

بررسی انتروپی تولیدی در جریان دو فازی حلقوی همراه با پلیمر کاهش دهنده پسا

اسماعیل لکزیان*

امیرمحمد مسعودی فر

سیدمحمد مشکانی

استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

دانشجوی کارشناسی، مهندسی شیمی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

چکیده

یکی از روش‌های کاهش تولید انتروپی در جریان‌های دو فازی حلقوی، استفاده از پلیمر کاهش دهنده پسا می‌باشد. پلیمر کاهش دهنده پسا، دارای وزن مولکولی بالا و از خانواده پلی آلفا الفین می‌باشد. در این تحقیق برای اولین بار، رابطه‌ای صریح جهت محاسبه انتروپی تولیدی در جریان دو فازی حلقوی همراه با پلیمر کاهش دهنده پسا ارائه شده است. رابطه مذکور تابعی از قطر لوله و سرعت‌های ظاهری می‌باشد. تغییرات انتروپی بر حسب میزان کاهش نیروی پسا و پسماند مایع در قطرهای ۰/۰۱۲۷، ۰/۰۲۵۴ و ۰/۰۹۵۳ متر و در سرعت‌های مختلف ظاهری ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که رابطه تولید انتروپی با افزایش پلیمر کاهش دهنده پسا، پسماند مایع و قطر لوله به صورت نزولی بوده است ولی با افزایش سرعت‌های ظاهری گاز و مایع، میزان انتروپی تولیدی افزایش می‌یابد. بنابراین در صنایع مرتبط با اضافه کردن پلیمر کاهش دهنده پسا و تعیین صحیح پارامترهایی از قبیل قطر لوله و سرعت‌های ظاهری جریان با استفاده از رابطه‌ی ارائه شده در این تحقیق، می‌توان میزان تلفات کاهش و میزان تولید افزایش داده شود.

واژه‌های کلیدی: انتروپی تولیدی، پلیمر کاهش دهنده پسا، سرعت ظاهری، دو فازی.

Investigation of the Entropy Generation in Annular Two-Phase Flow with Drag-Reducing Polymer

E. Lakzian

Department of Mechanical Engineering, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran

A. M. Masoudifar

Department of Mechanical Engineering, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran

S. M. Mashkani

Department of Chemical Engineering, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran

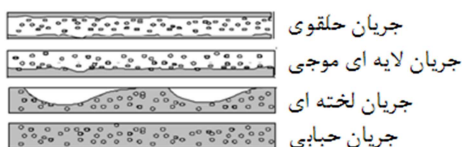
Abstract

It is convenient method to use a drag-reducing polymer to reduce entropy generation in annular two-phase flow. The drag-reducing polymer is a high molecular weight poly-alpha-olefin. In present paper for the first time, the explicit equation has been presented for the prediction the entropy generation in annular flow with drag-reducing polymer. The equation is function of the pipe diameter and superficial velocities. Entropy generation (S_{gen}''') versus drag-reduction (DR) and holdup (λ_l) in different pipes' diameter (0.0127, 0.0254 and 0.0953m) and in different superficial velocities are presented. The results are shown that entropy generation decreases with increasing DR, λ_l and pipe diameter but entropy generation increases with increasing gas and liquid superficial velocities. Therefore by adding drag-reducing polymer and correct determination of pipe diameter and superficial velocities using the presented explicit equation in this research, could be reduced the losses and increased in the production in related industries.

Keywords: Entropy generation, Drag-reducing polymer, Superficial velocity, Two-phase.

۱- حلقوی ۲- لخته‌ای ۳- لایه‌ای موجی ۴- حبابی ۵

این الگوهای جریان به صورت طرحواره در شکل ۱ نشان داده شده‌اند.



شکل ۱- الگوهای جریان در لوله افقی [۱]

تولید انتروپی نشان دهنده‌ی میزان تلفات در یک فرایند می‌باشد [۲]. با تحلیل انتروپی تولیدی می‌توان نشان داد که چه پارامترهایی باعث افزایش تلفات در فرایند شده، که با کنترل این پارامترها می‌توان

۱- مقدمه

وقتی دو یا چند فاز به طور همزمان در لوله‌ها جریان می‌یابند، اصطلاحاً جریان دو فاز یا چند فاز نامیده می‌شوند. شاید مهم‌ترین جنبه جریان چند فازی، تنوع در توزیع فیزیکی فازها در مسیر عبور جریان می‌باشد که این ویژگی تحت عنوان الگوی جریان یا رژیم جریان شناخته می‌شود. یکی از علل تغییرات در گرادیان فشار وقوع الگوهای جریان مختلف می‌باشد. اندازه نیروهای شناوری، آشفتگی، اینرسی و کشش سطحی در فازهای مختلف تا حد زیادی با توجه به دبی جریان، قطر لوله، زاویه شیب و خواص فازها تغییر می‌کنند. بگر و بریل تحقیقاتی که الگوهای جریان چندفازی را بررسی کرده بودند را دسته‌بندی کردند [۱]. برای جریان چند فازی افقی گاز و مایع، اکثر محققان وجود چهار الگوی جریانی را مشخص کرده‌اند:

* نویسنده مکاتبه کننده، آدرس پست الکترونیکی: e.lakzian@hsu.ac.ir

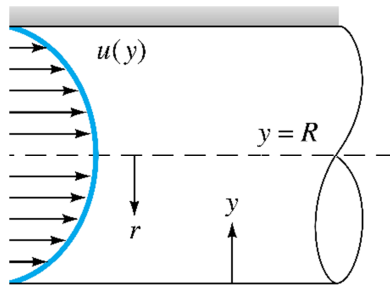
تاریخ دریافت: ۹۴/۱۰/۱۵

تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۱/۱۸

با توجه به مراجع بالا، اکثر مطالعاتی که در زمینه تولید آنتروپی انجام شده، در جریان های تک فاز بوده است. اما تاکنون تحقیقی در خصوص تولید آنتروپی در جریان دو فازی حلقوی همراه با پلیمر کاهنده ی پسا انجام نشده است. بدین جهت در این تحقیق برای اولین بار به صورت تحلیلی رابطه‌ای صریح برای محاسبه آنتروپی تولیدی در جریان دو فازی حلقوی همراه با پلیمر کاهنده پسا ارائه شده است. مطالعه حاضر در قطرهای ۰/۰۱۲۷، ۰/۰۲۵۴ و ۰/۰۹۵۳ متر و سرعت ظاهری گاز ۰/۲، ۰/۳ و ۰/۴ متر بر ثانیه و سرعت‌های ظاهری مایع ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۳ متر بر ثانیه انجام شده است و از معادلات مخرجی و بریل [۱] جهت مدلسازی جریان حلقوی استفاده شده است.

۲- شرح مسئله

هدف از این مطالعه، بررسی تاثیر استفاده از پلیمر کاهنده ی پسا بر آنتروپی تولیدی می‌باشد. طرحواره مسئله در شکل (۲) ارائه شده است.



شکل ۲- طرحواره مسئله

میزان کاهش نیروی پسا (DR) از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود [۱۸]:

$$DR = \frac{f_{\text{with out DRA}} - f_{\text{with DRA}}}{f_{\text{with out DRA}}} \quad (1)$$

السارخی و همکاران [۱۷] رابطه زیر را برای محاسبه ضریب اصطکاک همراه با پلیمر کاهنده ی پسا در جریان دو فازی حلقوی ارائه کردند:

$$f = 3.36 \times 10^{-7} \frac{D_0}{D} \left(Re_m \left(\frac{V_{sg}}{V_{sl}} \right)^{0.5} \right)^{0.595} \quad (2)$$

که در آن D_0 قطر اولیه ی لوله بوده و برابر ۰/۰۱۲۵ متر می‌باشد، رینولدز مخلوط^۱ از رابطه‌ی (۳) محاسبه می‌شود:

$$Re_m = \frac{U_m D}{\nu_1} \quad (3)$$

که در رابطه‌ی بالا U_m به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$U_m = V_{sl} + V_{sg} \quad (4)$$

که سرعت ظاهری مایع یعنی سرعت فاز مایع در غیاب فاز گاز در دما و فشار جریان چند فازی و سرعت ظاهری گاز یعنی سرعت فاز گاز در غیاب فاز مایع در دما و فشار جریان چند فازی می‌باشد [۱۹].

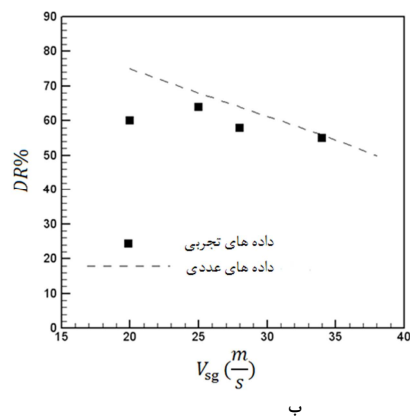
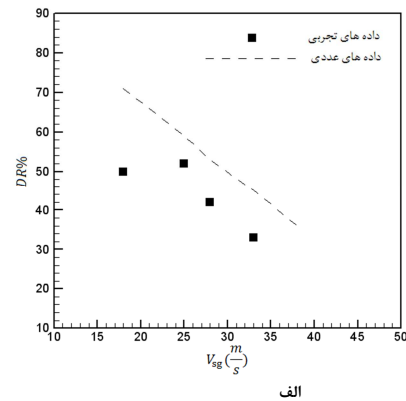
میزان تلفات در یک فرآیند را کاهش داد [۳]. از آنجایی تولید آنتروپی معیاری از نابودی قابلیت کاردهی در فرآیندها است، تعیین آن در موضوع افزایش بازدهی ضروری می‌باشد [۴].

یکی از روش‌های کاهش تلفات در جریان دو فازی حلقوی استفاده از پلیمر کاهنده ی پسا می‌باشد. پلیمر کاهنده ی پسا، دارای وزن مولکولی بالا و از خانواده پلی آلفا الفین می‌باشد [۵]. الیور و یانگ هون [۶] اولین بار تاثیر افزودن پلیمر کاهنده ی پسا در جریان مایع و گاز آزمایش کردند. روزهارت و همکارانش [۷] اثر پلیمر کاهنده ی پسا روی افت فشار مطالعه کردند. سیلوستر وبریل [۸] اثر پلیمر کاهنده ی پسا را در خط لوله‌ای با قطر ۱/۲۷ سانتیمتری را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که با تزریق ۱۰۰ پی پی ام پلیمر پلی‌اتیلن اکسید میزان کاهش نیروی پسا به ۳۷٪ می‌رسد. کانگ و همکارانش [۹] خط لوله‌ای با قطر ۱۰ سانتیمتر و فشار ۱۳ بار را مورد مطالعه قرار دادند. آنها در این آزمایش ماده کاهنده ی پسا با غلظت ۱۰ تا ۵۰ ppm به خط لوله اضافه کرده و مشاهده کردند که میزان کاهش نیروی پسا به میزان ۳۰ تا ۵۰ درصد می‌رسد و با افزایش سرعت ظاهری مایع، میزان کاهش نیروی پسا کاهش می‌یابد. مانیفیلد و همکاران [۱۰] جریان‌های تک فاز و دو فاز مورد مطالعه و بررسی قرار دادند و مشاهده کردند که تاثیر پلیمر کاهنده ی پسا روی جریان‌های تک فاز بیشتر از جریان‌های چند فاز می‌باشد. السارخی و هانرتی [۱۱] خط لوله‌ای با قطر ۹/۵۳ سانتیمتری با فشار بالا را آزمایش کرده و تاثیر قطر لوله بر میزان کاهش نیروی پسا را مورد بررسی قرار دادند. همچنین ایشان [۱۲] خط لوله‌ای با قطر ۲/۵۴ سانتیمتری را مورد آزمایش قرار دادند. در این آزمایش پلیمر پلیاکریلیمیدوسدیم اکریلیت به عنوان ماده کاهنده ی پسا مورد استفاده قرار گرفت و نتایج آن‌ها نشان داد که با افزایش غلظت پلیمر، میزان کاهش نیروی پسا نیز افزایش می‌یابد. السارخی و سلیمانی [۱۳] ماده کاهنده ی پسا را در خط لوله‌ای با قطر ۲/۵۴ و ۹/۵۳ سانتیمتر مورد بررسی قرار دادند، در این آزمایش پلیمر پلیاکریلیمید را به عنوان ماده کاهنده ی پسا مورد استفاده قرار داده و نتایج آنها نشان داد که با تزریق این پلیمر الگوی جریان از حلقوی و اسلاگ به لایه‌ای موجی تغییر پیدا می‌کند. جوربان و همکاران [۱۴] اثر انواع ماده کاهنده ی پسا، هیدرو دینامیک و انتقال حرارت را روی میزان کاهش نیروی پسا در جریان‌های چند فاز و تک فاز مورد مطالعه قرار دادند. السارخی و ابونادا [۱۵] خط لوله‌ای شیب‌دار با قطر ۰/۰۱۲۷ متر را مورد آزمایش و بررسی قرار دادند، نتایج آن‌ها نشان داد که با تزریق ۱۰۰ پی پی ام ماده کاهنده ی پسا به خط لوله، میزان کاهش نیروی پسا به ۷۱٪ می‌رسد. همچنین بیشترین کاهش نیروی پسا در خط لوله ای با شیب ۱/۲۸ درجه اتفاق می‌افتد. الیاری و همکارانش [۱۶] جریان آب روغن را در خط لوله‌ای با قطر ۲/۵۴ سانتیمتری مورد بررسی قرار داده، نتایج آنها نشان داد که با تزریق ۱۰ الی ۱۵ پی پی ام ماده کاهنده ی پسا میزان کاهش نیروی پسا به ۶۵ درصد می‌رسد. السارخی و همکارانش [۱۷] دو جریان هوا مایع و روغن آب را با ماده کاهنده ی پسا مورد بررسی قرار داده و برای هر کدام از جریان‌ها رابطه ای برای ضریب اصطکاک پیش بینی کردند.

¹ Mix Reynolds

۲-۱- اعتبار سنجی رابطه السارخی

در شکل ۳ تغییرات کاهش نیروی پسا بر حسب سرعت ظاهری گاز در قطر ۰/۱۲۷ متر، سرعت ظاهری مایع ۰/۱ و ۰/۴ متر بر ثانیه نشان داده شده است. در این شکل می‌توان انطباق خوبی بین داده‌های آزمایشگاهی و نتایج معادله السارخی [۱۵] را مشاهده کرد. بنابراین از این رابطه می‌توان جهت محاسبه‌ی میزان کاهش نیروی پسا استفاده کرد.



شکل ۳- تغییرات کاهش نیروی پسا بر حسب سرعت ظاهری گاز در قطر ۰/۱۲۷ متر، الف) سرعت ظاهری مایع ۰/۴ متر بر ثانیه ب) سرعت ظاهری مایع ۰/۱ متر بر ثانیه [۱۵]

۳- انتروپی

برای محاسبه‌ی انتروپی تولیدی در جریان دو فازی حلقوی ابتدا باید پروفیل سرعت تعیین شود. پروفیل سرعت در لایه مرزی در ناحیه همپوشانی^۱ به صورت لگاریتمی و بر مبنای γ (شکل ۲ را ببینید) به صورت زیر می‌باشد [۲۰]:

$$\frac{U_m}{U_\tau} = \frac{1}{K} \ln \left(\frac{y U_\tau}{\nu_l} \right) + B \quad (۵)$$

که در رابطه‌ی (۴) $U_\tau = \frac{\sqrt{\tau_w}}{\sqrt{\rho_1}}$ ، انتروپی تولیدی از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود [۲۱]:

$$S_{gen}''' = \frac{k}{T^2} (\nabla T)^2 + \frac{\mu}{T} \varphi > 0 \quad (۶)$$

که با فرض همدمايي جمله اول حذف و انتروپی به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$S_{gen}''' = \frac{\mu}{T} \varphi > 0 \quad (۷)$$

در رابطه‌ی (۶) دمای محیط ۳۰۰ درجه‌ی کلون است و φ به صورت زیر بدست می‌آید:

$$\varphi = 2 \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 \right] + \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 \quad (۸)$$

با توجه به اینکه پروفیل سرعت تابع γ می‌باشد، همچنین با فرض توسعه‌یافته بودن جریان و صرف نظر از اصطکاک در راستای x ، φ به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\varphi = \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 \quad (۹)$$

در رابطه‌ی (۸)، $\gamma = R - r$ بوده است و در اینجا $r = 0$ می‌باشد و در نتیجه رابطه (۸) به صورت زیر تبدیل می‌شود:

$$\frac{\partial u}{\partial y} = \frac{u_\tau}{kR} \quad (۱۰)$$

با توجه به روابط بالا انتروپی به صورت زیر بدست می‌آید:

$$S_{gen}''' = \frac{\mu}{T} \left(\frac{u_\tau}{kR} \right)^2 \quad (۱۱)$$

۴- نتایج و بحث

در این بخش اثرات قطر لوله، سرعت جریان، پسماند مایع و پلیمر کاهنده‌ی پسا بر تولید انتروپی بررسی شده است.

۴-۱- تاثیر سرعت‌های ظاهری بر انتروپی تولیدی

در شکل ۴ تغییرات انتروپی تولیدی بر حسب میزان کاهش نیروی پسا در سرعت‌های ظاهری مایع ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۳ متر بر ثانیه و قطرهای ۰/۱۲۷، ۰/۲۵۴ و ۰/۹۵۳ متر نشان داده شده است. با توجه به این شکل، نحوه تغییرات انتروپی با میزان کاهش نیروی پسا به صورت نزولی بوده و همچنین با افزایش سرعت ظاهری مایع، انتروپی تولیدی افزایش می‌یابد.

در شکل ۵ تغییرات انتروپی تولیدی بر حسب میزان کاهش نیروی پسا در سرعت‌های ظاهری گاز ۰/۲۵، ۰/۳ و ۰/۳۰ متر بر ثانیه و قطرهای ۰/۱۲۷، ۰/۲۵۴ و ۰/۹۵۳ متر نشان داده شده است. با توجه به این شکل، تغییرات انتروپی با میزان کاهش نیروی پسا به صورت نزولی بوده و همچنین با افزایش سرعت ظاهری گاز، انتروپی تولیدی افزایش می‌یابد.

۴-۲- تاثیر تغییرات قطر بر انتروپی تولیدی

در این قسمت به بررسی اثر تغییرات قطر، بر تولید انتروپی پرداخته می‌شود. در شکل ۶ تغییرات انتروپی تولیدی بر حسب کاهش نیروی پسا در قطرهای ۰/۱۲۷، ۰/۲۵۴ و ۰/۹۵۳ متر و نسبت سرعت ظاهری گاز به مایع ۰/۳۰، ۰/۲۵ و ۰/۴۵ ارائه شده است. با افزایش قطر لوله در یک دبی ثابت، میزان برخورد و تلفات بین فاز مایع و گاز کاهش می‌یابد و با افزایش قطر لوله میزان انتروپی تولیدی کاهش می‌یابد. همچنین با توجه به شکل ۶، تغییرات انتروپی با میزان کاهش نیروی پسا به صورت نزولی بوده و همچنین با افزایش قطر، انتروپی تولیدی کاهش می‌یابد.

¹ Overlap

۳-۴- تاثیر پسماند مایع بر انتروپی تولیدی

پسماند مایع یعنی بخشی از لوله که توسط مایع اشغال شده به حجم کل لوله که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\lambda_l = \frac{q_l}{q_l + q_g} \quad (12)$$

که q_l از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$q_l = V_{sl} A_p \quad (13)$$

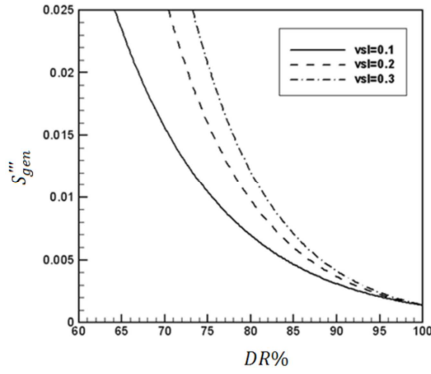
و q_g از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$q_g = V_{sg} A_p \quad (14)$$

که با اعمال روابط (۱۳) و (۱۴)، رابطه‌ی (۱۲) به صورت زیر محاسبه می‌شود [۱۹]:

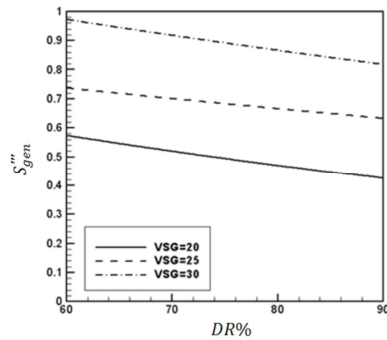
$$\lambda_l = \frac{V_{sl}}{V_{sl} + V_{sg}} \quad (15)$$

شکل ۷ تغییرات انتروپی تولیدی بر حسب پسماند مایع در سرعت‌های ظاهری مایع ۰/۰۱، ۰/۰۲ و ۰/۰۳ متر بر ثانیه و قطرهای ۰/۰۱۲۷، ۰/۰۲۵۴ و ۰/۰۹۵۳ متر نشان داده شده است. با توجه به این شکل، تغییرات انتروپی با پسماند مایع به صورت نزولی بوده، که این نزولی بودن به این دلیل می‌باشد که، با افزایش پسماند مایع در یک سرعت ظاهری مایع ثابت، در واقع حجم کل اشغال شده توسط فاز گاز کم شده که به طور طبیعی میزان تلفات نیز باید کاهش یابد، یعنی اینکه با افزایش پسماند مایع، میزان تلفات باید کاهش یابد. همچنین در شکل ۷، با افزایش سرعت ظاهری مایع، میزان تولید انتروپی نیز افزایش می‌یابد.

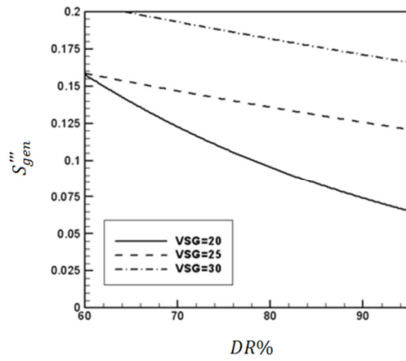


ج

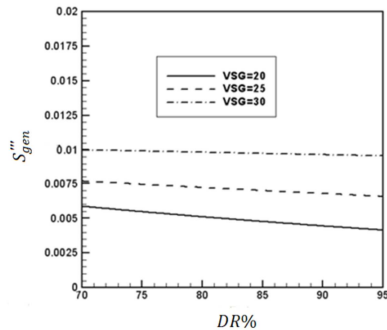
شکل ۴- تغییرات انتروپی تولیدی بر حسب کاهش نیروی پسا در سرعت‌های ظاهری مایع ۰/۰۱، ۰/۰۲ و ۰/۰۳ متر بر ثانیه بر ثانیه (الف) قطر ۰/۰۱۲۷ متر (ب) قطر ۰/۰۲۵۴ متر (ج) قطر ۰/۰۹۵۳ متر



الف

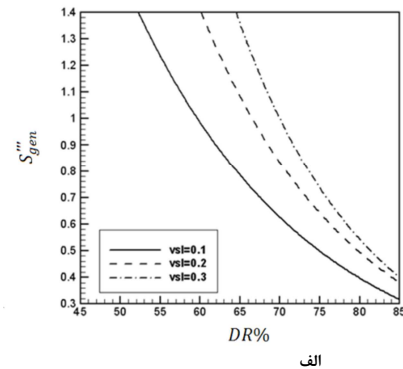


ب

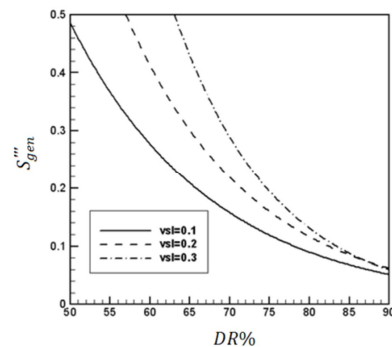


ج

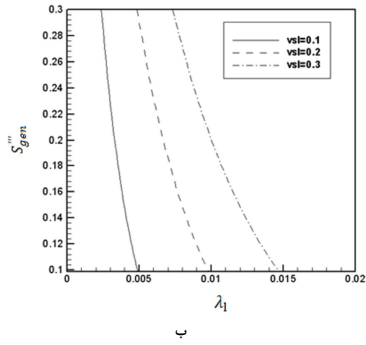
شکل ۵- تغییرات انتروپی تولیدی بر حسب کاهش نیروی پسا در سرعت‌های ظاهری گاز ۲۵، ۳۰ و ۳۵ متر بر ثانیه (الف) قطر ۰/۰۱۲۷ متر (ب) قطر ۰/۰۲۵۴ متر (ج) قطر ۰/۰۹۵۳ متر



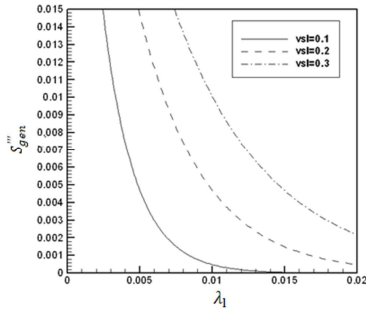
الف



ب



ب



ج

شکل ۷- تغییرات انتروپی تولیدی بر حسب پسماند مایع در سرعت‌های ظاهری مایع (۰/۰۱، ۰/۰۲ و ۰/۰۳ متر بر ثانیه الف) قطر ۰/۱۲۷ متر (ب) قطر ۰/۲۵۴ متر (ج) قطر ۰/۹۵۳ متر

۵- نتیجه گیری

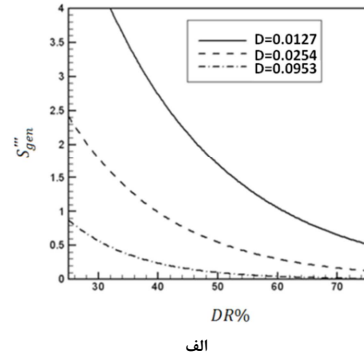
در این تحقیق، جریان دو فاز حلقوی با استفاده از مدل مخرجی و بریل بررسی شده است. رابطه‌ای صریح جهت محاسبه انتروپی تولیدی در جریان دوفازی حلقوی همراه با پلیمر کاهنده‌ی پسا ارائه شده است. تاثیر تغییرات پلیمر کاهنده‌ی پسا، قطر و سرعت‌های ظاهری بر انتروپی تولیدی بررسی شده است. مطالعه در قطرهای ۰/۱۲۷، ۰/۲۵۴ و ۰/۹۵۳ متر و سرعت ظاهری گاز ۲۰، ۲۵ و ۳۰ متر بر ثانیه و سرعت‌های ظاهری مایع ۰/۰۱، ۰/۰۲ و ۰/۰۳ متر بر ثانیه انجام شد. بر اساس نتایج خلاصه موارد زیر حاصل می‌گردد:

۱. تولید انتروپی با افزایش پلیمر کاهنده‌ی پسا و پسماند مایع کاهش یافته است.
۲. سرعت ظاهری مایع و سرعت ظاهری گاز با انتروپی تولیدی رابطه مستقیم دارد، یعنی اینکه می‌توان با کاهش سرعت‌های ظاهری، میزان تلفات را کاهش داد.
۳. با افزایش قطر لوله، انتروپی تولیدی کاهش می‌یابد.

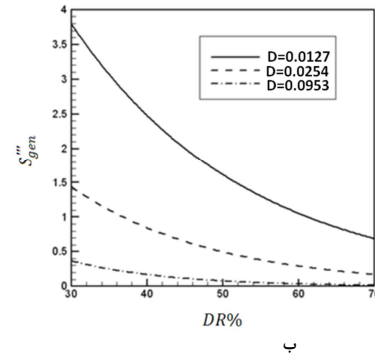
بنابراین با استفاده از رابطه‌ی ارائه شده جهت محاسبه انتروپی در این تحقیق می‌توان انتخابی مناسب برای پارامترهایی از قبیل قطر لوله و سرعت‌های ظاهری جریان داشته باشیم و بدینوسیله در صنایع مرتبط، میزان تلفات کاهش و میزان تولید افزایش داده شود.

۶- فهرست علائم

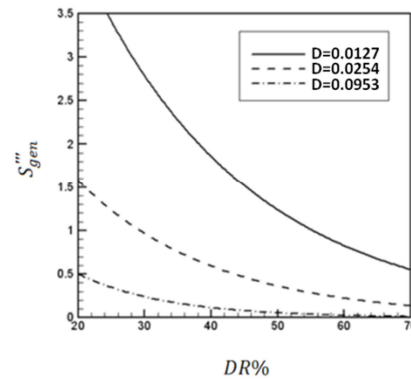
DRA	ماده کاهنده پسا
f	ضریب اصطکاک
V_{sg}	سرعت ظاهری گاز (ms^{-1})



الف

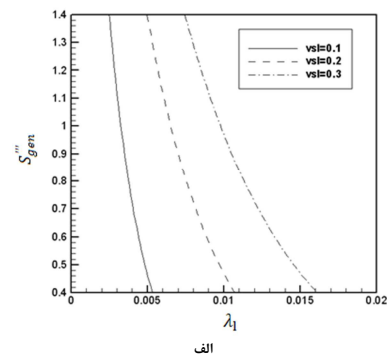


ب



ج

شکل ۶- تغییرات انتروپی تولیدی بر حسب کاهش نیروی پسا در قطرهای ۰/۱۲۷، ۰/۲۵۴ و ۰/۹۵۳ متر الف) نسبت سرعت ظاهری گاز به مایع ۳۰۰ (ج) نسبت سرعت ظاهری گاز به مایع ۴۰۰



الف

[11] Al-Sarkhi A., Hanratty T., Effect of drag reducing polymers on annular gas-liquid flow in horizontal pipe". Int. J. Multiphase Flow, Vol. 27, pp. 1151-1162, 2001a.

[12] Al-Sarkhi A., Hanratty T., Effect of pipe diameter on the performance of drag-reducing polymers in annular gas-liquid flows, Trans IChemE Part A, Vol. 79, pp. 402-408, 2001b.

[13] Al-Sarkhi A., Soleimani A., Effect of drag reducing polymer on two-phase gas-liquid flows in a horizontal pipe. Trans. IChemE, Part A, pp. 1583-1588, 2004.

[14] Jubran B. A., Zurigat Y. H., Goosen M. F. A., Drag Reducing Agents in Multiphase Flow Pipelines: Recent Trends and Future Needs. Petroleum Science and Technology, Vol. 23, pp. 1403-1424, 2005.

[15] Al-Sarkhi A., Abu-Nada E., Batayneh M., Effect of drag reducing polymer on air-water annular flow in an inclined pipe, Int. J. Multiphase Flow, Vol. 32, pp. 926-934, 2006.

[16] Al-Yaari A., Soleimani M., Abu-Sharkh B., Al-Mubaiyeh U., Al-Sarkhi A., Effect of drag reducing polymers on oil-water flow in a horizontal pipe, Int. J. Multiphase Flow, Vol. 35, pp. 516-524, 2009.

[17] Al-Sarkhi A., El Nakla M., Ahmed H. W., Friction factor correlations For gas-liquid/liquid-liquid flows with drag-reducing polymers in horizontal pipes, International Journal of Multiphase Flow, Vol. 37, pp. 501-506, 2011.

[18] Karami H. R., Mowla D., A general model for predicting drag reduction in crude oil pipelines Journal of

[19] The Norwegian Society for Oil and Gas Measurement, HANDBOOK OF MULTIPHASEFLOW METERING, Revision 2, March 2005.

[20] AvciI., Karagoz A., A Novel Explicit Equation for Friction Factor in Smooth And Rough Pipes Int. J. ASME, Vol. 131, pp. 061203-1-061203-3, 2009.

[21] Benjana., The thermodynamic design of heat and mass transfer processes and devices. International journal of heat and fluid flow, Vol. 8, pp. 258-276, 1987.

سرعت ظاهری مایع (ms^{-1})	V_{sl}
رینولدز مخلوط	Re_m
قطر (m)	D
میزان کاهش نیروی پسا	$DR\%$
ثابت فون کارمن	K
انتروپی تولیدی	S_{gen}'''
پسماند	λ_1
دبی مایع (m^3s^{-1})	q_l
دبی گاز (m^3s^{-1})	q_g
سطح کل لوله (m^2)	A_p
ثابت جریان آشفته	B
دمای محیط (K)	T
تغییرات پروفیل سرعت در راستای Y	Y

حروف یونانی

لزجت سینماتیکی مایع (m^2s^{-1})	ν_1
لزجت ($pa.s$)	μ
تنش برشی دیواره ($N.m^{-2}$)	τ_w

زیرنویس ها

مخلوط	m
ظاهری مایع	sl
ظاهری گاز	sg
گاز	g
مایع	l

۷- مراجع

[1] Brill J. P., Mukhrejee H., *Handbook of Multiphase Flow in wells*, pp. 13-80, 2011.

[2] Cengel Y. A., Boles M. A., *Thermodynamics an Engineering Approach*. Fifth ed., McGraw-Hill, 2006.

[3] Oztop H. F., Al-Salem K., A review on entropy generation in natural and mixed convection heat transfer for energy systems, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 16, No. 1, pp. 911-920, 2012.

[4] Bejan A., Second law analysis in heat transfer, Energy, Vol. 5, No. 8, pp. 721-732, 1980.

[5] Fernandes R. L. J., Jutte B. M., Rodriguez M. G., Drag reduction in horizontal annular two-phase flow. Int. J. Multiphase Flow, Vol. 30, pp. 1051-1069, 2004.

[6] Oliver D. R., Young Hoon A., Two-phase non-Newtonian flow. Trans. Inst.Chem. Eng, pp 46-106, 1968.

[7] Rosehart R. G., Scott D., and Rhodes E., Gas-liquid slug flow with drag-reducing polymer solutions, AIChE J, Vol. 18(4), pp. 744-750, 1972.

[8] Sylvester N. D., Brill J. P., Drag reduction in two-phase annular mist flow of air and water. AIChE J, Vol. 22, pp. 615-617, 1976.

[9] Kang C., Jepson W. P., Multiphase flow conditioning using drag-reducing agents. Society of Petroleum Engineers, SPE 56569. Kang C., Jepson W. P., 2000. Effect of drag-reducing agents in multiphase, oil/gas horizontal flow. Society of Petroleum Engineers, SPE 58976 1999.

[10] Manfield C. J., Lawrence C., Hewitt G., Drag-reduction with additive in multiphase flow: a literature survey. Multiphase Sci. Technol, Vol. 11, pp. 197-221, 1999.