

بررسی تجربی تأثیر گام و زاویه انحراف مارپیچها در ضریب انتقال حرارت جابجایی آزاد

محمد جعفر حمیدیا شهرضا
مری
دانشگاه امام حسین (ع)

علی اکبر عالم رجبی
استادیار دانشکده مهندسی مکانیک
دانشگاه صنعتی اصفهان

چکیده

یکی از عوامل مؤثر در ضریب انتقال حرارت جابجایی اجسام، وجود میدان دنباله ناشی از جسم دیگر است. هر حلقه از مارپیچهای قائم در میدان دنباله حلقه پائینی قرار می‌گیرد و ضریب جابجایی آن متأثر می‌شود. اثر فاصله بین حلقه‌های مارپیچ (گام) و زاویه انحراف مارپیچ از حالت قائم بر روی ضریب انتقال حرارت جابجایی آزاد موضوع بحث این مقاله است. به این منظور چهار مارپیچ با گامهای گوناگون در چهار زاویه مختلف مورد آزمایش و بررسی قرار گرفته است و در هر ترکیب گام - زاویه، اعداد نوسلت در ۳۷ عدد ریلی مختلف اندازه‌گیری شده است. با رسم منحنی تغییرات اعداد نوسلت بر حسب اعداد ریلی دیده می‌شود که با افزایش گام، ضریب انتقال حرارت جابجایی آزاد افزایش می‌یابد اما تأثیر تغییر زاویه روند خاصی ندارد. با بهینه نمودن ترکیب گام و زاویه انحراف از حالت قائم می‌توان به حداکثر ضریب انتقال حرارت جابجایی آزاد دست یافت. نتایج نشان می‌دهد که ضریب انتقال حرارت جابجایی آزاد مارپیچها از مقدار مربوط به استوانه افقی بیشتر است.

An Experimental Study Concerning the Effect of Pitch and Tilt Angle of Spiral Coils on Free Convection

A.A. Alem Rajabi
Assistant Prof.

Mech. Eng. Dept., Isfahan Univ. of Tech.

M.J. Hamidia
Lecturer

Imam Hossein University

ABSTRACT

One of the effective parameters on convection heat transfer coefficient from a body is the wake field originated from other bodies. Each ring of a coil is in the wake of lower rings and its convective coefficient is affected. In this paper, effect of coil pitch and its lean angle on the convection heat transfer coefficient are studied. Four coils of different pitches have each been investigated at four lean angles and for each combination of pitch - lean angle, Nusselt numbers were measured at 37 different Rayleigh numbers. Plots of Nu Vs. Ra show that convection heat transfer coefficient increases as the coil pitch is increased but changes in the lean angle causes no regular effect. Optimising the combination of coil pitch and lean angle may lead to a higher heat transfer coefficient. Experimental results indicate that heat transfer coefficient of coils are bigger than that of horizontal cylinders.

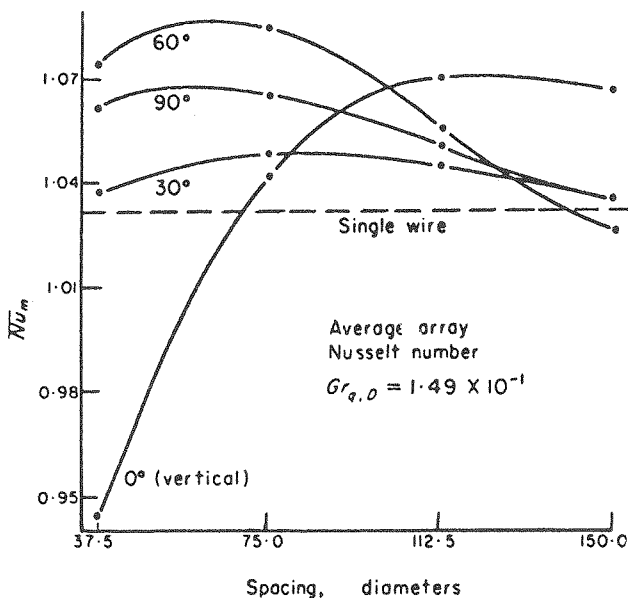
در تشریح این نتایج اثر متضاد میدان سرعت و دما روی لوله‌های بالایی را متذکر شده‌اند. سیال مجاور لوله‌های هوا و عدد گراشف برای لوله منفرد در شرایط آزمایش بر اساس قطر لوله برابر ۳۴۳۰۰ بوده‌است.

کبهارت و لیبرمن [۲] ردیفهایی از سیمی به قطر ۰/۲۷ میلیمتر را به موازات یکدیگر در صفحه‌ای قراردادند و آنها را در هوا به کمک جریان برق گرم کردند. آنها آزمایش خود را برای چهارفاصله مختلف بین سیمها (گام) از ۳۷/۵ تا ۱۵۰ برابر قطر سیمها و در هر گام برای چهار وضعیت صفحه سیمها (قائم، افقی و در زوایای ۳۰ و ۶۰ درجه) انجام دادند. عدد گراشف بر اساس قطر سیمها از مرتبه $10^2 \times 1/75$ بوده است. نتایج حاصل بیانگر این مطلب است که عدد نوسلت متوسط مجموعه سیمها تابعی از فاصله بین سیمها (گام) می‌باشد. برای تمامی زوایای صفحه سیمها با افزایش گام، عدد نوسلت به سمت ماکزیمم رفته و سپس شروع به کاهش می‌کند. نکته قابل توجه این است که برای هر زاویه صفحه سیمها، گام بهینه‌ای وجود دارد که در آن عدد نوسلت ماکزیمم است (شکل ۱). بالاترین عدد نوسلت متوسط بین ۱۶ ترکیب مختلف زاویه - گام، در زاویه ۶۰ نسبت به قائم و گام معادل ۷۵ برابر قطر سیم به وقوع پیوسته است. این نتیجه به صورت ضمنی تأییدی بر نتایج اکرت و همکارش مبنی بر بیشتر بودن انتقال حرارت در آرایش مثلثی است. باید توجه داشت که در این آزمایشها در تمامی حالتها، هر

انتقال حرارت به صورت جابجایی آزاد یکی از مباحث مهم در انتقال حرارت است که تاکنون موضوع مطالعات و پژوهشهای بسیار بوده است و در سالهای اخیر در زمینه خنک کردن قطعات الکترونیکی مورد توجه خاص واقع شده است. در این مقاله انتقال حرارت جابجایی آزاد از ماریپچها مورد بررسی قرار گرفته‌است. ماریپچها کاربرد فراوانی در انواع مبدلهای حرارتی دارند. به علاوه چون بسیاری از سیمپچهای ادوات برقی و برخی قطعات الکتریکی و الکترونیکی بدین شکل ساخته می‌شوند، بررسی انتقال حرارت از آنها می‌تواند بسیار مورد توجه باشد. عملکرد حرارتی هر ماریپچ به پارامترهای بسیاری از قبیل قطر مفتول، قطر ماریپچ، گام، زاویه محور ماریپچ نسبت به قائم، محیط اطراف ماریپچ و ... بستگی دارد.

این مقاله به بررسی اثر گام و زاویه انحراف ماریپچ از حالت قائم می‌پردازد. گرچه در زمینه جابجایی آزاد، تحقیقات بسیاری صورت گرفته لیکن جستجوی کامپیوتری به کمک بانکهای اطلاعاتی گوناگون حاکی از این بود که گزارشهای زیادی در زمینه مورد بررسی منتشر نشده و فقط تعداد بسیار معدودی مقاله در زمینه اثر گام و زاویه بر روی انتقال حرارت از یک سیم یا یک لوله که در میدان ناشی از جسم گرم مشابهی واقع شده‌اند منتشر شده است. تنها یک گزارش در زمینه مورد بررسی درباره ماریپچها بدست آمد. حال توضیح مختصری درباره محتوای هر یک از این مقالات آورده می‌شود.

اکرت و همکارش [۱] عدد نوسلت را برای مجموعه‌ای از لوله‌های افقی همدمها به قطر ۰/۸۷ اینچ که محور آنها در یک صفحه قائم بود اندازه‌گیری نمودند و دریافتند که با افزایش تعداد لوله‌ها، عدد نوسلت که به مبنای ضریب جابجایی متوسط حساب می‌شود کاهش می‌یابد. بدین ترتیب که اگر یک لوله افقی بالای لوله افقی دیگر قرارگیرد عدد نوسلت آن ۰/۸۷ برابر عدد نوسلت لوله پائینی می‌شود و اگر لوله سومی بالای دو لوله قبلی قرارگیرد عدد نوسلت لوله وسطی و بالایی به ترتیب ۰/۸۳ و ۰/۶۳ برابر عدد نوسلت لوله پائینی می‌شود. ولی چنانچه محور لوله وسطی به اندازه نصف قطر لوله در جهت افقی جابجا شود در این حالت عدد نوسلت لوله‌های وسطی و بالایی به ترتیب ۱/۰۳ و ۰/۸۳ برابر عدد نوسلت لوله پائینی می‌شود. به عبارت دیگر وقتی آرایش لوله از خطی به مثلثی تغییر می‌یابد عدد نوسلت متوسط نیز بیشتر می‌شود. اکرت و همکارش



شکل (۱) عدد نوسلت متوسط آرایش [۲]

سیم مقدار مشخصی حرارت از دست می‌دهد و چون تلفات تشعشعی کمتر از یک درصد کل انتقال حرارت است از آن صرف‌نظر شده است.

مارستر [۳] آزمایشهایی را با تعداد متفاوتی لوله افقی با قطر ۶/۴ میلیمتر که محور همه آنها در یک صفحه قائم بود ترتیب داد. این لوله‌ها در یک مدار سری الکتریکی قرار گرفته و گرم می‌شدند. آزمایش برای آرایشهای ۳، ۵ و ۹ لوله‌ای با گامهای متفاوت و انتقال حرارتهای گوناگون صورت گرفته و چنین نتیجه‌گیری شده است که مشخصه‌های انتقال حرارت در یک آرایش از لوله‌های گرم شده را نمی‌توان با یک برهم نهی ساده از رفتار استوانه‌های منفرد پیش‌بینی نمود. در گامهای کوچک، عدد نوسلت هر لوله در آرایش تا حدود ۵۰ درصد کمتر از عدد نوسلت یک استوانه منفرد است، اما برای گامهای بزرگ، عدد نوسلت هر لوله در آرایش تا حدود ۳۰ درصد بیشتر از عدد نوسلت یک استوانه منفرد است. علاوه بر اینکه مشخصه‌های حرارتی یک آرایش بستگی به گام و عدد ریلی (Ra) دارد، عدد نوسلت هر لوله به موقعیت آن در آرایش وابسته است. در این آزمایشها تغییرات عدد گراشف بین ۷۵۰ تا ۲۰۰۰ و عدد ریلی کوچکتر از ۱۶۰۰ بوده است.

خریدار [۴] طی یک مجموعه آزمایش، ضریب انتقال حرارت جابجایی آزاد ماریچه‌های قائم را به دست آورده است. نامبرده در آزمایشهای خود اثر تعداد حلقه‌ها و قطر ماریچه را بر ضریب انتقال حرارت بررسی نموده و چنین نتیجه‌گیری نموده که تعداد حلقه‌های ماریچه بر ضریب انتقال حرارت جابجایی آزاد تأثیری ندارد و یا تأثیر آن بسیار ناچیز است ولی با افزایش قطر ماریچه، ضریب انتقال حرارت جابجایی آزاد افزایش

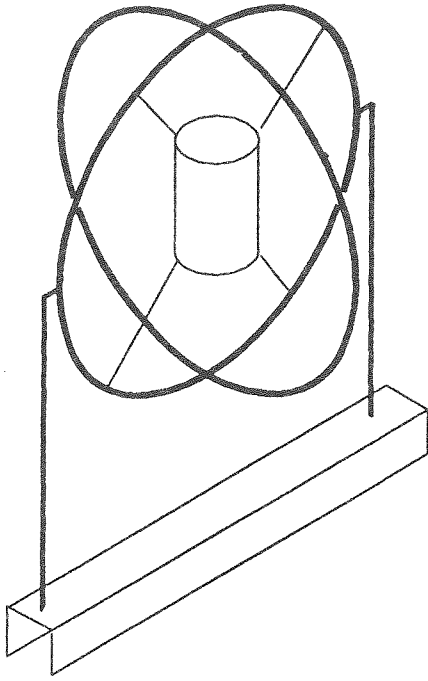
می‌یابد. ماریچه‌هایی که در آزمایشها به کار برده شده همگی از مفتول مسی با قطر ۰/۷۷ سانتیمتر ساخته شده و به کمک گرمکنهای الکتریکی که در آنها جاسازی شده گرم می‌شدند. سیال مجاور ماریچه‌ها آب و اعداد ریلی که بر مبنای قطر مفتول محاسبه شده عموماً کوچکتر از $10^5 \times 2$ بوده است. وی برای اطمینان از صحیح بودن روش اندازه‌گیری و استخراج نتایج، ابتدا روش خود را روی یک استوانه افقی اعمال نموده و با مقایسه نتایج حاصل با نتایج تجربی و روابط نیمه تجربی موجود در مقالات معتبر استنتاج نموده که روش مورد استفاده وی منجر به نتایج مطمئنی می‌شود. از آنجا که در پژوهش تجربی حاضر نیز از روش مشابهی استفاده شده جزئیات بیشتری از روش مورد استفاده وی در بخش بعدی آورده خواهد شد.

۲- دستگاه آزمایش

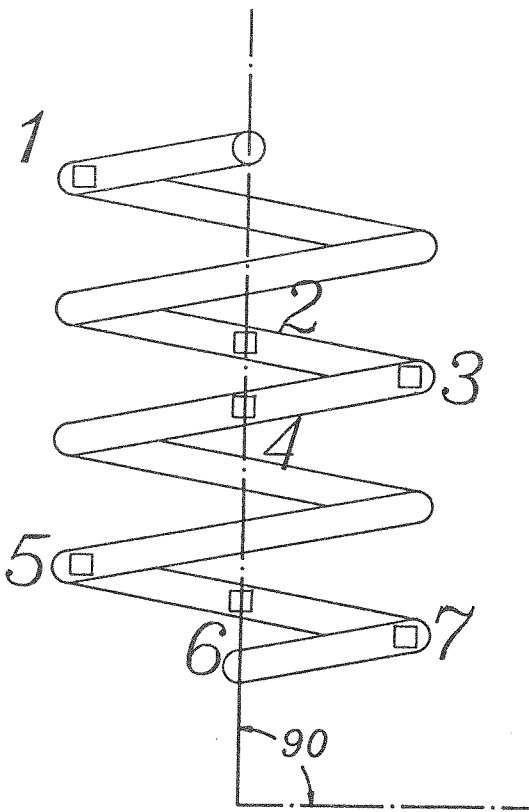
ماریچه‌های مورد استفاده در این پژوهش همگی دارای چهار حلقه بوده و از مفتولی توخالی با قطر ۰/۷۷ سانتیمتر ساخته شده‌اند. مشخصات ماریچه‌های مورد استفاده در جدول (۱) درج گردیده است. برای حرارت دادن هر ماریچه از یک المان الکتریکی که درون مفتول آن جاسازی شده و یک منبع تغذیه DC (Philips PE 1646) با توان حداکثر ۴۵۰ وات استفاده شده است. میزان گرمای تولید شده در المان با اندازه‌گیری ولتاژ و جریان ورودی به آن قابل محاسبه است. برای اندازه‌گیری دمای سطح ماریچه‌ها از ۷ ترموکوپل نوع T (مس - کنستانتن) با قطر سیمهای ۰/۳ میلیمتر و پوشش PVC و یک دستگاه دماسنج دیجیتال با دقت 0.1°C (از نوع Comark 6901) استفاده شده است. برای ایجاد یک محیط با دمای تقریباً

جدول (۱) مشخصات نمونه‌ها (ماریچه‌ها)

شماره نمونه	تعداد حلقه	قطر مفتول (cm)	قطر داخلی ماریچه (cm)	نسبت گام به قطر
1	4	0.77	7.66	1
2	4	0.77	7.66	3
3	4	0.77	7.66	4
4	4	0.77	7.66	6



شکل (۲) شمایی از گردونه‌ای که نمونه در آن بسته می‌شود و در زوایای مختلف قرار می‌گیرد.



شکل (۳) محل‌های نصب ترموکوپل بر روی ماریچ

ثابت در طول آزمایش، یک مخزن استوانه‌ای با قطر ۱۳۰ سانتیمتر و ارتفاع ۱۲۰ سانتیمتر حاوی بیش از ۱۵۰۰ کیلوگرم آب استفاده شد. به این ترتیب با قراردادن هر یک از ماریچها در میان این مخزن، دمای آب مجاور آنها در طول آزمایش کمتر از 1°C تغییر می‌کرد و اثر دیواره‌های مخزن روی جریان طبیعی بسیار ناچیز بود. برای اینکه بتوان اندازه‌گیری مشخصه‌های گرمایی ماریچها را در زوایای مختلف انجام داد هر ماریچ توسط چهار رشته نخ نازک به گردونه‌ای که درون مخزن آب تعبیه شده بود متصل می‌شد و با گرداندن گردونه، محور ماریچ نسبت به وضعیت قائم در زاویه مورد نظر قرار می‌گرفت. شکل (۲) نحوه استقرار ماریچ بر روی گردونه و شکل (۳) محل اتصال ترموکوپلها روی سطح ماریچ را نشان می‌دهد.

۳- روش آزمایش

پس از لحیم ترموکوپلها به ماریچ در محل‌های موردنظر و نصب اتصالات الکتریکی و عایقکاری آنها، مخزن از آب سختی گرفته شده پر و حدود ۲۴ ساعت رها می‌شد تا ضمن خارج شدن گازهای محلول در آن، نوسانات و اغتشاشات آن مستهلک شود. دمای آب مخزن توسط ترموکوپلی در فاصله ۳۰ سانتیمتری از دیواره مخزن و ۵۰ سانتیمتری از سطح آب اندازه‌گیری می‌شد. پس از هر بار تنظیم ولتاژی که به دو سر ماریچ اعمال می‌شود باید مدت کافی زمان سپری شود تا دمای کلیه نقاط به حالت پایا برسد. دمای سطح ماریچ T_s برابر متوسط دمای نقاط مختلف آن و گرمای دفع شده از ماریچ Q برابر توان الکتریکی مصرفی المان می‌باشد. اگر سطح ماریچ A و دمای آب را با T_{∞} نشان دهیم می‌توان ضریب انتقال حرارت جابجایی را از رابطه $Q = hA(T_s - T_{\infty})$ محاسبه کرد. محاسبات نشان می‌دهد که انتقال حرارت تشعشی از ماریچ به محیط کمتر از ۱/۰ درصد کل انتقال حرارت از آن و قابل صرف‌نظر کردن است.

۴- بحث و بررسی نتایج

همانطور که در جدول (۱) ذکر شده، پنج ماریچ با گامهای مختلف و هر یک در چهار زاویه مختلف صفر، سی، شصت و نود درجه بین محور ماریچ و خط افق آزمایش شده و در هر وضعیت خصوصیات گرمایی ماریچ در ۳۷ عدد ریلی گوناگون بین 100 تا 2×10^5 بررسی شده است [۵]. برای اطمینان از

صحت روش آزمایش و محاسبات، ابتدا نمونه ۱ در زاویه ۹۰ درجه مورد آزمایش قرار گرفت و نتایج حاصله با نتایج خریدار [۴] مقایسه گردید (شکل ۴). چنانکه دیده می‌شود تطابق خوبی بین نتایج دو کار برقرار است. لازم به ذکر است که خریدار [۴] نتایج خود را با نتایج مورگان [۶] مقایسه کرده و تطابق خوبی را گزارش نموده است.

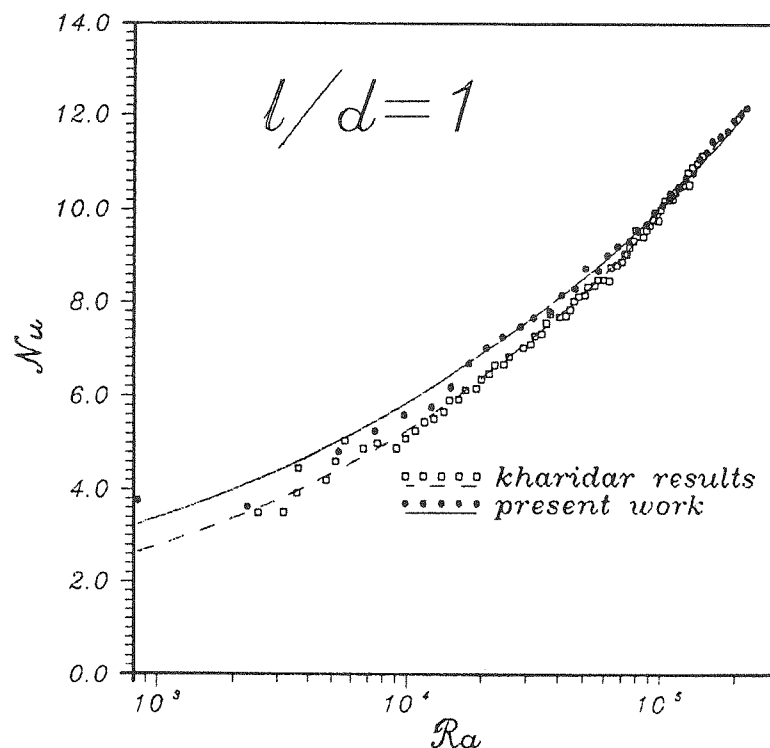
۵- اثر تغییر زاویه

در شکل‌های (۵ تا ۸) نتایج آزمایشها برای ماریچه‌ها در زوایای گوناگون رسم شده است. تابعیت اعداد نوسلت از اعداد ریلی را به خوبی می‌توان توسط رابطه $Nu = c Ra^n$ بیان کرد. عموماً از چنین رابطه‌ای برای بیان انتقال حرارت جابجایی آزاد استفاده می‌شود [۷]. مقادیر ثابت‌های c و n برای هر ماریچه در زوایای گوناگون در جدول (۲) درج شده است. همانگونه که در شکل‌های (۵ تا ۸) مشخص است، پراکندگی نقاط آزمایش در اطراف منحنی برازش شده، بیشتر در اعداد ریلی کوچکتر از 10^4 دیده می‌شود. برای بررسی علت این امر، درصد عدم قطعیت که نشانگر احتمال وجود خطاست بر اساس روش پیشنهادی [۸] برای کلیه نقاط آزمایش محاسبه گردید. نتایج این

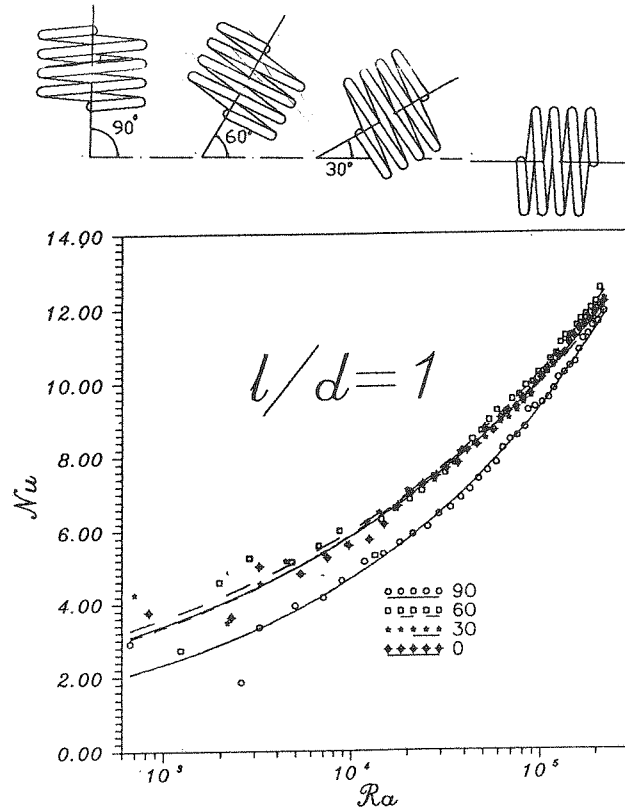
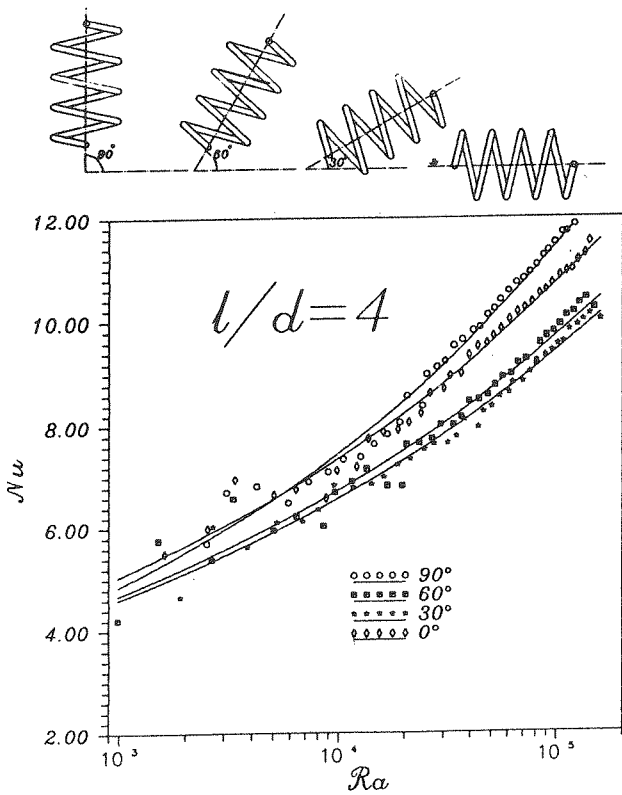
محاسبات نشان می‌دهد که نتایج آزمایش در اعداد ریلی کوچک دارای درصد عدم قطعیت بالایی است اما با افزایش عدد ریلی این مقدار به شدت کاهش یافته و به مقادیر کمتر از دو درصد (در اعداد ریلی بیشتر از ۵۰۰۰۰) می‌رسد.

همانگونه که انتظار می‌رفت و در شکل‌های (۵ تا ۸) نیز دیده می‌شود با افزایش عدد ریلی، عدد نوسلت نیز افزایش می‌یابد. افزایش عدد ریلی ناشی از افزایش اختلاف دمای ΔT بین ماریچه و محیط است. افزایش ΔT سبب ایجاد نیروی شناوری قویتر گردیده، باعث افزایش جریانهای جابجایی و افزایش ضریب انتقال حرارت جابجایی و عدد نوسلت می‌شود.

از شکل‌های (۵ تا ۸) چنین برمی‌آید که در ماریچه‌ها با مشخصه گام به قطر ۳، ۴ و ۶ با تغییر زاویه از حالت ۹۰ درجه، ضریب انتقال حرارت کاهش می‌یابد. نتایج حاصل از حل عددی معادلات جابجایی برای استوانه مایل [۱۰] و نتایج تجربی [۱۱] حاصل از آزمایش با یک استوانه مایل به قطر ۱/۱۹ میلی‌متر و نسبت طول به قطر ۸ با نتایج فوق هماهنگی ندارد. این عدم هماهنگی را می‌توان ناشی از متفاوت بودن هندسه و تأثیر دنباله هر حلقه روی حلقه‌های بالاتر در ماریچه دانست.

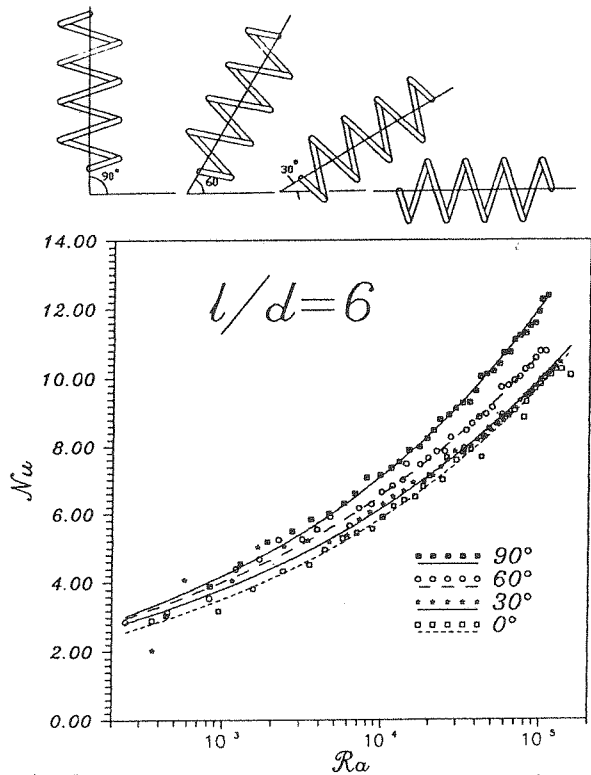


شکل (۴) مقایسه کار حاضر با [۴] در مورد ماریچه با نسبت گام به قطر یک

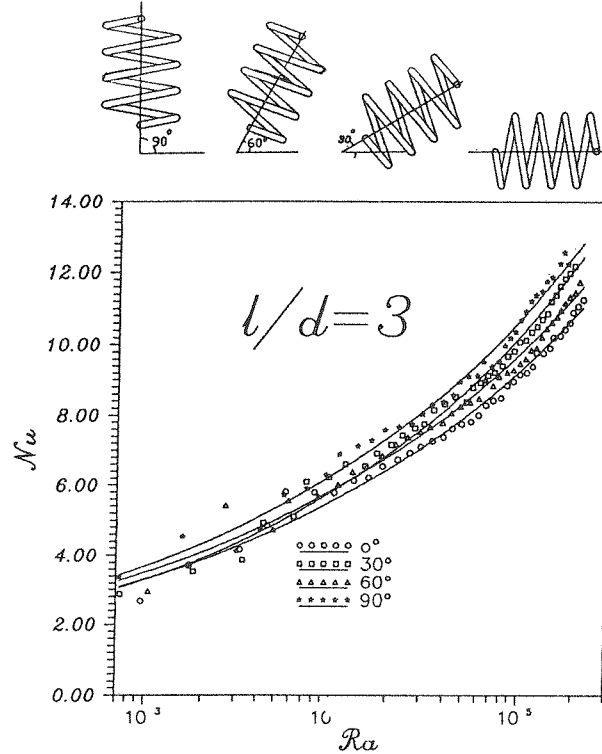


شکل (۷) مقایسه عدد نوسلت برای مارپیج با نسبت گام به قطر چهار در زوایای گوناگون

شکل (۵) مقایسه عدد نوسلت برای مارپیج با نسبت گام به قطر یک در زوایای گوناگون



شکل (۸) مقایسه عدد نوسلت برای مارپیج با نسبت گام به قطر شش در زوایای گوناگون



شکل (۶) مقایسه عدد نوسلت برای مارپیج با نسبت گام به قطر سه در زوایای گوناگون

جدول (۲) ضرایب رابطه $Nu = cRa^n$ برای ماریچه‌ها در زوایای مختلف

1/d	زاویه ۰°		زاویه ۳۰°		زاویه ۶۰°		زاویه ۹۰°	
	c	n	c	n	c	n	c	n
1	0.668	0.235	0.769	0.221	0.625	0.243	0.300	0.294
3	0.707	0.223	0.602	0.246	0.757	0.221	0.747	0.230
4	1.555	0.166	1.322	0.174	1.634	0.163	1.343	0.186
6	0.761	0.222	0.899	0.209	0.922	0.213	0.857	0.230

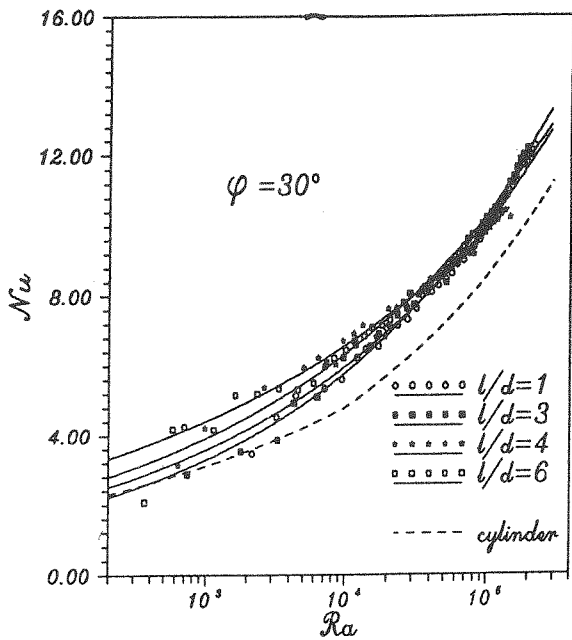
عـ اثر تغییر گام

نتایج بدست آمده برای ماریچه‌ها با گامهای مختلف و در چهار زاویه گوناگون در شکلهای (۹ تا ۱۲) رسم شده است. چنانکه از شکل (۹) برمی آید، در زاویه ۹۰ درجه با افزایش گام، ضریب انتقال حرارت افزایش می یابد. طبق نظریه‌های لایه مرزی، دمای خط تقارن دنباله برخاسته از یک چشمه حرارتی خطی افقی متناسب با توان $\frac{3}{5}$ فاصله از چشمه کاهش می یابد درحالی که سرعت خط تقارن دنباله مذکور متناسب با توان $\frac{1}{5}$ فاصله از چشمه افزایش می یابد [۹]. چنانچه این نظریه را برای حلقه‌های یک ماریچه معتبر بدانیم، با ازدیاد گام، جریانی که از هر حلقه ماریچه سرچشمه می گیرد باید مسافت بیشتری را طی کند تا به حلقه بالایی برسد و در این فاصله دمای آن کاهش و سرعت آن افزایش می یابد. هر دو عامل باعث افزایش ضریب انتقال حرارت و عدد نوسلت می شود. اگرچه برای تمامی ماریچه‌های مورد آزمایش با افزایش گام، ضریب انتقال حرارت افزایش یافته، اما می توان پیش بینی نمود که این روند تا رسیدن به یک گام بهینه ادامه یابد و پس از آن با افزایش گام، ضریب انتقال حرارت کاهش یابد زیرا دنباله ایجاد شده از یک حلقه تا رسیدن به حلقه بعدی به علت فاصله زیاد حلقه‌ها از هم مستهلک می شود و جریان مؤثری به حلقه بعدی نخواهد رسید. دلیل دیگر این که، با افزایش گام در حالت حدی، ماریچه به سمت یک استوانه قائم میل می کند و ضریب انتقال حرارت استوانه قائم کمتر از استوانه افقی و بالطبع کمتر از ماریچه‌های مورد آزمایش است. تحلیل اثر افزایش گام در زوایای ۳۰ و ۶۰ و

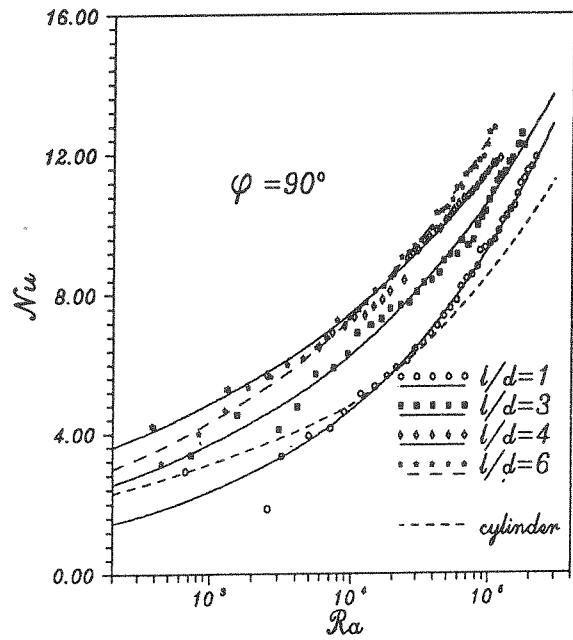
صفر درجه بسیار پیچیده تر از حالت ۹۰ درجه است چرا که در این زوایا حلقه‌ها در یک راستای قائم بر روی یکدیگر قرار ندارند و در نتیجه تعداد نقاطی که در دنباله نقاط دیگر ماریچه قرار می گیرند و همچنین چگونگی برخورد دنباله‌ها به نقاط مختلف ماریچه و فاصله‌ای که یک دنباله قبل از برخورد به نقطه‌ای از ماریچه طی می کند همه عواملی هستند که بر روی ضریب انتقال حرارت اثر می گذارند و چون این عوامل همگی از تغییر گام تأثیر می پذیرند، لذا توجه فراگیری، برای رفتار آنها نمی توان ذکر کرد.

۷- مقایسه با استوانه افقی

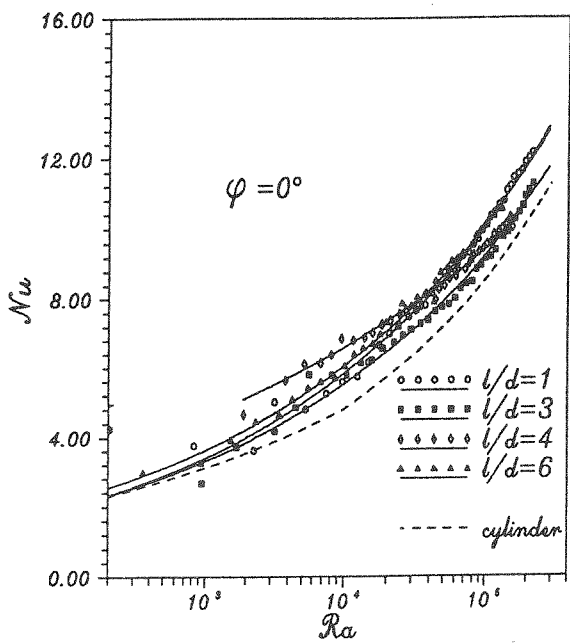
در شکلهای (۹ تا ۱۲) عدد نوسلت ماریچه‌ها در زوایای مختلف با عدد نوسلت استوانه افقی، بر اساس نتایج مورگان [۶] نیز مقایسه شده و نمایانگر این است که عدد نوسلت ماریچه‌ها با نسبت گام به قطر ۳، ۴ و ۶ در تمامی زوایا بیشتر از عدد نوسلت استوانه افقی است. عدد نوسلت مربوط به ماریچه با نسبت گام به قطر یک نیز بسته به زاویه ماریچه در محدوده‌ای از اعداد ریلی بیشتر از عدد نوسلت استوانه افقی است. تفاوت ماریچه با استوانه افقی در انتقال حرارت جابجایی آزاد در این است که در ماریچه‌ها هر حلقه در دنباله حلقه‌های پائینتر از خود قرار گرفته است. به عبارت دیگر حلقه‌های بالایی در جریان سیالی قرار گرفته‌اند که از حلقه‌های پائینی سرچشمه گرفته است. این جریان از یک طرف دارای سرعت است و باعث افزایش انتقال حرارت از ماریچه می گردد و از طرف دیگر دارای دمایی بیشتر



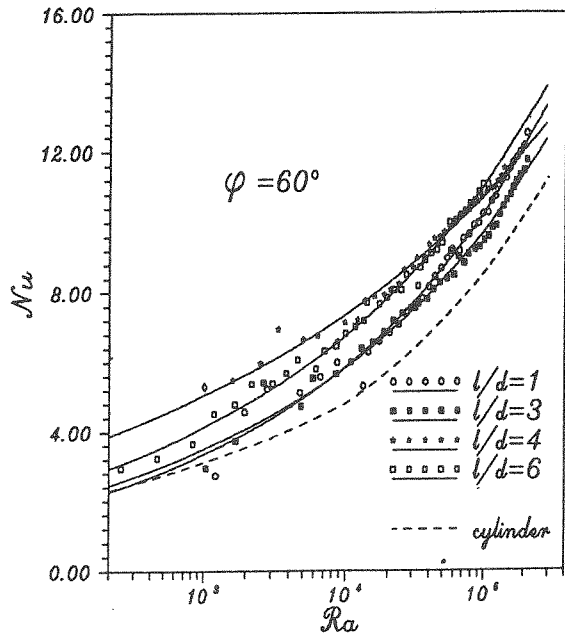
شکل (۱۱) مقایسه عدد نوسلت مارپیچها و استوانه افقی در زاویه سی درجه



شکل (۹) مقایسه عدد نوسلت مارپیچها و استوانه افقی در زاویه نود درجه



شکل (۱۲) مقایسه عدد نوسلت مارپیچها و استوانه افقی در زاویه صفر درجه



شکل (۱۰) مقایسه عدد نوسلت مارپیچها و استوانه افقی در زاویه شصت درجه

۸- نتیجه گیری

۱- در ماریجهای قائم با افزایش گام، ضریب انتقال حرارت جابجایی آزاد افزایش می یابد ولی احتمالاً گام بهینه ماکزیمی وجود دارد.

۲- ضریب جابجایی آزاد ماریجهای با محور افقی با نسبت گام به قطر بیشتر از یک، از مقدار مربوط به استوانه افقی بیشتر است. احتمال دارد که در نسبتهای گام به قطر کوچکتر از یک، نتیجه متفاوتی به دست آید.

۳- ضریب انتقال حرارت ماریجهای با نسبت گام به قطر بیشتر از یک، در حالت محور قائم بیشتر از حالت محور افقی است.

از T_{∞} است که موجب کاهش اختلاف دما بین سطح ماریچ و سیال محیط و در نتیجه کاهش انتقال حرارت می شود. افزایش یا کاهش مقدار گرمای انتقال یافته از ماریچ در مقایسه با استوانه افقی بستگی به غالب بودن اثر سرعت یا دمای جریان دارد. در مورد ماریجهای مورد بحث اثر سرعت بر اثر افزایش دما غلبه دارد و در نتیجه در ماریجهای مذکور ضریب انتقال حرارت نسبت به استوانه افقی بیشتر است. بر اساس نتایج گبهارت [۲] و مارستر [۳] این احتمال وجود دارد که در ماریجهای با نسبت گام به قطر کوچکتر از یک، در تمامی اعداد ریلی مورد بحث، ضریب انتقال حرارت از مقدار مربوط به استوانه افقی کمتر باشد، چون در گامهای کوچک احتمال دارد که اثر افزایش دمای جریان بر اثر سرعت آن غلبه کند.

مراجع

- اصفهان، دانشکده مهندسی مکانیک، ۱۳۷۲.
- [6] Morgan, V.T. "The Overall Convective Heat Transfer from Smooth Circular Cylinder" in *Advances in Heat Transfer, Vol. 11, Academic press, New York, 1975.*
- [7] Incropera F.P. and Dewitt, "Introduction to Heat Transfer", John Wiley & sons, 2nd ed., 1990.
- [8] Fox, R.W. and Mc Donald, A.T., "Introduction to Fluid Mechanics", 3rd ed., 1985.
- [9] Schlichting, H., "Boundary Layer Theory", Mc Graw Hill, 7th ed., 1979.
- [10] Oosthuizen, P.H., *J. Heat Transfer, Vol. 98, P. 570, 1976.*
- [11] O. osthuizen, P.H., "Experimental Study of Free Convective Heat Transfer from Inclined Cylindres", *J. Heat Transfer, Vol. 98, P.672.*
- [1] Eckert, E. R.G. and Soehngen, E., "Studies on Heat Transfer in Laminar Free Convection with the Zehnder - Mach Interferomete", Tech. Rept. No. 5747, USAF Air Material Command, Dayton, Ohio 1948.
- [2] Liberman, J. and Gebhart, B., "Interaction in Natural Convection from an Array of Heated Elements, Experimental", *Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 12, P. 1358.*
- [3] Marster, G.F., "Arrays of Heated Horizontal cylinders in Natural Convection", *Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 15, P.21.*
- [۴] خریدار، م.ح.، "تعیین ضریب انتقال حرارت جابجایی آزاد بر روی ماریجهای"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده مهندسی مکانیک، ۱۳۷۱.
- [۵] حمیدیا شهرضا، م.ح.، "بررسی تجربی انتقال حرارت جابجایی آزاد از ماریجهای"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی