

# محاسبه افت فشار در جریان چرخشی دوفازی در کندانسورها

محمد علی اخوان بهابادی<sup>i</sup>؛ وحید حجازی<sup>ii</sup>

## چکیده

در مقاله حاضر، بررسی آزمایشگاهی بر روی میزان افت فشار جریان دو فاز چگالشی مبرد R-134a در داخل لوله افقی صاف و همچنین لوله‌های افقی مجهز به نوار پیچیده شده با چهار نسبت پیچش ۶، ۹، ۱۲، ۱۵ و ۱۵ در داخل آن صورت گرفته است. قطر داخلی لوله‌ها ۱۰/۷ mm و قطر خارجی آن‌ها ۱۲/۷ mm است. سرعت جرمی مبرد در محدوده ۵۶-۱۳۰ kg/m<sup>2</sup>s و کیفیت بخار متوسط در کندانسور تحت آزمایش از ۰/۱ تا ۰/۹۵ می‌باشد. دستگاه مورد استفاده در این بررسی، یک سیستم تبرید تراکمی بخار مجهز به کلیه وسایل اندازه گیری مورد نیاز است. در این مطالعه، داده‌های آزمایشگاهی برای لوله صاف و همچنین لوله‌های با نوار پیچیده شده جمع آوری شد.

تحلیل بر روی کلیه داده‌ها نشان داد که نصب نوارهای پیچیده شده در داخل لوله افقی با میزان آزادی برابر با صفر، می‌تواند افت فشار را در بدترین حالت (نسبت پیچش ۶) به میزان ۲۴۰٪ نسبت به لوله صاف افزایش دهد. براساس داده‌های جمع آوری شده در این تحقیق، روابطی برای محاسبه افت فشار در چگالش مبرد R-134a در داخل لوله صاف و همچنین لوله‌های با نوار پیچیده شده به دست آمد.

## کلمات کلیدی

افت فشار، نوار پیچیده شده، چگالش، کندانسور، جریان چرخشی، R-134a

## *Estimation of Swirl Flow Pressure Drop in Condensers*

M. A. Akhavan Behabadi.; V. Hejazi

### ABSTRACT

In the present work, experimental studies on two phase condensing pressure drop of R-134a inside five horizontal tubes were investigated. One tube was plain and four others had twisted tape inserts with different twist ratios of 6, 9, 12 and 15. The inner and outer diameter of the test tube were 10.7mm and 12.7mm, respectively. The ranges of mass velocities and vapor qualities were 56-130 kg m<sup>-2</sup>s and 0.1 and 0.95, respectively. Data analysis showed that insertion of twisted tapes inside tubes increased the pressure drop by as much as 240% above the plain tube values on a nominal area basis. Based on the collected data, two correlations were developed to estimate the pressure drop inside plain tube and also twisted tape inserted tubes.

### KEYWORDS

Pressure Drop, Twisted Tape, Condenser, R-134a

<sup>i</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، پردیس دانشکده های فنی، دانشگاه تهران: Akhavan@ut.ac.ir

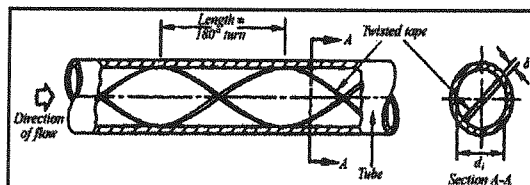
<sup>ii</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، پردیس دانشکده های فنی، دانشگاه تهران: Hejazi\_vahid@yahoo.com



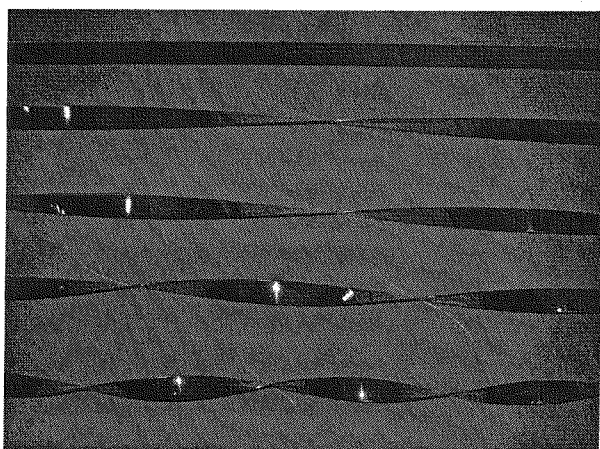


جدول (۲): محدوده پارامترهای آزمایش

۵۶-۱۳۰ kg/m <sup>2</sup> s	سرعت جرمی مبرد
۰/۱-۰/۹۵	کیفیت متوسط بخار
۶-۱۵	نسبت پیچش
۱۹/۴-۲۳/۲ °C	درجه حرارت چگالش متوسط
۹/۳-۱۱/۵ °C	درجه حرارت آب خنک کن
۰/۰۲۱-۰/۱۷۶ kg/s	دبی جرمی آب خنک کن
۵/۱-۲۷/۶ kW/m <sup>2</sup>	شار حرارتی متوسط



شکل (۲): یک نمونه لوله دارای نوار پیچیده شده



شکل (۳): انواع نوارهای مورد آزمایش

## ۴- ارزیابی نتایج و بحث و بررسی

### ۴-۱- نتایج لوله صاف

افت فشار کل دو فاز درون لوله برابر حاصل جمع سه عامل زیر است: افت فشار استاتیکی  $\Delta P_{static}$ ، افت فشار ممتوم  $\Delta P_{mom}$  و افت فشار اصطکاکی  $\Delta P_{frict}$ .

$$\Delta P_{total} = \Delta P_{static} + \Delta P_{mom} + \Delta P_{frict} \quad (1)$$

برای لوله افقی به علت اینکه تغییر در ارتفاع وجود ندارد  $\Delta P_{static} = 0$  است و افت فشار ممتوم براساس رابطه رویال وبرگلز [۸] به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\Delta P_{mom} = G_i^2 \Delta x \left\{ \frac{2x}{\rho_g \alpha} - \frac{2(1-x)}{\rho_f (1-\alpha)} + q \left[ \frac{\alpha(1-x)}{x(1-\alpha)\rho_f} - \frac{x(1-\alpha)}{\alpha(1-x)\rho_g} \right] \right\} \quad (2)$$

برای اندازه گیری اختلاف فشار مبرد R-134a در داخل کندانسور اصلی، از یک دستگاه اندازه گیری افت فشار (DP) استفاده شد که قادر به اندازه گیری افت فشار تا ۳ bar بوده و برای ۰ تا ۱۵۰ kPa به وسیله شرکت سازنده کالیبره شده است. در این مطالعه همان طور که اشاره شد آزمایش بر روی لوله‌هایی با نوارهای پیچیده شده با نسبت‌های پیچش ۶، ۹، ۱۲، ۱۵ و لوله صاف انجام شد. نسبت پیچش<sup>۷</sup> از تقسیم گام نوار در یک پیچش ۱۸۰ درجه‌ای بر قطر داخلی لوله حاصل شد. جنس نوارها از فولاد زنگ نزن بود که مشخصات ابعادی آن‌ها در جدول (۱) نشان داده شده است. پارامترهای مورد استفاده عبارتند از: طول لوله L، نسبت پیچش Y، ضخامت نوار  $\delta_{it}$  و قطر داخلی لوله D.

این نوارها به گونه‌ای ساخته می‌شوند که کاملاً به دیواره داخلی لوله بچسبند و حداقل میزان آزادی را دارا باشند.

### ۳- جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها

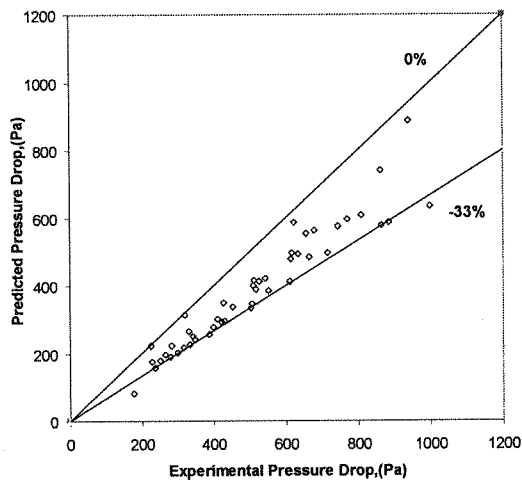
در مجموع، ۲۱۶ آزمایش با شش سرعت جرمی متفاوت مبرد برای جریان داخل لوله صاف و داخل لوله‌های مجهز به نوار پیچیده شده انجام شد. محدوده پارامترهای مختلف آزمایش در جدول (۲) آمده است.

برای محاسبه درجه حرارت‌های اشباع و آنتالپی‌های اشباع و فوق گرمای R-134a از مرجع [۶] و سایر خواص از جمله گرانشی از [۷] استفاده شده است. برای محاسبه کیفیت بخار در ورودی و خروجی کندانسور اصلی از موازنه حرارتی استفاده کردیم. کیفیت بخار متوسط نیز به صورت میانگین کیفیت بخار ورودی و خروجی از کندانسور محاسبه می‌شود.

در شکل (۲) یک نمونه لوله با نوار پیچیده شده آورده شده است. شکل (۳) انواع نوارهای مورد استفاده در آزمایش را نشان می‌دهد.

جدول (۱): مشخصات لوله‌های دارای نوار پیچیده شده

شماره لوله	D (mm)	L (mm)	$\delta_{it}$ (mm)	Y
۱	۱۰/۷	۱۰۴۰	۰/۷	۶
۲	۱۰/۷	۱۰۴۰	۰/۷	۹
۳	۱۰/۷	۱۰۴۰	۰/۷	۱۲
۴	۱۰/۷	۱۰۴۰	۰/۷	۱۵



شکل (۴): مقایسه نتایج لوله صاف با رابطه فریدل

که در آن افت فشار فاز مایع از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\Delta P_f = 4f_f \left( \frac{L}{D} \right) G_{tot}^2 \left( \frac{1}{2\rho_f} \right) \quad (5)$$

که:

$$Re_f = \frac{G_t D}{\mu_f} \quad (6)$$

$$f_f = \frac{0.079}{Re_f^{0.25}} \quad (7)$$

$$f_g = \frac{0.079}{Re_g^{0.25}} \quad (8)$$

ضریب تصحیح دوفازی وی عبارت است از:

$$\phi_{fr}^2 = E + \frac{a_1 F H}{Fr_H^{a_2} We_f^{a_3}} + a_4 \quad (9)$$

که در آن:

$$E = (1-x)^2 + x^2 \left( \frac{\rho_f f_g}{\rho_g f_f} \right) \quad (10)$$

$$F = x^{a_5} (1-x)^{a_6} \quad (11)$$

$$H = \left( \frac{\rho_f}{\rho_g} \right)^{a_7} \left( \frac{\mu_g}{\mu_f} \right)^{a_8} \left( 1 - \frac{\mu_g}{\mu_f} \right)^{a_9} \quad (12)$$

عدد فرود به صورت زیر به دست می‌آید:

$$Fr_H = \frac{G^2}{gD\rho_H} \quad (13)$$

و عدد وبر مایع برابر است با:

$$We_f = \frac{G_{tot}^2 D}{\rho_H \sigma} \quad (14)$$

همچنین دانسیته همگن به صورت زیر تعریف می‌شود:

که  $G_t$  سرعت جرمی کل (مایع + بخار)،  $x$  کیفیت متوسط بخار و  $\alpha$  ضریب وید است که براساس رابطه باترورث [۹] به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\alpha = \frac{1}{1 + A \left( \frac{1-x}{x} \right)^P \left( \frac{\rho_g}{\rho_f} \right)^q \left( \frac{\mu_f}{\mu_g} \right)^r} \quad (3)$$

ثابت‌های معادله فوق از جدول (۳) به دست می‌آیند. در اینجا ثابت‌ها با توجه به مقاله رویال و برگلز [۸] براساس مدل همگن به دست می‌آیند.

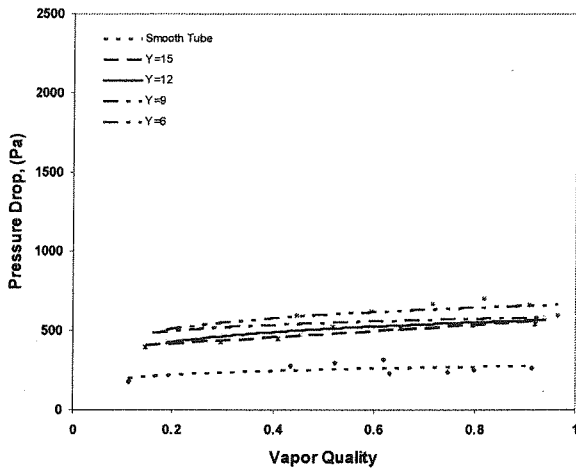
جدول (۳): ثابت‌های رابطه (۳)

Model	A	P	q	r
Lockhart&Martinelli(1949)	۰/۲۸	۰/۶۴	۰/۳۶	۰/۰۷
Fauske(1962)	۱	۱	۰/۵	۰
Thom(1964)	۱	۱	۰/۸۹	۰/۱۸
Zivi(1944)	۱	۱	۰/۶۷	۰
Baroczy(1965)	۱	۰/۷۴	۰/۶۵	۰/۱۳
Moody(1965)	۱	۱	۰/۶۷	۰
Wallis(1969), Separated	۱	۰/۷۲	۰/۴۰	۰/۰۸
Wallis(1969), Homogeneous	۱	۱	۱	۰

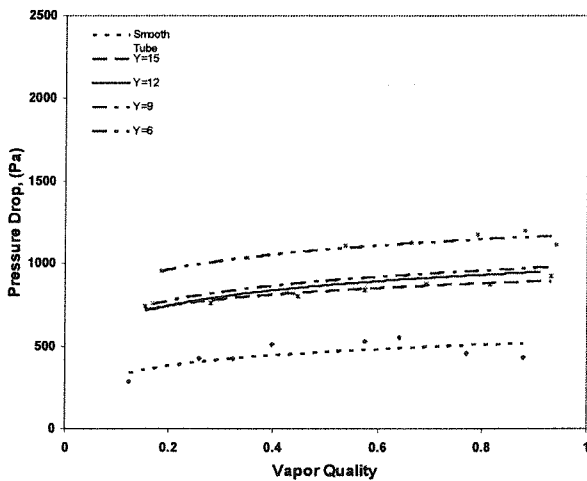
افت فشار کل در تست کندانسور ( $\Delta P_{tot}$ ) به وسیله دستگاه افت فشار اندازه گیری می‌شود. با استفاده از خواص جریان، افت فشار ناشی از تغییر مومنتم از رابطه (۲) به دست می‌آید؛ بنابراین، افت فشار اصطکاکی طبق معادله (۱) از کم کردن دو مقدار مذکور حاصل می‌شود. داده‌های آزمایشگاهی به دست آمده ( $\Delta P_{fric}$ ) با پنج روش محاسبه افت فشار اصطکاکی جریان دوفازی در لوله صاف [۱۰]-[۱۴] مقایسه شد. مشاهده شد که رابطه فریدل [۱۱] با داده‌های به دست آمده در لوله صاف بهترین تطابق را دارد (شکل ۴). این رابطه، داده‌های آزمایشگاهی را از ۳۳٪ تا ۰٪ پیش بینی می‌کند.

بنابراین با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی رابطه فریدل برای لوله صاف به صورت زیر اصلاح شد تا هم درصد خطا کاهش یابد و هم در تحلیل‌های بعدی از آن به عنوان رابطه مبنا استفاده شود:

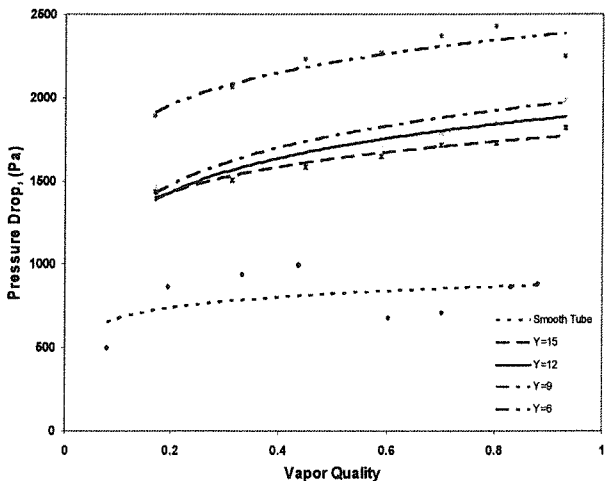
$$\Delta P_{fric} = \Delta P_f \times \phi_{fr}^2 \quad (4)$$



شکل (۶): مقایسه مقادیر آزمایشگاهی لوله صاف و لوله های با نوار پیچیده شده در سرعت جرمی  $56 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}$



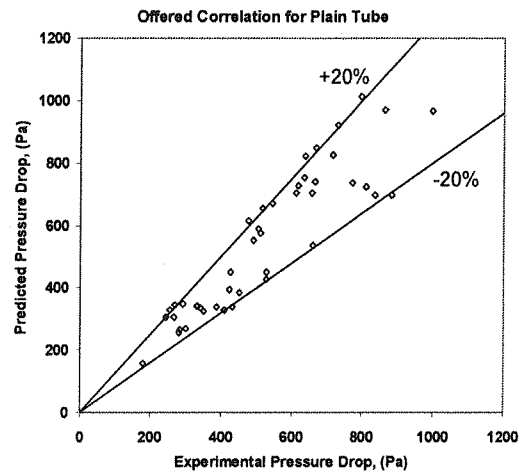
شکل (۷): مقایسه مقادیر آزمایشگاهی لوله صاف و لوله های با نوار پیچیده شده در سرعت جرمی  $82 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}$



شکل (۸): مقایسه مقادیر آزمایشگاهی لوله صاف و لوله های با نوار پیچیده شده در سرعت جرمی  $130 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}$

$$\rho_H = \left( \frac{x}{\rho_g} + \frac{1-x}{\rho_f} \right)^{-1} \quad (15)$$

ثابت‌های  $a_1$  تا  $a_9$  در روابط فوق در جدول (۴) آمده است. رابطه فوق نتایج مطالعه حاضر را مطابق شکل (۵) در محدوده  $\pm 20\%$  داده‌های آزمایشگاهی پیش بینی می‌کند. میزان انحراف میانگین  $^{\wedge}$  (M.D%) و انحراف استاندارد  $^{\wedge}$  (S.D%) مقادیر افت فشار محاسبه شده با رابطه فوق از مقادیر آزمایشگاهی مطالعه حاضر، به ترتیب  $19/2\%$  و  $11/2\%$  می‌باشد.



شکل (۵): مقایسه داده های آزمایشگاهی لوله صاف با مقادیر

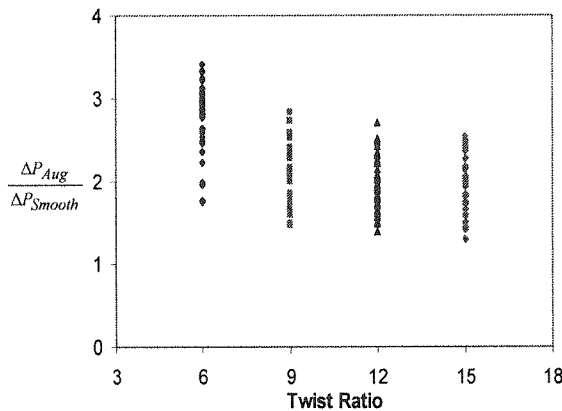
پیش بینی شده با رابطه (۴)

#### ع-۲- نتایج لوله با نوار پیچیده شده

همان طور که اشاره شد این آزمایش‌ها برای ۵ لوله متفاوت در سرعت جرمی و در ۷ کیفیت بخار برای هر سرعت جرمی انجام شدند. تغییرات افت فشار لوله‌های با نوار پیچیده شده و لوله صاف نسبت به کیفیت بخار در شکل‌های (۶) تا (۱۰) نشان داده شده است. شش شکل نخست برای نشان دادن تأثیر گام نوار (نسبت پیچش) در افزایش افت فشار در سرعت جرمی ثابت و چهار شکل بعدی به منظور نمایش اثر سرعت جرمی بر میزان افت فشار برای نسبت‌های پیچش متفاوت ترسیم شده‌اند.

یک نسبت پیچش ثابت با افزایش سرعت جرمی میزان افت فشار افزایش می‌یابد. این مورد به دلیل افزایش تنش برشی لایه مایع نسبت به دیواره داخلی لوله و سطح نوار حاصل می‌شود. علت دیگر این مورد می‌تواند افزایش تولید قطرات مایع معلق در توده بخار<sup>۱۱</sup> و به تناسب آن افزایش بازگشت این قطرات به سطح لایه مایع<sup>۱۱</sup> باشد که موجب ایجاد اغتشاش در سطح لایه مایع و افزایش افت فشار اصطکاکی در سطح این لایه می‌شود.

شکل (۱۱) تغییرات نسبت افت فشار لوله با نوار پیچیده شده به لوله صاف، با نسبت پیچش را برای همه سرعت‌های جرمی نشان می‌دهد. همان طور که در این شکل مشاهده می‌شود، این نسبت افت فشار برای نسبت پیچش ۶، از ۱/۷ تا ۳/۴ تغییر می‌کند، در حالی که برای نسبت پیچش ۱۵، تغییرات آن از ۱/۳ تا ۲/۵ خواهد بود. همچنین، از شکل‌های (۸) و (۱۱) نتیجه می‌شود که در بدترین شرایط (نسبت پیچش ۶ و سرعت جرمی  $130 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  و کیفیت متوسط بخار حدود ۰/۹۵)، نوار پیچیده شده افت فشار را تا حدود ۲۴۰٪ نسبت به لوله صاف افزایش می‌دهد.

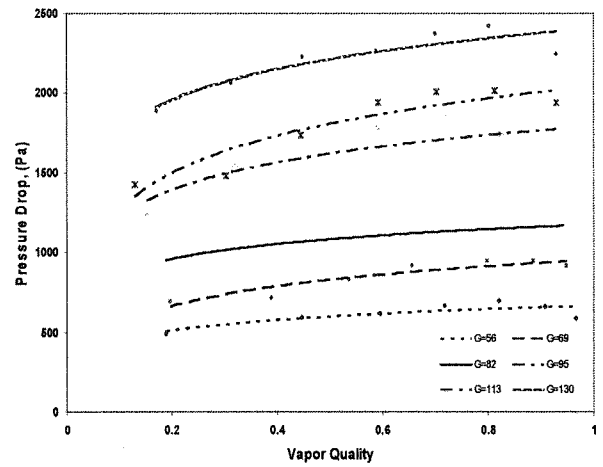


شکل (۱۱): تغییرات نسبت افت فشار لوله های با نوار پیچیده شده به لوله صاف با نسبت پیچش

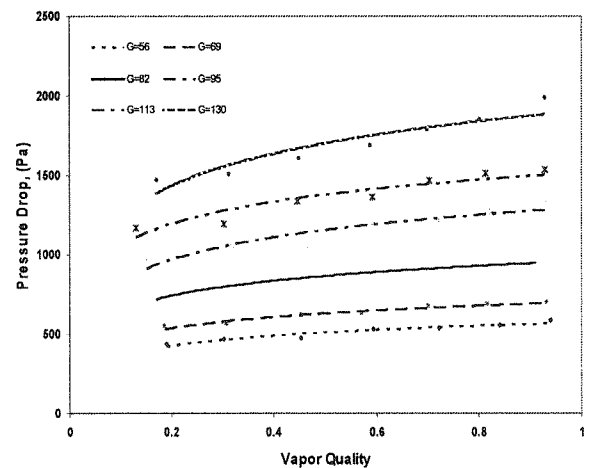
## ۵- رابطه پیشنهادی برای جریان داخل لوله های با نوار پیچیده شده

با بررسی تاریخچه موجود در مورد چگالش اجباری مبرد R-134a در لوله‌های با نوارهای پیچیده شده، مشاهده شد که رابطه‌ای به منظور پیش بینی افت فشار مربوطه موجود نیست. از این رو با توجه به مقادیر آزمایشگاهی حاصل برای لوله‌های با نوار پیچیده شده، به یافتن رابطه‌ای به منظور پیش بینی این داده‌ها اقدام شد.

بدین منظور از رابطه به دست آمده برای پیش بینی مقادیر افت فشار لوله صاف (رابطه ۴) به عنوان رابطه مبنا استفاده شد



شکل (۹): مقایسه مقادیر آزمایشگاهی در سرعت های جرمی متفاوت و نسبت پیچش ۶



شکل (۱۰): مقایسه مقادیر آزمایشگاهی در سرعت های جرمی متفاوت و نسبت پیچش ۱۲

از بررسی این شکل‌ها می‌توان فهمید که در حالت کلی نصب نوارهای پیچیده شده در داخل لوله‌های افقی، باعث افزایش افت فشار به میزان قابل توجهی می‌شود که مقدار آن تابعی از سرعت جرمی، کیفیت بخار و ابعاد هندسی نوار پیچیده شده (نسبت پیچش) است. با بررسی اشکال (۶) تا (۸) نتیجه می‌شود که با افزایش کیفیت بخار در سرعت جرمی ثابت، میزان افت فشار افزایش می‌یابد. این امر به دلیل افزایش حجم توده بخار نسبت به لایه مایع است که موجب افزایش سرعت بخار نسبت به سرعت لایه مایع و در نتیجه افزایش تنش برشی بین آن دو و افت فشار اصطکاکی می‌شود. همچنین مشاهده می‌شود که با کاهش نسبت پیچش میزان افت فشار افزایش می‌یابد. دلیل عمده این افزایش، پیمودن مسیر بیشتر به وسیله مبرد در داخل تست کندانسور در نسبت‌های پیچش کوچک تر است.

با نگاهی کلی به اشکال (۹) و (۱۰) مشاهده می‌شود که در

نوار) افت فشار افزایش می‌یابد. در بدترین حالت (نسبت پیچش ۶) افت فشار در حدود ۲۴۰٪ نسبت به افت فشار لوله صاف زیاد می‌شود.

۴- بر اساس داده‌های تجربی این تحقیق، رابطه‌ای برای پیش بینی افت فشار جریان چگالش در لوله صاف بر مبنای رابطه فریدل ارائه شد. مقادیر محاسبه شده با آن برای بیشتر داده‌ها در محدوده  $\pm 20\%$  مقادیر تجربی قرار می‌گیرند.

۵- براساس داده‌های آزمایشگاهی، برای به دست آوردن افت فشار در لوله‌های دارای نوار پیچیده شده، رابطه‌ای پیشنهاد شد که مقادیر محاسبه شده با آن برای بیشتر داده‌ها در محدوده  $\pm 16\%$  مقادیر تجربی قرار می‌گیرند.

## ۷- مراجع

Cavallini, A., Del Col, D., Doretto, L., Longo, G.A., and Rossetto, L., "Heat Transfer and Pressure Drop during Condensation of Refrigerants inside Horizontal Enhanced Tubes", Int. J. Refrig., Vol.23, PP.4-25 2000

Luu, M., and Bergles, A.E., "Enhancement of Horizontal In-Tube Condensation of R-113", ASHRAE Trans., Vol.86 part 1, PP. 293-311, 1980

Said, S.A., and Azer, N.Z., "Heat Transfer and Pressure Drop during Condensation inside Horizontal Tubes with Twisted Tape inserts", ASHRAE Trans., Vol.89 part 1A, PP. 961-13, 1983

Ramakrishna, K., and Azer, N.Z., "Correlation for Horizontal In-Tube Condensation with Twisted Tape inserts", Proc. 8th Nat. Heat and Mass Conf., Andhra Univ., Andhra, India, PP. 427-435, 1985.

Thome, J.R., "Wolverine Tube, Inc", Engineering Data Book III, 2006.

Sonntag, R.E., Borgnakke, C., and Van wylen, G.J., "Fundamentals of Thermodynamics", John wiley and sons, New york, 1997.

Collier, J.G., and Thome, J.R., "Convective Boiling and Condensation", Oxford University Pres, 1994

Royal, J.H. and Bergles, A.E., "Augmentation of Horizontal In-Tube Condensation by means of Twisted Tape inserts and Internally Finned Tubes", ASME J. Heat Transfer, Vol.100, PP. 17-24 1978

Butterworth, D., "A Comparison of some Void Fraction Relationships for Co-Current Gas-Liquid Flow". Int. J. Multiphase Flow 1, 845-850, 1975

Lockhart, R.W, and Martinelli, R.C. "Proposed Correlation of Data for Isothermal Two-Phase, Two-Component Flow in Pipes", Chem. Eng. Prog. 4, 39-48, 1949

Friedel, L., "Improved Friction Pressure Drop Correlations for Horizontal and Vertical Two-Phase Pipe Flow", 3R Int. 18 485-492, 1979.

Muller-Steinhagen, H. and Heck, K., "A Simple Friction Pressure Drop Correlation for Two-Phase Flow in Pipes", Chem. Eng. Processing Vol. 20 PP 297-308, 1986

Chisholm, D. and Laird, A.D.K., "Two-Phase Flow in Rough Tubes", Trans. ASME 80, 276-286, 1958.

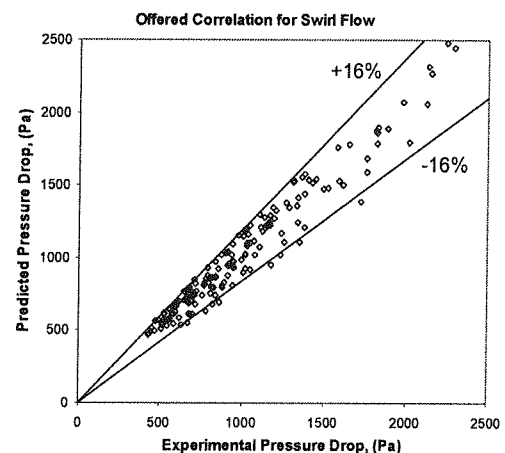
و پس از توسعه دادن این رابطه برای لوله‌های دارای نوار پیچیده شده و تأثیر دادن هندسه نوار (نسبت پیچش)، از طریق آنالیز رگرسیون حداقل مربعات<sup>۱۲</sup>، ضرایب  $a_1$  تا  $a_9$  جدید حاصل شد. این ضرایب در جدول (۴) موجود است.

در این جدول، مقدار  $Re_e$  براساس رابطه ایکرز و همکارانش [۱۵] به صورت زیر است:

$$Re_e = \frac{G_e D}{\mu_f} \quad (16)$$

$$G_e = \left( x \left( \frac{\rho_f}{\rho_g} \right)^{0.5} + (1-x) \right) G_{tot} \quad (17)$$

شکل (۱۲) مقایسه‌ای میان مقادیر پیش بینی شده با رابطه ارائه شده برای لوله‌های مجهز به نوار پیچیده شده و داده‌های آزمایشگاهی را نمایش می‌دهد. همان طور که از این شکل مشاهده می‌شود تقریباً تمامی مقادیر پیش بینی شده در محدوده  $\pm 16\%$  داده‌های آزمایشگاهی قرار می‌گیرند که نشان دهنده تطابق خوب این رابطه با داده‌های تجربی است.



شکل (۱۲): مقایسه مقادیر آزمایشگاهی افت فشار لوله‌های با

نوار پیچیده شده با مقادیر پیش بینی شده با رابطه (۴)

مقادیر انحراف میانگین و انحراف استاندارد رابطه فوق از مقادیر آزمایشگاهی به ترتیب برابر  $0.98$  و  $1/6$  درصد است. این رابطه برای محدوده کیفیت بخار متوسطی در حدود  $0.1$  تا  $0.95$  قابل استفاده می‌باشد.

## ۶- نتیجه گیری

از مطالعه فوق نتایج زیر حاصل شد:

- ۱- با افزایش کیفیت بخار و همچنین با افزایش سرعت جرمی، میزان افت فشار عموماً افزایش می‌یابد.
- ۲- میزان افزایش افت فشار تابعی از عدد رینولدز معادل و هندسه لوله با نوار پیچیده شده است.
- ۳- با ثابت ماندن سایر شرایط، با کاهش نسبت پیچش (گام

- Gronnerud, R., "Investigation in Liquid Hold-up, Flow Resistance and Heat Transfer in Circular Type Evaporators", Part 4: Two-Phase Resistance in Boiling Refrigerant, Bulletin de l' Inst. Du Froid, Annexe 1972-1, 1972 [۱۴]
- Akers, W.W., Deans, H.A., and Crosser, O.K., "Condensing Heat Transfer within Horizontal Tubes", Chem. Engg. Progr. Symp. Ser, Vol.55 No. 29, PP. 171-176, 1959. [۱۵]

جدول (۴): ثابتهای روابط پیشنهادی و رابطه فریدل

ارایه دهنده	$Re_e$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	$a_6$	$a_7$	$a_8$	$a_9$
فریدل	—	۳/۲۴	۰/۰۴۵	۰/۰۲۵	.	۰/۷۸	۰/۲۲۴	۰/۹۱	۰/۱۹	۰/۷
این تحقیق (لوله صاف)	$Re_e > 12000$	۵۰۲/۲۵	۰/۰۷۸	۰/۰۲۷	$\left(\frac{Re_e}{10000}\right)^{2.5}$	۰/۴۱	۰/۰۹۶	۰/۹۹	۰/۰۲	۰/۳۶
	$Re_e \leq 12000$	۵۰۲/۲۵	۰/۰۷۸	۰/۰۲۷	$\left(\frac{Re_e}{9000}\right)^{-2}$	۰/۶۵	۰/۲۲۴	۰/۹	۰/۱۵	۰/۵۵
این تحقیق (لوله با نوار)	$Re_e > 12000$	۴/۱۶	۰/۰۴۵	۰/۰۲۵	$\left(\frac{Re_e}{15000}\right)^{0.85} + 3\left(\frac{10}{Y}\right)^{3.4} + \frac{Y}{2} - 10$	۰/۷۳	۰/۲۱۴	۰/۹۲	۰/۱۴	۰/۶۶
	$Re_e \leq 12000$	۴/۱۶	۰/۰۴۵	۰/۰۲۵	$\left(\frac{Re_e}{10000}\right)^{-4} + 2.7\left(\frac{10}{Y}\right)^3 + \frac{Y}{2}$	۰/۷۵	۰/۲۱۶	۰/۹۲	۰/۱۴	۰/۶۶

#### ۸- زیر نویس ها

- |                                |                            |
|--------------------------------|----------------------------|
| ۱ Active and Passive Technique | ۷ Twist Ratio              |
| ۲ Twisted Tape                 | ۸ Mean Deviation           |
| ۳ Test Condenser               | ۹ Standard Deviation       |
| ۴ Counter Flow                 | ۱۰ Entrainment             |
| ۵ Pre Condenser                | ۱۱ Redeposition            |
| ۶ After Condenser              | ۱۲ Least Square Regression |