



بررسی چشم انداز تغییرات سطح کشت اراضی کشاورزی در افق ۲۰۲۰ در حوضه زربینه رود با استفاده از روش ترکیبی مارکوف- سلول های خودکار

غلامعباس سهولی^۱، مجید دلاور^{۲*}، محسن قمری اصل^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه منابع آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس

۲- استادیار، گروه منابع آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس

۳- دکتری عمران نقشه برداری، گروه عمران، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی

چکیده:

تغییرات کاربری اراضی از جمله مولفه های اصلی در مطالعات منابع آب و به عنوان یکی از دلایل اصلی کاهش جریان ورودی به دریاچه ارومیه مطرح گردیده است. برآوردی از چشم انداز این تغییرات در آینده با توجه به روند احتمالی آنها و همچنین سیاستگذاری های انجام شده در حوضه، می تواند در تصمیم گیری موثر و چاره اندیشی 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 زربینه رود با استفاده از تصاویر ماهواره ای، چشم اندازی از آینده تغییرات کاربری اراضی ارائه گردد. در این راستا از روش ترکیبی CA-MARKOV استفاده گردید. ارزیابی های به عمل آمده در استان های موجود در حوضه زربینه رود، به طور متوسط بیشترین تغییرات را در راستای افزایش کاربری هایی همچون کشت آبی (۴۰ درصد) و باغات (۵۷ درصد) و همچنین در جهت کاهش اراضی مرتعی (۵ درصد) و کشت دیم (۱۰ درصد)، در سال ۲۰۱۳ نسبت به سال ۲۰۰۰، نشان می دهد. این روند تغییرات برای افق ۲۰۲۰ نیز مشاهده شده است.

واژه های کلیدی: کاربری اراضی، روش مارکوف، سلول های خودکار، چشم انداز، زربینه رود



۱- 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 [۲۰۱]. تغییرات کاربری اراضی و نحوه توسعه مکانی و زمانی آن متاثر از برهمکنش عوامل مختلفی از جمله عوامل سیاسی اقتصادی و بیوفیزیکی می‌باشد [۴۳]. برآوردی از چشم انداز آینده تغییرات کاربری اراضی گامی موثر در مدیریت پایدار منابع و تصمیم‌گیری و چاره اندیشی 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 [۶۵]. 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 Bahremand و همکاران [۵] از رویکرد آنالیز سناریوها برای ارزیابی اثرات احیاء جنگل‌ها بر روی هیدرولوژی حوضه استفاده کرده‌اند. آنها دریافته‌اند که افزایش ۵۰٪ پوشش جنگلی باعث کاهش ۱۲٪ پیک دبی خروجی از حوضه خواهد شد. مدل‌های داده محور از جمله این روش‌ها در بدست آوردن چشم اندازی از کاربری اراضی محسوب می‌گردند که بر مبنای برون یابی الگوهای تغییری که در گذشته نزدیک مشاهده شده‌اند، با ارائه محدود عوامل موثر بر این تغییرات، بنا نهاده شده‌اند [۷]. از جمله این مدل‌ها می‌توان به مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی^۱، سلول‌های خودکار^۲، رگرسیون لجستیک^۳ و زنجیره مارکوف^۴ اشاره کرد. Goldavi [۸] برای مدلسازی تغییرات کاربری اراضی از روش رگرسیون لجستیک و GEOMOD استفاده کرد. برای این کار با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۱۹۸۸، ۱۹۹۸ و ۲۰۰۷ تغییرات کاربری اراضی منطقه گرگان را بررسی و سپس تغییرات را برای سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۲۵ پیش بینی کرد. نتایج حاصل از این کار شاهدهی بر رشد مناطق شهری و کاهش اراضی جنگلی بود. Memarian و همکاران [۹] در مطالعه‌ای بر روی حوضه هولولانگات^۵ در مالزی با استفاده از مدل SWAT^۶، 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 دریافته‌اند که شبیه سازی صورت گرفته برای دوره گذشته، در مقایسه با دوره پایه (حال)، نشان از کاهش معنی دار رواناب مستقیم ماهانه حوضه دارد. این در حالیست که پس از شبیه‌سازی تغییرات کاربری در آینده (با استفاده از روش مارکوف و سلول‌های خودکار) و اجرای مجدد مدل، اثر این تغییرات (در مقایسه با دوره پایه) در جهت افزایش معنی دار 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. در تحقیق دیگری Olmedo و همکاران [۱۰] جهت ارزیابی کارایی مدل‌های تغییر کاربری زمین، عملکرد مدل سلول‌های خودکار و مدلساز 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 شبیه سازی تغییرات برای آینده را داشتند. آنها برای اطمینان از صحت نتایج از واسنجی مدل‌ها در چند تاریخ استفاده کردند.

با توجه به آنچه آمد تحقیق حاضر در پی بررسی نحوه توسعه کاربری‌های مختلف در حوضه زربنه رود، ارائه چشم-اندازی از کاربری اراضی در افق ۲۰۲۰ می‌باشد.

¹ Artificial Neural Networks

² Cellular automata

³ logistic regression

⁴ Markov chain

⁵ Hulu Langat

⁶ Soil and Water Assessment Tools

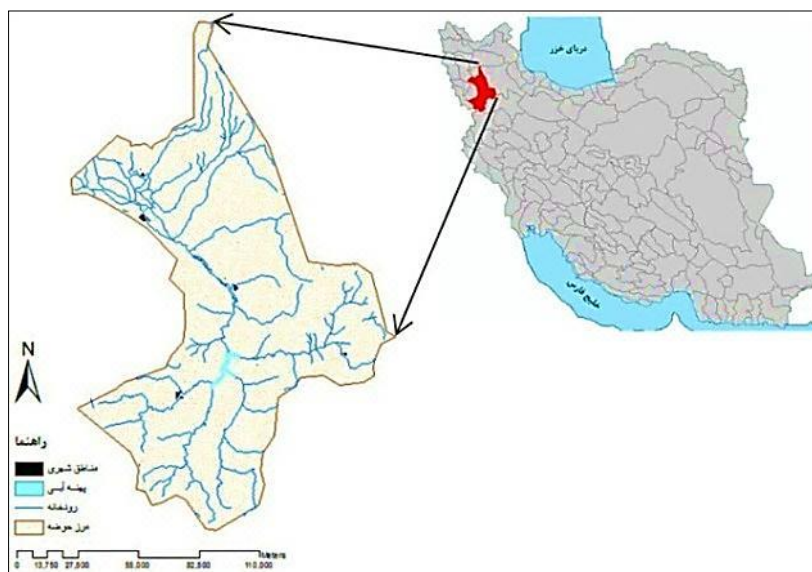


۲- مبانی و روش‌ها

۲-۱- منطقه مطالعاتی

زیرحوضه آبریز زرینه‌رود، بزرگترین زیرحوضه درجه ۲ 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 ۴۷ درصد حجم آب ورودی به دریاچه ارومیه را تامین می‌کند. وسعت این حوضه بالغ بر ۱۲۰۲۵ کیلومتر مربع بوده و رودخانه اصلی آن دارای طول ۳۰۰ کیلومتر می‌باشد (شکل ۱). همچنین شهرهای میاندوآب، صائین‌دژ، تکاب و سقز از کانون‌های مهم شهری این حوضه هستند [۱۱].

در این مطالعه جهت استخراج نقشه کاربری اراضی حوضه زرینه‌رود از تصاویر ماهواره‌ای (لندست و سنجنده تی ام^۷ و ای تی ام پلاس^۸)، استفاده شده است. این تصاویر در چهار تاریخ مختلف (۱۹۸۷، ۲۰۰۰، ۲۰۰۷ و ۲۰۱۳) و هر کدام در دو زمان (اواخر بهار و اوایل پاییز)، تهیه و از پایگاه داده‌های سازمان هوا و فضای ایالات متحده (<http://earthexplorer.usgs.gov>) اخذ شده‌اند. در تحقیق حاضر ۷ 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 شد.



شکل ۱: منطقه مورد مطالعه

۲-۲- روش مارکوف- سلول‌های خودکار (CA-Markov)

روش ترکیبی مارکوف- سلول‌های خودکار از جمله روش‌های کارا در زمینه پیش بینی چشم انداز کاربری اراضی می‌باشد که بر پایه تلفیق دو روش مارکوف و سلول‌های خودکار بنا نهاده شده است. 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 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، چشم اندازی از تغییرات آینده کاربری اراضی با استفاده از روش سلول‌های خودکار بدست خواهد آمد. در ادامه به جزئیات مربوط به هر مرحله اشاره می‌گردد.

⁷ TM

⁸ ETM+



۲-۳- تعیین ماتریس احتمال کاربری‌ها با استفاده از روش مارکوف

مدلسازی مارکوف (زنجیره مارکوف) اساساً یک تکنیک شبیه‌سازی است که برای تحلیل تغییرات کاربری زمین مورد استفاده قرار گرفته است [۱۲]. 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 [۱۳]. هر زنجیره مارکوف متشکل از تعدادی از وضعیت‌ها^۹ یا حالات می‌باشد. بنابراین مدل‌هایی که بر پایه این روش استوارند، 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 [۱۴]. 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 نشان دهنده 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 بکار می‌رود [۱۵]. با این فرض که برای یک مجموعه از حالات گسسته (انواع کاربری‌ها)، s_1, s_2, \dots, s_n ، 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_{ij} نامیده می‌شود و برای هر ترتیبی از سری حالات داده می‌شود. این احتمال‌ها می‌تواند به شکل ماتریس انتقال P نشان داده شود. این ماتریس به شکل زیر است [۱۲]:

$$P = \begin{bmatrix} P_{11} & \dots & P_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{n1} & \dots & P_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

از آنجا که عناصر ماتریس غیر منفی هستند و جمع عناصر در هر ردیف برابر ۱ است، هر عنصر از ماتریس یک بردار احتمال نامیده می‌شود و ماتریس P یک ماتریس احتمال است (Judge and Swanson ذکر شده در [۱۶]).

۲-۴- پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی با مدل سلول‌های خودکار

مدل سلول‌های خودکار یک تکنیک مدل‌سازی است که در فضای رستری تعریف می‌شود [۱۷ و ۱۸]. این مدل از پویایی و گسستگی برخوردار است که در مدل‌سازی رخدادهای طبیعی و انسانی بکار 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 ۲) 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 فوق‌زمان به صورت بازه‌هایی جدا از هم تعریف شده است و تعداد این بازه‌های زمانی بسته به هدف مدلسازی، متفاوت می‌باشد [۱۹].



شکل ۲: همسایگی 3×3 در مدل دو بعدی

۲-۵- نقطه تحول با استفاده از آزمون پتیت^{۱۰}

به منظور بررسی ارتباط تغییرات کاربری اراضی با روند هیدرولوژی حوضه آبریز، در این تحقیق از روش غیر پارامتری پیشنهاد شده توسط Pettitt [۲۰] جهت ارزیابی روند داده‌های دبی خروجی و همچنین یافتن نقطه تحول احتمالی در

⁹ Transition probabilities

¹⁰ Pettitt



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 زیر تعریف می‌گردد [۲۱].

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

N در رابطه فوق تعداد کل مشاهدات، X_t مجموعه اول و X_j مجموعه دوم می‌باشد. تابع علامت نیز بر اساس رابطه زیر محاسبه می‌شود [۲۲].

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

آماره آزمون و احتمال وقوع مرتبط با آن توسط معادلات (۴) و (۵) محاسبه خواهند شد.

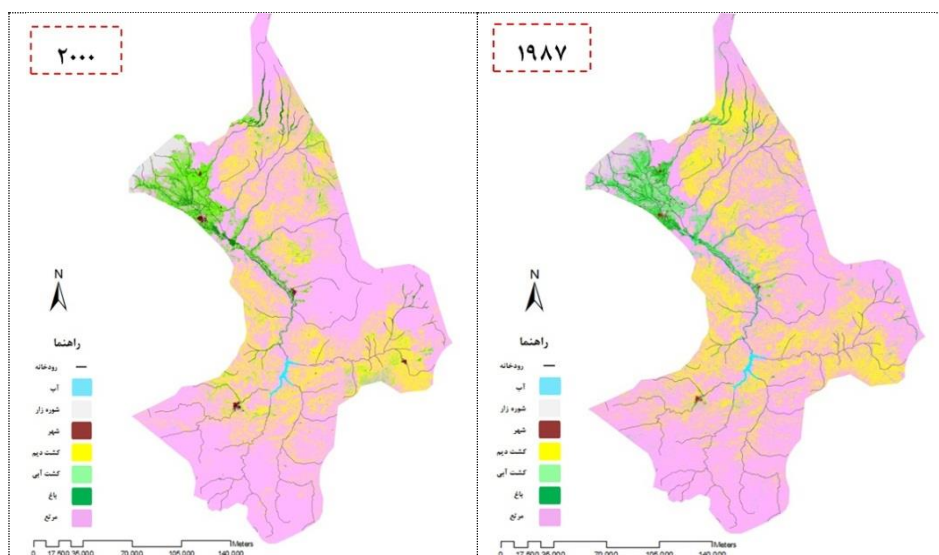
$$K_N = \max_{1 \leq t \leq N} |U_{t,N}| \quad (4)$$

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

۳- نتایج

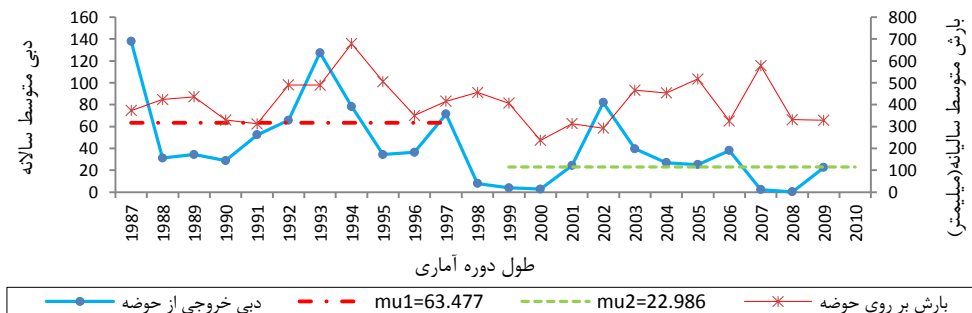
۳-۱- بررسی تغییرات کاربری اراضی در دوره تاریخی

نقشه کاربری اراضی برای حوضه مورد با استفاده از طبقه بندی پیکسل پایه و روش حداکثر فراوانی استخراج شده است (شکل ۳). این روش فرآیندی احتمالاتی است که طی آن پیکسل‌هایی که بیشترین احتمال قرار گیری در یک کلاس را دارند، در آن دسته طبقه بندی خواهند شد [۲۳].





طبق نمودار فوق و جدول شماره ۱، جهت کلی تغییرات کاربری‌ها از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۳، به گونه‌ای است که منجر به افزایش کاربری شهری، آبی، شوره‌زار، باغ، کشت آبی و البته در جهت کاهش کاربری‌های مرتع و کشت دیم است. به منظور بررسی ارتباط این تغییرات با هیدرولوژی حوضه آبریز روند سری زمانی بارش متوسط و جریان خروجی از حوضه در ایستگاه نظام آباد مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۵). 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 معنی داری در سطح احتمال ۹۵ درصد می‌باشد. طبق نتایج استخراج شده از آزمون پتیت، نقطه تحول سری زمانی دبی خروجی از حوضه در سال ۱۹۹۷ تشخیص داده شد.



شکل ۵: نمودار متوسط دبی خروجی حوضه زربینه رود

با توجه به تغییرات صورت گرفته در روند کلی دبی خروجی از حوضه، در تحقیق حاضر تغییرات کاربری اراضی در دو دوره (۱۹۸۷ تا ۲۰۰۰ و ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳) مورد ارزیابی قرار گرفته است. تغییرات مربوط به دوره‌های مذکور به تفکیک استان‌های واقع در حوضه، در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲: درصد تغییرات کاربری‌های مختلف در استان‌های منطقه مورد مطالعه

آذربایجان شرقی							
کاربری اراضی	مرتع	باغ	کشت آبی	کشت دیم	شهری	شوره زار	آب
	%	۴/۲	۱۸/۶	۱۲/۸	-۲۵/۶	۵/۶	-۴۶/۹
۲	KM ²	-۳۳۴.۷	۱۰۴.۲	۲۳.۶	۱۹۵.۹	۱۳.۹	۷.۹
	%	-۸/۶	۷۵	۳/۰	۱۸/۳	۴۳/۷	۲۵۶/۲
آذربایجان غربی							
کاربری اراضی	مرتع	باغ	کشت آبی	کشت دیم	شهری	شوره زار	آب
	%	۷/۸	۶۹/۵	۰/۸	-۲۱/۵	۹۱/۹	-۳۰/۱
۲	KM ²	-۴۴.۵	۷۱.۸۴	۱۸۳.۲۴	-۲۳۹.۳۲	۸.۲۵	-۶.۱۶
	%	-۰/۷	۶۳/۲	۳۷	-۱۳/۳	۳۸/۳	-۱۳/۸
کردستان							
کاربری اراضی	مرتع	باغ	کشت آبی	کشت دیم	شهری	شوره زار	آب



۱	KM ²	-۰.۴۴	-۱.۰۱	۶.۲۱	۴۰.۷۷	-۵۶.۵۸	-۱.۰۸	۱۲.۱۲
	%	-۱/۸	-۶۲/۳	۶۱/۵	۴/۸	-۵۶	-۲۳/۱	۰/۲
۲	KM ²	۸.۸۷	-۰.۵۷	۵.۳۹	-۸۸.۹۷	۱۱۱.۶	-۲.۲۵	-۳۴.۰
	%	۳۶/۷	-۹۲	۳۳	-۱۰	۲۵۰/۸	-۶۲/۳	-۰/۶
زنجان								
کاربری اراضی		آب	شوره زار	شهری	کشت دیم	کشت آبی	باغ	مرتع
۱	KM ²	۰.۰۰۸	۰	۰.۲۴	۲.۳۸	-۱۵.۷۰	۳.۹۵	۹.۱۱
	%	۹۰.۰	۰	۱۰.۵/۸	۱۰/۹	-۸۱/۱	۳۹۵/۵	۱/۶
۲	KM ²	-۰.۰۰۹	۰.۰۱۲۶	-۰.۰۰۷	۳۱.۰۸	۱.۴۱	۷.۱۹	-۳۹.۶
	%	-۱۰	۱/۳	-۲۶/۷	۱۲۸/۵	۳۸/۶	۱۸۱/۹	-۶/۸

عبارات دارای علامت منفی بیانگر کاهش و عبارات بدون علامت منفی، معرف افزایش مقادیر می باشد

۳-۲- ارزیابی تغییرات کاربری اراضی در دوره ۲۰۰۰-۱۹۸۷

طبق جدول شماره ۲ در این دوره مساحت کاربری های آب و کشت دیم در همه استان ها افت محسوس داشته و کشت آبی نیز تنها در مجموع حدود ۱ درصد رشد دارد. از جمله دلایل اصلی کاهش محسوس کشت دیم در منطقه، کاهش نسبی بارش طی دوره مذکور (شکل ۵) می باشد. همچنین در این دوره شوره زار در استان های آذربایجان شرقی و غربی گسترشی ۵۴/۶ و ۱۹/۲ درصدی و در استان کردستان کاهش بالی بر ۶۲/۳ درصد داشته است.

باغات به دلیل استفاده از منابع آب زیر زمینی جهت آبیاری آنها همواره نسبت به بارندگی، دیرترین واکنش را در میان سایر کاربری ها دارند. در استان های آذربایجان شرقی و غربی و همچنین زنجان افزایش باغات و در استان کردستان ۲۳/۱ درصد کاهش دارند. در این بین تغییرات حاصل شده در مساحت کاربری های همچون کشت دیم، کشت آبی، شوره زار و مرتع، به خوبی اثر کم آبی در دوره مذکور را تایید می نمایند.

۳-۳- ارزیابی تغییرات کاربری اراضی در دوره ۲۰۰۰-۲۰۱۳

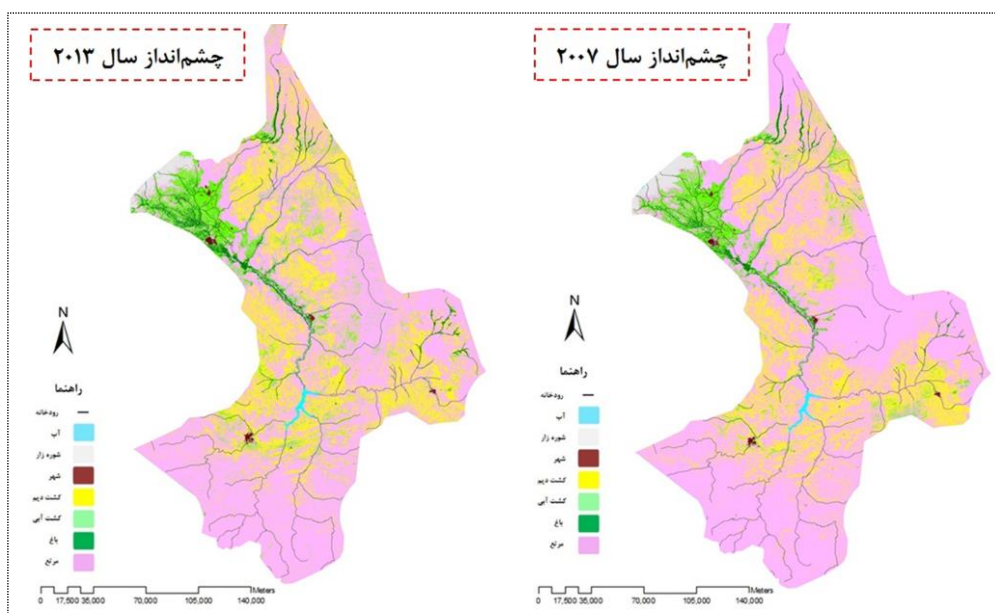
در این دوره میزان بارش ها قدری افزایش یافته و دبی خروجی از حوضه نیز دارای روند یکنواخت تری نسبت به دوره قبل می باشد. همانطور که از نقشه کاربری موجود در شکل ۳ و همچنین نمودار شکل ۴ نیز مشاهده می شود، همه کاربری ها رشد مثبتی داشته و در عوض شوره زار و مرتع با کاهش مساحت، نسبت به دوره قبل مواجه هستند. با توجه به نمودار تغییرات کاربری در دوره دوم، در همه استان ها به جز زنجان افزایش مساحت کاربری آبی (درصد تغییرات در جدول شماره ۲) و کاهش مناطق شوره زار به چشم می خورد. کشت دیم در استان های زنجان و آذربایجان شرقی به ترتیب ۱۲۸/۵ و ۱۸ درصد نسبت به سال ۲۰۰۰ افزایش داشته و این در حالیست که در آذربایجان غربی و کردستان کاهش ۱۳/۳ و ۱۰ درصدی دارند. کشت آبی در این دوره در تمامی استان ها با افزایش رو برو می باشد. این افزایش به ترتیب برای استان های آذربایجان شرقی، غربی، کردستان و زنجان به میزان ۳، ۳۷، ۲۵۰/۸ و ۳۸ درصد بوده که بیشترین افزایش مربوط به استان کردستان است. مانند دوره اول در این دوره نیز باغات توسعه بیشتری داشته اند به طوری که در استان های آذربایجان شرقی و غربی ۷۵ و ۶۳/۲ درصد و در استان زنجان نیز ۱۸۱ درصد افزایش سطح داشته اند این نسبت برای استان کردستان کاهش و به میزان ۶۲/۳ درصد بوده است. با توجه به جدول شماره ۲ مراتع موجود در هر استان تغییرات زیادی نداشته اند که این امر بیانگر این است که تغییرات کاربری های بیشتر تبدیل آنها به یکدیگر بوده و تبادل چندانی با مراتع نداشته اند.



۳-۴- ارزیابی روش مارکوف- سلولهای خودکار در پیش بینی کاربری اراضی

به منظور ارزیابی روش مارکوف- سلولهای خودکار در پیش بینی کاربری اراضی، نقشه‌های کاربری اراضی سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۱۳ استخراج شده است. برای این کار ابتدا با استفاده از نقشه کاربری در دو تاریخ متوالی (۱۹۸۷ و ۲۰۱۳) 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 ۲۰۰۰ و ۲۰۰۷ به ترتیب نقشه‌های چشم انداز کاربری اراضی سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۱۳ استخراج و با نقشه‌های مشاهداتی مقایسه گردید (شکل ۶).

به منظور 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 طبقه بندی شده به کل منطقه)، خطای تولید کننده (OE) و خطای مصرف کننده (CE) و کاپا بری هر کدام از کاربری‌ها استفاده گردید (جدول ۳ و ۴). خطای تولید کننده و مصرف کننده عبارتند از نسبت پیکسل‌های اشتباه طبقه بندی شده به کل پیکسل‌ها و برای هر کاربری قابل محاسبه می‌باشد. شاخص کاپا نیز جهت اندازه گیری میزان توافق بین نقشه کاربری تولید شده و مشاهداتی می‌باشد [۲۴].



شکل ۶: نقشه‌های چشم انداز استخراج شده از طریق روش CA_MARKOV



جدول ۳: ماتریس خطا و شاخص کاپای کلی و جزئی سال ۲۰۰۷

چشم انداز مشاهده	آب	شوره زار	شهری	کشت دیم	کشت آبی	باغ	مرتع	جمع	CE	کاپا
آب	۲۱۳۰۷۰۹۹	۱۱۶۹	۳۲	۴۱۴	۲۵۷۱	۱۱۸۳	۵۶۷۴	۲۱۳۱۸۱۴۲	۰/۰۰	۰/۹۹
شوره زار	۱۳۸۶	۱۵۲۱۰۵	۲۵۷۱	۱۲۰۷	۲۰۱۱۸	۷۱۳	۷۵۷۸۴	۲۵۳۸۸۴	۰/۴	۰/۸۹
شهری	۲۵۱	۶۶۱	۳۰۳۱۰	۱۰۸۳	۹۸۵۸	۱۶۹۶	۱۴۳۱۸	۵۸۱۷۷	۰/۴۷	۰/۶
کشت دیم	۱۱۰	۷۹۸	۷۷۹	۱۴۹۸۸۱۶	۱۰۹۷۳۴	۱۳۰۱	۸۷۷۲۵۱	۲۴۸۸۷۸۹	۰/۳۹	۰/۴۳
کشت آبی	۲۲۲۲	۵۳۲۴	۷۵۱۷	۱۰۵۵۴۰	۴۷۰۶۴۰	۱۳۶۵۷۴	۲۳۲۵۲۱	۹۶۰۳۳۸	۰/۵	۰/۳۳
باغ	۱۵۶۳	۲۵	۱۸۴	۱۰۹۲۵	۱۲۷۰۳۱	۱۱۷۴۷۵	۲۰۹۶۰	۲۷۸۱۶۳	۰/۵۷	۰/۴
مرتع	۶۲۱۲	۹۶۵۸	۸۵۷۳	۱۵۳۷۳۶۴	۵۹۹۲۵۱	۲۸۱۹۲	۹۲۵۰۹۸۴	۱۱۴۴۰۲۳۴	۰/۱۹	۰/۸۳
جمع	۲۱۳۱۸۸۴۳	۱۶۷۹۴۰	۴۹۹۶۶	۳۱۵۵۳۴۹	۱۳۳۹۲۰۳	۲۸۷۱۳۴	۱۰۴۷۷۴۹۲	۳۶۷۹۷۷۲۷		
OE	۰	۰/۱	۰/۴	۰/۵۲	۰/۶۵	۰/۵۹	۰/۱۲		۰/۱۰	
کاپا	۰/۹۹	۰/۶	۰/۵۲	۰/۵۶	۰/۴۷	۰/۴۱	۰/۷۳			۰/۸۱

جدول ۴: ماتریس خطا و شاخص کاپای کلی و جزئی سال ۲۰۱۳

چشم انداز مشاهده	آب	شوره زار	شهری	کشت دیم	کشت آبی	باغ	مرتع	جمع	CE	کاپا
آب	۲۱۳۱۷۰۵۱	۱۲۲۰	۱۱	۲۹۵	۲۵۵۳	۱۲۴۰	۴۰۵۸	۲۱۳۲۶۴۲۸	۰	۰/۹۹
شوره زار	۲۶۸۲	۱۶۴۹۷۸	۱۵۷۸	۷۴	۸۴۸۱	۳۵	۱۶۱۰۵	۱۹۳۹۳۳	۰/۱۴	۰/۸۴
شهری	۲۰۱	۱۶۶۴	۳۹۲۴۵	۶۶۵	۹۲۳۰	۱۵۸۰	۶۶۳۳	۵۹۲۱۸	۰/۳۳	۰/۶۶
کشت دیم	۶۰۶	۳۱۸	۱۰۷۷	۱۵۲۵۶۱۳	۱۶۳۷۵۸	۱۰۹۹۸	۱۲۹۳۹۷۸	۲۹۹۶۳۴۸	۰/۴۹	۰/۴۷
کشت آبی	۵۹۶۸	۱۹۸۲۲	۱۱۹۰۱	۱۴۸۸۸۹	۵۷۱۵۶۰	۱۰۵۷۴۱	۵۱۴۳۹۴	۱۳۷۸۲۷۵	۰/۵۸	۰/۳۹
باغ	۳۸۹۳	۱۱۸	۶۵۷	۹۰۸۸	۱۶۰۱۸۲	۱۸۳۴۲۵	۲۵۵۷۷	۳۸۲۹۴۰	۰/۵۲	۰/۴۷
مرتع	۱۰۶۴۵	۲۸۷۲۸	۱۳۶۶۱	۸۹۰۳۲۹	۲۲۹۱۵۸	۶۱۶۰	۹۲۸۱۹۰۴	۱۰۴۶۰۵۸۵	۰/۱۱	۰/۸۳
جمع	۲۱۳۴۱۰۴۶	۲۱۶۸۴۸	۶۸۱۳۰	۲۵۷۴۹۵۳	۱۱۴۴۹۲۲	۳۰۹۱۷۹	۱۱۱۴۲۶۴۹	۳۶۷۹۷۷۲۷		
OE	۰	۰/۲۴	۰/۴۲	۰/۴	۰/۵	۰/۴	۰/۱۷		۰/۱	
کاپا	۰/۹۹	۰/۷۶	۰/۵۷	۰/۵۵	۰/۴۸	۰/۵۹	۰/۷۶			۰/۸۲

همانطور که در جداول فوق نیز دیده می‌شود، میزان خطای کلی در نقشه سال ۲۰۰۷ به میزان ۰/۱۰۷۹ بوده و این خطا در سال ۲۰۱۳ به ۰/۱۰۰۹ کاهش یافته است. همچنین میزان شاخص کاپا در سال ۲۰۰۷، ۰/۸۱ و در سال ۲۰۱۳، ۰/۸۲ است که 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. جداول مربوطه در زیر نشان داده شده است.



جدول ۵: مساحت و مشخصات چشم انداز سال ۲۰۰۷

ردیف	کاربری	مساحت (KM ²)	تفاضل چشم انداز و واقعیت	درصد تفاضل
۱	آب	۴۹.۳۳	۰.۱	۳۳
۲	شوره زار	۲۲۸.۴	۷۵.۷	۱۴
۳	شهری	۵۲.۳۳	۷.۳۹	-۲۶
۴	کشت دیم	۲۲۳۸.۹۸	-۵۹۹.۵	-۳۹
۵	کشت آبی	۸۶۳.۹۴	-۳۴۰.۸	-۳
۶	باغ	۲۵۰.۲۴	-۸۰.۷	۸
۷	مرتع	۱۰۲۹۱.۹۶	۸۶۵.۱	۳۳

جدول ۶: مساحت و مشخصات چشم انداز سال ۲۰۱۳

ردیف	کاربری	مساحت (KM ²)	تفاضل چشم انداز و واقعیت	درصد تفاضل
۱	آب	۵۶.۷۹	-۱۲.۴۱	-۲۱
۲	شوره زار	۱۷۴.۴۶	-۲۰.۶	-۱۱
۳	شهری	۵۳.۲۷	-۸۰.۱	-۱۵
۴	کشت دیم	۲۶۹۵.۵۹	۳۷۹.۱۹	۱۴
۵	کشت آبی	۱۲۳۹.۹۳	۲۰۹.۹	۱۷
۶	باغ	۳۴۴.۵	۶۶.۳۵	۱۹
۷	مرتع	۹۴۱۰.۶۳	-۶۱۴.۴۹	-۶

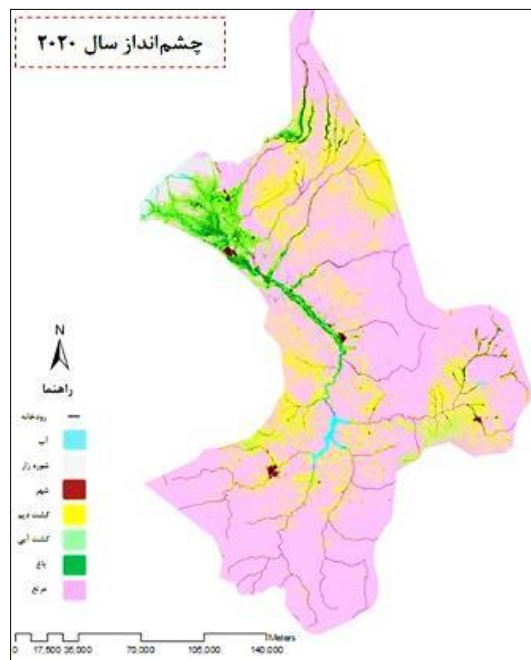
برای سال ۲۰۰۷ کاربری‌های آبی، شهری، باغ و مرتع با میزان اختلاف کمتری نسبت به نقشه اصلی برآورد شده‌اند و برای کاربری‌های کشت دیم و آبی به دلیل نحوه پراکنش و نزدیکی این دو به هم، با قدری خطا همراه بوده است. همچنین کاربری‌های آبی، شهری، شوره‌زار و مرتع برای سال ۲۰۱۳، تا حد قابل قبولی درست بدست آمده است در صورتی که کشت دیم و آبی مانند سال ۲۰۰۷ با میزان خطای کمتر همراه بوده‌اند.

۳-۵- پیش بینی کاربری اراضی در افق ۲۰۲۰

پس از ارزیابی‌های فوق و حصول اطمینان از نحوه کارکرد مدل، با استفاده از نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۱۳، اقدام به استخراج نقشه چشم انداز کاربری اراضی در سال ۲۰۲۰ می‌شود (شکل ۷). مساحت کاربری‌های مختلف و همچنین میزان تغییرات پیش بینی شده نسبت به سال ۲۰۱۳، در جدول شماره ۷ آمده است.

جدول ۷: مساحت کاربری‌های سال ۲۰۲۰ و تفاضل آن با سال ۲۰۱۳

ردیف	کاربری	مجموع مساحت (کیلومتر مربع)	تفاضل ۲۰۲۰ و ۲۰۱۳	درصد تفاضل
۱	آب	۷۵.۷۹	۶.۵۵	۸/۶
۲	شوره زار	۱۶۴.۰۴	-۳۱.۰۳	-۱۸
۳	شهری	۶۱.۳۸	۰.۰۹	۰/۱
۴	کشت دیم	۲۵۴۰.۴۶	۲۲۴.۰۶	۸/۸
۵	کشت آبی	۱۲۰۵.۷۳	۱۷۵.۷۷	۱۴/۵
۶	باغ	۳۷۵.۹۱	۹۷.۷۶	۲۶
۷	مرتع	۹۵۵۱.۸۷	-۴۷۳.۲۵	-۴/۹



شکل ۷: نقشه چشم انداز استخراج شده برای سال ۲۰۲۰

طبق جدول شماره ۷ و پیش بینی انجام شده، رشد و توسعه اراضی کشاورزی اعم از کشت دیم، کشت آبی و باغات به صورتی نامتقارن بوده و در این بین کاربری‌های شهری و پهنه‌های آبی از گسترشی به 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 ۲۰۱۳، ۴/۹ درصد خواهد بود. در این سال همچنین ۳۱/۳ کیلومتر مربع از مساحت اراضی شورزار نسبت به سال ۲۰۱۳، کاسته می‌شود.

۴- نتیجه گیری

پس از ارزیابی تغییرات ایجاد شده در طول سال‌های مورد مطالعه، آنچه از تفکیک مکانی کاربری‌ها در استان‌های مختلف دیده شد، نشان از افزایش سطح زیر کشت آبی (۱۹/۸ کیلومتر مربع برای دوره اول و ۳۱۹/۹ کیلومتر مربع برای دوره دوم)، شهری (۱۸/۴ کیلومتر مربع برای دوره اول و ۸۸/۳ کیلومتر مربع برای دوره دوم) و همچنین باغات (۷۱/۴ کیلومتر مربع برای دوره اول و ۲۵۷/۹ 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. بطور مثال در دوره اول از میزان کشت دیم کاسته شده 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 ۱۲۳/۵ کیلومتر مربع را داشته‌اند. نتایج حاصل از ارزیابی کیفیت نقشه‌های چشم انداز بدست آمده (۲۰۰۷ و ۲۰۱۳) 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 موثر 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 توجیه پذیر ساخته‌اند.

در چشم انداز ۲۰۲۰ نسبت به سال ۲۰۱۳، رشد و توسعه کاربری‌های کشت آبی (۱۴/۵٪)، دیم (۸/۸٪)، باغات (۲۶٪)، شهری (۰/۱٪) و پهنه‌های آبی (۸/۶٪) بوده و از طرفی کاهش مراتع (۴/۹٪) و شورزارها (۱۸٪) 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.

مراجع

- [1] Bronstert, A., Niehoff, D., & 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.
- [2] 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. *Hydrol Earth Syst Sci* 8:62-78.
- [3] Kaimowitz, D., & Angelsen, A. (1998). Economic models of tropical deforestation: a review. *Cifor*.
- [4] 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.
- [5] Bahremand, 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 & Technology*, 53(10), 37-45.
- [6] 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.
- [7] Stephenne, N., & Lambin, E. F. (2001). A dynamic simulation model of land-use changes in Sudano-sahelian countries of Africa (SALU). *Agriculture, ecosystems & environment*, 85(1), 145-161.
- [8] Goldavi, S. (2011). Comparison of logistic regression and Geomod in land cover change modeling and vegetation and effect of change on water (case study: Gorgan) (Doctoral dissertation, M. Sc thesis. Department of Environment. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran, 114 (in Persian)).
- [9] Memarian, H., Balasundram, S. K., Abbaspour, K. C., Talib, J. B., Boon Sung, C. T., & Sood, A. M. (2014). SWAT-based hydrological modelling of tropical land-use scenarios. *Hydrological Sciences Journal*, 59(10), 1808-1829.
- [10] 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 & Software*, 69, 214-221.
- [13] 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.
- [14] Balzter, H. (2000). Markov chain models for vegetation dynamics. *Ecological Modelling*, 126(2), 139-154.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [20] Pettitt, A. N. (1979). A Non-parametric Approach to the Change-point Problem. *Appl. Statist*, 28: 126-135.
- [21] 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. *Hydrol. Earth. Syst. Sci.*, 15: 1-10.
- [23] Pannu, N. S., & Read, R. J. (1996). Improved structure refinement through maximum likelihood. *Acta Crystallographica Section A: Foundations of Crystallography*, 52(5), 659-668.
- [۱۱] احمد زاده، ح. (۱۳۹۱). ارزیابی بهره‌وری آب کشاورزی با استفاده از مدل SWAT مطالعه موردی، حوضه زربینه رود- پایان نامه کارشناسی ارشد منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.
- [۱۲] بریاسولیس، هلن. (۲۰۰۰). الگوهای تحلیلی تغییر کاربری زمین. (ترجمه مجتبی رفیعیان و مهران محمودی)، تهران، انتشارات آذرخش.



- [۱۹] رضازاده، ر.، میراحمدی، م. (۱۳۸۸). مدل اتوماسیون سلولی، روشی نوین در شبیه سازی رشد شهری- نشریه علمی پژوهشی فناوری آموزش، سال چهارم، جلد ۴، شماره ۱، ص ۴۷ - ۵۵.
- [۲۴] زارع چاهوکی، م.ع.، خلاصی اهوازی، ل.، آذر نیوند، ح. (۱۳۹۳). مدل سازی پراکنش گونه های 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، دوره ۶۷، شماره ۱، ص ۴۵ - ۵۹.
- [۲۲] قدوسی، م. (۱۳۹۱). اثرات تغییرات الگوی بارش، کاربری اراضی و بهره برداری از سد و نیار بر هیدرولوژی حوضه آبریز آجی چای و ورودی آن به دریاچه ارومیه- پایان نامه کارشناسی ارشد منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.



Evaluation of landscape changes in Horizon 2020 cultivation of agricultural land in the basin Zarineh using a combination Markov and cellular automation

Gholam Abbas Sohooli, Majid Delavar*, Mohsen Ghamary Asl

- 1- MSc. student, Tarbiat Modares University
- 2- Assistant Professor, Tarbiat Modares University
- 3- PhD of Civil Eng., Khajeh Nasiroddin Tusi University

Abstract

Changes in 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 Zarineh basin using satellite images and a projection of the future land use changes has been provided. In this regard, a combined CA-MARKOV method was used. 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 dryland farming (10%). This trend has also been observed for horizon 2020.

Keywords: Land use, Prediction, Cellular automata, Zarrineh Roud.

Correspondence Address: Water Resources Engineering Group, College of Agriculture, University of Tarbiat Modares, Tehran, Iran. Tel: +98 912 462 8935.

Email: , m.delava@modares.ac.ir