

ارزیابی آسیب پذیری شبکه های انتقال آب با استفاده از روش خوشه بندی

کامبیز تهذیبی - کارشناسی ارشد سازه های هیدرولیکی، شرکت مهندسی سنگ و تونل آزما.

مهدی نوری* - پژوهشگر، دانشگاه صنعتی مالک اشتر؛ nouri@mut.ac.ir

بیژن مشعوف - کارشناسی عمران، شرکت مهندسی سنگ و تونل آزما.

مهدی نصیبی - کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب.

تاریخ دریافت: ۹۴/۲/۱۵

تاریخ پذیرش: ۹۴/۷/۱۵

چکیده

شبکه های انتقال آب شهری زیرساخت مهمی در تأمین نیازهای آب شرب و بهداشتی مراکز جمعیتی محسوب می شوند. از این رو، در طراحی چنین شبکه هایی علاوه بر رعایت معیارهای فنی باید پیوستگی خدمت رسانی در شرایط آسیب دیدگی ناشی از وقوع تهدیدات و نیز برگشت پذیری سامانه در کوتاه ترین زمان ممکن مد نظر قرار گیرد. در این پیوند تئوری آسیب پذیری شبکه های انتقال آب که بر اساس روش تحلیل سلسله مراتبی به دست آمده، بسیار سودمند است. این نظریه از دو مرحله خوشه بندی و بازگشایی تشکیل می شود و با بکارگیری نتایج آن، نقشه ی بخش های آسیب پذیر شبکه تهیه و امکان ارائه ی راهکار مناسب برای کاهش پیامدهای خرابی با توجه به آسیب اولیه فراهم می شود. با استفاده از خوشه بندی، مدل سلسله مراتبی شبکه به دست می آید و از روند بازگشایی، شناسایی سناریوهای خرابی نتیجه می شود. در این مقاله، نظریه پیش گفته به صورت چکیده توضیح داده و کاربرد آن با ذکر مثالی از یک شبکه انتقال و توزیع آب ارائه می شود.

واژگان کلیدی: آسیب پذیری، شبکه انتقال آب، خوشه بندی، سناریوهای خرابی.

۹۷

شماره هفتم

بهار و تابستان

۱۳۹۴

دوفصلنامه
علمی و پژوهشی



ارزیابی آسیب پذیری شبکه های انتقال آب
با استفاده از روش خوشه بندی

Evaluation of vulnerability in water conveyance systems using the clustering method

Kambiz Tahzibi¹, Mahdi Nouri², Bizhan Mashoof³, Mahdi Nasibi⁴

ABSTRACT

Municipal water conveyance systems are the important infrastructures which provide potable water and sanitation for populous cities and regions. It is therefore, necessary, in designing these infrastructures, to take account of their compliance with relevant technical standards, continuity of services in the event of damages incurred, and the reinstatement of the system as quickly as possible. In this context, the application of the theory of vulnerability of water conveyance systems – set up assuming hierarchical analysis method - is very useful. This theory consists of two stages: *clustering* and *opening*. The outcome of applying a method based on this theory is that a map of the damaged parts of the system can be drawn, and appropriate solutions can be found to reduce the consequential damages following the initial damage. The hierarchical model of a system is made by using the clustering method, and the opening process results in detecting the deterioration scenarios. In this article, the proposed theory is briefly introduced, and its application is explained by elaborating on a system of water conveyance and distribution as an example.

Key words: Water conveyance network, Clustering, Failure scenari, Scenario Vulnerability.

1 MSc. Hydraulic structures, AZMArte Firm, Tehran, Iran.

2 Researcher, Malek ashtar University of Technology, Tehran, Iran; nouri@mut.ac.ir

3 BSc. Civil engineering, AZMArte Firm, Tehran, Iran.

4 MSc. Industrial Management, Department of Management and Accounting, Islamic Azad University-South Tehran Branch, Tehran, Iran.

۱. مقدمه

سامانه های تأمین آب بخش های سازه ای تأسیساتی هستند که همگان از آنها استفاده می کنند و از آنجا که بهزیستی، تندرستی، مصرف آب آشامیدنی سالم، کارهای اقتصادی و حفظ زیست بوم عموم مردم به آنها بستگی دارد، دارای اهمیت حیاتی هستند. از آنجا که تأمین آب در انحصار طبیعت است، در تنظیماتی که برای تهیه و توزیع آن انجام می شود، باید ارزیابی کیفی و اقتصادی تأسیسات مربوط به آب در نظر گرفته شود. این تنظیمات باید در راستای یک راهبرد استوار بر یک خط معیار انجام و در آن، اصول یکسان نگری، الزام آوری، انجام پذیری، تاب آوری و صرفه ی اقتصادی تضمین شود [۲ و ۱].

تاریخچه ی مطالعات نشان می دهد که تحلیل هایی که بر پایه ی خواسته ها و ظرفیت ها باشند، برای بیشتر سامانه های شبکه ای کارایی خوبی داشته اند. اما با پیچیدگی فزاینده ی سامانه ها و سرشت تغییرپذیر خواسته ها، این نوع برخورد دیگر پاسخگو نیست و نیاز هست که اثرات آسیب به یک سامانه نیز مورد بررسی قرار گیرد و به همین دلیل، برای آغاز به کار، نظریه آسیب پذیری برای سامانه های سازه ای نگاشته شده است [۳].

مفهوم آسیب پذیری با این موضوع مرتبط است که پیامدهای تخریب با آسیب اولیه نامتناسب باشد. بنابراین، ساختاری آسیب پذیرتر به حساب می آید که به علت پایین بودن آستانه ی آسیب پذیری آن، دچار خرابی بسیار شدید و نامتناسب می شود.

کنشی که ممکن است موجب آسیب اولیه شود، می تواند از هر نوع باشد، از جمله اشتباه انسانی یا حتی عملیاتی بدخواهانه که توسط یک خرابکار، بزهکار یا عامل نفوذی انجام می شود. اقدام های فیزیکی و الکترونیکی اصلی که برای محافظت مؤثر از تأسیسات تأمین آب صورت می گیرد، شامل چهار بخش بازدارندگی، شناسایی، ایجاد تأخیر و واکنش است.

این اقدام ها در بسیاری از سامانه ها کاربرد دارند. از آنجا که پژوهش های اخیر به این نتیجه رسیده اند که مفهوم آسیب پذیری در شبکه های انتقال و توزیع آب نیز کاربرد دارد، در این نوشتار، نظریه ی آسیب پذیری شبکه های انتقال آب (VWPN) که یک تئوری در حال شکل گیری است، به عنوان یک روش نو، معرفی می شود. بخش عمده ی کارهایی که پیشتر در باره ی تحلیل شبکه های انتقال آب انجام شده، به مسائل بهینه سازی جریان پرداخته و به این نتیجه رسیده اند که در شبکه های باز، شدت جریان به حد بیشینه می رسد، اما چنین شبکه ای الزاماً در برابر آسیب ها تاب آور نیست [۴].

نظریه ی ارائه شده در این مقاله به طور بنیادی متفاوت است؛ زیرا به بررسی رویدادهای مخربی می پردازد که پیامدهای آنها بیش از حد نامتناسب است. نظریه ی آسیب پذیری شبکه های انتقال آب افزون بر توانایی ردیابی بخش های آسیب پذیر سامانه، قابلیت دیگری نیز دارد و آن، سنجش پیامدهای یک سناریوی خرابی ناشی از آسیب پذیری است. با سنجیدن پیامد، می توان میزان خطری را که به آن سناریو مربوط است، اندازه گیری کرد.

مقاله حاضر شامل چهار بخش است:

- تعریف مفهوم های تئوریک نظریه آسیب پذیری شبکه های انتقال و توزیع آب؛
- توضیح روش کاربری نظریه برای شبکه های انتقال و توزیع آب؛
- نمایش روش کار با ارائه یک مثال؛
- نتیجه گیری.

۲. روش شناسی نظریه آسیب پذیری شبکه های انتقال آب^۱

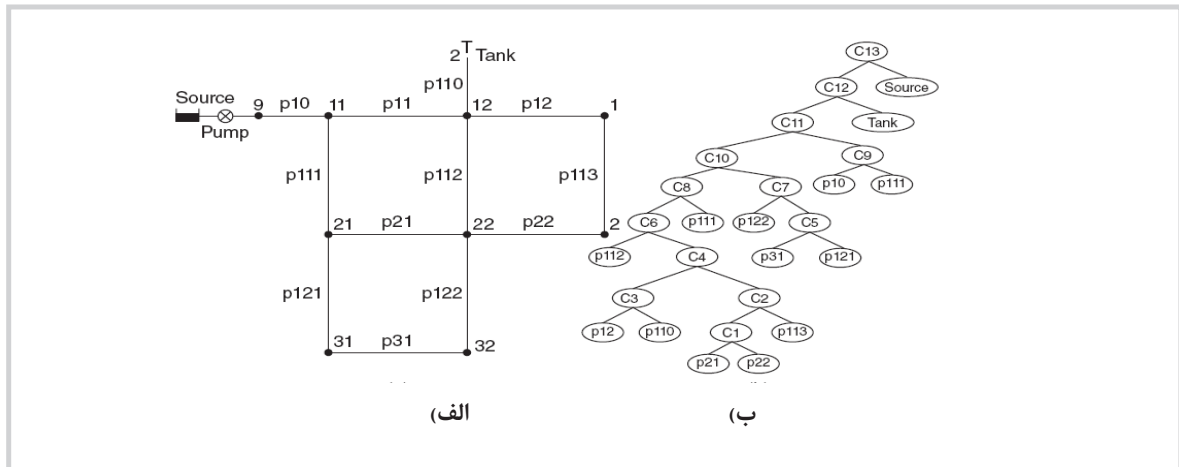
در چارچوب کارهای پژوهشی انجام شده، آسیب پذیری به معنای نامتناسب بودن بیش از حد پیامدهای خرابی با آسیب اولیه تعریف شده است. این تعریف برای درک نظریه (VWPN)، جایگاهی بنیادی دارد. اگر شبکه ای که از چندین قطعه لوله آب تشکیل شده، به علت آستانه ی آسیب پذیری پایین، دچار خرابی سنگین و نامتناسبی شود، آسیب پذیر محسوب می شود.

در نظر گرفتن سامانه به شکل اجزایی که در چند لایه چیدمان شده اند و به گونه ای مشخص با هم اندرکنش دارند، مفهومی کلیدی در این رویکرد است. در پایین ترین تراز، مدلی به شکل یک نمودار وجود دارد که سامانه را به صورت گره ها و رشته های اتصال نشان می دهد. در یک سامانه شبکه انتقال آب، گره ها نقاط اتصال و رشته ها خطوط لوله هستند. مفهوم های تئوریک اساسی این نظریه به شرح زیر هستند:

- خوشه ی برگی شبکه انتقال آب؛
- خوشه ی شاخه ای شبکه انتقال آب؛
- خوشه ی مرجع شبکه انتقال آب؛
- حلقه ی شبکه ی انتقال آب؛
- شکل بندی خوب؛
- به هم پیوستگی گرهی (M)؛
- رویداد بحران ساز؛
- آستانه ی خرابی (E)؛
- آستانه ی خرابی نسبی (Er)؛
- جدایی (gr)؛
- شاخص آسیب پذیری شبکه ی انتقال آب (φ).

این مفهوم ها در نظریه (VWPN)، به روش برون یابی خطی به دست می آیند و استفاده می شوند [۶ و ۵]. در مرجع [۷]، توضیحات ریز روش رقم یابی ارائه شده است.

در کاربری روش نظریه (VWPN)، دو مرحله وجود دارد: الف) روند خوشه سازی و ب) روند بازگشایی. از روند خوشه سازی، مدلی سلسله مراتبی از شبکه ی انتقال آب به دست می آید که در مرحله ی بعدی مورد استفاده قرار می گیرد. از روند بازگشایی، شناسایی سناریوهای خرابی نتیجه می شود.



شکل ۱: الف) نمونه‌ای از یک شبکه لوله‌ای آب
ب) نمایش طبقه‌بندی شبکه

همچنین معیارهای به‌کار رفته برای خوشه‌سازی همزمان، نشان داده می‌شوند. بخشی از شبکه که در پایین مدل سلسله‌مراتبی ظاهر می‌شود، دارای شکل بهتری نسبت به سایر بخش‌هاست که در قسمت‌های بالایی سلسله‌مراتب نمایان می‌شوند. مدل ساخته‌شده، برای مرحله‌ی بعدی کاربرد نظریه (یعنی روند بازگشایی)، ارزشی بنیادی دارد. شکل ۱ مدل سلسله‌مراتبی از یک نمونه‌ی شبکه تأمین و انتقال آب را نشان می‌دهد [۳].

۲-۳. روند بازگشایی

روند بازگشایی از مدل سلسله‌مراتبی شبکه به‌عنوان پایه‌ای برای جستجوی سناریوهای خرابی ناشی از آسیب‌پذیری، استفاده می‌کند. مدل سلسله‌مراتبی از بالا به پایین بازگشایی شده و برهمه‌ی خوشه‌های شاخه‌ای شبکه انتقال آب تمرکز می‌کند. هر شاخه با در نظر گرفتن رویدادهای رو به وخامت، به نوبت بازگشایی می‌شود تا اینکه یک خوشه‌ی شاخه‌ای رو به وخامت یا همه‌ی شبکه کاملاً از کارایی بیفتد.

پس از هر رویداد رو به وخامت، خوشه شاخه‌ای شبکه تغییر می‌کند؛ در نتیجه، لازم می‌شود که دوباره خوشه‌سازی انجام و یک مدل نو و سلسله‌مراتبی از خوشه‌ی شاخه‌ای آسیب‌دیده تعریف شود. این نشان می‌دهد که بازگشایی افزون بر اینکه روندی تکرارشونده^۲ است، همچنین روندی اندرکنشی^۳ نیز هست؛ زیرا باید با روند خوشه‌سازی نیز اندرکنش داشته باشد.

قرارگیری پشت سرهم رویدادهای رو به وخامت منظم که در این فرایند وجود دارد، سناریوی خرابی ناشی از آسیب‌پذیری را ایجاد می‌کند. در سناریوهای خرابی، معیارهای بازگشایی به ترتیب کاربردی که دارند، به شرح زیر هستند:

- خوشه مورد نظر با خوشه مرجع، یکی نیست (مخزن ذخیره آب)، N_R
- خوشه مورد نظر به‌طور مستقیم به خوشه مرجع مرتبط است، C_D

۲-۱. روند خوشه‌سازی

روند خوشه‌سازی عبارت است از شکل‌گیری پیشرونده‌ی خوشه‌های شاخه‌ای که بسیار نزدیک به یکدیگر به هم پیوسته‌اند. این روند از پایین‌ترین تراز و فقط با استفاده از خوشه‌های نخستین (یعنی خط لوله‌هایی که میان گره‌های نزدیک به هم قرار دارند) آغاز می‌شود و در بالاترین تراز، که همه‌ی شبکه‌ی انتقال آب (WPN) از جمله مخزن‌های ذخیره را در برمی‌گیرد، به پایان می‌رسد [۶ و ۵].

این یک روند گزینه‌ای است که در آن، برای تصمیم‌گیری درمورد تشکیل خوشه‌ی شاخه‌ای بعدی شبکه انتقال آب در هر تراز تعریف شده، به ۵ معیار خوشه‌سازی نیاز است. این ۵ معیار به ترتیب، عبارتند از:

- افت (هد) کامل کمینه (ΔH_{Tmin});
- آستانه‌ی بیشینه آسیب‌پذیری (E_{max});
- به هم پیوستگی گرهی بیشینه (η_{max});
- فاصله بیشینه از یک مخزن ذخیره (DIS_{max});
- گزینش آزاد (FC).

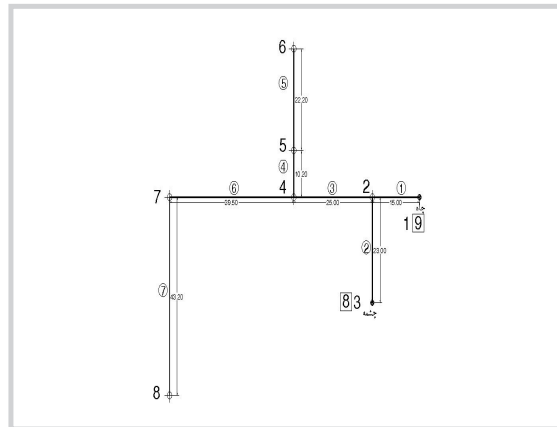
۲-۲. مدل سلسله‌مراتبی

این مدل‌سازی، روش دیگری است که با آن، می‌توان نمایشی از شبکه‌ی انتقال آب را که در بررسی درست آسیب‌پذیری بسیار مهم است، ارائه کرد. اجزای شبکه (به‌طور مشخص، اتصالات و خطوط لوله) در این نمونه مطابق با شکل خوشه‌های شبکه که پیشتر در نتیجه‌ی یک فرایند خوشه‌سازی ایجاد شده‌اند، ظاهر می‌شوند.

شکل‌گیری یک مدل سلسله‌مراتبی از پایین آغاز شده و به سوی بالا حرکت می‌کند. شاخه‌های نو خوشه‌های شبکه در طول روند خوشه‌سازی تشکیل می‌شوند و خوشه‌های مرتبطی که در مرحله‌ی نخستین به‌کار رفته‌اند، به‌طور آشکار شناسایی می‌شوند. حلقه‌های شبکه که نشانگر خوشه‌های شاخه‌ای نو هستند و

Leaf Cluster	Joints	Length (km)	Flow (L/s)	Diameter (mm)
۱	۱--۲	۱۵	۲۶۰	۵۰۰-GRP-PN۱۶
۲	۳--۲	۲۳	۷۰	۲۵۰-GRP-PN۱۰
۳	۲--۴	۲۵	۲۱۸	۵۰۰-GRP-PN۱۶
۴	۴--۵	۱۰,۲	۷۹	۳۰۰-GRP-PN۱۰
۵	۵--۶	۲۲,۲	۳۷	۲۵۰-GRP-PN۱۰
۶	۴--۷	۳۹,۵	۱۲۷	۳۵۰-GRP-PN۱۶
۷	۷--۸	۴۳,۲	۷۰	۲۵۰-ST-PN۱۶

جدول ۱: داده‌های هندسی و هیدرولیک شبکه انتقال آب



شکل ۲: چارچوب یک سامانه تأمین آب (مثال)

• سناریوی خرابی بیشینه:

در این سناریو با کمترین تلاش، آسیب بیشینه به وجود می‌آید. در میان سناریوهای خرابی، این سناریو دارای بالاترین مقدار شاخص آسیب‌پذیری (Φ) است. سناریوی خرابی بیشینه به آسیب‌پذیرترین بخش یک شبکه انتقال آب وابسته است. • سناریوی خرابی کمینه:

این سناریو به بخشی از شبکه ارتباط دارد که بهترین «شکل‌گرفتنی» را دارد و به‌طور کلی، با آخرین خوشه‌ی برگی که در یک فرایند خوشه‌سازی ایجاد می‌شود، ارتباط پیدا می‌کند. • سناریوی خرابی تقاضای کمینه:

این سناریو به ناتوان‌ترین بخش یک شبکه انتقال آب که دچار آسیب می‌شود، وابسته بوده و با خوشه‌ی برگی که دارای پایین‌ترین آستانه خرابی است، ارتباط پیدا می‌کند.

۳. نتایج

برای اینکه کاربرد روش نظریه آسیب‌پذیری شبکه‌های انتقال آب (VWPN) نشان داده شود، مثالی از یک شبکه مورد بررسی قرار می‌گیرد (شکل ۲).

در جدول ۱ جنس، مشخصات هندسی لوله‌های مسیر انتقال و دبی جریان در شبکه‌ی انتقال مورد مطالعه ارائه شده است [۸]. شکل ۳ فرایند گام به گام خوشه‌سازی را به‌طور شماتیک نشان می‌دهد. در گام نخست، داده‌های اولیه تنها شامل خوشه‌های برگی (یا خوشه‌های ابتدایی) هستند. در گام‌های دیگر، این داده‌ها می‌توانند خوشه‌های برگی یا شاخه‌ای را نیز در برگیرند. برای هر یک از داده‌های اولیه، آستانه خرابی (E)، به‌هم پیوستگی گرهی (η) و فاصله از مخزن ذخیره (Dis) به حساب آورده می‌شوند. در هر گام، با به‌کارگیری معیارهای خوشه‌سازی، خوشه‌های شاخه‌ای جدیدی تشکیل می‌شوند که به مقادیر پیش‌گفته بستگی دارند.

چنان‌که پیشتر گفته شد، طی روند بازگشایی، هر یک از شاخه‌های شبکه انتقال آب با دخالت رویدادهایی که وخامت را شدیدتر می‌کنند، به نوبت بازگشایی می‌شوند تا جایی که خوشه‌ی شاخه‌ای شبکه یا تمامی شبکه به‌کل از کارایی می‌افتد.

- خوشه مورد نظر یک خوشه‌ی برگی است (خط لوله)، نه یک خوشه‌ی شاخه‌ای شبکه، L_c
- خوشه مورد نظر افت (هد) بالایی دارد، $S_{\Delta H}$
- خوشه مورد نظر دارای پایین‌ترین آستانه خرابی است، S_E
- خوشه مورد نظر در آخرین مرحله ایجاد می‌شود، C_L
- گزینش آزاد، F_c

در این پژوهش، برای سادگی کار، آسیب به خوشه مرجع (مخزن ذخیره) در نظر گرفته نشده است.

روند بازگشایی موجب کاهش شدید شمار سناریوهای خرابی (NFS) می‌شود و در نتیجه، آسان‌تر می‌توان آن خرابی را که ممکن است در شبکه‌ی انتقال آب رخ دهد، تحلیل کرد. تعداد سناریوهای خرابی (NFS) از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\sum_{p=1}^n A_p^n = \sum_{p=1}^n \left[\frac{n!}{(n-p)!} \right] \quad (1)$$

در رابطه ۱:

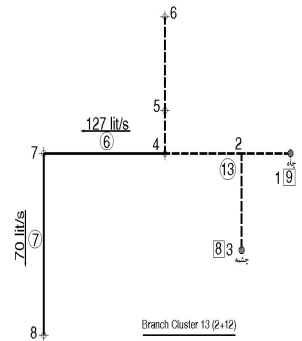
تعداد خوشه‌های ابتدایی $n =$
ترکیب ساده n مقطع p تا $A_p^n = p$

۲-۴. سناریوهای خرابی

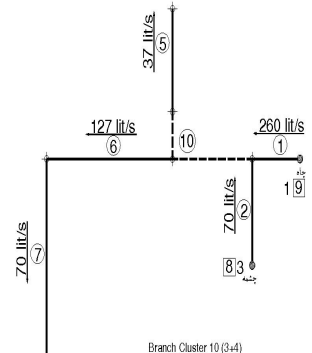
در مسیر روند بازگشایی در شبکه‌ی انتقال و توزیع آب، چندین سناریوی خرابی شناسایی می‌شوند که از میان آنها، سناریوهای زیر دارای اهمیت هستند:

- سناریوی خرابی کامل:

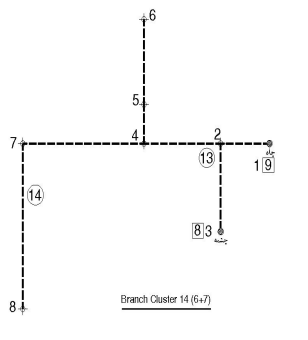
در این سناریو با کمترین تلاش، یک شبکه‌ی انتقال آب از کار می‌افتد (مثال: وضعیتی که آب به هیچ نقطه‌ای از شبکه نمی‌رسد). در میان سناریوهای خرابی شناسایی شده که مقدار پارامتر «جدایی» آنها عدد ۱ است، سناریوی خرابی کامل، بالاترین مقدار شاخص آسیب‌پذیری (Φ) را دارد.



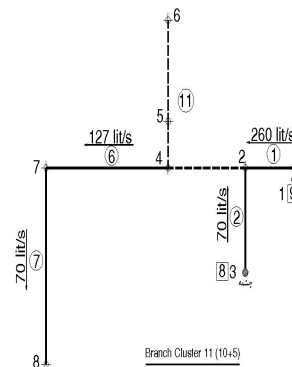
ت) تشکیل خوشه شماره ۱۳ (۲+۱۲)



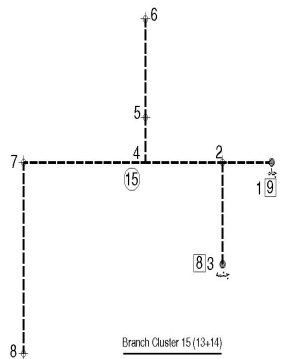
الف) تشکیل خوشه شماره ۱۰ (۳+۴)



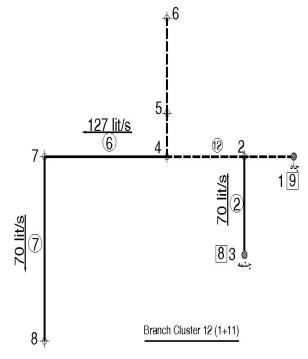
ث) تشکیل خوشه شماره ۱۴ (۶+۷)



ب) تشکیل خوشه شماره ۱۱ (۱۰+۵)



ج) تشکیل خوشه شماره ۱۵



پ) تشکیل خوشه شماره ۱۲ (۱+۱۱)

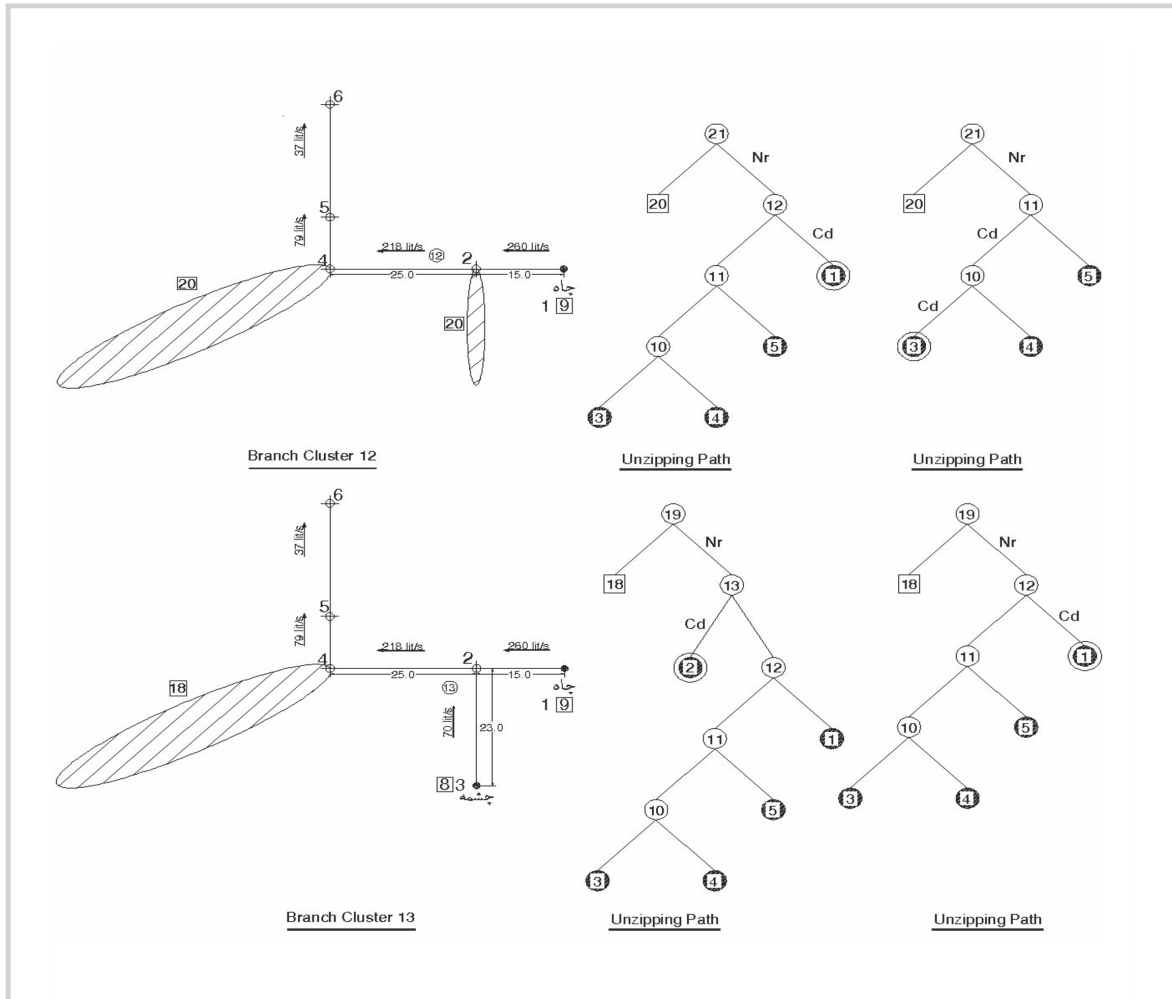
شکل ۳: فرایند خوشه‌سازی در شبکه انتقال آب (مثال)

است. در هر مورد، مسیر بازگشایی و معیار به‌کارگیری آن نیز شناسایی شده است.

در طول بازگشایی هر یک از خوشه‌های شاخه‌ای نیز لازم است که از فرایندهای خوشه‌سازی نو استفاده شود تا اینکه آن خوشه‌ی شاخه‌ای یا شبکه انتقال آب به‌طور کامل از کارایی بازماند. این، مرحله‌ای از روند بازگشایی است که یک سناریوی خرابی دارد. این

شکل‌های شماره ۴ و ۵ روندی از جستجو برای سناریوهای خرابی ناشی از آسیب‌پذیری را که در مثال مطرح شد، نشان می‌دهد. دو خوشه شاخه‌ای شماره ۱۲ و ۱۳ به عنوان نمونه بازگشایی شده‌اند.

هر یک از خوشه‌های شاخه‌ای، خوشه مرجع گسترش یافته مربوط به خود را نمایندگی می‌کند (در صورت لزوم)، که نشان‌دهنده‌ی اثر بقیه‌ی شبکه انتقال آب بر آن خوشه شاخه‌ای



شکل ۴: روند بازگشایی شبکه انتقال آب (مثال)

آسیب پذیرتر است. اما شبکه‌های بزرگ انتقال و توزیع آب بسیار پیچیده‌تر از این هستند؛ زیرا آنها به‌طور معمول از گره‌ها (نقاط اتصال) و لوله‌های بسیار بیشتری ساخته شده‌اند که می‌توانند به صورت سری، موازی یا ترکیبی از هر دو با یکدیگر متصل شوند و حلقه‌هایی باز یا بسته در شبکه تشکیل دهند. استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی می‌تواند در شبکه‌های پیچیده، برای تهیه‌ی نقشه‌ی آسیب‌پذیری این نوع سامانه‌ها بسیار مفید باشد. اگر آسیب‌پذیری اجزای شبکه‌های انتقال و توزیع آب چندان آشکار نباشد، شناسایی آسیب‌پذیرترین اجزا می‌تواند نقش مهمی در تصمیم‌گیری‌های مرحله‌ی طراحی شبکه و همچنین مدیریت زیرساختی تاب‌آور ایفا کند. در این چارچوب، باید یک روش محاسباتی برای رسیدن به تصمیمی دقیق ایجاد شود تا بتوان برای سرمایه‌گذاری‌های مربوط به زیرساخت‌ها برنامه‌ریزی کرد. روش‌های تعیین نقاط بحرانی، به‌عنوان بخشی از راه‌حل کلی، برای کاربری در سامانه‌هایی که به‌طور ماهوی فاقد اطلاعات مربوط هستند، مناسب است. تأسیسات کوچک تأمین آب به‌طور معمول در زمره‌ی این گونه سامانه‌ها به شمار می‌آیند [۹].

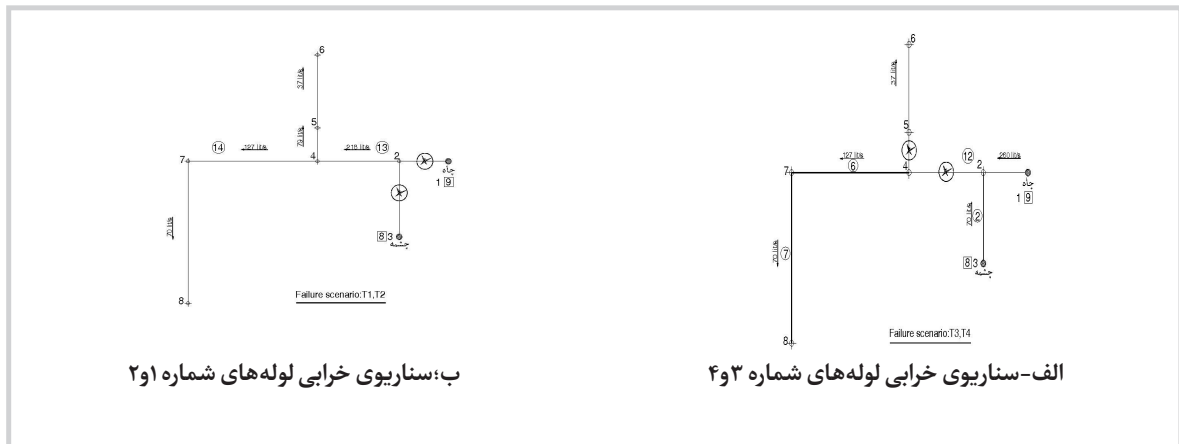
بدان معناست که روند بازگشایی با روند خوشه‌سازی در اندرکنش است.

خلاصه‌ای از نتایج روند بازگشایی که پارامترهای آسیب‌پذیر مربوط به هر سناریوی خرابی را نشان می‌دهد، در جدول ۲ درج شده است.

سرانجام اینکه بر اساس داده‌های به‌دست‌آمده، می‌توان سناریوهای خرابی ناشی از آسیب‌پذیری شبکه‌ی انتقال آب را که در مثال آورده شده است، شناسایی کرد. این سناریوها عبارتند از:

- سناریوهای خرابی کامل به لوله‌های شماره ۱ و ۲ ($T1, T2$) آسیب می‌رسانند؛
- سناریوی خرابی بیشینه به لوله شماره ۳ ($T3$) آسیب می‌رساند؛
- سناریوی خرابی ناشی از تقاضای کمینه به یکی از لوله‌های ۲ و ۵ ($T2, T5$) آسیب می‌رساند؛ زیرا پارامتر E در همه‌ی آنها یکسان (لوله ۱۰-GRP-PN) است.

نتایج بالا ثابت می‌کند که شبکه انتقال و توزیع آب که در مثال مورد اشاره قرار گرفت، در نقطه‌ای که نزدیک مخزن ذخیره است،



ب: سناریوی خرابی لوله‌های شماره ۲ و ۱

الف- سناریوی خرابی لوله‌های شماره ۳ و ۴

شکل ۵: سناریوهای خرابی شبکه انتقال

شکل‌گرفتنی خوب انجام می‌شود. حاصل کار این روش در نتیجه‌ی فرایند خوشه‌سازی و بازگشایی به دست می‌آید. فرایند بازگشایی روندی تکرار شونده (iterative) و اندرکنشی (interactive) است که از طریق آن، سناریوهای خرابی به دست می‌آیند. کاربرد نظریه روش آسیب‌پذیری شبکه‌ها در مثالی از یک شبکه‌ی ساده آب‌رسانی با نتایجی که مورد انتظار بوده، نشان داده شده است. در کل، توانایی روش (یا نظریه) مورد مطالعه در این است که ضعف‌های درونی یک شبکه انتقال و توزیع آب را شناسایی می‌کند. کارهای بیشتری در دست انجام است تا بتوان انواع دیگری از آسیب‌ها و پیامدها را نیز به حساب آورد و بدین وسیله، بتوان خطرهای ناشی از سناریوهایی را که در روش‌های متداول مورد شناسایی قرار نمی‌گیرند، مدیریت کرد.

جدول ۲: سناریوهای خرابی به دست آمده از روند بازگشایی شبکه انتقال و توزیع آب

سناریوی خرابی	Y_r	E_r	شاخص آسیب‌پذیری
T1, T2	۱,۰۰	۰,۲۸	۳,۶۲
T1, T3	۰,۷۹	۰,۳۴	۲,۳۱
T3	۰,۶۵	۰,۱۷	۳,۸۲
T3, T4	۰,۶۵	۰,۲۸	۲,۳۵

الگوهای ریاضی به‌عنوان ابزارهایی سودمند برای مدیریت تأسیسات آبی، روش‌های شناخته‌شده و جاافتاده‌ای هستند. آنها مستقیم یا غیرمستقیم با سامانه به‌کارگیری « راهنمای چارچوب آب » (WFD) که در کشورهای اروپایی برقرار است، در ارتباطند و برای پایش منابع تأمین آب و الگوسازی فشارها و اثرات انسانی بر زیست‌بوم‌های آبی مورد استفاده قرار می‌گیرند. بنابراین، مرتبط کردن داده‌های برآمده از پایش و اطلاعات الگوسازی با یک بازخورد مستمر به منظور بهینه‌سازی شبکه‌ی پایش و سناریوهای مدیریتی شبیه‌سازی شده، دارای اهمیت بسزایی است [۱۰].

پیشرفت این روش نوظهور در آینده باید تحلیل چرخه‌ی زندگی و اثر کیفیت آب (مانند PH، خاصیت قلبایی، تمرکز CO_2) بر جدار لوله‌ها را مورد بررسی قرار داده، بتواند به رفع مشکلات ناشی از خوردگی و زنگ‌زدگی لوله‌ها و اجزای دیگر شبکه بپردازد.

نظریه روش آسیب‌پذیری شبکه‌های انتقال و توزیع آب به‌اختصار توضیح داده شد. هدف اصلی از به‌کارگیری روش مزبور این است که آسیب‌پذیرترین بخش‌های یک شبکه را شناسایی کنیم و بتوانیم به‌طور غیرمستقیم پابرجایی و کیفیت این نوع سامانه‌ها را افزایش دهیم.

این روش زمینه را برای انجام اقداماتی که اثرات مخرب را کاهش دهد، آماده می‌کند. همچنین تهیه نقشه آسیب‌پذیری یک شبکه، که بخشی از این نظریه است، به مدیریت بهتر چنین سامانه‌هایی کمک می‌کند. نمایش الگوی سلسله‌مراتبی از شبکه، نقشی اساسی در این نظریه دارد. در این روش، شبکه‌ی انتقال آب به‌گونه‌ای کلی نمایش داده و چیدمان اجزای سامانه براساس

- 1 VWPN
- 2 Iterative
- 3 Interactive

پی‌نوشت‌ها

- 1 – MSc. Hydraulic structures, AZMArte Firm, Tehran, Iran.
- 2 – Researcher, Malek ashtar University of Technology, Tehran, Iran; nouri@mut.ac.ir
- 3 – BSc. Civil engineering, AZMArte Firm, Tehran, Iran.
- 4 – MSc. Industrial Management, Department of Management and Accounting, Islamic Azad University–South Tehran Branch, Tehran, Iran.

1. Duarte, A.A.L.S., Rodrigues, G.M.C, Ramos,R.A.R. (2009). A global service quality index to evaluate the performance and sustainability in water supply utilities. *WSEAS Transactions on Environment and Development* pp. 759-769
2. Duarte, A.A.L.S., Rodrigues, G.M.C., Ramos, R.A.R. (2009) Effect of criteria weighting methods on the ranking of water suppliers' performance. *Energy, Environment, Ecosystems, Development & Landscape Architecture*, WSEAS Press, *Proceedings of the 5th International Conference on Energy, Environment, Ecosystems and Sustainable*
3. *Development (EEESD'09)*, September, 28-30, Athens, Greece.
4. Lu Z., Yu Y., Woodman N.J., Blockley D.I., (1999). *A theory of structural vulnerability*, *The Structural Engineer*, 77, (18), pp. 17-24
5. Kleiner Y., Rajani B.. Considering time-dependent factors in the statistical prediction of water main breaks, *Proceedings of American Water Works Association Infrastructure Conference*, Baltimore, Maryland, March 12-15, 2000, pp. 1-12.
6. Pinto, J. T., Varum, H., Bentes, I., Agarwal, J. (2010). Contribution for the vulnerability assessment of water pipe network systems. *WSEAS Transactions on Fluid Mechanics* pp 236-244
7. JORGE PINTO, LUIS AFONSO, JOAO VARAJAO, ISABEL BENTES Departamento de Engenharia Universidade de Tras-os-Montes e Alto Douro(2010) Increasing the quality of water pipe network systems by tracing the Vulnerability
8. Pinto, J. T., Varum, H., Bentes, I., Agarwal, J. (2010). A Theory of Vulnerability of Water Pipe Network (TVWPN), *Water Resources Management* (in press, available online at <http://www.springerlink.com/content/x024016077428716/>)
9. و اهرهش هب نارگنھا و دونجت زای ناسرباً حرط ل ماعریغ دنقادپ تا علاطم. 1393، امزآ ل نوت و گنس نیسدنهم تکرشه قطنم ی اها تیسور
10. Barata, P., Alegre, H., Vieira, J.M.P.(2008). Application of a DPA Method for Asset Management in Small Water Distribution Systems. *Water Asset Management International*. IWA Publishing. 4, (4), pp. 2-7.
11. Duarte, A.A.L.S., Vieira, J.M.P. (2009) Estuarine hydrodynamic as a key-parameter to control eutrophication processes. *WSEAS Transactions on Fluid Mechanics*, 4, (4), pp. 137-147.

۱۰۴

شماره هفتم
بهار و تابستان
۱۳۹۴

دوفصلنامه
علمی و پژوهشی



ارزیابی آسیب پذیری شبکه های انتقال آب
با استفاده از روش خوشه بندی