Archive of SID

مجله بین المللی علوم مهندسی، شماره ۲، جلد۱۶، تابستان ۱۳۸۴، صفحه ۶۳- ۵۵
دانشگاه علم وصنعت ایران

بهینه سازی جانمایی شبکه های آبرسانی با اطمینان پذیری معلوم: رهیافت ریاضی

محمدهادی افشار و محموداکبری

چکیده: در این مقاله مدلی ارائه می شود که از آن می توان برای بهینه سازی جانمایی شبکه های آبرسانی با مقدار اطمینان پذیری معلوم استفاده کرد. برخلاف مدلهای قبلی ارائه شده در زمینه بهینه سازی جانمایی شبکه های آبرسانی که در آنها اطمینان پذیری به مفهوم مهندسی آن منظور شده است، در این مدل اطمینان پذیری شبکه بصورت ریاضی و دقیق آن مد نظر قرار گرفته است. در این مدل ابتدا با توجه به محدودیتهای فیزیکی موجود ،یک جانمایی حداکثر برای شبکه در نظر گرفته می شود. سپس مدل تهیه شده در جهت دستیابی به جانمایی بهینه با اطمینان پذیری مورد نظر بکار گرفته می شود. در این مدل اطمینان پذیری شبکه از طریق یک جمله تاوانی که در تابع هدف منظور شده است تامین می شود. در انتها نیز کارایی مدل مورد نظر با بکار گیری آن برای طراحی یک شبکه نمونه که قبلا با جانمایی ثابت طرح شده نشان داده می شود.

واژه های کلیدی: شبکه های آبرسانی، بهینه سازی جانمایی، اطمینان پذیری ریاضی، دسترس پذیری

۱. مقدمه

تعیین جانمایی یک شبکه آبرسانی بافرض مشخص بودن محل گره های تامین کننده آب (مخازن، تانکها و...) و همچنین گره های مصرف ، به مفهوم تعیین هندسه شبکه و بعبارت دقیقتر تعیین چگونگی اتصال گره ها توسط لوله های آبرسانی است. تعیین جانمایی یک شبکه، تا حد زیادی وابسته به ملاحظات اطمینان پذیری است. اطمینان پذیری یک شبکه به مفهوم کارایی شبکه در شرایط اضطراری و غیر عادی بهره برداری از شبکه است. برای هر شبکه فرضی جانمایی های متعددی با درجات اطمینان پذیری مختلف می توان انتخاب کرد. بعنوان مثال شبکه های با جانمایی شاخه ای از اطمینان پذیری کمتری نسبت به جانمایی حلقوی آن برخوردار است.

از کارهای انجام شده در زمینه بهینه سازی جانمایی شاخه ای شبکه های آبرسانی می توان به کاربرد برنامه ریزی ریاضی [1,2] و مطالعات اخیر با روش الگوریتم ژنتیک [3] اشاره کرد. در زمینه شبکه های حلقوی نیزمی توان از [4,5,6] با استفاده از برنامه ریزی ریاضی و [7] با استفاده از الگوریتم ژنتیک نام برد. مدل برنامه ریزی ریاضی دیگری نیز اخیراً ارائه شده است که امکان بهینه سازی جانمایی شبکه های آبرسانی را با هر درجه ای از اطمینان پذیری مهندسی فراهم میکند[8]. معیار اطمینان پذیری در این مدل، تعداد مسیرهای مستقل آبرسانی موجود از منبع (یا منابع) به گره های مصرف است. نکته مشترک در کلیه مدلهای فوق، نگاه کیفی و مهندسی به موضوع اطمینان پذیری است، بنحویکه در هیچکدام از آنها، اطمینان پذیری شبکه بصورت ریاضی و دقیق آن، مد نظر قرار نگرفته است.

مقاله در تاریخ ۱۳۸۲/۴/۲۲ دریافت شده و در تاریخ ۱۳۸۳/۲/۲۶ به تصویب نهایی رسیده است.

دکتر محمدهادی افشار استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم وصنعت ایران، mhafshar@iust.ac.ir

محمود اکبری کارشناس ارشد مهندسی عمران،

makbari@iust.ac.ir

www.SID.ir

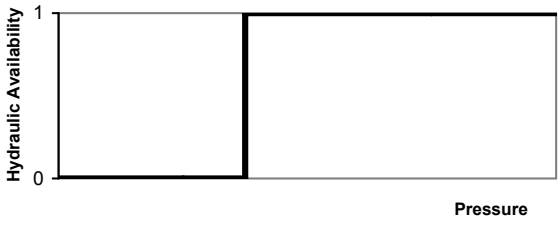
Archive of SID

در این مطالعه، بهینه سازی جانمایی شبکه های آبرسانی برمبنای اطمینان پذیری ریاضی مورد توجه قرار می گیرد و براساس آن، مدلی ارائه می شود که امکان تعیین جانمایی بهینه شبکه های آبرسانی با مقدار اطمینان پذیری مشخص را فراهم می کند. بنابراین قبل از هر چیز لازم است که اطمینان پذیری ریاضی یک شبکه را تعریف و نحوه محاسبه آن را تشریح کرد.

۲. اطمینان پذیری ریاضی

۲-۱. کلیات

اصولا اهمیت اطمینان پذیری در شبکه های آبرسانی بمنظور طراحی مناسب شبکه برای بهره برداری در شرایط اضطراری و غیرعادی است .این شرایط شامل شکست احتمالی اجزای مختلف شبکه از قبیل لوله ،شیر ،پمپ و... وهمچنین نوسانی بودن دبی های مصرف در نقاط مختلف شبکه است. بطور کلی در کارهای انجام شده توسط محققین مختلف،اطمینان پذیری در قالب دو مفهوم احتمالی اعتمادپذیری(Reliability) ودسترس پذیری(Availability) موردتوجه قرار گرفته است[9]. در اعتمادپذیری، احتمال شکست اجزای شبکه و در دسترس پذیری، احتمال دسترس پذیر بودن اجزاء آن مدنظر قرار می گیرد. از آنجاییکه اجزای مختلف یک شبکه قابل تعمیرند استفاده از مفهوم دسترس پذیری بجای اعتمادپذیری می تواند برآورد مناسبتری از اطمینان پذیری شبکه را ارائه دهد[10]. در این مطالعه مفهوم دسترس پذیری مبنای محاسبه اطمینان پذیری شبکه قرار می گیرد.



شکل۱. تابع پله ای دسترس پذیری هیدرولیکی

دسترس پذیری یک شبکه آبرسانی در طول دوره مشخصی از زمان به مفهوم درصدی از آن دوره زمانی است که شبکه می تواند همه دبی های مورد نیاز گره های مصرف را تحت فشارهای مطلوب تامین کند.تعیین دسترس پذیری یک شبکه وابسته به تعیین

۲-۲. دسترس پذیری هیدرولیکی شبکه

دسترس پذیری هیدرولیکی در هر گره به مفهوم میزان قابلیت سیستم درتامین دبی مورد نیاز یا فشار مطلوب در آن گره است. به این معنی که اگر فشار گره در حد مطلوب باشد همه دبی مورد نیاز آن گره تامین می شود و در غیر این صورت ، مقدار دبی تامین شده کمتر از مقدار مورد نیاز خواهد بود. براین اساس، دسترس پذیری هیدرولیکی هر گره رامی توان بصورت تابعی پله ای از فشار موجود در آن گره در نظر گرفت، بگونه ایکه:

$$if \quad P_j \geq P_{des} \rightarrow HA_j = 1$$

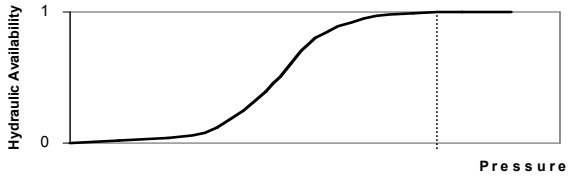
$$if \quad P_j < P_{des} \rightarrow HA_j = 0 \qquad (۱)$$

دراینجا P_j مقدار فشار در گره j ، P_{des} فشار مطلوب گرهی (حد اقل فشار مجاز طراحی) و HA_j مقدار دسترس پذیری هیدرولیکی گره j است.

اما نگاه مهندسی و واقع بینانه نسبت به موضوع نشان می دهد که تابع دسترس پذیری فوق، نمی تواند تفسیر صحیحی از کارایی هیدرولیکی گره، بازای فشارهای کمتر از فشار مطلوب ارائه دهد. براین اساس برخی از محققین [10] از یک تابع نامعین(Fuzzy) پیوسته(مشابه شکل توزیع نرمال تجمعیCumulative Normal Distribution) برای نمایش میزان دسترس پذیری هیدرولیکی هر گره استفاده کرده اند.

دراین رابطه P نمایشگر احتمال ; μ_p میانگین فشار گره ای وσ_p میزان انحراف معیار فشار است.

$$HA_j = P(p_{des} \leq p_j) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{P_j}^{\frac{(P_j-\mu_P)}{\sigma_P}} e^{-t^{\frac{5}{2}}} dt] \qquad (۲)$$
$$= p[\frac{(p_j - \mu_P)}{\sigma_P}$$



$p_{\min}$

شکل۲. تابع پیوسته دسترس پذیری هیدرولیکی

www.SID.ir

Archive of SID

مبنای اندازه گیری دسترس پذیری هیدرولیکی در روابط فوق، مقادیر فشار درگره های مصرف است. اما از آنجاییکه مقدار دبی موجود در هر گره مصرف متناسب با فشار آن گره است، مرجع [11] تعریف زیر را برای دسترس پذیری هیدرولیکی هر گره ارائه داده است.

$$HA_j = \frac{Q_j^{avl}}{Q_j^{req}} \qquad (۳)$$

در این رابطه، Q_j^{req} مقدار دبی مورد نیاز(تقاضا) و Q_j^{avl}مقدار آب موجود و تامین شده درگره j است.

رابطه فوق برای محاسبه دسترس پذیری هیدرولیکی تفسیر واضحتری از کارایی هیدرولیکی شبکه بدست می دهد. این رابطه علاوه بر ارائه معیاری درمورد کارایی شبکه در مواقع شکست لوله های شبکه ، در شرایط بالا رفتن دبی های مصرف نیز کاربرد دارد. محاسبه دقیق دسترس پذیری هیدرولیکی شبکه از نظر محاسباتی کار مشکلی است. بنابر این در بیشتر کارهای انجام شده، دسترس پذیری هیدرولیکی شبکه با استفاده از روشهای زیر وبصورت تقریبی محاسبه شده است :

۱-میانگین هندسی دسترس پذیری هیدرولیکی گره های شبکه.

۲-میانگین حسابی دسترس پذیری هیدرولیکی گره های شبکه.

۳-میانگین وزنی دسترس پذیری هیدرولیکی گره های شبکه.

۴-کمترین مقدار دسترس پذیری هیدرولیکی گره های شبکه. (دسترس پذیری هیدرولیکی بحرانی ترین گره)

مثلا باداشتن دسترس پذیری هیدرولیکی کلیه گره ها، دسترس پذیری هیدرولیکی شبکه را می توان بصورت میانگین وزنی آنها برآورد کرد که در آن، مقدار دبی مورد نیاز هر گره بعنوان وزن هر گره در نظر گرفته می شود[12]. بنابراین، دسترس پذیری هیدرولیکی شبکه از رابطه زیر بدست می آید :

$$HA_{net} = \frac{\sum_{j=1}^{J} Q_j^{avl}}{\sum_{j=1}^{J} Q_j^{req}} \qquad (۴)$$

مشکل اساسی دراستفاده از دبی برای محاسبه دسترس پذیری هیدرولیکی ،تعیین دبی های قابل دسترسی (Available) در گره های مصرف است. همانطور که می دانیم اگر فشار در گره مصرف، به اندازه مطلوب باشد تمام دبی مورد نیاز آن گره تامین خواهد شد. علت این امر آنست که، اصولا دبی خروجی در هر گره متناسب با فشار آن گره است. متاسفانه، نرم افزارهای موجود برای تحلیل هیدرولیکی شبکه های توزیع آب شهری همگی براساس روشی موسوم به روش مبتنی برتقاضا Demand Driven Simulation Method (DDSM) استوار شده اند. دراین مدلها وابستگی میزان دبی خروجی هر گره با فشار گرهی در نظر گرفته نشده است ومیزان دبی در هر شرایطی، ثابت و برابر میزان تقاضای هر گره در نظر گرفته می شود.

نکته دیگر در استفاده از روشهای DDSM در شرایط بحرانی و غیر عادی بهره برداری اینست که اینگونه روشها ناکارایی شبکه در تامین فشارهای مطلوب گره ها را بیشتر از آنچه که هست نشان می دهند. بنابراین، این روشها نمی توانند ارزیابی صحیحی از فشارهای گرهی را برای استفاده در رابطه دسترس پذیری هیدرولیکی هر گره برمبنای فشار، رابطه(۲) ، ارائه دهند.

باتوجه به ضعفهای مذکور روش DDSM، از حدود دو دهه پیش تحقیقات برای تهیه مدلهای تحلیل موسوم به مدلهای تحلیل مبتنی برفشار (HDSM) Head Driven Simulation Method آغاز شده است. از جمله مدلهای تهیه شده در این زمینه می توان به مدلهای ارائه شده در مراجع [17-13] اشاره کرد. مراجع [16] و [17] در مدل خود از رابطه سهموی زیر(شکل۳) برای برآورد دبی های قابل دسترس در هر گره استفاده کردند.

در روابط زیر، n ثابتی بین ۱/۵ تا ۲ و R_j ثابت مقاومتی (Resistance Constant) هر گره است. استفاده از رابطه (۵) برای محاسبه دبی خروجی گره های مصرف شبکه، تطابق بهتری با واقعیت دارد. البته مقادیر دقیق n و R_jرا برای هر شبکه باید از طریق کالیبراسیون تعیین کرد. در این مطالعه نیز از رابطه (۵) و با فرض $n = 2$ برای محاسبه دبی خروجی در گره های مصرف استفاده شده است.

$$if \;\; H_j^{avl} \le H_j^{\min} \rightarrow Q_j^{avl} = 0$$

$$if \;\; H_j^{\min} < H_j^{avl} < H_j^{des} \rightarrow$$

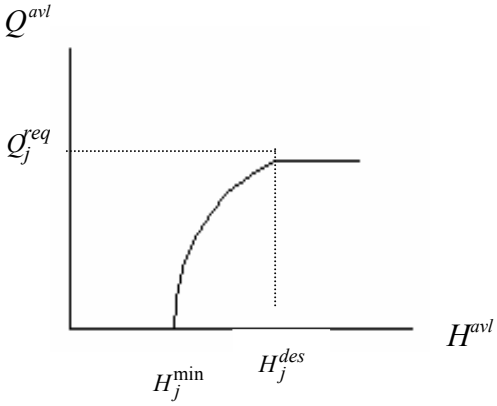
$$Q_j^{avl} = Q_j^{req}\left(\frac{H_j^{avl} - H_j^{\min}}{H_j^{des} - H_j^{\min}}\right)^{\frac{1}{n}} \qquad (۵)$$

www.SID.ir

Archive of SID

$$if \qquad H_j^{avl} \geq H_j^{des} \rightarrow Q_j^{avl} = Q_j^{req}$$

$$H_j^{des} = H_j^{\min} + R_j (Q_j^{req})^n \qquad (۶)$$



شکل۳ . نمودار دبی قابل دسترسی برحسب فشار درگره های مصرف در مدل مراجع [16]و [17]

۲-۳. دسترس پذیری مکانیکی اجزای شبکه

دسترس پذیری مکانیکی هرجزء از شبکه به مفهوم درصدی ازدوره زمانی مشخصی است که آن جزء سالم وبطور کامل در خدمت شبکه باشد. دراینجا برای محاسبه دسترس پذیری شبکه،فقط شکستگی لوله های شبکه در نظر گرفته خواهد شد. باتوجه به تعریف کلی دسترس پذیری مکانیکی و با فرض اینکه هرلوله شکسته شده بلافاصله تعمیر شود، دسترس پذیری مکانیکی هر لوله را می توان از رابطه زیر محاسبه کرد [10]:

$$MA_i = \frac{MTBF_i}{MTBF_i + MTTR_i} \qquad (۷)$$

دراین رابطه ، MA_i معرف دسترس پذیری مکانیکی لوله i ام، $MTBF_i$ میانگین فواصل زمانی شکستهای لوله i ام و $MTTR_i$ میانگین زمانی تعمیرهای لوله i ام است. رابطه فوق مبنای اکثر روابط ارائه شده برای دسترس پذیری مکانیکی لوله هاست. مرجع [10] رابطه زیر رابرای محاسبه دسترس پذیری مکانیکی هر لوله برحسب قطر آن پیشنهاد کرده است:

$$MA_i = \frac{0.21218 D_i^{1.4620131}}{0.21218 D_i^{1.4620131} + 0.00074 D_i^{0.285}} \qquad (۸)$$

دراین رابطه، D_i قطرلوله برحسب اینچ است. با داشتن دسترس پذیری هر لوله، دسترس پذیر نبودن آن از رابطه زیر بدست می آید:

$$MU_i = 1 - MA_i \qquad (۹)$$

۲-۴. محاسبه دسترس پذیری شبکه

با توجه به رابطه (۸) برای محاسبه دسترس پذیری هر لوله فرضی، احتمال دسترس پذیربودن کلیه لوله های یک شبکه شامل NL لوله از رابطه زیر بدست می آید :

$$MA_{TOT} = \prod_{i=1}^{NL} MA_i \qquad (۱۰)$$

همچنین احتمال اینکه هر زیرمجموعه دلخواهی از لوله های شبکه (S_L) در دسترس نباشد و بقیه لوله های شبکه سالم باشند نیز از رابطه زیر بدست می آید:

$$P(S_L) = MA_{TOT} . \prod_{i \in S_L} (\frac{MU_i}{MA_i}) \qquad (۱۱)$$

با محاسبه پارامترهای فوق، دسترس پذیری یک شبکه رامی توان از رابطه زیر محاسبه کرد [17]:

$$AV_{net} = HA_{net}^0 . MA_{TOT} + \sum_{L=1}^{NS} HA_{net}^{S_L} . P(S_L) \qquad (۱۲)$$

دراین رابطه HA_{net}^0 دسترس پذیری هیدرولیکی شبکه در شرایط سالم بودن کلیه لوله های شبکه، $HA_{net}^{S_L}$ دسترس پذیری هیدرولیکی شبکه در شرایطی که زیر مجموعه S_L از لوله های شبکه شکسته شده باشند و NS تعداد کل زیر مجموعه های مختلف از مجموعه لوله های شبکه است. محاسبات نشان می دهد که در نظر گرفتن صرفا زیر مجموعه های تک لوله ای از NS، در رابطه (۱۲) به جوابهای قابل قبولی در مقایسه با مقدار دقیق آن منجر خواهد شد. در این مطالعه رابطه (۱۲) مبنای محاسبه اطمینان پذیری شبکه قرار گرفته وبراین اساس اطمینان پذیری ریاضی شبکه از رابطه زیر محاسبه خواهد شد:

$$R = HA_{net}^0 . MA_{TOT} + \sum_{L=1}^{NS} HA_{net}^{S_L} . P(S_L) \qquad (۱۳)$$

www.SID.ir

Archive of SID

۳. فرمول بندی مساله بهینه سازی

در تعیین جانمایی حداکثر شبکه تلاش می شود تا جانمایی انتخابی دربردارنده تمام مسیرهای های ممکن شبکه باشد. البته وجود محدودیتهای فیزیکی و جغرافیایی همچون توپوگرافی زمین، مسیرخیابانها، محل ساختمانها و... سبب می شود تا درعمل تعداد لوله های ممکن برای یک شبکه، کمتر از مقدار نظری آن شود. براین اساس تابع هدف مساله بهینه سازی را که معرف کمینه کردن هزینه شبکه است می توان بصورت زیر تعریف کرد:

$$MinC_o = \sum_{i=1}^{NL} C_i L_i \qquad (۱۴)$$

در این رابطه ، NL تعدادلوله های شبکه دارای جانمایی حداکثر، L_i طول لوله i ام و C_i هزینه واحد طول لوله i ام که تابعی از قطرلوله است. قیود مدل بهینه سازی نیز بصورت زیر نوشته می شوند:

۱-قیود مربوط به قانون بقای جرم در هر گره

$$\sum_{i\in in(k)} q_i - \sum_{i\in out(k)} q_i = Q_k^{avl} \qquad (۱۵) \qquad k = 1,....,J$$

که در آن $in(k)$ مجموعه لوله های ورودی متصل به گره k ; $out(k)$ مجموعه لوله های خروجی متصل به گره k ; J تعداد گره های شبکه و Q_k^{avl} مقدار دبی موجود درگره k است که مقدار آن

۲-قیود مربوط به قانون بقای انرژی در هر حلقه :

$$\sum_{i\in P} J_i = 0 \qquad p = 1,....,m \qquad (۱۶)$$

دررابطه فوق J_i افت هد در لوله i از حلقه p و m تعداد حلقه های شبکه است.

۳- رابطه هیزن–ویلیامز :

$$J_i = kL_i (q_i / c)^{\lambda} X_i^{-\alpha} \qquad (۱۷)$$

در رابطه فوق λ=1.85 ; α=4.87 ; c ضریب هیزن –ویلیامز و K ضریب ثابتی است که مقدار آن به سیستم آحاد مورد استفاده بستگی دارد.

۴-قیود مربوط به حداقل و حداکثر هد فشار در گره های مصرف :

$$H_{\min} \le H_k \le H_{\max} \qquad k=1,.....,J \qquad (۱۸)$$

۵-قیود مربوط به حداقل وحداکثر سرعت در لوله ها:

$$V_{\min} \le V_i \le V_{\max} \qquad i = 1,...., NL \qquad (۱۹)$$

در این روابط H_k و $H_{\min}$ و $H_{\max}$ بترتیب مقادیر هد فشار موجود در گره k و مینیمم وماکزیمم هد فشار مجاز درگره های مصرف، V_i و $V_{\min}$ و $V_{\max}$ بترتیب مقادیر سرعت جریان در لوله i ام و مینیمم و ماکزیمم سرعت مجاز در لوله های شبکه است.

۶-قید مربوط به محدوده مجاز قطر لوله ها:

$$0 \le d_i \le d_{\max} \qquad i = 1,...., NL \qquad (۲۰)$$

که در آن $d_{\max}$ مقدار ماکزیمم قطر لوله های موجود در بازار است. حد پایین قطر لوله ها برابر صفر قرار داده شده است تا از این طریق امکان حذف لوله ها در حین فرآیند بهینه سازی فراهم گردد. در صورتیکه مقدار قطر لوله فرضی در حین فرآیند بهینه سازی کمتر از قطر مینیمم $d_{\min}$ شود مقدار آن برابر صفر قرار داده میشود تا بدین ترتیب از دستیابی به جوابهای غیر اجرایی اجتناب بشود.

۷-قید مربوط به اطمینان پذیری:

$$R \ge \overline{R} \qquad (۲۱)$$

در این رابطه $\overline{R}$ اطمینان پذیری مطلوب (موردنظر) شبکه و R اطمینان پذیری شبکه بازای قطرهای فرضی لوله های شبکه است که مقدار آن از رابطه (۱۳) محاسبه می شود.

۴.مدل بهینه سازی

برای حل مساله بهینه سازی، ابتدا مساله بهینه سازی مقید فوق با استفاده از روش تابع تاوانی خارجی به یک مساله نامقید تبدیل می شود[20]. از این فرآیند فقط برای تامین قیود مربوط به سرعت وفشار (قیود۴و۵) و قید اطمینان پذیری (قید۷) استفاده می شود. بقیه قیود شامل قیود مربوط به قانون بقای جرم در گره ها، قانون بقای انرژی درحلقه ها و معادله هیزن–ویلیامز بصورت ضمنی و از طریق یک برنامه شبیه سازی تامین می شوند[21]. قید مربوط به قطر لوله

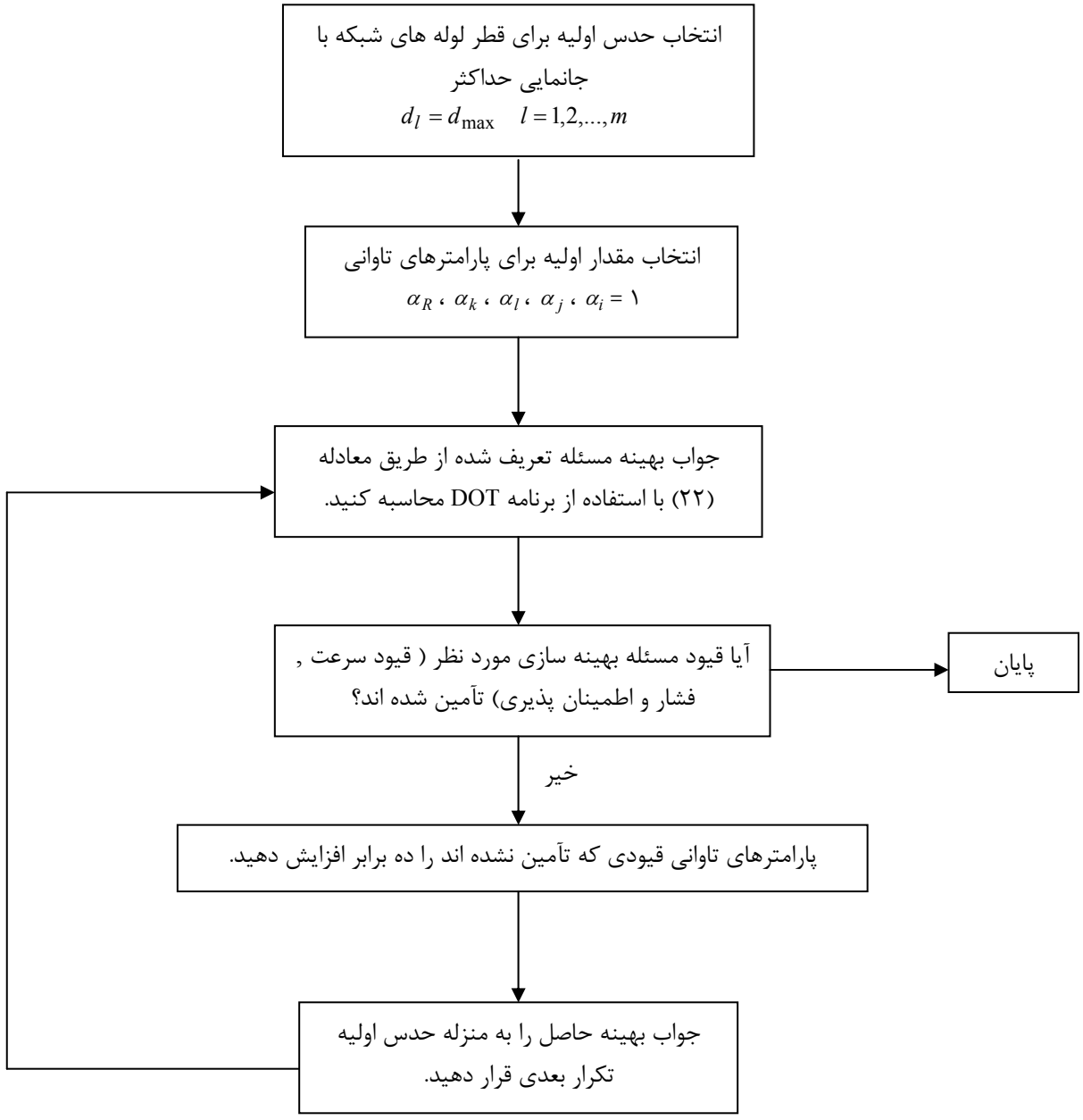
www.SID.ir

Archive of SID

های در دسترس نیز از طریق برنامه بهینه سازی موسوم به DOT (Vanderplaats,Miura and Assosiates,1994, http://www.vrand.com) که برای حل مساله بهینه سازی بکار گرفته شده تامین می شود. براین اساس تابع هدف مورد استفاده در این مدل بصورت زیر نوشته می شود:

$$MinC_p = \sum_{i=1}^{NL} C_i L_i + \sum_{i=1}^{NL} \alpha_i (V_i - V_{\min})^2 + \sum_{J=1}^{NL} \alpha_J (V_i - V_{\max})^2 + \quad (۲۲)$$
$$\sum_{k=1}^{J} \alpha_k (H_k - H_{\min})^2 + \sum_{l=1}^{J} \alpha_L (H_i - H_{\max})^2 + \alpha_R (R - \bar{R})^2$$

دررابطه فوق α_i ، α_j ، α_l ، α_k و α_R پارامترهای تاوانی هستند که مقدارشان در صورت تخطی قیود مربوطه مقادیری بزرگ و در صورت تامین شدن قیود برابر صفر فرض می شوند.



شکل ۴. نمودار شماتیک فرآیند بهینه سازی جانمایی

www.SID.ir

Archive of SID

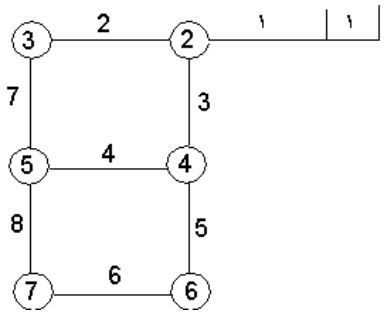
در این مطالعه، به دلیل مشکلات مربوط به تعیین مقدارمناسب پارامترهای تاوانی از روشی تکراری استفاده شده است. در این روش ، فرآیند بهینه سازی با منظور کر دن مقادیری ثابت (مثلا واحد) برای پارامترهای تاوانی شروع شده وسپس جوابهای بدست آمده برای حصول اطمینان از تامین قیود کنترل می شوند. در صورت تامین نشدن قیود، پارامترهای تاوانی به میزان مشخصی (مثلا ده برابر) افزایش داده شده وسپس مساله حاصل برای بدست آوردن جواب بهینه حل می شود. فرآیند فوق تارسیدن به جوابی که همه قیود مورد نظر را تامین کند ادامه می یابد[20]. شکل ۱ فرآیند تکراری مورد نظر را بصورت شماتیک نشان میدهد.

۵.کاربرد مدل

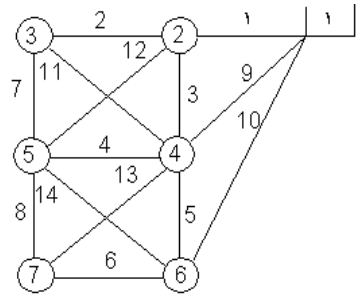
در این بخش کارایی مدل ارائه شده از طریق نتایج حاصل از بکارگیری آن برای طراحی جانمایی شبکه ای نمونه، نشان داده می شود. این شبکه شامل ۷ گره و ۸ لوله است که از آن برای وارسی کارائی روشهای بهینه سازی شبکه های با جانمائی معلوم استفاده میشود[22]. طول همه لوله ها برابر۱۰۰۰متر و ضریب هیزن-ویلیامز آنها۱۳۰ می باشد.گره ۱ گره منبع و بقیه گره های مصرف هستند. مقادیر دبی مورد نیاز در گره های ۲ ،۳ ،۴ ، ۵ ،۶ و۷ بترتیب برابر۱۰۰ ، ۱۰۰ ،۱۲۰ ،۲۷۰ ،۳۳۰ و۲۰۰ متر مکعب برساعت می باشد. حداقل فشار مورد نیاز در گره های مصرف برابر۳۰ متر فشار آب درنظر گرفته می شود. همانگونه که قبلاً اشاره شد، ازاین شبکه معمولا بعنوان یک شبکه نمونه برای مقایسه کارایی مدلهای مختلف بهینه سازی استفاده می شود. کمترین هزینه برای طراحی شبکه مذکور با جانمایی ثابت نشان داده شده در شکل ۴برابر ۴۰۹۹۵۴(واحد پول) است که در مرجع [20] ارائه شده است. اطمینان پذیری این شبکه با استفاده از رابطه (۱۳)برابر ۰/۹۹۹۵ بدست می آید.

در این مطالعه نشان داده می شود که بهینه سازی جانمایی برای این شبکه با همان مقدار اطمینان پذیری، به صرفه جویی قابل ملا حظه ای در هزینه شبکه منجر خواهد شد. بدین منظور ، ابتدا جانمایی حداکثر شکل ۶ برای شبکه در نظر گرفته می شود. دراین جانمایی طول لوله های ۱ تا ۸ برابر۱۰۰۰متر، طول لوله های ۹ ،۱۱ ،۱۲ ،۱۳ و۱۴ برابر۱۴۱۴ متر و طول لوله ۱۰برابر ۲۲۳۶ متر می باشد. شکل ۷ نتایج حاصل ازبهینه سازی جانمایی شبکه مورد نظر را، بدون در نظر گرفتن اطمینان پذیری نشان می دهد. شبکه حاصل همانکونه که انتظار میرود شبکه ای شاخه ایست که در شکل ۷ نشان داده شده است. هزینه این شبکه،۲۸۴۹۳۴ (واحد پول) واطمینان پذیری آن برابر۹۹۸۶ /۰ می باشد. ضمنا قطر بهینه لوله های شبکه و مقادیر فشارهای گرهی در جدول ۱ نشان داده شده است.

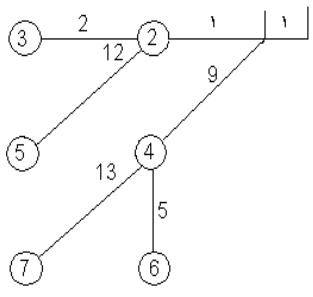
شکل ۸ شبکه حاصل از بهینه سازی جانمایی شبکه مورد نظر را با اطمینان پذیری ۰/۹۹۹۵ نشان میدهد. هزینه شبکه حاصل برابر ۳۴۴۶۵۳ (واحد پول) و اطمینان پذیری آن برابر۰/۹۹۹۵۰۱۷ می باشد. قطر بهینه لوله های شبکه وفشارهای گرهی نیز در جدول ۲ نشان داده شده است.



شکل ۵. شبکه اقتباس شده از مرجع[22]



شکل ۶. جانمایی حداکثر فرضی برای شبکه شکل ۵



شکل۷. جانمایی بهینه شبکه، بدون در نظر گرفتن اطمینان پذیری

www.SID.ir

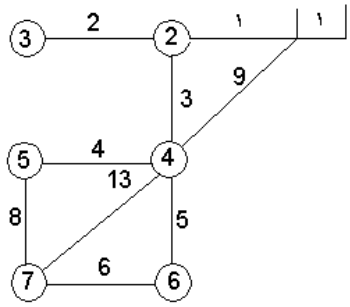
Archive of SID

جدول۱. مقادیر قطر بهینه لوله ها و فشارهای گرهی بدون درنظر گرفتن اطمینان پذیری

شماره لوله	۱	۲	۵	۹	۱۲	۱۳	
قطر بهینه لوله (اینچ)	۱۱/۲	۷/۲	۱۲	۱۴/۵	۹/۴	۹/۳	
شماره گره	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
مقدارفشار گرهی(متر)	۰/۰۰	۴۶/۵۲	۳۰/۰۲	۴۵/۰۷	۳۰/۰۳	۳۰/۰۰	۳۰/۰۵

جدول۲. مقادیر قطر بهینه لوله ها در بهینه سازی جانمایی شبکه با اطمینان پذیری ۰/۹۹۹۵

شماره لوله	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۸	۹	۱۳
قطر بهینه لوله (اینچ)	۹/۴	۶/۶	۶/۷	۸/۹	۱۳/۶	۵/۹	۳/۳	۱۵/۸	۸/۸
شماره گره	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷		
مقدارفشار گرهی(متر)	۰/۰۰	۵۰/۵۷	۳۰/۱۹	۴۳/۶۳	۳۴/۵۰	۳۰/۰۳	۳۰/۱۲		



شکل۸. جانمایی بهینه شبکه، با اطمینان پذیری ۰/۹۹۹۵

همانگونه که مشاهده می شود، بهینه سازی جانمایی شبکه به کاهش قابل ملا حظه ای در هزینه شبکه بدون کاهش اطمینان پذیری آن منجر شده است. بدین ترتیب نقش بهینه سازی جانمایی در کاهش هزینه ها بیش از پیش روشن می شود.

۶. نتیجه گیری

در این مقاله مدلی بمنظور بهینه سازی جانمایی شبکه های آبرسانی با اطمینان پذیری ریاضی مشخص ارائه شد. مبنای محاسبه اطمینان پذیری ریاضی شبکه در این مدل مفهوم دسترس پذیری است که قید مربوط به آن از طریق یک جمله تاوانی که در تابع هدف منظور شده تامین می شود. کارایی مدل نیز از طریق مقایسه نتایج حاصل از بکار گیری آن برای طراحی شبکه ای نمونه با سایر روشها نشان داده شده است. نتایج بدست آمده اهمیت و ضرورت بهینه سازی جانمایی در کاهش هزینه شبکه های آبرسانی را بخوبی نشان می دهد.

مراجع

[1] Mays, W., H.G. Wenzel, and J. C. Liebman., "*Model for Layout and design of sewer systems*".J. Water Res. Plan Manage. Div .Am. Soc. Civ. Eng.,Vol 102 (WR2), 1976, pp. 385-405.

[2] Martin, W., "*Optimal Design of Water Conveyance Systems*", J.Hydraulic Div. Am. Soc.Civ.Eng., Vol 106 (WR2), 1976, pp. 385-405.

[3] Davidson, J. W., and Goulter, I. C. , "*Evolution program for design of rectilinear branched networks*." J. of Computing in Civil Engineering, ASCE, Vol. 9, No.3, 1995, pp. 1-10.

[4] Rowel, W. F., and J .Barnes, "*Obtaining Layout of Water Distribution Systems*" , J. Hydraulic Div .Am. Soc. Civ.Eng., Vol.108(hy1), 1982, pp. 137-148.

[5] Morgan, D. R., and I. C. Goulter , "*Least Cost Layout and Design of Looped Water Distribution Systems*",Paper Presented at Proceedings of the Ninth International Symposium on Urban Hydrology, Hydraulics and Sediment Contntrol,Univ. of Ky., Lexington, July 1982, pp. 27-30.

[6] Morgan, D.R., and I. C.Goulter,"*Optimal Urban Water Distribution Design*", J. Water Resour. Res. ,ASCE,Vol. 21, No. 5, May 1985, pp. 642-652.

[7] Davidson, J. W. , "*Evolution program for layout geometry of rectilinearlooped networks*." J. of Computing in Civil Engineering, ASCE, Vol. 13, No. 4, 1999, pp. 246-153.

[8] Afshar, M. H, Akbari , M, and M.A. Marino, " *Layout Optimization of Water Distribution Networks: An Engineering Approach*", J. of Infrastructure Systems, ASCE, Vol. 11, No. 4, 2005, pp.221-230.

www.SID.ir

Archive of SID

[9] Shinstine , D. S., Iftekhar , A., and Lansey ,K .E.,"*Reliability/Availability Analysis of Municipal Water Distribution Networks: Case Studies*", J. Water Res .Plng.and Mgmt., ASCE, Vol.128, No.2, Mar 2002, pp. 140-151.

[10]Cullinane,M.J.,Lansey,K.E., and Mays, L.W , "*Optimization-Availability Based Design of Water Dier- Dirks*",J. Hydr. Eng. ,ASCE, Vol.118, No.3, Mar. 1992, pp. 420-441.

[11] Tanymboh,T. T.,Tabesh ,M.,, and Burrows,R.,"*An Improved Source Head Method for Calculating the Reliability of Water Distribution Networks*" Computing and Control for the Water Industry ,R. Powell and K.S, Hindi, eds, Research Studies Pross, Baldock, U.K., 1999, pp. 21-33.

[12] Tanymboh,T. T.,Tabesh,M., and R.Burrows, "*Appraisal of Source Haed Methods for Calculating Reliability of Water Distribution Networks*",J. Water Res .Plng.and Mgmt.,ASCE, Vol. 127,No. 4, Jul/Aug 2001,pp. 206-213.

[13] Reddy.l.s., and Elango, K,, "*Analysys of Water Distribution Networks With Head Dependent Outlets*" civ.Engrg, Sys., Vol. 6, No. 3, 1989, pp. 102-110 .

[14] Reddy.l.s, and Elango, K.,"*A New Approach to the Analysis of Water Starved Networks*".J.Indian Water Works Assoc. Vol. 23, No. 1, 1991, pp. 31-38.

[15] Germanopoulos, G., "*A Technical Note on the Inclusion of Pressure Dependenet Demand and Leakage Terms in Water Supply Network Models*" Civ .Engrg . Sys., Vol. 2, No. 3, 1985, pp. 171-179.

[16] Wagner. JM ,Shamir, U., and Marks,D.H.,"*Water Distribution Reliabilty: Simulation Methods*" .J.Water Resour.Plgn .and Mgmt. ASCE, Vol. 114, No. 3, 1998, pp. 276-294.

[17] Chandapillai, J.,"*Realistic Simulation of Water Distribution System*",J. Transp .Engrg. ASCE, Vol. 117, No. 2, 1991, pp. 258-263.

[18] Ross, S.M., "*Introduction to Probabilty Models*"Avcademic,Newyork,1985

[19] Fujiwara ,O., and De Silva, A.U., "*Algorithm for Reliability-Based Optimal Design of Water Networks*", J. Environ. Eng.,ASCE,Vol.116, No.3, May/June 1990, pp. 575-587.

[20] Afshar, M.H, Afshar, A., and M.A. Marino , "*An Iterative Penalty Method for the Optimal Design of Pipe Network*", Submitted to the Int. J. of Eng. Science, University of Shiraz, 2002.

[21] Afshar, M.H, "*An Element-by-Element Algorithm for the Analysis of Pipe Networks*", Int. J. for Eng. Science, Vol. 12, No. 3, 2001, pp. 87-100.

[22] Alperovits, E., and U. Shamir , "*Design of Optimal Water Distribution Systems*",J.Water Resour .Res.,ASCE , Vol. 13, No. 6, 1977, pp.885-900.

www.SID.ir