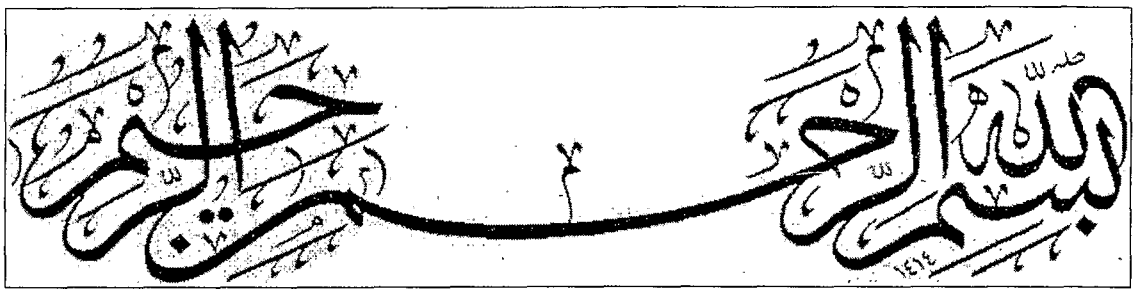


١١٨١١٥

دانشگاه شهید باهنر کرمان

دانشکده فنی و مهندسی

گروه مهندسی عمران

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد عمران گرایش سازه های هیدرولیکی

استقراربهینه حسگرها در شبکه های آب رسانی شهری

استاد راهنما:

دکتر محمد جواد خانجانی

استاد مشاور:

دکتر محمد جواد فدایی

مولف :

مسعود فرهیان

دی ماه ۸۶

۱۳۸۶/۲/۱۶

مرکز اطلاعات و مدارک علمی

۱۱۵۱۱۰

دانشگاه شهید باهنر کرمان

این پایان نامه به عنوان یکی از شرایط احراز درجه کارشناسی ارشد به

گروه مهندسی عمران

دانشکده فنی

دانشگاه شهید باهنر کرمان

تسلیم شده است و هیچگونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دوره مزبور شناخته نمی شود.

دانشجو: مسعود فرهیان

۱۳۸۸/۴/۱۶

استاد راهنما: دکتر محمد جواد خانجانی

استاد مشاور: دکتر محمد جواد فدایی

داور۱: دکتر غلامعباس بارانی

داور۲: دکتر مسعود حسامی

معاونت پژوهشی و تحصیلات تکمیلی یا نماینده دانشکده: دکتر سید مرتضی مرندی

حق چاپ محفوظ و مخصوص به دانشگاه شهید باهنر است.

دانشگاه شهید باهنر کرمان
اداره تحصیلات تکمیلی

تقدیم به:

خانواده ام :

مادر عزیز،

پدر گرانقدر،

برادر و خواهرانم.

و همچنین:

تقدیم به خواننده این پایان نامه، اگر در راستای پیشبرد اهداف و توانایی های علمی کشورمان از این نوشتار مدد گیرد.

تشکر و قدردانی:

در اینجا از زحمات بی شائبه والدین عزیزم، که با مرارت و از خود گذشتگی مرا با یاری خداوند به این مسیر هدایت کردند، و چتر حمایتشان همواره بر سرم بوده است قدردانی مینمایم. همچنین از کلیه اساتید گرانسنگم از آغاز آموزشم، بخصوص استاد راهنمای محترم، آقای پروفسور محمد جواد خانجانی، و استاد مشاور گرانقدر آقای دکتر محمد جواد فدایی کمال تشکر را دارم. و نیز از دوستان عزیزم که با یاری خویش مراحل دشوار را برایم سهل نمودند بسیار ممنونم. یاری خداوند با ایشان باد.

چکیده

شبکه های توزیع آب بطور ذاتی نسبت به آلودگی ها آسیب پذیرند. یکی از مسائل کلیدی در این شبکه ها، یافتن بهترین مکانها برای قرار دادن سنسورها در شبکه به نحوی است که بتواند عواملی مانند زمان کشف، جمعیت آلوده شده و حجم آب آلوده مصرفی در طی ورود آلودگی به شبکه کمینه کند. در این پایان نامه، مدلی برای مسئله مکانیابی بهینه سنسورها در سیستم آبرسانی شهری ارائه شد. در فرمول های ارائه شده، تمرکز برنوع استقراری است که بتواند جمعیت آلودگی و زمان کشف را کمینه کند. این مسائل را بصورت توابع هدف غیر خطی دودوئی فرموله نموده، برای حل آن از دو روش شبیه سازی بازپخت و جستجوی تابو استفاده نمودیم. همچنین دو روش متفاوت به منظور تولید همسایگی، روش تصادفی و ساختاری، در این روشها بکار برده شد. به منظور تحلیل جریان و اعمال الگوهای جریان در طول شبانه روز، از نرم افزار شبیه ساز EPANET استفاده شد. در الگوریتم های بکار رفته برای حل مسئله، به منظور داشتن یک جواب اولیه مناسب برای شروع، از الگوریتم دسته بندی بر اساس مفهوم آنالیز حساسیت گره ها کمک گرفتیم. نتایج این را نشان می دهند که دسته بندی جواب های بهتری با تعداد تکرارهای کمتر و در زمان کوتاهتر می تواند به ما بدهد. سپس، به منظور مطالعه دقیق تر رفتار آلودگی، یک شبکه آزمایشگاهی کوچک مقیاس ساختیم. بعد از مدل کردن شبکه در EPANET، نمودارهای تولید شده با نمودارهای PH واقعی مقایسه شدند. نمودار های آزمایشگاهی و EPANET تطابقی نسبی با یکدیگر نشان دادند.

فهرست عناوین و مطالب

عنوان	صفحه
چکیده	ج
فصل اول مقدمه	۱
۱-۱- سرآغاز و آشنایی با مبحث	۲
۱-۱- مرور مقالات و کارهای قبلی	۶
فصل دوم شرح مسئله	۱۵
۲-۱- سنسور گذاری در سیستم توزیع آب	۱۶
۲-۱-۱- ارائه مسئله مکانی	۱۷
۲-۱-۲- تعریف مسئله زمانی	۱۹
۲-۲- فرضیات طراحی	۲۰
فصل سوم روش پیشنهادی	۲۲
۳-۱- روش طراحی	۲۳
۳-۲- روش پیشنهادی	۲۷
۳-۱- گام اول	۲۸
۳-۲- گام دوم	۲۹
۳-۳- گام سوم	۲۹
۳-۳-۱- آنالیز حساسیت در شبکه	۳۱
۳-۴- گام ۴	۳۲
۳-۴-۱- شبیه سازی باز پخت	۳۳
۳-۴-۲- جستجوی تابو	۳۶
فصل چهارم تحلیل نتایج	۳۸
۴- نتایج محاسباتی وتحلیلها	۳۹
۴-۱- شرایط مسئله	۳۹

عنوان	صفحه

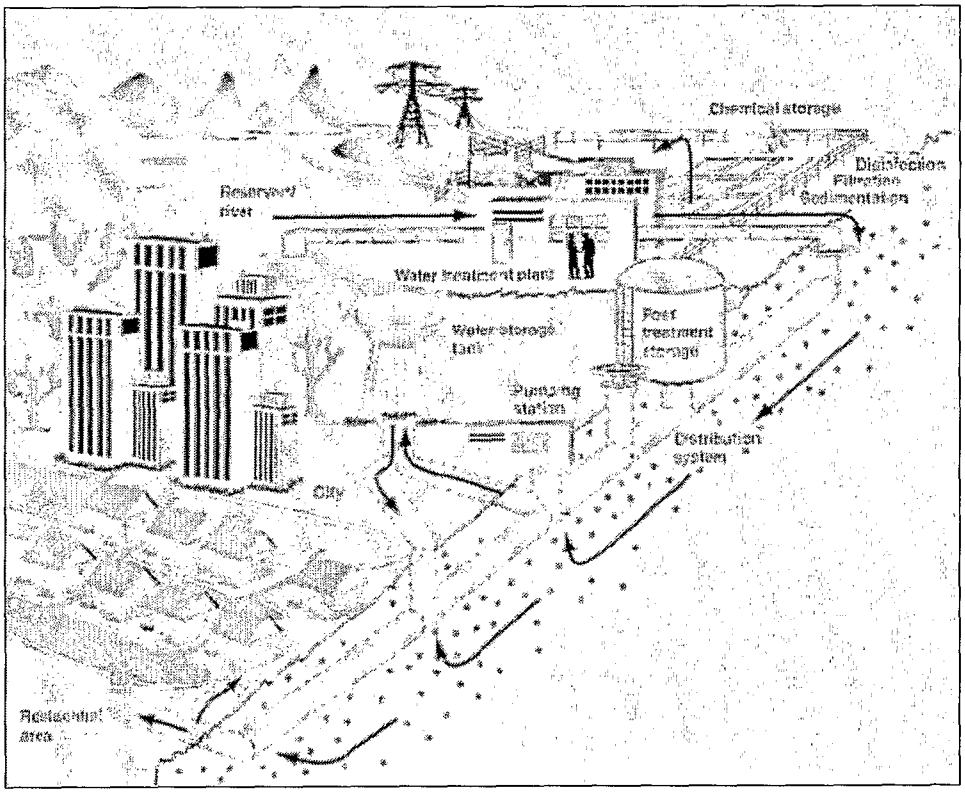
۲-۴- متغیرهای الگوریتم ۴۲
۳-۴- پارامترهای الگوریتم ۴۲
۱-۳-۴- شبیه سازی باز پخت ۴۲
۲-۳-۴- جستجوی تابو ۴۳
۳-۳-۴- نمودارهای توزیع آلودگی ۴۳
۴-۴- نتایج ۴۵
فصل پنجم شبکه نمونه آزمایشگاهی ۶۱
۵-۱- شبکه نمونه آزمایشگاهی ساخته شده ۶۲
۵-۱-۱- مشخصات شبکه ۶۳
۵-۱-۲- نمودارها ۶۵
۵-۱-۳- مدل ریاضی شبکه ۶۸
۵-۱-۳- نتایج ۷۰
فصل ششم نتیجه گیری و پیشنهادات ۷۱
۶-۱کارهای انجام شده در این تحقیق ۷۲
۶-۲کارهای قابل انجام در آینده ۷۳
فهرست مراجع ۷۴
پیوست: کد استفاده شده و الگوریتم ۷۸
ABSTRACT ii

فصل اول

مقدمه

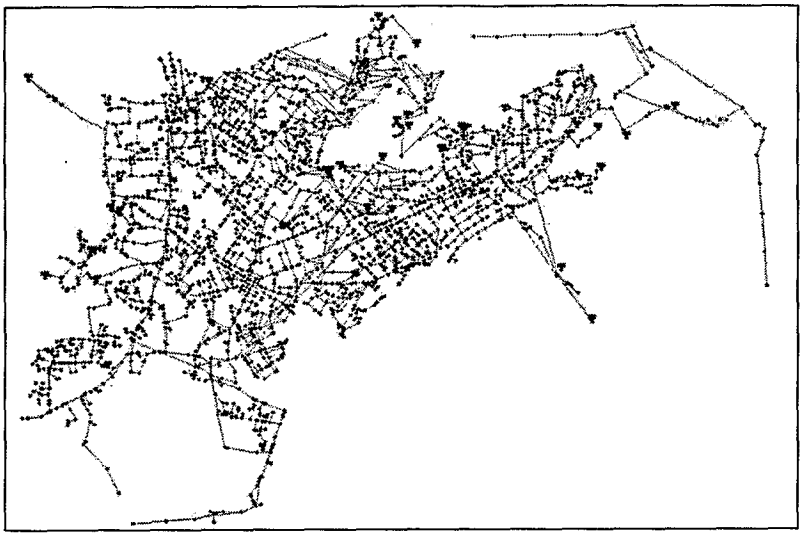
۱-۱- سرآغاز و آشنایی با مبحث

سیستم های توزیع آب برای رساندن آب به مصرف کنندگان طراحی می شود. در شرایط معمول، شبکه ها که شامل پمپ ها، لوله ها و مخازن می شوند، آب با کیفیت بالا را برای مصرف کنندگان فراهم می آورند. سیستم های توزیع آب ترکیبی هستند از منابع، لوله ها و المان های کنترل هیدرولیکی مانند شیرها (valves)، مخازن(tanks) و منابع (reservoirs). شکل ۱-۱ نمایی از سیستم آبرسانی معمول را نمایش میدهد، آب تازه از یک منبع(reservoirs) بالا کشیده می شود، سپس تصفیه شده ودر یک سری مخازن نگهدارنده (holding tanks) و ایستگاه پمپاژ نگهداری می شود. سپس آب از طریق شبکه لوله های زیر زمینی توزیع می گردد .



شکل ۱-۱- سیستم توزیع آب که در حال حاضر تحت استفاده است.

یک سیستم توزیع که شامل خطوط لوله، پمپ ها، مخازن نگهداری و متعلقاتی مانند انواع مختلفی از شیرها، اندازه گیرها، و لوازمی از این قبیل است، می تواند از بزرگترین فرصت ها برای تروریسم به خاطر گران بودن و محافظت نشده بودن و قابل دسترسی بودن باشد.



شکل ۱-۲- نمایی از یک شبکه واقعی، شبکه نمونه پنجم، دارای ۱۱۲۹ گره.

ممکن است چهار نوع حمله عمدی به سیستم توزیع آب رخ بدهد: حمله به قسمت های مرکزی و کنترل سیستم برای ایجاد مشکلات متفاوت، آسیب های فیزیکی مانند تخریب قسمتی از شبکه، حملات شیمیایی مانند مواد تأثیر گذاربراعصاب، تاول زا ، سیانور، ارسنیک ، جیوه و مانند آن و حملات بیولوژیکی مانند ژن های بیماری زا یا پاتوژن ها. حملات غیر عمدی نیز میتوانند حاصل ورود مواد شیمیایی در اثر خوردگی و یا رخدادهای دیگر باشند.

سیستم های توزیع آب غالباً یکسان اند و به ندرت با سایر مدل ها تفاوت دارند و خیلی ازاجزاء تشکیل دهنده ی سیستم مانند تانک ها و پمپ ها در مناطق دور افتاده قرار گرفته اند. بنابراین این سیستم ها بطور طبیعی به انواع حملاتی که می تواند حمل و جابجایی ایمن آب را به خطر بیندازدآسیب پذیرند، بخصوص منابع طبیعی آب (سطحی و زیر زمینی) و کانالها، خطوط آبرسانی، منابع ، تصفیه خانه ها، اتصالات به سیستم توزیع، ایستگاه های پمپاژ، شیرها و مخازن همگی به نسبت فعالیتهای مخرب آسیب پذیرند.

البته عملکرد سیستم توزیع آب با تخریب و بر هم زدن فیزیکی اجزاء سیستم نیز، می تواند به مخاطره بیفتد. قسمتهای مهم در زمینه ی تخریب فیزیکی می تواند شامل سدها، مخازن، لوله ها و کانالها، تصفیه خانه ها، و اجزاء سیستم توزیع(خطوط انتقال و ایستگاه های پمپاژ) می باشد. تخریب فیزیکی می تواند باعث هزینه های سنگین اقتصادی و از دست رفتن اعتماد مصرف کنندگان و مسائل دیگر شود ولی تأثیر مستقیم بر سلامت عمومی نمی گذارد.

آلودگی ها معمولاً به عنوان مهمترین عامل برای آسیب زدن از لحاظ امنیتی به شمار می آید. حملات بیولوژیکی یا شیمیایی می توانند از طریق شبکه توزیع آب گسترش یابند و نتیجه حاصل بیماری و یا مرگ مصرف کننده است. شاید نتوان تمام آلودگی ها را شناسایی کرد، اما با دسته بندی آنها به گروههای مهم مانند سلاح های بیولوژیکی، سلاح های شیمیایی، بیوتوکسین ها، ویروس ها، انگلها، حشره کشها و مواد شیمیایی سمی میتوان کار شناسایی را تسهیل نمود. سناریو های حمله غیر قابل پیش بینی اند و الگو های مصرف آب و تقاضای مصرف کنندگان هر روز تغییر می کنند که نتیجه اش پیچیده کردن شرایط و سخت تر شدن جلوگیری از چنین حملاتی است. نیاز به پیش بینی آلودگی در شبکه توزیع آب و مو نیتورینگ غلظت آلودگی در مکان های مختلف سیستم یکی از نگرانی های مهم در رابطه با ایمنی منابع آب عمومی است. ردیابی حرکت آلودگی و غلظت آن درون شبکه توزیع هدف ساده ای نیست. این بحث نیاز به مدل سازی کمی وکیفی ریاضی برای هدایت یک مدلسازی کیفی و کمی گسترده هیدرولیکی آب با قابلیت ردیابی زمانی آلوده گرهاست. در این پایان نامه تحلیل کیفیت آب بر اساس سیستم های کشف سریع خطر (early warning systems) ارائه شده است. هدف مدلهای کیفیت آب نگاه داشتن کیفیت آب در یک سطح مطلوب است.

کیفیت آب در یک شبکه توزیع بطور ذاتی خود به خود بخاطر دو دلیل عمده تنزل می یابد:

۱- پوسیدگی و توسعه آن در اجزای فاسد شدنی که در روند انتقال آب رخ می دهد

۲- ورود تصادفی یا برنامه ریزی شده آلوده کننده هایی که در بالا بحث شد.

رفتار اجزای فاسد شدنی می تواند بوسیله مدلسازی کیفیت دینامیکی آب مانند EPANET پیشگویی شود(روسمن، ۱۹۹۴). همچنین مدل های متنوع دیگری نیز که می توانند کیفیت آب آشامیدنی در شبکه توزیع آب را هم از لحاظ کیفی و هم از لحاظ هیدرولیکی مدلسازی کنند موجود است. کاربردی ترین و مورد استفاده ترین انها EPANET است که بوسیله آژانس محافظت از محیط زیست ایالات متحده تولید شد.EPANET یک شبیه ساز کیفی و کمی گسترش یافته هیدرولیکی آب است که می تواند سن و حرکت آب را درشبکه شبیه سازی کند. همچنین این کار را می تواند برای آلودگی ها با دادن پارامتر های سازه ای مانند قطر لوله ها، مکان پمپ ها و همچنین شرایط مصرف در دوره های مختلف زمانی و پارامترهای دخول آلودگی انجام دهد. EPANET می تواند به عنوان خروجی، شبیه سازی هیدرولیکی شبکه را به ما بدهد. خروجی شامل نمودار تاریخچه زمانی سرعت سیال برای هر لوله در شبکه به منظور محاسبه زمان بندی آلودگی در شبکه برای هر تعداد سناریوی ممکن می باشد. در مواردی که آلودگی از بیرون

وارد سیستم شود باید ایستگاه های مو نیتورینگ برای اعلان خطر در محدوده زمانی قابل قبول طراحی شوند. همچنین سیستم اعلان خطر سریع(EWS) نیز برای جلوگیری و کاستن فوری تأثیرات آلودگی مانند مرگ و بیماریهای مختلف میان مصرف کنندگان می باشد .

یک EWS کارامد دارای خصوصیات زیر می باشد:

- در زمان کافی به منظور عکس العمل اعلان خطر می کند.
- از لحاظ هزینه ساخت و نگهداری مقرون به صرفه است.
- نیاز به آموزش و مهارت های زیاد کاربران نداشته باشد.
- تمامی حملات را بتواند پوشش دهد و
- توانایی شناسایی منبع آلودگی را داشته باشد.

هر سیستم زود هشدار دهنده EWS شامل چهار عنصر اصلی زیر می باشد:

۱)سیستم اعلام خطر(آژیر) در هنگام تشخیص آلودگی که مأموران را در حالت آماده باش قرار دهد. سپس اعلام خطر به مردم در معرض داده شود تا از شبکه آب مصرف نکنند.

۲) امکان ردیابی و انتقال مواد بیماری زا و مواد شیمیایی. مواد شیمیایی و بیولوژیکی به روشهای مختلفی در مسیر حرکتشان در سیستم می توانند تاثیر بگذارند. در شبکه توزیع آب کنترل مواد بیماری زا و مواد شیمیایی عموماً بوسیله ترکیب کردن ضد عفونی کننده با هم انجام می شود. میزان کلر محصول درآب معمولاً بین میزان مینیمم و ماکزیمم نگهداری می شود. این ممکن است که بتوانیم از یک مدل هیدرولیکی شیمیایی مانند EPANET برای ردیابی و جابجایی عامل آلودگی در سیستم استفاده کنیم.

۳) جاگذاری سنسورها: مکان و تعداد سنسورها در سیستم اعلان خطر بستگی به ویژگی ها، ارزیابی آسیب پذیری و تحلیل خط دارد. جاگذاری سنسورها در شبکه باید به طور مناسب انجام شود بخاطر اینکه این قسمت از سیستم توزیع یکی از نقاط آسیب پذیر در کل سیستم می باشد بنابراین حتی اگر سنسورها بطور بهینه در شبکه توزیع جایگذاری شوند این احتمال وجود دارد که زمان کافی برای جلوگیری از آلوده شدن قسمتی از شبکه موجود نباشد.

۴) مونیتورینگ در شبکه توزیع می تواند زمان را برای کاهش تهدید فراهم آورد وهمچنین آب آلوده شده را تفکیک کرده و عملیات مقابله و تصفیه را شروع کند.

به عنوان جمع بندی، دلایل گسترش و توسعه شبکه سنسورها برای کشف آلودگی های تصادفی و عمومی در سیستم توزیع آب و سپس ساده کردن عملیات اصلاحی توضیح داده شده

است. مدلها و الگوریتم های بهینه یابی مختلط برای یافتن تعداد محدودی سنسور که بتواند تأثیر چنین آلودگی ها را کاهش دهد توسعه یافتند این مدل های بهینه یابی معمولاً بر اساس ساده سازی فرضیات در مورد طراحی اهداف جابجایی آلودگی در شبکه، پاسخ سنسورها، کشف رخداد، پاسخ آنی و هزینه نصب و نگهداری سیستم بنا می شود. بعلاوه مسئله از لحاظ محاسباتی برای شبکه ای بزرگ پیچیده است. در این پایان نامه روشی پیشنهاد میشود که می تواند برای تعیین جایگذاری سنسورها در شبکه استفاده شود. دو تابع هدف طرح شد: زمان کشف آلودگی و جمعیت تحت ریسک خطر. همچنین دو تکنیک که بر پایه ی جستجوی هیوریستیک لوکال یعنی شبیه سازی سرد شدن تدریجی و جستجوی تابو و کنترل عملکرد آنها در شرایط بهتر بی تفاوت بنا شده اند ارائه شد. همچنین کارایی تعیین جاگذاری اولیه سنسورها با روش دسته بندی تست گردید. همچنین، نمودارهای توزیع آلودگی EPANET با نمودارهایی که از یک شبکه آزمایشگاهی بدست آوردیم مقایسه شدند. علاوه بر این، نتایج این مطالعه عبارتند از:

۱- معرفی مفهوم سنسورگذاری محدود به منظور کشف تمام آلودگی ها

۲- مدل سازی جریان با EPANET بر مبنای بعد زمانی که بسیار واقع بینانه تر ازتکنیک های موجود هستند.

۳- ارئه روشی جدید برای مسئله جایگذاری سنسورها برای شبکه توزیع آب.

در بخش بعد مروری از کارهای گذشته و توضیح مسائل مختلف بهینه سازی مرتبط با سیستم توزیع آب مصرفی ارائه خواهد شد. تکنیک های حل برای یافتن آلودگی در ایستگاه های مونیتورینگ در شبکه شرح داده خواهند شد. سپس تعریف مسئله و فرضیات مدل و روش با تعیین کردن اهداف کلی روش که باید در زمان طراحی سیستم و فاز تکمیلی مطالعه در نظر گرفته شوند انجام می شوند. سپس الگوریتم توصیه شده برای حل مسئله ارائه خواهد شد. بخش بعد از آن به شرح نتایج آزمایشگاهی و توضیح یافته های اصلی اختصاص می یابد. این پایان نامه با تفسیرهای پایانی و کارهای آینده که می توان ادامه داد خاتمه خواهد یافت.

۱-۲- مرور مقالات و کارهای قبلی

مسئله تحلیل آب در شبکه توزیع، مسئله ای نسبتاً جدید می باشد. آژانس حفاظت از محیط زیست(EPA)، در سال ۱۹۹۰ قوانین جدیدی را معرفی نمود که براین اساس وضع شده بودند که استانداردهای کیفیت آب باید درشیرهای مصرف کنندگان برقرار باشد، نه در مخازن نگهداری. این مسئله باعث نیاز به مسئله مدل کردن کیفیت آب و همچنین پیش آمدن مسائل دیگری شد.

همچنین، نگرانیها بعد از حملات تروریستی مخصوصاً در ۱۱ سپتامبر در ایالت متحده افزایش یافت. فعالیت های تروریستی معمولاً مصیبت بارند و وقوع چنین آسیب هایی باعث کم شدن اعتماد عمومی به منابع تامین آب می شود. همچنین این حملات آسیب پذیری سیستم توزیع آب را نسبت به حوادث عمدی و غیر عمدی به خاطر شکل توزیعی جغرافیائی اش نشان داد.

تغییر در مقررات کنترل کیفیت آب و نگرانی در مورد فعالیت های تروریستی، باعث تسریع تحقیقات در این زمینه شد. در کنار مسائل دیگر، مسئله سنسور گذاری بهینه نیز توجه زیادی را جلب کرد. تحقیقات انجام شده در این زمینه را می توان به دو دسته تقسیم کرد:

۱) تعیین مکان ایستگاه های کنترل کیفیت آن-تایم آب

۲) سنسور گذاری در شبکه آب

در مقالات موجود، مطالعات مرتبط با مکان کنترل کیفیت آن-تایم، قبل از مطرح شدن مسایل امنیتی در نظر گرفته شده و کیفیت آب کنترل شده است.

کیفیت آب در سیستم توزیع به دلایل زیر افت می کند:

دلیل اول پوسیدگی و از بین رفتن قطعات سیستم توزیع است، دلیل دوم، داخل شدن آلودگی در سیستم از خارج می باشد. قرارگیری سیستم های کنترل کیفیت به خاطر نیاز به این مطلب است که کیفیت آب با ازدیاد سن و فاصله از مبدأ کاهش می یابد. هدف، نگهداری کیفیت آب در محدوده ی قابل قبول می باشد.

در زمینه کشف آلودگی خارجی، عامل زمان کشف بسیار مهم و بحرانی است. الگوریتم هائی برای حل مسئله جاگذاری تعداد محدودی سنسور در شبکه تولید شدند بطوریکه محافظت از سلامت عمومی در مقابل حمله افزایش یابد. مسئله مورد بررسی ما نیز با مفهوم سنسور گذاری در شبکه مشابهاتی دارد. با توجه به اینکه در مورد آلودگی خارجی، ما به این مسئله که قرار دادن سنسورها چگونه تأثیرات چنین حملاتی را کاهش می دهد پرداخته ایم. اکنون، ما در این پایان نامه به بحث بر روی این مبحث می پردازیم.

مسئله اول مکانیابی ایستگاه های کنترل کیفیت آن-لاین می باشد. مونتیورینگ کیفیت آب یکی از ابزارهای حیاتی برای تأمین کردن آب شرب قابل اعتماد از لحاظ سلامتی برای مصرف کنندگان است. یک کاهش فشار در یک یا چند منطقه از شبکه می تواند باعث افت کمیات فراهم شده برای مصرف کنندگان می شود، در حالیکه ورود تصادفی آلاینده ها و پائین آمدن خود به خود کیفیت آب در لوله های شبکه می تواند سلامت عمومی را به مخاطره بیندازد(گلدریچ، ۱۹۹۱).

کنترل فشار معمولاً با پمپ های تقویت کننده و شیرهای کنترل فشار انجام می شود، در حالیکه کیفیت آب بوسیله ی تزریقات تقویت کننده ی کلرین و مونتیورینگ کنترل می شود(بوچلی و همکاران (۲۰۰۵)، پول و همکاران (۱۹۹۷)، تریبای و همکاران (۲۰۰۱)). مسئله تزریق تقویت کننده کلرین(booster chlorine)، اضافه کردن مینیمم مقدار ضد عفونی کننده در نقاط مختلف سیستم در زمان های مختلف است، در حالیکه باید سطح تجمع ضد عفونی کننده در هر گره در آستانه حداقل خود باشد. بخاطر اینکه روند تزریق رژیم جریان آب را تحت تأثیر قرار نمی دهد، بوچلی و همکاران(۲۰۰۵) نشان دادند که اگر فساد کلر از یک واکنش مرتبه اول تبعیت کند ، سپس پاسخ از یک واکنش خطی منطبق بر یک تزریق در نقطه تقویت تبعیت می کند.

در اینجا مسئله، یافتن مکان بوسترها و سرعت تزریق آنها می باشد. بوچلی و همکاران(۲۰۰۵) توجه خود را به مسئله یافتن ایستگاه های تزریق که توسط آن می شود دوز لازم برای نگهداری پسماندها ها در سراسرشبکه را مینیمم کرد، تغییر دادند و همچنین یک دسته بندی مناسب برای انواع منابع ضد عفونی کننده مصرفی کردند که بر مبنای کارهای گذشته شان بود. مسئله مشابهی بوسیله ی پول(۲۰۰۲) به عنوان یک مسئله مکانی فرموله و بسط داده و بوسیله ی روش Mixed Integer Linear Programming یا MILP حل شد.

این سری تحقیقات قوانین EPA این را ایجاب می نمود که نمونه ها باید از محل هایی گرفته شود که معرف کیفیت آب سیستم باشد. به این دلیل، روشهای متعددی برای تعریف "مفهوم نشانگر" یا (Representative Concept) گسترش یافت.

علاوه بر این، لی و همکاران(۱۹۹۲) یک فرمول بندی IP برای مسئله مکانی ایستگاههای کنترل آن لاین به منظور ماکزیمم نمودن کیفیت نمونه های نشانگری آب معرفی کردند. در روش شناسی آنها، بهترین چیدمان ایستگاهها، آنی است که بتواند بیشترین پوشش را بر تقاضای مصرف بدهد. پوشش تقاضا بعنوان درصد نیاز مونیتور شده بوسیله ی ایستگاهها تعریف می شود. همچنین با قدری چشمپوشی، می توان کیفیت آب بالا دست را که ایستگاه مونتیورینگ در آنجا واقعست

استنباط کرد. بنا بر تحقیقات لی و همکاران، کیفیت یک گره بالادست، (یعنی کیفیت پوشش یک گره بالادست) می تواند به عنوان کسری از آب مونیتورشده در گره ی پایین دست، جایی که ایستگاه قرار دارد و آب گذر می کند اندازه گیری می شود. لی و همکاران مسئله را به عنوان یک مسئله IP حل کردند. سپس کومار و همکاران(۱۹۹۷) الگوریتمی را برای مسئله مشابه بر پایه ی روش جستجو هیوریستیک که در آن استفاده از محاسبات پر زحمت IP حذف شده بود ارائه نمودند. بطور مشابه، الزهرانی و همکاران(۲۰۰۱) الگوریتم ژنتیک را برای حل مسئله قرارگیری ایستگاههای مونتیورینگ در شبکه ارائه نمودند. از دیدگاه مهندسی، روش پوشش تقاضا محدودیت هایی داشت:

اول، اینکه شرایط کیفیت آب بصورت جریان پایا (Steady-State) در نظر گرفته می شود که معمولاً اینطور نیست. سپس، روش زمان ماند آب را در سیستم و تغییرات متوالی آب در سیستم را در نظر نمی گیرد. در نهایت، اطلاعات فقط در بالا دست جریان در نظر گرفته می شود و پوشش در جهت پایین دست گسترش نمی یابد.

در راستای این محدودیات، هارمانت و همکاران(۱۹۹۹) تابع هدفی را برای در نظر گرفتن وابستگی زمانی و کیفیت آب در مدل پوشش تقاضا به منظور شناسایی گروه های با کیفیت پایین آب معرفی کردند. به علاوه وْو و همکاران(۲۰۰۱) تابع هدفی مشابه با وزن دهی به هر ترم بوسیله ی نرمال سازی تجمع با مقادیر منبع (Normalizing the concentration by the source values) ارائه کردند. مشابه تحقیقات قبلی، فقط کمیت آب به عنوان فاکتور اهمیت مونتیورینگ در نظر گرفته شده بود. حتی اگر کیفیت آب مانند کمیتش در نظر گرفته شود، زمان ماندن آب در سیستم برای تخمین کیفیتش در سیستم استفاده می شود. بنابراین گره هایی با کیفیت آب پایین در تابع هدف اوزان بالاتری دریافت می کنند.

تمامی مدل های ذکر شده ادعا می کنند که اگر کیفیت آب پایین دست قابل قبول باشد، آنگاه کیفیت آب قبل از رسیدن به نقطه باید قابل قبول باشد. بنابراین روش شناسی پاسخ شامل قرار دادن ایستگاه های مونتیورینگ در پایین دست می شود. این ایده مشابهی برای جاگذاری سنسورها می باشد بجز نصب مونیتور در هر نقطه، می تواند باعث تأخیر از دست دادن کشف آلودگی تا وقتی شود که عده زیادی از مصرف کنندگان بوسیله ی آلاینده آسیب دیده باشند.

روشهای متفاوتی برای مسئله سنسور گذاری در شبکه ابداع شد. در آغاز، استفلد و همکاران(۱۹۹۸) یک محدودیت سطح سرویس (service level constration) برای کشف دخول تصادفی آلودگی معرفی کردند. آنها یک سطح سرویس برای مصرف کنندگان قبل از

آنکه ماکزیمم حجم آب مصرف شده ی آلوده کشف شود معرفی کردند. این روش مبتنی بر ساخت یک شبکه ی کمکی بود که بیانگر تمامی جهات ممکن جریان برای یک چرخه ی تقاضا ی نمونه و یافتن کوتاهترین مسیر بین گره ها بود، همچنین یک ماتریس آلودگی برای نشان دادن دامنه ی آلودگی و گزارش وضعیت هر گره ویک الگوریتم پوشش منظم (set covering) برای تخصیص بهینه ایستگاه های مونیتورینگ ارائه شد. گره های شبکه کمکی، همان گره های شبکه اصلی بود و بین آنها لوله های مستقیمی —اگر مابین گره ها جریانی مستقیم برقرار بود— قرار گرفته بود. طول لوله ها برابر زمان جابجایی میانگین بین گره ها بود. جریان ما بین نقطه ها و سرعت جریان در طول روز تحت شرایط تقاضای مختلف بوسیله ی EPANET تعیین شد.

محاسبه الگوی جریان در این مقاله چندین محدودیت داشت. الگوی جریان نشانگر (representative) بوسیله فرمولی که جریان یک لوله راباجریان دو لوله موازی جایگزین می کرد محاسبه شد. سپس لوله ها در شبکه با دو لوله موازی غیر هم جهت معرفی شد. توجه شود که الگوهای تقاضای مختلف در ساعات مختلفی از روز رخ می دهند. نواحی مسکونی معمولاً حداکثر آب مصرفی رادر عصر مصرف می کنند؛ در حالیکه نواحی تجاری در روز حداکثر تقاضای مصرف را دارند. این الگوهای مصرف متفاوت باعث ایجاد جریان های متفاوت در ۲۴ ساعت می باشد. تفاوت زمانی خیلی زیاد می شود که در زمان مختلف حتی جهت جریان نیز بسته به زمان عوض شود. روش استفلد و همکاران بر اساس این فرض از مشخصات جریان که در ۲۴ ساعت برقرار بود میانگین می گرفت. به هر حال، این روش به نتایج گمراه کننده ای منجر می شد. به عنوان مثال، اگر در لوله ای از گره i تا j در زمان ۸ صبح تا ۴ بعد از ظهر جریانی برقرار باشد، ولی جهت جریان در طول جریان عوض شود، روش استفلد و همکاران این فرض را می نمود که یک جریان میانگین در هر دو جهت در طول روز جریان دارد. بر اساس این فرضیات، آلودگی که در گره تا تزریق می شد در یک زمان قابل قبول بوسیله جریان میانگین قابل اندازه گیری در گره jبود (با این فرض که سنسور در jباشد). از طرف دیگر، در واقعیت اگر جهت جریان بعد از ساعات ۴ بعد از ظهر تغییر کند، تزریق تا زمانی که جهت عوض نشود قابل کشف نیست. بنابراین محاسبات بر مبنای روش میانگین گیری روش استفلد و همکاران نتایج گمراه کننده ای می دهد و قابل تصحیح است. در این تحقیق، محاسبات الگوی جریان با روش پیشنهادی روش استفلد و همکاران نتایج معکوس نشان می دهد. الگوی جریان استفاده شده در بخش ۳ شرح داده شده است. سپس کومار و همکاران(۱۹۹۹) روش استفلد و همکاران(۱۹۹۸) را تحت بررسی قرار دادند. آنها این را مطرح کردندکه بهتر است از قیود "سطح سرویس بر پایه زمان" (Time based

service level) بجای "سطح سرویس بر پایه حجم" که توسط استفلد و همکاران معرفی شده بود استفاده شود. استفلد و همکاران با نظر ایشان مخالفت کردند. البته به این مطلب که این تحقیقات،که یکی از اولین تحقیقات در زمینه ی مسائل یافتن آلودگی در شبکه بود توجه شود.

استفلد و همکاران کار قبلی خود را با در نظر گرفتن فساد و رقّت آب در طی جریان توزیع آن و با به حساب آوردن تواناییهای تجهیزات مونتیورینگ برای کشف تجمع آلودگی بسط دادند(استفلد و همکاران، ۲۰۰۴). در مقاله قبلی آنها، خواص رقّت آب و افت کیفیت آن در نظر گرفته نشده بود. در مقالات بعدی، یک سطح خطر مینیمم(MHL) معرفی شد و گره آلوده شده تلقی می شد اگر تجمع آلودگی در آن بیش از MHL بود. روش کار پیشنهادی آنها شبیه به روش کار مقاله قبلی آنها بود. در تمام مدل های مذکور، فرض شده بود که آلودگی به عنوان یک تک تزریق به سیستم وارد می شود. اما استفلد و همکاران(۲۰۰۴) برای مدل بعدی خود فرض چند تزریق در شبکه را در نظر گرفتند.همچنین آنها ماتریس آلودگی خود را با روش الگوریتم ژنتیک ساختند،که با کار قبلی آنها متفاوت بود.

لیرد و همکاران(۲۰۰۵) نیز فرض چند تزریق را به کار بردند. اما تفاوت کارشان با کار استفیلد و همکاران این بود که آنها عاملی به نام تزریق وابسته به زمان نا معلوم در هر گره را مطرح نموده و به عنوان یک مسئله QP برای حل پروفیل های زمان تزریق به کار بردند. استفلد اینگونه فرض کرد که نقطه تزریق نقطه ای معلوم است، روش او جوابهای یکتاوخوبی را برای تعداد تزریقات محدودی داد، ولی تا وقتی که محل تزریق نا معلوم باشد، تعداد زیادی از مصرف کنندگان بخاطر در نظر گرفته نشدن زمان کشف محل خواهند مرد.

بری و همکاران (۲۰۰۳) یک ترکیب سنسور گذاری بهینه که می توانست کسرمردم تحت ریسک را مینیمم کند معرفی کردند. احتمال وقوع آلودگی به عنوان یک احتمال ثابت توزیع شده در میان گره ها در شبکه مدل شد، که می تواند برای مدل کردن احتمال حملات تصادفی و عمدی به کار رود. این مقاله با بقیه مقالات از لحاظ مکان سنسور ها تفاوت می کند، بخاطر اینکه در این مقاله فرض می شود که سنسورها فقط برروی لوله ها در شبکه کار گذاشته می شوند. همچنین در فرموله کردن مسئله، ویژگی سطح سرویس به تابع هدف منتقل شده و سنسورها به قیود اضافه شده اند. با این وجود، معادلات هیدرولیکی شبیه سازی گسترش یافته در این مقاله، فقط از جهت جریان که از EPANET بدست آمده استفاده شده است.

برعکس، اوبر و همکاران(۲۰۰۴) نشان دادند که قرار دادن سنسور در گره ها بر قرار دادنشان روی لوله ها مزیت و برتری دارد. بنابراین، آنها یک فرمول بندی جدید IP برای سنسورگذاری در

شبکه معرفی کردند. در تشابه به کار بری و همکاران، در مدل آنها فرض شده بود که مصرف کنندگان در صورتی محافظت شده اند که یک سنسور در هر مسیر مستقیمی از آلودگی به آنها قرار داشته باشد. این فرض برای این قرار داده شد تا اشاره ی صریح به زمان در مسئله جلوگیری شود. انتقال آلودگی از مسئله سنسور گذاری جدا شده و بطور صریح زمان را در نظر می گیرد. بخاطر اینکه EPANET از لحاظ محاسباتی هزینه بردار است، معادلات هیدرولیکی EPANET ساده سازی شدند. مدلسازی رخداد مجزا(Descrete-event) با اطلاعات در مورد سرعت جریان که از EPANET برای محاسبه ی زمانی آلودگی در شبکه برای هر تعداد ممکن سناریو حمله استفاده شد.همچنین یک تابع هدف IP برای انتخاب دسته ای سنسور که بتواند میزان آب آلوده را که در راستای سناریو حمله به مصرف کنندگان منتقل می شود را مینیمم کند، استفاده شد.

فرض بکار برده شده در این پایان نامه نیز همانند اوبر و همکاران، استقرارسنسور ها در گره ها قرار می باشد. همچنین از مدل سازی هیدرولیکی EPANET نیز استفاده شده است.

واتسون و همکاران(۲۰۰۴) از روند کلی تحقیقات در این زمینه بخاطر اینکه چندین تابع هدف مختلف را که شامل جمعیت آلوده شده، زمان کشف، حجم آلوده شده، تعداد کشف های ناموفق، و وسعت توزیع آلودگی را با هم مقایسه کردند فاصله گرفتند. آنها ارتباط ما بین جاگذاری های بهینه را که بر اساس اهداف طراحی مختلف بدست آمده بود بررسی کردند. همچنین مدلهای MILP را در تابع های هدف برای مسائل سنسور گذاری بکار گرفتند.

هر چند کارهای مرتبط شامل مدلهای دسته پوشش(Set-Covering) بوسیله استفاده از الگوریتم ژنتیک و LIP (برنامه ریزی خطی صحیح) حل می شوند، اوبر و همکاران(۲۰۰۴) یک فرمول بندی عمومی و روش پاسخ هیوریستیک سیری ناپذیر(Gready heuristic solution) برای مسئله سنسورگذاری معرفی کردند. هدف این کار نشان دادن جوابهای هیوریستیک(غیربهینه) برای شبکه های بزرگ تحت عدم اطمینان از مشخصات و ویژگی های حمله، و انتقال آلودگی در شبکه بود. در مقاله ای دیگر، بری و همکاران(۲۰۰۵) تمام مسائل سنسور گذاری ذکر شده را به دو دسته ی استاتیک و دینامیک دسته بندی کردند. در فرمول بندی استاتیک، یک سری فرضیات کلیدی مانند رقّت آلودگی، سطح تجمع و مود حمله مدل نشده است و آلوده گرها یکسان و دینامیک جریان ثابت فرض شده است. آنها اظهار کردند که فرضیات آنها واقع بینانه نیست، بنابراین آنها یک فرمول بندی دینامیک که در آن تأثیر حمله در یک گره شبکه به دقت مشخص و دسته بندی شده بود ارائه کردند. بخاطر اینکه فرمول بندی