

اثر نسبت منظر و خواص وابسته به دمای سیال بر پارامترهای موثر در میکرومبدل‌های حرارتی

محمد مهدی درویشی^{۱*}؛ حسن خالقی^۲؛ مهرداد کوکی^۳

چکیده:

در این تحقیق، میکرومبدل حرارتی مستطیلی با قطر هیدرولیکی ثابت و نسبت منظرهای مختلف در نظر گرفته شده است. افت فشار و پارامترهای حرارتی میکرومبدل در جریان آرام، در اعداد رینولدز مختلف (۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۲۵ و ۳۰۰) با شار حرارتی ثابت برابر با ۰/۳ مگاوات تحلیل و مقایسه شد. همچنین اثر خواص وابسته به دمای سیال (گرانروی، ضریب رسانایی) بر افت فشار، میزان افزایش دمای متوسط و بیشینه سیال عامل و مقاومت گرمایی مبدل مطالعه شده است. در پایان معیار جدیدی براساس توان مصرفی پمپ کردن سیال عامل و میزان گرمای منتقل شده بر واحد اختلاف دما به عنوان ابزاری برای مقایسه کارایی میکرومبدل‌های حرارتی پیشنهاد شده است.

کلمات کلیدی: میکرومبدل، عدد رینولدز، نسبت منظر، شار حرارتی، قطر هیدرولیکی.

The Effect of Aspect Ratio and Temperature-dependent Fluid properties of Effective Parameters in Micro Heat Exchanger

ABSTRACT

In this work a rectangular micro heat exchanger with constant hydraulic diameter at various aspect ratios was considered. The pressure drop and thermal parameters of the micro heat exchanger in laminar flow at different Reynolds numbers (25, 50, 100, 150, 225 and 300) at constant heat flux of 0.3 MWatt/m² were analyzed and compared. Also, the effect of temperature-dependent fluid properties (viscosity, conductivity coefficient) on the pressure drop and the average and maximum temperature rise of fluid and thermal resistance of micro heat exchanger were investigated. Finally, a new criterion based on pumping power and transmitted heat per temperature gradient unit was proposed as a tool to evaluate micro heat exchangers' performance.

KEYWORDS: Micro exchanger, Re Number, Aspect Ratio, Heat flux, Hydraulic Diameter.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۶/۳/۲۱

تاریخ اصلاحات مقاله: ۱۳۸۸/۷/۱۴

^{۱*} نویسنده مسئول و دکتری مکانیک از دانشگاه تربیت مدرس mohammadmehdidarvishi@yahoo.com

^۲ دانشیار دانشگاه تربیت مدرس khaleghi@modares.ac.ir

^۳ دانشیار دانشگاه تربیت مدرس mehrir@modares.ac.ir

نشان‌دهنده این مطلب است که مقادیر این پارامترها در میکرو و ماکروکانال‌ها تفاوت چندانی با یکدیگر ندارند و وجود اختلاف در نتایج گزارش شده به وسیله دو گروه اول و دوم را به دلیل خطاهای اندازه‌گیری، تعیین تقریبی ابعاد کانال و اثرات ورودی دانسته‌اند[۶].

در سال‌های اخیر، تحقیقات گسترده‌ای پیرامون جریان سیال و انتقال حرارت در میکروکانال‌ها با مقاطع مختلف انجام شده است که همگی دلالت بر صحت نتایج گروه دوم دارد، اهم این تحقیقات به شرح زیر است:

چین به بررسی تجربی انتقال حرارت و جریان نانوسیال آب-اکسید مس در میکروکانال نوزنقه‌ای سیلیکونی با کسر حجمی بسیار پایین (۰٫۲-۰٫۴ درصد) پرداخته است. افزایش نرخ انتقال حرارت و افت فشار از نتایج گزارش شده به وسیله این محقق است[۲].

کو در سال ۲۰۰۵ به بررسی عددی انتقال حرارت و جریان نانوسیال آب-اکسید مس در میکروکانال مستطیلی با کسر حجمی متفاوت پرداخته است. او افزایش نرخ انتقال حرارت و افزایش افت فشار را گزارش کرده است[۳].

لی در سال ۲۰۰۶، انتقال حرارت جابه‌جایی جریان آرام آب-اکسید آلومینیوم ۱ درصد و ۲ درصد را در لوله با مقطع دایروی به قطر ۰/۵ میلی‌متر و نیز در میکروکانال مستطیلی مطالعه نموده است. موضوعات مورد بررسی او افت فشار، ضریب انتقال حرارت و پدیده جوشش سیال بوده است[۴].

حل تحلیلی میکروکانال‌های مستطیلی با نسبت منظرهای مختلف، موضوع تحقیق لی و گاریمالا در سال ۲۰۰۶ بوده است. در این کار خواص مواد سیال ثابت فرض شده است[۵].

لی و پترسون در سال ۲۰۰۷ به حل عددی سه بعدی میکرومبدل حرارتی مستطیلی پرداخته‌اند و در نتایج خود اختلاف ۲۰ درصدی با نتایج تجربی پیژه و تاکرمن را بیان کرده‌اند[۶].

به طور کلی در تحقیقات انجام شده تاکنون، تاثیر هم‌زمان تغییر نسبت منظر و خواص مواد متغیر با دما بر پارامترهای جریانی و حرارتی میکرومبدل حرارتی مورد بررسی قرار نگرفته که موضوع تحقیق حاضر است.

در این تحقیق با تغییر نسبت منظر در نه سطح در حالت خواص مواد متغیر با دما (در مقایسه با خواص مواد ثابت) در اعداد رینولدز مختلف در رژیم آرام (شش سطح)، چگونگی تغییرات افت فشار، مقاومت گرمایی و میزان افزایش دمای سیال عامل (متوسط و بیشینه) مطالعه شده است.

با پیشرفت علم و فناوری، توجه بیشتری به ساخت ادوات و ابزار در ابعاد میکرو و نانو به دلیل کاهش اتلاف انرژی و افزایش بازده، شده است. با کوچک شدن ابعاد، دفع حرارت همچنان به عنوان مساله‌ای اساسی است و بدیهی است که رادیاتورهای و مبدل‌های هواخنک با ابعاد ماکرو در تاسیسات میکرو کارایی ندارند، زیرا شار حرارتی در این ابزار در مقیاس مگاوات بر مترمربع بوده که خارج از محدوده کارایی ماکرومبدل‌های هواخنک است.

در نتیجه، طراحی، تحلیل و استفاده از میکرومبدل‌ها از موضوعات جذاب تحقیقاتی روز است.

با توجه به دشواری و هزینه بالای آزمون‌های تجربی در ابعاد میکرو، تحلیل عددی می‌تواند به عنوان روشی مفید و نیرومند در این زمینه باشد. تاکنون تلاش‌های زیادی در زمینه بررسی جریان سیال و انتقال حرارت در میکروکانال‌های مستطیلی، نوزنقه‌ای، دایره‌ای و مثلثی شده است[۱].

شاید بتوان مهم‌ترین تحقیقات انجام شده در زمینه جریان سیال درون میکروکانال را به سه گروه تقسیم نمود که گروه-های اول و دوم، بیش‌تر به چگونگی اندازه‌گیری میزان انحراف رفتار سیال در میکروکانال از رفتار رایج سیال در ماکروکانال-ها پرداخته‌اند ولی در گروه سوم اختلافی بین رفتار سیال در میکرو و ماکروکانال‌ها گزارش نشده است.

پنگ و همکاران ۱۹۹۴، پنگ و پترسون ۱۹۹۶، خو و همکاران ۱۹۹۹ افراد شاخص گروه اول هستند که به مقایسه ضریب اصطکاک و گرادیان فشار سیال در میکرو و ماکروکانال‌ها پرداخته‌اند و ناپایداری‌های مکرر در نتایج تحقیقات خود گزارش نموده‌اند[۱].

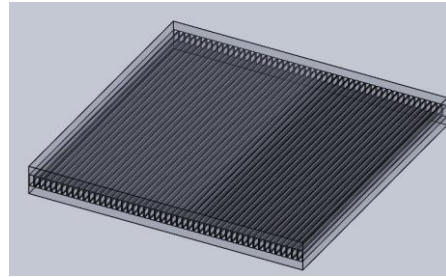
گروه دوم، فالر و همکاران ۱۹۹۱، یوربانک و همکاران ۱۹۹۳، مالا و لی ۱۹۹۹، پاپوتسکی و همکاران ۱۹۹۹، کیو ۲۰۰۰ و رن ۲۰۰۱ هستند که بیش‌تر تفاوت‌های رفتاری سیال در میکرو و ماکروکانال‌ها را ناشی از پدیده‌های سطحی از قبیل صافی سطح، نیروهای الکتروستاتیک، اثرات دمایی و میکروگردابه‌های نزدیک دیواره دانسته‌اند. نتایج آنان بیانگر این واقعیت است که ضریب اصطکاک و گرادیان فشار در میکروکانال‌ها به علت پدیده‌های سطحی، بیش از مقدار آن در ماکروکانال‌ها است[۱].

محققان معروف گروه سوم، تاکرمن و پیژه ۱۹۸۱، خو و همکاران ۲۰۰۰، شارپ ۲۰۰۱ و جودی و همکاران ۲۰۰۲ هستند که تحقیقاتشان پیرامون ضریب اصطکاک و گرادیان فشار،

۲- صورت مساله و فرضیات

ریز پردازنده‌های رایانه‌های امروزی با بسامد کاری ۲/۴ تا ۴ گیگاهرتز به طور متوسط ۷۰ تا ۱۵۰ وات اتلاف حرارت دارند [۸]. در این تحقیق، ریزپردازنده LGA775 P4 Intel انتخاب شده است [۹].

با توجه به ابعاد این ریزپردازنده، برای دفع حرارت تولیدی آن، میکرومبدلی با سطح مقطع مستطیلی به ابعاد ۰,۵×۲۰×۲۰ میلی‌متر با قطر هیدرولیکی ۷۵ میکرون که در شکل (۱) نشان داده شده، در نظر گرفته شده است.



شکل (۱): نمایی از میکرومبدل طراحی شده

فرضیات این تحقیق عبارتند از:

- دمای آب ورودی برابر با ۲۹۳ درجه کلوین است.
- حداکثر دمای مجاز در میکروکانال، برای جلوگیری از دوفازی شدن سیال به کار برده شده برابر با ۳۷۲ درجه کلوین است.

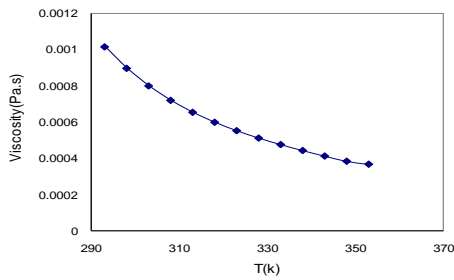
- رژیم جریان آرام در شش سطح از اعداد رینولدز (۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۲۵ و ۳۰۰) انتخاب شده است.
- نسبت منظرهای میکروکانال (نسبت عرض به طول) در نه سطح (در محدوده ۰/۱ تا ۱) انتخاب شده است.

- چگالی و ظرفیت گرمایی ویژه سیال عامل ثابت فرض شده است، زیرا تغییرات چگالی سیال عامل با دما در محدوده دمای کاری (از ۲۹۳ تا ۳۷۲ درجه کلوین) حدود ۲/۳ درصد و تغییرات ظرفیت گرمایی ویژه حدود ۰/۲ درصد است که اثر چندانی بر نتایج ندارند [۱۰].

- گرانشی سیال عامل نسبت به دما متغیر انتخاب شده است، زیرا گرانشی سیال در محدوده دمای کاری میکرومبدل، در حدود ۶۰ درصد تغییرات نشان می‌دهد که ثابت فرض کردن آن، خطای بزرگی در نتایج ایجاد می‌کند.

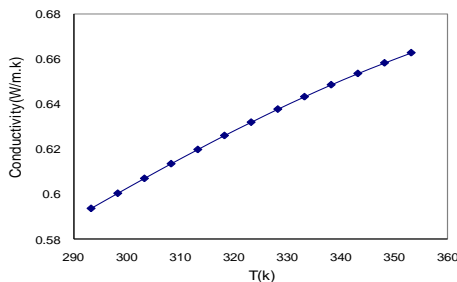
در شکل (۲) نمودار تغییرات گرانشی با دما آورده شده است که از معادله درجه دوم درونیابی شده (۱) با حداکثر خطای ۰/۹ درصد پیروی می‌کند [۱۰].

$$\mu(T) = 1.532244e - 7T^2 - 1.094678e - 4T + 1.989050e - 2 \quad (1)$$



شکل (۲): نمودار تغییرات گرانشی آب با دما [۱۰]

- ضریب رسانایی گرمایی سیال عامل، تابع دماست. ضریب رسانایی گرمایی سیال عامل در بازه دمای کاری، حدود ۱۵ درصد تغییرات نشان می‌دهد که ثابت فرض کردن آن نیز خطای قابل توجهی در نتایج ایجاد می‌کند.



شکل (۳): نمودار ضریب رسانایی آب با دما [۱۰]

معادله درجه دوم درونیابی شده برای آن با حداکثر خطای ۰/۱ درصد، عبارت است از:

$$k(T) = 4.161838e - 7T^2 - 3.846472e - 4T + 1.7656953e - 2 \quad (2)$$

۳- معادلات حاکم

معادلات حاکم بر جریان سیال و انتقال حرارت در میکروکانال، معادله پیوستگی، بقای اندازه حرکت (ناویر-استوکس) و انرژی بوده که به ترتیب در روابط (۳)، (۴) و (۵) آمده است [۳]:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i)}{\partial x_i} = 0 \quad (3)$$

اندازه حرکت:

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i u_j)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mu \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) - \frac{\partial p}{\partial x_i} + s_i \quad (4)$$

انرژی:

$$\frac{\partial(\rho C_p T)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho C_p u_j T)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mu \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) + s \quad (5)$$

معادلات عنوان شده، به روش حجم محدود بر روی شبکه جابه‌جا شده، منفصل و با استفاده از الگوریتم سیمپل حل

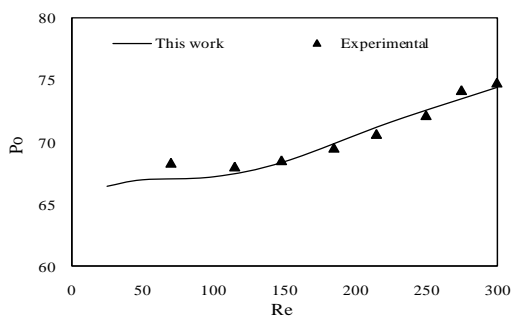
مرزی عایق (با توجه به ناچیز بودن انتقال حرارت جابه‌جایی آزاد نسبت به شار حرارتی کف، از آن صرف‌نظر شده است) و در دیواره‌های جانبی از شرط مرزی تقارن استفاده شده است.

$$\begin{aligned} \dot{m} &= 8.11e-6 \text{ kg/Sec} && @ \text{ Channel inlet} \\ T &= 293 \text{ K} && @ \text{ Channel outlet} \\ \frac{\partial}{\partial x} &= 0 && @ \text{ Channel bottom} \\ \dot{q} &= 3e5 \frac{W}{m^2} && @ \text{ Top wall} \\ \dot{q} &= 0 \frac{W}{m^2} && @ \text{ Top wall} \\ \frac{\partial}{\partial y} &= 0 && @ \text{ Side wall} \end{aligned}$$

۴-۲- الگوریتم حل و اعتباریابی

در این تحقیق کد سه‌بعدی نانوسیال حجم محدود بر پایه معادلات ناویر-استوکس تولید شده است که روابط (۱) و (۲) به عنوان معادله خواص مواد در آن به کار گرفته شده است. حل دستگاه معادلات غیرخطی نیز با استفاده از روش خطی‌سازی نیوتن و با استفاده از روشی مبنی بر الگوریتم توماس انجام شده است [۳].

قبل از تحلیل و بررسی نتایج حل، باید از درستی آنها اطمینان حاصل نمود، بنابراین میزان همخوانی نتایج عددی این تحقیق با نتایج تحلیل عددی جودی و همکاران در شکل (۶) مقایسه شده است [۱۱].



شکل (۶): مقایسه ضریب اصطکاک تجربی [۱۱] در مقایسه با نتایج عددی این تحقیق

همان‌طور که دیده می‌شود، افت فشار در میکروکانال با نتیجه عددی پیش‌بینی شده همخوانی دارد.

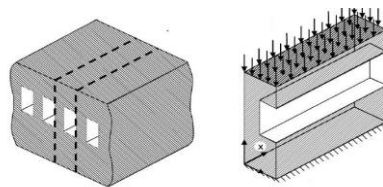
۵- نتایج و بحث

در این بخش، پس از اثبات همخوانی نتایج به‌دست آمده از حل عددی با فیزیک مساله، با ارائه کانتورهای دما و سرعت در یک میکروکانال نمونه، نتایج مربوط به اثر عدد رینولدز بر افت فشار، مقاومت گرمایی و دمای سیال عامل (متوسط و بیشینه)

شده‌اند. در انفصال معادلات از روش انتگرال‌گیری پسرو مرتبه دوم برای جمله‌های جابه‌جایی و از روش انتگرال‌گیری مرکزی مرتبه دوم برای جمله‌های نفوذ استفاده شده است.

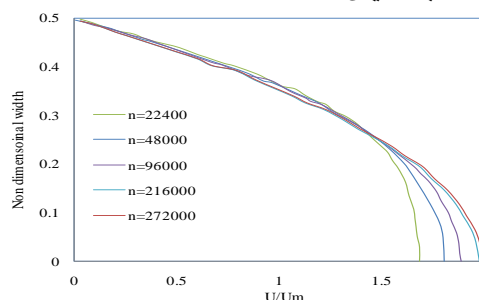
۴- تحلیل عددی مساله

در این تحقیق، میکرومبدل‌های مختلف با مقطع مستطیلی با نسبت منظرهای مختلف مش‌بندی شده و نتایج تحلیل‌های عددی انجام گرفته به صورت مستقل از شبکه استخراج شده است. در شکل (۴)، نمونه میدان هندسی استفاده شده در تحلیل عددی آورده شده است.



شکل (۴): نمایی از میدان هندسی حل شده

در این تحقیق کدی به زبان ویژوال فرترن نوشته شده که محاسبات باقی‌مانده جرمی در آن با دقت ۰/۰۰۱ انجام شده است. در شکل (۵)، نمودار استقلال از شبکه برای پروفیل سرعت در میکروکانال مستطیلی با نسبت منظر ۰/۸۶۵ در رینولدز ۱۰۰ به نمایش در آمده است.



شکل (۵): نمودار استقلال از شبکه برای پروفیل سرعت

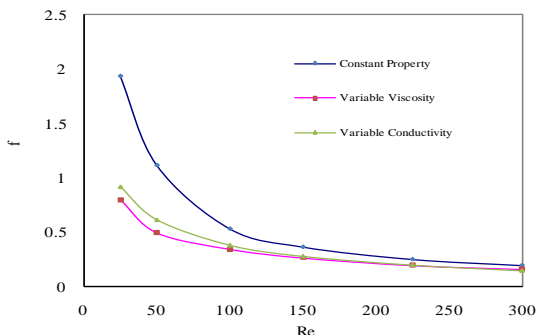
میکروکانال با تعداد نقاط شبکه ۲۲۴۰۰، ۴۸۰۰۰، ۹۶۰۰۰، ۲۱۶۰۰۰ و ۲۷۲۰۰۰ به صورت عددی حل شده که با تغییر تعداد نقاط شبکه از ۲۱۶۰۰۰ به ۲۷۲۰۰۰ فقط تغییرات ۰/۰۵ درصد در حداکثر مقدار سرعت دیده شده است، بنابراین تحلیل‌های عددی، بر پایه ۲۷۲۰۰۰ نقطه بنا نهاده شده است.

۴-۱- شرایط مرزی

در مرز ورودی میکروکانال از شرط مرزی دبی جرمی و دما ثابت، در مرز خروجی آن از شرط جریان توسعه یافته ($\frac{\partial}{\partial x} = 0$) و در کف میکروکانال از شرط مرزی شار حرارتی ثابت استفاده شده است. در دیواره بالایی میکروکانال از شرط

سیال و در نتیجه کاهش گرانیوی آن در طول میکروکانال که خود باعث افزایش اختلاف افت فشار می‌شود.

برای مقایسه بهتر نتایج در سه حالت گفته شده، در شکل ۹ نمودار ضریب اصطکاک بر حسب عدد رینولدز آورده شده است.



شکل (۹): نمودار ضریب اصطکاک-رینولدز

ضریب اصطکاک از رابطه (۶) محاسبه شده است.

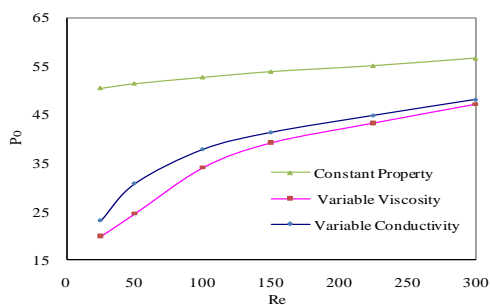
$$f = \frac{8\Delta P}{\rho u_m^2 L/D} \quad (6)$$

همان‌طور که از شکل (۹) مشخص است، ضریب اصطکاک در حالت خواص مواد وابسته به دما، کمتر از حالت خواص مواد ثابت است.

یکی دیگر از معیارهای مقایسه هیدرودینامیکی میکروکانال-ها، عدد پوآزو است. از نظریه ماکروکانال‌ها برای جریان آرام در لوله‌ها داریم:

$$Po = f \cdot Re = 64 \quad (7)$$

مقدار این عدد از ۳۶ تا ۷۲ برای کانال مستطیلی در نسبت منظرهای بین صفر تا یک تغییر می‌کند [۱۱]. در شکل (۱۰)، مقدار عدد پوآزو بر حسب عدد رینولدز در هر سه حالت مورد بررسی، ارائه شده است.



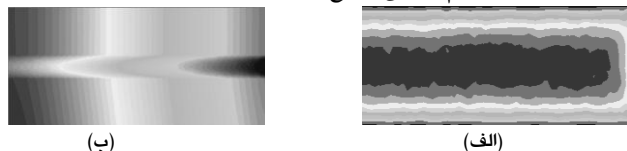
شکل (۱۰): نمودار پوآزو-رینولدز

از آنجا که میزان افت فشار در اعداد رینولدز مشابه در حالت خواص مواد وابسته به دما کمتر از حالت خواص مواد ثابت است، بنابراین عدد پوآزو در مقایسه با حالت خواص مواد وابسته به دما به طور قابل توجهی کمتر از حالت خواص مواد ثابت است ولی تفاوت چندانی در حالت ضریب رسانایی ثابت و

که آثار بارزتری دارد، ارائه می‌شود، سپس اثر نسبت منظر بر همین پارامترها مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد. در این نمودارها برچسب خواص مواد ثابت^۱، گرانیوی وابسته به دما^۲، ضریب رسانایی وابسته به دما^۳ به ترتیب مربوط به حالت‌های خواص مواد ثابت، حالت گرانیوی وابسته به دما و حالت ضریب رسانایی و گرانیوی وابسته به دما است.

۵-۱- کانتورهای دما و سرعت

نتایج به دست آمده از میکروکانال‌ها، در ادامه آورده شده است. در شکل (۷)، کانتورهای سرعت و دما برای میکروکانال با نسبت منظر ۰/۸۶۵ در عدد رینولدز ۱۰۰ آورده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود، افزایش سرعت از سمت دیواره تا مرکز کانال و خطوط هم‌دما عمود بر مرز بالایی میکروکانال، نشان‌دهنده هم‌خوانی نتایج عددی با فیزیک مساله است.

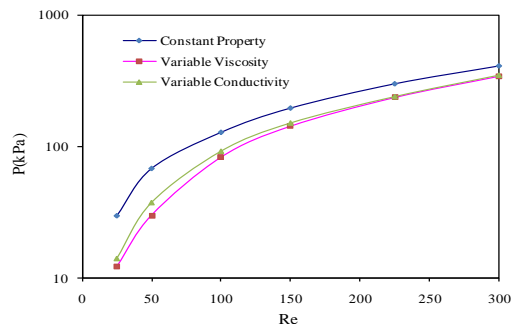


شکل (۷): (الف) کانتور سرعت میکروکانال (ب) کانتور دمای میکروکانال

۵-۲- اثر عدد رینولدز

۵-۲-۱- اثر عدد رینولدز بر افت فشار

شکل (۸)، افت فشار بر حسب تغییرات عدد رینولدز در میکروکانال با نسبت منظر ۰/۸۶۵ در اعداد رینولدز مختلف را نمایش داده است. همان‌طور که دیده می‌شود، افت فشار در میکروکانال برای حالت خواص مواد وابسته به دما (گرانیوی و ضریب رسانایی سیال عامل) به مقدار قابل توجهی کمتر از حالت خواص مواد ثابت است که علت آن کاهش گرانیوی سیال عامل با افزایش دما به دلیل جذب حرارت است. بنابراین افت فشار دوسر میکرومبدل در حالت واقعی (خواص مواد وابسته به دما) کمتر از حالت خواص مواد ثابت است.



شکل (۸): نمودار افت فشار-رینولدز در سه حالت مورد بررسی

دیده می‌شود که میزان این اختلاف با کم شدن عدد رینولدز آشکارتر می‌شود، زیرا کاهش عدد رینولدز یعنی افزایش دمای

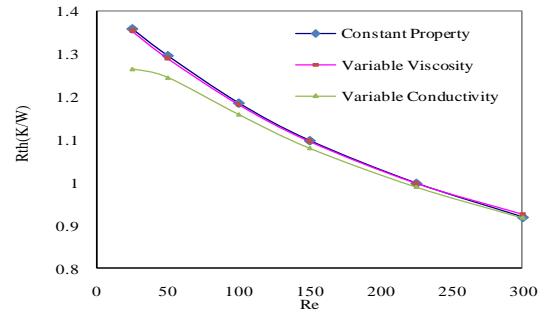
ضریب رسانایی وابسته به دما دیده نمی‌شود.

۵-۲-۲- اثر رینولدز بر مقاومت گرمایی

در طراحی میکرومبدل‌ها، مقاومت حرارتی (رابطه ۸) به عنوان معیار مقایسه استفاده می‌شود.

$$R_{th} = \frac{T_f - T_b}{q} \quad (۸)$$

در شکل (۱۱) مقدار این پارامتر بر حسب عدد رینولدز برای میکروکانال با نسبت منظر ۰/۸۶۵ در هر سه حالت مورد بررسی، آورده شده است.



شکل (۱۱): نمودار مقاومت حرارتی-رینولدز

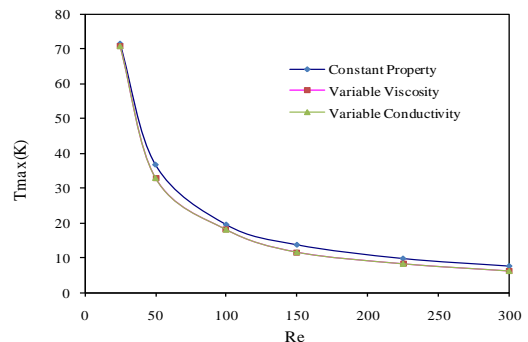
افزایش عدد رینولدز، به معنی افزایش نیروهای اینرسی در تقابل با نیروهای اینرسی است. انتقال حرارت از بدنه میکروکانال به سیال عامل از طریق ساز و کار جابه‌جایی، طبق رابطه (۹) صورت می‌گیرد:

$$q = hA\Delta T \quad (۹)$$

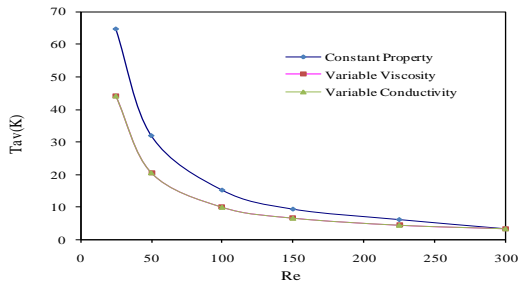
با افزایش عدد رینولدز، ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی به دلیل غالب شدن نیروهای اینرسی، زیاد می‌شود و بنابراین با افزایش عدد رینولدز، اختلاف دمای سیال و بدنه میکروکانال و در نتیجه، مقاومت گرمایی کاهش می‌یابد. توجه شود که مقدار مقاومت حرارتی در هر سه حالت مورد بررسی، تفاوت زیادی با یکدیگر ندارند.

۵-۲-۳- اثر رینولدز بر میزان افزایش دما (متوسط و بیشینه)

در شکل (۱۲)، نمودار میزان افزایش دمای سیال (متوسط و بیشینه) بر حسب عدد رینولدز به نمایش درآمده است.



(الف) افزایش دمای بیشینه



(ب) افزایش دمای متوسط

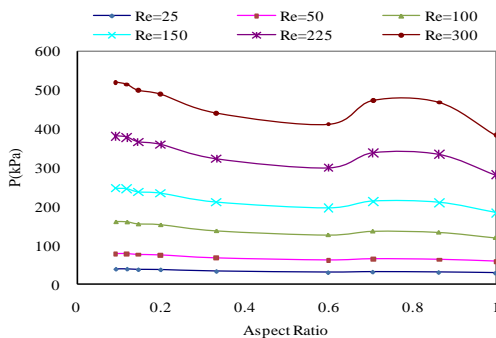
شکل (۱۲): نمودار اثر رینولدز بر میزان افزایش دمای سیال

همان‌طور که در شکل ۱۲ دیده می‌شود، با افزایش عدد رینولدز، دمای سیال عامل (متوسط و بیشینه) کم می‌شود، زیرا با افزایش عدد رینولدز، ساز و کار جابه‌جایی و در نتیجه ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی افزایش یافته، بنابراین میزان افزایش دمای متوسط و در نتیجه بیشینه دمای سیال عامل کاهش می‌یابد. گفتنی است که چون میزان شار حرارتی از کف و نیز دبی سیال عامل در هر سه حالت ثابت است، بنابراین تغییر خواص مواد با دما، اثر قابل توجهی بر میزان افزایش دمای متوسط سیال عامل ندارد.

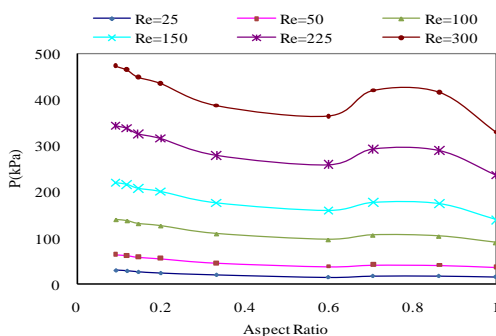
۵-۳-۱- اثر نسبت منظر

۵-۳-۱-۱- اثر نسبت منظر بر افت فشار

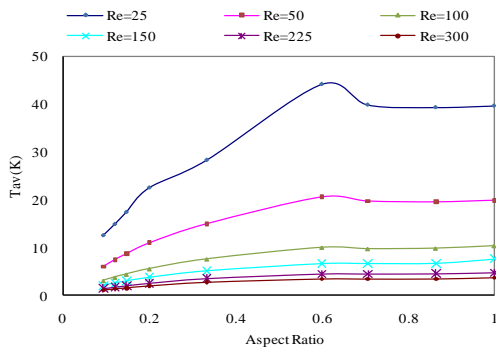
در شکل (۱۳) اثر نسبت منظر بر افت فشار به نمایش درآمده است. دیده می‌شود که با کاهش نسبت منظر افت فشار افزایش می‌یابد.



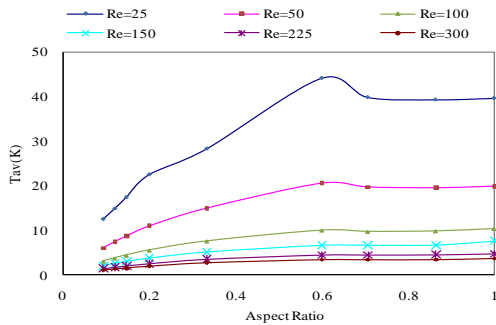
(الف) خواص مواد ثابت



(ب) خواص مواد وابسته به دما

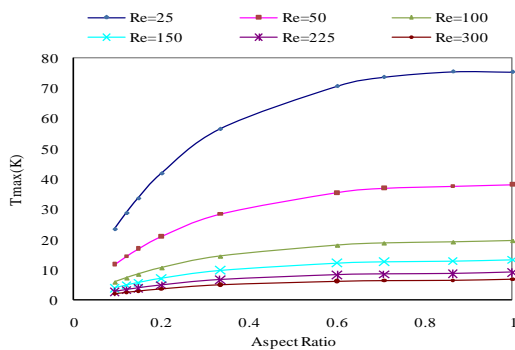


الف) خواص مواد ثابت

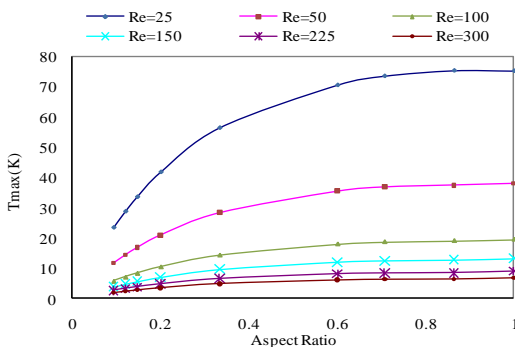


ب) خواص مواد وابسته به دما

شکل (۱۵): نمودار اثر نسبت منظر بر افزایش دمای متوسط سیال در هر دو شکل، افزایش نسبت منظر، باعث افزایش میزان افزایش دمای سیال عامل (متوسط و بیشینه) می‌شود، زیرا افزایش نسبت منظر سبب کاهش سطح مقطع و در نتیجه کاهش دبی سیال می‌شود.



الف) خواص مواد ثابت



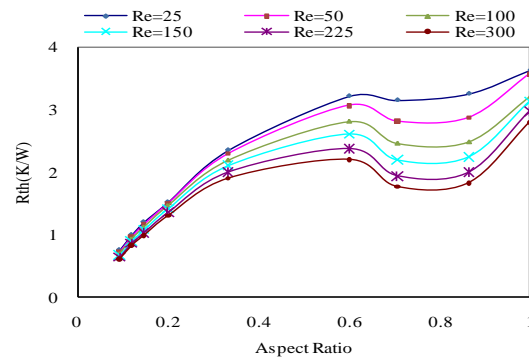
ب) خواص مواد متغیر

شکل (۱۶): نمودار اثر نسبت منظر بر افزایش دمای بیشینه سیال

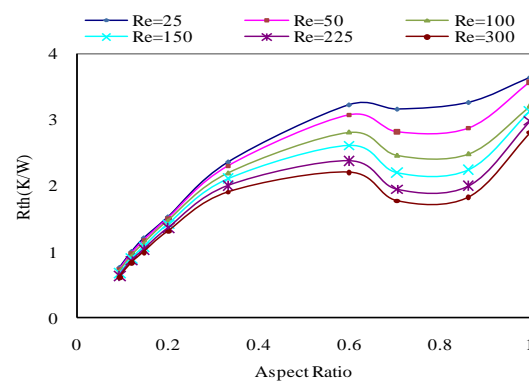
شکل (۱۳): نمودار افت فشار-رینولدز در نسبت منظرهای مختلف با نزدیک شدن دو جداره به یکدیگر (کاهش نسبت منظر) گرادیان سرعت و در نتیجه تنش برشی افزایش می‌یابد، بنابراین با کاهش نسبت منظر، مقدار افت فشار و در نتیجه، ضریب اصطکاک و عدد پوآزو افزایش می‌یابد. همانطور که قبلاً گفته شد با افزایش عدد رینولدز، این پارامترها افزایش می‌یابند که مقادیر آن‌ها در حالت خواص مواد وابسته به دما کمتر از حالت خواص مواد ثابت است.

۵-۳-۲- اثر نسبت منظر بر مقاومت گرمایی

در شکل (۱۴)، اثر نسبت منظر بر مقاومت گرمایی به نمایش درآمده است. دیده می‌شود که با کاهش نسبت منظر، مقاومت گرمایی کاهش می‌یابد، زیرا با کاهش نسبت منظر، سطح انتقال حرارت افزایش و بنابراین اختلاف دمای بدنه و سیال و در نتیجه مقاومت حرارتی کاهش می‌یابد.



الف) خواص مواد ثابت



ب) خواص مواد وابسته به دما

شکل (۱۴): نمودار مقاومت گرمایی - نسبت منظر در رینولدزهای مختلف

۵-۳-۳- اثر نسبت منظر بر میزان افزایش دمای

سیال عامل

اثر نسبت منظر بر میزان افزایش دمای سیال عامل (متوسط و بیشینه) به ترتیب در شکل‌های (۱۵) و (۱۶) آمده است.

۵-۴- معیار مقایسه میکرومبدل حرارتی

به طور معمول برای مقایسه عملکرد حرارتی میکرومبدل از نرخ انتقال حرارت ویژه، به صورت نسبت میزان حرارت منتقل شده بر واحد درجه حرارت استفاده می‌شود، طبق رابطه (۱۰):

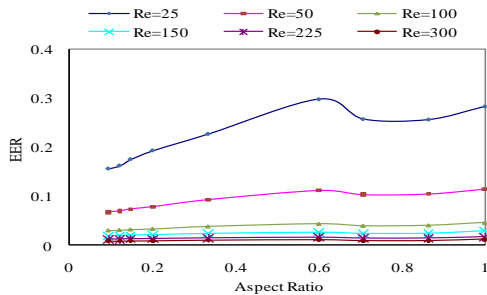
$$\dot{q} = \frac{q/\dot{m}}{T_{av}} \quad (10)$$

در این صورت نمودار نرخ انتقال حرارت ویژه بر حسب نسبت منظر در این تحقیق، به صورت شکل (۱۷) قابل نمایش است.

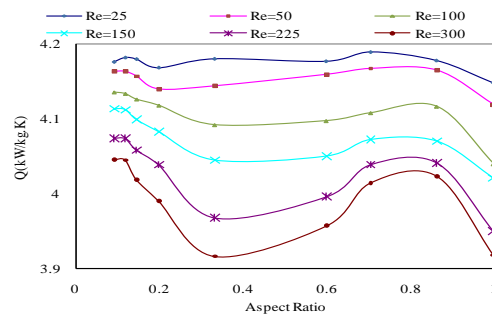
هدف نهایی از سامانه خنک کننده، دفع حرارت است؛ معیار پیشنهادی را به صورت نسبت انتقال حرارت ویژه به توان مصرفی پمپ ویژه به صورت رابطه (۱۲) تعریف می‌کنیم:

$$EER = \frac{\dot{q}}{\Delta P} \quad (12)$$

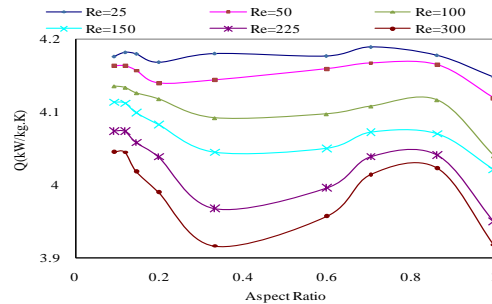
این معیار را نسبت بازده انرژی^۲ می‌نامیم. در شکل (۱۸)، نمودار تغییرات این معیار بر حسب عدد رینولدز نمایش داده شده و دیده می‌شود که کاهش رینولدز باعث افزایش نسبت بازده انرژی شده است.



شکل (۱۸): نمودار نسبت بازده انرژی- نسبت منظر در رینولدزهای مختلف



(الف) خواص مواد ثابت



(ب) خواص مواد وابسته به دما

شکل (۱۷): نمودار انتقال حرارت ویژه-نسبت منظر در رینولدزهای مختلف

در شکل (۱۷) دیده می‌شود که در هر رینولدز معین، کاهش نسبت منظر با افزایش نرخ انتقال حرارت ویژه همراه است؛ در واقع با افزایش سطح انتقال حرارت در اثر کاهش نسبت منظر، این مطلب مورد انتظار است، اما در این معیار افزایش افت فشار دوسر میکرومبدل از نظر دور مانده است.

همان‌طور که در نتایج بالا دیدیم، با افزایش عدد رینولدز میزان افزایش دمای متوسط سیال عامل، کاهش و میزان افت فشار افزایش می‌یابد که اثر اول مطلوب ولی ازدیاد افت فشار نامطلوب است، بنابراین ناچار به انتخاب مقدار بهینه عدد رینولدز و نسبت منظر هستیم. برای این کار با توجه به قانون اول ترمودینامیک، میزان توان مصرفی برای پمپ کردن سیال درون میکروکانال طبق رابطه (۱۱)، خواهد بود:

$$w = \dot{v}\Delta P \quad (11)$$

۶- نتیجه‌گیری

در این بخش اهم دستاوردهای تحقیق، ارائه می‌شود. با توجه به نتایج به دست آمده، مشاهده می‌شود که اثر تغییر گرانروی با دما بر پارامترهای جریان (افت فشار، عدد پوآز و، ضریب اصطکاک و ...) بسیار زیاد است و ثابت در نظر گرفتن آن خطای زیادی ایجاد می‌کند.

این درحالی است که این موضوع اثر چشمگیری بر میزان افزایش دمای سیال عامل (متوسط و بیشینه) ندارد؛ هرچند که اثر آن بر میزان افزایش دمای بیشینه سیال عامل به دلیل تغییر بیشینه سرعت در حالت خواص مواد وابسته به دما نسبت به حالت خواص مواد ثابت ملموس‌تر است.

در حالت ضریب رسانایی متغیر، پارامترهای تاثیرگذار در میکرومبدل‌ها در مقایسه با حالت ضریب رسانایی ثابت، تفاوت بسیار کمی دارند، زیرا در این محدوده از اعداد رینولدز، ساز و کار جابه‌جایی بر انتقال حرارت حاکم است؛ در صورتی که اعداد رینولدز خیلی کوچک شوند با توجه به افزایش سهم رسانایی در ساز و کار انتقال حرارت در تقابل با جابه‌جایی، اختلاف بین این دو حالت بارزتر می‌شود.

با دقت در شکل ۱۸ مشاهده می‌گردد که نقطه پیک نمودار نسبت بازده انرژی-نسبت منظر یعنی میکروکانال با نسبت منظر ۰/۶ بهترین نقطه طراحی میکرو مبدل است. بنابراین میکرومبدل با نسبت منظر ۰/۶ در رینولدز ۲۵ بهترین

۷- فهرست علائم و نشانه

ΔP	اختلاف فشار	D_h	قطر هیدرولیکی میکروکانال
f	ضریب اصطکاک	L	طول میکروکانال
Re	عدد رینولدز	n	تعداد میکروکانالها
Po	عدد پوآزو	\dot{m}	دبی جرمی
ΔT	اختلاف دما	\dot{V}	دبی حجمی
q''	شار حرارتی	ρ	چگالی
\dot{q}	شار حرارتی ویژه	μ	گرانروی
q	میزان انتقال حرارت	C_p	ظرفیت گرمایی ویژه
EER	نسبت بازده انرژی	k	ضریب رسانایی گرمایی
w	کار پمپ	P	فشار

۸- فهرست مراجع

- J. Li , G.P. Peterson, 3-Dimensional numerical optimization of silicon-based high performance parallel microchannel heat sink with liquid flow, International Journal of Heat and Fluid Flow 50 (2007) 2895–2904. [۶]
- www.intel.com [۷]
- Intel® Pentium® 4 Processor on 90nm Process in the 775-land LGA Package for Embedded Applications Thermal Design Guide (302822). [۸]
- Y.Chen, Three dimensional numerical simulation of heat and fluid flow in noncircular microchannel heat sinks, International Communications in Heat and Mass Transfer, 2009. [۹]
- W.M Rohsenow, J.PHartnett, Y.I Cho, HANDBOOK OF HEAT TRANSFER,1998, Third Edition. [۱۰]
- J. Judy, D. Maynes, B.W. Webb, Characterization of frictional pressure drop for liquid flows through microchannels, International Journal of Heat and Mass Transfer 45 (2002) 3477–3489. [۱۱]
- S. Wongwises, Critical review of heat transfer characteristics of nanofluids, Renewable and Sustainable Energy Reviews 11 (2007) 512–523 [۱]
- Reiyu Chein, Experimental microchannel heat sink performance studies using nanofluids, International Journal of Thermal Sciences 46 (2007) 57–66 [۲]
- J. Koo, Laminar nanofluid flow in microheat-sinks, International Journal of Heat and Mass Transfer 48 (2005) 2652–2661. [۳]
- Jaeseon Lee, Assessment of the effectiveness of nanofluids for single-phase and two-phase heat transfer in microchannels, International Journal of Heat and Mass Transfer 50 (2007) 452–463. [۴]
- Poh-Seng Lee, Suresh V. Garimella, Thermally developing flow and heat transfer in rectangular microchannels of different aspect ratios, International Journal of Heat and mass transfer 49 (2006) 3060–3073. [۵]

۹- زیرنویس ها

- ^۱ Property Constant
^۲ Variable Viscosity
^۳ Variable Conductivity
^۴ EER(Energy Efficiency Ratio)

