

اثر گرما روی افت فشار جریان گاز داخل لوله های انتقال

علی نوری (استاد)

مسعود ضیایی (دانشجوی دکتری)

چکیده:

هدف از این تحقیق تحلیل تئوری و عددی جریان داخلی تراکم پذیر همراه اصطکاک و انتقال گرما است. معادلات حاکم برای بررسی تاثیر اصطکاک و انتقال حرارت، پارامترهای مختلفی از جمله فشار، دما و دبی جریان مطالعه شده اند. اثر انتقال حرارت بر افت فشار ناشی از تغییر چگالی و لزجت سیال بر اثر حرارت می باشد بررسی شده است. نتایج بدست آمده مطابقت خوبی با نتایج عددی و تجربی در برخی حالت های موجود دارد.

کلمات کلیدی: جریان تراکم پذیر، جریان داخلی، انتقال حرارت، اصطکاک، یک بعدی

مقدمه:

ظرفیت انتقال گاز در شبکه های خطوط انتقال بستگی به میزان افت فشار گاز دارد. عدد ماخ در طول مسیر افزایش و در خروج از لوله بسمت یک میل می کند. تلاش های زیادی تاکنون توسط محققین برای شبیه سازی جریان تراکم داخلی پذیر یک بعدی انجام شده و الگوریتم های مختلفی ارائه شده است.

مطالعه جریان همراه انتقال حرارت و یا اصطکاک بترتیب توسط رایلی در اواخر قرن ۱۹ و فانو در اوائل قرن ۲۰ شده است. تلاش هایی هم برای ترکیب اثر همزمان انتقال گرما و اصطکاک انجام شده است، [۱ و ۲]. اکبلام و گلن [۳] آزمایش هایی روی جریان تراکم پذیر داخل نازل های همگرا-واگرا همراه اصطکاک و انتقال حرارت انجام دادند و با نتایج تحلیلی موجود مقایسه نمودند. لندرام [۴] با فرض ثابت بودن ضریب اصطکاک طول چوک لوله را همراه با شار انتقال گرمای ثابت بدست آورد. افت فشار خطوط انتقال گاز را می توان بطرق زیر کاهش داد: (الف) استفاده از پوشش داخلی [۵]، (ب) تزریق هوای سرد [۶]، (ج) بکارگیری سطوح مناسب و (د) تزریق مایع.

تا بحال بسیاری از روش های حل جریان تراکم پذیر دو بعدی برای بهبود الگوریتم و روش های جدید گسسته سازی معادلات متمرکز شده اند [۷-۹]. مطالعه اثر گرما نیز به گونه های مختلف از جمله توسط ائتلاف انرژی [۱۰] و یا توسط جابجایی و تشعشع مورد توجه قرار گرفته اند، [۱۱].

هدف اصلی این تحقیق مطالعه جریان تراکم پذیر تحت اثر شرایط مختلف انتقال گرما همراه با اصطکاک در جریان های مادون و مافوق صوت است. این نتایج می تواند در تحلیل راندمان انتقال گاز در شبکه خطوط انتقال نقش مهمی داشته باشد.

معادلات حاکم

برای بررسی اثر انتقال گرما روی راندمان خطوط انتقال گاز معادلات حاکم بر جریان شامل بقاء جرم، حالت، عدد ماخ، ممتنم و انرژی خواهد بود که بترتیب برای دو حالت به صورت زیر نوشته شده اند.

حالت اول انتقال گرما تحت شار حرارت ثابت

$$G = \rho V \quad (1)$$

$$P = \rho RT \quad (2)$$

$$kRTM^2 = V^2 \quad (3)$$

$$\frac{\partial \rho V^2}{\partial x} = -\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{f}{2d} \rho V^2 \quad (4)$$

$$\dot{m} C_p T \left(1 + \frac{k-1}{2} M^2\right) = \dot{q} \quad (5)$$

که در آن $k, M, V, P, T, \rho, G, d$ بترتیب قطر لوله، سرعت جرمی، چگالی، دما، فشار، سرعت، عدد ماخ و نسبت C_p / C_v است.

از ترکیب معادلات (۱) و (۳) نتیجه می شود.

$$k \rho P M^2 = G^2 \quad (6)$$

همچنین از ترکیب معادلات (۱)، (۳) و (۴) نتیجه می شود.

$$\frac{\partial (k P M^2)}{\partial x} = -\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{f}{2d} k P M^2 \quad (7)$$

با بسط معادله فوق نتیجه می شود.

$$\frac{dP}{P} = \frac{\frac{f dx}{2d} M^2 - dM^2}{M^2 + \frac{1}{k}} \quad (8)$$

از ترکیب معادلات (۲)، (۵) و (۶) نتیجه خواهد شد.

$$P^2 = \frac{RG\dot{q}}{kAC_p} \times \frac{1}{M^2 \left(1 + \frac{k-1}{2} M^2\right)} \quad (9)$$

دیفرانسیل معادله فوق منتج می شود.

$$2 \frac{dP}{P} = -\frac{dM^2}{M^2} - \frac{\frac{k-1}{2} dM^2}{1 + \frac{k-1}{2} M^2} \quad (10)$$

با تساوی قرار دادن طرفین معادلات (۸) و (۱۰) داریم:

$$\frac{kfx}{d} = \frac{1}{M_x^2} - \frac{1}{M_1^2} + \frac{k+1}{2} \ln \left[\frac{M_x^2}{M_1^2} \times \frac{1 + \frac{k-1}{2} M_1^2}{1 + \frac{k-1}{2} M_x^2} \right] \quad (11)$$

پس از محاسبه M_x در مقطع x سایر کمیت ها از جمله P, T, V, ρ در همان مقطع قابل محاسبه است.

حالت دوم انتقال گرما تحت دمای ثابت جداره لوله

در این حالت معادله (۵) بشکل زیر تغییر می کند و لی سایر معادلات حاکم مشابه معادلات (۴-۱) خواهند بود.

$$GC_p \frac{d}{dx} \left[T \left(1 + \frac{k-1}{2} M^2 \right) \right] = \frac{4}{D} h (T_w - T_a) \quad (12)$$

در آن T_a, h, T_w بترتیب دمای جداره لوله، ضریب انتقال حرارت و دمای آدیاباتیک جدار که به صورت زیر معرفی می شود. است.

$$T_a = \left[1 + \text{Pr}^{\frac{1}{3}} \frac{k-1}{2} M^2 \right] T \quad (13)$$

ضریب انتقال حرارت توسط رابطه دیتوس-بولتر به صورت زیر است.

$$Nu = 0.023 \text{Re}^{0.8} \text{Pr}^{0.3} \quad (14)$$

که در آن $\text{Pr} = \nu / \alpha$ عدد پرانتل و $\text{Re} = Vd / \nu$ عدد رینولدز است. از ترکیب معادلات (۱-۳)، نتیجه به صورت زیر است.

$$T = \frac{kP^2 M^2}{RG^2} \quad (15)$$

با جایگذاری معادله فوق در معادله (۱۳) و نتیجه آن در معادله (۱۲)، پس از انتگرال گیری خلاصه عملیات برابر است با:

$$\frac{dP}{dx} = \frac{1}{2PM^2(1 + \frac{k-1}{2} M^2)} \left\{ B(T_w - T_a) - P^2 \left[1 + (k-1)M^2 \frac{dM^2}{dx} \right] \right\} \quad (16)$$

که در آن $B = 4RGh / kDC_p$ است.

با تساوی قرار دادن طرفین معادلات (۸) و (۱۶) داریم:

$$\frac{dM^2}{dx} = \frac{M^2(1 + kM^2)(1 + \frac{k-1}{2} M^2)}{1 - M^2} \left[\frac{B(T_w - T_a)}{P^2 M^2(1 + \frac{k-1}{2} M^2)} - \frac{\frac{kf}{d} M^2}{1 + kM^2} \right] \quad (17)$$

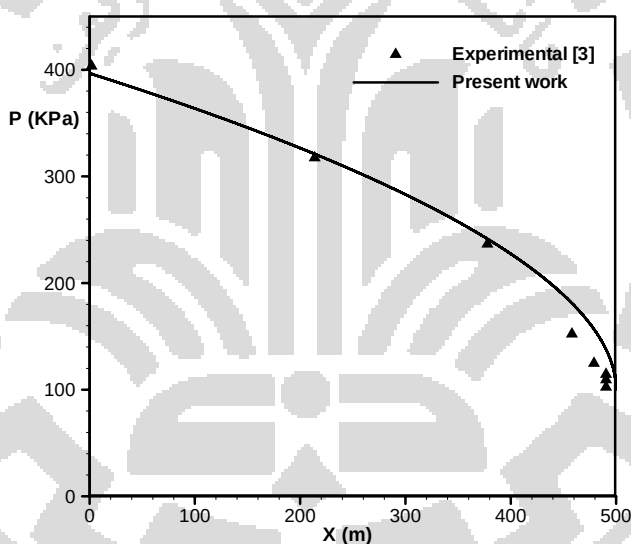
از حل همزمان معادلات (۸ و ۱۷) بکمک معادله (۱۳) توسط روش رانج-کوتا مرتبه چهار به ازاء $M(x=0) = M_1$ کمیت های

M, P و سپس T و یا سایر متغیرهای جریان قابل محاسبه است.

نتایج و بحث

شکل زیر جریان آدیاباتیک همراه اصطکاک را مطابق خط فانو توزیع فشار از ورودی تا رسیدن به عدد ماخ یک نشان می دهد. ضمناً نتایج با نتایج تجربی [۳] مقایسه شده است. همانگونه که انتظار می رود، روند تغییرات فشار در نزدیکی عدد ماخ یک شدید است که ناشی از افزایش نرخ تغییرات عدد ماخ در این محدوده است.

در شکل (۳) اثر انتقال حرارت بر تغییرات عدد ماخ جریان گاز با ضریب اصطکاک متغیر در حالتی که دبی جریان عبوری از لوله مقدار ثابتی در نظر گرفته شده (خفگی) مشاهده می شود. نتایج برای لوله با قطر ۰/۷ m و طول ۱۸ Km (خط لوله نوع ۴ از جدول ۲) محاسبه شده است. با افزایش شار حرارتی روی دیواره لوله، عدد ماخ ورودی جریان کاهش می یابد که این بیانگر افزایش فشار ورودی و در نتیجه افزایش افت فشار بر اثر افزایش انتقال حرارت است.

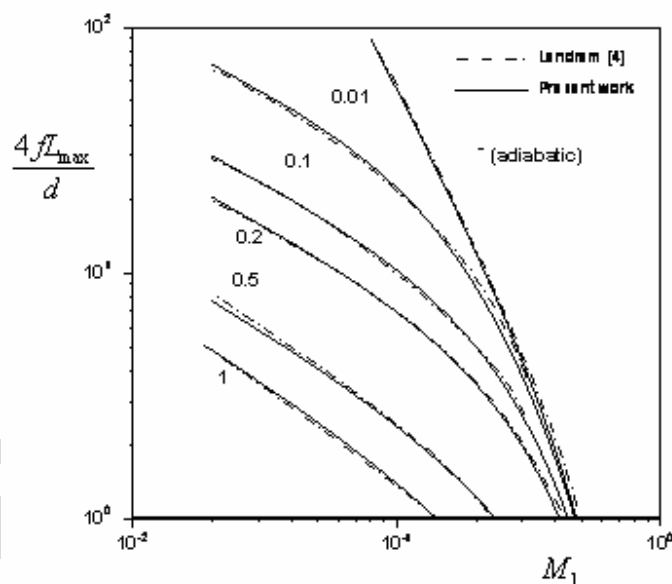


شکل ۱- توزیع فشار در حالت آدیاباتیک و مقایسه نتایج با نتایج تجربی برای $f = 0.005$

شکل (۲) اثر انتقال گرما را روی طول خفگی برای $k = 5/3$ و مقایسه آن با نتایج تجربی نشان می دهد. منحنی های شکل برای

$$q^* = \frac{4(k-1)q_w''}{4kfp_r a_r}$$

اعداد مختلف ماخ ورودی و شارهای حرارتی مشخص شده اند.



شکل ۲- اثر انتقال گرما روی طول خفگی جریان با $f = 0.005$

نتیجه گیری

جریان گاز ترکم پذیر داخل خط لوله با شار حرارتی متغیر مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می دهد با افزایش انتقال گرما به گاز افت فشار جریان افزایش می یابد. به عبارت دیگر برای کاهش افت فشار سرد کردن گاز ضروری به نظر می رسد. از طرف دیگر افزایش انتقال حرارت، باعث کاهش طول ناحیه خفگی می شود. همچنین تغییر ضریب اصطکاک تاثیر قابل توجهی روی تغییرات پارامترهای جریان از جمله افت فشار خواهد داشت.

فهرست علائم:

قطر	d
ضریب اصطکاک	f
سرعت جرمی	G
ضریب انتقال حرارت	h
ضرایب رانج کوتا	k

طول	L
عدد ماخ	M
نرخ جرم	$\dot{m}$
فشار استاتیکی	p
عدد پراتل، ν / β	Pr
انتقال گرما	$\dot{q}$
عدد رینولدز، Vd / ν	Re
دمای استاتیکی	T
سرعت	V
موقعیت مکانی	x
حروف یونانی	
نفوذ حرارتی	α
ویسکوزیته سینماتیکی	ν
چگالی	ρ
اندیسها	
دیوار	W

مراجع

- [1] Shafeie M., 1993, "A review on one-dimensional pipe flow with friction and heat transfer", Technical report, Department of Mechanics, Royal Institute of Technology.
- [2] Toplak E., 1974, "Gasströmung durch rohre unter berücksichtigung der rohrreibung und eines wärmeaustauschs mit der umgebung bei konstanter heizflächenbelastung", Forch. Ing.-Wes. 40 120-125.

- [3] Ekblom A., Gullman-Strand J., 1998, "Experimental Study of Compressible Pipe Flow with Friction and Heat Addition", Master's Thesis, Department of Mechanics at KTH in Stockholm, Sweden, December 22.
- [4] Landram C. S., 1997, "One-Dimensional, Steady Compressible Flow with Friction Factor and Uniform Heat Flux at the Wall Specified", Lawrence Livermore National Laboratory, Technical Report UCRL-ID-128670, October 27.
- [5] Zamorano, R. Internal Cooling Total Gas Transport Cost Reduction Study, Pipeline and Gas Journal, October 2002.
- [6] Sedahmed, G. H. Abdo, M.S.E., Amer, M.A. and El-Latif, G.A., Effect of Drag Reducing Polymer on the Rate of Mass Transfer Controlled Corrosion in Pipeline Under Developing Turbulent Flow, Journal of Int. Comm. Heat Mass Transfer, Vol. 26, No. 4: 531-538, 1999.
- [7] Martineau, R.C. and Berry, R.A., The Pressure Corrected ICE Finite Element Method for Compressible Flows on Unstructured Meshes, Journal of Computational Physics, 198: 659-685, 2004.
- [8] Touloupoulos, I. and Ekaterinaris, J.A., Discontinuous Galerkin Discretizations for Viscous Compressible Flows, 5th Int. Congress on Computational Mechanics, 29 June-1 July 2005.
- [9] Xu, X., Lee, J.S., and Pletcher, R.H., A Compressible Finite Volume Formulation for Large Eddy Simulation of Turbulent Pipe Flows at Low Mach Number in Cartesian Coordinates, Journal of Computational Physics, 203, 22-48, 2005.
- [10] Aydin, O., Effect of Viscous Dissipation on the Heat Transfer in a Forced Pipe Flow, Part2 Thermally Developing Flow, Energy Conversion and Management 46, 3091-3102, 2005.
- [11] Chen, X., and Stton, W.H., Enhancement of Heat Transfer Combined Convection and Radiation in the Entrance Region of Circular Ducts with Porous Inserts, Int. Journal of Heat and Mass Transfer, 48, 5460-5474, 2005.

