

مدل مدیریت حوادث شبکه‌های توزیع آب با استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS)

مسعود تابش^۱

هادی جعفری^۲

محمودرضا دلاور^۳

(دریافت ۸۵/۱۰/۰۵ پذیرش ۸۷/۱۰/۲۴)

چکیده

یکی از حساس‌ترین و پرهزینه‌ترین واحدهای شرکت‌های آب و فاضلاب شهری، سیستم حوادث است. عدم وجود یک روند مکانیزه، دقیق و قابل اعتماد در مدیریت سیستم مذکور، سالانه خسارات زیادی را به مشترکان و شرکت‌های آب و فاضلاب شهری وارد می‌نماید. این موضوع به‌ویژه در حال حاضر با توجه به مشکلات بحران کمبود آب و درصد بالای تلفات آب در شبکه‌های توزیع آب شهری در کشور، از ضروریات تحقیقات کاربردی در شرکت‌های آب و فاضلاب است. هدف این مطالعه ارائه یک مدل مدیریت حوادث در شبکه‌های توزیع آب شهری بر اساس سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی است. سیستماتیک نمودن ذخیره و استفاده از اطلاعات تجهیزات شبکه توزیع و عملیات ترمیم حوادث، بالا بردن سرعت تعمیر حوادث و پایین آوردن تلفات فیزیکی آب، امکان کاهش تعداد حوادث، صرفه‌جویی اقتصادی، پایین آوردن هزینه‌های ترمیم و رفع حوادث از جمله مزایای این سیستم است. در این تحقیق روشی برای جمع‌آوری اطلاعات مربوط به حوادث در شبکه‌های آبرسانی ارائه و با استفاده از امکانات ثبت، تلفیق و تحلیل داده‌های مکان مرجع در سیستم‌های نرم‌افزاری GIS و تحلیل‌های آماری مختلف نسبت به پردازش اطلاعات حوادث اقدام شد. با انتخاب یک منطقه نمونه مطالعاتی در شهر همدان کلیه اطلاعات مربوط به حوادث شبکه در یک دوره شش ماهه جمع‌آوری و مدل GIS حوادث مورد ارزیابی قرار گرفت. به‌طور مثال بر اساس این نتایج، منطقه مورد مطالعه، نرخ شکست بسیار بالایی (۱۳/۵۸) دارد که ناشی از ساختار و مدیریت نامناسب شبکه است. همچنین بالا بودن درصد اختلالات هیدرولیکی نسبت به سایر عوامل شکست، نشان دهنده نامناسب بودن وضعیت فشار هیدرولیکی و فرسودگی شبکه است. کاربرد روش این تحقیق در یک شبکه واقعی نتایج رضایت بخشی در خصوص افزایش کارایی سیستم و کاهش هزینه‌ها ارائه می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: سیستم‌های اطلاعات مکانی (GIS)، شبکه‌های توزیع آب شهری، حوادث، تلفات.

A Water Distribution Network Accident Management Model Using GIS

Masoud Tabesh¹

Hadi Jafari²

Mahmoudreza Delavar³

(Received Dec. 26, 2006 Accepted Jan. 14, 2009)

Abstract

One of the most sensitive and cost-intensive systems in urban water and wastewater companies is accident systems. Lack of a modern, accurate, and reliable burst management system at the present time results in great damages to consumers and to urban water and wastewater companies. Given the shortage of water and real losses in urban water distribution networks, burst modeling and management forms a necessary research area for water and wastewater companies. Improved efficiency of urban water supply and distribution system is the only possible way which cuts across innovative sciences and technologies. One such technology is the geospatial information system (GIS) that generates useful geospatial information and is used to perform spatial and hydraulic analyses that play an important role in urban water distribution networks. The purpose of this research

1. Assoc. Prof., Center of Excellence for Infrastructure Engineering and Management, Dept. of Civil Engineering, University of Tehran, (Corresponding Author), (+98 21) 61112258, mtabesh@ut.ac.ir
2. Graduated Student, Department of Surveying Engineering, University of Tehran
3. Assist. Prof., Center of Excellence in Geomatics and Disaster Management, Dept. of Surveying Engineering, University of Tehran

- ۱- دانشیار دانشکده مهندسی عمران، قطب علمی مهندسی و مدیریت زیرساختها، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران (نویسنده مسئول) ۶۱۱۲۲۵۸ (+۹۸ ۲۱) mtabesh@ut.ac.ir
- ۲- کارشناسی ارشد نقشه‌برداری گرایش GIS، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران
- ۳- استادیار گروه مهندسی نقشه‌برداری، قطب علمی مهندسی نقشه‌برداری و مقابله با سوانح طبیعی، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران

is to study the fundamental concepts of establishing an accident management and modeling system in the Iranian urban water and wastewater companies using GIS. Systematic data storage, use of burst repair data, decreasing repair period, and determining real water losses, number of bursts, and required costs are of the advantages of this model. In this paper, a methodology is presented to gather and evaluate the burst data using the available spatial GIS analysis functions. Selecting a pilot area in Hamedan, accident information was gathered over a 6-month period. Several spatial and hydraulic analyses were performed and a number of indices were developed. The results showed that this network had a high break rate (13.58) which indicates poor infrastructure and management of the system. Furthermore, the main reason for pipe bursts was found to be poor hydraulic situation. It was concluded that applying this model which has been used in a real urban water distribution network increases the efficiency of the system and decreases the related burst costs.

Keywords: GIS, Water Distribution Networks, Burst, Losses.

۱- مقدمه

حداکثر آب به حساب نیامده ۱۷ درصد گزارش شده و کاهش آن به ۱۰ درصد مدنظر می‌باشد [۵ و ۶]. موارد مذکور بیانگر تعداد زیاد حوادث سالانه و مقدار زیاد هدررفت آب و همچنین ارزش مادی آب هدررفته نسبت به بودجه‌های موجود می‌باشد. بنابراین هرگونه اقدام جهت اصلاح سیستم منجر به صرفه جویی بالایی می‌شود.

علاوه بر آن، وجود سیستم کارگری که بدون برخورد کارشناسی با امر حوادث (از بعد جمع‌آوری اطلاعات لازم، ریشه‌یابی علل ایجاد حادثه، مکانیزه کردن روند امور واحد حوادث و ...) صرفاً به انجام تعمیرات می‌پردازند، عدم وجود دیدگاه کارشناسی در کارکنان و کارگران در مراکز امداد حوادث؛ عدم وجود اطلاعات دقیق، صحیح، بهنگام و ساختاریافته شبکه توزیع آب؛ غیر سیستماتیک و دستی بودن گردش کارها در رسیدگی به حوادث و پایین بودن سرعت رسیدگی به حوادث باعث بروز مشکلات زیادی برای شرکت‌های آب و فاضلاب و مشترکان شده است. از طرفی بهبود بخشیدن به کارایی سیستم تأمین و توزیع آب صرفاً از طریق به خدمت گرفتن علوم و فناوری‌های مدرن مانند سیستم‌های اطلاعات مکانی امکان‌پذیر است. ثبت و ذخیره کردن اطلاعات مربوط به شبکه توزیع و قابلیت بازیابی، ویرایش و نمایش آن اطلاعات و همچنین تحلیل آب به حساب نیامده، عوامل مهمی برای مدیریت بهینه و طرح‌های توسعه هستند. در نتیجه، توسعه سیستمی که بتواند (با توجه به متنوع و زیاد بودن اجزای شبکه) اطلاعات مربوط به شبکه آب و واحدهای مرتبط با آن از جمله واحد حوادث را در خود ذخیره، تجزیه و تحلیل و مدیریت نماید، لازم و ضروری به نظر می‌رسد. به همین دلیل برای مدیریت سیستم‌های آب و فاضلاب استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی^۱ ضرورت یافته است.

چندین نقشه استاندارد از قبیل نقشه شبکه، محدوده‌های زون‌بندی فشاری و زیر تقسیمات آن برای یک شبکه آب نمونه در سال ۱۹۸۸ به صورت رقومی تهیه گردید و در یک سیستم GIS

بالا بودن تعداد حوادث در شبکه‌های توزیع آب شهری، باعث ازدیاد تلفات فیزیکی آب و هزینه ترمیم حوادث می‌گردد. این موضوع به نحوی بر منابع مالی شرکت‌های آب و فاضلاب تأثیر می‌گذارد که به جای سودآوری، آنها را با زیان مواجه می‌کند. طبق آمار ارائه شده توسط شبکه اطلاع‌رسانی شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، سالانه نزدیک به یک میلیون حادثه در شبکه‌های توزیع آب شهری ایران به وقوع می‌پیوندد و بیش از ۲۰ درصد از کل درآمدهای شرکت‌های آب و فاضلاب صرف ترمیم این حوادث می‌شود. به عنوان نمونه در سال ۱۳۷۷ حدود ۲۰۰ میلیارد ریال برای رفع حوادث و اتفاقات در کل کشور هزینه شده است [۱]. اگر هزینه آب هدر رفته نیز به هزینه فوق اضافه شود، مبلغ بسیار بالایی به دست می‌آید.

ارزش آب هدر رفته در سیستم آب شهری کشور استرالیا سالانه حدود ۹۰ میلیون دلار است در صورتی که بودجه سالانه توسعه شبکه آب شهری در کشور استرالیا حدود ۱۴۵ میلیون دلار و در کشور آلمان حدود ۳۰۰ میلیون دلار گزارش شده است که اهمیت و خسارت ناشی از حوادث را به وضوح نشان می‌دهد [۲]. بر طبق یک مطالعه موردی بر روی حوادث شبکه توزیع آب در شهر چالوس در یک بازه زمانی شش ماهه، هزینه ترمیم هر حادثه حدود ۲/۵ میلیون ریال به دست آمده است [۳]. این رقم با احتساب هزینه‌های مربوط به تعمیرات و آب هدر رفته بوده و به خوبی بیانگر اهمیت برخورد اصولی و سیستماتیک با حوادث به منظور ارتقای کیفی شبکه توزیع و بهبود کنترل و مدیریت شبکه آب و فاضلاب می‌باشد. مطالعات چندین ساله در پایلوت‌های مطالعاتی آب به حساب نیامده حاکی از وجود ۵۰ تا ۶۰ درصد تلفات آب به صورت فیزیکی است که نشت ناشی از وقوع حوادث بخش مهمی از آن را شامل می‌شود. این در حالی است که به‌طور متوسط ۳۰ درصد کل آب تولیدی در شبکه‌های آب کشور به صورت تلفات فیزیکی و غیر فیزیکی هدر می‌رود [۴]. این مقدار در کشور بنگلادش به ۴۰ درصد می‌رسد، در حالی که در آمریکا

¹ Geospatial Information System (GIS)

مورد استفاده قرار گرفت [۷]. چویی و چویی^۱ از کشور کره جنوبی با به‌کارگیری GIS مدلی برای تخمین فرسودگی و مدیریت روند تعمیرات در خطوط لوله‌های آب شهری با هدف کاهش تعداد حوادث و افزایش سرعت رفع حوادث ارائه نمودند. این سیستم دارای دو قسمت عمده شامل سیستم تخمین فرسودگی و سیستم مدیریت کارای خطوط لوله آب می‌باشد [۸]. سیستم تخمین فرسودگی، ایمنی را مطابق فرسودگی خطوط لوله آب ارزیابی کرده و سیستم مدیریتی، اطلاعات کلی مورد نیاز برای مدیریت این خطوط را ارائه می‌دهد.

کانروی^۲ و پولتون^۳ تحقیقی در ارتباط با ارائه روشهایی بر مبنای GIS برای تحلیل شکست‌های خطوط لوله در شبکه‌های توزیع آب در کشور انگلستان انجام دادند [۹]. هدف آنها استفاده از همه داده‌های قابل دسترس بود که بیشترین اثر را در انتخاب لوله‌های شبکه توزیع برای بازسازی دارند، زیرا بازسازی لوله‌های شبکه توزیع آب مستلزم هزینه‌های بسیار زیادی است. به‌همین دلیل موضوع به‌دست آوردن بهترین روش برای انتخاب لوله‌هایی که نیازمند بازسازی و اصلاح می‌باشند، بسیار مهم است. ژاکوبز^۴ و کارنی^۵ با استفاده از GIS شکست لوله‌های چدنی را مورد تحلیل قرار دادند، زیرا GIS می‌تواند با دسته‌بندی اطلاعات، پارامترهای پیچیده آماری برای تحلیلهای خطی و غیرخطی شکست لوله‌ها را آماده نماید. پارامتر احتمال وقوع یک شکست مستقل برای هر لوله بررسی گردید و نشان داده شد که با افزایش طول لوله، تعداد شکستها افزایش می‌یابد [۱۰].

تعدادی از محققان نیز بدون استفاده از سیستم GIS با جمع‌آوری اطلاعات موردی حوادث یک دوره تاریخی نسبت به تحلیل حوادث اقدام کرده و تعداد شکست‌های آینده و رابطه حوادث با سن، قطر و جنس لوله‌ها را پیش‌بینی نموده‌اند. از جمله گولتر^۶ و کتترل^۷ با استفاده از داده‌های ۵ ساله حوادث شهر وینی‌پگ^۸ کانادا رابطه‌ای بین نرخ شکست (تعداد شکست در واحد طول لوله در سال) و قطر لوله‌های چدن این شهر ارائه دادند که بر اساس آن با افزایش قطر لوله‌ها نرخ شکست کاهش می‌یابد [۱۱]. تابش و هنری در یک مطالعه موردی بر روی حوادث و اتفاقات شبکه توزیع آب در شهر چالوس، یک رابطه بین تعداد شکست و قطر لوله‌های این شهر ارائه کردند که در آن نرخ شکست با افزایش قطر لوله به صورت غیر خطی کاهش می‌یابد [۳]. تابش و عابدینی نیز با استفاده از آمار قابل دسترس حوادث در چندین شهر ایران

روابطی غیرخطی بین حوادث و سن، قطر و جنس لوله‌ها ارائه نمودند [۱۲]. لازم به‌ذکر است که خطی یا غیرخطی بودن رابطه حوادث با پارامترهای مؤثر بر آن بستگی به شرایط خاص هر شبکه و داده‌های جمع‌آوری شده حوادث آن دارد.

در ایران موضوع مطالعه آب به‌حساب نیامده در شبکه‌های توزیع آب با انتخاب پایلوت‌هایی در تعدادی از شهرهای کشور با نظارت شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور از سال ۱۳۷۳ آغاز شد. همچنین گزارش مرحله اول طرح جامع سیستم‌های اطلاعات مکانی آب و فاضلاب شهری (شامل شناخت عوارض، تعریف زیرسیستم‌های ممکن و بخشهای استفاده‌کننده از هر زیر سیستم)، دستورالعمل کاهش و کنترل آب به‌حساب نیامده و دستورالعمل حوادث و اتفاقات شبکه‌های آبرسانی در سال ۱۳۷۸ تهیه و در اختیار شرکتهای آب و فاضلاب قرار گرفت [۴، ۱۳، ۱۴]. در سال ۱۳۷۸ شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، زیر سیستم‌های ممکن در سیستم GIS آن شرکت را بررسی کرده است که یکی از آنها زیر سیستم حوادث است. ولی به‌طور خاص مدلی ارائه نکرده و مطالعه‌ای صورت نگرفته است [۱۳]. با وجود اینکه تاکنون مطالعات آب به‌حساب نیامده در پایلوت‌های متعددی در شهرهای مختلف کشور به اجرا درآمده است متأسفانه به‌دلیل عدم وجود زیرساختها، سیستم و مدیریت مناسب، تاکنون توفیق قابل‌ذکری در زمینه مطالعه و پیاده‌سازی سیستم GIS در سطح کشور به‌دست نیامده است.

برای رفع نواقص مذکور در سطح شرکتهای آب و فاضلاب کشور، در این تحقیق با استفاده از اصول و مفاهیم پایه و کاربردی سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، یک مدل جامع GIS برای سیستم واحد حوادث شرکتهای آب و فاضلاب با اهداف زیر تهیه گردید: سیستماتیک نمودن ذخیره و استفاده از اطلاعات تجهیزات شبکه توزیع و عملیات ترمیم حوادث با استفاده از GIS، افزایش سرعت تعمیر حوادث و کاهش تلفات فیزیکی آب، تجزیه و تحلیل و بررسی اطلاعات به‌دست آمده از حوادث با استفاده از GIS در راستای تهیه گزارش‌های مدیریتی و انجام تمهیدات لازم در خصوص کاهش تعداد حوادث و اتفاقات، صرفه‌جویی اقتصادی و کم کردن هزینه‌های ترمیم و رفع حوادث. با توجه به اینکه سیستم جاری در واحدهای امداد و حوادث ماهیت کارگری داشته و در حال حاضر تلاش مناسبی برای جمع‌آوری اطلاعات جامع حوادث و تحلیل آنها انجام نمی‌شود. استفاده از روش ارائه شده در این مقاله در سطح شرکتهای آب و فاضلاب بسیار راهگشا خواهد بود.

¹ Choi
² Conroy
³ Poulton
⁴ Jacobs
⁵ Kamey

⁶ Goulter
⁷ Kettler
⁸ Winnipeg

۲- مراحل تحقیق

این تحقیق طی مراحل زیر به ترتیب انجام گردید:

۱-۲- تهیه مدل مفهومی^۱

مدل مفهومی سیستم GIS شامل تعیین دقیق عوارض مکانی و ارتباط بین آنها می‌باشد. این مرحله یکی از مهم‌ترین مراحل پیاده‌سازی سیستم GIS است. عوارض مکانی شبکه توزیع آب که ارتباط مستقیم با سیستم‌های حوادث دارند شامل لوله‌ها، شیرها، مخازن، انشعابات مشترکین و مراکز گروه امداد می‌باشند.

۲-۲- تهیه مدل منطقی^۲

مدل منطقی در واقع ترجمه اطلاعات موجود در مدل مفهومی به زبان قابل درک برای نرم افزار است. در این مرحله اطلاعات تعیین شده در مدل مفهومی، با توجه به ساختار اطلاعاتی مورد نظر GIS همراه با فرمت‌های مربوطه تعیین گردیدند.

همچنین روند عملیاتی و مطالعاتی مدل‌سازی سیستم‌های حوادث و اتفاقات شبکه‌های توزیع آب شهری با استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی با توجه به ارتباط واحدهای حوادث و اتفاقات با تأسیسات و تجهیزات شبکه‌های توزیع آب شهری، مطالعات آب به حساب نیامده و GIS و با در نظر گرفتن جایگاه واحدهای حوادث در نمودار سازمانی، وظایف واحدهای حوادث و اتفاقات و نظر سنجی از کارشناسان ذی‌ربط، مطابق شکل ۱ می‌باشد.

۲-۳- تهیه مدل فیزیکی (پیاده سازی سیستم)

پیاده‌سازی سیستم GIS شامل وارد نمودن داده‌های جمع‌آوری شده در چهارچوب مدل مفهومی و در آرایه‌های تهیه شده در مرحله مدل‌سازی منطقی است. در مرحله مدل‌سازی فیزیکی، اطلاعات مطابق الگو و ساختار به دست آمده در مرحله طراحی مدل منطقی، به سیستم کامپیوتری معرفی و به منظور انجام مدیریت اطلاعات، یک سری برنامه‌های کاربردی نوشته شد. از جمله می‌توان به موارد زیر اشاره نمود. زیرسیستم‌های ورود و بازیابی مشخصات عوارض، تعیین حجم آب هدر رفته، تعیین و محاسبه شاخصهای زمانی و مکانی حوادث، تحلیل آماری اطلاعات حوادث، کنترل عملیات ساختمانی و حفاری و برآورد هزینه عملیات، تبادل اطلاعات ضروری هنگام بروز حادثه، ردیابی تجهیزات هنگام بروز حادثه، ردیابی و نمایش اطلاعات مکانی و توصیفی شیر یا شیرخطهایی که

¹ Conceptual Modeling

² Logical Modeling

باید بسته شوند، تا آب منطقه حادثه دیده قطع گردد و نمایش اطلاعات مکانی و توصیفی لوله‌ها و ساختمان‌های مشترکاتی که در اثر بستن یک شیرخط بی آب می‌شوند. جزئیات برخی از زیرسیستم‌های فوق به شرح زیر می‌باشد.

۲-۳-۱- زیرسیستم ورودی و خروجی مشخصات عوارض

به منظور ویرایش جداول اطلاعاتی به دو روش عمل می‌گردد. یک روش در محیط نرم افزار ArcView و روش دیگر با استفاده از نرم افزارهایی همچون FOXPRO و ACCESS می‌باشد. در نمونه کارهای انجام شده، از هر دو روش استفاده گردیده است. همچنین سیستم خروجی مشخصات عوارض مکانی، توانایی ارائه اطلاعات توصیفی از جداول مربوطه را دارد. به عنوان نمونه با انتخاب لوله‌های شبکه توزیع، کلیه اطلاعات توصیفی مربوطه، در صورت تعریف قبلی شامل جنس، قطر، عمق، سال بهره‌برداری و غیره نمایش می‌یابد. همچنین انواع گزارشهای ساده از اطلاعات قابل انجام می‌باشد (به عنوان نمونه گزارش لوله‌های یک منطقه خاص مطابق با قطر و سال کارگذاری لوله‌ها). علاوه بر آن رسیدن به اطلاعات مکانی از طریق جداول توصیفی امکان پذیر می‌باشد.

۲-۳-۲- زیرسیستم ردیابی تجهیزات هنگام بروز حادثه

در صورت بروز حادثه بر روی شبکه توزیع (خطوط لوله، شیرها یا انشعابات) و به منظور رسیدگی هر چه سریع‌تر گروه‌های امداد به منظور مهار حادثه، اطلاعات زیر قابل ارائه است:

۱- اطلاعات مکانی و توصیفی شیر یا شیر خطهایی که باید بسته شوند تا آب منطقه حادثه دیده قطع گردد.

۲- اطلاعات مکانی و توصیفی لوله‌هایی که در اثر بستن یک شیر خط بی آب می‌شوند.

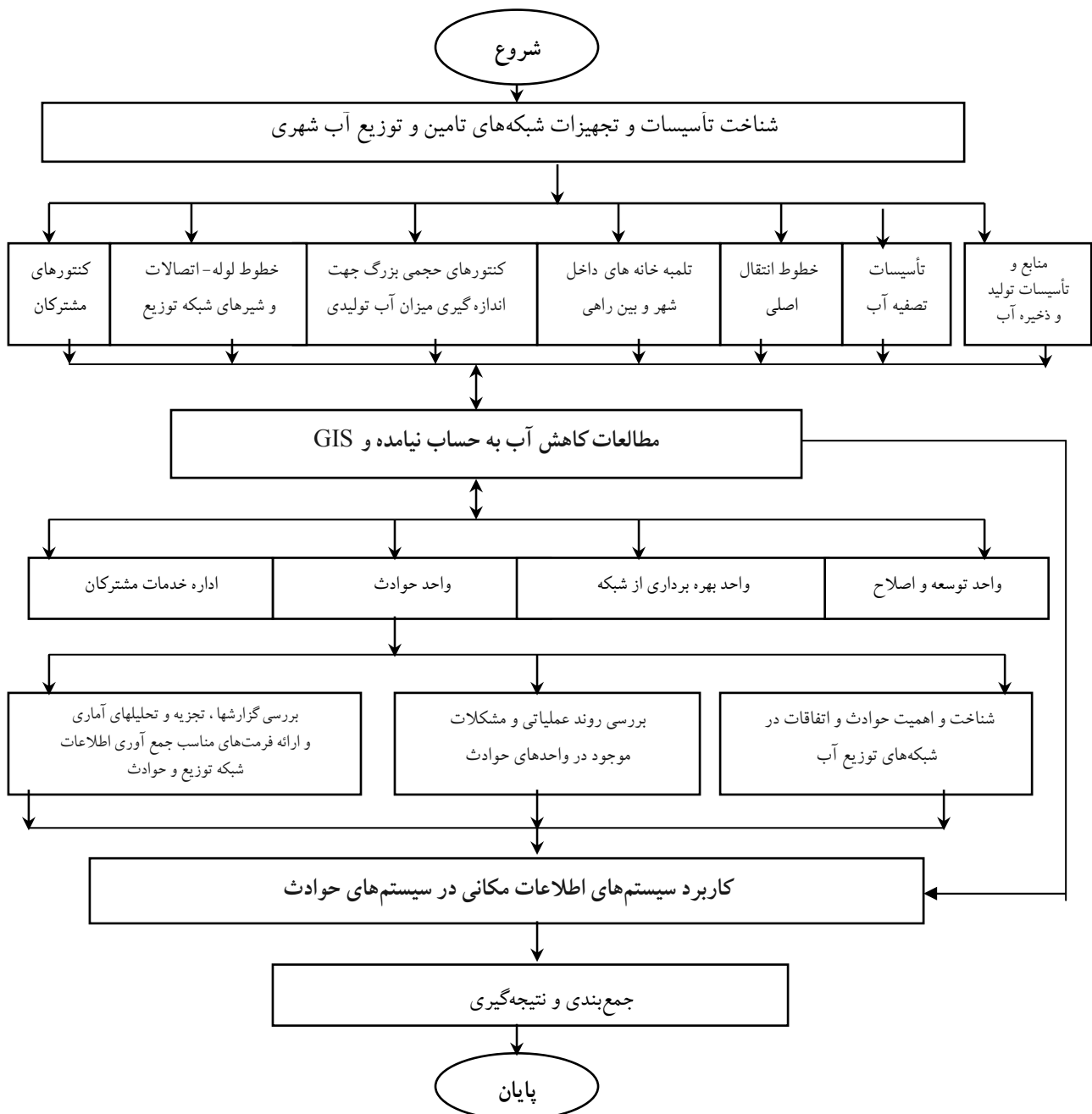
۳- اطلاعات مکانی و توصیفی ساختمان‌های مشترکاتی که در اثر

بستن یک شیر خط بی آب می‌شوند.

در صورت ارائه به موقع اطلاعات بالا به انضمام سایر اطلاعات مکانی و توصیفی عوارض حادثه دیده به گروه‌های امداد، زمان رفع حوادث به حداقل ممکن می‌رسد.

۲-۳-۳- زیرسیستم تبادل اطلاعات خروجی هنگام بروز حادثه

از جمله اطلاعات مفید به منظور ارائه هر چه سریع‌تر خدمات توسط گروه‌های امداد، داده‌هایی است که هنگام بروز حادثه، مراکز امداد با سایر ارگان‌های خدمات شهری مبادله می‌کنند. با ارائه اطلاعاتی از قبیل محل وقوع حادثه، زمان وقوع حادثه، نوع حادثه و غیره به سازمان‌ها و ارگان‌های خدمات شهری همچون شهرداری،



شکل ۱- فلوچارت روند عملیاتی و مطالعاتی مدل‌سازی سیستم‌های حوادث شبکه‌های توزیع آب شهری با استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS)

می‌شوند. به این ترتیب با کنترل اطلاعات و عملیات مذکور می‌توان از آسیب رسیدن به خطوط لوله شبکه توزیع در مناطق مورد نظر پیشگیری نمود.

۲-۳-۵- آنالیز حوادث در شبکه‌ها

تعداد حوادث شبکه توزیع و انشعابات مشترکان در ساعات مختلف شبانه‌روز و ماههای مختلف سال متفاوت و قابل بررسی است. این حوادث در لوله‌های با جنس متفاوت، قطرهای مختلف، طولهای

پلیس، صدا و سیما و غیره، گروه‌های امداد می‌توانند عملیات رفع حادثه را با کمک سازمان‌های مذکور هرچه سریع‌تر انجام دهند. همچنین در بعضی مواقع تبادل اطلاعات بین شرکت‌های آب و فاضلاب و سایر ارگان‌ها در رفع حوادث می‌تواند دو طرفه باشد.

۲-۳-۴- زیرسیستم کنترل عملیات ساختمانی و حفاری

در این زیرسیستم، اطلاعات عملیات ساختمانی و حفاری که به نوعی بر روی عوارض شبکه توزیع آب تأثیر گذار هستند، ذخیره

گونگون ارزیابی می‌شود. همچنین عمر آنها نیز قابل بررسی است. با داشتن تعداد شکست‌های سالانه (حوادث سالیانه) در چند سال متوالی می‌توان روند تغییرات حوادث را مورد بررسی قرار داد. معمولاً روند تغییرات حادثه در هر سال به علت افزایش عمر لوله‌ها و شرایط متغیر هیدرولیکی به صورت صعودی است.

۲-۳-۶- نرخ شکست^۱

با تقسیم تعداد حوادث سالیانه به طول لوله‌ها در یک شبکه توزیع آب، شاخصی به نام نرخ شکست قابل تعریف است که معادل تعداد حوادث سالیانه به ازای واحد طول لوله خواهد بود. این شاخص به علت نسبی بودن، مبنای مناسبی برای مقایسه یک شبکه با شبکه‌های دیگر است. برای بررسی تغییرات تعداد حادثه شبکه با قطر لوله، می‌توان از نرخ شکست برای یک جنس لوله مشخص در برابر قطرهای آن استفاده کرد. به کارگیری شاخص نرخ شکست نتایج بهتری نسبت به استفاده از تعداد حوادث سالیانه می‌دهد. زیرا با در نظر گرفتن طول لوله‌ها در شاخص نرخ شکست، تعداد حوادث بر مبنای واحد طول لوله‌ها بررسی می‌گردند [۱۵].

در این تحقیق با توجه به بررسی داده‌های موجود در شبکه توزیع آب نمونه، از برخی شاخصها از جمله تعداد حوادث سالیانه از نظر قطر، جنس، سن و تعیین نرخ شکست جنس‌های مختلف لوله استفاده شد که نتایج آن با استفاده از نرم‌افزار ArcView و برنامه‌نویسی به زبان Avenue مشخص گردید.

۲-۳-۷- آنالیز آماری رگرسیون خطی و نمایی داده‌ها

تحلیل تغییرات تعداد حوادث سالانه در برابر قطر و تغییرات نرخ شکست در برابر قطر را با تحلیل آماری رگرسیونی نیز می‌توان انجام داد. با انجام این آنالیز، روند تغییرات در قالب یک فرمول بیان می‌شود که در حالت کلی به صورت زیر بیان می‌گردد [۱۵]:

$$N.B = F(D) \quad (1)$$

که در این رابطه :

N.B تعداد حوادث سالیانه و D قطر لوله می‌باشد.

رابطه خطی ساده‌ترین رابطه است، به همین دلیل در ابتدا آنالیز رگرسیون خطی داده‌ها انجام می‌شود. آنالیز بر مبنای روش حداقل مربعات خطا صورت می‌گیرد و برای کنترل صحت برازش می‌توان از ضریب همبستگی بین دو متغیر استفاده کرد. برای محاسبه رگرسیون خطی از رابطه زیر استفاده می‌گردد:

$$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 x \quad (2)$$

که در آن :

$\beta_0 = \bar{y} - \beta_1 \bar{x}$ و $\beta_1 = \frac{SXY}{SXX}$ و y_i و x_i مقادیر مشاهده شده X و Y به ازای $i=1,2,\dots,n$ هستند و β_0 عرض از مبدا خط و β_1 ضریب زاویه آن است. n معادل تعداد نقاط (تعداد نمونه‌ها) است. همچنین :

$$SXX = \sum x_i^2 - n(\bar{x})^2, \quad \bar{y} = \frac{\sum y_i}{n}, \quad \bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$$

$$SXY = \sum x_i y_i - n(\bar{x}\bar{y}) \quad \text{و} \quad SYY = \sum y_i^2 - n(\bar{y})^2$$

برای مقایسه دو یا چند الگو و کنترل صحت برازش از تحلیل واریانس استفاده می‌گردد. این مقایسه با آزمون F بر مبنای جدول تحلیل واریانس صورت می‌گیرد مقدار F از رابطه زیر به دست می‌آید [۹]:

$$F = \frac{MS}{MSE} = \frac{MS/1}{SSE/(n-2)} \quad (3)$$

که در آن :

$$SSE = SYY - \frac{(SXY)^2}{SXX} \quad \text{و} \quad MS = \frac{(SXY)^2}{SXX}$$

برای کنترل صحت برازش، مقدار F حاصل از رابطه ۳ با مقدار جداول تحلیل واریانس برای سطوح معنی‌دار α مقایسه می‌شود. چنانچه مقدار F حاصل از رابطه از مقدار جدول بیشتر باشد، رگرسیون در آن سطح، معنی‌دار است به عبارت دیگر بین X و Y رابطه خطی ۲ قابل قبول می‌باشد.

همچنین ضریب همبستگی از رابطه ۴ به دست می‌آید. این ضریب درجه وابستگی دو متغیر را که در اینجا متغیرهای محور X و Y نمودار است را نشان می‌دهد.

$$r_{xy} = \frac{SXY}{\sqrt{(SXX)(SYY)}} \quad (4)$$

ضریب همبستگی بین +۱ و -۱ متغیر است.

تعیین اولویت اصلاح لوله‌ها بر اساس جنس و قطر آنها با بررسی روند تغییرات تعداد حادثه و نرخ شکست آن بهتر انجام خواهد شد. بنابراین با استفاده از روابط اشاره شده و استفاده از پایگاه داده GIS، امکان محاسبه و ترسیم رگرسیون خطی وجود دارد که با استفاده از برنامه‌نویسی به زبان Avenue انجام می‌گردد. همچنین از روابط زیر برای محاسبه رگرسیون غیرخطی (نمایی) استفاده شده است [۹].

$$\hat{y} = cd^x \quad (5)$$

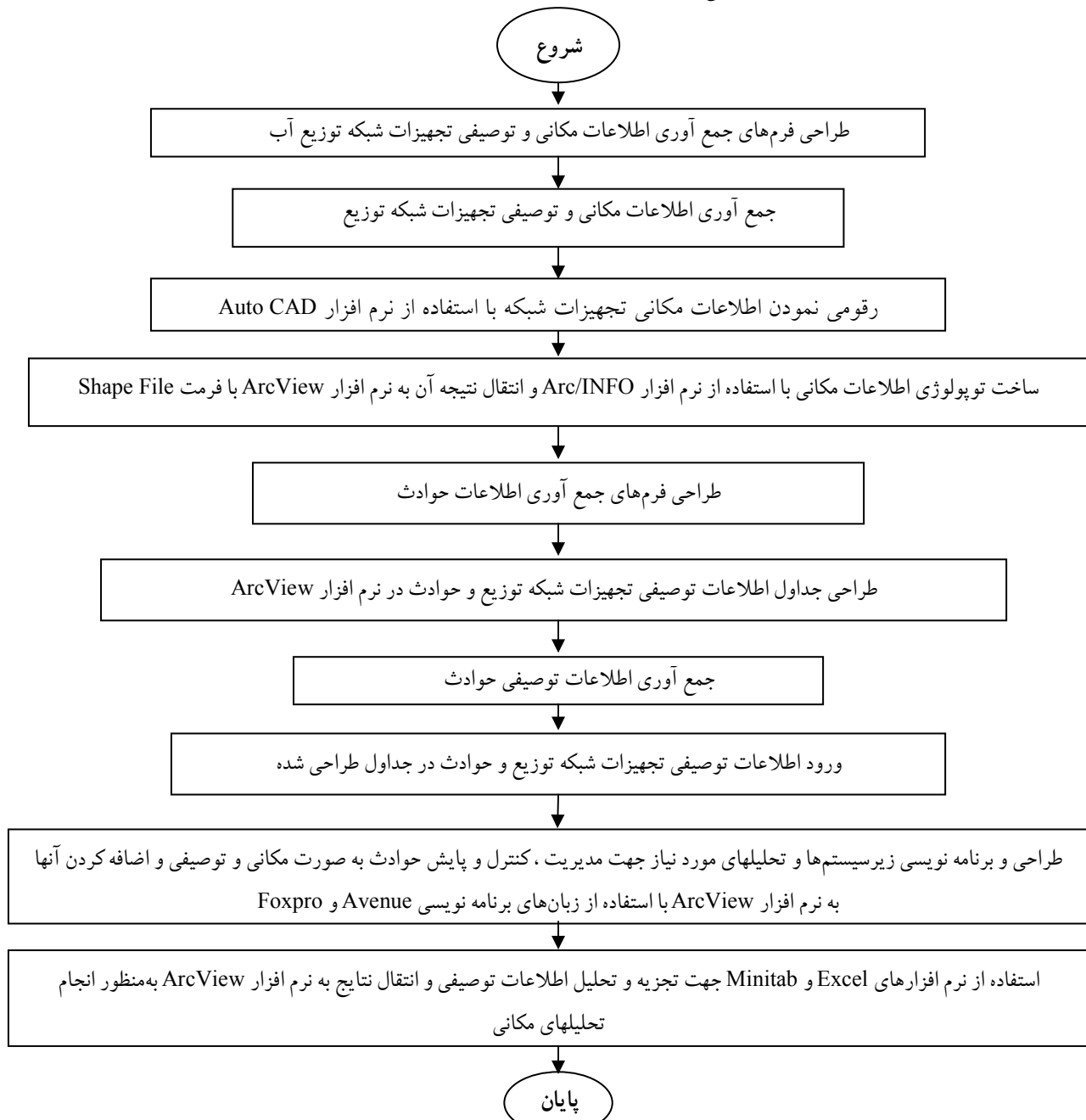
¹ Break Rate

که در آن:

$d = 10^{\beta_1}$ و $c = 10^{\beta_0}$ پارامترهای β_1 و β_0 براساس روابط ارائه شده در رابطه ۲ محاسبه می‌شوند، با این تفاوت که به جای \bar{y} از $\log y$ و به جای y_i از $\log y_i$ استفاده خواهد شد.

مراحل کار در شکل ۲ ارائه شده است. پس از تهیه فرم‌های مناسب جمع‌آوری اطلاعات حوادث، روند ارائه اطلاعات مکانیزه به گروه‌های امداد با بررسی وظایف و جایگاه واحدهای حوادث و نظر سنجی از کارشناسان مرتبط به صورت زیر پیشنهاد می‌گردد:
۱- مکانیزه کردن اطلاعات تأسیسات شبکه توزیع و ورود آنها به

GIS. ۲- تهیه فرم‌های اطلاعاتی مناسب سیستم حوادث و اتفاقات،
۳- ارائه اطلاعات مکانیزه به فرد اطلاع‌گیرنده در واحدهای
حوادث و اتفاقات، ۴- ارائه فرم‌ها به گروه‌های امداد، توسط فرد
اطلاع‌گیرنده با استفاده از GIS پس از کسب اطلاع، ۵- تکمیل
فرم‌های اطلاعاتی توسط گروه‌های امداد پس از رفع حادثه و
۶- بازبینی و ارائه فرم‌های تکمیل شده به واحد GIS به منظور
تکمیل اطلاعات از وقوع حادثه.



شکل ۲- فلوچارت روند طراحی و ایجاد سیستم GIS حوادث و اتفاقات شبکه‌های توزیع آب شهری

جدول ۱- مشخصات منطقه نمونه انتخاب شده در شبکه توزیع آب شهر همدان

وسعت منطقه: ۲۴۰۰۰۰۰ متر مربع	مقیاس نقشه رقومی منطقه: ۱:۲۰۰۰
جمعیت تحت پوشش: ۶۴۲۰ نفر	سال تولید نقشه: ۱۳۷۶
فاصله منطقه نمونه تا نزدیکترین مرکز امداد: ۱۳۰۰ متر	تعداد مشترک: ۱۷۴۵
تعداد انشعاب: ۶۹۰	نوع شبکه لوله‌ها: حلقوی و شاخه‌ای
تعداد لوله‌ها: ۳۳۵	تعداد شیرخط‌ها: ۷۰
تعداد سایر شیرها: ۱۱	میزان تلفات آب در منطقه: ۳۳٪
حداقل و حداکثر فشار در منطقه: ۵-۶/۵ اتمسفر	متوسط مصرف هر مشترک مسکونی: ۰/۶۵ متر مکعب در روز

۳- اجرای پایلوت آزمایشی و تحلیل نتایج

۳-۱- انتخاب منطقه نمونه مطالعاتی

با انتخاب یک منطقه نمونه از شبکه توزیع آب شهر همدان، که مشخصات آن در جدول ۱ نمایش داده شده است، مدل تهیه شده ارزیابی می‌شود.

۳-۲- جمع‌آوری و بررسی اطلاعات حوادث در منطقه نمونه

برای جمع‌آوری اطلاعات حوادث از فرم‌های سه‌گانه استاندارد معرفی شده توسط دستورالعمل حوادث و اتفاقات شبکه آبرسانی استفاده گردید [۱۴]. در این فرم‌ها بالغ بر ۳۰ عنوان اطلاعاتی از زمان اطلاع حادثه تا ترمیم آن، علاوه بر اطلاعات زمین، لوله، محل شکستگی، پرسنل و تجهیزات به‌کار رفته مشخص شده است که برای ۳۲۰ حادثه در طول مدت ۶ ماهه مطالعات به‌دقت استخراج و ثبت گردیدند. پس از آن کلیه اطلاعات ثبت شده به‌عنوان کلاس‌های اطلاعاتی برای عوارض لوله‌ها در سیستم GIS وارد شدند. اطلاعات حوادث پس از جمع‌آوری در فرم‌های مربوطه توسط گروه‌های امداد و ورود آنها به GIS، با استفاده از دستورات موجود در نرم‌افزار GIS برای تحلیل شبکه سیستم‌ها و زیرسیستم‌های طراحی شده مورد استفاده قرار می‌گیرند. به‌عنوان نمونه در زیرسیستم ورود و بازیابی مشخصات عوارض، امکانات زیر فراهم می‌گردد:

۱- شناسایی تعداد و محل شیرهای فشار شکن، شیر خط، تخلیه، هوا و آتش‌نشانی؛

۲- چاپ اطلاعات مکانی و توصیفی حوادث جهت ارائه به گروه‌های امداد

۳- نمایش محل و مکان وقوع هر حادثه روی نقشه؛

۴- چاپ نقشه با لایه‌های مختلف و چاپ کلیه گزارش‌ها به‌صورت فرم، جدول و نمودار؛

۵- ارائه گزارش تعداد حوادث ثبت شده در یک منطقه از طریق انتخاب آن منطقه از روی نقشه؛

۶- ثبت تصویر کلیه عوارض مکانی و یا تصویر حوادث به وجود آمده به روی عوارض؛

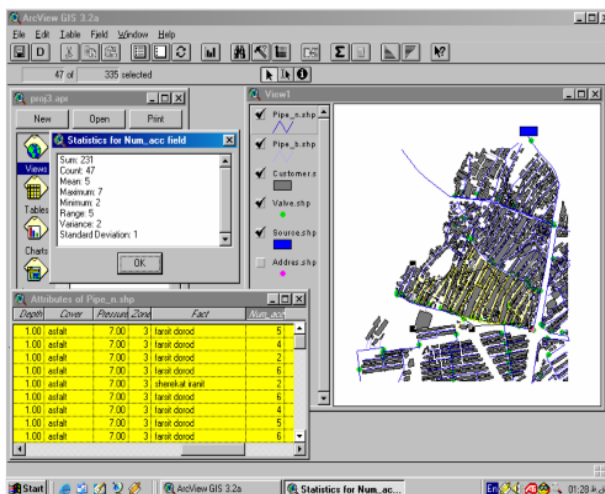
۷- جستجو بر اساس متن (به‌عنوان نمونه بر اساس آدرس) بر روی اطلاعات مکانی، به‌منظور پیدا کردن عارضه مکانی مورد نظر به روی نقشه؛

۸- پرس‌وجو بر اساس آیتم‌های مختلف حادثه؛

۹- پرس‌وجو بر اساس آیتم‌های مختلف عارضه مکانی؛

۱۰- گزارش‌گیری در مورد فشار موجود در گرهای شبکه توزیع.

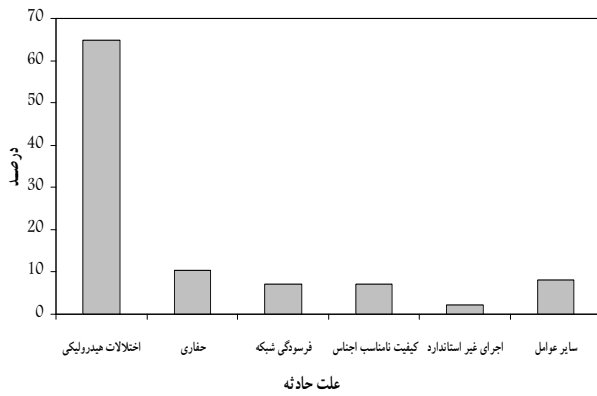
به‌طور مثال شکل ۳ شمای کلی شبکه به‌همراه مشخصات تعداد حوادث شبکه را با استفاده از گزینه Statistics نشان می‌دهد.



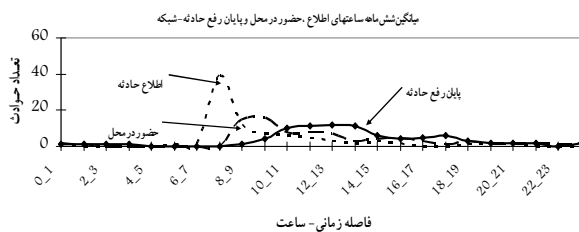
شکل ۳- شبکه مورد مطالعه به‌همراه اطلاعات مکانی، توصیفی و

تعداد حوادث اتفاق افتاده

از آنجا که هیچ یک از نرم‌افزارهای عمومی GIS مانند ArcView به‌تنهایی قادر به تعیین تعداد و محل شیرهای لازم برای قطع جریان آب و مشخص کردن مشترکانی که بی‌آب می‌شوند نمی‌باشد، مدل حوادث بر اساس روابط توپولوژیک عوارض مکانی و روابط هیدرولیکی در شبکه توزیع، محل شیرهای مورد نظر را مشخص می‌سازد. در این رابطه اثرات موارد مختلفی از جمله حلقه‌ای بودن شبکه توزیع در آن منطقه، جلوگیری کردن از برگشت



شکل ۴- نمودار میانگین شش ماهه علت وقوع حادثه در منطقه نمونه



شکل ۵- نمودار میانگین شش ماهه ساعتهای اطلاع از حادثه، حضور در محل و پایان رفع حوادث شبکه در منطقه نمونه

۲- از ساعت ۱۹ شب تا ۹ صبح حداکثر تعداد ترمیم شده ۲ تا ۳ حادثه می‌باشد و هرچند تعداد پرسنل شیفت صبح بیش از دو برابر تعداد پرسنل شیفت شب است، اما با توجه به تعداد کل حوادث ترمیم شده در طول شبانه روز نتیجه می‌شود که تعداد ترمیم حوادث در طول شب بسیار کم است و در واقع پرسنل شیفت شب، ترمیم حوادث را به روز بعد موکول می‌کنند.

۳- با توجه به تعداد حوادث اطلاع داده شده و ترمیم شده از ساعت ۱۰ شب تا ۷ صبح نتیجه می‌شود هیچ‌گونه کنترل فشاری در شبکه توزیع وجود ندارد، زیرا عموماً اکثر حوادث در طول شب به دلیل پایین بودن مصرف نمایان می‌شود.

۴- با توجه به اختلاف زمان سه ساعته بین زمان اطلاع و پایان رفع حادثه و به خصوص با توجه به اهمیت حوادث شبکه نتیجه می‌شود کلیه امکانات از قبیل به‌کارگیری تجهیزات مناسب، نیروهای متخصص، اطلاعات مکانیزه تجزیه و تحلیل و مدیریت اطلاعات مکان مرجع (GIS) و سایر موارد را باید به‌کار برد تا این اختلاف زمان به حداقل برسد.

علاوه بر موارد فوق، این شکل نشان می‌دهد که ساعتهای سپری شده از زمان اطلاع تا حضور در محل حادثه زیاد است. عمده دلایل آن عبارت‌اند از: اصولی نبودن گردش کارها، اصولی نبودن عزیمت گروههای امداد به محل حوادث، عدم کنترل و نظارت بر

آب، اجرای نادرست شبکه توزیع، اتصال زون‌های شبکه توزیع و ... در نظر گرفته می‌شود. بستن شیرها منجر به بی‌آب شدن لوله‌های منطقه حادثه دیده می‌شود. سپس با مشخص شدن مشترکانی که از لوله‌های بی‌آب شده انشعاب گرفته‌اند اطلاع رسانی لازم از طریق رسانه‌های ارتباط جمعی صورت می‌گیرد تا نارضایتی مشترکان به حداقل برسد.

همچنین با کمک نرم افزارهای Excel و Minitab، تحلیلهای آماری زیر به دست می‌آیند که نتایج به دست آمده را می‌توان به همراه اطلاعات مکانی و توصیفی مربوطه در محیط GIS نمایش داد. این نتایج عبارت‌اند از: الف) تحلیل تعیین چگونگی نحوه اطلاع مراکز امداد از وقوع حوادث، ب) تعیین نوع پوشش سطح محل حادثه، پ) تعیین لوازم مصرفی رفع حوادث و اتفاقات در شبکه توزیع و انشعابات، ت) محاسبه آمار تعداد حوادث اتفاق افتاده بر روی هر لوله شبکه توزیع، ث) تعیین عوامل خارجی ایجاد حادثه، ج) تعیین وضعیت حوادث بر اساس علت ایجاد حادثه، چ) تعیین وضعیت حوادث بر روی لوله‌های شبکه توزیع بر اساس نوع حادثه، ح) تعیین وضعیت حوادث بر حسب شکل منفذ نشت بر روی لوله‌ها، خ) تعیین میزان حوادث بر اساس نوع حادثه، ذ) تعیین میزان حوادث بر حسب قطر لوله‌ها.

شکل ۴ نتایج بررسی علل وقوع حوادث در منطقه نمونه را نشان می‌دهد. مطابق با این شکل، اختلالات هیدرولیکی در منطقه بیش از ۶۴ درصد علل وقوع حوادث را تشکیل داده‌اند که این امر ناشی از فرسودگی لوله‌ها و مناسب نبودن وضعیت فشار در شبکه توزیع می‌باشد. همچنین با بررسی اطلاعات مربوط به زمان‌های اطلاع، ابلاغ و رفع حادثه، نمودار میانگین شش ماهه ساعتهای اطلاع، حضور در محل و پایان رفع حادثه مربوط به حوادث شبکه تهیه و در شکل ۵ نشان داده شده است. از این شکل نتیجه می‌شود که اختلاف زمان‌های اطلاع از حوادث تا پایان تعمیر در منطقه نمونه زیاد می‌باشد. این موضوع در بالا رفتن تلفات فیزیکی آب در منطقه تأثیر بسزایی داشته است. با بررسی شکل ۵ نتایج زیر به دست می‌آیند:

۱- بیشترین زمان اطلاع رسانی وقوع حوادث به مراکز امداد توسط مشترکان ساعت ۷ تا ۹ صبح می‌باشد. یکی از دلایل این موضوع عدم اطلاع مشترکان، از شبانه روزی بودن مراکز امداد می‌باشد. این نقیصه از طریق اطلاع رسانی روابط عمومی شرکت‌های آبفا به مشترکان برطرف می‌گردد. از دلایل دیگر، مطلع شدن مشترک از حادثه موقع بیرون رفتن از منزل در ابتدای صبح می‌باشد.

کار گروههای امداد، عدم وجود اطلاعات دقیق و مکانیزه برای راهنمایی و هدایت هر چه صحیح تر و سریع تر گروههای امداد.

با تحلیل اطلاعات مربوط به عامل ایجاد کننده خسارت‌های وارد به شبکه و با توجه به بالا بودن تعداد خسارت‌ها، موارد زیر نتیجه می‌شود:

۱- یک روش صحیح اطلاع‌رسانی توسط سایر ارگان‌ها، افراد حقیقی و حقوقی جهت انجام حفاری در سطح شهر وجود ندارد. به منظور رفع این مشکل، کلیه ارگان‌ها و افراد قبل از هرگونه اقدام به حفاری باید مورد را با واحد بهره‌برداری شرکت آب و فاضلاب مطرح، تا از وجود تأسیسات شبکه توزیع در آن منطقه مطلع شده و از رساندن خسارت به شبکه توزیع جلوگیری نمایند.

۲- یک روش صحیح اطلاع‌رسانی در شرکت‌های آبفا به دلیل عدم وجود اطلاعات به سایر ارگان‌ها وجود ندارد.

با بررسی تعداد حوادث بر روی لوله‌های با قطرهای مختلف و با توجه به حجم بالای حوادث به روی لوله با اندازه‌های ۰/۵ و ۰/۷۵ اینچ، بهتر است این لوله‌ها و لوازم مربوطه با جنس مرغوب خریداری و استفاده گردد. به عنوان مثال بهتر است از لوله‌های پلاستیکی جدید (سینتتیک) استفاده گردد.

۵- شاخصهای حوادث

در تجزیه و تحلیل‌های آماری از بین پارامترهای موجود، شاخصهایی که به خوبی بیانگر تمام جوانب مسئله باشند انتخاب و تجزیه و تحلیل لازم بر روی آنها انجام می‌شود. ویژگی شاخصها این است که می‌توان بر اساس آنها قضاوت یا مقایسه انجام داد. جدول ۲ تعدادی از شاخصهای انتخاب شده و مقادیر آنها را که به وسیله مدل تهیه شده محاسبه شده است نشان می‌دهد.

جدول ۲- شاخصهای مکانی حوادث در منطقه نمونه

مقدار	شاخص
۱۳/۵۸	نسبت تعداد حوادث شبکه توزیع به مجموع طول لوله‌های شبکه توزیع
۱۵/۳۱	نسبت تعداد حوادث انشعاب به مجموع طول لوله‌های شبکه توزیع
۰/۲۲	نسبت تعداد حوادث انشعاب به تعداد مشترکان
۱/۱۵	نسبت تعداد حوادث انشعاب به تعداد حوادث شبکه
۰/۴۵	نسبت تعداد حوادث شبکه به مجموع کل حوادث
۰/۵۲	نسبت تعداد حوادث انشعاب به مجموع کل حوادث
۰/۰۳	نسبت تعداد حوادث شیرآلات به مجموع کل حوادث

به عنوان نمونه شاخص نسبت تعداد حوادث شبکه توزیع به مجموع طول لوله‌های شبکه توزیع در منطقه مورد مطالعه، عدد ۱۳/۵۸ به دست آمده است. یعنی به ازای هر کیلومتر از شبکه توزیع بیش از ۱۳ حادثه اتفاق افتاده است که معرف نامناسب بودن زیرساخت‌های شبکه می‌باشد. همچنین شاخص نسبت تعداد حوادث انشعابات به مجموع طول لوله‌های شبکه توزیع (۱۵/۳۱) نشان دهنده وضعیت غیر استاندارد نصب و بهره برداری انشعابات در این منطقه می‌باشد که برای بهبود آن باید در کیفیت لوله‌ها و اتصالات و اجرای مناسب انشعابات دقت بیشتری شود. شاخصهای کشوری برای نسبت بین حوادث شبکه و حوادث انشعابات نسبت به طول کل لوله‌ها به ترتیب برابر ۴ و ۱۰ می‌باشد [۱].

شاخصهای زمانی طراحی شده در سیستم نیز، قابل محاسبه هستند. به این ترتیب می‌توان میانگین اختلاف زمان‌های اطلاع از حادثه، ابلاغ حادثه به گروههای امداد، حضور در محل حادثه، قطع جریان آب و پایان رفع حادثه توسط گروههای امداد را نسبت به هم محاسبه و اطلاعات مکانی و توصیفی هر حادثه که اختلاف زمان‌های آن از مقدار میانگین‌های به دست آمده بیشتر است را نمایش داد. شاخصهای زمانی حوادث در جدول ۳ ارائه شده است. بر اساس نتایج این جدول، شاخص زمانی اطلاع تا ابلاغ، اطلاع تا حضور و اطلاع تا پایان رفع حادثه به نسبت جمعیت و وسعت شهر و طول شبکه، زیاد است و نشان دهنده لزوم سرعت عمل بیشتر واحد امداد و حوادث است.

جدول ۳- شاخصهای زمانی حوادث در منطقه نمونه

مقدار	شاخص
۱/۵ ساعت	میانگین اختلاف فاصله زمانی اطلاع از حادثه و ابلاغ آن به گروه امداد
۳ ساعت و ۲۰ دقیقه	میانگین اختلاف فاصله زمانی اطلاع از حادثه تا حضور در محل حادثه
۶/۵ ساعت	میانگین اختلاف فاصله زمانی اطلاع از حادثه تا پایان رفع حادثه
۳ ساعت	میانگین اختلاف فاصله زمانی حضور در محل حادثه تا پایان رفع حادثه
۴۵ دقیقه	میانگین اختلاف فاصله زمانی حضور در محل حادثه تا زمان قطع جریان آب

یک سیستم GIS می‌تواند با جمع‌آوری و دسته‌بندی اطلاعات، پارامترهای پیچیده آماری به منظور تحلیل‌های خطی و غیر خطی شکست لوله‌ها را آماده نماید. علاوه بر آن با استفاده از GIS می‌توان تحلیل‌های مورد نیاز بر روی اطلاعات مکانی و توصیفی را با انجام برنامه‌نویسی‌های لازم انجام داد و نتایج به دست آمده از تحلیل‌های

آماري را به صورت گرافیکی بررسی و مشاهده نمود. اهم محاسبات و تحليلهای انجام شده در اين تحقيق عبارت اند از:

۵-۱- محاسبه حداقل حجم آب هدر رفته در اثر وقوع حوادث برای محاسبه نشت ناشی از حوادث، از رابطه معروف اریفیس^۱ استفاده می شود. با توجه به اینکه رابطه اریفیس مربوط به محاسبه میزان آب خارج شده از یک سوراخ در هوای آزاد می باشد، برای لوله های مدفون که خاک متراکم شده اطراف لوله ها را پوشانده است، این رابطه باید در ضریبی کمتر از یک ضرب گردد. این ضریب برای منافذ نشت به شکل سوراخ برابر ۰/۸ و برای منافذ به صورت ترک برابر ۰/۶ در نظر گرفته می شود [۱۶]. بنابراین برای محاسبه دبی نشت ناشی از حوادث از روابط زیر استفاده می شود.

$$Q_L = 84.043 C_d A P^{0.5} \quad (6)$$

که در آن

Q_L دبی نشت بر حسب لیتر در دقیقه، A سطح مقطع سوراخ یا ترک بر حسب سانتی متر مربع و P فشار بر حسب اتمسفر است. مقدار C_d برای سوراخ برابر ۰/۸ و برای ترک برابر ۰/۶ در نظر گرفته می شود.

در صورتی که لوله بر اثر حادثه کاملاً گردبر شده باشد، میزان دبی نشت علاوه بر فشار، به سطح مقطع لوله و فاصله بین دو قطعه جدا شده بستگی خواهد داشت و از رابطه زیر محاسبه می گردد.

$$Q_L = 158.417 a D P^{0.5} \quad (7)$$

که در آن

Q_L دبی نشت بر حسب لیتر در دقیقه، D قطر لوله بر حسب سانتی متر، a فاصله دو قطعه جدا شده لوله بر حسب سانتی متر و P فشار بر حسب اتمسفر می باشد.

اطلاعات به دست آمده حجم آب تلف شده ناشی از ۳۲۰ حادثه در سیستم GIS مطابق جدول ۴ است.

جدول ۴- محاسبه حجم آب تلف شده بر اثر وقوع حوادث

نوع نشت	حداقل مدت نشت (ساعت)	حجم نشت (مترمکعب)
سوراخ	۴۵۹/۳	۵۴۱۲۶/۱
گردبر	۲۸۶/۳	۱۶۸۶۵۳/۲
ترک	۲۸۸/۲	۲۸۴۰۲/۴

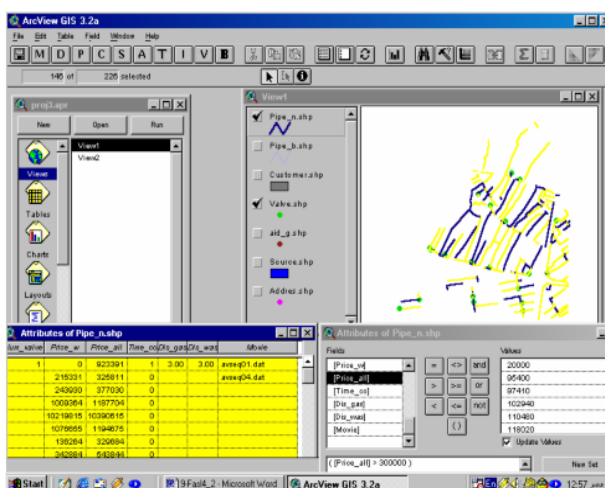
پس از محاسبه حداقل حجم آب هدر رفته برای هر حادثه در واحد زمان و ضرب آن در اختلاف زمان بین اطلاع از حادثه با

ساعت قطع آب یا ساعت پایان رفع حادثه که در محیط GIS محاسبه می گردد، گزارشهای مکانی مناسب از اطلاعات به دست می آید. به عنوان نمونه می توان گزارشی از اطلاعات مکانی و توصیفی حوادثی که حجم آب هدر رفته در آنها از مقدار مشخصی (مثلاً ۱۰۰۰ متر مکعب) بیشتر است را به دست آورده و پس از بررسی دلایل آن، نسبت به رفع مشکلات به صورت اصولی اقدام نمود.

۵-۲- محاسبه حداقل هزینه خسارات ناشی از هر حادثه در شبکه توزیع

محاسبه حداقل هزینه خسارات ناشی از هر حادثه با استفاده از اطلاعات زیر که در فرم های مربوطه هنگام رفع حادثه جمع آوری می گردند، انجام می شود: الف) میزان سطح تخریب، ب) میزان حجم خاک برداری، پ) ساعات کارکرد ماشین آلات به تفکیک، از قبیل خودرو، بیل مکانیکی و کامپرسور، ت) تعداد پرسنل گروه امداد که در رفع حادثه مشارکت داشته اند، ث) مدت زمان صرف شده برای رفع حادثه، ج) میزان و تعداد لوازم مصرفی به تفکیک، از قبیل لوله، شیرآلات و اتصالات. پس از آن با استفاده از قیمت های پایه، موارد بالا در جدولی جداگانه تهیه و به صورت سالانه به روز می گردد. پس از محاسبه حداقل هزینه هر حادثه، می توان گزارشهای مکانی مورد نیاز را تهیه نمود. مثلاً می توان گزارش اطلاعات مکانی و توصیفی حوادثی که هزینه آنها از مبلغ ۳۰۰۰۰۰ ریال بیشتر است را مطابق با شکل ۶ به دست آورده و دلایل آن را مورد بررسی قرار داد. همچنین به عنوان نمونه حداقل حجم آب هدر رفته و هزینه تمام شده یک حادثه در حالتی که نوع نشت گردبر باشد عبارت است از:

$$Q = 0.115 \text{ m}^3/\text{s}, \text{Vol}_e = 1656 \text{ m}^3, \text{Price} = 1828510 \text{ ریال}$$



شکل ۶- اطلاعات مکانی و توصیفی لوله هایی که هزینه حوادث آنها از ۳۰۰۰۰۰ ریال بیشتر است.

¹ Orifice

سایر تحلیلهای طراحی شده عبارتند از:

- بررسی موجودی انبار جهت گزارش به گروههای امداد؛
 - پیدا کردن لوله‌های دارای بیش از یک حادثه در بازه زمانی مشخص؛
 - به‌دست آوردن مجموع کل و میانگین سطح تخریب شده آسفالتی و خاکی؛
 - به‌دست آوردن اطلاعات مکانی و توصیفی لوله‌هایی از شبکه توزیع که در فاصله‌ای غیر استاندارد با لوله‌های گاز یا فاضلاب کابل‌های زمینی برق یا مخابرات قرار گرفته‌اند؛
 - تعیین نرخ شکست برای هر لوله.
- برای آشنایی با تمامی قابلیت‌های مدل به مرجع [۱۷] مراجعه شود.

۶- تحلیل آماری اطلاعات حوادث

یکی از شاخصهایی که از تحلیل نتایج حوادث به‌دست می‌آید تعیین رابطه بین نرخ شکست (حوادث) با پارامترهای جمع‌آوری شده از قبیل جنس، سن، قطر، فشار و ... می‌باشد. تهیه و اطلاع از این شاخصها در جهت مدیریت بهینه سیستم کمک مؤثری به تصمیم‌گیران است. به‌عنوان نمونه با ادغام نرم‌افزارهای آماری با سیستم GIS، روند شکست لوله‌ها بر اساس عمر و قطر لوله‌ها به‌صورت زیر بررسی گردید:

۶-۱- بررسی نرخ شکست در برابر قطر لوله‌ها

در منطقه مورد مطالعه با انجام تحلیل رگرسیون خطی بر روی آمار نرخ شکست و قطر لوله‌ها، رابطه بین نرخ شکست و قطر لوله‌ها به‌دست می‌آید. شکل ۷ این رابطه را برای لوله‌های آزیست در منطقه نمونه نشان می‌دهد. از این شکل مشاهده می‌شود که با افزایش قطر لوله‌ها، تعداد حوادث سالانه کاهش می‌یابد. در این حالت ضریب همبستگی بین داده‌ها برابر با ۰/۸۵ است که نشان دهنده همبستگی قوی بین داده‌ها می‌باشد. برای کنترل صحت برازش از آزمون F استفاده گردید. در این نمونه مقدار F برابر ۱۷ می‌باشد که از F آماری با درجه آزادی (۱ و ۳) که معادل ۱۰/۲۸ می‌باشد بزرگ‌تر بوده و صحت برازش به صورت خطی و با اطمینان ۹۵ درصد تأیید می‌شود. رابطه بین نرخ شکست و قطر لوله‌ها در منطقه مطالعاتی با رابطه ۸ نشان داده می‌شود:

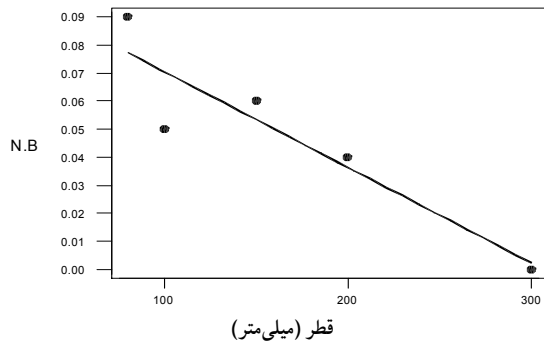
$$N.B. = 0.105 - 0.000342D \quad (8)$$

که در آن

N.B. نرخ شکست و D قطر لوله‌ها بر حسب میلی‌متر است.

$$Y = 0.104756 - 3.42E-04X$$

$$R-Sq = 0.850$$



شکل ۷- رابطه نرخ شکست سالانه بر حسب قطر لوله‌های آزیست

۶-۲- تحلیل رگرسیون بر اساس عمر و نرخ شکست لوله‌ها

در این تحلیل با استفاده از رگرسیون، رابطه سن لوله‌ها و نرخ شکست آنها مشخص می‌شود. به‌عنوان مثال برای لوله‌های آزیست با قطر ۱۰۰ میلی‌متر رابطه بین سن لوله‌ها و نرخ شکست در شکل ۸ نشان داده شده است. برای این داده‌ها ضریب همبستگی برابر با ۰/۸۹ و F برابر ۸/۱۷۳ که از F آماری با درجه آزادی (۱ و ۳) که معادل ۵/۵ است بزرگ‌تر بوده و صحت برازش با اطمینان ۹۰ درصد تأیید می‌شود. رابطه رگرسیون نرخ شکست بر حسب عمر لوله‌های آزیست با قطر ۱۰۰ میلی‌متر عبارت است از:

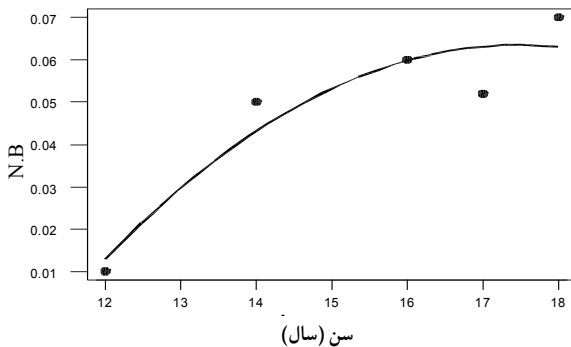
$$N.B. = -0.46 + 0.00594A - 0.0017A^2 \quad (9)$$

که در آن

A بیانگر سن لوله‌ها بر حسب سال می‌باشد.

$$Y = -4.6E-01 + 5.94E-02X - 1.70E-03X^2$$

$$R-Sq = 0.891$$



شکل ۸- رابطه نرخ شکست سالانه بر حسب عمر لوله‌های آزیست

با مشتق‌گیری از رابطه نرخ شکست بر حسب سن لوله و برابر با صفر نمودن آن، A برابر ۱۷/۵ و N.B. برابر ۰/۰۶ به‌دست می‌آید. بنابراین نتیجه می‌شود در هنگامی که عمر لوله‌ها در منطقه به ۱۷/۵ سال برسد نرخ شکست لوله‌ها به بالاترین مقدار خود خواهد رسید. بنابراین با توجه به شرایط موجود شبکه، عملیات بازسازی و نوسازی لوله‌ها در این سال قابل توجیه خواهد بود.

۷- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

با استفاده از سیستم GIS طراحی شده در این تحقیق، ابزار مناسبی برای مدیریت و کنترل سیستم حوادث ایجاد شد تا با در اختیار گرفتن اطلاعات دقیق و به موقع توسط گروه‌های امداد و حوادث، در اسرع وقت نسبت به رفع حادثه اقدام گردد. به‌طور کلی قابلیت‌های بالای جمع‌آوری، ذخیره، بازیابی، تجزیه و تحلیل و نمایش اطلاعات مکانی و توصیفی به‌صورت رقومی به‌کمک GIS، باعث می‌شود کلیه اطلاعات مکان مرجع، دقیق و تجزیه و تحلیل‌های مورد نیاز رفع حادثه قابل انجام باشد از جمله: ارائه محل دقیق وقوع و ارائه مسیر بهینه به منظور دسترسی سریع و به‌موقع به محل حادثه، ارائه کلیه اطلاعات رقومی تجهیزات شبکه در منطقه مورد نظر، ایجاد ارتباط و استفاده از اطلاعات سایر شرکتهای خدمات شهری، کنترل موجودی انبار و مشخص نمودن تجهیزات و وسایل مصرفی مورد نیاز رفع حادثه، نمایش و پایش سه بعدی عوارض منطقه حادثه دیده، همچنین پشتیبانی سیستم چند رسانه‌ای و سایر موارد با اطلاع‌رسانی صحیح و به‌موقع به گروه‌های امداد در کاهش کلیه زمان‌های مرتبط با رسیدگی رفع حوادث، تأثیرات مهم و قابل توجهی دارد. از طرفی بررسی و تحلیل دلایل ایجاد حادثه، تعیین نقاط آسیب‌پذیر شبکه، محاسبه انواع شاخص‌های زمانی و مکانی حوادث و سایر موارد، تأثیرات مهم و قابل توجهی در راستای جلوگیری از وقوع حوادث بعدی دارد. تحلیل‌های ارائه شده در این تحقیق با توجه به بررسی سیستم‌های حوادث از بعد مکانی در سطح کشور حائز اهمیت است.

پس از طی مراحل بالا نتایج زیر به‌دست آمد. با بررسی شاخص‌های به‌دست آمده، شاخص تعداد حوادث شبکه توزیع به

مجموع طول لوله‌های شبکه توزیع در منطقه مورد مطالعه، برابر ۱۳/۵۸ می‌باشد. مقدار این شاخص بالا بوده و فرسودگی شبکه توزیع را نشان می‌دهد. شاخص اختلاف فاصله زمانی اطلاع از حادثه تا پایان رفع حادثه در منطقه مورد مطالعه، ۶/۵ ساعت می‌باشد. مقدار این شاخص نیز بالا بوده و با استفاده از سیستم GIS حوادث باید نسبت به کاهش آن اقدام گردد. بیشترین نحوه اطلاع مراکز از وقوع حوادث به‌صورت تلفنی (۵۲ درصد) است. در این حالت بهتر است از سیستم‌های مکانیزه ضبط مکالمات استفاده گردد. ۷۸ درصد پوشش سطح محل حادثه، آسفالت می‌باشد. بنابراین باید تجهیزات مناسب به‌منظور تخریب سطح محل حادثه پیش‌بینی گردد. بالا بودن تعداد حوادث توسط عوامل خارجی ایجاد حادثه، نشان دهنده غیراستاندارد بودن فواصل قرار گرفتن لوله‌ها و کابل‌های سازمان‌های خدمات شهری نسبت به یکدیگر و همچنین عدم وجود اطلاعات مکانی مناسب از تجهیزات مورد نظر است. بالا بودن درصد شکستگی (۴۵ درصد) نسبت به سایر انواع حادثه، فرسودگی شبکه را نشان می‌دهد. بالا بودن درصد منفذ نشت به‌صورت سوراخ (۵۰ درصد) نسبت به سایر منافذ نشت بیانگر بالا بودن میزان تأثیر خوردگی در سیستم و آثار ضربه به لوله‌ها است. با استفاده از نرم‌افزار تهیه شده مدیران شبکه‌های آب قادر به شناخت همه جانبه ابعاد حوادث شبکه و انجام اقدامات پیشگیرانه لازم خواهند بود که این امر باعث کاهش تلفات آب و خسارت اقتصادی ناشی از حوادث می‌گردد. در نهایت با تحلیل آماری اطلاعات و به‌دست آوردن رابطه نرخ حوادث با عمر و قطر لوله‌ها شاخص‌های مناسبی برای اقدامات لازم جهت تصمیم‌گیری برای نشت‌یابی و یا نوسازی شبکه ایجاد می‌گردد.

۸- مراجع

- ۱- بیگی، ف. (۱۳۷۸). "آسیب شناسی شبکه‌های توزیع آب شهری." م. آب و محیط زیست، ۳۷، ۲۵-۱۷.
- 2- Eiswirth, M., Heske, C., Burn, L.S., and Desilva, D. (2001). "New methods for water pipeline assessment." *Proc. of the 1st IWA World Water Congress*, Berlin, Germany.
- ۳- تابش، م. و هنری، ح.ر. (۱۳۸۱). "تحلیل حوادث شبکه‌های توزیع آب شهری (مطالعه موردی)." م. آب و محیط زیست، ۵۰، ۲۳-۱۷.
- ۴- طرح ملی تحقیق، توسعه و بهسازی آب کشور. (۱۳۷۸). *راهنمای عملیاتی کاهش و کنترل آب به حساب نیامده، شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، تهران.*
- 5- Chowdhury, M.A.I., Ahmed, M.F., and Gaffar, M.A. (2002). "Management of nonrevenue water four cities of Bangladesh." *J. AWWA*, 94(8), 64-75.
- 6- AWWA Leak Detection and Water Accountability Committee. (1996). "Committee report on water accountability." <<www.awwa.org/Resources/Water Loss Control. cfm? Item Number=47874>> (May 2008)
- 7- Huxhold, W.E., Tierney, P.S., Turnpugh, D.R., Maves, B.G., and Cassidy, K.T. (1997). *GIS County User Guide-Laboratory Exercises In Urban Geographic Information Systems*, 1st Ed., Oxford University Press.
- 8- Choi, B., and Choi, G. (2000). "A development of deterioration estimation and management system on water lines using GIS." <http://www. fig. net/figtree/ pub/ proceedings/korea/abstracts/pdf/session 9/choi-choi-abs.pdf>. (May, 2008).

- 9- Poulton, M.D., and Conroy, P.J. (2001). "GIS-Based analysis for selecting water distribution mains for rehabilitation." *Proc. of the 1st IWA World Water Congress*, Berlin, Germany.
- 10- Jacobs, P., and Karney, B. (1994). "GIS development with application to cast iron water main breakage rates." *Proc., 2nd Int. Conf. on Water Pipeline Systems*, BHR Group Ltd., Edinburgh, Scotland, 53-62.
- 11- Kettler, A.J., and Goulter, I. (1985). "An analysis of pipe breakage in urban water distribution networks." *Can. J. Civ. Eng.*, 12, 286-293.
- ۱۲- تابش، م. و عابدینی، ا.ع. (۱۳۸۴). "تحلیل شکست لوله‌ها در شبکه‌های آبرسانی شهری." *مجله تحقیقات منابع آب ایران*، ۱(۱)، ۷۸-۸۹.
- ۱۳- طرح ملی تحقیق، توسعه و بهسازی آب کشور. (۱۳۷۸). *طرح جامع سیستم اطلاعات مکانی آب و فاضلاب شهری*، شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، تهران.
- ۱۴- طرح ملی تحقیق، توسعه و بهسازی آب کشور. (۱۳۷۸). *دستورالعمل حوادث و اتفاقات شبکه آبرسانی*، شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، تهران.
- 15- Petrie, G., and Kennie, T.J.M. (1990). *Terrain modelling in surveying and civil engineering*, 1st Ed., Whittles Publishing In Association With Thomas Telford, England.
- 16- California Department of Water Resources. (1992). *Water audit and leak detection guidebook*, 1st Ed., State of California Department of Water Resources, Water Conservation Office and American Water Works Association, California-Nevada Section.
- ۱۷- جعفری، ه. (۱۳۸۲). "مدیریت و مدلسازی حوادث و اتفاقات در شبکه‌های توزیع آب شهری با استفاده از سیستم‌های اطلاعات مکانی (GIS)." پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشکده فنی، دانشگاه تهران.