تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال هفدهم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۰
Volume 17, No. 2, Summer 2021 (IR-WRR)
۱۷-۳۰

گسترش فضایی شهر پرند با توجه به محدودیت منابع آب تا افق ۲۰۳۲: لزوم توجه دو سویه به برنامه‌ریزی فضایی و مدیریت منابع آب شهری

بهاره ایمانی[۱] و محمدرضا شهبازبگیان[۲*]

چکیده

در کنار عوامل طبیعی، یکی از علل، اصلی تشدید بحران آب شرب در جهان رشد شهرنشینی و به تبع آن افزایش جمعیت در بسیاری از مناطق شهری است. شهر جدید پرند در استان تهران نیز از جهت مزبور با بحران روبروست؛ با این وجود به طور روزافزون رشد جمعیت و ساخت و سازها در این شهر رخ می‌دهد. در این راستا نوع توسعه فضای مسکونی شهر تأثیر بسزایی در مدیریت مصرف منابع آب شرب این شهر داشته که خود بر توسعه پایدار آن مؤثر است. روش‌های کنونی محاسبه آب شرب شهرها برای آینده بیشتر مبتنی بر سناریوهای رشد جمعیت و با تمرکز بر تحلیل نرخ‌های رشد جمعیت بدون توجه به ظرفیت توسعه کالبدی جمعیت می‌باشند. پژوهش حاضر با استفاده از پیش‌بینی گسترش کالبدی به کمک مدلساز تغییرات زمین (Land Change Modeler) ابتدا به شبیه‌سازی توسعه کالبدی شهر پرند بر اساس یک الگوی رایج و مورد توجه در توسعه شهری مبتنی بر ویلاسازی تا افق ۲۰۳۲ پرداخته و میزان آب شرب مورد نیاز شهر پرند طبق الگوی مزبور را برآورد می‌نماید. بنابراین، سناریو اول، که پراکنده‌رویی نام دارد، به پیش‌بینی نیاز آب با تکیه بر گسترش فضایی و درنظر گرفتن رشد طبیعی جمعیت تا سال ۲۰۳۲ پرداخته است؛ سناریو دوم که متداول‌ترین نوع در اتخاذ تصمیمات و برنامه‌های شهری است، سناریو رشد دورنزای روندی جمعیت تا افق ۲۰۳۲ است. نتایج بدست آمده حاکی از تفاوت معنی دار بین محاسبه میزان مصرف آب شرب شهر پرند بر اساس رویکرد گسترش فضایی به شکل پراکنده‌رویی با نیاز آبی حدود چهل و سه میلیون متر مکعب در سال ۲۰۳۲ و سناریو رشد دورنزای روندی جمعیت با نیاز آبی حدود سی و سه میلیون متر مکعب در سال ۲۰۳۲ است. در وهله دوم سبکی از نیازسنجی و پیش‌بینی شهری را با توجه به رشد طبیعی جمعیت و هم گسترش فضایی شهر به شکل توأمان به برنامه‌ریزان نشان می‌دهد. بدین ترتیب برای جلوگیری از وقوع بحران آب و حرکت به سمت توسعه پایدار شهری، مقاله پیش‌رو اهمیت توجه به برنامه‌ریزی فضایی برای توسعه شهرها با توجه به محدودیت منابع آب را قویاً توصیه می‌نماید.

کلمات کلیدی: بحران آب، توسعه فضایی، شهر جدید پرند، گسترش کالبدی، شبیه‌ساز LCM.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۲/۱۲

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۴/۶

۱- فارغ‌التحصیل مقطع کارشناسی ارشد رشته جغرافیا برنامه‌ریزی آمایش سرزمین دانشگاه تربیت مدرس.

۲- عضو هیات علمی دانشکده‌های علوم انسانی و علوم و فنآوری‌های بین‌رشته‌ای دانشگاه تربیت مدرس.

*- نویسنده مسئول

بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان پائیز ۱۴۰۰ امکانپذیر است.

Spatial Expansion of the Parand City Focusing on the Available Water Resources until 2032: Reciprocal Relation between Urban Water Management and Spatial Planning

B. Imani [1] and M.R. Shahbazbegian [2]*

Abstract

Beside natural factors, spatial expansions of new cities is one of the main causes of the water crisis. Parand new city, in that regard, has very high restrictions on the potable water supply. Nonetheless, there is an increasing population growth and construction in this city. In this regard, type of residential development of the city has a significant impact on managing the potable water consumption, sufficient for its sustainable development. The current methods of calculating future potable water for cities are more based on population growth scenarios and focus on analyzing population growth rates regardless of the population's physical development capacity. Using the prediction of physical expansion applying LCM simulation (Land Change Modeler), the present study first simulated the physical development of Parand city up to 2032 based on a typical pattern in urban development centered on villas and estimated the amount of potable water required by Parand city according to this model. Accordingly, the initial scenario, called scattering, predicts water requirements by relying on spatial expansion and considering natural population growth by 2032; The second scenario, which is the most common type of urban decision-making and planning, is the scenario of a long-term trend of population growth up to the horizon of 2032. The results indicated a significant difference between the potable water consumption in Parand city based on the first and second approach as the water needs of about forty-three million cubic meters and about thirty-three million cubic meters in 2032, respectively. The result reveals to the planners a style of urban needs assessment and forecasting, considering the natural population growth and the city's spatial expansion. Thus, to prevent the water crisis and move towards sustainable urban development, the present article strongly recommends spatial planning for cities' development due to limited water resources.

Keywords: Water Crisis, Spatial Expansion, Parand New City, Physical Expansion LCM (Landuse Change Modeler).

Received: May 2, 2021
Accepted: June 27, 2021

1- M.Sc. Graduate of Spatial Planning, College of Humanities, Tarbiat Modarres University.

2- Faculties of Humanities and Interdisciplinary Science and Technology, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
Email: Mr.shahbazbegian@modares.ac.ir
*- Corresponding Author

Dor: 20.1001.1.17352347.1400.17.2.2.5

۱- مقدمه

افزایش جمعیت شهری، دارای تأثیراتی است که به طور کلی تأثیر هر جمعیت را می‌توان به عنوان یک محصول از سه ویژگی شامل: اندازه جمعیت، نفوذ آن یا مصرف سرانه و آسیب زیست محیطی که توسط فن‌آوری‌های مورد استفاده برای تأمین هر واحد مصرف تحمیل می‌شود، درنظر گرفت (Holdren and Ehrlich ,1974). به موازات رشد جمعیت شهرنشین، نیاز به زمین و بخصوص فضای مسکونی در آن نیز افزایش می‌یابد، در نتیجه شهرها به طور فزاینده‌ای زمین را مصرف می‌کنند تا به تحولات جدید دست یابند؛ در برخی مناطق، زمین شهری رشد بسیار سریع‌تری نسبت به جمعیت آن داشته است، و به این ترتیب الگوهای متراکم‌تر و به طور کلی الگوهای ناکارآمدتری در زمینه استفاده از زمین و اغلب بدون ساختار فضایی قابل قبول اتفاق می‌افتد. پس رشد جمعیت شهری به طور چشمگیری بر شکل فیزیکی و ساختار شهری و چیدمان کاربری اراضی در مناطق شهری تأثیر می‌گذارد (Bloch et al., 2015). تغییر در کالبد شهر و جمعیت آن تأثیرات و پیامدهایی به دنبال دارد، که یکی از اصلی‌ترین آن‌ها، تأثیر در مصرف منابعِ در اختیار شهر است که در بین این منابع، آب از اهمیت بسزایی برخوردار می‌باشد. بحران آب در دنیا به دلایل مختلفی صورت می‌گیرد که می‌توان آن را در طیف گسترده‌ای از عوامل جهانی تا محلی تقسیم‌بندی کرد. در این راستا، Tundisi (2008) علل اصلی بحران آب در جهان را تشدید شهرنشینی و افزایش تقاضا برای آب و ساختار نامناسب شهر معرفی می‌کند. قرارگیری در وضعیت بحران آب در برخی مناطق همچون شهر پرند، که هم دارای اقلیم گرم و خشک است و هم رشد بالای جمعیت را تجربه کرده است، چالش‌های بزرگتری را ایجاد می‌کند. به طور کلی، شهرها باید منبع رفع نیازهای ساکنانش را داشته باشد تا بتوانند نیاز جمعیت روزافزون خود را پاسخگو باشند، به دلیل عدم وجود منبع پایدار آب در درون محدوده شهر پرند، یکی از مشکلات شهر جدید پرند تأمین آب برای رفع نیاز ساکنان است و این مسأله در آینده بیشتر نمایان خواهد شد، چراکه بر اساس پیش‌بینی‌های انجام شده، جمعیت این شهر به سرعت در حال گسترش است. به طوری که این شهر ابتدا برای ۸۵ هزار نفر ساخته شده بود؛ اما امروزه بیش از ۹۷ هزار نفر جمعیت دارد. گسترش کالبدی در تمام شهرهای جهان به دو الگو و شکل عمودی و افقی تقسیم می‌شود (Hess, 2001). روند افزایش جمعیت شهر پرند و گسترش کالبدی و فضایی در آن، تأثیرات بسزایی در وضعیت منابع آب خواهد داشت. در این راستا نوع توسعه فضای مسکونی شهر تأثیر بسزایی در مصرف منابع آب شرب این شهر داشته و تحلیل آن می‌تواند به تقویت مدیریت تقاضای آب شهر پرند در آینده بیانجامد. این در حالی است که روش‌های کنونی محاسبه آب شرب شهرها برای آینده بیشتر مبتنی بر سناریوهای رشد جمعیت بدون توجه به ظرفیت یا پتانسیل توسعه کالبدی و تنها تمرکز بر نرخ‌های رشد جمعیت می‌باشند. این پژوهش به دنبال پر نمودن خلاء موجود در زمینه نیازسنجی منابع آب برای جمعیت یک شهر است که با مشخص نمودن امکان گسترش کالبدی شهر پرند با الگوهای مختلف گسترش و با توجه به توان پاسخگویی منابع آب این شهر، تصویر واقعگرایانه‌تری نسبت به وضعیت آب در شهر به وجود خواهد آورد؛ بر این اساس دو سناریو بررسی می‌گردد؛ اولین سناریو گسترش شهر به شکل پراکنده‌رویی است، بدین شکل که با توجه به پتانسیل گسترش کالبدی شهر، نیاز آبی آن سنجیده می‌شود. دومین سناریو مربوط به روند رشد طبیعی جمعیت است که جمعیت از ابتدا با آهنگ مشخصی تا به امروز رشد کرده است و در آینده به چه میزان خواهد رسید. بنابراین براساس مسائل و مشکلات تأمین منابع پایدار آب که شهر پرند با آن روبرو است، سؤال پژوهش حاضر، به صورت واضح به این شرح قابل بیان است که گسترش کالبدی شهر، با توجه به منابع آب موجود و توان تأمین در آن با کدام الگوی گسترش شهری امکان‌پذیر است. بنابراین، ابتدا به شرح پژوهش‌هایی با مضمونی نزدیک به این مقاله پرداخته شده است و سپس در روش‌شناسی، محدوده مطالعاتی که شهر جدید پرند در استان تهران است معرفی و سپس روش انجام پژوهش به تفصیل بیان شده است. در مرحله بعد نتایج حاصل از هر سناریو ارائه شده است.

تا به امروز تحقیقاتی در ارتباط با گسترش شهر یا منطقه و ظرفیت منابع آب برای پاسخ‌دهی با جمعیت جدید صورت نگرفته که در آن‌ها سعی شده باشد تا تأثیرات توسعه فضایی بر منابع آب تحلیل شود. Ramachandraiah and Prasad (2004) در پژوهش خود به تبدیل زمین‌های دریاچه به کاربری مسکونی، که باعث کاهش سطح ترازآب آب‌های زیرزمینی شده و بحران ایجاد نموده توجه کرده است. Tu et al. (2007) در پژوهشی با عنوان تأثیر پراکنده‌رویی شهر بر کیفیت آب در شرق ماساچوست، بر نقش الگوی گسترش شهر بر کیفیت آب شهر توجه کرده است. Pende (2009) برای حل بحران آب ناشی از رشد شتابان جمعیت شهری، رویکرد برنامه‌ریزی از پایین به بالا و تقاضا محور را پیشنهاد می‌دهد و تأکید غالب آن بر خدمات سرویس‌های آبرسانی و بهداشتی در منطقه است. Hosseini et al. (2010) بر ساخت و سازهای شهر و اتصالات سیستم و تأثیر مخرب بر ساخت و سازهای منطقه مورد مطالعه یا همان گسترش کالبدی شهر بر بدنه تأمین آب مطالعه و تحقیق کرده است. گزارش دانشگاه هاروارد در سال ۲۰۱۳ درباره پراکنده‌رویی شهر و کیفیت آب و حفاظت از زمین، با بررسی کاربری‌ها و تغییرات ایجاد شده به پیش‌بینی آینده پرداخته و بر رشد هوشمند و محافظت از زمین

و ابعاد محیط زیستی تأکید دارد. برخی تحقیقات بارز نزدیک به موضوع مقاله حاضر در جدول ۱ قرار داده شده است.

با توجه به آنچه ذکر شد، پژوهش‌های مطرح شده در پیشینه غالباً بر مطالعه توسعه فضایی بدون توجه به محدودیت منابع آب پرداخته‌اند. در این راستا پژوهش حاضر با رویکرد آینده‌پژوهی و شبیه‌سازی گسترش کالیدی تا افق ۲۰۳۲ به دنبال تحلیل نقش تعاملی بین محدودیت منابع آب در گسترش فضایی شهر و سبک‌ها و روش‌های تصمیم‌گیری برنامه‌ریزان می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مطالعاتی پژوهش

در ایران، شهر جدید پرند به دلیل جذب سرریز جمعیتی شهر تهران و اسکان کارمندان فرودگاه امام خمینی (شرکت عمران شهر جدید پرند)، در شهرستان رباط‌کریم استان تهران، در یکی از سه رأس مثلث ارتباطی کانون‌های جمعیتی مهم تهران- کرج- پرند ایجاد شده است. شکل ۱ نقشه موقعیت استقرار شهر را نشان می‌دهد.

این شهر از شمال به ارتفاعات تخت رستم (که بلندترین نقطه آن حدود ۱۳۴۸ متر از سطح دریا ارتفاع دارد) از جنوب به مسیل رودشور، از سمت شرق به اراضی فرودگاه بین‌المللی امام خمینی و از سمت غرب و شمال غرب نیز به اراضی باز و بایری که بخش عمده آن تحت تملک شهر جدید پرند می‌باشد، محدود می‌گردد.

ساختار جمعیتی شهر پرند از نظر تعداد خانوار در سال‌های ۱۳۸۵، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ به ترتیب ۱۶۰۳، ۸۱۰۷ و ۳۱۶۹۳ بوده است که نمایانگر جهش عظیمی در ساختار جمعیتی این شهر طی دوره‌های مذکور است.

Table 1- Literature review

جدول ۱- پیشینه پژوهش

Author	Title	Year	Summary of findings	Comments/ Knowledge Gap
Ramachandraiah and Prasad	Impact of urban growth on water bodies: The case of Hyderabad. Hyderabad	2004	This study made an attempt to analyze the transformation of common property resources (the lakes) into private property.	The main focus of research is on land ownership There is no forecasting
Tu, Xia, Clarke, & Frei	impact of urban sprawl on water quality in eastern Massachusetts	2007	A study of water quality, land use, and population variations over the past three decades was conducted in eastern Massachusetts to examine the impact of urban sprawl on water quality using geographic information system and statistical analyses.	The main focus of research is of water quality, land use, and population. But water pollution is not the only major reason for water shortage.
Pende	Impact of urban growth on water-supply and sanitation: A case study of Honiara City	2009	This study explored the rapid urban growth impact on water and sanitation services. The study focused on assessing the state of water-supply and sanitation in Honiara covering their availability, quality and accessibility and the environmental and health problems associated with them.	Focus on water and sanitation services and status quo.
Hosseini, Shahraki, Farhudi, Hosseini, Salari, & Pourahmad	Effect of urban sprawl on a traditional water system (Qanat) in the City of Mashhad, NE Iran	2010	This study explored the effect of urban expansion on the Qanat fields as well as the difficulties encountered at city construction and water system junctions in city of Mashhad, northeastern Iran.	The factor of population growth rate is not considered
Harvard University	Urban sprawl threatens water quality, climate protection, and land conservation gains	2013	The loss of forests to development will undermine significant land conservation gains in Massachusetts, jeopardize water quality, and limit the natural landscape's ability to protect against climate change.	The factor of population growth rate is not considered

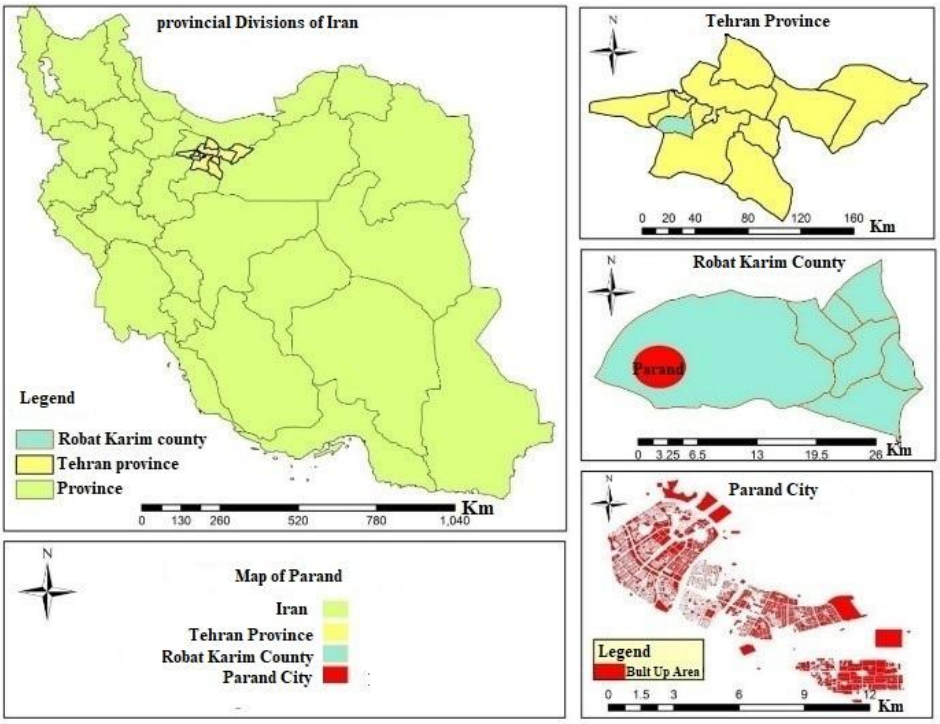

Fig. 1- Location of the study area and the Parand City on the administrative divisions map

شکل ۱- نقشه تقسیمات سیاسی و موقعیت شهر پرند

۲-۲- روش پژوهش

روش تحقیق در پژوهش حاضر، ترکیبی است، بدین ترتیب که با استفاده از روش‌های کمی همچون استفاده از شبیه‌ساز کاربری زمین و کیفی به صورت تحلیل محتوا انجام شده است. این تحقیق در گروه پژوهش‌های کاربردی توسعه‌ای قرار دارد. در این پژوهش ابتدا با استفاده از شبیه‌سازی تغییرات زمین در محیط نرم‌افزاری، به پیش‌بینی تغییرات آتی بر اساس روند گذشته پرداخته شده و سپس جمعیت‌پذیری برحسب الگوهای مختلف گسترش کالبدی که در دو سناریو مطرح گشته، تخمین زده شده است. این تعداد جمعیت، برای محاسبه تقاضای آب بر اساس متوسط سرانه مصرف آب استفاده شد. به طور کلی در این پژوهش، رشد فضایی و کالبدی شهر تبدیل به مقیاس و معیار اندازه‌گیری مصرف و نیاز آب (بنا بر پتانسیل میزان جمعیتی که در خود می‌تواند جای دهد) شده و مقایسه‌ای بین روش‌های متداول نیازسنجی میزان آب برای مناطق مسکونی با روش‌های نوین ارائه شده است. گردآوری داده در این پژوهش با اتکا به روش کتابخانه‌ای و میدانی است. جدول ۲ روش گردآوری داده‌های هر مرحله را نشان می‌دهد.

۲-۳- مدل LCM

هر مـــدل+ دارای ویژگی و یا مشخصه‌هایی است که این ویژگی‌ها می‌تواند انحصاری و یا مشترک با یکدیگر باشند؛ اما از بعد حیطه عمل، مدل‌ها با یکدیگر متفاوت‌اند؛ که بر اساس هدف کاربر و با توجه به محیط عمل مدل، اپراتور آن را انتخاب می‌کند. حیطه عمل و یا محیط شبیه‌سازی در سه بعد اساسی در چارچوب مدل‌های تغییر کاربری زمین، شامل فضا، زمان و تصمیم‌سازی انسان معرفی شده است (همان). ابعاد زمانی، فضایی و تصمیمات انسان در مدل‌های کاربری زمین، هر یک به نحوی می‌توانند بر پیچیدگی مدل اثر داشته باشند، اما اصلی‌ترین و عمده‌ترین عامل پیچیدگی مدل‌ها، تصمیم‌سازی انسان است. منظور از پیچیدگی، صرفاً دشواری‌های آن‌ها نیست، بلکه منظور درهم تنیدن و شمولیت ابعاد مختلف در هر مدل است. شکل ۲ پیچیدگی‌های انواع مدلهای محیطی در هر یک از ابعاد را نمایش دهد. تمرکز این پژوهش، بر روی مدل‌های کاربری زمین (از جمله کاربری زمین شهری) است؛ که در این زمینه رویکردهای گوناگونی در ارتباط با تقسیم‌بندی مدل‌سازهای فضایی وجود دارد که در پنج دسته اصلی به شکل زیر است (Rafiee, 2008):

مدل‌های مبتنی بر شبکه‌های عصبی مصنوعی[۱]

مدل‌های عامل محور[۲]

مدل‌های مبتنی بر آمار فضایی[۳]

مدل‌های فراکتالی[۴]

مدل‌های مبتنی بر سلول‌های خودکار[۵]

Table 2- Data collection methods
جدول ۲- روش‌های گردآوری داده

Data	Collection Method	Data Source
Land use Shape File	Documentary Data	Iran's New Towns Development Company
Build the Historical Layer of the Land use Shape file	Documentary Data	Google Earth Software
Social Data	Library Data	Statistical Centre of Iran
Water Data	field research	Water and Sewerage Department of Parand

Key

A- Time series statistical models, STELLA
Models with no human dimension

B- Time series models with human decision making explicitly modeled

C- Most traditional GIS situation

D- GIS modeling with an explicit temporal component (e.g. cellular automata)

E- Econometric (regeression) and game theoretic models

F- SWARM and SME (spatial modeling environment)

∗The ultimate goal of human-enviroment dynmic modeling: high in all three dimensions

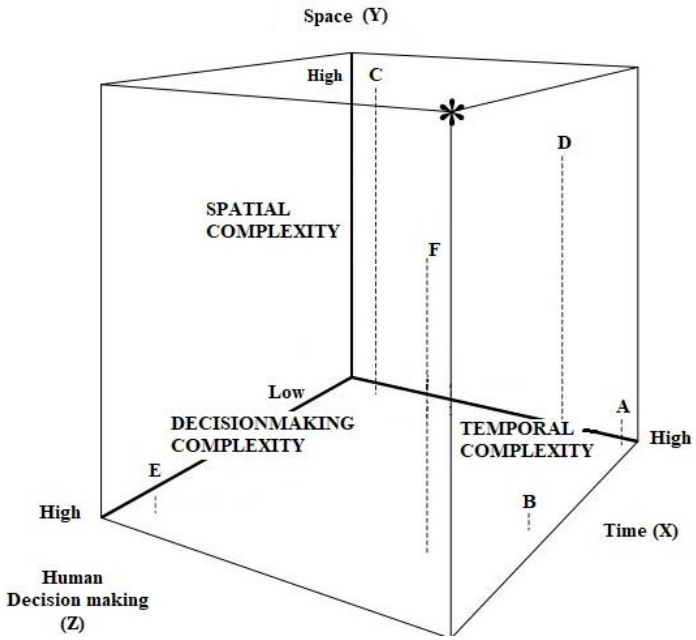

Fig. 2- Three-dimensional framework for reviewing and assessing models of land-use change (Agarwal et al., 2002)
شکل ۲- چارچوب سه بعدی برای بررسی و ارزیابی مدل‌های تغییر کاربری زمین

بر اساس تقسیم‌بندی یاد شده، پژوهش حاضر، با استفاده از مدل‌های مبتنی بر سلول‌های خودکار به مدل‌سازی تغییرات کاربری زمین خواهد پراخت که نگرش اصلی در این مدل‌سازی، LUCC می‌باشد. LUCC یک نگرش مدل‌سازی با استفاده از تصاویر یک منطقه است که به شبیه‌سازی تغییرات کاربری و پوشش زمین می‌پردازد. منطق این مدل‌ها بر پایه سلول‌های خودکار (CA^5) است که به دلیل داشتن ماهیت پویا و همچنین خصوصیات منحصر به فرد آن در مدل‌سازی عوارض طبیعی و فیزیکی سطح زمین، کاربرد وسیعی در پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و توسعه ی اراضی شهری پیدا کرده است. از مزایای این مدل‌ها می‌توان بـــه توان وارد کردن داده‌های مربوط به توسعه تاریخی، امکان ورود اطلاعات و سیاست‌های برنامه‌ریزی دقیق به مـــدل، پویایی و جامع بودن آن، هوشمند بودن و پایین بودن درصد خطا اشاره نمود (Liu, 2009). سلول‌های خودکار دارای پنج جزء است (Rafiee, 2008).

فضای سلولی: این فضای سلولی از مجموعه سلول‌ها تشکیل شده است. در این فضا، سلول‌ها می‌توانند به هر شکل هندسی باشند اما متداول‌ترین شکل، مربع است زیرا بیشترین انطباق را با محیط رستری GIS داشته باشد.

وضعیت سلول: نمایانگر وضعیت‌های گوناگون آن سلول است. برای مثال کاربری‌های مختلف زمین.

گام‌های زمانی: سلول‌های خودکار در یک توالی زمانی به تکامل می‌رسند. در هر مرحله سلول‌ها بر پایه قوانین انتقال شبکه به روز می‌شوند.

قوانین انتقال: با توجه به این قوانین است که تکامل سلول‌های خودکار در طی زمان ایجاد می‌شود. این انتقال و تکامل، بر اساس وضعیت سابق سلول و سلول‌های همسایه است که وضعیت آینده را مشخص می‌کند.

همسایه‌ها: سلول‌های خودکار با توجه به فضای قرارگیری آن‌ها، دارای همسایگانی اطراف خود هستند.

LCM یا شبیه‌ساز تغییرات کاربری زمین یکی از شبیه‌سازهایی است که در محیط نرم‌افزار ادریسی[۶] اقدام به آنالیز و پردازش تغییرات کاربری زمین طی دو نقطه زمانی می‌نماید و قابلیت پیش‌بینی تغییرات آن در افق‌های مختلف آینده را دارد و یک سیستم پشتیبان تصمیم و برنامه‌ریزی نوآورانه برای زمین است.

برای انجام پیش‌بینی و شبیه‌سازی در نرم‌افزار LCM، نیاز به لایه کاربری زمین در دو دوره تاریخی است. بدین منظور لایه کاربری زمین سال ۱۳۹۶ (مناطق ساخته شده) از شرکت مادر تخصصی شهرهای جدید اخذ شد. سپس با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای تاریخی Google Earth لایه کاربری زمین در سال ۲۰۰۷ نیز ساخته و طبقه‌بندی‌های کاربری به دو دسته زمین‌های ساخته شده و بایر تقسیم شد. داده‌های مربوط به مصرف آب، از سازمان آب و فاضلاب شهر پرند اخذ شده است.

همانطور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، مراحل زیر به ترتیب فرآیند انجام تحقیق را تشکیل می‌دهد:

مرحله اول: **شبیه‌سازی کاربری زمین تا سال ۲۰۳۲**

- جمع‌آوری داده
- تعیین معیارهای پیش‌بینی برای گسترش کالبد شهر
- ورود داده به شبیه‌ساز
- انجام پیش‌بینی توسعه آتی شهر (خروجی اولیه و خام شبیه‌سازی)
- محاسبه مساحت توسعه آتی شهر (پردازش خروجی شبیه‌سازی)

مرحله دوم: **تخمین ظرفیت‌پذیری جمعیت در توسعه آتی شهر**

- تخمین ظرفیت زمین‌های جدید برای ساخت واحد مسکونی بر حسب میانگین تراکم موجود (کسر نمودن مساحت مورد نیاز خیابان و فضاهای غیرمسکونی شهری از کل مساحت خروجی شبیه‌سازی)
- محاسبه ظرفیت تعداد جمعیت قابل اسکان بر حسب بعد خانوار کشور (چند خانوار میتوانند در این فضا سکونت پیدا کنند و هر خانوار چند نفر می‌باشد)

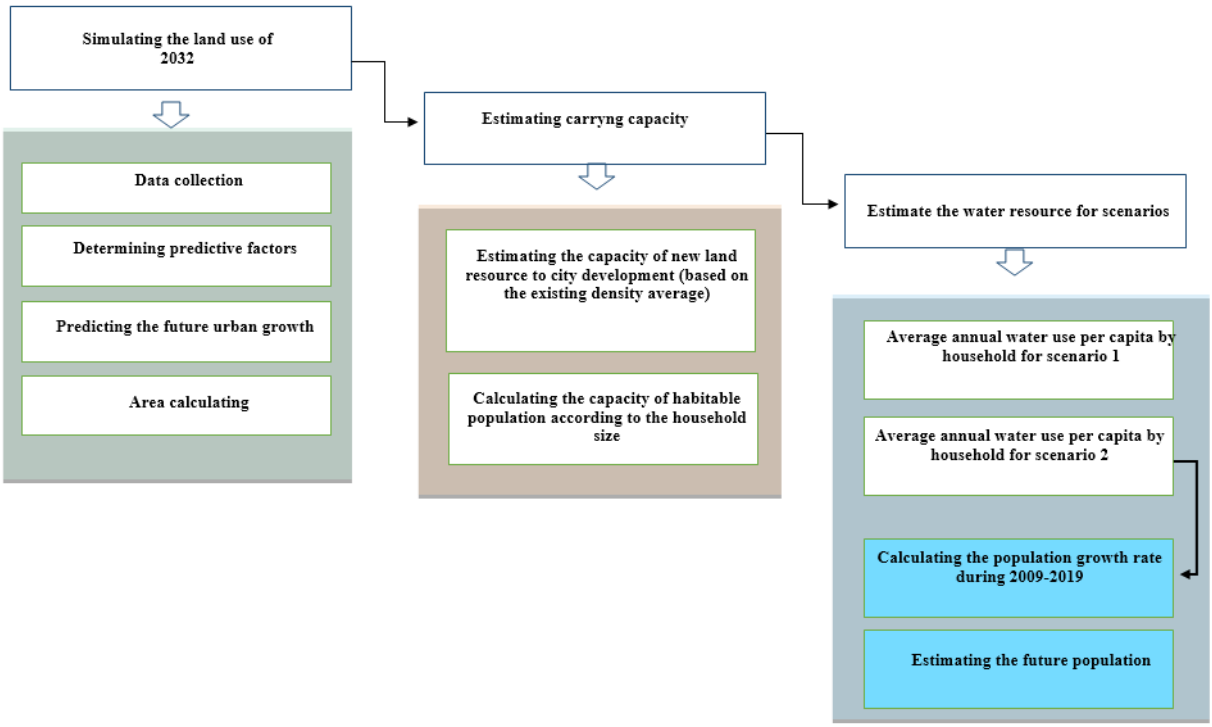

Fig. 3- Research Process

شکل ۳- فرآیند انجام تحقیق

مرحله سوم: **تخمین میزان آب مورد نیاز جمعیت در هر سناریو**

– محاسبه میزان مصرف آب هر واحد مسکونی در سناریو اول (پراکنده‌رویی): اگر گسترش کالبد با ساخت و ساز پراکنده و ویلایی انجام شود چه تعداد واحد مسکونی در این زمین‌های پیش‌بینی شده می‌توان ساخت؟ تعداد جمعیت به چه میزان می‌رسد و نیاز آب برای این جمعیت چه میزان است؟

– محاسبه میزان مصرف آب هر واحد مسکونی در سناریو دوم (رشد دورنزای روندی جمعیت): اگر گسترش کالبدی شهر ادامه نیابد و رشد جمعیت بر اساس نرخ رشد کنونی موجود در شهر پرند ادامه یابد، نیاز آب برای این جمعیت چه میزان است؟

– برای انجام دو اقدام قبلی در ارتباط با محاسبه میزان مصرف آب هر سناریو باید "محاسبه نرخ رشد جمعیت اسکان یافته در ده سال اخیر و تخمین جمعیت‌پذیری آینده بر حسب روند رشد جمعیت پیشین" صورت گیرد.

گام‌های عملیاتی رسیدن به پیش‌بینی گسترش شهر در بستر LCM به ترتیب در ادامه آمده است.

۲-۳-۱- تهیه نقشه‌های کاربری

برای مدل‌سازی تغییرات کاربری زمین، نیاز به داده‌های کاربری زمین در چند دوره زمانی است که منعکس کننده تغییرات کاربری‌ها باشد. در نتیجه اولین گام، پردازش داده‌های کاربری زمین و طبقه‌بندی آن‌ها در تعداد طبقات یکسان است.

۲-۳-۲- آشکارسازی تغییرات کاربری

بعد از طبقه‌بندی کاربری زمین، به منظور آشکارسازی تغییرات، جدول‌بندی افقی باید صورت بگیرد؛ تا تغییرات بین دو سال شناسایی و به عنوان زیرمدل استفاده شود.

همانطور که گفته شد، LCM بر حسب روند گسترش اتفاق افتاده در گذشته، دست به پیش‌بینی آینده می‌زند؛ بر این اساس دارا بودن دید کلی به گذشته منطقه و کاربری‌های آن اهمیت می‌یابد. شکل ۴ و شکل ۵ محدوده ساخته شده شهر در سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۱۵ را نشان می‌دهد. دو مقطع زمانی مذکور، به عنوان داده‌های ورودی برای شبیه‌سازی پژوهش انتخاب شده است. لکه‌هایی که به رنگ قرمز نشان داده شده است، قسمت‌های ساخته شده شهر هستند.

۲-۳-۳- انتخاب نوع متغیرها

در مدل‌سازی تغییرات و پیش‌بینی آن، دو نوع متغیر شامل متغیرهای ایستا[۷] و پویا[۸] وجود دارد. متغیرهای ایستا، بیانگر جنبه اساسی تغییرات به منظور انتقال هستند و ماهیت آن‌ها در طول زمان دستخوش تغییرات نمی‌شود. متغیرهای پویا، همانطور که از نام آن مشخص است، در طول زمان تغییرات خواهند داشت و به‌همین جهت در پیش‌بینی، تغییرات آن‌ها بر اساس زمان درنظر گرفته می‌شود. محاسبه تغییرات کاربری زمین از طریق ضریب همبستگی کرامر که ارتباط بین متغیرها و طبقه‌های کاربری زمین را نشان می‌دهد و از طرق فرمول زیر بدست می‌آید.

$$X^2 = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} \frac{\left(T_{ij} - T_{ij}^*\right)^2}{T_{ij}^*} \quad (۱)$$

به طوری که:

$$T_{ij}^* = \frac{\left(T_j * T_i\right)^2}{T_{..}} \quad (۲)$$

$$V = \sqrt{\frac{x^2}{T_{..} M}} \quad (۳)$$

$$C = \sqrt{\frac{x^2}{T_{..} + x^2}} \quad (۴)$$

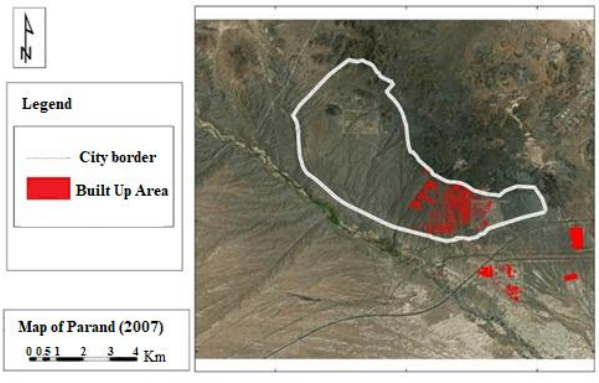

Fig. 4- Parand City built up area (until 2007)
شکل ۴- محدوده ساخته شده در شهر پرند تا سال ۲۰۰۷

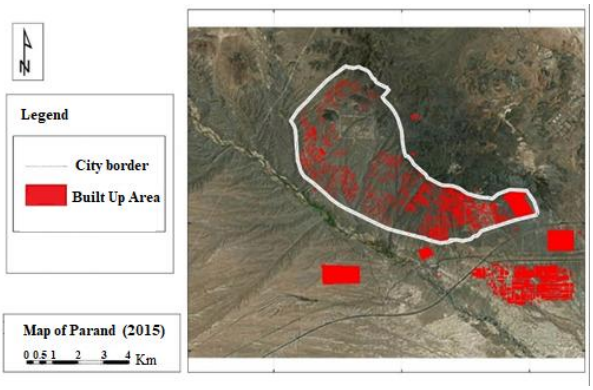

Fig. 5- Parand City built up area (until 2015)
شکل ۵- محدوده ساخته شده تا سال ۲۰۱۵

T تعداد کل پیکسل‌ها و T_i تعداد کل پیکسل‌ها در طبقه i؛ T_j تعداد پیکسل‌ها در طبقه j؛ m و n تعداد طبقات هستند.

۲-۳-۴- معیارهای منتخب برای شبیه‌سازی

معیارهای منتخب برای ورود به فرآیند شبیه‌سازی تغییرات آینده، در دو گروه معیارهای انسانی (فاصله) و طبیعی (توپوگرافی) تولید شده است.

معیارهای فاصله (distance): این معیارها بر اساس فاصله از برخی عناصر دارای اهمیت در توسعه یک شهر ایجاد شده است. یکی از این عناصر فاصله از راه‌های اصلی (شکل ۶) است.

– معیار توپوگرافی: این معیار که در گروه معیارهای طبیعی است بر اساس وضعیت زمین برای شبیه‌سازی اقدام می‌نماید. در این معیار با استفاده از لایه رقومی ارتفاع (شکل ۷)، به تولید معیارهای شیب (شکل ۸) و جهت آن (شکل ۹) پرداخته شده است.

۲-۳-۵- تحلیل تغییرات

خروجی تغییرات مدل روندی رو به جلو است که خروجی آن در شکل ۱۰ به صورت نقشه شماتیک مشاهده می‌شود. قسمت‌هایی که با رنگ قرمز نشان داده شده و اغلب در قسمت‌های جنوب شرقی منطقه و جنوب شهر جدید پرند است، نشانگر بیشترین تغییرات تا سال ۲۰۱۵ است. هرچه به سمت شمال و شمال غربی منطقه می‌رود، شیب تغییرات ملایم‌تر شده و تغییرات کمتر مشاهده می‌شود.

۲-۳-۶- شبیه‌سازی پتانسیل تبدیل کاربری

به طور کلی مدل‌سازی به کمک دو مدل رگرسیون لوجستیک و پرسپترون چندلایه اعمال می‌شود. نرم‌افزار شبیه‌ساز به صورت خودکار بهترین گزینه را به صورت پیش‌فرض برای مدل‌سازی پیشنهاد می‌دهد؛ که در این پژوهش پرسپترون چند لایه به صورت پیش‌فرض برگزیده شد. شبکه‌های عصبی پرسپترون چند لایه (MLP) یکی از روش‌های اصلی در LCM است. در این نوع شبکه‌ها از یک لایهٔ ورودی یک لایهٔ پنهان و یک لایه خروجی که ارائه دهنده پاسخ‌های مسأله هستند، استفاده می‌شود که در آن تعداد سلول‌های هر لایه با

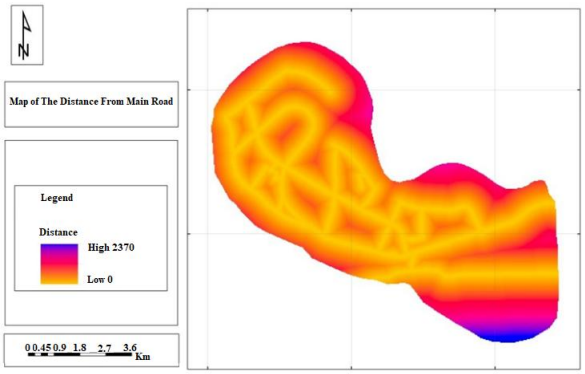

Fig. 6- Schematic map of distance from main roads
شکل ۶- نقشه شماتیک فاصله از راه‌ها

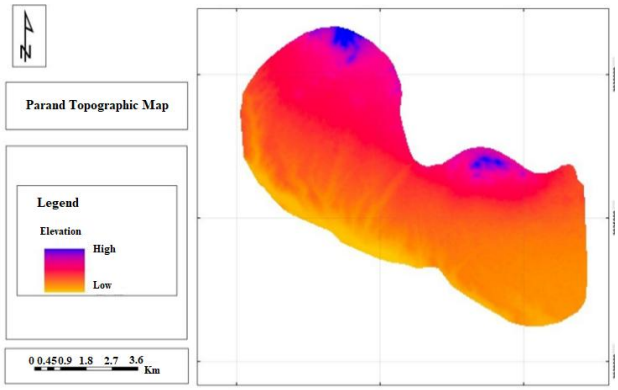

Fig. 7- Schematic Topographic Map
شکل ۷- نقشه شماتیک ارتفاع

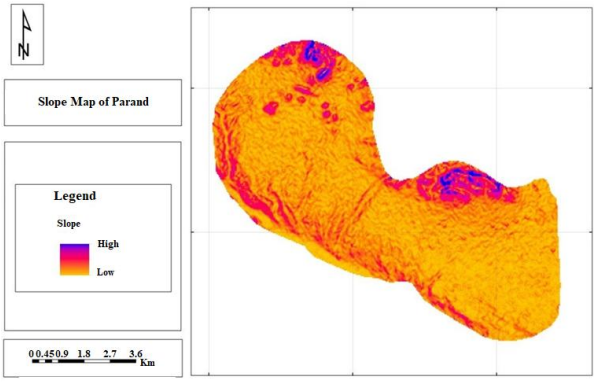

Fig. 8- Schematic slope map
شکل ۸- نقشه شماتیک شیب

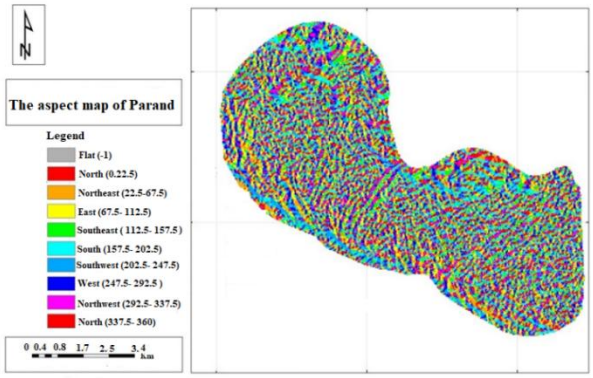

Fig. 9- Schematic aspect map
شکل ۹- نقشه شماتیک جهت شیب

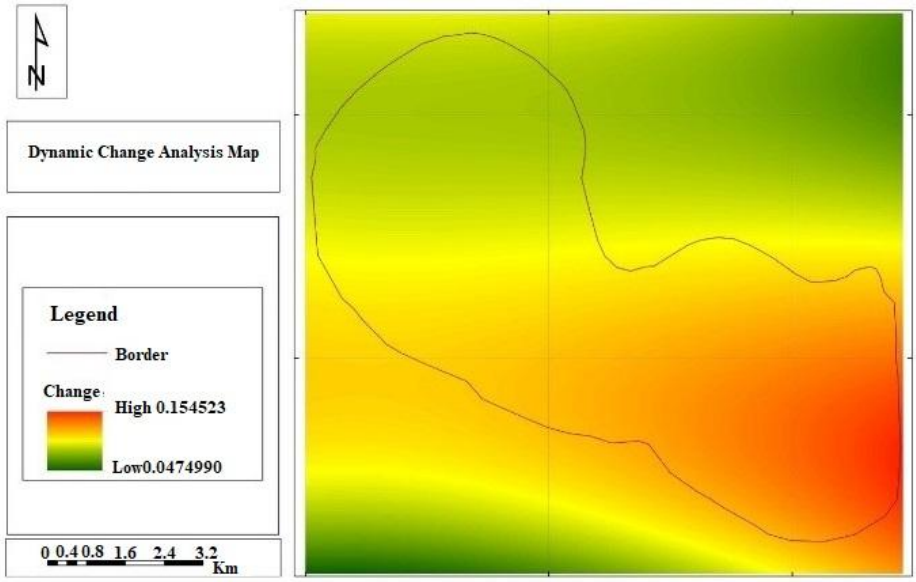

Fig. 10- Schematic dynamic change analysis map (2007-2015)

شکل ۱۰- نقشه شماتیک روند تغییرات شهر پرند طی سال‌های ۲۰۰۷-۲۰۱۵

روش آزمـــون و خطا تعیـــین می‌شـــود؛ ورودی توسط ضریب‌های به‌هنجارکننده به مقدار یک، نرمالیزه شده و بعد از انجام محاسبات، خروجی به مقدار واقعی بازگردانده می‌گردد (Shahnazari et al., 2005). این شبکه بر اساس الگوریتم پس انتشار خطا آموزش می‌بیند که در آن به منظور رسیدن به الگوی مناسب، خروجی‌های واقعی با خروجی‌های دلخواه مقایسه می‌شوند و وزن‌ها توسط الگوریتم پس‌انتشار، به شکل تحت نظارت تنظیم می‌گردند (همان).

با توجه به بررسی زیر مدل توسعهٔ مسکونی در این بخش نتایج به دست آمده در قالب نقشه‌های حاصل از مدل‌سازی پتانسیل انتقال با استفاده از مدل پرسپترون چند لایهٔ شبکهٔ عصبی مصنوعی گردیده است. شکل ۱۱ نتایج پتانسیل انتقال در توسعه کاربری مسکونی است. بر اساس نتایج پتانسیل انتقال کاربری طبق شکل ۱۱ مشخص شد که بیشترین قابلیت تغییر کاربری و تبدیل آن به مسکونی بر حسب روند تغیـــیرات تا سال ۲۰۱۵، به رنگ قهوه‌ای تیره و سپس نارنجی و زرد

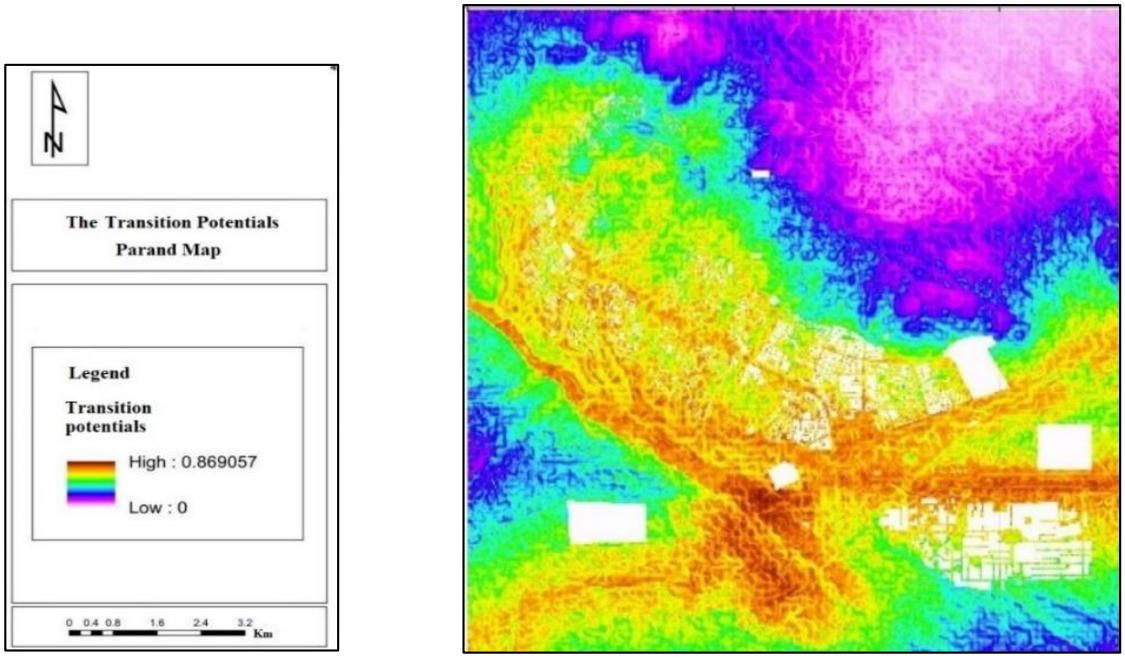

Fig. 11- Schematic map of transition potentials for Parand City

شکل ۱۱- نقشه شماتیک پتانسیل انتقال شهر پرند

است؛ هرچه به سمت رنگ‌های آبی و بنفش کشیده می‌شود، پتانسیل برای تغییر کاربری ضعیف‌تر است. رنگ سفید که در نقشه مشاهده می‌گردد، حاکی از پتانسیل تغییر صفر است؛ زیرا این لکه‌های سفید همان کاربری‌های موجود است.

۲-۳-۷- تهیه نقشه کاربری آینده

محاسبه تغییر کاربری آتی به کمک زنجیره مارکوف انجام می‌شود. بدین منظور، بر اساس آنچه ذکر آن رفت، ابتدا نقش هر یک از متغیرهای مکانی مؤثر بر تغییرات احتمالی کاربری زمین با ضریب کرامر ارزیابی می‌شود. در مرحله بعدی نقشه‌های پتانسیل تغییر کاربری زمین به روش MLP محاسبه می‌شود؛ سپس مقدار تغییر کاربری زمین در آینده با استفاده از زنجیره مارکوف و به کمک نقشه‌های کاربری زمین دوره اول و آخر، بـــه شکل ماتریس احتمال انتقال تغییرات محاسبه و از آن به عنوان پایه‌ای برای پیش‌بینی استفاده می‌شود (Falahatkar et al. 2016). نتایج حاصل از خروجی مدل، در بخش نتایج و بحث قرار داده شده است.

۲-۳-۸- اعتبارسنجی

یک مرحله مهم در هر مدل پیش‌بینی تغییرات، اعتبارسنجی است. به طور معمول، یک سنجش از درک فرایند و قدرت مدل است که این عمل با استفاده از پیش‌بینی برخی از دوره‌های زمانی که در آن پوشش و کاربری زمین شناخته شده است، انجام می‌شود؛ که این عمل، آزمونی برای اعتبارسنجی پیش‌بینی‌های کاربری آینده و توسعه آن‌ها است. بدین منظور، همخوانی نقشه پیش‌بینی شده و واقعی کاربری اراضی به کمک معیار کاپا بررسی شود. در این راستا نیاز بـــه تهیه نقشه واقعی بین سال‌هایی است که داده آن به نرم‌افزار داده می‌شود (Eastman, 2006).

برای اعتبارسنجی به دو لایه کاربری شامل لایه پیش‌بینی شده توسط مدل و یک لایه مربوط به بعد از سال ۲۰۱۵ (آخرین سال منتخب در مدل) نیاز است. بدین منظور لایه کاربری سال ۲۰۱۸ وارد شد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی در شکل ۱۲ و جدول ۳ قابل مشاهده است.

خروجی اعتبارسنجی که در دو قالب جدول و تصویر است، به صورت زیر تشریح می‌شود:

- رنگ سبز نشان دهنده تغییرات پیش‌بینی شده توسط مدل که به وقوع پیوسته است (Hit).
- رنگ قرمز نشان‌دهنده پیش‌بینی‌های نادرست مدل برای ضرورت عدم وقوع تغییرات در برخی پهنه‌ها است (Misses).
- رنگ زرد نشان دهنده پیش‌بینی‌های نادرست مدل برای ضرورت وقوع تغییر در برخی پهنه‌ها است (False Alarms).

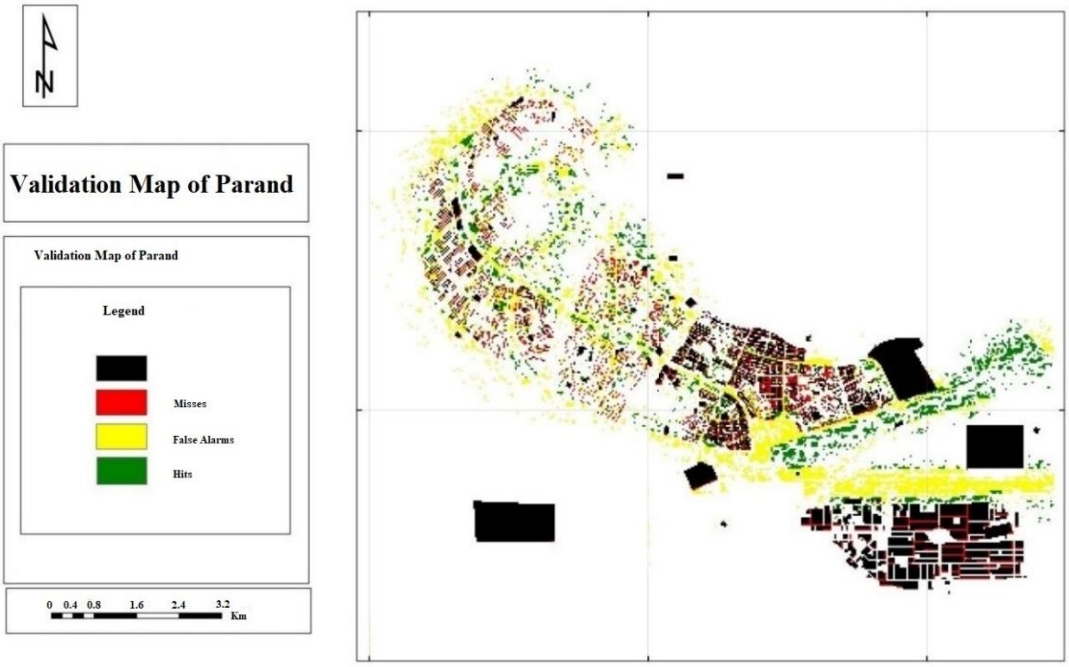

Fig. 12- Schematic validation map in residential area
شکل ۱۲- نقشه اعتبارسنجی شبیه‌سازی در منطقه مسکونی

Table 3- Output of validation in residential area
جدول ۳- نتایج خروجی اعتبارسنجی در محدوده مسکونی

Percent	(Hectare) Area	Situation
32.6	247.89	**Misses**
28.1	214.2	**False Alarms**
39.1	297.63	**Hits**

۲-۳-۹- پیش‌فرض‌های پژوهش

پیش فرض‌های درنظر گرفته شده شامل دو پیش فرض به قرار ذیل است:

– درصد سهم کاربری مسکونی از کل کاربری‌های شهر، بر حسب طرح جامع شهر پرند محاسبه شده است.

– مرز پیش‌بینی‌های مدل به دلیل محدودیت نرم‌افزار شبیه‌ساز، در محدوده مورد تملک حال حاضر شهر است.

برای سنجش گسترش کالبدی بر حسب توان تأمین آب در شهر جدید پرند، سه سناریو و مراحل آن به شرح ذیل برگزیده شده است:

سناریو پراکنده‌رویی؛ گسترش واحدهای مسکونی با الگوی ویلایی:

– پیش‌بینی گسترش کالبدی شهر بر اساس خروجی شبیه‌سازی LCM

– محاسبه درصد کاربری مسکونی بر اساس طرح جامع

– محاسبه توان ساخت واحد تک طبقه مسکونی بر حسب تراکم ساختمانی موجود در محدوده پیش‌بینی شده رشد شهر

– تخمین جمعیت‌پذیری واحدهای پیش‌بینی شده بر اساس بعد خانوار اعلام شده توسط مرکز آمار ایران (۳/۳ نفر)

– محاسبه مصرف آب جمعیت تخمین زده شده بر اساس میانگین مصرف آب برای هر فرد در کشور (۱۵۷ لیتر در هرشبانه روز)

– جمع بستن میزان بدست آمده بوسیله پیش‌بینی با مصرف جمعیت فعلی شهر پرند

سناریو رشد دورنزای روندی جمعیت؛ رشد جمعیت بر اساس نرخ رشد فعلی:

– محاسبه نرخ رشد جمعیت در شهر پرند

– پیش‌بینی جمعیت تا افق ۱۵ ساله

– محاسبه مصرف آب بر حسب جمعیت پیش‌بینی شده در مرحله قبل

۳- نتایج و بحث

۳-۱- نتایج شبیه‌سازی

با استفاده از شبیه‌ساز LCM تا سال ۲۰۳۲ یعنی در افقی حدوداً پانزده ساله، در بازه‌های دوساله شبیه‌سازی شد تا گسترش کالبدی به شکل یک حرکت روندی نشان داده شود (شکل ۱۳).

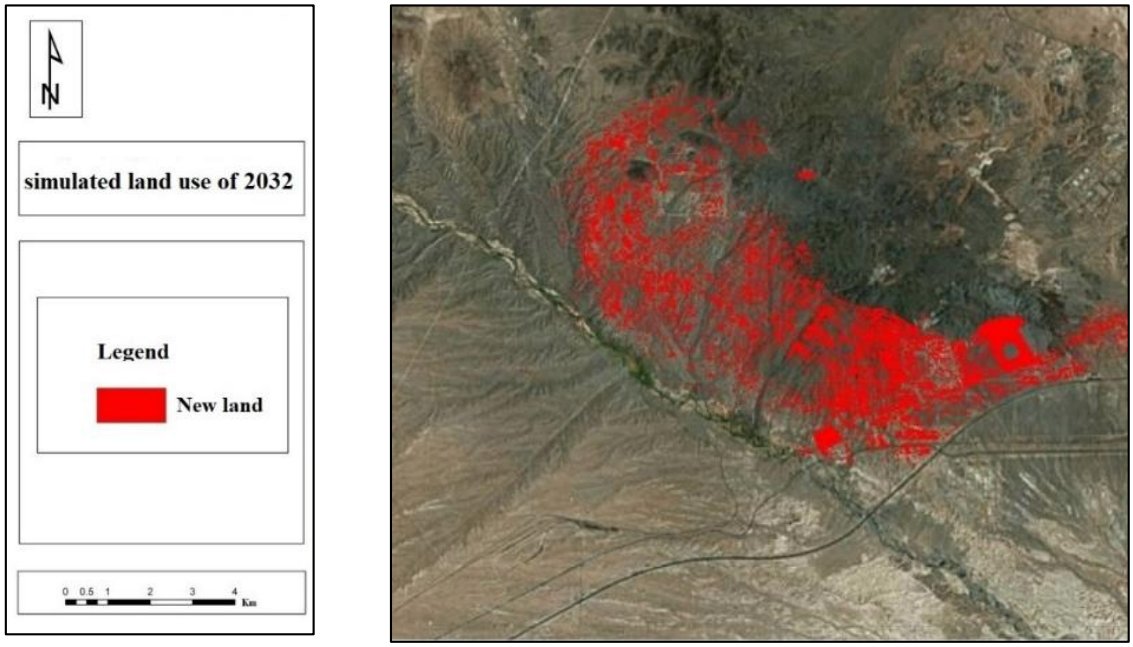

Fig. 13- Landuse change prediction simulation map of 2032
شکل ۱۳- نقشه شبیه‌سازی شده کاربری تا سال ۲۰۳۲

۳-۲- تبدیل شبیه‌سازی کاربری آینده به مصرف آب

با احتساب تراکم خالص ساختمانی و میانگین متراژ موجود در شهر پرند، مساحت پیش‌بینی شده گسترش کالبدی شهر در آینده، تبدیل به تعداد واحد مسکونی شده و سپس طبق بعد خانوار کشور (۳/۳ نفر) پتانسیل میزان جمعیت‌پذیری محاسبه شده است. میزان نیاز آب برای جمعیت بر اساس هر سناریو، بر حسب سرانه مصرف آب برای هر فرد در شبانه روز (۱۵۷لیتر) در جدول ۵ بین سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۳۲ نشان داده شده است. شایان ذکر است که در سناریو پراکنده‌رویی، علاوه بر مصرف آب برای مساحت شبیه‌سازی شده، رشد طبیعی جمعیت شهر نیز درنظر گرفته شده که این نرخ به ازای هر دوسال برابر با ۱/۳۶ است.

همانطور که در شکل ۱۴ مشاهده می‌شود، بر اساس سناریو پراکنده‌رویی، در سال ۲۰۲۶، نیاز آبی فراتر از منابع آب موجود خواهد شد. و بحران آب در این سال آغاز خواهد شد. در سناریو رشد درونزا روندی جمعیت، آهنگ رسیدن به بحران آبی کمی کندتر خواهد بود، بطوری که در سال ۲۰۳۰ بر حسب این سناریو آغاز بحران آبی برای شهر پرند خواهد بود. بنابراین همانطور که مشخص شد، اگر با نگاهی خوشبینانه، فقط با سناریو رشد درونزا روندی جمعیت، نیازسنجی آب انجام شود و تصمیمات برای این شهر بر حسب این نوع پیش‌بینی اتخاذ شود، مشکلات مربوط به تأمین آب سریعتر گریبانگیر مسئولان و ساکنان خواهد شد. طبق خروجی شبیه‌سازی انجام شده، تا سال ۲۰۳۲ مساحت ۱۱۷۰ هکتار از زمین‌های واقع در حریم شهری به شهر پرند افزوده خواهد شد.

Table 5- Simulated areas and their water requirement under different scenarios in 2032

جدول ۵- مساحت‌های شبیه‌سازی شده و میزان مصرف آب بر حسب هر سناریو تا سال ۲۰۳۲

Name of Spatial Scenario	Year	New Residential Area (Ha)	Residential Density (unit)	Estimated Population (People)	Water Demand Per Capita (M3/Year)	Total Water Demand
Senario Sprawl:1	2022	734	16311	186377	3084498.9	13288640
	2024	822	18266	240546	3454173.4	16624067
	2026	910	20220	311892	3823733.4	20899820
	2028	999	22200	406686	4198164.3	26464223
	2030	1085	24111	533026	4559529.6	33742703
	2032	1170	26000	702505	4916769	43378917
Senario 2: Population growth trend	2022	-	-	132551	-	7257167
	2024	-	-	180269	-	9869728
	2026	-	-	245166	-	13422830
	2028	-	-	333426	-	18255073
	2030	-	-	453460	-	24826935
	2032	-	-	616705	-	33764599

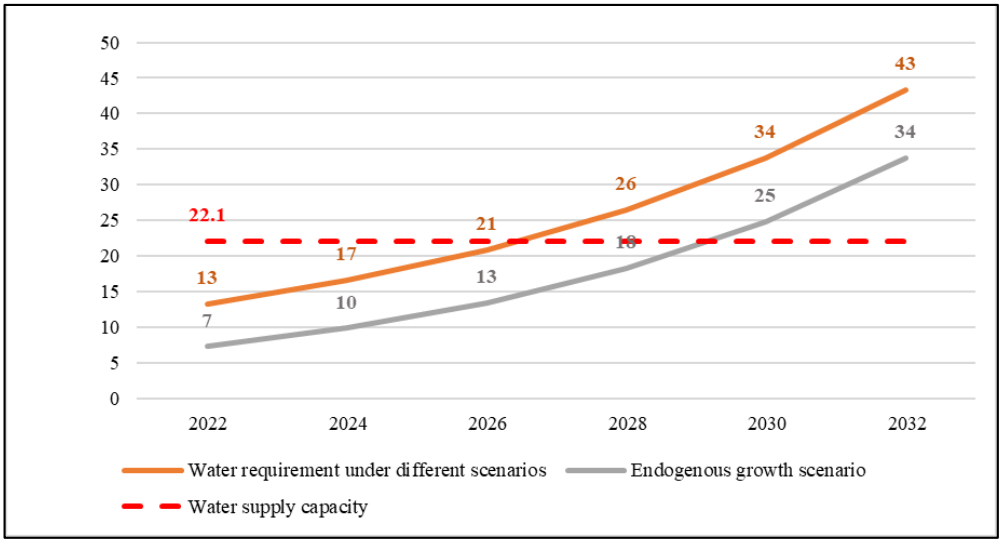

Fig. 14- Water requirement in 2032 under different scenarios

شکل ۱۴- وضعیت نیاز آب بر حسب هر سناریو تا سال ۲۰۳۲

این مقدار از مساحت به شکل ناخالص بوده و همه آن تبدیل به بافت شهری یا عرصه و عیان نخواهد شد؛ میزان خالص این مساحت، طبق میانگین تراکم ساختمانی موجود و میانگین متراژ ساختمان‌های هر فاز از شهر پرند محاسبه شده و سپس مقدار نیاز آب برای سناریو پراکنده‌رویی سنجیده شد. سناریو پراکنده‌رویی، نیازسنجی آب در الگوی ساخت واحدهای مسکونی ویلایی در زمین‌های پیش‌بینی شده گسترش کالبدی بهمراه رشد طبیعی جمعیت است؛ سناریو رشد روندی جمعیت، رشد جمعیت با نرخ رشد جمعیت موجود در شهر پرند که سالانه ۰/۶۸ است را محاسبه نموده است. همانطور که نتایج نشان داده شد، در سال ۲۰۳۲ با توجه به سناریو پراکنده‌رویی، سالانه ۴۳۳۷۸۹۱۷ لیتر مکعب آب برای پاسخ به نیاز جمعیت باید تأمین شود. در سناریو رشد درونزا روندی جمعیت در همان سال ۳۳۷۶۴۵۹۹ لیتر مکعب آب نیاز است. ابتدا با مقایسه دو سناریو و با توجه به میزان سالانه منابع آب موجود در شهر پرند (بیست و دو میلیون متر مکعب در سال) مشخص می‌شود که در صورت گسترش فضایی شهر طبق سناریو پراکنده‌رویی، و عدم اتخاذ قوانین ممنوعیت ساخت و ساز در پرند، بحران شدیدتری برای منابع آب رخ خواهد داد. حال نکته حائز اهمیت در پرداختن به این سناریوها این است که اگر در برنامه‌ریزی‌ها فقط بنا بر رشد طبیعی جمعیت اقدام به اتخاذ تصمیمات شود، امکان شکست برنامه بالا خواهد بود زیرا علاوه بر رشد طبیعی جمعیت در یک شهر، کالبد شهر نیز گسترش خواهد یافت، پس سنجش جمعیت با استفاده از نرخ رشد درونزا جمعیت بهمراه تخمین جمعیت مورد استقرار در فضای گسترش یافته آینده، پیش‌بینی واقع بینانه‌تری برای برنامه‌ریزان خواهد داشت.

۴- خلاصه و جمع‌بندی

با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، میزان گسترش کالبدی شهر پرند تا سال ۲۰۳۲ مشخص شد، خروجی حاصل از این شبیه‌سازی، مساحت ناخالص است؛ بنابراین با تکیه بر میانگین تراکم ساختمانی موجود و میانگین متراژ ساختمان‌های هر فاز از شهر پرند، مساحت خالص رشد کالبد و واحدهای مسکونی شهر بدست آمد. امکان ساخت ساختمان مسکونی و گسترش کالبدی در مساحت خالص محاسبه شده، به شکل الگوهای مختلف ساخت و ساز ساختمانی وجود دارد؛ بدین منظور همراه با تحلیل محتوا و بررسی وضعیت اجتماعی و اقتصادی ساکنان، سناریو الگوی گسترش ساخت و سازها طراحی شد. در گام آخر، میزان نیاز آب شهر پرند طبق نتایج هر سناریو سنجیده شد. بنابر پژوهش حاضر، تا سال ۲۰۳۲ مساحت ۱۱۷۰ هکتاراز حریم شهری به محدوده شهر پرند اضافه خواهد شد. نتایج نشان می‌دهد که حرکت برنامه‌های مربوط به شهر پرند فقط با توجه به سناریو رشد درونزا روندی جمعیت، حالتی خوشبینانه القا می‌کند که تا سال ۲۰۳۰ بحران آب در پرند وجود نخواهد داشت؛ اما همانطور که در سناریو پراکنده‌رویی شهر به صورت واقع‌بینانه مشخص شد، در سال ۲۰۲۶ سرآغاز بحران آب در این شهر است. زیرا ساخت و سازها در این شهر همچنان ادامه دارد، احتمال دارد گسترش فضایی و کالبدی شهر به سمت سناریو پراکنده‌رویی حرکت نماید که در این الگو شاهد بحران آب به دلیل نیاز آبی سالانه بیش از چهل و سه میلیون مترمکعبی خواهیم بود. بدین ترتیب برای جلوگیری از وقوع بحران آب و حرکت به سمت توسعه پایدارشهری، مقاله پیش‌رو اهمیت توجه به برنامه‌ریزی فضایی برای توسعه شهرها با توجه به محدودیت منابع آب را قویاً توصیه می‌نماید.

پی‌نوشت‌ها

1- Artificial Neural Networks
2- Agents Based Models
3- Spatial-Statistical Models
4- Fractal Based Models
5- Cellular Automata Models
6- IDRISI
7- Static
8- Dynamic

۵- مراجع

Agarwal C (2002) A review and assessment of land-use change models: Dynamics of space, time, and human choice (Vol. 297). US Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Research Station

Bloch R, Monroy J, Fox S, & Ojo A (2015) Urbanisation and urban expansion in Nigeria. Urbanisation Research Nigeria (URN) Research Report. London, GB: ICF International

Eastman J R (2006) IDRISI v 15.1. IDRISI Andes. Guide to GIS and Image Processing, 1

Falahatkar S, Hosseini M, Salman mahini A, Ayoubi SH (2016) Prediction of land use/ cover change by using LCM model. Environmental Research 7(13):163-174 (In Persian)

Harvard University (2013) Urban sprawl threatens water quality, climate protection, and land conservation gains. ScienceDaily, Retrieved July 15, 2021

Hess GR (2001) Just what is sprawl anyway? From http://www.4.ncsuedu/grhess

Holdren J P, Ehrlich P R (1974) Human population and the global environment: Population growth, rising per capita material consumption, and disruptive technologies have made civilization a global ecological force. American Scientist 62(3):282-292

Ramachandraiah C, Prasad S (2004) Impact of urban growth on water bodies: The case of Hyderabad. Hyderabad. India: Centre for Economic and Social Studies

Shahnazari M, Arab khabouri D, Moghbeli H (2005) Evaluation of the performance of two types of multilayer perceptron neural networks and networks with radial base functions to estimate the speed of a permanent magnet synchronous motor. Twelfth Iranian Electrical Engineering Conference, Mashhad, Ferdowsi University Mashhad (In Persian)

Tu J, Xia Z G, Clarke K C, & Frei A (2007) Impact of urban sprawl on water quality in eastern Massachusetts, USA. Environmental Management 40(2):183-200

Tundisi J G (2008) Water resources in the future: Problems and solutions. Estudos Avançados 22(63):7-16

Hosseini S A, Shahraki S Z, Farhudi R, Hosseini S M, Salari M, & Pourahmad A (2010) Effect of urban sprawl on a traditional water system (Qanat) in the City of Mashhad, NE Iran. Urban Water Journal 7(5):309-320 (In Persian)

Larijani K M (2005) Irans Water crisis; inducers, challenges and counter-measures. 45th Congress of the European Regional Science Association: "Land Use and Water Management in a Sustainable Network Society", 23-27, Amsterdam, The Netherlands

Pende L (2009) Impact of urban growth on water-supply and sanitation: A case study of Honiara City, the Solomon Islands. Doctoral dissertation, University of the South Pacific

Rafeei R (2009) Municipal solid waste landfill site selection for the city of Mashhad based on the spatial expansion trend of the city. M.Sc. Thesis, Department of natural resources, Tarbiat Modares University (In Persian)