نشریه‌ی علمی-پژوهشی شهر ایمن
JOURNAL OF RESILIENT CITY
(JRC)

بررسی تهدیدات و میزان آسیب‌پذیری سامانه آب‌رسانی شهری با رویکرد پدافند غیرعامل

محمد جنیدی[1*]؛امیدرضا میکائیلی[2]؛ محمدرضا کاویانپور[3]
۱- کارشناس ارشد مهندسی عمران- زلزله؛ دانشگاه کردستان
۲- کارشناس ارشد مهندسی عمران- مدیریت منابع آب؛ دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
۳- دانشیار مهندسی عمران- مهندسی آب؛ دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دریافت دست‌نوشته: ۱۳۹۵/۰۷/۱۷؛ پذیرش دست‌نوشته: ۱۳۹۶/۰۲/۳۰

واژگان کلیدی
سامانه آب‌رسانی شهری
تهدیدات
آسیب‌پذیری
پدافند غیرعامل
AHP

چکیده

در دهه‌های اخیر تجربیات حاصل از جنگ‌های نوین نشانگر آن بوده که ارتش‌های متجاوز به منظور کاهش هزینه‌ها و افزایش خسارات وارده به کشورهای مورد تهاجم، بخش‌هایی را مورد هدف حملات خود قرار داده‌اند که برای آن کشور به عنوان منابع حیاتی بوده است. سامانه آب‌رسانی شهری به دلیل اهمیت بالای آن، به‌عنوان یکی از شریان‌های حیاتی محسوب شده و می‌بایست تمهیدات پدافند غیرعامل در این سامانه صورت گیرد و تهدیدات این سامانه ارزیابی شوند. در این تحقیق سعی شده تا با پژوهشی بر این سامانه و در نظر گرفتن شاخص‌های تحلیل تهدید شامل شدت اثرگذاری، احتمال موفقیت، احتمال وقوع و همچنین شاخص‌های آسیب‌پذیری شامل آسیب‌های ثانویه، ضعف جزء، بازسازی، دسترسی، شناسایی و اثرات هم‌افزا، ابتدا این شاخص‌ها با روش سلسله مراتبی *AHP* وزن‌دهی شده و سپس به اولویت‌بندی تهدیدات پرداخته شود. در میان شاخص‌های تهدید، شدت اثرگذاری با وزن ۰/۳۸۳، احتمال موفقیت با وزن ۰/۳۳۳ و در نهایت احتمال وقوع با وزن ۰/۲۸۳ وزن‌دهی شدند. در میان شاخص‌های آسیب‌پذیری، سه شاخص قابلیت دسترسی با وزن ۰/۱۸۴، اثرات هم‌افزا با وزن ۰/۱۷۰ و قابلیت بازسازی با وزن ۰/۱۶۹ سه اولویت اول می‌باشند. در نهایت سه تهدید مبنا براساس کلیه شاخص‌ها، تهدید تروریستی با وزن ۰/۲۵۴، خرابکاری با وزن ۰/۱۹۱ و تهدید اشکالات طراحی و اجرا با وزن ۰/۱۴۸ در رتبه سوم قرار گرفته شدند.

۱- مقدمه

امروزه سامانه آب‌رسانی شهری به‌عنوان یکی از سازه‌های زیربنایی در جوامع بشری مورد استفاده قرار می‌گیرد. به دلیل اهمیت ویژه‌ای که این سامانه مهندسی در تامین مهم‌ترین نیاز جوامع شهری داشته، از این سامانه به‌عنوان شریان حیاتی جوامع یاد شده و هرگونه آسیب به سامانه آب‌رسانی باعث به وجود آمدن خسارات سنگین اقتصادی و اجتماعی می‌شود.

با توجه به اهمیت تاسیسات سامانه آب‌رسانی شهری، گاهی در عملیات تخریبی و خرابکاری، این تاسیسات به‌عنوان مراکز استراتژیک مورد هدف قرار گرفته که ممکن است منجر به آسیب جدی به جامعه و گاهی ایجاد بحران‌های امنیتی شود. این سامانه از نقطه آغاز تا محل مصرف، در معرض تهدیدات طبیعی و غیرطبیعی قرار خواهد گرفت. حوادث طبیعی از قبیل سیل، طوفان و از همه مهم‌تر عبور سامانه آب‌رسانی شهری از خط گسل زلزله که می‌تواند آسیب جدی به آن وارد کند.

یکی از خطرات غیرطبیعی که سامانه آب‌رسانی شهری را مورد تهدید قرار خواهد داد، انفجارهایی می‌باشند که ممکن است در اثر انواع تهدیدات در نزدیکی آن اتفاق افتد. این انفجارها هم می‌تواند منشا غیرعمدی در اثر فعل و انفعالات

داخلی بوده و هم در اثر عوامل بیرونی عمدی انسان‌ساز باشد. انفجار عمدی انسان‌ساز که در سطح زمین انجام می‌شود، می‌تواند با ارتعاشی که در پهنه وسیعی از محیط خاک ایجاد می‌کند، خرابی‌های زیادی را به وجود آورد؛ لذا پیش‌بینی بارهای ضربه‌ای دینامیکی و بررسی پاسخ رفتاری سازه‌ها از اهمیت زیادی برخوردار است. از آنجا که ایران از نظر موقعیت سیاسی در شرایط خاصی در منطقه قرار داشته و از طرفی آسیب به این سامانه و قطع خدمات آن که منجر به عدم تامین آب شرب به جامعه خواهد شد که این موضوع خود موجب ایجاد نارضایتی مردم بر علیه حکومت می‌شود، به همین دلیل محافظت از این سامانه اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و لازم است تا مطالعات پدافند غیرعامل در این حوزه انجام شده و با بکارگیری تمهیدات آن، موجب افزایش ایمنی آن شود. بکارگیری تمهیدات پدافند غیرعامل به منظور کاهش آسیب‌پذیری زیرساخت‌ها، ارتقاء پایداری ملی، حفاظت از مردم و منابع ملی کشور و تضمین تداوم خدمات به آنان در راستای تکمیل چرخه دفاع غیرنظامی، خواهد بود. از جمله حوادث عمدی (انسان‌ساز) در این سامانه که در گذشته موجب آسیب‌دیدگی شده بود، دستگیری دو نفر از اعضای القاعده در سال ۲۰۰۲ در دنور که اسنادی از چگونگی مسمومیت منابع آب ایالت متحده آمریکا را در اختیار داشتند (*Cameron, 2002*)، آلودگی به عمد مخزن آب با علف هرز آلوده در سال ۲۰۰۶ در انگلستان (*Water Spiked With Weed Killer, 2014*)، کشف یک طرح جهت مسموم کردن منابع آبی در سال ۲۰۱۱ (*Silva, 2011*)، در سال ۲۰۱۲ دو مخزن بزرگ ۵۰۰۰ لیتری آب عمدا مسموم شد (*Bill, 2011*)، و در سال ۲۰۱۲ ۱۰۰ کودک به علت مسمومیت آب آشامیدنی مدرسه بیمار شدند (*Faiez et al, 2012*).

از آنجا که در صورت آسیب به این شبکه بوسیله حملات عمدی و با برنامه‌ریزی، موجب بحران‌های شدید می‌شود، محافظت از این زیرساخت اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و لازم است تا مطالعات پدافند غیرعامل، که در مورد تهدیدات انسان‌ساز بوده، در این حوزه انجام شده و با بکارگیری تمهیدات آن، موجب افزایش ایمنی آن شود. بکارگیری تمهیدات پدافند غیرعامل به منظور کاهش آسیب‌پذیری زیرساخت‌ها، ارتقاء 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 شده کلیه تهدیدات انسان‌ساز مورد نظر در حوزه سامانه آب‌رسانی شناسایی شده و هدف ارزیابی ریسک تمامی دارایی‌های این سامانه از منظر پدافند غیرعامل می‌باشد. با توجه به در نظر گرفتن تهدیدات که از نظر خبرگان تخصصی حوزه مهندسی آب و همچنین پدافند غیرعامل به‌عنوان تهدیدات مبنا انتخاب و مورد ارزیابی قرار گرفته شده است. با توجه به شاخص‌هایی که با مطالعات کتابخانه‌ای و مصاحبه از طریق پرسشنامه با صاحب نظران این امر بدست آمده به ارزیابی این تهدیدات و میزان آسیب‌پذیری آن بر این سامانه پرداخته می‌شود و در نهایت ارزیابی ریسک صورت می‌گیرد. در راستای بررسی سامانه آب‌رسانی، پژوهش‌های بسیار زیادی صورت گرفته شده که این خود دلیلی بر اهمیت چنین زیرساختی می‌باشد. در زمینه ارزیابی و تحلیل ریسک در سال‌های اخیر تحقیقات مشابهی برای بخش‌های مختلف سامانه‌های تأمین و توزیع آب شهری به صورت 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 به صورت 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 (*Sadiq et al, 2004*). وایراوامورتی و همکاران در سال ۲۰۰۷ یک ابزار تحلیل ریسک در سیستم‌های آب‌رسانی ارائه داده‌اند (*Vairavamoorthy, 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*). چورزوسکا در سال ۲۰۱۱ روشی را برای تحلیل ریسک سامانه‌های آب‌رسانی بر مبنای ساخت قوانین فازی بر مبنای ارتباط احتمال، شدت و آسیب‌پذیری ارائه داده‌اند و کاربرد آن را در سامانه‌ای در کشور لهستان به کار گرفته‌اند (*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 خطرپذیری(ریسک) بر اساس تلفیق رویکردهای عملکردی و آمایشی در زیرساخت‌های حیاتی ارائه داده‌اند. در این تحقیق سامانه آب‌رسانی شهری به‌عنوان یکی از زیرساخت-های حیاتی مورد ارزیابی قرار گرفته شده است (*Nurollahi et al, 2015*). روسی در سال ۲۰۱۵، خطوط انتقال را مورد ارزیابی ریسک قرار داده‌اند. البته در این ارزیابی ریسک تنها شاخص‌های فنی خطوط لوله به منظور اولویت‌بندی، مورد بررسی قرار داده شد (*Rossi, 2015*).

در کلیه این پژوهش‌ها تحلیل ریسک سامانه آب‌رسانی در برابر خطرات محتمل بررسی شده و نکته‌ی مهمی که در این ارزیابی‌ها مورد توجه قرار داده نشده است، شاخص‌های ارزیابی تهدیدات و آسیب‌پذیری می‌باشد. این شاخص‌ها به منظور ارزیابی ریسک واقعی‌تر در این سامانه بسیار مهم و ضروری است. نکته‌ای که در زمینه بکارگیری این شاخص‌ها می‌بایست در نظر گرفته شود، وزن‌دهی هر یک از این شاخص‌ها نسبت به هم بوده که در هیچ پژوهشی به آن اشاره نشده است.

از جمله مهم‌ترین و اصلی‌ترین نوآوری صورت گرفته در این پژوهش، علاوه بر بکارگیری شاخص‌های موثر و تاثیرگذار در ارزیابی تهدیدات و ارزیابی آسیب‌پذیری که مختص سامانه آب‌رسانی بوده، وزن دهی هر یک از این شاخص‌ها نسبت به هم با استفاده از روش سلسله مراتبی *AHP* می-باشد. بدین صورت ارزیابی ریسک انجام شده با توجه به شاخص‌های وزن دهی شده در این سامانه، ارزیابی درستی خواهد بود که البته در هیچ یک از تحقیقات صورت نگرفته است. اشاره‌ای به وزن دهی این شاخص‌ها نشده است. از دیگر مواردی که در این تحقیق به آن بصورت خاص پرداخته شده و در تحقیقات پیشین مورد بررسی قرار نگرفته، بررسی کلیه تهدیدات عمدی و غیرعمدی 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 تهدیدات متصور با توجه به شاخص‌های معرفی شده برای سامانه آب‌رسانی شهری، بررسی و مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

۲- روش‌شناسی تحقیق

در این تحقیق برای ارزیابی سامانه آب‌رسانی شهری در زمان بروز تهدیدات و یا حتی جنگ، ابتدا تهدیدات متصور با مصاحبه با افراد خبره و متخصصین حوزه منابع انرژی و پدافند غیرعامل که در جدول (۱) تعداد و حوزه تخصصی آن‌ها مشخص شده است، شناسایی و شاخص‌های ضروری و تاثیرگذار در میزان آسیب‌پذیری سامانه آب‌رسانی شهری مورد بررسی قرار گرفته شد.

در ادامه به منظور کسب نظر سنجی از خبرگان، پرسشنامه‌ای جهت وزن دهی به شاخص‌های موثر در معرض دید ۳۰ فرد خبره قرار گرفت و از طریق بکارگیری روش تصمیم‌گیری گروهی بر اساس الگوی مقایسات زوجی درجه ضرورت وجودی هر یک از شاخص‌ها و همچنین روش‌ها در قالب یک مقیاس نه تایی لیکرت (معادل یک تا نه) بدست آمده است و در نهایت اولویت‌ها و وزن نهایی شاخص‌ها تعیین گردید. برای بررسی اعتبار پرسشنامه‌ها نیز از تست آلفای کرون باخ استفاده شده است.

آلفای کرون باخ نتایج پرسشنامه‌های پر شده توسط جامعه خبرگان این تحقیق برابر ۹۳/۷۵ درصد می‌باشد که از ۷۵ درصد بالاتر بوده و قابل قبول است. همچنین جهت صحت سنجی ماتریس‌های زوجی در هر پرسشنامه سازگاری آن‌ها محاسبه گردید و ماتریس‌هایی که دارای سازگاری بیشتر از یک دهم بوده، حذف شده و تنها از ماتریس‌هایی در این پژوهش استفاده می‌شود که دارای سازگاری کمتر از یک دهم باشند.

جدول ۱- آمار جامعه خبرگان

تخصص	سطح تحصیلات	تعداد افراد
متخصصین حوزه منابع انرژی	دکتری	۸
	کارشناسی ارشد	۷
پدافند غیرعامل	کارشناسی ارشد	۱۵

۲-۱- روش AHP

روش سلسله مراتبی *AHP* اولین بار توسط ساعتی (*Saaty, 1980*) ارائه گردید و این روش شامل سه کارکرد اصلی ساختاردهی به پیچیدگی، سنجش بر مبنای مقیاس نسبی و ترکیب است. کاربرد اصلی این روش در محاسبه‌ی اهمیت نسبی مجموعه‌ای از گزینه‌ها در یک تصمیم‌گیری چند معیاره است. با بهره‌گیری از این تکنیک می‌توان معیارها و شاخص‌های کیفی را به صورت معیارهایی کمی

ارائه نمود (*Badri, 2001*). تکنیک *AHP* از سه بخش اصلی ساختار مدل، داوری تطبیقی از گزینه‌ها و معیارها و در نهایت ترکیب اولویت‌ها تشکیل شده است (*Fouladgar et al, 2011*). پژوهش‌های مهمی و زیادی اخیراً با این تکنیک انجام شده که از جمله آن می‌توان به نخعی و همکاران (*Nakhaei et al, 2015*) در سال ۲۰۱۵ اشاره کرد که به منظور ارزیابی و انتخاب بهترین فضای شهری جهت تبدیل به فضای امن زیرزمینی عمومی در شرایط بحران از روش *AHP* استفاده کردند.

بیطرفان و همکاران (*Bitarafan et al, 2013 &* *Bitarafan et al, 2013*) همچنین در سال ۲۰۱۳ به منظور انتخاب ترکیب بهینه از فرم‌های معماری از دیدگاه پدافند غیرعامل و برای ارزیابی نقش فضای معماری در ساختمان‌های مقاوم در برابر انفجار نیز همین روش را بکار بردند. از دیگر تحقیقات صورت گرفته با این روش می‌توان به فولادگر و همکاران (*Fouladgar et al, 2011*) در سال ۲۰۱۱، سیویلویکیس (*Sivilevicius, 2011 &* *Sivilevicius, 2011*) در سال ۲۰۱۱، مدینکین و همکاران (*Medineckiene et al, 2010*) سال ۲۰۱۰ و همچنین پودوزکو و همکاران (*Podvezko et al, 2010*) سال ۲۰۱۰ و همچنین در سال ۲۰۰۴ دی (*Dey, 2004*) که این روش را برای خطوط لوله نفت در هند بکار برد، اشاره کرد.

اولین مرحله در فرایند تحلیل سلسله مراتبی، تجزیه مسأله به ساختار سلسله مراتبی شامل هدف، معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها است. این عوامل تصمیم‌گیری یک سلسله مراتب ساختار ایجاد می‌کنند شامل هدف در بالاترین نقطه، معیارها در وسط و گزینه‌ها در پایین‌ترین نقطه این سلسله مراتب قرار دارد. پس از آن در مرحله دوم با استفاده از ساختار ایجاد شده، مقایسات زوجی بین عناصر توسط تصمیم‌گیرندگان انجام می‌شود. ساعتی (*Saaty,* ۱۹۸۰) برای امتیازدهی قضاوتی بین دو عنصر مقیاس ۱ تا ۹ را بر اساس (جدول ۲) پیشنهاد می‌کند.

در این مرحله تصمیم‌گیرندگان در هر بار قضاوت دو عنصر را نسبت به عنصر سطح بالاترشان مقایسه کرده و امتیازی را بر اساس جدول (۲) برای میزان برتری گزینه‌ی اول بر دوم ارائه می‌کنند.

در سومین بخش فرایند تشکیل ماتریس‌های توافقی بر اساس داده‌های جمع‌آوری شده در مرحله‌ی قبل به عنوان مقدمه‌ی محاسبه اوزان در این مرحله انجام می‌شود.

لازم به ذکر است که برای محاسبه وزن‌های نسبی، ابتدا عناصر به صورت زوجی با هم مقایسه شده و ماتریس مقایسه زوجی(برای عناصر هر سطح) تشکیل می‌گردد. سپس با استفاده از این ماتریس، وزن نسبی محاسبه خواهد شد. بطورکلی یک ماتریس مقایسه زوجی بصورت معادله ۱ نشان داده می شود، که در آن aij میزان ترجیح عنصر i ام نسبت به عنصر j ام است. حال با مشخص بودن aij ها، می‌خواهیم وزن عناصر یعنی Wi را به دست آوریم (معادله ۱):

(۱)

$$A \quad [aij]$$

$$i, j \quad 1,2,3,\ldots, n$$

یک مسئله مهم در اینجا نرخ ناسازگاری ماتریس مقایسه زوجی است. هر ماتریس مقایسه زوجی ممکن است سازگار و یا ناسازگار باشد. در حالتی که این ماتریس سازگار باشد، محاسبه وزن Wi ها ساده بوده و از نرمالیزه کردن عناصر هر ستون به دست می‌آید. اما در حالتی که ماتریس ناسازگار باشد، محاسبه وزن ساده نبوده و برای بدست آوردن آن چهار روش عمده مورد استفاده قرار می‌گیرد که عبارتند از : روش حداقل مربعات، روش حداقل مربعات لگاریتمی، روش بردار ویژه و روش‌های تقریبی . لازم به ذکر است که حداکثر نر خ ناسازگاری قابل قبول از نظر "ساعتی " برابر ۰/۱ می‌باشد. نکته قابل ذکر این است که مقایسه زوجی گزینه‌ها با هم و تعیین ترجیحات، لزوما می‌بایست توسط "تصمیم‌گیرنده‌ای آگاه به گزینه‌ها و معیارها "صورت گیرد.

۲-۲- نرم‌افزار Expert Choice

نرم‌افزارهای پشتیبان متعددی برای *AHP* توسعه داده شده‌اند که مطرح‌ترین آن‌ها به نام نرم‌افزار *Expert Choice* توسط فورمن و ساعتی (*Forman et al, 1991*) ایجاد شده است. این نرم‌افزار دارای توانائی‌های زیادی بوده و علاوه بر امکان طراحی نمودار سلسله مراتبی، تصمیم‌گیری و طراحی سوالات، تعیین ترجیحات و اولویت‌ها، محاسبه وزن نهایی، محاسبه نرخ ناسازگاری، تحلیل حساسیت تصمیم‌گیری نسبت به تغییر در پارامترهای مساله، استنتاج حالات مختلف و نیز نمودارها و گراف‌های بسیار کاربردی از دیگر توانمندی‌های این نرم‌افزار است.

جدول (۲) : مقیاس نه تایی شدت اهمیت و توضیحات مربوطه (*Badri, 2001*)

ترجیحات	*Preference*	میزان اهمیت
کاملا مرجح یا کاملا مهم‌تر یا کاملا مطلوب تر	*Extermely*	۱
ترجیح با اهمیت یا مطلوبیت خیلی قوی	*Very Strongly*	۳
ترجیح با اهمیت یا مطلوبیت قوی	*Strongly Preferred*	۵
کمی مرجح یا کمی مهم‌تر یا کمی مطلوب‌تر	*Moderately Preferred*	۷
ترجیح با اهمیت یا مطلوبیت یکسان	*Equally Preferred*	۹
ترجیحات بین فواصل فوق	--	۲،۴،۶،۸

۳- تهدید شناسی

سامانه آب‌رسانی شهری در معرض تهدیدات متنوعی قرار دارد. این تهدیدات به سه دسته کلی زیر تقسیم می‌شوند:

تهدیدات عمدی

تهدیدات عمدی در قالب حملات تروریستی یا خرابکارانه و حملات نظامی(جنگ‌ها) قابل تعریف می‌باشند که با طرح و برنامه قبلی اجرا می‌شوند. یکی از مهم‌ترین تهدیدات متصور عمدی در سامانه آب‌رسانی شهری، تهدیدات فیزیکی بوده که با ابزار بمب‌گذاری صورت می‌گیرد.

تهدیدات طبیعی

طبیعت محمل شکل‌گیری پدیده‌هایی است که هر از چند گاهی رخ می‌دهند و می‌توانند انسان و اکوسیستم‌ها را تحت تاثیر خود قرار بدهند. مهم‌ترین بلایای طبیعی در جهان عبارتند از: زلزله، سیل، زمین لغزش و طوفان. در میان بلایای طبیعی زلزله، سیلاب دو پدیده‌ای هستند که بیشترین آسیب‌ها را ممکن است بر سامانه آب‌رسانی شهری وارد کنند.

تهدیدات عملکردی

عامل به وجود آورنده این قبیل تهدیدات عوامل انسانی بوده که با طرح و برنامه قبلی موجب آسیب رساندن به سیستم نخواهند شد و تهدیدات مرتبط با آن از خطای انسانی، نرم‌افزاری، سخت‌افزاری و سازمانی ناشی می‌شوند که انسان به طور مستقیم یا غیرمستقیم در آن‌ها نقش دارند.

تفاوت خطرات طبیعی با سایر خطرات، ناشی از مبدا شروع آن‌هاست به طوری که حوادث طبیعی وابسته به طبیعت است اما برخی از خطرات مانند خطرات تکنولوژیکی عموماً ناشی از خطای انسانی است و برخی دیگر مانند عملیات تروریستی که عمدی می‌باشند.

در جدول (۳) لیست کاملی از تهدیدات متصور برای سامانه آب‌رسانی شهری با جزئیات کامل و بصورت طبقه‌بندی ارائه شده است.

در این جدول، تمامی تهدیدات بصورت دسته‌بندی ارائه شده و از گستردگی زیادی برخوردار است. به منظور بررسی تخصصی‌تر، در جدول شماره (۴)، فهرستی از خلاصه تهدیدات مهم متصور و مبنا در این حوزه با استناد به نظر جامعه خبرگان، جمع آوری شده و به منظور ارجاع راحت‌تر به این تهدیدات، در این جدول کدگذاری شده‌اند. نکته‌ای که در مورد تهدیدات منتخب می‌بایست به آن اشاره شود، در نظر گرفتن تهدیدات ذاتی و طبیعی همچون زلزله و اشکالات طراحی و اجرا بوده که به دلیل اهمیت بالای این تهدیدات، هر دوی آن‌ها به‌طور خاص در این تحقیق مورد بررسی قرار می‌گیرند.

پس از شناخت تهدیدات می‌بایست احتمال اجرایی شدن هرکدام از آن‌ها توسط دشمن برعلیه دارائی‌های حیاتی و جذاب، ارزیابی گردد. تهدیداتی دارای احتمال وقوع بیشتری می‌باشند که بالاترین عمق خسارت اقتصادی، سیاسی، نظامی، نیروی انسانی و معیشتی را با کمترین هزینه و کمترین زمان ایجاد نمایند و مردم را با چالش‌های اساسی، روحی و روانی روبرو نماید. بر این اساس معیارهای تحلیل تهدیدات و چگونگی اعمال آن ارزیابی می‌گردند. هر چه میزان این شاخص‌ها بالاتر باشد، احتمال استفاده از این

تهدیدات بالاتر خواهد رفت. معیارهای تحلیل تهدیدات به شرح زیر می‌باشند:

احتمال وقوع

توانایی حمله(احتمال وقوع)، اولین موردی است که در تعیین ماهیت تهدید دشمن مورد توجه قرار می‌گیرد. در ارزیابی توانایی، گروه تهدید شناسی تنها به توانایی‌های آشکار و مستقیم توجه نکرده، بلکه توانایی‌هایی که نقش وسیع ولی غیر مستقیم دارند، نیز در نظر گرفته خواهند شد. همچنین باید توجه داشت، کم تحرکی دشمن، دلیلی برای کم توانی او به حساب آورده نشود. همچنین به میزان جذابیت هدف نیز در احتمال وقوع تهدیدات توجه می‌شود. در ارزیابی میزان جذابیت یک فضای فیزیکی معین برای دشمن، باید به اهداف عملیاتی دشمن و میزان ارزشی که برای هدف قائل است، توجه داشت.

شدت اثرگذاری

شدت اثرگذاری نیز به حجم صدمات، تلفات و خسارت‌هایی که از ناحیه عامل تهدید متوجه نیروی انسانی، تجهیزات، تأسیسات و زمان می‌گردد، گفته می‌شود. این شدت به تجهیزات، عناصر و عوامل تهدیدگر و حجم آثار تخریبی آن بر اهداف و سایر مراکزی که از آن تهدید متأثر می‌شوند بستگی دارد. عمق و دامنه خسارت بیانگر شدت خسارت و صدمات و تلفات و گستردگی آن می‌باشد.

جدول (۳): طبقه‌بندی تهدیدات سامانه آب‌رسانی شهری

استراتژی دشمن	نوع تهدید		روش یا شیوه تهدید	ابزار تهدید
حمله محدود	نرم	امنیتی	خرابکاری	ابزارآلات ساده
		غیر امنیتی	اغفال کارکنان ناراضی	تهدید/ تطمیع / تحریک
			تحریم	تجهیزات خاص
	نیمه سخت		گرافیت	بمب هوایی و موشک
			الکترومغناطیس	بمب هوایی، موشک و بمب چدنی
حمله گسترده	نرم	امنیتی	خرابکاری	ابزارآلات ساده
		غیر امنیتی	اغفال کارکنان ناراضی	تهدید/ تطمیع / تحریک
			تحریم	تجهیزات خاص
	نیمه سخت		گرافیت	بمب هوایی و موشک
			الکترومغناطیس	بمب هوایی، موشک و بمب چدنی
	سخت	نظامی	هوایی	موشک
				بمب
			دریایی	موشک
			زمینی	موشک
		امنیتی	بمب‌گذاری (هدف غیر انسان)	بمب
			عملیات تروریستی (هدف افراد)	حمله توسط نیروی دشمن
-	ذاتی و صنعتی		نشت و از بین رفتن آب‌بندی	
			انفجار صنعتی	
			فرسودگی	
			اشکالات طراحی و اجرا	
	طبیعی		سیل	
			رانش	
			گسلش	
			روان‌گرایی	
			زلزله	

احتمال موفقیت

احتمال موفقیت یا اختلال در عملکرد تاسیسات نیز معیاری است که به عوامل متعددی وابسته بوده و بیشتر به میزان اجرای تمهیدات و ملاحظات پدافند غیرعامل در محیط تاسیسات و تجهیزات وابسته است. از این‌رو این معیار در محیط تجهیزات و تاسیسات با توجه به نوع اجزاء مورد بررسی قرار داده شده است.

جدول (۴) : تهدیدات منتخب جامعه خبرگان

کد تهدیدات مبنا	نوع تهدید منتخب
۱	خرابکاری
۲	بمب گرافیت و الکترومغناطیس
۳	انواع حملات نظامی
۴	تروریستی(بمب‌گذاری، انواع آلاینده‌ها)
۵	اشکالات طراحی و اجرا
۶	زلزله

۴- آسیب‌پذیری

با توجه به تهدیدات تعریف شده در بخش قبل، در این قسمت به نحوه شناسایی انواع آسیب‌ها و خسارت‌های احتمالی پرداخته می‌شود. در این راستا با استفاده از تعیین معیارهای زیر برای تحلیل آسیب‌پذیری اجزای طرح اقدام شده است:

قابلیت شناسایی

منظور شناسایی جزء و میزان تفکیک‌پذیری آن با سایر اهداف و اجزا است.

قابلیت دسترسی

نحوه سهولت د ستر سی به هدف و میزان محافظت از آن را جهت دسترسی نشان می‌دهد.

ضعف بخش

میزان آسیب‌پذیری جزء در برابر تهدیدات مختلف را نشان می‌دهد.

قابلیت بازسازی

قابلیت و زمان جایگزینی تعمیر و مرمت جزء را نشان می‌دهد.

آسیب‌های ثانویه

شدت اثرات ثانویه را در صورت آسیب به جزء و متوقف شدن عملکرد آن نشان می‌دهد.

اثرات هم‌افزا

همجواری جزء با کاربری های مختلف (نفوذ مخاطرات به اطراف) و پتانسیل استفاده از جزء جهت انجام اعمال تهدیدات را نشان می‌دهد.

۵- یافته‌ها

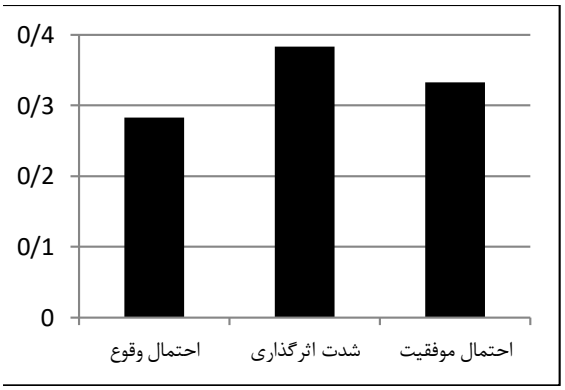
در این مرحله با استفاده از وزن‌های بدست آمده از نتایج حاصل از پرسشنامه، ماتریس داوری مقایسه‌ای جفتی شاخص‌های تحلیل تهدید و همچنین شاخص‌های آسیب-پذیری در نرم‌افزار *Expert Choice* تشکیل گردید و عملیات نمره‌دهی جهت مشخص شدن وزن شاخص‌ها با استفاده از روش *AHP* صورت گرفته و نتایج در جداول زیر آمده است.

۵-۱- وزن دهی شاخص‌های تهدید

در این بخش ماتریس داوری زوجی شاخص‌های انتخاب شده و تاثیرگذار بر تهدید، با توجه به داده‌های حاصل از جمع‌آوری پرسشنامه‌های طراحی شده مشاهده می‌گردد. با قرار دادن داده‌ها در نرم‌افزار *Expert Choice*، وزن‌دهی و اولویت‌بندی شاخص‌ها بصورت جدول (۵) و همچنین نمودار شکل(۱)، می‌باشد. در میان تمام شاخص‌های مورد بررسی شاخص شدت اثرگذاری با وزن ۰/۳۸۳ اهمیت نخست و شاخص احتمال موفقیت با وزن ۰/۳۳۳ اهمیت دوم و در نهایت شاخص احتمال وقوع با وزن ۰/۲۸۳ از اولویت آخر برخوردار می‌باشد. انحراف معیار در ماتریس ذیل به میزان ۰/۰۱ بوده که مقدار قابل قبولی خواهد بود.

جدول (۵) : ماتریس داوری زوجی شاخص‌های تحلیل تهدید

	احتمال وقوع	شدت اثرگذاری	احتمال موفقیت	وزن
احتمال وقوع	۱	۱/۳۵	۱/۱۷۸	۰/۲۸۳
شدت اثرگذاری		۱	۱/۱۵	۰/۳۸۳
احتمال موفقیت			۱	۰/۳۳۳



شکل (۱) : نمودار وزن شاخص‌های تهدیدات

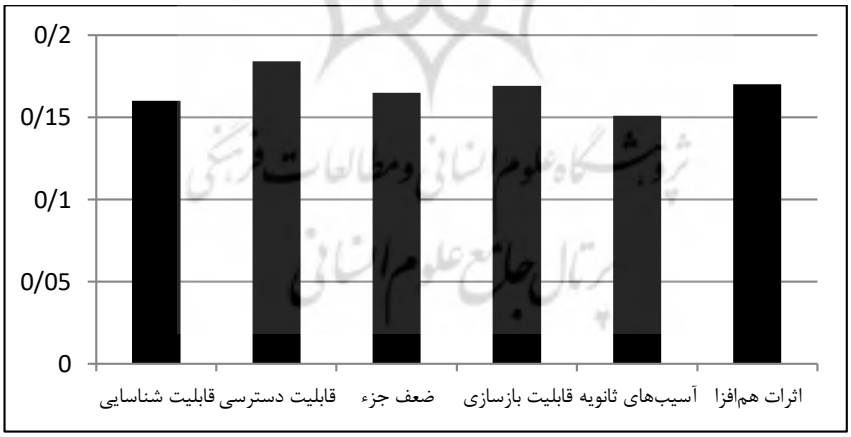
میزان اهمیت معیارها به نوعی نشـــان دهنده این موضـوع می‌باشـد که در سـامانه آبرسـانی شـهری، شدت اثرگذاری عمده‌ترین شاخص از دیدگاه پدافند غیرعامل در وقوع تهدید بوده اســـت و از مهم‌ترین عوامل می‌باشد.

۵-۲ وزن دهی شاخص‌های آسیب‌پذیری

در این بخش ماتریس داوری زوجی شاخص‌های انتخاب شده و تاثیرگذار بر آسیب‌پذیری با توجه به داده‌های حاصل از جمع‌آوری پرسشنامه‌های طراحی شده مشاهده می‌گردد. با قرار دادن داده‌ها در نرم‌افزار *Expert Choice* وزن‌دهی و اولویت‌بندی شاخص‌ها بصورت جدول (۶) و نمودار شکل (۲) می‌باشد. در میان تمام شاخص‌های مورد بررسی شاخص قابلیت دسترسی با وزن ۰/۱۸۴ اهمیت نخست، اثرات هم‌افزا با وزن ۰/۱۷۰ رتبه دوم و قابلیت بازسازی با وزن ۰/۱۶۹ در رتبه سوم این اولویت‌بندی قرار گرفته شدند. در دیگر رتبه‌ها از رتبه ۴ الی ۶، به ترتیب ضعف جزء با وزن ۰/۱۶۵، قابلیت شناسایی با وزن ۰/۱۶۰ و در نهایت شاخص آسیب‌های ثانویه با وزن ۰/۱۵۱ از اهمیت آخر می‌باشد. در این قسمت هم انحراف معیار به میزان ۰/۰۱ بوده که مقدار قابل قبولی خواهد بود.

جدول (۶) : ماتریس داوری زوجی شاخص‌های آسیب‌پذیری

	قابلیت شناسایی	قابلیت دسترسی	ضعف جزء	قابلیت بازسازی	آسیب‌های ثانویه	اثرات هم‌افزا	وزن
قابلیت شناسایی	۱	۱/۱۵۲	۱/۰۳	۱/۰۶	۱/۰۵۷	۱/۰۶۳	۰/۱۶۰
قابلیت دسترسی		۱	۱/۱۲	۱/۰۹	۱/۲۲	۱/۰۸۴	۰/۱۸۴
ضعف جزء			۱	۱/۰۳	۱/۰۹	۱/۰۳۲	۰/۱۶۵
قابلیت بازسازی				۱	۱/۱۲	۱/۰۰۳	۰/۱۶۹
آسیب‌های ثانویه					۱	۱/۱۲۳	۰/۱۵۱
اثرات هم‌افزا						۱	۰/۱۷۰



شکل (۲) : نمودار وزن شاخص‌های آسیب‌پذیری

میزان اهمیت معیارها به نوعی نشان دهنده این موضوع می‌باشد که در سامانه آبرسانی شهری، دسترسی به تاسیسات و تجهیزات عمده‌ترین دلیل جهت ایجاد خسارت به آن‌ها از دیدگاه پدافند غیرعامل بوده است.

۵-۳ اولویت‌بندی تهدیدات با معیارهای تهدید

حال با استفاده از معیارهای تهدید، به ارزیابی و اولویت‌بندی تهدیدات مبنا با استفاده از پرسشنامه‌ای که در اختیار جامعه خبرگان قرار می‌گیرد، پرداخته شده است. به جهت بررسی تهدیدات متصور سامانه آبرسانی شهری، جامعه خبرگان به هر یک از تهدیدات در مقابل شاخص‌های مربوط به تهدید، به عنوان مثال تهدید بمب‌گذاری در مقابل شاخص احتمال وقوع، امتیازی بین ۱ تا ۱۰ می‌دهند و در نهایت برای بدست آوردن مجموع امتیاز هر یک از تهدیدات، از ضرب امتیاز آن در وزن

بدست آمده از روش *AHP* مربوط به هر شاخص بدست می‌آید. در جدول (۷)، نتایج خروجی نرم‌افزار *Expert Choice* مربوط به ارزیابی تهدیدات با معیارهای تهدید نشان داده شده است.

جدول (۷) : اولویت‌بندی تهدیدات سامانه آب‌رسانی شهری با توجه به شاخص‌های تهدید

وزن نهایی	تهدیدات
۰/۲۸	تهدید کد۴(تروریستی)
۰/۱۹	تهدید کد ۱(خرابکاری)
۰/۱۶	تهدید کد ۵(اشکالات طراحی و اجرا)
۰/۱۴	تهدید کد ۶(زلزله)
۰/۱۲	تهدید کد ۲(بمب گرافیت و الکترومغناطیس)
۰/۱۱	تهدید کد ۳(انواع حملات نظامی)

در این جدول به‌راحتی می‌توان چگونگی تغییرات امتیاز تهدیدات در برابر شاخص‌های مختلف را مشاهده کرد. همان‌طور که در جدول(۷) مشاهده می‌شود، اولویت اول تهدیدات، تهدید با کد ۴ یعنی تهدید تروریستی خواهد بود. اولویت‌بندی دیگر تهدیدات به ترتیب بصورت تهدید خرابکاری، اشکالات طراحی و اجرا، زلزله، بمب گرافیت و الکترومغناطیس و در نهایت تهدید انواع حملات نظامی می‌باشد.

۴-۵ اولویت‌بندی تهدیدات با شاخص‌های آسیب‌پذیری

در این قسمت این بار با استفاده از شاخص‌های آسیب-پذیری، به ارزیابی و اولویت‌بندی تهدیدات مبنا با استفاده از پرسشنامه‌ای که در اختیار جامعه خبرگان قرار می-گیرد، پرداخته شده است. به جهت بررسی تهدیدات متصور سامانه آب‌رسانی شهری، جامعه خبرگان به هر یک از تهدیدات در مقابل شاخص‌های مربوط به آسیب-پذیری به عنوان مثال تهدید بمب‌گذاری در مقابل شاخص قابلیت دسترسی، امتیازی بین ۱ تا ۱۰ می‌دهند و در نهایت برای بدست آوردن مجموع امتیاز هر یک از تهدیدات، از ضرب امتیاز آن در وزن بدست آمده از روش *AHP* مربوط به هر شاخص بدست می‌آید. در جدول (۸)، نتایج خروجی نرم‌افزار *Expert Choice* مربوط به ارزیابی تهدیدات با معیارهای آسیب‌پذیری نشان داده شده است.

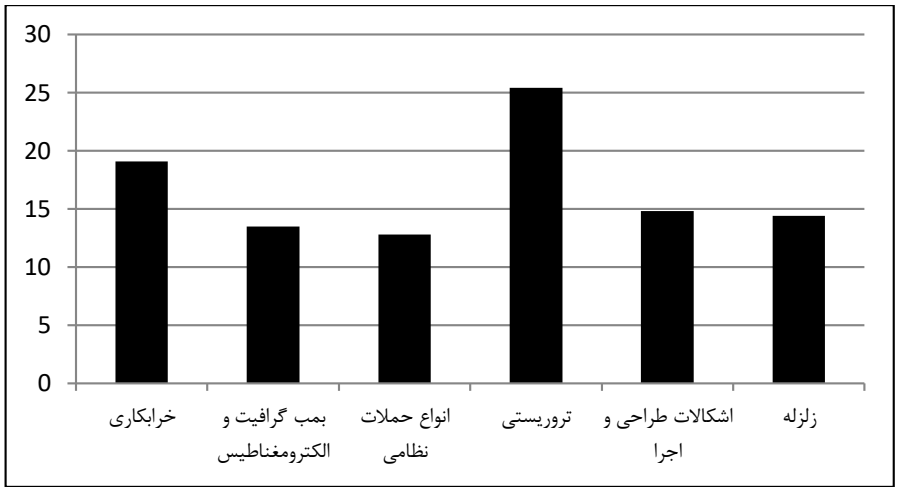
جدول (۸) : وزن دهی تهدیدات سامانه آب‌رسانی شهری با توجه به شاخص‌های آسیب‌پذیری

وزن نهایی	تهدیدات
۰/۲۳	تهدید کد۴(تروریستی)
۰/۱۸	تهدید کد ۱(خرابکاری)
۰/۱۴	تهدید کد ۵(اشکالات طراحی و اجرا)
۰/۱۵	تهدید کد ۶(زلزله)
۰/۱۶	تهدید کد ۲(بمب گرافیت و الکترومغناطیس)
۰/۱۴	تهدید کد ۳(انواع حملات نظامی)

همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود، اولویت اول تهدیدات، باز هم تهدید با کد ۴ یعنی تهدید تروریستی خواهد بود. اولویت‌بندی دیگر تهدیدات به ترتیب بصورت تهدید خرابکاری، بمب گرافیت و الکترومغناطیس، زلزله، اشکالات طراحی و اجرا و در نهایت تهدید انواع حملات نظامی می‌باشد. نکته‌ای که می‌توان در مورد دو جدول ۷ و ۸ به آن اشاره کرد، یکسان بودن اولویت سه تهدید تروریستی، خرابکاری و همچنین تهدید اشکالات طراحی و اجرا در هر دو جدول می-باشد.

۵-۵ اولویت‌بندی نهایی تهدیدات

در این قسمت هم با استفاده از تمامی شاخص‌های مورد بررسی شامل شاخص‌های آسیب‌پذیری و شاخص‌های تهدید، به ارزیابی و اولویت‌بندی تهدیدات مبنا پرداخته می‌شود. در نمودار بدست آمده در شکل (۳)، نتایج خروجی نرم‌افزار *Expert Choice* مربوط به ارزیابی نهایی تهدیدات با تمامی شاخص‌ها هم سه شاخص تهدید و هم شش شاخص آسیب-پذیری، نشان داده شده است



شکل (۳) : نمودار اولویت‌بندی نهایی تهدیدات

نمودار شکل شماره ۳ مربوط به اولویت‌بندی تهدیدات در برابر تمامی شاخص های تهدید و آسیب پذیری می‌باشد. همان‌طور که در این نمودار مشاهده می‌شود، اولو یت اول تهد یدات، تهد ید تروریستی خوا هد بود. اولویت‌بندی دیگر تهدیدات به ترتیب بصورت تهدید خرابکاری، ا شکالات طراحی و اجرا، زلزله، بمب گرافیت و الکترومغناطیس و در نهایت تهدید انواع حملات نظامی می‌باشد.

۶- نتیجه‌گیری

در این تحقیق سعی بر آن بود تا با پژوهشی بر سامانه آب‌رسانی شهری به‌عنوان شریان‌های حیاتی و در نظر گرفتن شاخص‌های تحلیل تهدید از جمله شدت اثرگذاری، احتمال موفقیت و احتمال وقوع و همچنین شاخص‌های آسیب‌پذیری شامل آسیب‌های ثانویه، ضعف جزء، قابلیت بازسازی، قابلیت دسترسی، قابلیت شناسایی و اثرات هم‌افزا که با توجه به دیدگاه صاحب‌نظران امر تعیین شده بود، ابتدا تهدیدات مبنا مشخص شده و سپس با روش سلسله مراتبی *AHP* به وزن‌دهی و اولویت‌بندی شاخص‌ها پرداخته شود. در نهایت هم به دنبال اولویت‌بندی تهدیدات مبنا بر اساس کلیه شاخص‌ها خواهیم بود. روش *AHP* به عنوان یک روش کارآمد، کم هزینه و با دقت بالا در تعیین و اولویت‌بندی در تصمیم‌گیری‌ها می‌تواند قابلیت داشته باشد. این روش به‌عنوان یک ابزار مدیریتی با حداقل زمان و هزینه می‌تواند الگوی مناسبی جهت مدیریت شرایط موجود ارائه دهد. بدیهی است داشتن اطلاعات دقیق، صحت دقت این روش را بیشتر می‌کند. معهذا به دلیل دقیق بودن متدلوژی *AHP* با داشتن اطلاعات کلی گزینه‌ها و با استفاده از پرسشنامه و از طریق نظر سنجی از خبرگان، من‌جمله شاخص‌های بیان شده می‌توان تهدیدات را شناسایی و همچنین اولویت‌بندی نمود.

در میان شاخص‌های تهدید، وزن نهایی شاخص‌های به ترتیب شدت اثرگذاری با وزن ۰/۳۸۳ اهمیت نخست و شاخص احتمال موفقیت با وزن ۰/۳۳۳ اهمیت دوم و در نهایت شاخص احتمال وقوع با وزن ۰/۲۸۳ از اولویت آخر برخوردار می‌باشد.

در میان شاخص‌های آسیب‌پذیری، وزن نهایی شاخص-های به ترتیب شاخص قابلیت دسترسی با وزن ۰/۱۸۴ اهمیت نخست، اثرات هم‌افزا با وزن ۰/۱۷۰ رتبه دوم و قابلیت بازسازی با وزن ۰/۱۶۹ در رتبه سوم این اولویت‌بندی قرار گرفته شدند. در دیگر رتبه‌ها از رتبه ۴ الی ۶، به ترتیب ضعف جزء با وزن ۰/۱۶۵، قابلیت شناسایی با وزن ۰/۱۶۰ و در نهایت شاخص آسیب‌های ثانویه با وزن ۰/۱۵۱ از اهمیت آخر می‌باشد.

در نهایت سه تهدید مهم مبنا بر اساس کلیه شاخص‌های مورد بررسی که رتبه‌های یک تا سه را بدست آوردند شامل تهدید تروریستی با وزن ۰/۲۵۴، خرابکاری با وزن ۰/۱۹۱ و در نهایت تهدید اشکالات طراحی و اجرا با وزن نهایی ۰/۱۴۸ در رتبه سوم قرار گرفته شدند. به نظر می‌رسد با توجه به تحقیق انجام گرفته در زمینه ارزیابی سامانه آب‌رسانی شهری، لازم و ضروری است که به منظور ایمن‌سازی این سامانه در برابر این تهدیدات، تمهیدات لازم اندیشیده شود و نقاط ضعف پس از بررسی‌های کارشناسانه مرتفع گردد تا از کارایی لازم در زمان بحران برخوردار گردند.

۷- مراجع

C. Cameron. Feds arrest al Qaeda suspects with plans to poison water Fox News. 2002, July 30th.

Water Spiked With Weed Killer, 2014 . http : / / www .hemeltoday.co.uk / ViewArticle2 . aspx ? SectionID =۸۴۱&ArticleI== 88888888

D. Silva. Qaeda suspect plotted to poison water. AFP. August 20th 2011.

Hoffman, Bill. Poison put in tanks, Sunshine Coast News, September 22nd. 2011.

Faiez, R. and Vogt, H. Taliban poisoned school girls, say Afghanistan officials. Associated Pres, June 6th ۲۰۱۲.

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

K, Vairavamoorthy, J. Yan, H. M. Gagale and S.D. Gorantiwar. IRA-WDS: A GIS-based risk analysis tool for aa ter ii stribtt ion systems.n a. o, . iii o,, ental Moeeligg and softaa re, 2007;22:951-965.

M. Lee, E. McBean, M. Ghazali, C. Schuster, and J.Huang,. Fuzzy-logic modeling of risk assessment for a small drinking-water supply system. J. of Water Resources Planning and Management, ۲۰۰۹k۱۳۵(۶):۵۴۷-۵۵۲.

Tchorzewska, B. Fuzzy failure risk analysis in drinking water technical system. RT&A, 2011;1(20):138-۱۴۸

Roozbahani, A., Zahraie, B. and 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, N. 4 (88); Page(s) 2 To 14.

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.

Nurollahi, H., Barzegar, A., Abadian, F. E., Soleimani, A. and Alikhani A. 2015. " Developing a New Model for Risk Assessment, Combining Critical Infrastructure Studies and Spatial Planning Criteria." Journal of Emergency Management, Vol. 48, N. 7; Page(s) 47 To 56.

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.

Saaty, L. T., The Analytic Hierarchy Process, McGraw Hill Company, New York, 1980.

Badri, M. A., "A combined AHP-GP model for quality control systems", International Journal of Production Economics, vol 72, pp 27–40, 2001.

Fouladgar, M. M., Yazdani-Chamzini, A., Zavadskas, E. K., "An integrated model for prioritizing strategies of the Iranian mining sector", Technological and Economic Development of Economy, 17(3), pp

۴۵۹-۴۸۴, ۲۰۱۱.

Nakhaei, J., Bitarafan, M. and Arefi, S. L.," Choosing the best urban tunnels as safe space in crisis using AHP method: a case study in Iran", Journal of Architecture and Urbanism, 39(2), pp 149-160, ۲۰۱۵.

Bitarafan, M., Hosini, S. B., Abazarlou, S. and Mahmoudzadeh A., "Selecting the optimal composition of architectural forms from the perspective of civil defense using AHP and IHWP methods", Journal of Architectural Engineering and Design Management, 11(2), 2013.

Bitarafan, M., Hosini, S. B., hashemi-fesharaki, S. J. and Abazarlou, S.,"Applied AHP methot for Role of architectural space in blast-resistant buildings", Journal of Frontiers of Architectural Research, Vol 2, pp 67–73, 2013.

Sivilevicius, H., "Modeling the interaction of transport system elements " Transport, vol 26, pp 20) 34, 2011.

Sivilevicius, H. "Application of expert evaluation method to determine the importance of operating asphalt mixing plant quality criteria and rank correlation", Baltic Journal of Road and Bridge Engineering, vol 6, pp. 48–58, 2011.

Medineckiene, M., Turskis, Z., Zavadskas, E. K., "Sustainable Construction Taking Into Account the Building Impact on the Environment", Journal of Environmental Engineering and Landscape Management 18(2), PP 118-127, 2010.

Podvezko, V., Mitkus, S., Trinkuniene, E., "Complex evaluation of contracts for construction", Journal of Civil Engineering and Management 16(2), PP 287–297, 2010.

Dey, P. K., "Analytic hierarchy process helps evaluate project in Indian oil pipelines industry", International Journal of Operations & Production Management, Vol. 24, pp.588 – 604, 2004.

Forman E.H. and Saaty T.L. Expert Choice Software Package for IBM PC, Pittsburgh,PA, USA, 1991. (Expert Choice Professional, Limited Edition, 1998.)

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی