

# شناسایی محله‌های آسیب‌پذیر شهری از نظر اتفاقات شبکه‌ی آب

## مطالعه‌ی موردی: شهر اردبیل

علیرضا محمدی\*؛ دانشیار جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه محقق اردبیلی، ایران، a.mohammadi@uma.ac.ir  
الهه پیشگر؛ دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه شهید بهشتی، ایران.  
سپیده نوری؛ دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.  
حجت ارژنگی؛ کارشناس ارشد جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۳/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۴/۲۵

### چکیده

زیرساخت آب شریان حیاتی یک شهر است و آسیب به آن، می‌تواند منجر به بحران شود. بر اساس گزارش‌های ثبت شده، از سال ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۵ به طور میانگین سالانه ده‌ها هزار مورد اتفاق در زیرساخت شبکه‌ی آب شهر اردبیل رخ داده است. از آنجایی که زیرساخت‌های آب، مکان مینا هستند، بنابراین، شناسایی پهنه‌های آسیب‌پذیر شهر به منظور پیشگیری از بحران در مواقع مخاطرات احتمالی ضروری است. چنین شناختی مستلزم استفاده از روش‌های مناسب تحلیل فضایی است. لذا از فنون GIS همچون تراکم Kernel و فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) برای شناسایی محله‌های آسیب‌پذیر شهر استفاده شده است. قلمرو جغرافیایی این پژوهش، ۴۴ محله‌ی شهر اردبیل است. داده‌های این پژوهش، شامل ۱۱۲۲۲ مورد اتفاق است که تا پایان سال ۱۳۹۵ ثبت شده‌اند. در پژوهش حاضر، از هشت معیار کلیدی شامل تعداد اتفاقات ثبت شده، تراکم جمعیت و ساختمان، فعالیت ساختمانی، کیفیت شبکه‌ی معابر، کیفیت کالبدی بافت‌های شهری، عمر و فشار در شبکه‌ی آب استفاده شده است. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهند که ۱۳/۶ درصد از محله‌ها در پهنه‌ی با آسیب‌پذیری شدید، ۲۲/۷ درصد در پهنه‌ی با آسیب‌پذیری زیاد، ۲۵ درصد در پهنه‌ی با آسیب‌پذیری متوسط و ۳۸/۷ درصد باقی در پهنه‌ی با آسیب‌پذیری کم و خیلی کم قرار دارند. نتیجه اینکه، محله‌های شماره‌ی ۲، ۴، ۵، ۱۹، ۲۸، ۳۹ وضعیت بحرانی دارند و شدیداً در معرض خطر وقوع اتفاقات در شبکه‌ی آب شهری قرار گرفته‌اند و وقوع مخاطراتی مانند زلزله می‌تواند شهر را با آسیب‌های جدی مواجه کند. واژه‌های کلیدی: شبکه‌ی توزیع آب، اتفاقات، آسیب‌پذیری، مدیریت بحران، GIS، شهر اردبیل

## Identifying Vulnerable Neighborhoods in the City in Terms of City Water Network Events Using GIS.

### Case Study: Ardabil City

Alireza Mohammadi<sup>1\*</sup>, Elahe Pishgar<sup>2</sup>, Sepideh Noori<sup>3</sup>, Hojat Arzhangie<sup>4</sup>

#### Abstract

The water infrastructure is a vital facility of a city and its destruction can lead to crisis. According to the records, from 2011 to 2016 on average, annually, tens of thousands of incidents occurred in Ardabil water network infrastructure. Since water infrastructures are location-based, therefore, identification of vulnerable zones of the city, in order to prevent a crisis in hazardous times is essential. Such knowledge requires the use of appropriate methods of spatial analysis. Therefore, techniques such as Kernel density in GIS and Analytic Hierarchy Process (AHP) are used for the identification of vulnerable neighborhoods. The geographic territory of this study is 44 neighborhoods of the city of Ardabil. 11,222 registered incidents in the water network of the city by the end of 2016 are used in this study. Moreover, 8 key criteria including the number of registered events, population and building density, construction activity, the quality of the road network, the physical quality of urban fabrics, age and the pressure of the city water network are used. The results show that 13.6 percent of the neighborhoods are in the zone with severe risk, 22.7 percent in the high-risk zone, 25 percent are in the zone with moderate risk and 38.7 percent are in the low and very low-risk zones. In conclusion, neighborhoods 2, 4, 5, 19, 28, 39 are in crisis condition and at great risk of events on the city water network and crisis such as earthquakes can damage the city.

**Keywords:** Water distribution network, Vulnerability, Crisis management, GIS, Ardabil

1 Assistant Prof., Dept. of Geography, University of Mohaghegh Ardabili, Email: a.mohammadi@uma.ac.ir

2 MSc. in Geography and Urban Planning, University of Tehran, Iran

3 PhD student of Geography and Urban Planning, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

4 MSc. in Geography and Urban Planning., Dept. of Geography, University of Mohaghegh Ardabili, Iran

ارزیابی آسیب‌پذیری ناشی از بلایای احتمالی از جمله مراحل پیش‌گیری وقوع بحران در شهرهای آسیب‌پذیر است و استفاده از GIS تا حد بسیار زیادی می‌تواند در شناسایی آسیب‌های احتمالی خطرات و بلایای احتمالی کمک کند [۱۳]. در پژوهش‌های مختلف روش‌های مختلفی برای شناخت مشکلات ناشی از حوادث آب و بهبود مدیریت آب در شهرها پیشنهاد شده‌اند [۴، ۱۴، ۱۵، ۱۶].

سازمان ملل متحد، بحران را وقفه‌ی کامل یا نسبی در فعالیت‌های گروه یا جامعه که با آسیب‌های مادی و غیرمادی همراه است، تعریف کرده است. جامعه‌ای که با بحران مواجه می‌شود، قادر به جبران خسارات وارد شده در کوتاه مدت نیست [۱۷]. بر طرف کردن آن نیاز به اقدامات و عملیات اضطراری و فوق‌العاده دارد [۱۸]. برای خروج از وضعیت بحران، وجود مدیریت بحران ضروری است. از این رو، توجه به مدیریت بحران و ایجاد ساختار تشکیلاتی آن ضروری است. این ساختار تشکیلاتی تلاش می‌کند بحران را در چهار مرحله‌ی اصلی مدیریت نماید. این چهار مرحله عبارت‌اند از: ۱. آمادگی پیشگیری؛ ۲. کاهش خطرها و تأثیرها؛ ۳. مواجهه؛ ۴. بازسازی، توسعه و بازتوانی (اجتماعی، اقتصادی و غیره) [۱۹، ۲۰]. آنچه در زمینه‌ی نواحی نابسامان شهری شایان توجه است، مرحله‌ی پیشگیری و انجام اقدام‌هایی قبل از وقوع حادثه شامل ارزیابی خطر، بهبود زیرساخت‌ها، ایجاد تسهیلات خدمات‌رسانی حین و بعد از سانحه و نیز پیش‌بینی منابع لازم برای بازتوانی و توسعه است.

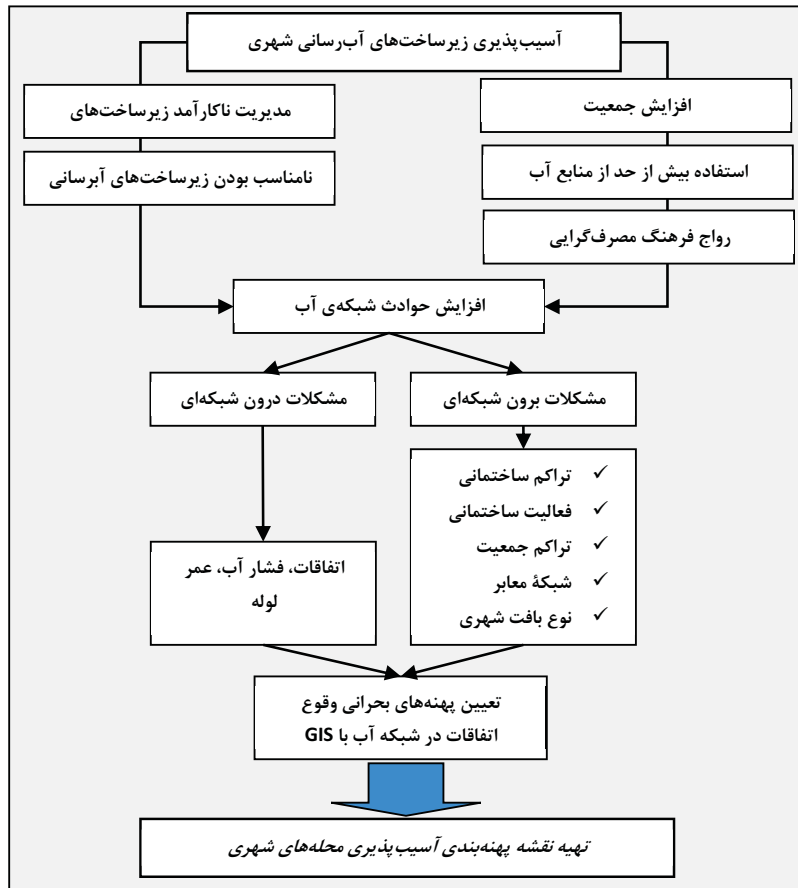
برای پیشگیری از وقوع بحران در زیرساخت‌های پایه‌ای مثل زیرساخت آب، اتخاذ مجموعه فعالیت‌های اجرایی و تصمیم‌گیری‌های مدیریتی و سیاسی ضروری است تا در صورت بروز حوادث مثل زلزله، خسارت‌ها به حداقل برسد [۲۱، ۲۲]. تحقق این هدف مستلزم شناخت و برآورد آسیب‌پذیری خطر احتمالی ناشی از وقوع حوادث در محله‌های شهری است [۲۳]. بر اساس نظریه‌ی آسیب‌پذیری شبکه‌ی زیرساخت‌های آب، در صورت وقوع حوادث کلیه‌ی اتصالات مربوط به شبکه‌ی آب از جمله لوله‌ها، پیوندی‌ها، شیرآلات، رگلاتورهای فشار، ایستگاه‌های پمپاژ و کنتورهای سرویس آسیب جدی خواهند دید [۲۴، ۸، ۷]. اگر شبکه‌ی آب دارای خمیدگی‌های مداوم در طول مسیر حرکت (برای مثال: عبور از معابر ارگانیک) باشد، احتمال آسیب‌پذیری آن بالا خواهد بود [۲۵].

علاوه بر عوامل خارجی مثل زلزله، تغییرات جمعیتی، توپوگرافی زمین، درصد شیب، تراکم جمعیت، تراکم ساختمانی، نوع شبکه‌ی معابر، نوع بافت‌های شهری، سرما یا گرمای شدید هوا، برف یا باران شدید عوامل درونی مانند جنس، اندازه و عمر تأسیسات و تجهیزات داخلی شبکه‌ی آب می‌توانند بر وقوع آسیب بیشتر در هنگام حوادث منجر شوند و یا خود موجب وقوع حادثه شوند [۲۶]. در کنار عوامل یاد شده، در مقیاس شهری، عوامل دیگری مانند تراکم جمعیت، فعالیت‌های ساختمانی، وقوع حوادثی مانند زلزله و غیره در وارد کردن آسیب‌ها به شبکه‌ی آب نقش به مراتب مهمی دارند و در پژوهش‌های گذشته کمتر به آن‌ها پرداخته شده است [۲۷]. هاتمر، توجه به این عوامل خارجی را در

استفاده‌ی نادرست و اتلاف منابع آب آشامیدنی در شهرها و سوء مدیریت آن در کشورهای در حال توسعه، دورنمای نگران‌کننده‌ای را متصور ساخته است [۱]. با توجه به ثابت بودن مقدار ذخایر منابع آبی، افزایش جمعیت، رواج فرهنگ مصرف‌گرایی، افزایش سرانه‌ی مصرف آب و بروز بحران‌های شدید آبی در سراسر جهان و به‌ویژه کشورهای در حال توسعه مانند ایران، چالش‌های جدی را به وجود آورده است [۲]. این وضعیت زمانی نگران‌کننده‌تر و بحرانی‌تر به نظر می‌رسد که ذخایر آب‌های آشامیدنی جهان رو به کاهش است و در عین حال میزان سرانه‌ی استاندارد مصرف آب شهری، رو به افزایش است. تنگناهای فرهنگی، اجتماعی، فناورانه و سوء مدیریت و اتلاف منابع آب در شهرها، از مسائل تهدیدکننده به شمار می‌روند [۳].

وقوع حوادث و ناکارآمدی زیرساخت‌های شبکه‌ی آب شهری، تهدید جدی برای پایداری تأمین منابع آب شهرها در بلندمدت است [۴]. مدیریت زیرساخت‌های شهری و پایش کیفیت این زیرساخت‌ها و رفع مشکلات احتمالی آن‌ها، از اولویت‌های راهبردی هر شهری است [۵]. از این رو شناسایی عوامل تأثیرگذار بر افزایش آسیب ناشی از این پدیده‌ها در شهرها از اهمیت بالایی برخوردار است [۶]. در ایران، به دلیل کمبود منابع تأمین آب، هدر رفتن آب از طریق زیرساخت‌های نامناسب، به مراتب تهدید جدی‌تری است و می‌تواند به بحران آب شهری تبدیل شود [۷]. محدودیت منابع آبی، محدودیت زیرساخت‌های آب‌رسانی، محدودیت منابع و تسهیلات تصفیه و پالایش آب، ازدیاد متقاضی، فرسودگی زیرساخت‌ها، کمبود منابع مالی، فقدان مدیریت یکپارچه‌ی شهری و فرهنگ نامناسب بهره‌برداری از آب آشامیدنی از مهم‌ترین مسائل و مشکلات مربوط به تأمین آب شهری است. به‌طور میانگین در طول شبانه‌روز در شهرهای ایران ۲۰۰ لیتر آب توسط هر شهروند مصرف می‌شود. از این مقدار حدود ۳۰ درصد هدر می‌رود که از مهم‌ترین دلایل آن، نامناسب بودن زیرساخت‌های شبکه‌ی آب‌رسانی و وقوع حوادث در شبکه‌ی آب شهری است [۸]. با توجه به مسائل مطرح شده، مدیریت زیرساخت‌های آب به‌ویژه در شهرهای کشورهای در حال توسعه، اهمیت زیادی دارد [۹].

در شهر اردبیل به‌منزله‌ی یکی از شهرهای متوسط ایران از نظر تعداد جمعیت، سالانه هزاران مورد اتفاق در شبکه‌ی آب شهری اتفاق می‌افتد [۱۰]. برای مثال طی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۴، تعداد ۵۶۲۸۰ مورد اتفاق در شبکه‌ی آب شهری اردبیل گزارش شده است [۱۱]. لذا رعایت نکردن اصول و ضوابط فنی در ایجاد شبکه‌ی آب، نبود شیرهای فشارشکن و شیرهای قطع و وصل متناسب با نیاز شبکه، نوسان در فشار آب، پمپاژ آب از چاه‌ها به صورت مستقیم به شبکه و رعایت نکردن اصول فنی و ایمنی در اتصالات و تجهیزات شبکه‌ی آب از جمله مهم‌ترین مشکلات شبکه‌ی آب شهر اردبیل هستند [۱۰، ۱۲]. بر این اساس شناسایی عوامل و آسیب‌های محتمل در ارتباط با شبکه‌ی آب شهر ضروری است.



تصویر ۱: مدل مفهومی پژوهش

استفاده از روش مدیریت پیشگیرانه ارائه می‌کنند و به استفاده از نرم‌افزارهای مبتنی بر GIS تأکید می‌کنند. انیسی و همکاران [۳۴]، به این نتیجه رسیدند که تهیه‌ی سامانه‌ی مدیریت جامع بحران شریان‌های حیاتی سبب سپری کردن سریع شرایط بحرانی در کمترین زمان و با کمترین هزینه، کاهش پیچیدگی‌های ناشی از اندرکنش شریان‌های حیاتی، تحلیل درست از وضعیت هر شریان پس از وقوع زلزله، اولویت‌بندی پارامترهای آسیب‌دیده برحسب عملکرد آن‌ها، کاهش بی‌نظمی در اعزام نیرو و تجهیزات امدادی، تقسیم وظایف هماهنگی و ساماندهی نیروها در منطقه‌ی بحران زده و کاهش چشمگیر زمان و هزینه‌های بازسازی خواهد شد. نتایج مطالعات رهگذر و همکاران [۳۵]، نشان می‌دهد که شاخص‌های آسیب‌پذیری لرزه‌ای خطوط لوله‌ی فاضلاب شهرکرد در حد متوسط و کم است و در جنوب شهرکرد به خصوص در بافت قدیمی شهر که لوله‌های آن ترد است، از دیگر نقاط بیشتر است. یافته‌های رهنما و همکاران [۳۶]، حاکی از آن است که شبکه‌ی آب‌رسانی منطقه‌ی ۱۱ تهران در اثر فعالیت احتمالی گسل شمال تهران آسیب چندانی ندیده و تنها بخش‌هایی از لوله‌های غیر منقطع و با قطر کم آسیب خواهند دید.

با توجه به اهمیت استفاده از فناوری‌های مناسب که در ادبیات پژوهش نیز به آن اشاره شد، در سال‌های اخیر استفاده از GIS به کمک زیرساخت‌های شهری آمده است و امکان بررسی، تحلیل و پایش اتفاقات در شبکه‌های آب و فاضلاب را برای

مدیریت بحران شبکه‌های زیرساختی مانند آب ضروری می‌داند و بر این باور است که باید این زیرساخت‌ها به صورت دائمی تحت نظارت، کنترل و مناسب‌سازی قرار داشته باشند [۲۸].

در زمینه‌ی موضوع پژوهش، مطالعاتی در سال‌های اخیر انجام شده‌اند که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره خواهد شد.

نتایج مطالعات جیمینز و همکاران [۲۹] بیانگر این نکته است که توزیع نامتعادل و نابرابر و ناعادلانه‌ی خدمات شبکه‌ی آب و فاضلاب شهری مانع شکل‌گیری شهرنشینی پایدار می‌شود و می‌تواند تبعات منفی اجتماعی، سیاسی و اقتصادی برای شهر به همراه داشته باشد و به کاهش کیفیت آب شهری منجر شود. یامبا [۳۰]، در پژوهشی با استفاده از نقشه‌های جی‌آی‌اس، بحرانی‌ترین نقاط فشار آب و افت فشار آب را مشخص و برای مدیریت آن مدل‌سازی کرد. ابو‌راوه و محمود [۳۱]، معتقدند مشکل هدررفت آب به‌طور کلی و حل مشکل نشت در شبکه‌های توزیع به‌طور خاص با توضیح علل آن و تأثیر آن بر جنبه‌های مختلف زندگی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی امکان‌پذیر است. اوسلو و همکاران [۳۲]، خاطر نشان کرده‌اند که تصمیم‌گیری صحیح برای بهبود و مدیریت سامانه‌های زیرساخت تأمین آب، از جمله مزایایی است که از طریق ایجاد سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) می‌توان به آن دست یافت.

آسفی و همکاران [۳۳]، در پژوهش خود، روشی را برای مدیریت آب و کاهش خسارت‌ها و اتفاقات شبکه‌ی آب با

نام متغیر	تعریف عملیاتی
اتفاق در شبکه‌ی آب	شامل داده‌های ثبت شده مربوط به وقوع حوادث است که به صورت تعداد وقوع آن از ۱ تا بی نهایت، اندازه‌گیری می‌شود.
تراکم جمعیت	تراکم نفر که در واحد هکتار محاسبه می‌شود.
تراکم ساختمانی	سطح اشغال زمین که بر حسب درصد بیان می‌شود.
فعالیت ساختمانی	مجوزهای ساخت و ساز که بر حسب تعداد اندازه‌گیری می‌شود.
کیفیت خیابان‌ها	کیفیت خیابان که متناسب با هندسه و نوع پوشش معابر که در این پژوهش به ۵ طیف کیفیت مناسب تا کیفیت بد، طبقه‌بندی شده است.
کیفیت بافت شهری	کیفیت کالبدی بافت شهری که بر اساس قدمت و نوع مصالح به کار رفته در آن مشخص می‌شود.
فشار در شبکه آب	مقدار فشار آب بر مترمکعب که به صورت بار یا اتمسفر سنجیده می‌شود.
عمر شبکه آب	زمان سپری شده از آغاز به کار زیرساخت آب و لوله‌ها که به سال سنجیده می‌شود.

### متغیرها و داده‌های پژوهش

متغیرهای این پژوهش بر حسب دسترسی به داده‌ها شامل هشت متغیر اصلی هستند. دسته‌ی اول، داده‌های مربوط به متغیرهای داخل شبکه مانند فشار آب، عمر شبکه‌ی آب و اتفاقات در شبکه‌ی آب شهر است. داده‌های خام مربوط به اتفاقات از دفتر تحقیقات شرکت آب و فاضلاب استان اخذ شده‌اند. لیکن این داده‌ها فقط آدرس بوده‌اند و عملیات پیاده‌سازی آن روی نقشه و تشکیل پایگاه داده‌های مکانی در GIS توسط نگارندگان و در طول سه ماه انجام شده است. این داده‌ها شامل ۱۱۲۲۲ مورد حادثه‌ی آب ثبت شده هستند. دسته‌ی دوم داده‌های مربوط به متغیرهای برون شبکه‌ای همانند تراکم جمعیت، ساختمان، فعالیت ساختمانی، کیفیت شبکه‌ی معابر و بافت‌های شهری است که از اسناد طرح جامع شهرداری تهیه شده توسط مهندسان مشاور طرح و کاوش [۱۰]، استخراج شده‌اند. جدول ۱ متغیرهای اصلی استفاده شده در این پژوهش را نشان می‌دهد. ذکر این نکته ضروری است که انتخاب متغیرها بر اساس تنگناهای موجود در دسترسی به داده‌های ثبت شده و قابل دسترس بوده است.

### تشکیل پایگاه داده‌های مکانی در GIS

بعد از اخذ داده‌ها، به دلیل ناهمسان بودن مقیاس اندازه‌گیری متغیرها، داده‌های اخذ شده، مجدداً طبقه‌بندی و کدگذاری شدند. در ادامه پایگاه داده‌های طبقه‌بندی شده مربوط به هر کدام از متغیرها، در نرم‌افزار EXCEL تشکیل شد. در گام بعدی با توجه به اینکه مختصات جغرافیایی (X, Y) مربوط به ۱۱۲۲۲ حادثه توسط شرکت آب و فاضلاب ثبت نشده بودند، نقاط مربوط به حوادث با استفاده از آدرس‌ها، بر روی نقشه‌ی بزرگ مقیاس شهری (۱:۵۰۰) پیاده شدند (تصویر ۲). از نقشه‌ی شهری و نقشه‌های Google Maps برای ثبت آدرس‌ها و کدگذاری آدرس‌ها استفاده شد. از جمله مشکلات این گام صحیح نبودن آدرس‌ها، تعداد زیاد نقاط مربوط به حوادث و عدم همخوانی نقشه‌ی شبکه با نقشه‌ی شهری بود. در ادامه آدرس‌ها و کدگذاری حوادث ثبت شده به محیط ArcGIS منتقل شدند. پایگاه اطلاعات شبکه که در EXCEL تشکیل شده بود، به داده‌های مکانی شامل عوارض

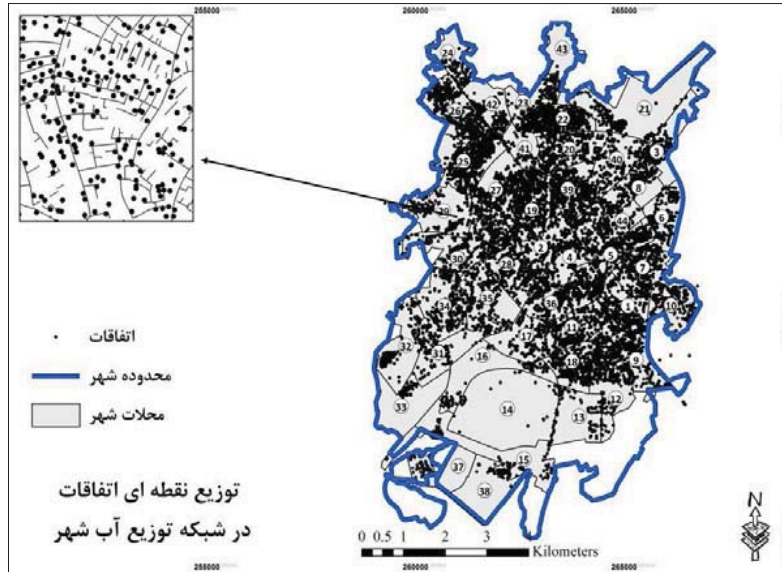
مدیران، برنامه‌ریزان و طراحان شبکه فراهم کرده است [۳۷] و امروز در جوامع پیشرفته‌تر، به طور کارآمدی به بهبود وضعیت زیرساخت‌های آب کمک کرده است [۳۸]. ابزارهای GIS، این امکان را به وجود آورده‌اند که بتوان به هنگام وقوع خطر، آسیب‌های ناشی از آن را کنترل کرد [۳۹]. تحلیل‌های فضایی، به نحو مؤثری در مدیریت زیرساخت‌های مهمی مانند شبکه‌ی آب و پیشگیری از وقوع بحران کاربرد دارد [۴۰، ۴۱].

هدف اصلی این پژوهش، شناسایی محله‌ها و پهنه‌های آسیب‌پذیر شهری از نظر اتفاقات محتمل در شبکه‌ی توزیع آب شهری است. به عبارت روشن هدف اصلی تهیه‌ی نقشه‌ی آسیب‌پذیری شبکه‌ی آب شهری در مقیاس شهری و بر مبنای تقسیمات محله‌ای است. بر این اساس و با توجه به مسئله و ضرورت پژوهش، در این مطالعه تلاش خواهد شد تا به این دو پرسش کلیدی پاسخ داده شود که کدام محله‌های شهرداری از نظر زیرساخت شبکه‌ی توزیع آب شهری، در صورت وقوع خطرات احتمالی مانند زلزله یا فرسایش زیرساخت‌ها، آسیب‌پذیر هستند؟ کدام محله‌ها در وضعیت بحرانی قرار دارند؟ برای تحقق هدف و پاسخ به پرسش‌های ذکر شده، از GIS استفاده شده است. باقی مقاله شامل روش تحقیق و ابزارها، یافته‌ها و بحث و نتیجه‌گیری است.

### روش تحقیق و ابزارها

#### محدوده‌ی مورد مطالعه

قلمروی جغرافیایی این پژوهش شهر اردبیل است. شهر اردبیل در شمال ایران و در مختصات جغرافیایی  $38^{\circ} 14' 56.7''$  شمالی و  $48^{\circ} 17' 55.12''$  شرقی، قرار گرفته است. این شهر تا آغاز ۱۳۹۷ ه. ش. ۵۳۰ هزار نفر جمعیت و ۷ هزار هکتار مساحت داشته است. اولین انشعاب شبکه‌ی آب‌رسانی شهرداری در سال ۱۳۴۶ و از مرکز جغرافیایی شهر شروع شده است. بیش از ۹۹ درصد محلات شهری از آب آشامیدنی برخوردار هستند [۱۰]. در حدود ۳۰ درصد از کل سرانه‌ی آب مصرفی شهر به دلایل مختلف از جمله اتفاقات در شبکه، هدر می‌رود [۱۰، ۱۲]. در حال حاضر بیش از ۹ هزار متر خط توزیع آب در شهر وجود دارد [۱۱].



تصویر ۲: پراکنش اتفاقات دوره‌ی یک ساله در شبکه‌ی آب شهر اردبیل

معیارها بر اساس اعداد ۱ تا ۹ انجام و امتیاز نهایی معیارها مشخص می‌شود. این ابزار عملیات همپوشانی نهایی را نیز انجام می‌دهد. در این پژوهش از این روش برای وزن دهی، استانداردسازی معیارها و انجام عملیات نهایی همپوشانی استفاده شده است. علت انتخاب این روش در مقایسه با سایر روش‌های همپوشانی همانند همپوشانی شاخص وزن دار<sup>۲</sup> (WOI) یا روش فازی، انطباق این روش با مقیاس نه طیفی توماس ساعتی و امکان استفاده مؤثر از آن در محیط GIS و دقت آن در مقایسه با مقیاس مورد استفاده در روش بولین (۱ تا ۹) است.

در این پژوهش سه مرحله برای استخراج نقشه‌ی آسیب پذیری شهر انجام شده است. این سه گام عبارتند از: گام ۱. استانداردسازی و تعیین وزن معیارها؛ با توجه به تفاوت در مقیاس اندازه‌گیری متغیرهای پژوهش، استانداردسازی معیارها برای انجام عملیات همپوشانی و اخذ خروجی نهایی و همچنین اعمال وزن‌های مربوط به هر کدام از معیارها ضروری است. برای انجام استانداردسازی و تعیین وزن لایه‌های مربوط به معیارها این اقدامات انجام شده‌اند:

۱. ابتدا نقشه‌ی رستری مربوط به هر کدام از متغیرها تهیه شدند. برای تهیه‌ی رستر از ابزار تبدیل عارضه به رستر<sup>۳</sup> در ArcGIS بهره گرفته شد. ۲. در ادامه به ترتیب لایه‌های مربوط به متغیرهای پژوهش در مقیاس ۹ طیفی توماس ساعتی که در روش AHP نیز کاربرد دارد، استانداردسازی شدند. برای این منظور از روش کلاسه‌بندی مجدد<sup>۴</sup> در ArcGIS استفاده شد. ۳. در گام بعدی عملیات مقایسه‌ی زوجی و تعیین اهمیت معیارها با استفاده از ابزار AHP در ArcGIS انجام شد. به عبارت روشن، عملیات تعیین وزن معیارها انجام شد (تصویر ۳).

گام ۲. همپوشانی و استخراج نقشه‌ی آسیب‌پذیری شهر: بعد از استانداردسازی معیارها و تعیین اوزان مربوط به هر کدام از معیارها، در این گام عملیات همپوشانی به روش AHP در GIS انجام شد. علت استفاده از این روش برای همپوشانی دقت آن در مقایسه

نقطه‌ای (حوادث) و عوارض سطحی (محلله‌بندی) متصل شدند. در گام آخر داده‌های مربوط به متغیرهای اصلی پژوهش در عارضی سطحی (محلله‌بندی شهر)، وارد شدند و مبنای تحلیل به روش آمار فضایی در GIS قرار گرفتند.

## فنون و ابزارها

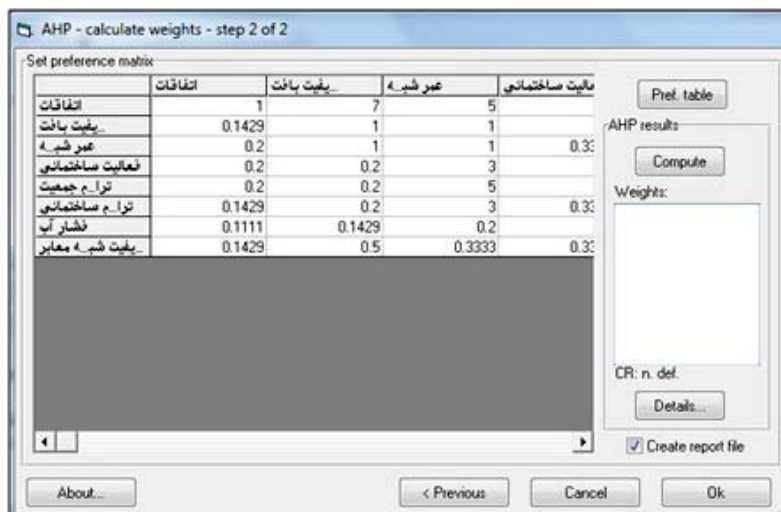
روش‌های استفاده شده در این پژوهش در ادامه توضیح داده می‌شوند.

روش تراکم کرنل<sup>۲</sup>: این روش از جمله روش‌های تحلیل فضایی و نقشه‌نگاری در GIS است که برای تعیین شدت تراکم عوارض نقطه‌ای به کار می‌رود [۴۲، ۴۳، ۴۴] معادله‌ی ۱ شعاع جستجو در روش کرنل در GIS را نشان می‌دهد. رابطه‌ی ۱:

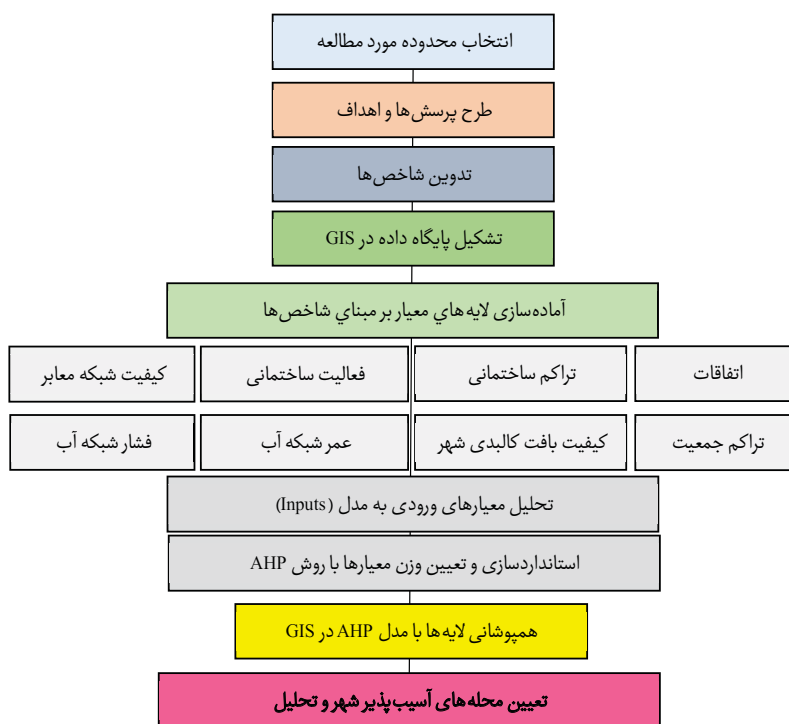
$$\text{Search Radius} = \cdot 9 * \min \left( SD, \sqrt{\frac{1}{\ln(r)} * D_m} \right) * n^{-0.2}$$

SD = فاصله‌ی استاندارد، Dm = فاصله‌ی میانه، n = تعداد نقاط یا جامعه‌ی آماری است [۴۲، ۴۳، ۳۹] در این پژوهش از روش تراکم کرنل، در محیط GIS و در تحلیل‌های فضایی برای تخمین شدت تراکم نقطه‌ای حوادث آب و تراکم جمعیت استفاده شده است.

**روش AHP:** روش AHP، یا فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، روش ابداع شده توسط توماس ال. ساعتی در سال ۱۹۸۰ است که به منظور وزن دهی و تعیین اهمیت معیارها مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش از یک طبقه‌بندی نه طیفی برای تعیین اهمیت معیارها استفاده می‌شود. الگوریتم این روش عبارت است از ساخت درخت تصمیم‌گیری، تعیین اهمیت معیارها و امتیازدهی به معیارها [۴۵ و ۴۶]. در محیط GIS و در نرم‌افزار ArcGIS، فرایند سلسله‌مراتبی تحلیل به وسیله‌ی ابزاری به نام AHP انجام می‌شود. در این روش، ضمن تعریف معیارها، مقایسه‌ی زوجی



تصویر ۳: مقایسه‌ی زوجی و تعیین اهمیت معیارها



تصویر ۴: نمودار روند اجرای پژوهش

### بحث و نتایج

#### فراوانی وقوع اتفاقات

بر اساس داده‌های اخذ شده از شرکت آب و فاضلاب شهری استان اردبیل (۱۳۹۵)، تا پایان نیمه‌ی اول سال ۱۳۹۵ حدود ۱۱۲۲۲ مورد اتفاق در شبکه‌ی آب شهر ثبت شده است. فراوانی اتفاقات نشان می‌دهد که محله‌های شماره‌ی ۵ و ۴۳ دارای بیشترین و کمترین اتفاقات در شبکه‌ی آب هستند (جدول ۱). محله‌های با فراوانی بالا شامل محله‌های ابوطالب، علی‌آباد، رحمانیه، پیرمادر، سیدآباد، اسلام‌آباد، عباسیه، کوی آقا کاظم، سبلان، سعدی، دانش، صفویه، شهرک کوثر، هاشم‌آباد، جمشید

با روش‌های دیگر در محیط GIS و نیز عدم تفاوت بین لایه‌های مربوط به معیارها از نظر نوع عوارض است. در این مرحله عملیات همپوشانی معیارها به روش AHP و با انجام محاسبات در ابزار AHP انجام شد.

گام ۳. تجزیه و تحلیل آسیب‌پذیری محله‌ها: در این گام بر اساس نتایج به دست آمده از گام‌های پیشین، نتایج به دست آمده تحلیل و بحث شده است.

جدول ۲: تعداد و درصد فراوانی اتفاقات در شبکه آب به تفکیک محله‌های شهر اردبیل [مستخرج از داده‌های شرکت آب و فاضلاب استان اردبیل، ۱۳۹۵]

محله	فراوانی	درصد	محله	فراوانی	درصد	محله	فراوانی	درصد	محله	فراوانی	درصد
۱	۳۴۹	۳/۱۱	۲۳	۲۲۸	۲/۰۳۲	۱۲	۱۹۲	۱/۷۱	۳۴	۲۳۱	۲/۰۵۸
۲	۲۰۴	۱/۸۲	۲۴	۱۰۱	۰/۹۰۰	۱	۷۸	۰/۷۰	۳۵	۲۲۱	۱/۹۶۹
۳	۱۴۵	۱/۲۹	۲۵	۵۱۴	۴/۵۸۰	۳	۳۶	۰/۳۲	۳۶	۳۷۸	۳/۳۶۸
۴	۲۱۶	۱/۹۲	۲۶	۵۰۴	۴/۴۹۱	۱۴	۳۸۷	۳/۴۵	۳۷	۱۰۰	۰/۸۹۱
۵	۵۲۸	۴/۷۱	۲۷	۳۸۷	۳/۴۴۹	۱۵	۱۰۴	۰/۹۳	۳۸	۳۴	۰/۳۰۳
۶	۲۳۰	۲/۰۵	۲۸	۴۰۲	۳/۵۸۲	۱۶	۱۷۶	۱/۵۷	۳۹	۳۷۶	۳/۳۵۱
۷	۳۳۷	۳/۰۰	۲۹	۱۸۲	۱/۶۶۲	۱۷	۴۳۴	۳/۸۷	۴۰	۲۳۱	۲/۰۵۸
۸	۲۴۴	۲/۱۷	۳۰	۲۹۸	۲/۶۶۵	۱۸	۴۴۴	۳/۹۶	۴۱	۱۸۹	۱/۶۸۴
۹	۳۸۷	۳/۴۵	۳۱	۱۵۰	۱/۳۳۷	۱۹	۳۳۷	۳/۰۰	۴۲	۱۵۴	۱/۳۷۲
۱۰	۱۹۶	۱/۷۵	۳۲	۱۵۷	۱/۳۹۹	۲۰	۱۹۳	۱/۷۲	۴۳	۶	۰/۰۵۳
۱۱	۳۳۸	۳/۰۱	۳۳	۴۶	۰/۴۱۰	۲۱	۴۹۹	۴/۴۵	۴۴	۱۸۵	۱/۶۴۹

آباد، عباس‌آباد، سلطان‌آباد، جعفریه، بعثت، شهرک رجایی و یحیی‌آباد هستند. اغلب این محلات، دارای تراکم ساختمانی و جمعیتی بالا هستند. تعداد محدودی هم محله‌های در حال احداث هستند.

به‌طور نظری تحلیل داده‌های مربوط به اتفاقات زیرساخت شبکه‌ی آب، از ارتباط فضایی و تراکم یا پخشایش مکانی آن‌ها در یک پهنه‌ی جغرافیایی شروع می‌شود. تراکم شدید اتفاقات در یک پهنه‌ی جغرافیایی را می‌توان کانون‌ها، پهنه‌ها یا گستره‌های بحرانی نامید [۴۷]. از آنجایی که درک الگوی فضایی تراکم بدون استفاده از ابزار مناسب برای محقق دشوار و اغلب غیرممکن است، از روش‌های مناسب نقشه‌نگاری و تحلیل فضایی استفاده می‌شود. فراوانی اتفاقات در شبکه‌ی آب شهر با استفاده از تقسیم شهر به چندضلعی‌های منظم به‌منظور افزایش دقت فضایی و به صورت یک نقشه‌ی فراوانی به نمایش درآمده است (تصویر ۵- A). لیکن در کنار فراوانی متغیر تراکم یا فشردگی مکانی برای تبیین شدت بحرانی بودن نواحی مهم‌تر است، به بحث تراکم پرداخته شده است.

در این پژوهش براساس گزارش داده‌های ثبت شده ۱۱۲۲۲ مورد اتفاق در شبکه‌ی آب (شامل ترکیدگی، یخ‌زدگی، شکستگی، افت شدید فشار آب، نشت از کنتور و غیره) استفاده از روش تراکم کرنل که قبلاً معرفی شد، برای تعیین پهنه‌های بحرانی در متغیر اتفاقات، به صورت تصویر ۵- B نمایش داده شده است. براساس نتایج روش به ترتیب محله‌های شماره‌ی ۲۲، ۲۵، ۲۶، ۱۹، ۳۹، ۵، ۳۶، ۷، ۱۱، ۹، ۱، ۱۸، ۲۸، ۱۵ و ۳۲ در پهنه‌ی جغرافیایی با شدت تراکم و نزدیکی اتفاقات قرار دارند. به‌طور روشن میزان نزدیکی اتفاقات آب و تراکم آن‌ها در این محله‌ها زیاد است و از نظر تراکم اتفاقات، می‌توان این محله‌ها را جزو محله‌های آسیب‌پذیر و بحرانی شهر معرفی نمود.

### تراکم جمعیت

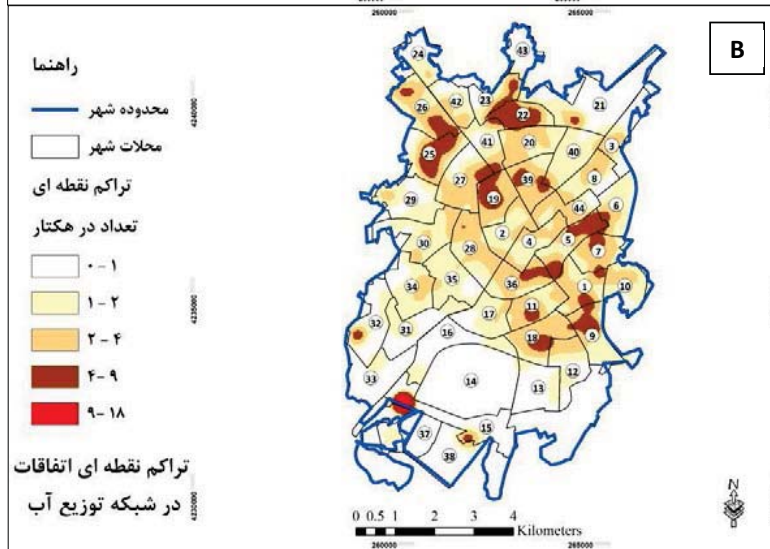
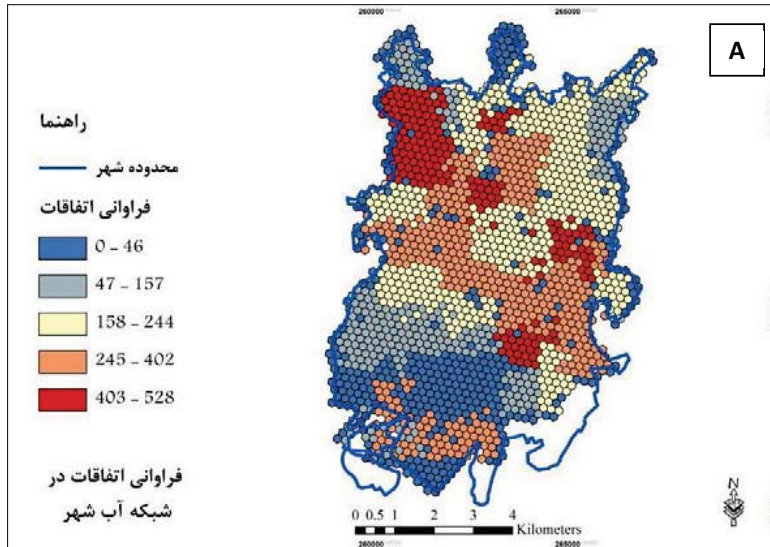
تراکم جمعیت در محله‌های شهری یکی از متغیرهای تعیین‌کننده در وقوع اتفاقات در شبکه‌ی آب شهری است. به‌طور نظری

با افزایش تراکم جمعیت، استفاده از خدمات و زیرساخت‌های آب بالا می‌رود. با افزایش فشار استفاده از خدمات، با استهلاک زیرساخت‌ها و احتمال وقوع آسیب به شبکه‌ی آب بر اثر فشار زیاد بر شبکه مواجه خواهیم شد [۸]. تهیه‌ی نقشه‌ی تراکم جمعیتی بر اساس داده‌های جمعیتی سال ۱۳۹۵ در مقیاس حوزه‌های شهری نشان می‌دهد که میانگین تراکم جمعیت شهر ۲۹۶ نفر در هکتار است. تراکم در بخش‌های میانی و بخش‌های حاشیه‌ای شهر بالاتر از حد میانگین است. محله‌های ۵، ۷، ۱۸، ۲۲، ۲۵، ۲۶، ۲۷ جزو محله‌های متراکم محسوب می‌شوند (تصویر ۶). به‌طور نظری، در زمان وقوع مخاطرات محیطی همانند زلزله یا اتفاقات در شبکه‌ی آب، شدت بحران در این محله به مراتب بیشتر خواهد بود.

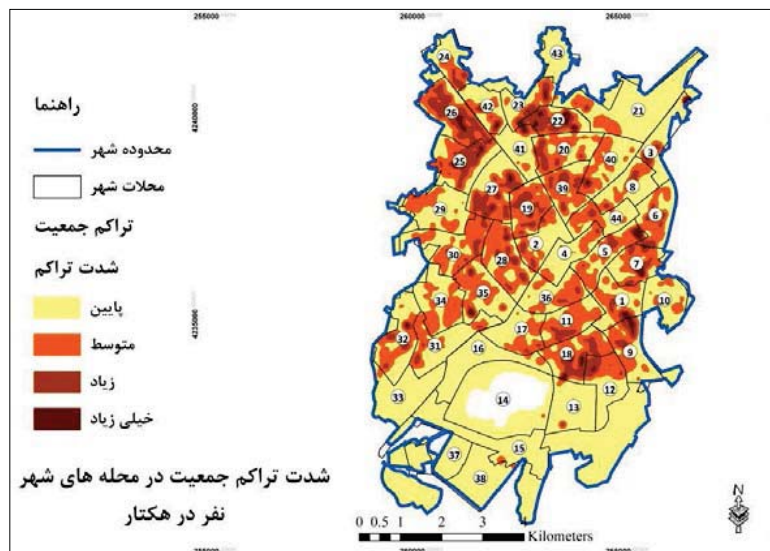
### تراکم و فعالیت‌های ساختمانی

تراکم ساختمانی یکی دیگر از متغیرهای تأثیرگذار بر زیرساخت آب شهری است. به‌طور نظری با بیشتر شدن تراکم ساختمانی، میزان اتفاقات در شبکه‌ی آب شهری افزایش می‌یابد. همچنین تراکم ساختمانی در زمان وقوع مخاطرات محیطی همانند زلزله، می‌تواند تأثیر زیادی بر بحرانی شدن وضعیت بگذارد. بر اساس داده‌های مستخرج شده از طرح جامع شهر [۱۰]، شهر اردبیل از نظر تراکم ساختمانی به چهار پهنه‌ی اصلی شامل پهنه‌ی کم تراکم (۶۰٪)، متوسط تراکم (۷۰٪)، تراکم بالا (۹۰٪) و کاملاً متراکم (۱۲۰٪) تقسیم شده است (تصویر ۷ الف). تراکم ساختمانی در بخش‌های میانی شهر بالا است.

متغیر دیگری که بر وقوع اتفاقات در شبکه‌ی آب تأثیر فراوان و متعدد دارد، فعالیت ساختمانی است. رفت و آمد ماشین‌آلات سنگین، حفر کانال و کنده‌کاری در زمین، عملیات لوله‌کشی و سایر فعالیت‌های مرتبط با ساخت و ساز، بر وقوع اتفاقات در شبکه‌ی آب تأثیر می‌گذارد. بر اساس داده‌های مستخرج از مجوزهای ساختمانی صادر شده توسط شهرداری تا سال ۱۳۹۵، به ترتیب مناطق ۳، ۲، ۱، ۴ با سهم ۳۲، ۲۵، ۲۲ و ۲۱ درصد، دارای فعالیت‌های ساختمانی جدید هستند. بر اساس نقشه‌ی

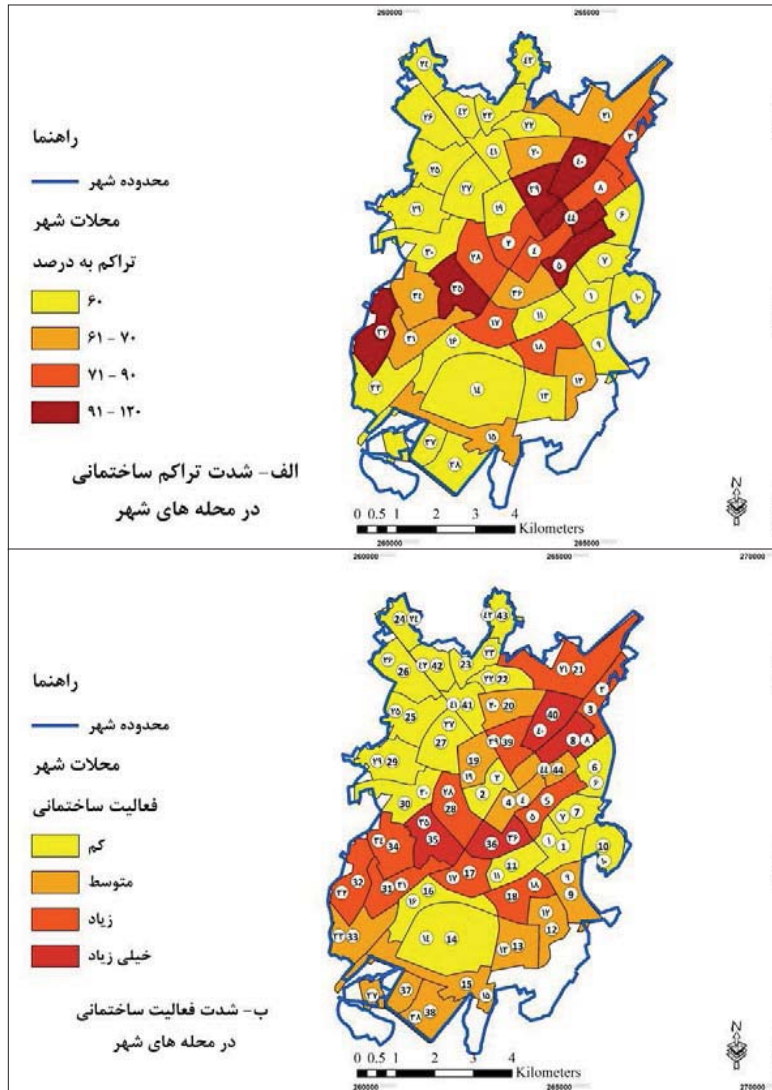


تصویر ۵: فراوانی و تراکم اتفاقات در شبکه‌ی آب شهر با استفاده از روش کرنل



تصویر ۶: تراکم جمعیت شهر در هکتار





تصویر ۷: شدت تراکم و میزان فعالیت ساختمانی در شهر

دارد. از این مقدار ۹۵۰ هکتار شامل بافت‌های قدیمی و فرسوده و روستاهای ادغام شده در شهر است (تصویر ۹) و از کیفیت محیطی پایینی برخوردارند. به طور نظری، وقوع اتفاقات در زیرساخت آب در این بخش از شهرها بالا خواهد بود. به دلیل کیفیت پایین سازه، قدمت زیاد ساختمان‌ها، کیفیت پایین و پیچ‌درپیچ بودن شبکه‌ی معابر به نظر می‌رسد در کنار اتفاقات در شبکه‌ی آب، در صورت وقوع خطرات محیطی مانند زلزله، این بخش از شهرها با خطرات بیشتری مواجه خواهند شد.

### فشار آب

فشار آب شهر در ساعات پر مصرف، حداکثر ۳ بار و حداقل ۰/۵ بار است. در عین حال میانگین ماهیانه‌ی فشار در ساعات پر مصرف حداکثر ۲/۵، حداقل ۱ و در ۸۰ درصد از محلات شهر، حدود ۲/۵ بار است [۱۰] (جدول ۳). نوسان فشار آب در شبکه می‌تواند منجر به وقوع اتفاقات در شبکه‌ی آب شهری شود. با توجه به همگن بودن فشار آب در شهر، این متغیر تفاوت معنی‌داری در

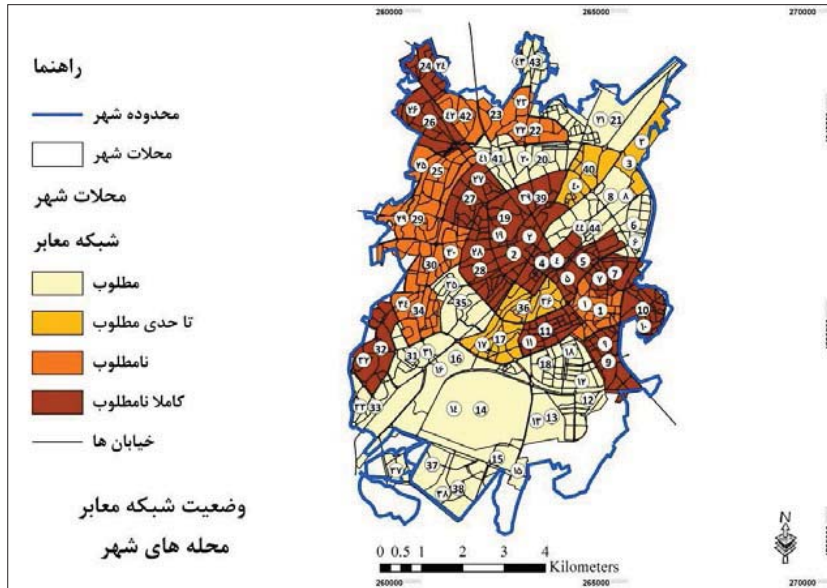
فعالیت‌های ساختمانی تهیه شده توسط نگارندگان، می‌توان شهر را از نظر فعالیت‌های ساختمانی به پنج پهنه شامل خیلی کم، کم، متوسط، بالا و خیلی بالا تقسیم کرد (تصویر ۷ ب).

### کیفیت خیابان‌ها

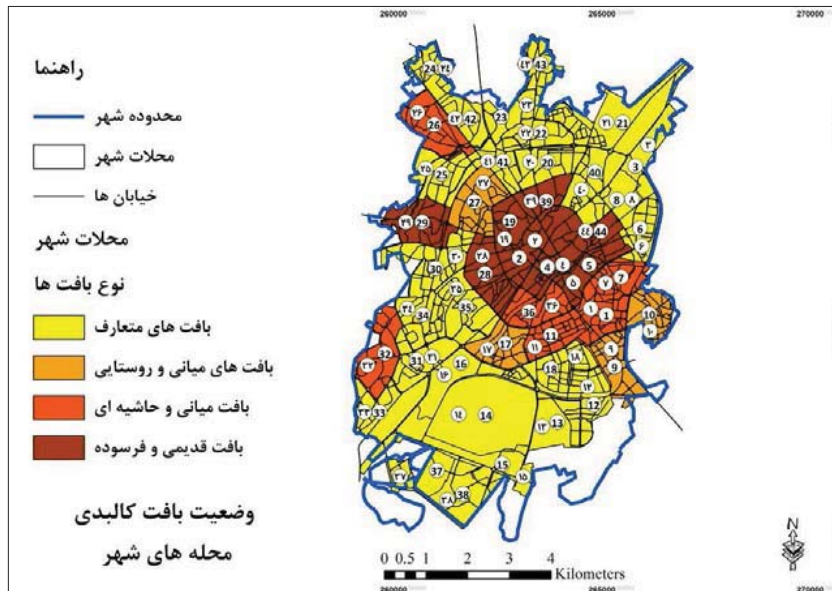
بر اساس داده‌های مستخرج از نقشه‌های طرح تفصیلی شهر [۱۰] و مطالعات بافت‌های فرسوده‌ی شهر [۴۸]، معابر بافت‌های مرکزی و قدیمی، بافت‌های فرسوده، روستاهای ادغام شده در شهر و برخی از محله‌های در حال احداث، دارای وضعیت نامطلوب هندسی هستند. همچنین به دلیل فشردگی بافت مرکزی شهر و تنوع کاربری زمین، همواره پیاده‌روها و شبکه‌ی معابر این بخش از شهر، با عملیات حفاری مواجه‌اند (تصویر ۸).

### کیفیت بافت‌های شهری

بر اساس اطلاعات استخراج شده از گزارش مطالعات بافت فرسوده‌ی شهر اردبیل [۴۸]، این شهر حدود ۷ هزار هکتار مساحت



تصویر ۸: وضعیت کیفیت شبکه‌ی معابر شهری



تصویر ۹: نوع و کیفیت بافت‌های شهر به تفکیک محلات

رشد کالبدی شهر، به سمت محله‌های نوبنیاد، از عمر شبکه کاسته شده و شبکه جوان است. برای مثال محله‌های شماره‌ی ۲، ۴، ۱۹، ۳۹، ۴۴ از جمله محله‌های مرکزی و قدیمی شهر هستند که عمر شبکه نیز در آن‌ها بیشتر است.

### بحث و یافته‌ها

#### معرفی محله‌های آسیب‌پذیر (به تفکیک معیارها)

نتایج تعیین اهمیت و وزن‌های مربوط به هر کدام از معیارهای پژوهش با استفاده از روش AHP که پیش از این در بخش روش پژوهش معرفی شد، نشان داد که به ترتیب معیار اتفاقات با ۰/۳۵، معیار کیفیت بافت با ۰/۱۲، معیار عمر شبکه با ۰/۰۶، معیار فعالیت ساختمانی با ۰/۱۰، معیار تراکم جمعیت با ۰/۱۱، معیار

سطح محله‌های شهری ندارد. از این رو، در زمان تعیین اهمیت معیارها به روش AHP، به این موضوع توجه خواهد شد.

#### عمر شبکه‌ی آب

فرسودگی در زیرساخت آب و به‌ویژه لوله‌های آب، یکی از عوامل مهم در وقوع اتفاقات در شبکه‌ی آب شهری است. بر اساس داده‌های اخذ شده از شرکت آب و فاضلاب شهری استان اردبیل، در برخی محلات شهر عمر شبکه‌ی آب به حدود ۵۰ سال و در برخی محلات به کمتر از ۵ سال می‌رسد. به‌طور میانگین عمر شبکه‌ی آب شهری اردبیل در حدود ۲۵ سال است (جدول ۴). در عین حال بررسی عمر شبکه در سطح محله‌های شهری نشان می‌دهد که عمر لوله‌ها در بخش‌های مرکزی شهر بیشتر است و همسو با روند

جدول ۳: متوسط فشار آب در سطح محلات شهر [۲]

محل	فشار شبکه بر حسب بار	محل	فشار شبکه بر حسب بار	محل	فشار شبکه بر حسب بار
۱	۱/۵-۲	۱۶	۲/۵-۳	۳۱	۲-۲/۵
۲	۲-۲/۵	۱۷	۲/۵-۳	۳۲	۲-۲/۵
۳	۱/۵-۲	۱۸	۲-۲/۵	۳۳	۲/۵
۴	۲-۲/۵	۱۹	۲-۲/۵	۳۴	۲-۲/۵
۵	۲-۲/۵	۲۰	۲-۲/۵	۳۵	۲-۲/۵
۶	۲-۲/۵	۲۱	۲-۲/۵	۳۶	۲-۲/۵
۷	۲-۲/۵	۲۲	۲-۲/۵	۳۷	۱/۵-۲
۸	۲-۲/۵	۲۳	۲-۲/۵	۳۸	۲-۲/۵
۹	۲-۲/۵	۲۴	۱/۵-۲	۳۹	۱/۵-۲
۱۰	۱/۵-۲	۲۵	۱/۵-۲	۴۰	۲-۲/۵
۱۱	۲-۲/۵	۲۶	۱/۵-۲	۴۱	۲-۲/۵
۱۲	۲-۲/۵	۲۷	۲-۲/۵	۴۲	۱/۵-۲
۱۳	۲-۲/۵	۲۸	۲-۲/۵	۴۳	۲-۲/۵
۱۴	۲-۲/۵	۲۹	۱/۵-۲	۴۴	۲-۲/۵
۱۵	۲-۲/۵	۳۰	۱/۵-۲		

جدول ۴: عمر شبکه‌ی آب شهر اردبیل به تفکیک محلات شهری، ۱۳۹۵ [۱۱]

محل	عمر شبکه بر حسب سال	محل	عمر شبکه بر حسب سال	محل	عمر شبکه بر حسب سال
۱	۵-۲۵	۱۶	۵-۲۵	۳۱	۵-۲۰
۲	بیش از ۵۰	۱۷	۳۰-۳۵	۳۲	۵-۲۰
۳	۵-۲۰	۱۸	۵-۲۵	۳۳	۳-۱۰
۴	بیش از ۵۰	۱۹	بیش از ۴۵	۳۴	۵-۲۵
۵	۵-۳۵	۲۰	۵-۲۵	۳۵	۱۰-۳۰
۶	۵-۲۲	۲۱	۵-۱۵	۳۶	۱۰-۳۵
۷	۵-۲۵	۲۲	۵-۲۰	۳۷	۱-۵
۸	۵-۳۰	۲۳	۵-۲۰	۳۸	۳-۲۰
۹	۵-۲۵	۲۴	۵-۱۵	۳۹	۱۰-۴۰
۱۰	۵-۲۵	۲۵	۵-۲۵	۴۰	۵-۲۵
۱۱	۵-۳۰	۲۶	۵-۲۵	۴۱	۵-۲۸
۱۲	۳-۱۵	۲۷	۵-۲۵	۴۲	۵-۲۰
۱۳	۵-۲۰	۲۸	۵-۳۵	۴۳	۵-۲۰
۱۴	۵-۲۰	۲۹	۵-۱۸	۴۴	۱۰-۳۵
۱۵	۵-۲۰	۳۰	۵-۱۸		

۱۰۱

شماره پانزدهم  
بهار و تابستان  
۱۳۹۸  
دوفصلنامه  
علمی و پژوهشی



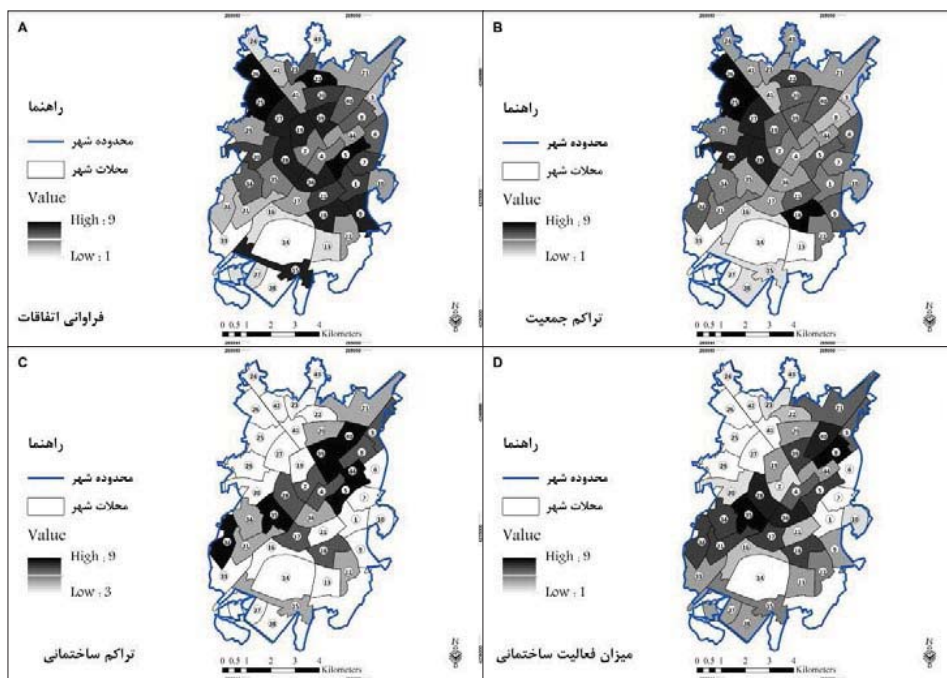
شناسایی محله‌های آسیب‌پذیر شهری از نظر اتفاقات شبکه‌ی آب

محله‌های شماره‌ی ۵، ۲۸ و ۳۶ و پهنه‌ی جنوب شرقی شهر همچون محله‌های شماره‌ی ۹ و ۱۸ در گروه پهنه‌های مستعد وقوع اتفاقات و بحران در شبکه‌ی آب محسوب می‌شوند. از نظر معیار میزان فعالیت ساختمانی، پهنه‌ای متشکل از محور شمال شرق به جنوب غرب از جمله محله‌های شماره‌ی ۸، ۳۵، ۲۸ و ۳۶، مستعد وقوع اتفاقات احتمالی در شهر هستند (تصویر ۱۰).

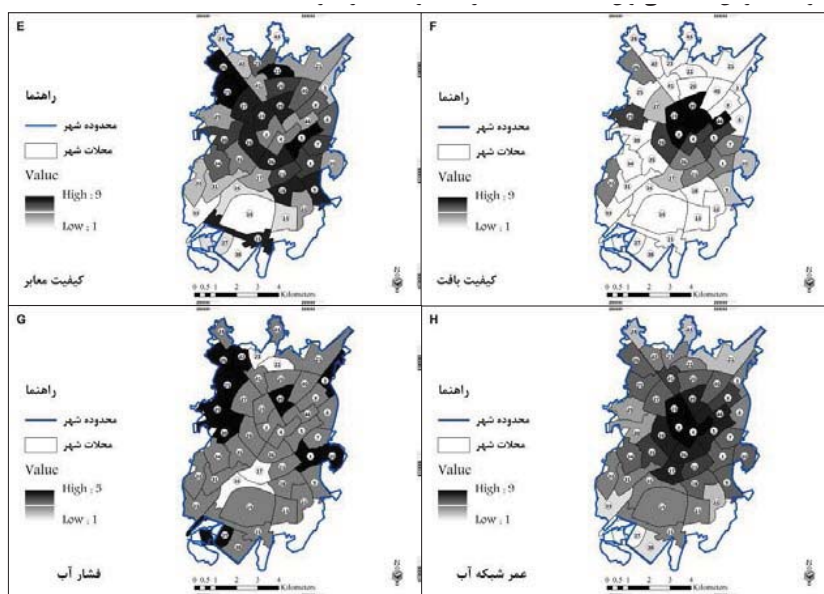
تصویر ۱۱، که حاصل استانداردسازی نقشه‌های معیار به روش AHP است نشان می‌دهد که معیار کیفیت شبکه‌ی معابر، پهنه‌های زیادی از شهر را تحت تأثیر اتفاقات احتمالی در شبکه‌ی آب شهری قرار می‌دهد. به عبارتی به خاطر کیفیت نامناسب معابر، احتمال وقوع اتفاقات در زیرساخت شبکه‌ی آب در اغلب

تراکم ساختمانی با ۰/۰۴۲، معیار فشار آب با ۰/۰۶ و معیار کیفیت شبکه‌ی معابر با ۰/۱۴ امتیاز، در تعیین آسیب‌پذیری محله‌ها اهمیت دارند. نتایج به دست آمده نشان می‌دهند که معیار فراوانی یا تکرار اتفاقات در هر کدام از محله‌های شهر، می‌تواند عامل مهمی در تعیین آسیب‌پذیری آن محله‌ها باشد. تراکم جمعیت و فعالیت‌های ساختمانی از دیگر معیارهای مهم در شناسایی و تعیین محله‌های آسیب‌پذیر، محسوب می‌شوند.

نتایج استانداردسازی نقشه‌ها و خروجی نقشه‌های استاندارد موزون مربوط به هر کدام از معیارها (تصویر ۱۰) نیز نشان می‌دهند که از نظر معیار فراوانی اتفاقات پهنه‌ی شمال غربی از جمله محله‌های شماره‌ی ۲۶، ۲۵، ۲۲، پهنه‌ی مرکزی همچون



تصویر ۱۰: نقشه‌های استاندارد موزون مربوط به معیارها



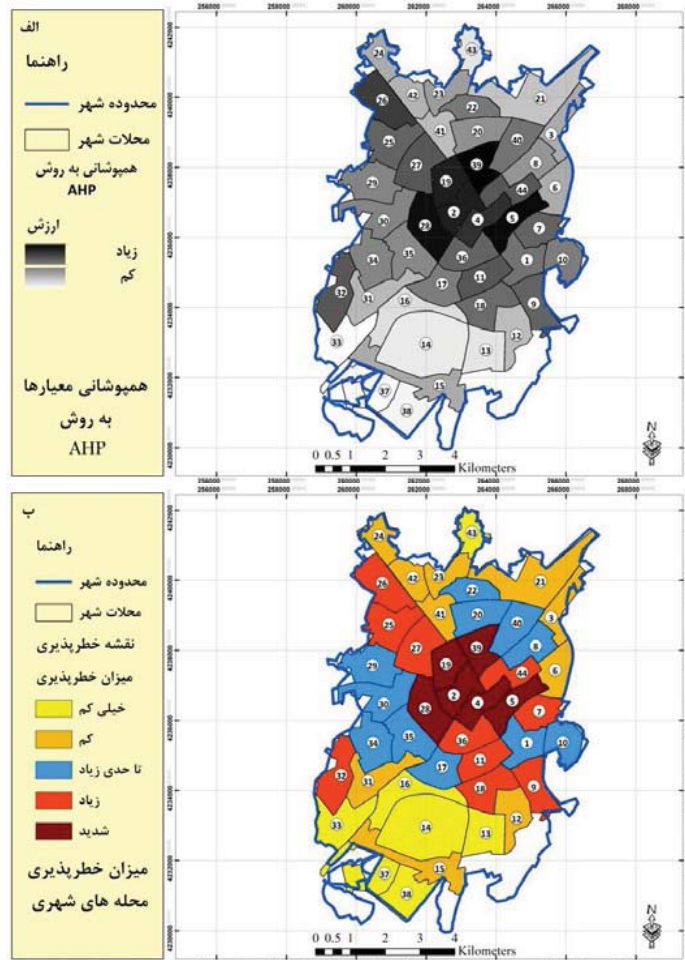
تصویر ۱۱: ادامه‌ی نقشه‌های استاندارد موزون مربوط به معیارها

در آن‌ها احتمال وقوع حوادث بیشتر است. از آن جمله می‌توان به محله‌های شماره‌ی ۲ و ۱۹ اشاره کرد.

### معرفی محله‌های آسیب‌پذیر شهر (مجموع یافته‌ها)

از تلفیق کل معیارهای پژوهش و نقشه‌های استاندارد موزون به روش AHP، نقشه‌ی نهایی آسیب‌پذیری محله‌های شهر از نظر اتفاقات احتمالی در شبکه‌ی آب شهری به دست آمد و به صورت دو نقشه با شکل متفاوت به نمایش درآمد (تصویر ۱۲). تصویر ۱۲A نتیجه به دست آمده از روش AHP را در ۹ طیفی را نشان می‌دهد. هر چه به سمت عدد ۹ و رنگ تیره نزدیک می‌شویم،

محله‌های شهر و برای نمونه محله‌های شماره‌ی ۲۲، ۲۵ و ۲۶ وجود دارد. از نظر معیار کیفیت بافت شهری، بخش مرکزی شهری مثل محله‌های شماره‌ی ۲، ۱۹ و ۳۹ بیشتر با وقوع اتفاقات احتمالی در شبکه‌ی آب قرار دارد. اما از نظر معیار نوسان فشار در شبکه‌ی آب، عمدتاً پهنه‌هایی از شهر که تراکم جمعیت و فشردگی بافت در آن‌ها زیاد است، احتمال وقوع اتفاقات نیز بیشتر است. از آن جمله می‌توان به محله‌های شماره‌ی ۱، ۱۰، ۲۵ و ۲۶ اشاره کرد. همچنین، نتایج نشان می‌دهند که از نظر معیار عمر شبکه، تقریباً اغلب محله‌های مرکزی و قدیمی شهر وضعیت نامناسبی دارند و



تصویر ۱۲: الف. همپوشانی به روش AHP و ب. نقشه‌ی آسیب‌پذیری محله‌های شهری

محله‌های شماره‌ی ۷، ۹، ۱۱، ۱۸، ۲۵، ۲۶، ۲۷، ۳۲، ۳۶، ۴۴ که ۲۲/۷ درصد از محله‌ها را تشکیل می‌دهند جزو محله‌های با آسیب‌پذیری زیاد قرار دارند. این محله‌ها، اغلب شامل محلات میانی و محله‌های مهاجرنشین در شهر هستند. فشردگی ساختمانی و فضایی و تراکم جمعیت در این محله‌ها بالا است. در عین حال وضعیت شبکه‌ی معابر نیز در این محله‌ها کاملاً مناسب نیستند. محله‌های شماره‌ی ۱، ۸، ۱۰، ۱۷، ۲۰، ۲۲، ۲۹، ۳۰، ۳۴، ۳۵، ۴۰، ۴۵ که ۲۵ درصد از محله‌ها را شامل می‌شوند جزو محله‌هایی هستند که با آسیب‌پذیری تا حدی زیاد (متوسط) مواجه‌اند. این محله‌ها نیز اغلب روستاهای ادغام شده در شهر و محله‌های شکل گرفته در طی یک سده‌ی گذشته‌اند. سایر محله‌های شهر که شامل ۳۸/۷ درصد از محله‌های شهر هستند، جزو محله‌های با آسیب‌پذیری کم و خیلی کم در بخش زیرساخت آب هستند. این محله‌ها، اغلب محله‌های نوبنیاد شهری یا محله‌های در حال تکمیل هستند. در مواردی نیز شامل بخش‌های صنعتی شهر می‌شوند. در برخی از این محله‌ها اگر چه ممکن است یک معیار مثل تراکم جمعیت یا ساختمان چشمگیر باشد، لیکن سایر معیارها نقش کمتری در تعیین میزان آسیب‌پذیری دارند.

میزان آسیب‌پذیری یا خطرپذیری محله‌های شهری در برابر وقوع اتفاقات در شبکه‌ی آب شهری بیشتر می‌شود. در محله‌های واقع در نواحی روشن که به سمت ۱ تمایل دارند، با میزان خطر و آسیب‌پذیری کمتری نسبت به وقوع خطرات احتمالی در شبکه‌ی زیرساخت آب مواجه‌اند.

برای بیان واضح یافته‌های حاصل از اجرای روش فازی، نقشه‌ی به دست آمده در ۵ طیف کیفی طبقه‌بندی شد. در نقشه‌ی نهایی (تصویر ۱۲B) محله‌های شهری بر اساس ارزش‌های ۱ تا ۹، با وضعیت میزان آسیب‌پذیری خیلی کم، کم تا حدی زیاد (یا متوسط)، زیاد و شدید (یا خیلی زیاد) طبقه‌بندی شده‌اند. یافته‌های مهم این پژوهش را بر اساس خروجی نقشه‌ی نهایی می‌توان اینچنین خلاصه کرد: بر اساس خروجی نهایی اجرای مدل AHP در GIS، به ترتیب محله‌های شماره‌ی ۲، ۴، ۵، ۱۹، ۲۸ و ۳۹ که ۱۳/۶ درصد از محله‌ها را تشکیل می‌دهند جزو محله‌های شدیداً آسیب‌پذیر هستند. این محله‌ها اغلب شامل محله‌های قدیمی و فرسوده واقع در مرکز شهر هستند. وضعیت شبکه‌ی معابر در این محله‌ها به دلیل قدیمی بودن، برای زیرساخت آب نامناسب است. همچنین تراکم و فشردگی ساختمانی نیز در این محله‌ها بالا است.

## جدول ۵: راهکارهای مدیریتی پیش‌گیری از وقوع حوادث و بحران در شبکه‌ی آب شهری (براساس هدف و یافته‌های پژوهش)

بخش عملیاتی	درمان	پیشگیری
لوله‌های آب	پایش و بازسازی لوله‌ها و اتصالات فرسوده	استفاده از لوله‌ها و اتصالات مناسب با اقلیم و شرایط محیطی
توزیع جمعیت	کاهش تراکم‌های جمعیتی در نواحی فرسوده و متراکم شهری در حد تحمل‌پذیری شبکه زیرساخت‌ها در برنامه‌های شهری	هماهنگ‌سازی و یکپارچه‌سازی سیاست‌های جمعیتی با برنامه‌ریزی زیرساخت آب شهری
تراکم ساختمانی	تقویت زیرساخت‌های آب در بخش‌های متراکم ساختمانی	تعدیل تراکم ساختمانی و یکپارچه‌سازی برنامه‌ریزی فضایی شهری با برنامه‌ریزی زیرساخت‌های آب شهری
فعالیت‌های ساختمانی	کنترل و اطلاع‌رسانی از وجود شبکه‌های آب در ساخت و سازهای جدید شهری	هماهنگ‌سازی فعالیت‌های ساختمانی با اطلاعات مربوط به زیرساخت‌های آب شهری
معیار	بهسازی معابر شهری موجود به‌ویژه در حاشیه‌ی شهرها و بافت‌های فرسوده‌ی شهری	برنامه‌ریزی یکپارچه و هماهنگ شبکه‌ی معابر و زیرساخت‌های آب در توسعه‌های جدید شهری
بافت‌های شهری	بهسازی بافت‌های قدیمی و فرسوده‌ی شهری	نوسازی شبکه‌ی لوله‌ها و زیرساخت‌های قدیمی در بخش‌های قدیمی شهر
عمر شبکه	نوسازی لوله‌های قدیمی یا فاقد کیفیت در شبکه	ایجاد، کنترل و به‌روزرسانی اطلاعات عمر لوله‌ها در شبکه‌ی آب به منظور ایمن‌سازی و نوسازی شبکه در موارد لازم
فشار آب	تنظیم و بهسازی فشار آب در پهنه‌های دارای مسئله	ایجاد سامانه هوشمند کنترل فشار آب متناسب با زمان و مکان جریان آب در شبکه

### نتیجه‌گیری و پیشنهادات

هدف اصلی این پژوهش شناسایی محله‌های آسیب‌پذیر شهر از نظر وقوع حادثه در شبکه‌ی آب شهری بود. نتایج استفاده از روش کرنل نشان دادند که برخی از محله‌ها و پهنه‌های شهر از نظر متغیر اتفاقات، در وضعیت با آسیب‌پذیری بالا قرار دارند. از آن جمله می‌توان به محله‌های پرتراکم جمعیتی شهر اشاره کرد. روش تراکم کرنل به خوبی توانست میزان آسیب‌پذیری محله‌ها را منعکس کند. تحلیل محله‌ها بر اساس معیار تراکم جمعیتی و وضعیت اقتصادی خانوارها نیز نشان داد که برخی از محله‌ها و پهنه‌ها در خطر آسیب‌پذیری بالا قرار دارند. تحلیل متغیر تراکم و فعالیت ساختمانی شهر نیز نشان داد که بخش‌های میانی از نظر تراکم ساختمانی و بخش‌های پیرامونی و محله‌های نوین‌یاد شهر از نظر میزان فعالیت‌های ساختمانی و از نظر وقوع اتفاقات در شبکه‌ی آب آسیب‌پذیرند. بررسی متغیر شبکه‌ی معابر و بافت شهری نیز به خوبی روشن کرد که محله‌های مرکزی و قدیمی شهر اغلب فرسوده بوده و آسیب‌پذیرند. در نهایت یافته‌های مربوط به متغیر عمر و فشار در شبکه‌ی آب نیز نشان داد که در برخی از محله‌ها که اغلب شروع آب‌رسانی از آن‌ها بوده است، احتمال خطر وقوع اتفاقات در شبکه‌ی آب بالا است.

نتیجه‌ی پیاده‌سازی مدل AHP در محیط GIS و انجام همپوشانی، منجر به تهیه‌ی نقشه‌ی آسیب‌پذیری شهر در شبکه‌ی آب شهری شد. نتایج به دست آمده به روشنی شهر را به ۵ گروه از نظر میزان آسیب‌پذیری طبقه‌بندی کرد. از مهم‌ترین نتایج اجرای این مدل این بود که در حدود ۱۳/۶ درصد از محله‌های شهر در صورت وقوع مخاطراتی مانند زلزله، در معرض خطر و آسیب جدی قرار دارند. در مجموع، در صورت وقوع هرگونه اتفاق مثل زلزله، بیش از ۶۰ درصد از محله‌های شهر در زیرساخت آب شهری، دچار آسیب خواهند شد. بر اساس یافته‌ها و نتایج پژوهش، پیشنهادهای زیر را می‌توان برای مدیریت بحران و برنامه‌ریزی مطلوب فضایی شهر ارائه کرد:

۱. شناسایی عوامل و انجام اقدامات اصلاحی و پیشگیرانه برای کاهش فراوانی وقوع اتفاقات در زیرساخت شبکه‌ی آب شهری در محله‌های بحرانی که در این پژوهش مشخص شدند.
۲. تعادل‌بخشی به نحوه‌ی توزیع جمعیت به منظور استفاده‌ی بهینه از زیرساخت آب شهری.
۳. تعادل‌بخشی به تراکم و فعالیت‌های ساختمانی از طریق اجرای صحیح طرح‌های تفصیلی و شهرسازی.
۴. مناسب‌سازی معابر شهری به منظور جلوگیری از فشار بر زیرساخت آب شهری.

بازآفرینی پایدار بافت‌های مرکزی شهرها که اغلب مناطق بحرانی را تشکیل می‌دهند. تعویض و نوسازی زیرساخت شبکه‌ی آب در محله‌هایی که عمر شبکه بیش از ۳۰ سال است. در پایان راهکارهای عملیاتی برای پیشگیری از وقوع حادثه و بحران در شبکه‌ی توزیع آب شهری، در جدول ۵ خلاصه شده‌اند. اشاره به این نکته ضروری است که هماهنگ‌سازی برنامه‌ریزی فضایی شهری با برنامه‌ریزی زیرساخت‌های آب شهری ضرورتی مبرم برای پیش‌گیری از وقوع اتفاق در شبکه‌ی آب شهری است. برای این منظور همکاری مستمر نهاد‌های مربوطه ضروری است. همچنین استفاده از سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی (GIS) به مدیران بخش آب کمک می‌کند تا ضمن مدیریت شبکه، از خسارات احتمالی پیش‌گیری کنند.

### پی‌نوشت

1. Geographic Information Systems
2. Kernel Density
3. Weighted Overlay Index
4. Convert Feature to Raster
5. Reclassifying

### منابع

۱. باستل، ساندر (۱۳۷۳). گسترش بی‌آبی. مترجم: محمد تقی زاده مطلق.



۲۰. مرکز مطالعات برنامه‌ریزی شهری تهران (۱۳۸۳). مدیریت بحران. اصول راهنمای عملی برای دولت‌های محلی. مرکز مطالعات برنامه‌ریزی شهری تهران، تهران.
21. Foster, H. D. (1980). Disaster planning, the preservation of life and property. Springer Verlag. P. 275.
۲۲. پویان، ژیلدا؛ ناطقی الهی، فریبرز (۱۳۷۸). آسیب‌پذیری ابرشهرها در برابر زمین‌لرزه، مطالعه‌ی موردی: شهر تهران. تهران، سومین همایش بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، جلد چهارم.
23. Fischer, H. W., Scharnberger, C. K., & Geiger, C. J. (1996). Reducing seismic vulnerability in low to moderate risk areas. *Disaster Prevention and Management: An International Journal*, 5(4), 5-18.
24. American planning association (APA). (2006). Planning and urban design standards. Hoboken, Newberys.
۲۵. تهذیبی، کامبیز، نوری، مهدی، مشعوف، بیژن، نصیبی، مهدی (۱۳۹۴). ارزیابی، آسیب‌پذیری شبکه‌های انتقال آب با استفاده از روش خوشه‌بندی. دوفصلنامه مدیریت بحران، شماره‌ی هفتم، ۹۷-۱۰۴.
26. Shohan, S., Ahmad., & Slobodan, P. S. (2013). Spatial and temporal analysis of urban flood risk assessment, *Urban Water Journal*, 10 (1), 26-49.
27. Zhang, T. (2006). The Application of GIS and CARE-W on Water Distribution Networks in Skärholmen Pressure Zone, Stockholm, Sweden. Pipeline Technology 2006 Conference.
28. Hill, C., & Jones, G (1995). Strategic management theory. Houghton Mifflin Company.
29. Jiménez, R., Magrinya, F., Almandoz, J. (2010). The role of urban water distribution networks in the process of sustainable urbanization in developing countries. Case study: Wuckro Supply. Wukro Town (Ethiopia). A: International Conference on Sustainable Urbanization. "First Proceedings of the First International Conference on Sustainable Urbanization". Hong Kong: 2010, 1-6.
30. Yamba, H.O. (2011). Improvement of water supply through a GIS-based monitoring and control system for water loss reduction. In: UN-International Conference Zaragoza, Spain. 3-5 October, water in the green economy in practice: toward RIO+ 20.
31. Aburawe, S. M., & Rodzi Mahmood, A. (2014). Water Loss Control and Real-Time Leakage Detection Using GIS Technology. In: UN-International Conference Zaragoza, Spain. 3-5 October, water in the green economy in practice.
32. Uslu, A., Bakan, G., & Sisman, A. (2014). Employing Urban Information Systems for Water Distribution Systems. *Energy and Environmental Engineering*, 2(6), 129-136.
۳۳. آسفی، ح؛ ذالخور، ا؛ نودری‌پور، ع؛ مرادی، غ (۱۳۹۰). مدیریت فشار شبکه‌های توزیع آب شهری و استفاده صحیح از منابع آب. در: مجموعه مقالات اولین همایش منطقه‌ای مهندسی عمران.
۳۴. انیسوی، ف؛ راستی، ت. (۱۳۹۲). طراحی سامانه مدیریت بحران برای خطوط لوله آب و فاضلاب قبل، در هنگام و پس از وقوع زلزله، کنفرانس ملی مدیریت بحران و HSE در شریان‌های حیاتی، صنایع و مدیریت شهری.
- نشریه‌ی پیام یونسکو، سال ۲۳، شماره‌ی ۲۷۶، ۱۹-۲۲.
۲. پرتوی، پروین؛ آله‌اشم، فخرسادات (۱۳۹۵). مدیریت یکپارچه‌ی منابع آبی در برنامه‌ریزی شهری با رویکرد توسعه‌ی پایدار، مطالعه‌ی موردی: تهران، نشریه‌ی مطالعات جغرافیا، عمران و مدیریت شهری، دوره‌ی دوم، شماره‌ی ۲، ۹-۲۴.
۳. بیسواز، آسیت. ک. (۱۳۷۳). بحران در جنوب. نشریه‌ی پیام یونسکو، شماره‌ی ۲۷۶، ۲۵-۳۹.
4. Cardoso, M.A., Almeida, M.C., Santos, S. M., (2016). Sewer asset management planning – implementation of a structured approach in wastewater utilities. *Urban Water Journal*, 13:1, 15-27. <http://dx.doi.org/10.1080/1573062X.2015.1076859>
5. Roozbehani, A.; Zahraei, B, tabesh, M. (2012). *Journal of Water and Wastewater*, Issue IV, 14-1
۶. امینی ورکی، سعید؛ مدیری، مهدی؛ شمسایی زفرقندی، فتح‌اله؛ قنبری نسب، علی (۱۳۹۳). شناسایی دیدگاه‌های حاکم بر آسیب‌پذیری شهرها در برابر مخاطرات محیطی و استخراج مؤلفه‌های تأثیرگذار در آن با استفاده از روش کیو. دوفصلنامه مدیریت بحران، شماره ۳، ۵-۱۸.
۷. منزوی، محمدتقی (۱۳۹۲). آب‌رسانی شهری. چاپ هجدهم. تهران، انتشارات دانشگاه تهران.
۸. بهزادفر، مصطفی (۱۳۹۲). آب‌رسانی و فاضلاب شهری. چاپ دوم، تهران، انتشارات شهیدی.
9. Motiee, H., McBean, E., & Motiee, A. (2007). Estimating physical unaccounted for water (UFW) in distribution networks using simulation models and GIS. *Urban Water Journal*, 4 (1), 43-52.
۱۰. مهندسان مشاور طرح و کاوش (۱۳۹۴). طرح جامع و تفصیلی شهر اردبیل. گزارش طرح از: معاونت شهرسازی اداره کل راه و شهرسازی اردبیل.
۱۱. شرکت آب و فاضلاب استان اردبیل (۱۳۹۵). فایل گزارش ثبت شده حوادث آب شهر اردبیل. آرشیو شده در مرکز تحقیقات شرکت آب و فاضلاب استان اردبیل، گزارش داخلی.
۱۲. مهندسان مشاور آبران (۱۳۸۸). مطالعات طرح جامع تأمین و انتقال آب شرب شهرهای استان اردبیل. کارفرما: شرکت آب منطقه‌ای استان اردبیل، گزارش داخلی.
۱۳. عبدالهی، مجید (۱۳۹۱). مدیریت بحران در نواحی شهری. چاپ پنجم، انتشارات سازمان شهرداری‌ها و دهیاری‌های کشور.
14. Price, R.K., Vojinovic, Z. (2011). Urban hydro-informatics: data, models and decision support for integrated urban water management. London: IWA Publishing. ISBN: 978-18-4339-274-3.
15. Cardoso, M.A. (2012). Urban water infrastructure asset management – A structured approach in four water utilities. *Water Science and Technology*, 66 (12), 2702–2711.
16. Halfawy, M.R. (2008). Integration of municipal infrastructure asset management processes: challenges and solutions. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 22 (3), 216–229.
۱۷. حبیبی، کیومرث (۱۳۸۸). آسیب‌پذیری شهری و GIS. دانشگاه امام حسین (ع)، تهران.
۱۸. حسینی، مازیار (۱۳۸۷). اصول و مبانی مدیریت بحران. انتشارات سازمان پیشگیری و مدیریت بحران شهر تهران.
۱۹. بیرویدیان، نادر (۱۳۹۲). مدیریت بحران. چاپ سوم، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.

۳۵. رهگذر، م؛ زارع، م و هاشمی فشارکی، س. م. (۱۳۹۴). پیشنهاد شبکه‌ی هوشمند ارزیابی شاخص آسیب‌پذیری لرزه‌ای شبکه جمع‌آوری فاضلاب در بستر GIS (مطالعه‌ی موردی: شهرکرد)، مجله‌ی علمی پژوهشی آب و فاضلاب، شماره‌ی ۶، ۵-۱۵.

۳۶. رهنما، ز؛ راستی، ز؛ حسنی، ن؛ قیاسوند، م (۱۳۹۴). بررسی آسیب‌پذیری لرزه‌ای شبکه‌ی آب‌رسانی منطقه‌ی ۱۱ تهران جهت مقاوم‌سازی، فصلنامه‌ی دانش‌پیشگیری و مدیریت بحران، دوره‌ی پنجم، شماره‌ی چهارم، زمستان ۱۳۹۴، ۳۰۸-۳۱۴.

37. Chowdhury, M.A.I. Ahmed. M. F and Gaffar, M. A. (2002). Management of Nonrevenue Water Four Cities of Bangladesh, *Journal AWWA*, 94 (8), 64-75.

38. Gerami, R. (1994). Spatial information system (designing, modeling and planning applications).

39. Mitchell, A. (1999). The ESRI guide to GIS analysis. volume 1: geographic patterns and relationships. ESRI, Redlands [CA].

40. Scott, L, Getis. A. (2008). Spatial statistics. In Kemp K (Ed) Encyclopedia of geographic information.

41. UNEP. (1999). Human Development Report of the Islamic Republic of IRAN. Chapter 8:109-121.

42. ESRI. (2010). ESRI Production Mapping: Meeting the Needs of Water and Wastewater Utilities. An ESRI White Paper. www.esri.com.

43. Anselin, L. (1999). Spatial econometrics methods and model. Dordrecht Kluwer Academic.in: A Companion to Theoretical Econometrics, Edited by: L. Anselin. Chapter, 14: 310-330.

44. Asgari, A. (2011). Analysis of Spatial Statistics in GIS. Tehran Municipality Publications.

۴۵. زبردست، اسفندیار. (۱۳۸۰). کاربرد فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی در برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای. در نشریه‌ی هنرهای زیبا، شماره‌ی ۱۰، ۱۳-۲۱.

۴۶. مشیری، اسماعیل. (۱۳۸۰). مدل تعدیل شده AHP برای نظرسنجی و تصمیم‌گیری‌های گروهی، در: دانش‌مدیریت، سال ۱۴، شماره ۵۲، ۶۳-۹۲.

۴۷. ابراهیمی، نسرین؛ علیرضایی، ندا؛ خدادادی، احمد؛ بشارت‌نیا، مهدی (۱۳۹۴). مروری بر روش‌های آماری تحلیل داده‌های جرم مبتنی بر مکان. در: توسعه‌ی سازمان پلیس، شماره‌ی ۵۳، ۸۹-۱۱۲.

۴۸. مهندسان مشاور طراحان بافت و معماری (۱۳۹۳). مطالعات بافت فرسوده‌ی شهر اردبیل، جلد ۱. آرشو کتابخانه وزارت راه و شهرسازی.

۱۰۶

شماره پانزدهم  
بهار و تابستان  
۱۳۹۸  
دوفصلنامه  
علمی و پژوهشی



شبکه‌ی آب  
شناختن محله‌های آسیب‌پذیر شهری از نظر اتفاقات