



بررسی خنک کاری قطعات الکترونیکی توسط میکرو کانال سه لایه مستطیلی با استفاده از نانو سیال در جریان آرام

محمد جواد متقی زاده¹، احمد رضا عظیمیان^{2*}، داود طغرای³

* نویسنده مسئول: azimian@iaukhsh.ac.ir

چکیده

در جهان امروز نیاز روز افزون به منابع پایدار انرژی به یکی از دغدغه های بین المللی تبدیل شده است. به همین علت با توجه به منابع انرژی و محدود بودن این منابع در اکثر کشورهای جهان، حیات صنایع وابسته به انرژی و مردم به مخاطره افتاده است. میکرو مبدل ها برای انتقال حرارت بین سطوح استفاده می شوند. مسلماً پارامترهای زیادی در طراحی و عملکرد میکرومبدلها دخالت دارند، به طوریکه بررسی اثر هریک از این پارامترها به صورت تجربی بسیار هزینه بر و وقت گیر است، بنابراین یکی از راههای مناسب و دقیق برای بررسی، شبیه سازی عددی مساله است. در این تحقیق میکرومبدلهای مستطیلی شکل را بررسی می کنیم، به گونه ای که در ابتدا نوع تک لایه ای آن را مورد بررسی قرار می دهیم، سپس در مورد نقاط ضعف آن بحث شده و جهت رفع عیوب آن، ضرورت استفاده از میکرو کانال های چند لایه ای مطرح می گردد. همچنین توزیع دمای نانو سیال و دیواره، توزیع عدد رینولدز و شار حرارتی قطعه الکترونیکی در میکروکانالهای مستطیلی سه لایه بررسی شده و مقاومت حرارتی آنها با هم مقایسه شده است. نتایج به دست آمده در این قسمت حاکی از عملکرد بهتر مدل های چند لایه ای مستطیل افقی نسبت به میکروکانال مستطیل عمودی در حالت پایه آب است. در حالت سه لایه ای عدد ناسلت میکروکانال مستطیل افقی 72.75 درصد نسبت به میکروکانال عمودی افزایش یافته است و مقاومت حرارتی نیز در حالت مستطیل افقی 61.4 درصد نسبت به حالت مستطیل عمودی کاهش یافته است. دما نیز کاهش ناچیزی از حالت افقی نسبت به حالت عمودی داشته است. بهترین نتایج در میکروکانال های مستطیل افقی انجام می پذیرد. در حالتی که نانو سیال استفاده شده است، نانو سیال آب- اکسید مس با کسر حجمی 5 درصد در میکروکانال مستطیل افقی سه لایه افزایش 6.18 نسبت به حالت سیال پایه دارد و همچنین مقاومت حرارتی کاهش 18.52 درصدی و در دما نیز کاهش ناچیزی را نشان می دهد.

واژه های کلیدی

کلمات کلیدی: انتقال حرارت جابجایی، نانو سیال، میکروکانال مستطیلی، خنک کاری، جریان آرام، عدد ناسلت

1- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمینی شهر

2- استاد، دانشکده مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمینی شهر

3- استادیار، دانشکده مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمینی شهر

1- مقدمه

سیستم های خنک کننده یکی از مهمترین دغدغه های کارخانه ها، صنایعی مانند میکروالکترونیک، راکتور های هسته ای و میکروپروسسورهای در اندازه کوچک با سرعت پردازش بالا و هر جای دیگری است که به نوعی انتقال گرما رو به رو باشد. با پیشرفت فناوری در صنایعی مانند میکرو الکترونیک که در مقیاسهای زیر صد نانو متر عملیات های سریع و حجیم با سرعت های بسیار بالا (چند گیگا هرتز) اتفاق می افتد و استفاده از موتور هایی با توان و بار حرارتی بالا اهمیت بسزایی پیدا می کند، استفاده از سیستم های خنک کننده پیشرفته و بهینه، امری اجتناب ناپذیر است. روشهای رایج برای افزایش انتقال حرارت شامل افزایش مساحت سطح انتقال حرارت، ارتعاش سطوح یا سیال در حال حرارت، به کار بردن میدان الکتریکی و علاوه بر آن افزودن ذرات جامد فلزی به سیال پایه است که بهینه سازی سیستم های انتقال حرارت موجود، در اکثر مواقع به وسیله افزایش سطح آنها توسط سطوح گسترش یافته همچون پره ها و میکروکانال ها صورت می گیرد. با توسعه تکنولوژی ساخت کانالهایی با ابعاد میکرو، استفاده از میکروکانال به عنوان مبدل حرارتی روند رو به رشدی داشته است. مبدل میکروکانالی وسیله ای است که برای کنترل دمای قطعات الکترونیکی با شار حرارتی بالا مورد استفاده قرار می گیرد که فشرده سازی و افزایش نسبت سطح به حجم انتقال حرارت و کارآیی بالای گرمایی و وزن کم از مزایا و ویژگی های آن است که این مزایا در صنایع الکترونیک برای انتقال حرارت بالا از اهمیت خاصی برخوردار است. یکی دیگر از روشهای افزایش آهنگ انتقال حرارت، بکارگیری ذرات جامد فلزی در ابعاد میلی متر و میکرومتر در سیال پایه است که با وجود بهبود خواص انتقال گرمایی دارای معایب عمده ای نظیر رسوب گذاری، خوردگی مجراها و افت فشار شدید در کانال ها است. اختلاط ذره هایی در اندازه نانومتر (نانوذرات) با درصد حجمی کم به صورت سوسپانسیونی

با سیال پایه، سیالی با خواص فیزیکی نسبتاً جدید ایجاد می کند، که نانو سیال نامیده می شود.

2-1- دسته بندی کانال ها

دسته بندی کانالها بر اساس قطر هیدرولیکی آنها انجام می شود. کاهش اندازه کانال اثر متفاوتی روی فرآیند های داخل کانال می گذارد. در اینجا دو پیشنهادیه برای انواع کانال داریم. در مدل اول محدوده پیشنهاد شده از 1 تا 100 میکرومتر به عنوان میکروکانال، از 100 میکرومتر تا 1 میلی متر به عنوان مسو کانال، از 1 تا 6 میلی متر را کانال فشرده و از 6 میلی متر به بالاتر را کانال کلاسیک معرفی کرده است. اما در مدل دوم محدوده پیشنهاد شده اینگونه است که کمتر از 0.1 میکرومتر به عنوان نانوکانال مولکولی، از 0.1 تا 10 میکرومتر تا 10 میکرومتر به عنوان کانال گذرا، از 10 تا 200 میکرومتر تا 200 میکرومتر به عنوان میکروکانال، از 200 تا 3 میلی متر تا 3 میلی متر به عنوان مینی کانال و از 3 میلی متر به بالا را به عنوان کانال متعارف معرفی کرده است. که این تقسیم بندی ها توسط مهنداله [1] و کاندیکار و گراند [2] انجام گرفته است.

3-1- مزایا و چالش های میکرو کانال ها

جریان در میکروکانالها، در دو دهه گذشته به طور گسترده مورد بررسی بوده است این بررسیها برای خنک سازی مؤثر و سریعتر دستگاههای الکترونیکی با چگالی قدرت بالا بوده است. ضریب انتقال حرارت بالای نهفته در میکروکانالها، توانایی کاهش اندازه مبدلهای حرارتی به طور قابل توجه را دارد. از دیگر مزایای میکروکانالها کاهش وزن، حجم کم و کاهش استفاده از مواد است. کاهش قطر میکروکانالها در بیشتر مبدلهای حرارتی فشرده باعث افزایش ضریب انتقال حرارت به واسطه سطح وسیعتر در واحد حجم میشود. میکروکانالها کاربردهای گسترده عملی در زمینه

کوچک ترین کانال ها و کانال های معمولی به طور تقریباً و خودسرانه انجام دادند.

کاندیکار و گراند [2] بر اساس تعداد کانال و عدد نودسن کانال ها را متمایز کردند و انواع کانال را از کانال های مولکولی تا میکرو کانال و مینی کانال و کانال معمولی دسته بندی کردند.

ساکانوا و همکاران [3] با مطالعه بر روی بهینه سازی میکرو کانالها همراه با نانو سیال خنک کننده دریافتند که نانو سیال آلومینیوم اکسید به عنوان یک خنک کننده برای بدست آوردن عملکرد انتقال حرارتی بهتر استفاده شود.

ساندار و همکاران [4] هدایت حرارتی مخلوط اتیلن گلیکول و آب حاوی نانو سیال های آلومینیوم اکسید و اکسید مس را به صورت آزمایشگاهی در غلظت های حجمی و دماهای مختلف تخمین زدند. سیال پایه یک مخلوط 50 درصد آب و 50 درصد اتیلن گلیکول است. غلظت در کسر حجمی تا 8 درصد و بازه دمایی از 15 تا 50 درجه سانتیگراد در نظر گرفته شد. هردو نانو سیال هدایت حرارتی بالاتری نسبت به آب نشان می دهند. در غلظت ها و دماهای مشابه، نانو سیال هدایت حرارتی نانو سیال اکسید مس بیشتر از نانو سیال اکسید آلومینیوم است. بک رابطه جدید براساس داده های آزمایشگاهی برای تخمین هدایت حرارتی هر کدام از نانو سیال ها به دست آمد.

دیکسیت و قوش [5] آثار مختلف میکرو کانال های در معرض حرارت را بررسی کردند. آنها پارامتر های حرارتی و هیدرولیکی در میکرو کانال ها را در حالت تک فازی ارائه کردند.

تهیر و میتال [6] به بررسی اثرات قطر ذرات، عدد رینولدز و کسر حجمی ذرات بر روی ضریب انتقال حرارت پرداختند. آنها مشاهده کردند که عدد رینولدز مهمترین تأثیر را بر روی انتقال حرارت دارد، در حالی که کسر

های بسیار تخصصی، از جمله مهندسی زیست و سیستمهای جریانی میکرو ساخت، میکروپمپ ها و میکرولوله های حرارتی دارند. به عنوان مثال، تراکم و وزن پایین میکروکانالها، صنعت خودرو را دگرگون کرد. مبدلهای حرارتی کوچک و میکروکانالها، امروز جایگزین لوله های مدور در کندانسورهای خودرو و مبدلهای حرارتی با قطر هیدرولیک در حدود 1 میلیمتر شده است. اخیراً، میکروکانالها با موفقیت در سیستمهای تهویه مطبوع خودرو، سلولهای سوختی و میکروالکترونیک اعمال شده اند. چالش اصلی میکروکانالها، مشکلات ساخت و فیلتر کردن سیال عامل با درجه بالا است، برای آنکه از طریق کانالها جریان یابد. افت فشار بالا و توان پمپاژ مورد نیاز نیز از چالشهای میکروکانالها در نظر گرفته شده است.

4-1 ساختار جریان در میکروکانالها

در سالهای مختلف، حرکت سیال در مجاورت دیواره سطح کانال با فرض عدم لغزش و سرعت صفر در آن، مورد بررسی قرار گرفته است. پس از انجام آزمایشهایی در سیستم های میکرو مشخص شد که این فرض در این حالت چندان صادق نبوده و سیال روی دیواره لغزیده و دارای سرعتی معادل غیر صفر است. با توجه به اینکه مقطع میکرو کانالها در حد میکرومتر است، گرادیان سرعت در نزدیکی دیواره بالا بوده و میزان تنش در دیواره شدیداً بالا رفته و فرض عدم لغزش سیال در دیواره در مورد میکروکانالها، با توجه به تنش بالا، غیر منطقی است. در میکرو کانالها سیال به دیواره نچسبیده بلکه روی دیواره می لغزد و حالت جریان لغزشی رخ داده است.

5-1 تاریخچه کارهای انجام شده

مهنداله و همکاران [1] بر روی انواع کانال ها مطالعه کردند و تقسیم بندی هایی را بر اساس قطر هیدرولیکی برای

$$\rho_{nf} = (1 - \varphi)\rho_f + \varphi\rho_p \quad (10-2)$$

$$C_{p,nf} = \frac{\varphi\rho_p C_{pp} + (1 - \varphi)\rho_f C_{pf}}{\rho_{nf}} \quad (11-2)$$

$$k_{nf} = k_f(4.97\varphi^2 + 2.72\varphi + 1) \quad (12-2)$$

$$\mu_{nf} = \mu_f(123\varphi^2 + 7.3\varphi + 1) \quad (13-2)$$

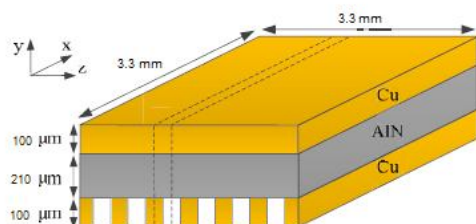
3- نمودارها و جداول

1-3 هندسه مساله

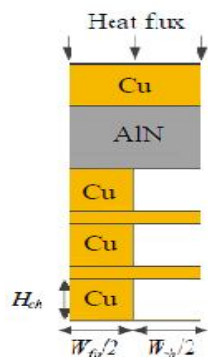
هندسه این مساله طوری انتخاب شده که در لایه بالایی و سطحی که در معرض شار وارده بر جسم است از جنس مس و لایه میانی از نیتريد آلومینیوم برای انتقال حرارت بهتر و همچنین لایه پایینی که شامل کانال ها و فین ها است، که برای تعداد کانال های مختلف با اندازه های مختلف طراحی شده است.

ساختار واقعی و کلی هندسه و شکل های رسم شده مدل

تک لایه ای و سه لایه ای در شکل های 1-3 و 2-3 نشان داده شده است به طوریکه بخش خارجی جامد و بخش داخلی سیال (مایع) می باشند. این میکرو کانالهای مستطیل شکل چگونگی عملکرد میکرومبدل ها را نشان می دهند.



شکل 1-3 ساختار کلی هندسه مسئله به صورت تک لایه [3].



حجمی نسبت به عدد رینولدز تاثیر کمتری روی انتقال حرارت داشت. آنها دریافتند که هم عدد رینولدز و هم کسر حجمی ضریب انتقال حرارت را افزایش می دهند.

عظیمیان و سفید [7] دریافتند که برای دستیابی به یک میکرو مبدل با مقاومت حرارتی پایین باید، نسبت ارتفاع به عرض کانال، عدد رینولدز و عدد پکله بزرگ باشد.

2- معادلات

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1-2)$$

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho_f} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu_f \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (2-2)$$

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho_f} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu_f \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \quad (3-2)$$

$$(4-2)$$

$$u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho_f} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu_f \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad (5-2)$$

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} = \alpha_f \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right)$$

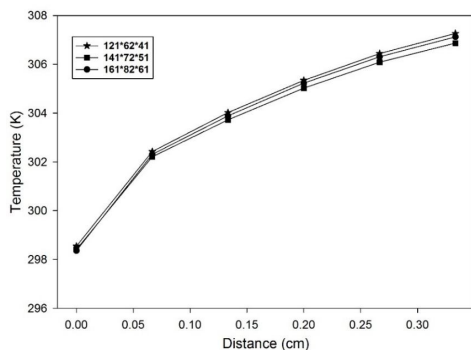
1-2 روابط خواص ترموفیزیکی سیال و نانو سیال

$$\rho(T) = 1000 \left[1 - \frac{T + 15.9414}{508929.2(T - 204.87037)} (T - 276.9863) \right] \quad (6-2)$$

$$\mu(T) = 1.005 \times 10^{-3} \left(\frac{T}{293} \right)^{8.9} \exp[4700(T^{-1} - 293^{-1})] \quad (7-2)$$

$$C_p(T) = 3908 + 30826T - 0.01674T^2 + 2.330 \times 10^{-5}T^3 \quad (8-2)$$

$$k_f(T) = -1.579 + 0.01544T - 3.515 \times 10^{-5}T^2 + 2.678 \times 10^{-8}T^3 \quad (9-2)$$



شکل 5-3 نمودار دما بر حسب طول میکرو کانال

انتخاب حالت ب برای شبکه بندی به دلیل نتایج شکل 5-3 است.

3-3 حل مساله

در این قسمت از مساله فرض ها و شرایط مرزی اعمال می شود، جریان دائم و یکنواخت است، معادلات پیوستگی و ممتوم و انرژی در نرم افزار فلونت فعال می شود، جنس و خواص میکرو کانال ها [3] چون از دو نوع مختلف مس و نیتريد آلومینیوم است به طور مجزا مشخص شده است، دیواره های عایق و همچنین دیواره ورودی شار ثابت 200 وات بر سانتی متر مربع مشخص می شود، سرعت ورودی با توجه به عدد رینولدز و با توجه به اندازه عرض و ارتفاع کانال متغیر است و مقدار آن از 4.12 متر بر ثانیه تا 8.62 متر بر ثانیه برای سیال پایه و همچنین از 12.418 متر بر ثانیه تا 39.24 متر بر ثانیه برای نانو سیال با کسر حجمی 5 درصد بسته به نوع اضلاع میکرو کانال و خواص نانو سیال متغیر است، همچنین دمای ورودی برای شروع حل مساله با سیال پایه آب، دمای محیط و برابر با 24 درجه سانتیگراد معرفی می شود. حل مساله نیز از روش مرتبه 2 بالادست برای گسسته سازی جمله های معادله پیوستگی و ممتوم استفاده شده است. برای گسسته سازی جمله فشار نیز از یک میانابایی استاندارد استفاده شده است، کوپل سرعت و فشار نیز از الگوریتم سیمپل استفاده شده است. معیار همگرایی برای

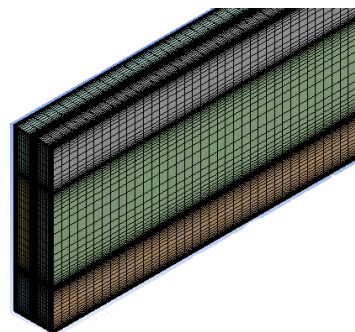
شکل 2-3 المان مدل سه لایه ای

برای حل این هندسه از یک المان استفاده می شود که به شکل 2-3 است.

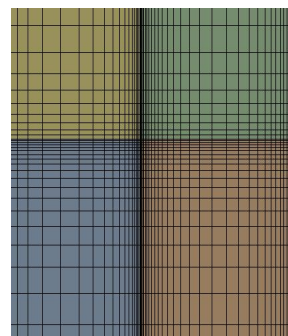
2-3 شبکه بندی

در این نوع شبکه بندی هر راستا از هندسه به تعداد مشخصی از شبکه تقسیم می شود. در قسمت سیال که بیشتر مد نظر است، شبکه های ریزتری نسبت به دیگر قسمت ها صورت می گیرد.

در شکل 3-3 نمای کلی این نوع شبکه بندی و در شکل های 4-3 نمای دو بعدی آن قابل ملاحظه است.



شکل 3-3 نمای کلی گره های شبکه محاسباتی سازمان یافته



شکل 4-3 نمای گره های شبکه محاسباتی برای سیال و فین میکرو کانال سازمان یافته

حل مساله برابر با 10^{-7} برای انرژی و 10^{-6} برای سرعت است [3].

خواص سیال پایه آب

جدول 1-3 تعداد میکروکانال ها، نوع کانال ها و ابعاد طول و عرض و ارتفاع میکروکانال ها را مشخص کرده است. برای میکروکانال های ذکر شده در جدول 1-2 در جریان آرام از عدد رینولدز 500 تا 2300 حل شده است. باتوجه به این اعداد و همچنین قطر هیدرولیکی میکروکانال ها سرعت های مختلف را محاسبه نموده و در هر حالت به طور جداگانه پس از حل نتایج را استخراج می شود.

جدول 1-3 اندازه های میکروکانال مدلسازی شده

N	نوع کانال	W_{ch} (μm)	W_{fin} (μm)	H_{ch} (μm)	L (μm)
۱۶	مربعی	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۳۳۳۳
	مستطیل عمودی	۶۰	۱۴۰	۱۰۰	۳۳۳۳
	مستطیل افقی	۱۴۰	۶۰	۱۰۰	۳۳۳۳

جدول 2-3 خواص ترموفیزیکی سیال پایه (آب) را معرفی می کند. که این خواص برای دمای محیط برابر با 24 درجه سانتیگراد اندازه گیری شده است.

جدول 2-3 خواص سیال پایه (آب) در دمای محیط

سیال پایه	لزجت ($N s/m^2$)	چگالی (kg/m^3)	ظرفیت گرمایی ویژه ($J/kg k$)	هدایت گرمایی ($W/m k$)
آب در دمای 24 درجه سانتیگراد	0.0009545	997.3266	4178.11844	0.607718

خواص نانو ذره

در این تحقیق از نانو ذره آب- اکسید مس با کسر حجمی 1 و 5 درصد مخلوط در سیال پایه آب استفاده شده است. این نانو ذره که خواص مربوط به خود را دارد با قطره های مختلف در نظر گرفته شده و با توجه به خواص داده شده موارد لازم برای حل مساله محاسبه و اندازه گیری شده است.

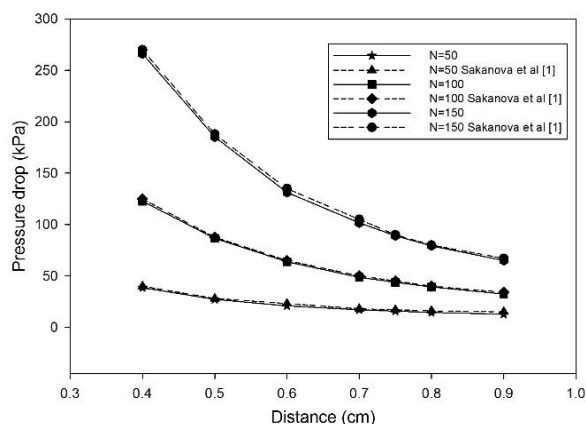
در جدول 3-3 خواص نانو ذره به طور جداگانه مشخص شده است. برای هر کدام از کسر حجمی ها در دمای 24 درجه سانتیگراد (دمای محیط) خواص چهارگانه نانو سیال ها از قبیل چگالی، ظرفیت گرمایی ویژه، هدایت گرمایی با روابط داده شده [4] و [3] همراه با سیال پایه آب محاسبه و در خواص سیال در نرم افزار جایگذاری می شود.

جدول 3-3 خواص نانو ذرات

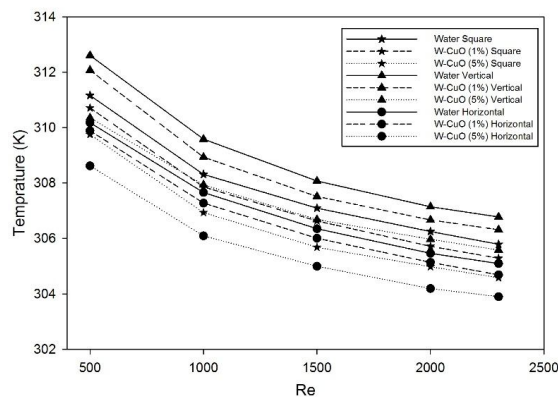
نام نانو ذره	قطر (nm)	چگالی (kg/m^3)	ظرفیت گرمایی ویژه ($J/kg k$)	هدایت گرمایی ($W/m k$)
اکسید مس [۴]	۲۷	۶۳۱۰	۵۵۰.۵	۳۲.۹

4-3 صحت سنجی

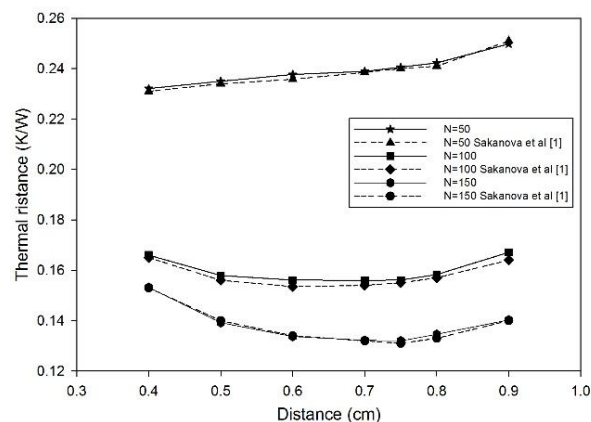
برای صحت سنجی، نمودار 6-3 اختلاف فشار بر حسب طول کانال و همچنین نمودار 7-3 نمودار دما بر حسب طول کانال بررسی شده است.



شکل 6-3 نمودار اختلاف فشار بر حسب طول میکروکانال



شکل 3-9 نمودار دما بر حسب عدد رینولدز برای نانو سیال آب-اکسید مس



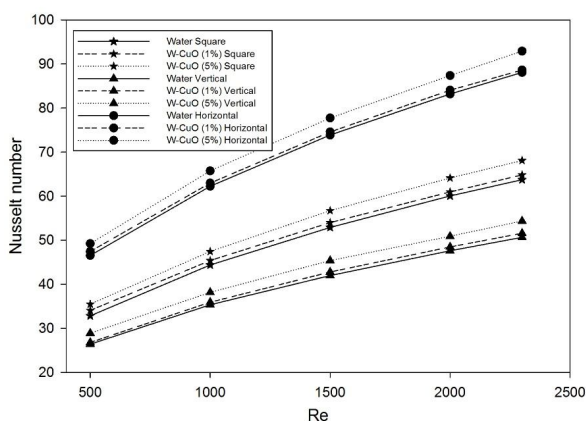
شکل 3-7 نمودار دما بر حسب طول میکرو کانال

3-5 نتایج

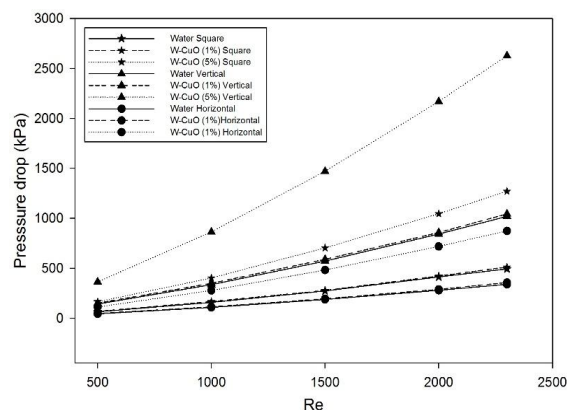
تغییرات فشار، دما، مقاومت حرارتی و انتقال حرارت با نانو سیال اکسید مس و تاثیر آن در میکروکانال سه لایه ای را بررسی می شود.

در شکل 3-8 نمودار اختلاف فشار نسبت به عدد رینولدز است. از مقایسه میکروکانال مستطیل افقی سه لایه با کسر حجمی 5 درصد نسبت به حالت عمودی کاهش 0.4 درصدی و نسبت به حالت مربعی کاهش 0.23 درصدی دارد. همچنین دما از مقایسه میکروکانال مستطیل افقی نسبت به کسر حجمی 1 درصد کاهشی ناچیز و نسبت به سیال پایه هم کاهش ناچیز دارد.

در شکل 3-8 نمودار اختلاف فشار نسبت به عدد رینولدز است. از مقایسه میکروکانال مستطیل افقی سه لایه با کسر حجمی 5 درصد نسبت به میکروکانال عمودی کاهش 66.76 درصدی و نسبت به میکروکانال مربعی کاهش 31.28 درصدی مشهود است. همچنین میکروکانال مستطیل افقی با کسر حجمی 5 درصد نسبت به کسر حجمی 1 درصد افزایش 59.2 درصدی و نسبت به سیال پایه آب افزایش 61.2 درصدی دارد.



شکل 2-8 نمودار عدد ناسلت بر حسب عدد رینولدز برای نانو سیال آب-اکسید مس



شکل 3-8 نمودار اختلاف فشار بر حسب عدد رینولدز برای نانو سیال آب-اکسید مس

در نمودار 2-8 عدد ناسلت در میکروکانال مستطیل افقی با کسر حجمی 5 درصد نسبت به میکروکانال مربعی افزایش

مختلف را دارد. همچنین کمترین مقاومت حرارتی و بیشترین کاهش دما حاصل می شود. از مقایسه میکرو کانال مستطیل افقی سه لایه در عدد رینولدز 2300 کاهش دما نسبت به میکرو کانال مستطیل عمودی 0.4 درصد و نسبت به حالت مربعی 0.23 درصد کاهش دارد. همچنین عدد ناسلت در میکرو کانال مستطیل افقی نسبت به میکرو کانال مربعی افزایش 36.43 درصدی و نسبت به میکرو کانال مستطیل عمودی افزایش 67.85 درصدی دارد. مقایسه مقاومت حرارتی بین میکرو کانال مستطیل افقی نسبت به میکرو کانال مستطیل عمودی کاهش 60.87 درصدی و نسبت به میکرو کانال مربعی کاهش 38.2 درصدی دارد.

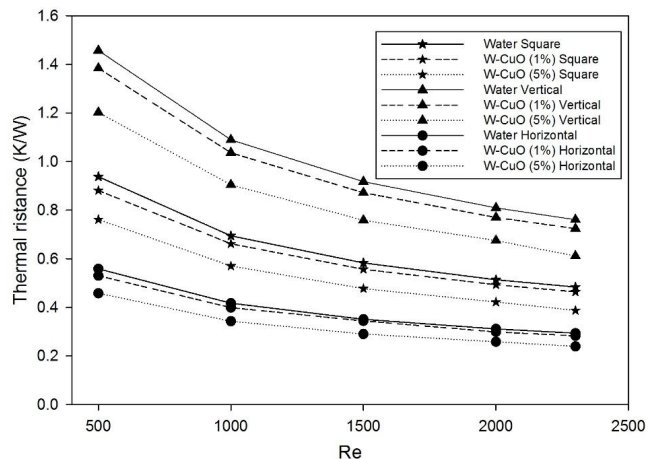
در صورت لایه بندی میکرو کانال ها در سیال پایه در حالت سه لایه انتقال حرارت بسیار افزایش یافت و این موضوع بدون تغییر اختلاف فشار افتاد که از نکات بسیار مهم این تحقیق است. در میکرو کانال های سه لایه نسبت به تک لایه ای برای کاهش دمای بیشتر و انتقال حرارت بهتر و همچنین کمترین اختلاف فشار بهتر است از میکرو کانال های مستطیل افقی با سیال پایه آب استفاده شود. کاهش 29.54 درصدی اختلاف فشار نسبت به میکرو کانال مستطیل عمودی سه لایه و کاهش 66.95 درصدی نسبت به میکرو کانال مربعی سه لایه روی می دهد. کاهش 4.22 درصدی دما نسبت به حالت تک لایه و افزایش 71.25 درصدی عدد ناسلت و همچنین کاهش 71.24 درصدی مقاومت حرارتی میکرو کانال مستطیل افقی سه لایه نسبت به تک لایه روی می دهد.

در نانو ذره اکسید مس با کسر حجمی های مختلف در تمامی میکرو کانال ها بیشترین انتقال حرارت و کمترین مقاومت حرارتی برای نانو سیال آب - اکسید مس با کسر حجمی 5 درصد اتفاق افتاد.

انتقال حرارت بطور کلی در میکرو کانال های مستطیل افقی بسیار بهتر از دو نوع دیگر است.

5- فهرست علائم

36.43 درصدی و نسبت به میکرو کانال مستطیل عمودی افزایش 67.85 درصدی وجود دارد. از مقایسه میکرو کانال مستطیل افقی نسبت به کسر حجمی 1 درصد افزایش 4.26 درصدی و نسبت به سیال پایه آب افزایش 6.18 درصدی دارد. بیشترین انتقال حرارت برای میکرو کانال مستطیل افقی و نانو سیال آب - اکسید مس اتفاق می افتد.



شکل 2-9 نمودار مقاومت حرارتی بر حسب عدد رینولدز برای

نانو سیال آب - اکسید مس

باز هم در شکل 5-64 بیشترین کاهش مقاومت حرارتی برای میکرو کانال سه لایه ای با نانو سیال آب - اکسید مس و در رینولدز 2300 اتفاق می افتد. از مقایسه میکرو کانال مستطیل افقی نسبت به میکرو کانال عمودی کاهش 60.87 درصدی و نسبت به میکرو کانال مربعی کاهش 38.2 درصدی مقاومت حرارتی وجود دارد. همچنین از مقایسه میکرو کانال مستطیل افقی نسبت به کسر حجمی 1 درصد کاهش 14.51 درصدی و نسبت به سیال پایه آب کاهش 18.52 درصدی مقاومت حرارتی مشاهده می شود.

4- نتیجه گیری

در نهایت برای همه حالات میکرو کانال مستطیل افقی سه لایه با نانو سیال آب - اکسید مس در کسر حجمی 5 درصد بیشترین انتقال حرارت در طول کانال و اعداد رینولدز

کسر حجمی (%)	ϕ	$C_{p_{nf}}$	گرمای ویژه نانو سیال در فشار ثابت (J / kg.k)
زیر نویس ها		C_p	گرمای ویژه در فشار ثابت (J / kg.k)
سیال پایه	bf	l	طول کانال (m)
موثر	eff	d_p	قطر متوسط ذرات (m)
هیدرولیکی	h	k_f	ضریب هدایت گرمایی ویژه نانو سیال (W / mK)
نانوسیال	nf	k_s	ضریب هدایت گرمایی ویژه سطح جامد (W / mK)
ذرات	p	Nu	عدد ناسلت
سطح	s		

مراجع:

- [۱] Mehendale S.S., Jacobi A.M., Shah R.K., "Fluid flow and heat transfer at micro- and meso-scales with application to heat exchanger design", *International Communications in Heat and Mass Transfer*, ۲۷, ۲۰۰۰, pp. ۹۳-۱۰۵.
- [۲] Kandlikar S.G., Grande W.J., "Evolution of microchannel flow passages: thermo-hydraulic performance and fabrication technology", In Proceedings of the ASME international mechanical engineering congress exposition, New Orleans, Louisiana, ۲۰۰۲.
- [۳] Sakanova A., Yin S., Zhao J., Wu J.M., Leong K.C., "Optimization and comparison of double-layer and double-side micro-channel heat sinks with nanofluid for power electronics cooling", *Applied Thermal Engineering*, ۶۵, ۲۰۱۴, pp. ۱۲۴-۱۳۴.
- [۴] Sundar L.S., Farooky Md.H., Sarada S.N., Singh M.K., "Experimental thermal conductivity of ethylene glycol and water mixture based low volume concentration of Al_2O_3 and CuO nanofluids", *International Communications in Heat and Mass Transfer*, ۴۱, ۲۰۱۳, pp. ۴۶-۴۱.
- [۵] Dixit T., Ghosh I., "Review of micro- and mini-channel heat sinks and heat exchangers for single phase fluids", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, ۴۱, ۲۰۱۵, pp. ۱۲۹۸-۱۳۱۱.
- [۶] Tahir S., Mital M., "Numerical investigation of laminar nanofluid developing flow and heat transfer in a circular channel", *Applied Thermal Engineering*, ۳۹, ۲۰۱۲, pp. ۸-۱۴.

علائم یونانی

ΔP	افت فشار (Pa)
τ	تنش برشی (Pa)
μ	لزجت (Pa.s)
ρ	چگالی (kg/m^3)

[۷] A.R. Azimian, M. Sefid, "Cooling in micro channel heat sink (MCHS) with non Newtonian clooant", Thesis. Ph.D, M. Sefid, Isfahan, Isfahan University Of Thechnology, ۲۰۰۲.