

افزایش انتقال حرارت در چگالش اجباری بخار R-134a

محمد علی اخوان بهابادی

استادیار گروه مهندسی مکانیک - دانشکده فنی - دانشگاه تهران

محمد رضا سلیم پور

فارغ التحصیل کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک - دانشکده فنی - دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۸۲/۶/۲۹، تاریخ دریافت روایت اصلاح شده ۸۳/۴/۶، تاریخ تصویب ۸۳/۴/۱۳)

چکیده

در مقاله حاضر، مطالعه آزمایشگاهی بر روی ضریب انتقال حرارت در چگالش بخار R-134a در داخل لوله افقی صاف و همچنین لوله های افقی دارای سیم پیچ داخلی صورت گرفته است. دستگاه مورد استفاده در این بررسی، یک سیستم تبرید تراکمی بخار مجهز به کلیه وسایل اندازه گیری مورد نیاز است. این سیستم شامل یک کندانسور دو لوله ای از نوع جریان مخالف است که کندانسور اصلی 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 مطالعه، داده های تجربی برای لوله صاف و همچنین لوله های دارای سیم پیچ با هفت هندسه متفاوت (گام و ضخامت مختلف) جمع آوری گردید. تحلیل داده ها نشان داد که نصب سیم پیچ در داخل لوله افقی (که کاملاً به جداره داخلی لوله بچسبید) می تواند ضریب انتقال حرارت جابه جایی را تا حداکثر ۸۵٪ نسبت به لوله های بدون سیم پیچ 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 سیم پیچ بدست آمد.

واژه های کلیدی: افزایش انتقال حرارت، چگالش، سیم پیچ، کندانسور، R134a.

مقدمه

سیم پیچ به عنوان افزایش دهنده انتقال حرارت در داخل لوله ها، در جریان تکفاز و جوشش کار چندان زیادی انجام نشده [۴،۳] و مطالعات صورت گرفته در مورد استفاده از سیم پیچ در چگالش بخار داخل لوله به عنوان افزایش دهنده انتقال حرارت بسیار نادر است [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 استفاده از روش های افزایش انتقال حرارت در سمت مبرد احساس می شود.

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 [۶].

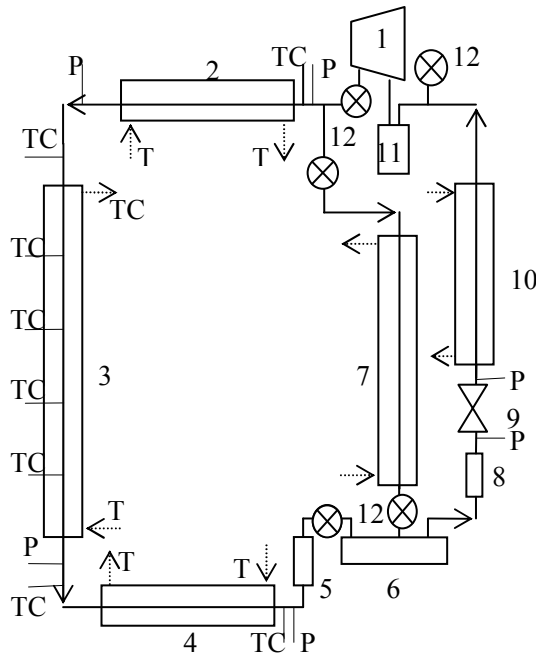
شرح دستگاه آزمایش

دستگاه مورد آزمایش یک سیستم تبرید تراکمی بخار مجهز به کلیه وسایل اندازه گیری مورد نیاز است.

با توجه به محدودیت منابع انرژی و لزوم صرفه جویی در مصرف آن و همچنین با عنایت به کاربردهای فراوان کندانسور در صنایع مختلف از جمله صنایع تبرید، تهویه مطبوع، نیروگاه های حرارتی، تأسیسات شیمیایی و ... طراحی و استفاده بهینه از مبدل های حرارتی بویژه کندانسور اهمیت بسیار زیادی دارد. 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 از قبیل نوار پیچیده شده^۲، شبکه سیم یا برس^۳، مخلوط کننده های استاتیکی^۴ و سیم پیچ می باشد. این وسایل دارای قیمت پایینی بوده و به راحتی در داخل لوله نصب می شوند. از این رو تحقیق وسیعی بر روی این وسایل صورت می گیرد.

بررسی منابع موجود نشان دهنده این موضوع است که اگرچه بررسی های زیادی در مورد روش های مختلف افزایش انتقال حرارت در چگالش بخار داخل لوله های افقی صورت گرفته [۲،۱] لیکن در مورد استفاده از سیم

دمای چگالش متوسط: $29-34^{\circ}C$
 شار حرارتی متوسط در
 ندانسور اصلی: $5/74-22/61 kW/m^2$
 دبی آب خنک کن: $0/18-0/116 kg/s$
 کیفیت بخار ورودی: $0/32-0/99$
 نسبت پیچش (p/D): $0/467-1/215$
 نسبت قطر سیم به قطرلوله (e/D): $0/0467-0/140$



- | | |
|----------------------|--------------------|
| 1- COMPRESSOR | 9- EXPANSION VALVE |
| 2- PRE CONDENSER | 10- EVAPORATOR |
| 3- TEST CONDENSER | 14 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 | |

-----> WATER FLOW
 ———> REFRIGERANT FLOW

شکل ۱: شکل شماتیک دستگاه آزمایش.

برای محاسبه درجه حرارت های اشباع و سوپر هیت و انتالپی های اشباع R134a از [۷] و سایر خواص از جمله ویسکوزیته از [۸] استفاده شده است. ضریب انتقال حرارت در کندانسور از رابطه زیر محاسبه می شود:

این سیستم به صورت شماتیک در شکل (۱) نشان داده شده است. کندانسور مورد آزمایش^۵ یک مبدل حرارتی دو لوله ای از نوع جریان مخالف^۶ 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 ۱۰/۷mm و قطر خارجی آن ۱۲/۷ mm می باشد. دمای سطح خارجی لوله مسی در چهار مقطع و در هر مقطع در دو نقطه توسط ترموکوپل هایی از نوع J اندازه گیری می شود. همچنین دمای مبرد و دمای آب خنک کن در ورود و خروج از کندانسور اصلی (مورد آزمایش) اندازه 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^۷ 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^۸ استفاده می کنیم.

برای اندازه گیری سایر پارامترها از قبیل دبی مبرد، دبی آب و ... تمهیدات لازم اندیشیده شده است.

در این مطالعه لوله هایی با هفت نوع سیم پیچ و یک لوله صاف مورد آزمایش قرار گرفتند. جنس سیم پیچ ها از فولاد زنگ نزن^۹ بوده و مشخصات ابعادی آن ها در جدول (۱) نشان داده شده است. پارامترهای مورد استفاده عبارتند از: e ضخامت سیم پیچ، p گام سیم پیچ، α زاویه پیچش کویل، L طول کندانسور و D قطر داخلی لوله. این سیم پیچ ها به گونه ای ساخته می شوند که کاملا به دیواره لوله بچسبند. یک نمونه از لوله همراه با سیم پیچ در شکل (۲) نشان داده شده است.

جمع آوری و آنالیز داده ها

در مجموع ۲۲۴ آزمایش با چهار سرعت جرمی متفاوت مبرد برای جریان داخل لوله صاف و داخل لوله های مجهز به سیم پیچ انجام شد. محدوده پارامترهای مختلف آزمایش به شرح زیر می باشد:

سرعت جرمی مبرد: $87/3-144 kg/sm^2$

جدول ۱: ابعاد مشخصه لوله‌های دارای سیم پیچ.

Tube Set	D mm	D _o mm	D _e mm	L mm	e mm	P mm	α degree
A	۱۰/۷	۱۲/۷	۷/۰۷	۱۰۴۰	۰/۵	۱۰	۷۳
B	۱۰/۷	۱۲/۷	۹/۱۸	۱۰۴۰	۰/۷	۱۰	۷۳
C	۱۰/۷	۱۲/۷	۸/۶۸	۱۰۴۰	۱/۰	۱۰	۷۳
D	۱۰/۷	۱۲/۷	۸/۴۸	۱۰۴۰	۱/۵	۱۰	۷۳
E	۱۰/۷	۱۲/۷	۸/۰۱۵	۱۰۴۰	۱/۰	۵	۸۱/۵
F	۱۰/۷	۱۲/۷	۶/۴۲	۱۰۴۰	۱/۰	۸	۷۶/۶
G	۱۰/۷	۱۲/۷	۷/۵۶۵	۱۰۴۰	۱/۰	۱۳	۶۹
H	۱۰/۷	۱۲/۷	۱۰/۷۰	۱۰۴۰	---	---	---

ارایه نتایج و بحث و بررسی

نخست ضرایب انتقال حرارت لوله صاف را بدست آورده با روابط متعدد موجود مقایسه کردیم. ملاحظه شد که این داده‌ها بهترین سازگاری را با رابطه پیشنهادی بویکو و کروژیلین^۱ [۹] دارند. این رابطه به صورت زیر است:

$$\bar{Nu} = 0.024 \text{Pr}^{0.43} \text{Re}_L^{0.8} \times \frac{[(\rho_L / \rho_m)_{in}^{0.5} + (\rho_L / \rho_m)_{out}^{0.5}]}{2} \quad (2)$$

که در آن

$$\frac{\rho_L}{\rho_m} = 1 + x(\rho_L - \rho_V) / \rho_V \quad (3)$$

$$\text{Re}_L = GD / \mu_L \quad (4)$$

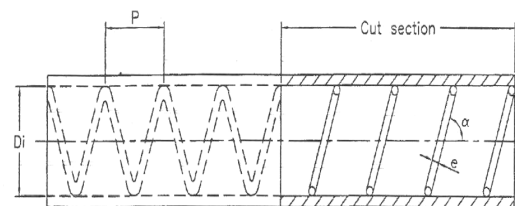
رابطه فوق نتایج آزمایشگاهی مطالعه حاضر را با ±۲۵٪ خطا پیش بینی می‌کند که برای مطالعات آزمایشگاهی قابل قبول است (شکل ۳). بنابراین از این رابطه جهت تحلیل‌های آتی استفاده خواهیم کرد.

از شکل (۴) دیده می‌شود که تغییرات ضریب انتقال حرارت با کیفیت بخار بصورت تصادفی است. این نمودار

$$\bar{h} = \left[\frac{\pi DL(t_s - t_{wo})}{\dot{m}_w C_{PW}(T_{wo} - T_{wi})} - \frac{D}{2k_w} \ln\left(\frac{D_o}{D}\right) \right]^{-1} \quad (1)$$

که در آن، \bar{h} ضریب انتقال حرارت متوسط، D و D_o به ترتیب قطرهای داخلی و خارجی لوله مسی، L طول واحد آزمایش، t_s درجه حرارت اشباع مبرد، t_{wo} درجه حرارت سطح خارجی لوله، \dot{m}_w ، C_{PW} ، T_{wo} و T_{wi} به ترتیب دبی جرمی، گرمای ویژه، درجه حرارت ورودی و درجه حرارت خروجی آب خنک کن و k_w ضریب هدایت حرارتی دیواره لوله می‌باشد.

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 می‌شود.



شکل ۲: یک نمونه لوله دارای سیم پیچ.

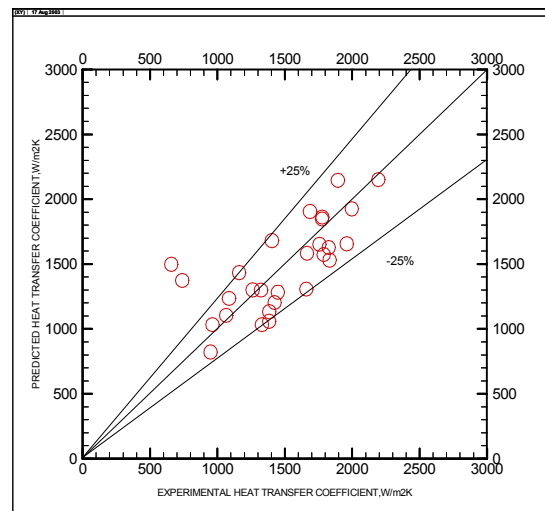
بخار، در هر سرعت جرمی، هفت آزمایش انجام شد که انجام آن ها در فشارهای چگالشی کاملاً یکسان امکان پذیر نیست.

تغییرات ضریب انتقال حرارت لوله های سیم پیچ دار و لوله صاف با کیفیت بخار در شکل های (۵) تا (۱۰) نشان داده شده است. سه شکل نخست برای نشان دادن تأثیر ضخامت سیم در افزایش ضریب انتقال حرارت و سه شکل بعدی جهت نمایش اثر گام سیم پیچ بر میزان انتقال حرارت ترسیم شده است. سرعت جرمی برای منحنی های ترسیم شده در هر شکل یکسان است. منحنی لوله صاف نشان داده شده، مربوط به معادله ۲ می باشد.

از بررسی این شکل ها می توان فهمید که نصب سیم پیچ 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 سیم پیچ می باشد. در بهترین حالت، لوله D که دارای ضخیم ترین سیم پیچ می باشد در ناحیه با کیفیت بالا، ضریب انتقال حرارت را تا ۸۵٪ نسبت به لوله صاف مشابه افزایش می دهد.

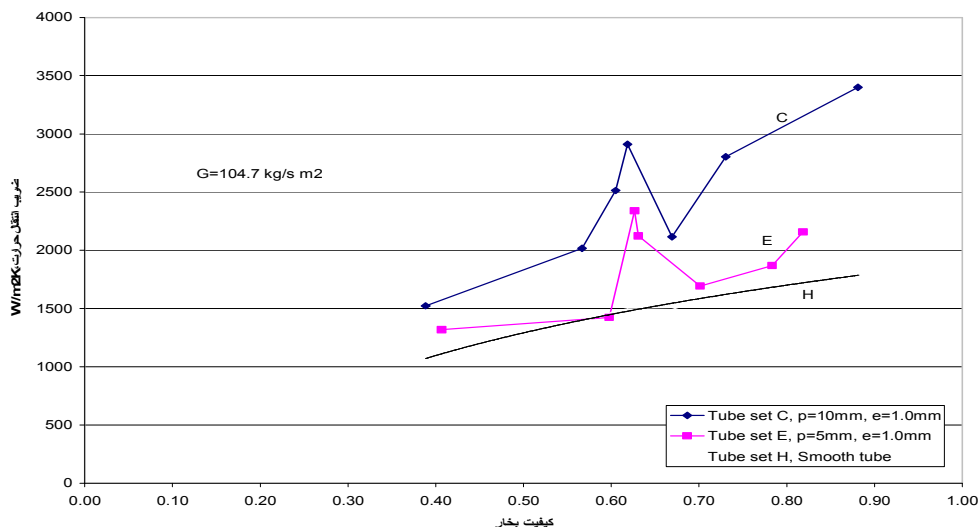
از شکل های (۵) تا (۷) دیده می شود که در کیفیت های بخار بالا با افزایش ضخامت سیم پیچ، ضریب انتقال حرارت افزایش می یابد و برعکس با کاهش ضخامت، انتقال حرارت نیز دچار کاهش می شود. در کیفیت های بخار پایین اگرچه حداکثر انتقال حرارت عموماً مربوط به

برای لوله های سیم پیچ دار C و E ترسیم شده است که در هر دو سرعت جرمی 104.7 kg/sm^2 می باشد.

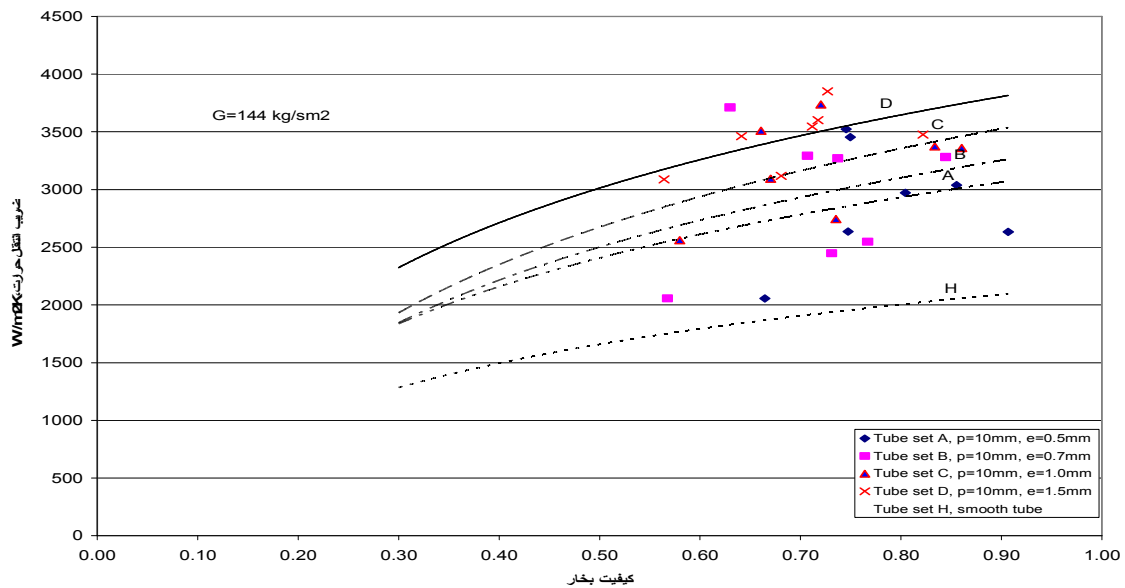


شکل ۳: مقایسه نتایج آزمایشگاهی لوله صاف با رابطه بویکو و کروزیلین [۹].

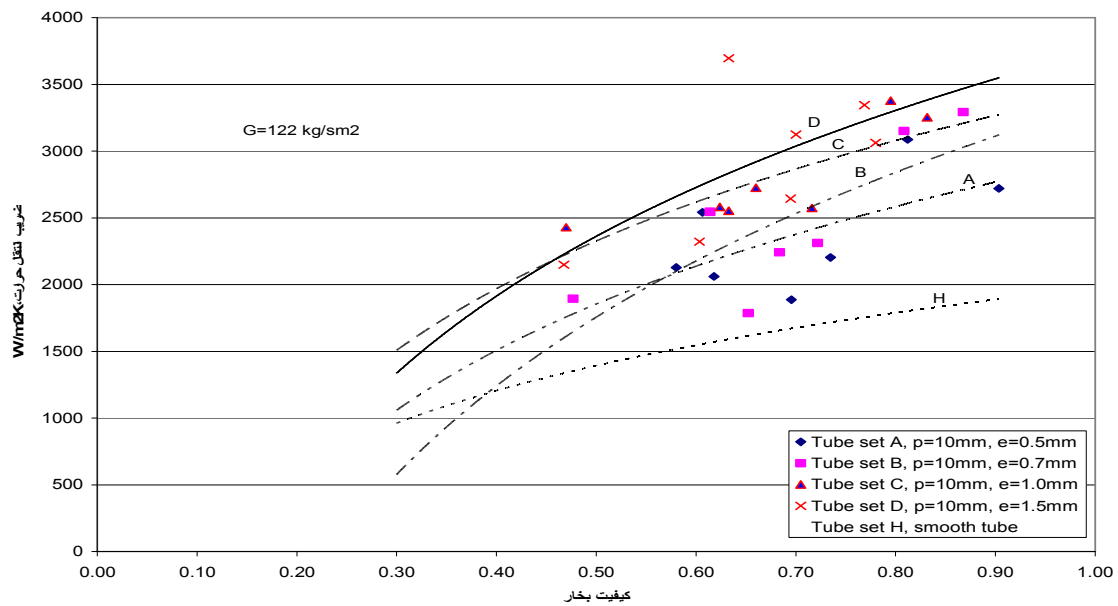
داده ها در این نمودار با خطوط مستقیمی به هم وصل شده اند. همچنین منحنی مربوط به جریان لوله صاف (رابطه ۲) نیز در شکل به صورت یک منحنی هموار آمده است. دلیل تصادفی بودن تغییرات ضریب انتقال حرارت، ناپایداری چگالش بخار در جابه جایی اجباری است که در آن دو فاز ضمن حرکت، با هم تبادل جرمی نیز دارند. بعلاوه حضور سیم پیچ نیز بر این ناپایداری می افزاید [۱۰]. دلیل دیگر، انجام آزمایش ها در فشارهای چگالشی متفاوت است. زیرا برای پوشش محدوده وسیعی از کیفیت



شکل ۴: مقایسه ضرایب انتقال حرارت لوله های C و E برای یک سرعت جرمی خاص مبرد.



شکل ۵: مقایسه ضرایب انتقال حرارت برای لوله های مجهز به سیم پیچ در سرعت جرمی 144 kg/sm^2 ، برای لوله های A، B، C و D.

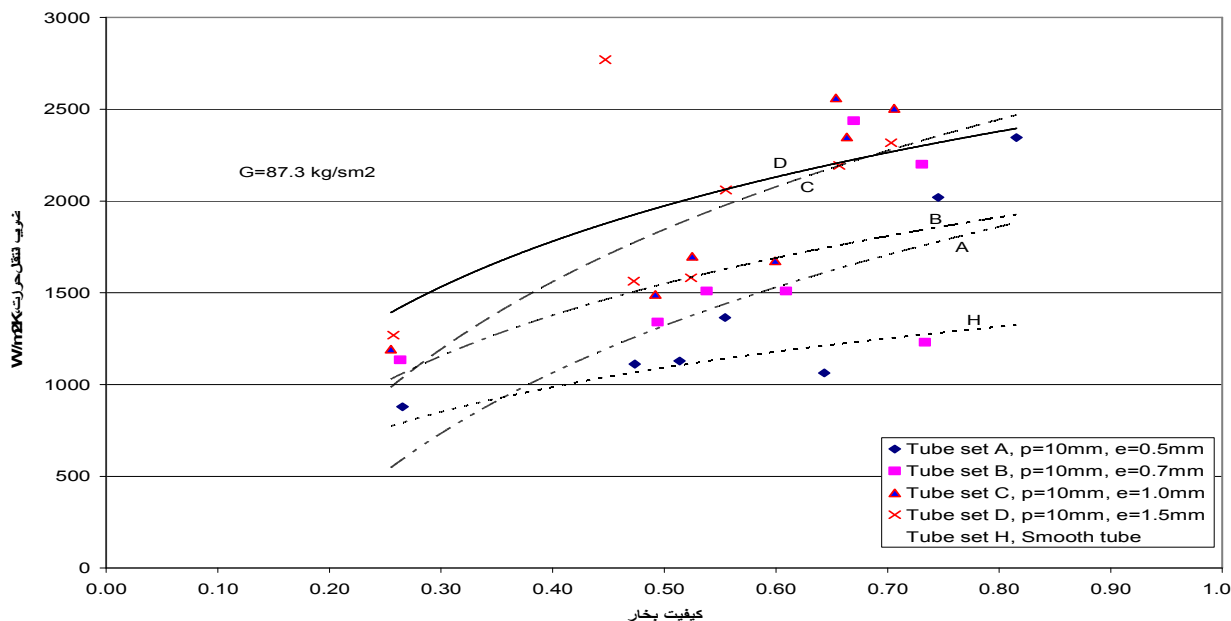


شکل ۶: مقایسه ضرایب انتقال حرارت برای لوله های مجهز به سیم پیچ در سرعت جرمی 122 kg/sm^2 ، برای لوله های A، B، C و D.

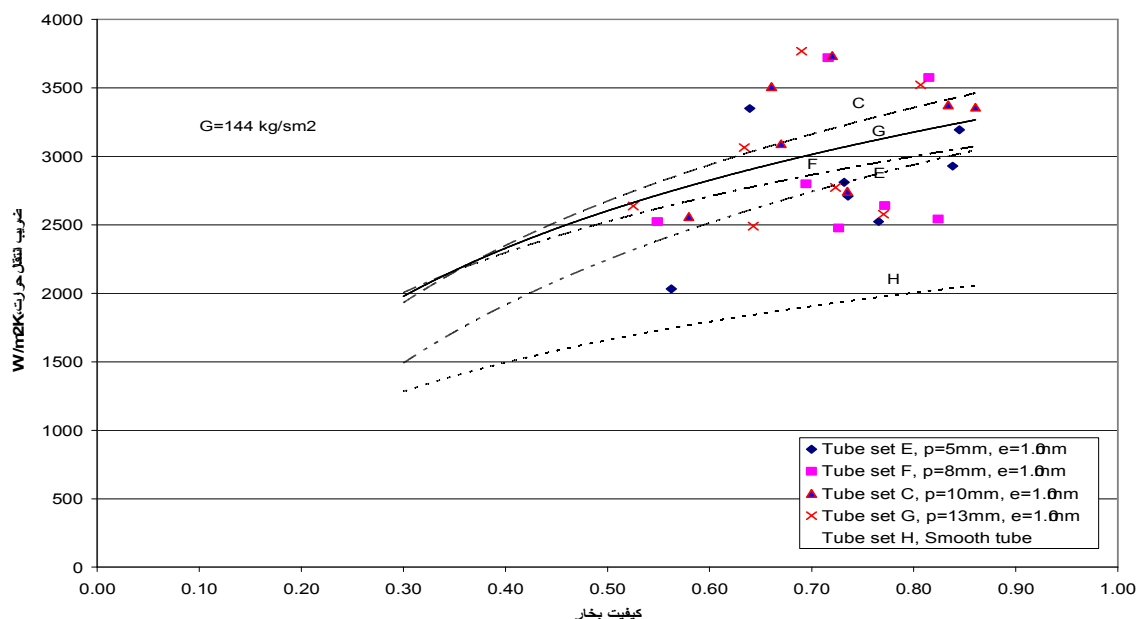
که این گام بحرانی در محدوده کیفیت های بالا، 10 mm بوده (لوله C) و در کیفیت های پایین 8 mm می باشد (لوله F). این رفتار قبلا نیز توسط برخی از محققان مشاهده شده بود [۱۱، ۱۲]. آن ها معتقد بودند که در گام هایی که از حد مشخصی کوچک تر باشند سیم پیچ مانند پوسته ای جامد در مقابل انتقال حرارت مقاومت می کند.

ضخیم ترین سیم پیچ است؛ لیکن این مسأله همیشگی نبوده و در مورد سایر سیم پیچ ها از نظم خاصی برخوردار نیست.

با توجه به شکل های (۸) تا (۱۰) می توان دریافت که با کاهش گام سیم پیچ تا یک حد مشخص انتقال حرارت افزایش یافته پس از آن با کاهش بیشتر گام، ضریب انتقال حرارت کم می شود. از شکل های مذکور دیده می شود



شکل ۷: مقایسه ضرایب انتقال حرارت برای لوله های مجهز به سیم پیچ در سرعت جرمی 87.3 kg / sm^2 ، برای لوله های A، B، C و D.



شکل ۸: مقایسه ضرایب انتقال حرارت برای لوله های مجهز به سیم پیچ در سرعت جرمی 144 kg / sm^2 ، برای لوله های E، F، C و G.

رابطه پیشنهادی برای جریان داخل لوله های

مجهز به سیم پیچ

بررسی کارهای انجام شده نشان داد که در مورد چگالش بخار R-134a در داخل لوله های سیم پیچ دار هیچ کاری صورت نگرفته است، لیکن در مورد چگالش بخار

محدوده اعتبار شکل های (۵) و (۸)، کیفیت های بخار بین ۰/۵۰ و ۰/۸۵؛ شکل های (۶) و (۹)، کیفیت های بخار بین ۰/۴۵ و ۰/۸۵ و شکل های (۷) و (۱۰)، کیفیت های بخار بین ۰/۲۵ و ۰/۸۰ است.

با بررسی منابع موجود مشخص شد که بهتر است به جای استفاده از پارامترهای (e/D) و (p/D) از پارامتر (e^2/pD) استفاده شود [۵]. بنا بر این در نهایت شکل کلی معادله را به صورت زیر در نظر گرفتیم:

$$\bar{Nu} = C_1 \text{Pr}^{C_2} (GD_e / \mu_L)^{C_3} (\Delta x.D / L)^{C_4} \times \left[\frac{(\rho_L / \rho_m)_{in}^{0.5} + (\rho_L / \rho_m)_{out}^{0.5}}{2} \right]^{C_5} \times \left[1 + C_6 (e^2 / pD)^{C_7} (G_V D_e / \mu_V)^{C_8} \right] \quad (7)$$

با استفاده از داده های مربوط به لوله های سیم پیچ دار مختلف و آنالیز حداقل مربعات، ضرایب فوق بدست آمد و رابطه زیر حاصل شد:

$$\bar{Nu} = 0.00109 \text{Pr}^{0.33} \left(\frac{GD_e}{\mu_L} \right)^{1.39} \left(\frac{\Delta x.D}{L} \right)^{0.696} \times \left[\frac{(\rho_L / \rho_m)_{in}^{0.5} + (\rho_L / \rho_m)_{out}^{0.5}}{2} \right]^{2.46} \times \left[1 + 2.1 \times 10^5 \left(\frac{e^2}{pD} \right)^{0.35} \left(\frac{G_V D_e}{\mu_V} \right)^{-0.96} \right] \quad (8)$$

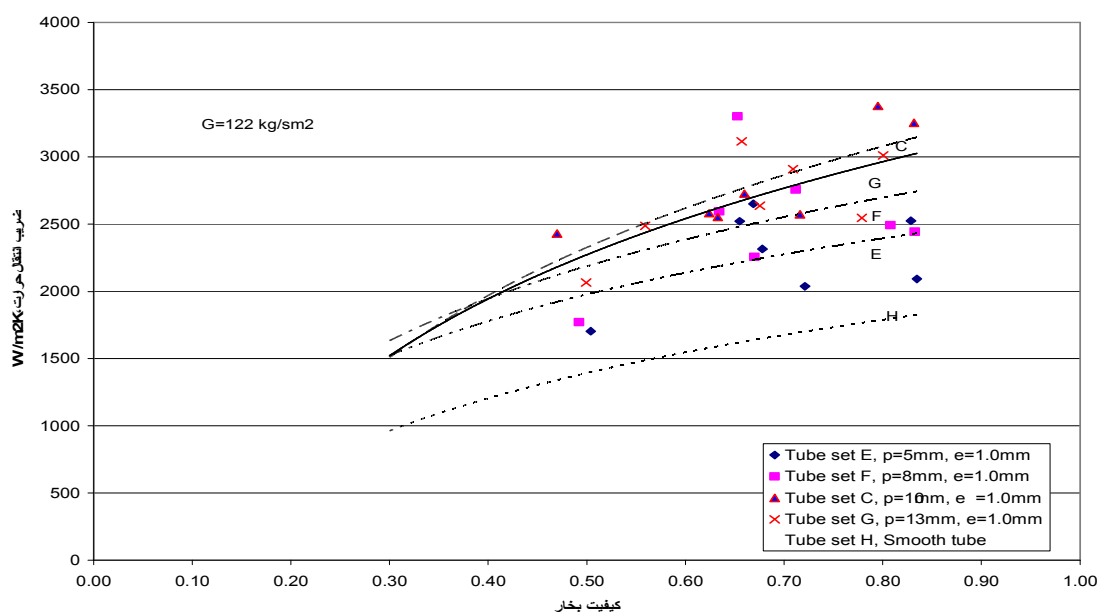
انحراف میانگین^{۱۱} و انحراف استاندارد^{۱۲} ضرایب انتقال حرارت محاسبه شده توسط رابطه پیشنهادی فوق از مقادیر تجربی به ترتیب ۰/۸۵٪ و ۱۱/۲۹٪ می باشد.

سایر مبردها فقط یک رابطه موجود است [۵]؛ که این رابطه مربوط به چگالش بخار R-22 بوده و از تطابق خوبی با داده های آزمایشگاهی حاضر برخوردار نیست (شکل ۱۱). دلیل این اختلاف را می توان به تفاوت های فاحش موجود در خواص مبردهای R-22 و R-134 و شرایط آزمایشگاهی کاملا متفاوت مرتبط دانست. بنابراین با استفاده از داده های بدست آمده اقدام به یافتن رابطه ای جدید بمنظور پیش بینی ضریب انتقال حرارت در لوله های مجهز به سیم پیچ کردیم. از این رو رابطه بویکو و کروژیلین (رابطه ۲) که بیشترین تطابق را با داده های مربوط به لوله صاف داشت به عنوان مبنا در نظر گرفته عبارات منعکس کننده اثر سیم پیچ را به آن افزودیم. این پارامترها عبارتند از: عبارت منعکس کننده اثر شار حرارتی خنک کاری $(\Delta x.D / L)$ ، عدد رینولدز بخار $(G_V D_e / \mu_V)$ ، نسبت ضخامت سیم به قطر داخلی لوله (e/D) و نسبت گام سیم پیچ به قطر داخلی لوله (p/D) ؛ که D_e قطر معادل لوله است و معادل چهار برابر حجم فضای آزاد جریان به سطح تر شده کل می باشد. قطر معادل توسط رابطه زیر محاسبه می شود:

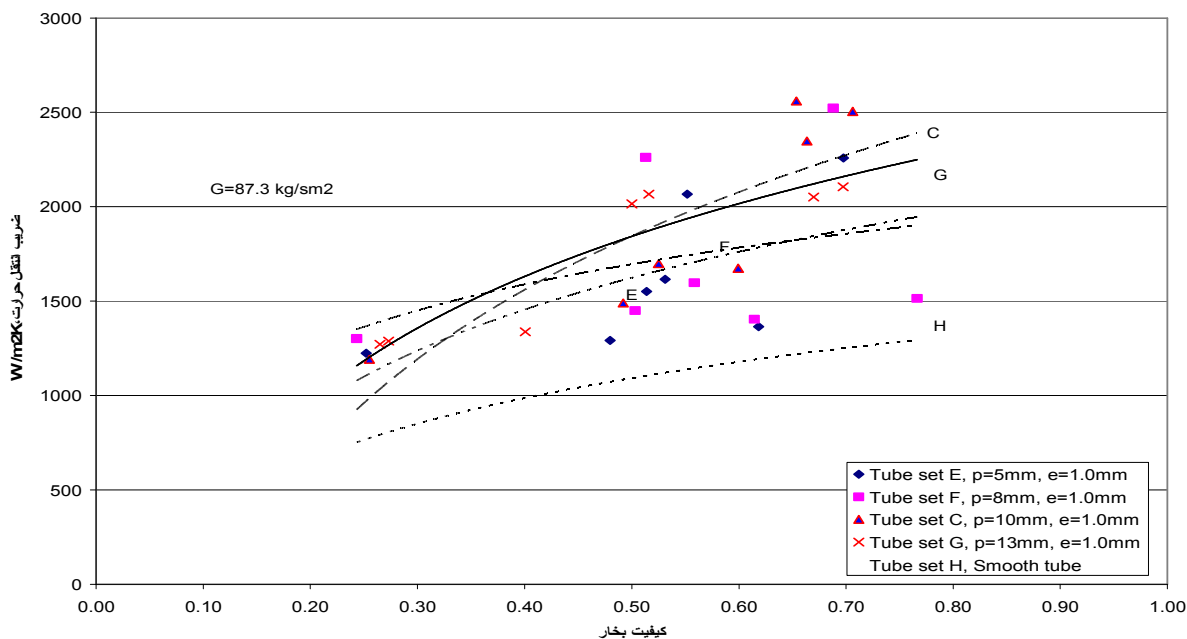
$$D_e = (D^2 - e\gamma) / (D + \gamma) \quad (5)$$

که در آن،

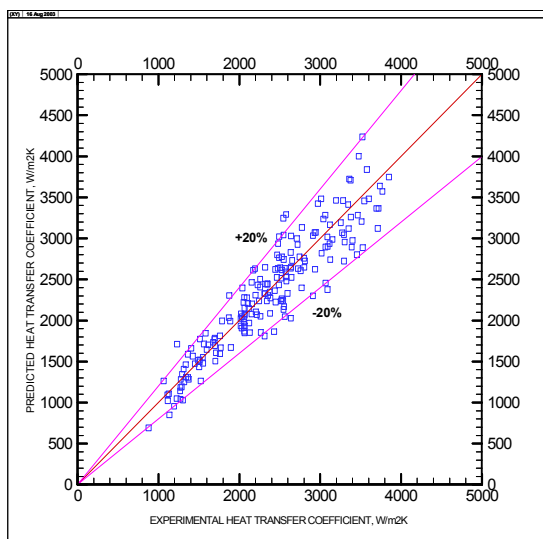
$$\gamma = \pi e(D - e) / (p \sin \alpha) \quad (6)$$



شکل ۹: مقایسه ضرایب انتقال حرارت برای لوله های مجهز به سیم پیچ در سرعت جرمی 22 kg/sm^2 ، برای لوله های E، F، G و C.



شکل ۱۰: مقایسه ضرایب انتقال حرارت برای لوله های مجهز به سیم پیچ در سرعت جرمی $۸۷/۳ \text{ kg / sm}^2$ ، برای لوله های E، F، C و G.



شکل ۱۲: مقایسه مقادیر آزمایشگاهی ضرایب انتقال حرارت لوله های دارای سیم پیچ با مقادیر پیش بینی شده توسط معادله (۸).

محدوده کاربرد رابطه (۸) عبارتست از:

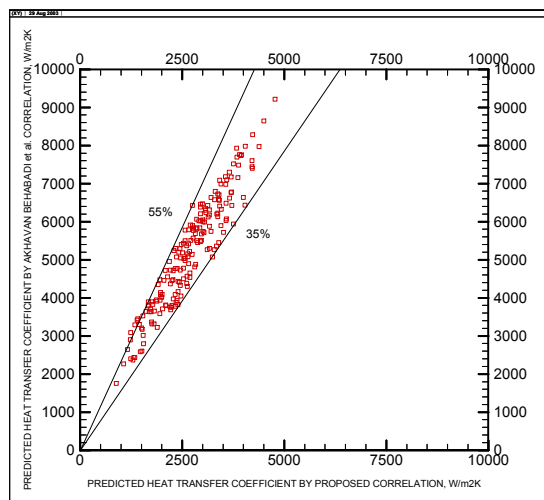
سرعت جرمی $۸۷/۳-۱۴۴ \text{ kg / sm}^2$

کیفیت بخار ورودی $۰/۳۲-۰/۹۹$

کیفیت بخار خروجی $۰/۱۲-۰/۸۱$

پارامتر هندسی $\left(\frac{e^2}{pD} \right)$ $۰/۰۰۱۸-۰/۰۴۲$

شکل (۱۲) مقایسه ای بین ضرایب انتقال حرارت محاسبه شده از رابطه پیشنهادی و مقادیر اندازه گیری شده در این مطالعه را نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود بیشتر مقادیر تخمین زده شده در محدوده $\pm 20\%$ مقادیر تجربی قرار دارند. بنابراین رابطه فوق تطبیق خوبی با مقادیر آزمایشگاهی دارد.



شکل ۱۱: مقایسه مقادیر آزمایشگاهی ضرایب انتقال حرارت لوله های دارای سیم پیچ با مقادیر پیش بینی شده توسط مرجع [۵].

نتیجه گیری

نتایج حاصل از این مطالعه عبارتند از:

- ۱- نصب سیم پیچ در لوله ها می تواند باعث افزایش ضریب انتقال حرارت تا حداکثر ۸۵٪ نسبت به لوله صاف مشابه شود.
- ۲- افزایش ضریب انتقال حرارت تابع پیچیده ای از عدد رینولدز بخار و هندسه سیم پیچ است.
- ۳- داده های انتقال حرارتی لوله صاف حاصل از این مطالعه با روابط متعدد موجود مقایسه شد و مشخص شد که رابطه بویکو و کروزیلین بهترین تطابق را با این داده ها دارند.
- بر اساس داده های تجربی این تحقیق، جهت به دست آوردن ضریب انتقال حرارت در لوله های دارای سیم پیچ، رابطه ای پیشنهاد شد که مقادیر محاسبه شده توسط آن برای بیشتر داده ها در محدوده ۲۰٪ \pm مقادیر تجربی قرار می گیرد.

خواص فیزیکی مورد استفاده در رابطه (۸) برای مبرد R-134a می باشد و برای کاربرد در مورد سایر گازها باید بررسی های جداگانه ای صورت پذیرد.

در پایان لازم به ذکر است که آنالیز خطای وسایل اندازه گیری^{۱۳} با استفاده از روش [۱۳] صورت گرفت که مقدار آن برای تمامی آزمایشات کمتر از ۸/۵٪ \pm بدست آمد.

تشکر و قدردانی

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

مراجع

- 1 - Said, S. A. and Azer, N. Z. (1983a). "Heat transfer and pressure drop during condensation inside horizontal tubes with twisted tape inserts." *ASHRAE Trans.*, Vol. 89, part 1A, PP. 96-113.
- 2 - Fan, L. T., Lin, S. T. and Azer, N. Z. (1978). "Surface renewal model of condensation heat transfer in tubes with in-line static mixers." *Int. J. Heat and Mass Transfer*, Vol. 21, PP. 849-854.
- 3 - Chiou, J. P. (1987). "Experimental investigation of the augmentation of forced convection heat transfer in a circular tube using spiral spring inserts." *ASME J. Heat Transfer*, Vol. 109, PP. 300-307.
- 4 - Larson, R. L., Quaint, G. W. and Bryan, W. L. (1949), "Effects of turbulence promoters in refrigerant evaporator coils." *J. ASRE, Refrig. Engg.*, PP. 1193-1195.
- 5 - 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.
- 6 - Stoecker, W. F. (1998). *Industrial refrigeration handbook* Mc Graw Hill Companies, Inc.
- 7 - Sonntag, R. E., Borgnakke, C. and Van wylen, G. J. (1997). *Fundamentals of thermodynamics*. John wiley and sons, New york.
- 8 - Collier, J. G. and Thame, J. R. (1994). *Convective boiling and condensation*. Oxford University Press.
- 9 - Boyko, L. D. and Kruzhilin, G. N. (1967). "Heat transfer and hydraulic resistance during condensation of steam in horizontal tube and in a bundle of tubes?" *Int. J. Heat and Mass Transfer*, Vol. 10, PP. 361-373.
- 10 - Agrawal, K. N., Kumar, A., Akhavan Behabadi, M. A. and Varma, H. K. (1998). "Heat transfer augmentation by coiled wire inserts during forced convection condensation of R-22 inside horizontal tubes." *Int. J. Multiphase Flow*, Vol. 24, No. 4, PP. 635-650.
- 11 - Bhatia, R. M. Kumar, P. and Sud, Y. C. (1967). "Contribution to swirl flow heat transfer and friction factor calculations." *Indian Inst. of Engineers, Mech. Engg. Division*, Vol. 48, PP. 34-43.

- 12 - Varma, H. K., Agrawal, K. N. and Bansal, M. L. (1992). "Turbulence promoters in horizontal R22 evaporators." *AIRAH J. (Australia)*, Vol. 46, No. 6, PP. 21-30.
- 13- Schultz, R. R. and Cole, R. (1979). "Uncertainty analysis in boiling nucleation." *AIChE Symp. Series*, Vol. 75, No. 189, PP. 32-38.

واژه های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

- 1- Active and Passive Techniques
- 2- Twisted Tape
- 3- Wire Mesh or Brush
- 4- Static Mixers
- 5- Test Condenser
- 6- Counter Flow
- 7- Pre Condenser
- 8- After Condenser
- 9- Stainless Steel
- 10- Boyko and Kruzhilin
- 11- Mean Deviation
- 12- Standard Deviation
- 13- Uncertainty Analysis