

تولید آنتروپی در یک شبکه فوق توزیع گاز شهری نمونه با لوله‌های فولادی و پلی‌اتیلن

علی حیدری

استادیار، مرکز تحقیقات انرژی و توسعه پایدار، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران.
سمنان: صندوق پستی ۱۷۹-۳۵۱۴۱، heydary.a@gmail.com

چکیده

گاز طبیعی از چاه‌ها استخراج و پس از تصفیه، توسط خطوط انتقال و شبکه تغذیه و فوق توزیع به محل مصرف می‌رسد. در این بخش میزان هدر رفت انرژی بسیار حیاتی بوده و باید بطور مناسبی محاسبه شود. در این تحقیق، شبکه فوق توزیع با فشار کارکرد پایین مورد بررسی قرار گرفته و یک شبکه گاز طبیعی نمونه با استفاده از حل تحلیلی جریان گاز طبیعی در شرایط پایا مورد بررسی قرار گرفته است. معادلات جریان با فرض تمامی پارامترها، ابتدا برای یک لوله ارائه شده، سپس با استفاده از قوانین موجود در شبکه های لوله، یک شبکه نمونه مورد تحلیل قرار گرفته است. تاثیر جنس لوله به عنوان یک عامل مهم بر روی عملکرد شبکه مورد نظر، بررسی و تحلیل شده و در انتها، میزان تولید آنتروپی در لوله های فولادی و پلی اتیلن مقایسه گردیده است. نتایج نشان می دهد با افزایش قطر یا کاهش دبی گاز، زبری لوله و ضریب اصطکاک عملاً تاثیر کمتری در تولید آنتروپی دارد. همچنین نتیجه می شود که جریان گاز در قطرهای کمتر، در لوله های فولادی از لوله های پلی اتیلن آنتروپی بیشتری تولید می کنند.

کلیدواژگان

تولید آنتروپی، شبکه فوق توزیع، جنس لوله، ضریب اصطکاک

Entropy generation in a sample gas distribution network using steel and polyethylene pipes

Ali Heydari

Assistant Professor, Energy and Sustainable Development Research Center, Semnan Branch, Islamic Azad University, Semnan, Iran
* P.O.B. 35141-179 Semnan, Iran, email: heydary.a@gmail.com

Abstract

Natural gas is extracted from wells and after purification, it reaches to consumption stages by transmission and distribution network. Energy losses in this section is vital and must be calculated appropriately. In this study, the network of distribution with low working pressure is examined. A network sample of natural gas is investigated using analytical solution of a steady flow of natural gas. Flow equations initially provided for a tube considering all parameters. Then, using the existing rules in pipe networks the network sample is analyzed. Effect of tube material as an important factor on network performance are evaluated and analyzed. And finally, the rate of entropy generation in steel and polyethylene pipes were compared. The results show that by increasing the diameter or decreasing the gas flow rate, the tube material and friction coefficient is less effective on entropy generation in practice. Furthermore, the gas flow in lower diameters cause more entropy production using steel pipes in compare with polyethylene pipes.

Keywords

entropy generation, distribution network, tube material, friction coefficient

است اما در زمینه خطوط انتقال گاز و شبکه توزیع گاز کار به مراتب کمتری صورت گرفته است.

چاکزکوفسکی^۱ [۱] جریان گذرا و غیر هم دمای گاز طبیعی درون خط لوله را با استفاده از معادلات حالت مختلف بررسی کرده است. تاثیر معادله حالت مختلف بر افت فشار، توزیع دما و انتقال حرارت در این تحقیق مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. در نتایج او، تاثیر روش مدلسازی حرارتی بر توزیع دما و فشار در درون خط لوله بررسی شد. نوربهبشتی و قاسمی‌نژاد [۲] معادلات جریان گذرای درون خطوط لوله را با استفاده از روشهای دینامیک سیالات محاسباتی مورد بحث و بررسی قرار داده اند. نتایج معتبر سازی آنها دقتی در حدود ۴٪ را نسبت به مطالعات گذشته و داده های آزمایشگاهی گزارش کرده است. با استفاده از نتایج تحلیل لوله ها، در مرحله بعد شبکه خطوط لوله مورد بررسی قرار گرفت. بهبهانی‌نژاد و باقری [۳] با استفاده از سیمولینک نرم افزار متلب، جریان گذرا و همدمای گاز درون خطوط لوله و شبکه های انتقال را مورد بررسی قرار داده اند. آنها روش ارائه شده را با

۱- مقدمه

امروزه یکی از بزرگترین منابع انرژی بعد از نفت و زغال سنگ انرژی گاز طبیعی است. فراوانی در طبیعت، سهولت هدایت، ارزش حرارتی خوب، پاکیزگی مصرف و نیز کمی آلودگی زیست محیطی، موجب گردیده است که این منبع انرژی، بسیار مورد توجه قرار گیرد و علی رغم خطرات احتمالی آن در نقاط هدایت و مصرف از استقبال خوب مصرف‌کنندگان برخوردار می‌باشد. در شبکه‌های خطوط لوله گاز طبیعی جهت انتقال گاز از نقطه تولید به نقطه مصرف انرژی بسیار زیادی مصرف می‌شود. مقداری از این انرژی صرف غلبه بر نیروی اصطکاک جداری گاز طبیعی با لوله می‌شود. لذا توجه به مقوله اصطکاک در خطوط انتقال و کاهش این نیرو سبب کاهش اتلاف فشار و صرفه جویی در مصرف انرژی می‌شود. یکی از پارامترهای مؤثر در مقایسه کمی و کیفی اتلافات انرژی بحث تولید آنتروپی است که در کار حاضر به تفصیل به آن پرداخته شده است. در خصوص تولید آنتروپی در سیستم های مختلف توسط محققین بحث و بررسی های زیادی انجام شده

¹ Chaczykowski

جریان، نسبت قطر شاخه‌ی اولیه به ثانویه و طول شاخه فرعی، او سپس الگوی بهینه شاخه شدن برای کمینه تولید آنتروپی را بدست آورد.

تجزیه و تحلیل تولید آنتروپی در فرآیند انتقال حرارت به جریان توسعه یافته آرام با سیال لزج تراکم ناپذیر درون لوله با دیواره دما ثابت توسط ابوالفضل اصفهانی و باغدار انجام شده است [۱۲]. در این مقاله با انتخاب پارامتر تولید آنتروپی بدون بعد به عنوان معیار ارزیابی و با دیدی کاربردی میزان تولید آنتروپی مورد بررسی قرار گرفته است. تغییرات تولید آنتروپی بدون بعد گرمایی و اصطکاکی و همچنین تولید آنتروپی بدون بعد کل بر حسب طول لوله در قطر ها در سرعت های مختلف برای سیالی با لزجت بالا (گلیسرین) مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین میزان تولید آنتروپی در دبی ثابت به ازای سرعت ها و قطرهای مختلف مطرح شده است و ارتباط بهینه ای بین خطوط، قطر لوله و سرعت سیال بدست آمده است. سعدالدین و رستگار [۱۳] به تحلیل اکسرژی در ایستگاه تقلیل فشار دروازه ورودی شهری پرداختند. آنها نشان دادند که با تنظیم دمای هیتز در زمان عملکرد، می توان از هدر رفت اکسرژی اجتناب کرد. بریک^۹ [۱۴] روش هاردی کراس را برای یک شبکه گاز طبیعی که مصرف در گرهِ های آن مشخص شده است، بهبود بخشید. با روش ارائه شده توسط او، تعداد تکرار های لازم برای همگرایی شبکه کاهش یافت.

با توجه به اینکه تولید آنتروپی در شبکه های توزیع گاز طبیعی تاکنون بررسی نشده است، در این تحقیق آنتروپی تولید شده در لوله های پلی اتیلن و فولادی در شبکه توزیع و در حالت پایا بررسی می شود. با استفاده از قوانین موجود و روابط حاکم در شبکه های گاز، یک شبکه نمونه مورد تحلیل قرار گرفته است. تاثیر جنس لوله (فولادی و یا پلی اتیلن) به عنوان عامل تعیین کننده در ضریب اصطکاک و همچنین قطر و دبی به عنوان یک عامل مهم و مؤثر بر تولید آنتروپی شبکه لوله مورد نظر، مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است.

۲- معادلات حاکم بر مسئله و مدل سازی شبکه

در بسیاری از موارد، تحلیل شبکه برای کنترل روش طراحی و بهینه سازی مورد استفاده قرار می گیرد. در این شرایط، ابتدا اندازه قطر لوله های شبکه را فرض نموده، سپس با تحلیل شبکه، عملکرد هیدرولیکی آن را بررسی می کنند. اگر عملکرد اتلافی شبکه مطلوب نباشد، اندازه تعدادی از لوله ها را تغییر داده تا عملکرد مطلوب حاصل شود [۱۵]. چندین روش برای تحلیل هیدرودینامیکی شبکه های توزیع به کار می رود که متداول ترین آنها به ترتیب تاریخ توسعه و استفاده عبارتند از: (۱) روش هاردی کراس، ۱۹۳۶ میلادی، (۲) روش نیوتن _ رافسون، ۱۹۶۳ میلادی و (۳) روش نظریه خطی، ۱۹۷۲ میلادی [۱۶]. گرچه روشهای نیوتن _ رافسون و نظریه خطی با تعداد عملیات محاسباتی کمتری نسبت به روش هاردی کراس قادر به حل شبکه هستند. لیکن این روشها در هر مرحله از محاسبات، زمان بیشتر و حافظه رایانه ای بزرگتری را لازم دارند. بنابراین در عمل، روش هاردی کراس که ساده تر و درک آن سهل تر است، هنوز به طور وسیعی مورد استفاده قرار می گیرد. در روش هاردی کراس علاوه بر حل هیدرودینامیکی شبکه، مشخصات لوله های مجهول نیز تعیین می گردد. در این روش با روند تکرار محاسبات، نتایج به مقادیر نهایی همگرا می شوند.

روشهای تفاضل محدود مورد مقایسه قرار داده و نتایج آنها حاکی از دقیقتر و کارآمدتر بودن روش ارائه شده نسبت به سایر روش های تفاضل محدود می باشد.

در تحقیقات ساهین^۱ و بن منصور^۲ [۴]، تولید آنتروپی در جریان آرام سیال درون لوله های استوانه ای با استفاده از محاسبات عددی مورد مطالعه قرار گرفته است. بررسی انجام شده نشان می دهد شدت تولید آنتروپی در نزدیکی دیواره ها بیشتر بوده و با نزدیک شدن به مرکز لوله، تولید انتری به شدت کاهش می یابد. همچنین آقای دیپک ساکسنا^۳ [۵]، آنتروپی تولید شده در جریان کاملاً توسعه یافته عبوری از مجرای شش وجهی را بررسی نموده است. در این بررسی، شار حرارتی ثابت به این مجرا اعمال شده و با تغییر شکل مقطع مجرا، میزان تولید آنتروپی محاسبه شده است. مجرای شش وجهی و مجرای استوانه ای که قطر هیدرولیکی و سطح مقطع مشابهی دارند مورد مقایسه قرار گرفته اند. در این مقایسه نشان داده شده است که با افزایش قطر استوانه نسبت به شش وجهی، میزان آنتروپی کاهش خواهد یافت.

از سویی دیگر الزاهارانه^۴ و ایلباس^۵ تاثیر ویسکوزیته بر روی آنتروپی تولید شده در جریان سیال درون لوله با استفاده از آنالیز حرارتی را مورد مطالعه قرار داده است [۶]. شدت آنتروپی تولید شده با توجه به دماهای مختلف جداره لوله و نیز اثر تغییر ویسکوزیته محاسبه شده است. پاکدمیرلی^۶ و ایلباس آنتروپی تولید شده در عبور جریان سیال غیر نیوتنی از داخل لوله را در حالت ویسکوزیته ثابت مورد مطالعه و بررسی قرار داده است [۷]. ایشان مشاهده نموده اند که افزایش اثرات غیر نیوتنی سیال باعث کاهش اصطکاک در مجاورت دیواره لوله و در نتیجه کاهش تولید آنتروپی می شود. اثرات زبری لوله بر تولید آنتروپی و انتقال حرارت در جریان نانو سیال عبوری از داخل صفحات تخت کلکتور خورشیدی توسط ماهیان و همکارانش مورد بررسی قرار گرفته است [۸]. در این مطالعات مشاهده شده است که افزایش زبری لوله، باعث افزایش تولید انتری شده و این افزایش در دبی های بالاتر بیشتر شده و میزان آن قابل توجه خواهد بود. آنالیز آنتروپی تولید شده در سطح لوله های استوانه شکل با استفاده از نانو سیال، توسط قنبری و خدابنده صورت گرفته است [۹]. عملکرد حرارتی در لوله های استوانه ای شکل با نانو سیال طبق قوانین ترمودینامیک مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج محاسباتی و تجربی نشان می دهد که تولید آنتروپی در لوله های استوانه ای شکل با افزودن نانوذرات به سیال اصلی کاهش می یابد و در نتیجه بازدهی حرارتی در این شرایط بهبود می یابد. واهبا^۷ [۱۰] بصورت عددی تولید آنتروپی و پخش لزجت را در یک سیستم شامل مخزن، لوله و شیر بررسی کرد. او پس از بستن شیر بصورت ناپایا ضربه قوچ ایجاد و سپس میرا شده را بررسی نمود. برای بررسی آنتروپی تولید شده، عدد بی بعدی تعریف کرد که در مقادیر کم، آنتروپی سریع به مقدار پایا همگرا می شد. اما در مقادیر بالاتر این عدد بی بعد تولید آنتروپی وسیعتر شده و دیرتر به مقدار پایا همگرا می شد. اسکوبا^۸ [۱۱] به بررسی آنتروپی و کمینه کردن آن در پیکربندی های مختلف از انشعاب لوله های حاوی جریان آرام و ایزوترمال پرداخت. او سه پارامتر را برای بهینه سازی در نظر گرفت: نسبت دامنه بکار رفته توسط

¹ Sahin

² Ben-Mansour

³ Saksena

⁴ Al-Zaharnah

⁵ Yilbas

⁶ Pakdemirli

⁷ Wahba

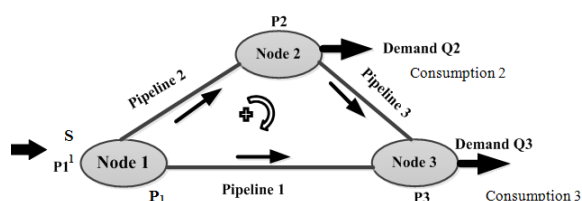
⁸ Sciubba

⁹ Brkic

جریان تراکم ناپذیر است و با داشتن داده های بالا می توان آنتروپی تولید شده را با دقت خوبی از رابطه (۷) محاسبه کرد.

تعریف مسئله

در تحقیق حاضر، یک شبکه توزیع در حالت پایا مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است. تاثیر جنس لوله به عنوان یک عامل مهم در خطوط لوله، بر روی عملکرد شبکه مورد نظر اعمال گردیده است. در این کار، پاسخ شبکه با توجه به ضریب اصطکاک و دبی های متفاوت بررسی شده و در نهایت تولید آنتروپی در دو شبکه فولادی و پلی اتیلن، مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است. شبکه تحلیل شده مطابق شکل ۱ شامل سه شاخه با طول و قطرهای مختلف بوده که جریان در گره ۱ وارد شده و در دو گره دیگر مصرف می شود. شرایط مسئله نیز در جدول ۱ آمده است. سعی شده است همه شرایط مطابق با یک حالت عملی واقعی در نظر گرفته شود.



شکل ۱ شماتیک شبکه خطوط فوق توزیع گاز در این تحقیق

جدول ۱ شرایط حاکم بر مسئله

مقدار	مشخصه
۶۰	فشار ورودی (psi)
۱۲، ۱۰، ۸، ۶، ۴	قطر لوله های فولادی (in)
۱۶۰، ۱۲۵، ۱۱۰، ۹۰، ۶۳	قطر لوله های پلی اتیلن (mm)
۲۰۰۰	طول لوله ۱ (m)
۱۰۰۰	طول لوله ۲ (m)
۱۵۰۰	طول لوله ۳ (m)
۰/۷۳۵	چگالی گاز طبیعی (kg/m ³)
۰/۰۳۶	لزجت دینامیکی (Pa.s)
۲۹۸	دمای متوسط گاز (K)
۰/۰۳۵	زبری لوله فولادی (mm)
۰/۰۰۵۱	زبری لوله پلی اتیلن (mm)

در این تحقیق، ابتدا با استفاده از روش هاردی کراس، توزیع دبی داخل شبکه محاسبه شده و سپس ضریب اصطکاک از رابطه ۲ و تولید آنتروپی ناشی از آن از رابطه ۷ بدست می آید. با در نظر گرفتن طول ثابت برای سه قطعه لوله و انتخاب قطرهای مختلف و با داشتن حجم گاز ورودی به شبکه و میزان مصرف نقاط انتهایی و همچنین تغییر آنها، میزان دبی و افت فشار گاز در هر خط محاسبه گردیده است. سپس سرعت گاز عبوری، عدد رینولدز، ضریب اصطکاک و نهایتاً میزان آنتروپی تولید شده محاسبه می شوند. این محاسبات برای لوله های فولادی به قطر ۴، ۶، ۸، ۱۰، ۱۲ اینچ و لوله های پلی اتیلن به قطر ۶۳، ۹۰، ۱۱۰، ۱۲۵ میلیمتر بررسی شده است. همچنین اثر نسبت مصرف در گره دو به گره سه (C2/C3) در بازه ۰/۵ تا ۳ بر روی تولید آنتروپی در لوله های فولادی بررسی شده است. از آنجا که طول شبکه گاز عموماً در اختیار طراح نبوده و بر اساس شرایط محیطی مشخص می گردد، تاثیر طول بر میزان آنتروپی در این تحقیق بررسی نشده است.

۳- بحث و نتیجه گیری

در روش هاردی کراس، ابتدا مقادیر اتلاف فشار از رابطه دارسی ویسباج بصورت زیر محاسبه می شود.

$$h_f = f \frac{8LQ^2}{g\pi^2 D^5} \quad (1)$$

در این رابطه L و D به ترتیب طول و قطر لوله و Q دبی جریان است. همچنین f ضریب اصطکاک جریان با سطح لوله بوده که از رابطه سومای^۱ [۱۷] برای جریان آشسته به صورت زیر قابل محاسبه است. لازم به توضیح است که این رابطه در محدوده های کاری مشخص شده در شبکه توزیع گاز شهری صادق است.

$$f = 0.25 \left[\log \left(\frac{e}{3.7D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^{-2} \quad (2)$$

$$\left\{ Re \geq 4000; \frac{e}{D} \leq 0.01 \right\}$$

که در آن e زبری سطح لوله و Re عدد رینولدز جریان است. می توان رابطه اتلاف فشار را بصورت $h_f = rQ^2$ نمایش داد. در یک شبکه دو معادله بقا وجود دارد. یک معادله بقای جرم در گره ها و یک معادله بقای اتلاف انرژی در حلقه ها. معادله بقای جرم در یک گره بصورت زیر نشان داده می شود که نشان دهنده صفر شدن مجموع دبی های ورودی و خروجی به یک گره است.

$$\sum_{i=1}^n Q_i = 0 \quad (3)$$

که در آن n تعداد ورودی و خروجی گره است. معادله بقای اتلافات نیز بصورت زیر است که بیان می کند مجموع افت ها در هر حلقه با توجه به جهت مثبت قراردادی باید صفر باشد.

$$\sum_{i=1}^m h_{fi} = r_i Q_i^2 = 0 \quad (4)$$

که در آن m تعداد شاخه در هر حلقه است. فرض کنیم مقدار دبی اصلاح شده در حلقه برابر ΔQ باشد، رابطه فوق بصورت زیر در می آید:

$$\sum_{i=1}^m h_{fi} = r_i (Q_i - \Delta Q)^2 = 0 \quad (5)$$

بنابر این مقدار دبی اصلاح شده در هر حلقه از رابطه فوق و حذف مقادیر کوچک بصورت زیر بدست می آید [۱۴]:

$$\Delta Q = \frac{-\sum_{i=1}^m h_{fi}}{2 \sum_{i=1}^m \frac{h_{fi}}{Q_i}} \quad (6)$$

الگوریتم حل به این صورت است که ابتدا یک توزیع اولیه برای شبکه بدست آورده بطوری که رابطه بقای جرم در گره ها برقرار باشد. در هر شاخه اتلافات را بدست آورده و مقدار ΔQ از رابطه (۶) محاسبه می شود. دبی شاخه ها با توجه به جهت مثبت حلقه و جهت جریان اولیه و با توجه به ΔQ محاسبه شده و مجدداً به گام اول بر می گردیم. این مراحل تا وقتی که مقدار ΔQ به صفر برسد ادامه می یابد. پس از محاسبه دبی نهایی جریان در شاخه ها، از رابطه زیر آنتروپی تولید شده ناشی از اصطکاک در جریان داخل لوله محاسبه می شود [۱۸].

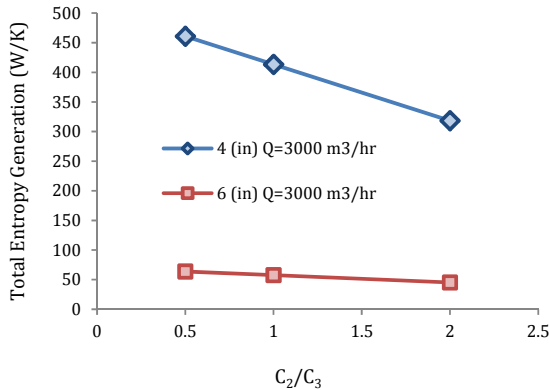
$$\dot{E}_{gen} = \frac{32\rho Q^3 f L}{\pi^2 D^5 T} \quad (7)$$

که در این رابطه L طول لوله، f ضریب اصطکاک، Q دبی، D قطر لوله و T دمای متوسط گاز می باشد. از آنجا که سرعت گاز در شبکه گاز شهری کمتر از ۱۰۰ m/s بوده و در نتیجه عدد ماخ حاصل کمتر از ۰/۳ بوده و

¹ Swamee

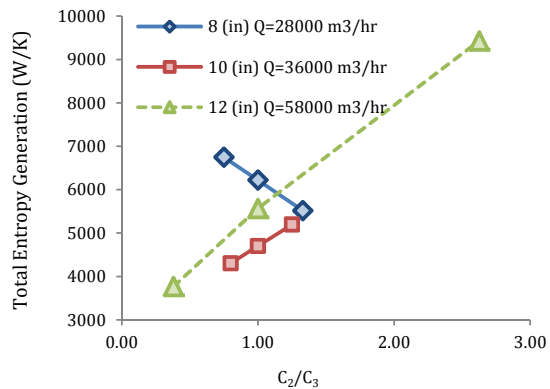
لوله های فولادی

در شکل ۴ اثر نسبت مصرف در گره دو به گره سه بر تولید آنتروپی شبکه با لوله فولادی در قطرهای کم (۴ و ۶ اینچ) و دبی ثابت $3000 \text{ m}^3/\text{hr}$ نمایش داده شده است. همانطور که مشخص است، در دبی های کم در صورتی که مصرف گره ۲ از ۳ بیشتر باشد تولید آنتروپی کمتر از حالتی است که مصرف گره ۲ از ۳ کمتر است. به عبارت دیگر با افزایش نسبت مصرف گره دو به گره سه آنتروپی تولیدی در شبکه کاهش می یابد. با توجه به نمودار شکل ۵ این روند در قطر ۸ اینچ نیز برقرار است اما با افزایش بیشتر قطر لوله روند آن برعکس می شود.



شکل ۴ اثر نسبت مصرف در گره دو به گره سه بر تولید آنتروپی شبکه با لوله فولادی در قطرهای کم (۴ و ۶ اینچ) و دبی ثابت $3000 \text{ m}^3/\text{hr}$

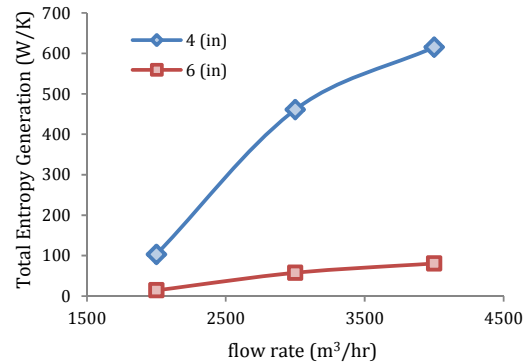
همانطور که در شکل ۵ پیداست در قطر های بالا (۱۰ و ۱۲ اینچ)، در صورتی که مصرف گره ۲ از ۳ بیشتر باشد، تولید آنتروپی بیشتر از حالتی است که مصرف گره ۲ از ۳ کمتر است. به عبارت دیگر با افزایش نسبت مصرف گره دو به گره سه آنتروپی تولیدی در شبکه افزایش می یابد.



شکل ۵ اثر نسبت مصرف در گره دو به گره سه بر تولید آنتروپی شبکه با لوله فولادی در قطرهای بالا (۸، ۱۰ و ۱۲ اینچ)

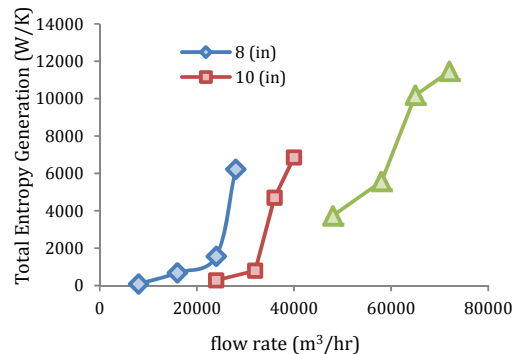
در شکل ۶ اثر تغییر قطر لوله بر تولید آنتروپی شبکه لوله فولادی در دبی های ثابت نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود در قطر های کم تغییرات دبی تاثیر بسیار زیادی بر آنتروپی تولیدی در شبکه دارد حال آنکه با افزایش قطر این محدوده دبی تاثیر بر تولید آنتروپی شبکه نخواهد داشت. لذا برای مشخص شدن اثر دبی بر تولید آنتروپی در قطرهای بالاتر باید از دبی های بیشتری استفاده کرد. نتیجه دیگری که از این نمودار مشخص است این است که افزایش قطر لوله باعث کاهش تولید آنتروپی در یک دبی ثابت در کل شبکه طراحی می شود. در معادله ۷ با توجه به ثابت ماندن دبی

در لوله های فولادی اثر قطر لوله، دبی جریان و نسبت مصرف گره دو به سه بر آنتروپی تولیدی کل شبکه (مجموع آنتروپی های تولید شده در هر لوله) بررسی شده است. در شکل ۲ اثر دبی بر تولید آنتروپی در دو قطر کوچکتر با هم مقایسه شده است. همانطور که مشاهده می شود با افزایش قطر در یک دبی ثابت آنتروپی تولیدی کاهش می یابد. از طرف دیگر در قطرهای بیشتر شیب افزایش آنتروپی با افزایش جریان سیال کمتر می شود.



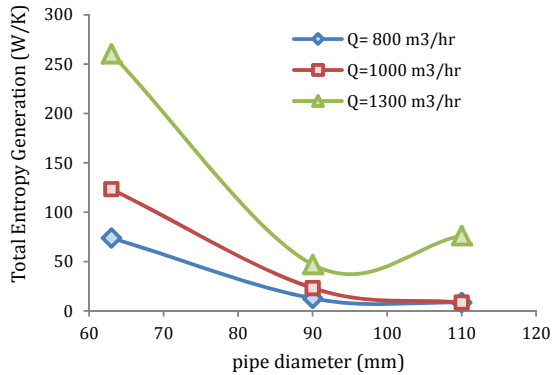
شکل ۲ اثر دبی جریان بر تولید آنتروپی شبکه با لوله فولادی در قطرهای کم (۴ و ۶ اینچ)

در شکل ۳ همین اثر برای قطرهای بالاتر مشاهده می شود. در قطرهای بالاتر تغییرات دبی در محدوده های پائین تاثیر بر تولید آنتروپی ندارد به همین منظور محدوده دبی ها در قطرهای بالاتر مقادیر بیشتری در نظر گرفته شده است. همانطور که در شکل ۳ مشاهده می شود اگر دبی جریان از یک مقدار مشخصی بیشتر شود یک افزایش شدید در مقدار آنتروپی تولیدی خواهد داشت. که این مقدار دبی بستگی به قطر لوله دارد. با تغییر دبی همان روند موجود در قطرهای کم، در قطرهای بالاتر نیز مشاهده می شود. تنها نکته مهمی که از شکل ۳ مشخص می شود این است که در هر قطر بصورت خاص تا یک محدوده از دبی تغییرات دبی بر تولید آنتروپی تأثیر چندانی نداشته و شیب افزایشی آن به چشم نمی آید. اما در یک دبی خاص مختص قطر مورد نظر، افزایش ناگهانی در تولید آنتروپی شبکه مشاهده می شود. دلیل این امر این است با توجه به رابطه ۷ اگرچه تولید آنتروپی اصطکاکی با توان سوم دبی رابطه مستقیم دارد اما چون محاسبات انجام شده مربوط به کل شبکه است ممکن است در یک لوله که طول بیشتری دارد ضریب اصطکاک هم بیشتر شده و آنتروپی افزایش ناگهانی داشته باشد.



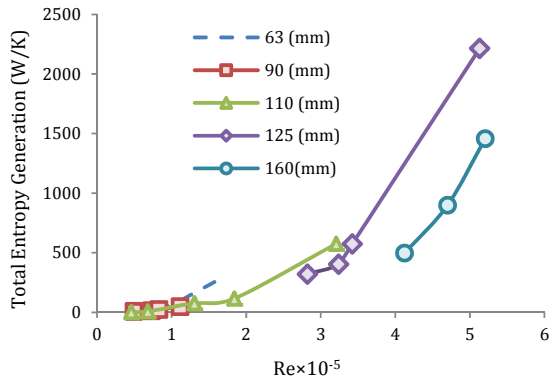
شکل ۳ اثر دبی جریان بر تولید آنتروپی شبکه با لوله فولادی در قطرهای بالا (۸، ۱۰ و ۱۲ اینچ)

در شکل ۸ اثر قطر لوله بر تولید آنتروپی شبکه با لوله پلی اتیلن در دبی های مختلف نشان داده شده است. همانطور که مشخص است در دبی های کم روند نمودار همانند لوله های فولادی (شکل ۶) است اما در دبی های بالاتر در یک نقطه تولید آنتروپی مینیمم شده و مجدداً افزایش می یابد. لذا برای هر قطر یک دبی بهینه می توان برای شبکه پیدا کرد که تولید آنتروپی در کل شبکه را حداقل کند.



شکل ۸ اثر قطر لوله (در قطرهای کم) بر تولید آنتروپی شبکه با لوله پلی اتیلن در دبی های ثابت و مختلف

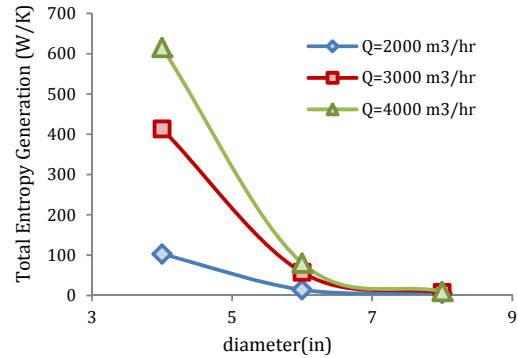
در شکل ۹ اثر عدد رینولدز بر تولید آنتروپی شبکه با لوله پلی اتیلن در قطر های مختلف بررسی شده است. عدد رینولدز از آنجا که بی بعد است و اثر دو پارامتر دبی و قطر را بصورت همزمان در خود دارد متغیر ارزشمندی محسوب می شود. همانطور که در شکل ۹ مشخص است با افزایش عدد رینولدز تا یک حدی تغییرات تولید آنتروپی کم است. اما در هر قطر در یک رینولدز خاص افزایش ناگهانی در تولید آنتروپی رخ می دهد که می توان نام آنرا رینولدز بحرانی نام نهاد. نتیجه دیگری که از این نمودار بدست می آید این است که در یک رینولدز ثابت افزایش قطر لوله باعث کاهش آنتروپی تولید شده در شبکه می شود.



شکل ۹ اثر عدد رینولدز بر تولید آنتروپی شبکه با لوله پلی اتیلن در قطر های مختلف

در شکل ۱۰ تولید آنتروپی برای دو شبکه فولادی و پلی اتیلن با هم مقایسه شده اند. همانطور که مشخص است در یک قطر ثابت، تولید آنتروپی در شبکه با لوله های پلی اتیلن از شبکه با لوله های فولادی کمتر است. اما این تفاوت در قطرهای کم مشهود بوده و با افزایش قطر اثر جنس لوله کمتر می شود.

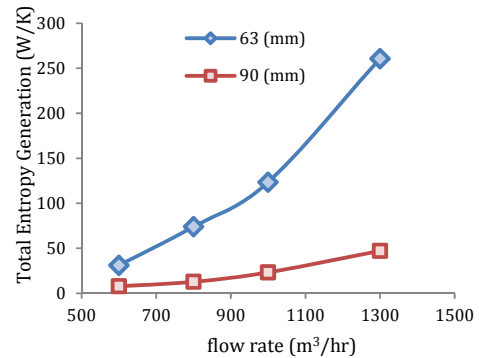
از آنجا که قطر با توان ۵ در مخرج قرار دارد و همچنین تغییرات ضریب اصطکاک متناسب با عکس قطر لوله است، این روند طبیعی است.



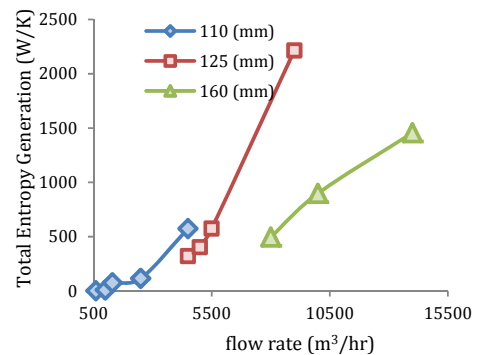
شکل ۶ اثر قطر لوله (در قطرهای کم) بر تولید آنتروپی شبکه با لوله فولادی در دبی های ثابت و مختلف

لوله های پلی اتیلن

در شکل ۷ اثر دبی جریان بر تولید آنتروپی شبکه لوله های پلی اتیلن در قطرهای مختلف را نشان می دهد. از مقایسه این شکل و نمودار های ۲ و ۳ مشخص می شود که برای لوله های پلی اتیلن نیز با افزایش دبی جریان در قطر ثابت آنتروپی تولیدی کل شبکه افزایش می یابد. اما افزایش ناگهانی که در آنتروپی تولیدی شبکه لوله های فولادی در قطر های بالاتر مشاهده شده بود در اینجا دیده نمی شود. همچنین با مقایسه کمی آنتروپی تولید شده در دو شبکه مشخص است که آنتروپی تولیدی در شبکه پلی اتیلن به مراتب از آنتروپی تولیدی در شبکه فولادی کمتر است.



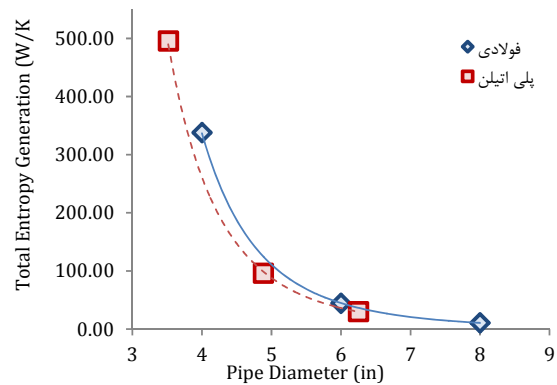
(الف)



(ب)

شکل ۷ اثر دبی جریان بر تولید آنتروپی شبکه با لوله پلی اتیلن (الف) در قطرهای کم (۶۳ و ۹۰ میلیمتر) (ب) در قطرهای بالا (۱۱۰، ۱۲۵ و ۱۶۰ میلیمتر)

- [6] I. T. Al-Zaharah, and B. S. Yilbas, Thermal Analysis in Pipe Flow: Influence of Variable Viscosity on Entropy Generation, *Entropy*, Vol. 6, pp. 344-363, 2004.
- [7] M. Pakdemirli, and B. S. Yilbas, Entropy generation in a pipe due to non-Newtonian fluid flow: Constant viscosity case, *Sadhana* Vol. 31, Part 1, pp. 21-29, 2006.
- [8] O. mahian, A. Kianifar, A. Z. Sahin, and S. Wongwises, Entropy generation during Al_2O_3 /water nanofluid flow in a solar collector: Effects of tube roughness, nanoparticle size, and different thermophysical models, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 78, pp. 64-75, 2014.
- [9] M. Ghanbarpour, and R. Khodabandeh, Entropy generation analysis of cylindrical heat pipe using nanofluid, *Thermochimica Acta*, Vol. 610, pp. 37-46, 2015.
- [10] E. M. Wahba, A computational study of viscous dissipation and entropy generation in unsteady pipe flow, *Acta Mechanica*, Vol. 216, No.1, pp.75-86, 2011.
- [11] E. Scubba, Entropy Generation Minima in Different Configurations of the Branching of a Fluid-Carrying Pipe in Laminar Isothermal Flow, *Entropy*, Vol. 12, pp. 1855-1866; 2010.
- [12] J. Abolfazli Esfahani, F. Baghdar, Analysis of entropy production in heat transfer process to developed flow with incompressible viscous fluid inside the pipe with wall constant temperature, *engineering department Journal of Ferdowsi university*, Vol. 13, No. 2, pp. 85-98, 2001. (in Persian)
- [13] S. Saeddodin, S. Rastegar, Exergy analysis in natural gas pressure reduction station gate city, *Journal of Modeling in Engineering*, Vol. 8, No. 22, pp. 13-20, 2010. (in Persian)
- [14] Brkic D., "An improvement of Hardy Cross method applied on looped spatial natural gas distribution networks", *Applied Energy*, vol. 86 pp. 1290-1300, 2009.
- [15] Bhav P.R., "Non - computer optimization of single - source networks" J. Environmental Engineering Div., ASCE, Vol. 104, No. EE4, pp. 799-814, 1978.
- [16] Bhav, P.R. "Analysis of water distribution networks" J. Indian Water Works Association, Vol. 13, Part I: No. 2, pp. 149-154 ; Part II: No. 3, pp. 245-252; Part III: No.4, pp. 305-314, 1981.
- [17] Swamee P.K., and Jain A.K., "Explicit equations for pipe-flow problems", *Journal of the Hydraulics Division, ASCE*. Vol.102, iss.5, pp 657-664, 1976.
- [18] Ratts E.B., and Raut A.G., "Entropy generation minimization of fully developed internal flow with constant heat flux", *J. Heat Transf.* vol. 126, pp. 656-659, 2004.



شکل ۱۰ اثر جنس لوله در تولید آنتروپی شبکه در قطرهای مختلف با دبی ثابت

۴- جمع بندی

در این تحقیق آنتروپی تولید شده در لوله های پلی اتیلن و فولادی در شبکه توزیع و در حالت پایا بررسی شد بطوری که در آن یک شبکه نمونه مورد تحلیل قرار گرفته است. تاثیر جنس لوله (فولادی و یا پلی اتیلن) به عنوان عامل تعیین کننده در ضریب اصطکاک و همچنین اثر قطر و دبی به عنوان عوامل مهم و مؤثر بر تولید آنتروپی شبکه لوله مورد نظر، مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. مختصر نتایج گرفته شده به شرح زیر است:

تولید آنتروپی در شبکه با لوله های پلی اتیلن از شبکه با لوله های فولادی کمتر بوده که این تفاوت در قطرهای کم مشهود است.

- در هر قطر با تغییر سرعت در یک رینولدز بحرانی افزایش ناگهانی در تولید آنتروپی رخ می دهد.
- در شبکه با لوله های پلی اتیلن، برای هر قطر یک دبی بهینه می توان برای شبکه پیدا کرد که تولید آنتروپی در کل شبکه را حداقل کند.
- افزایش قطر لوله باعث کاهش تولید آنتروپی در یک دبی ثابت در کل شبکه طراحی می شود.
- در دبی های کم در صورتی که مصرف گره دو از سه بیشتر باشد تولید آنتروپی کمتر از حالتی است که مصرف گره دو از سه کمتر است. اما با افزایش بیشتر قطر لوله روند آن برعکس می شود.
- با افزایش قطر در یک دبی ثابت آنتروپی تولیدی کاهش می یابد. از طرف دیگر در قطرهای بیشتر شیب افزایش آنتروپی با افزایش جریان سیال کمتر می شود.

۵- منابع و مراجع

- [1] M. Chaczykowski, Sensitivity of pipeline gas flow model to the selection of the equation of state, *Chemical Engineering Research and Design*, Vol. 87, No. 12, pp. 1596-1603, 2009.
- [2] N. Noorbehesht, and P. Ghaseminejad, Numerical simulation of the transient flow in natural gas transmission lines using a computational fluid dynamic method, *American Journal of Applied Sciences*, Vol. 10, No. 1, pp. 24-34, 2013.
- [3] M. Behbahani-Nejad, and A. Bagheri, The accuracy and efficiency of a MATLAB Simulink library for transient flow simulation of gas pipelines and networks, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, Vol. 70, No. 3-4, pp. 256-265, 2010.
- [4] A. Z. Sahin, and R. Ben-Mansour, Entropy generation in laminar fluid flow through a circular pipe, *Entropy*, Vol. 5, pp. 404-416, 2003.
- [5] P. D. Saksena, Entropy generation analysis for fully developed laminar convection in hexagonal duct subjected to constant heat flux and minimization of entropy generation by adjusting the shape of the cross section, *International Journal of Engineering Science Invention*, Vol. 2 No. 7, pp. 17-29, 2013.