کاهش تلفات آب در شبکه‌های تامین آب شهری

Dipl. Ing. Joachim Werner*

مقدمه

برای تمام موجودات روی زمین آب یکی از عوامل بنیادین حیات است. انسان نیز همیشه به دنبال این مایه حیات بوده است. از آنجاکه آب لازمه زندگی است، از نظر این نیاز، در زندگی مدرن امروزی نیز نسبت به گذشته هیچ تغییری به وجود نیامده است. انسان آب را از جایی از منابع طبیعی استحصال می‌کند که وجود داشته باشد (آب‌های زیرزمینی، آب دریا، آب باران جمع‌آوری شده و غیره) و آن را پس از استحصال تصفیه می‌کند تا قابل شرب شود. بویژه در نقاطی که تعدادی از مردم اگرچه اندک، زندگی می‌کنند نیز هیچ کس نمی‌تواند آب را مستقیماً از نقطه‌ای که سرچشمه می‌گیرد، مورد استفاده قرار دهد. بدین ترتیب در شهرهای بزرگی که مردم زندگی می‌کنند، شبکه‌های وسیع توزیع آب احداث می‌شود تا آب به مشترکین و به مصرف‌کنندگان آن برسد.

برای اینکه این آب تامین شده در چنین سامانه‌هایی، قابل استفاده و در دسترس باشد، فشار آب در شبکه باید طوری باشد که بتواند به هر ترازی که آب مصرف می‌شود، جریان یابد. فشار لازم به وسیله پمپ‌ها، مخازن بلندپایه و سایر تسهیلاتی که خارج از بحث ماست تأمین می‌شود.

تلفات آب

شبکه‌های تامین آب مورد اشاره، سازه‌هایی فنی هستند که طول کلی لوله‌های شبکه ممکن است به چند صد کیلومتر برسد. این چنین شبکه‌هایی ممکن است به علل مختلف آسیب ببینند. از نقطه‌های آسیب دیده آب موجود در شبکه نشت می‌کند و بدین ترتیب وجود نقطه‌ای آسیب دیده محرز و معلوم می‌شود. مصادف شدن فشار لازم در شبکه و وجود نشت، منشأ بروز تلفات آب در شبکه می‌شود که ممکن است مقدار آن قابل توجه یا اندک باشد.

با فرض ثابت بودن فشار، مقدار تلفات، متناسب با بسامد خسارات وارده و تعداد و

---

* - مهندس آب‌شناسی. دوسلدورف، آلمان

تراکم آنها افزایش می‌یابد. آبی که بدین ترتیب هدر می‌رود، هرگز به وسیله مصرف کنندگان و مشترکین قابل استفاده نخواهد بود.

در نقاطی که آب فراوانی وجود دارد، بعضاً مقدار اینگونه تلفات به قدری زیاد است که بیش از آب تصفیه شده‌ای می‌باشد که به دست مشترکین می‌رسد و این خود موجب می‌شود تا برای تامین آب کافی، تاسیسات تصفیه موجود بیشتر گسترش یابد که این خود نیازمند سرمایه گذاری بیشتر است و هزینه‌های بهره‌برداری را نیز به صورتی غیر اقتصادی افزایش می‌دهد.

در مناطقی که منابع آب محدود است، اینگونه تلفات آب، با میزان بالا، موجب کمبود آب شده و تامین آب کافی مشکل بوده و مردم را در معرض خطر کم آبی قرار می‌دهد.

با توجه به اهمیت بسیار بالای تلفات آب در شبکه‌های تامین آب، به مسایل آن باید با جدیت و دقت بیشتری توجه شود.

امروزه روش‌هایی ابداع شده است که با استفاده از آنها می‌توان تلفات آب در شبکه را در حد مجاز نگاه داشت. طبیعی است که اعمال این روش‌ها نیازمند هزینه است و نیز در به کارگیری این روش‌ها دستورالعمل‌های سامان یافته، الزامی است. باید توجه داشت که بهسازی و ترمیم واقعی، به یک باره و در کوتاه مدت امکان‌پذیر نیست. برای کاهش واقعی تلفات باید پایش مستمر شبکه صورت گیرد و ضمن کنترل منظم آن، خسارات وارده به طور مرتب ترمیم شوند.

۳- علل تلفات آب

اساساً می‌توان گفت که وجود تلفات زیاد در شبکه، نشان دهنده نامناسب بودن وضعیت شبکه است. این نامناسب بودن، ممکن است ناشی از احداث نامناسب شبکه باشد و از طرف دیگر باید توجه داشت که نامناسب بودن حالت شبکه پیامدهای ناگوار دیگری از قبیل خوردگی و آسیب پذیری‌های مکانیکی خارجی را به دنبال خواهد داشت. مهمترین عوامل موثر در تلفات آب عبارت از موارد زیر است:

- نوع خاک / زمین
- آب بندی اتصالات
- مصالح مورد استفاده در ساخت لوله‌ها
- عمر خط لوله

- حالت پوشش بیرونی لوله‌ها
- کیفیت اتصالات لوله‌ها
- ناحیه‌هایی که در معرض خوردگی ناشی از جریان مستقیم (راه آهن و غیره) هستند.
- عملیاتی که از سوی اشخاص ثالث صورت می‌گیرد (مثل کارهای ساختمانی)

بنابراین می‌توان اذعان داشت که عملیات ساختمانی و اجرایی در احداث شبکه تامین آب باکیفیتی بالا و استاندارد و نیز انتخاب مصالح مناسب و درست در ساخت لوله‌ها، نقش عمده‌ای در پرهیز از وجود تلفات آب ایفا می‌کند.

با ملاحظه عوامل موثر در تلفات فوق الذکر، عوامل اصلی موثر در بروز و افزایش تلفات، آنهایی هستند که به صورت مستقیم می‌توان بر آنها تاثیر گذار بود. آنچه که اثرگذاری مستقیم بر آنها مشکل است، نوع خاک و زمینی است که لوله در آن خوابانیده می‌شود. متاسفانه تجربه نشان داده است که این عامل، در بروز تلفات آب، بیشترین تاثیر را دارد. بویژه خاک‌های رسی و زمین‌های سنگی دارای گسل، مهمترین عامل بروز خسارات ذیل است:

- خوردگی ناشی از خاک‌های خورنده و مهاجم
- فرایندهای جابجایی خاک ناشی از تغییرات و نوسانات آب زیرزمینی در آنها
- مخلوط شدن آب حاصل از نشت با خاک و زمین اطراف محل نشت که به آسانی در سطح زمین ظاهر نمی‌شود؛ مگر اینکه مدتی طولانی، نشت صورت گرفته باشد.

آسیب‌های پویا و شاخصی را که بتوان در امتداد خط لوله تشخیص داد، وقتی است که، به طور متوالی، تلفات آب قابل توجهی در آن محدوده صورت گرفته باشد.

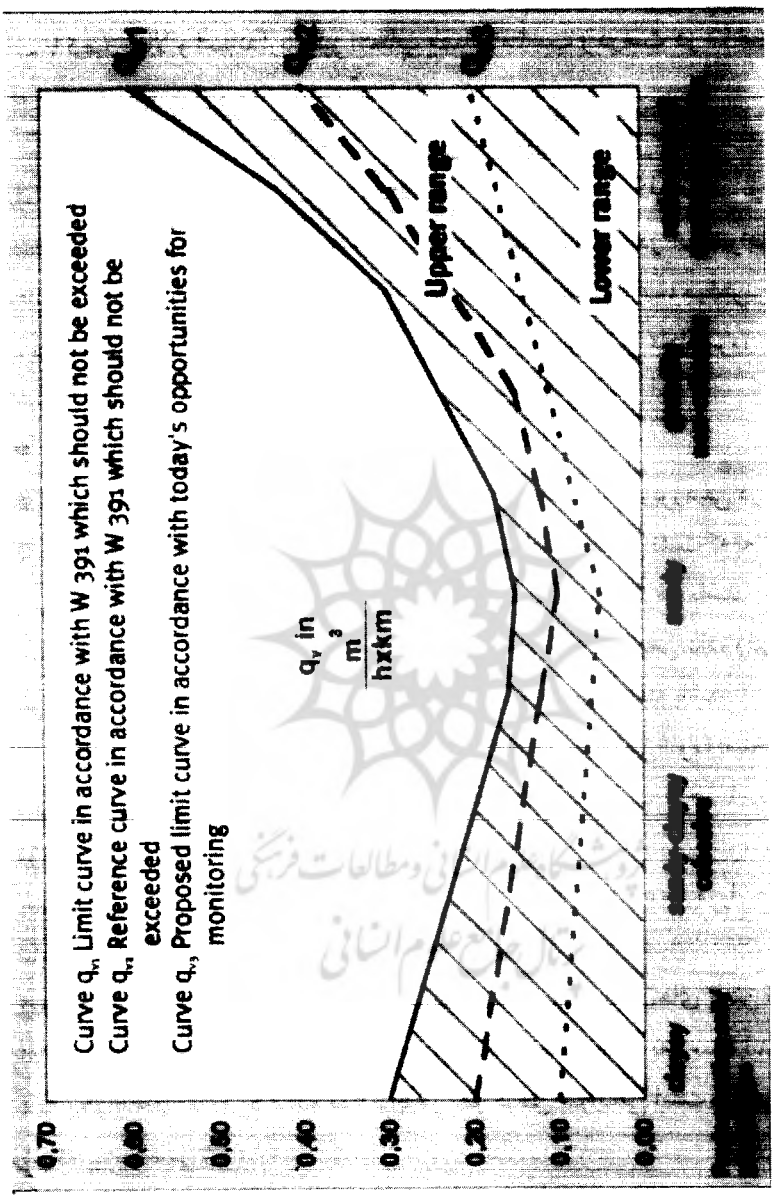
شکل ۱ از مجموعه مقررات آلمان که (Water 391) نامیده می‌شود، استخراج شده است و روشن می‌کند که تاثیر عوامل فوق الذکر چگونه است. اهمیت و حساسیت سه منحنی موجود در شکل به قرار زیر است:

q_{v1} یک منحنی محدوده کننده مقادیر است - بر مبنای مجموعه مقررات آلمان - هرگز نباید فراتر رود.

q_{v2} منحنی مرجع نامیده می‌شود، این بدان معناست که سازمان‌های تامین کننده آب باید تلاش کنند تا مقادیر نشان داده شده در آن منحنی، تحقق یابد و به دست آید.

q_{v3} یک منحنی محدود کننده مقادیر با در نظر گرفتن شرایطی است که برای مراقبت از شبکه پیشنهاد می‌شود.

به عبارت دیگر اگر همه سازمان‌های متولی تامین آب، پایش دائم از شبکه را داشته و اقدامات و تمهیدات لازم را اعمال کنند در ویرایش‌های آتی مجموعه مقررات، منحنی حد مقادیر از q_{v1} به q_{v3} کاهش می‌یابد و تغییر می‌کند.



شکل ۱ – مقادیر مشخصاتی تلفات ویژه آب به عنوان شاخص‌های شناسایی نوع خاک / زمین

تلفات آب بر حسب m3/h بر کیلومتر لوله در محور Y و انواع مختلف زمین بر روی محور X نمایش داده شده است. این مسئله تاثیر آشکار انواع مختلف زمین‌ها را در بروز تلفات آب نشان می‌دهد. در شکل نشان داده شده است که پایین‌ترین تلفات وقتی است که زمین بستر لوله از سازه‌های ماسه‌ای شکل گرفته باشد. هرچه به سمت چپ و به طرف مناطق رسی پیش می‌رود، خورندگی خاک‌ها افزایش می‌یابد و در نتیجه تلفات آب ناشی از خوردگی بیشتر می‌شود. در حرکت به سمت راست منحنی، به نوع زمین‌های سنگی می‌رسد که افزایش تلفات در اینگونه بسترها، ناشی از نیروی پویا و مکانیکی است که از طریق خاک اطراف آن بر خط لوله منتقل می‌شود و لذا در این شرایط باید حتی المقدور روی و اطراف لوله با ماسه پوشانیده شده و از ابتدا جلوی بروز تلفات آب گرفته شود.

فرصت‌های محدودی برای جلوگیری از تاثیر عوامل موتر بر تلفات آب از شبکه وجود دارد. لذا هرگز نباید به عوامل موثر در تلفات آب بی توجه بود و در مطالعه تلفات موجود آب نیز باید این عوامل را به درستی شناسایی و تعیین کرد. برای شناسایی و تعیین تلفات به چند مورد اشاره می‌شود.

۴- کاهش تلفات در شبکه

برای تعیین محل نشت در شبکه ابتدا باید سوال شود که کدامیک از دو روش زیر مورد نظر است:

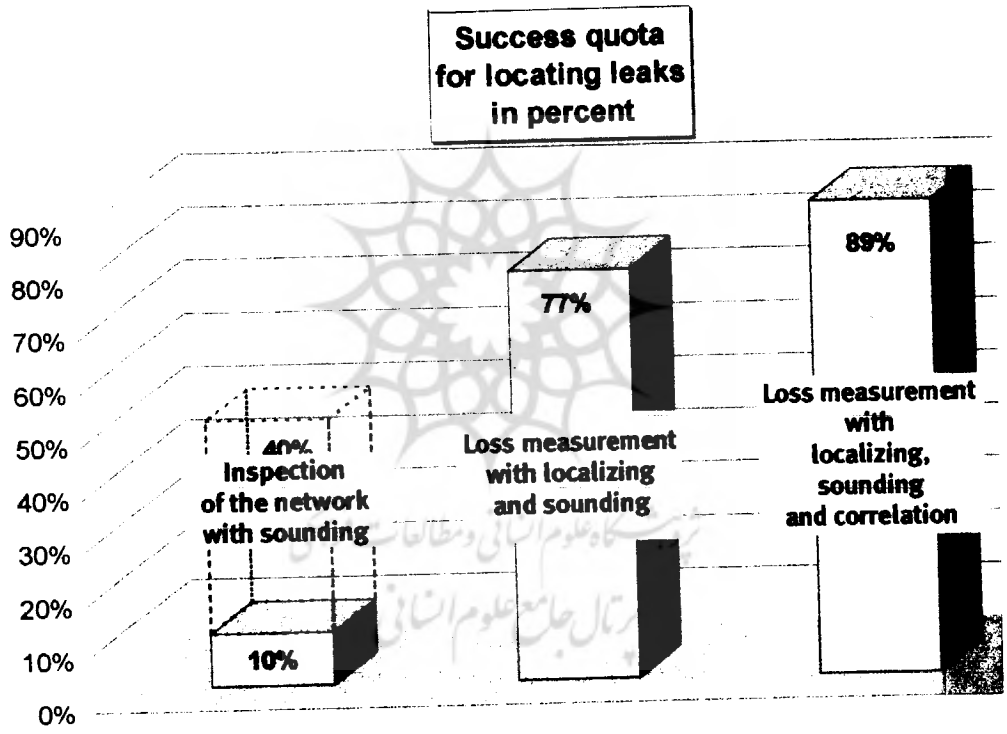
- روش کم هزینه گوش دادن و شنیدن صدا (بدون اندازه‌گیری مقدار تلفات)
- روش نسبتاً پرهزینه اندازه‌گیری مقدار تلفات (همراه با روش گوش دادن برای تعیین محل نشت)

امروزه به این سوالات به راحتی می‌توان پاسخ داد. به تجربه ثابت شده است که فقط طریق گوش دادن و شنیدن صدای آب نشتی به وسیله ژئوفون / میکروفون و یا هر وسیله دیگری در بلند مدت و در هر شبکه لوله‌گذاری، از هر قطری، به هیچ وجه موفقیت‌آمیز نخواهد بود. از سوی دیگر به کارگیری روش سامان یافته اندازه‌گیری تلفات با ترکیبی از روش تعیین محل نشت نتایج قابل توجهی در کاهش تلفات آب خواهد داشت که با مثال‌های متعددی می‌توان آن را نشان داد.

شکل ۲ نشان دهنده موفقیت‌ها در استفاده از روش ترکیبی اندازه‌گیری میزان تلفات و تشخیص محل نشت می‌باشد. اگر فقط مستقیماً از روش تشخیص محل نشت استفاده شود

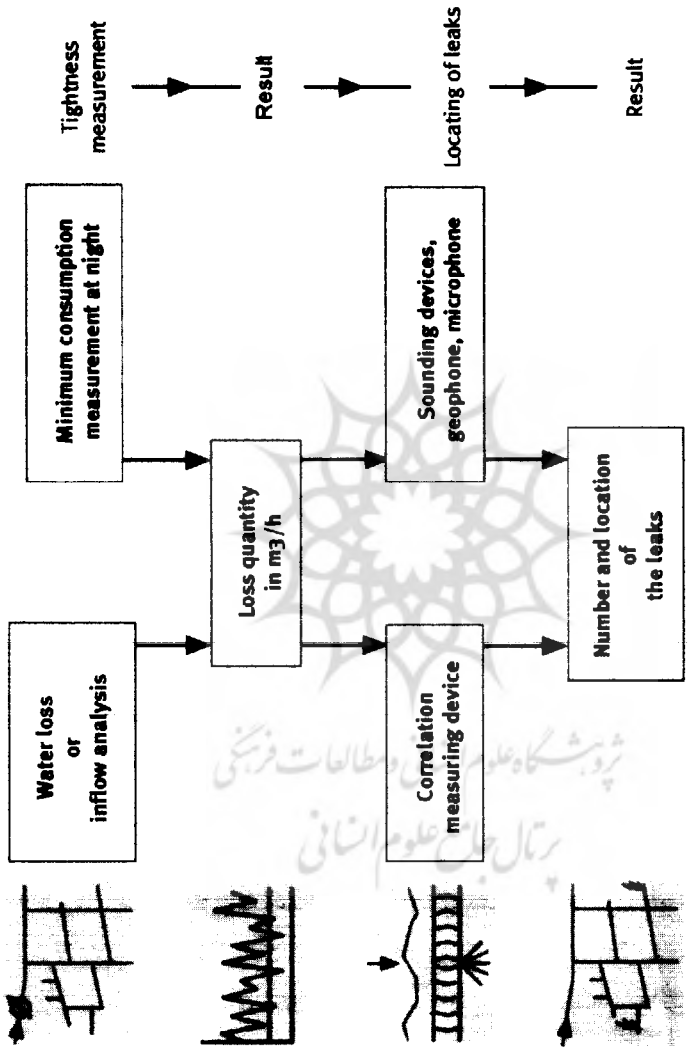
امکان کاهش تلفات ۴۰ - ۱۰ درصد است که در بیشتر موارد کاستن از تلفات به درصد کم نزدیک‌تر است. در حالی که وقتی از روش ترکیبی استفاده می‌شود امکان موفقیت در کاستن تلفات بین ۷۷ و ۸۹ درصد می‌باشد که سطح درصد کاهش بستگی به روش به کار رفته در تشخیص محل نشت دارد.

علت اینکه سطح موفقیت در تعیین محل نشت پایین است به آن سبب است که در این روش فقط با شنیدن صدا در امتداد خط لوله، محل نشت مشخص می‌شود. وقتی روش این است، صدا فقط با پیمایش امتداد خط لوله صورت می‌گیرد و صدای دستگاه‌های اندازه‌گیری نیز در این امتداد وجود دارد که سطح صداها با وسایل موجود ثبت می‌شود. درجه دقت در تعیین محل نشت، متناسب با سطح علائم صوتی است که ثبت و ضبط شده است و نیز به فرایند اندازه‌گیری به کار گرفته شده بستگی دارد.



شکل ۲ – امکان موفقیت با استفاده از روش ترکیبی فرایندهای اندازه‌گیری تلفات آب و تشخیص محل نشت

به هر حال هیچگونه همبستگی بین صدایی که شنیده می‌شود و مقدار نشتی که صورت می‌گیرد، وجود ندارد. برای مثال صدای ناشی از یک نشت جزیی در بستری سنگی ممکن است بسیار قوی‌تر از صدای نشتی باشد که از یک نشت زیاد در بستری ماسه‌ای صورت می‌گیرد.



شکل ۳ – توالی اقدامات در فرایند مدرن تشخیص محل نشت

باید توجه داشت که احتمال اینکه صدای نشت کم، علامت نشت آب کمی باشد، بیشتر از این است که صدای زیادِ نشت، علامت نشت آب زیادی باشد. به همین دلیل وقتی فقط از روش گوش دادن برای تشخیص نشت استفاده شود احتمال آماری پیدا کردن تعداد زیادی نشت‌هایی جزیی بسیار بیشتر از احتمال پیداکردن حتی تعداد کمی نشت‌های شدید و بیشتر است. به هر حال تجربه به ما می‌گوید که امکان دستیابی به تلفات بزرگی از آب در مرحله دوم قرار دارد بلکه احتمال یافتن تعداد نشت‌های بیشتر، زیادتر است. به هر حال وظیفه ما کاستن از تلفات آب در حداکثر میزان ممکن است. به عبارت دیگر تنها یافتن تعداد زیاد نقاط نشت هدف ما نمی‌باشد. باید تلاش شود که نشت‌های عمده و مهم شناسایی شوند. بدین ترتیب تحقیق معنی‌دار و موثر در زمینه نشت شامل مراحل ذیل است:

- به عنوان اولین گام و به منظور مشخص کردن نقاط نشت در قسمت‌های خاصی از شبکه یا مسیر خاص اندازه‌گیری شده، قطع آب در شبکه صورت می‌گیرد.
- به عنوان گام دوم، مشخص کردن محل واقعی نقاط آسیب دیده عملی می‌شود.

اجرای این فرایند مدرن از تحقیق نشت یابی در شکل ۳ نشان داده شده است.

۴ - ۱ تجزیه و تحلیل تلفات آب

روش‌های مختلف ذیل برای تعیین مقدار تلفات آب قابل استفاده است:

۱- استنتاج‌های مورد نظر از برکه بیلان کمّی آب (به عنوان برگه بیلان سالانه مقادیر آب)

۲- استنتاج‌های لازم از مقادیر آب روزانه‌ی تغذیه شده به شبکه (طبق مقررات، ارقام مربوط به روزهای یکشنبه)

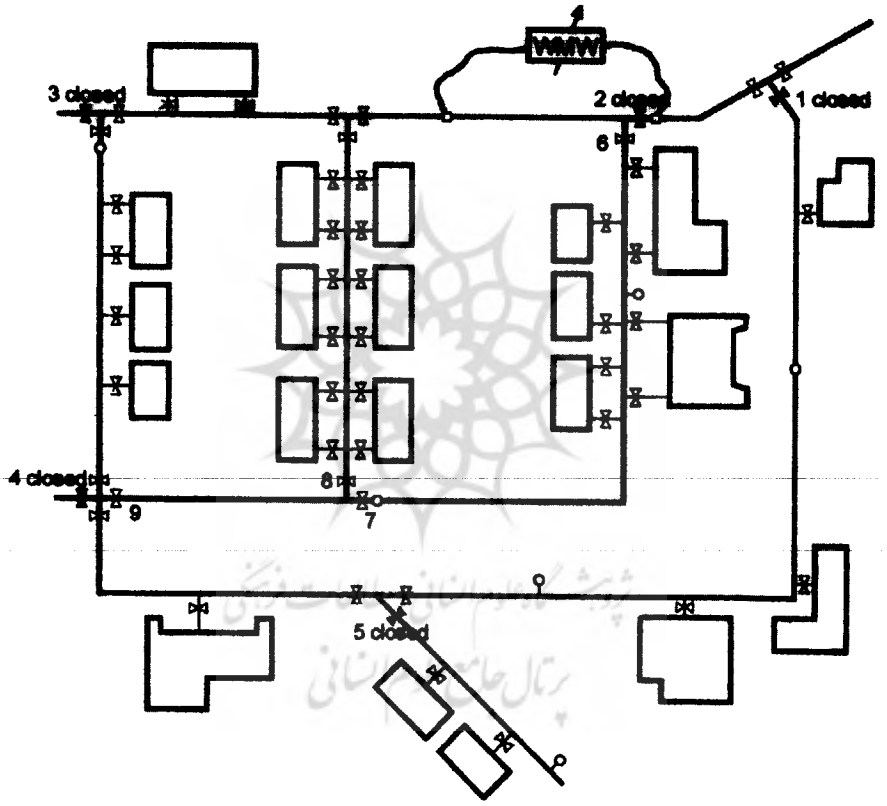
۳- تعیین مقادیر آب تغذیه شده ساعتی (اندازه‌گیری مصرف کمینه شبانه)

۴- اندازه‌گیری مصرف صفر (اندازه‌گیری لحظه‌ای)

در سه روش اول انتقال ثابت آب محلی و اندازه‌گیری‌ها مصرف آب مورد نیاز است. لازمه این کارها نصب تجهیزات اندازه‌گیری است که معمولاً در هر شبکه‌ای به درستی تعبیه نشده‌اند.

صرف نظر از دقتی که اعمال می‌شود، آب نشتی تشخیص داده شده در این روش‌ها معمولاً پایین است. لذا بحث را محدود به روشی می‌کنیم که تجارب حاصله نشان داده است که در میان‌مدت نتیجه موفقیت‌آمیزی داشته و تجزیه و تحلیل تلفات آب مورد نظر شامل اندازه‌گیری جریان ورودی در لحظه آزمون به کمک تجهیزات متحرک است.

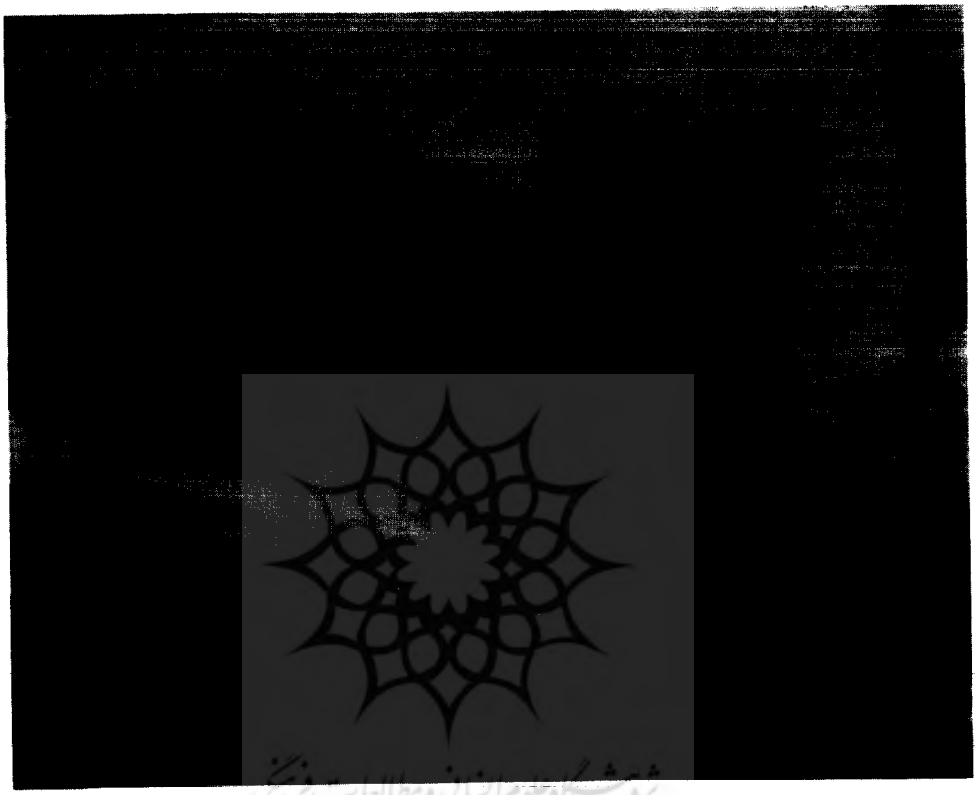
همانطور که ذکر شد، بخش‌هایی که تلفات آب در آنها بیشتر است باید در وهله اول مشخص شوند. زیرا اصلاح این قسمت‌های آسیب دیده موجب می‌شود تا موفقیت بیشتری حاصل آید. برای اینکه قادر به تعیین نقاط آسیب دیده، باشیم، لازم است که جزئیات شبکه با دقت هرچه بیشتر شناخته شده باشد. سپس برای تعیین تلفات، کل شبکه، به شبکه‌های کوچکتر یا شبکه‌های قسمتی، تقسیم شود. این قسمت‌های شبکه‌ای باید به گونه‌ای انتخاب شود که فقط از یک خط تغذیه شود. این آخرین خط تامین آب قسمت تحت مطالعه نیز باید بسته شده و تامین آب آن به وسیله پل اندازه‌گیری صورت گیرد. کل آب تامین شده برای این قسمت، فقط باید به وسیله این پل اندازه‌گیری باشد. شکل ۴ نشان دهنده این است که آب اینگونه شبکه بخشی، فقط از طریق پل اندازه‌گیری می‌باشد. تجهیزات خاصی برای این اندازه‌گیری وجود دارد.



شکل ۴ – تامین آب شبکه قسمتی، نقاط معمول مربوط به جریان ورودی به وسیله تجهیزات (پل‌های) اندازه‌گیری (شیر، شیر آتش نشانی، تجهیزات اندازه‌گیری، شیر آتش نشانی، شیر آب)

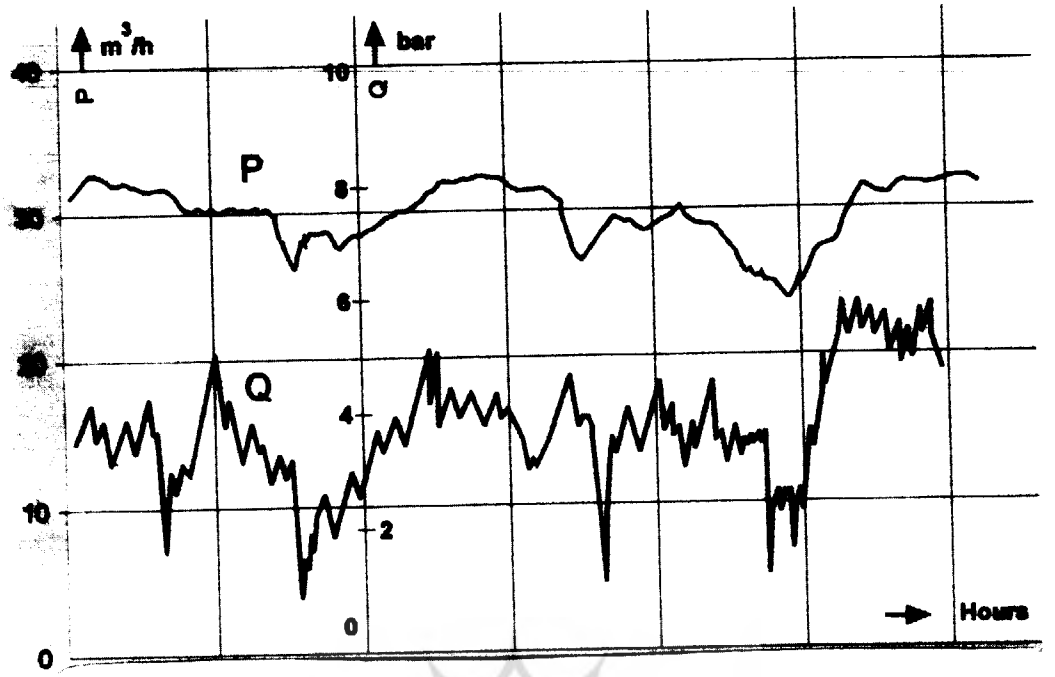
در شکل ۵ این نوع وسیله نقلیه تجهیزات اندازه‌گیری و سایر ابزارهای نصب شده در این وسیله نقلیه نشان داده شده است.

به وسیله این نقلیه، فشار و میزان جریان آب در مدتی معین اندازه‌گیری می‌شود. نتیجه این اندازه‌گیری مستمر به یک ثبات یا ثبت کننده داده‌ها انتقال می‌یابد و در صورت امکان مستقیماً و در همان زمان به اتاق کنترل ارسال می‌شود.



شکل ۵ – نقلیه حامل وسایل اندازه‌گیری با تمام تجهیزات مربوطه

مقادیر ثبت شده به صورت گرافیکی نمایش داده می‌شود. شکل ۶ اینگونه ردیابی را نشان می‌دهد. منحنی p نشان دهنده فشار اندازه‌گیری شده و منحنی Q میزان جریان ثبت شده را نشان می‌دهد.



شکل ۶ – ثبت میزان جریان و فشار آب در داخل وسیله نقلیه اندازه‌گیری

در این مثال، مقادیر کمتر، روشن‌تر تشخیص داده می‌شوند و تمام آنها کم و بیش ارتفاعی مساوی دارند. مقادیر موجود در محور Y در نقاط مربوطه، نشان دهنده مقدار تقریبی آبی است که در آن قسمت خاص تلف می‌شود. اگر دقت بالای اندازه‌گیری این مقادیر مورد نظر باشد، اطلاع از انشعاباتی که در طول شب مصرف آب مداوم دارند، بسیار مفید خواهد بود.

اطلاعات به دست آمده به روش فوق از شبکه‌های قسمتی متعدد، بر روی یک نقشه منتقل می‌شود. این نقشه باید کل شبکه را نشان دهد و هر شبکه‌ی قسمتی مورد نظر را در مقیاسی نسبتاً بزرگتر داشته باشد. یکایک شبکه‌های قسمتی پایش شده، علامت‌گذاری می‌شود. این شبکه‌های قسمتی، به ترتیب مقدار تلفات، از زیاد به کم فهرست شده و با رنگ یا بافت مشخصی، متمایز می‌شوند. نتایج حاصل از هر قسمت را می‌توان بر روی نقشه‌ی ناحیه‌ای منعکس کرد. از این نقشه با توجه به رنگ‌ها و بافت‌های معین، هر کس می‌تواند سریعاً قسمت‌هایی که بیشترین تلفات آب را دارند تشخیص دهد!

تهیه و فراوری این گونه نقشه‌ها را سامانه‌های اطلاعاتی ترسیمی (GIS –Graphical Information Systems) می‌نامند. اطلاعات پایه مورد نیاز در این نقشه‌ها را می‌توان مثلاً از نقشه طرح جامع شهرها، نقشه‌های موجود و یا عکس‌های هوایی به دست آورد. خطوط شبکه به کمک نقشه‌های موجود شبکه و یا با نقشه‌برداری، به دقت در نقشه‌های مورد نظر پیاده می‌شود. نهایتاً محدوده‌های شبکه‌های قسمتیِ رسم شده وداخل هر قسمت، با رنگ یا بافت متناسب با مقدار تلفات اندازه‌گیری شده، مشخص می‌شوند.

داده‌های اندازه‌گیری روی Data Logger ثبت می‌شوند یا مستقیماً به مرکز کنترل انتقال می‌یابند و داده‌های رقمی (Digital) به دست آمده در سامانه اطلاعاتی ترسیمی منعکس می‌شود. GIS یک پایه اطلاعاتی است که سایر داده‌ها و اطلاعات نیز در آن وارد می‌شود. بنابراین مثلاً علاوه بر مقادیر تلفات آب، طول خط لوله هر شبکه قسمتی، مصالح استفاده شده در لوله‌ها، تعداد اتصالات وغیره در آن منعکس می‌شود. می‌توان مجموعه‌ای از سامانه‌های اطلاعاتی ترسیمی را در رابطه با این گونه وظایف در بازار فروش نیز به دست آورد.

شکل ۷ نشان دهنده شبکه‌های قسمتی یک ناحیه بوده و با توجه به بافت، مقدار تلفات آب در آنها را نشان می‌دهد. قسمت‌هایی که بیشترین تلفات آب را دارند، با رنگ متمایز، مثلاً قرمز مشخص می‌شوند که به راحتی قابل رویت می‌باشند.

در گام‌های بعدی می‌توان محل واقعی و دقیق آسیب دیدگی و بروز تلفات را در قسمت‌هایی که بیشترین تلفات را دارند، شناسایی کرد. این نحوه به کارگیری و استفاده از منابع موجود به عنوان اصل "برداشتن قسمت‌های بالا آمده کیک" نامیده می‌شود. ملاحظه می‌شود که بدین ترتیب ناحیه‌هایی که بیشترین تلفات در آنها اتفاق می‌افتد، به وضوح قابل تحدید حدود می‌باشد. در فرایند تشخیص نشتی که بدین ترتیب اقدام شود، امکان یافتن نقاط آسیب دیده با بیشترین مقدار تلفات آب، به خوبی امکان‌پذیر است.

۵- روش عملی تعیین محل نشت در شبکه‌های قسمتی

گام بعدی، تعیین محل‌های نشت در شبکه‌های قسمتی به طور مستقیم است. موضوع روش عملی تعیین محل‌های نشت در شبکه‌های بخشی می‌تواند به تنهایی موضوع چند سخنرانی باشد. بنابراین فقط به ذکر نکات اساسی مربوط به آن، اکتفا می‌شود.

چند روش مختلف برای تعیین محل‌های نشت با بیشترین تلفات در یک شبکه‌ی بخشی

وجود دارد که به کمک فرایند تجزیه و تحلیل تلفات آب تشریح شده، عملی می‌شود.

معمول‌ترین روشی که به صورت گسترده برای تعیین محل نشت در شبکه‌های توزیع مورد استفاده قرار می‌گیرد، روش صدایی است که در اینجا به دو روش آن که مورد عمل بوده است، اشاره می‌شود (شکل ۸).

- روش مستقیم تشخیص صدا
- روش غیرمستقیم تشخیص صدا (از سطح زمین)

معمولاً از روی بلندی صدا به نقطه دقیق محل نشت پی می‌برند.

- تشخیص صدا با ژئوفون، بویژه در نواحی شهری و به لحاظ وجود صداهای زمینه‌ای، فقط هنگام شب صورت می‌گیرد.

بود و نبود نشت با روش تشخیص صدا و توفیق در انجام درست آن، به جنس لوله‌های مورد بررسی، ماهیت آسیب و شکستگی، فشار بهره‌برداری در خط جریان، و روشی که در متراکم کردن خاک اطراف لوله به کار گرفته شده است، بستگی زیادی دارد. واقعیت این است که قدرت شنوایی شخص گوش‌دهنده، بیشتر از دقت و حساسیت ژئو فون‌های مورد استفاده، در تشخیص صدا تاثیر دارد.

به رغم ابداع روش‌های جدید و با وجود پیشرفت‌های خاص در کیفیت میکروفون‌ها و اختصاص میکروفون‌هایی برای انواع خاک و لوله‌هایی از هر جنس و استفاده از هوای فشرده برای تشدید صدای نشت، نتایج حاصله هنوز اقناع کننده نمی‌باشند. به همین دلیل، روش همبستگی در تشخیص و تعیین محل نشت از اهمیت بالایی برخوردار است.

مزایای روش همبستگی در مقایسه با فن شنیدن صدا در این است که این روش بیشتر جنبه نموداری و نمایشی دارد. و به علاوه تعیین محل نشت را بدون توجه به صداهای موجود در اطراف آن محل، امکان‌پذیر می‌سازد. بدین معنی که اندازه‌گیری را می‌توان مشابه شب، در روز نیز انجام داد.

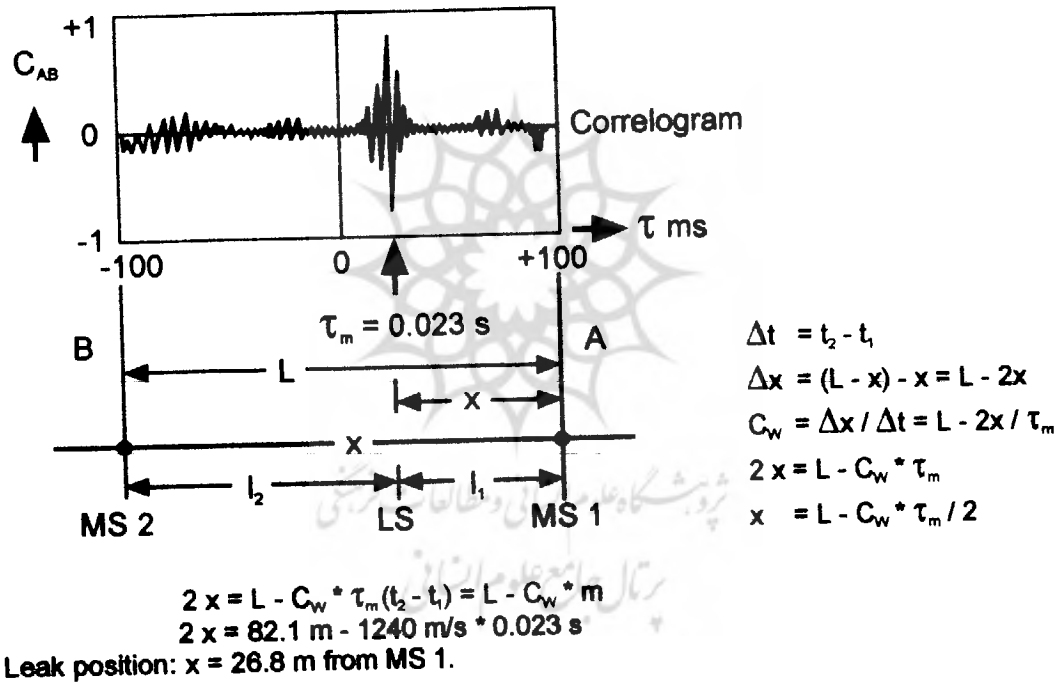
علائم صوتی که معمولاً در حالت صدا به گوش می‌رسد، آنچنان نیست که از قوانین فیزیکی تبعیت کند. صدای نشت برای شنونده و گوش دهنده حالت خاصی دارد که با صداهای معمولی اطراف متمایز است. همین مسئله موجب می‌شود که صدای مربوط به نشتی که از شبکه آب تحت فشار شنیده می‌شود، به وضوح متفاوت با صداهای معمولی اطراف و بیرونی باشد. به علاوه صداهای مزاحم بیرونی تحت الشعاع علائم صوتی مفید ناشی از نشت قرار می‌گیرد.

شکل ۷ – قسمتی از نقشه ایجاد شده در شبکه GIS که نشان دهنده قسمت‌هایی از شبکه تامین آب با مقدار تلفات آب در آن قسمت‌هاست

شکل ۸ – روش‌های تشخیص صدا، مستقیم و غیر مستقیم.

از سوی دیگر، در روش همبستگی می‌توان نوع این علائم صوتی را ارزیابی کرد. این مسئله به آن سبب قابل انجام است که از یک طرف فرایند جداسازی علائم صوتی تشدید شده در جهت مفید فایده بودن وبلندتر از صداهای اطراف عملی می‌شود و از سوی دیگر با روش فوق، تعیین محل نشت از طریق اندازه‌گیری زمان ادامه صدا انجام‌پذیر می‌باشد. با تجزیه و تحلیل واقعی همبستگی، می‌توان منبع صداهای ناشی از نشت را با استفاده از کوریلاتورهای مناسب به درستی تعیین محل کرد. کوریلاتور وسیله اندازه‌گیری مخصوصی است که صداها را به کمک ترانس دیوسرهایی، در نقاط مختلف، اندازه‌گیری و داده‌های لازم را به کمک برنامه محاسباتی موجود در آن، تهیه می‌کند. نتایج حاصل از عملیات محاسباتی کوریلاتور را کوریلوگرام می‌نامند.

شکل ۹ یک کوریلوگرام را به صورت نمایشی، نشان می‌دهد.



شکل ۹ – تعیین محل نشت به‌کمک اندازه‌گیری‌های همبستگی (ترسیمی است)

ارتفاع بیشینه و مقدار زمان تاخیری قابل تشخیص مربوط به آن (که با T_m نشان داده شده است)، تعیین محل نشت را امکان‌پذیر می‌کند. در هر حال باید طول لوله بین موقعیت تجهیزات حساس به صدا و سرعت انتشار صدا، معلوم شود. گرچه شرح جزئیات این روش بسیار گسترده است ولی می‌توان با مثالی توضیح خلاصه داد.

ابتدا یک ترانس دیوسر به دو سر شبکه بخشی، مثلاً به دو شیر ابتدا و انتهای بخش وصل شده و آنها را به کوریلاتور ارتباط می‌دهند. در اندازه‌گیری متعاقب آن، یک جهش بیشینه در روی اسیلوگراف داخل کوریلاتور با زمان تاخیر T_m مثلاً **80+** میکروثانیه به نمایش درمی‌آید. از فاصله بین دو نقطه اندازه‌گیری با طول ۱۱۲متر=L در ۸۰ میکروثانیه، سرعت صوت، Cw با استفاده از فرمول ذیل به دست می‌آید:

$$Cw = \Delta X / \Delta t = \frac{۱۱۲}{۰/۰۸۰} = ۱۴۰۰ m/s$$

به هر حال برای تعیین اینکه در فاصله تحت آزمون، نشت وجود دارد یا خیر، دو نقطه مورد نیاز است. اندازه‌گیری شماره ۱ با استفاده منبع صدای کمکی که می‌توان مثلاً با باز کردن چاهک شیر آتش‌نشانی سومی مجاور ایجاد کرد، صورت می‌گیرد. در دومین اندازه‌گیری، این چاهک بسته می‌شود، یعنی دیگر منبع صدای کمکی وجود ندارد. وقتی نتیجه همبستگی دو مورد، برای T_m مقدار مشابهی را نشان داد (در مثال فوق الذکر، ۸۰ میکروثانیه) نشان دهنده این است که نقطه و محل نشت باید خارج از محدوده و مقطع تحت آزمون واقع شده باشد.

به کمک کوریلاتور می‌توان راستا و جهتی را که باید تحقیق شود، تعیین کرد که این عمل به کمک فرمول تعیین محل نشت در تقاطع همبستگی، یعنی $2X = L - Cw.T_m$ صورت می‌گیرد. با توجه به مثال بالا:

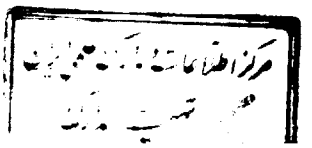
$2X=112m-1400m/s\ 0.08s$

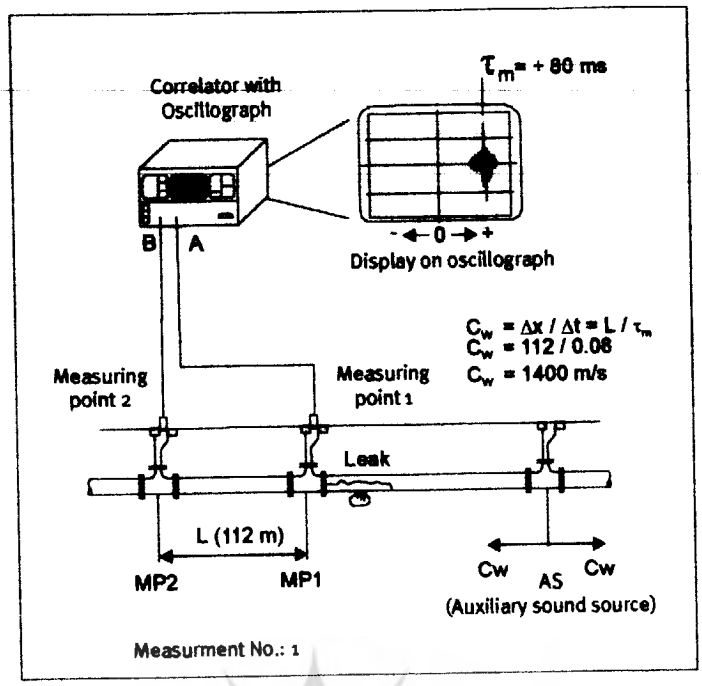
$2X=112m - 112m$

$X=O$

با این نتیجه مشخص می‌شود که در این مقطع نشتی وجود دارد، و چون T_m مثبت است، پس باید نقطه نشت در فاصله دوری از نقطه اندازه‌گیری MP_1 (نقطه اندازه‌گیری شماره ۱) واقع شده باشد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی





شکل ۱۰ – اندازه‌گیری با استفاده از منبع صوتی کمکی

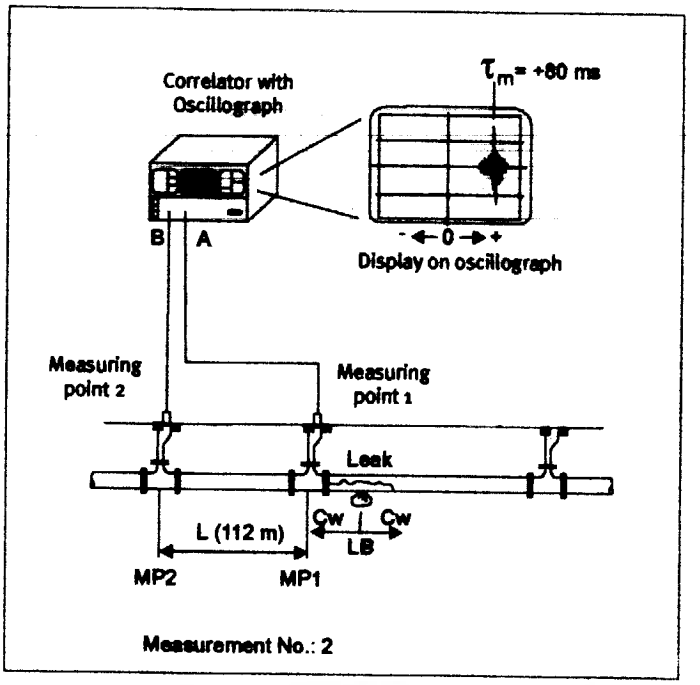
ترانس دیوسر نقطه اندازه‌گیری شماره ۱، MP1 در شیر آتش نشانی بعدی نصب و اندازه‌گیری سوم صورت می‌گیرد. در این مورد، زمان بیشینه در ۰/۱۶ = T_m میکروثانیه به نمایش در می‌آید. با گذاشتن یک علامت (Cursor) در صفحه تحلیل گرو در T_m بیشینه کوریلوگرام، رقم مربوط به نقطه نشت مستقیماً نشان داده می‌شود یا می‌توان این فاصله را با استفاده از فرمول ذکر شده محاسبه کرد و به دست آورد. این فرمول همان است که قبلاً بیان شد، و لذا موقعیت نشت به روال ذیل پیدا می‌شود:

$$۲X = ۲۵۲m + ۱۴۰۰m\ (۰/۱۶S)$$

$$۲X = ۲۵۲m + ۲۲m$$

$$X = ۱۳۷m$$

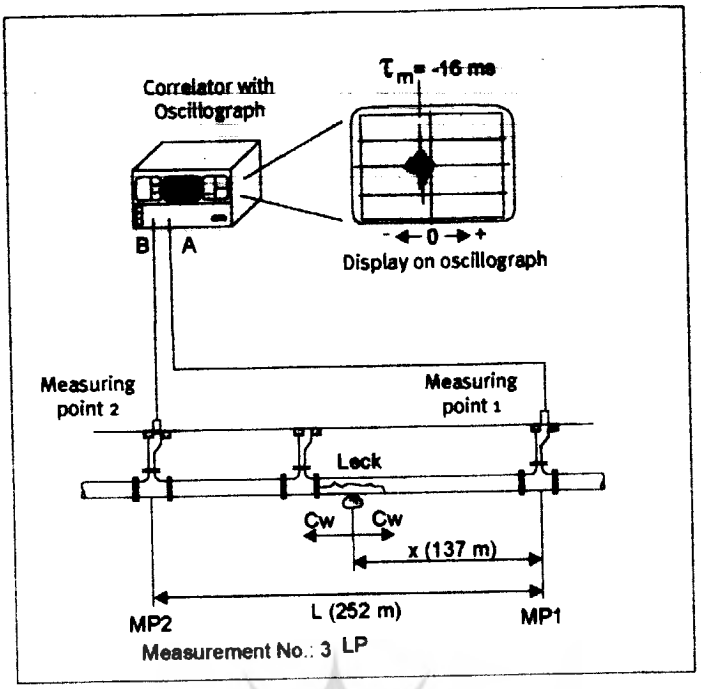
بنابراین نقطه نشت در فاصله ۱۳۷ متری نقطه اندازه‌گیری، MP1 قرار دارد.



شکل ۱۱ – اندازه‌گیری بدون استفاده از منبع صوتی کمکی

در کاربردهای پیچیده‌تر از فرایندهای رایانه‌ای رقمی، با کوریلاتورهای مخصوص استفاده می‌شود. علاوه بر دو روش معمول همبستگی متقاطع و همبستگی خودکار، از طیف و طیف متقارب نیز استفاده می‌شود. این موارد فقط برای اطلاع مطرح می‌شود که شرح جزئیات آنها خارج از حوصله این نوشتار است. اندازه‌گیری صدای ایجاد شده مستلزم دستیابی به خود خط یا وسیله تولید صدای متصل به خط می‌باشد. به هر حال اینگونه تجهیزات انتقال دهنده صوت، معمولاً به تعداد فراوان یافت می‌شوند (مثل شیرهای تخلیه یا شیرفلکه‌ها، در چاهک‌ها و در انتهای خطوط انشعاب منازل).

ضمن پرهیز از تشریح کامل جزئیات نحوه عمل، لازم به ذکر است که امروزه منتقل کردن بی وقفه نتایج حاصل از اندازه‌گیری در شبکه، به GIS مذکور به راحتی امکان‌پذیر است. نتایج را می‌توان بلافاصله به صورت رقمی ارزیابی و یافته‌ها را در نقشه‌ای که شرح آن گذشت منعکس کرد. با مصالحی که امروزه در دسترس می‌باشد، با تمرکز فعالیت‌ها در نقاط آسیب دیده که موجب تلفات بسیار زیاد آب می‌شوند، می‌توان به راحتی آنها را ترمیم کرد.



شکل ۱۲ – اندازه‌گیری سوم با تغییر MP_1

۶- موفقیت‌ها و محدودیت‌های فرایندها

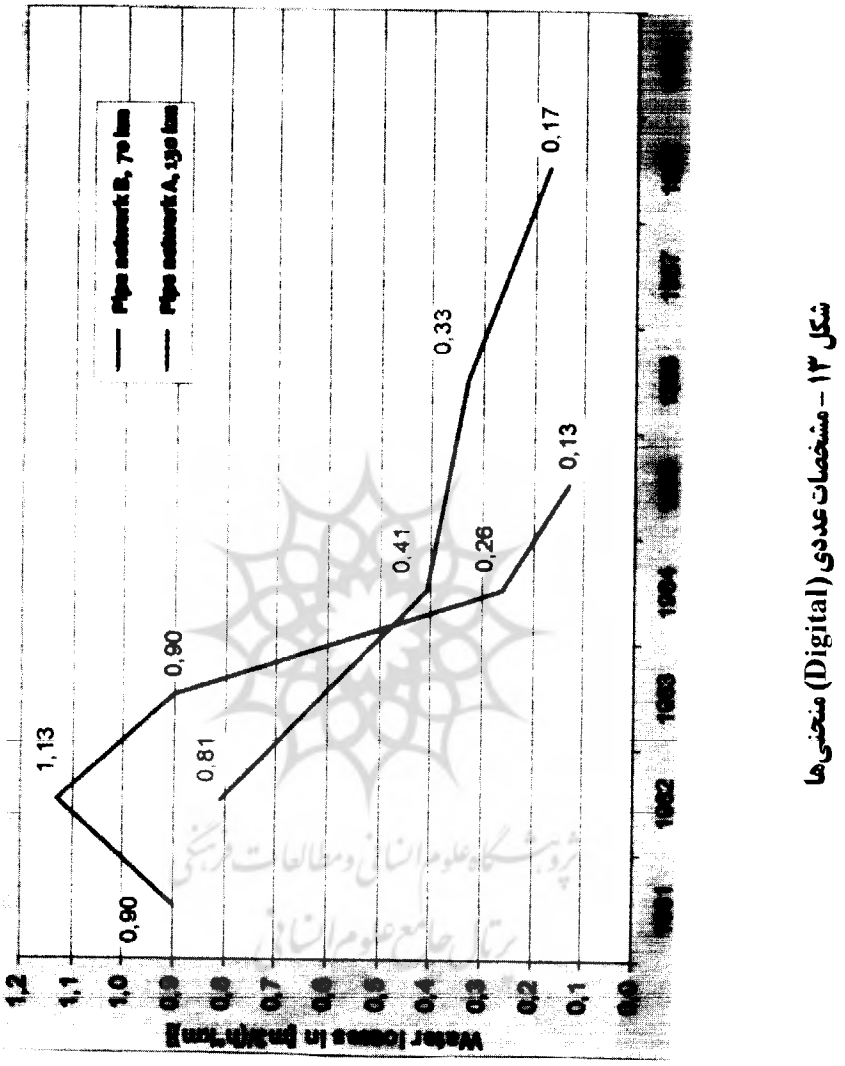
به رغم اصلاحاتی که در فرایندهای اندازه‌گیری و تعیین محل حاصل شده است، باید محدودیت‌هایی را نیز در برخورد عملی مرتبط با تلفات آب، انتظار داشت. این محدودیت‌ها منبعث از محدود بودن حساسیت تجهیزات اندازه‌گیر و تعیین محل مورد استفاده می‌باشد.

از جمله موارد قابل ذکر در اندازه‌گیر میزان جریانات جهت تعیین میزان تلفات، پایین بودن دامنه قابل اندازه‌گیری است. بسته به تغییرات زمانی جریان آب و بویژه نوع تجهیزات و ابزار مورد استفاده، دقت تعیین در جریان ثبت شده بین $\pm ۰/۰۵ m^3/h$ و $\pm ۰/۲ m^3/h$ می‌باشد.

در اندازه‌گیری خاصی که با استفاده از سوند نصب شده در امتداد خط صورت می‌گیرد، امکان اندازه‌گیری دقیق وجود ندارد.

باید اذعان داشت که امکان اندازه‌گیری دقیق و موفقیت‌آمیز در شبکه تامین آب به دست

نمی‌آید مگر اینکه چندین سال با روش سامان یافته، اقدامات مربوط به مقابله با تلفات آب صورت گرفته باشد. با وجود این حتی در شبکه‌هایی که در زمین‌های مسئله دار احداث شده‌اند، با استفاده از پایش سامان یافته می‌توان در فاصله یک تا ۲ سال به کاهش قابل توجه تلفات آب دست یافت. به عنوان نمونه دو مثال عملی در شکل ۱۳ نشان داده شده است.



شکل ۱۳ – مشخصات عددی (Digital) منحنی‌ها

مشخصات عددی منحنی‌ها در شکل ۱۳ مندرج می‌باشد.

شبکه a = آب مورد نیاز جمعیت ۵۱ هزار نفری را تامین می‌کند و طول لوله‌های شبکه، ۱۳۰ کیلومتر است.

دوره بررسی و مطالعه از ۱۹۸۲ تا ۱۹۸۸

نوع لوله‌ها عمدتاً فولادی

نوع خاک (بستر لوله‌ها): غالباً رسی،

شبکه b = آب مورد نیاز جمعیت ۱۳ هزار نفری را تامین می‌کند و طول لوله‌های شبکه ۷۰ کیلومتر است.

بررسی و مطالعه از ۱۹۸۱ تا ۱۹۸۵

جنس لوله‌ها، عمدتاً چدنی

نوع خاک: عمدتاً سنگی دارای گسل‌ها و خاک رسی

اینک ۱۲ و یا ۱۵ سال است که این دو اقدام صورت گرفته و کامل شده است. با وجود اینکه ادامه منحنی‌ها به روشنی نشان دهنده این است که در هر دو شبکه تعیین محل نشت همراه با تجزیه و تحلیل سامان یافته تلفات آب را نشان می‌دهد ولی تاکید بر این نکته ضروری است که در یک دوره ۵ تا ۶ ساله از تلفات آب تا ۸۰ درصد کاسته شده است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی