Backflow in Water Supply Systems: A Serious Threat Against Safe Drinking Water

Taebi, A.

Assist. Prof., Department of Civil Engineering, Isfahan University of Technology

Abstracat

Cross-Connection is defined as an actual or potential connection between a drinking water distribution system and any unwanted and undesirable liquid. The process of undesirable water transfer to drinking water system through cross-connection is called backflow. There are two types of backflow: backsiphonage and backpressure. The purposes of this study are: to describe cross-connections, to consider the causes of backflows, and to review methods and devices to control backflow. Based on the results of this study, it can be concluded that for the control of cross-connection in potable water distribution networks enough knowledge and vigilance is required and all municipal water and wastewater companies should have their control programs too.

جریان‌های برگشتی در شبکه‌های آب شهری: تهدید جدی علیه آب آشامیدنی سالم

امیر تائبی*

چکیده

ارتباط مخاطره‌آمیز، به عنوان اتصال واقعی یا پتانسیل برقراری اتصال بین شبکه توزیع آب شهری و هر آلاینده ناخواسته و نامطلوب تعریف می‌شود. فرایند انتقال آلاینده به شبکه آب شهری از طریق ارتباط مخاطره‌آمیز را جریان برگشتی نامند که خود به دو نوع سیفوناژ معکوس و فشار معکوس تقسیم می‌شود. اهداف این تحقیق عبارت از تشریح ارتباطات مخاطره‌آمیز، بررسی عوامل به وجود آورنده جریان‌های برگشتی و نیز مروری بر روش‌ها و وسایل کنترل کننده آن‌ها می‌باشد. از این مطالعه نتیجه گیری می‌شود که برای کنترل ارتباطات مخاطره‌آمیز در شبکه‌های توزیع آب شهری به دانش و مراقبت کافی نیاز است و شرکت‌های آب و فاضلاب شهری باید برنامه‌هایی برای کنترل آن‌ها داشته باشند.

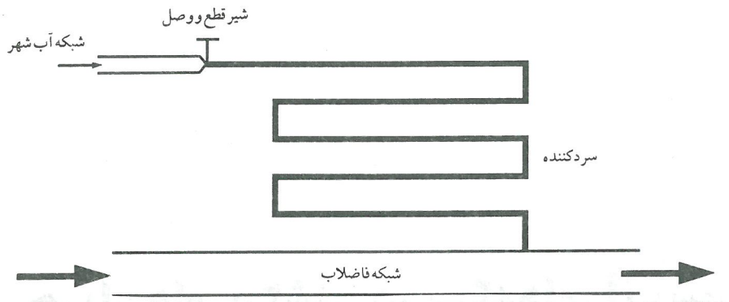
مقدمه

ارتباط مخاطره‌آمیز[1]، اتصالی است که از طریق آن امکان ورود مواد آلوده به سیستم توزیع آب شهری وجود دارد [۱ و ۲]. در واقع هر ارتباط مخاطره آمیز می‌تواند پتانسیلی برای آلودگی آب شهر باشد. انتقال ناخواسته و نامطلوب هر مایع به سیستم آب شهری که از طریق ارتباطات مخاطره‌آمیز صورت گیرد را "جریان برگشتی[2]" می‌نامند. بنابراین فقط با ایجاد تصفیه‌خانه‌ها، آب سالم در دستگاه‌های توزیع تأمین نمی‌شود و جریان‌های برگشتی از طریق ارتباطات مخاطره‌آمیز، همواره خطرناک می‌باشند. تاکنون اپیدمی‌های بزرگی از طریق ارتباطات مخاطره‌آمیز به وقوع پیوسته‌اند که به طور مثال می‌توان از اپیدمی شهر شیکاگو در سال ۱۹۹۳ میلادی نام برد که باعث مسمومیت ۱۴۰۹ نفر و مرگ ۹۸ نفر گردید [۱].

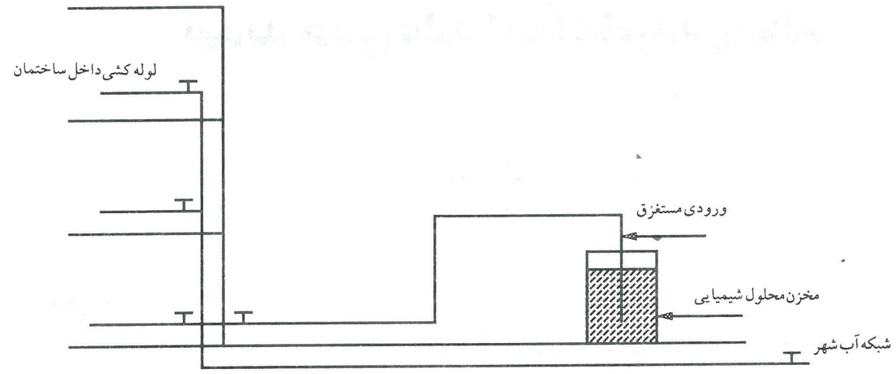
به طور کلی، جریان‌های برگشتی به واسطه معکوس شدن گرادیان هیدرولیکی در شرایط خاص مثل مواقع حوادث برای شبکه (شکستگی لوله‌ها، از کار افتادگی پمپ‌ها و غیره) یا شرایط غیر منتظره مصرف آب در شبکه، به وجود می‌آید. از نظر هیدرولیکی، جریان‌های برگشتی به دو نوع "سیفوناژ معکوس[3]" و "فشار معکوس[4]" تقسیم می‌شوند. طبق تعریف، در سیفوناژ معکوس، فشار اعمال شده توسط جو

*- دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان

1- Cross - conneciton
2- Backflow
3- Backsiphonage
4- Backpressure



شکل ۱- ارتباط مخاطره آمیز توسط اتصال با شیر بین شبکه آب شهر و شبکه فاضلاب



شکل ۲- ارتباط مخاطره‌آمیز توسط ورودی مستغرق

روی مایع نامطلوب، موجب انتقال آن به داخل سیستم آب آشامیدنی که تحت فشار خلا است می‌گردد. به بیان دیگر سیفوناژ معکوس وقتی رخ می‌دهد که فشار در شبکه از فشار جو کمتر گردد که در چنین شرایطی، هر انشعاب در شبکه توزیع آب می‌تواند یک ارتباط مخاطره‌آمیز باشد و پتانسیل برقراری جریان معکوس را داشته باشد. در شرایط فشار معکوس، فشار خط انشعاب بیشتر از فشار شبکه بوده و هر دو فشار از فشار جو بیشتر هستند.

برای مقابله با مخاطرات بهداشتی جریان‌های برگشتی، باید حتی‌الامکان از تعداد ارتباطات مخاطره‌آمیز شبکه‌های توزیع آب شهری جلوگیری به عمل آورد. اطلاع و آگاهی طراحان، مجریان، بهره‌وران و مشترکین سیستم‌های آبرسانی شهری از انواع ارتباطات مخاطره‌آمیز و نیز آشنایی آن‌ها با روش‌ها و وسایل کنترل‌کننده و بازدارنده جریان‌های برگشتی، باعث کاهش این جریان‌های ناخواسته به داخل شبکه‌های آب شهری می‌شود. در راستای افزایش اطلاعات فنی در این زمینه، این تحقیق که اهداف اصلی آن نشان دادن اهمیت ارتباطات مخاطره‌آمیز، بررسی علل برقراری جریان‌های برگشتی و معرفی روش‌ها و وسایل کنترل‌کننده و بازدارنده آن‌ها می‌باشد، صورت گرفت.

انواع ارتباطات مخاطره آمیز

ارتباطات مخاطره‌آمیز به طور کلی به دو طریق تحقق می‌یابند، یکی توسط اتصال با شیر[1] و دیگری توسط ورودی مستغرق[2]. در اتصال با شیر، شبکه آب آشامیدنی به طور دائمی و معمولاً توسط شیر قطع و وصل به سیستم لوله کشی مایع نامطلوب وصل می‌شود. هدف از این اتصال، تزریق آب به طور پیوسته یا ناپیوسته به سیستم‌های دیگ بخار، تهویه مطبوع، آتش‌نشانی، آبیاری بارانی و غیره می‌باشد. در این نوع اتصال

1- Solid connection
2- Submerged inlet

امکان برقراری هر دو پدیده سیفوناژ معکوس و فشار معکوس وجود دارد. شکل ۱ نمونه‌ای از اتصال با شیر را نشان می‌دهد که در آن شبکه آب آشامیدنی توسط شیر قطع و وصل به کندانسور متصل است و آب پس از عبور از آن به داخل شبکه فاضلاب تخلیه می‌شود. اگر به هر دلیلی فاضلابرو تحت فشار قرار گیرد، امکان برقراری جریان برگشتی و در نتیجه ورود فاضلاب به داخل شبکه آب آشامیدنی وجود دارد.

ورودی‌های مستغرق معمولاً در تأسیسات خانگی مثل وان حمام، استخر، آب نما، ظرفشویی و نیز در صنایع مثل مخازن محلول‌ها و فرایندهای شیمیایی مشاهده می‌شوند. در ورودی‌های مستغرق عموماً پدیده سیفوناژ معکوس رخ می‌دهد. شکل ۲ نمونه‌ای از ورودی مستغرق را نشان می‌دهد که در آن امکان برقراری جریان برگشتی و ورود محلول شیمیایی به داخل شبکه آب آشامیدنی وجود دارد.

ارتباطات مخاطره‌آمیز بسته به درجه سمّیت و مخاطره‌آمیز بودن آلاینده‌هایی که از طریق آن‌ها توسط جریان‌های برگشتی وارد شبکه‌های توزیع آب آشامیدنی می‌شوند به سه دستهٔ مخاطره‌آمیز شدید، مخاطره‌آمیز نسبی و مخاطره‌آمیز جزیی تقسیم‌بندی می‌شوند. ارتباطات مخاطره‌آمیز شدید آن‌هایی هستند که با مسمومیّت یا اشاعه عوامل بیماری‌زا سلامتی افراد جامعه را تهدید می‌کنند. ارتباطات مخاطره‌آمیز نسبی هر چند از نظر بهداشت عمومی بی‌خطر هستند، اما باعث اعتراض شدید مشترکین شبکه می‌شود. ارتباطات مخاطره‌آمیز جزیی باعث اعتراض معدودی از مشترکین شده و از نظر بهداشتی نیز بی‌خطر هستند.

هیدرولیک حاکم بر جریان‌های برگشتی

سیفوناژ معکوس به واسطه اعمال فشار جو روی مایع نامطلوب به وجود می‌آید. فشار مطلق جو در سطح دریا مساوی ۱۰۱/۳کیلو پاسکال و برابر ستون آب به ارتفاع ۱۰/۳۳ متر است [۳ و ۴]. مبانی سیفوناژ معکوس را می‌توان با بررسی جریان درسیفون تبیین نمود. در هیدرولیک، لوله ∩ شکل را سیفون و وارونه آن به شکل ∪ را سیفون وارونه می‌نامند [۵ و ۶]. چنانچه دو انتهای سیفون پر از آب در دو مخزن با سطوح آب مختلف فرو روند (شکل ۳)، آب از مخزن بالاتر به مخزن پایین‌تر جریان می‌یابد. برای برقراری جریان بین دو مخزن، ارتفاع تاج سیفون از سطح آب در مخزن بالایی نباید بیش از ۱۰/۳۳ متر باشد. اساس جریان مایع در چنین سیفونی، سیفوناژ معکوس می‌باشد، زیرا در هر سطح افقی فشار در دو لوله سیفون متفاوت است. به طوری که فشار در لوله مخزن بالاتر بیش از فشار در لوله مخزن پایین‌تر است و این اختلاف فشار، عامل برقراری جریان می‌باشد.

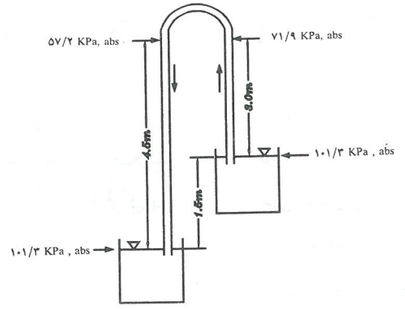
فشار معکوس معمولاً در محل اتصال با شیر (برای ارتباط بین دو سیستم لوله کشی) رخ می‌دهد. علت فشار معکوس بر عکس شدن گرادیان هیدرولیکی در محل اتصال در شبکه می‌باشد. اگر در نقطه اتصال H_1 فشار در شبکه آبرسانی و H_2 فشار در سیستم حاوی مایع نامطلوب باشد، جریان برگشتی وقتی رخ می‌دهد که $H_2>H_1$ شود. نظر به این که ارتفاع سرعت ($V^2/2g$) ناچیز است و ارتفاع بالادست و پایین دست نقطه اتصال نیز تقریباً مساوی‌اند، بنابراین $P_2>P_1$. یعنی در نقطه اتصال فشار در شبکه آبرسانی کمتر از فشار در سیستم متصل به آن می‌باشد و به همین دلیل است که چنین جریان برگشتی را فشار معکوس می‌نامند.

یکی از عوامل به وجود آورنده جریان‌های برگشتی، افت ارتفاع[1] هیدرولیکی شدید در بالادست نقطه اتصال در شبکه آبرسانی است. طراحی نامناسب قطر لوله و انتخاب قطر کم، باعث افزایش سرعت و در نتیجه افزایش افت ارتفاع می‌شود. این افزایش افت ارتفاع منجر به کاهش ارتفاع در نقطه اتصال شده به طوری که ممکن است گرادیان هیدرولیکی معکوس گردد و جریان برگشتی برقرار گردد. در شکل ۴ برای آن که جریان برگشتی در نقطه J رخ ندهد باید (H_4, H_5) $H_1>H_2>H_3$> باشد. اگر به دلیل افت ارتفاع زیاد در لوله پایین‌دست نقطه J، $H_3<H_4$ شود، آن‌گاه در سیستم جریان برگشتی رخ داده و آب از منبع آلوده وارد سیستم می‌شود.

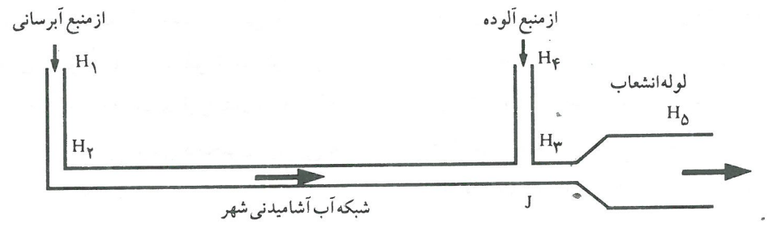
روش‌ها و وسایل بازدارنده جریان برگشتی

روش‌ها و وسایل مختلفی را می‌توان برای جلوگیری از جریان برگشتی در شبکه‌های توزیع آب شهری به کار برد.

1- Head loss



شکل ۳- سیفوناژ معکوس عامل جریان از مخزن بالایی به مخزن پایینی



شکل ۴- جریان برگشتی در نتیجه طراحی نامناسب لوله‌های شبکه در بالادست نقطه J

انتخاب روش و وسیله مناسب بستگی به درجه مخاطرات بهداشتی و نوع جریان برگشتی دارد. البته عوامل دیگری نیز همچون قطر و موقعیت لوله و تناوب آزمون عملکرد وسیله می‌توانند مؤثر باشد. روش‌ها و وسایل بازدارنده جریان برگشتی را می‌توان در سه دسته کلی: فاصله هوایی[1]، حلقه بارومتری[2] و وسایل مکانیکی تقسیم‌بندی نمود.

ایجاد فاصله هوایی، روش مؤثری است که برای جلوگیری از سیفوناژ معکوس و نیز فشار معکوس به‌کار برده می‌شود. در این روش یک فاصله هوایی مناسب بین ورودی و حداکثر سطح آب مخزن ایجاد می‌گردد. شکل ۵ فاصله هوایی که معمولاً دو برابر قطر لوله انتخاب می‌شود را نشان می‌دهد. محدودیت‌های کاربرد فاصله هوایی عبارتنداز: قطع پیوستگی جریان و در نتیجه تحمیل هزینه‌های اضافی برای پمپاژ و احداث مخازن مرتفع، تماس آب با هوا و در نتیجه جذب آلودگی‌های هوا و خروج کلر آزاد آب تصفیه شده. با توجه به محدودیت‌های فوق، کاربرد فاصله هوایی بیشتر برای ورودی مخازن توزیع مناسب به نظر می‌رسد.

حلقه بارومتری، قسمتی از لوله آبرسانی است که به طور ناگهانی به ارتفاع کمی بیش از ارتفاع ستون آب معادل فشار جو (مثلاً در سطح دریا ۱۰/۵متر) بالا می‌رود و سپس به سطح اولیه‌اش باز می‌گردد (شکل ۶). در چنین شرایطی آب مخزن نمی‌تواند در اثر فشار جو وارد شبکه آبرسانی شود.

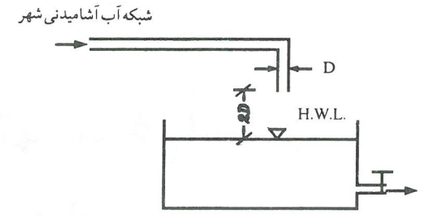
وسایل مکانیکی مختلفی همچون خلا شکن جوی، خلا شکن فشاری، خلا شکن شیر شیلنگی، شیر یک‌طرفه مضاعف، شیر یکطرفه مضاعف با هواکش میانی و وسایل بازدارنده با مبنای کاهش فشار برای جلوگیری از جریان‌های برگشتی طراحی و ساخته شده‌اند. بررسی و شرح جزییات این وسایل مکانیکی از اهداف این مقاله نیست و اطلاعات بیشتر را می‌توان از مراجع [۱، ۲، ۷ تا ۱۱]کسب نمود.

نتیجه گیری و پیشنهادات

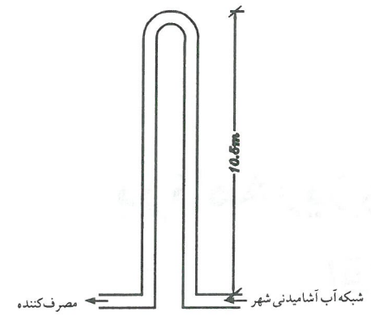
نتایج حاصل از این تحقیق عبارتنداز:

۱- خطر آلودگی آب آشامیدنی از طریق ارتباطات مخاطره‌آمیز، بسیار مهم و جدی است و لذا پیشنهاد می‌شود که

1- Air gap
2- Barometric loop



شکل ۵- فاصله هوایی برای جلوگیری از جریان‌های هوایی



شکل ۶- حلقه بارومتری برای جلوگیری از سیفوناژ معکوس

۳- نظر به این که تعداد معدودی از وسایل مکانیکی قادر به جلوگیری از هر نوع جریان برگشتی می‌باشند، توصیه می‌شود که در ابتدا نوع جریان برگشتی (سیفوناژ معکوس یا فشار معکوس) شناسایی شده و سپس نسبت به انتخاب روش یا وسیله مناسب بازدارنده اقدام به عمل آید. در ضمن در انتخاب روش یا وسیله مناسب بازدارنده، دیگر عوامل به خصوص درجه خطر آلودگی نیز باید مد نظر قرار گیرند.

منابع و مراجع

1- U.S. EPA. (1989). " *Cross - Connection Control Manual* ", EPA, 570/9-89-007, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.
2- Corbitt, R.A. (1990). " *Standard Handbook of Environmental Engineering* ", McGraw - Hill, Inc., New York, NY.
3- Hwang, N.H.C. (1981). " *Fundamentals of Hydraulic Engineering Systems* ", Prentice - Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ.
4- Daugherty, R.L., Franzini, J.B., and Finnemore, E.J. (1985). " *Fluid Mechanics with Engineering Application* ", McGraw - Hill, Inc., New York, NY.
5- Scott, J.S. and Smith, P.G. (1983). " *Dictionary of Water and Wastewater Treatment* ", Butterwoths, London.
6- Rogers, B.G., Ingram, W.T., Pearl, E.H., and Wolter, L.N. (1981). " *Glossary of Water and Wastewater Control Engineering* ", Third edition, American Public Health Association, American Society of Civil Engineers, American Water Works Association and Water Pollution Control Federation.
7- Angele, G.J. (1981). " *Corss-Connection and Backflow Prevention* ", American Water Works Association, Denver, CO.
8- CSA, (1981). " *Backflow Prevention Devices: Selection, Installation, Maintenance, and Field Testing* ", CSA Standard Number B64. 10M1981, Canadian Standard Association.
9- AWWA, (1990). " *Recommended Practice for Backflow Prevention and Cross-Connection Control* ", AWWA Manual M14, American Water Works Association, Denver, Co.
10- AWWA, (1992). " *Reduced-Pressure Principle Backflow-Prevention Assembly* ", AWWA, Standard Number C510-92, American Water Works Association, Denver, CO.
11- AWWA, (1994). " *Double Check Valve Backflow-Prevention Assembly* ", AWWA Standard Number C509-94, American Water Works Association, Denver, CO.