

افزایش انتقال حرارت در چگالنده یک سیکل تبرید با مبرد R-134a توسط نوار پیچیده شده

محمد علی اخوان بهابادی

استادیار دانشکده مهندسی مکانیک - پردیس دانشکده‌های فنی - دانشگاه تهران

امیر رجیب نجار

فارغ التحصیل کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک - پردیس دانشکده‌های فنی - دانشگاه تهران

سعید محسنی گرکانی

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک - پردیس دانشکده‌های فنی - دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۸۳/۶/۲۱، تاریخ دریافت روایت اصلاح شده ۸۴/۶/۲۰، تاریخ تصویب ۸۴/۶/۲۶)

چکیده

در این مقاله، بر روی ضریب انتقال حرارت در چگالنده یک سیکل تبرید با مبرد R-134a در داخل لوله افقی صاف و همچنین لوله های افقی دارای نوار پیچیده شده مطالعات آزمایشگاهی صورت گرفته است. دستگاه مورد استفاده در این بررسی، یک سیستم تبرید تراکمی بخار مجهز به وسایل اندازه گیری مانند ترموکوپل و فشارسنج می باشد. این سیستم شامل سه کندانسور دو لوله ای از نوع جریان مخالف است که بترتیب پیش کندانسور، کندانسور اصلی و کندانسور ثانویه نامیده می شود. آب خنک کن در لوله خارجی جریان می یابد در حالی که مبرد R-134a در لوله داخلی آن چگالیده می شود. در این تحقیق، داده های تجربی برای لوله صاف و همچنین لوله های دارای نوار پیچیده شده با چهار نسبت پیچش متفاوت جمع آوری گردید. تحلیل داده ها نشان داد که نصب نوار پیچیده شده در داخل لوله افقی می تواند ضریب انتقال حرارت جابه جایی را تا حداکثر ۴۳٪ نسبت به لوله صاف افزایش دهد. براساس داده های جمع آوری شده در این تحقیق، رابطه ای برای محاسبه ضریب انتقال حرارت در چگالش بخار در داخل لوله های مجهز به نوار پیچیده شده بدست آورده شده است.

واژه های کلیدی: افزایش انتقال حرارت، چگالش، نوار پیچیده شده، R-134a

مقدمه

با بررسی منابع موجود به این نتیجه میرسیم که اگرچه مطالعات زیادی در مورد روش های مختلف افزایش انتقال حرارت در چگالش بخار داخل لوله های افقی، با استفاده از نوار پیچیده شده به عنوان افزایش دهنده انتقال حرارت در داخل لوله ها، صورت گرفته، ولیکن هیچ کدام از مطالعات صورت گرفته در مورد استفاده از نوار پیچیده شده در داخل لوله افقی در چگالنده یک سیکل تبرید با مبرد R-134a نمی باشد [۱-۵].

با توجه به اینکه در کندانسورهای مورد استفاده در صنایع تبرید و تهویه مطبوع، به دلیل خاصیت ترکندگی مبردها، چگالش فقط به صورت لایه ای صورت می گیرد. و از آنجا که ضریب هدایت حرارتی مبرد مایع پایین است، نیاز به

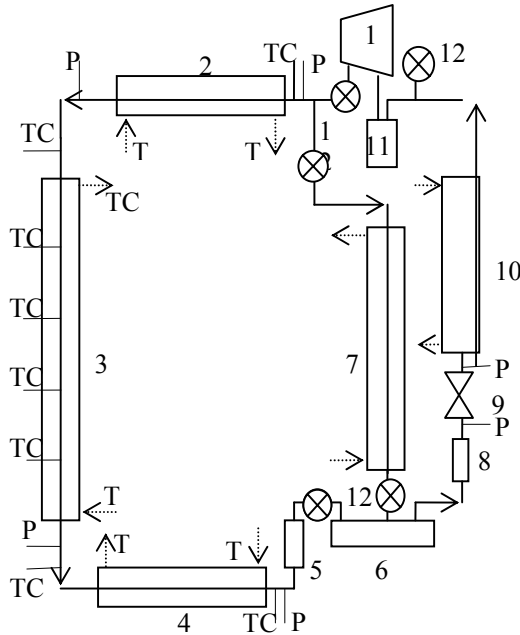
موضوع افزایش انتقال حرارت تا مرحله ای پیش رفته است که در مورد مبدل های حرارتی بطور جدی مورد توجه قرار گرفته است. در صنایع مختلف مانند یخچال سازی و کولر سازی بطور معمول از سطوح افزایشی در مبدل های حرارتی خود استفاده می کنند، در واقع هر مبدل نامزد بالقوه ای برای افزایش انتقال حرارت می باشد. بدین منظور از روش های مختلف فعال و غیر فعال^۱، جهت افزایش میزان انتقال حرارت استفاده می شود. یکی از روش های غیر فعال، استفاده از انواع تجهیزات درون لوله ای مانند نوار پیچیده شده^۲ می باشد. استفاده از این تجهیزات درون لوله ای به علت راحتی نصب و مقرون به صرفه بودن به لحاظ اقتصادی از رایج ترین روشها جهت افزایش انتقال حرارت می باشد.

$D_o = 12.7\text{mm}$: قطر خارجی لوله مسی:
 $D = 10.7\text{mm}$: قطر داخلی لوله مسی:
 $L = 1040\text{mm}$: طول لوله مسی:
 $Y = 6, 9, 12, 15$: نسبت های پیچش :
 $\delta_{tt} = 0.7\text{mm}$: ضخامت نوار پیچیده شده:

استفاده از روش های افزایش انتقال حرارت در سمت مبرد احساس می شود [۶].
 مطالعه حاضر بر روی مبرد R-134a صورت پذیرفت زیرا پتانسیل تخریب لایه ازن (ODP) این گاز صفر بوده و به همین دلیل استفاده از آن رو به افزایش است [۷].

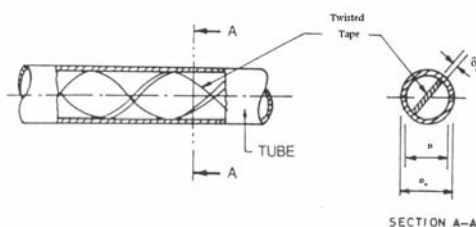
شرح دستگاه آزمایش

دستگاه مورد آزمایش یک سیستم تبرید تراکمی بخار مجهز به کلیه وسایل اندازه گیری مورد نیاز است. این سیستم به صورت شماتیک در شکل (۱) نشان داده شده است. کندانسور مورد آزمایش^۳ یک مبدل حرارتی دو لوله ای از نوع جریان مخالف^۴ است که آب خنک کن در لوله خارجی جریان داشته و فرئون در لوله داخلی چگالیده می شود. لوله داخلی آن از جنس مس بوده که قطر داخلی آن 10.7mm ، قطر خارجی آن 12.7mm و طول آن 1040mm می باشد. دمای سطح خارجی لوله مسی در چهار مقطع و در هر مقطع در دو نقطه توسط ترموکوپل هایی از نوع ژاندازه گیری می شود. همچنین دمای مبرد و دمای آب خنک کن در ورود و خروج از کندانسور اصلی (مورد آزمایش) توسط ترموکوپل هایی از نوع ژاندازه گیری می شود. بعلاوه فشار استاتیکی مبرد در ورود و خروج از کندانسور اندازه گیری می گردد. در ضمن کل کندانسور توسط پشم شیشه عایق بندی می شود. برای آن که در ورود به کندانسور اصلی، مبرد دارای کیفیت مطلوب باشد از یک پیش کندانسور^۵ استفاده می شود تا بتوان آزمایشات را برای محدوده نسبتا وسیعی از کیفیت بخار انجام داد. همچنین برای آن که مبرد خروجی قبل از ورود به روتامتر کاملا مایع شده باشد از یک کندانسور ثانویه^۶ استفاده می کنیم. برای اندازه گیری دبی مبرد، از یک روتامتر بعد از کندانسور ثانویه استفاده میشود. اندازه گیری دبی آب خنک کن با استفاده از کرومومتر واستوانه مدرج صورت می گیرد. در این مطالعه لوله هایی با چهار نوع نوار پیچیده شده و یک لوله صاف مورد آزمایش قرار گرفتند. پارامتر های مشخصه نوارهای پیچیده شده که از فولاد زنگ نزن^۷ می باشد، در شکل (۲) نشان داده شده است. مشخصات ابعادی آنها بصورت زیر می باشد:



- | | |
|----------------------|--------------------|
| 1- COMPRESSOR | 9-EXPANSION VALVE |
| 2- PRE CONDENSER | 10- EVAPORATOR |
| 3- TEST CONDENSER | 11-ACCUMOLATOR |
| 4- AFTER CONDENSER | 12- SHUT OFF VALVE |
| 5- ROTAMETER | TC- THERMOCOUPLE |
| 6- RECIEVER | P- PRESSURE GUAGE |
| 7- BY-PASS CONDENSER | T- THERMOMETER |
| 8- FILTER-DRIER | |

شکل ۱: شکل شماتیک دستگاه آزمایش.



شکل ۲: پارامترهای مشخصه نوار های پیچیده شده .

جمع آوری و آنالیز داده ها

در مجموع ۸۰ آزمایش مختلف با چهار سرعت جرمی متفاوت مبرد برای جریان داخل لوله صاف و داخل لوله‌های مجهز به نوار پیچیده شده انجام شد. محدوده پارامترهای مختلف آزمایش در کندانسور اصلی به شرح زیر می باشد:

$$\text{سرعت جرمی مبرد: } 91/55-146/6 \text{ kg / sm}^2$$

$$\text{دمای چگالش متوسط: } 27/3-32/2 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{شار حرارتی متوسط: } 3/93-21/11 \text{ kW / m}^2$$

$$\text{دبی آب خنک کن: } 0/017-0/066 \text{ kg / s}$$

$$\text{کیفیت بخار ورودی: } 0/1-0/98$$

برای محاسبه درجه حرارت های اشباع و سوپرهیت و انتالپی های اشباع R-134a از مرجع [۸] و سایر خواص از جمله ویسکوزیته از مرجع [۹] استفاده شده است. ضریب انتقال حرارت در کندانسور از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$\bar{h} = q / (t_s - t_{wi}) \quad (1)$$

که در آن q شار حرارتی، t_s درجه حرارت اشباع مبرد و t_{wi} درجه حرارت متوسطه سطح داخلی دیواره میباشد، که از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$t_{wi} = t_{wo} + \Delta t_w \quad (2)$$

که در آن t_{wo} درجه حرارت سطح خارجی لوله و Δt_w افت درجه حرارت دیواره میباشد، که از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$\Delta t_w = \frac{qD_o \ln(D_o / D)}{2k_w} \quad (3)$$

همچنین برای محاسبه شار حرارتی q داریم:

$$q = \dot{Q} / (\pi DL) \quad (4)$$

که \dot{Q} شدت انتقال حرارت بصورت زیر محاسبه می شود:

$$\dot{Q} = \dot{m}_{wts} c_{pw} (T_{wo} - T_{wi}) \quad (5)$$

که در آن \dot{m}_{wts} دبی جرمی آب عبوری از کندانسور اصلی

و c_{pw} گرمای ویژه آن میباشد. T_{wo} و T_{wi} بترتیب دمای آب ورودی و خروجی کندانسور اصلی است. برای محاسبه کیفیت بخار در ورودی و خروجی کندانسور از موازنه حرارتی استفاده نمودیم. کیفیت بخار متوسط نیز به صورت میانگین کیفیت بخار ورودی و خروجی از کندانسور محاسبه می شود.

آرایه نتایج و بحث و بررسی

نخست ضرایب انتقال حرارت لوله صاف را بدست آورده با روابط متعدد موجود مقایسه کردیم. ملاحظه شد که این داده ها بهترین سازگاری را با رابطه پیشنهادی اخوان بهابادی [۶] دارند. این رابطه به صورت زیر است:

$$\bar{Nu} = 0.81 \text{Pr}^{0.33} (GD / \mu_l)^{0.66} (\Delta X . D / L)^{0.29} \times \frac{[(\rho_L / \rho_m)_{in}^{0.5} + (\rho_L / \rho_m)_{out}^{0.5}]}{2} \quad (6)$$

که در آن \bar{Nu} عدد نوسلت، Pr عدد پرانتل، G سرعت جرمی، μ_l لزجت دینامیکی، ΔX اختلاف بین کیفیت مبرد در ابتدا و انتهای کندانسور اصلی، ρ_l و ρ_v بترتیب دانسیته فاز مایع و بخار می باشد. همچنین:

$$\frac{\rho_L}{\rho_m} = 1 + x(\rho_L - \rho_v) / \rho_v \quad (7)$$

رابطه فوق نتایج آزمایشگاهی مطالعه حاضر را با ۲۰٪- الی ۲۵٪+ خطا پیش بینی می کند که برای مطالعات آزمایشگاهی قابل قبول است (شکل ۳) بنابراین از این رابطه جهت تحلیل های آتی استفاده خواهیم کرد.

همانطور که در شکل (۴) مشاهده میشود، ضریب انتقال حرارت با افزایش کیفیت بخار افزایش می یابد. این پدیده بدین سبب است که در کیفیت بخار بالا، لایه مایع روی دیواره داخلی لوله، نازکتر بوده و باعث مقاومت حرارتی کمتری میشود. این نمودار برای لوله های دارای نوار پیچیده شده با نسبت پیچش ۶ و ۱۲ ترسیم شده است که در هر دو سرعت جرمی $91/55 \text{ kg / sm}^2$ می باشد.

داده ها در این نمودار با خطوط مستقیمی به هم وصل شده اند. دلیل تصادفی بودن تغییرات ضریب انتقال حرارت،

تغییرات ضریب انتقال حرارت لوله های دارای نوار پیچیده شده با کیفیت بخار در شکل های (۵) تا (۸) نشان داده شده است که می توان در آنها اثر کاهش گام نوار پیچیده شده در افزایش انتقال حرارت را مشاهده نمود. ضمن اینکه باید توجه داشت سرعت جرمی برای منحنی های ترسیم شده در هر شکل یکسان است.

از بررسی این شکل ها می توان فهمید که نصب نوار پیچیده شده در داخل لوله های افقی، در مجموع باعث افزایش ضریب انتقال حرارت به میزان قابل توجهی می شود که مقدار آن تابع پیچیده ای از سرعت جرمی، کیفیت بخار و ابعاد هندسی نوار پیچیده شده می باشد. در بهترین حالت، هنگامی که دارای نوار پیچیده شده با کمترین نسبت پیچش می باشیم ($Y = 6$)، در ناحیه با کیفیت بالا، ضریب انتقال حرارت را تا ۴۳٪ نسبت به لوله صاف مشابه برای سرعت جرمی ۱۲۸/۲۵ افزایش می دهد.

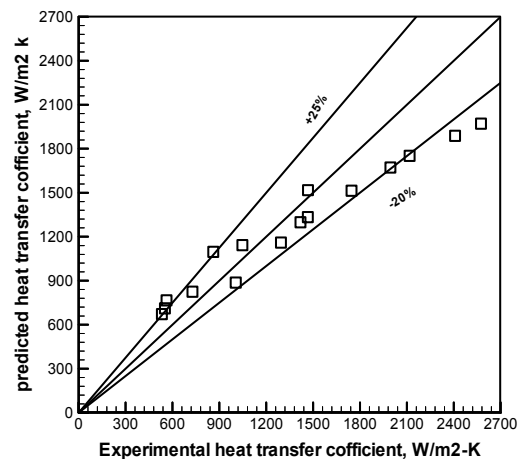
رابطه پیشنهادی برای جریان داخل لوله های دارای نوار پیچیده شده

با بررسی روابط موجود در زمینه انتقال حرارت در داخل لوله های افقی دارای نوار پیچیده شده مشاهده می شود که این روابط تطابق چندانی با داده های آزمایشی ندارد. در شکل های (۹) الی (۱۳) مقایسه نتایج آزمایش با مقادیر محاسبه شده از روابط لان و برگلز [۱]، راماکریشنا و آذر [۲]، رویال و برگلز [۳]، سیدوآذر [۴] و همچنين لال [۵]، نشان داده شده است. همانطور که در این اشکال مشخص شده، مقادیر تخمین زده شده بوسیله این روابط در محدوده ۳۰٪- تا ۷۰٪+ مقادیر تجربی قرار دارند.

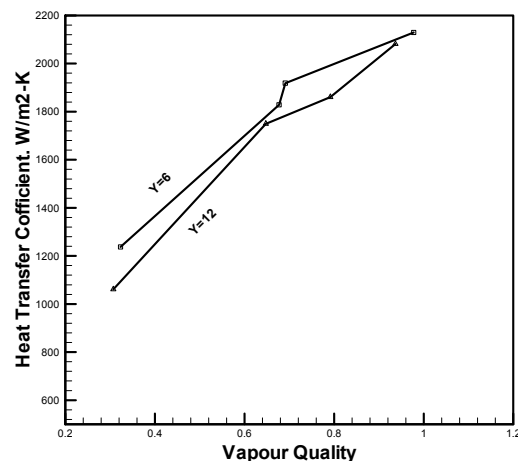
از این رو رابطه اخوان بهابادی (رابطه ۶) که بیشترین تطابق را با داده های مربوط به لوله صاف داشت به عنوان مبنا در نظر گرفتیم. حال اثرات نوار پیچیده شده را بر روی رابطه (۶) در نظر می گیریم [۵]، در نهایت شکل کلی رابطه مذکور بصورت زیر در می آید:

$$\overline{Nu} = C_1 \cdot Pr^{C_2} \cdot (Re_{vs})^{C_3} \cdot \left(\frac{\Delta X \cdot D_H}{L}\right)^{C_4} \times \left[\frac{(\rho_L / \rho_m)_{in}^{0.5} + (\rho_L / \rho_m)_{out}^{0.5}}{2} \right]^{C_5} \quad (8)$$

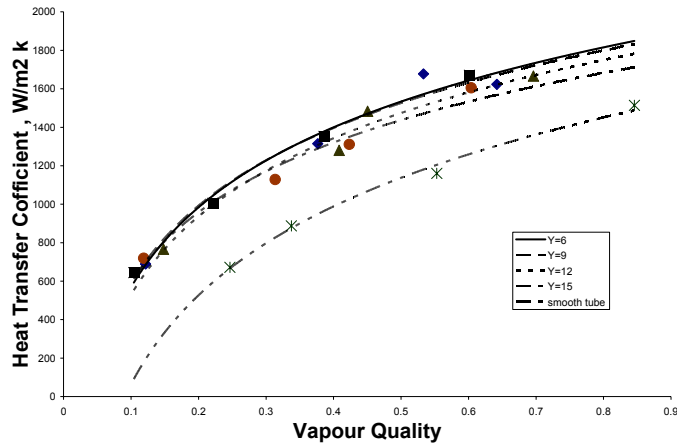
ناپایداری چگالش بخار در جابه جایی اجباری است که در آن دو فاز ضمن حرکت، با هم تبادل جرمی نیز دارند. بعلاوه حضور نوار پیچیده شده نیز بر این ناپایداری می افزاید [۶]. دلیل دیگر، انجام آزمایش ها در فشارهای چگالشی متفاوت است، زیرا برای پوشش محدوده وسیعی از کیفیت بخار، در هر سرعت جرمی، چهار آزمایش انجام شد که انجام آن ها در فشارهای چگالشی کاملاً یکسان امکان پذیر نیست.



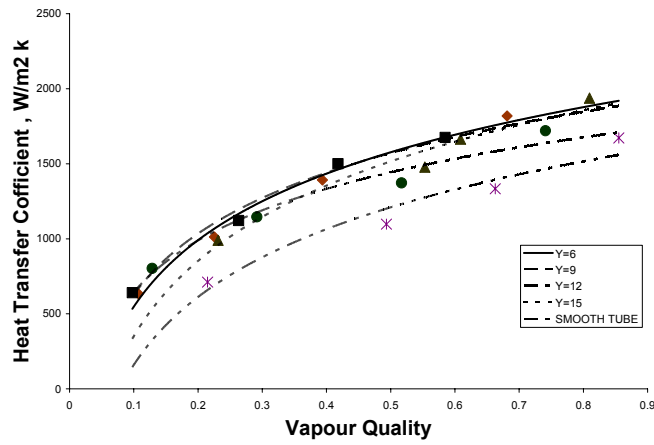
شکل ۳: مقایسه نتایج آزمایشگاهی لوله صاف با رابطه اخوان بهابادی [۶]. (مقادیر تخمینی در محدوده ۲۰٪- تا ۲۵٪+ مقادیر تجربی قرار دارند.)



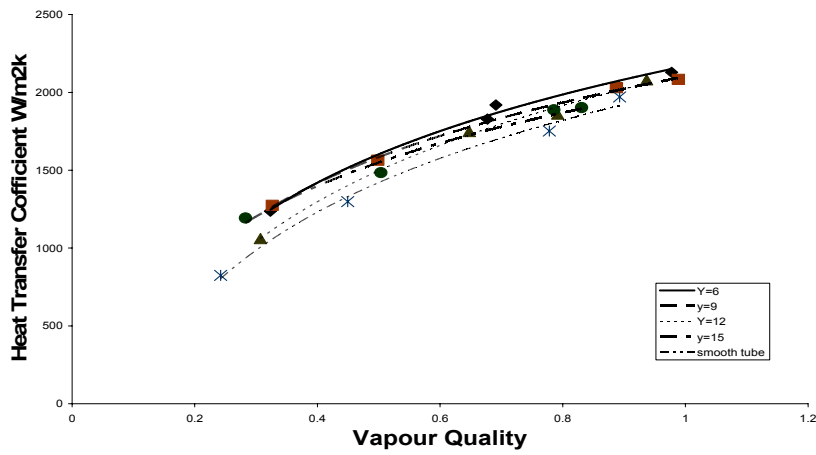
شکل ۴: مقایسه ضرایب انتقال حرارت لوله های دارای نوار پیچیده شده با نسبت های پیچش ۱۲ و ۶ برای سرعت جرمی $0.91/55 \text{ kg/sm}^2$ مبرد



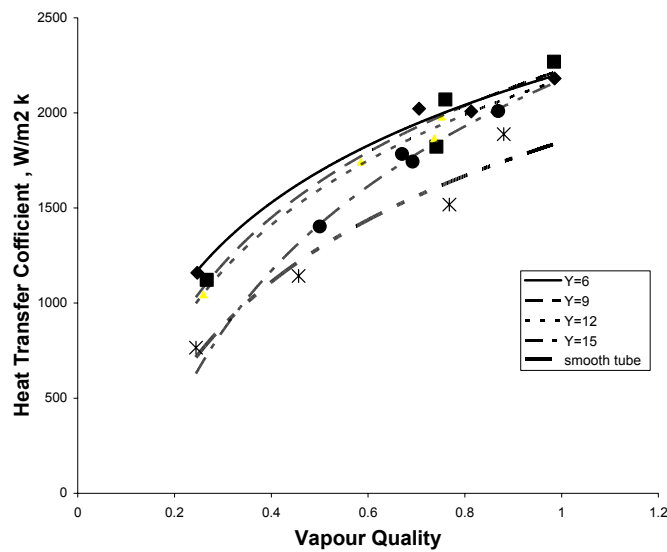
شکل ۵: مقایسه ضرایب انتقال حرارت برای لوله های مجهز به نوار پیچیده شده در سرعت جرمی 91.55 kg/sm^2 .



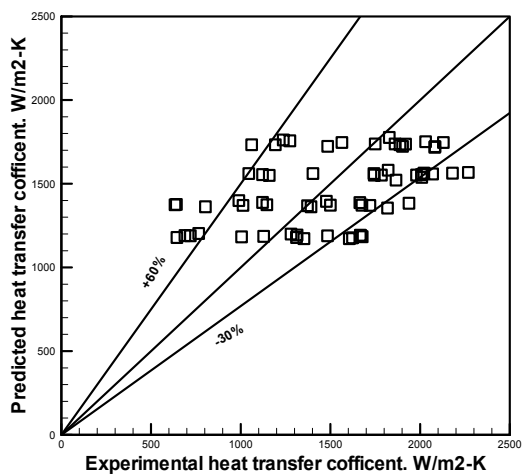
شکل ۶: مقایسه ضرایب انتقال حرارت برای لوله های مجهز به نوار پیچیده شده در سرعت جرمی 109.9 kg/sm^2 .



شکل ۷: مقایسه ضرایب انتقال حرارت برای لوله های مجهز به نوار پیچیده شده در سرعت جرمی 146.6 kg/sm^2 .



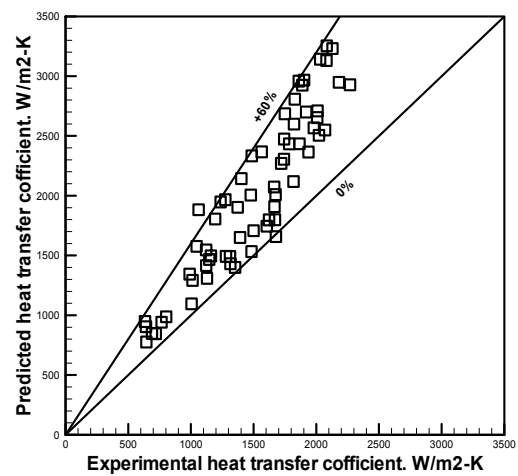
شکل ۸: مقایسه ضرایب انتقال حرارت برای لوله های مجهز به نوار پیچیده شده در سرعت جرمی $1.28/25 \text{ kg} / \text{sm}^2$.



شکل ۱۰: مقایسه نتایج آزمایشگاهی لوله های دارای نوار پیچیده شده با رابطه راما کریشنا و آذر. (مقادیر تخمینی در محدوده +۳۰٪ تا -۶۰٪ مقادیر تجربی قرار دارند.)

$$S_{tt} = \frac{\sqrt{\pi^2 + 4Y^2}}{2Y} \quad (10)$$

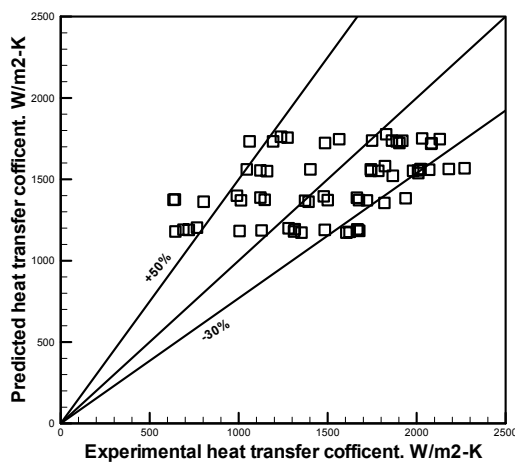
$$\text{Re}_{y_{VS}} = \frac{D_H \cdot G_V}{\mu_L} \cdot \left(\frac{\rho_L}{\rho_V}\right)^{0.5} \quad (11)$$



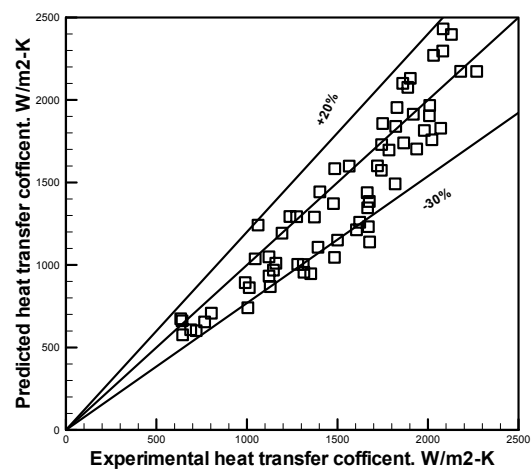
شکل ۹: مقایسه نتایج آزمایشگاهی لوله های دارای نوار پیچیده شده با رابطه لان وبرگلز. (مقادیر تخمینی در محدوده +۶۰٪ تا +۰٪ مقادیر تجربی قرار دارند.)

که در آن $\text{Re}_{y_{VS}}$ عدد رینولدز چرخشی بخار می باشد که بصورت زیر محاسبه می شود:

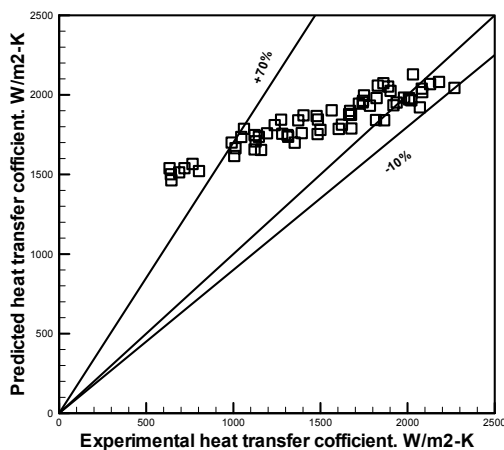
$$\text{Re}_{y_{VS}} = \text{Re}_{y_{VS}} \cdot S_{tt} \quad (9)$$



شکل ۱۲: مقایسه نتایج آزمایشگاهی لوله های دارای نوار پیچیده شده با رابطه سید و آذر. (مقادیر تخمینی در محدوده +۳۰٪ تا +۵۰٪ مقادیر تجربی قرار دارند.)



شکل ۱۱: مقایسه نتایج آزمایشگاهی لوله های دارای نوار پیچیده شده با رابطه رویال و برگلز. (مقادیر تخمینی در محدوده +۳۰٪ تا +۲۰٪ مقادیر تجربی قرار دارند.)



شکل ۱۳: مقایسه نتایج آزمایشگاهی لوله های دارای نوار پیچیده شده با رابطه لال. (مقادیر تخمینی در محدوده +۱۰٪ تا +۷۰٪ مقادیر تجربی قرار دارند.)

همچنین D_H قطر معادل لوله می باشد که از رابطه زیر بدست می آید:

$$D_H = \frac{\pi D^2 - 4D\delta_{tt}}{\pi D + 2(D - \delta_{tt})} \quad (12)$$

که در آن δ_{tt} ضخامت نوار پیچیده شده است. با استفاده از داده های مربوط به لوله های دارای نوار پیچیده شده و آنالیز رگرسیون حداقل مربعات، ضرایب فوق را بدست می آوریم، و رابطه زیر بدست می آید:

$$\overline{Nu} = 0.92 Pr^{0.33} (Re_{vs})^{0.58} \left(\frac{\Delta X \cdot D_H}{L} \right)^{0.47} \times \frac{[(\rho_L / \rho_m)_{in}^{0.5} + (\rho_L / \rho_m)_{out}^{0.5}]^{0.78}}{2} \quad (13)$$

شکل (۱۴) مقایسه ای بین ضرایب انتقال حرارت محاسبه شده از رابطه پیشنهادی (رابطه ۱۳) و مقادیر اندازه گیری شده در این مطالعه را نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود این مقادیر در محدوده -۰.۵٪ الی +۱۰٪ مقادیر تجربی قرار دارند. بنابراین رابطه فوق تطبیق خوبی با مقادیر آزمایشگاهی دارد. باید به این نکته توجه داشت که خواص فیزیکی مورد استفاده در رابطه (۱۳) برای مبرد R-

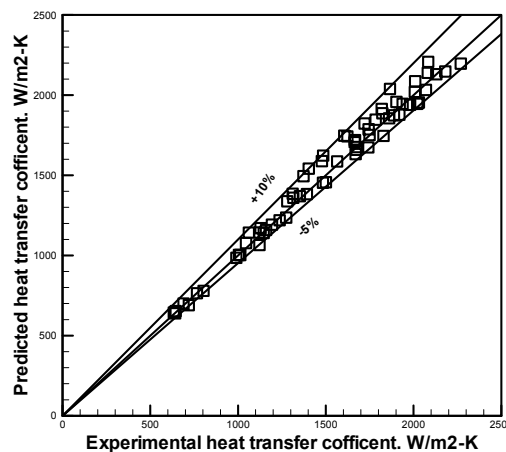
انحراف میانگین^۹ و انحراف استاندارد^{۱۰} ضرایب انتقال حرارت محاسبه شده توسط رابطه فوق از مقادیر آزمایشگاهی مطالعه حاضر به ترتیب ۰/۵۲٪ و ۴/۹۵٪ می باشد. همچنین آنالیز خطای وسایل اندازه گیری^{۱۱} با استفاده از روش [۱۰] صورت گرفت که مقدار آن برای همه آزمایشات کمتر از ۸/۵٪ بدست آمد.

- ۲- افزایش ضریب انتقال حرارت تابع پیچیده ای از عدد رینولدز بخار و هندسه نوار پیچیده شده است.
- ۳- مقادیر تجربی حاصل از این تحقیق با ضرایب انتقال حرارت تخمین زده شده بوسیله پنج محقق دیگر مقایسه گردید. مشاهده شد که مقادیر تخمینی در محدوده $\pm 30\%$ تا $\pm 70\%$ مقادیر تجربی می باشند.
- ۴- داده های انتقال حرارتی لوله صاف حاصل از این مطالعه با روابط متعدد موجود مقایسه شد و مشخص شد که رابطه اخوان بهابادی بهترین تطابق را با این داده ها دارند.
- ۵- بر اساس داده های تجربی این تحقیق، جهت به دست آوردن ضریب انتقال حرارت در لوله های دارای نوار پیچیده شده، رابطه ای پیشنهاد شد که مقادیر محاسبه شده توسط آن برای بیشتر داده ها در محدوده $\pm 5\%$ الی $\pm 10\%$ مقادیر تجربی قرار می گیرد.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله مراتب تشکر و سپاسگزاری خود را از معاونین محترم پژوهشی دانشکده مهندسی مکانیک، پردیس دانشکده های فنی و دانشگاه تهران که امکان انجام این کار آزمایشگاهی را در قالب یک طرح پژوهشی فراهم نمودند، اعلام می داریم.

134a می باشد و برای کاربرد در مورد سایر گازها باید بررسی های جداگانه ای صورت پذیرد.



شکل ۱۴: مقایسه نتایج آزمایشگاهی لوله های دارای نوار پیچیده شده با رابطه بدست آمده (رابطه ۱۳). (مقادیر تخمینی در محدوده $\pm 5\%$ تا $\pm 10\%$ مقادیر تجربی قرار دارند.)

نتیجه گیری

نتایج حاصل از این مطالعه عبارتند از:

۱- نصب نوار پیچیده شده در لوله ها می تواند باعث افزایش ضریب انتقال حرارت تا حداکثر 43% نسبت به لوله صاف مشابه شود.

مراجع

- 1 - Luu, M. and Bergles, A. E. (1980). "Enhancement of horizontal in-tube condensation of R-113." *ASHRAE Trans.*, Vol. 86, part 1, PP. 293-311.
- 2 - Ramakrishna, K. and Azer, N. Z. (1985). "Correlation for horizontal in-tube condensation with twisted tape inserts." *Proc. 8th Nat. Heat Mass Transfer Conf.*, Andhra Univ., Andhra, India, PP.427-435.
- 3 - Royal, J. H. and Bergles, A. E. (1988). "Pressure drop and evaluation of augmented in-tube condensation." *Proc. 6th Int. Heat Transfer Conf.*, PP.469-464.
- 4 - Said, S. A. and Azer, N. Z. (1983). "Heat transfer and pressure drop during condensation inside horizontal tubes with twisted tape inserts." *ASHRAE Trans.*, Vol. 89, part 1A, PP. 96-113.
- 5 - Sachida Nada Lal. (1992). *Experimental studies on condensation augmentation of refrigerant by turbulence promoter*. Ph.D. Thesis, Mech. and Ind. Engg. Dept., Univ. of Roorkee, Roorkee – 247667, India.

- 6 - Akhavan Behabadi, M. A. (1994). *Heat transfer augmentation by passive techniques during forced convection condensation*, Ph.D. Thesis, Mech. and Ind. Engg. Dept., Univ. of Roorkee, Roorkee – 247667, India.
- 7 - Stoecker, W. F. (1998). *Industrial refrigeration handbook*. Mc Graw Hill Companies, Inc.
- 8 - Sonntag, R. E., Borgnakke, C. and Van wylen, G. J. (1997). *Fundamentals of thermodynamics*. John Wiley and Sons, New York.
- 9 - Collier, J. G. and Thome, J. R. (1994). *Convective boiling and condensation*. Oxford University Press.
- 10- Schultz, R. R. and Cole, R. (1979). "Uncertainty analysis in boiling nucleation." *AIChE Symp. Series*, No.189, Vol. 75, PP. 32-38.

واژه های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

1 - Active and Passive Techniques
4 - Counter Flow
7 - Stainless Steel
10 - Standard Deviation

2 - Twisted Tape
5 - Pre Condenser
8 - Swirl vapor Reynolds number
11 - Uncertainty Analysis

3 - Test Condenser
6 - After Condenser
9 - Mean Deviation