

ارزیابی آسیب پذیری اجزای سامانه آبرسانی



ساره رودباری*
کارشناسی ارشد مدیریت بحران دانشگاه صنعتی مالک اشتر تهران
محمدعلی نکوئی
عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی مالک اشتر تهران
روح الله طاهرخانی
استادیار دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه بین المللی امام خمینی(ره) قزوین

فصلنامه علمی تخصصی
مهندسی و مدیریت ساخت
سال دوم، شماره اول
شماره پیاپی پنجم، بهار ۱۳۹۶

نویسنده مسئول:
ساره رودباری

آدرس ایمیل:
Roudbaris@gmail.com

چکیده:

پزیرساخت آب از جمله شریان های حیاتی بسیار مهم محسوب می شود که همواره در طول سالیان در معرض انواع تهدیدات طبیعی و انسانی قرار دارد. این زیرساخت از آنجا که مرکز ثقل یک کشور را تشکیل می دهد تصور زندگی حتی برای یک روز بدون آب برای بسیاری از افراد دشوار است. در نتیجه لازم است که دولت ها و مسئولین همواره برنامه ای برای کاهش آسیب این زیرساخت داشته باشند و در هنگام وقوع رخدادها آمادگی کامل را داشته باشند. از جمله اقدامات برای کاهش آسیب شبکه آب ارزیابی آسیب پذیری تمامی اجزای شبکه آب برای استخراج نقاط حیاتی تر جهت اختصاص بودجه بیشتر برای حفاظت از آن بخش است. در این مقاله با تعیین بخش های مختلف شبکه آب میزان آسیب پذیری آنها را و در نتیجه آسیب پذیری کل شبکه آب را تعیین می کنیم.

کلمات کلیدی: آسیب پذیری، سامانه آبرسانی، تهدیدات، زیرساخت آب

Evaluation of the vulnerability of components of the water supply system

Sareh Roudbari*

Master Student of Crisis Management, Malek Ashtar University of Technology, Tehran

Mohammad Ali Nekooie

faculty member of Malek Ashtar University of Technology Tehran

Roohollah Taherkhani

Assistant Professor, Faculty of Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin



Volume 2 , Issue 1,
Spring 2017

Corresponding author:
Sareh Roudbari

Email address:
Roudbaris@gmail.com

زیرساخت های حیاتی با ارائه کردن خدماتی که برای عملکرد جامعه ضروری هستند، ستون فقرات جامعه را تشکیل می دهند. اختلال در عملکرد زیرساخت های حیاتی می تواند پیامدهای گسترده ای بر روی سلامتی، امنیت، ایمنی و اقتصاد جامعه داشته باشد [۱]. با توسعه علمی و اقتصاد جامعه این زیرساخت ها به طور فزاینده ای پیچیده تر می شوند و وابستگی شان دوطرفه می شود. هم چنین منابع و اطلاعات بیشتری برای عملکردهای عادی روزمره شان نیاز می شود. هنگامی که یک زیرساخت توسط عامل خارجی یا درونی دچار اختلال می گردد، این اختلال می تواند موجب شکست در مؤلفه های زیرساخت های دیگر میشود. خرابی این زیرساخت های می تواند موجب پیامدهای گسترده اقتصادی، اجتماعی و فیزیکی در کل جامعه شود [۲]. بعضی از شبکه های دنیای واقعی از قبیل اینترنت، شبکه برق، و شبکه حمل و نقل و ... بسیار نیرومند اما دارای اثرات عمده ای می باشد و نسبت به حملات عمدی آسیب پذیرند. شواهد نشان می دهد که در این قبیل شبکه ها اگرچه حملات عمدی یا نقایص تصادفی به صورت منطقه ای بروز می کند اما تأثیرات آن بسیار زیاد است و می تواند فروپاشی جهانی را در برداشته باشد [۳].

زیرساخت های بحرانی با یک سری خطرات و تهدیدات نامتقارن مواجه اند و به دلیل ضعفهایی که دارند آسیبهایی را از خود نشان میدهند. این زیرساختها با یکدیگر اندرکنشهایی دارند و میتوانند یکدیگر را تحت تأثیر قرار دهند. آسیب پذیری به عنوان یک عیب یا کاستی در طراحی، اجرا، عملکرد و یا مدیریت زیرساخت تعریف میشود آن هنگام که زیرساخت مذکور با خطرات و تهدیدات مواجه میشود آن ها مستعد خرابی و یا ناتوان میکند و یا اینکه ظرفیت آن را برای دوباره به دست آوردن شرایط ثابت جدید کاهش میدهد. قابلیت اطمینان یک زیرساخت محصولات و خدماتی که ارائه میکند میتواند ویژگی مناسبی برای بیان کیفیت این سیستم زیرساخت باشد [۴]. آسیب پذیری عبارتی است برای بیان از دست رفتن یا کاهش توانایی سیستم قدرت برای مقابله و ایستادگی در برابر شرایط ناخواسته، محدود کردن پیامدها و بازیابی و پایدار نمودن خود پس از رخ دادن حوادث. سه فاکتور، آسیب پذیری هر تجهیز را به شکل جداگانه تعیین میکنند که عبارت اند از: میزان آسیب پذیری آن در برابر صدمات، تأثیر نبود آن تجهیز آن در عملکرد سیستم، و سختی جایگزینی یا تعمیر آن [۵]. قبل از اینکه موضوع پژوهش را آغاز کنیم لازم است معانی چند واژه را برای درک هرچه بیشتر موضوع مورد بحث بررسی کنیم.

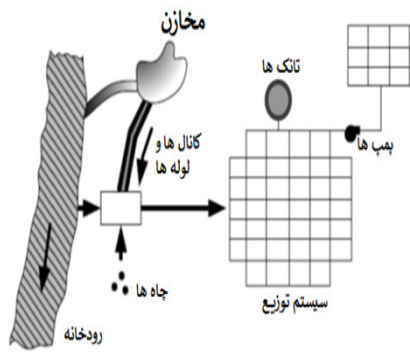
آسیب پذیری: استعداد پذیرش آسیب ناشی از هرگونه تهدید به صورت فیزیکی یا غیر فیزیکی برای یک سیستم یا جامعه را آسیب پذیری می گویند. در تعریفی دیگر آمده است، آسیب پذیری به معنی شرایطی که باعث میشود افراد، سیستم یا پیکره جامعه در برابر اثرات سو یک مخاطره تأثیر پذیر باشند و آسیب ببینند. این شرایط می تواند فیزیکی، اجتماعی، اقتصادی، محیطی و یا مربوط به فرایندهای مدیریتی باشد [۶].

زیرساخت های حیاتی: زیرساخت های حیاتی می تواند به عنوان مجموعه ای از داراییها باشد که برای عملکرد جامعه و اقتصاد ضروری هستند [۷]. در تعریفی دیگر آمده است که:

زیرساخت های حیاتی جریان قابل اعتمادی از محصولات و خدمات که برای دفاع و امنیت اقتصادی جامعه ضروری هستند را تشکیل می دهد که این زیرساخت ها عبارت اند از سیستم های برق، مخازن، تأمین آب، عرضه گاز طبیعی، حمل و نقل که سنگ بنای جامعه مدرن را تشکیل می دهند [۲]. شبکه آبرسانی: شبکه آبرسانی عبارت است از کلیه تأسیساتی که آب را از منبع تأمین به تصفیه خانه یا مخازن ذخیره یا مخازن تأمین فشار و سپس به مصرف کننده منتقل میکند [۸].

شبکه آبرسانی از منابع آبی، خطوط انتقال آب خام، تأسیسات تصفیه آب و شبکه های توزیع آب تشکیل یافته است. در هنگام بروز بحرانهای طبیعی و انسان ساخت این مؤلفه ها بزرگترین فرصت را در اختیار این تهدیدات قرار میدهند چراکه اغلب آن ها بزرگ و قابل رؤیت هستند و برای هدف گیری مناسب اند. با در نظر گرفتن این جنبه، محققان نواحی آسیب پذیر بالقوه را در طول فرایند آبرسانی از منبع تا مصرف کنندگان شناسایی کردند (شکل زیر) که شامل:

۱- منابع آب (مانند رودخانه، مخزن و چاه ها)؛ ۲- تأسیسات تصفیه آب که ناخالصی ها و عوامل مضر را حذف و آب را برای مصارف داخلی قابل استفاده میسازد؛ ۳- خطوط لوله توزیع آب که آب تمیز را برای تقاضای مصرف کننده به خانه ها، تاسیسات تجاری و صنایع؛ ۴- ذخیره سازی (مخازن) و ۵- دیگر



شکل (۱-۱) عناصر آسیب پذیر در سیستم آبرسانی عمومی
سیستم انتقال آب مجموعه ای از عناصر است که آب را از منابع به مصرف کننده می رساند. این سیستم ها، آب را از سفره های زیرزمینی و رودخانه ها برداشت و ذخیره و در نهایت با کیفیتی قابل قبول آن را بین مصرف کنندگان توزیع می کند. قابلیت اطمینان و آسیب پذیری سیستم انتقال آب هنگام قطع آب نیازمند پارامترهایی در طراحی و عملکرد سیستم است. معمولاً، این فاکتورها با کمک شبیه سازی منابع آب و مدل های بهینه سازی ارزیابی کرده تا بتوان چارچوبی برای استخراج اطلاعاتی که برای تصمیم گیری مفید است، فراهم آورند. ریسک را به عنوان احتمال تهدیداتی خاص که باعث آسیب یا ضربه به عوامل اجتماعی میشود تعریف میکنند. مدیریت بحران استرالیا آسیب پذیری را به عنوان درجه ای از آمادگی (حساسیت) و برگشت پذیری جامعه و مخاطرات محیطی تعریف کرده است.

۳- دارایی های شبکه آبرسانی

۳-۱- منابع تأمین کننده آب

منابع تأمین کننده آب به دودسته سطحی و زیرزمینی تقسیم میشوند. عمده تأکید ما برای مصارف آب شر و بهداشتی مربوط به برداشت از آبهای سطحی مثل رودخانه، مخازن ذخیره آب، سدها، برداشت مستقیم از آبخوانها و چاه هاست. منابع تأمین آب در بالاترین سطح شبکه آبرسانی قرار دارند و تغییرات کیفی و کمی در این منابع آب تأثیر به سزایی در بخشهای پایین دست شبکه همچون تصفیه خانه خواهد داشت. و شامل بخشهای مختلفی همچون مخزن ذخیره آب خام، ایستگاه پمپاژ آب خام، حوضچه های رسوب گیر، دریچه های تنظیم دبی، سیستم پایش کیفیت آب، ایستگاه های هیدرومتری و ... هست [۹، ۱۰].

۳-۲- خطوط اصلی انتقال آب

خطوط انتقال آب وظیفه آبرسانی یا انتقال آب را از منبع تا مشترکین به عهده دارند که طراحی آن ها از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است و به دو صورت ثقلی و تحت فشار صورت می گیرد. نوع ثقلی معمولاً به صورت کانال های روباز و سرپوشیده است و نوع تحت فشار آن به صورت لوله های مدفون می باشد. طول این خطوط متغیر است و از جمله نکات بسیار مهم پایش و بازرسی مداوم آن ها برای جلوگیری از بروز خطرات طبیعی و انسان ساخت است. این خطوط شامل اجزایی همچون شیرآلات فشار شکن، تخلیه، ایستگاه پمپاژ، آدم روها و ... است.

۳-۳- تصفیه خانه های آب

تصفیه خانه ها به دلیل تمرکز و اهمیت بسیار زیادی که در سیستم آبرسانی دارند (تضمین کیفیت آب) پتانسیل بسیار بالایی برای بروز بحرانهای وسیع در جوامع دارند. نوسانات آب هرچند کوتاه و اندک می تواند تأثیرات بسیار بالای در کل سیستم آب رسای داشته باشد [۱۰].

۳-۴- شبکه های توزیع آب

شبکه توزیع مجموعه ای بهم پیوسته از منابع، خطوط لوله، عناصر هیدرولیکی مانند پمپها، شیرهای تنظیم کننده، مخازن هوایی می باشد که هدف آن ارائه آب با فشار مطلوب به مشترکین می باشد [۱۱]. این بخش شامل چهار

قسمت از جمله مخازن ذخیره آب، ایستگاه های پمپاژ، لوله های اصلی و فرعی و شیرآلات و تاسیسات جانبی می باشد [۱۲].

۳-۵ مخازن ذخیره آب

مخازن ذخیره آب از جمله مهم ترین اجزای شبکه آبرسانی هستند که آب انتقالی از تصفیه خانه را در خود جای میدهد و به این دلیل برای اهداف تروریستی و نظامی اهداف بسیار مناسبی بشمار می آیند. در صورت تخریب این مخازن خسارت های جبران ناپذیری به شبکه توزیع وارد میشود [۱۳]. شبکه لوله ها در یک شهر و همه مؤلفه های مرتبط با این شبکه (شیرآلات، پمپها، مخازن و ...) مجموعه دارایی های شبکه آبرسانی را تشکیل می دهند. در ارتباط با هر یک از این داراییها بررسی و نگهداری آنها به منظور انجام وظیفه شان به درستی مهم ست. با این حال مدلسازی داراییهای شبکه آبرسانی موضوع پیچیده ای است [۱۴]. برای مطابقت دادن مقدار مصرف آب با مقدار آب موجود در طبیعت همیشه نیاز به تأسیساتی بنام منبع های ذخیره آب هست که بتوانند در زمان پرابی و کمی مصرف آب را در خود ذخیره نموده و در زمان کم آبی و یا زیادی مصرف، آن را در اختیار مصرف کنندگان بگذارند. منبع های ذخیره، بسته به نوع نوسان های مصرف انواع گوناگونی دارند. منابع ذخیره فصلی که غالباً در پشت سد ها ایجاد میگردند، منبع های زمینی هم تراز با ناحیه مصرف کننده که آب را مستقیماً با پمپ به مصرف کننده ارسال میکنند. منبع های زمینی بلند که علاوه بر ذخیره آب، فشار لازم را در شبکه نیز تأمین میکنند و روی بلندی ها و تپه ماهورهای اطراف شهر نصب می شوند، منبع های پایه دار که از فولاد یا بتن ساخته می شوند و روی پایه ها قرار میگیرند و فشار لازم آب شهر را تأمین می کنند، منبع ذخیره آب آتش نشانی که به صورت پایه دار بلند است و منابع آب با هوای فشرده که فشار لازم را در شهرهای کوچک تأمین مینمایند. مخازن ذخیره میتوانند در ابتدا، در مسیر شبکه یا در انتهای یک سامانه توزیع یا انتقال قرار گیرند. وظیفه مخازن ممکن است نگهداری آب به منظور اهداف ذخیره سازی، گندزدایی و ... باشد [۱۵].

۳-۶ ایستگاه پمپاژ

در تاسیسات آبرسانی شهری وظیفه ایستگاه پمپاژ عبارت است از: حمل آب از تصفیه خانه ها به مخازن ذخیره آب زمینی و هوایی، حمل آب از مخازن زمینی به شبکه های شهری و حمل آب از چاه های عمیق و نیمه عمیق و همچنین قنوتات به داخل مخازن زمینی و هوایی [۱۵، ۱۶].

۳-۷ کارکنان

از جمله دیگر دارایی های شبکه آب افراد و کارکنان آموزش دیده و متخصصی هستند که در این زمینه کار میکنند. هرگونه برنامه یا نقشه ای برای حذف کردن یا فریب این افراد باعث ایجاد خسارت ها و صدمات جبران ناپذیری به تاسیسات آبی میشود. این افراد در صورت فریب خوردن خود میتوانند آسیب ها و اغتشاشات عمده ای را در سیستم آبرسانی منجر شوند و یا در صورت ترور این افراد هزینه و تخصص فرد نیز همراه با او می رود. برای جایگزین او نیز باید دوباره هزینه و زمان صرف شود تا تجارب قبلی به دست آیند. در این راستا مطالعاتی در زمینه ارزیابی آسیب پذیری سامانه آبرسانی در دنیا انجام شده که برخی از آنها به شرح زیر است.

در مطالعه ای که کابرا و سولانو در سال ۲۰۱۰ انجام بر روی مقایسه خطر شکست در شبکه آبرسانی انجام دادند، پیشنهاد کردند که تاریخ شکست و نقصهای شبکه را به منظور حل مسائل در زمانهای بعدی با دقت بیشتر ثبت کنند. این مطالعه بینشی را درباره اثرات متغیرهای مختلف بر روی شکست در شبکه آب فراهم کرد. آنالیزهای توصیف شده توسط این دو نشان داد که لوله هایی کمتر در معرض شکست قرار میگیرند مشخصات زیر را دارا میباشند:

طولهای کوتاه، قطرهای زیاد، فشار کم و نصب شده در زیر پیاده رو باشند. همچنین با توجه به جنس مواد دریافتند که لوله هایی که از جنس آریست بودند برای مدل کاکس، لوله هایی که از جنس چدن داکتیل بودند برای مدل وایبول و مدل خطی تعمیم یافته مناسب بودند. دوتا از بهترین مدل های یعنی مدل کاکس و مدل GLM نسبت به یکدیگر سنجیده شد. این مقایسه با به کار بردن منحنی ROC صورت گرفت و آنان نتیجه گرفتند که مدل کاکس

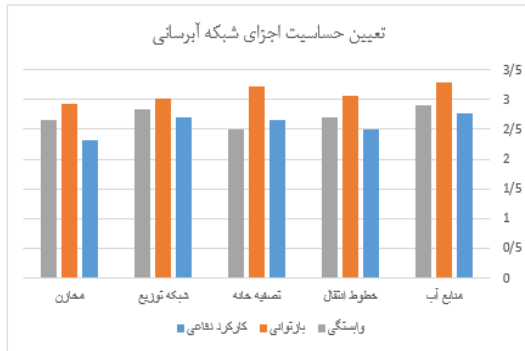
تناسب بدتری را نسبت به مدل GLM فراهم میکند [۱۷]. فوستر و مک دونالد در سال ۲۰۰۰ در مطالعه خود، ارزیابی ریسک آلودگی در منابع تأمین آب را با استفاده از سیستمهای اطلاعاتی جغرافیایی (GIS) انجام دادند. ظرفیت ذاتی سیستمهای اطلاعات جغرافیایی (GIS) در ذخیره سازی، آنالیز و نمایش داده های فضایی آن را به ابزاری ایدئال برای کمک به ارزیابی های ریسک تبدیل کرده است. آنان با استفاده از این مقاله کاربردهای بالقوه GIS را در مدیریت و ارزیابی ریسک منابع مصرف عمومی آب را نشان دادند که با استفاده از این نرم افزار مناطق بالقوه خطر شناسایی شد [۱۸].

لی گات و ایزنیس در سال ۲۰۰۰ به منظور آنالیز ریسک شکست در لوله های آب، مدل های آماری را بکار بردند. این روش آنالیز بقا روشی است که برای مطالعات اپیدمیولوژیک بکار میرود. این پژوهش مدل وایبل را برای پیش بینی شکست با استفاده از سوابق تعمیر و نگهداری لوله های شبکه آب مورد استفاده قرار داد. نتایج نشان داد که عوامل کمی بدون در نظر گرفتن عوامل محیطی برای تشخیص لوله ها با بالاترین خطر شکست بکار می رود. آن ها بیان کردند که داده های دوره کوتاه تر را در نظر داشت تا به عدد پیش بینی جهانی نزدیکتر و با توجه به عوامل محیطی دقت در پیش بینی را بهبود یابد [۱۹]. باویک و کیجر با رویکردی داده کاوی به مدلسازی دارایی های آب پرداختند و مدلی را مدنظر داشتند بر این مبنا بود که ارزیابی ریسک انفجار لوله باید باهدف دستیابی به مدلسازی و مدیریت تمام داراییهای شبکه آب شهر در چارچوبی وسیع کامل شود. آنان دریافتند هر عاملی که بر مکانیسمهای رفتاری و شیمیایی لوله ها اثر بگذارد میتواند بر انفجار یا قطع لوله نیز اثر داشته باشد. کار آن ها باهدف توسعه رویکرد کلی به مدلسازی داراییها بود و به منظور تست مفید بودن این رویکرد، به صورت موردی در جهان واقعی پیاده سازی شد. که در سیستم انتقال آب کپنهاگ مورد آزمایش قرار گرفته. آنان نتیجه گرفتند که از دیدگاه فصول ترکیبهای بی درپی لوله ها بیشتر در فصول زمستان رخ میدهد و احتمال خسارت بالاتری دارند [۱۴]. میکاد و آپوستلاکیس در سال ۲۰۰۶ روشی را برای رتبه بندی عناصر شبکه آبرسانی از منظر آسیب پذیری ارائه دادند و بیان داشتند که برای رسیدن به هدف ارزیابی ریسک باید به سؤالاتی از قبیل چه اشتباهی می تواند رخ دهد؟ چه پیامدهایی دارد؟ و چه میزان محتمل است؟ بتوان پاسخ داد. پیامد یا حالت های پایانی معمولاً با سلامت و ایمنی مردم مرتبط است، اگرچه دیگر حالت های پایانی مانند پیامدهای اقتصادی را نیز میتواند شامل شود. آنان معتقد بودند که نقطه شروع تجزیه و تحلیل، شناسایی دارایی های زیرساخت مورد نظر می باشد و دریافتند که برای تحلیل جامع آسیب پذیری ظرفیت عناصر سیستم باید در نظر گرفته شود. گام عمده در جهت این ارزیابی آسیب پذیری جامع ارزیابی کل سیستم است. آنان نشان دادند که محدود کردن غریبگویی آسیب پذیری با رویکرد همه یاهنج (برای مثال با استفاده از رویکرد مجموعه برشی حداقل یا منطق دودویی) منجر به برآورد کمتر آسیب پذیری سیستم است. یک راه ممکن برای برداشتن گام واقعی نزدیک به رفتار سیستم ایجاد مدل هیدرولیکی شبکه و اجرای آن برای سناریوهاست [۲۰]. پینتو و بنتس در مقاله خود تحت عنوان تئوری آسیب پذیری لوله های شبکه آب در سال ۲۰۱۰ بیان کردند که مدل ها و ابزارهای ریاضی مدرن یکی از ابزارهای ارزشمند است که می تواند به ارائه دهندگان خدمات آب شهری و سازمانهای دولتی در سیاست مدیریت عرضه منابع آب در مناطق شهری کیفیت عرضه آب را در نظر داشته باشند. هدف اصلی از مطالعات آسیب پذیری، شناسایی نقاط آسیب پذیر از یک سازه بر اساس تحلیل شکل ساختاری و میزان اتصال آن است. مفهوم آسیب پذیری در ارتباط با پیامدهای شکست علل اولیه خسارات می باشد. یک سازه زمانی که آسیب کوچکی منجر به عواقب شکست بزرگی شود آسیب پذیر است، اقدامی که می تواند موجب این خسارت شود میتواند از هر نوع از جمله خطای انسانی و یا حتی یک اقدام خرابکارانه باشد [۲۱].

در این مقاله پس از معرفی مختصر اجزای سامانه آبرسانی به ارزیابی تهدیدات محتمل برای اجزای این سامانه پرداخته و در نهایت ارزیابی آسیب پذیری این اجزا را مورد بررسی قرار خواهیم داد.

۴- مواد و روش

در این پژوهش با استفاده از منابع کتابخانه ای و منابع اینترنتی اجزای اصلی سامانه آبرسانی را شناسایی و تعریف کرده و سپس به استخراج تهدیدات

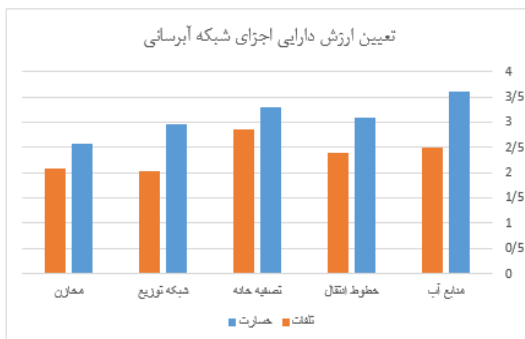


نمودار ۲: تعیین حساسیت اجزای شبکه آبرسانی

همان‌طور که از نمودار بالا درمی‌یابیم از بین اجزای مختلف شبکه آبرسانی حساس ترین بخش ما منابع آبی بشمار میرود و بیشترین تلاش ما باید در جهت حفظ آن باشد.

جدول ۳: ارزش دارایی بخش‌های شبکه آبرسانی

دارایی‌ها	خسارت	تلفات
منابع آب	۳۶۱	۲۰۵
خطوط انتقال	۳۰۸	۲۳۹
تصفیه‌خانه	۳۳۰	۲۸۵
شبکه توزیع	۲۹۷	۲۰۲
مخازن	۲۵۸	۲۰۷



نمودار ۲: تعیین ارزش دارایی بخش‌های مختلف شبکه آبرسانی

با جمع زدن مقادیر مختلف تلفات و خسارات برای هر بخش شبکه آبرسانی درمی‌یابیم تصفیه خانه بالارزش‌ترین دارایی ما در شبکه آبرسانی محسوب می‌شود چراکه در صورت آسیب دیدن خسارات اقتصادی و تلفات جانی بسیاری را برجای خواهد گذاشت.

برای محاسبه عدد V_p ابتدا مقادیر شاخص‌های بحرانیت، حساسیت و ارزش دارایی‌های هر بخش را با یکدیگر جمع می‌زنیم در نتیجه برای هر بخش شبکه آب سه عدد بحرانیت، حساسیت و ارزش دارایی خواهیم داشت. این سه شاخص را نیز طبق آنتروپی شانون نرمال کرده در نهایت میزان آسیب‌پذیری از ۱ محاسبه شود. در مرحله بعد با ضرب هر کدام از این سه شاخص بحرانیت، حساسیت و ارزش دارایی در یکدیگر مقدار آسیب‌پذیری سولوی یعنی V_p برای هر پنج بخش منابع آب، خطوط انتقال، تصفیه‌خانه، شبکه توزیع و مخازن حاصل می‌شود که مقادیر آن به شرح زیر می‌باشد:

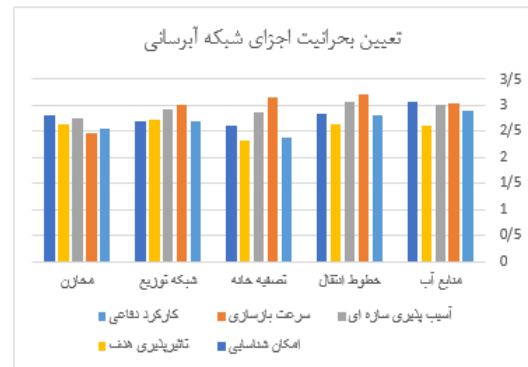
مختلتر برای این اجزا پرداختیم. در گام بعدی پس از گردآوری اطلاعات درباره اجزای سامانه آبرسانی، دارایی‌های اصلی این سامانه را معرفی کردیم. سپس با طراحی پرسشنامه ای براساس طیف لیکرت اجزای اصلی سامانه امتیاز دهی شد. این پرسشنامه در سه معیار جداگانه تعیین بحرانیت، تعیین حساسیت و ارزش دارایی تدوین گردید و در نهایت آسیب پذیرترین اجزای این سامانه براساس نرم افزار SPSS تحلیل و شناسایی شدند.

۵- بحث و نتایج

باتوجه به مباحث فوق اجزا لیست گردید و پرسشنامه بین افراد متخصص در سازمان آبرسانی پخش گردید پس از محاسبه و تحلیل آنها با استفاده از نرم افزار SPSS نتایج زیر بدست آمد.

جدول ۱: تعیین بحرانیت اجزای شبکه آب

دارایی‌ها	کارکرد دفاعی	سرعت بازسازی	آسیب‌پذیری	تأثیرپذیری هدف	امکان شناسایی
منابع آب	۲.۹۰	۳.۰۲	۳	۲.۶۰	۳.۰۷
خطوط انتقال	۲.۷۹	۳.۲۰	۳.۰۵	۲.۶۲	۲.۸۳
تصفیه‌خانه	۲.۳۷	۳.۱۵	۲.۸۷	۲.۳۱	۲.۶۱
شبکه توزیع	۲.۶۹	۳	۲.۹۳	۲.۷۱	۲.۶۸
مخازن	۲.۵۴	۲.۴۶	۲.۷۴	۲.۶۲	۲.۸۰



نمودار ۱: تعیین بحرانیت اجزای شبکه آبرسانی

در این بخش ما با استفاده از داده‌های خام مستخرج از پرسشنامه مجموع امتیازات مؤلفه‌های هر بخش را به دست آورده و سپس بر تعداد آن‌ها تقسیم کرده تا میانگین امتیازی که به هر بخش از شبکه آبرسانی تعلق می‌گیرد را محاسبه کنیم در این راستا با چیدن اعداد در جدول بالا و جمع کردن مجموع امتیازات هر بخش از شاخص‌های مختلف، بحرانیت هر بخش را استخراج کنیم. از بین اجزای مختلف شبکه آبرسانی به ترتیب منابع آب، شبکه توزیع، مخازن، تصفیه خانه و در نهایت خطوط انتقال آب بیشترین امتیازات را به خود اختصاص دادند. پس درمی‌یابیم که در این بین منابع آب بحرانی‌ترین مؤلفه شبکه آبرسانی بر اساس نظرات خبرگان می‌باشد.

جدول ۲: تعیین حساسیت اجزای شبکه آبرسانی

دارایی‌ها	کارکرد دفاعی	بازتوانی	وابستگی
منابع آب	۲.۷۷	۳.۲۸	۲.۹۱
خطوط انتقال	۲.۴۹	۳.۰۷	۲.۷۱
تصفیه‌خانه	۲.۶۶	۳.۲۲	۲.۵۱
شبکه توزیع	۲.۰۷	۳.۰۱	۲.۸۳
مخازن	۲.۳۱	۲.۹۲	۲.۶۵

جدول ۴: آسیب پذیری سلولی بخش های مختلف شبکه آب

بخش های مختلف شبکه آب	آسیب پذیری نرمال شده	آسیب پذیری سلولی
منابع آب	۰,۲۱	$(V_0 \text{ resource}) - ۰,۵۹$
خطوط انتقال	۰,۲	$(V_0 \text{ line}) - ۰,۵۶$
تصفیه خانه	۰,۲۱	$(V_0 \text{ Treatment}) - ۰,۵۷$
شبکه توزیع	۰,۱۹	$(V_0 \text{ Distribution}) - ۰,۵۴$
مغازن	۰,۱۹	$(V_0 \text{ Reservoir}) - ۰,۵۱$

همان گونه که از اعداد بالا درمی یابیم در بین اجزای مختلف شبکه آبرسانی بیشترین مقدار آسیب پذیری را تصفیه خانه و منابع آب به خود اختصاص دادند و پس از آن خطوط انتقال در درجه دوم اهمیت قرار گرفتند. مقدار V_p برابر با $۰,۵۳$ یعنی $۵,۳$ از ۱۰ حاصل شد.

۶- نتیجه گیری

با مشاهده مطالب فوق دریافتیم که سامانه آبرسانی از جمله زیرساخت های بسیار حیاتی هر جامعه و کشور محسوب می شود که همواره در طول جنگ ها اهداف بسیار مناسبی برای حمله و به زانو در آوردن کشور مقابل است. از این رو برنامه ریزی جهت انجام اقدامات حفاظتی از این شبکه امری بسیار مهم می باشد. پس از شناسایی اجزای اصلی این سامانه و رتبه بندی آنها دریافتیم که در میان سه شاخص تعیین بحرانیت، تعیین حساسیت و ارزش دارایی تصفیه خانه سامانه آبرسانی مهمترین دارایی این سامانه را تشکیل می دهد. از این ضروری به نظر می رسد که بیشترین تاکید و حساسیت مسئولین کشور در راستای حفظ و تداوم عملکرد این بخش از شبکه آب باشد. چرا در صورت انهدام این بخش از شبکه آبرسانی احتمال انتشار آلودگی در میان مردم یک کشور و سلب مشروعیت از دولت مرکزی کشور مورد تهاجم کمک می کند.

۷- مراجع

- [۱]. J. Johansson, H. Hassel. An approach for modelling interdependent infrastructures in the context of vulnerability analysis, Reliability Engineering and system Safety (۲۰۱۰) ۹۵ ۱۳۴۴-۱۳۳۵.
- [۲]. S. Wang, L. Hong, X. Chen. Vulnerability analysis of interdependent infrastructure systems: A methodological framework; Physica A ۳۳۳۵-۳۳۲۳ (۲۰۱۲) ۳۹۱.
- [۳]. J. W. Wang, L. L. Rong. Cascade-based attack vulnerability on the US power grid; Safety Science (۲۰۰۹) ۴۷ ۱۳۳۶-۱۳۳۲.
- [۴]. W. Kr ger • E. Zio. Vulnerable Systems; Springer London Dordrecht Heidelberg New York, A catalogue record for this book is available from the, British Library _ Springer-Verlag London Limited ۲۰۱۱

[۵]. کریمی، ابراهیم، مدنی، محمد، ابراهیمی، اکبر. ارزیابی آسیب پذیری شبکه انتقال در سیستم های قدرت با استفاده از الگوریتم ژنتیک، سیستم های هوشمند در مهندسی برق، سال سوم، شماره سوم، پاییز ۹۱.

[۶]. مشهدی حسن، آسیب پذیری چیست؟، معاونت اطلاعات و عملیات سازمان پدافند کشور، بهار ۹۴.

[۷]. Gabriel J. Correa, José M. Yusta. Grid vulnerability analysis based on scale-free graphs versus power flow models; Electric Power Systems Research ۷۹-۷۱ (۲۰۱۳) ۱۰۱.

[۸]. ضوابط طراحی سامانه های انتقال و توزیع آب شهری و روستایی، معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری، نشریه شماره ۳-۱۱۷، ص ۳۵، سال ۱۳۹۲.

[۹]. Haestad, M., Walski, T. M., Chase, D. V., Savic, D. A., Grayman, W., Backwith, S., Koelle, E. (۲۰۰۳). «Advanced Water Distribution Modeling and Management», CT, USA,

Haestad Press, Waterbury

[۱۰]. Li, H. (۲۰۰۷). «Hierarchical risk assessment of water supply systems». Submitted for the Degree of Doctor of Philosophy, Loughborough University

[۱۱]. approach using MATLAB, A.R.-B., COST VALUE FUNCTION OF WATER DISTRIBUTION NETWORKS. ۲۰۰۸, An-Najah National University.

[۱۲]. Mays, L. W. (۲۰۰۴). «Water supply systems security», New York, McGraw-Hill Professional Engineering

[۱۳]. Roozbahani, A., Zahraie, B., Tabesh, M. (۲۰۱۳). «Integrated risk assessment of urban water supply systems from source to tap». Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, ۳۰۳ ۳۵۵. - (۲۷), (۲۰۱۳).

[۱۴]. Vladan Babovic, Jean-Philippe drecourt, marten keijzer, peter friss Hansen, A data mining approach to modelling of water supply assets, Urban Water (۲۰۰۲) ۴ ۴۱۴-۴۰۱.

[۱۵]. محمدرضا خیراندیش، اصول و معیارهای مهندسی دفاع غیرعامل در تاسیسات آبرسانی شهری. کتاب، ۱۳۹۳.

[۱۶]. جلالی غلام رضا، هاشمی فشارکی سید جواد، پدافند غیرعامل در آئینه قوانین و مقررات. سازمان پدافند غیرعامل کشور، کتاب، ۱۳۸۹

[۱۷]. A. Deb on ,A.Carri on, E.Cabrera, H.Solano. Comparing risk of failure models in water supply networks using ROC curves. Reliability Engineering and System Safety ۴۸-۴۳ (۲۰۱۰) ۹۵.

[۱۸]. J.A. Foster, A.T. McDonald. Assessing pollution risks to water supply intakes using geographical information systems (GIS), Environmental Modelling & Software ۱۵ ۲۳۴-۲۲۵ (۲۰۰۰)

[۱۹]. Yves Le Gat, Patrick Eisenbeis, Using maintenance records to forecast failures in water networks. Urban Water ۱۸۱±۱۷۳ (۲۰۰۰) ۲.

[۲۰]. David Michaud , George E. Apostolakis. Methodology for Ranking the Elements of Water-Supply Networks, J. Infrastruct. Syst. ۲۴۲-۲۰۶, ۱۲:۲۳۰.

[۲۱]. Jorge Pinto * Humberto Varum * Isabel Bentes * Jitendra Agarwal. A Theory of Vulnerability of Water Pipe Network (TVWPN). Water Resour Manage (۴۲۵۴-۴۲:۴۳۳۷ (۲۰۱۰).