



انجمن علمی پدافند غیر عامل ایران

نشریه علمی-پژوهشی شهر ایمن

JOURNAL OF RESILIENT CITY

(JRC)



سازمان پدافند غیر عامل کشور

تحلیل آسیب پذیری شبکه آبرسانی به روش تئوری گراف

- ساره رودباری^۱، دکتر محمدعلی نکوئی^۲، محمد زاهدیان پور^۳ *
- ۱- فارغ التحصیل پدافند غیر عامل دانشگاه صنعتی مالک اشتر
- ۲- استادیار دانشگاه صنعتی مالک اشتر
- ۳- فارغ التحصیل پدافند غیر عامل دانشگاه صنعتی مالک اشتر

چکیده

شبکه آبرسانی از جمله شریان های حیاتی هر جامعه و کشوری محسوب می شود و همواره در جنگ ها به عنوان هدفی مناسب قرار می گیرد. در تئوری واردن تاسیسات آبرسانی به عنوان محصولات کلیدی در حلقه دوم این تئوری قرار می گیرد. بنابراین ادامه عملکرد درست تاسیسات آب برای هر کشور و جامعه ای امری حیاتی محسوب می گردد. با توجه به اهمیت این موضوع مدل های مختلفی برای ارزیابی آسیب پذیری این شبکه بکار گرفته شده است. روش گراف از جمله متدها ریاضی است که در محاسبه قابلیت اطمینان شبکه آب هنگام مواجهه با بحران ها جوامع را یاری می دهد. هدف این پژوهش تحلیل آسیب پذیری شبکه با استفاده از تئوری گراف است. در این پژوهش با استفاده از نرم افزار گفی، پارامترهای مختلف تئوری گراف ارزیابی و تحلیل شد. پارامترهایی همچون مرکزیت، درجه گره و ضریب خوشه بندی که از پارامترهای مهم در تئوری گراف هستند برای شبکه آبرسانی منتخبی از شهرستان تهران به عنوان مطالعه موردی انتخاب و مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. نتیجه برداشت شده از این پژوهش به این صورت بود که مرکزیت و درجه گره ارتباط مستقیمی با آسیب پذیری شبکه آب دارند. به این معنی که با افزایش مرکزیت و درجه گره در یک، شبکه میزان آسیب پذیری آن افزایش خواهد یافت. همچنین ضریب خوشه بندی ارتباط معکوسی با میزان آسیب پذیری در شبکه را دارد و با افزایش ضریب خوشه بندی میزان آسیب پذیری شبکه کاهش می یابد.

واژگان کلیدی

آسیب پذیری، نظریه واردن، عملکرد شبکه آبرسانی، تئوری گراف.

۱- مقدمه

زیرساخت های حیاتی شریان هایی هستند که برای بقا و ادامه عملکرد جامعه مورد نیاز هستند [۱] که از جمله این زیرساخت ها زیرساخت آب، برق و گاز و مخابرات می توان اشاره کرد. [۲] سیستم آبرسانی شبکه ای بهم پیوسته و پیچیده است که نیازمند برنامه ریزی و نگهداری است تا از کیفیت آب و جریان آن برای رساندن به همه مشتریان اطمینان حاصل شود. این سیستم متشکل از لوله ها، دریچه ها، پمپ ها، مخازن ذخیره، مخزن های آب و چاه های آب زیرزمینی می باشد. اگرچه تحقیقات قابل توجهی بر روی تعیین قابلیت اطمینان شبکه های آبرسانی انجام شده است، اما کاربردهای آن در دنیای واقعی محدود است [۳ و ۲۴]. زیرساخت آب از جمله حیاتی ترین زیرساخت ها برای بقا و ادامه جوامع بشری هستند [۴] و به منظور تحلیل آسیب پذیری این زیرساخت باید اندرکنش بین زیرساخت با سایر زیرساخت ها و همچنین اندرکنش آن با محیط پیرامونی نیز

توجه داشت [۱۵ و ۱۵]. دارایی های زیرساخت شبکه آب به حدی زیاد است که امکان محافظت از تمامی آنها میسر نیست بنابراین باید با استخراج نقاط حساس بودجه بیشتری به منظور حفاظت از آن اختصاص داد [۴ و ۶].

نظارت مستمر بر سیستم آبرسانی باعث کاهش آسیب و بالا رفتن سرعت ترمیم و بازسازی در شبکه و همچنین تشخیص به موقع خرابی در آن می شود و از طرفی این امر باعث پیدا کردن نقطه بحرانی و رفع آن می گردد [۷]. امنیت آب معانی مختلفی دارد ولی در کل به معنی تامین آب به مقدار مطلوب برای افراد جامعه است. در سال ۲۰۰۰ انجمن جهانی آب تعریف امنیت آب را بیشتر دسترسی به آب، قیمت و نیازهای انسان در نظر گرفتند [۲۵].

به منظور حفظ عملکرد و امنیت آب در این زیرساخت پارتیشن بندی شبکه آب می تواند در مدرنیزه کردن مدیریت سیستم تأمین آب بخصوص برای دستیابی به تعادل آب، بکار بردن فنون کنترل فشار و محافظت کاربران از حملات مخرب کمک کند.

میانگین طول مسیر، مرکزیت و غیره می‌باشد. در این پژوهش مؤلفه‌های اصلی شبکه آبرسانی یعنی منابع، تصفیه‌خانه و ... را به‌عنوان گره در نظر گرفته خواهد شد و خطوط انتقال و توزیع را به‌عنوان لینک‌های اتصال‌دهنده بین این گره‌ها به‌حساب می‌آید. در نهایت شبکه آبرسانی به‌صورت شبکه گراف ترسیم خواهد شد. دارایی‌های یک زیرساخت به دو دسته دارایی‌های حیاتی و غیرحیاتی تقسیم می‌شوند. دارایی‌های حیاتی در صورت صدمه و نابودی تاثیر بسیار مهمی بر زیرساخت دارند [۹]. حال در بین این دارایی‌ها بعضی از این مؤلفه‌ها هستند که از اهمیت ویژه‌تری نسبت به بقیه دارایی‌ها برخوردارند و در این جهت باید منابع بیشتری را در جهت مقاوم‌سازی و کاهش آسیب آن اختصاص داد. مثلاً مخازن ذخیره آب از جمله مهمترین اجزای شبکه آبرسانی هستند که آب انتقالی از تصفیه‌خانه را در خود جای می‌دهند و به این دلیل برای اهداف تروریستی و نظامی بسیار مناسب هستند [۱۰]. مثال دیگری که می‌توان بیان کرد تصفیه‌خانه‌ها هستند. تصفیه‌خانه از اهمیت بالایی برخوردار خواهد بود چراکه عمل تصفیه آب در این گره صورت می‌گیرد و نبود آن می‌تواند هزینه‌های بالایی را ایجاد کند. اجزای شبکه آبرسانی معمولاً در فواصل دور از یکدیگر قرار دارند که این امر می‌تواند نقطه قوتی محسوب شود چراکه در صورت حمله اگر اجزای این شبکه به یکدیگر نزدیک‌تر باشد دشمن با صرف هزینه پایین‌تری می‌تواند خسارت‌های بیشتری را برای ما ایجاد کند. عامل دیگر اینکه بعضی از این مؤلفه‌ها مانند مخازن نیز در بعضی مکان‌ها در زیرزمین احداث می‌شوند و این امر نیز موجب بهبود و قوت شبکه باشد چراکه میزان شناسایی آن به‌شدت کاهش یافته و در نتیجه احتمال حمله به آن کاهش می‌یابد. با همه این تفاسیر شبکه آبرسانی ضعیف‌هایی نیز دارد. مثلاً این شبکه در برابر حملات بسیار آسیب‌پذیر است و در صورت مورد حمله قرار گرفتن یکی از زیرساخت‌های اصلی کشور منهدم شده و می‌تواند بیش از پیش بر وخامت اوضاع بیفزاید. تهدیدات انسان‌ساخت و طبیعی مختلفی متوجه شبکه آب است که می‌تواند بر آن اثرگذار باشد. تهدیدات طبیعی مانند سیل، زلزله، طوفان و .. که عامل طبیعی منجر به آن شده است و انسان در پیش آمدن آن دخالتی ندارد. تهدیدات انسانی تهدیداتی هستند که عامل انسانی باعث به وجود آمدن آن‌ها می‌شود و از جمله این تهدیدات می‌تواند به حملات زیستی، نظامی و یا فیزیکی اشاره کرد. حال که به اهمیت شبکه آبرسانی پرداخته شد، ضرورت تحلیل شبکه برای آنالیز آسیب‌پذیری در این شبکه احساس می‌گردد.

۱. ۲- مرور مطالعات

فoster^۳ و مک‌دونالد^۴ در سال ۲۰۰۰ در مطالعه خود، ارزیابی

پارتیشن‌بندی شبکه آب را می‌توان از طریق تعریف کردن حوزه-های دائمی ایجاد کرد. از طریق قرار دادن درجه‌های مرزی (یا برش لوله‌های موجود) و کنترل برای ایجاد زیرسیستم جهت تسهیل تعادل آب و شناسایی از دست رفتن آب یا از طریق منطقه بندی شبکه آب با استفاده از میزان فشار آب درون لوله *PDA* یا بر اساس میزان تقاضا برای آب *DDA* این امر میسر می‌شود. از آنجایی که سیستم‌های آبرسانی پیچیده و دارای مقیاس بزرگی هستند و معمولاً در حملات انسان‌ساخت می‌توانند اهداف مناسبی برای حمله باشند در نتیجه باید تدابیری اندیشید تا بتوان مدل‌ها و راهکارهایی را برای کاهش آسیب آن ایجاد کرد. بسیاری از نرم‌افزارها مانند *water GEM'S* و *EPANET* قابلیت نمایش نقشه آب را دارند بنابراین می‌توان از این قبیل نرم‌افزارها برای شبیه‌سازی هیدرولیک سیستم آبرسانی به‌منظور مدیریت هرچه بهتر این سیستم‌ها استفاده کرد اما از طرفی این نرم‌افزارها قابلیت پردازش را ندارند.

از آنجایی که هدف در این پژوهش ارزیابی آسیب‌پذیری شبکه آبرسانی و رسیدن به مدلی است که بتوان آسیب‌پذیری شبکه را تا حد بسیار زیادی کاهش داد، در این راستا سؤالاتی از قبیل اینکه چه آسیب‌ها و خطراتی زیرساخت‌ها را تهدید می‌کند؟ گام-های تدوین چارچوب ارزیابی آسیب‌پذیری چیست؟ معیارها و روش‌های آنالیز جذابیت زیرساخت‌ها کدام‌اند؟ برای جلوگیری از آسیب‌پذیری شبکه آب چه راهکارهایی را می‌توان در پیش گرفت؟ و اینکه در نهایت از چه مدل‌هایی می‌توان برای ارزیابی آسیب‌پذیری شبکه آب بهره جست؟ در ذهن مطرح می‌شود که باید به آن‌ها پاسخ داد. برای رسیدن به پاسخ این سؤالات فرض می‌شود که علیه اجزای شبکه‌های آبرسانی تهدیدات مختلفی وجود دارد و کاهش آسیب‌پذیری در یک شبکه را می‌توان مدل سازی کرد. امروزه تئوری گراف در شاخه‌های مختلف علوم کاربرد پیدا کرده است. با استفاده از تئوری گراف در تحلیل شبکه آب می‌توان رابطه بین اجزای مختلف سیستم و ارتباط بین آنها را نشان داد. و در این پژوهش با استفاده از نرم افزار گفی پارامترهای تئوری گراف را مدل کرده و ارتباط بین آنها را در جهت آسیب‌پذیری شبکه تعیین می‌گردد.

اجزای شبکه آبرسانی عبارتند از منابع آب، خطوط انتقال، تصفیه‌خانه، شبکه توزیع و مخازن که هرکدام از این مؤلفه‌ها زیرمؤلفه‌هایی بسیاری دارند اما عمده بحث اینجا بر روی اجزای اصلی شبکه آبرسانی می‌باشد. در تعریف ریاضی گراف شبکه مجموعه‌ای از گره‌هاست که از طریق لینک‌هایی به یکدیگر اتصال داده می‌شوند و به این ترتیب خوشه‌هایی را تشکیل می‌دهند. هر شبکه گراف دارای یکسری معیارها از قبیل ضریب خوشه‌بندی،

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 موردنظر می‌باشد 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 همه‌پایه (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 [۱۴].

پینتو و بنتس در مقاله خود تحت عنوان تئوری 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 سیاست مدیریت عرضه منابع آب در مناطق شهری 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 خسارت می‌باشد. یک سازه زمانی که آسیب کوچکی منجر به عواقب شکست بزرگی شود آسیب‌پذیر است، اقدامی که می‌تواند موجب این خسارت شود می‌تواند از هر نوع از جمله خطای انسانی و یا حتی یک اقدام خرابکارانه باشد [۱۵].

هررا و کارازا و گلوآدر سال ۲۰۱۰ در مقاله‌ای با عنوان رویکرد خوشه‌بندی شبکه آب‌رسانی به واسطه یادگیری نیمه‌متمرکز بیان داشتند که تقسیم‌بندی شبکه به نواحی اندازه‌گیری منطقه‌ای (*DMA*) از راهبرد تفرقه بینداز و حکومت کن پیروی می‌کند که تجزیه شبکه توزیع با اتصال بسیار زیاد به شبکه‌های کوچک‌تر را در پی دارد. این شبکه‌های کوچک مستقل بوده و بر اساس تعداد منابع پیشرو تغذیه می‌کنند. آن‌ها بیان کردند که برای رسیدن به توزیع شبکه مناسب، در نظر گرفتن ویژگی‌های طرح

ریسک آلودگی در منابع تأمین آب را با استفاده از سیستم‌های اطلاعاتی جغرافیایی (*GIS*) انجام دادند. ظرفیت ذاتی سیستم-های اطلاعات جغرافیایی (*GIS*) در ذخیره‌سازی، آنالیز و نمایش داده‌های فضایی آن را به ابزاری ایده آل برای کمک به ارزیابی-های ریسک تبدیل کرده است. آنان با استفاده از این مقاله کاربردهای بالقوه *GIS* را در مدیریت و ارزیابی ریسک منابع مصرف عمومی آب را نشان دادند که با استفاده از این نرم‌افزار مناطق بالقوه خطرپذیر شناسایی شدند [۱۱].

لی گات^۴ و ایزنبریس^۵ در سال ۲۰۰۰ به منظور آنالیز ریسک شکست در لوله‌های آب، مدل‌های آماری را بکار بردند. این روش آنالیز بقا روشی است که برای مطالعات اپیدمیولوژیک بکار می‌رود. این پژوهش مدل وایبل را برای پیش‌بینی شکست با استفاده از سوابق تعمیر و نگهداری لوله‌های شبکه آب مورد استفاده قرار داد. نتایج نشان داد که عوامل کمی بدون در نظر گرفتن عوامل محیطی برای تشخیص لوله‌ها با بالاترین خطر شکست بکار می‌رود. آن‌ها بیان کردند که داده‌های دوره کوتاه‌تر را در نظر داشت‌اند تا به عدد پیش‌بینی جهانی نزدیک‌تر و با توجه به عوامل محیطی دقت در پیش‌بینی را بهبود بخشند [۱۲].

باویک^۶ و کیچر^۷ در سال ۲۰۰۲ با رویکردی داده‌کاوی به مدل-سازی دارایی‌های آب پرداختند و مدلی را مدنظر داشتند بر این مبنا بود که ارزیابی ریسک انفجار لوله باید باهدف دستیابی به مدل‌سازی و مدیریت تمام دارایی‌های شبکه آب شهر در چارچوبی وسیع کامل شود. آنان دریافتند هر عاملی که بر مکانیسم‌های رفتاری و شیمیایی لوله‌ها اثر بگذارد می‌تواند بر انفجار یا قطع لوله نیز اثر داشته باشد. کار آن‌ها باهدف توسعه رویکرد کلی به مدل‌سازی دارایی‌ها بود و به منظور تست مفید بودن این رویکرد، به صورت موردی در جهان واقعی پیاده‌سازی و در سیستم انتقال آب کپنهاگ مورد آزمایش قرار گرفت. آنان نتیجه گرفتند که از دیدگاه فصول ترکیب‌های پی‌درپی لوله‌ها بیشتر در فصل زمستان رخ می‌دهد و احتمال خسارت بالاتری دارند [۱۳].

میکادو^۸ و پوستلاکیس^۹ 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 سؤالاتی از قبیل چه اشتباهی می‌تواند رخ دهد؟ چه پیامدهایی دارد؟ و

Apostolakis^۹

Pinto^{۱۰}

Bentes^{۱۱}

Karatzoglou^{۱۲}

Le Gat^۴

Eisenbeis^۵

Babovic^۶

keijzer^۷

Michaud^۸

پذیری نتایج واقعی و ملموس تری را به دست بدهد و به این منظور او از الگوریتم k -mean به منظور خوشه بندی شبکه آبرسانی و با استفاده از روش شبیه سازی چندعاملی به شبیه سازی شبکه آب پرداخت. نقاط بحرانی شبکه را استخراج و در آخر راهکارهایی برای کاهش آسیب پذیری ارائه نمود [۱۷].

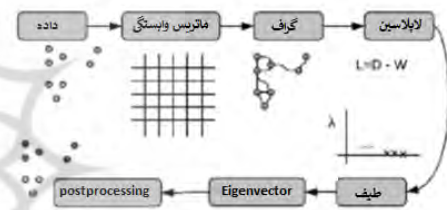
روزبهرانی و تابش در پژوهش خود با نام ادغام ارزیابی ریسک سیستم های آبرسانی شهری از منبع تا شیر چارچوبی را برای ارزیابی ریسک این زیرساخت ارائه دادند، سپس با استفاده از مدل فازی در ۱۱ گام به ارزیابی آسیب پذیری و ریسک مؤلفه های مختلف شبکه آبرسانی شهر ارومیه پرداختند [۱۰].

محمد کارآموز و همکارانش در مقاله ای با عنوان ارزیابی آسیب پذیری و کاهش ریسک سیستم های تأمین آب ضمن بیان مخاطرات و تهدیدات در حوزه آبرسانی به ارزیابی ریسک آسیب پذیری این سیستم با استفاده از شدت حمله، پیامدهای ممکن و میزان احتمال آن پرداختند و الگوریتمی را برای توسعه سیستم آبرسانی پیشنهاد کردند. آنان یک مخزن بزرگ انتقال آب در یک شهرستان بزرگ انتخاب را انتخاب کردند. و معیارهایی با عنوان توزیع، مجزا بودن (حوزه حجم فیزیکی)، قابل رؤیت بودن، در معرض قرار گرفتن و بازیابی در نظر گرفتند. در ۴ سطح ارزیابی کیفی، مؤلفه ها به صورت پایین، متوسط، زیاد و خیلی زیاد نشانه گذاری کردند. دریافتند که هزینه های سد قابل ملاحظه اند و برنامه های عملیاتی نیازمند به کاهش آسیب پذیری در سد است. استراتژی های کاهش ریسک برای مخزن شامل افزایش مقاومت سازه ها، بهبود سیستم های هشدار دهی و محدود ساختن جاده های دسترسی به سد می باشد [۱۸].

دی ناردو^۳ و دی ناتالی^۴ در سال ۲۰۱۴ در پژوهش خود با عنوان نرم افزاری برای پارتیشن بندی خودکار شبکه آب (SWANP) بیان کردند که پارتیشن بندی شبکه آب (WNP) نشان دهنده کاربرد الگوی تفرقه بینداز و حکومت کن به شبکه های آب هوشمند (SWAN) می باشد که اجازه می دهد تا کاربرد فنون برای کنترل فشار و تعادل آب و حفاظت از آلودگی بهبود یابد. این فنون می تواند با اثربخشی بیشتر در تعریف کردن اجزای شبکه دائم کوچک تر بکار رود که ناحیه سنجش منطقه (DMA) نامیده می شود (District Meter Area) که از طریق الحاق دروازه دریچه و کنتور به دست می آید. این نرم افزار نشان دهنده بهترین نتایج در مقایسه با فنون مختلف بر روی مطالعه موردی واقعی می باشد. در نهایت دریافتند که نرم افزار SWANP ابزار مؤثری برای اپراتورها و صنایع آب جهت به دست آوردن طرح های پارتیشن بندی شبکه آب را فراهم می کند و حالت خودکار آن به صورت خودکار بهترین نتایج حداقل سازی

و ابعاد نواحی هیدرولیک مفید است و از آنجایی که این بخش-بندی، شبکه آبرسانی را تفکیک می کند، شبیه سازی مدل های ریاضی با EPANET توسط رزمن یا هر ابزار آنالیز هیدرولیکی دیگر، نیازمند به دست آوردن طراحی خوب و معتبر قابل مقایسه با اهداف شبکه اصلی می باشد.

هم چنین بیان کردند که در طراحی مسیر عبور نقاط کنترل و در نظر گرفتن جایگزین ها برای جلوگیری از چنین احتمالات قطع آب ضروری است. آن ها برای تشکیل ماتریس کرنل بیان داشتند که شبکه آبرسانی باید به عنوان یک گراف ویژه در سیستم اطلاعات جغرافیایی بصورت گره ها و اتصالات در نظر گرفته شود. با ایجاد ماتریس وابستگی مرتبط با شبکه آبرسانی و تعیین پیوندهای گراف (لوله های شبکه انتقال آب) که وزن آن ها قطر این لوله ها باشد. با استفاده از این اطلاعات یک ماتریس وابستگی از گراف تعدیل شده در شبکه آبرسانی را می توان به دست آورد. در نهایت با استفاده از روش خوشه بندی گراف طیفی الگوریتمی را پیشنهاد کردند. شکل ۱- فرآیند خوشه بندی طیفی را بصورت شماتیک نشان می دهد.



شکل ۱- فرآیند خوشه بندی طیفی [۱۶]

انان شبکه آبرسانی نواحی مرکزی *Celaya* را مورد مطالعه قرار دادند که به وسیله یک مخزن (DI) و ۵ تانک ($E1, \dots, E5$)، و با ۵ ایستگاه پمپاژ تغذیه می شد. این شبکه از ۴۷۹ خطوط و ۳۳۳ گره مصرف تشکیل یافته است. طول کل لوله ها ۴۲.۵ کیلومتر و میانگین بلندی گره ها ۱۵۶ متر است. میزان جریان مصرفی کل ۹۱ L/S است. DMA ها از شبکه آبرسانی به عنوان نقطه آغاز برای اجرای الگوریتم پیشنهادی در نظر گرفته شد و دریافتند با توجه به تحلیل های انجام شده قطر لوله و سن آن ها از جمله شاخص های مهم آسیب پذیری در شبکه آبرسانی است. در مقایسه با روش های دیگر که فقط با استفاده از اطلاعات گرافیکی و یا برداری بود، روش خوشه بندی نیمه متمرکز راهی کارآمدتر و قوی تری برای این امر می باشد [۱۶].

رحمتی در پایان نامه خود شبکه توزیع آب را به روش تئوری گراف آنالیز و دسته بندی نمود. ایشان اظهار داشتند که شبکه آبرسانی به دلیل گستردگی بیش از حدی که دارد باید آن را به زیرشاخه های کوچکتری تقسیم بندی نمود تا آنالیز آسیب-

نظامی مورد بررسی قرار گرفته است.

۲. ۳- مواد و روش

به منظور انجام ارزیابی آسیب پذیری شبکه برحسب تئوری گراف و تحلیل شبکه نیاز است که داده های GIS یک منطقه را داشته و تحلیل های گراف را روی آن پیاده کرد. در شبکه آبرسانی این لایه های GIS حاوی منابع آب، خطوط انتقال، تصفیه خانه، شیرآلات و خطوط توزیع و در نهایت مخازن است. در این لایه ها منابع آب، مخازن، ایستگاه های پمپاژ و تصفیه خانه به صورت نقطه یا POINT نشان داده می شوند و خطوط انتقال و خطوط توزیع به صورت لبه یا LINK می باشند. با داشتن این لایه ها و اضافه کردن آن ها در یک محیط GIS مجموعه ای از نقاط و لینک ها را ارائه خواهد شد. بعد از آن با وارد کردن آن به دیتابیس می توان همه آن ها را به صورت یک لایه جامع متشکل از گره و لینک درآورد که مجموع آن ها شبکه گراف را تشکیل می دهند. پس از آن با انجام محاسبات ریاضی و به دست آوردن معیارهای مشخص گراف میزان آسیب پذیری هر گره و یا لینک را در کل شبکه تعیین می شود.

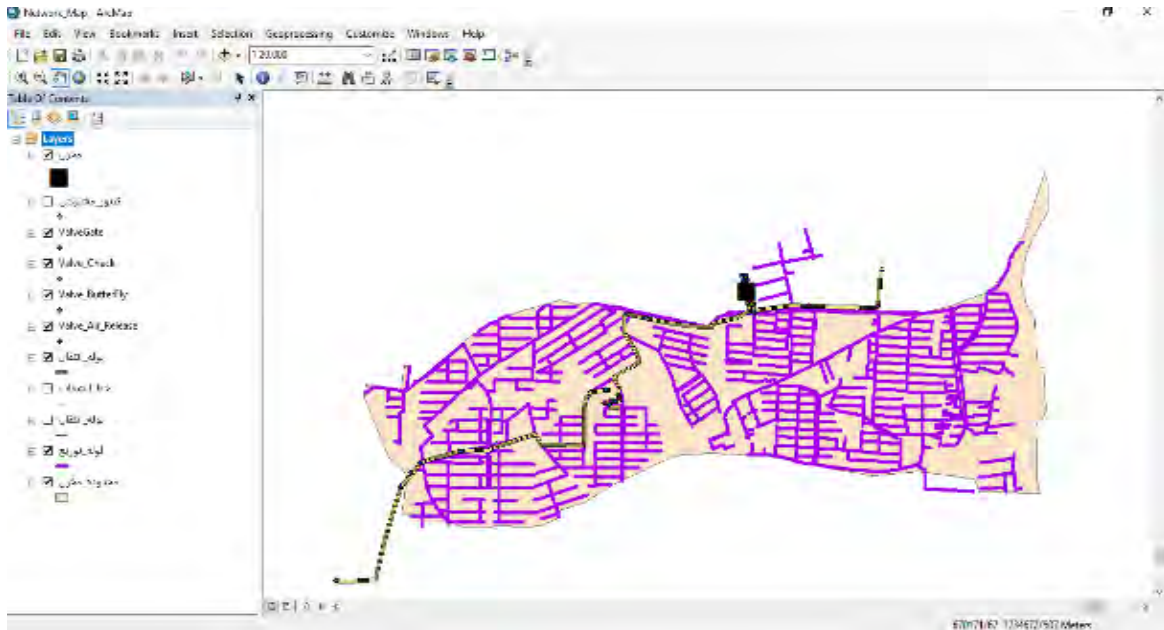
در خصوص مطالعه موردی منطقه ای از شهر تهران را در نظر گرفته که دارای لایه هایی با عناوین خطوط انتقال، مخزن، محدوده مخزن، لوله های توزیع و شیرآلات می باشد. شکل ۲ مربوط به محدوده مخزن موجود در شبکه آبرسانی فرضی می باشد.

تعداد کنتورها را در مقایسه با سطح خدماتی شبکه آب را ممکن نمود [۱۹].

یزدانی با استفاده از معیارهای طیفی و آماری به بررسی آسیب پذیری شبکه آبرسانی پرداخت. در سال ۲۰۱۰ در مقاله ای با عنوان نکته ای برای اندازه گیری آسیب پذیری های شبکه تحت حملات تصادفی و عمدی، به بحث پیرامون تابع آسیب پذیری به وسیله کریادو پرداخته است. وی در این مقاله با بررسی گراف هایی با ساختارها و سایزهای مختلف، نشان داد رابطه مذکور که تابعی نمایی از تعداد رئوس و یال ها و انحراف استاندارد توزیع درجه است، برای نمایش آسیب پذیری گراف های متفاوت، قابل اطمینان نیست. در نهایت روشی جایگزین جهت ارزیابی آسیب پذیری شبکه توزیع آب تحت حملات تصادفی و عمدی ارائه می دهد و بیان می کند، با استفاده از اندازه گیری طیفی و آماری ارزیابی مقاومت شبکه متضاد با آسیب پذیری شبکه های پیچیده، در نظر گرفته می شود و معیارهای طیفی و آماری با در نظر گرفتن جنبه های مختلف از توپولوژیک شبکه، ارزیابی کاملی از آسیب پذیری شبکه را ارائه می دهند [۲۰]. با توجه به مطالعات فوق می توان نتیجه گرفت که تئوری گراف روشی مناسب به منظور ارزیابی شبکه های آبرسانی است با استفاده از نرم افزارهای مختلفی می توان نتایج تحلیل این روش را به منظور درک بهتر ساختار شبکه آبرسانی مدل سازی نمود. از جمله نوآوری های این تحقیق ارائه مدلسازی آسیب پذیری شبکه آبرسانی با استفاده از نرم افزار گفی است.

شاخص های تئوری گراف که به منظور تحلیل در مقاله منتخب گردیده، مرکزیت، درجه گره و ضریب خوشه بندی است چرا که مرکزیت گره معیاری است که با آن میزان اهمیت گره ها تعیین می شود در شبکه آبرسانی نیز تعیین گره ها با اهمیت بیشتر در اولویت است لذا به منظور گره ها با درجه اهمیت بیشتر از این شاخص استفاده گردید. خوشه بندی نیز به منظور دسته بندی اطلاعات و گره ها نقش مفیدی در شبکه آب می تواند ایفا کند و در نهایت درجه گره نیز تعداد ورودی و خروجی هر گره را تعیین می کند و در تعیین ارتباط بین گره ها نقش به سزایی دارد.

پدافند غیرعامل به دنبال کاهش آسیب در نتیجه وقوع تهدیدات در زیرساخت ها و شریان های حیاتی است که از جمله این زیرساخت و می توان گفت از مهمترین این زیرساخت ها شبکه آبرسانی در هر کشور و جامعه است. با استفاده از این سه شاخص منتخب که هر کدام اهمیت، درجه بندی و دسته بندی گره ها و دارایی های شبکه اب را ارائه می دهد می توان گره های مهم و حیاتی را شناسایی نمود و با صرف هزینه و بودجه بیشتر احتمال آسیب آنها را کاهش داد. لازم به ذکر است که با استفاده از این روش و نرم افزار میزان آسیب پذیری شبکه در برابر تهدیدات



شکل ۲- نمای کلی شبکه آبرسانی محدوده مورد مطالعه

۳-۱- نرم افزار GIS

سیستم‌های اطلاعاتی جغرافیایی ابزاری مفید و سودمند برای آنالیزهای آماری و فضایی در مدیریت منابع آب است. بنابراین روش‌های مبتنی بر آنالیزهای چندمعیاره فضایی در محیط GIS برای مدیریت منابع آب شهری توسعه داده شده‌اند [۲۱]. نقشه‌های سیستم معمولاً اسناد مفیدی برای به دست آوردن یک درک کلی از سیستم توزیع آب ارائه می‌دهند چراکه این نقشه‌ها حاوی طیف گسترده‌ای از ویژگی‌های ارزشمند سیستم است. این نقشه‌ها می‌تواند شامل اطلاعاتی به شرح زیر باشند:

- هم‌ترازی لوله، اتصال، مواد، قطر و غیره
- مکان دیگر مؤلفه‌های سیستم، از جمله مخازن و شیرها
- مرزهای منطقه فشار
- ارتفاع
- یادداشت‌ها و ویژگی‌ها برای مخازن
- اطلاعات زمینه‌ای از قبلی مکان جاده‌ها، رودخانه‌ها و برنامه‌ریزی برای آن‌ها
- آب و برق [۲۲]

در این مقاله با استفاده از نرم افزار GIS از لایه‌های اطلاعاتی موجود خروجی اکسل گرفته شده و با نوشتن برنامه درنهایت دوباره داده‌های اکسل را وارد این نرم افزار کرده و سپس نقشه‌های آسیب پذیری شبکه تولید شد.

۳-۲- ادبیات شبکه

گام بعدی ساخت ادبیات شبکه برای انجام آنالیزهای آن می‌باشد. به این منظور نیاز است که با اطلاعاتی که وارد نرم افزار GIS شده بتوان ادبیات شبکه را در GIS شکل داد لذا نیاز به برنامه‌ای

است که از یک الگوریتم پیروی کرده و سپس گره‌ها و لینک‌ها را مورد شناسایی قرار داده و بر این اساس مشخصات گره‌ها و لینک‌ها را به صورت جداگانه برحسب ID دارایی‌ها، *Target*، *Source* با فرمت اکسل به دست بدهد. به این ترتیب دو جدول اکسل حاصل می‌شود که شامل مشخصات توصیفی گره‌ها و لینک‌ها خواهد بود که درنهایت باید بتوان آن‌ها را وارد نرم افزار گفی (Gephi) کرده و سپس توپولوژی شبکه را ایجاد و براین مینا معیارهای کل شبکه را محاسبه کرد.

۳-۳- زبان برنامه نویسی #C

سی شارپ (#C) یک زبان برنامه نویسی شیء‌گرا است که توسط شرکت مایکروسافت ساخته شده و ترکیبی از قابلیت‌های خوب ++C و JAVA است. با استفاده از این زبان، برنامه مورد نیاز برای آنالیز آسیب پذیری شبکه را نوشته و وارد نرم افزار GIS شد.

۳-۴- نرم افزار گفی (Gephi)

گفی ابزاری قدرتمند برای آنالیز شبکه است که ابزارهای زیادی برای آنالیزهای آماری شبکه داده است. نرم افزاری برای کاوش در داده‌ها و اپن سورس است. این نرم افزار می‌تواند بعضی فرمت‌ها همانند *GEXF*، *GDF*، *GML*، *GRAPH ML*، *Pajek NET files* و *UCINET* را بخواند. این نرم افزار هم‌چنین قابلیت خواندن فایل *EXCEL* و *CSV* را نیز دارد. برای وارد کردن داده‌ها به نرم افزار گفی باید ۲ فایل یکی محتوی گره‌ها و ویژگی‌های آن و دیگری محتوی لبه‌ها و ویژگی‌های آن را داشته باشیم. فایل گره‌ها باید حاوی ستون‌هایی بانام‌های *ID* باشد که *ID* هر گره منحصر به خود آن گره است. فایل لبه‌ها

point لایه‌های قبل که به صورت نقطه و خط بودند به عنوان ورودی استفاده شده و آن‌ها را روی هم انداخته شد. سپس با استفاده از کدهای ای کیو ال در نرم افزار *postsq* یک دیتابیس جدید ایجاد شد. در مرحله بعد لایه خطوط و نقطه‌ای که در گام قبلی آماده بود، وارد دیتابیس شد. در نهایت شبکه را تشکیل و داده‌های مربوط به گره‌ها و لینک‌ها از آن استخراج شد. پس از اجرای کدهای *sql* زیر یک شبکه بر اساس لایه خطوط وارد شده ساخته شد. جدول *vertex* نیز در دیتابیس تولید می‌شود که مشخصات نودها را دارد. دو ستون *Source* و *Target* نیز بر اساس مشخصات شبکه تولید می‌شود. در پایان نیز دو جدول فرمت *csv* تولید گردید. پس از استخراج داده‌های دو جدول ستون‌های *label* و ... را بر اساس داده‌های موجود در لایه *spatial join* تکمیل شد. سپس با استفاده از نرم افزار *spatial join* دولاویه مربوط به *points* و لایه *vertex* موجود در دیتابیس ترکیب شد.

پس از اینکه لایه‌های نقطه‌ای و خطی را روی هم انداخته و از دیتابیس خروجی گرفته شد شبکه مورد مطالعه به صورت شکل ۳ نمایش داده شد:



شکل ۳- نمای کلی شبکه آبرسانی تحت مطالعه

نیز باید محتوی ستون *Source* و *Target* باشد که محتوی این است که از *id* های گره آغاز و به گره دیگر ختم می‌شود. به این ترتیب با وارد کردن این فایل‌ها در نهایت شبکه‌ای را تشکیل می‌دهد. و می‌توان شاخص‌های شبکه را با استفاده از این نرم افزار محاسبه کرد [۲۳].

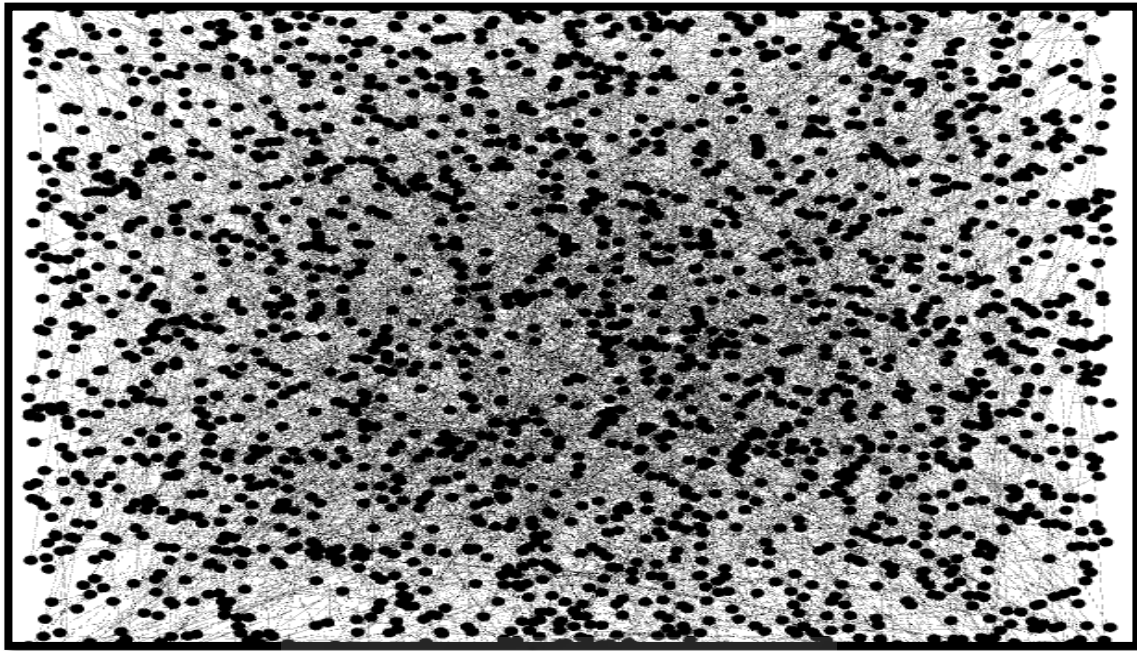
از جمله شاخص‌های این شبکه می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- مرکزیت
- میانگین درجه
- میانگین طول مسیر
- قطر
- ضریب خوشه بندی
- آنتروپی

۳-۴- بحث و نتایج

به منظور تحلیل شبکه آبرسانی ابتدا لایه‌های *GIS* منطقه مورد مطالعه را با استفاده از ابزار *merge* نرم افزار *RAMCAP* به تلفیق داده‌های نقاط و خطوط کرده تا همگی به یک لایه واحد تبدیل شوند. در این مرحله دولاویه اصلی *Point* و *Line* استخراج شد. در گام بعدی با استفاده از ابزار *split line at*

پس از این مرحله مشخصات ستون *type* که مربوط به نودهاست را نگه داشته و باقی ستون‌ها حذف گردید. این ستون به فایل *csv* اضافه شده و بر اساس آن *label* را ایجاد شد. در انتها دو فایل *csv* به نرم افزار گفی افزوده و در نهایت توپولوژی شبکه به صورت شکل ۴ ارائه شد.



شکل ۴- توپولوژی شبکه آبرسانی منطقه مورد مطالعه

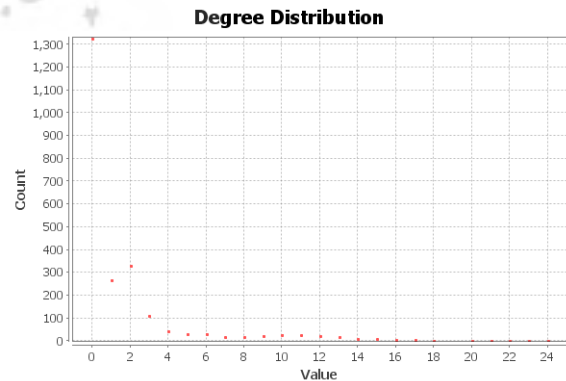
پرداخته شد سپس آنترپوی آن محاسبه گردید. شکل ۶- فراوانی درجه شبکه مورد مطالعه را نشان می دهد.

۴-۱- محاسبه شاخص های شبکه

پس از اینکه از لایه های GIS خروجی گرفته و آن ها را به صورت جدول مشخصات توصیفی اکسل با فرمت CSV ایجاد کرده و به نرم افزار گفی وارد گردید، حال نوبت محاسبه شاخص های مربوط به شبکه می شود. در این مرحله تک تک شاخص های موجود در شبکه را با استفاده از گزینه ها موجود در گفی ران کرده که خلاصه نتایج آن به شرح زیر می باشد:

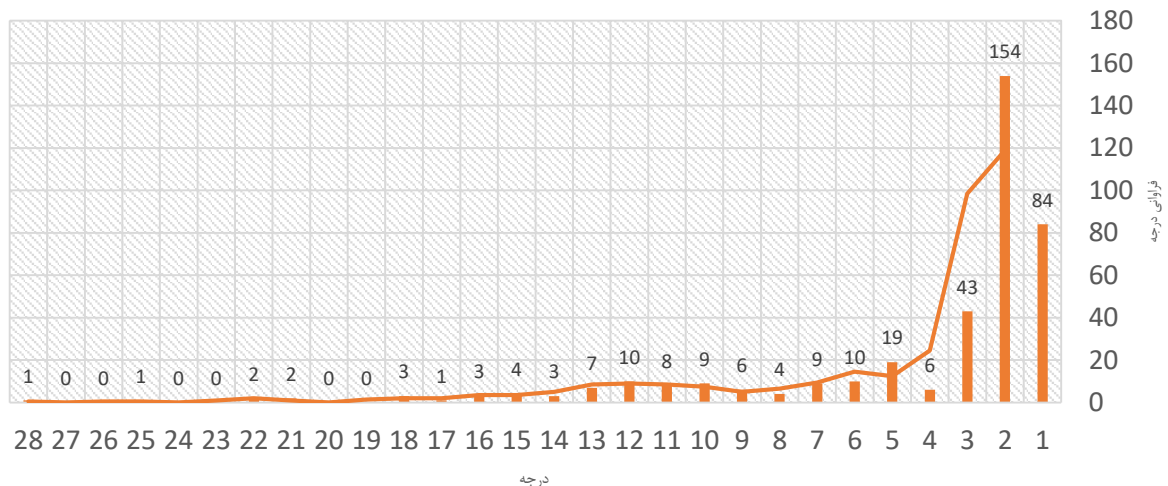
اولین شاخصی که اقدام به محاسبه آن شد شاخص میانگین درجه بود که مقدار آن ۰٫۸۴۴ محاسبه شد. درجه با آسیب پذیری ارتباط مستقیمی دارد به این صورت که هرچه درجه بیشتر باشد آسیب پذیری نیز بیشتر می شود. که نمودار آن به صورت شکل ۵ حاصل آمد:

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
رتال جامع علوم انسانی



شکل ۵- درجه شبکه مورد مطالعه

در این راستا برای میانگین درجه وزن داده شده نیز مقدار ۰٫۸۴۴ به دست آمد. در گام بعدی پس از اینکه به محاسبه درجه شبکه

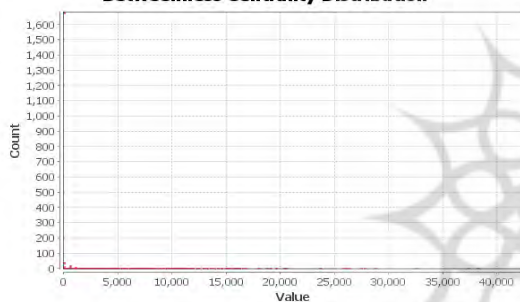


شکل ۶- فراوانی درجه شبکه

Results:

Diameter: 27
Radius: 0
Average Path length: 8.07594034695325

Betweenness Centrality Distribution



شکل ۷- نمودار قطر شبکه

قطر شبکه در حیطه شبکه‌های رگولار دسته‌بندی می‌شود و از این جهت رفتار شبکه‌های منظم را نشان دهد. شاخص بعدی را تراکم شبکه تشکیل می‌دهد و تراکم شبکه با میزان آسیب‌پذیری ارتباط معکوس دارند پس هرچه میزان تراکم بیشتر باشد آسیب‌پذیری کمتر است و در اینجا نیز میزان تراکم برای شبکه مقدار ۰,۰۰۱ حاصل شد به این معنی که از لحاظ تراکم شبکه در رنج آسیب‌پذیری‌های پایین دسته‌بندی می‌شود. هاب در شبکه به گرهی با بیشترین درجه را می‌گویند. هرچه میزان هاب بزرگ‌تر باشد آسیب‌پذیری شبکه بیشتر است پس بین آنان ارتباط مستقیمی وجود دارد. در شبکه مورد مطالعه میزان هاب در شکل ۸ مشخص شده است:

همان‌گونه که مشخص است دانسیته یا همان چگالی گراف مورد مطالعه حدوداً ۱,۱ درصد می‌باشد که فاصله بسیار زیادی تا گراف کامل داشته و از لحاظ تکامل با گراف کامل که سمبل یک گراف منظم است، فاصله معنی‌داری دارد. با محاسبه انجام‌شده مطابق با فرمول ذیل آن‌تروپی شبکه برای شبکه مورد مطالعه ۲,۹۵ می‌باشد.

$$I(G) = - \sum_{i=1}^{\max_d} h_i (\log_2(h_i)), \text{ where } g' = [h_1, h_2, \dots, h_{\max_d}]$$

این رقم اگرچه به ۳,۵ که معیار آن‌تروپی شبکه‌های تصادفی نزدیک می‌باشد ولی به هر صورت دارای فاصله معناداری از آن نیز می‌باشد. همین امر باعث می‌گردد شبکه با بررسی برخی شاخص‌ها رفتار منظم و به ازای برخی شاخص‌ها رفتار تصادفی نشان می‌دهد. در گام بعدی قطر شبکه محاسبه گردید. قبلاً بیان شد که قطر با آسیب‌پذیری شبکه همانند درجه شبکه ارتباط مستقیم دارد. هرچه میزان قطر شبکه بیشتر باشد در نتیجه میزان آسیب‌پذیری شبکه نیز افزایش خواهد یافت. مقدار قطر برای شبکه آبرسانی عدد ۲۷ را نشان می‌دهد که این عدد نشان‌دهنده آسیب‌پذیری بسیار بالای شبکه می‌باشد و شبکه در رنج‌های بسیار آسیب‌پذیر دسته‌بندی می‌شود. قطر شبکه به صورت شکل ۷- حاصل شد.

شکل ۹- modularity شبکه

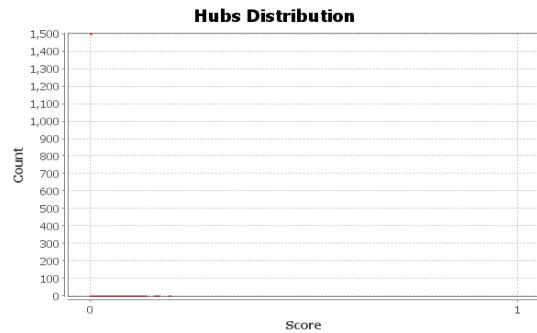
در شبکه‌ای با N نود و L لینک که به NC اجتماع تقسیم شده، و هر اجتماع شامل NC نود و LC لینک است اگر LC بزرگ‌تر از مقدار انتظاری لینک‌های بین نودهای این اجتماع باشد می‌توان گفت اجتماع درستی انتخاب شده است. در واقع هر چقدر این مقدار بزرگ‌تر باشد خوشه‌بندی انجام شده در شبکه بهتر است اگر کل شبکه را به عنوان یک اجتماع در نظر گرفته شود مقدار $MODULARITY$ عدد صفر حاصل می‌شود. اگر هر نود را در یک اجتماع جدا گذاشته شود LC صفر دست می‌آید و این شاخص منفی می‌شود. از $modularity$ می‌توان در روش‌های تشخیص اجتماعات استفاده کرد تا بهترین خوشه‌بندی را برگزید که بر پایه چند الگوریتم تشخیص اجتماعات است.

ضریب خوشه‌بندی گره به تعداد گره‌های اطراف یک گره گفته می‌شود در نتیجه برای اینکه ضریب خوشه‌بندی شبکه محاسبه گردد باید میانگین ضریب خوشه‌بندی تمام گره‌های شبکه را محاسبه کرد. در مورد شبکه آبرسانی تحت مطالعه میانگین ضریب خوشه‌بندی مقدار $0,002$ به دست آمده است و از طرفی ضریب خوشه‌بندی با آسیب‌پذیری ارتباط معکوس دارد. هر چه میزان ضریب خوشه‌بندی کمتر باشد آسیب‌پذیری شبکه بالاتر است. در اینجا نیز میزان خوشه‌بندی شبکه $0,002$ حاصل شد که جز دسته شبکه‌های تصادفی قرار می‌گیرد. شکل ۱۰ - فراوانی ضریب خوشه‌بندی برای شبکه تحت مطالعه را نشان می‌دهد.

Parameters:

$E = 1.0E-4$

Results:

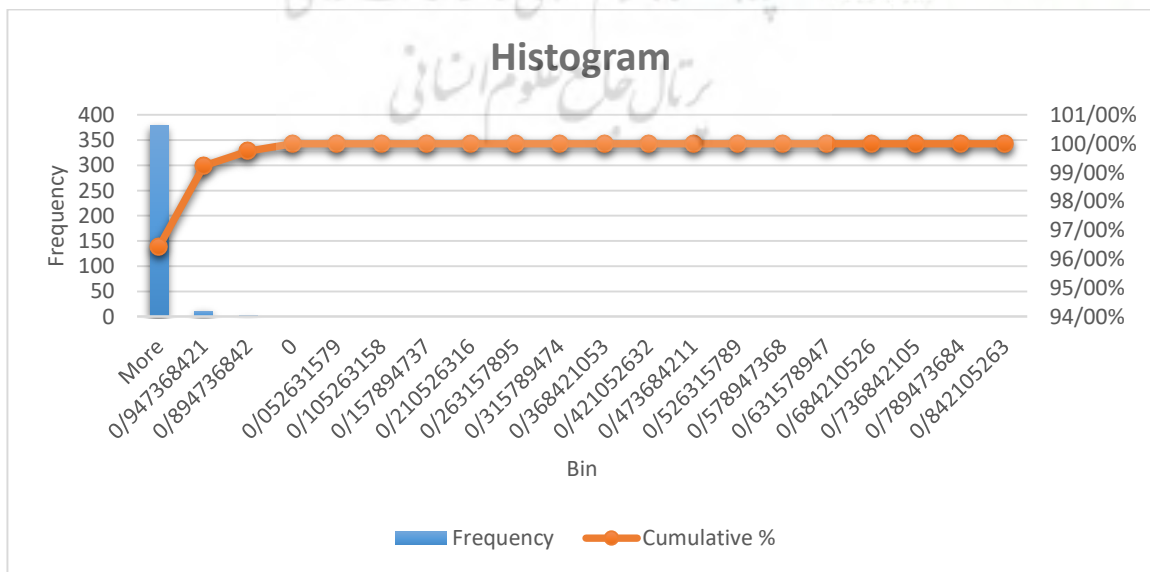
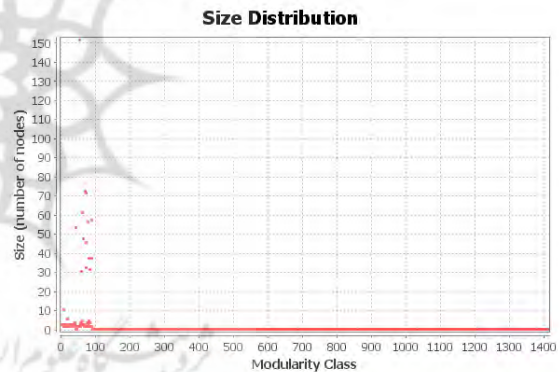


شکل ۸- هاب شبکه مورد مطالعه

طبق تعریف هاب، در شبکه هاب به گره‌ای با بیشترین میزان درجه گفته می‌شود که در مورد شبکه ما میزان این شاخص برای شبکه مورد مطالعه ۲۸ حاصل شد که از این جهت شبکه در نزدیکی دسته شبکه‌های آزاد مقیاس رتبه‌بندی شد. $Modularity$ شبکه مقدار $0,51$ را به خود اختصاص داد و نمودار آن به شکل ۹- است:

Results:

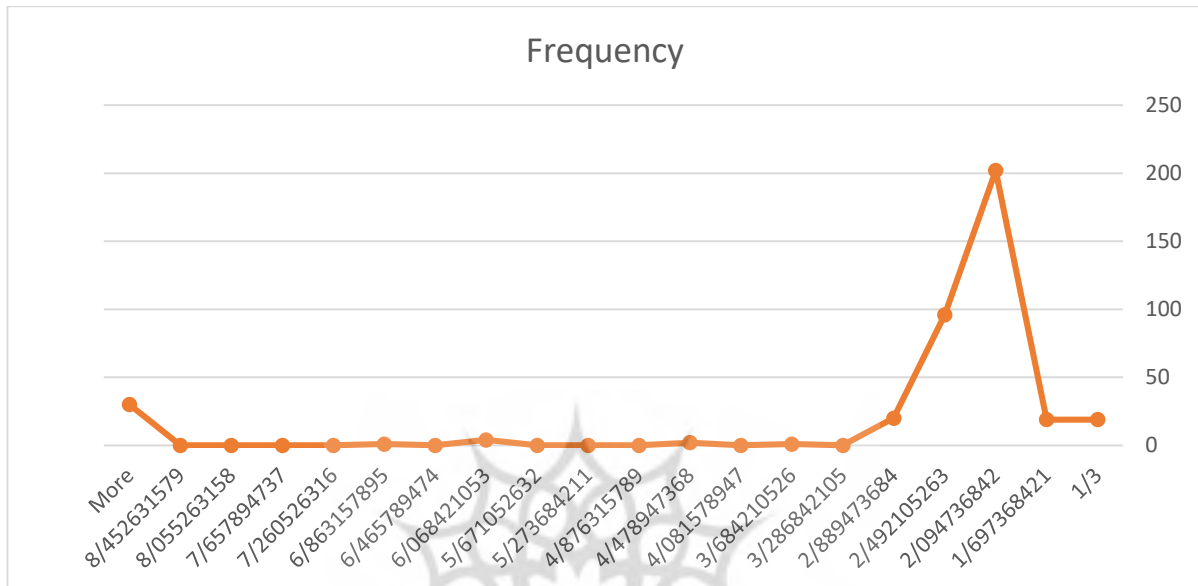
Modularity: 0.519
Modularity with resolution: 0.519
Number of Communities: 1415



شکل ۱۰- فراوانی ضریب خوشه‌بندی

و در حقیقت مرکزیت شبکه با میزان آسیب پذیری آن ارتباط مستقیم دارد. برای شبکه مورد مطالعه ما مقدار مرکزیت ۰,۱۱۳ حاصل شد. شکل ۱۱ فراوانی مقدار مرکزیت برای گره های مورد مطالعه را نشان می دهد.

بعد از نرمال کردن داده های ضریب خوشه بندی مشاهده می گردد ضریب خوشه بندی عددی بین صفر تا یک است. که در این مطالعه بیشتر اعداد رنج یک را دارند به این معنی که آسیب پذیری آن ها بالاست (شکل ۱۰). مرکزیت شاخص دیگری است که برای تحلیل شبکه کاربرد دارد. مرکزیت یک گره نشان دهنده میزان ارتباط گره با سایر گره هاست



شکل ۱۱- فراوانی مقادیر مرکزیت گره ها

مقدار میانگین طول مسیر برای شبکه مورد مطالعه در نزدیکی شبکه های جهان کوچک و رگولار است در موضعی بینابین آن ها قرار می گیرد. به این معنی که از لحاظ بعضی شاخص ها همانند شبکه های رگولار و در بعضی شاخص ها همانند شبکه های جهان کوچک رفتار خواهد کرد.

نتیجه محاسبه این شاخص ها به صورت جدول ۱ ارائه شد:

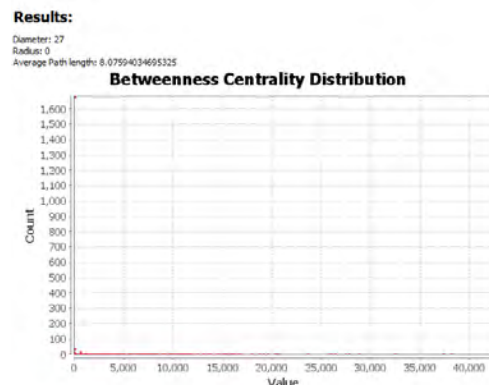
جدول ۱- شاخص های محاسبه شده شبکه

معیارهای شبکه	
<i>Average degree</i>	۰,۸۴۴
<i>Average weighted degree</i>	۰,۸۴۴
<i>Diameter</i>	۲۷
<i>Centrality</i>	۰,۱۱۳
<i>Modularity</i>	۰,۵۱
<i>Average path length</i>	۸,۰۷۶
<i>Average clustering coefficient</i>	۰,۰۰۲
<i>Density</i>	۰,۰۰۱

حال که شاخص های شبکه را محاسبه گردید باید عدد آسیب پذیری شبکه را محاسبه کرد. برای این کار تنها سه پارامتر ضریب خوشه بندی، مرکزیت و درجه شبکه را در یکدیگر ضرب کرده و سپس از آن میانگین هندسی گرفته و در نتیجه عدد حاصل را به عنوان عدد آسیب پذیری شبکه یا Vn در نظر گرفته

همان طور که از نمودار (شکل ۱۱) دریافت می شود بیشتر گره های مقدار مرکزیتشان حدوداً ۲ است.

آخرین معیاری که در اینجا محاسبه می گردد میانگین طول مسیر است. طول مسیر برابر با تعداد لینک هایی که بین گره شروع و پایان قرار می گیرند می باشد و میانگین طول مسیر میانگین همه مسیرها بین این دو گره می باشد. میانگین طول مسیر با آسیب پذیری ارتباط معکوس دارد به این معنی که با افزایش تعداد مسیرها بین گره های ابتدایی و آغازین از میزان آسیب پذیری شبکه کاسته می شود. میانگین طول مسیر برای شبکه مقدار ۸,۰۷۶ به دست آمده است. که نمودار آن به صورت شکل ۱۲ است:



شکل ۱۲- میانگین طول مسیر در شبکه تحت مطالعه

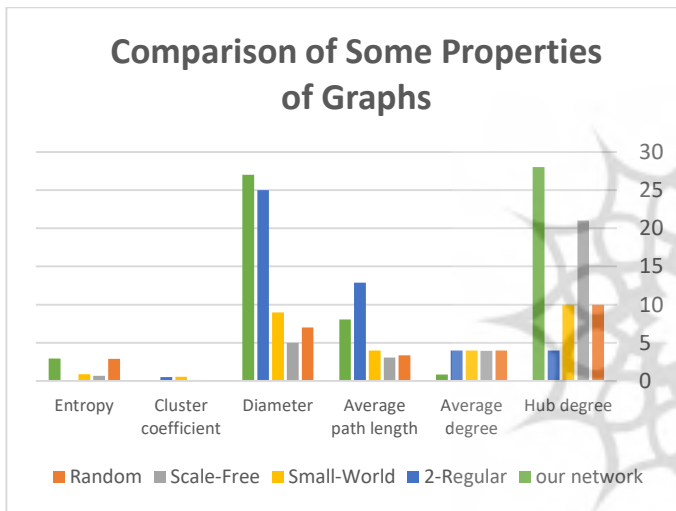
تحلیل آسیب پذیری شبکه آبرسانی به روش تئوری گراف

ارزش زیادی می‌شود و این امر موجب می‌شود که آن گره مورد حمله واقع شود که این امر در جدول ۳ کاملاً قابل مشاهده است.

جدول ۳- میزان اثر پارامترهای شبکه

severity	type of network	value	Comparison of Some Properties of Graphs	ID
خطر زیاد	Scale-Free	28	Hub degree	1
خطر کم	Scale-Free	0/844	Average degree	2
زیاد	2-Regular	8/076	Average path length	3
خطر زیاد	2-Regular	27	Diameter	4
خطر کم	Random	0/002	Cluster coefficient	5
خطر زیاد	Random	2/94	Entropy	6

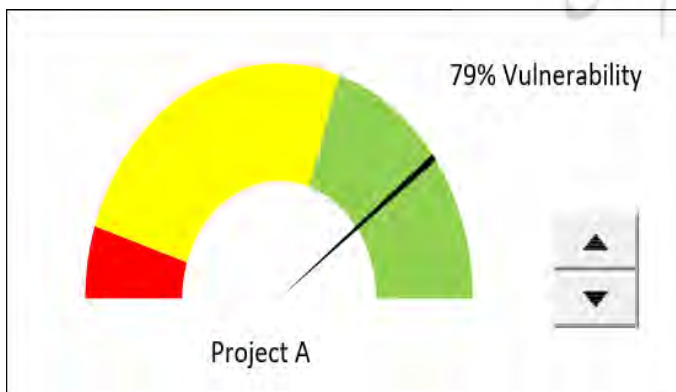
شکل ۱۳، مقیاس‌های شبکه را در برابر سایر شبکه‌های گراف نشان می‌دهد:



شکل ۱۳- نمودار میله‌ای مقایسه شاخص‌های شبکه

مورد مطالعه با سایر شبکه‌های گراف

بصورت شماتیک نمای کلی میزان آسیب‌پذیری شبکه به صورت شکل ۱۴ حاصل گردید:



شکل ۱۴- آسیب‌پذیری کلی شبکه

۳-۴- تحلیل گره‌ها

در گام بعدی هدف این بود که بتوان سهم آسیب‌پذیری هر گره

می‌شود. از آنجایی که ضریب خوشه‌بندی با آسیب‌پذیری رابطه عکس دارد در نتیجه برای به دست آوردن آسیب‌پذیری شبکه باید عدد خوشه‌بندی را از ۱ کسر کرده و مقدار را در هم ضرب کرد.

$$Vn = 1 + GA(CLi \times Cci \times Di)$$

$$Vn = 1.356$$

در نتیجه مقدار آسیب‌پذیری شبکه یعنی مقدار Vn مقدار ۰,۳۵۶ به دست آمد.

۲-۴- شابلون آسیب‌پذیری شبکه

در این بخش نیاز است که دانست عدد آسیب‌پذیری به دست آمده در رنج آسیب‌پذیری بالا یا در رنج آسیب‌پذیری پایین محاسبه می‌شود. به این منظور بر اساس شاخص‌های استاندارد موجود شابلونی را طراحی کرده و با جایگذاری اعداد به دست آمده در شابلون، تعیین گردد که از لحاظ هر پارامتر شبکه در کدام دسته از شبکه‌های گراف قرار می‌گیرد. با جایگذاری و مقایسه پارامترها نتیجه نهایی شابلون آسیب‌پذیری به صورت جدول ۲ ارائه شد.

جدول ۲- مقایسه معیارهای شبکه با استانداردها

our network	2-Regular	Small-World	Scale-Free	Random	Comparison of Some Properties of Graphs
28	4	10	21	10	Hub degree
0/844	4	4	3/94	4	Average degree
8/076	12/88	4	3/08	3/38	Average path length
27	25	9	5	7	Diameter
0/002	0/5	0/544	0/156	0/045	Cluster coefficient
2/94	0	0/9	2/3	2/9	Entropy

از مقایسه پارامترهای بالا در جدول دریافت می‌شود که از نظر شاخص *Hub* شبکه مورد مطالعه در رنج شبکه‌های آزاد مقیاس قرار گرفته است. توزیع درجه در این شبکه‌ها از توزیع توانی پیروی می‌کند. درجه بدیهی‌ترین معیار مرکزیت یک گره است. هرچه درجه رأس بیشتر باشد یعنی به گره‌های بیشتری متصل است و در جریان احتمالی داده‌ها در سایر گره‌ها مؤثرتر واقع می‌شود. متداول‌ترین حمله به شبکه‌ها، حمله به رأس با بیشترین درجه است. میانگین طول مسیر شبکه در رنج شبکه‌های منظم قرار گرفت به این معنی فاصله بین اولین تا آخرین گره تقریباً زیاد است و از این جهت آسیب‌پذیری شبکه را بالا می‌برد. ضریب خوشه‌بندی میزان تمایل گره به ارتباط با سایر گره‌هاست. در نتیجه هرچه مدار ضریب خوشه‌بندی پایین‌تر باشد میزان آسیب‌پذیری شبکه را افزایش خواهد داد. با افزایش درجه گره که میزان آسیب‌پذیری افزایش می‌یابد ممکن است گره‌ای در شبکه باشد که دارای درجه پایین باشد به خودی خود دارای اهمیت پایینی است اما به دلیل همسایگی با گره‌ی با درجه زیاد پل ارتباطی بین سایر گره‌هاست در نتیجه میزان درجه گره اهمیت خود را از دست می‌دهد اما به دلیل مجاورتش دارای

در شبکه تحت مطالعه ماکزیمم درجه ۲۸ است که بسیار زیاد است در نتیجه شبکه را بسیار آسیب پذیرتر می سازد.

جدول ۴- گره‌ها با بیشترین میزان درجه در شبکه

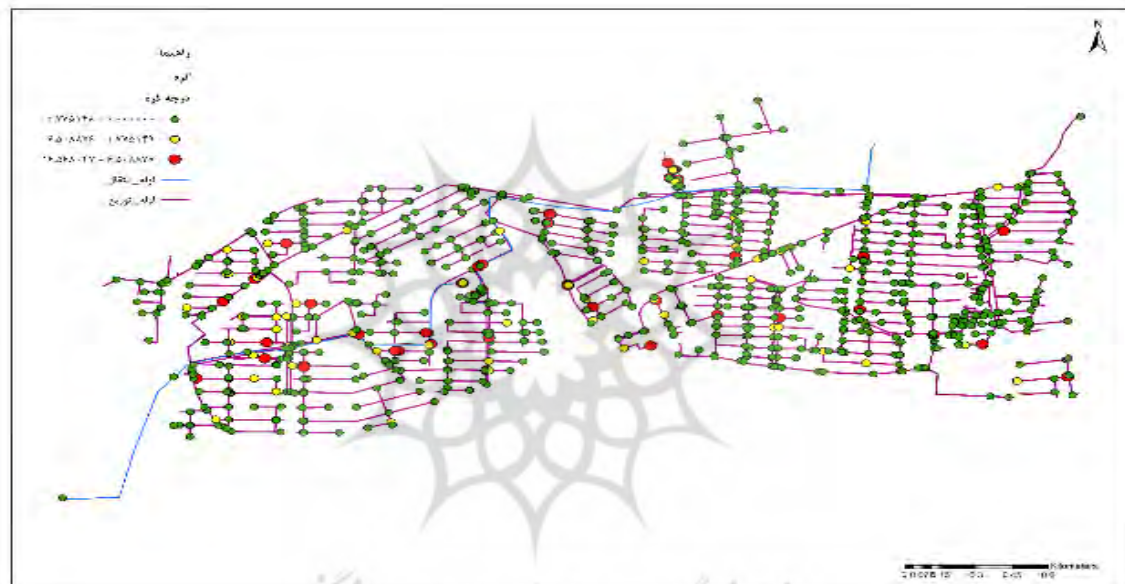
parameter	id	label	value	Explanation
max degree	721	D-484	28	درجه بالا نشان دهنده اتصال زیاد است و در صورتی که گره دارای درجه بالایی باشد از لحاظ آسیب پذیری در سطح بالایی قرار دارد.
	511	D-449	25	
	21	VBF-67	23	
	711	D-820	22	
	821	D-321	22	
	621	D-293	21	
	811	D-372	21	
	61	VBF-57	18	
	211	D-846	18	
	671	D-382	18	

این امر می تواند بر میزان آسیب پذیری شبکه تأثیر بسزایی داشته باشد. شکل ۱۵ نشان دهنده پهنه بندی میزان درجه در کل شبکه تحت مطالعه است.

در کل شبکه را محاسبه کرد به این منظور نیاز بود تا سه پارامتر هر گره یعنی ضریب خوشه بندی، میانگین درجه و مرکزیت هر گره نیز مطابق با آسیب پذیری شبکه در یکدیگر ضرب شود تا عدد آسیب پذیری شبکه ای هر گره محاسبه شود. به این منظور به تحلیل سه شاخص ضریب خوشه بندی، درجه گره و مرکزیت گره‌ها پرداخته شد.

تحلیل درجه گره

درجه گره با میزان آسیب پذیری شبکه ارتباط مستقیم دارد، با افزایش درجه گره میزان آسیب پذیری در شبکه نیز افزایش می یابد چراکه گره های دارای درجه بالا اهداف مناسب تری برای حملات هستند. نحوه توزیع درجه گره در یک شبکه نقشه مهمی در میزان استحکام آن در مقابل حملات هدمند دارد. هرچه میزان درجه گره زیادتر باشد آسیب پذیرتر است در نتیجه



شکل ۱۵- نقشه بندی میزان درجه گره‌ها و سهم آنان در آسیب پذیری شبکه

جدول ۵- گره‌ها با بیشترین میزان مرکزیت در شبکه

rank	parameter	id	label	value	Explanation
1	Max Centrality	4	WAR-23	8/5	مرکزیت بالا نشان دهنده ارتباط زیاد بوده و در صورتی که گره دارای ضریب خوشه پایین نیز باشد گره باید از لحاظ آسیب پذیری بررسی گردد.
2		27	VG-85	8/5	
3		49	VG-95	8/5	
4		58	VG-83	8/5	
5		60	VG-96	8/5	
6		87	VG-98	8/5	
7		128	VC-79	8/5	
8		256	C-125	8/5	
9		463	D-289	8/5	
10		497	D-419	8/5	

اگر رنج مرکزیت را از ۱ تا ۱۰ در نظر گرفته، مقداری از گره های شبکه با اختصاص دادن مقدار ۸٫۵ تقریباً در رنج گره‌ها با مرکزیت بالا هستند اما اکثر گره های شبکه در حد وسط یعنی مرکزیت ۵ هستند. بنابراین شبکه مستعد آسیب پذیری است و از این لحاظ باید مورد ارزیابی و مستحکم سازی قرار گیرد. شکل ۱۶ نمایانگر گره‌ها با مرکزیت های مختلف است.

همان طور که از شکل ۱۵ دریافت می شود بیشتر میزان درجه‌ها دارای درجه کم هستند که این امر برای استحکام شبکه حائز اهمیت است. نقاط قرمز رنگ نشان دهنده گره‌ها با درجات بالا می باشد که شبکه را آسیب پذیرتر می سازد و نقاط زرد رنگ گره با درجه متوسط و نقاط سبز رنگ گره‌ها با درجه پایین می باشد.

تحلیل مرکزیت گره

گره‌ها با مرکزیت زیاد، گره‌های مهمی محسوب می شوند و نقش زیادی در کارکرد درست شبکه‌های پیچیده دارند و همین امر موجب شده تا گره‌ها با مرکزیت زیاد گره‌هایی آسیب پذیر محسوب شوند و از آنجایی که مرکزیت با آسیب پذیری رابطه مستقیمی دارد با افزایش یکی دیگری نیز افزایش پیدا می کند. مرکزیت بالا نشان دهنده ارتباط زیاد بین اجزا است. جدول ۵ نشان دهنده ۱۰ گره با بیشترین میزان مرکزیت در شبکه‌اند.



شکل ۱۶- پراکندگی گره‌های شبکه با درجات مختلف مرکزیت

شکل ۱۶- مرکزیت گره‌های شبکه را نشان می‌دهد. در نقشه فوق نقاط قرمز نشان‌دهنده گره‌ها با مرکزیت بالا، نقاط زرد رنگ نشان‌دهنده گره با مرکزیت متوسط و نقاط سبز رنگ نشان‌دهنده گره‌های شبکه با میزان مرکزیت پایین است. لازم به ذکر است که گره‌های قرمز رنگ آسیب‌پذیرترین گره‌ها می‌باشند.

شکل ۱۶- مرکزیت گره‌های شبکه را نشان می‌دهد. در نقشه فوق نقاط قرمز نشان‌دهنده گره‌ها با مرکزیت بالا، نقاط زرد رنگ نشان‌دهنده گره با مرکزیت متوسط و نقاط سبز رنگ نشان‌دهنده گره‌های شبکه با میزان مرکزیت پایین است. لازم به ذکر است که گره‌های قرمز رنگ آسیب‌پذیرترین گره‌ها می‌باشند.

تحلیل ضریب خوشه‌بندی گره

خوشه‌بندی با آسیب‌پذیری ارتباط معکوس داشت به این معنی که هرچه ضریب خوشه‌بندی بالا باشد آسیب‌پذیری در سطح پایینی ارزیابی می‌شود. جدول زیر نشان‌دهنده گره‌ها با بیشترین میزان ضریب خوشه‌بندی می‌باشند. جدول ۶- گره‌ها با بیشترین میزان خوشه‌بندی را نشان می‌دهد.

جدول ۶- گره‌ها با بیشترین میزان خوشه‌بندی در شبکه

paramet	id	label	value	Explanation
Max Cluster coefficient	809	D-394	1	ضریب خوشه‌بندی نشان‌دهنده میزان خوشه‌ها در اطراف گره است و در صورتی که ضریب خوشه‌بندی بالا باشد آسیب‌پذیری در سطح پایینی ارزیابی می‌شود.
	610	D-517	0/11	
	910	D-204	0/11	
	572	D-533	0/1	
	632	D-522	0/1	
	732	D-461	0/1	
	932	D-331	0/1	
	942	D-405	0/1	
	913	D-205	0/083	
	514	D-428	0/072	

برای راحتی محاسبات ضریب خوشه‌بندی را از یک کم کرده در نهایت اثر خوشه‌بندی به صورت مستقیم اثرگذار شد. خوشه‌بندی به تعداد گره‌های اطراف یک گره گفته شد. در نتیجه در شبکه رنج آن را بین ۰ تا ۱ در نظر گرفته و بر این مبنا بیشتر گره‌ها عدد ۱ را به خود اختصاص دادند به این معنی که از لحاظ خوشه‌بندی شبکه به شدت آسیب‌پذیر است. نمای کلی



شکل ۱۷- گره‌ها با بیشترین میزان خوشه بندی در شبکه

بسیار زیاد است. با حاصل ضرب پارامترهای مورد مطالعه در یک دگر در نهایت میزان آسیب پذیری شبکه مورد مطالعه حاصل خواهد گردید. و نتیجه میزان آسیب پذیری شبکه‌ای در کل شبکه تحت مطالعه به صورت شکل ۱۸ حاصل شد.

همان طور که از شکل ۱۷ نیز قابل درک است بیشتر گره‌ها دارای ضریب خوشه بندی ۱ و در نتیجه میزان خوشه بندی در رنج زیاد قرار گرفت و از آنجایی که اثر معکوس آنرا به مستقیم تبدیل کرده به همان میزان که خوشه بندی زیاد باشد آسیب پذیری شبکه نیز



شکل ۱۸- آسیب پذیری شبکه‌ای در شبکه تحت مطالعه

۴. نتیجه گیری

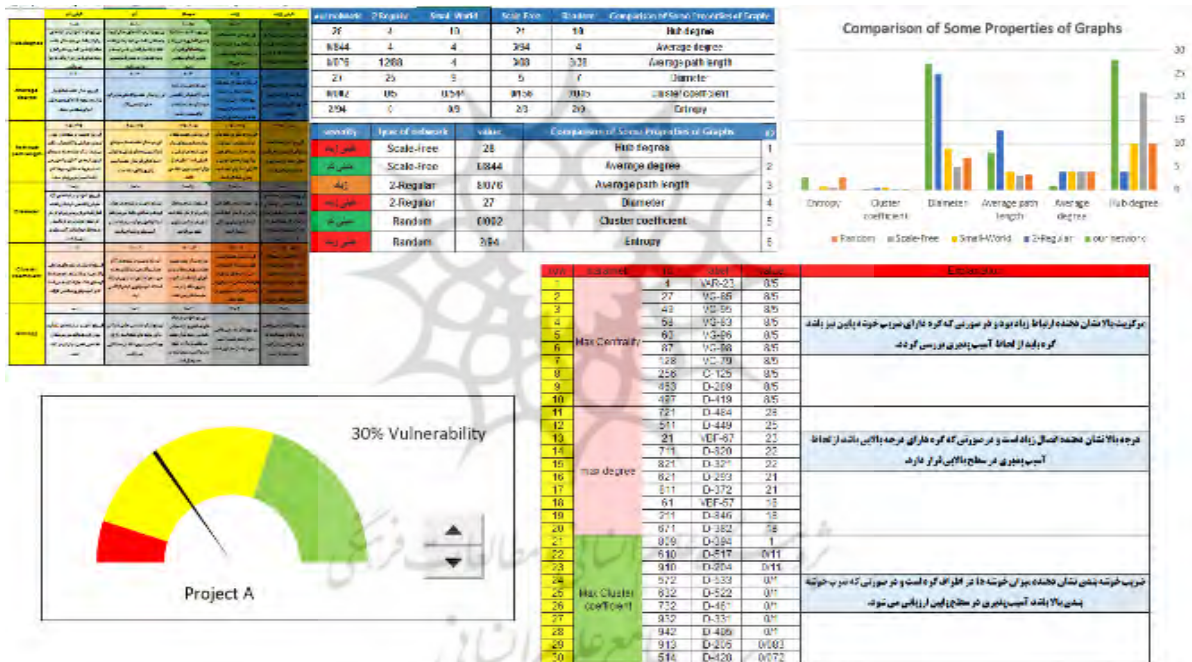
تئوری گراف روشی بر مبنای ریاضیات است که بر پایه آن می توان میزان آسیب پذیری و عدم قطعیت ها را در شبکه محاسبه نمود. شبکه مورد مطالعه بخشی از شبکه آبرسانی تهران بود که میزان آسیب پذیری آن را با استفاده از گراف تعیین شد. پارامترهای

نقاط قرمز رنگ دارای حداکثر میزان آسیب پذیری، نقاط زرد رنگ نشان دهنده گره‌ها با میزان آسیب پذیری متوسط و در نهایت نقاط سبز رنگ گره‌هایی با کمترین میزان آسیب پذیری هستند. همان طور که از نقشه بالا دریافت می شود بر اساس اعداد به دست آمده آسیب پذیری شبکه بالاست.

تحلیل آسیب پذیری شبکه آبرسانی به روش تئوری گراف

شبکه در نظر گرفته شد و در نتیجه آسیب پذیری شبکه‌ای برای گره‌ها حاصل ضرب این سه معیار در یکدیگر حاصل گردید. با انجام این عملیات آسیب پذیری شبکه مورد مطالعه با استفاده از پارامترهای تحلیل شبکه همچون مرکزیت، درجه گره و ضریب خوشه بندی در سطح بالایی ارزیابی گردید. به این منظور برای تداوم عملکرد این شبکه آب رسانی باید تمهیدات ویژه‌ای را برای استمرار عملکرد زیرساخت آب داشت. از جمله این راهکارها می توان پراکنده سازی دارایی های شبکه و یا موازی سازی دارایی های مهم را مد نظر داشت. با صرف هزینه بیشتر و موازی سازی دارایی ها با اهمیت بالا ، پشتوانه ای را برای این دارایی ها در نظر گرفته که تا زمان بروز بحران وارد مدار گردند. از جمله نوآوری که در این پژوهش صورت گرفت ارائه شابلون آسیب پذیری و تحلیل شبکه بود که بصورت شکل ۱۹ حاصل شد:

بسیاری در تئوری گراف موثر است که از جمله آنها میانگین درجه، میانگین طول مسیر، درجه گره، مرکزیت و ... می باشد. مرکزیت و درجه گره با میزان آسیب پذیری ارتباط مستقیمی دارد به این معنی که با افزایش درجه گره و مرکزیت آن میزان آسیب پذیری شبکه افزایش می یابد. در خصوص شبکه آبرسانی مورد مطالعه در این پژوهش از آنجایی که درجه گره و مرکزیت آن زیاد است یعنی تمرکز دارایی ها در یک نقطه زیاد بوده و این موضوع آسیب پذیری آن را افزایش می دهد. همچنین مشخص گردید که آسیب پذیری شبکه با ضریب خوشه بندی ارتباط معکوس دارد. همان گونه نتیجه گرفته شد در این میان ضریب خوشه بندی شبکه مورد مطالعه بسیار پایین است در نتیجه میزان آسیب پذیری شبکه مورد مطالعه بالاست و برای سایر معیارها نیز آسیب پذیری متوسطی حاصل آمد. بطور کلی با ترکیب سه معیار ضریب خوشه بندی، مرکزیت و درجه گره به عنوان معیارهای انتخابی به عنوان پارامترهای آسیب پذیری



شکل ۱۹- شابلون شبکه تحت مطالعه

آسیب پذیری را شناسایی و با تخصیص بهینه بودجه به این نقاط کمترین میزان خسارات ممکن را در شبکه آب داشت. پس می توان دریافت که تئوری گراف روش خوبی برای ارزیابی آسیب پذیری در زیرساخت‌ها به حساب می آید. با استفاده از این روش می توان دارایی‌های حیاتی در شبکه را مورد شناسایی قرارداد. به منظور مدیریت بحران شهر تهران لازم است با توجه به نتیجه ای که از توپولوژی این شبکه آب حاصل گردید، نقاط آسیب پذیر شبکه های مورد مطالعه تعیین و میزان اهمیت آنها را مورد بررسی قرار داد. برای گره هایی که نقش حیاتی دارند و عملکرد کلیدی را در شهر ایفا می کنند مسیر و یا گره جایگزینی

در شابلون بالا رنج مقیاس‌های استاندارد شبکه‌ها را قرار داده و به این ترتیب هر شاخص از لحاظ قرار گرفتن در شبکه‌های آزاد مقیاس، جهان کوچک، تصادفی و منظم بررسی شد. به این ترتیب با امتیازی که هر شبکه در هر شاخص کسب کرد آن را در دسته مربوطه قرار داده و از این جهت بررسی شد که شبکه در کدام حیطة قرار می گیرد و چه رفتارهایی را از خود نشان می دهد. پس از آن ۱۰ گره با بیشترین میزان درجه و مرکزیت و خوشه-بندی را مشخص و در نهایت از جمع کل آن‌ها میزان آسیب-پذیری شبکه بصورت نمودار نشان داده شد. در گام آخر نقشه میزان آسیب‌پذیری کل شبکه حاصل شد که با استفاده از این نقشه می توان نقاط بسیار حساس تر و

سه جنبه قابل عنوان است.

۱- نرم افزار گفی ، نرم افزاری در جهت تحلیل شبکه های اجتماعی بوده و به همین منظور توسعه داده شده است اما در این پژوهش این نرم افزار برای نخستین بار در تحلیل آسیب پذیری زیرساخت ها بکار گرفته شد.

۲- در مطالعات پیشین تحلیل آسیب پذیری برای سایر زیرساخت ها به صورت نقطه ای مورد ارزیابی قرار می گرفت اما در این پژوهش تحلیل آسیب پذیری زیرساخت آب با استفاده از پارامترهای تئوری گراف بصورت شبکه ای ارزیابی شده است.

۳- تاکنون شابلون و رمز آسیب پذیری برای زیرساخت آب ارائه نگردیده بود که در این تحقیق به این امر پرداخته شد و در نهایت شابلونی برای تعیین درجه آسیب پذیری زیرساخت آب ارائه گردیده است.

در نظر داشت که در صورت تخریب این نقاط و مسیرهای کلیدی بتوان آب منطقه را تامین و از میزان حساسیت آنها کاست. همچنین لازم است که در تعیین مسیر جایگزین به سایر پارامترهای دگر از جمله به شیب منطقه نیز توجه کافی داشت. همچنین به منظور تعمیر و بازسازی مراکز و مسیرهای کلیدی شبکه در هنگام بروز بحرا ها لازم است از قبل بررسی های لازم به عمل آمده و تمهیدات مختلفی که منجر به تسریع بازسازی و افزایش تاب آوری شبکه گردد اندیشیده شود. در خصوص تهدیدات آلودگی نیز باید بیان نمود که با تعیین این گره های اساسی و تعیین حساسترین گره ها برای اینکه از انتشار آلودگی تجهیزات و تمهیدات رفع آلودگی برای این گره ها را نیز در نظر داشت.

۵. جنبه نوآوری تحقیق

نوآوری و تفاوت این تحقیق با تحقیقات و مطالعات پیشین در



۶. مراجع فارسی

- [۴]. تهذیبی کامبیز، نوری مهدی، مشعوف بیژن، نصیبی مهدی؛ ارزیابی آسیب‌پذیری شبکه‌های انتقال آب با استفاده از روش خوشه‌بندی، مجله مدیریت بحران، پاییز ۹۴.
- [۶]. 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، ویژه نامه پدافند غیرعامل، ۱۳۹۳.
- [۹]. حسن مشهدی، ارزیابی تهدیدها، آسیب‌پذیری و ریسک در زیرساخت‌های حیاتی. کتاب. ۱۳۹۴.
- [۱۷]. رحمتی، مریم. ارزیابی آسیب‌پذیری شبکه توزیع به روش گراف، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، ۱۳۹۵.
- [۱۸]. 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.

۷. مراجع لاتین

- [1]. Johansson, J. Hassel, H. (2010). An approach for modelling interdependent infrastructures in the context of vulnerability analysis, Reliability Engineering and system Safety 1335-1344.
- [2]. Wang .S, Hong .L , Chen, X. (2012) . Vulnerability analysis of interdependent infrastructure systems: A methodological framework; Physica A 391. 3323–3335.
- [3]. Chia-Chien Hsu . Sandford , Brian A. (2007) The Delphi Technique: Making Sense Of Consensus, Practical Assessment, Research & Evaluation, Vol 12, No 10.
- [5]. Kröger , W. Zio, E. (2011). Vulnerable Systems; Springer London Dordrecht Heidelberg New York, A catalogue record for this book is available from the, British Library _ Springer-Verlag London Limited.
- [7]. Ali Nekooie, . Hosnavi . M. R, . Nouri, M (2015). A Model of Sustainability-Resilience Index (SRI) for Amphibious Urbanisation.
- [8]. Cook, C. Bakker , K. (2012). Water security: Debating an emerging paradigm, Global Environmental Change 22 , 94–102
- [10]. Roozbahani, A., Zahraie, B., Tabesh, M. (2013). "Integrated risk assessment of urban water supply systems from source to tap". Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 27(4 - 355 303).
- [11]. Foster . J.A, McDonald .A.T. (2000) Assessing pollution risks to water supply intakes using geographical information systems (GIS), Environmental Modelling & Software 15, 225–234
- [12]. Le Gat . Y, Eisenbeis . P. (2000) Using maintenance records to forecast failures in water networks. Urban Water 2, 173±181
- [13]. Babovic . V, Drecourt . J-Ph, Keijzer . m, Friss Hansen . p. (2012) A data mining approach to modelling of water supply assets, Urban Water 4 , 401–414
- [14]. Pinto , J · Varum , H · Bentes , I · Agarwal , J. (2010) A Theory of Vulnerability of Water Pipe Network (TVWPN). Water Resour Manage , 24:4237–4254

- [15]. Michaud , D. Apostolakis , G. E.(2006) Methodology for Ranking the Elements of Water-Supply Networks, J. Infrastruct. Syst.12:230-242
- [16]. Herrera . M, Canu . S, Karatzoglou . A, P´erez-Garc´ia . R. and Izquierdo . J,(2010) An approach to water supply clusters by semi-supervised learning, International Environmental Modelling and Software Society (iEMSs) International Congress on Environmental Modelling and Software Modelling for Environment’s Sake
- [19]. Di Nardo . A, Di Natale. M, Santonastaso . G. F, Tuccinardi .F. P, Zaccone. G, (2014) SWANP: software for automatic Smart Water Network Partitioning, International Environmental Modelling and Software Society (iEMSs) 7th International Congress on Environmental Modelling and Software San Diego, California, USA, D.P. Ames, N. Quinn (Eds.).
- [20]. Yazdani . A, Jeffrey . P,(2011) A note on measurement of network vulnerability under random and intentional attacks, School of Applied Sciences, Cran_eld University, MK43 0AL, UK. arXiv:1006.2791v2 [physics.comp-ph]
- [21]. BATHRELLOS . G, SKILODIMOU . H, SOULAKELLIS . N, PANAGOPOULOS . G, TATARIS . G, (2007) MAPPING URBAN WATER DEMANDS USING MULTI-CRITERIA ANALYSIS AND GEOINFORMATION METHODS, publications on Research Gate.
- [22]. Walski .T, Donald . M, Chase . V, Dragan . A. (2003). Walter Grayman, Stephen Beckwith, Advanced Water Distribution Modeling and Management. University of Dayton eCommons. Department of Civil and Environmental Engineering and Engineering Mechanics.
- [23]. Creating a Network Graph with Gephi, Miriam Posner, 2016.
- [24]. Hsu , Chia-Chien. Brian A. S. (2007). The Delphi Technique: Making Sense Of Consensus, Practical Assessment, Research & Evaluation, Vol 12, No 10.
- [25]. Mays, L. W. (2004). "Water supply systems security", New York, McGraw-Hill Professional Engineering

