dx.doi.org/10.22093/wwj.2017.45906

ارزیابی ریسک سامانه‌های آبرسانی شهری کشور در برابر تهدیدات به روش RAMCAP

جلال نخعی[1]، مهدی بیطرفان[2]، محمد جنیدی[3]، فرشته ستاری[4]

۱- دکترای معماری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز، تهران، ایران
۲- دانشجوی دکترای مهندسی عمران- زلزله، پژوهشگاه شاخص پژوه اصفهان، ایران
(نویسنده مسئول)، ۲۲۳۱۱۶۳۲ (۰۲۱) mehbita@gmail.com
۳- کارشناسی ارشد مهندسی زلزله، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران
۴- دانش‌آموخته کارشناسی مهندسی مکانیک- سیالات، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

(دریافت ۹٤/٦/٤ پذیرش ۹۵/۲/۸)

چکیده

در اثر وقوع انواع تهدیدات چه طبیعی و چه انسان ساخت، خسارت فراوانی ممکن است به زیرساخت‌های کشور وارد شود. یکی از این زیرساخت‌های حیاتی، سامانه آبرسانی است. از آنجایی که مهم‌ترین وظیفه این سامانه در زمان بحران، ناشی از وقوع تهدید، استمرار در انتقال آب به شهروندان می‌باشد، در صورت قطع استمرار عملکردی باعث تشدید بحران خواهد شد. از این رو باید با ارزیابی تهدیدات در سامانه آبرسانی، نقاط آسیب‌پذیر شناسایی شود و با شناخت این نقاط راهکارهایی به‌منظور آسیب‌پذیری ارائه شود. در این تحقیق ابتدا به ارزیابی دارایی‌ها و تهدیدات خاص مربوط به سامانه آبرسانی و در ادامه به ارزیابی شدت آسیب‌پذیری هر یک از تهدیدات احتمالی برای دارایی‌های مشخص شده پرداخته شد و در نهایت با محاسبه عدد ریسک هر یک از دارایی‌ها با استفاده از روش رمکپ، دارایی سدها، مخازن به‌همراه ایستگاه پمپاژ، تصفیه‌خانه‌ها و چاه‌ها به‌عنوان واحدهای آسیب‌پذیر مشخص شدند تا بتوان قبل از وقوع بحران با استفاده از این راهکارها میزان آسیب‌پذیری را کاهش داد. از دیگر نتایج این تحقیق مشخص شدن تهدیدات پایه تأثیرگذار بر این سامانه شامل آلودگی آب، حملات موشکی و سپس حملات سایبری می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی ریسک، سامانه آبرسانی شهری، تهدیدات، RAMCAP

۱- مقدمه

سامانه‌های تأمین و توزیع آب شهری شامل منابع تأمین، خطوط انتقال اصلی، تصفیه‌خانه‌ها، مخازن ذخیره و سیستم توزیع آب به طیف وسیعی از مصرف کنندگان خدمات رسانی می‌کنند و از اینرو جزو زیرساخت‌های اساسی در هر شهری به‌شمار می‌روند.

این سامانه از نقطه آغاز تا محل مصرف، در معرض تهدیدات طبیعی و غیرطبیعی قرار می‌گیرد. حوادث طبیعی شامل سیل، طوفان و زلزله در این پژوهش بحث نشده است. دسته دیگر از تهدیدات، تهدیدات غیرطبیعی از نوع عمدی(انسان‌ساز) است. این تهدیدات انسان‌ساز می‌تواند به‌صورت حملات انفجاری مستقیم بوده و یا به‌صورت ورود آلودگی به منابع ذخیره آب شرب باشد.

از جمله حوادث عمدی (انسان‌ساز) در این سامانه که در گذشته موجب آسیب‌دیدگی شده بود، مسمومیت منابع آب ایالت متحده آمریکا در سال ۲۰۰۲ در دنور توسط اعضای القاعده بوده است (Cameron 2002). همچنین آلودگی به عمد مخزن آب با علف هرز آلوده در سال ۲۰۰۶ در انگلستان، کشف یک طرح جهت مسموم کردن منابع آبی در سال ۲۰۱۱، مسمومیت دو مخزن بزرگ ۵۰۰۰ لیتری در سال ۲۰۱۱ و مسمومیت ۱۰۰ کودک به‌علت مسمومیت آب آشامیدنی مدرسه در سال ۲۰۱۲ نمونه‌هایی از این قبیل به‌شمار می‌آیند (Silva 2011; Hoffman 2011; Faiez & Vogt 2012).

از آنجا که در صورت آسیب به این شبکه به‌وسیله حملات عمدی و با برنامه‌ریزی، موجب بحران‌های شدید می‌شود، محافظت از این خطوط اهمیت ویژه‌ای دارد و لازم است تا مطالعات پدافند غیرعامل، که در مورد تهدیدات انسان‌ساز بوده، در این حوزه انجام شود و با به‌کارگیری تمهیدات آن، موجب افزایش ایمنی آن شود. به‌کارگیری تمهیدات پدافند غیرعامل به‌منظور کاهش آسیب‌پذیری

Archive of SID
www.SID.ir

dx.doi.org/10.22093/wwj.2017.45906

زیرساخت‌ها، ارتقای پایداری ملی، حفاظت از مردم و منابع ملی کشور و تضمین تداوم خدمات به آنان در راستای تکمیل چرخه دفاع غیرنظامی، خواهد بود.

در این پژوهش سعی بر آن شد که کلیه تهدیدات انسان‌ساز مورد نظر در حوزه سامانه آبرسانی شناسایی شود. این پژوهش با هدف ارزیابی ریسک تمامی دارایی‌های این سامانه از منظر پدافند غیرعامل انجام شد. در این پژوهش تهدیداتی که از نظر خبرگان تخصصی حوزه مهندسی آب و همچنین پدافند غیرعامل به‌عنوان تهدیدات مبنا شناخته می‌شوند، انتخاب و مورد ارزیابی قرار گرفتند. با توجه به شاخص‌هایی که با مطالعات کتابخانه‌ای و مصاحبه از طریق پرسشنامه با صاحب نظران این امر به‌دست آمده به ارزیابی این تهدیدات و میزان آسیب‌پذیری آن بر این سامانه پرداخته شد و در نهایت ارزیابی ریسک صورت گرفت.

در زمینه ارزیابی و تحلیل ریسک در سال‌های اخیر تحقیقات مشابهی برای بخش‌های مختلف سامانه‌های تأمین و توزیع آب شهری به‌صورت مجزا و یا یکپارچه صورت گرفته است که به برخی از آنها اشاره می‌شود. صدیق و همکاران در سال ۲۰۰۴ روشی را برای تحلیل ریسک فازی کیفیت آب در سامانه‌های توزیع آب ارائه نموده‌اند. آنها با در نظر گرفتن احتمال و شدت خطرات مختلف تهدید کننده کیفیت آب در سامانه‌های آبرسانی به‌صورت فازی، تبدیل حاصلضرب آنها به شکل اعداد صریح و سپس مقایسه ریسک محاسبه شده با یک سری ریسک‌های بیانی فازی از پیش تعیین شده (کم، متوسط، زیاد)، ریسک کلی این سامانه‌ها را در قالب یک مطالعه موردی محاسبه کرده‌اند (Sadigh et al. 2004). در مطالعه‌ای در سال ۲۰۰۷ یک ابزار تحلیل ریسک در سیستم‌های آبرسانی ارائه شده است (Vairavamoorthy et al. 2007).

لی در سال ۲۰۰۹، مشابه تحقیق قبلی، کاربرد رویکرد تحلیل ریسک فازی سلسله مراتبی را در ارزیابی تهدیدات کیفیت آب یکی از سیستم‌های تأمین و توزیع آب شهری در کشور آمریکا مورد بررسی قرار داده و به تحلیل حساسیت نتایج نسبت به تغییر احتمال و اثر خطرات پرداخته است (Lee et al. 2009). در سال ۲۰۱۱ روشی برای تحلیل ریسک سامانه‌های آبرسانی بر مبنای ساخت قوانین فازی بر مبنای ارتباط احتمال، شدت و آسیب پذیری ارائه شد و کاربرد آن در سامانه‌ای در کشور لهستان به کار گرفته شد (Tchorzewska 2011). روزبهانی و همکاران در سال ۲۰۱۳، کمیت و کیفیت آب در سامانه آبرسانی شهری را با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌ها مورد ارزیابی ریسک قرار داده‌اند (Roozbahani et al. 2013).

روزبهانی همچنین در سال ۲۰۱۵، ارزیابی ریسک سامانه آب شهری توسط تجمع درخت خطا و شبیه‌سازی مونت کارلو را مورد بررسی قرار داد (Roozbahani 2015).

نورالهی و همکاران در سال ۲۰۱۵، الگویی برای ارزیابی خطر پذیری (ریسک) بر اساس تلفیق رویکردهای عملکردی و آمایشی در زیرساخت‌های حیاتی ارائه داده‌اند. در این تحقیق سامانه آبرسانی شهری به‌عنوان یکی از زیرساخت‌های حیاتی مورد ارزیابی قرار گرفته شده است (Nurollahi et al. 2015). در پژوهشی در سال ۲۰۱۵، خطوط انتقال مورد ارزیابی ریسک قرار داده شد. البته در این ارزیابی ریسک تنها شاخص‌های فنی خطوط لوله به‌منظور اولویت بندی، مورد بررسی قرار داده شده است (Rossi 2015).

در کلیه این پژوهش‌ها تحلیل ریسک سامانه آبرسانی در برابر خطرات محتمل به‌صورت همزمان صورت نگرفته و علاوه بر این، تحلیل‌های انجام شده و مدل‌های به کار گرفته شده، دیدگاه مجزا نگری به اجزای تأمین، انتقال، تصفیه و توزیع داشته‌اند؛ با توجه به اهمیت این سامانه، در بررسی‌ها لازم است سامانه آبرسانی شهری به‌صورت یکپارچه مورد بررسی قرار گیرد. از جمله نوآوری صورت گرفته در این تحقیق علاوه بر در نظر گرفتن کلیه اجزای سامانه آبرسانی شهری به‌صورت یکپارچه، به‌کارگیری شاخص‌های مؤثر و تأثیرگذار در ارزیابی تهدیدات و ارزیابی آسیب‌پذیری بوده که مختص سامانه آبرسانی می‌باشد. به این صورت ارزیابی ریسک انجام شده با توجه به شاخص‌های به‌کارگرفته شده، در این سامانه، ارزیابی درستی خواهد بود که البته در هیچ یک از تحقیقات صورت گرفته شده، اشاره‌ای به این شاخص‌ها نشده است. از دیگر مواردی که در این تحقیق به آن به‌صورت خاص پرداخته شد و در تحقیقات پیشین مورد بررسی قرار نگرفته، بررسی کلیه تهدیدات تروریستی انسان‌ساز این سامانه بوده که می‌تواند دید مناسبی از میزان اهمیت هر یک از این تهدیدات برای این سامانه بدهد. بنابراین در این تحقیق تمامی حوزه‌های این نوع تهدید خاص با توجه به شاخص‌های معرفی شده برای سامانه آبرسانی شهری، بررسی و مورد ارزیابی قرار گرفت.

Archive of SID
www.SID.ir

dx.doi.org/10.22093/wwj.2017.45906

۲- روش تحقیق

در این تحقیق برای ارزیابی ریسک سامانه آبرسانی شهری، ابتدا انواع تهدیدات و دارایی‌های این سامانه با استفاده از منابع و مصاحبه با افراد خبره در مهندسی عمران و پدافند غیرعامل که در جدول ۱ تعداد و حوزه تخصصی آنها مشخص شده، شناسایی و دارایی‌های مهم در برابر تهدیدات متصور این حوزه مورد بررسی قرار گرفت. به‌منظور کسب نظرسنجی از خبرگان، پرسشنامه‌ای جهت وزن دهی به دارایی‌ها در معرض دید ۲۶ فرد خبره قرار گرفت (جدول ۱). از طریق به‌کارگیری روش رمکپ که در ادامه توضیح داده خواهد شد، میزان آسیب‌پذیری هر یک از دارایی‌ها به‌دست آمده و در نهایت، ریسک‌پذیرترین دارایی، مشخص شد و همچنین تهدیدات پایه در سامانه تعیین شد (Brashear et al. 2007).

جدول ۱- آمار جامعه خبرگان

Table 1. The statistical population of expert subjects

Field of expertise	Level of education	Number
Civil Engineering	PhD	8
	MSc	7
Passive deffense	PhD	6
	MSc	5

۲-۱- روش رمکپ

تعاریف مختلفی از تحلیل ریسک در حوزه‌های مختلف علمی مهندسی به‌عنوان بخش اصلی مدیریت ریسک ارائه شده است (Aven 2011). از جمله مهم‌ترین این تعاریف ریسک را به‌عنوان ترکیبی از احتمال خطر، شدت اثرات ناشی از خطر و آسیب‌پذیری اجزاء می‌داند و مبانی بسیاری از استانداردهای مدیریت ریسک مانند رمکپ و یا فما است (Torres et al. 2009; ASME 2006; FEMA 2003).

به‌طور خلاصه احتمال خطر، تواتر یک رویداد تهدید کننده اجزای سامانه آب شهری است. به‌منظور ارزیابی و مدیریت ریسک در بخش آب و فاضلاب، دستورالعمل‌های جدیدی تدوین و توسعه یافته‌اند. این دستورالعمل‌ها موسوم به مدیریت و ارزیابی ریسک سرمایه‌های حیاتی یا به اختصار رمکپ[1] است. در این تحقیق هم با الگوبرداری از این روش و بومی‌سازی آن، ارزیابی ریسک کلیه دارایی‌ها صورت گرفته است (Brashear et al. 2007; Assistance Information 2012). مزیت این روش نسبت به دیگر روش‌های ارزیابی ریسک این بوده که این دستورالعمل روشی مختص برای ارزیابی ریسک بخش آب و فاضلاب بوده و برای سامانه آب و فاضلاب طراحی شده است. در صورتی که معیارها و الگوهای استفاده شده در دیگر دستورالعمل‌ها یا به‌صورت عمومی بوده و یا مختص یک بخش خاص غیر از سامانه‌های آب و فاضلاب بوده است.

مراحل مختلف برای ارزیابی ریسک با الگوی رمکپ عبارت‌اند از:

گام اول- ارزیابی ارزش دارایی‌ها: هدف از این مرحله در واقع برآورد شدت خسارات جانی و مالی دارائی‌های وارده به یک قسمت از سامانه در اثر وقوع یک تهدید خاص است. در این گام با شناسایی سامانه، با تدوین معیارها و آستانه‌های مربوطه برای هر قسمت از سامانه شدت خسارت در بحرانی برابر تهدیدات تعیین می‌شود.

گام دوم- شناسایی و رتبه‌بندی تهدیدات: در این مرحله تهدیدات خرابکارانه محتمل بر سامانه مورد نظر شناسایی شده و با تدوین معیارها و امتیازدهی توسط کارشناسان مورد رتبه‌بندی قرار می‌گیرند. البته تهدیدات با امتیاز بالا برای مراحل بعدی طبق دستورالعمل رمکپ انتخاب خواهند شد.

گام سوم- ارزیابی آسیب‌پذیری: در این گام پتانسیل آسیب‌پذیری دارایی‌های بحرانی در برابر تهدیدات شناسایی شده محاسبه می‌شود. این مرحله نیز با وضع یک سری معیارها و آستانه‌هایی همراه است.

گام چهارم- ارزیابی ریسک: با تکمیل سه مرحله قبل، در این گام مقدار ریسک هر قسمت از سامانه مشخص می‌شود. مقدار ریسک برای هر قسمت از رابطه ۱ به‌دست می‌آید

$$\text{مقدار ریسک} = \text{تهدید} \times \text{ارزش دارایی} \times \text{آسیب‌پذیری} \quad (۱)$$

ارزش دارایی در رابطه بالا اهمیت هر جزء در سیستم و میزان خسارت جانی حاصل از تخریب می‌باشد. درجه تهدید، میزان خطر و تهدیدات را برای جزء مورد نظر تعیین می‌کند. درجه آسیب‌پذیری بر اساس میزان تمهیدات موجود برای مقابله با

[1] Risk Analysis and Management for Critical Asset Protection (RAMCAP)

Archive of SID
www.SID.ir

dx.doi.org/10.22093/wwj.2017.45906

تهدیدها و مشخصات جزء مورد بررسی، درجه آسیب‌پذیری آن جزء را نشان می‌دهد. برای کمّی نمودن میزان خطر، رمکپ پیشنهاد می‌کند برای هر سه عامل فوق ده کلاس مختلف با ارزش یک تا ده در نظر گرفته شوند و برای هر جزء میزان خطر به‌صورت کمی از حاصل‌ضرب سه عامل محاسبه شود.

گام پنجم- مطرح کردن گزینه‌های کاهنده ریسک: در این گام می‌توان تصمیم‌گیری کرد که در کدام قسمت‌ها ریسک‌ها باید کنترل شوند و اقدامات مورد نیاز برای کاهش ریسک به چه نحوی انجام گیرد. انجام این مرحله بعد از مشخص شدن مقدار ریسک برای قسمت‌های بحرانی سامانه می‌باشد و بر اساس نتایج حاصل از مرحله قبلی سیاست‌های مقابله با هر ریسک تدوین می‌شود. برای مثال، ریسک‌های با مقدار بسیار پایین را می‌توان پذیرفت. در شکل ۱ این فرایند بطور کامل نشان داده شده است.

۳- نتایج و بحث

در این بخش از پژوهش به بررسی نتایج به‌دست آمده پرداخته شد. این نتایج در جداول به‌صورت محاسبه ارزش دارایی، برآورد تهدید، برآورد آسیب‌پذیری و محاسبه عدد ریسک ارائه شده است.

۳-۱- گام اول: توصیف و ارزیابی دارایی‌ها

در حوزه سامانه آبرسانی واحدهای مختلفی وجود دارد که عبارت‌اند از: کلیه ساختمان‌های اداری و فرماندهی، سدها، تصفیه‌خانه‌ها، مخازن بهمراه ایستگاه پمپاژ، خطوط انتقال آب و شبکه توزیع، سیستم‌های مخابراتی و شبکه‌های اطلاع رسانی، چاهها، تأسیسات الکتریکی برق‌آبی و ژنراتورها.

به‌منظور ارزیابی دارایی‌ها سه معیار در نظر گرفته شد و به هر یک از دارایی‌ها در برابر این سه معیار امتیازدهی شد و امتیاز نهایی هر یک از دارایی‌ها بر اساس میانگین این سه معیار به‌دست آمد. این سه معیار در ادامه توضیح داده می‌شود

الف- ارزش اقتصادی

منظور از ارزش اقتصادی، ارزش ریالی دارایی می‌باشد. لازم بذکر است گاهی اوقات نمی‌توان به‌طور مشخصی ارزش اقتصادی دارایی را تعیین نمود (Assistance Infromation 2012). هر یک از دارایی‌های سامانه آبرسانی دارای ارزش اقتصادی است که از یک تا ده امتیازدهی می‌شوند. در جدول ۲ به هر یک از دارایی‌های سامانه آبرسانی نمره داده شده است (Assistance Infromation 2012).

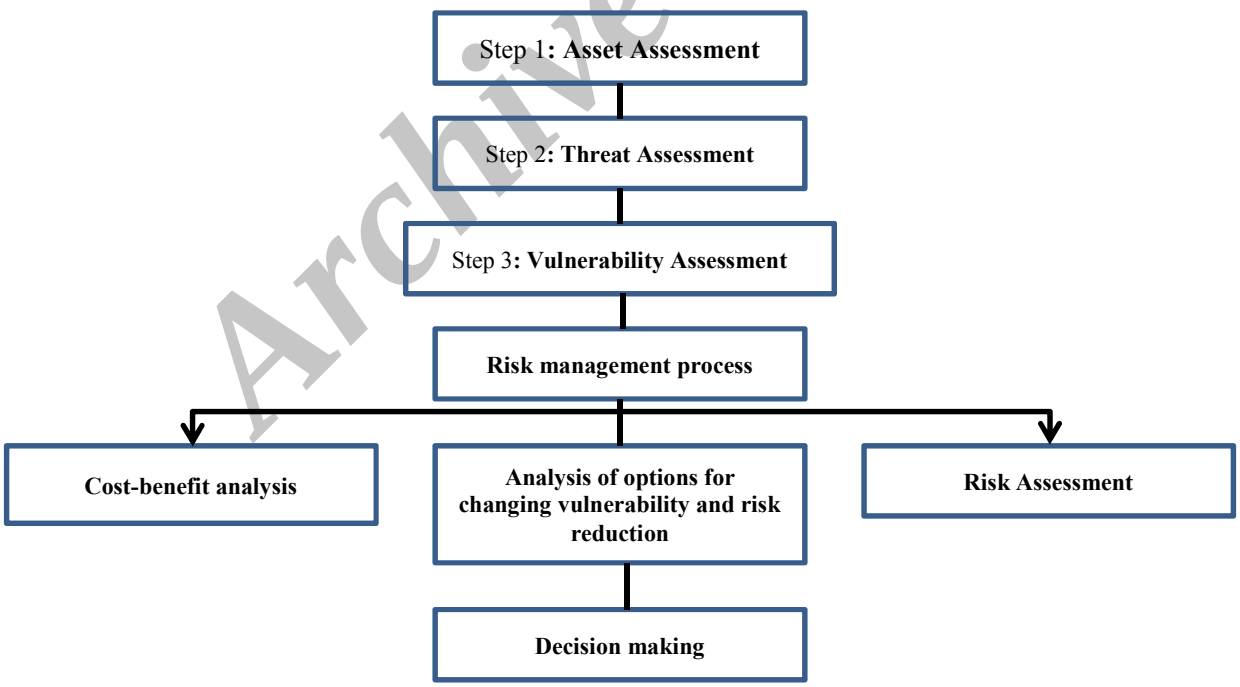

Fig. 1. Risk assessment model following Ramcap method (Brashear et al. 2007; Assistance Information 2012)

شکل ۱- مدل فرایند ارزیابی ریسک با الگوبرداری از روش رمکپ (Brashear et al. 2007; Assistance Information 2012)

Archive of SID

www.SID.ir

dx.doi.org/10.22093/wwj.2017.45906

همانطور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود دارایی سد و خطوط انتقال دارای بیشترین امتیاز از نظر ارزش اقتصادی می‌باشد که نشان دهنده اهمیت و ارزش این دارایی‌ها در سامانه آبرسانی شهری است.

جدول ۲- معیار ارزش اقتصادی

Table 2. Index and criteria used for economic value

Row	Assets	Value
1	Office and Command buildings	4
2	Dams	9
3	Water treatment plants	7
4	Reservoirs and pumping stations	4
5	Water transmission lines and distribution networks	6
6	Telecommunication systems and Information networks	3
7	Wells	3
8	Hydroelectric power plants and generators	3

ب- ارزش عملکردی

ارزش عملکردی به این معنی است که اگر یک دارایی از بین برود، چه تأثیری در عملکرد سیستم آبرسانی خواهد داشت. به هر یک از دارایی‌ها از یک تا ده امتیازدهی شد (Assistance Infromation 2012) همانطور که انتظار می‌رفت تأسیسات سد و تصفیه‌خانه‌ها دارای بیشترین امتیاز بودند که باز هم نشان دهنده اهمیت این دارایی‌ها در سامانه آبرسانی است (جدول ۳).

ج- منحصر بفرد بودن

در این گام هدف تعیین ارزش جایگزینی و منحصر بفرد بودن یک دارایی است، به این معنی که یک دارایی اگر در اثر وقوع تهدید دچار آسیب دیدگی شود، برای تعمیر و یا حتی جایگزین کردن آن چه مشکلاتی وجود دارد و از یک تا ده امتیازدهی می‌شود.

جدول ۳- معیار ارزش عملکردی مراکز و تأسیسات

Table 3. Performance of centers and facilities

Row	Assets	Value
1	Office and command buildings	3
2	Dams	9
3	Water treatment plants	8
4	Reservoirs and pumping stations	6
5	Water transmission lines and distribution networks	2
6	Telecommunication systems and information networks	2
7	Wells	3
8	Hydroelectric power plants and generators	3

در جدول ۴ برای کلیه دارایی‌ها معیار ارزش جایگزینی مورد ارزیابی قرار گرفته است. دو دارایی سدها و تصفیه‌خانه‌ها دارای بیشترین امتیاز می‌باشند.

جدول ۴- معیار منحصر بفرد بودن دارایی

Table 4. Unique componenets of the assumed property

Row	Assets	Value
1	Office and command buildings	4
2	Dams	9
3	Water treatment plant	7
4	Reservoirs and pumping stations	4
5	Water transmission lines and distribution networks	6
6	Telecommunication systems and information networks	3
7	Wells	3
8	Hydroelectric power plants and generators	3

در نهایت به‌منظور ارزش و اولویت بندی دارایی‌های سامانه آبرسانی از سه معیار توضیح داده شده استفاده می‌شود و امتیاز نهایی دارایی‌ها از مجموع امتیاز سه معیار به‌دست می‌آید و با استفاده از جدول ۵ رتبه‌بندی می‌شود. جدول ۶ برای کلیه دارایی‌ها،

این ارزش‌گذاری بر اساس سه معیار انجام شد و امتیاز نهایی از مجموع سه معیار به‌دست آمد که بر اساس این جدول دارایی سد و تصفیه‌خانه‌ها به‌عنوان دارایی با اولویت بسیار بالا مشخص شده

جدول ۵- امتیازدهی و کمی سازی

Tabel 5. Scoring and quantification

Mark	Value	Score range
A	1	1-5
B	3	6-10
C	6	11-15
D	8	16-20
E	9	21-25
F	10	26-30

جدول ۶- ارزیابی دارایی‌ها

Table 6. Evaluation of assets

Index / Assets	Total score	Variation range	Final score
Office and command buildings	11	C	6
Dams	27	F	10
Water Tteatment plants	24	E	9
Reservoirs and pumping stations	17	D	8
Water transmission lines and distribution networks	12	C	6
Telecommunication systems and information networks	8	B	3
Wells	12	C	6
Hydroelectric power plants and generators	12	C	6

Archive of SID

www.SID.ir

dx.doi.org/10.22093/wwj.2017.45906

است. دارایی مخازن و چاه در رتبه‌های بعدی این اولویت‌بندی قرار می‌گیرند.

۳-۲- گام دوم: شناسایی تهدید

پس از بررسی دارایی‌ها، در این بخش کلیه تهدیدات عمدی (انسان‌ساز) متصور سامانه‌های آبرسانی شهری مورد بررسی و ارزیابی قرار خواهند گرفت. تهدیدات عمدی طبق تعریف عبارتند از:

- **تهدید عمدی**

تهدیدات عمدی در قالب حملات تروریستی یا خرابکارانه و حملات نظامی (جنگ‌ها) قابل تعریف بوده که با طرح و برنامه‌ریزی قبلی اجرا می‌شوند. یکی از مهم‌ترین تهدیدات متصور عمدی برای سامانه آبرسانی تهدیدات آلودگی بوده است.

در این پژوهش به‌دلیل بررسی سامانه آبرسانی از منظر پدافند غیرعامل با روش رمکپ، تنها تهدیدات عمدی به‌دلیل اهمیتشان در این سامانه، مورد بررسی قرار گرفت. در جدول ۷ لیستی از تهدیدات مهم در سامانه آبرسانی با استناد به نظر جامعه خبرگان، جمع‌آوری شده است.

پس از شناسایی و شناخت تهدیدات، باید احتمال اجرایی شدن هر کدام از تهدیدات عمدی توسط دشمن بر علیه دارایی‌ها ارزیابی شود. در زمینه تهدیدات عمدی، تهدیداتی دارای احتمال وقوع بیشتری است که بالاترین عمق خسارت اقتصادی، سیاسی، نظامی، نیروی انسانی و معیشتی را با کمترین هزینه و کمترین زمان ایجاد نماید. بر این اساس معیارهای تحلیل تهدیدات و چگونگی اعمال آن ارزیابی می‌شوند. هر چه میزان این شاخص‌ها بالاتر باشد، احتمال استفاده از این تهدیدات بالاتر خواهد رفت. معیارهای تحلیل برای تهدیدات عمدی، به شرح زیر می‌باشند:

الف- شدت خسارت

شدت خسارت به حجم صدمات، تلفات و خسارت‌هایی که از ناحیه عامل تهدید متوجه نیروی انسانی، تجهیزات و تأسیسات و زمان می‌شود، گفته می‌شود (Assistance Infromation 2012). در جدول ۸ به هر یک از تهدیدات از یک تا ده امتیازدهی شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده، تهدید حمله موشکی و هوایی به‌عنوان تهدیدی که بیشترین خسارت را دارد مشخص شده که نشان دهنده اهمیت آن است. بعد از آن تهدیدات حمله تروریستی (آلودگی آب)، حملات خرابکاری و بمب گذاری و در آخر حملات بد افزاری و سایبری قرار دارد.

جدول ۷- امتیازدهی و کمی سازی

Table 7. Scoring and Quantification

Row	Threats
1	Air and missile attacks
2	Sabotage and bombings
3	Cyber attacks
4	Terrorist attacks (water pollution)

جدول ۸- مؤلفه‌های معیار شدت خسارت

Table 8. Components of damage intensity index

Row	Intensity	Threats	Value
1	Destructive	Air raids and missile attacks	9
2	Severe	Terrorist (water pollution)	7
3	Average	Sabotage and bombings	5
4	Low	Cyber attacks	3

ب- سابقه تهدید

کسب اطلاعات درخصوص استفاده مکرر یا عدم استفاده قبلی دشمن ازیک تهدید، نمایانگر اراده دشمن و علایق او به کاربرد دوباره تهدید می‌باشد. در این قسمت به بررسی سابقه استفاده از هر یک از تهدیدات در جنگ‌های اخیر پرداخته می‌شود. در جدول ۹ هر یک از تهدیدات بر اساس معیار سابقه تهدید، از یک تا ده امتیازدهی و اولویت‌بندی شده‌اند. بر اساس این جدول، تهدید موشکی و هوایی و آلودگی دارای بیشترین امتیاز و اولویت اول انتخاب شد. حمله خرابکارانه و سایبری به‌ترتیب در اولویت‌های بعدی قرار دارند.

جدول ۹- مؤلفه‌های معیار سابقه تهدید

Table 9. Componenets of threat history

Row	History	Threat	Value
1	Air ridas and missile attacks	Very high	9
2	Terrorist (water pollution) attacks	Very high	9
3	Sabotage and bombings	Low	4
4	Cyber attacks	Low	4

ج- توانایی دشمن

توانایی حمله، اولین موردی است که در تعیین ماهیت تهدید دشمن مورد توجه قرار می‌گیرد. در ارزیابی توانایی، گروه تهدید شناسی

Archive of SID

www.SID.ir

dx.doi.org/10.22093/wwj.2017.45906

نباید تنها به توانایی‌های آشکار و مستقیم توجه کند، بلکه توانایی‌هایی که نقش وسیع ولی غیر مستقیم دارند، نیز باید در نظر گرفته شوند. در جدول ۱۰ هر یک از تهدیدات بر اساس معیار توانایی دشمن، از یک تا ده امتیازدهی و اولویت‌بندی شده‌اند. بر اساس این جدول، تهدید موشکی و هوایی دارای بیشترین امتیاز و اولویت اول انتخاب شد. حمله تروریستی (آلودگی آب)، خرابکارانه و سایبری به‌ترتیب در اولویت‌های بعدی قرار دارند.

جدول ۱۰- مؤلفه‌های معیار توانایی دشمن

Table 10. Components of enemy power index

Row	Ability	Value
1	Air raids and missile attacks	9
2	Terrorist (water pollution) attacks	8
3	Sabotage and bombings	5
4	Cyber attacks	5

در نهایت به‌منظور ارزیابی تهدیدات، بر اساس سه معیار توضیح داده شده و از جمع امتیاز این سه معیار و مطابق جدول ۵، امتیاز نهایی برای هر تهدید به‌دست آمد. نتایج در جدول ۱۱ آورده شده است. در نهایت تهدیدات موشکی و توپخانه‌ای به‌عنوان اولویت اول و تهدید تروریستی اولویت دوم مشخص شد. تهدیدات خرابکاری و بمب‌گذاری و حملات بد افزاری و سایبری در اولویت‌های بعدی قرار گرفت.

۳-۳- ارزیابی آسیب‌پذیری (ضعف)

در این قسمت میزان آسیب‌پذیری زیرساخت مورد مطالعه قرار گرفت. هر چه میزان آسیب‌پذیری زیرساخت بالاتر باشد، به همان اندازه احتمال موفقیت دشمن در تهاجم ارتقاء می‌یابد. شاخص‌های ارزیابی آسیب‌پذیری عبارت‌اند از:

الف- ضعف رویارویی

شاخص ضعف رویارویی، به‌میزان توان یا ضعف در مواجه با وقوع تهدید علیه دارایی‌های کلیدی اطلاق می‌شود. در جدول ۱۲ میزان ضعف رویارویی وزن دهی شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود، دارایی سد و چاه‌ها دارای بیشترین ضعف در رویارویی برای دشمن برای حمله احتمالی می‌باشد.

ب- ضعف حفاظتی و تمهیدات دفاعی

معیار ضعف حفاظتی و تمهیدات دفاعی به میزان قوت یا ضعف

جدول ۱۱- ارزیابی تهدیدات

Table 11. Threat evaluation

Index / Threats	Final score	Variation range	Total score
Air raids and missile attacks	27	F	10
Terrorist (water pollution) attacks	24	E	9
Sabotage and bombings	14	C	6
Cyber attacks	12	C	6

جدول ۱۲- معیارهای ضعف و رویارویی

Table 12. Weakness and encounter criteria

Row	Description	Score
1	Office and command buildings	5
2	Dams	8
3	Water treatment plants	7
4	Reservoirs and pumping stations	6
5	Water transmission lines and distribution networks	3
6	Telecommunication systems and information networks	3
7	Wells	8
8	Hydroelectric power plants and generators	4

لایه‌های حفاظتی دارایی‌های کلیدی مرتبط است. امّا در اینجا اصل، جلوگیری از حمله نیست بلکه هدف میزان دفع حمله است (Assistance Infromation 2012). در جدول ۱۳ میزان ضعف در حفاظت وزن‌دهی شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود، دارایی سد، تصفیه‌خانه‌ها و مخازن دارای بیشترین ضعف در حفاظت در مقابل دشمن برای حمله احتمالی است.

جدول ۱۳- معیار ضعف حفاظتی و تمهیدات دفاعی

Table 13. Indices for protection weaknesses and defensive measures

ROW	Protection Weaknesses and defensive measures	Value
1	Office and command buildings	5
2	Dams	8
3	Water treatment plants	6
4	Reservoirs and pumping stations	6
5	Water transmission lines and distribution networks	4
6	Telecommunication systems and information networks	3
7	Wells	4
8	Hydroelectric power plants and generators	4

ج- امکان دسترسی

به میزان دسترس بودن دارایی در صورت حمله، امکان دسترسی گفته می‌شود. هدف در صورتی قابل دسترسی است که دشمن بتواند با نیروی انسانی و تجهیزات کافی به آن رسیده و مأموریت مربوطه

Archive of SID
www.SID.ir

dx.doi.org/10.22093/wwj.2017.45906

را با موفقیت انجام دهد. قابلیت دسترسی در یک اصطلاح کلی، سهولت دسترسی و یا مشکل بودن حرکت و نزدیک شدن به سمت هدف است (Assistance Infromation 2012). در جدول ۱۴ میزان امکان دسترسی وزن‌دهی شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود، دارایی سد، تصفیه‌خانه‌ها و مخازن دارای بیشترین امکان در دسترسی برای دشمن برای حمله احتمالی می‌باشد.

جدول ۱۴- مؤلفه‌های شاخص امکان دسترسی

Table 14. Componenets of accessibility index

Row	Accessability	Score
1	Office buildings and Command	5
2	Dams	8
3	Water treatment plants	7
4	Reservoirs and pumping stations	6
5	Water transmission lines and distribution networks	2
6	Telecommunication systems and information networks	4
7	Wells	2
8	Hydroelectric power plants and generators	5

د- امکان شناسایی

امکان شناسایی به‌میزان به کارگیری برخی ملاحظات پدافند غیرعامل همچون اصول استتار، اختفا و پوشش وابسته است؛ به‌طوری که هر مقدار این اصول بهتر و بیشتر مد نظر قرار گیرد، احتمال آسیب‌پذیری کاهش خواهد یافت (Assistance Infromation 2012) در نهایت در جدول ۱۵ میزان امکان کشف و شناسایی وزن‌دهی شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود، دارایی سد، تصفیه‌خانه‌ها و مخازن دارای بیشترین امکان در شناسایی برای دشمن برای حمله احتمالی است.

به‌منظور ارزیابی آسیب‌پذیری دارایی‌ها، بر اساس سه معیار توضیح داده شده و از جمع امتیاز این چهار معیار و مطابق جدول ۱۶ امتیاز نهایی برای هر تهدید به‌دست آمد. نتایج در جدول ۱۷ آورده شده است. بر اساس نتایج به‌دست آمده از جدول ۱۷ دارایی‌های سد و تصفیه‌خانه‌ها دارایی‌های کلیدی و با آسیب‌پذیری زیاد نامیده می‌شوند و همچنین دارایی مخازن در رتبه سوم این رده بندی قرار دارند.

۳-۴- ارزیابی ریسک دارایی

پس از ارزیابی دارایی‌ها، ارزیابی تهدیدات و ارزیابی آسیب‌پذیری با ارائه جداول ارزشگذاری با استناد به نظر جامعه خبرگان، در

جدول ۱۵- مؤلفه‌های معیار امکان کشف و شناسایی

Table 15. Components of detection probability index

Row	Detectability and identifiability	Score
1	Office and command buildings	5
2	Dam	9
3	Water treatment plants	8
4	Reservoirs and pumping stations	6
5	Water transmission lines and distribution networks	2
6	Telecommunication systems and information networks	2
7	Wells	1
8	Hydroelectric power plants and generators	4

جدول ۱۶- امتیازدهی و کمی سازی

Table 16. Scoring and Quantification

Range	Value	Mark
1-6	1	A
7-13	3	B
14-20	6	C
21-27	8	D
28-34	9	E
35-40	10	F

جدول ۱۷- ارزیابی آسیب‌پذیری

Table 17. Vulnerability assessment

Vulnerability / Assets	Final score	Variation range	Weighted mean
Office and command buildings	20	C	6
Dam	33	E	9
Water treatment plants	28	E	9
Reservoirs and pumping stations	24	D	8
Water transmission lines and distribution networks	11	B	3
Telecommunication systems and information networks	12	B	3
Wells	9	B	3
Hydroelectric power plants and generators	17	C	6

نهایت برای ارزیابی ریسک دارایی‌های سامانه آبرسانی که هدف اصلی این پژوهش بود، پرسشنامه جامع در اختیار جامعه ۲۶ نفره نخبگان قرار گرفت.

در پرسشنامه برای هر یک از دارایی‌ها، کلیه تهدیدات در نظر گرفته شد. امتیازدهی در جدول ۱۸ بر اساس میانگین امتیاز داده شده توسط جامعه خبرگان انجام شد. ستون آخر این جدول محاسبه میزان ریسک دارایی‌ها در برابر تهدیدات است. این ستون حاصلضرب سه ستون ارزش دارایی، درجه تهدید و آسیب‌پذیری می‌باشد. در نهایت با در نظر گرفتن دسته‌بندی ریسک در

www.SID.ir

جدول ۱۸- ارزیابی ریسک کلیه دارایی‌های سامانه آبرسانی شهری

Table 18. Assessment of the risks associated with all the assets of the urban water supply

Assets	Threats	Vulnerability assessment	Threat assessment	Asset assessment	Risk assessment	Risk level
Office and command buildings	Air riads and missile attacks	7	6	7	294	Medium Risk
	Sabotage and bombings	3	3	4	36	Low risk
	Cyber attacks	6	7	8	336	High risk
	Terrorist (water pollution) attacks	1	1	2	2	Low risk
Dams	Air riads and missile attacks	8	8	9	576	High risk
	Sabotage and bombings	3	4	6	72	Low risk
	Cyber attacks	4	3	4	48	Low risk
	Terrorist (water pollution) attacks	9	9	9	729	High risk
Water treatment plants	Air riads and missile attacks	7	7	8	392	High risk
	Sabotage and bombings	6	5	6	180	Medium Risk
	Cyber attacks	6	5	6	180	Medium Risk
	Terrorist (water pollution) attacks	6	5	7	210	Medium Risk
Reservoirs and pumping stations	Military attacks	6	5	6	180	Medium Risk
	Sabotage and bombings	4	4	6	96	Low risk
	Cyber attacks	2	1	2	4	Low risk
	Terrorist (water pollution) attacks	9	9	9	729	High risk
Water transmission lines and distribution networks	Air riads and missile attacks	2	3	4	24	Low risk
	Sabotage and bombings	3	3	4	36	Low risk
	Cyber attacks	1	1	2	2	Low risk
	Terrorist (water pollution) attacks	6	6	8	288	Medium Risk
Telecommunication systems and information networks	Air riads and missile attacks	3	3	4	36	Low risk
	Sabotage and bombings	3	2	3	18	Low risk
	Cyber attacks	5	6	7	210	Medium Risk
	Terrorist (water pollution) attacks	1	1	2	2	Low risk
Wells	Air riads and missile attacks	1	1	2	2	Low risk
	Sabotage and bombings	3	2	3	18	Low risk
	Cyber attacks	1	1	2	2	Low risk
	Terrorist (water pollution) attacks	7	7	8	392	High risk
Hydroelectric power plants and generators	Air riads and missile attacks	6	6	7	252	Medium Risk
	Sabotage and bombings	5	5	6	150	Low risk
	Cyber attacks	4	5	7	140	Low risk
	Terrorist (water pollution) attacks	1	1	2	2	Low risk

www.SID.ir

جدول ۱۹- محدوده ریسک

Table 19. Risk Range

	Low risk	Medium Risk	High risk
Sum of risk factors	1-150	151-300	301≥

جدول ۱۹ که در آن بر اساس ارزش، اعداد به سه دسته ریسک بالا، ریسک متوسط و ریسک کم تقسیم می‌شوند، میزان ریسک هر دارایی در برابر هر تهدید مشخص شد.

پس از بررسی نتایج به‌دست آمده در جدول ۱۸، نشان می‌دهد که بالاترین عدد ریسک برای دارایی‌های موجود در سیستم آب شرب مربوط به سدها، مخازن، تصفیه‌خانه‌ها و چاه‌ها می‌باشد که باید مورد توجه قرار بگیرند و قبل از وقوع بحران با استفاده از راهکارهایی این میزان آسیب پذیری را کاهش داد. همچنین از دیگر نتایج این پژوهش، مشخص شدن تهدیداتی است که احتمال وقوع آن در سامانه زیاد است. طبق جدول ۱۸ حملات تروریستی (آلودگی آب) به‌عنوان مهم‌ترین تهدید برای این سامانه مشخص شده است. تهدید حملات موشکی و سپس حملات سایبری به‌عنوان اولویت‌های بعدی ارزیابی شده‌اند.

۴- نتیجه‌گیری

بر طبق شواهد و مدارک مستند مهندسی ساختار فعلی برخی از تأسیسات حاکی از آسیب‌پذیر بودن آنها در مقابل انواع تهدیدات پیش‌رو می‌باشند. بنابراین وقوع یک تهدید جدی و مخرب می‌تواند آثار و پیامدهای جانی، مالی و عمرانی گسترده‌ای به دنبال داشته باشد. همانطور که مشخص شد بالاترین عدد ریسک برای دارایی‌های موجود در سیستم آب شرب مربوط به سدها، مخازن بهمراه ایستگاه پمپاژ، تصفیه‌خانه‌ها و چاه‌ها می‌باشد که باید مورد توجه قرار بگیرند و قبل از وقوع بحران با استفاده از راهکارهایی این میزان آسیب‌پذیری را کاهش داد. برخی تأسیسات و امکانات و تجهیزات مربوطه و همچنین تمرکز و وجود برخی نظامات سیاسی، از جنبه‌های سیاسی و اجتماعی نیز آسیب‌پذیرند. بنابراین مهم‌ترین شاخص‌های مطالعاتی حوزه پیامدهای ناشی از تهدیدات در این پژوهش مورد مطالعه قرار گرفتند. از دیگر نتایج این تحقیق، ارزیابی تهدیدات پایه بوده که حملات تروریستی (آلودگی آب) به‌عنوان مهم‌ترین تهدید برای این سامانه مشخص شده است. تهدید حملات موشکی و سپس حملات سایبری به‌عنوان اولویت‌های بعدی تهدیدات پایه ارزیابی شده‌اند.

References

ASME. RAMCAP., 2006, "Risk analysis and management for critical asset protection-version 2.0", Innovative Technologies Institute, LLC, Washington DC.

Assistance Infromation, 2012, *Thypes of threats and how to evaluate them*, 1st Ed., Passive Defense Organization, Iran. (In Persian)

Aven, T., 2011, "On some recent definitions and analysis frameworks for risk, vulnerability and resilience", *Journal of Risk Analysis*, 31, 515-522.

Brashear, J., Olstein, M., Binning, D. & Stenzler, J., 2007, *Risk analysis and management for critical asset protection for the water and wastewater sector*, 2nd Ed., WEF., USA.

Cameron, C., 2002, "Feds arrest Al Qaeda suspects with plans to poison water", Fox News,

<http://www. foxnews.com/story/0,2933,59055,00.html//> (July 2002)

Faiez, R. & Vogt, H., 2012, "Taliban poisoned school girls, say Afghanistan officials", Associated Press, <http://www.deseretnews.com> (June 2012)

Federal Emergency Management America (FEMA)., 2003, *Primer for design of commercial buildings to mitigate terrorist attacks, Risk Management Series*, USA.

Hoffman, B., 2011, "Poison put in tanks", Sunshine Coast News, <http://www.sunshine coastdaily.com au> (Sep. 2011)

Archive of SID
www.SID.ir

Lee, M., McBean, E., Ghazali, M., Schuster, C. & Huang, J., 2009, "Fuzzy-logic modeling of risk assessment for a small drinking-water supply system", *Journal of Water Resources Planning and Management*, 135(6), 547-552.

Nurollahi, H., Barzegar, A., Abadian, F. E., Soleimani, A. & Alikhani, A., 2015, "Developing a new model for risk assessment, combining critical infrastructure studies and spatial planning criteria", *Journal of Emergency Management*, 48, (7), 47-56.

Roozbahani, A., 2015, "Stochastic risk analysis of urban water systems by aggregation of fault tree and Monte Carlo simulation", *6th International Conference on Integrated Natural Disaster Management*, Mashhad. (In Persian)

Roozbahani, A., Zahraie, B. & Tabesh, M., 2013, "Water quantity and quality risk assessment of urban water supply systems with consideration of uncertainties", *Journal of Water and Wastewater*,Vol. 24, No. 4 (88), 2-14. (In Persian)

Rossi E. C., 2015, "Criticality and risk assessment for pipe rehabilitation in the city of Santa Barbara sewer system", A Thesis presented to the Faculty of California Polytechnic State University, San Luis Obispo In Partial.

Sadiq, R., Kleiner, Y. & Rajani, B., 2004, "Aggregative risk analysis for water quality failure in distribution networks", *Journal of Water Supply Research and Technology*, 53(4), 241-261.

Silva, D., 2011, *Al Qaeda suspect plotted to poison water*, Spanish Judge,
<http://tribune.com.pk/story/235970/al-qaeda-suspect-plotted-to-posion-water-spanish-judge> (Jun. 2015).

Tchorzewska, B., 2011, "Fuzzy failure risk analysis in drinking water technical system", *RT & A*, 1(20), 138-148

Torres, J., Brumbelow, K. & Guikema, S., 2009, "Risk classification and uncertainty propagation for virtual water distribution systems", *Journal of Reliability Engineering and System Safety*, 94, 1259-1273.

Vairavamoorthy, K., Yan, J., Gagale, H., M. & Gorantiwar, S.D., 2007, "IRA-WDS: A GIS-based risk analysis tool for water distribution systems", *Journal of Environmental Modeling and Software*, 22, 951-965.

Archive of SID

www.SID.ir