بهینه سازی فنی و اقتصادی یک شبکه توزیع گاز به منظور یافتن علت فنی ایجاد افت فشار گاز در زمستان

مسعود ابراهیمی[۱]

تاریخ دریافت مقاله:
۱۳۸۹/۶/۱۲
تاریخ پذیرش مقاله:
۱۳۸۹/۱۲/۵

چکیده:

شبکه توزیع گاز در بعضی از مناطق سردسیر ایران در فصل زمستان با مشکل افت فشار و در نتیجه قطعی گاز مواجه می شود. بیشتر اوقات افزایش مصرف به عنوان دلیل اصلی این مشکل بیان شده است، در حالی که افزایش مصرف، که تا حدی نیز امری طبیعی می باشد و همچنین یکی از پارامترهای کلیدی طراحی شبکه است، تنها دلیل ایجاد این مشکل نمی باشد بلکه شبکه های توزیع گاز بهینه نشده دلیل مهمی برای توزیع نامناسب گاز، ایجاد افت فشار و قطعی گاز می باشند. در این تحقیق شبکه توزیع گاز متعلق به روستای باباریز در نزدیک شهر سنندج به وسیله یک الگوریتم ابتکاری بهینه سازی ، بهینه شده است. نتایج نشان می دهند که قطر بیش از ۹۰٪ از لوله ها بیش از مقدار مورد نیاز در نظر گرفته شده است که این مسئله باعث ایجاد هزینه اضافی بیش از ۳۰۰ میلیون ریال در اجرای شبکه می شود. شبکه های بهینه نشده توزیع گاز باعث افزایش هزینه های اجرای شبکه شده و همچنین توزیع و تحویل گاز به مصرف کننده را در زمانهای بحرانی مصرف با مشکل روبرو خواهند کرد.

کلمات کلیدی:
شبکه توزیع گاز، الگوریتم بهینه سازی، قطعی گاز، افت فشار

۱) دانشگاه آزاد اسلامی، واحد سنندج،دانشکده فنی، ebrahimi_masood@yahoo.com

مقدمه

در سالهای اخیر قطعی گاز و افت فشار در شبکه های توزیع گاز به مشکلی جدی در مناطق سردسیر کشور تبدیل شده است و نیاز به مطالعه عمیق و دقیق در این زمینه به صورت جدی احساس می شود. افزایش مصرف در فصول سرد سال که تا حدی نیز طبیعی می باشد همواره به عنوان دلیل اصلی این مشکلات بیان شده است، این در حالی است که دلایل فنی از جمله بخاریهای گازسوز با بازدهی پایین نقشی موثر در افزایش مصرف انرژی دارند و افزایش هر درصد از بازده این بخاریها معادل صرفه جویی قابل توجهی درمصرف انرژی و همچنین کاهش آلاینده ها می باشد. علاوه بر این بیشتر منازل مسکونی و حتی بعضی ادارات از سیستم حرارت دهی مستقل استفاده می کنند، این در حالی است که استفاده از سیستم حرارت مرکزی مصرف سوختی معادل ۱۲ درصد کمتر از سیستم های مستقل دارند[۱]. اگر چه موارد ذکر شده از جمله دلایل مهم در افزایش مصرف سوخت می باشند اما هدف اصلی این تحقیق بررسی روشهای کاهش مصرف سوخت نیست. این تحقیق به مطالعه یک شبکه توزیع گاز طراحی شده پرداخته است و به دنبال یافتن جواب این سوال است که،" آیا شبکه طراحی شده یک شبکه بهینه می باشد یا خیر؟" قطرهای بهینه نشد ه خطوط لوله در شبکه توزیع گاز می تواند کیفیت توزیع گاز را تحت تاثیر قرار دهد و همچنین باعث تحمیل هزینه های اضافی در اجراء شبکه شوند. برای بررسی این مسئله بهینه سازیهای مختلف صورت گرفته در خصوص شبکه های توزیع و انتقال گاز مورد مطالعه قرار گرفتند. به عنوان مثال Andrzej et al. [۵]از یک الگوریتم توسعه یافته برای بهینه سازی دو شبکه توزیع گازاستفاده کرده اند. اولی یک شبکه کم فشار شامل ۱۰۸ لوله ، ۸۳ گره و دو منبع می باشد و دیگری یک شبکه با فشارمتوسط ، شامل ۳۹ لوله، ۳۶ گره و یک منبع می باشد. بهینه سازی شبکه اول منجر به صرفه جویی USD ۴۴۶۰۳ و بهینه سازی شبکه دوم نیز باعث ایجاد USD ۲۹۰۰ صرفه جویی افتصادی شده است. در تحقیق پیش رو نیز با توجه به نزدیکی مسئله مورد نظر با مسئله حل شده در [۵]، الگوریتم مورد استفاده این محقیقین جهت انجام مدلسازی و بهینه سازی شبکه روستای بابابریز مورد استفاده قرار گرفته است. در یک تحقیق دیگر نیز [۱۸] Stanisław Nagy et al. با استفاده از روش شبکه بندی[1] یک شبکه توزیع گاز را بهینه سازی کردند. مزیت اصلی کار آنها این است که می توان نقشه گرادیان فشار ، نقشه سرعت جریان و نقشه عدد رینولدز را با استفاده از تبدیل های ساده ریاضیاتی شبکه[1] بدست آورد. آنچه برای انجام این آنالیزها مورد نیاز است توصیفی کامل از موقعیت جغرافیایی(GIS) از شبکه مورد نظرمی باشد.[۷] B.V. Babu et al. نیز از روش دیفرانسیلی توسعه یافته[1] برای بهینه سازی یک شبکه انتقال گاز استفاده کردند. بهینه سازی این شبکه منجر به سود سالیانه ۷/۲۸۹ میلیون دلار آمریکا شده است.[۱۲] Kirby S. Chapman et al. یک شبکه توزیع گاز در آمریکا را با استفاده از روش کاملاً ضمنی تفاضل محدود حل کرده و به توسعه بستر شبکه انتقال و توزیع گاز با استفاده از خطوط لوله مجازی پرداختند. [۱۱] Klaus Ehrhardt et al توانایی روشهای بهینه سازی غیر خطی را مورد بررسی قرار دادند. همچنین [۱۷] R.L. Salcedo et al. و [۸] C.A. Floudas et al. به بحث و بررسی در مورد روشهای بهینه سازی غیر خطی پرداخته اند.

بهینه سازی شبکه های توزیع وانتقال گاز منجر به صرفه جویی های اقتصادی زیادی و همچنین توزیع بهتر گاز در شبکه می شود. بدین دلیل در این تحقیق شبکه توزیع گاز در روستای بابریز جهت بهینه سازی در نظر گرفته شده است.

این شبکه شامل ۸۷ لوله، ۸۲ گره و یک منبع می باشد. فشار گاز ورودی به شبکه 60psi و گاز با فشار psi ۲۵/ به مصرف کننده های مسکونی وارد می شود. در حدود ۴۰۰ مصرف کننده به وسیله این شبکه تغذیه می شود. بر اساس استانداردهای شرکت ملی گاز ایران هر مصرف کننده نیاز به دبی گاز m^3/hr ۲/۲ دارد. بعد از اعمال الگوریتم توسعه یافته بهینه سازی به شبکه مورد نظر، که در ادامه ذکر شده است، مشخص می شود که اکثر اندازه قطر لوله ها بزرگتر از حد مورد نیاز می باشد.

فرمولاسیون مسئله

الگوریتم بهینه سازی و مدلسازی

به منظور بهینه سازی طراحی شبکه مورد نظر ، یک تابع که هزینه اقتصادی شبکه را به پارامترهای شبکه مانند قطر لوله ها، طول لوله ها و ... ارتباط می دهد به صورت زیر تعریف شده است [۵] .

$$\begin{aligned} C(\underline{D}) &= eF_L^T F_D^T \\ F_L &= [L_1 \;\; L_2 \cdots \;\; KL_m] \\ F_D &= [D_1^{1.3} \;\; D_2^{1.3} \;\; \cdots \; D_m^{1.3}] \end{aligned} \qquad (۱)$$

که در رابطه فوق e یک عددثابت، L طول لوله، K ضریب وزنی بوده و به هزینه های خطوط لوله ارتباط دارد، m تعداد لوله ها و D نیز قطر لوله می باشد. فرآیند بهینه سازی شامل کمینه کردن تابع هزینه $C(\underline{D})$ با در نظر گرفتن تعدادی دیگر قید که در ادامه ذکر می شوند می باشد. قوانین اول و دوم کیرشهف[1] بایستی برای هر شبکه ای اعمال شوند. قانون اول کیرشهف به صورت زیر بیان می شود.

$$\underline{A} \cdot F_D^T - \underline{d} = \underline{0} \qquad (۲)$$

که در آن $\underline{A} = A_{n\times m}$ ماتریس تقاطع شاخه ها در گرهها[2] می باشد، n و m به ترتیب تعداد گره ها و لوله ها می باشند، و $\underline{d} = d_{m\times 1}$ بردار بارگذاری[3] شبکه می باشد. المانهای ماتریس $\underline{A}$ نیز به صورت زیر تعریف می شوند.

$$a_{ij} = \begin{cases} \alpha_j \\ -\alpha_j \\ 0 \end{cases} \qquad (۳)$$

که a_{ij} برابر α_j می شود اگر شاخه j وارد گره i گردد، و برابر $-\alpha_j$ خواهد شد اگر شاخه j از گره i خارج شود. در صورتی که شاخه j به گره i متصل نباشد مقدار a_{ij} برابر صفر خواهد شد.

[1] Kirchhoff's law
[2] Nodal-branch incidence matrix
[3] Loads vectors

قانون دوم کیرشهف به صورت زیر بیان می شود.

$$\underline{B} \cdot F_D^T = \underline{0} \quad (۴)$$

که در آن $\underline{B} = B_{u\times m}$ ماتریس برخورد شاخه های حلقه[۴] بوده، u تعداد حلقه های مستقل[۵] و المانهای ماتریس $\underline{B}$ به صورت زیرتعریف می شوند.

$$b_{ij} = \begin{cases} \beta_j \\ -\beta_j \\ 0 \end{cases} \quad (۵)$$

که اگر شاخه j با حلقه i هم جهت باشند آنگاه $b_{ij} = \beta_j$ و اگر در خلاف جهت همدیگر باشند $b_{ij} = -\beta_j$ و اگر شاخه j در حلقه i قرار نداشته باشد آنگاه $b_{ij} = 0$ خواهد شد. فشار و سرعت در هر گره و هر لوله از شبکه بایستی به ترتیب از نامساویهای زیر تبعیت کنند[۳،۱۵،۲]

$$p_i \geq p_{\min} \quad (۶)$$

$$v_{\min} \leq v_i \leq v_{\max} \quad (۷)$$

که در آنها $p_{\min}$ کمترین فشار مجاز در گره ها بوده و معادل فشار مینیمم مورد نیاز تجهیزات مصرف کننده گاز می باشد، v_i نیز سرعت جریان گاز در هر لوله می باشد و $v_{\min}$ و $v_{\max}$ نیز به ترتیب حداقل و حداکثر سرعت مجاز گاز در داخل لوله می باشند. در صورتی که سرعت گاز درون لوله از این حدود تجاوز کند می تواند باعث ایجاد خوردگی و یا عدم رسیدن گاز به مقصد شود.

بردار $\underline{d} = d_k$ که در قانون اول کیرشهف ذکر گردید با کمینه نمودن تابع Q که در زیر آمده محاسبه می شود.

$$Q(\underline{d}) = C(\underline{x}_k) + \underline{d}^T \cdot \nabla C(\underline{x}_k) + \frac{1}{2}\underline{d}^T \cdot \underline{B}_k \cdot \underline{d} \quad (۸)$$

و در نهایت پارامتر بهینه شده (به عنوان مثال قطر لوله) به صورت زیرمحاسبه می شود:

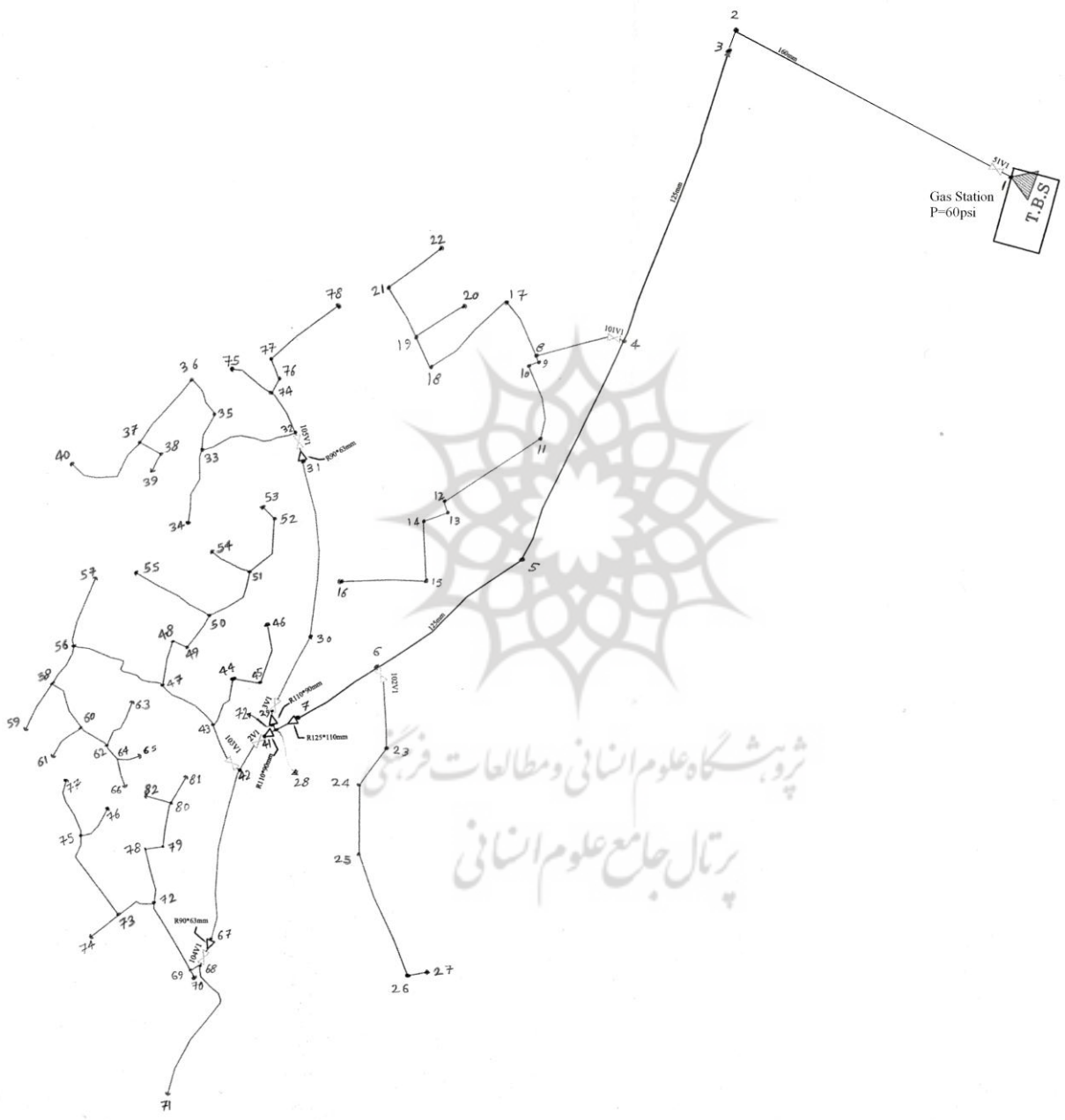
$$\underline{x}_{k+1} = \underline{x}_k + \alpha_k \underline{d}_k \quad (۹)$$

که در آن α_k یک گام طولی مثبت مربوط به پارامتری است که در حال بهینه شدن می باشد.

شبکه توزیع گاز مربوط به روستای باباریز در نزدیک شهرستان سنندج جهت بهینه سازی در نظرگرفته شد. این شبکه شامل ۸۷ لوله ، ۸۲ گره و یک منبع می باشد. گاز با فشار 60psi به شبکه تزریق می شود و با فشار 0.25psi به داخل منازل هدایت می شود. تقریباً ۴۰۰ مصرف کننده از این شبکه تغذیه می شوند و بر اساس استاندارد های شرکت ملی گاز ایران هر مصرف کننده مسکونی $2.2m^3/hr$ مصرف گاز خواهد داشت. نقشه خطوط شبکه گاز مذکور درشکل

[4] Loop-branch incidence matrix
[5] Independent loops

۱ نشـان داده شـده اسـت. بـرای محاسـبه دبـی جریـان گـاز Q درلولـه هـا معادلـه پـل[6] اسـتفاده شـده اسـت [۲، ۳، ۴، ۶، ۹، ۱۰، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۹] .



شکل ۱ : شبکه توزیع گاز روستای مورد نظر به همراه شماره گره های مربوط به هر لوله

[6] Pole's equation

$$\Delta P = 5.117 \times 10^{-13} \times LQD^{-5} \quad (۱۰)$$

که در آن ΔP گرادیان فشار بوده و Q دبی گاز به عنوان یکی از پارامترهای بهینه سازی به صورت زیر می باشد:

$$\begin{aligned} Q_i &= \alpha_i \cdot D_i^2, \\ \alpha_i &= 19.6354 \times v_i \end{aligned} \quad (۱۱)$$

که در آن Q بر حسب ft^3/hr ، D بر حسب اینچ و v بر حسب ft/sec می باشد. و همچنین داریم:

$$\Delta p_i = \beta_i \cdot D_i^{-1}, (lb/in^2)$$
$$\beta_i = 1.391 \times 10^{-6} \times L_i \times v_i^2 \quad (۱۲)$$

که در آن L بر حسب ft بوده و قید سرعت در هر لوله بصورت زیر بیان می شود.

$$16.4(ft/s) \le v_i \le 32.8(ft/s) \quad (۱۳)$$

و قید فشار در هر گره نیز عبارت است از:

$$p_i \ge 0.25 \ (lb/in^2) \quad (۱۴)$$

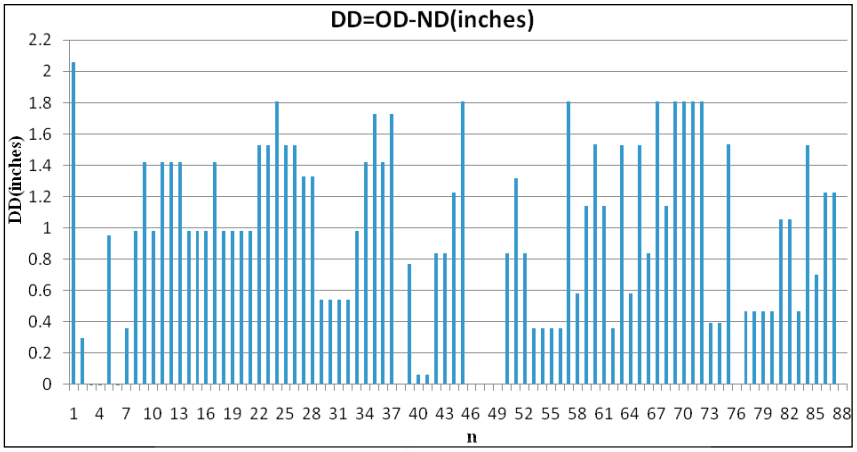
پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

نتیجه گیری

نتایج بهینه سازی مربوط به شبکه مورد نظر در جدول (۱) و شکل (۲) ارائه شده اند. در جدول (۱) که نتایج مربوط به فقط ۲۰ لوله به عنوان نمونه ارائه شده است ، n نشان دهنده شماره لوله، Bn و En نمایشگر شماره گره در ابتدا و انتهاء هر لوله بوده، L طول لوله ، Q دبی جریان درلوله، O_D قطر اولیه لوله یا قطر طراحی شده، N_D قطر جدید یا قطر بهینه سازی شده لوله و $DD = O_D - N_D$ اختلاف قطر طراحی شده و قطر بهینه سازی شده می باشد.

جدول۱ : نمونه محاسبات و مقایسه بین قطر طراحی شده و بهینه شده خطوط لوله شبکه توزیع گاز

n	Bn	En	L(ft)	$Q(ft^3/\min)$	$O_D(in)$	$N_D(in)$	DD(in)
۱	۱	۲	۸۵۰.٥٦۹٦	۳۱۰۷٦.۳۲	٦.۲۹۹۲۱۳	٤.۲٤۰۸	۲.۰٥۸٤۱۲٦
۲	۲	۳	٥۹.۷۹٤٤	۳۱۰۷٦.۳۲	٦.۲۹۹۲۱۳	٦.۰۰٥۲	۰.۲۹٤۰۱۲٦
۳	۳	٤	۸۲٦.٥٦	۳۱۰۷٦.۳۲	٤.۹۲۱۲٦	٤.۹۲۱۳	-٤.۰۱٥۷٥-۰٥
٤	٤	٥	٦٦۹.۱۲	۲۷۱۹۱.۷۸	٤.۹۲۱۲٦	٤.۹۲۱۳	-٤.۰۱٥۷٥-۰٥
٥	٥	٦	٤۹۸.٥٦	۲۷۱۹۱.۷۸	٤.۹۲۱۲٦	۳.۹٦٦۷	۰.۹٥٤٥٥۹۸٤
٦	٦	۷	۲٥۹.۱۲	۲٦٤۱٤.۸۷	٤.۹۲۱۲٦	٤.۹۲۱۳	-٤.۰۱٥۷٥-۰٥
۷	٤	۸	۲٤٥.۳٤٤	۳۸۸٤.٥٤	۲.٤۸۰۳۱٥	۲.۱۲۳۳	۰.۳٥۷۰۱٤۹٦
۸	۸	۱۷	۱۷۰.٥٦	۱۹٤۲.۲۷	۲.٤۸۰۳۱٥	۱.٥۰۱۳	۰.۹۷۹۰۱٤۹٦
۹	۱۷	۱۸	۲۷۹.٤٥٦	۱۹٤۲.۲۷	۲.٤۸۰۳۱٥	۱.۰٦۰۷	۱.٤۱۹٦۱٤۹٦
۱۰	۱۸	۱۹	۹۳.۹۰٦٤	۱۹٤۲.۲۷	۲.٤۸۰۳۱٥	۱.٥۰۱۳	۰.۹۷۹۰۱٤۹٦
۱۱	۱۹	۲۰	۱٥۸.۲۹۲۸	۹۷۱.۱۳٥	۲.٤۸۰۳۱٥	۱.۰٦۱۳	۱.٤۱۹۰۱٤۹٦
۱۲	۱۹	۲۱	۱٥۲.۳۸۸۸	۹۷۱.۱۳٥	۲.٤۸۰۳۱٥	۱.۰٦۱۳	۱.٤۱۹۰۱٤۹٦
۱۳	۲۱	۲۲	۱۸۲.٥۹۷٦	۹۷۱.۱۳٥	۲.٤۸۰۳۱٥	۱.۰٦۱۳	۱.٤۱۹۰۱٤۹٦
۱٤	۸	۹	۱۷.۹۰۸۸	۱۹٤۲.۲۷	۲.٤۸۰۳۱٥	۱.٥۰۱۳	۰.۹۷۹۰۱٤۹٦
۱٥	۹	۱۰	۲۷.٥٥۲	۱۹٤۲.۲۷	۲.٤۸۰۳۱٥	۱.٥۰۱۳	۰.۹۷۹۰۱٤۹٦
۱٦	۱۰	۱۱	۲۰۹.٤۲۸	۱۹٤۲.۲۷	۲.٤۸۰۳۱٥	۱.٥۰۱۳	۰.۹۷۹۰۱٤۹٦
۱۷	۱۱	۱۲	۳۱۰.۸٤٥٦	۱۹٤۲.۲۷	۲.٤۸۰۳۱٥	۱.۰٦۰۷	۱.٤۱۹٦۱٤۹٦
۱۸	۱۲	۱۳	۳۱.۹۸	۱۹٤۲.۲۷	۲.٤۸۰۳۱٥	۱.٥۰۱۳	۰.۹۷۹۰۱٤۹٦
۱۹	۱۳	۱٤	۷۲.۹۸	۱۹٤۲.۲۷	۲.٤۸۰۳۱٥	۱.٥۰۱۳	۰.۹۷۹۰۱٤۹٦
۲۰	۱٤	۱٥	۱٦۳.۳۷٦۸	۱۹٤۲.۲۷	۲.٤۸۰۳۱٥	۱.٥۰۱۳	۰.۹۷۹۰۱٤۹٦



شکل۲ : اختلاف بین قطر طراحی شده و قطر بهینه شده خطوط لوله شبکه بر حسب شماره لوله ها(n)

با توجه به نتایج بدست آمده از بهینه سازی، قطر بیش از ۹۰ درصد از لوله های استفاده شده بیشتر از قطر مورد نیاز است و در حدود ۴۰ درصد از لوله ها $DD \geq 1(in)$ می باشد. چنین درصد بالایی از نظر قطر اضافی معادل هزینه های فراوان غیر ضروری اقتصادی در اجراء شبکه می باشد. با توجه به لیست هزینه های احداث بر واحد طول (متر) لوله های پلی اتیلن که در جدول ۲ ارائه شده است، می توان میزان تفاوت هزینه در شبکه بهینه شده نسبت به شبکه طراحی شده را با استفاده از رابطه زیر محاسبه نمود.

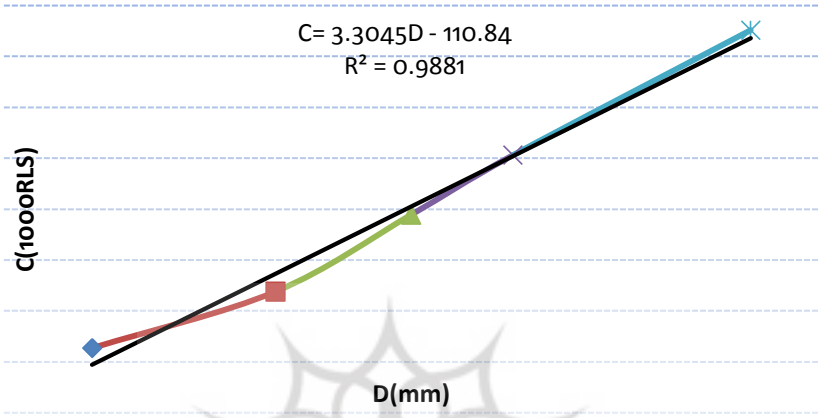
جدول ۲ : لیست هزینه یک متر لوله گذاری در شبکه توزیع گاز با قطرهای مختلف در زمین غیر سنگی

ردیف	شرح	هزینه (ریال)
۱	احداث یک مترلوله شبکه گاز پلی اتیلن به قطر ۶۳ میلیمتر	۱۱۳۶۶۹
۲	احداث یک متر لوله شبکه گاز پلی اتیلن به قطر ۹۰ میلیمتر	۱۶۹۱۵۸
۳	احداث یک متر لوله شبکه گاز پلی اتیلن به قطر ۱۱۰ میلیمتر	۲۴۴۶۹۰
۴	احداث یک مترلوله شبکه گاز پلی اتیلن به قطر ۱۲۵ میلیمتر	۳۰۳۲۱۵
۵	احداث یک متر لوله شبکه گاز پلی اتیلن به قطر ۱۶۰ میلیمتر	۴۲۵۹۶۷

$$C_{tot} = \sum_{i=1}^{n} L_i \times (C(O_{D_i}) - C(N_{D_i})) \quad (۱۵)$$

که در رابطه بالا C_{tot} کل هزینه صرفه جویی شده، L_i طول هر لوله، $C(O_{D_i})$ هزینه احداث هر متر لوله طراحی شده i ام بوده و $C(N_{D_i})$ نیز هزینه احداث هر متر لوله بهینه سازی شده i ام می باشد. با رسم منحنی هزینه به صورت هزار ریال (C) بر حسب قطر لوله به میلیمتر (D)، یک رابطه خطی می توان تخمین زد که با استفاده از آن می توان محاسبات هزینه را به سادگی و با تقریب مناسبی بدست آورد. این منحنی در شکل (۳) ارائه شده است و تابع مورد

نظر به همراه ارزش مربع R^2[7] نیز به صورت زیر می باشند با توجه به اینکه ارزش مربع R بسیار به ۱ نزدیک است، مشخص است که منحنی تخمین زده شده بسیار به مقدار واقعی ذکر شده در جدول (۲) نزدیک می باشد:



شکل ۳ : هزینه لوله گذاری (C) به صورت ۱۰۰۰ ریال در واحد طول لوله (متر) بر حسب قطر لوله(D(mm

$$C = 3.3045D - 110.84 \qquad R^2 = 0.9881 \qquad (۱۶)$$

پس از محاسبه اختلاف هزینه ها مشخص شد که می توان با بهینه سازی شبکه روستای مورد نظر مبلغی در حدود ۳۴۸۶۴۲۰۰۰ ریال یعنی بالغ بر ۳۴ میلیون تومان صرفه جویی اقتصادی داشت. البته بایستی توجه نمود پس از استاندارد نمودن قطرهای محاسبه شده مبلغ قابل صرفه جویی تا حدودی کاهش خواهد یافت اما هنوز این میزان صرفه جویی اقتصادی در شبکه توزیع گاز یک روستای کوچک بسیار قابل قوجه می باشد.

قطر اضافی لوله در جاهایی که غیر ضروری است به معنی دبی جریان اضافی گاز در قسمتی از شبکه است که به این قطر اضافی نیازی ندارد و این گاز اضافی می تواند به مسیرها و لوله های دیگری که نیاز به گاز بیشتر دارند هدایت شود. این مسئله باعث می شود که توزیع گاز در داخل شبکه به صورت مناسبی صورت نگیرد و بعضی از مناطق در شبکه توزیع گاز دچار افت فشار و یا حتی قطعی گاز شوند. این مشکل به خصوص زمانی بیشتر خود را نشان خواهد داد که زمانهای بحرانی مصرف سالیانه و روزانه باعث افزایش مصرف گاز در شبکه شوند. لذا جهت پیشگیری از این مشکل بهتر است شبکه هایی که در حال طراحی شدن هستند، قبل از اینکه اجراء شوند با اعمال الگوریتم های بهینه سازی از بهینه بودن این شبکه ها اطمینان حاصل کنیم.

بحث و بررسی و پیشنهادات

شبکه های توزیع گاز بهینه نشده یکی از عوامل مهم در ایجاد افت فشار و قطعی گاز در فصول سرد سال هستند. این شبکه ها همچنین باعث افزایش هزینه های اجرای شبکه می شوند بصورتی که در شبکه کوچک مورد نظر این

[7] R-squared value

تحقیق مبلغی در حدود ۳۴ میلیون تومان را می توان با انجام بهینه سازی صرفه جویی نمود. با توجه به نتایج بدست آمده قطر بیش از ۴۰ درصد از لوله ها به صورت قابل توجهی بیش از حد مورد نیاز، بزرگتر طراحی شده اند. زمانی که این مسئله به یک شبکه بسیار بزرگتر شهری توسعه پیدا کند به راحتی می توان حدس زد که میلیارها تومان هزینه های اضافی فقط ناشی از بهینه نبودن شبکه به عنوان هزینه اولیه تحمیل شده است. لذا بهینه سازی شبکه قبل از اجرا یک امر ضروری به نظر می رسد.

منابع

[۱] زاهد مرادی، مسعود ابراهیمی، "مقایسه سیستم های گرمایشی معمولی با سیستم های حرارت مرکزی" دومین همایش

[۲] AGA Report No. 10, AGA, 1965 Steady Flow in Gas Pipelines.

[۳] AGA Report No. 8, AGA, Nov. 1992, Compressibility Factors.

[۴] American Society of Civil Engineers, New York, 1975, Steady Flow in Gas Pipelines, Contract

[۵] Andrzej J. Osiadacz, Marcin Gorecki Optimization of pipe sizes for distribution gas network design, Warsaw University, Regional gas dispatching center, Warsaw University

[۶] Baumeister, T., Ed., McGraw-Hill, New York, 1967. Standard Handbook for Mechanical Engineers, 7th Ed.

[۷] B.V. Babu, Rakesh Angira, Pallavi G. Chakole, and J.H. Syed Mubeen, Optimal Design of Gas Transmission Network Using Differential Evolution, Department of Chemical Engineering, Birla Institute of Technology & Science, Pilani-333031 (Rajasthan) India

[۸] C.A. Floudas, Oxford University Press, New York, 1995. Nonlinear and mixed-integer optimization.

[۹] E. Shashi Menon. Taylor & Francis Group, LLC, 2005, Gas Pipeline Hydraulics.

[۱۰] Katz, D.L. et al., McGraw-Hill, New York, 1959, Handbook of Natural Gas Engineering.

[۱۱] Klaus Ehrhardt and Marc C. Steinbach, (2003) Nonlinear Optimization in Gas Networks, ZIB-Report 03-46

[۱۲] Kirby S. Chapman, The National Gas Machinery Laboratory Kansas State University 245 Levee Drive Manhattan, Kansas 66502 June, 2005

[۱۳] Liu, H., CRC Press, 1976, Fittings and Pipe, Crane Company, New York, Pipeline Engineering, Flow of Fluids through Valves.

[۱۴] Mohitpour, M., Golshan, H., and Murray, A., ASME Press, New York, 2003, Pipeline Design and Construction, 2nd Ed.

[۱۵] Nayyar, M.L., McGraw-Hill, New York, 2000, Piping Handbook, 7th Ed.

[۱۶] Pipeline Design for Hydrocarbon Gases and Liquids, Report No. 10, July 1965, Pipeline Research Council International, Houston, TX.

[۱۷] R.L. Salcedo, Solving Nonconvex, Industrial & Engineering Chemistry Research 1992 Nonlinear Programming Problems with Adaptive Random Search, 31, 262

[۱۸] Stanisław Nagy, Andrzej Olajossy, and Jakub Siemek, Acta Montanistica Slovaca Ročník 9 (2004), Analysis of Dense Gas Distribution Networks by Means of Griding Technique, číslo 3, 251-253

[۱۹] Tulsa, OK, Engineering Data Book, 1994, Gas Processors Suppliers Association, 10th Ed.