراضی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای ETM لندست (مطالعه موردی: حوضه سد ایلام)»، تحقیقات مرتع و بیابان، د ۱۸، ش ۳، ص ۴۲۰ - ۴۴۰.
- احدنژاد روشتی، محسن؛ حسین زلفی‌علی (۱۳۹۰). «ارزیابی و پیش‌بینی فیزیکی شهرها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه و سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: شهر اردبیل ۱۳۶۳ - ۱۴۰۰)»، آمایش محیط، د ۱۸، ش ۱۵، ص ۱۰۷ - ۱۲۴.
- اصلاح، مهدی؛ سید علی المدرسی؛ مهدی مفیدی‌فر (۱۳۹۵). «بررسی کارایی مدل زنجیره‌ای مارکوف در برآورد تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست»، نخستین همایش ملی کاربرد مدل‌های پیشرفته تحلیل فضایی (سنجش از دور و GIS در آمایش سرزمین، تهران).
- ابراهیمی، پیام؛ مهدی اصلاح؛ جمیله سلیمی کوچی (۱۳۹۵). «بررسی کارایی مدل زنجیره‌ای مارکوف در برآورد تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Landsat، علوم و مهندسی آب‌خیزداری ایران، د ۱۰، ش ۳۴، ص ۸۵ - ۹۲.
- زبردست، لبت؛ حمیدرضا جعفری؛ ضیال‌الدین بادیان؛ مریم عاشق‌معلا (۱۳۸۹). «ارزیابی روند تغییرات پوشش اراضی منطقه حفاظت‌شده ارسباران در فاصله زمانی ۲۰۰۸، ۲۰۰۶، ۲۰۰۲ میلادی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای»، پژوهش‌های محیط زیست، د ۱، ش ۱، ص ۲۳ - ۳۳.
- فیضی‌زاده، بختیار؛ سید محمود حاجی‌میررحیمی (۱۳۸۷). «آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از روش طبقه‌بندی شیء‌گرا (مطالعه موردی: شهرک اندیشه)»، همایش ژئوماتیک ۸۷ و چهارمین همایش یکسان‌سازی نام‌های جغرافیایی، تهران، <https://civilica.com/doc/37046>.
- شریفی، لیلا؛ علی‌اکبر رسولی؛ میراسدالله حجازی؛ هاشم رستم‌زاده (۱۳۹۲). «آشکارسازی تغییرات کاربری/ پوشش اراضی با پردازش شیء‌گرای تصاویر ماهواره‌ای (مطالعه موردی: شهرستان تبریز)»، جغرافیا و برنامه‌ریزی، د ۱۷، ش ۴۴، ص ۲۰۳ - ۲۱۴.
- محمدی، محمود؛ احسان مالکی‌پور؛ علی‌رضا صاحب‌قرانی (۱۳۹۲). «مدل‌سازی گسترش شهر در اراضی پیرامون با استفاده از سلول‌های خودکار و فرایند تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی:

منطقه ۷ اصفهان»، مطالعات و پژوهش‌های شهری و منطقه‌ای، د ۵، ش ۱۸، ص ۱۷۵ - ۱۹۲.

References

- Arkhi, S. & Adibnejad, M. (2018). "Performance evaluation of support vector machine algorithms for land use classification using ETM Landsat satellite data (case study: Ilam Dam Basin)", *Pasture and Desert Research*, Vol. 18, No. 3, pp. 420-440. (in Persian)
- Ahad-Nejad Roshti, M. & Zulfiali, H. (1390). "Physical assessment and prediction of cities using multi-temporal satellite images and geographic information system (case study: Ardabil city 1363-1400)", *Amash Mohit Quarterly*, Vol. 18, No. 15, pp. 107-124. (in Persian)
- Alimohammadi, A., Matkan, A., & Mirbagheri, B. (2010). "The Evaluation of CELLULAR AUTOMATA model efficiency in simulation of urban areas development (Case study: suburbs of south west of Tehran)", *J. Spat. Plan.*, (Modares Human Sciences), 14(2), pp. 81-102. (in Persian)
- Aslah, M., Al-Madrasi, S. A., & Mofidifar, M. (2015). "Investigating the effectiveness of the Markov chain model in estimating land use and land cover changes using Landsat satellite images", *The First National Conference On The Application Of Advanced Spatial Analysis Models (remote sensing and GIS in land use, Tehran)*. (in Persian)
- Ebrahimi, P., Islah, M., & Salimi-Kochi, J. (2015). "Investigating the effectiveness of the Markov chain model in estimating land use and land cover changes using Landsat satellite images", *Iranian Journal of Watershed Science and Engineering*, Vol. 10, No. 34, pp. 85-92. (in Persian)
- Faizizadeh, B. & Haji-Mirrahimi, S. M. (2007). "Revealing land use changes using the object-oriented classification method (case study: Shahrek Andisheh)", 87th Geomatics Conference and the 4th Conference on Unification of Geographical Names, Tehran, <https://civilica.com/doc/37046>. (in Persian)
- 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*, 22(2), pp. 3761-3772.
- Mohammadi, M., Malikipour, E., & Sahibgharani, A.R. (2012). "Modeling the expansion of the city in the surrounding lands using automatic cells and hierarchical analysis process (Case study: Isfahan Region 7)", *Urban and Regional Studies and Researches*, Vol. 5, No. 18, pp. 175-192. (in Persian)
- Rimal, B., Zhang, L., Keshtkar, H., Haack, B.N., Rijal, S., & Zhang, P. (2018). "Land Use/Land Cover Dynamics and Modeling of Urban Land Expansion by the Integration of Cellular Automata and Markov Chain", *ISPRS Int. J. Geo-Inf*, 7(4), pp. 141-154.
- Sharifi, L., Rasouli, A.A., Hijazi, M.A., & Rostamzadeh, H. (2012). "Revealing land use/cover changes with object-oriented processing of satellite images (case study: Tabriz city)", *Scientific Journal of Geography and Planning, period*, 17, No. 44, pp. 203-214. (in Persian)
- Traore, A., Mawenda, J., & Komba, A. (2018). "Land-Cover Change Analysis and Simulation in Conakry (Guinea), Using Hybrid Cellular-Automata and Markov Model", *Urban Sci.*, Vol. 2, Issue 2, automaton and Markov model, *Ecological Modelling*, No.

- 222, pp. 3761-3772.
- Yuan, D., Elvidge, C.D., & Lunetta, R.S. (1998). "Survey of Multispectral Methods for Land Cover Change Analysis", in: Lunetta, R.S. & Elvidge, C.D. (Eds.), *Remote Sensing Change Detection: Environmental Monitoring, Methods and Application*, Taylor and Francis Ltd., pp. 21-39.
- Xue, J. & Su, B. (2017). "Significant remote sensing vegetation indices: A review of developments and applications", *Journal of Sensors*, pp. 1-18.
- Zou, Q. & Liang, SH. (2015). "Effects of dams on river flow regime based on IHA/RVA", *Proceeding of Remote Sensing and GIS for Hydrology and Water Resources IAHS Publications Guangzhou*, (368), pp. 275-280.
- ZaberDast, L., Jafari, H.R., Badian, Z., & Ashegh-Muala, M. (2009). "Evaluation of changes in the land cover of Arsbaran Protected Area during the period of 2008, 2006, 2002 AD using satellite images", *Environmental Research*, Vol. 1, No. 1, pp. 23-33.

