

ارائه مدلی به منظور آنالیز جذابیت در زیرساخت شبکه آب

ساره رودباری: کارشناسی ارشد پدافند غیرعامل دانشگاه صنعتی مالک اشتر
محمدعلی نکوئی*: هیئت علمی دانشگاه صنعتی مالک اشتر، ali.nekooie@gmail.com
روح‌الله طاهرخانی: هیئت علمی دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) قزوین

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۵/۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۹/۲۶

چکیده

زیرساخت‌های حیاتی پایه و اساس هر جامعه‌ای را شکل می‌دهند. زندگی روزمره انسان‌ها تا حد بسیار زیادی به فعالیت این زیرساخت‌ها وابسته است و جالب‌تر اینکه تمامی زیرساخت‌ها برای ادامه عملکرد به یکدیگر نیز وابسته‌اند. مثلاً زیرساخت آب چگونه می‌تواند بدون وجود زیرساخت برق به ادامه فعالیت‌های خود بپردازد؟ در این مقاله هدف آنالیز جذابیت زیرساخت آبرسانی در منطقه ای فرضی از تهران است که به دلیل مسائل و محدودیت‌های موجود نمی‌توان نام آنرا بیان کرد. با استفاده از روش گیم تئوری این آنالیز جذابیت انجام داده شد. به منظور انجام آنالیز جذابیت دارایی‌های شبکه آبرسانی شناسایی و تهدیدات احتمالی که می‌تواند در این شبکه به وقوع بپیوندد تعیین شد. سپس با در نظر گرفته دو بازیکن شبکه آبرسانی به عنوان مدافع (بازیگر B) و متخاصم با عنوان بازیکن مهاجم (بازیگر A) آنالیز جذابیت صورت گرفت. در پایان نتیجه گرفته شد که روش گیم تئوری روشی مؤثر در آنالیز زیرساخت‌ها محسوب می‌شود و با استفاده از آن می‌توان به نتایج مطلوبی دست یافت. در این پژوهش با استفاده از آنالیز جذابیت گیم تئوری محقق شد که در شبکه آبرسانی تحت مطالعه تصفیه‌خانه آب و پس از آن مخازن و منابع آب از بیشترین جذابیت برای حمله دشمن برخوردار هستند.

کلمات کلیدی: زیرساخت، شبکه آبرسانی، آنالیز جذابیت، گیم تئوری

مقاله حاضر استخراج شده از پایان‌نامه کارشناسی ارشد با عنوان مدل بومی تحلیل آسیب‌پذیری زیرساخت‌ها با رویکرد مدل احتمالی و نظریه گراف (مطالعه موردی شبکه آبرسانی منطقه فرضی از تهران) است.

Analysis attractiveness of the infrastructure by using game theory method

Sareh Roudbari¹, Mohammadali Nekooie^{*2}, Rohollah Taherkhani³

Abstract

The vital infrastructure forms the foundation of any society. And the everyday life of humans depends to a great extent on the operation of this infrastructure, and more interestingly, the infrastructure itself is dependent on one another for continuing to operate. Consider, for example, the infrastructure of water. How can it continue to operate without electricity infrastructure? The purpose of this paper is to analyze the attractiveness of water supply infrastructure, which is based on game theory. The theory of game theory is a mathematical approach that was first introduced in the field of economics and then entered other disciplines. The water network is always targeted at all major wars and hostilities as a fundamental basis. Considering the strategies of attack and resilience for the two countries, modeling of scenarios was done using the theory of games. After calculations, it was determined that among all the components of the water supply network of the refinery is of great importance. It was also determined that the theory of game theory is an effective method in the analysis of infrastructure and can be achieved with the desired results.

Key word: Infrastructure, Water Supply Network, attractiveness Analysis, Game Theory

1. M.A of passive defense of Malek Ashtar University of Technology

2. Faculty Member of Malek Ashtar University of Technology, Email: ali.nekooie@gmail.com

3. Faculty Member of Imam Khomeini International University Qazvin

بشری محسوب می‌شود و همواره زندگی انسان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. برای تأمین آب باکیفیت نیاز است که همواره از منابع آبی و تجهیزات آن در برابر حملات انسان‌ساخت و بحران‌های طبیعی به صورت پیشگیرانه حفاظت کرد [۸]. آب منبعی است که در طول زمان و مکان با تغییرات مختلفی روبه‌رو شده و در معرض مخاطرات زیادی از جمله حملات تروریستی قرار می‌گیرد [۹]. تأسیسات آب در برابر تهدیدات دشمن سهل‌الوصول و آسیب‌پذیرند و اهداف جذابی برای عملیات خرابکارانه محسوب می‌شوند. این تأسیسات به علت دارا بودن برخی از خصوصیات از قبیل فراگیری و قابلیت دسترسی از اهمیت و جذابیت بسیار بالایی برای دشمنان برخوردارند. مراحل اصلی تولید آب و آب‌رسانی می‌تواند به ترتیب شامل منابع آب، ذخایر آب خام، ایستگاه پمپاژ، خط انتقال آب خام، تصفیه‌خانه‌های آب، مخازن آب تصفیه‌شده و شبکه‌های توزیع باشد. این اجزا دارای وسعت بسیار بالایی هستند و احتمال اینکه در برابر حملات انسان‌ساخت و عمدی مورد اصابت قرار گیرند، بسیار زیاد است [۸].

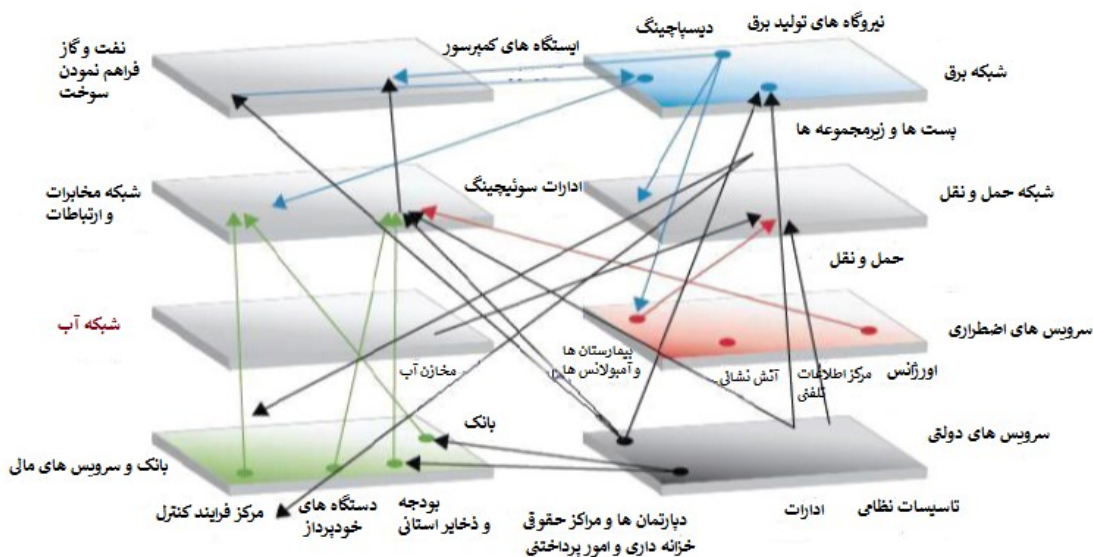
شبکه آب‌رسانی

شبکه آب‌رسانی شهرها با استقرار تصفیه‌خانه‌ها و مخازن آب در داخل شهرها صورت می‌گیرد. این تأسیسات بسیار حیاتی و حساس هستند و در مقابل حملات نظامی بسیار آسیب‌پذیرند. مخازن آب به دلیل شرایط توپوگرافی بستر شهری و یا تنظیم فشار مناسب برای جریان آب، در ارتفاعی بالاتر از سطح ساخته می‌شوند که به‌عنوان هدف به‌راحتی قابل شناسایی بوده و از جمله کانون‌های آسیب‌پذیر در بافت‌های شهری به شمار می‌آیند [۱۰]. سوابق نشان می‌دهد که حمله به زیرساخت‌های حیاتی مانند آب و برق توسط دشمن اجتناب‌ناپذیر است. در جنگ بصره قطع آب و برق باعث افزایش بیماری و کاهش تحمل شهروندان و در نتیجه تسلیم زود هنگام شهر شد. هنگام جنگ خلیج فارس در سال ۱۹۹۱ کشورهای هم‌پیمان، منابع آب بغداد را هدف قرار دادند.

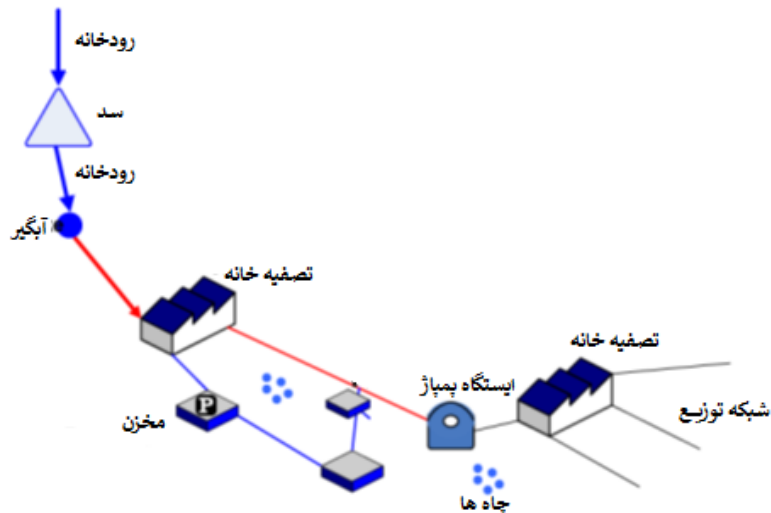
زیرساخت‌های حیاتی با ارائه کردن خدماتی که برای عملکرد جامعه ضروری هستند، ستون فقرات جامعه را تشکیل می‌دهند [۱]. این زیرساخت‌های حیاتی جریان قابل‌اعتمادی از محصولات و خدمات را تشکیل می‌دهند و عبارت‌اند از سیستم‌های برق، مخابرات، تأمین آب، عرضه گاز طبیعی، حمل‌ونقل [۲]. جامعه به عملکرد این زیرساخت‌ها وابسته است و اینها در ذات خود به یکدیگر وابسته‌اند و دارای اندرکنش هستند. نقص یکی از زیرساخت‌ها می‌تواند منجر به اختلال در دیگر زیرساخت‌ها شود و در نهایت اختلالات شدید اقتصادی و از دست دادن زندگی و یا نقص خدمات در پی دارد [۳]. هنگامی که یک زیرساخت توسط عامل خارجی یا درونی دچار اختلال می‌شود، این اختلال می‌تواند موجب شکست در مؤلفه‌های زیرساخت‌های دیگر شود. خرابی این زیرساخت‌ها می‌تواند موجب پیامدهای گسترده اقتصادی، اجتماعی و فیزیکی در کل جامعه شود [۴، ۲، ۱].

تجزیه و تحلیل شبکه‌های پیچیده رشته‌ای نسبتاً جوان است. نخستین مطالعات سیستماتیک در سال ۱۹۹۰ ظهور پیدا کرد که هدف این مطالعات شناسایی خواص شبکه‌های بزرگ بوده که به‌عنوان سیستم‌های پیچیده رفتار می‌کردند [۵]. زیرساخت‌های بحرانی با مجموعه‌ای از خطرات و تهدیدات نامتقارن مواجه‌اند 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. اندرکنش بین آنها را می‌توان از طریق ماتریس وابستگی یا لایه‌هایی که با یکدیگر ارتباط درونی دارند را می‌توان در تصویر ۱ نشان داد [۶].

اکثر زیرساخت‌های بحرانی سیستم‌های آزادی هستند که با محیط تبادلات بسیاری دارند. در هنگام تحلیل آسیب‌پذیری اندرکنش‌های بین سیستم و محیط را باید در نظر داشت [۶]. آب مهمترین عامل برای زندگی انسان و ادامه حیات جامعه



تصویر ۱: وابستگی متقابل زیرساخت‌ها [۷]



تصویر ۲: نمایی از انتقال آب از سد تا شهر [۱۲]

ایستگاه‌های پمپاژ، لوله‌های اصلی و فرعی، شیرآلات و تأسیسات جانبی است [۱۶].

جذابیت شبکه آب‌رسانی برای حملات تروریستی

از آنجا که تأمین آب با کمیت و کیفیت خاصی به منظور مصارف شهری مدنظر است، در نتیجه برای جلوگیری از عوامل تهدید از جمله حملات هوایی، زمینی، موشکی و تروریستی به تأسیسات لازم است اقدامات پیشگیرانه در نظر گرفته شود. در کشور ایران بیشتر طرح‌ها بدون در نظر گرفتن مبانی پدافند غیرعامل طراحی و اجرا شده است [۱۸]. دارایی‌های زیرساختی، اهداف بسیار نرم‌تری نسبت به تأسیسات دولتی هستند و جذابیت بیشتری برای تروریست‌ها دارند. علاوه بر این پیامدهای اقتصادی و روانی ناشی از ضربه به هریک از این بخش‌های زیرساختی مخرب‌تر و وسیع‌تر از تخریب یکی از تأسیسات نظامی است [۷].

مرور مطالعات

وانگ^۱ و همکارانش در سال ۲۰۰۳ در مقاله‌ای با عنوان تخصیص منابع آب با استفاده از رویکرد گیم تئوری بیان کردند که برای تخصیص آب از رودخانه با رویکرد گیم تئوری همکارانه بازی دو مرحله‌ای لازم است که شامل تخصیص حق استفاده اولیه از آب و بازی بازتخصیص آب است. حق استفاده از آب به صورت اولیه بر مبنای وجود سیستم‌های حقوقی آب یا توافقات است؛ در حالی که بازی بازتخصیص آب از طریق استفاده از سود خالص ذی‌نفعان فرمول‌بندی می‌شود. وی همچنین بیان کرد تخصیص آب رودخانه نباید مبنای محاسبه سود اقتصادی باشد؛ چراکه بر روی رودخانه اثرات نامناسبی دارد. وانگ بیان کرد که مبنای استفاده از این بازی باید بر اساس همکاری بین ذی‌نفعان رودخانه و ساختار بازی بر مبنای ایجاد ساختار ائتلافی باشد [۲۰].

آریل دینار^۲ در مقاله خود منابع آب را با استفاده از مدل‌های گیم تئوری بازی‌های مشارکتی مورد ارزیابی قرارداد و مبنای

برای تلافی حملات، عراق تأسیسات آب شیرین‌کن کویت را مورد هدف قرار داد. در حمله ارتش آمریکا به عراق و کوزوو شبکه‌های آب‌رسانی و مخازن آب به‌عنوان دومین حلقه راهبردی واردن هدف قرار گرفت. در حمله رژیم صهیونیستی به نوار غزه در ۲۷ دسامبر سال ۲۰۰۸ آسیب زیادی به لوله‌های آب و فاضلاب وارد شد و هشت چاه آب به‌صورت کلی و جزئی تخریب شد. این صدمات منجر به کمبود آب آشامیدنی و وخیم‌تر شدن بحران در غزه شد. علی‌رغم تجارب یادشده، تشدید تهدیدات، رشد فزاینده‌ی شهرها و همچنین احداث شهرهای جدید، متأسفانه مطالعات، تحقیقات و اقدامات مهندسی دفاع غیرعامل در حوزه‌ی تأسیسات آب‌رسانی شهری و به‌منظور کاهش آسیب‌پذیری در برابر تهدیدات، به‌اندازه کافی و متناسب با سطح تهدید صورت نگرفته است [۱۱]. تصویر ۲ نشان دهنده شبکه آب‌رسانی از منبع تا محل مصرف‌کننده را به‌صورت شماتیک نشان می‌دهد.

بر اساس نظریه پنج حلقه‌ی واردن مهمترین کار شناسایی مراکز ثقل یک کشور است، در صورتی که این مراکز توسط کشور مهاجم شناسایی و هدف قرار گیرد، کشور موردتهاجم زودتر از حالت عادی از پای درآمده و طعم شکست را تجربه خواهد کرد [۱۳]. نظریه یا مدار پنج حلقه واردن در جنگ ۴۳ روزه (۱۳۷۰) جنگ اول خلیج فارس)، مناقشه کوزوو (جنگ ۱۱ هفته‌ای سال ۱۳۷۸ ناتو علیه یوگسلاوی) و جنگ اخیر آمریکا و انگلیس علیه عراق (۱۳۸۲) دقیقاً به کار گرفته شد. در نظریه مذکور مراکز ثقل یک کشور به‌صورت دستگاهی همانند اعضای بدن قلمداد و در صورت انهدام هر یک از مراکز ثقل، سیستم، بیکره و کالبد کشور مورد تهاجم فلج می‌شود و قادر به ادامه فعالیت و حیات نخواهد بود [۱۳، ۱۴]. شبکه توزیع مجموعه‌ای به‌هم پیوسته از منابع، خطوط لوله، عناصر هیدرولیکی مانند پمپ‌ها، شیرهای تنظیم‌کننده، مخازن هوایی است که هدف آن ارائه آب با فشار مطلوب به مشترکین است [۱۵]. این بخش شامل چهار قسمت از جمله مخازن ذخیره آب،

محاسبات وی برای حداکثر سود و مطلوبیت‌ها سود اقتصادی بود. وی با مطالعه‌ای که در مزارع انجام داد، کیفیت آب (شور یا شیرین بودن آب کشاورزی)، همکاری در تعیین کیفیت آب منطقه و میزان سهمیه در میان مزرعه‌داران از جمله ابعادی بود که برای تعارضات ایجاد شده و رسیدن به حداکثر مطلوبیت در نظر گرفت و بیان کرد که این مسائل باید به صورت مشترک حل شوند [۲۱].

اردشیر احمدی در مقاله خود بیان کرد که محدودیت منابع طبیعی موجب ایجاد تعارضات در میان مصرف‌کنندگان می‌شود و از آنجایی که امکان راضی داشتن تمامی کاربران امری غیرممکن است، بنابراین هر کاربر می‌تواند منابع بیشتری را نسبت به بقیه به خود اختصاص دهد. وی همچنین بیان کرد که مسئله کمبود آب امروزه به خوبی قابل درک است و از آنجایی که جمعیت رو به افزایش است، در این باره نگرانی‌هایی بیشتر از قبل احساس می‌شود. احمدی در مقاله خود با نام کاربرد گیم تئوری در مسائل توزیع آب صنایع کشاورزی، صنعتی و مصارف خانگی را به عنوان بازیکنان گیم تئوری در نظر گرفت و به مدل‌سازی تعارضات مابین آنها با استفاده از روش‌های غیرمشارکتی گیم تئوری پرداخت. وی تعادل خالص را ابتدا با استفاده از مسئله بهینه‌سازی درجه دوم به دست آورد و تعادل خالص چانه‌زنی را از طریق حداکثرسازی تعادل به دست آورد [۲۲].

ایرن پارچینو^۲ در پژوهشی با نام مشارکت گیم تئوری و کاربرد آن در طبیعت، محیط‌زیست و موضوعات آبی بیان کرد که گیم در نظریه در مسائل مختلفی از قبیل تأمین آب شهری، آبیاری، نیروی برق آبی، آلودگی آب، تصفیه فاضلاب، آب‌های زیرزمینی، تخصیص منابع آب و حوضچه‌های بین‌المللی آب کاربرد دارد. وی در مسئله تخصیص آب نیز تمرکز خود را بر روی بازی چانه‌زنی معطوف کرده بود [۲۳].

فوستر^۴ و مک‌دونالد^۵ 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 ذخیره‌سازی، آنالیز و نمایش داده‌های فضایی آن را به ابزاری ایده‌آل برای کمک به ارزیابی‌های ریسک تبدیل کرده است. آنان با استفاده از این مقاله کاربردهای بالقوه GIS را در مدیریت و ارزیابی ریسک منابع مصرف عمومی آب نشان دادند که با استفاده از این نرم‌افزار مناطق بالقوه خطر شناسایی شد [۲۴].

میکاد^۶ و آپوستلاکیس^۷ در سال ۲۰۰۶ روشی را برای رتبه‌بندی عناصر شبکه آب‌رسانی از منظر آسیب‌پذیری ارائه دادند و بیان داشتند که برای رسیدن به هدف ارزیابی ریسک باید به سوالاتی از قبیل چه اشتباهی می‌تواند رخ دهد؟ چه پیامدهایی دارد؟ و چه میزان محتمل است؟ بتوان پاسخ داد. پیامد یا حالت‌های پایانی معمولاً با سلامت و ایمنی مردم مرتبط است، اگرچه دیگر حالت‌های پایانی مانند پیامدهای اقتصادی را نیز می‌تواند شامل شود. آنان معتقد بودند که نقطه شروع تجزیه و تحلیل، شناسایی دارایی‌های زیرساخت مورد نظر است و دریافتند که برای تحلیل جامع آسیب‌پذیری ظرفیت عناصر سیستم باید در نظر گرفته

شود. گام عمده در جهت این ارزیابی آسیب‌پذیری جامع ارزیابی کل سیستم است. آنان نشان دادند که محدود کردن غربالگری آسیب‌پذیری با رویکرد همه یا هیچ (برای مثال با استفاده از رویکرد مجموعه برشی حداقل یا منطق دودویی) منجر به برآورد کمتر آسیب‌پذیری سیستم است. یک راه ممکن برای برداشتن گام واقعی نزدیک به رفتار سیستم، ایجاد مدل هیدرولیکی شبکه و اجرای آن برای سناریوهاست [۲۵].

پینتو^۸ و بنتس^۹ در مقاله خود تحت عنوان نظریه آسیب‌پذیری لوله‌های شبکه آب در سال ۲۰۱۰ بیان کردند که مدل‌ها و ابزارهای ریاضی مدرن یکی از ابزارهای ارزشمند است که می‌تواند به ارائه‌دهندگان خدمات آب شهری و سازمان‌های دولتی در اجرای سیاست مدیریت عرضه منابع آب در مناطق شهری کمک کرده تا همزمان کیفیت عرضه آب را در نظر داشته باشند. هدف اصلی از مطالعات آسیب‌پذیری، شناسایی نقاط آسیب‌پذیر از یک سازه بر اساس تحلیل شکل ساختاری و میزان اتصال آن است. مفهوم آسیب‌پذیری در ارتباط با پیامدهای شکست علل اولیه خسارات است. یک سازه زمانی آسیب‌پذیر است که آسیب کوچکی منجر به عواقب شکست بزرگی در آن سازه شود، اقدامی که می‌تواند موجب این خسارت شود می‌تواند از هر نوع از جمله خطای انسانی و یا حتی یک اقدام خرابکارانه باشد [۲۶].

هررا^{۱۰} و گارسیا^{۱۱} در مقاله خود با عنوان استفاده از روش گراف طیفی در ارزیابی آسیب‌پذیری شبکه‌های آب‌رسانی در سال ۲۰۱۳ بیان کردند که نظریه گراف طیفی بر مبنای مجموعه‌ای از اندازه‌گیری‌های مقادیر شبکه و معیارهای طیفی است. این معیارها از طیف ماتریس مجاورت شبکه و تعیین کمیت‌های ثابت شبکه استخراج می‌شوند. در زمینه‌ی روش گراف‌های طیفی الگوریتم‌های رتبه‌بندی متفاوتی برای تصمیم‌گیری راجع به اهمیت یک عنصر در نمودار با توجه به اطلاعات کلی از ساختار گراف بیان می‌کنند. دو الگوریتم PageRank و HITS را برای رتبه‌بندی عناصر شبکه آب‌رسانی استفاده کردند. آنان شبکه آب مکزیک را برای پیاده‌سازی این روش مورد استفاده قرار دادند. این شبکه از ۴۷۹ خط و ۳۳۹ گره تشکیل یافته بود. کل طول لوله‌ها ۴۲٫۵ کیلومتر و متوسط میانگین گره‌ها ۱۵۶ متر و مقدار کل دبی جریان مصرف شده ۹۱ L/S بود. هدف از بخش‌بندی شبکه انتقال آب رسیدن به خوشه‌های مهم و رسیدن به روش الگوریتم خوشه‌بندی نیمه‌متمرکز بود. آنها طبق معیارهای پیچ رنگ و HITS شبکه آب‌رسانی را به سه خوشه مهم تقسیم‌بندی کردند و دریافتند که ناحیه ۲ (شکل ۲) حیاتی‌تر از سایر نواحی است [۲۷]. در تمامی مطالعات فوق مسئله تخصیص آب و یا تعیین آسیب‌پذیری شبکه در نتیجه رخداد‌های طبیعی صورت گرفته؛ اما وجه تمایز این پژوهش با پژوهش‌های بالا در این است که در این پژوهش هدف آنالیز جذابیت دارایی‌های شبکه آب‌رسانی از منظر دشمن و عوامل انسان ساخت بررسی خواهد شد.

مواد و روش

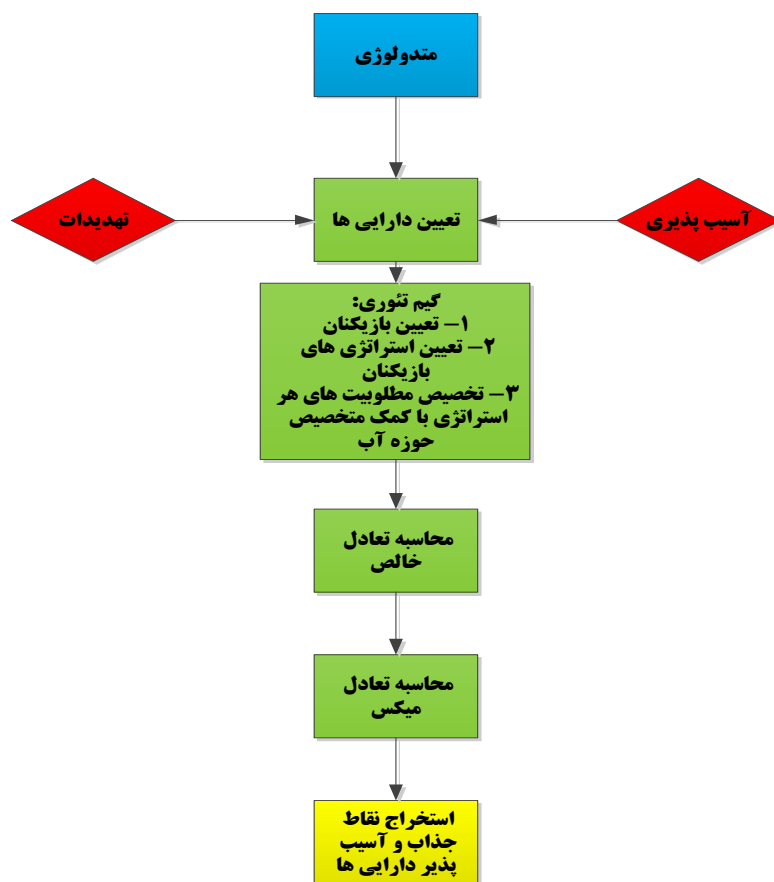
به منظور آنالیز جذابیت در این پژوهش با تعیین دارایی‌های شبکه آبرسانی، روش گیم تئوری به این منظور برگزیده شد. برای انجام روش گیم تئوری نیاز بود تا نوع بازی و هم‌چنین بازیکن‌ها و استراتژی‌های آنان تهیه شود که پس از تعیین آنها و محاسبه احتمال رخداد هر یک بتوان میزان جذابیت هر دارایی از شبکه آبرسانی برای وقوع حملات محتمل را استخراج کرد. تصویر ۳ زیر نمای کلی روش انجام تحقیق پژوهش را نشان می‌دهد و در ادامه هر یک از موارد به تفصیل توضیح داده خواهد شد.

گیم تئوری

گیم تئوری مجموعه‌ای از ابزارهاست که کمک می‌کند در موقعیت‌های راهبردی بتوان تصمیمات مناسب را اتخاذ کرد. در اینجا آنچه با نام بازی شناخته می‌شود روابط متقابل بین دو (و یا بیشتر) تصمیم‌گیرنده است که به یکدیگر وابسته باشد. به این معنی که هر آن چیزی که یک بازیکن خواهان به دست آوردن آنهاست، همانند مطلوبیت، رفاه، سود و ... نه تنها متأثر از تلاش خود فرد برای به دست آوردن آن است، بلکه تحت تأثیر تلاش‌ها و تصمیم‌های بازیکن مقابل است. ویژگی عمده‌ای که در این بازی‌ها باید مدنظر قرار داشت این است که هر بازیکن قبل از اینکه تصمیمی اتخاذ کند، باید بتواند اقدامات بازیکن مقابل را نسبت به انتخاب خودش بسنجد و تجزیه و تحلیل کند و سپس تصمیمی را

اتخاذ کند که بهترین نتیجه را برایش داشته باشد. در این بازی‌ها فرض بر این است که بازیکنان عقلایی هستند و تصمیماتی را اتخاذ می‌کنند که بیشترین عایدی را نصیبشان کند.

استراتژی نوعی مهارت ذهنی و مغزی برای خوب بازی کردن در یک بازی است. به عبارت دیگر استراتژی مهارت خوب بازی کردن و یا محاسبه‌ی به‌کارگیری مهارت‌ها به بهترین وجه ممکن است. بازی‌ها می‌توانند به صورت همکاری یا غیرهمکارانه باشد؛ به این معنی که ممکن است بازیکنان در هنگام انجام بازی پیرامون انتخاب یک استراتژی باهم توافق کنند. اگر این توافق قابل اجرا و عملی باشد، بازی را همکاری و اگر توافق بین بازیکنان قابل اجرا نباشد، آن را بازی غیرهمکارانه نامیده می‌شود. بازی که در این پژوهش قصد مدل کردن آن را داریم، بازی مدافع-مهاجم است که توافق بین دو بازیکن قابل اجرا نخواهد بود. در نتیجه از نوع بازی‌ها غیرهمکارانه است. هدف این است که یاد گرفته شود چگونه بازی کرد و خروجی بازی را پیش‌بینی کرد. بازی‌ها می‌تواند به صورت هم‌زمان یا ترتیبی انجام شوند. مثلاً بازی سنگ کاغذ چینی بازی هم‌زمان است و زمانی که بازیکن می‌خواهد اقدام را انجام بدهد، نمی‌داند که طرف مقابلش چه واکنشی نشان خواهد داد؛ اما در بازی‌های ترتیبی به این صورت است که اول یک بازیکن حرکت خود را انجام می‌دهد و سپس بازیکن دوم حرکت خود را انجام می‌دهد. یعنی به صورت هم‌زمان نیست. نکته مهم‌تر از ترتیب این است که در بازی ترتیبی وقتی بازیکن



تصویر ۳: متدولوژی انجام پژوهش

۱۰۳

شماره هجدهم
پاییز و زمستان
۱۳۹۹

دوفصلنامه
علمی و پژوهشی



جدول ۱: نمادهای اقدامات مهاجم

متخاصم		تعاریف نمادها
Action حمله زیستی جذب	ATR	حمله به منابع آب
	ATL	حمله به خطوط انتقال آب
	ATD	حمله به شبکه توزیع
	ATT	حمله به تصفیه خانه
	ATM	حمله به مخازن
Action حمله فیزیکی-تطبیق	ATR	حمله به منابع آب
	ATL	حمله به خطوط انتقال آب
	ATD	حمله به شبکه توزیع
	ATT	حمله به تصفیه خانه
	ATM	حمله به مخازن
Action حمله فیزیکی- ترمیم	ATR	حمله به منابع آب
	ATL	حمله به خطوط انتقال آب
	ATD	حمله به شبکه توزیع
	ATT	حمله به تصفیه خانه
	ATM	حمله به مخازن

بازیکنان که در آن باور هر بازیکن نسبت به انتخاب حریفان با انتخاب واقعی حریفان یکسان است و هر بازیکن با توجه به باور درست بهترین پاسخ را انتخاب می‌کند. اما استراتژی مختلط یک بازیکن باور بازیکن حریف نسبت به انتخاب او در بازی است. استراتژی مختلط نشان دهنده عدم اطمینان ذهنی یک بازیکن نسبت به انتخاب حریف است که این عدم اطمینان با احتمال نشان داده می‌شود (استراتژی مختلط برای یک بازیکن همان توزیع احتمال استراتژی خالص اوست). به صورت کلی می‌توان گفت که استراتژی مختلط یعنی اینکه به هر اقدام یک احتمالی را متصل کرد و مجموع این احتمالات باید برابر یک باشد [۱۹]. P_n بیان‌کننده احتمال هرکدام از اتفاقات است. ممکن است n اتفاق بیفتد که فرد می‌خواهد بدانند مطلوبیت دریافتی اش چیست. فقط کافی است ارزش انتظاری را حساب کرد. برای محاسبه ارزش انتظاری باید سود شکلی خاص داشته باشد. اگر بتوان اعداد u_1, \dots, u_n را منتسب کرد مطلوبیت کل از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$U(I) = u_1 p_1 + \dots + u_n p_n$$

در این مرحله ۳ بازی دو بازیکن (یکی متخاصم (بازیکن A) و دیگری مدیریت شبکه آب (بازیکن B)) به صورت هم‌زمان در نظر گرفته شده‌اند. هرکدام از این بازیکنان استراتژی و اقدامات مربوط به خود را دارند. شرح تفصیلی نمادهای بازی به صورت جدول ۱ تا جدول ۲ است.

در روش تحلیل پس از تخصیص نماد به هر اقدام باید آنها را در جداولی تنظیم کرد؛ به این صورت که اقدامات مهاجم به صورت عمودی و اقدامات مدافع به صورت افقی در جدول قرار داده شود. پس از آن به هر خانه مطلوبیت‌های مربوط به اقدام را در آن قرار داده و با جایگذاری پیامدها در هر ستون و سطر جدول، پیامدهای مربوط در احتمال آن ضرب خواهد شد و سپس با یکدیگر جمع شده، معادلات به دست آمده را دو به دو مساوی یکدیگر قرار داده

می‌خواهد انتخاب کند، می‌داند که طرف مقابلش چه چیزی را می‌خواهد انتخاب کند و اینکه انتخاب‌های بازیکن اول مجموعه انتخاب‌های بازیکن دوم را محدود خواهد کرد و برعکس. بازی موردنظر در اینجا از نوع هم‌زمان است.

بازیکنان آدم‌هایی هستند که کارهایی را باید انجام بدهند تا بتوانند مطلوبیت را کم یا زیاد کنند و هرکدام از این بازیکنان استراتژی، اقدام‌ها و همچنین مطلوبیت‌ها یا پیامد مربوط به خود را دارند که عبارت است از مقدار برد یا باخت و یا آنچه در پایانی یک بازی عاید بازیکنان می‌شود که مطلوبیت یا پیامد گفته می‌شود. وقتی در یک بازی بازیکن استراتژی و اقدام‌های خود را تعیین کرد، باید به دنبال نقطه تعادل برای بازی بود. در تعادل هر بازیکن استراتژی را به کار می‌برد که بهترین پاسخ به استراتژی‌های انتخابی سایر بازیکنان باشد. در تعادل لزوماً همه چیز برای بازیکنان بهترین نیست. به عبارت دیگر تعادل که اصطلاحاً به آن تعادل خالص نیز گفته می‌شود، در جایی حاصل می‌شود که در آنجا هیچ بازیکنی انگیزه تخطی از آن استراتژی را نداشته باشد. تعادل استراتژی خالص را به صورت ریاضی همانند معادله زیر تعریف می‌کنند:

$$U_i(a_i) \geq U_i(a_i, a_{-i}) \quad [19]$$

که در آن U_i مطلوبیت عایدی هر بازیکن و a_i^* در اینجا اقدام پروفایل تعادل خالص است. a_i اقدام هر بازیکن و a_{-i}^* اقدام بازیکن مقابل است. بازی‌ها انواع متفاوتی دارند. بازی‌ای که در این پژوهش برای انجام پروژه اتخاذ شده، استراتژی مختلط است که در ادامه به بررسی آن پرداخته می‌شود.

استراتژی مختلط

بازی‌هایی که استراتژی خالص ندارند و یا بیش از یک استراتژی خالص دارند، تعادل خالص استراتژی مختلط دارند. تعادل خالص استراتژی خالص عبارت است از ترکیب استراتژی

جدول ۲: نمادهای اقدامات مدافع

مدیریت شبکه آب		توضیح نمادها		
Action حمله زیستی - جذب	STA	استحکام	stability	استحکام سیستم اثرات سیستماتیک را از طریق قدرت ارتباطات فردی در سیستم کاهش می دهد.
	REL	قابلیت اطمینان	Reliability	معمولاً به عنوان احتمال عملکرد مؤثر سیستم در گذر زمان تعریف می شود.
	RED	افزونگی	Redundancy	اشاره به توانایی مؤلفه های خاص سیستم برای تقبل کردن عملکردهای مؤلفه های شکست خورده بدون داشتن تأثیر منفی بر عملکرد سیستم است. ظرفیت افزونگی در تناظر با موقعیتهای اضطراری شانس بیشتری را جهت آسیب ناشی از اقدام تروریستی و یا مخاطرات طبیعی تضمین می کند.
	INN	نوآوری	Innovation	اقدامات مبتکرانه ای که سیستم در خودش برای کاهش میزان آسیب وارده انجام می دهد. مثلاً افزایش ظرفیت، بهینه سازی استراتژی های بهبود از جمله ویژگی های مهم و مؤثر بر ظرفیت تطبیقی تاب آوری است.
Action حمله فیزیکی - تطبیق	SUB	جایگزینی	superseded	توانایی جایگزینی یکی از مؤلفه های سیستم با دیگری، که یکی از ویژگی های بهبود تاب آوری است که می تواند روز ظرفیت تطبیقی تأثیر داشته باشد.
	ADC	سازگاری حفاظتی	Protective compatibility	شامل همه اقداماتی است که ورود به سیستم را محدود می کند. از جمله این اقدامات دوربین های مدار بسته، فنرکشی، نگهبان ها و دستگاه های کنترل ورود هستند.
	ALT	قابلیت تغییر	alteration	استفاده از مجموعه ای از ظرفیت ها از طریق مداخله که باعث ایجاد و افزایش توانایی جامعه برای پاسخگویی به بحران می شود. به عبارت دیگر پاسخ به عوارض پدیدآمده بعد از حادثه از طریق تغییر است.
Action حمله نظامی - ترمیم	RES	مقابله و بازسازی	resistance	مقاومت جامعه در برابر حوادث و مخاطرات طبیعی و انسان ساخت، همچنین توانایی بازایی جامعه پس از بروز حادثه با استفاده از منابع داخلی خود است.
	AGS	ساختار چابک	Agile structure	چابکی به عنوان توانایی بقا در محیط کسب و کار در حال تغییر و غیرقابل پیش بینی تعریف شده است. تاب آوری مستلزم چابکی است تا به رویدادهای پیش بینی نشده سریع واکنش نشان داده و مزیتی متمایز در محیطی نامطمئن را ایجاد کند.
	TRS	آموزش و استانداردسازی	stan- & Training dardization	روندی است که در آن افراد، گروه ها، سازمان ها، مؤسسات و جوامع می توانند توانایی در خود ایجاد کنند که سبب حل مشکلات مورد نظر شده و به اهداف از پیش تعیین شده دست یابند.
	MON	پایش	monitoring	نظارت آنلاین و یا غیرآنلاین بر کل سیستم؛ بدین معنی که تمام سیستم به صورت دائم تحت نظارت و کنترل باشد.

بازی حمله زیستی - جذب

در این بازی برای بازیکن A که همان متخصص است، استراتژی حمله زیستی و اقدام های حمله به منابع آب، حمله به خطوط انتقال آب، حمله به شبکه توزیع، حمله به تصفیه خانه و در نهایت حمله به مخازن آب در نظر گرفته شده است. از جهت دیگر برای بازیکن B یعنی مدیریت شبکه آب رسانی استراتژی طراحی شده جذب است و اقدام های آن استحکام، قابلیت اطمینان، افزونگی و ابتکار است.

با وارد کردن مطلوبیت های مربوط به اقدام های هر بازیکن در یک جدول 5×4 ماتریسی حاصل می شود که هر خانه ماتریس حاوی دو عدد است. یک عدد مطلوبیت بازیکن A و عدد دیگر مربوط به بازیکن B است. پس از تهیه این جدول ابتدا تعادل خالص آن نشان داده می شود. در یک بازی تعادل خالص زمانی ایجاد می شود که هیچ بازیکنی از مطلوبیت حاصل انگیزه تخطی و انتخاب استراتژی دیگری را نداشته باشد. یعنی هر بازیکن بزرگترین مطلوبیت ممکن را به دست آورد. تعادل خالص در

تا احتمال هر اقدام به دست آید. در نهایت دو اقدام که بیشترین مقدار احتمال را از سمت مدافع و مهاجم به دست آورده اند، در نقطه تقاطع، نقطه تعادل خالص مختلط را به دست خواهد داد. از بازی آنالیز آسیب پذیری خروجی مورد انتظار استخراج نقاط آسیب پذیر شبکه است که بر اساس آن بتوان دارایی های بیشتر آسیب پذیر را استخراج کرد و آنها را برای تخصیص منابع برای کاهش آسیب اولویت بندی و رتبه بندی کرد و اما از بازی آنالیز جذابیت در نهایت نقاطی که از دید دشمن برای وقوع حمله از جذابیت بیشتری برخوردارند، شناسایی خواهد شد. در نتیجه از ترکیب این بازی ها خروجی جذابیت یعنی VA ارائه خواهد شد.

بحث و نتایج

به منظور آنالیز جذابیت دارایی های شبکه آبرسانی با استفاده از گیم تئوری سه بازی در نظر گرفته که در هر سه بازی دو بازیکن هستند که یکی متخصص است و دیگری در مدیریت شبکه آب شرکت می کند.

جدول ۳: تعادل خالص حمله زیستی-جذب

Player A		Player B				
		STA	REL	RED	INN	
Player A	ATR	۱و۱	۱و۱	۱و۱	۲و۲	P1
	ATL	۱و۳	۱و۳	۱و۲	۲و۳	P2
	ATD	۱و۳	۱و۲	۱و۲	۲و۳	P3
	ATT	۲و۲	۲و۱	۲و۱	۳و۲	P4
	ATM	۵و۲	۳و۱	۲و۱	۳و۲	P5
		q1	q2	q3	q4	

جدول ۴: تعادل مختلط بازی حمله زیستی-جذب

Player A		Player B				
		STA	REL	RED	INN	
Player A	ATR	۱و۱	۱و۱	۱و۱	۲و۲	P1
	ATL	۱و۳	۱و۳	۱و۲	۲و۳	P2
	ATD	۱و۳	۱و۲	۱و۲	۲و۳	P3
	ATT	۲و۲	۲و۱	۲و۱	۳و۲	P4
	ATM	۵و۲	۳و۱	۲و۱	۳و۲	P5
		q1	q2	q3	q4	

$$Player B = (STA = 0 / REL = RED = 0 / INN = 1)$$

با مشاهده نتایج بالا تعیین می‌شود که تعادل خالص مختلط در جایی حاصل می‌شود که بازیکن ۱ استراتژی چهارم خود یعنی حمله به تصفیه‌خانه و بازیکن ۲ استراتژی نوآوری و ابتکار را در پیش بگیرد. به این معنی است که در میان بخش‌های مختلف شبکه آب تصفیه‌خانه از جذابیت بسیار بالایی برای حملات زیستی دشمن برخوردار است (خانه آبی‌رنگ مشخص شده در جدول). توجه کنید که اعداد این ماتریس‌ها با قضاوت انسانی به دست آمده‌اند؛ به این معنی که مطلوبیت‌های تخصیص یافته به هریک از این خانه‌ها توسط کارشناسان متخصص در حوزه آب و فاضلاب تخصیص داده شده و ممکن است با خطای انسانی همراه باشد. همچنین خطای گرد کردن اعداد هنگام حل مسئله و خطای روش نیز وجود دارد. از طرفی با قرارداد استراتژی ۱ و ۰ بعضی از داده‌های مسئله حذف می‌شوند. برای رفع این مشکل استراتژی‌ها را با تأثیر کم وارد مسئله می‌کنند؛ چرا که آسیب‌پذیری صفر عملاً وجود ندارد و در تمامی محاسبات تعادل مختلط برای اینکه عدد صفر و یا آسیب‌پذیری صفر حاصل نشود، به همین شیوه اعمال شده است.. به عنوان مثال ۱ را ۰.۹ و ۰ را ۰.۱ در نظر می‌گیرند.

$$Player A = (ATR = 0.1 / ATL = 0.1 / ATD = 0.1 / ATT = 0.6 / ATM = 0.1)$$

$$Player B = (STA = 0.1 / REL = 0.1 / RED = 0.1 / INN = 0.7)$$

جایی است که هر بازیکن انگیزه تخطی از آن استراتژی و اتخاذ استراتژی دیگری را نداشته باشد؛ یعنی بیشترین عدد ممکن در هر سطر و ستون که در اینجا به صورت خانه زردرنگ نشان داده شده است. گفتنی است که محاسبه تعادل خالص در تمامی جدول‌های تعادل خالص به همین صورت و یکسان است. این بازی شامل ۲ تعادل خالص است که نقاط آن به صورت جدول ۳ هستند.

همانطور که در جدول بالا دیده می‌شود، این بازی در دو نقطه تعادل خالص دارد. بازیکن ۱ مابین دو اقدام حمله به تصفیه‌خانه و حمله به مخازن آب احتمال دارد که هرکدام را انتخاب کند؛ اما نمی‌توان تعیین کرد که به چه احتمالی یکی از این دو را برمی‌گزیند. این دو اقدام مطلوبیت‌هایی قانع‌کننده را برای بازیکن ۱ فراهم می‌کند. بازیکن ۲ نیز دو اقدام نوآوری و مستحکم سازی مطلوبیت‌های یکسانی را برایش در پی خواهد داشت و باز هم نمی‌توان تعیین کرد که به چه احتمالی کدام یک را برمی‌گزیند. در حقیقت به یقین مشخص نیست که کدام استراتژی نسبت به دیگری برتری دارد. تعادل مختلط هر بازیکن از رابطه زیر به دست می‌آید که در جدول ۴ نشان داده شده است:

$$U(I) = u_1p_1 + \dots + u_n p_n$$

محاسبه این تعادل میکس در تمامی جدول‌های تعادل میکس با استفاده از فرمول بالا است و به صورت یکسان محاسبه می‌شود. با محاسبه تعادل خالص مختلط نتیجه بازی به صورت جدول ۴ خواهد بود.

با تخصیص دادن احتمال به هر مطلوبیت و در نهایت ساده‌سازی معادلات به دست آمده، نتیجه این بازی به صورت زیر خواهد بود:

$$Player A = (ATR = 0 / ATL = 0 / ATD = 0 / ATT = 1 / ATM = 0)$$

جدول ۵: تعادل خالص بازی حمله فیزیکی - تطبیق

	Player B				
	ATR	ATL	ATD	ATT	
Player A	SUB	۱و۳	۱و۱	۲و-۲	P۱
	ADC	۱و۳	-۱و۱	۲و-۲	P۲
	ALT	۱و۲	-۱و۱	۲و-۲	P۳
	q1	۲و۲	-۲و۲	۳و-۳	P۴
	q2	۳و۳	-۲و۲	۳و-۳	P۵
	q3	q1	q2	q3	

جدول ۶: تعادل مختلط بازی حمله فیزیکی - تطبیق

	Player B				
	ATR	ATL	ATD	ATT	
Player A	SUB	۱و۳	۱و۱	۲و-۲	P۱
	ADC	۱و۳	-۱و۱	۲و-۲	P۲
	ALT	۱و۲	-۱و۱	۲و-۲	P۳
	q1	۲و۲	-۲و۲	۳و-۳	P۴
	q2	۳و۳	-۲و۲	۳و-۳	P۵
	q3	q1	q2	q3	

بازی حمله فیزیکی - تطبیق

حملات فیزیکی جذابترین نقطه شبکه آب‌رسانی مخازن خواهند بود. توجه کنید که اعداد این ماتریس‌ها با قضاوت انسانی به دست آمده‌اند که حتماً همراه با خطای انسانی است و همچنین خطای گرد کردن اعداد هنگام حل مسئله و خطای روش نیز وجود دارد. از طرفی با قرارداد استراتژی ۱ و ۰ بعضی از داده‌های مسئله حذف می‌شوند که برای رفع این مشکل استراتژی‌ها را با تأثیر کم وارد مسئله می‌کنند. به عنوان مثال ۱ را ۰٫۹ و ۰ را ۰٫۱ در نظر می‌گیرند.

$$Player A = (ATR = 0.1 / ATL = 0.1 / ATD =$$

$$= 0.1 / ATT = 0.1 / ATM = 0.6)$$

$$Plyer B = (SUB = 0.8 / ADC = 0.1 / ALT = 0.1)$$

بازی حمله نظامی - ترمیم

در این بازی نیز همانند دو بازی قبل دو بازیکن متخاصم و شبکه آب‌رسانی را در نظر گرفته و برای هر کدام از آنها استراتژی‌ها و اقدام‌های جدول ۷ ارائه شد.

از مقایسه مطلوبیت‌های حاصل مشاهده می‌شود که این بازی دارای سه استراتژی خالص است و بازیکن ۱ می‌تواند از بین اقدام‌های ۱ و ۴ و ۵ یعنی حمله به منابع آب، حمله به تصفیه‌خانه و حمله به مخازن آب یکی را انتخاب کند؛ چرا که این سه برایش تفاوتی ندارد و اما وقتی بازیکن ۲ اقدام ۴ یعنی پایش را انتخاب کند، با بازیکن ۱ به حالت تعادل می‌رسد. برای اینکه ببینیم کدام یک از این اقدام برتری نسبت به دیگری دارند، برای این بازی نیز همانند بازی‌های قبل تعادل مختلط محاسبه می‌شود که نتیجه آن به صورت جدول ۸ است.

در این بازی هم دو بازیکن متخاصم و مدیریت شبکه آب در نظر گرفته شده و استراتژی متخاصم حمله فیزیکی و اقدام‌های او همانند بازی قبل حمله به منابع آب، حمله به خطوط لوله، حمله به شبکه توزیع، حمله به تصفیه‌خانه و در نهایت حمله به مخازن آب است. برای بازیکن دو که همان مدیریت شبکه آب است، استراتژی انتخاب شده، استراتژی تطبیق با اقدام‌های جایگزینی، سازگاری حفاظتی و قابلیت تغییر است. با چیدن مطلوبیت‌های مربوط به هر بازیکن در جدول ماتریسی به صورت جدول ۵ حاصل می‌شود.

با مقایسه مطلوبیت‌های جدول بالا تعیین می‌شود که این بازی یک تعادل خالص دارد و آن هم زمانی که بازیکن ۱ استراتژی پنجم یعنی حمله به مخازن آب را انتخاب کند و بازیکن ۲ استراتژی اول خود یعنی استراتژی مستحکم‌سازی را اتخاذ کند. با محاسبه تعادل خالص مختلط نقطه تعادل این بازی به صورت جدول ۶ تغییر می‌کند

با انجام محاسبات برای به دست آوردن تعادل مختلط این بازی نتیجه آن به صورت زیر خواهد بود:

$$Player A = (ATR = 0 / ATL = 0 / ATD =$$

$$0 / ATT = 0 / ATM = 1)$$

$$Plyer B = (SUB = 1 / ADC = 0 / ALT = 0)$$

همانطور که از نتایج به دست آمده نیز مشاهده می‌شود، تعادل خالص مختلط آن در جایی است که تعادل خالص نیز در همان نقطه یعنی انتخاب action پنجم توسط بازیکن ۱ و انتخاب ac-tion اول توسط بازیکن ۲ حاصل می‌شود؛ به این معنی که برای

جدول ۷: تعادل خالص بازی حمله نظامی-ترمیم

Player A	Player B					
	RES	AGS	TRS	MON		
ATR	۳-۳	۳-۳	۱-۲	۲و۲	P۱	
ATL	-۱و۱	۱و۱	۱-۱	۱و۱	P۲	
ATD	-۱و۱	۱و۱	۱-۱	۱و۱	P۳	
ATT	۲و-۳	۳و-۳	۱و-۲	۲و۲	P۴	
ATM	۱و-۲	۲و-۲	۱و-۲	۲و۲	P۵	
	q ^۱	q ^۲	q ^۳	q ^۴		

جدول ۸: تعادل مختلط بازی حمله نظامی-ترمیم

Player A	Player B					
	RES	AGS	TRS	MON		
ATR	۳-۳	۳-۳	۱و-۲	۲و۲	P۱	
ATL	-۱و۱	۱و۱	۱و-۱	۱و۱	P۲	
ATD	-۱و۱	۱و۱	۱و-۱	۱و۱	P۳	
ATT	۲و-۳	۳و-۳	۱و-۲	۲و۲	P۴	
ATM	۱و-۲	۲و-۲	۱و-۲	۲و۲	P۵	
	q ^۱	q ^۲	q ^۳	q ^۴		

$$Player A = (ATR = 0.33 / ATL = 0 / ATD = 0 / ATT = 0.34 / ATM = 0.33)$$

$$Player B = (RES = 0 / AGS = 0 / TRS = 0 / MON = 1)$$

جدول ۹: مقدار Va برای بخش‌های مختلف شبکه آب

دارایی‌های شبکه آب	جذابیت v	جذابیت نرمال شده
منابع آب	۰,۹۳ = (va resource)	۰,۲۷
خطوط انتقال	۰,۳ = (va line)	۰,۰۸۵
تصفیه‌خانه	۱,۰۴ = (va Treatment)	۰,۳
شبکه توزیع	۰,۳ = (va Distribution)	۰,۰۷۵
مخازن	۰,۹۳ = (va Reservoir)	۰,۲۷

عددهایی که برای بازیکنان حاصل شد، تحت عنوان Va و یا جذابیت هستند که از جمع جبری عددهای حاصل برای دارایی‌های منابع آب در نتیجه مقدار جذابیت کل هر یک محاسبه شد. سپس برای آنکه بتوان تعیین کرد که هر یک از دارایی‌ها به چه میزان در جذابیت شبکه آبرسانی برای حملات انسان ساخت سهم دارد، باید آنها را نرمال کرد. برای نرمال کردن این اعداد آنها را جمع و هر یک را بر مجموعشان تقسیم کرده که نتیجه نهایی آن در جدول ۹ ارائه شده است. همانطور که از جدول ۹ قابل مشاهده است، مقدار Va برابر با ۳,۵ حاصل شد.

پس از نرمال کردن داده‌های بالا تعیین می‌شود که تصفیه‌خانه از بالاترین میزان جذابیت برای دشمنان برخوردار است؛ اما از آنجایی که این مقدار برای خطوط انتقال و مخازن صفر می‌شود، همه اعداد به دست آمده با یک جمع و نتیجه نهایی به صورت زیر قابل مشاهده است.

$$Va = va + 1$$

از جمع بندی مطالب بالا معلوم می‌شود که تعادل خالص مختلط بازی هنگامی است که بازیکن ۱ اقدام چهارم خود یعنی حمله به تصفیه‌خانه و بازیکن ۲ نیز اقدام چهارم خود یعنی پایش را انتخاب کرده باشد؛ به این معنی که جذاب‌ترین نقطه برای حملات نظامی در شبکه آبرسانی تصفیه‌خانه است.

توجه کنید که اعداد این ماتریس‌ها با قضاوت انسانی به دست آمده‌اند که حتماً همراه با خطای انسانی است و همچنین خطای گرد کردن اعداد هنگام حل مسئله و خطای روش نیز وجود دارد. از طرفی با قرار دادن استراتژی ۱ و ۰ بعضی از داده‌های مسئله حذف می‌شوند. برای رفع این مشکل استراتژی‌ها را با تأثیر کم وارد مسئله می‌کنند. به عنوان مثال ۱ را ۰,۹ و ۰ را ۰,۱ در نظر می‌گیرند.

$$Player A = (ATR = 0.33 / ATL = 0 / ATD = 0 / ATT = 0.34 / ATM = 0.33)$$

$$Player B = (RES = 0.1 / AGS = 0.1 / TRS = 0.1 / TRS = 0.1 / MON = 0.7)$$

جدول ۱۰: مقادیر نهایی Va بخش‌های مختلف شبکه آب

مقدار نهایی Va	دارایی‌های شبکه آب
۱.۹۳	منابع آب
۱.۰۳	خطوط انتقال
۲.۰۴	تصفیه‌خانه
۱.۰۳	شبکه توزیع
۱.۹۳	مخازن



تصویر ۴: جذابیت دارایی‌های شبکه آب

و نگره‌داری از این زیرساخت‌ها بیش از گذشته مورد توجه است. زیرساخت آب از جمله زیرساخت‌هایی است که در بیشتر جنگ‌ها به عنوان هدفی برای از پای درآوردن کشور محسوب می‌شود. بنابراین در این پژوهش، هدف استفاده از روش گیم تئوری برای تعیین آنالیز جذابیت شبکه آبرسانی یک منطقه از تهران بود. برای انجام این پژوهش پس از تعیین دارایی‌های شبکه و با استفاده از روش گیم تئوری (بازی معمای زندانیان) پس از تعیین بازیکن‌ها (مدیریت شبکه آب و مهاجم) در نهایت استراتژی‌های هر بازیکن تعیین شد. به منظور تعیین تعادل خالص به هر استراتژی بازیکنان مطلوبیت‌هایی تخصیص داده شد. پس از آن با ضرب مطلوبیت‌های بازیکن یک در برابر یک استراتژی از بازیکن شماره ۲ در مطلوبیت‌های بازیکن شماره ۲ در برابر استراتژی اتخاذ شده بازیکن شماره ۱، چندین تعادل خالص برای هر بازی تعیین شد و به منظور تعیین احتمال اینکه کدام یک از این استراتژی‌ها احتمال بیشتری برای حمله دارند، استراتژی مختلط آن تعیین شد. با استفاده از این روش مشاهده شد که کدام حملات برای این شبکه آبرسانی محتمل‌تر خواهد بود و هر بخش از شبکه چه

با محاسبه طبق فرمول بالا نتیجه نهایی مقادیر به شرح جدول ۱۰ است.

با جمع زدن مقادیر بالا مقدار نهایی Va پس از گرفتن میانگین هندسی از مقادیر فوق تقریباً برابر با ۱,۶۷ حاصل شد. با وارد کردن مقادیر جذابیت برای دارایی‌های مختلف شبکه آب در نرم افزار GIS پهنه‌بندی آنالیز جذابیت دارایی‌های شبکه آب به صورت تصویر ۴ ارائه شد.

با مطالعه تصویر ۴ تعیین می‌شود که مخازن آب از جمله دارایی‌های است که جذابیت بالایی برای هدف قرار گرفتن در حملات و تهدیدات انسان ساخت دارد و برای حفظ آنها باید برنامه‌ریزی و اقدامات کاهش آسیب را انجام داد.

نتیجه‌گیری

شریان‌های حیاتی نقش کلیدی در زندگی انسان‌ها ایفا می‌کنند. آب از جمله این زیرساخت‌هاست که تصور یک روز زندگی بدون آن برای افراد و جامعه ناممکن است. امروزه که شیوه بیشتر جنگ‌ها تغییر کرده و به عملیات روانی و نرم خلاصه شده، حفظ

don Dordrecht Heidelberg New York, A catalogue record for this book is available from the, British Library_Springer-Verlag London Limited 2011

۷. اسکندری، محمد. امیدوار، بابک. توکلی ثانی، محمد صادق. تحلیل خسارت شریان‌های حیاتی با در نظر گرفتن اثرات وابستگی در اثر حملات هدفمند؛ دوفصلنامه علمی و پژوهشی مدیریت بحران، شماره ۱۹، ویژه‌نامه پدافند غیرعامل، ۱۳۹۳.

۸. شرافت، سعیده. فنیبری، فریبا. حسینی، سید احمد. ریسک و مدیریت آب، نشریه آب و توسعه پایدار، سال اول، شماره ۲، شهریور ۱۳۹۳، صفحه ۲۱-۱۵.

۹. مشهدی حسن، کتاب معرفی تهدیدات و نحوه بررسی و ارزیابی آنها؛ تدوین سازمان پدافند غیرعامل، بهار ۱۳۹۱.

۱۰. شکیبامنش ا، و هاشمی فشارکی س ج، "ملاحظات پدافند غیر عامل در تأسیسات زیربنایی شهری"، مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی مهندسی و مدیریت زیرساخت‌ها، دانشکده فنی دانشگاه تهران، آبان ۱۳۸۸.

۱۱. کارآموز، محمد. مجاهدی، سیدعلی. احمدی، آزاده. ارزیابی اقتصادی و تعیین سیاست‌های بهره برداری انتقال آب بین حوزه‌ای، نشریه تحقیقات منابع آب ایران، سال سوم، شماره ۲، پاییز ۱۳۸۶، صفحه ۱۵-۱۰.

12. Mohammad Karamouz, Sara Saadati, Azadeh Ahmadi, Vulnerability Assessment and Risk Reduction of Water Supply Systems. World Environmental and Water Resources Congress 2010: Challenges of Change. © 2010 ASCE

۱۳. سعیدی، علی. کفاش جمشید، محمدرضا. ملاحظات دفاعی-امنیتی در آمایش سرزمینی استان اردبیل، فصلنامه آفاق امنیت، سال ششم، شماره ۲۱، زمستان ۱۳۹۲.

۱۴. اسکندری، حمید. دانستنی‌های پدافند غیرعامل، کتاب، ۱۳۸۹.

15. approach using MATLAB, A.R.-B., *COST VALUE FUNCTION OF WATER DISTRIBUTION NETWORKS*. 2008, An-Najah National University.

16. Mays, L. W. (2004). "Water supply systems security", New York, McGraw-Hill Professional Engineering

۱۷. کریمی، رضا. طراحی شبکه توزیع آب شهری از منظر پدافند غیرعامل، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، ۱۳۹۳.

۱۸. قاضی زاده، علیرضا. جلیلی قاضی زاده، محمدرضا. کاربرد تحلیل ریسک در مطالعه پدافند غیرعامل، دومین کنفرانس ملی سد و نیروگاه‌های برقایی، اردیبهشت ۱۳۸۷.

۱۹. عبدلی، قهرمان. نظریه بازی‌ها و کاربردهای آن، سازمان جهاد دانشگاهی تهران، دانشکده اقتصاد، شابک ۹۷۸-۹۶۴-۲۷۲۹-۲۴-۱، ۱۳۹۵.

20. L. Z. Wang, L. Fang and K. W. Hipel, Water Resources Allocation: A Cooperative Game Theoretic Approach, *Journal of Environmental Informatics* 2 (2) 11-22 (2003).

21. ARIEL DINAR, AHARON RATNER, AND DAN YARON, EVALUATING COOPERATIVE GAME THEORY IN WATER RESOURCES, *Theory and Decision* 32: 1-20, 1992.

22. Ardeshir Ahmadi, Raquel Salazar Moreno, Game Theory Applications in a Water Distribution Problem, *Journal of Water Resource and Protection*, 2013, 5, 91-96.

23. Irene Parrachino, Ariel Dinar and Fioravante Patrone, COOPERATIVE GAME THEORY AND ITS APPLICATION TO NATURAL, ENVIRONMENTAL AND WATER RESOURCE ISSUES: 3. Application to Water Resources, World Bank Pol-

میزان برای دشمنان دارای جذابیت هدف است. با رتبه‌بندی اعداد به دست آمده جذاب‌ترین نقاط شبکه آبرسانی برای حمله به رنگ قرمز در تصویر ۴ نشان داده شده است. با انجام این پژوهش تعیین شد که دارایی‌های شبکه آب مورد مطالعه تقریباً از جذابیت پایینی برای حملات برخوردارند؛ اما در محدوده مخزن دیده می‌شود که بیشتر نقاط به صورت قرمز رنگ هستند. به این معنی که این نواحی برای مورد حمله قرار گرفتن جذابیت بسیار بالایی دارند. در این مورد مخازن معمولاً از لحاظ توپولوژیکی به گونه‌ای هستند که به آسانی قابل تشخیص هستند و از آنجایی که آب تصفیه شده به منظور رسیدن به دست شهروندان و سایر مصرف‌کنندگان در این مخازن ذخیره می‌شود، در نتیجه از جمله نقاط جذاب برای انواع حملات نظامی، تروریستی و یا خرابکاری است. بنابراین درباره مدیریت شبکه آب توصیه می‌شود که برای حفظ مشروعیت لازم، منابع بیشتری برای حفاظت از این ناحیه به مخزن اختصاص داده شود.

پی‌نوشت

1. Wang
2. Ariel Dinar
3. Iren parachino
4. Foster
5. McDonald
6. Michaud
7. Apostolakis
8. Pinto
9. Bentes
10. Herrera
11. Garcia

منابع

1. J. Johansson, H. Hassel. An approach for modelling interdependent infrastructures in the context of vulnerability analysis, *Reliability Engineering and system Safety* 95(2010) 1335-1344.
2. S. Wang, L. Hong, X. Chen. Vulnerability analysis of interdependent infrastructure systems: A methodological framework; *Physica A* 391 (2012) 3323-3335.
3. M, Ouyang, L. Hong, Z. Mao, M. Yu, F. Qi. A methodological approach to analyze vulnerability of interdependent infrastructures; *Simulation Modelling Practice and Theory* 17 (2009) 817-828.
4. E. Bompard, R. Napoli, F. Xue. Analysis of structural vulnerabilities in power transmission grids; *INTERNATIONAL JOURNAL OF CRITICAL INFRASTRUCTURE PROTECTION* 2 (2009) 5 ± 1 2. Received 30 October 2008, Received in revised form 2 January 2009, Accepted 9 February 2009
5. Giuliano Andrea Pagani, Marco Aiello. The Power Grid as a complex network: A survey; *Physica A* 392 (2013) 2688-2700
6. W. Kröger • E. Zio. *Vulnerable Systems*; Springer Lon-

۱۱۰

شماره هجدهم
پاییز و زمستان
۱۳۹۹
دوفصلنامه
علمی و پژوهشی



راژه علمی به منظور آرایه جذابیت در زیرساخت شبکه آب

icy Research Working Paper 4074, November 2006.

24. J.A. Foster, A.T. McDonald. Assessing pollution risks to water supply intakes using geographical information systems (GIS), *Environmental Modelling & Software* 15 (2000) 225–234
25. David Michaud , George E. Apostolakis. Methodology for Ranking the Elements of Water-Supply Networks, *J. Infrastruct. Syst.* 2006.12:230-242.
26. Jorge Pinto · Humberto Varum · Isabel Bentes · Jitendra Agarwal. A Theory of Vulnerability of Water Pipe Network (TVWPN). *Water Resource Manage* (2010) 24:4237–4254.
27. J.A. Gutiérrez-Pérez, M. Herrera, R. Perez-Garcia, E. Romas-martinez. Application of graph-spectral methods in the vulnerability, assessment of water supply networks; *Mathematical and Computer Modelling* 57 (2013) 1853–1859.

۱۱۱

شماره هجدهم

پاییز زمستان
۱۳۹۹

دوفصلنامه
علمی و پژوهشی

