



Analysis of Pipe Failure in Water distribution Networks

M. Tabesh¹ and A. Abedini²

Abstract

In this paper different methods for analysis of pipes breakage in urban water distribution networks are investigated. At first, it is necessary to obtain complete and exact information about the failures in the networks. Thus, a suitable form was designed for gathering the required information including all the necessary parameters for the analysis. Then the rates of annual pipe failures were assessed based on the diameter, age and availability of pipes. Mechanical reliability (availability) of network components is the probability that component is performing well in the networks during its lifetime. The results show that the rate of breakage is decreased by increasing the diameter in all pipe types (e.g. Steel, Asbestos Cement). Assessing the availability of the pipes according to their diameter and length reveals an increase in availability by increasing the diameter but a decrease in availability by increasing the length of the pipes. It is also seen that the rate of water loss decreases by increasing the diameter of pipes. Furthermore, an increase in the rate of failures is observed when pipes are aging. The results of pipe breakage analysed. introduced in this paper provide helpful information to be used in design, operation and rehabilitation of pipe networks.

Keywords: Water Distribution Networks, Pipe failure, Availability, Water loss

تحلیل شکست لوله‌ها در شبکه‌های آبرسانی شهری

مسعود تابش^۱ و امیر عباس عابدینی^۲

چکیده

در این مقاله روشهای تحلیل شکست لوله‌ها در شبکه‌های آبرسانی شهری مورد بررسی قرار گرفته است. انجام تحلیل، نیازمند اطلاعات کامل و دقیق از حوادث در شبکه‌های آبرسانی است. بنابراین سعی شده است، فرمتی مناسب برای جمع‌آوری اطلاعات ارائه شود به گونه‌ای که در برگینده تمام داده‌های لازم برای انجام تحلیل باشد. در ادامه، روند تغییر تعداد حوادث سالانه در برابر قطر و سن لوله و همچنین قابلیت کاربری لوله‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. قابلیت کاربری مکانیکی اجزای شبکه‌های آبرسانی شهری به میزان احتمال اینکه آن جزء شبکه در طول عمر مفید خود بدون بروز حادثه یا خرابی در مدار بوده و به وظیفه خود عمل می‌کند، اطلاق می‌شود. مشاهده می‌شود که با افزایش قطر، میزان نرخ شکست لوله‌ها کاهش یافته و قابلیت کاربری لوله افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش طول لوله قابلیت کاربری آن کاهش می‌یابد. افزایش سن لوله نیز باعث افزایش میزان نرخ شکست لوله‌ها می‌شود. با استفاده از شاخص قابلیت کاربری، مدیریت شبکه ابزار مناسبی برای ارزیابی وضعیت مکانیکی شبکه در دست دارد که به هنگام تهیه استراتژی بازسازی و تعویض لوله‌ها نیز می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: شبکه‌های توزیع آب شهری، شکست لوله‌ها، حوادث،

قابلیت کاربری، قطر لوله، سن لوله.

¹-Department of Civil Engineering, University of Tehran, P.O.Box 11365
4563 Tehran, Iran, E-mail: mtabesh@ui.ac.ir

^۲ استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی، دانشگاه تهران
دانشجوی دکتری مهندسی عمران، دانشکده فنی، دانشگاه تهران

می‌شود، ولی مبنای محاسبه درصدها، تعداد کل لوله‌های مورد بررسی می‌باشد. با انجام تحلیل رگرسیون رابطه ای بین درصد تعداد لوله‌ها و دو متغیر سن لوله و تعداد حوادث برای هر لوله بدست

می‌آید. لازمه انجام این تحلیل داشتن اطلاعات دقیق حوادث هر یک از لوله‌ها از زمان کارگذاری است که در کمتر شبکه‌ای یافت می‌شود. (Kettler, Goulter (1985) با استفاده از داده های شهر وینیپگ کانادا نشان دادند که نرخ شکست (تعداد شکستهای سالانه در واحد طول) با افزایش قطر لوله کاهش می‌یابد و رابطه بین آنها با همبستگی زیاد، خطی است.

(Kettler and Goulter (1985 در همان سال با استفاده از داده های شهر وینیپگ به بررسی ارتباط شکست لوله‌های آبست و چدن با زمان پرداختند. در این تحقیق پارامتر زمان به صورت تعداد فصلهای زمستان که از زمان نصب لوله می‌گذرد در نظر گرفته شد. برای هر دو نوع لوله با افزایش سن لوله، افزایش تعداد شکستهای سالانه دیده شد و نتیجه‌گیری شد که این افزایش با یک همبستگی متوسط، خطی است.

(Su et al. (1987 با استفاده از داده‌های شهر سنت لوئیس یک رابطه غیرخطی بین نرخ شکست و قطر لوله‌های این شهر بدست آوردند که در آن نرخ شکست با افزایش قطر بطور غیرخطی کاهش می‌یابد. نوع دیگر تحلیل، بررسی زمانی و مکانی حوادث است. (Goulter and Kazemi (1988, 1989) با استفاده از تحلیل رگرسیون چندگانه نشان دادند که در شهر وینیپگ کانادا احتمال وقوع شکست برای لوله‌های اصلی در یک فاصله زمانی و مکانی کوتاه از شکست قبلی بسیار زیاد است. در این تحقیق فاصله زمانی ۶۰ روز و فاصله مکانی ۲۰ متر مورد بررسی قرار گرفت. نتایج (Goulter et al. (1993 نشان داد که احتمال وقوع بیش از یک حادثه دقیقاً در محل حادثه قبلی به شدت کاهش می‌یابد. لازم به تذکر است که انجام این تحلیل مستلزم اطلاعات دقیق از زمان و محل کلیه حوادث در یک دوره زمانی طولانی است.

قابلیت کاربری مکانیکی توسط محققین متعددی از جمله (Mays (1989, Cullinane et al. (1992, Su et al. (1987) و همچنین، (Kettler, Goulter (1985), Fujiwara, Tung (1991), Khomsi et al. (1996) مورد بررسی قرار گرفته و راه حل‌های مختلفی در این رابطه ارائه شده است. برای آشنایی با سابقه قابلیت اطمینان هیدرولیکی به (Tabesh (1998 مراجعه شود. (Cullinane et al. (1992 برای محاسبه قابلیت کاربری اجزای شبکه مانند شیرآلات، پمپ‌ها و مخازن ذخیره، روشی ارائه دادند. در این روش با استفاده از آمار حوادث پمپ‌ها، شیرآلات و مخازن ذخیره آب، روابط تقریبی بین قابلیت کاربری و شاخص‌هایی از قبیل قطر لوله متصل به شیر، ظرفیت

حوادث شبکه‌های آبرسانی شهری یکی از عوامل مهم تلفات آب به حساب می‌آیند. این حوادث باعث اتلاف سرمایه مادی و انسانی (برای تعمیر و بازسازی شبکه) نیز می‌شوند. علاوه بر این هر حادثه به علت کاهش فشار و یا قطع آب در بخشی از شبکه باعث کاهش قابلیت اطمینان شبکه می‌شود که نتیجه آن نارضایتی مصرف‌کننده است. با توجه به نقش حیاتی آب در زندگی و کمبود منابع آب قابل شرب در کشور و همچنین هزینه‌های گزاف تعمیر و بازسازی شبکه، باید سعی شود با کاهش تعداد حوادث شبکه‌های آبرسانی شهری، تلفات آب را به حداقل ممکن رساند و هزینه‌های تعمیر و بازسازی شبکه را نیز کاهش داد. در این صورت قابلیت اطمینان شبکه نیز افزایش می‌یابد. در این راستا لازم است در ابتدا با بررسی کامل و دقیق حوادث شبکه، عوامل موثر در ایجاد حادثه و تاثیر مشخصات لوله‌ها در تعداد حوادث شناخته شود و سپس با شناخت کامل حوادث و عوامل موثر در ایجاد آن، راهکارهایی برای کنترل و کاهش تعداد حوادث شبکه آبرسانی شهری ارائه شود.

شبکه‌های آبرسانی شهری از چهار بخش اصلی تشکیل شده‌اند که عبارتند از: پمپ‌ها، مخازن ذخیره آب، لوله‌ها و شیرها. پارامترهای موثر در ایجاد حوادث در لوله‌ها که پر استفاده‌ترین جزء در شبکه هستند عبارتند از: حرکت خاک اطراف لوله، فشار زیاد آب، ضربه، قدمت لوله‌ها، استفاده از مصالح نامناسب، نصب غلط، خوردگی خاک و آب. در رابطه با پمپ‌ها نیز ضربه قوچ و در مورد شیرآلات، شکستگی، خوردگی و خرابی واشر واتصال‌ها از علل شایع ایجاد حوادث هستند. در طول چند دهه اخیر مطالعات مختلفی برای بررسی شکست اجزاء (به ویژه لوله‌ها) در شبکه های آب شهری انجام گرفته است. گام اول برای تحلیل شکست لوله‌ها مطالعه حوادث لوله‌ها و تعیین تعداد شکست‌ها در لوله‌های اصلی و فرعی است. تعداد شکست لوله‌های اصلی در شهرهای دیترویت، نیویورک، فیلادلفیا و ایندیاناپولیس توسط (Arnold (1960, Niemeyer (1960; Clark (1960; Remus (1960) مورد بررسی قرار گرفته است. (Shami and Howard (1979 برای در نظر گرفتن مسائل اقتصادی شکست لوله‌ها در تعویض لوله‌ها ارائه کردند. با استفاده از این تحلیل، زمان بهینه برای تعویض لوله‌ها مشخص می‌شود.

تحلیل بقاء یکی دیگر از روشهای تحلیل اطلاعات حوادث است. برای انجام این تحلیل تعداد حوادث روی هر لوله از ابتدای زمان نصب و تاریخ وقوع هر یک باید مشخص باشند. بطور مثال تحقیقات (Clark et al. (1982 بر روی حوادث در دو شهر سینسینتی و اوهایو آمریکا نشان داد که در طول یک دوره ۴۰ ساله، با در نظر گرفتن تعداد حوادث برای هر لوله در هر سن (از زمان نصب لوله تا آن سن) ۵۲/۵ درصد لوله‌ها بدون حادثه، ۴۸ درصد دارای یک حادثه و ۳۰ درصد دارای دو حادثه بوده‌اند. لازم به توضیح است که تعداد لوله‌ها در هر سن بصورت تجمعی با سن‌های بالاتر محاسبه

مخزن و دبی پمپ بدست می‌آید. Babovic and Drecourt (2000) و Skipworth et al. (2000) با استفاده از اطلاعات حوادث لوله‌ها در کشورهای دانمارک و انگلیس نسبت به دسته‌بندی و تحلیل حوادث اقدام کردند. اخیراً نیز بیگی (۱۳۷۸)، عابدینی (۱۳۷۹) و تابش و هنری (۱۳۸۱) با استفاده از داده‌های مربوط به شهرهای ایران میزان شکست و خرابی در لوله‌ها و انشعاب‌ها را مورد بررسی قرار داده و روابطی بین تعداد شکست و برخی از شاخص‌ها ارائه کردند.

با توجه به اینکه اطلاعات اندکی در مورد وضعیت حوادث در شبکه‌های آب شهری کشور ایران در دسترس است و اطلاعات موجود هم بدلیل عدم دقت و صحت مناسب قابل اتکاء نیستند در این مقاله سعی شده است ضمن پیشنهاد یک روش جامع برای جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل اطلاعات، آن دسته از تحلیل‌هایی که بر روی داده‌های موجود در کشور ایران قابلیت اجرا دارد را معرفی و روابط میان شکست لوله‌ها و شاخص‌های مختلف را بدست آورد. با انجام رگرسیون بر روی داده‌ها می‌توان نسبت به تولید شاخص‌های لازم جهت ارتباط تعداد حوادث و یا نرخ شکست بر حسب سن لوله‌ها (قدمت)، قطر لوله‌ها و میزان تلفات آب تصمیم‌گیری کرد.

۲- روش کار

بررسی، تجزیه و تحلیل حوادث لوله‌ها بر اساس آمار و اطلاعات موجود از حوادث شبکه‌های آبرسانی انجام می‌شود. درتخلی‌های آماری از بین شاخص‌های موجود، شاخص‌هایی که به خوبی بیانگر همه جوانب مساله باشند انتخاب و تحلیل بر روی آنها انجام می‌شود. ویژگی شاخص‌ها این است که می‌توان بر اساس آنها قضاوت یا مقایسه انجام داد. به عنوان اولین شاخص می‌توان تعداد کل شکست‌های سالانه را در نظر گرفت. با تقسیم تعداد شکست‌های سالانه بر طول لوله‌ها شاخص دیگری با نام نرخ شکست بدست می‌آید. نرخ شکست برابر است با تعداد شکست‌های سالانه به ازای واحد طول لوله. شاخص‌های دیگری که می‌توان به آنها اشاره کرد عبارتند از: نسبت تعداد کل حوادث انشعاب‌ها به تعداد کل حوادث شبکه، نسبت تعداد کل حوادث انشعاب‌ها به طول شبکه توزیع آب یا تعداد حوادث انشعاب‌ها به ازای واحد طول شبکه. می‌توان به جای شاخص تعداد حوادث انشعاب‌ها به ازای واحد طول شبکه، با تقسیم تعداد کل حوادث انشعاب‌ها به تعداد کل مشترکین، شاخص تعداد حوادث انشعاب‌ها به ازای هر مشترک را به کار برد.

برای مقایسه تعداد شکست در ماه‌های مختلف سال می‌توان از شاخص درصد تعداد حوادث ماهانه استفاده کرد. این شاخص برابر است با نسبت تعداد حوادث در هر ماه به کل حوادث در سال. با استفاده از این شاخص ماه‌های پر حادثه و کم حادثه مشخص می‌شوند. همچنین می‌توان برای بررسی احتمال وقوع شکست در ساعت‌های مختلف شبانه روز از شاخص درصد تعداد حوادث ساعتی استفاده برد. معمولاً این شاخص برای مجموع

چند ساعت به کار می‌رود. برای نمونه می‌توان یک روز را به شش دسته چهار ساعتی تقسیم کرد و مقدار این شاخص را از تقسیم تعداد کل حوادث که در طول یکسال در مقطع زمانی مورد نظر اتفاق افتاده به کل حوادث سالانه به دست آورد. با استفاده از این شاخص معین می‌شود که در چه ساعتی از شبانه روز بیشترین احتمال وقوع حادثه وجود دارد.

شاخص دیگر قابلیت کاربری (Availability) لوله‌هاست. حوادث شبکه باعث کاهش قابلیت اعتماد سیستم می‌شوند. به علت اینکه در شبکه‌های آبرسانی بسیاری از اجزا قابل تعمیر هستند، شاخص قابلیت کاربری برای سیستم‌های توزیع آب از شاخص قابلیت اعتماد مکانیکی مناسبتر است (Mays, 1989). بر اساس مطالعات (Ang and Tang, 1984) قابلیت کاربری مکانیکی یک جزء (P₀) برابر است با

$$P_0 = \frac{\mu_x}{\mu_x + \mu_y} \quad (1)$$

که μ_x مقدار متوسط زمان بین حوادث، μ_y مقدار متوسط زمان هر تعمیر است، و P₀ قابلیت کاربری یک جزء است. با داشتن اطلاعات مربوط به حوادث و اتفاقات تک تک لوله‌ها، بگونه‌ای که برای هر لوله تاریخ وقوع حوادث و زمان صرف شده برای تعمیر هر حادثه مشخص باشد، می‌توان برای هر لوله μ_x و μ_y را محاسبه کرد. با داشتن μ_x و μ_y برای لوله‌های با قطر متفاوت و انجام تحلیل رگرسیونی، می‌توان رابطه‌ای بین μ_x و μ_y و قطر لوله بدست آورد. با جاگذاری این روابط در رابطه P₀، روند تغییرات قابلیت کاربری در برابر قطر لوله بدست می‌آید.

در صورتی که اطلاعات موجود شامل حوادث تک تک لوله‌ها نباشد برای برآورد قابلیت کاربری از فرمول زیر استفاده می‌شود:

(Fujiwara and Tung, 1991).

$$a_i = \frac{\alpha_i}{\alpha_i + \beta_i} \quad \beta_i = L_i \mu_i \quad (2)$$

که α_i = تعداد تعمیرهای مورد انتظار لوله در واحد زمان و β_i = تعداد شکست‌های لوله در همان دوره زمانی است، L_i = طول لوله و μ_i = نرخ شکست لوله‌ها (تعداد حوادث سالانه در هر کیلومتر) است.

تحلیل شکست لوله‌های شبکه آبرسانی شهری بر اساس آمار و اطلاعات شکست لوله‌ها انجام می‌گیرد. به همین منظور شرط انجام تحلیل جامع و کاربردی، داشتن اطلاعات کامل و دقیق حوادث و اتفاقات لوله‌ها است. در حال حاضر در کشور روش جامعی برای جمع‌آوری صحیح اطلاعات و استفاده از آن وجود ندارد و با سیستم کارگری موجود، اولاً اطلاعات به صورت کامل جمع‌آوری نمی‌شود، ثانیاً اطلاعات جمع‌آوری شده دقیق و کاملاً صحیح نیست. بنابراین لازم است قبل از هر اقدامی به جمع‌آوری

اطلاعات توجه شود به گونه‌ای که اطلاعاتی کامل و دقیق برای انجام تحلیل به دست آید. در این راستا باید سعی شود که چارچوب مناسبی برای جمع‌آوری اطلاعات در شرکتهای آب و فاضلاب کل کشور بوجود آید تا از این طریق با اصلاح سیستم موجود جمع‌آوری اطلاعات، امکان دسترسی به اطلاعات دقیق و کامل برای انجام تحلیل فراهم شود. برای ایجاد چنین فرمتی باید ابتدا مشخص شود که در هر حادثه چه اطلاعاتی باید ثبت شود. در هر حادثه جمع‌آوری این اطلاعات الزامی است: آدرس محل حادثه، تاریخ و ساعت وقوع حادثه، جنس، قطر و طول لوله، شکل و ابعاد شکستگی، فشار آب داخل لوله، عمق قرارگیری لوله، دمای آب، مدت زمان تعمیر، محل حادثه اعم از لوله اصلی یا انشعاب، سال نصب لوله (سن لوله) و هر گونه اطلاعات دیگری که می‌تواند مفید باشد. برای اولین بار یک فرم جامع جهت ثبت اطلاعات مربوط به حوادث در سال ۱۳۷۸ ه.ش از سوی شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور تهیه شده که متأسفانه به علت کمبود آگاهی و امکانات لازم، در عمل کمتر مورد استفاده قرار گرفته است. افزون بر موارد فوق باید نقشه کاملی از سیستم توزیع آب به همراه همه متعلقات آن در دست باشد و بعد از هر حادثه مشخص شود حادثه مربوط به کدام لوله است که در این صورت تعداد حوادث مربوط به هر لوله مشخص می‌شود. این کار به علت طول زیاد لوله‌ها در شبکه بسیار مشکل و وقت‌گیر است و راه حل عملی آن کدگذاری اجزای شبکه است. بدین ترتیب که برای هر لوله، هر شیر و هر گره (محل تغییر در قطر یا تقاطع لوله‌ها) یک کد اختصاص داده شود. به همین منظور استفاده از سیستم GIS (Geographical Information System) بسیار کارساز است. با فرض جمع‌آوری کامل و دقیق اطلاعات پس از یک دوره زمانی، حجم زیادی از اطلاعات به دست می‌آید. هرچه اطلاعات بیشتر باشد، استفاده و نتیجه‌گیری از آنها مشکل تر و احتیاج به صرف وقت بیشتری دارد. بنابراین برای استفاده و نتیجه‌گیری از آنها باید اطلاعات را در قالب جداول و نمودارها بر حسب شاخص‌های مختلف دسته‌بندی کرد. بدین ترتیب که جدول‌ها و نمودارها تغییرهای یک شاخص را در برابر مشخصات لوله در دوره‌های زمانی مشخص نشان دهند.

برای کنترل صحت برازش انجام شده از آزمون F استفاده می‌شود. در آزمون F با استفاده از جدول تجزیه واریانس (ANOVA) مقداری برای F به دست می‌آید که با مقدار حاصل از توزیع F با درجه آزادی (1, n-2) در سطح خطای p مقایسه می‌شود (n تعداد متغیرها در رگرسیون است). اگر مقدار F بزرگتر از مقدار حاصل از توزیع F (F آماری) باشد رگرسیون در سطح خطای p قابل قبول است. در این مورد مقدار F برابر ۲/۹۸ است که از F آماری در سطح خطای ۰/۱ (۵/۵۴) کوچکتر است، در نتیجه امکان وجود رابطه خطی بین تعداد شکست‌های سالانه و قطر لوله‌های فولادی رد می‌شود. بنابراین از تحلیل رگرسیونی غیر خطی استفاده می‌شود که نتیجه آن با فرمول زیر بیان می‌شود:

$$N.B. = 0.2558 + 5.5779 e^{-D} \quad (3)$$

$$r^2 = 0.9602$$

که N.B. تعداد حوادث سالانه و D قطر لوله بر حسب اینچ است و r^2 توان دوم ضریب همبستگی (r) است که نشان دهنده شدت رابطه بین دو متغیر است. با استفاده از تغییر متغیر $Y = N.B.$ و $X = e^{-D}$ و تبدیل رابطه فوق به یک رابطه خطی، ضریب همبستگی برابر ۰/۹۸ به دست می‌آید که نشان دهنده همبستگی بسیار قوی است و مقدار F برابر ۷۲/۴۵ است که از F آماری در سطح ۰/۰۱ (۳۴/۱۲) بزرگتر است. بنابراین برازش کاملاً صحیح است و با اطمینان ۹۹ درصد می‌توان گفت که روند تغییرات تعداد حوادث سالانه لوله‌های فولادی در برابر قطر لوله در شهر بوشهر از معادله فوق پیروی می‌کند. این رابطه برای قطرهای یک تا شش اینچ قابل استفاده است. در شکل (۲) نمودار معادله فوق نشان داده شده است. با توجه به این شکل ملاحظه می‌شود که روند تغییرها نزولی است، یعنی با افزایش قطر، تعداد حوادث سالانه کاهش می‌یابد. همچنین میزان کاهش تعداد حوادث سالانه نیز با افزایش قطر کاهش می‌یابد، زیرا با افزایش قطر، شیب منحنی کاهش می‌یابد. همانطور که گفته شد با تغییر متغیر $Y = N.B.$ و $X = e^{-D}$ رابطه مورد نظر به یک رابطه خطی تبدیل می‌شود.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x \quad \beta_0 = 0.25588 \quad \beta_1 = 5.5779 \quad (4)$$

برای تعیین فواصل اطمینان عرض از مبدا (β_0) و ضریب زاویه (β_1) به صورت زیر عمل می‌شود. در ابتدا خطای معیار برای عرض از مبدا ($se(\hat{\beta}_0)$) و ضریب زاویه ($se(\hat{\beta}_1)$) با استفاده از فرمول‌های زیر به دست می‌آید:

$$se(\hat{\beta}_0) = \left[\frac{RSS}{n-2} \times \left(\frac{1}{n} + \frac{\bar{x}^2}{SXX} \right) \right]^{1/2} \quad (5)$$

$$se(\hat{\beta}_1) = \left(\frac{RSS}{(n-2)SXX} \right)^{1/2} \quad (6)$$

که RSS مجموع مربع باقیمانده‌ها، SXX مجموع مربع تصحیح شده x_i ها، \bar{x} میانگین نمونه x_i ها و n تعداد حالات (نقاط) برازش است. در

۳- ارزیابی نتایج آنالیز داده‌ها در مناطق نمونه

۳-۱ بررسی روابط شکست لوله در برابر قطر لوله

برای بررسی روابط شکست لوله در برابر قطر از اطلاعات حوادث لوله‌های فولادی شبکه آبرسانی شهر بوشهر استفاده می‌شود. با توجه به جدول (۱) اطلاعات حوادث و اتفاقات لوله‌های فولادی از قطر ۰/۵ تا ۶ اینچ در شهر بوشهر موجود است. معمولاً دو قطر ۰/۵ و ۰/۷۵ اینچ مربوط به انشعاب‌های خانگی هستند. مبنای آنالیز از قطر یک تا شش اینچ در نظر گرفته شده است. شکل (۱) نشان می‌دهد که با افزایش قطر لوله، تعداد حوادث سالانه کاهش می‌یابد. با انجام تحلیل رگرسیونی خطی، ضریب همبستگی بین داده‌ها برابر است با $r = -0.706$ که نشان دهنده همبستگی متوسط بین داده‌هاست، همچنین علامت منفی بیانگر نزولی بودن روند تغییرهاست.

نمودار مواردی که از الگوی سایر داده‌ها پیروی نکنند در اصطلاح نقاط بیرونی به حساب می‌آیند. برای تعیین نقاط بیرونی در ابتدا با تقسیم کردن \hat{e}_i بر برآورد خطای معیار، مقدار t_i که در اصطلاح باقیمانده‌های \hat{e}_i درون استیودنت شده نامیده می‌شوند، به دست می‌آید.

$$r_i = \frac{\hat{e}_i}{\sqrt{\frac{RSS(1-h_{ii})}{n-2}}} \quad (12)$$

$$RSS = SYY - \frac{(SXY)^2}{SXX} \quad (13)$$

$$h_{ij} = \frac{1}{n} + \frac{(x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{SXX} \quad (14)$$

$$SXX = \sum x_i^2 - n(\bar{x})^2 \quad (15)$$

$$SYY = \sum y_i^2 - n(\bar{y})^2 \quad (16)$$

$$SXY = \sum x_i y_i - n\bar{x}\bar{y} \quad (17)$$

سپس مقدار t_i که مبنای آزمون است با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$t_i = r_i \left(\frac{n-p'-1}{n-p'-r_i^2} \right)^{1/2} \quad (18)$$

در اصطلاح t_i را باقیمانده به طور بیرونی استیودنت شده می‌نامند. مقادیر به دست آمده برای t_i با مقادیر حاصل از توزیع t برای حالت $(\alpha/n) \times 100\%$ و درجه آزادی $n-p'-1$ یعنی $t(\alpha/n; n-p'-1)$ مقایسه می‌شوند. در صورتیکه مقادیر t_i بزرگتر از مقادیر حاصل از توزیع باشند آن نقطه، یک نقطه بیرونی به حساب می‌آید. در فرمول فوق مقدار n برابر تعداد حالت‌ها و p' برابر $p+1$ + تعداد پیش‌بینی‌هاست که در حالت رگرسیون خطی ساده $p'=2$ است.

در شکل (۴) نمودار \hat{e}_i در برابر \hat{y}_i نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود که به طور تقریبی همه تمامی داده‌ها دارای یک الگو هستند. این مطلب نشان دهنده ثابت بودن واریانس باقیمانده‌ها (که از فرضهای اولیه برازش به دست می‌آید) است. البته برای کنترل این مطلب، نقاط بیرونی برای همه حالت‌های مقدار t_i محاسبه می‌شود. روند محاسبه در جدول (۲) نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود که بزرگترین مقدار t_i برابر $2/67$ است که از مقدار بحرانی آزمون نقاط بیرونی در سطح معنی‌دار $0/5$ و $n=5$ و $p'=2$ ($9/925$) کوچکتر است. بنابراین هیچ نقطه بیرونی در بین داده‌ها وجود ندارد و برازش کاملاً صحیح است.

این صورت فواصل اطمینان $100 \times (1-\alpha)$ برای عرض از مبدا و ضریب زاویه به صورت زیر به دست می‌آید:

$$\hat{\beta}_0 - t(\alpha, n-2) \times se(\hat{\beta}_0) \leq \beta_0 \leq \hat{\beta}_0 + t(\alpha, n-2) \times se(\hat{\beta}_0) \quad (7)$$

$$\hat{\beta}_1 - t(\alpha, n-2) \times se(\hat{\beta}_1) \leq \beta_1 \leq \hat{\beta}_1 + t(\alpha, n-2) \times se(\hat{\beta}_1) \quad (8)$$

مقدار $t(\alpha, n-2)$ با استفاده از توزیع t -student به دست می‌آید. به طور مثال با در نظر گرفتن $\alpha = 0.05$ فواصل اطمینان 95% برای عرض از مبدا و ضریب زاویه با جاگذاری در فرمول‌های فوق به صورت زیر حاصل می‌شود:

$$0.113 \leq \beta_0 \leq 0.62474$$

$$3.49279 \leq \beta_1 \leq 7.66301$$

در این صورت می‌توان گفت که به احتمال 95% درصد مقادیر عرض از مبدا و ضریب زاویه در فاصله‌های فوق هستند. در ادامه برای تعیین یک مقدار y_* به ازای x_* به ترتیب زیر عمل می‌شود. در ابتدا خطای معیار تخمین در x_* با استفاده از فرمول زیر به دست می‌آید:

$$sepred(y_* | x_*) = \left[\frac{RSS}{n-2} \times \left(1 + \frac{1}{n} + \frac{(x_* - \bar{x})^2}{SXX} \right) \right]^{1/2} \quad (9)$$

سپس فاصله تخمین $100 \times (1-\alpha)$ به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$\hat{y}_* - t(\alpha, n-2) \times sepred(y_* | x_*) \leq y_* \leq \hat{y}_* + t(\alpha, n-2) \times sepred(y_* | x_*) \quad (10)$$

که $t(\alpha, n-2)$ توزیع t با درجه آزادی $n-2$ در سطح خطای α و $\hat{y}_* = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_*$ است. با استفاده از فرمول زیر، دو منحنی فواصل تخمین $100 \times (1-\alpha)$ به دست می‌آید.

$$\hat{y}_* = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_* \pm t(\alpha, n-2) \times sepred(y_* | x_*) \quad (11)$$

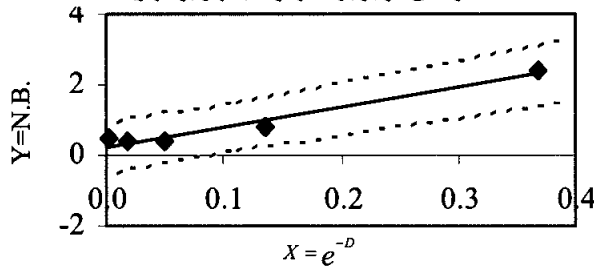
در شکل (۳) فواصل تخمین 95% درصد برای معادله (۲) نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود که قسمتی از ناحیه بین دو منحنی پائین‌تر از محور X ها و نشان دهنده تعداد حوادث سالانه منفی، است که قابل قبول نیست. بنابراین ناحیه بین دو منحنی که بالاتر از محور افقی است قابل قبول است. در نهایت باید کنترل شود که آیا باقیمانده‌های $\hat{e}_i = y_i - \hat{y}_i$ فرضهای اولیه مربوط به مناسب بودن الگو را فراهم می‌کنند؟ برای این کار باید نمودار باقیمانده‌ها در برابر مقادیر برازش شده \hat{y}_i ترسیم شود. تغییرهای زیاد باقیمانده در برابر \hat{y}_i نشان دهنده ثابت نبودن واریانس باقیمانده‌ها که از فرضهای اولیه برازش است، محسوب می‌شود. در این

جدول ۱: تعداد حوادث سالانه لوله‌ها به تفکیک جنس و قطر

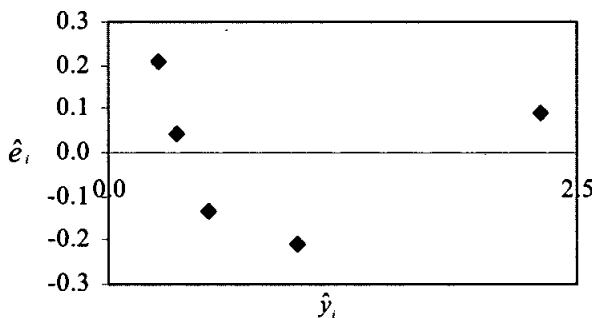
(بوشهر، سال ۱۳۷۵ تا ۱۳۷۷)

فولادی	پی وی سی	قطر لوله (Inch)
تعداد حوادث سالانه	تعداد حوادث سالانه	
۴۰/۰۰	۳۳۳/۲۸	۰/۵۰
۱/۶۰	۲۲/۴۸	۰/۷۵
۲/۴۰	۳۷/۷۶	۱/۰۰
-	۱/۴۴	۱/۲۵
-	۰/۴۸	۱/۵۰
۰/۸۰	۶۰/۷۳	۲/۰۰
-	۰/۴۸	۲/۵۰
۰/۴۰	۵/۸۴	۳/۰۰
۰/۴۰	۱۴/۰۸	۴/۰۰
-	۰/۴۰	۵/۰۰
۰/۴۸	-	۶/۰۰
-	۸/۸۰	۶/۳۵
-	۲/۰۰	۸/۰۰
-	۲/۰۰	۱۰/۰۰
-	۰/۸۰	۱۲/۵۰

شکل ۲: تحلیل رگرسیون غیر خطی تعداد حوادث سالانه لوله‌های فولادی در برابر قطر لوله (شهر بوشهر)



شکل ۳: فاصله‌های تخمین ۹۵ درصد برای رابطه تعداد حوادث سالانه لوله‌های فولادی در برابر قطر لوله (شهر بوشهر)



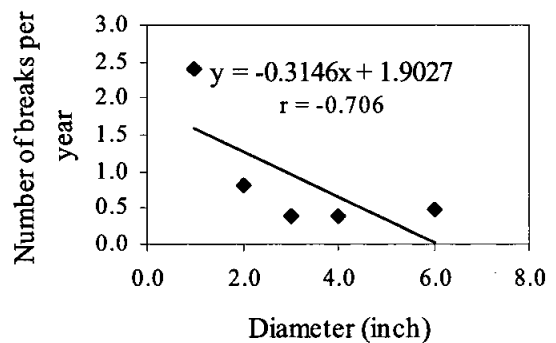
شکل ۴: نمودار باقیمانده‌ها برای رابطه تعداد حوادث سالانه لوله‌های فولادی در برابر قطر لوله (شهر بوشهر)

جدول ۲: محاسبه t_i برای کنترل نقاط بیرونی رگرسیون

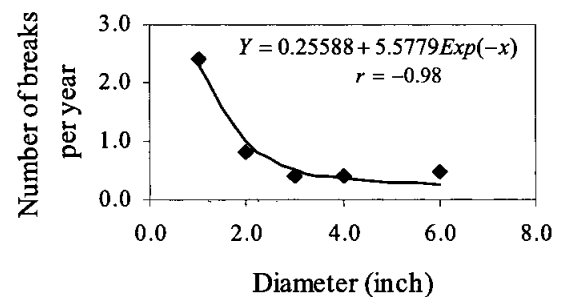
X	y	X	Y	y(reg)	e	r	t
1	2.4	0.368	2.400	2.308	0.092	1.531	2.676
2	0.8	0.135	0.800	1.011	-0.211	-1.198	-1.355
3	0.4	0.050	0.400	0.534	-0.134	-0.780	-0.714
4	0.4	0.018	0.400	0.358	0.042	0.255	0.210
6	0.48	0.002	0.480	0.270	0.210	1.311	1.639

۳-۲- تغییرات نرخ شکست در برابر قطر لوله

برای بررسی تغییرهای نرخ شکست در برابر قطر لوله از داده‌های مربوط به لوله‌های آریست در شهر کرمان (جدول ۳) استفاده شده است. با انجام تحلیل رگرسیونی خطی، ضریب همبستگی بین داده‌ها برابر $r = -0.706$ به دست می‌آید که نشان دهنده همبستگی ضعیف بین داده‌هاست. مقدار F نیز برابر 0.063 است که از F آماری در سطح خطای 0.1 ($3/23$) کوچکتر است، بنابراین روند تغییرات خطی نیست. در شکل (۵) نیز به خوبی مشخص است که روند تغییرات خطی نیست. همچنین با توجه به شکل، به دلیل پراکندگی زیاد داده‌ها می‌توان حدس زد که اطلاعات مورد نظر از روند خاصی پیروی

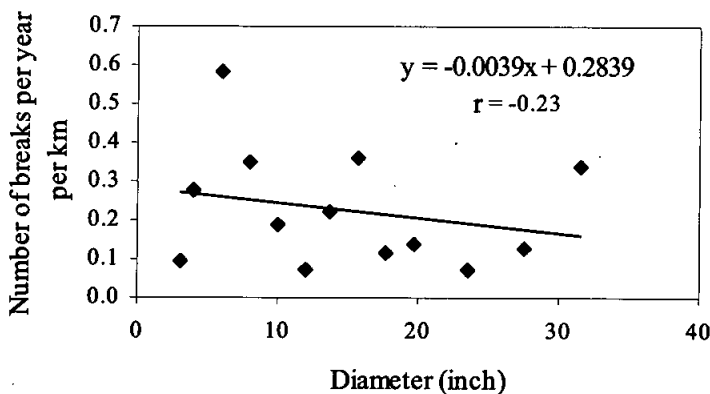


شکل ۱: تحلیل رگرسیونی خطی تعداد حوادث سالانه لوله‌های فولادی در برابر قطر لوله (شهر بوشهر)



آزبست شهر کرمان در برابر قطر لوله نزولی است. یعنی با افزایش قطر لوله نرخ شکست کاهش می‌یابد.

نمی‌کند، بنابراین با توجه به اطلاعات موجود برای نرخ شکست لوله‌ها رابطه خاصی قابل ارائه نیست. تنها با توجه به شکل (۵) و همچنین علامت منفی ضریب همبستگی نتیجه می‌شود که روند تغییرهای نرخ شکست لوله‌های



شکل ۵: آنالیز رگرسیونی خطی نرخ شکست لوله‌های آزبست در برابر قطر لوله (شهر کرمان)

جدول ۳: تعداد حوادث سالانه و نرخ شکست لوله‌های آزبست به تفکیک قطر (کرمان، سال ۱۳۷۶ و بوشهر، سال ۱۳۷۵ تا ۱۳۷۷)

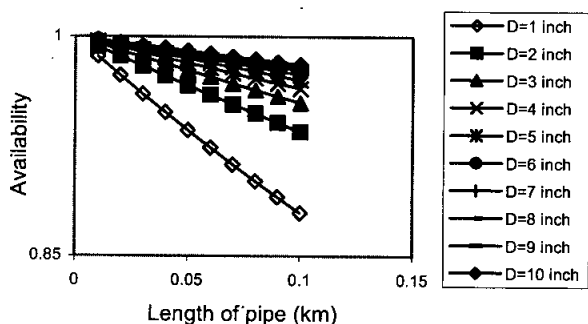
بوشهر		کرمان			قطر لوله (inch)	
نرخ شکست (Breaks/km/yr)	طول لوله (km)	تعداد حوادث سالانه	نرخ شکست (Breaks/km/yr)	طول لوله (km)		تعداد حوادث سالانه
-	-	-	۰/۰۹۵	۴۰/۹۳۲	۲۸	۳/۰۰
۰/۱۹۳۴	۲۸/۱۲۵	۵/۴۴	۰/۲۷۹	۴۰/۱۶۹۸	۱۱۲	۴/۰۰
۰/۱۴۰۲	۲۵/۱۱۶	۳/۵۲	۰/۵۸۳	۱۰۹/۷۴۶	۶۴	۶/۰۰
۰/۰۹۳۵	۲۰/۵۳۶	۱/۹۲	۰/۳۴۸	۶۳/۱۷۴	۲۲	۸/۰۰
۰/۱۱۶۸	۱۵/۷۵۲	۱/۸۴	۰/۱۹۰	۳۶/۸۷۴	۷	۱۰/۰۰
۰/۱۴۴۰	۱۰/۰۰۰	۱/۴۴	۰/۰۷۳	۲۷/۲۲۳	۲	۱۲/۰۰
-	-	-	۰/۲۲۰	۳۶/۲۹۷	۸	۱۳/۷۵
-	-	-	۰/۳۵۹	۸/۳۶۰	۳	۱۵/۷۵
-	-	-	۰/۱۱۴	۶۱/۱۸۱	۷	۱۷/۷۵
-	-	-	۰/۱۳۹	۲۸/۷۰۱	۴	۱۹/۷۵
-	-	-	۰/۰۷۳	۲۷/۴۲۸	۲	۲۳/۵۰
-	-	-	۰/۱۲۶	۷/۹۴۰	۱	۲۷/۵۰
-	-	-	۰/۳۳۸	۱۱/۸۵۰	۴	۳۱/۵۰

رابطه‌ای بین قابلیت کاربری لوله‌های آزبست شهر بوشهر و دو پارامتر قطر و طول لوله به دست می‌آید. مقدار α از تقسیم تعداد حوادث سالانه لوله‌های آزبست بر تعداد لوله‌ها، با واحد تعداد تعمیرهای لوله در هر سال به دست می‌آید، که بطور تقریبی برابر ۰/۷ در نظر گرفته شده است.

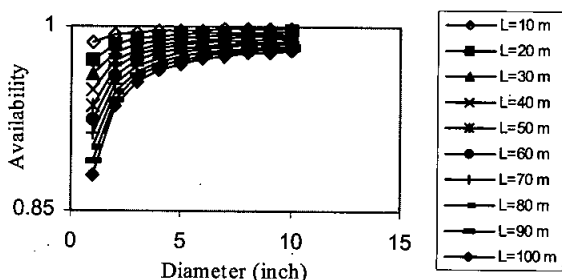
۳-۳- برآورد قابلیت کاربری

قابلیت کاربری برای لوله‌های آزبست شهر بوشهر (جدول ۳) به صورت جداگانه محاسبه می‌شود. به دلیل این که اطلاعات موجود حوادث تک‌تک لوله‌ها شامل نمی‌شود، برای برآورد قابلیت کاربری از رابطه (۲) استفاده می‌شود. با استفاده از اطلاعات لوله‌های آزبست شهر بوشهر و رابطه‌ای که بین نرخ شکست لوله‌های آزبست این شهر و قطر لوله به دست آمده است،

متوسط هر دسته به عنوان سن مینا در نظر گرفته می‌شود. به این ترتیب جدولی بر اساس تعداد حوادث سالانه و سن لوله‌ها خواهیم داشت. در جدول (۵) اطلاعات به دست آمده از جدول (۴) تحت روند فوق‌الذکر نشان داده شده است. داده‌های این جدول به عنوان مبنای تحلیل در نظر گرفته می‌شوند.



شکل ۶: تغییرهای قابلیت کاربری در برابر طول لوله برای قطرهای ۱ اینچ تا ۱۰ اینچ (لوله‌های آزیست شهر بوشهر)



شکل ۷: تغییرهای قابلیت کاربری در برابر قطر لوله برای طولهای ۱۰ متر تا ۱۰۰ متر (لوله‌های آزیست شهر بوشهر)

با انجام تحلیل رگرسیونی خطی، ضریب همبستگی بین داده‌ها برابر $r=0.96$ به دست می‌آید که نشان دهنده همبستگی بسیار قوی بین داده‌هاست. مقدار F نیز برابر $46/00$ است که از F آماری در سطح 0.01 ($34/12$) بزرگتر است، بنابراین صحت برازش تایید می‌شود ولی با توجه به شکل (۸) دیده می‌شود که خط مزبور محور X ها را قطع می‌کند. به همین دلیل این خط در همه محدوده زمانی مورد نظر نمی‌تواند مورد استفاده قرار گیرد و باید سعی شود معادله دیگری به داده‌ها برازش داده شود. همچنین با توجه به شکل ملاحظه می‌شود که روند تغییرها صعودی است یعنی با افزایش عمر لوله، تعداد حوادث سالانه آن افزایش می‌یابد که این نتیجه منطقی است زیرا همه مواد با گذشت زمان فرسوده می‌شوند و از مقاومت آنها کاسته می‌شود و به طور طبیعی آسیب‌پذیری آنها در برابر عوامل مخرب خارجی بیشتر می‌شود.

$$\beta_i = L_i \mu_i = L_i \times \sqrt{0.01 + \frac{0.9092}{D_i^2}} \quad (19)$$

$$a_i = \frac{0.7}{0.7 + L_i \sqrt{0.01 + \frac{0.9092}{D_i^2}}} \quad (20)$$

در این فرمول D_1 قطر لوله بر حسب اینچ و L_1 طول لوله بر حسب کیلومتر است.

در شکل (۶) تغییرهای قابلیت کاربری در برابر طول لوله برای قطرهای مختلف (از یک تا ۱۰ اینچ) نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود که برای هر قطر با افزایش طول لوله، قابلیت کاربری لوله کاهش می‌یابد. همچنین قابلیت کاربری لوله‌های با قطر بزرگتر بیشتر از قابلیت کاربری لوله‌های با قطر کوچکتر است و با افزایش قطر لوله‌ها، فاصله نمودارها کاهش می‌یابد، یعنی تغییرهای قابلیت کاربری بین قطرهای بزرگ کمتر از همین تغییرها در قطرهای کوچکتر است.

در شکل (۷) نیز تغییرهای قابلیت کاربری در برابر قطر لوله برای طولهای مختلف لوله‌ها (از ۱۰ تا ۱۰۰ متر) نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود که برای هر طول لوله با افزایش قطر، قابلیت کاربری افزایش می‌یابد. همچنین قابلیت کاربری لوله‌های با طول بیشتر، کوچکتر از قابلیت کاربری لوله‌های با طول کمتر است. با داشتن معادله تغییرهای نرخ شکست در برابر قطر لوله‌ها، برای هر جنس لوله می‌توان رابطه بین قابلیت کاربری و دو متغیر طول و قطر لوله را به دست آورد. به این ترتیب می‌توان مقایسه‌ای بین جنس‌های متفاوت لوله‌ها از لحاظ قابلیت کاربری انجام داد. لوله‌های با قابلیت کاربری بالاتر مناسب‌تر از لوله‌های با قابلیت کاربری پائین هستند.

۴- بررسی رابطه شکست در برابر سن لوله

برای بررسی تغییرهای تعداد حوادث لوله‌ها در برابر زمان (سن لوله‌ها) از داده‌های شهر تبریز استفاده می‌شود. این داده‌ها شامل تعداد حوادث در سه سال ۱۳۷۳ تا ۱۳۷۵ به تفکیک سال نصب لوله‌هاست. محدوده سال نصب از سال ۱۳۳۰ تا ۱۳۷۴ است و اطلاعات حوادث محدود به سه سال ۱۳۷۳ تا ۱۳۷۵ است که در مقایسه با عمر لوله بسیار کم است. بنابراین نتایج این بررسی نمی‌تواند نشان دهنده همه جزئیات مربوطه باشد و تنها می‌تواند از این بررسی روند کلی تغییر تعداد حوادث سالانه را در برابر سن لوله نتیجه گرفت. همچنین داده‌های فوق‌الذکر برای جنس‌های مختلف تفکیک نشده و برای کل لوله‌هاست و افزون بر این طول لوله‌ها نیز مشخص نشده است. بنابراین تحلیل تعداد حوادث سالانه کل لوله‌ها در برابر سن لوله انجام می‌شود. در جدول (۴) اطلاعات مربوط به شهر تبریز نشان داده شده است. در ابتدا با استفاده از جدول مزبور، جدولی بر اساس تعداد حوادث سالانه به تفکیک سن لوله‌ها تهیه می‌شود. برای این کار در هر ردیف به جای سال نصب لوله، سن لوله‌ها نوشته می‌شود و تعداد حوادث سالانه نیز به صورت متوسط این سه سال در نظر گرفته می‌شود. آن گاه برای هر دسته سنی،

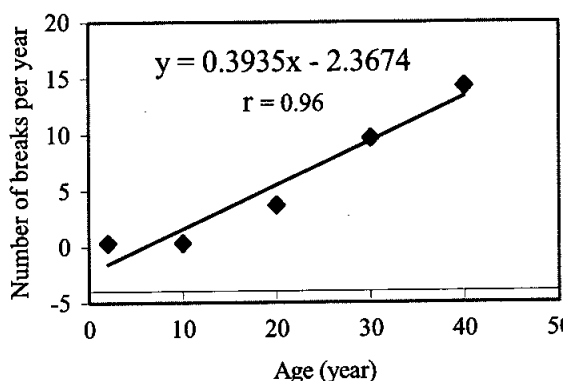
برای کنترل صحت فرض‌های اولیه (ثابت بودن واریانس باقیمانده‌ها) در شکل (۱۱) نمودار \hat{e}_i در برابر \hat{t}_i ترسیم شده است. همانطور که در شکل دیده می‌شود، به طور تقریبی همه داده‌ها دارای یک الگو هستند. البته برای کنترل نقاط بیرونی (که در صورت وجود نشان دهنده ثابت نبودن واریانس هستند)، در جدول (۶) مقدار t_i برای تمامی داده‌ها محاسبه شده است. ملاحظه می‌شود که بزرگترین مقدار t برابر $2/34$ است که از مقدار بحرانی آزمون نقاط بیرونی با مشخصات $(p'=2, n=5, \alpha=0.05)$ که برابر $9/925$ است کوچکتر است، بنابراین هیچ نقطه بیرونی در بین داده‌ها وجود ندارد و برازش کاملاً صحیح است.

جدول ۴: تعداد حوادث سالانه به تفکیک سال نصب لوله (تبریز، سال ۱۳۷۳ تا ۱۳۷۵)

تعداد اتفاقات در هر سال			سال نصب لوله
سال ۱۳۷۵	سال ۱۳۷۴	سال ۱۳۷۳	
۲۰	۴	۱۹	۱۳۳-۱۳۳۹
۷	۱	۲۱	۱۳۴-۱۳۴۹
۱	۲	۸	۱۳۵-۱۳۵۹
۱	۰	۰	۱۳۶-۱۳۶۹
۱	۰	۰	۱۳۷-۱۳۷۴

جدول ۵: تعداد حوادث سالانه به تفکیک سن لوله (تبریز، سال ۱۳۷۳ تا ۱۳۷۵)

تعداد حوادث سالانه	میانگین سنی (سال)	سن لوله (سال)
۳۰	۲	۰-۴
۳۰	۱۰	۵-۱۴
۷۳	۲۰	۱۵-۲۴
۷۹	۳۰	۲۵-۳۴
۳۱۴	۴۰	۳۵-۴۴



بنابراین حوادث بیشتری نیز برای آنها رخ می‌دهد. شیب خط فوق‌الذکر با توجه به شکل (۸) برابر $0/39$ است. یعنی در هر سال به میزان $0/39$ بر تعداد حوادث افزوده می‌شود و این مقدار در تمام عمر لوله ثابت است. در بخش قبلی در مورد تاثیر یک حادثه بر حوادث بعدی بحث و مشاهده شد که با وقوع هر حادثه احتمال وقوع حوادث بعدی افزایش می‌یابد. بنابراین روند ثابت افزایش تعداد حوادث سالانه در برابر سن لوله با واقعیت منافات خواهد داشت. پس باید از یک تحلیل رگرسیونی غیرخطی برای بیان روند تغییر تعداد حوادث سالانه در برابر سن لوله استفاده شود. با انجام این تحلیل نتیجه معادله به شرح زیر است:

$$N.B. = (0.0501 + 0.0948A)^2 \quad r^2 = 0.96 \quad (21)$$

که N.B. تعداد حوادث سالانه و A سن لوله است.

با تغییر متغیر $X = A$ و $Y = \sqrt{N.B.}$ معادله فوق به یک معادله خطی تبدیل می‌شود. ضریب همبستگی برابر $r = 0/98$ به دست می‌آید که نشان دهنده همبستگی بسیار قوی بین داده‌هاست و مقدار F نیز برابر $70/9$ است که از F آماری در سطح $0/01$ ($34/12$) بزرگتر است بنابراین با اطمینان ۹۹ درصد می‌توان گفت که روند تغییرهای تعداد حوادث سالانه در برابر سن لوله از معادله فوق تبعیت می‌کند. در شکل (۹) نمودار معادله فوق نشان داده شده است. میزان افزایش تعداد حادثه در هر سال در این معادله متغیر است. برای نمونه وقتی سن لوله از ۱۰ به ۱۱ سال بیشتر می‌شود، تعداد حوادث به میزان $0/2$ افزایش می‌یابد ولی زمانیکه سن لوله از ۳۰ به ۳۱ می‌رسد تعداد حوادث به میزان $0/56$ افزایش می‌یابد که از حالت قبلی بیشتر است و بنا به موارد فوق‌الذکر این حالت با واقعیت انطباق بهتری دارد.

همانطور که گفته شد با تغییر متغیر $X = A$ و $Y = \sqrt{N.B.}$ معادله (۲۱) به یک معادله خطی تبدیل می‌شود.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X \quad \beta_0 = 0.0501 \quad \beta_1 = 0.0948 \quad (22)$$

با استفاده از روابط (۵) تا (۸) فواصل اطمینان ۹۵ درصد برای عرض از مبدا (β_0) و ضریب زاویه (β_1) به دست می‌آید:

$$-0.8273 \leq \beta_0 \leq 0.92745$$

$$0.05901 \leq \beta_1 \leq 0.13059$$

همچنین فاصله‌های تخمین ۹۵ درصد برای معادله (۲۲) با استفاده از روابط (۹) تا (۱۱) به دست می‌آید. در شکل (۱۰) این فاصله‌های نشان داده شده است.

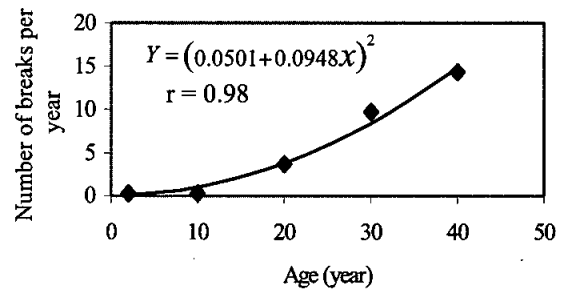
جدول ۶: محاسبه t_i برای کنترل نقاط بیرونی رگرسیون

X	y	X	Y	y(reg)	E	R	t
2	0.3	2	0.548	0.240	0.308	1.369	1.825
10	0.3	10	0.548	0.998	-0.450	-1.595	-3.335
20	3.7	20	1.924	1.946	-0.023	-0.074	-0.060
30	9.7	30	3.114	2.894	0.220	0.771	0.703
40	14.3	40	3.782	3.842	-0.061	-0.286	-0.237

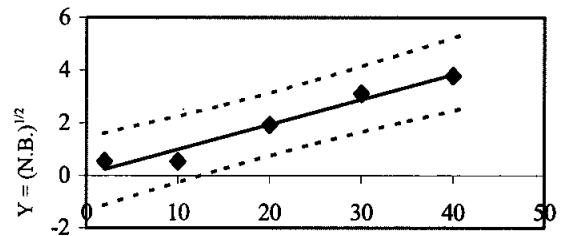
درصد تلفات آب به عنوان مبنای تحلیل در نظر گرفته می‌شود. در جدول (۷) اطلاعات مربوط به شهر مشهد نشان داده شده است. با مقایسه‌ای بین لوله‌های آزیست و پلی‌اتیلن، ملاحظه می‌شود که ۶۳ درصد تلفات مربوط به لوله‌های آزیست و ۳۷ درصد مربوط به لوله‌های پلی‌اتیلن است. به علت این که طول و قدمت لوله‌ها مشخص نشد. قضاوت دقیقی نمی‌توان انجام داد ولی با توجه به جدول (۷) لوله‌های پلی‌اتیلن بیشتر مربوط به انشعاب‌ها و لوله‌های آزیست مربوط به لوله‌های شبکه هستند. لوله‌های شبکه به علت قطر بزرگتر و همچنین فشار آب بیشتر در صورت وقوع حادثه، تلفات بیشتری خواهند داشت. ذکر این نکته ضروری است که در کل، لوله‌های پلی‌اتیلن انعطاف پذیرتر و مقاومتر از لوله‌های آزیست هستند. به علت این که لوله‌های پلی‌اتیلن بیشتر مربوط به انشعاب‌ها هستند، تنها تغییرهای درصد تلفات آب لوله‌های آزیست در برابر قطر لوله مورد بررسی قرار می‌گیرد.

با انجام آنالیز رگرسیونی خطی، ضریب همبستگی بین داده‌ها برابر $r = -0.59$ به دست می‌آید که نشان دهنده همبستگی متوسط بین داده‌هاست. مقدار F نیز برابر $2/15$ است که از F آماري در سطح $0/1$ ($4/54$) کوچکتر است، بنابراین نه برازش مورد تایید است و نه روند نوسان خطی. با توجه به شکل (۱۲) نیز مشخص است که روند تغییرها خطی نیست. با انجام تحلیل رگرسیونی غیرخطی نیز هیچ معادله‌ای که از لحاظ آماری مورد قبول باشد به دست نمی‌آید. بنابراین تنها می‌توان روند صعودی یا نزولی بودن تغییرها را مورد بررسی قرار داد. با توجه به شکل (۱۲) و همچنین علامت منفی ضریب همبستگی نتیجه می‌شود که روند تغییرها نزولی است، یعنی با افزایش قطر لوله درصد تلفات آب کاهش می‌یابد. این مطلب تا حدودی معادل نتیجه‌ای است که برای تغییرهای تعداد حوادث سالانه در برابر قطر لوله گرفته شده است. یعنی با افزایش قطر لوله، تعداد حوادث کاهش می‌یابد و هر چه حوادث کمتری اتفاق بیافتد، در نتیجه تلفات آب نیز کمتر خواهد بود. از طرف دیگر با افزایش قطر لوله به علت افزایش سطح مقطع، حجم تلفات آب در هر حادثه افزایش می‌یابد و این افزایش متناسب با مجذور فشار آب داخل لوله است. این نتیجه در نگاه اول با نتیجه حاصل از داده‌های شهر مشهد در تضاد است ولی در توجیه این مطلب می‌توان گفت که نرخ کاهش تعداد حوادث با افزایش قطر لوله بیشتر از نرخ افزایش حجم تلفات آب در هر حادثه با افزایش قطر لوله است. یعنی با افزایش قطر لوله تعداد حوادث لوله به قدری کاهش می‌یابد که با وجود افزایش حجم تلفات

شکل ۸: تحلیل رگرسیونی خطی تعداد حوادث سالانه لوله‌ها در برابر سن لوله (شهر تبریز)



شکل ۹: تحلیل رگرسیونی غیر خطی تعداد حوادث سالانه لوله‌ها در برابر سن لوله (شهر تبریز)

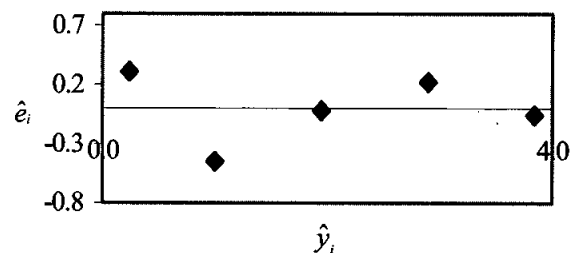


$$X = D$$

شکل ۱۰: فاصله‌های تخمین ۹۵ درصد برای رابطه تعداد حوادث سالانه لوله‌ها در برابر سن لوله (شهر تبریز)

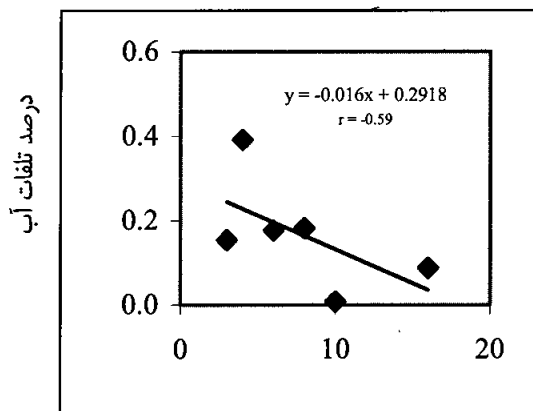
۵- بررسی تغییر درصد تلفات آب در برابر قطر لوله

برای بررسی تغییرهای درصد تلفات آب در برابر قطر لوله از داده‌های شهر مشهد که شامل حجم تلفات آب لوله‌های آزیست و پلی‌اتیلن به تفکیک قطر است، استفاده می‌شود. به علت این که داده‌ها فقط برای یک پیمانه (خرداد ماه ۱۳۷۶ ه.ش) است، با تقسیم حجم تلفات برای هر قطر به مجموع کل تلفات آن قطر، درصد تلفات آب برای هر قطر به دست می‌آید.



شکل ۱۱: نمودار باقیمانده‌ها برای رابطه تعداد حوادث سالانه لوله‌ها در برابر سن لوله (شهر تبریز)

آب برای حوادث لوله‌های با قطر بزرگتر، حجم کل تلفات آب نسبت به قطرهای کوچکتر کاهش می‌یابد.



قطر لوله (اینچ)

شکل ۱۲: تغییرهای درصد تلفات آب در برابر قطر لوله (لوله‌های آزیست شهر مشهد)

۶- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این مقاله روند تغییرهای تعداد حوادث سالانه لوله‌ها، نرخ شکست، قابلیت کاربری، سن و درصد تلفات در برابر قطر لوله مورد بررسی قرار گرفت و مشاهده شد با افزایش قطر لوله تعداد حوادث سالانه و یا نرخ شکست کاهش می‌یابد. علت این امر را می‌توان چنین توجیه کرد که با افزایش قطر لوله‌ها، ضخامت جداره لوله نیز افزایش می‌یابد. بنابراین مقاومت لوله در برابر فشارهای داخلی و خارجی و عوامل مخرب محیطی افزایش می‌یابد. با مشخص شدن رابطه بین تعداد حوادث و قطر لوله‌ها می‌توان از آن به عنوان پارامتری تعیین کننده برای طراحی شبکه‌های آبرسانی شهری استفاده کرد، به گونه‌ای که پس از طراحی و مشخص شدن قطر لوله‌های شبکه، برای هر قطر تعداد حوادث سالانه آن تخمین زده شود و با انجام مقایسه اقتصادی شامل هزینه اولیه و هزینه‌های نگهداری و تعمیر، درباره انتخاب قطر به گونه‌ای که هم از لحاظ ضوابط طراحی و هم از لحاظ اقتصادی مورد قبول باشد، تصمیم‌گیری شود.

در طراحی بهینه شبکه‌های آبرسانی شهری، برای دستیابی به شبکه‌ای قابل اعتماد، قابلیت کاربری اجزای شبکه به عنوان شرط اساسی در نظر گرفته می‌شود. قابلیت کاربری لوله‌ها به طور مستقیم به حوادث مربوط به لوله‌ها بستگی دارد. با داشتن رابطه بین نرخ شکست و مشخصات لوله، رابطه قابلیت کاربری در برابر مشخصات لوله از قبیل طول، قطر و جنس لوله به دست می‌آید. این رابطه برای هر جنس لوله در برابر متغیرهای قطر و طول لوله‌ها مشخص می‌شود.

ملاحظه می‌شود که برای قطرهای مختلف با افزایش طول لوله، قابلیت کاربری لوله کاهش می‌یابد و قابلیت کاربری لوله‌های با قطر بزرگتر از قابلیت کاربری لوله‌های با قطر کوچکتر، بیشتر است. با در نظر گرفتن قید قابلیت کاربری در هنگام طراحی شبکه‌های آبرسانی شهری، قطر و طول لوله‌ها به گونه‌ای که شرط قابلیت کاربری نیز برآورده شود، به دست می‌آید. علاوه بر این مشاهده شد که سن لوله رابطه مستقیم (توانی) و درصد تلفات آب رابطه معکوس با قطر لوله‌ها دارند.

جدول ۷: درصد تلفات آب از لوله‌ها به تفکیک جنس و قطر لوله (مشهد، خرداد ماه ۱۳۷۶)

آزیست			پلی اتیلن		
قطر لوله (inch)	حجم تلفات آب (m ³)	درصد تلفات آب	قطر لوله (inch)	حجم تلفات آب (m ³)	درصد تلفات آب
۳	۳۶۹۷/۴۱	۱۵	۰/۷۵	۷۰۶۱/۲۰	۵/۵
۴	۹۴۳۳/۰۴	۳۹	۱/۰۰	۱۲۱۷/۹۲	۸۷
۶	۴۲۷۶/۶۴	۱۸	۱/۲۵	۲۳۲/۵۵	۲/۳
۸	۴۴۰۳/۹۱	۱۸	۱/۵۰	۱۷۴/۸۳	۱/۳
۱۰	۱۹۰/۴۶	۱	۲/۰۰	۱۳۶/۰۵	۱۰
۱۶	۲۱۱۲/۸۸	۹	۲/۵۰	۵۰۶۳/۶۳	۳۶/۲
مجموع	۳۴۱۱۵/۳۴	۱۰۰	مجموع	۱۳۹۷۷/۰۸	۱۰۰

۷- مراجع

- بیگی، ف. (۱۳۷۸). "آسیب شناسی شبکه‌های توزیع آب شهری". نشریه آب و محیط زیست، (۳۷): ۲۵-۱۷
- تابش، م، هنری، ح. ر.، (۱۳۸۱). "تحلیل حوادث شبکه های توزیع آب شهری (مطالعه موردی)"، مجله آب و محیط زیست، شماره ۵۰، صفحه ۱۷-۲۳.
- دفتر مطالعات و بررسی‌های فنی (۱۳۷۸). "دستورالعمل حوادث و اتفاقات"، طرح ملی تحقیق، توسعه و بهسازی تاسیسات آب کشور، شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور.
- عابدینی، امیرعباس (۱۳۷۹). "آنالیز شکست لوله‌ها در شبکه‌های آبرسانی شهری"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران، سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده فنی دانشگاه تهران
- Ang, A.H-S, and Tang, W.H., (1984), Probability concepts in engineering planning and design, Vol, II, John Wiley and Sons, New York, N.Y.
- Arnold, G.E., (1960), "Experience with main breaks in four large cities- Philadelphia", J. AWWA, 52(8): 1041-1044.
- Babovic, V., and Drecourt, J., (2000), "Data mining approach to pipe burst risk assessment", Proceedings of International Symposium on Water Network Modelling for Optimal Design and Management, 11-12 September, Exeter, UK: 93-107.

- Clark, E.J., (1960), "Experience with main breaks in four large cities - New York", J. AWWA, 52(8): 1045-1048.
- Clark, R., Stafford, L., and Goodrich, J., (1982), "Water distribution systems: A spatial and cost evaluation", J. Water Resour. Plng. Mgmt., ASCE, 110(3): 243-256.
- Cullinane, J., Lansey, K.E., and Mays, L.W., (1992), "Optimization-availability-based design of water-distribution networks", J. Hydra. Engrg., 118(3): 420-441.
- Fujiwara, O., and Tung, H., (1991), "Reliability improvement for water distribution networks through increasing pipe size", J. Water Resour. Res., 27 (7): 1395-1402.
- Goulter, I., and Kazemi, A., (1988), "Spatial and temporal grouping of water main pipe breakage in Winnipeg", Can. J. Civ. Engrg., 15(1): 91-97.
- Goulter, I., and Kazemi, A., (1989), "Analysis of water distribution pipe failure types in Winnipeg Canada", J. Transp. Engrg., ASCE, 115(2): 95-111.
- Goulter, I., Davidson, J. and Jacobs, P. (1993), "Predicting Water-Main Breakage Rates." J. Water Resource j. water Resour. Plan. Mgmt. Planning and Management, ASCE ,199(4): 419-436.
- Kettler, A., and Goulter, I., (1985), "An analysis of pipe breakage in urban water distribution networks", Can. J. Civ. Eng., 12 (2): 286-293.
- Khomsî, D., Walters, G.A., Thorley, A.R.D., and Ouazar, D., (1996), "Reliability tester for water distribution networks", J. Comp. in Civ. Engrg., ASCE, 10(1): 10-19.
- Mays, L.W., (1989), Reliability analysis of water distribution systems, ASCE, New York, N.Y.
- Niemeyer, H.W., (1960), "Experience with main breaks in four large cities- Indianapolis", J. AWWA, 52(8): 1051-1058.
- Remus, G.J., (1960), "Experience with main breaks in four large cities- Detroit", J. AWWA, 52(8):1048-1051.
- Shamir, U., and Howard, C.P.D., (1979), "An analytic approach to pipe replacement", J. AWWA, 71(5): 248-258.
- Skipworth, P.G., Saul, A.J., and Engelhardt, M.O., (2000), "Distribution network behaviour extracting knowledge from data", Proceedings of International Symposium on Water Network Modelling for Optimal Design and Management, 11-12 September, Exeter, UK: 125-139.
- Su, Y.C., Mays, L.W., Duan, N., and Lansey, K.E., (1987), "Reliability-based optimization model for water distribution systems", J. Hydra. Engrg., ASCE, 114(12): 1539-1555.
- Tabesh, M., (1998), "Implication of the pressure dependency of outflows on data management, mathematical modelling and reliability assessment of water distribution systems", Ph.D. Thesis, Department of Civil Engineering, University of Liverpool.