اثر نسبت منظر و خواص وابسته به دماي سيال بر پارامترهاي موثر در ميكرومبدل‌هاي حرارتي

محمدمهدي درويشي[i] *؛ حسن خالقي[ii]؛ مهرداد كوكبي[iii]

چكيده:

در اين تحقيق، ميكرومبدل حرارتي مستطيلي با قطر هيدروليكي ثابت و نسبت منظرهاي مختلف در نظر گرفته شده است. افت فشار و پارامترهاي حرارتي ميكرومبدل در جريان آرام، در اعداد رينولدز مختلف (۲۵، ۵۰ ، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۲۵ و ۳۰۰) با شار حرارتي ثابت برابر با ۰/۳ مگاوات تحليل و مقايسه شد. هم‌چنين اثر خواص وابسته به دماي سيال(گرانروي، ضريب رسانايي) بر افت فشار، ميزان افزايش دماي متوسط و بيشينه سيال عامل و مقاومت گرمايي مبدل مطالعه شده است. در پايان معيار جديدي براساس توان مصرفي پمپ كردن سيال عامل و ميزان گرماي منتقل شده بر واحد اختلاف دما به عنوان ابزاري براي مقايسه كارايي ميكرومبدل‌هاي حرارتي پيشنهاد شده است.

كلمات كليدي : ميكرومبدل، عدد رينولدز، نسبت منظر، شار حرارتي، قطر هيدروليكي.

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/m^2 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.

تاريخ دريافت مقاله:۱۳۸٦/۳/۲۱
تاريخ اصلاحات مقاله: ۱۳۸۸/۷/۱٤
[i] * نويسنده مسئول و دكتري مكانيک از دانشگاه تربيت مدرس mohammadmehdidarvishi@yahoo.com
[ii] دانشيار دانشگاه تربيت مدرس khaleghi@modares.ac.ir
[iii] دانشيار دانشگاه تربيت مدرس mehrir@modares.ac.ir

۱- مقدمه

با پیشرفت علم و فناوري، توجه بيشتري به ساخت ادوات و ابزار در ابعاد ميكرو و نانو به دليل كاهش اتلاف انرژي و افزايش بازده، شده است. با كوچك شدن ابعاد، دفع حرارت همچنان به عنوان مساله‌اي اساسي است و بديهي است كه راديياتورها و مبدل‌هاي هواخنك با ابعاد ماكرو در تاسيسات ميكرو كارايي ندارند، زيرا شار حرارتي در اين ابزار در مقياس مگاوات بر مترمربع بوده كه خارج از محدوده كارايي ماكرومبدل‌هاي هواخنك است.

درنتيجه، طراحي، تحليل و استفاده از ميكرومبدل‌ها از موضوعات جذاب تحقيقاتي روز است.

با توجه به دشواري و هزينه بالاي آزمون‌هاي تجربي در ابعاد ميكرو، تحليل عددي مي‌تواند به عنوان روشي مفيد و نيرومند در اين زمينه باشد. تاكنون تلاش‌هاي زيادي در زمينه بررسي جريان سيال و انتقال حرارت در ميكروكانال‌هاي مستطيلي، ذوزنقه‌اي، دايره‌اي و مثلثي شده است[۱].

شايد بتوان مهم‌ترين تحقيقات انجام شده در زمينه جريان سيال درون ميكروكانال را به سه گروه تقسيم نمود كه گروه-هاي اول و دوم، بيش‌تر به چگونگي اندازه‌گيري ميزان انحراف رفتار سيال در ميكروكانال از رفتار رايج سيال در ماكروكانال-ها پرداخته‌اند ولي در گروه سوم اختلافي بين رفتار سيال در ميكرو و ماكروكانال‌ها گزارش نشده است.

پنگ و همكاران ۱۹۹۴، پنگ و پترسون۱۹۹۶، خو و همكاران ۱۹۹۹ افراد شاخص گروه اول هستند كه به مقايسه ضريب اصطكاك و گراديان فشار سيال در ميكرو و ماكروكانال‌ها پرداخته‌اند و ناپايداري‌هاي مكرر در نتايج تحقيقات خود گزارش نموده‌اند[۱].

گروه دوم، فالر و همكاران ۱۹۹۱، يوربانك و همكاران ۱۹۹۳، مالا و لي ۱۹۹۹، پاپوتسكي و همكاران ۱۹۹۹، كيو۲۰۰۰ و رن۲۰۰۱ هستند كه بيش‌تر تفاوت‌هاي رفتاري سيال در ميكرو و ماكروكانال‌ها را ناشي از پديده‌هاي سطحي از قبيل صافي سطح، نيروهاي الكتروسينتيك، اثرات دمايي و ميكروگردابه‌هاي نزديك ديواره دانسته‌اند. نتايج آنان بيانگر اين واقعيت است كه ضريب اصطكاك و گراديان فشار در ميكروكانال‌ها به علت پديده‌هاي سطحي، بيش از مقدار آن در ماكروكانال‌ها است[۱].

محققان معروف گروه سوم، تاكرمن و پيزه۱۹۸۱، خو و همكاران ۲۰۰۰، شارپ ۲۰۰۱ و جودي و همكاران ۲۰۰۲ هستند كه تحقيقاتشان پيرامون ضريب اصطكاك و گراديان فشار، نشان‌دهنده اين مطلب است كه مقادير اين پارامترها در ميكرو و ماكروكانال‌ها تفاوت چنداني با يكديگر ندارند و وجود اختلاف در نتايج گزارش شده به وسيله دو گروه اول و دوم را به دليل خطاهاي اندازه‌گيري، تعيين تقريبي ابعاد كانال و اثرات ورودي دانسته‌اند[۱].

در سال‌هاي اخير، تحقيقات گسترده‌اي پيرامون جريان سيال و انتقال حرارت در ميكروكانال‌ها با مقاطع مختلف انجام شده است كه همگي دلالت بر صحت نتايج گروه دوم دارد، اهم اين تحقيقات به شرح زير است:

چين به بررسي تجربي انتقال حرارت و جريان نانوسيال آب-اكسيد مس در ميكروكانال ذوزنقه‌اي سيليكوني با كسر حجمي بسيار پايين (۰,٤-۰,۲ درصد) پرداخته است. افزايش نرخ انتقال حرارت و افت فشار از نتايج گزارش شده به وسيله اين محقق است[۲].

كو در سال ۲۰۰۵ به بررسي عددي انتقال حرارت و جريان نانوسيال آب-اكسيد مس در ميكروكانال مستطيلي با كسر حجمي متفاوت پرداخته است. او افزايش نرخ انتقال حرارت و افزايش افت فشار را گزارش كرده است[۳].

لي در سال ۲۰۰٦، انتقال حرارت جابه‌جايي جريان آرام آب -اكسيد آلومينيوم ۱ درصد و ۲ درصد را در لوله با مقطع دايروي به قطر ۰/۵ ميلي‌متر و نيز در ميكروكانال مستطيلي مطالعه نموده است. موضوعات مورد بررسي او افت فشار، ضريب انتقال حرارت و پديده جوشش سيال بوده است[٤].

حل تحليلي ميكروكانال‌هاي مستطيلي با نسبت منظرهاي مختلف، موضوع تحقيق لي و گاريمالا در سال ۲۰۰٦ بوده است. در اين كار خواص مواد سيال ثابت فرض شده است[۵].

لي و پترسون در سال ۲۰۰۷ به حل عددي سه بعدي ميكرومبدل حرارتي مستطيلي پرداخته‌اند و در نتايج خود اختلاف ۲۰ درصدي با نتايج تجربي پيزه و تاكرمن را بيان كرده‌اند[٦].

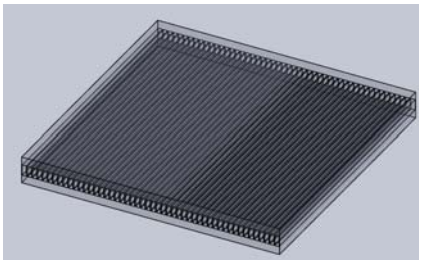
به طور كلي در تحقيقات انجام شده تاكنون، تاثير هم‌زمان تغيير نسبت منظر و خواص مواد متغير با دما بر پارامترهاي جرياني و حرارتي ميكرومبدل حرارتي مورد بررسي قرار نگرفته كه موضوع تحقيق حاضر است.

در اين تحقيق با تغيير نسبت منظر در نه سطح در حالت خواص مواد متغير با دما (در مقايسه با خواص مواد ثابت) در اعداد رينولدز مختلف در رژيم آرام (شش سطح)، چگونگي تغييرات افت فشار، مقاومت گرمايي و ميزان افزايش دماي سيال عامل (متوسط و بيشينه) مطالعه شده است.

۲- صورت مساله و فرضیات

ريز پردازنده‌هاي رايانه‌هاي امروزي با بسامد كاري ۲/۴ تا ۴ گيگاهرتز به طور متوسط ۷۰ تا ۱۵۰ وات اتلاف حرارت دارند[۸]. در اين تحقيق، ريزپردازنده LGA775 P4 Intel انتخاب شده است[۹].

با توجه به ابعاد اين ريزپردازنده، براي دفع حرارت توليدي آن، ميكرومبدلي با سطح مقطع مستطيلي به ابعاد ۲۰×۲۰×۰,۵ ميلي‌متر با قطر هيدروليكي ۷۵ ميكرون كه در شكل (۱) نشان داده شده، در نظر گرفته شده است.



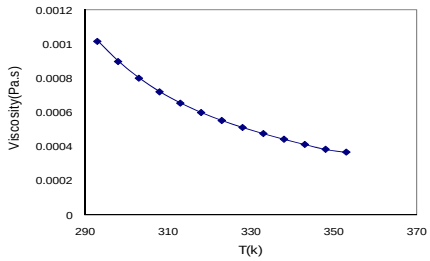
شكل (۱): نمايي از ميكرومبدل طراحي شده

فرضيات اين تحقيق عبارتند از:

- دماي آب ورودي برابر با ۲۹۳ درجه كلوين است.
- حداكثر دماي مجاز در ميكروكانال، براي جلوگيري از دوفازي شدن سيال به‌كار برده شده برابر با ۳۷۲ درجه كلوين است.
- رژيم جريان آرام در شش سطح از اعداد رينولدز (۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۲۵ و ۳۰۰) انتخاب شده است.
- نسبت منظرهاي ميكروكانال (نسبت عرض به طول) در نه سطح (در محدوده ۰/۱ تا۱) انتخاب شده است.
- چگالي و ظرفيت گرمايي ويژه سيال عامل ثابت فرض شده است، زيرا تغييرات چگالي سيال عامل با دما در محدوده دماي كاري (از ۲۹۳ تا ۳۷۲ درجه كلوين) حدود ۲/۳ درصد و تغييرات ظرفيت گرمايي ويژه حدود ۰/۲ درصد است كه اثر چنداني بر نتايج ندارند[۱۰].
- گرانروي سيال عامل نسبت به دما متغير انتخاب شده است، زيرا گرانروي سيال در محدوده دماي كاري ميكرومبدل، در حدود ۶۰ درصد تغييرات نشان مي‌دهد كه ثابت فرض كردن آن، خطاي بزرگي در نتايج ايجاد مي‌كند.

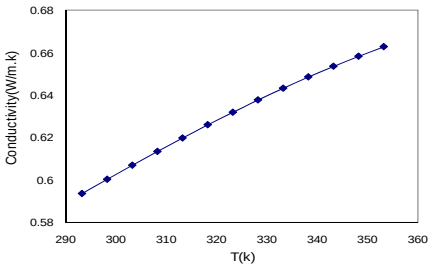
در شكل (۲) نمودار تغييرات گرانروي با دما آورده شده است كه از معادله درجه دوم درون‌يابي شده (۱) با حداكثر خطاي ۰/۹ درصد پيروي مي‌كند[۱۰].

$$\mu(T) = 1.532244\ e-7T^2 - 1.094678\ e-4T + 1.989050\ e-2 \qquad (۱)$$



شكل (۲): نمودار تغييرات گرانروي آب با دما [۱۰]

- ضريب رسانايي گرمايي سيال عامل، تابع دماست. ضريب رسانايي گرمايي سيال عامل در بازه دماي كاري، حدود ۱۵ درصد تغييرات نشان مي‌دهد كه ثابت فرض كردن آن نيز خطاي قابل توجهي در نتايج ايجاد مي‌كند.



شكل (۳): نمودار ضريب رسانايي آب با دما [۱۰]

معادله درجه دوم درون‌يابي شده براي آن با حداكثر خطاي ۰/۱ درصد، عبارت است از:

$$k(T) = 4.161838e-7T^2 - 3.846472e-4T + 1.7656953e-2 \qquad (۲)$$

۳- معادلات حاكم

معادلات حاكم بر جريان سيال و انتقال حرارت در ميكروكانال، معادله پيوستگي، بقاي اندازه حركت (ناوير-استوكس) و انرژي بوده كه به ترتيب در روابط (۳) ، (۴) و (۵) آمده است[۳]:

پيوستگي:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial (\rho u_i)}{\partial x_i} = 0 \qquad (۳)$$

اندازه حركت:

$$\frac{\partial (\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial (\rho u_i u_j)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\mu \frac{\partial u_i}{\partial x_j}\right) - \frac{\partial p}{\partial x_i} + s_i \qquad (۴)$$

انرژي:

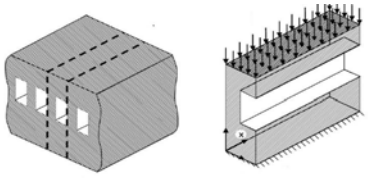
$$\frac{\partial (\rho C_p T)}{\partial t} + \frac{\partial (\rho C_p u_j T)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\mu \frac{\partial T}{\partial x_j}\right) + s \qquad (۵)$$

معادلات عنوان شده، به روش حجم محدود بر روي شبكه جابه‌جا شده، منفصل و با استفاده از الگوريتم سيمپل حل شده‌اند. در انفصال معادلات از روش انتگرال‌گيري پسرو مرتبه

دوم براي جمله‌هاي جابه‌جايي و از روش انتگرال‌گيري مركزي مرتبه دوم براي جمله‌هاي نفوذ استفاده شده است.

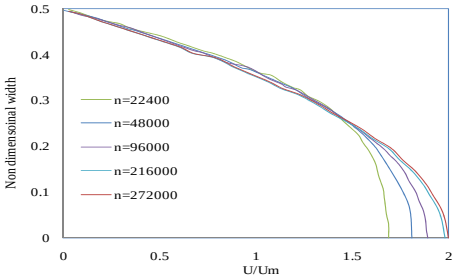
۴- تحليل عددي مساله

در اين تحقيق، ميكرومبدل‌هاي مختلف با مقطع مستطيلي با نسبت منظرهاي مختلف مش‌بندي شده و نتايج تحليل‌هاي عددي انجام گرفته به صورت مستقل از شبكه استخراج شده است. در شكل (۴)، نمونه ميدان هندسي استفاده شده در تحليل عددي آورده شده است.



شكل (۴): نمايي از ميدان هندسي حل شده

در اين تحقيق كدي به زبان ويژوال فرترن نوشته شده كه محاسبات باقي‌مانده جرمي در آن با دقت ۰/۰۰۱ انجام شده است. در شكل (۵)، نمودار استقلال از شبكه براي پروفيل سرعت در ميكروكانال مستطيلي با نسبت منظر ۰/۸۶۵ در رينولدز ۱۰۰ به نمايش در آمده است.



شكل (۵): نمودار استقلال از شبكه براي پروفيل سرعت

ميكروكانال با تعداد نقاط شبكه ۲۲۴۰۰، ۴۸۰۰۰، ۹۶۰۰۰، ۲۱۶۰۰۰ و ۲۷۲۰۰۰ به صورت عددي حل شده كه با تغيير تعداد نقاط شبكه از ۲۱۶۰۰۰ به ۲۷۲۰۰۰ فقط تغييرات ۰/۰۵ درصد در حداكثر مقدار سرعت ديده شده است، بنابراين تحليل‌هاي عددي، بر پايه ۲۷۲۰۰۰ نقطه بنا نهاده شده است.

۴-۱- شرايط مرزي

در مرز ورودي ميكروكانال از شرط مرزي دبي جرمي و دما ثابت، در مرز خروجي آن از شرط جريان توسعه يافته ($\frac{\partial}{\partial x}=0$) و در كف ميكروكانال از شرط مرزي شار حرارتي ثابت استفاده شده است. در ديواره بالايي ميكروكانال از شرط مرزي عايق (با توجه به ناچيز بودن انتقال حرارت جابه‌جايي آزاد نسبت به شار حرارتي كف، از آن صرف‌نظر شده است) و در ديواره‌هاي جانبي از شرط مرزي تقارن استفاده شده است.

$\dot{m}=8.11e-6 \quad kg/Sec$ @ Channel inlet

$T=293 \quad K$

$\frac{\partial}{\partial x}=0$ @ Channel outlet

$\dot{q}=۳e۵ \quad \frac{W}{m^۲}$ @ Channel bottom

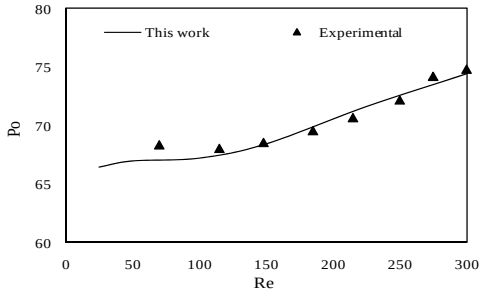
$\dot{q}=۰ \quad \frac{W}{m^۲}$ @ Top wall

$\frac{\partial}{\partial y}=0$ @ Side wall

۴-۲- الگوريتم حل و اعتباريابي

در اين تحقيق كد سه‌بعدي نانوسيال حجم محدود بر پايه معادلات ناوير-استوكس توليد شده است كه روابط (۱) و (۲) به عنوان معادله خواص مواد در آن به كار گرفته شده است. حل دستگاه معادلات غيرخطي نيز با استفاده از روش خطي‌سازي نيوتن و با استفاده از روشي مبني بر الگوريتم توماس انجام شده است[۳].

قبل از تحليل و بررسي نتايج حل، بايد از درستي آنها اطمينان حاصل نمود، بنابراين ميزان هم‌خواني نتايج عددي اين تحقيق با نتايج تحليل عددي جودي و همكاران در شكل (۶) مقايسه شده است [۱۱].



شكل(۶): مقايسه ضريب اصطكاك تجربي [۱۱] در مقايسه با نتايج عددي اين تحقيق

همان‌طور كه ديده مي‌شود، افت فشار در ميكروكانال با نتيجه عددي پيش‌بيني شده هم‌خواني دارد.

۵- نتايج و بحث

در اين بخش، پس از اثبات هم‌خواني نتايج به‌دست آمده از حل عددي با فيزيک مساله، با ارائه كانتورهاي دما و سرعت در يک ميكروكانال نمونه، نتايج مربوط به اثر عدد رينولدز بر افت فشار، مقاومت گرمايي و دماي سيال عامل(متوسط و بيشينه) كه آثار بارزتري دارد، ارائه مي‌شود، سپس اثر نسبت منظر بر

همین پارامترها مورد بحث و بررسي قرار مي‌گيرد. در اين نمودارها برچسب خواص مواد ثابت[1] ، گرانروي وابسته به دما[2] ، ضريب رسانايي وابسته به دما[3] به ترتيب مربوط به حالت‌هاي خواص مواد ثابت، حالت گرانروي وابسته به دما و حالت ضريب رسانايي و گرانروي وابسته به دما است.

۵-۱- كانتور هاي دما و سرعت

نتايج به‌دست آمده از ميكروكانال‌ها، در ادامه آورده شده است. در شكل (۷)، كانتورهاي سرعت و دما براي ميكروكانال با نسبت منظر ۰/۸۶۵ در عدد رينولدز ۱۰۰ آورده شده است. همان‌طور كه ديده مي‌شود، افزايش سرعت از سمت ديواره تا مركز كانال و خطوط هم‌دما عمود بر مرز بالايي ميكروكانال، نشان‌دهنده هم‌خواني نتايج عددي با فيزيک مساله است.

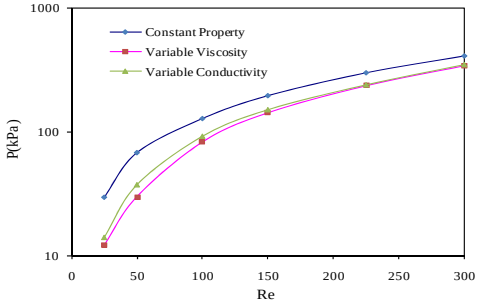
(ب) (الف)

شكل (۷): (الف) كانتور سرعت ميكروكانال (ب) كانتور دماي ميكروكانال

۵-۲- اثر عد د رينولد ز

۵-۲-۱-اثر عد د رينولد ز بر افت فشار

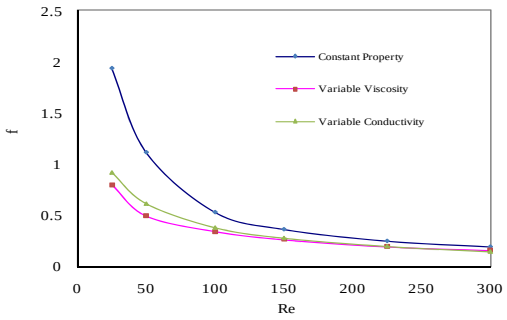
شكل (۸)، افت فشار بر حسب تغييرات عدد رينولدز در ميكروكانال با نسبت منظر ۰/۸۶۵ در اعداد رينولدز مختلف را نمايش داده است. همان‌طور كه ديده مي‌شود، افت فشار در ميكروكانال براي حالت خواص مواد وابسته به دما (گرانروي و ضريب رسانايي سيال عامل) به مقدار قابل توجهي كمتر از حالت خواص مواد ثابت است كه علت آن كاهش گرانروي سيال عامل با افزايش دما به دليل جذب حرارت است. بنابراين افت فشار دوسر ميكرومبدل در حالت واقعي (خواص مواد وابسته به دما) كمتر از حالت خواص مواد ثابت است.



شكل (۸): نمودار افت فشار-رينولدز در سه حالت مورد بررسي

ديده مي‌شود كه ميزان اين اختلاف با كم شدن عدد رينولدز آشكارتر مي‌شود، زيرا كاهش عدد رينولدز يعني افزايش دماي سيال و در نتيجه كاهش گرانروي آن در طول ميكروكانال كه خود باعث افزايش اختلاف افت فشار مي‌شود.

براي مقايسه بهتر نتايج در سه حالت گفته شده، در شكل ۹ نمودار ضريب اصطكاک بر حسب عدد رينولدز آورده شده است.



شكل (۹): نمودار ضريب اصطكاک-رينولدز

ضريب اصطكاک از رابطه (۶) محاسبه شده است.

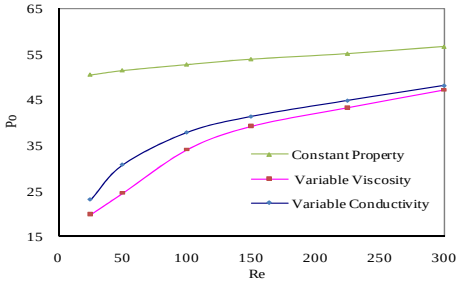
$$f = \frac{8\Delta P}{\rho u_m^2 \, L/D} \qquad (۶)$$

همان‌طور كه از شكل (۹) مشخص است، ضريب اصطكاک در حالت خواص مواد وابسته به دما، كمتر از حالت خواص مواد ثابت است.

يكي ديگر از معيارهاي مقايسه هيدروديناميكي ميكروكانال-ها، عدد پوآزو است. از نظريه ماكروكانال‌ها براي جريان آرام در لوله‌ها داريم:

$$Po = f.\mathrm{Re} = 64 \qquad (۷)$$

مقدار اين عدد از ۳۶ تا ۷۲ براي كانال مستطيلي در نسبت منظرهاي بين صفر تا يک تغيير مي‌كند[۱۱]. در شكل (۱۰)، مقدار عدد پوآزو بر حسب عدد رينولدز در هر سه حالت مورد بررسي، ارائه شده است.



شكل (۱۰): نمودار پوآزو -رينولدز

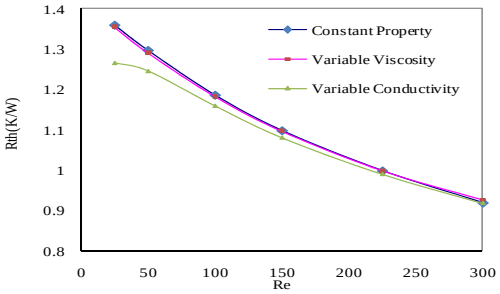
از آنجا كه ميزان افت فشار در اعداد رينولدز مشابه در حالت خواص مواد وابسته به دما كمتر از حالت خواص مواد ثابت است، بنابراين عدد پوآزو در مقايسه با حالت خواص مواد وابسته به دما به طور قابل توجهي كمتر از حالت خواص مواد ثابت است ولي تفاوت چنداني در حالت ضريب رسانايي ثابت و ضريب رسانايي وابسته به دما ديده نمي‌شود.

۵-۲-۲-اثر رینولدز بر مقاومت گرمایي

در طراحي ميكرومبدل‌ها، مقاومت حرارتي (رابطه ۸) به عنوان معيار مقايسه استفاده مي‌شود.

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

در شكل (۱۱) مقدار اين پارامتر بر حسب عدد رينولدز براي ميكروكانال با نسبت منظر ۰/۸۶۵ در هر سه حالت مورد بررسي، آورده شده است.



شكل (۱۱): نمودار مقاومت حرارتي-رينولدز

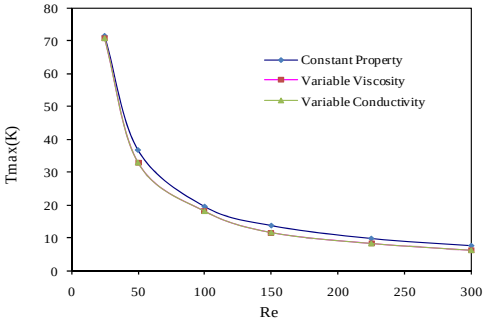
افزايش عدد رينولدز، به معني افزايش نيروهاي اينرسي در تقابل با نيروهاي اينرسي است. انتقال حرارت از بدنه ميكروكانال به سيال عامل از طريق ساز و كار جابه‌جايي، طبق رابطه (۹) صورت مي‌گيرد:

$$q = hA\Delta T \qquad (۹)$$

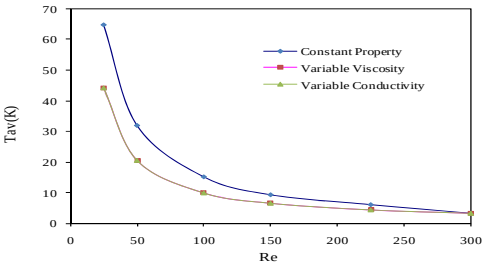
با افزايش عدد رينولدز، ضريب انتقال حرارت جابه‌جايي به دليل غالب شدن نيروهاي اينرسي، زياد مي‌شود و بنابراين با افزايش عدد رينولدز، اختلاف دماي سيال و بدنه ميكروكانال و در نتيجه، مقاومت گرمايي كاهش مي‌يابد. توجه شود كه مقدار مقاومت حرارتي در هر سه حالت مورد بررسي، تفاوت زيادي با يكديگر ندارند.

۵-۲-۳-اثر رينولدز بر ميزان افزايش دما (متوسط و بيشينه)

در شكل (۱۲)، نمودار ميزان افزايش دماي سيال (متوسط و بيشينه) بر حسب عدد رينولدز به نمايش درآمده است.



(الف) افزايش دماي بيشينه



(ب) افزايش دماي متوسط

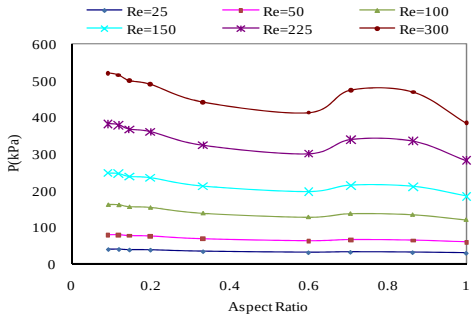
شكل (۱۲): نمودار اثر رينولدز بر ميزان افزايش دماي سيال

همان‌طور كه در شكل ۱۲ ديده مي شود، با افزايش عدد رينولدز، دماي سيال عامل (متوسط و بيشينه) كم مي‌شود، زيرا با افزايش عدد رينولدز، ساز و كار جابه‌جايي و در نتيجه ضريب انتقال حرارت جابه‌جايي افزايش يافته، بنابراين ميزان افزايش دماي متوسط و درنتيجه بيشينه دماي سيال عامل كاهش مي‌يابد. گفتني است كه چون ميزان شار حرارتي از كف و نيز دبي سيال عامل در هر سه حالت ثابت است، بنابراين تغيير خواص مواد با دما، اثر قابل توجهي بر ميزان افزايش دماي متوسط سيال عامل ندارد.

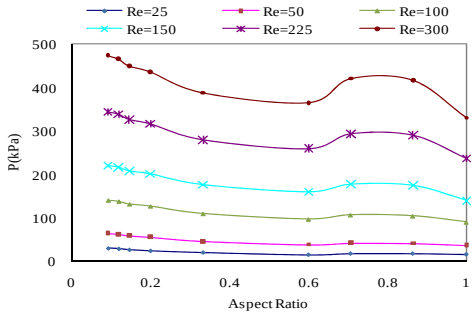
۵-۳- اثر نسبت منظر

۵-۳-۱-اثر نسبت منظر بر افت فشار

در شكل (۱۳) اثر نسبت منظر بر افت فشار به نمايش درآمده است. ديده مي‌شود كه با كاهش نسبت منظر افت فشار افزايش مي‌يابد.



(الف) خواص مواد ثابت



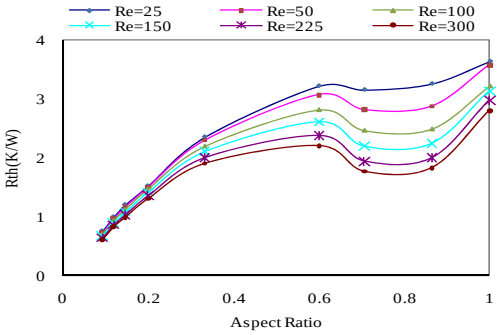
(ب) خواص مواد وابسته به دما

شكل (۱۳): نمودار افت فشار-رينولدز در نسبت منظرهاي مختلف

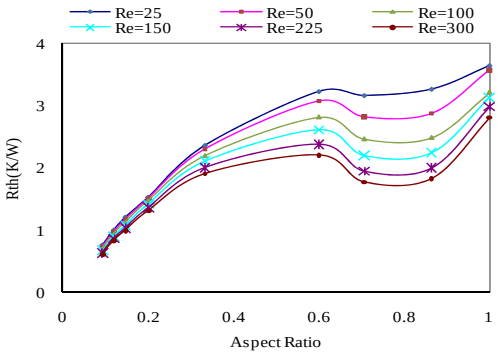
با نزديك شدن دو جداره به يكديگر (كاهش نسبت منظر) گراديان سرعت و در نتيجه تنش برشي افزايش مي‌يابد، بنابراين با كاهش نسبت منظر، مقدار افت فشار و درنتيجه، ضريب اصطكاك و عدد پوآزو افزايش مي يابد. همانطور كه قبلا گفته شد با افزايش عدد رينولدز، اين پارامترها افزايش مي-يابند كه مقادير آن‌ها در حالت خواص مواد وابسته به دما كمتر از حالت خواص مواد ثابت است.

۵-۳-۲-اثر نسبت منظر بر مقاومت گرمايي

در شكل (۱۴)، اثر نسبت منظر بر مقاومت گرمايي به نمايش درآمده است. ديده مي‌شود كه با كاهش نسبت منظر، مقاومت گرمايي كاهش مي يابد، زيرا با كاهش نسبت منظر، سطح انتقال حرارت افزايش و بنابراين اختلاف دماي بدنه و سيال و در نتيجه مقاومت حرارتي كاهش مي‌يابد.



(الف) خواص مواد ثابت

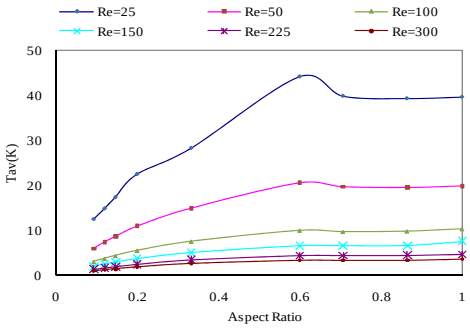


(ب) خواص مواد وابسته به دما

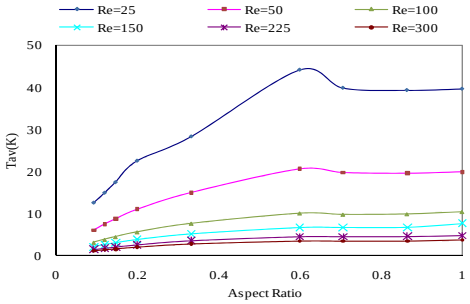
شكل (۱۴): نمودار مقاومت گرمايي- نسبت منظر در رينولدزهاي مختلف

۵-۳-۳-اثر نسبت منظر بر ميزان افزايش دماي سيال عامل

اثر نسبت منظر بر ميزان افزايش دماي سيال عامل (متوسط و بيشينه) به ترتيب در شكل‌هاي (۱۵) و (۱۶) آمده است.



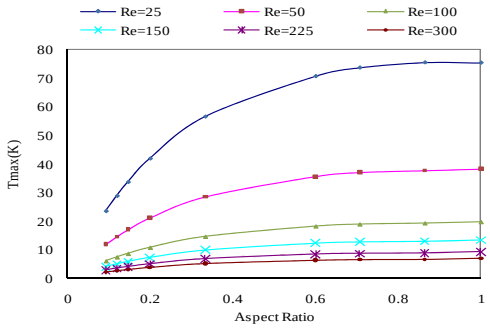
(الف) خواص مواد ثابت



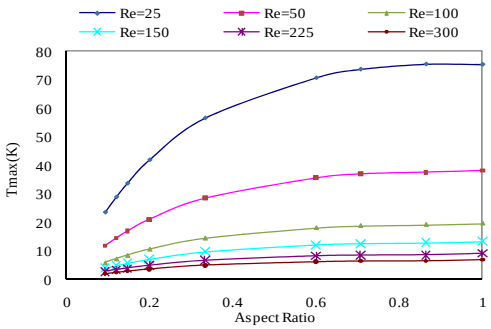
(ب) خواص مواد وابسته به دما

شكل (۱۵): نمودار اثر نسبت منظر بر افزايش دماي متوسط سيال

در هر دو شكل، افزايش نسبت منظر، باعث افزايش ميزان افزايش دماي سيال عامل (متوسط و بيشينه) مي‌شود، زيرا افزايش نسبت منظر سبب كاهش سطح مقطع و درنتيجه كاهش دبي سيال مي‌شود.



(الف) خواص مواد ثابت



(ب) خواص مواد متغير

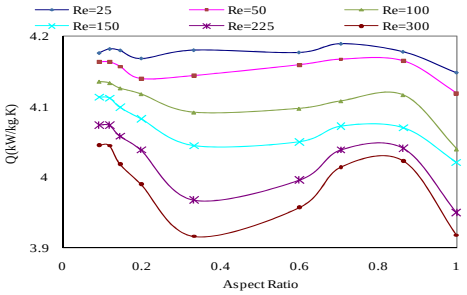
شكل (۱۶): نمودار اثر نسبت منظر بر افزايش دماي بيشينه سيال

۵-۴- معيار مقايسه ميكرومبدل حرارتي

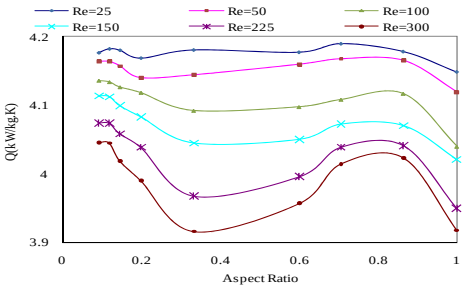
به‌طور معمول براي مقايسه عملكرد حرارتي ميكرومبدل از نرخ انتقال حرارت ويژه، به صورت نسبت ميزان حرارت منتقل شده بر واحد درجه حرارت استفاده مي‌شود، طبق رابطه (۱۰):

$$\dot{q} = \frac{q/\dot{m}}{T_{av}} \qquad (۱۰)$$

در اين صورت نمودار نرخ انتقال حرارت ويژه بر حسب نسبت منظر در اين تحقيق، به‌صورت شكل (۱۷) قابل نمايش است.



(الف) خواص مواد ثابت



(ب) خواص مواد وابسته به دما

شكل (۱۷): نمودار انتقال حرارات ويژه- نسبت منظر در رينولدزهاي مختلف

در شكل (۱۷) ديده مي‌شود كه در هر رينولدز معين، كاهش نسبت منظر با افزايش نرخ انتقال حرارت ويژه همراه است؛ در واقع با افزايش سطح انتقال حرارت در اثر كاهش نسبت منظر، اين مطلب مورد انتظار است، اما در اين معيار افزايش افت فشار دوسر ميكرومبدل از نظر دور مانده است.

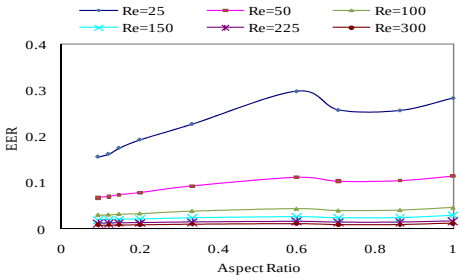
همان‌طور كه در نتايج بالا ديديم، با افزايش عدد رينولدز ميزان افزايش دماي متوسط سيال عامل، كاهش و ميزان افت فشار افزايش مي‌يابد كه اثر اول مطلوب ولي ازدياد افت فشار نامطلوب است، بنابراين ناچار به انتخاب مقدار بهينه عدد رينولدز و نسبت منظر هستيم. براي اين كار با توجه به قانون اول ترموديناميک، ميزان توان مصرفي براي پمپ كردن سيال درون ميكروكانال طبق رابطه (۱۱)، خواهد بود:

$$w = \dot{v}\Delta P \qquad (۱۱)$$

هدف نهايي از سامانه خنک كننده، دفع حرارت است؛ معيار پيشنهادي را به صورت نسبت انتقال حرارت ويژه به توان مصرفي پمپ ويژه به‌صورت رابطه (۱۲) تعريف مي‌كنيم:

$$EER = \frac{\dot{q}}{\Delta P} \qquad (۱۲)$$

اين معيار را نسبت بازده انرژي[۴] مي‌ناميم. در شكل (۱۸)، نمودار تغييرات اين معيار بر حسب عدد رينولدز نمايش داده شده و ديده مي‌شود كه كاهش رينولدز باعث افزايش نسبت بازده انرژي شده است.



شكل (۱۸): نمودار نسبت بازده انرژي- نسبت منظر در رينولدزهاي مختلف

۶- نتيجه‌گيري

در اين بخش اهم دستاوردهاي تحقيق، ارائه مي‌شود. با توجه به نتايج به دست آمده، مشاهده مي‌شود كه اثر تغيير گرانروي با دما بر پارامترهاي جرياني(افت فشار،عدد پوآزو ، ضريب اصطكاک و ...) بسيار زياد است و ثابت در نظر گرفتن آن خطاي زيادي ايجاد مي‌كند.

اين درحالي است كه اين موضوع اثر چشمگيري بر ميزان افزايش دماي سيال عامل(متوسط و بيشينه) ندارد؛ هرچند كه اثر آن بر ميزان افزايش دماي بيشينه سيال عامل به دليل تغيير بيشينه سرعت در حالت خواص مواد وابسته به دما نسبت به حالت خواص مواد ثابت ملموس‌تر است.

در حالت ضريب رسانايي متغير، پارامترهاي تاثيرگذار در ميكرومبدل‌ها در مقايسه با حالت ضريب رسانايي ثابت، تفاوت بسيار كمي دارند، زيرا در اين محدوده از اعداد رينولدز، ساز و كار جابه‌جايي بر انتقال حرارت حاكم است؛ در صورتي كه اعداد رينولدز خيلي كوچک شوند با توجه به افزايش سهم رسانايي در ساز و كار انتقال حرارت در تقابل با جابه‌جايي، اختلاف بين اين دو حالت بارزتر مي‌شود.

با دقت در شكل ۱۸ مشاهده مي‌گردد كه نقطه پيک نمودار نسبت بازده انرژي-نسبت منظر يعني ميكروكانال با نسبت منظر ۰/۶ بهترين نقطه طراحي ميكرو مبدل است. بنابراين ميكرومبدل با نسبت منظر ۰/۶ در رينولدز ۲۵ بهترين

ميكرومبدل حرارتي در محدوده مورد بررسي است.

۷ - فهرست علايم و نشانه

قطر هيدروليكي ميكروكانال	D_h	اختلاف فشار	ΔP
طول ميكروكانال	L	ضريب اصطكاك	f
تعداد ميكرو كانالها	n	عدد رينولدز	Re
دبي جرمي	$\dot{m}$	عدد پوآزو	Po
دبي حجمي	$\dot{v}$	اختلاف دما	ΔT
چگالي	ρ	شار حرارتي	q''
گرانروي	μ	شار حرارتي ويژه	$\dot{q}$
ظرفيت گرمايي ويژه	C_p	ميزان انتقال حرارت	q
ضريب رسانايي گرمايي	k	نسبت بازده انرژي	EER
فشار	P	كار پمپ	w

۸ - فهرست مراجع

[۱] S. Wongwises, Critical review of heat transfer characteristics of nanofluids, Renewable and Sustainable Energy Reviews 11 (2007) 512–523

[۲] Reiyu Chein, Experimental microchannel heat sink performance studies using nanofluids, International Journal of Thermal Sciences 46 (2007) 57–66

[۳] J. Koo, Laminar nanofluid flow in microheat-sinks, International Journal of Heat and Mass Transfer 48 (2005) 2652–2661.

[۴] 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.

[۵] 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.

[۶] 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.

[۷] www.intel.com

[۸] Intel® Pentium® 4 Processor on 90nm Process in the 775-land LGA Package for Embedded Applications Thermal Design Guide (302822).

[۹] Y.Chen, Three dimensional numerical simulation of heat and fluid flow in noncircular microchannel heat sinks, International Communications in Heat and Mass Transfer, 2009.

[۱۰] W.M Rohsenow, J.PHartnett, Y.I Cho, HANDBOOK OF HEAT TRANSFER,1998, Third Edition.

[۱۱] 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.

۹- زيرنويس ها

[1] Property Constant
[2] Variable Viscosity
[3] Variable Conductivity
[4] EER(Energy Efficiency Ratio)