کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران
دانشگاه تهران، تهران
۲۶ و ۲۷ بهمن‌ماه ۱۳۹۵

1298O-NWWCE

مروری بر روابط فشار و نرخ شکست لوله‌ها در شبکه‌های آب‌رسانی

ایمان مصلحی، محمدرضا جلیلی قاضی‌زاده

۱- دانشجوی دکترای مهندسی عمران- آب، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهید بهشتی تهران

۲- استادیار دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهید بهشتی تهران

i_moslehi@sbu.ac.ir

خلاصه

بیش از دو دهه است که تأثیر تغییر فشار بر نرخ شکستگی لوله‌ها در شبکه‌های آب‌رسانی مشخص‌شده است. طی این مدت و به‌خصوص طی ده سال اخیر مزایای مدیریت فشار بر کاهش تواتر شکستگی لوله‌ها توسط پژوهشگران مختلفی مورد بررسی قرار گرفته و روابط و مدل‌های گوناگونی در این زمینه توسعه داده‌شده است. هدف از ارائه این مقاله مروری کامل و جامع بر مطالعات، روابط و مدل‌های ارائه شده در ارتباط با تأثیر مدیریت فشار بر نرخ شکستگی لوله‌ها در شبکه‌های آب‌رسانی می‌باشد. بدین منظور پس از طبقه‌بندی روابط و مدل‌های ارائه شده توسط پژوهشگران مختلف، روش‌های مورد استفاده در آن‌ها مورد بحث و بررسی قرار گرفته و مزایا و معایب هریک از آن‌ها بیان‌شده است. نتایج این مقاله می‌تواند در تحلیل و ارزیابی برنامه‌های مدیریت فشار در شبکه‌های آبرسانی مورد استفاده قرار گیرد.

کلمات کلیدی: مدیریت فشار، نرخ شکست لوله‌ها، شبکه‌های آب‌رسانی، فشار ماکزیمم شبکه

۱. مقدمه

امروزه مدیریت فشار در شبکه‌های آبرسانی دستخوش تغییرات و پیشرفت‌های بسیاری شده است، چرا که شرکت‌های آبرسانی مزایای فراوان حاصل از مدیریت فشار را تشخیص داده‌اند. بیش از سی سال پیش تحقیقات انجام گرفته در ژاپن و انگلستان نشان داد که رابطه بین فشار و نرخ نشت در شبکه‌های آبرسانی به‌جای یک رابطه ریشه دوم، تقریباً به‌صورت خطی است. مدیریت فشار امروزه نه‌تنها برای کنترل نشت بلکه به‌منظور مدیریت تقاضا[1]، حفاظت آب و مدیریت اجزاء[2] به کار می‌رود [۱]. مزایای اصلی مدیریت فشار شامل کاهش نشت، کاهش تواتر وقوع شکستگی‌های جدید و کاهش برخی مؤلفه‌های مصرف می‌باشد. دیگر مزایای مدیریت فشار شامل به تأخیر انداختن بازسازی و نوسازی لوله‌ها و افزایش عمر تأسیسات زیربنائی، کاهش هزینه‌های کنترل فعال نشت، کاهش انرژی مصرفی و بهبود خدمات‌رسانی به مشتریان از طریق قطع کمتر ساعات آبرسانی می‌باشد.

همان‌گونه که بیان شد، یکی از مزایای اصلی مدیریت فشار کاهش تواتر شکستگی‌های جدید در شبکه آبرسانی پس از اعمال مدیریت فشار است. هدف از ارائه این مقاله بررسی و ارزیابی روابط و مدل‌های تجربی- میدانی توسعه داده‌شده به‌منظور ارائه روابط فشار- شکستگی طی بیست سال اخیر می‌باشد. بدین منظور مروری کلی بر مقالات مربوطه در این رابطه و به‌خصوص مقالات ارائه شده توسط گروه کاری هدررفت آب انجمن جهانی آب[3] شده که نتایج این تحقیقات و آخرین پیشرفت‌های صورت گرفته در این خصوص به‌تفصیل مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

---

[1] Demand Management
[2] Asset Management
[3] IWA-Water Loss Task Force (IWA-WLTF)

۲. پیشینه تحقیقاتی مربوط به روابط فشار – شکستگی

۲–۱. مطالعات در انگلستان بین سال‌های ۱۹۹۴ تا ۲۰۰۳

اولین مطالعات در ارتباط با رابطه فشار- شکستگی در انگلستان به‌وسیله می[1] (۱۹۹۴) و لمبرت و موریسون (۱۹۹۵) تأثیر فشار بر تواتر شکستگی لوله‌ها را نشان داد [۲ و ۳]. لمبرت (۲۰۰۱) با بررسی داده‌های تعدادی منطقه ایزوله شده[2] (DMA) و شبکه‌های آبرسانی در انگلستان، استرالیا، نیوزلند و برزیل این‌گونه نتیجه گرفت که تواتر شکستگی لوله‌ها با افزایش و کاهش فشار رابطه مستقیم دارد[۴]. مطالعات فوق و مطالعه فارلی و ترو (۲۰۰۳) در نهایت پیشنهاد داد که تغییر در شکستگی لوله‌ها می‌تواند با تغییر در فشار با یک مؤلفه توانی یعنی p^{N_2} مرتبط باشد [۵]. بنابراین رابطه فشار –شکستگی به شکل رابطه (۱) بازنویسی گردید:

$$\frac{BF_1}{BF_0} = \left(\frac{P_1}{P_0}\right)^{N_2} \tag{1}$$

که در رابطه فوق BF_0 و BF_1 به ترتیب تواتر شکستگی قبل و بعد از کاهش فشار و P_0 و P_1 مقدار فشار قبل و بعد از کاهش فشار می‌باشد. در سال ۲۰۰۳ تحقیقات روی داده‌های مربوط به فشار- شکستگی یک مجموعه داده بزرگ در انگلستان، نشان داد که تعمیر خطوط اصلی در بلندمدت در مقابل نتایج فشار یک رابطه متقاعد کننده و منطقی بین فشار و تواتر تعمیر خطوط اصلی را نشان نمی‌دهد [۶]. مطالعه دقیق‌تر گزارش سال ۲۰۰۳ توسط اعضای گروه کاری مدیریت هدررفت آب انجمن بین المللی آب نشان داد که "یک رابطه ریشه دوم بین تواتر شکستگی‌ها و فشار مانند رابطه بین فشار و نشت از یک روزنه می‌تواند به عنوان یک پیش‌بینی سختگیرانه، یعنی بدترین پیش‌بینی در مورد تأثیر مدیریت فشار بر شکستگی استفاده شود، با آگاهی از اینکه نتایج واقعی به علت تثبیت تأثیر مدیریت فشار پس از اجرای آن احتمالاً بهترند".

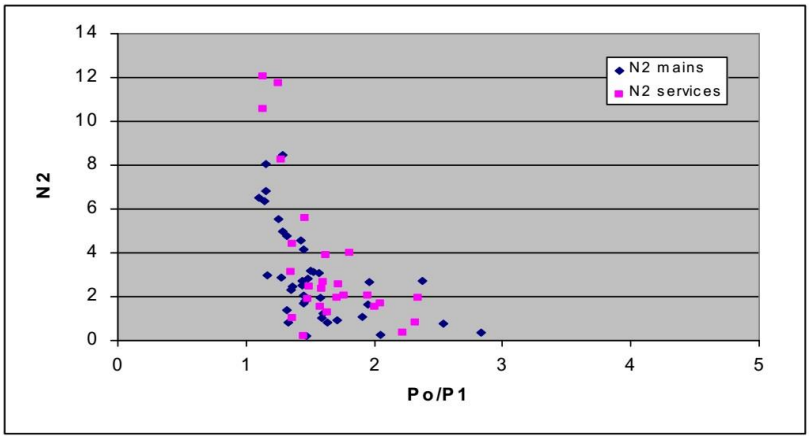
۲–۲. مطالعات گروه کاری هدررفت آب انجمن بین المللی آب بین سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۰

پس از ارائه نتایج تحقیقات در سال ۲۰۰۳ به نظر می‌آمد که صنعت آب انگلستان دیگر علاقه‌ای به مطالعات و تحقیقات بیشتر در مورد رابطه فشار- شکستگی بعد از این سال نداشته باشد. اما تیم تازه تشکیل شده مدیریت فشار گروه کاری هدررفت آب انجمن بین المللی آب (IWA-WLTF) تعدادی مطالعات موردی برنامه‌های مدیریت فشار در سطح بین المللی را مورد بررسی قرار داد که در آن‌ها تواتر شکستگی خطوط اصلی و انشعابات بعد از اعمال مدیریت فشار بطور قابل توجهی کاهش یافته بودند.

تورنتون و لمبرت (۲۰۰۵) مطالعه‌ای روی یک سری داده محدود از کشورهای انگلستان، استرالیا و ایتالیا مربوط به تواتر شکستگی‌های جدید در خطوط اصلی و انشعابات قبل و بعد از مدیریت فشار با فرض در نظر گرفتن رابطه (۱) یعنی تغییر تواتر شکستگی های جدید (BF) با فشار (P) به توان N_2 انجام دادند. نتایج این مطالعه نشان داد که مقدار N_2 بین ۰/۵ تا ۶/۵ متغیر بوده و این مقادیر کاهش قابل توجه در تواتر شکستگی‌های جدید پس از اجرای مدیریت فشار را نشان می‌داد [۷]. درحالیکه پیرسون و همکاران (۲۰۰۵) به‌منظور انجام یک تحلیل دقیق‌تر از یک مجموعه داده بزرگ جمع‌آوری شده از کشورهای مختلف شامل انگلستان، برزیل، ایتالیا و استرالیا استفاده کردند [۸]. بررسی داده‌های این تحقیق به وضوح نشان داد که مدیریت فشار کاهش قابل‌توجهی در تواتر تعمیرات خطوط اصلی و انشعابات بسیاری مناطق ایزوله شده (DMAs) می‌گذارد. برای مثال نتایج بدست آمده از داده‌های استرالیا تأیید کرد که پس از نصب شیرهای فشارشکن در سپتامبر ۲۰۰۳، تواتر شکستگی‌ها بطور قابل‌توجهی کاهش می‌یابد [۶ و ۸]. بنابراین آن‌ها تلاش کردند تا رابطه فشار- شکستگی را با استفاده رابطه (۱) و تعیین مقدار N_2 مدلسازی کنند. نتایج تحلیل و آنالیز داده‌ها که در شکل ۱ ارائه شده، نشان داد که مقدار N_2 بین ۰/۲ تا ۸/۵ برای شکستگی لوله‌های اصلی و بین ۰/۲ تا ۱۲ برای شکستگی انشعابات تغییر می‌کند. بنابراین چنین نتیجه‌گیری شد که تغییرات بالای N_2 می‌تواند به علت برخی فاکتورها نظیر جنس لوله، شرایط نصب لوله‌ها و شرایط زمین باشد. در نهایت پیرسون و همکاران (۲۰۰۵) دریافتند که معادله پایه فشار- نشت برای نشان دادن رابطه فشار- شکستگی (رابطه (۱) یا همان رابطه توان N_2) برای تحلیل و پیش‌بینی روابط فشار- شکستگی مناسب نیست [۸].

---

[1] May
[2] District Metered Area (DMA)



شکل ۱ – مقادیر N_2 برای خطوط اصلی و انشعابات در مقابل تغییرات فشار [۸]

یکی از کاستی‌ها و مشکلات این مطالعه نداشتن داده‌های مربوط به شکستگی در دوره‌های زمانی به اندازه کافی بلندمدت با فشار پایدار قبل و بعد از اجرای مدیریت فشار به‌منظور توسعه یک رابطه دقیق فشار- تواتر شکستگی بود. معمولاً پیشنهاد شده که داده‌های شکستگی مربوط به سه سال قبل و بعد از اجرای مدیریت فشار برای تخمین قابل اطمینان و دقیق شکستگی‌ها در آینده مورد نیاز است که در بسیاری از مناطق مورد تحلیل در مطالعه پیرسون و همکاران در دسترس نبود. علاوه بر این پیرسون و همکاران (۲۰۰۵) در مطالعه خود، بحثی در مورد مفهوم پوش‌های شکست[1] لوله و نقاط وظیفه[2] ارائه دادند که منبع الهامی برای پیشرفت‌های مفهومی و عملی برای پیش‌بینی شکست لوله‌ها در آینده گردید [۸].

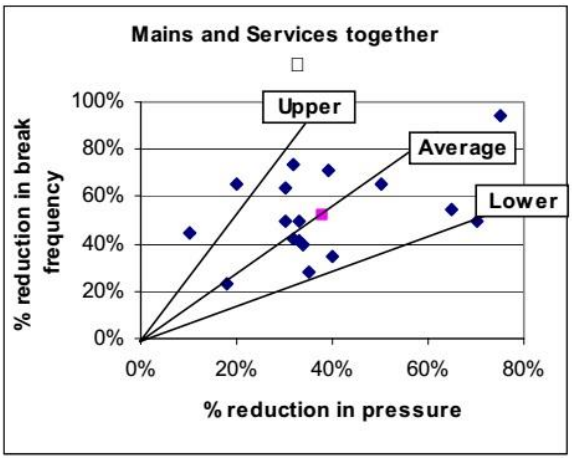
آنالیز نتایج بدست آمده از دو مطالعه فوق نشان داد که مقادیر بالای N_2 به درصد کوچکی در کاهش فشار مربوط بود و مقادیر N_2 پائین به کاهش بیشتر در فشار مربوط بود. با توجه به آنالیز فوق و با الهام از مفهوم پوش‌های شکست و نقاط وظیفه، تورنتون و لمبرت (۲۰۰۶ و ۲۰۰۷) مطالعاتی با هدف اثبات آنکه کاهش فشار اضافی می‌تواند تأثیر قابل توجهی روی کاهش شکستگی‌ها داشته و ارائه یک رویکرد مفهومی، با استفاده از داده‌های ۱۱۲ شبکه آبرسانی از ۱۲ کشور جهان انجام دادند [۹ و ۱۰]. داده‌های بدست آمده به‌صورت شکل ۲ برای درصد کاهش فشار در مقابل درصد کاهش تواتر شکستگی برای خطوط اصلی و انشعابات رسم گردید. یک تفسیر ساده جهت آنالیز داده‌ها آن است که این‌گونه فرض شود که درصد کاهش در شکستگی های جدید با فاکتور تواتر شکستگی[3] (BFF) ضربدر درصد کاهش در فشار ماکزیمم در نقطه میانگین ناحیه[4] (AZP_{max}) برابر است که در رابطه (۲) آورده شده است.

$$\%\,\text{Reduction in Bursts} = \text{BFF} \times \%\,\text{Reduction in } P_{max} \qquad (2)$$

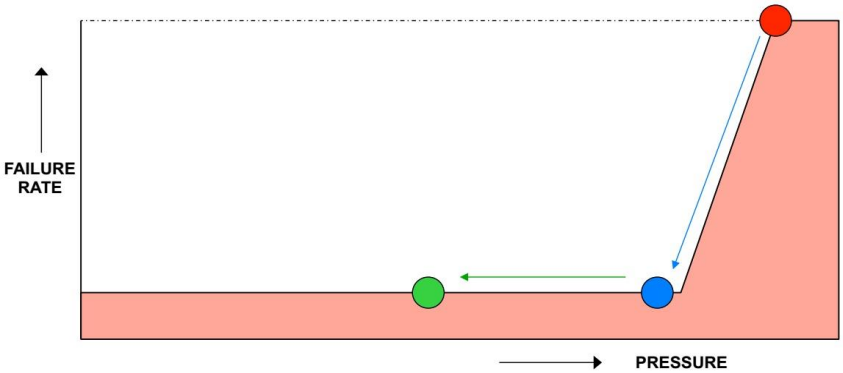
نتایج نشان داد که مقدار متوسط فاکتور تواتر شکستگی (BFF) یا ضریب شیب (S) برای خطوط اصلی و انشعابات ۱/۴ و مقدار کمینه و بیشینه آن به ترتیب ۰/۷ و ۲/۸ بود [۱۰]. رابطه ۲ بعداً به عنوان معادله پایه فشار- شکستگی ۲۰۰۶ شناخته شد. نتایج حاصل از مطالعه تورنتون و لمبرت (۲۰۰۶) دست‌مایه ارائه یک رویکرد مفهومی با عنوان STBTCB[5] توسط تورنتون و لمبرت (۲۰۰۷)، به‌منظور توضیح و تفسیر رابطه فشار- شکستگی گردید که در شکل ۳ ارائه شده است [۱۰]. این رویکرد مفهومی برای توضیح اینکه چرا در برخی شبکه‌های آبرسانی، درصد بالای کاهش در تواتر شکستگی‌ها در خطوط اصلی و انشعابات با کاهش کوچکی در فشار رخ می‌دهد اما در بقیه شبکه‌ها درصد کاهش در تواتر شکستگی‌ها با کاهش فشار کم و ناچیز است، به کار می‌رود. پس از آن رویکرد مفهومی فوق با معرفی شاخص تواتر شکستگی[6] (BFI) جهت شناسائی مناطقی با پتانسیل بالای کاهش تواتر شکستگی ها بعد از اعمال مدیریت فشار تکمیل گردید.

---

[1] Failure Envelope
[2] Duty Points
[3] Burst Frequency Factor (BFF)
[4] Average Zone Point
[5] The Straw That Breaks The Camel's Back (STBTCB)
[6] Burst Frequency Index



شکل ۲ – داده های مربوط به درصد کاهش در تواتر شکستگی در مقابل درصد کاهش در فشار برای خطوط اصلی و انشعابات [۱۰]



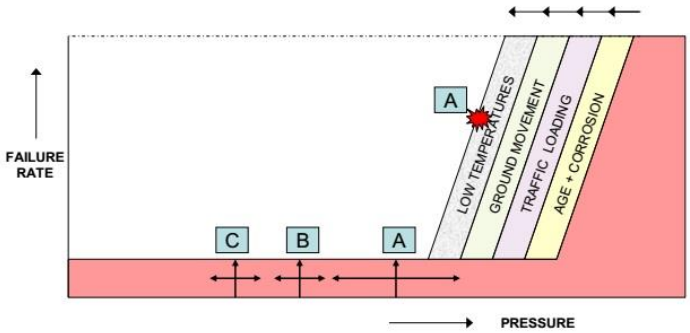
شکل ۳ – رویکرد مفهومی STBTCB برای تفسیر رابطه فشار- شکستگی [۱۰]

با توجه به شکل فوق چنانچه قبل از مدیریت فشار، مقدار تواتر شکستگی و نرخ شکست اولیه نسبتاً بالا در شبکه آبرسانی وجود داشته باشد (دایره قرمز رنگ)، آنگاه یک کاهش نسبتاً کوچک در فشار می‌تواند باعث درصد کاهش بزرگی در تواتر شکستگی‌های جدید باشد (حرکت از دایره قرمز به دایره آبی). اما اگر مقدار تواتر شکستگی و نرخ شکست قبل از مدیریت فشار پائین باشد (دایره آبی)، آنگاه هر درصد کاهش در فشار، تأثیر کمی بر روی تواتر شکستگی‌های جدید خواهد داشت. در این حالت یک فاکتور اطمینان بزرگتر ایجاد شده و عمر باقی مانده لوله‌ها افزایش می‌یابد (حرکت از دایره آبی به دایره سبز).

تورنتون و لمبرت (۲۰۰۷) همچنین یک روش پیشنهادی ساده برای تفسیر رویکرد مفهومی STBTCB ارائه دادند که در آن از تواتر شکستگی‌ها در خطوط اصلی و انشعابات قبل از مدیریت فشار استفاده شده تا نشان دهد آیا درصد کاهش در تواتر شکستگی‌ها احتمالاً نسبتاً پائین یا بالا است. بدین منظور از تواتر شکستگی‌های مورد استفاده در برآورد هدررفت واقعی اجتناب ناپذیر سالیانه[1] (فرمول UARL) برای مقایسه استفاده گردید [۱۰]. این مقدار برای فشار متوسط ۵۰ متر تعداد ۱۳ شکستگی در ۱۰۰ کیلومتر در سال برای خطوط اصلی و تعداد ۳ شکستگی در هر ۱۰۰۰ انشعاب در سال برای انشعابات می‌باشد. بدین منظور شاخص تواتر شکستگی (BFI) به‌صورت نسبت تواتر شکستگی واقعی در شبکه آبرسانی قبل از اعمال مدیریت فشار به تواتر شکستگی پایه که برابر است با تواتر شکستگی های فرمول هدررفت واقعی سالیانه اجتناب ناپذیر (UARL)، معرفی گردید [۱۰]. با محاسبه شاخص تواتر شکستگی (BFI) برای لوله‌های اصلی و انشعابات به‌صورت جداگانه می‌توان به سرعت و به‌صورت کیفی تشخیص داد که آیا مدیریت فشار در هر منطقه مدیریت فشار (PMZ) می‌تواند کاهش قابل توجهی روی تواتر شکستگی خطوط اصلی انشعابات بگذارد یا خیر؟ از اینرو پیشنهاد گردید که می‌توان با هدف گذاری و انتخاب مناطقی با شاخص تواتر شکستگی (BFI) بالا و استفاده از معادله پایه فشار- شکستگی ۲۰۰۶ با فاکتور تواتر شکستگی برابر ۱/۴ ، به‌صورت کمی کاهش متوسط در تعداد شکستگی‌های جدید خطوط اصلی و انشعابات پیش‌بینی شود.

[1] Unavoidable Annual Real Losses (UARL)

بنابراین با توجه به مطالب فوق و شکل ۴ می‌توان گفت اگر مقدار شاخص تواتر شکستگی (BFI) قبل از مدیریت فشار پائین و نزدیک به یک باشد، آنگاه درصد کاهش در شکستگی‌ها پس از اعمال مدیریت فشار کم یا نزدیک به صفر است، اما عمر باقی‌مانده لوله ها افزایش می‌یابد (حرکت از B به C). اما اگر مقدار شاخص تواتر شکستگی (BFI) یا نرخ شکست اولیه بالا باشد، آنگاه کاهشی کم در فشار ماکزیمم می‌تواند منجر به کاهشی بزرگ در تواتر شکستگی‌ها شود (حرکت از A به B). از طرفی در طول سال‌های مختلف و همچنین به‌صورت فصلی، اندرکنش بین فشار و نرخ شکست می‌تواند به سمت چپ شکل ۴ حرکت کند، که این حرکت می‌تواند به خاطر دیگر دلایل شامل افزایش سن لوله و خوردگی، حرکت زمین، وجود دماهای پائین و بارگذاری ترافیکی باشد [۹ و ۱۰]



شکل ٤ – تأثیر مدیریت فشار روی تواتر شکستگی خطوط اصلی و انشعابات [۹]

۲–۳. مطالعات گروه کاری هد رفت آب انجمن بین المللی آب بین سال های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۳

بطورکلی تواتر شکستگی‌ها می‌تواند به‌صورت فصلی و یا از سالی به سال دیگر تغییر کند، حتی اگر فشار سیستم تغییر نکند. این تغییرات به دنبال اثرات اقلیمی نظیر دماهای بالا یا پائین آب و هوا یا تغییرات در رطوبت خاک که منجر به رانش و حرکت زمین می شود، اتفاق می‌افتد. برخی از متخصصان بر این باورند که انواع شکست لوله که مربوط به افزایش نوسانات فصلی در تواتر شکستگی هستند، وابسته به فشار نبوده و تحت تأثیر مدیریت فشار نخواهند بود.

مطالعه جدید توسط تورنتون و لمبرت (۲۰۱۱) با استفاده از یک مجموعه داده با کیفیت روی تأثیر فشار روی تغییرات و نوسانات فصلی و سالیانه طبیعی تواتر شکستگی ها نشان داد که افزایش نوسانات فصلی شکستگی‌ها با توجه به جنس لوله می‌تواند تحت تأثیر فشار بوده و در نتیجه رابطه پایه مفهومی بین فشار و تواتر شکستگی (معادله پایه شکستگی ۲۰۰۶)، نیاز به بهبود و ارتقاء دارد [۱۱]. نتایج آنالیز تحلیلی این مطالعه پیشنهاد داد که در ارتباط با تغییرات فصلی طبیعی تواتر شکستگی‌ها در یک شرکت آبرسانی اولین گام قبل و بعد از آنالیز شکستگی‌ها در یک منطقه مدیریت فشار[1] (PMZ) در نظر گرفتن زمان اجرای مدیریت فشار است. علاوه بر این فهم بیشتر از روابط فشار- شکستگی برای هر جنس لوله از طریق آنالیز مناطق مدیریت فشار (PMZs) بزرگ با تعداد و تواتر شکستگی‌های اولیه بالا با یک نوع غالب از جنس لوله میسر می‌شود. بنابراین در این مطالعه بطورکلی بهبودهای بیشتری در روش‌های پیش‌بینی شکستگی‌ها با در نظر گرفتن تغییرات فصلی و تفاوت در جنس لوله با استفاده از روش های تحلیلی توسعه داده شد و تست گردید و پیشنهادات زیر جهت آنالیز داده های فشار- شکستگی ارائه شد [۱۱]:

- تواتر و تعداد شکستگی به‌صورت ماهیانه یا سالیانه برای حداقل سه سال به‌صورت جداگانه برای خطوط اصلی و انشعابات مورد نیاز است.
- میانگین متحرک (۳ و ۱۲ ماهه) به کاهش نویزهای آماری[2] در داده‌ها کمک می کند.
- فشار ماکزیمم بایستی مقدار فشار استاتیکی ماکزیمم در نقطه میانگین منطقه (AZP) به علاوه هرگونه نوسانات فشاری باشد.

تورنتون و لمبرت (۲۰۱۲) یک رویکرد عملی برای آنالیز داده‌های فشار- شکستگی ارائه داده و همچنین یک فرم کلی معادله پیش‌بینی شکستگی ارائه دادند [۱۲]. در مورد بررسی اولیه تواتر شکستگی‌ها در شبکه آبرسانی آن‌ها پیشنهاد دادند که تغییرات ماهیانه تعداد و تواتر شکستگی‌ها برای کل شبکه آبرسانی مورد بررسی قرار گیرد. برای تفسیرهای معقول، این داده ها باید به‌صورت جداگانه برای خطوط اصلی به‌صورت تعداد

[1] Pressure Management Zone (PMZ)
[2] Statistical Noises

شکستگی در ۱۰۰ کیلومتر در سال و برای انشعابات به‌صورت تعداد شکستگی در هر ۱۰۰۰ انشعاب در سال بیان شود [۱۲]. همچنین با محاسبه شاخص تواتر شکستگی (BFI) می‌توان یک ارزیابی سریع از گرایش نسبی شکستگی‌ها داشت. برای انتخاب مناطقی برای مطالعات روی آنالیز روابط فشار-شکستگی، ضروری است که مناطقی با تعداد قابل توجهی شکستگی قبل از اجرای مدیریت فشار انتخاب شوند. مقادیر راهنمای پیشنهادی استرالیا برای انتخاب مناطق قبل و بعد از آنالیز داده به شرح ذیل است [۱۳]:

- انتخاب مناطقی با تعداد بیش از ۲۰ شکستگی خطوط اصلی در هر ۱۰۰ کیلومتر در سال و تعداد ۱۰ یا بیشتر شکستگی انشعابات در هر ۱۰۰۰ انشعاب در سال، به خاطر اینکه نویزهای آماری تغییرپذیری سالیانه طبیعی در تعداد شکستگی های پائین می‌تواند به راحتی هر کاهشی که ناشی از مدیریت فشار بوده را پنهان کند.
- کاهش قابل توجه (بیش از ۲۰ درصد) در فشار ماکزیمم در نقطه متوسط منطقه (AZP) و اندازه‌گیری پیوسته فشار در این نقطه.
- تلاش برای انتخاب مناطقی با یک جنس لوله غالب برای خطوط اصلی و انشعابات با یک سن مشابه (برای مثال خطوط اصلی عمدتاً چدن و انشعابات عمدتاً پلی اتیلن باشد)، چرا که جنس لوله‌های متفاوت احتمالاً جواب‌های مختلفی با تغییر در فشار می‌دهند.
- حداقل داده‌های تعمیرات ماهیانه قابل اعتماد قبل از اجرای مدیریت فشار به‌صورت جداگانه برای خطوط اصلی و انشعابات به مدت ۳ تا ۴ سال به‌منظور محاسبه تواتر شکستگی متوسط قبل از مدیریت فشار.

عموماً ترک‌های حلقه‌ای که در خطوط اصلی با قطر پائین و جنس چدن و آزبست سیمان اغلب در زمان رانش یا حرکت خاک تجربه می‌شوند، نشان دهنده آن است که افزایش نوسانات فصلی مستقل از فشار است. اما برای دیگر جنس‌های لوله و ترک‌های طولی در لوله، فشار ماکزیمم و ضخامت مؤثر دیواره لوله به عنوان پارامترهای کلیدی در شکستگی تشخیص داده‌شده‌اند. اما در عمل کاهش قابل توجهی در تواتر شکستگی‌ها معمولاً بعد از مدیریت فشار در تمامی سیستم‌ها با شاخص تواتر شکستگی نسبتاً بالا و نوسانات فصلی زیاد، صرف نظر از جنس لوله‌ها رخ می‌دهد [۱۲]. در تفسیر این رویداد تورنتون و لمبرت (۲۰۱۲) پیشنهاد دادند که در رویکرد مفهومی STBTCB می‌توان چنان فرض کرد که فشار بالا معمولاً یک فاکتور کمک کننده به شکست به‌جای یک فاکتور اصلی برای آن است [۱۲].

با استفاده از معیارهای انتخابی که در بالا ذکر گردید، برای مناطق مدیریت فشار با لوله‌هایی از جنس یکسان و تعداد شکستگی بالا، شکستگی‌ها می‌تواند در مقابل مقادیر فشار ماکزیمم در نقطه میانگین منطقه (AZP_{max}) برای هر ناحیه مجزا قبل و بعد از اجرای مدیریت فشار ترسیم گردد. به عنوان مثال شکل ۵ که مقادیر فوق را برای انشعابات پلی اتیلن در هفت منطقه در یک شرکت آبرسانی در استرالیا ارائه داده است، تغییر ناگهانی در نرخ شکست لوله‌ها با تغییر فشار آن چنانکه که در شکل ۳ ارائه شده را نشان نمی‌دهد [۱۴]. پس از آزمایش معادلات مختلف برازش منحنی با مجموعه‌های مختلفی از داده‌ها با کیفیت خوب از ۲۲ ناحیه مدیریت فشار (PMZs) در انگلستان و همچنین ۱۱۰ مجموعه داده بین‌المللی، یک فرم پیشنهادی از معادله کلی برای پیش‌بینی تواتر شکستگی‌های جدید (شکل ۶) توسط تورنتون و لمبرت (۲۰۱۲) به‌صورت رابطه (۳) ارائه گردید [۱۲]:

$$\text{Burst Frequency (BF)} = BF_{npd} + BF_{pd} = BF_{npd} + A \times AZP_{\max}^{N_2} \qquad (3)$$

که در آن BF_{npd} مؤلفه تواتر شکست می‌باشد که وابسته به فشار نیست. BF_{pd} مؤلفه وابسته به فشار بوده که تابعی از فشار ماکزیمم در نقطه میانگین منطقه (AZP_{max}) به توان N_2 می باشد که در آن N_2 نزدیک به ۳ می باشد (یک رابطه مکعبی) و A ضریبی است که بر شیب بخش وابسته به فشار رابطه تأثیر می‌گذارد [۱۲]. همچنین می‌توان شیب منحنی شکل ۶ (S) یا همان فاکتور تواتر شکستگی (BFF) در هر بخش از منحنی را از رابطه (۴) بدست آورد [۱۲]. از طرفی رابطه بین درصد کاهش در تواتر شکستگی‌ها و AZP_{max} از رابطه (۵) قابل حصول است [۱۴]:

$$S = (1 - BF_{npd} / BF_0) \times (1 - (P_1 / P_0)^{N_2}) / (1 - P_1 / P_0) \qquad (4)$$

$$\%\ \text{Reduction in BF} = (1 - BF_{npd} / BF_0) \times (1 - (P_1 / P_0)^3) \qquad (5)$$

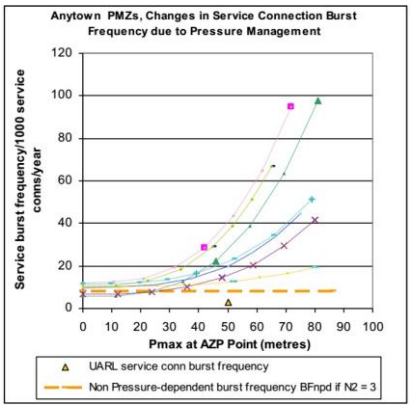
که در آن BF_0 تواتر شکستگی اولیه و P_0 و P_1 مقادیر فشار ماکزیمم در نقطه متوسط منطقه قبل و بعد از اجرای مدیریت فشار می‌باشد. برای استفاده از آخرین روش پیش‌بینی شکستگی‌ها (روش پیش‌بینی ۲۰۱۲)، باید بتوان تخمینی از BF_{npd} داشت. این تخمین می‌تواند دو تا سه سال بعد از اعمال مدیریت فشار چک گردیده و اصلاح گردد. تورنتون و لمبرت (۲۰۱۳) یک روش ساده برای تخمین BF_{npd} توسعه داده و تست کردند که شامل موارد زیر است [۱۴]:

۱- گردآوردی داده‌های مربوط به تعمیر خطوط اصلی از مناطقی با بیش از ۱۰ تعمیر خط اصلی در سال، به‌منظور کمینه کردن نویز داده‌ها از مناطقی با تعمیرات کمتر (در صورت نیاز می‌توان داده‌ها از مناطق کوچکتر را جمع‌آوری کرد).

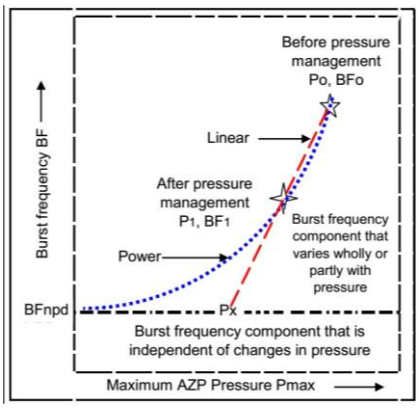
۲- ترسیم داده‌های مربوط به تواتر شکستگی ها در مقابل فشار متوسط شبانه منطقه برای هر ناحیه

۳- تخمین مرز پائین برای داده‌های ترسیم شده، که می‌تواند به عنوان تخمین اولیه BF_{npd} برای خطوط اصلی به کار رود.

۴- تکرار روند فوق برای انشعابات.

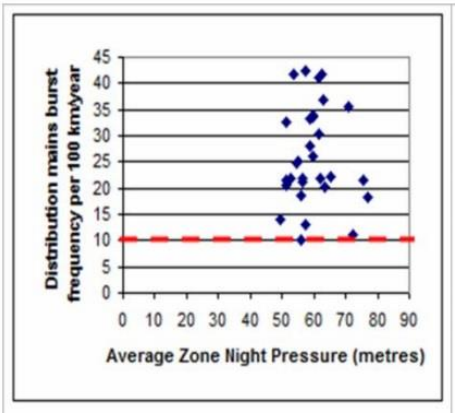


شکل ۵ – انشعابات پلی‌اتیلن در مناطق مدیریت فشار در یک شرکت آبرسانی استرالیایی [١٤]

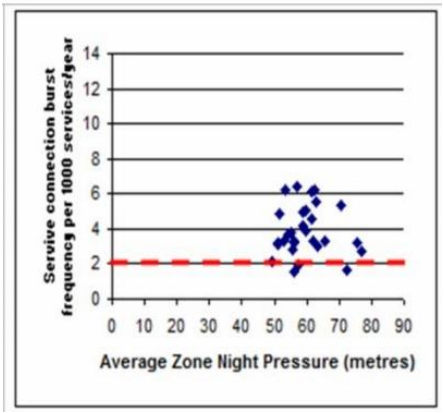


شکل ٦- رابطه کلی بین تواتر شکستگی و ماکزیمم فشار در نقطه میانگین منطقه [۱۲]

مقادیر BF_{npd} برای مناطق مختلف تغییر کرده و متفاوت است. برای مثال این مقادیر برای شکل ۷ و ۸ که برای یک شبکه آبرسانی با شرایط زیربنائی خوب در یک کشور پیشرفته است، در حدود مقادیر تواتر شکستگی در فرمول UARL بوده و برابر ۱۰ شکستگی خطوط اصلی در ۱۰۰ کیلومتر در سال و ۲ شکستگی انشعابات در هر ۱۰۰۰ انشعاب در سال می‌باشد [۱۴].



شکل ۷ – تخمین BF_{npd} اولیه برای خطوط اصلی [١٤]



شکل ۸ – تخمین BF_{npd} اولیه برای انشعابات [١٤]

۳. نتیجه‌گیری

در این مقاله نتایج مطالعات گروه کاری هدررفت آب انجمن بین المللی آب در خصوص روابط فشار- شکستگی و آخرین پیشرفت‌ها در این حوزه مورد بحث و بررسی قرار گرفت. نتایج این مطالعات به طور کلی نشان داد که رابطه فشار- شکستگی را نمی‌توان مانند رابطه فشار- نشت یا فشار- مصرف با یک مؤلفه توانی مدلسازی کرد. مطالعات بعدی به‌منظور توسعه یک رویکرد مفهومی در مورد رابطه فشار- شکستگی منجر به معرفی مفهوم STBTCB و رابطه پایه فشار- شکستگی ۲۰۰۶ شد. پس از آن مطالعات بیشتر نشان داد که رابطه فشار- شکستگی را می‌توان به دو بخش کلی شامل بخش وابسته به فشار و بخش غیر وابسته به فشار طبقه‌بندی کرد. با توجه به این رویکرد لمبرت و تورنتون (۲۰۱۲ و ۲۰۱۳) یک فرم کلی معادله برای نشان دادن رابطه فشار- شکستگی ارائه دادند که صحت سنجی این رابطه نشان داد که این رابطه به خوبی قابلیت مدلسازی رابطه فشار- شکستگی را برای شبکه‌های آبرسانی دارد. لیکن مطالعات و تحقیقات بیشتر در خصوص رابطه فشار- شکستگی و در نظر گرفتن دیگر پارامترها و مؤلفه‌های مؤثر بیش از پیش احساس می‌شود.

۴. مراجع

1. Lambert, A. & Fantozzi, M. (2010) Recent developments in pressure management. *IWA Conference 'Water Loss 2010', Sao Paolo, Brazil, June 2010*.

2. May, J. (1994) Pressure Dependent Leakage. *World Water and Environmental Engineering,*

October 1994.

3. Lambert, A. & Morrison, j. A. E., (1995) Recent developments in application of burst and background estimates concepts for leakage management. *Welsh Water, Bangor, Gwyneed, UK.*

4. Lambert, A. (2001) What do we know about pressure: leakage relationships. *IWA Conference, BRNO, 2001*, ISBN 80-7204-197-51.

5. Farley, M. and Trow, S. (2003). *Losses in Water Distribution Networks – A Practitioner's Guide to Assessment, Monitoring and Control*, IWA Publishing, London.

6. UKWIR (2003). *Leakage Index Curve and the Longer-Term Effects of Pressure Management*. Report Ref. No. 03/WM/08/29

7. Thornton, J., and Lambert, A., (2005): "Progress in Practical Prediction of Pressure/Leakage, Pressure/Burst Frequency and Pressure/Consumption Relationships". *Proceedings of IWA Special Conference 'Leakage 2005' , Halifax, Canada, September 2005*.

8. Pearson, D., Fantozzi, M., Soares, D., and Waldron, T., (2005). Searching for N_2: How does pressure reduction reduce burst frequency? *Leakage 2005: Conference Proceedings, Halifax, Canada, September 2005.*

9. Thornton, J., and Lambert, A., (2006) Managing Pressure to reduce new breaks. *Water 21*, Dec 2006, 24-26.

10. Thornton, J., and Lambert, A., (2007) Pressure management extends infrastructure life and reduces unnecessary energy costs. *Water Loss 2007: Conference Proceedings, Bucharest -Romania, 23-26 Sept 2007.*

11. Lambert, A., and Thornton, J., (2011) The relationships between pressure and bursts – a 'state-of-the-art update'. *Water 21*, April 2011, 37-38

12. Lambert, A., and Thornton, J., (2012) Pressure:Burst Relashanships:Influence of pipe materials, Validation of Scheme Results and Implications of Extended Asset Life. *Water Loss 2012: Conference Proceedings.*

13. WSAA (2011): *Framework for Targeting Leakage and Pressure Management*. Report for Water Services Association of Australia, by Wide Bay Water Corporation and Water Loss Research & Analysis Ltd, May 2011, as part of as part of WSAA Asset Management Project PPS-3, Review of Leakage Reporting and Management Practices, Stage 3.

14. Lambert, A., Fantozzi, M., and Thornton, J., (2013) Practical Approches to Modeling Leakage and Pressure Management in Distribution Systems-Progress since 2005. *12th International Conference on Computing and Control for the Water Industry, CCWI2013.*