نشریه مهندسی عمران و محیط زیست، جلد ۵۳، شماره ۲ (تابستان ۱۴۰۲)، یادداشت پژوهشی، ۱۸۰-۱۸۸ پیاپی ۱۱۱

کاربرد تحلیل‌های مکانی GIS در مدل‌سازی و پیش‌بینی الگوی مصرف آب شهری در تبریز

ابوالفضل قنبری*[۱]، بختیار فیضی‌زاده[۱]، محمد نفس ناطقه[۲]

[۱] دانشیار گروه سنجش از دور، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز
[۲] دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه سنجش از دور، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز

دریافت: ۱۴۰۰/۴/۱، بازنگری: ۱۴۰۱/۱/۶، پذیرش: ۱۴۰۱/۱/۱۵، نشر آنلاین: ۱۴۰۱/۱/۱۵

چکیده

آب اثر کلیدی در رفاه و سلامت جامعه، نقش تعیین‌کننده در رشد جوامع و یکی از مهم‌ترین منابع طبیعی است. در سال‌های اخیر مشکل کمیابی منابع آب در اثر افزایش روزافزون جمعیت در جهان و افزایش رقابت برای دستیابی به منابع آب که منجر به افزایش هزینه استفاده از آب می‌شود، تشدید شده است. بنابراین، استفاده از این منبع حیاتی مستلزم مدیریت صحیح است. پژوهش حاضر با عنوان پیش‌بینی و مدل‌سازی الگوی مصرف آب شهری در شهر تبریز با هدف بررسی و تحلیل الگوی مصرف آب شهری با استفاده سیستم اطلاعات جغرافیایی، GIS (Geographic Information System)، انجام شده است. داده‌های این پژوهش از داده‌های موقعیت مکانی مشترکان و میزان مصرف آب ثبت‌شده آن‌ها که از اداره آب و فاضلاب شهر تبریز گردآوری شده، انجام شده است. هدف از این پژوهش، پیش‌بینی و مدل سازی مصرف آب با توجه به مصرف سالیانه آب در سطح شهر تبریز و همچنین برآورد میزان مصرف آب در سطوح مناطق ده‌گانه تبریز می‌باشد. نتایج تحقیق نشان داد که روند مصرف آب در سال‌های ۱۳۹۵، ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ دارای روند افزایشی بوده است. نقشه پیش‌بینی الگوی مصرف آب در سال ۱۴۰۳ نیز نشان می‌دهد که بر اساس آن بیشترین میزان مصرف آب به ۱۹۶۰۰۰۰ متر مکعب خواهد رسید. مقایسه نتایج نقشه پیش‌بینی آب حاصل از روش CA-Markov (Markov Chain) با نقشه جمعیت، تعداد طبقات ساختمان‌ها و نوع کاربری نشان داد که در مناطق مسکونی میزان مصرف آب شهری در رتبه بالایی قرار دارد. با در اختیار گذاشتن نتایج حاصله از این پژوهش به مدیران و برنامه‌ریزان شهری این امکان داده می‌شود که در مدیریت مصرف آب در سطح شهر و سازمان‌ها بهتر و دقیق‌تر تصمیم‌گیری کنند.

کلیدواژه‌ها: پیش‌بینی الگوی مصرف آب، سیستم اطلاعات جغرافیایی، تحلیل الگوی مصرف، مدل‌سازی، تبریز، CA-Markov.

۱- مقدمه

آب یکی از مهم‌ترین و درعین‌حال محدودترین نهاده مورداستفاده در تمام بخش‌های اقتصادی است و به‌همین دلیل استفاده بهینه از آن ضروری به‌نظر می‌رسد. روند افزایش تقاضا برای آب در همه مناطق جهان مسئله‌ای اجتناب‌ناپذیر است. با توجه به رشد جمعیت، گسترش صنعت، بالا رفتن سطح بهداشت و رفاه عمومی، سرانه منابع تجدیدشونده منابع آب رو به کاهش است (سلیمی و حکیمیان، ۱۳۹۴). براساس آماری که مؤسسه منابع جهان در سال ۲۰۱۵ منتشر کرده است، ۳۳ کشور جهان با تنش آبی در سال ۲۰۴۰ میلادی روبرو خواهند شد که ایران در رتبه ۱۳ این کشورها قرار دارد. با توجه به میزان متوسط بارش در ایران و نیز با در نظر گرفتن میزان منابع آب و سرانه مصرف در کشور، ایران را می‌توان ازجمله کشورهایی که با خطر کمبود منابع فیزیکی آب روبرو است، دانست (Janzadeh، ۲۰۱۸). همچنین به‌دلیل خشک‌سالی‌های پیاپی، محدودیت‌های منابع آب، افزایش روزافزون جمعیت و مصرف نادرست آب، به یک برنامه‌ریزی علمی و کاربردی نیاز دارد، که بتواند میزان بهره‌وری آب را به حداکثر برساند (Mackenzie Moore و همکاران، ۲۰۱۴) با این شرایط پیش‌بینی مصرف آب در برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آبی نقش اساسی ایفا می‌کند، به‌ویژه در شرایط کنونی که الگوی مصرف و شناخت آن توجه کافی نمی‌شود و نیاز شدید به شناخت میزان مصرف و عوامل مؤثر بر آن، کاملاً محسوس (سلیمی و حکیمیان، ۱۳۹۴).

* نویسنده مسئول؛ شماره تماس: ۰۹۱۴-۴۰۱۷۴۹۰

آدرس ایمیل: a_ghanbari@tabrizu.ac.ir (ا. قنبری)، bakhtiar.feizizadeh@gmail.com (ب. فیضی‌زاده)، mo.nateghe97@gmail.com (م. نفس ناطقه).

بررسی و تحقیق پیرامون مسائل متعدد مصرف آب در اقصی نقاط جهان و تدوین الگوهایی در ارتباط با عوامل تعیین‌کننده مصرف آب به‌طور عمده در متون اقتصادی نیمه دوم قرن بیستم دیده می‌شود. بنابراین به‌منظور برنامه‌ریزی در جهت پاسخگویی به نیازهای مرتبط با آن و ایجاد توازن میان عرضه و تقاضای آب به‌ویژه در بخش خانگی، لازم است ابعاد مختلف این موضوع موردبررسی قرار گیرد (ادیب‌پور و آشیانی،۱۳۹۴).

شهر تبریز به‌عنوان یکی از کلان‌شهرهای ایران، به‌علت افزایش روزافزون جمعیت و گسترش شهری از این قاعده مستثنا نیست و یکی از مشکلاتی که در آینده با آن روبرو خواهد بود، مسائل مربوط به آب و مصارف آن می‌باشد. اهمیت این مسئله و همچنین فقدان الگو و توصیف مشخص از نحوه و میزان مصرف آب در کشور، استفاده از سیستم‌های پردازش اطلاعات را در مدیریت منابع آب ضروری می‌نماید. لذا در جهت مدیریت مصرف آب شهری و ارائه تمهیدات گذر از بحران، لازم است اطلاعات لازم در رابطه با الگوی مصرف شهروندان بررسی شود. این اطلاعات شامل میزان مصرف هر یک از مصارف شهری به‌خصوص مصرف آب مسکونی، پراکندگی فضایی میزان مصرف آب و عوامل مؤثر بر الگوی مصرف می‌باشد. بر این اساس، بررسی الگوی مصرف آب شهری و استفاده اصولی از نتایج آن، می‌تواند به حل مسئله کمبود آب در تأمین آب شهری کمک و زمینه‌های لازم به‌منظور مدیریت تقاضای آب مسکونی را فراهم نماید (شهرستانی، ۱۳۹۳).

تحقیقات در زمینه پیش‌بینی مصرف آب از سال‌های دور موردتوجه بوده است ولی روش‌های پیش‌بینی و انگیزه آن در طول این دوران متفاوت می‌باشد. مقالات مختلفی به پیش‌بینی آب شهری در مصرف میان‌مدت و بلندمدت و روزانه انجام شده است که در ادامه به آن‌ها اشاره شده است. از آن جمله می‌توان به Hiscock (۲۰۲۱)، Feizizadeh (۲۰۲۱) و Fernández (۲۰۲۰) اشاره کرد.

اولین تحقیقات در زمینه پیش‌بینی مصرف آب با انگیزه تعیین حداکثر تقاضای روزانه توسط Graser در سال ۱۹۵۸ صورت گرفته است. وی با انجام مطالعات خود بر روی مقادیر آب مصرفی در دالاس تگزاس دریافت که حداکثر مصرف روزانه آب به‌صورت قابل‌ملاحظه‌ای تابع تعداد روزهای قبلی با حداکثر درجه حرارت بیش از ۳۸ درجه سانتی‌گراد و تعداد هفته‌های قبلی با حداقل بارش ۵ سانتی‌متر می‌شود.

Wong (۱۹۷۲)، Young (۱۹۷۳) و Willsie و Pratt (۱۹۷۴) سری زمانی مصرف سالانه آب شهری را به متغیرهای جمعیت، درآمد خانوار، قیمت آب، بارش، درجه حرارت هوا و تبخیر وابسته کردند و توابعی را جهت تخمین مصرف سالیانه آب ارائه دادند.

Zhou و همکاران در سال ۲۰۰۰ میزان آب مصرفی روزانه شهر ملبورن را با استفاده از سری‌های زمانی پیش‌بینی نمودند. در این داده‌ها چهار فاکتور روند، فصل، رابطه آب و هوایی و خودهمبستگی مورداستفاده قرارگرفته است. مبنای مصرف آب براساس حداقل مصرف ماهانه قرار داده شده است. روند سالانه بر اساس داده‌های سالانه محاسبه شده و مدل فصلی بر اساس شش‌ماهه سرد و شش‌ماهه گرم موردتوجه قرارگرفته و مدل با استفاده از رویه اعتبارسنجی متقاطع مورد تأیید قرارگرفته است به‌صورتی که پیش‌بینی ۶۲ روز از مصرف آب ملبورن در تابستان انجام شده و با داده‌های واقعی مقایسه شده است.

Lawagali در سال ۲۰۰۸ بر اساس مدل باکس جنکینز[1] مصرف سالانه آب کشاورزی، صنعتی و داخلی را برای لیبی تا سال ۲۰۲۰ پیش‌بینی نمود. داده‌ها براساس مصرف سالانه لیبی از سال ۱۹۷۵ تا ۲۰۰۵ جمع‌آوری شده است. سپس مدل‌های مختلف ARIMA برای مصارف مختلف آزمون شده است و بر اساس میزان خطای پیش‌بینی سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۵ بهترین مدل برآورد شده است.

در سال ۲۰۱۱ Azadeh و دیگران از مدل ترکیبی رگرسیون فازی و شبکه عصبی مصنوعی جهت بهبود پیش‌بینی مصرف آب در کوتاه‌مدت استفاده نمودند که کاربردش در محیط‌های پیچیده و نامطمئن است. این روش بین سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۰ در نتایج تحقیق بر اساس شاخص MAPE نشان می‌دهد که روش ANN نتایج بهتری از رگرسیون خطی فازی در روزهای گرم ارائه داد.

شرزه‌ای و همکاران (۱۳۸۷) به پیش‌بینی تقاضای آب شهر تهران با استفاده از الگوهای ساختاری، سری‌های زمانی و شبکه عصبی GMDH پرداختند. نتایج نشانگر درجه کارایی بیشتر شبکه-های عصبی نسبت به دو روش دیگر است. کانی و خواسته (۱۳۹۸) به تحلیل مصرف آب شهری در شهر بابل با استفاده از داده کاوی پرداختند و از پارمتر های مکانی و اجتماعی- اقتصادی استفاده کردند.

کاظمی و همکاران (۱۳۹۶) در پژوهشی به پیش‌بینی مصرف آب شهر کلیبر با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی پرداختند. نتایج نشان داد شبکه عصبی نوع FFB[2] دارای دقت و قابلیت بالا برای مدل‌سازی پیش‌بینی مصرف ماهانه شهر کلیبر برخوردار می-باشد. موسوی و کلاشمی (۱۳۹۵) در پژوهشی به پیش‌بینی مصرف آب شرب شهر رشت با استفاده از روش‌های شبکه عصبی و سری‌های زمانی پرداخته‌اند. دو الگوی SARIMA[3] و ANN[4] با خطای پیش‌بینی کمتر از یک درصد نتایج مطلوبی را فراهم کردند.

تحقیقات مکانی با تکیه بر علم GIS در مدل سازی و پیش‌بینی الگوی مصرف آب شهری کم بوده و لذا، این پژوهش با بهره‌گیری

1. Box Jenkins
2. Feed Forward Backpropagation
3. Seasonal AutoRegressive Integrated Moving Average
4. Artificial Neural Network

از سیستم اطلاعات مکانی GIS ابتدا داده‌های مصرف آب را جمع-آوری کرده و سپس بر اساس روند مصرف در سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶و ۱۳۹۷ توسط مشترکان استخراج‌شده ارزیابی کرده و سپس با استفاده از زنجیره مارکوف[5] و سلول‌های اتوماتیک مارکوف نقشه پیش‌بینی روند مصرف آب برای سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۳ پیش‌بینی شد.

۲- مبانی نظری تحقیق

۲-۱- تحلیل الگوهای نقطه‌ای

در جغرافیای کاربردی که از GIS استفاده می‌کنند، الگوهای نقطه‌ای خالص به‌طور مداوم اتفاق می‌افتند. موقعیت مشترکان آب و فاضلاب به‌صورت نقاط دارای مختصات جغرافیایی ثبت شده است. تحلیل الگوهای نقطه‌ای در تجزیه‌وتحلیل‌های GIS کاربردهای زیادی دارد. داده‌های نقطه‌ای با ثبت اطلاعات مشترکان می‌تواند در تحلیل الگوهای پنهان مورداستفاده قرار بگیرد. استفاده از روش‌های درون‌یابی و تحلیل تراکم نقاط، می-تواند در تبدیل داده‌های نقطه‌ای به داده‌های رستری مورداستفاده قرار گیرد. در تحقیق حاضر نیز از روش Point Density به‌منظور تعمیم اطلاعات نقاط به سطح و تعیین میزان مصرف آب در نواحی مختلف استفاده شده است. با توجه به نقشه تولیدشده برای نمایش روند الگوی مصرف آب در سال‌های ۱۳۹۵، ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷، افزایش میزان مصرف آب در نواحی که تراکم ساختمان‌ها و جمعیت بالا می‌باشد، قابل‌مشاهده است. در سال ۱۳۹۵ بالاترین میزان مصرف آب توسط مشترکان ۱۶۷۶۰۲۰ متر مکعب می‌باشد که این مقدار در سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ به‌ترتیب به‌میزان ۱۷۴۳۵۹۲/۴۷۵ و ۱۸۱۳۵۹۲/۲۷۵ متر مکعب رسیده است. لازم به‌ذکر است که این افزایش میزان مصرف به‌لحاظ مکانی، در نواحی مرکزی و جنوب غربی رخ داده است.

۲-۲- مدل زنجیره مارکوف[6]

زنجیره مارکوف، دنباله‌ای از فرآیندهای تصادفی است که در آن نتیجه هر فرآیند در هر زمان، تنها به نتیجه فرآیند در زمان مجاور آن وابسته است (Norris و همکاران ، ۱۹۹۷). در تحلیل زنجیره مارکوف از کلاس‌های پوشش به‌عنوان حالت یا همان وضعیت‌های زنجیره استفاده شده است. در این تحلیل همواره از دو نقشه رستری استفاده می‌شود که ورودی‌های مدل نامیده می‌شود. علاوه بر این دو نقشه، فاصله زمانی بین دو تصویر و فاصله زمانی پیش‌بینی در مدل در نظر گرفته می‌شود. خروجی مدل نیز شامل احتمالات تبدیل وضعیت، ماتریس مساحت‌های تبدیل‌شده هر کلاس و درنهایت تصاویر احتمالات شرطی برای تبدیل کاربری‌های مختلف است (Eslah و همکاران، ۲۰۱۵). فرآیند تصادفی زیر یک زنجیره مارکوف است (رابطه (۱))، درصورتی‌که: $N \in$ ţ و $s \in j$ باشد (s یک مجموعه قابل‌شمارش است)، (حکیم-پور، ۱۳۷۶ و ۲۰۰۰).

$$X = [N \in T \text{ţX}] \qquad (۱)$$

۲-۳- ماتریس احتمال گذر

در یک توالی وضعیت‌های زمانی گسسته، احتمال گذار از وضعیت i در زمان t_m به وضعیت j در زمان t_m در یک گام منفرد P_{ji} فقط وابسته به وضعیت‌های زمان‌های t_m و $t_m +$ است. به-صورت:

$$p = \begin{bmatrix} p_{00} & p_{01} & \cdots & p_{0m} \\ p_{10} & p_{11} & \cdots & p_{1m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ p_{n0} & p_{n1} & \cdots & p_{nm} \end{bmatrix} \qquad (۱)$$

در رابطه بالا، P احتمال گذار انواع کاربری‌ها از نوع i به نوع j است. در اینجا سه فرض وجود دارد:

اول) زنجیره مارکوف به‌صورت تصادفی است.

دوم) زنجیره مارکوف به‌صورت مدل درجه اول در نظر گرفته می‌شود به‌گونه‌ای که وضعیت حرکت سیستم در زمان $t+۱$ فقط وابسته به زمان t است.

سوم) به‌گونه‌ای است که احتمالات گذار تغییر نمی‌کند. برطبق نظریه فرآیند تصادفی مارکوف، می‌توان از ماتریس احتمالاتی در وضعیت اولیه برای محاسبات احتمالات گذار وضعیت اولیه به N امین وضعیت استفاده کرد. فرمول N امین وضعیت احتمال گذار مارکوف از رابطه (۲) به‌دست می‌آید:

$$P_{ij}^{n} = \sum_{k=0}^{m-1} P_{ik}^{(n-1)} P_{kj}^{(n-1)}$$
$$0 \le p_{ij} \le 1 \text{ ،(i,j 1,2,3, ..., n, m)} \qquad (۲)$$
$$\sum_{i=1}^{n} P_{ij} = (i, j = 1, .2.3. \ldots . n. m)$$

در رابطه (۲)، m تعداد ردیف‌ها یا ستون‌های ماتریس احتمال گذار بوده و n امین ماتریس احتمال گذار برابر است با n امین توان اولین ماتریس احتمال گذار (Zhang و همکاران، ۲۰۱۰).

۲-۴- پیش‌بینی مارکوف

بر اساس ماتریس اولیه $S_{(0)}$ و احتمال گذار n امین مرحله، توزیع کاربری‌ها در منطقه موردمطالعه در زمان آینده را می‌توان با استفاده از یک شبیه‌سازی رایانه‌ای محاسبه کرد. به‌طوری‌که

5. Markov chain model

6. Markov chain model

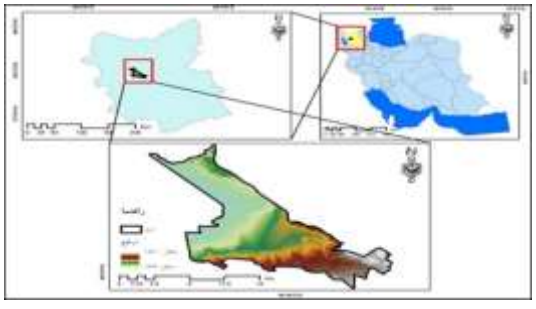
شبیه‌سازی مارکوف در وضعیت $S_{(n)}$ را می‌توان از رابطه (۳) به دست آورد (Zhang و همکاران، ۲۰۱۰).

$$S_{(n)} = S_{(n+1)} * P^{(1)} \quad S_{(0)} * P^{(n)} \\ \sum_{k=0}^{m-1} p(n-1)_{ji}^{h} = \quad (۳)$$

مدل‌های مبتنی بر زنجیره مارکوف اطلاعات پیچیده را در قالب ماتریس تغییر وضعیت گردآوری می‌کنند. ازاین‌رو با کمک زنجیره مارکوف سیستم‌های بسیار پیچیده و مرکب که در آن فرآیندهای زیربنایی قابل‌شناسایی نیستند را می‌توان مدل‌سازی نمود (Balzter، ۲۰۰۰).

۳- منطقه موردمطالعه

شهر تبریز با وسعتی حدود ۲۴۵۵۹/۱۳ هکتار در موقعیت جغرافیایی ۴۵ درجه و ۲۳ دقیقه، ۴۶ درجه و ۱۱ دقیقه طول شرقی و ۳۸ درجه و ۹ دقیقه، ۳۸ درجه و ۱ دقیقه عرض شمالی با ارتفاع ۱۳۴۰ متر در جلگه‌ای به همین نام (جلگه تبریز) واقع شده است. (اصغری زمانی، ۱۳۷۹: ۴۶). شهر تبریز در گوشه شمال غربی کشور و در امتداد محور بین‌المللی تهران- بازرگان که ایران را به اروپا متصل می‌سازد قرار گرفته است (شکل (۱)). به لحاظ ویژگی‌های جغرافیایی و طبیعی، موقعیت استقرار شهر تبریز و هسته اولیه شکل‌گیری شهر حاکی از مناسب‌ترین و مساعدترین عوامل جغرافیایی بوده که به‌دلیل مواهب و مساعدت‌های جغرافیایی در روند تاریخی توسعه فیزیکی به یکی از بزرگ‌ترین شهرهای کشور تبدیل شده است (مهندسین مشاور نقش محیط، ۱۳۹۱). طبق آمار سازمان ثبت‌احوال استان جمعیت شهر تبریز تا دی‌ماه سال ۱۳۹۸ خورشیدی بالغبر ۱٬۷۹۹٬۹۳ نفر بوده است که از این جهت، پنجمین شهر پرجمعیت ایران پس از تهران، مشهد، اصفهان و کرج محسوب می‌شود.

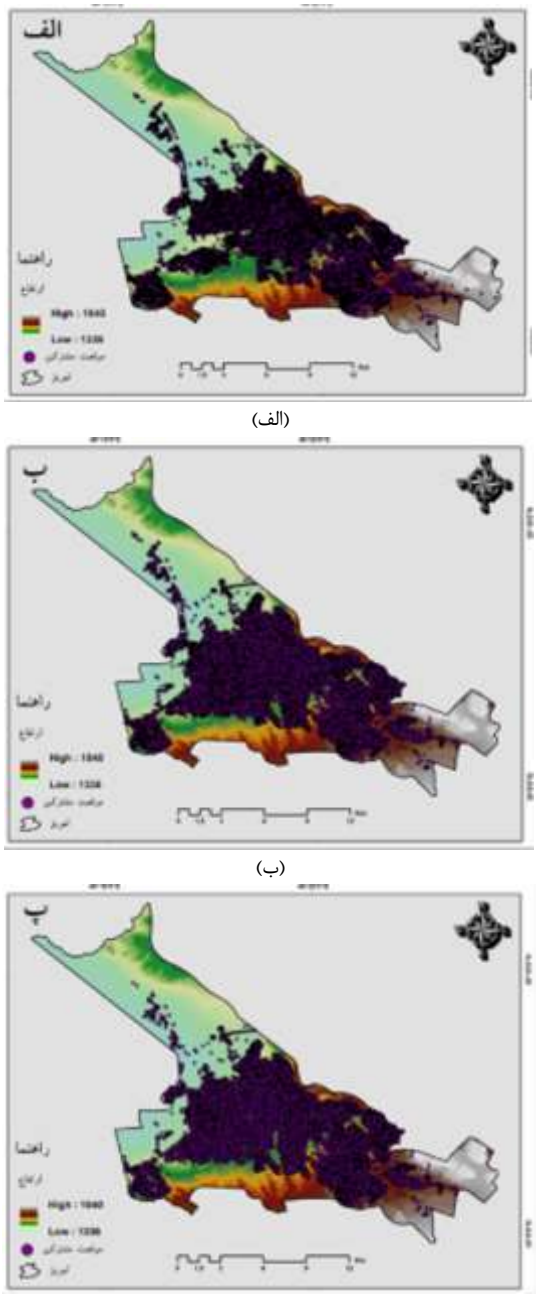


شکل ۱- موقعیت منطقه موردمطالعه

۴- مواد و روش‌ها

۴-۱- داده‌ها

در تحقیق حاضر به‌منظور استخراج الگوی مصرف آب در شهر تبریز از داده‌های مشترکان سال‌های ۱۳۹۵، ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ استفاده شد. ابتدا، نقشه موقعیت مشترکان در هر سال تهیه شد، سپس بر اساس نقشه تراکم، میزان مصرف در هر منطقه، الگوی اولیه مصرف آب، بر اساس داده‌های ثبت‌شده مصرف مشترکان توسط اداره آب و فاضلاب شهرستان تبریز به‌دست آمد. در این تحقیق با استفاده داده‌های مصرف مشترکان عملیات استخراج الگوی مصرف آب در شهر تبریز و پیش‌بینی آن برای سال ۱۴۰۳ انجام شده است. نقشه موقعیت مکانی مشترکان (شکل (۲)).



(الف)

(ب)

(ج)

شکل ۲- موقعیت مشترکان اداره آب و فاضلاب در شهر تبریز: الف) موقعیت مشترکان در سال ۱۳۹۵، ب) موقعیت مشترکان در سال ۱۳۹۶، ج) موقعیت مشترکان در سال ۱۳۹۷

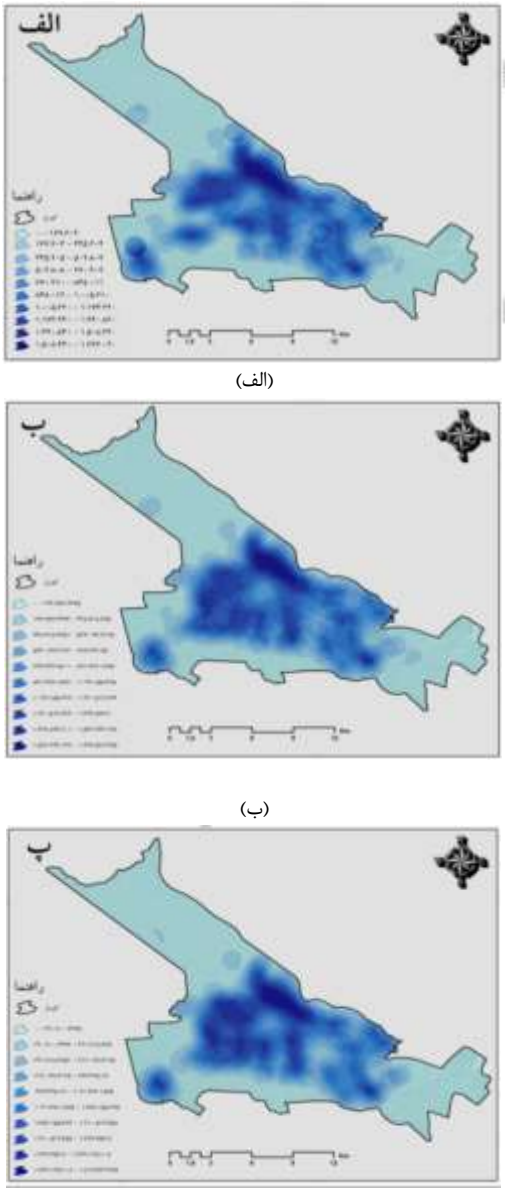
۴-۲- روش‌شناسی تحقیق

از روش‌های تحلیل الگوهای نقطه‌ای به‌منظور استخراج الگوی مصرف در سال‌های مذکور در محیط نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد. روش مورداستفاده برای شناسایی الگوی مصرف آب در سطح شهر با استفاده از داده‌های موقعیت مشترکان، روش Point Density بود که با استفاده از ستون اطلاعات مربوط به‌میزان مصرف آب توسط مشترکان این تحلیل صورت گرفت. بعد از مشخص شدن لایه‌های رستری مصرف آب توسط مشترکان، لایه‌ها به محیط نرم‌افزار TerrSet منتقل شد تا برای پیش‌بینی برای سال ۱۴۰۳ به مدل زنجیره مارکوف وارد شوند. بدین‌ترتیب که ابتدا با استفاده از دستور Markov پیش‌بینی و تغییرات بر اساس لایه‌های موجود با فاصله زمانی دو سال یعنی سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۷ صورت گرفت. سپس با ورود به مدل سلول‌های اتوماتیک مارکوف[7]، نقشه پیش‌بینی برای سال ۱۴۰۳ در ۱۰ طبقه به‌دست آمد (شکل (۳)).

۴-۳- مدل CA-Markov

ابتدا با به‌کارگیری مدل زنجیره مارکوف احتمال تغییرات طبقات نقشه کاربری اراضی به یکدیگر در قالب یک ماتریس تغییر وضعیت کاربری‌ها و بر مبنای تغییرات صورت گرفته از زمان t_0 تا t_1 محاسبه می‌شود. خروجی مدل مارکوف که همان ماتریس تغییر وضعیت است از لحاظ ماهیت غیرمکانی است، یعنی در آن هیچ دانش و آگاهی از موقعیت جغرافیایی کاربری‌های زمین وجود نداد. برای پیش‌بینی موقعیت مکانی کاربری‌ها (نقشه کاربری اراضی) در زمان آتی از مدل CA-Markov که مؤلفه‌های مجاورت مکانی و دانش کاربر نسبت به توزیع مکانی احتمال تبدیل کاربری‌ها را به مدل زنجیره مارکوف اضافه می‌کند، استفاده می‌شود (خوش‌گفتار و ملک‌پور، ۱۳۸۹).

به‌طور خلاصه، در پژوهش حاضر از جمع‌آوری داده‌ها از طریق فایل‌های نرم‌افزار Excel و تبدیل آن به فرمت SHP[8] در محیط نرم‌افزار ArcGIS، تحلیل الگوی مصرف در سال‌های ۱۳۹۵، ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ صورت گرفت که نتایج آن به‌صورت نقشه‌های رستری با رنگ‌بندی آبی تیره تا آبی روشن در ده طبقه برحسب متر مکعب ارائه شد. نتایج حاصل از این عملیات به‌عنوان ورودی‌های مدل مارکوف وارد نرم‌افزار TerrSet شده و با استفاده از آن‌ها نقشه پیش‌بینی الگوی مصرف آب در سال ۱۴۰۳ با استفاده از روش زنجیره مارکوف به‌دست آمد. نمودار جریان زیر به‌خوبی مراحل انجام تحقیق را نمایش می‌دهد (شکل (۴)).



(الف)

(ب)

(ج)

شکل ۳- نقشه میزان مصرف آب توسط مشترکان در شهر تبریز: الف) نقشه میزان مصرف آب در سال ۱۳۹۵، ب) نقشه میزان مصرف در سال ۱۳۹۶، ج) نقشه میزان مصرف آب در سال ۱۳۹۷

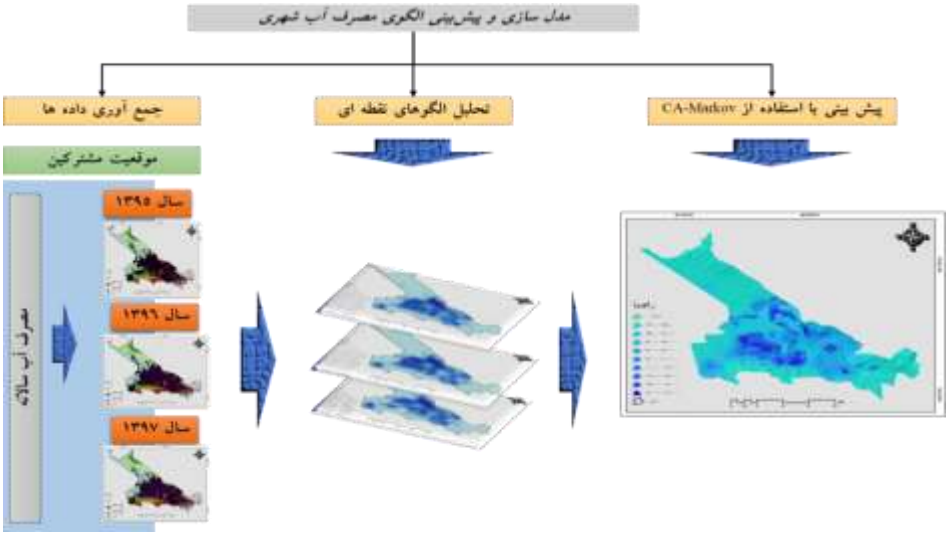
۵- نتایج و بحث

براساس نقشه‌های به‌دست‌آمده، مناطق مرکزی و شمالی شهر دارای بیش‌ترین میزان مصرف هستند. برخی مناطق دیگر شهر تبریز ازجمله نواحی جنوبی شهر با گذر زمان بیش‌ترین مصرف را به خود اختصاص داده‌اند که مبین بالا رفتن تراکم جمعیت در این نواحی نیز می‌باشد. نتایج حاصل از تحلیل و بررسی داده‌های مشترکان نشان داد که تغییرات محسوس در

7. CA-Markov

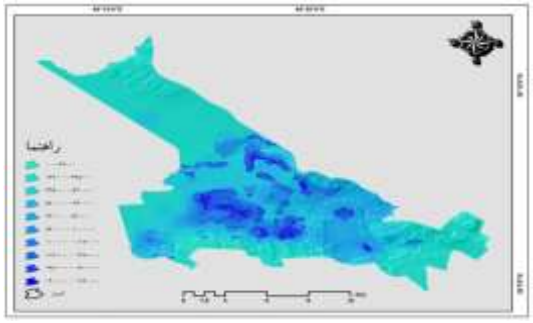
8. Shapefile

دوره موردمطالعه صورت گرفته است. روند مصرف آب تابعی از روند افزایش جمعت و به‌تبع آن افزایش تقاضا برای مصرف آب می‌باشد. بدیهی است که بخش صنعت و کشاورزی از بیشترین متقاضیان و مصرف‌کنندگان آب می‌باشند، لذا تأثیر آن در سال‌های مختلف در نقشه‌ها دیده می‌شود (شکل (۵)).



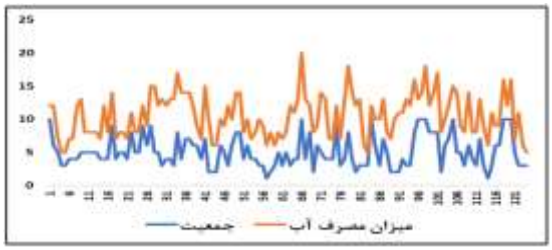
شکل ۴- نمودار جریان مراحل انجام تحقیق

همان‌طور که در نقشه حاصل از پیش‌بینی CA-Markov دیده می‌شود، نواحی مرکزی شهر و بخش‌هایی از نواحی جنوبی دارای مصرف بالایی خواهند بود. این پیش‌بینی مطابق با آنچه که در روند بررسی میزان مصرف آب در سال‌های ۱۳۹۵، ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ اتفاق افتاده است می‌باشد. نتایج بررسی نشان می‌دهد که در نواحی مصارف بالا خواهیم داشت که میزان جمعیت نیز در آن مناطق بالا می‌باشد. برای بررسی این نکته ابتدا لایه‌های تراکم جمعیت و نقشه پیش‌بینی مارکوف را به لایه‌های رستری در ۱۰ کلاس طبقه‌بندی کرده و سپس با برداشت نقاط تصادفی میزان همبستگی میان تراکم جمعیت و میزان مصرف آب را به دست آوردیم. به‌منظور تسهیل در نمایش از اعداد بین ۱ تا ۱۰ برای بیان ارزش هر طبقه از هر لایه استفاده کردیم.

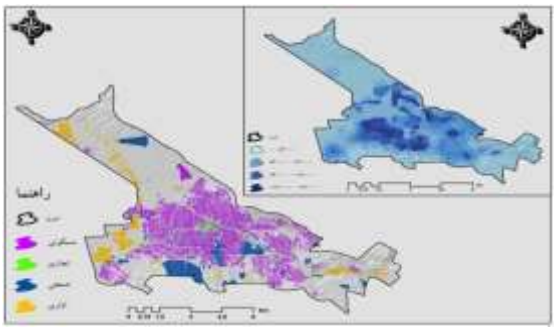


شکل ۵- نقشه پیش‌بینی الگوی مصرف آب در شهر تبریز برای سال ۱۴۰۳

بدین ترتیب که ارزش‌های کمتر بیانگر تراکم پایین جمعیت و میزان مصرف پایین آب و ارزش‌های بالاتر بیانگر تراکم بالای جمعیت و میزان بالای آب هستند (شکل (۶)). میزان مصرف آب و رابطه آن با نوع کاربری یکی از مهم‌ترین معیارهای استخراج الگوی مصرف آب در سطح شهرها است. میزان مصرف آب تابعی از نوع کاربری می‌باشد. در بخش‌های کشاورزی و آبیاری فضای سبز شهری و همچنین بخش صنعت بیش‌ترین مصارف به ثبت رسیده‌اند. در رتبه‌های بعدی کاربری‌های مسکونی و اداری قرار دارند. برای بررسی این موضوع ارتباط کاربری اراضی با نقشه تولیدشده مصرف آب با یکدیگر مقایسه شدند. با توجه به این موضوع که در این تحقیق مصرف آب توسط کشاورزی بررسی نشده است، لذا کاربری مسکونی بیش‌ترین مصرف را به خود اختصاص داده است. مقایسه نقشه مصرف آب به‌دست‌آمده از روش CA-Markov با نقشه کاربری‌های اراضی در شهر تبریز به‌وضوح ارتباط مثبت بین مناطق دارای تراکم بالای مسکونی و مصرف بالای آب را نشان می‌دهد (شکل (۶)).



شکل ۶- نمودار ارتباط بین میزان مصرف آب (اطلاعات برداشت‌شده از نقشه حاصل از پیش‌بینی Markov برای سال ۱۴۰۳می‌باشند) و تراکم جمعیت در شهر تبریز

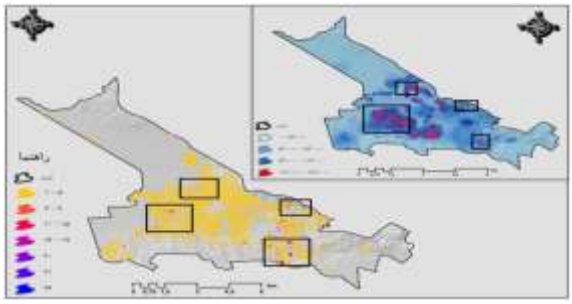


شکل ۷- مقایسه مناطق دارای مصرف بالای آب در نقشه پیش‌بینی‌شده توسط روش CA-Markov با نقشه کاربری اراضی شهر تبریز

در بررسی ارتباط بین میزان مصرف آب و کاربری‌های مختلف در طرح شهر تبریز به این نتیجه حاصل شد که در مناطقی که تراکم کاربری مسکونی بالا است میزان مصرف آب نیز بالا است. روش مورداستفاده در تحقیق حاضر برای بررسی مکانی و استخراج الگوهای پنهان مصرف آب، درعین آن‌که روش پیچیده و سختی نیست، نتایج قابل‌قبول و مفیدی را در اختیار گذاشت. استفاده از تحلیل‌های هرچند ساده مکانی، صرفاً در صورت در اختیار داشتن داده‌های صحیح می‌تواند در دستیابی به نتایج دقیق و قابل‌اعتماد مورداستفاده قرار بگیرد. استفاده از روش‌های تحلیل مکانی مانند درون‌یابی اطلاعاتی که دارای بعد مکانی و مختصات جغرافیایی هستند، علاوه بر پراکندگی نقاط (به‌عنوان مثال مشترکان مصرف آب) در پهنه منطقه موردمطالعه، می‌تواند با تحلیل اطلاعات جانبی آن‌ها همراه بوده و میزان و الگوی پهنه‌بندی آن معیار و اطلاعات در گستره منطقه موردمطالعه را نشان دهد. این عملیات در تحقیق حاضر صورت گرفت و علاوه بر مشخص کردن مناطق دارای مصرف بالا، میزان مصرف و نوع کاربری‌هایی که مصارف بالایی را دارند مشخص نمود. بنابراین، استفاده از روش‌های تحلیل مکانی داده‌ها برای انجام تحقیقات مشابه پیشنهاد می‌شود. علاوه بر آن استفاده از روش‌های پیش‌بینی مانند زنجیره مارکوف که در تحقیق حاضر انجام شد، روند مصرف آب در آینده نیز قابل پیش‌بینی است. ازآنجایی‌که مصرف آب می‌تواند برای برنامه‌ریزان محیطی عامل بسیار مهمی برای حفظ منابع آب، حفظ سلامت منابع آب، به‌خصوص آب شرب برای مصارف خانگی و تجاری باشد، دقت در جمع‌آوری صحیح و نگهداری داده‌های مصرف مشترکان یکی از پیشنهادهایی است که می‌توان برای متصدیان امر در اداره آب و فاضلاب ارائه داد، چراکه همان‌گونه که اشاره شد، در صورت در دست بودن داده‌ها و اطلاعات صحیح می‌تواند امکان تحلیل‌های مکانی ساده را برای به‌دست آوردن نتایج مهم را فراهم کند، آنچه که در تحقیق حاضر صورت گرفته است.

۶- نتیجه‌گیری

استفاده از تحلیل‌های مکانی برای استخراج و نمایش الگوی مصرف آب در شهر تبریز به‌عنوان هدف اصلی در تحقیق حاضر بود که به آن پرداخته شد. بررسی نتایج به‌دست‌آمده و مقایسه آن‌ها با اطلاعاتی که از اداره آب و فاضلاب شهرستان تبریز دریافت شده بود نشان داد که تحلیل‌های مکانی در تشخیص الگوی مصرف آب کارایی دارد. روش‌های تحلیل الگوهای نقطه‌ای نیز در به نمایش درآوردن تغییرات مصرف آب در منطقه موردمطالعه مفید بوده و مناطق با مصرف بالا را در دوره موردمطالعه مشخص کردند. ازآنجایی‌که آب شرب یکی از نعمت‌های مهم و گران‌بها در شهرهای پرجمعیت است. لذا، توجه به الگوی مصرف آن باید بیش‌ازپیش صورت بگیرد. در این زمینه، پیش‌بینی مصرف آب برای سال‌های آینده می‌تواند پراهمیت بوده و به برنامه‌ریزان در کنترل مصرف آب توسط کاربری‌های پرمصرف مانند کمک کند. در این تحقیق از روش پیش‌بینی مارکوف استفاده شد تا الگوهای پنهان مصرف آب برای سال ۱۴۰۳ مشخص و نمایش داده شود. روند مصرف آب در سال‌های ۱۳۹۵، ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ روبه افزایش بود و این امر در پیش‌بینی مصرف آب در سال ۱۴۰۳ نیز تأثیرگذار بود. بیش‌ترین میزان مصرف آب در سال ۱۴۰۳، طبق نقشه پیش‌بینی‌شده با استفاده از روش CA-Markov برابر با ۱۹۶۰۰۰۰ متر مکعب می‌باشد که این رقم نسبت به سال ۱۳۹۷ دارای ۱۴۶۴۰۷/۶۳ متر مکعب افزایش است. نتایج نشان داد که رابطه بین الگوهای نهان مصرف آب با موقعیت مکانی مشترکان در شهر تبریز مشهود است. موقعیت مکانی مشترکان و میزان مصرف آب توسط آن‌ها و نوع استعمال آب توسط مشترکان مشخص کرد که در مناطق شمالی و مرکزی شهر مصارف در سطح بالایی قرار دارد که به‌دلیل تراکم جمعیت و استقرار مراکز تجاری مشخص شد که مصرف توسط کاربری تجاری و خانگی در این نواحی بالا می‌باشد. در ارتباط با مدل‌سازی دنیای واقعی در محیط نرم‌افزاری، در دست داشتن اطلاعات جغرافیایی یکی از ارکان اصلی و اولیه می‌باشد.



شکل ۸- مقایسه مناطق دارای مصرف بالای آب در نقشه پیش‌بینی‌شده توسط روش CA-Markov با نقشه تعداد طبقات ساختمان‌ها در شهر تبریز

۷- مراجع

ادیب‌پور م، شیرآشیانی ر، "برآورد تابع تقاضای آب خانگی استان گلستان"، فصلنامه مدل‌سازی اقتصادی، ۱۳۹۳، شماره ۲.

اصغری زمانی ا، "پژوهشی در روند حاشیه نشینی ایران (مطالعه موردی: شهر تبریز)"، ۱۳۷۹، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تبریز.

اصلاح م، المدرسی س ع، مفیدی‌فر م، ملک‌زاده بافقی ش، "بررسی کارایی مدل زنجیره‌ای مارکوف دربرآورد تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین با استفاده از تصاویر ماهواری Landsat، همایش ملّی کاربرد مدل‌های پیشرفته تحلیل فضایی (سنجش از دور و GIS در آمایش سرزمین"، ۱۳۹۳، دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد، شهرداری یزد.

آرام ع، عاقلی کهنه‌شهری ل، "ارائه یک مدل ترکیبی برای پیش‌بینی تقاضای روزانه آب شهری"، فصلنامه اقتصاد مقداری بررسی‌های اقتصادی سابق، ۱۳۹۱، ۳ (۱).

بازدار م، گودینی ح، یاراحمدی یوسف‌وند م، "بررسی میزان سرانه مصرف‌خانگی آب شهر خرم‌آباد در سال ۱۳۹۲ و راه‌های کاهش میزان مصرف آب"، اولین همایش مدیریت تقاضا و بهره‌وری مصرف آب، همدان، دبیرخانه دائم همایش، ۱۳۹۴.

پورمحمدی م، "برنامه‌ریزی کاربردی اراضی‌شهری"، ۱۳۸۲، تهران، سمت.

جان‌زاده ا ح، "استحصال آب از هوا با بهره‌گیری از دمای عمق زمین (نمونه موردی: بررسی کارایی سیستم در شهر بندرعباس)"، نشریه پژوهش‌های از حفاظت آب و خاک، ۱۳۹۷، ۲۵ (۲)، ۳۰۵-۲۹۷.

حسین‌پور س، دهقانی ا ا، ظهیری ع، شوریان م، مفتاح هلقی م، "مدیریت آب شهری با استفاده از مدل برنامه‌ریزی منابع آب MODSIM". مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۱۳۹۴، ۲۲ (۵)، ۱۵۳-۱۶۹.

حکیم‌پور آ، "تصمیم‌گیری مدیریتی"، انتشارت آستان قدس رضوی، مشهد، ۱۳۷۶.

خوش‌گفتار م م، ملک‌پور پ، "مدل‌سازی زمانی- مکانی رشد شهری روشی مبنی بر تلفیق Cellular Automata زنجیره مارکوف"، همایش ملّی ژئوماتیک، سازمان نقشه‌برداری کشور، ۱۳۸۹.

سلیمی م، حکیمیان ح، "پیش‌بینی مصرف روزانه آب شهر تهران با استفاده از روش رگرسیون و رکرسیون تعدیل شده"، سومین کنفرانس بین‌المللی پژوهش‌های نوین در مدیریت، اقتصاد و حسابداری، ترکیه- استانبول، اسفند ۱۳۹۴.

شهرستانی ح، "سازماندهی و مدیریت مصرف بهینه آب در بخش کشاورزی"، فصلنامه نظام مهندسی کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۳۹۳، ۴۵.

قندی م، روزبهانی ع، "مدیریت تأمین آب شرب شهر تهران در شرایط پیش از بحران با استفاده از روش PROMETHEE II فازی"، مجله آب و فاضلاب، ۱۳۹۸، ۳۰ (۴)، ۱-۱۵.

کاظمی ز، رئیسی ح، راهنورد ب، "پیش‌بینی مصرف آب شهر کلیبر با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی"، شانزدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه محقق اردبیلی، شهریور ۱۳۹۶.

کانی م، خواسته س ح، "تحلیل مصرف آب شهری شهرستان بابل با استفاده از روش‌های داده کاوی"، فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی، ۱۳۹۸، ۲۸ (۲۸).

مرتضوی‌آبده‌گاه ح، "نقش تعرفه در بهینه‌سازی الگوی مصرف آب در شرکت آب فاضلاب بندر امام خمینی"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد، واحد گچساران، ۱۳۹۶.

مهری س، حاجی خ، علیزاده و، مصطفی‌زاده ر، "ارزیابی تغییرات مکانی شدت دوره‌های خشکسالی هواشناسی در مقیاس‌های زمانی متفاوت در استان‌کردستان"، فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی، ۱۳۹۶، ۲۶ (۱۰۲)، ۱۶۲-۱۵۱.

Azadeh A, Neshat N, Hamidipour H, “Hybrid fuzzy regression–artificial neural network for improvement of short-term water consumption estimation and forecasting in uncertain and complex environments: Case of a large metropolitan city”, Journal of Water Resources Planning and Management, 2012, 138 (1), 71-75.

Balzter H, “Markov chain models for vegetation dynamics”, Ecological Modelling, 2000, 126 (2-3), 139-154. https://doi.org/10.1016/S0304-3800(00)00262-3

Campbell HE, Johnson RM, Larson EH, “Prices, devices, people, or rules: The relative effectiveness of policy instruments in water conservation”, Review of Policy Research, 2004, 21 (5), 637-662. https://doi.org/10.1111/j.1541-1338.2004.00099.x

Lawgali FF, “Forecasting water demand for agricultural, industrial and domestic use in Libya”, International Review of Business Research Papers, 2008, 4 (5), 231-248.

Feizizadeh B, Ronagh Z, Pourmoradian S, Gheshlaghi HA, Lakes T, Blaschke T, “An efficient GIS-based approach for sustainability assessment of urban drinking water consumption patterns: A study in Tabriz city, Iran”, Sustainable Cities and Society, 2021, 64, 102584. https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102584

Fernández Moniz P, Almeida JS, Pino AT, Suárez Rivero JP, “A GIS-based solution for urban water management”, Water International, 2020, 45 (6), 660-677. https://doi.org/10.1080/02508060.2020.1765130

Graser HJ, “Meter records in system planning”, Journal of American Water Works Association, 1958, 50 (11), 1395-1402.

Hiscock OH, Back Y, Kleidorfer M, Urich C, “A GIS-based Land Cover Classification Approach Suitable for Fine-scale Urban Water Management”, Water Resources Management, 2021, 35, 1339-1352. https://doi.org/10.1007/s11269-021-02790-x

Mackenzie Moore D, Arley N, Willie Schultz P, Kotler PH, “Social marketing to environmental protection”, Translated by Kambiz Heydarzadeh, Ali Soltani, 2014, Tehran City Publication. (In Persian).

Zhou SL, McMahon TA Walton A, Lewis J, “Forecasting daily urban water demand: A case study of Melbourne”, Journal of Hydrology, 2000, 236 (3-4), 153–164. https://doi.org/10.1016/S0022-1694(00)00287-0

Zhang R, Tang C, Ma S, Yuan H, Gao L, Fan W, “Using Markov chains to analyze changes in wetland trends in arid Yinchuan Plain, China”, Mathematical and Computer Modelling, 2011, 54 (3-4), 924-930. https://doi.org/10.1016/j.mcm.2010.11.017Sarpkaya T, Isaacson M, “Mechanics of wave forces on offshore structures”, Van Nostrand Reinhold Co. Inc., US, 1981, 165-170.

University of Tabriz

Journal of Civil and Environmental Engineering
Volume 53 (2023), Issue 2 (Summer), 180-188

EXTENDED ABSTRACT

An Application of GIS Spatial Analysis and Decision Making Systems for Modelling and Predicating of Urban Water Consuming Pattern in Tabriz

Abolfazl Ghanbari *, Bakhtiar Feizizadeh, Mohammad Nafs Nategeh

Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz 5166616471, Iran

Received: 22 June 2021; **Review:** 26 March 2022; **Accepted:** 04 April 2022

Keywords:
Water consumption pattern prediction, GIS, Consumption pattern analysis, Modeling, CA-Markov, Tabriz.

1. Introduction

Considering its key effect on the welfare and health of society, water plays a crucial role in the growth of communities and is one of the most important natural resources. In recent years, the problem of scarcity of water resources has been exacerbated by the growing population worldwide and increased competition for access to water resources, which leads to increased costs of water use. Therefore, the use of this vital resource requires proper management. The present study was entitled Predicting and Modeling the Urban Water Consumption Pattern in Tabriz to Investigate and Analyze the Urban Water Consumption Pattern Using Geographic Information System (GIS).

2. Methodology

The present research is applied in a descriptive-analytical, survey-based and purpose-based manner. The purpose of this study, in addition to determining the pattern of water consumption in the city of Tabriz in 1395, 1396 and 1397, is to predict possible changes in the pattern of water consumption in 1403. To achieve this goal, point pattern analysis methods were used to extract the consumption pattern in the mentioned years in ArcGIS software environment. The method used to identify the pattern of water consumption in the city using the location data of subscribers was the Point Density method, which was performed by subscribers using a column of information on water consumption. After the subscribers identified the water consumption raster layers, the layers were transferred to the TerrSet software environment to enter the Markov chain model for forecasting for 1403. Thus, first, using the Markov command, predictions and changes were made based on the existing layers with an interval of two years, ie the years 1395 and 1397. Then, by entering the CA-Markov automatic cell model, the forecast map for 1403 was obtained in 10 floors.

3. Results and discussion

The trend of water consumption in 1395, 1396 and 1397 was increasing and this was effective in forecasting water consumption in 1403. The highest amount of water consumption in 1403, according to the map predicted using the CA-Markov method is equal to 196,000 cubic meters, which is an increase of 146,407.63 cubic meters compared to 1397. The results showed that the relationship between latent patterns of water consumption and the location of subscribers in the city of Tabriz is evident. The location of the subscribers and the amount of

* Corresponding Author
E-mail addresses: a_ghanbari@tabrizu.ac.ir (Abolfazl Ghanbari), bakhtiar.feizizadeh@gmail.com (Bakhtiar Feizizadeh), mo.nateghe97@gmail.com (Mohammad Nafs Nategeh).

water consumption by them and the type of water use by the subscribers indicated that consumption is at a high level in the northern and central areas of the city. Due to population density and the establishment of commercial centers, it was determined that consumption by commercial and home use. Areas are high. In addition, in some areas, the density of buildings with a high number of floors has led to an increase in water consumption, which indicates the high density of population in these areas.

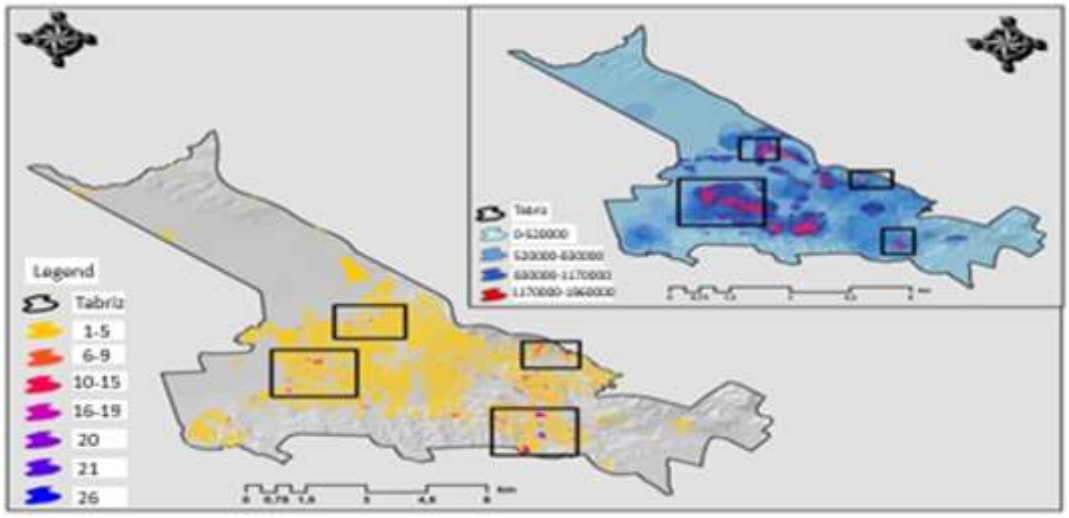


Fig. 1. Comparison of areas with high water consumption in the map predicted by the CA-Markov method with the map of the number of floors of buildings in the city of Tabriz

In relation to real-world modeling in the software environment, having spatial information is one of the main pillars. In the present study, with the subscribers' information and also their position as the main component of spatial analysis and modeling, the models of latent water consumption were modeled by the subscribers in Tabriz for the years 2016, 2017 and 2016. Spatial analysis such as detection of high consumption areas using point pattern analysis methods such as density analysis and interpolation of water consumption information by subscribers in specific geographical locations in ArcMap software environment and its combination with forecasting method The Markov chain showed good results in showing the trend of water consumption in 1403. Also, in examining the relationship between water consumption and different uses in the city of Tabriz, it was concluded that in areas where the density of residential use is high, water consumption is also high. In addition to examining the relationship between water consumption and land uses, it can be argued that population density is also high in residential areas. Therefore, water consumption also increases. In some areas, buildings with a high number of floors are also effective in increasing water consumption. The method used in the present study to spatially investigate and extract hidden patterns of water consumption, while not a complex and difficult method, provided acceptable and useful results. The use of simple spatial analyzes can only be used to achieve accurate and reliable results if they have the right data. The use of spatial analysis methods such as interpolation of information that has a spatial dimension and geographical coordinates, in addition to the distribution of points (eg water consumption subscribers) in the study area, can be accompanied by the analysis of their side information and the amount and Show its zoning pattern, criteria and information in the study area. This operation was performed in the present study and in addition to identifying areas with high consumption, the amount of consumption and the type of uses that have high consumption. Therefore, the use of spatial data analysis methods for similar research is recommended. In addition, the use of forecasting methods such as the Markov chain in the present study, the trend of water consumption in the future can also be predicted. Since water consumption can be a very important factor for environmental planners in maintaining water resources, maintaining the health of water resources, especially drinking water for domestic and commercial use, careful collection and maintenance of subscriber consumption data It is one of the suggestions that can be made for those in charge of water and wastewater management, because as mentioned, if the data and information is correct, it can allow simple spatial analysis to obtain Provide important results, what has been done in the present study.

4. Conclusions

The results revealed that the trend of water consumption in 1395, 1396, and 1397 has been increasing. The projection map of the water consumption pattern was also obtained for 1403, according to which the maximum amount of water consumption will reach 196,000 cubic meters. Comparison of the results of CA-Markov water projected map with population map, the number of floors of buildings, and type of use revealed that in residential areas the amount of urban water consumption is high. By providing the results of this research, urban managers and planners will be able to make better and more accurate decisions in water consumption management in urban areas.

5. References

Mackenzie Moore D, Arley N, Willie Schultz P, Kotler PH, "Social marketing to environmental protection", Translated by Kambiz Heydarzadeh, Ali Soltani, 2014, Tehran City Publication (In Persian).

Campbell HE, Johnson RM, Larson EH, "Prices, devices, people, or rules: The relative effectiveness of policy instruments in water conservation", Review of Policy Research, 2004, 21 (5), 637-662. doi.org/10.1111/j.1541-1338.2004.00099.x

Zhang R, Tang C, Ma S, Yuan H, Gao L, Fan W, "Using Markov chains to analyze changes in wetland trends in arid Yinchuan Plain, China", Mathematical and Computer Modelling, 2011, 54 (3-4), 924-930. doi.org/10.1016/j.mcm.2010.11.017