

## پیش‌بینی و تحلیل عدم قطعیت تغییرات کاربری اراضی در حوضه زرينه‌رود

غلامعباس سهولی<sup>1</sup>، مجید دلاور<sup>2\*</sup>، محسن قمری اصل<sup>3</sup>

تاریخ دریافت: 1395/2/4 تاریخ پذیرش: 1395/6/10

### چکیده

تغییرات کاربری اراضی از جمله مؤلفه‌های اصلی در مطالعات منابع آب و به عنوان یکی از دلایل اصلی کاهش جریان ورودی به دریاچه ارومیه مطرح گردیده است. برآوردی از چشم‌انداز این تغییرات در آینده با توجه به روند احتمالی آن‌ها و همچنین سیاست‌گذاری‌های انجام شده در حوضه، می‌تواند در تصمیم‌گیری مؤثر و چاره‌اندیشی برای رفع بحران زیست محیطی دریاچه ارومیه بسیار کارساز باشد. در مطالعه حاضر تلاش شده است تا ضمن استخراج و بررسی تغییرات تاریخی کاربری اراضی در حوضه زرينه‌رود با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، چشم‌اندازی از آینده تغییرات کاربری اراضی ارائه گردد. ارزیابی‌های به عمل آمده در استان‌های موجود در حوضه زرينه رود، به طور متوسط بیش‌ترین تغییرات را در راستای افزایش کاربری‌هایی همچون کشت آبی (40 درصد) و باغات (57 درصد) و همچنین در جهت کاهش اراضی مرتعی (5 درصد) و کشت دیم (10 درصد)، در سال 2013 نسبت به سال 2000، نشان می‌دهد. این روند تغییرات برای افق 2020 نیز مشاهده شده است. تحلیل عدم قطعیت نتایج حاصل از پیش‌بینی کاربری اراضی در افق 2020 نیز حاکی از آن است که کاربری‌های کشت آبی، دیم و باغ به ترتیب با اطمینان‌پذیری 73، 85 و 48 درصد، دارای بیش‌ترین عدم‌قطعیت پیش‌بینی بوده‌اند.

واژه‌های کلیدی: پیش‌بینی، زرينه‌رود، سلول‌های خودکار، کاربری اراضی، عدم قطعیت

### مقدمه

همواره در اکوسیستم‌های طبیعی، بهره‌برداری از زمین و ایجاد تغییر در پوشش گیاهی آن‌ها نقش بسزایی در رفتار هیدرولوژیکی حوضه دارد. این رفتار گاه به صورت تغییراتی در رواناب خروجی از حوضه آبریز به چشم می‌آید. تغییرات کاربری اراضی به عنوان یکی از محرک‌های اصلی تغییرات هیدرولوژی حوضه آبریز شناخته می‌شود (Bronstert et al., 2002; Ott and Uhlenbrook., 2004). تغییرات کاربری اراضی و نحوه توسعه مکانی و زمانی آن متأثر از برهم‌کنش عوامل مختلفی از جمله عوامل سیاسی اقتصادی و بیوفیزیکی می‌باشد (Kaimowitz & Wrabka et al., 2004).

Angelsen (1998). برآوردی از چشم‌انداز آینده تغییرات کاربری اراضی گامی مؤثر در مدیریت پایدار منابع و تصمیم‌گیری و چاره‌اندیشی برای رفع بحران‌های ناشی از توسعه بی‌رویه کاربری‌ها خواهد بود. رویکرد آنالیز سناریوها برای تغییر در کاربری اراضی منطقه متناسب با روند توسعه منطقه، از جمله روش‌های معمول در مطالعات تغییرات کاربری اراضی محسوب می‌گردد (Bahremand et al., 2006; McColl and Aggett., 2007). رویکرد سناریوهای فرضی به محققین اجازه می‌دهد که به ارزیابی کلی روند تغییرات کاربری اراضی بپردازند اما این شیوه، اطلاعاتی در خصوص نحوه تغییرات کاربری‌ها و پراکنش احتمالی آن‌ها در آینده در اختیار قرار نمی‌دهد. برای مثال بهره‌مند و همکاران از رویکرد آنالیز سناریوها برای ارزیابی اثرات احیا جنگل‌ها بر روی هیدرولوژی حوضه استفاده کرده‌اند. آن‌ها دریافتند که افزایش 50% پوشش جنگلی باعث کاهش 12% پیک دبی خروجی از حوضه خواهد شد (Bahremand et al., 2006). مدل‌های داده محور از جمله این روش‌ها در به دست آوردن چشم‌اندازی از کاربری اراضی محسوب می‌گردند که بر مبنای برون‌یابی الگوهای تغییری که در گذشته نزدیک مشاهده شده‌اند، با ارائه محدود عوامل مؤثر بر این تغییرات، بنا نهاده شده‌اند (Stephene and Lambin., 2001). از جمله این مدل‌ها می‌توان به مدل شبکه‌های عصبی

همواره در اکوسیستم‌های طبیعی، بهره‌برداری از زمین و ایجاد تغییر در پوشش گیاهی آن‌ها نقش بسزایی در رفتار هیدرولوژیکی حوضه دارد. این رفتار گاه به صورت تغییراتی در رواناب خروجی از حوضه آبریز به چشم می‌آید. تغییرات کاربری اراضی به عنوان یکی از محرک‌های اصلی تغییرات هیدرولوژی حوضه آبریز شناخته می‌شود (Bronstert et al., 2002; Ott and Uhlenbrook., 2004). تغییرات کاربری اراضی و نحوه توسعه مکانی و زمانی آن متأثر از برهم‌کنش عوامل مختلفی از جمله عوامل سیاسی اقتصادی و بیوفیزیکی می‌باشد (Kaimowitz & Wrabka et al., 2004).

- 1- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه منابع آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، تهران
  - 2- استادیار، گروه منابع آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، تهران
  - 3- دکتری عمران نقشه برداری، گروه عمران، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران
- \* - نویسنده مسئول: (Email: m.delavar@modares.ac.ir)

متغیرهای ورودی بوده و لزوم توجه به این مسئله در برنامه‌ریزی‌های آتی حوضه امری انکار ناپذیر است. غالب روش‌ها و مطالعات ارائه شده به منظور پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی، بر مبنای برون‌یابی الگوهای تغییری در گذشته بنا نهاده شده‌اند و مسئله عدم قطعیت به عنوان نکته کلیدی تصمیم‌گیری‌ها در این مطالعات نادیده گرفته شده است. مطالعات محدودی به بررسی عدم قطعیت در استخراج چشم‌انداز کاربری اراضی پرداخته‌اند که از این جمله می‌توان به دمس و همکاران در سال 2008 اشاره کرد. آن‌ها برای مدل کردن تغییر کاربری اراضی، دو عدم قطعیت مختلف را از یکدیگر متمایز کردند که شامل: عدم قطعیت مربوط به مقدار و نوع تغییر کاربری اراضی که انتظار می‌رود و عدم قطعیت مربوط به تخصیص کاربری اراضی است (Dams et al., 2008). در مطالعه دیگری که بر روی اندازه‌گیری دقت و عدم قطعیت در پروژه‌های تغییرات کاربری اراضی مناطق جنگلی، توسط پالادینو و پونتیوس انجام شد، از یک تکنیک تصمیم عدم قطعیت، برای تحلیل عدم قطعیت در چشم‌انداز تغییر کاربری اراضی استفاده شده است. در این روش از شاخص کاپا<sup>8</sup> برای ارزیابی تطابق نقشه‌های چشم‌انداز و مشاهداتی و تعیین عدم قطعیت آن‌ها در مرحله صحت‌سنجی مدل استفاده شده و با برون‌یابی این شاخص احتمال شرطی تغییر کاربری اراضی در هر منطقه برآورد گردیده است (Paladino and Pontius., 2004). مصدقی و همکاران نیز در تحقیقی برای تحلیل عدم قطعیت در برنامه‌ریزی کاربری اراضی ساحلی در استرالیا از رویکرد تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) برای ارزیابی اثرات عدم قطعیت در هر یک از گام‌های فرآیند تصمیم‌سازی، استفاده کردند. در این مطالعه آنالیز عدم قطعیت در چارچوب MCDM، برای رسیدگی به عدم قطعیت محتوایی، انجام شده است. همچنین برای بررسی اثر عدم قطعیت در زمینه‌های مکانی از ترکیب قابلیت تحلیل مکانی GIS و الگوریتم شبیه‌سازی مونت‌کارلو استفاده شده است (Mosadeghi et al., 2013). با توجه به آنچه اشاره شد، تحقیق حاضر در پی بررسی نحوه توسعه کاربری‌های مختلف در حوضه زربینه رود، ارائه چشم‌اندازی از کاربری اراضی در افق 2020 و همچنین ارزیابی عدم قطعیت نقشه‌های تولیدی می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مطالعاتی

زیرحوضه آبریز زربینه‌رود، بزرگ‌ترین زیرحوضه درجه 2 از حوضه دریاچه ارومیه است که در موقعیت  $45^{\circ}47'$  تا  $47^{\circ}20'$  طول جغرافیایی و  $35^{\circ}41'$  تا  $37^{\circ}27'$  عرض جغرافیایی قرار دارد. این رودخانه 47

مصنوعی<sup>1</sup>، سلول‌های خودکار<sup>2</sup>، رگرسیون لجستیک<sup>3</sup> و زنجیره مارکوف<sup>4</sup> اشاره کرد. وو و همکاران از ترکیب مدل رگرسیونی و مارکوف برای بررسی و مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی در حوضه پکن<sup>5</sup> در کشور چین استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان‌دهنده کاهش شدید مراتع طی سال‌های 1986 و 2001 بوده که بیش‌تر در حومه شهرها رخ داده است. آن‌ها همچنین تغییرات کاربری اراضی را برای 20 سال آینده پیش‌بینی کردند (Wu et al., 2006). گلدوی برای مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی از روش رگرسیون لجستیک و GEOMOD استفاده کرد. برای این کار با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سال‌های 1988، 1998 و 2007 تغییرات کاربری اراضی منطقه گرگان را بررسی و سپس تغییرات را برای سال‌های 2016 و 2025 پیش‌بینی کرد. نتایج حاصل از این کار شاهدهی بر رشد مناطق شهری و کاهش اراضی جنگلی بود (گلدوی و همکاران، 1394). معاریان و همکاران در مطالعه‌ای بر روی حوضه هولولانگات<sup>6</sup> در مالزی با استفاده از مدل SWAT<sup>7</sup>، اثر تغییر کاربری اراضی را بر بیلان آبی حوضه بررسی کردند. آن‌ها با در نظر گرفتن وضعیت کاربری اراضی منطقه طی سه دوره زمانی (گذشته، حال و آینده)، اثر تغییرات کاربری را طی این سال‌ها بر روی خروجی حوضه بررسی کرده و دریافتند که شبیه‌سازی صورت گرفته برای دوره گذشته، در مقایسه با دوره پایه (حال)، نشان از کاهش معنی‌دار رواناب مستقیم ماهانه حوضه دارد. این در حالی است که پس از شبیه‌سازی تغییرات کاربری در آینده (یا استفاده از روش مارکوف و سلول‌های خودکار) و اجرای مجدد مدل، اثر این تغییرات (در مقایسه با دوره پایه) در جهت افزایش معنی‌دار رواناب مستقیم ماهانه حوضه بوده است. پس از مقایسه تغییرات حاصله در افق آینده کاربری‌ها در این منطقه، توسعه بسیار سریع کاربری شهری از علل عمده افزایش رواناب مستقیم حوضه تشخیص داده شد (Memaria et al., 2014). در تحقیق دیگری اولمدو و همکاران جهت ارزیابی کارایی مدل‌های تغییر کاربری زمین، عملکرد مدل سلول‌های خودکار و مدل‌سازی تغییرات زمین (LCM) را بررسی کردند. در این تحقیق آن‌ها با مقایسه نتایج حاصل از روش‌های مذکور و تغییرات موجود در منطقه، سعی در تعمیم نتایج جهت شبیه‌سازی تغییرات برای آینده را داشتند. آن‌ها برای اطمینان از صحت نتایج از واسنجی مدل‌ها در چند تاریخ استفاده کردند (Olmedo et al., 2015).

همواره پیش‌بینی کاربری اراضی تحت تأثیر عدم قطعیت

- 1- Artificial Neural Networks
- 2- Cellular automata
- 3- logistic regression
- 4- Markov chain
- 5- Bijng
- 6- Hulu Langat
- 7- Soil and Water Assesment Tools

احتمالی کاربری اراضی در آینده معرفی می‌گردد. در این روش ابتدا با استفاده از دو تاریخ متوالی و فاصله زمانی بین دو نقشه تاریخی، ماتریس احتمال انتقال بین کاربری‌های مختلف محاسبه و سپس با توجه به این ماتریس و نقشه‌های مطلوبیت متناسب با هر کاربری، چشم‌اندازی از تغییرات آینده کاربری اراضی با استفاده از روش سلول-های خودکار به دست خواهد آمد. در ادامه به جزئیات مربوط به هر مرحله اشاره می‌گردد.

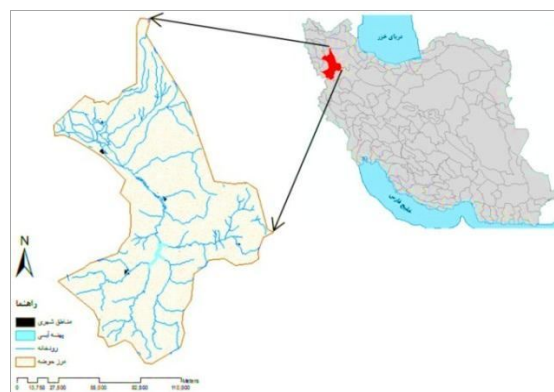
### تعیین ماتریس احتمال کاربری‌ها با استفاده از روش مارکوف

مدل سازی مارکوف (زنجیره مارکوف) یک تکنیک شبیه‌سازی است که برای تحلیل تغییرات کاربری زمین مورد استفاده قرار گرفته است (برباسولیس، ترجمه رفیعیان و محمودی، 1389). در این روش احتمال وقوع هر سلول از نقشه کاربری اراضی در فاصله زمانی داده شده به صورت زنجیره مارکوف و به زمان گذشته وابسته است (Sisson et al., 2007). هر زنجیره مارکوف متشکل از تعدادی از احتمالات تغییر<sup>6</sup> می‌باشد. بنابراین مدل‌هایی که بر پایه این روش استوار هستند، توانایی طبقه‌بندی اطلاعات پیچیده را در قالب جداول تغییر وضعیت، دارند. با استفاده از این روش می‌توان سیستم‌های بسیار پیچیده و مرکب را که در آن فرآیندهای اساسی قابل شناسایی نیستند شبیه‌سازی نمود (Balzter., 2000). روش مارکوف این امکان را فراهم می‌آورد تا توزیع مساحتی کاربری زمین در انتهای یک دوره زمانی با استفاده از توزیع کاربری در ابتدای دوره و هم‌چنین یک ماتریس تغییر وضعیت که نشان‌دهنده تغییرات کاربری‌ها در طول دوره زمانی مورد نظر است، پیش‌بینی شود. ماتریس مذکور با توجه به تغییرات مشاهده شده در گذشته بدست آمده و برای پیش‌بینی تغییرات در آینده به کار می‌رود (Brown et al., 2000). با این فرض که برای یک مجموعه از حالات گسسته (انواع کاربری‌ها)، sn, ..., s1, s2, وجود دارد. این فرآیند در یک زمان معین تنها می‌تواند یکی از حالات را داشته باشد. در طول زمان ممکن است کاربری هر سلول از یک حالت به حالت دیگر تبدیل شود. احتمال جابه‌جایی از حالت i به حالت j احتمال انتقال P<sub>ij</sub> نامیده می‌شود و برای هر ترتیبی از سری حالات داده می‌شود. این احتمالات می‌تواند به شکل ماتریس انتقال P نشان داده شود. این ماتریس به شکل رابطه 1 است (رفیعیان و محمودی، 1389):

$$P = \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{n1} & P_{n2} & \dots & P_{nn} \end{pmatrix} \quad (1)$$

از آنجا که عناصر ماتریس غیرمنفی هستند و جمع عناصر در هر

درصد حجم آب ورودی به دریاچه ارومیه را تامین می‌کند. وسعت این حوضه بالغ بر 12025 کیلومتر مربع بوده و رودخانه اصلی آن دارای طول 300 کیلومتر می‌باشد. هم‌چنین شهرهای میاندوآب، صائین‌دژ، تکاب و سقز از کانون‌های مهم شهری این حوضه هستند (احمدزاده و همکاران، 1391).



شکل 1- منطقه مورد مطالعه

در این مطالعه جهت استخراج نقشه کاربری اراضی حوضه زرينه‌رود از تصاویر ماهواره‌ای (لندست و سنجنده تی ام 1 و ای تی ام پلاس 2)، استفاده شده است. این تصاویر در چهار تاریخ مختلف (1987، 2000، 2007 و 2013) و هر کدام در دو زمان (اواخر بهار و اوایل پاییز)، تهیه و از پایگاه داده‌های سازمان هوا و فضای ایالات متحده<sup>3</sup> اخذ شده‌اند. در تحقیق حاضر 7 کلاس کاربری شامل: الف) مناطق آبی، ب) مناطق شوره‌زار و بایر، پ) مناطق شهری، ت) مناطق کشت دیم، ث) مناطق کشت آبی، ج) مناطق باغی و چ) مناطق مرتعی در نظر گرفته شده و در محیط نرم‌افزار ENVI، طبقه‌بندی تصاویر با استفاده از روش حداکثر احتمال<sup>4</sup> انجام شده است. پیش از آن تصحیحات اتمسفری با توجه به نیاز، بر روی تصاویر اجرا شده است.

### روش مارکوف - سلول‌های خودکار (CA-Markov)

این روش تلفیقی از سلول‌های خودکار، زنجیره مارکوف و تخصیص چندمنظوره اراضی<sup>5</sup> بوده و از جمله روش‌های کارا در زمینه پیش‌بینی چشم‌انداز کاربری اراضی می‌باشد. در این روش احتمال انتقال هر کاربری به کاربری دیگر با استفاده از روش مارکوف محاسبه شده و به مدل سلول‌های خودکار جهت برآورد نقشه تغییرات

1- TM

2- ETM+

3- <http://earthexplorer.usgs.gov>

4- Maximum likelihood

5- Multi Objective Land Allocation

6- Transition probabilities

$$sgn(x) = \begin{cases} +1 & \text{if } x > 0 \\ 0 & \text{if } x = 0 \\ -1 & \text{if } x < 0 \end{cases} \quad (3)$$

آماره آزمون و احتمال وقوع مرتبط با آن توسط معادلات 4 و 5 محاسبه خواهند شد.

$$K_N = \max_{1 \leq t \leq N} |U_{t,N}| \quad (4)$$

$$P \cong 2 \exp \left\{ -\frac{6(K_N)^2}{(N^3 + N^2)} \right\} \quad (5)$$



شکل 3 - چارچوب کلی برای روش تعمیم عدم قطعیت

در این مرحله به تحلیل عدم قطعیت نتایج حاصل از مدل چشم‌انداز کاربری اراضی پرداخته می‌شود. تحلیل عدم قطعیت کاربری اراضی با توجه به نقشه‌های کاربری اراضی به دست آمده و با استفاده از روش تعمیم عدم قطعیت (Pontius and Paladino., 2004) انجام می‌گیرد. در شکل 3 چارچوب کلی از فرایند تحلیل عدم قطعیت کاربری اراضی نشان داده شده است.

### تحلیل عدم قطعیت

طبق چارچوب ارائه شده در شکل فوق، ابتدا با استفاده از سه لایه داده‌های ورودی (دو نقشه کاربری در تاریخ‌های متوالی، نقشه مطلوبیت از حیث توسعه کاربری‌ها و ماتریس احتمال انتقال هر کدام از کاربری‌ها) برای سال‌های 2007، 2013 و 2020 و معرفی آن‌ها به مدل چشم‌انداز کاربری اراضی، نقشه کاربری برای سال‌های مذکور شبیه‌سازی شده است. در ادامه با توجه به نقشه‌های کاربری استخراج‌شده برای سال‌های 2007 و 2013، میزان اعتبار نقشه‌های شبیه‌سازی شده توسط شاخص کاپا، مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در انتها با استفاده از برون‌یابی شاخص‌های به دست آمده برای سال‌های 2007 و 2013 (رابطه 6)، شاخص کاپا برای سال 2020 و هم‌چنین دامنه عدم قطعیت نقشه تولید شده، به دست می‌آید (Pontius et al., 2003).

ردیف برابر 1 است، هر عنصر از ماتریس یک بردار احتمال نامیده می‌شود و ماتریس P یک ماتریس احتمال است (Clark., 1965).

### پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی با مدل سلول‌های خودکار

مدل سلول‌های خودکار یک تکنیک مدل‌سازی است که در فضای رستری تعریف می‌شود (Mitsova et al., White et al., 1997). این مدل از پویایی و گسستگی برخوردار است که در مدل‌سازی رخداد‌های طبیعی و انسانی به کار می‌رود. فضایی که در آن فرآیند روش سلول‌های خودکار اجرا می‌شود، شبکه سلولی نام دارد. هر سلول و تعدادی سلول در شعاع خاصی از آن، تشکیل یک همسایگی را می‌دهند (شکل 2) که این همسایگی محل اجرای روش ذکر شده برای هر سلول می‌باشد. در این روش با استفاده از یک سری قوانین (قوانینی که تعیین‌کننده رفتار سلول‌ها طی فرآیند تکامل بوده و وضعیت آینده سلول را تعریف می‌کنند)، حالات سلول‌ها در طول زمان تغییر می‌کند. در مدل فوق زمان به صورت بازه‌هایی جدا از هم تعریف شده است و تعداد این بازه‌های زمانی بسته به هدف مدل‌سازی، متفاوت می‌باشد (رضا زاده و میر احمدی، 1388). در تحقیق حاضر از 5 تکرار و نرم‌افزار IDRISI جهت مدل‌سازی استفاده شده است.



شکل 2 - همسایگی 3x3 در مدل دو بعدی

### نقطه تحول با استفاده از آزمون پتیت<sup>1</sup>

به منظور بررسی ارتباط تغییرات کاربری اراضی با روند هیدرولوژی حوضه آبریز، در این تحقیق از روش غیر پارامتری پیشنهاد شده توسط (pettitt., 1979) جهت ارزیابی روند داده‌های دبی خروجی و هم-چنین یافتن نقطه تحول احتمالی در سری داده‌ها، استفاده شده است. این روش زمان وقوع تغییر معنی‌دار در میانگین سری‌های زمانی را مشخص می‌کند. آماره آزمون  $U_{t,N}$  که آزمون می‌کند که آیا دو مجموعه نمونه  $X_1, \dots, X_t$  و  $X_{t+1}, \dots, X_N$  از یک جامعه آماری هستند به صورت رابطه 2 تعریف می‌گردد (Gao et al., 2011).

$$U_{t,N} = U_{t-1,N} + \sum_{j=1}^N sgn(X_t - X_j) \quad (2)$$

$t=2, \dots, N$

N در رابطه فوق تعداد کل مشاهدات،  $x_t$  مجموعه اول و  $x_j$  مجموعه دوم می‌باشد. تابع علامت نیز بر اساس رابطه 3 محاسبه می‌شود (قدوسی و همکاران، 1392).

1- Pettett

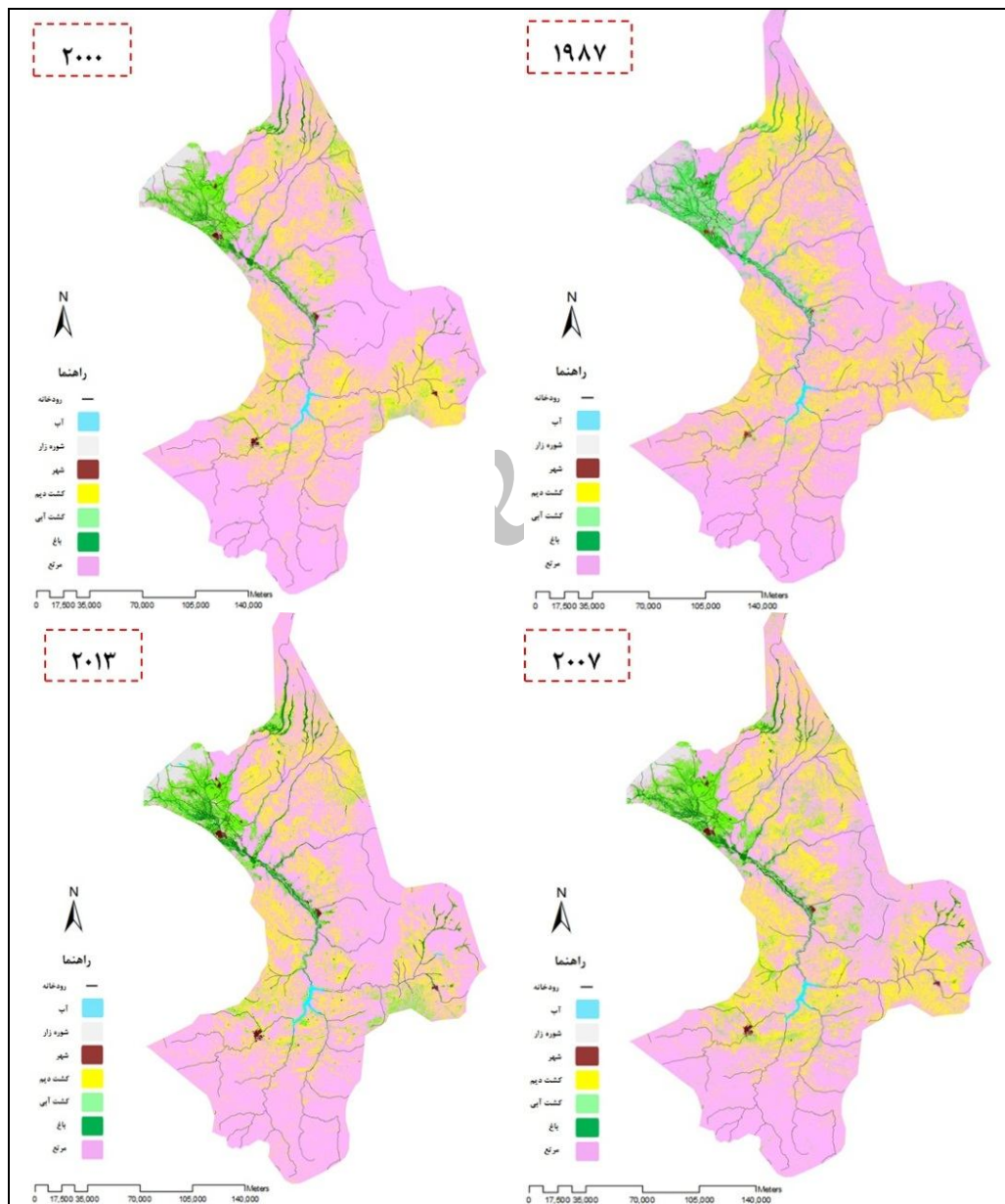
سال 2013، k بیانگر مشخصه کاربری اراضی مربوط به سال 2020 و  $P(j|MK)$  احتمال پیش‌بینی کاربری با مشخصه k توسط مدل برای یک سلول است که در سال پایه دارای کاربری با مشخصه j بوده است.  $Q_j$  برابر است با نسبت کاربری با مشخصه j به کل کاربری‌ها در سال 2013 و در نهایت  $K_{location}$  مربوط است به شاخص کاپا برای هر کاربری در سال 2020. این محاسبات در محیط نرم‌افزار Excel صورت گرفته است.

$$K_{location} = (M - Y) / (Z - Y) \quad (6)$$

بر اساس معادله 7، برآورد شاخص کاپا برای سال 2020، این امکان را فراهم می‌کند تا ارزیابی احتمال این که طبقه‌بندی هر کاربری در آینده به‌درستی انجام شده است، میسر باشد. هم‌چنین در این رابطه احتمال این که مدل کاربری را درست پیش‌بینی نکرده باشد نیز قابل شناسایی است (Pontius and Paladino., 2004).

$$P(j|MK) = \begin{cases} Q_j + [K_{location} * (1 - Q_j)] & , j = k \\ Q_j * (1 - K_{location}) & , j \neq k \end{cases} \quad (7)$$

در رابطه 7 z بیانگر مشخصه (نوع) کاربری اراضی مربوط به



شکل 4 - نقشه کاربری استخراج‌شده برای سال‌های مورد مطالعه



## نتایج

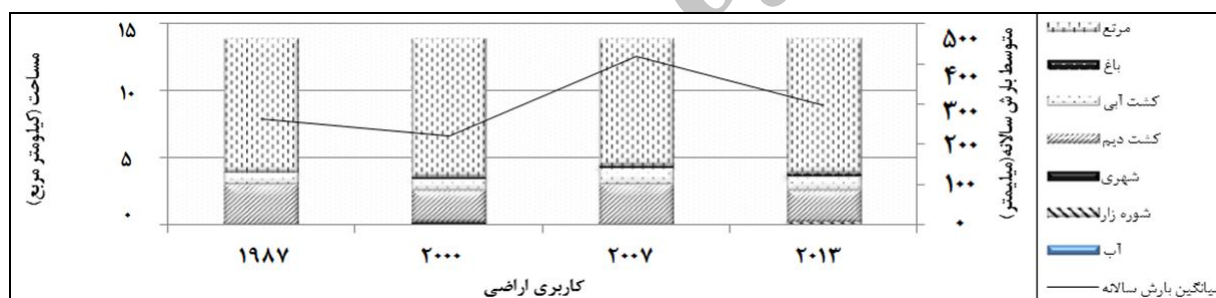
### بررسی تغییرات کاربری اراضی در دوره تاریخی

نقشه کاربری اراضی برای حوضه مورد با استفاده از طبقه‌بندی پیکسل پایه و روش حداکثر فراوانی استخراج شده است (شکل 4). این روش فرآیندی احتمالاتی است که طی آن پیکسل‌هایی که بیش‌ترین احتمال قرارگیری در یک کلاس را دارند، در آن دسته طبقه‌بندی خواهند شد (Pannu and Read., 1996). همان‌طور که در نقشه کاربری در سال‌های مورد مطالعه دیده می‌-

شود، بیش‌ترین توسعه‌ها مربوط به اراضی کشاورزی و در نواحی اطراف شهرها و در امتداد رودخانه‌ها می‌باشد. در این بین توسعه باغات و کشت آبی مشهودتر می‌باشد. برای مثال پس از آبیگری و افتتاح سد ساروق (گوگردچی) در شهرستان تکاب در سال 2009، کشت آبی در پایین‌دست سد به سبب فراهم شدن آب کافی، افزایش یافته است (شکل 4). جهت مقایسه هم‌زمان تغییرات هر کدام از کاربری‌ها، نمودار کلی در شکل 5 ارائه شده است.

جدول 1 - مساحت کاربری‌های مختلف در سال‌های مورد مطالعه

کاربری	1987		2000		2007		2013	
	KM <sup>2</sup>	%	KM <sup>2</sup>	%	KM <sup>2</sup>	%	KM <sup>2</sup>	%
آب	46/7	0/33	36/4	0/26	43/9	0/31	63/9	0/46
شوره زار	141/5	1/01	209/2	1/49	154/7	1/10	197/3	1/41
شهری	32/5	0/23	44	0/31	45	0/32	61/3	0/44
کشت دیم	2899/4	20/69	2385/5	17/02	2843/5	20/29	2320/5	16/56
کشت آبی	819/9	5/85	832/1	5/94	1209/1	8/63	1034/4	7/38
باغ	119/5	0/85	164/5	1/17	259/2	1/85	278/9	1/99
مرتج	9954/9	71/03	10342/6	73/80	9459	67/49	10057/9	71/77



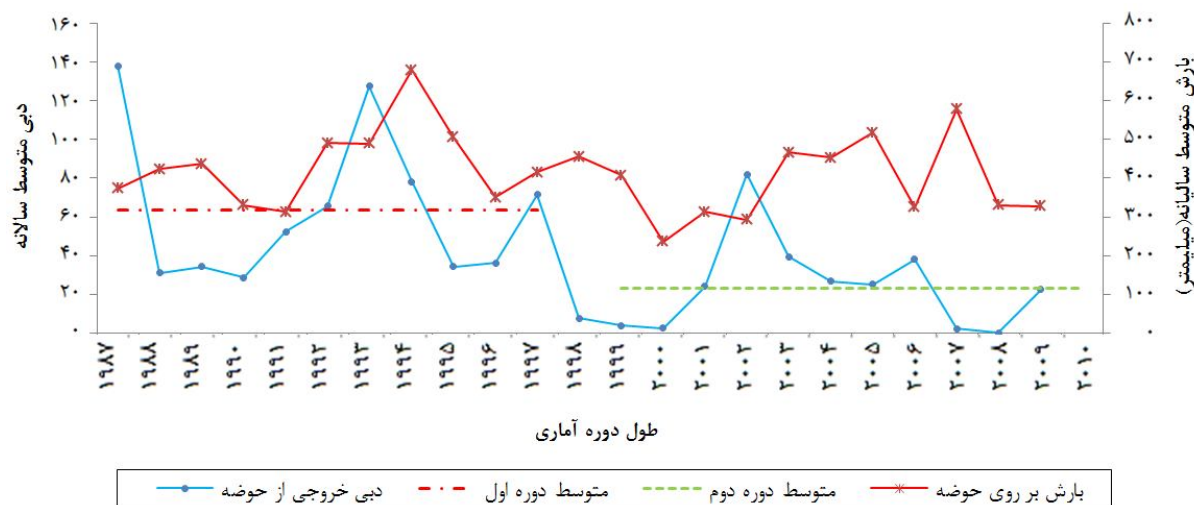
شکل 5 - نمودار مساحت کاربری اراضی از سال 1987 تا 2013

با توجه به تغییرات صورت گرفته در روند کلی دبی خروجی از حوضه، در تحقیق حاضر تغییرات کاربری اراضی در دو دوره (1987 تا 2000 و 2000 تا 2013) مورد ارزیابی قرار گرفته است. تغییرات مربوط به دوره‌های مذکور به تفکیک استان‌های واقع در حوضه، در جدول 2 ارائه شده است.

### ارزیابی تغییرات کاربری اراضی در دوره 1987-2000

طبق جدول شماره 2 در این دوره مساحت کاربری‌های آب و کشت دیم در همه استان‌ها افت محسوسی داشته و کشت آبی نیز تنها در مجموع حدود 1 درصد رشد دارد.

طبق نمودار شکل 5 مشاهده می‌شود جهت کلی تغییرات کاربری‌ها از سال 1987 تا 2013، به گونه‌ای است که منجر به افزایش کاربری شهری، آبی، شوره‌زار، باغ، کشت آبی، مرتج و البته در جهت کاهش کاربری کشت دیم است. به‌منظور بررسی ارتباط این تغییرات با هیدرولوژی حوضه آبریز روند سری زمانی بارش متوسط و جریان خروجی از حوضه در ایستگاه نظام‌آباد مورد بررسی قرار گرفت (شکل 6). بررسی تغییرات بارش در حوضه حاکی از آن است که تغییرات بارش در این سال‌ها روند خاصی ندارد. اما سری زمانی جریان خروجی از حوضه دارای روند معنی‌داری در سطح احتمال 5 درصد می‌باشد. طبق نتایج استخراج شده از آزمون پتیت، نقطه تحول سری زمانی دبی خروجی از حوضه در سال 1997 تشخیص داده شد.



شکل 6 - نمودار متوسط دبی خروجی حوضه زرينه رود

جدول 2 - درصد تغييرات کاربری های مختلف در استان های منطقه مورد مطالعه

آذربایجان شرقی							
مرتع	باغ	کشت آبی	کشت دیم	شهری	شوره زار	آب	
158/42	21/97	88/17	-367/99	1/7	100/46	-2/74	1 KM <sup>2</sup>
4/2	18/6	12/8	-25/6	5/6	54/6	-46/9	%
-334/72	104/92	23/66	195/97	13/95	-11/76	7/98	2 KM <sup>2</sup>
-8/6	75	3/0	18/3	43/7	-4/1	256/2	%
آذربایجان غربی							
مرتع	باغ	کشت آبی	کشت دیم	شهری	شوره زار	آب	
439/77	46/57	3/95	-494/59	10/32	7/17	-13/21	1 KM <sup>2</sup>
7/8	69/5	0/8	-21/5	91/9	19/2	-30/1	%
-44/52	71/84	183/24	-239/32	8/25	-6/16	26/66	2 KM <sup>2</sup>
-0/7	63/2	37	-13/3	38/3	-13/8	87	%
کردستان							
مرتع	باغ	کشت آبی	کشت دیم	شهری	شوره زار	آب	
12/12	-1/08	-56/58	40/77	6/21	-1/01	-0/44	1 KM <sup>2</sup>
0/2	-23/1	-56	4/8	61/5	-62/3	-1/8	%
-34/05	-2/25	111/6	-88/97	5/39	-0/57	8/87	2 KM <sup>2</sup>
-0/6	-62/3	250/8	-10	33	-92	36/7	%
زنجان							
مرتع	باغ	کشت آبی	کشت دیم	شهری	شوره زار	آب	
9/11	3/95	-15/7	2/38	0/24	0	0/008	1 KM <sup>2</sup>
1/6	395/5	-81/1	10/9	1053/8	0	900	%
-39/63	7/19	1/41	31/08	-0/072	0/012	-0/0009	2 KM <sup>2</sup>
-6/8	181/9	38/6	128/5	-26/7	1/3	-10	%

عبارت دارای علامت منفی بیانگر کاهش و عبارات بدون علامت منفی، معرف افزایش مقادیر می باشد - km<sup>2</sup>: کیلومتر مربع

درصد داشته است. باغات به دلیل استفاده از منابع آب زیرزمینی جهت آبیاری آن ها همواره نسبت به بارندگی، دیرترین واکنش را در میان سایر کاربری ها دارند. تغییرات این کاربری در جدول 2 برای تمامی استان ها نشان داده شده است. در این بین تغییرات حاصل شده در

از جمله دلایل اصلی کاهش محسوس کشت دیم در منطقه، کاهش نسبی بارش طی دوره مذکور (شکل 5) می باشد. هم چنین در این دوره شوره زار در استان های آذربایجان شرقی و غربی گسترشی 54/6 و 19/2 درصدی و در استان کردستان کاهش بالی بر 62/3

کردستان کاهشی و به میزان 62/3 درصد بوده است. با توجه به جدول شماره 2 مراتع موجود در هر استان تغییرات زیادی نداشته‌اند که این امر بیانگر این است که تغییرات کاربری‌های بیش‌تر تبدیل آن‌ها به یکدیگر بوده و تبادل چندانی با مراتع نداشته‌اند.

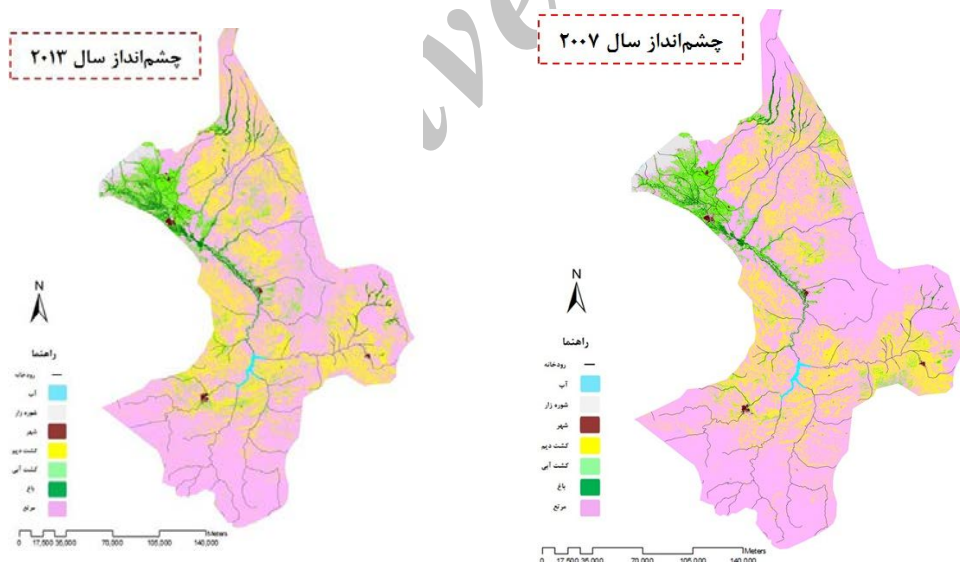
### ارزیابی روش مارکوف - سلول‌های خودکار در پیش‌بینی کاربری اراضی

به منظور ارزیابی روش مارکوف - سلول‌های خودکار در پیش‌بینی کاربری اراضی، نقشه‌های کاربری اراضی سال‌های 2007 و 2013 استخراج شده است. برای این کار ابتدا با استفاده از نقشه کاربری در دو تاریخ متوالی (1987 و 2013) و فاصله زمانی بین آن‌ها، ماتریس احتمال انتقال بین کاربری‌های مختلف از طریق روش مارکوف محاسبه شده است. سپس نقشه‌های مطلوبیت هر کاربری از حیث توسعه آن‌ها تهیه شده است. نقشه‌های مطلوبیت متناسب با روند پیشروی هر کاربری و با توجه به ضریب اهمیت مکانی آن‌ها در جهات مختلف، تولید می‌شوند. پس از انجام فرآیند فوق با استفاده از نقشه پایه کاربری اراضی سال‌های 2000 و 2007 به ترتیب نقشه‌های چشم‌انداز کاربری اراضی سال‌های 2007 و 2013 استخراج و با نقشه‌های مشاهداتی مقایسه گردید (شکل 7).

مساحت کاربری‌هایی هم‌چون کشت دیم، کشت آبی، شوره‌زار و مرتع، به خوبی اثر کم آبی در دوره مذکور را تأیید می‌نمایند.

### ارزیابی تغییرات کاربری اراضی در دوره 2000-2013

در این دوره میزان بارش‌ها قدری افزایش یافته و دبی خروجی از حوضه نیز دارای روند یکنواخت‌تری نسبت به دوره قبل می‌باشد. همان‌طور که از نقشه کاربری موجود در شکل 4 و همچنین شکل 5 نیز مشاهده می‌شود، همه کاربری‌ها رشد مثبتی داشته و در عوض شوره‌زار و مرتع با کاهش مساحت، نسبت به دوره قبل مواجه هستند. با توجه به نمودار تغییرات کاربری در دوره دوم، در همه استان‌ها به جز زنجان افزایش مساحت کاربری آبی (درصد تغییرات در جدول شماره 2) و کاهش مناطق شوره‌زار به چشم می‌خورد. کشت دیم در استان‌های زنجان و آذربایجان شرقی به ترتیب 128/5 و 18 درصد نسبت به سال 2000 افزایش داشته و این در حالی است که در آذربایجان غربی و کردستان کاهش 13/3 و 10 درصدی دارند. کشت آبی در حال افزایش و به ترتیب برای استان‌های آذربایجان شرقی، غربی، کردستان و زنجان به میزان 3، 37، 250/8 و 38 درصد بوده که بیش‌ترین افزایش مربوط به استان کردستان است. مانند دوره اول در این دوره نیز باغات توسعه بیش‌تری داشته‌اند به طوری که در استان‌های آذربایجان شرقی و غربی 75 و 63/2 درصد و در استان زنجان نیز 181 درصد افزایش سطح داشته‌اند این نسبت برای استان



شکل 7 - نقشه‌های چشم‌انداز استخراج‌شده از طریق روش CA\_MARKOV

کدام از کاربری‌ها استفاده گردید (جدول 3 و 4). خطای تولید کننده و مصرف کننده عبارتند از نسبت پیکسل‌های اشتباه طبقه‌بندی شده به کل پیکسل‌ها و برای هر کاربری قابل محاسبه می‌باشد. شاخص کاپا نیز جهت اندازه‌گیری میزان توافق بین نقشه کاربری تولید شده و

جهت ارزیابی دقت پیش‌بینی‌های انجام شده از ماتریس خطا و شاخص‌های دقت کلی (این شاخص نشان دهنده دقت کل نقشه بوده و برابر است با نسبت مناطق درست طبقه‌بندی شده به کل منطقه)، خطای تولید کننده (OE) و خطای مصرف کننده (CE) و کاپا بری هر



مشاهداتی می‌باشد (زارع چاهوکی و همکاران، 1393).

جدول 3 - ماتریس خطا و شاخص کاپای کلی و جزئی سال 2007

کاپا	CE	جمع	مرتع	باغ	کشت آبی	کشت دیم	شهری	شوره‌زار	آب	چشم انداز مشاهده
0/99	0/00	21318142	5674	1183	2571	414	32	1169	21307099	آب
0/89	0/4	253884	75784	713	20118	1207	2571	152105	1386	شوره‌زار
0/6	0/47	58177	14318	1696	9858	1083	30310	661	251	شهری
0/43	0/39	2488789	877251	1301	109734	1498816	779	798	110	کشت دیم
0/33	0/5	960338	232521	136574	470640	105540	7517	5324	2222	کشت آبی
0/4	0/57	278163	20960	117475	127031	10925	184	25	1563	باغ
0/83	0/19	11440234	9250984	28192	599251	1537364	8573	9658	6212	مرتع
		36797727	10477492	287134	1339203	3155349	49966	167940	21318843	جمع
	0/10		0/12	0/59	0/65	0/52	0/4	0/1	0	OE
0/81			0/73	0/41	0/47	0/56	0/52	0/6	0/99	کاپا

جدول 4 - ماتریس خطا و شاخص کاپای کلی و جزئی سال 2013

کاپا	CE	جمع	مرتع	باغ	کشت آبی	کشت دیم	شهری	شوره‌زار	آب	چشم انداز مشاهده
0/99	0	21326428	4058	1240	2553	295	11	1220	21317051	آب
0/84	0/14	193933	16105	35	8481	74	1578	164978	2682	شوره‌زار
0/66	0/33	59218	6633	1580	9230	665	39245	1664	201	شهری
0/47	0/49	2996348	1293978	10998	163758	1525613	1077	318	606	کشت دیم
0/39	0/58	1378275	514394	105741	571560	148889	11901	19822	5968	کشت آبی
0/47	0/52	382940	25577	183425	160182	9088	657	118	3893	باغ
0/83	0/11	10460585	9281904	6160	229158	890329	13661	28728	10645	مرتع
		36797727	11142649	309179	1144922	2574953	68130	216848	21341046	جمع
	0/1		0/17	0/4	0/5	0/4	0/42	0/24	0	OE
0/82			0/76	0/59	0/48	0/55	0/57	0/76	0/99	کاپا

از دقت قابل قبولی برخوردار است. جهت مقایسه نتایج حاصل از روش تلفیقی مارکوف و سلول‌های خودکار، مساحت مربوط به هر یک از کاربری‌های پیش بینی شده، با میزان مساحت همان کاربری، در نقشه‌ای که از قبل استخراج شده، ارائه گردیده است (جدول 5).

همان‌طور که در جداول 3 و 4 نیز دیده می‌شود، میزان خطای کلی در نقشه سال 2007 به میزان 10/79 درصد بوده و این خطا در سال 2013 به 10/09 درصد کاهش یافته است. هم‌چنین میزان شاخص کاپا در سال 2007، 0/81 و در سال 2013، 0/82 است که

جدول 5 - مساحت و مشخصات چشم‌انداز سال 2007 و 2013

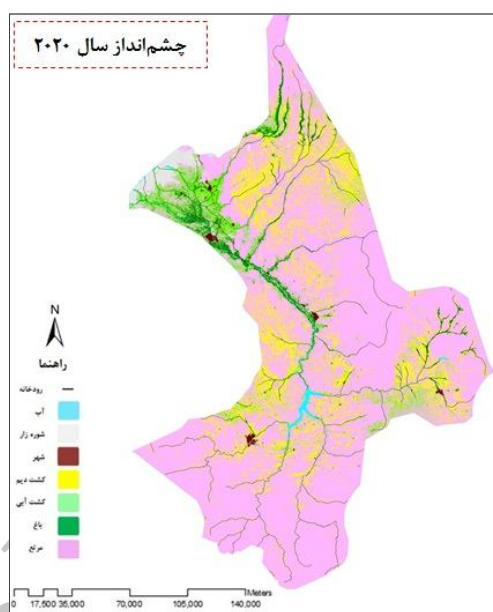
کاربری	2007		2013	
	تفاضل چشم‌انداز و واقعیت	درصد تفاضل	مساحت (KM <sup>2</sup> )	تفاضل چشم‌انداز و واقعیت
آب	0/1	33	56/79	-12/41
شوره‌زار	75/7	14	174/46	-20/6
شهری	7/39	-26	53/27	-8/01
کشت دیم	-599/5	-39	2695/59	379/19
کشت آبی	-340/8	-3	1239/93	209/9
باغ	-8/07	8	344/5	66/35
مرتع	865/1	33	9410/63	-416/49

با استفاده از نقشه کاربری اراضی سال 2013، اقدام به استخراج نقشه چشم‌انداز کاربری اراضی در سال 2020 شد (شکل 8). مساحت کاربری‌های مختلف و همچنین میزان تغییرات پیش‌بینی شده نسبت به سال 2013، در جدول شماره 7 آمده است. گسترش کشت باغی و کشت آبی بیش‌تر در اطراف شهرها و رودخانه اصلی حوضه شکل گرفته است و کشت دیم بیش‌تر در دامنه‌های اطراف روستاها می‌باشد. از لحاظ محدوده توسعه کشت آبی در این حوضه، استان آذربایجان غربی نقش پررنگ‌تری دارد (شکل 8).

برای سال 2007 کاربری‌های آبی، شهری، باغ و مرتع با میزان اختلاف کم‌تری نسبت به نقشه اصلی برآورد شده‌اند و برای کاربری‌های کشت دیم و آبی به دلیل نحوه پراکنش و نزدیکی این دو به هم، با قدری خطا همراه بوده است. همچنین کاربری‌های آبی، شهری، شوره‌زار و مرتع برای سال 2013، تا حد قابل قبولی درست به دست آمده است در صورتی که کشت دیم و آبی مانند سال 2007 با میزان خطای کم‌تر همراه بوده‌اند.

### پیش‌بینی کاربری اراضی در افق 2020

پس از ارزیابی‌های فوق و حصول اطمینان از نحوه کارکرد مدل،



شکل 8 - نقشه چشم‌انداز استخراج‌شده برای سال 2020

جدول 6- مساحت کاربری‌های سال 2020 و تفاضل آن با سال 2013

کاربری	درصد تفاضل	تفاضل 2020 و 2013	مجموع مساحت (کیلومتر مربع)
آب	8/6	6/55	75/79
شوره‌زار	-18	-31/03	164/04
شهری	0/1	0/09	61/38
کشت دیم	8/8	225/06	2540/46
کشت آبی	14/5	175/77	1205/73
باغ	26	97/76	375/91
مرتع	-4/9	-473/25	9551/87

مراتب کم‌تر برخوردار خواهند بود. همچنین با گسترش اراضی تحت کشت انتظار می‌رود تا از سطح اراضی مرتعی منطقه کاسته شود. این میزان تصرف اراضی مرتعی نسبت به سال 2013، 4/9 درصد خواهد

طبق جدول شماره 6 و پیش‌بینی انجام شده، رشد و توسعه اراضی کشاورزی اعم از کشت دیم، کشت آبی و باغات به صورتی نامتوازن بوده و در این بین کاربری‌های شهری و پهناهای آبی از گسترشی به

بود. در این سال هم‌چنین 31/3 کیلومتر مربع از مساحت اراضی شوره‌زار نسبت به سال 2013، کاسته می‌شود.

## نتیجه‌گیری

پس از ارزیابی تغییرات ایجادشده در طول سال‌های مورد مطالعه، آن‌چه از تفکیک مکانی کاربری‌ها در استان‌های مختلف دیده شد، نشان از افزایش سطح زیر کشت آبی (19/8 کیلومتر مربع برای دوره اول و 319/9 کیلومتر مربع برای دوره دوم)، شهری (18/4 کیلومتر مربع برای دوره اول و 88/3 کیلومتر مربع برای دوره دوم) و هم‌چنین باغات (71/4 کیلومتر مربع برای دوره اول و 257/9 کیلومتر مربع برای دوره دوم) دارد. سایر کاربری‌ها در این دو دوره در نوسان بوده و به مراتب موجود در منطقه اضافه و یا از آن کم شده‌اند. به‌طور مثال در دوره اول از میزان کشت دیم کاسته شده (513/9 کیلومتر مربع) و بنا بر شرایط ریزش‌های جوی در منطقه، این کاربری به مراتب افزوده شده است اما در دوره دوم اراضی تحت کشت دیم افزایش مساحتی بالغ بر 123/5 کیلومتر مربع را داشته‌اند.

نتایج حاصل از ارزیابی کیفیت نقشه‌های چشم‌انداز بدست آمده (2007 و 2013) از روش تلفیقی سلول‌های خودکار و فرآیند مارکوف، حاکی از توانایی بالای روش‌های مذکور جهت شبیه‌سازی چشم‌انداز کاربری اراضی می‌باشد. در این روش‌ها با توجه به عوامل مؤثر مکانی و هم‌چنین روند تغییرات صورت گرفته در دو تاریخ متوالی، چشم‌انداز کاربری‌ها استخراج شده و اثر عوامل اقلیمی و یا محیطی در تعیین نحوه توسعه کاربری‌ها دخالت داده نمی‌شود. این ویژگی‌ها به نوعی خطای ایجاد شده در پیش‌بینی‌ها را توجیه‌پذیر ساخته‌اند.

در چشم‌انداز 2020 نسبت به سال 2013، رشد و توسعه کاربری‌های کشت آبی، دیم، باغات، شهری و پهنه‌های آبی مشهود بوده و از طرفی کاهش مراتع و شوره‌زارها نیز به چشم می‌خورد. تغییرات پیش‌بینی شده ناشی از توسعه منطقه مورد مطالعه و استفاده از منابع بیش‌تر در جهت افزایش سطح زیر کشت می‌باشد. در این مطالعه با استفاده از تحلیل عدم قطعیت نقشه سال 2020 و ارائه میزان احتمال صحت نتایج، گامی مؤثر در جهت اطمینان به دقت نقشه تولیدی برداشته شده است.

## منابع

- احمدزاده، ح. 1391. ارزیابی بهره‌وری آب کشاورزی با استفاده از مدل SWAT مطالعه موردی، حوضه زرينه‌رود - پایان‌نامه کارشناسی ارشد منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.
- برياسوليس، ه. 2000. الگوهای تحلیلی تغییر کاربری زمین. (ترجمه مجتبی رفیعیان و مهران محمودی)، تهران، انتشارات آذرخش.
- رضازاده، ر. میراحمدی، م. 1388. مدل اتوماسیون سلولی، روشی نوین در شبیه‌سازی رشد شهری - نشریه علمی پژوهشی فن‌آوری

## تحلیل عدم قطعیت کاربری اراضی در افق 2020

طبق آن‌چه در قالب چارچوب فرآیند تحلیل عدم قطعیت کاربری اراضی برای سال 2020 آمد (شکل 6)، شاخص کاپا برای سال 2020 برآورد و سپس احتمال صحت پیش‌بینی کاربری اراضی در سال مذکور مورد محاسبه قرار گرفته است. شاخص کاپای بدست آمده برای نقشه کاربری، نشان‌دهنده میزان تطابق نقشه پیش‌بینی شده و مشاهداتی است. نظر به این که نقشه کاربری برای سال 2020 موجود نمی‌باشد و در این تحقیق چشم‌اندازی از آن استخراج شده است، سنجش میزان اعتبار و دقت پیش‌بینی انجام شده ضرورت می‌یابد. با استفاده از رابطه 7، در واقع میزان دقت موجود در نقشه‌های قبلی به دقت شبیه‌سازی در سال 2020، تعمیم داده می‌شود (جدول 7).

### جدول 7 - احتمال صحت تشخیص کاربری‌ها برای سال 2020

Figure		کاربری
j=k	j≠k	
0/824	0/001	آب
0/620	0/005	شوره‌زار
0/997	0/000	شهری
0/855	0/035	کشت دیم
0/730	0/026	کشت آبی
0/484	0/013	باغ
0/967	0/068	مرتع

$J=K$  احتمال این که یک کاربری در سال 2020 موجود باشد و مدل پیش‌بینی هم آن را درست تشخیص داده باشد را نشان می‌دهد و  $j \neq k$  مربوط است به احتمال آن دسته از پیش‌بینی‌هایی که موجود نبوده ولی مدل آن‌ها را پیش‌بینی کرده است. در جدول 7 کاربری‌هایی هم‌چون شهر و مرتع (0/997 و 0/967)، از قطعیت بیش‌تری برخوردارند که این امر با توجه به میزان وسعت نسبی هر کدام و موقعیت بخصوص آن‌ها در حوضه آبریز، قابل تصور می‌باشد. از طرفی امکان عدم صحت تشخیص مراتع 6/8 درصد می‌باشد که خود گویای انعطاف بالای این کاربری در جهت تبادل با سایر کاربری‌ها است. توسعه پهنه‌های آبی در منطقه و نحوه پراکنش مناطق شوره‌زار نیز نشان داده که نمی‌توان سطح بالایی از اطمینان را برای پیش‌بینی کاربری‌های مزبور متصور شد (0/824 و 0/620)، چنان‌چه در جدول فوق نیز مشاهده می‌شود. در این بین کاربری‌های کشت آبی، دیم و باغ به ترتیب با اطمینان‌پذیری 73، 85 و 48 درصد، دارای بیش‌ترین عدم قطعیت بوده که با توجه به ماهیت آن‌ها و تغییراتی که از گذشته متحمل شده‌اند (تغییرات آن‌ها در طول سال‌های مورد مطالعه) می‌توان این میزان عدم قطعیت برای پیش‌بینی آن‌ها در سال 2020 را توجیه‌پذیر دانست.

- hydrological modelling of tropical land-use scenarios. *Hydrological Sciences Journal*. 59.10: 1808-1829.
- Mitsova, D., Shuster, W., Wang, X. 2011. A cellular automata model of land cover change to integrate urban growth with open space conservation. *Landscape and Urban Planning*. 99.2: 141-153.
- Mosadeghi, R., Warnken, J., Tomlinson, R., Mirfenderesk, H. 2013. Uncertainty analysis in the application of multi-criteria decision-making methods in Australian strategic environmental decisions. *Journal of Environmental Planning and Management*. 56.8: 1097-1124.
- Olmedo, M.T.C., Pontius, R.G., Paegelow, M., Mas, J.F. 2015. Comparison of simulation models in terms of quantity and allocation of land change. *Environmental Modelling and Software*. 69: 214-221.
- Ott, B., Uhlenbrook, S. 2004. Quantifying the impact of land-use changes at the event and seasonal time scale using a process-orientated catchment model. *Hydrology and Earth System Sciences*. 8: 62-78.
- Paladino, L., Pontius Jr, R.G. 2004. Accuracy assessment and uncertainty in baseline projections for land-use change forestry projects. In *Proceedings of the joint meeting of The 6<sup>th</sup> International Symposium On Spatial Accuracy Assessment In Natural Resources and Environmental Sciences and The 15<sup>th</sup> Annual Conference of The International Environmetrics Society*.
- Pannu, N.S., Read, R.J. 1996. Improved structure refinement through maximum likelihood. *Acta Crystallographica Section A: Foundations of Crystallography*. 52.5: 659-668.
- Pettitt, A.N. 1979. A Non-parametric Approach to the Change-point Problem. *Journal of Applied Statistical Science*. 28: 126-135.
- Pontius Jr, R.G., Agrawal, A., Huffaker, D. 2003. Estimating the uncertainty of land-cover extrapolations while constructing a raster map from tabular data. *Journal of Geographical Systems*. 5.3: 253-273.
- Sisson, S.A., Fan, Y., Tanaka, M.M. 2007. Sequential monte carlo without likelihoods. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 104.6: 1760-1765.
- Stephenne, N., Lambin, E.F. 2001. A dynamic simulation model of land-use changes in Sudano-sahelian countries of Africa (SALU). *Agriculture, ecosystems and environment*. 85.1: 145-161.
- White, R., Engelen, G., Uljee, I. 1997. The use of constrained cellular automata for high-resolution modelling of urban land-use dynamics. *Environment and planning B*. 24: 323-344.
- Wrbka, T., Erb, K.H., Schulz, N.B., Peterseil, J., Hahn, C., Haberl, H. 2004. Linking pattern and process in cultural landscapes. An empirical study based on spatially explicit indicators. *Land use policy*. 21.3: 289-306.
- Wu, Q., Li, H.Q., Wang, R.S., Paulussen, J., He, Y., Wang, M., Wang, Z. 2006. Monitoring and predicting land use change in Beijing using remote sensing and GIS. *Landscape and urban planning*. 78.4: 322-333.
- آموزش. 4. 4. 1: 47 - 55.
- زارع چاهوکی، م.ع، خلاصی اهوازی، ل، آذر نیوند، ح. 1393. مدل‌سازی پراکنش گونه‌های گیاهی بر اساس عوامل خاک و توپوگرافی با استفاده از روش رگرسیون لجستیک در مراتع شرق سمنان - نشریه مرتع و آبخیزداری. *مجله منابع طبیعی ایران*. 1: 45 - 59.
- قدوسی، م. 1391. اثرات تغییرات الگوی بارش، کاربری اراضی و بهره‌برداری از سد و نیار بر هیدرولوژی حوضه آبریز آجی چای و ورودی آن به دریاچه ارومیه - پایان‌نامه کارشناسی ارشد منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.
- گلدوی، س، محمد زاده، م، سلمان ماهینی، ع، نجفی نژاد، ع. 1394. پیش‌بینی الگوی رشد شهری با بکارگیری مدل رگرسیون لجستیک در منطقه گرگان - نشریه آمایش سرزمین. 1: 65 - 117.
- Bahreman, A., Smedt, F., Corluy, J., Liu, Y., Porov, J., Velcick, L., Kunikova, E. 2006. Application of wetSpa model for assessing land use impacts on floods in the Margecany Hornad watershed, Slovakia. *Water Science and Technology*. 53.10: 37-45.
- Balster, H. 2000. Markov chain models for vegetation dynamics. *Ecological Modelling*. 126.2: 139-154.
- Bronstert, A., Niehoff, D and Bürger, G. 2002. Effects of climate and land-use change on storm runoff generation: present knowledge and modelling capabilities. *Hydrological Processes*. 16.2: 509-529.
- Brown, D.G., Pijanowski, B.C., Duh, J.D. 2000. Modeling the relationships between land use and land cover on private lands in the Upper Midwest, USA. *Journal of Environmental Management*. 59.4: 247-263.
- Clark, W.A. 1965. Markov chain analysis in geography: an application to the movement of rental housing areas. *Annals of the Association of American Geographers*. 55.2: 351-359.
- Dams, J., Woldeamlak, S.T., Batelaan, O. 2008. Predicting land-use change and its impact on the ground water system of the Kleine Nete catchment, Belgium. *Hydrology and Earth System Sciences*. 12.6: 1369-1385.
- Gao, p., Mu, X.M., Wang, F., Li, R. 2011. Changes in streamflow and sediment discharge and the response to the human activities in the middle reaches of the Yellow River. *Hydrology and Earth System Sciences*. 15: 1-10.
- Kaimowitz, D., Angelsen, A. 1998. Economic models of tropical deforestation: a review. *Cifor*.
- McColl, C., Aggett, G. 2007. Land-use forecasting and hydrologic model integration for improved land-use decision support. *Journal of environmental management*. 84.4: 494-512.
- Memarian, H., Balasundram, S.K., Abbaspour, K.C., Talib, J.B., Boon Sung, C.T., Sood, A.M. 2014. SWAT-based

## Prediction and Uncertainty Analysis of land Use Changes in the Zarrineh Roud Basin

Gh.A. Sohooli<sup>1</sup>, M. Delavar<sup>\*2</sup>, M. Ghamary Asl<sup>3</sup>

Received: Apr.23, 2016

Accepted: Aug.31, 2016

### Abstract

Changes land use is the main component in water resources studies and have been proposed as one of the main reasons for the reduction in inflow to the Lake Urmia. Estimation of changes in future landscape due to their potential trends as well as the policies conducted in the basin, can be effective in decision-making and remedy for resolving Urmia Lake environmental crisis.

In this study has been tried to extract and assess the historical changes in land use in the Zarrineh basin using satellite images and a projection of the future land use changes has been provided. Results show that between 2000 and 2013, on average, most of changes are to increase land use, such as irrigated agriculture (40%) and gardens (57%) and also to reduce pasture land (5%) and dry land farming (10%). This trend has also been observed for horizon 2020. Uncertainty analysis of results of lanuse prediction for horizon 2020 show that the irrigated agriculture, dry land farming and gardens lanuses respectively by reliability of 73, 85 and 48 percent, have the largest prediction uncertainty.

**Keywords:** Cellular automata, Land use, Prediction, Uncertainty, Zarrineh Roud

1- MSc. Student, Tarbiat Modares University

2- Assistant Professor, Tarbiat Modares University

3- PhD of Civil Engineering, Khajeh Nasiroddin Tusi University

(\*-Corresponding Author Email: m.delava@modares.ac.ir)