



## مقایسه و بهینه‌سازی چاه حرارتی میکروکانال برای سیال عامل آب و آمونیاک با الگوریتم ژنتیک

علی عظیم زاده<sup>۱</sup>، جهانفر خالقی نیا<sup>۲</sup>، ناصر کردانی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد نور Ali.Azimzadeh@yahoo.com

<sup>۲</sup> عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد نور J.Khaleghinia@gmail.com

<sup>۳</sup> عضو هیات علمی دانشگاه مازندران Naser.kordani@umz.ac.ir

### چکیده

است که می‌تواند با فرارگیری روی پردازش‌گر و میکروتراشه‌های ابرایانه‌ها، حرارت را از این اجزا خارج سازد. این وسایل، در خنک کاری سیستم‌های گوناگونی، مانند سیستم‌های الکترونیکی همانند لیزرهای نوری با توان بالا دارای کاربرد زیادی هستند. با پیشرفت‌های اخیر در زمینه ساخت میکروکانال، وسایل زیادی با ابعاد میکرونی ساخته شده است. گرایش به کوچک‌سازی قطعات مخصوصا در کامپیوترها باعث افزایش مشکل داغ شدن مدارهای مجتمع شده است. با وجود شارهای حرارتی بالا در این موارد به سیستم‌های جدید خنک کاری با روش‌های مؤثر کنترل دما نیاز است.

نیاز به پیشرفت در روش‌های خنک‌کاری کارآمد و پربازده برای میکروتراشه‌ها باعث آغاز تحقیقات وسیعی درباره انتقال حرارت در میکروکانال‌ها شده است و میکروکانال‌ها به‌عنوان راه حل نهایی برای انتقال حرارت با مقادیر بالا در سیستم‌های میکرو توصیه می‌شوند. یکی دیگر از کاربردهای آن در در چاه‌حرارتی میکروکانال است. هدف از استفاده از میکروکانال در این دستگاه‌ها بهبود راندمان حرارتی است.

در سال‌های اخیر از چاه حرارتی میکروکانال به‌عنوان محیط انتقال حرارت برای خنک‌کاری قطعات الکترونیکی در مساحت‌های بسیار کوچک و با شار حرارتی بالا استفاده می‌نمایند. این چاه‌حرارتی از کانال‌های متعددی در مقیاس میکرو تشکیل شده است که جریان سیال خنک‌کننده از میان آن‌ها عبور می‌کند. هدف اصلی از طراحی و کاربرد یک چاه‌حرارتی افزایش سطح انتقال حرارت با سیال احاطه‌کننده‌اش و در نتیجه افزایش میزان انتقال حرارت است. از جمله موارد مؤثر در بازده یک چاه حرارتی میکروکانال می‌توان به انتخاب هندسه، انتخاب جنس مواد سازنده و نحوه چیدمان میکروکانال اشاره کرد.

کارهای بسیاری برای بهینه‌سازی هندسی چاه حرارتی میکروکانال انجام شده است. چوی و همکاران [۱] راندمان حرارتی چاه حرارتی میکروکانال را در حالت سه‌بعدی و به صورت عددی بهینه‌سازی نمودند. آن‌ها در مطالعه خود توان پمپاژ را ثابت فرض نموده، و تغییرات عمق و عرض کانال و ضخامت پره را با اعمال محدودیت نسبت منظری کمتر از ۱۰ بررسی نمودند. موزیچکا [۲] هندسه بهینه برای چاه‌های حرارتی با سطح مقطع دایره‌ای و غیر دایره‌ای را به دست آورد. بیلواکنده و همکاران [۳] ساختار بهینه میکرو چاه

استفاده از سیستم های خنک کننده پیشرفته و بهینه سازی آن امری اجتناب ناپذیر است. بهینه‌سازی سیستم‌های انتقال گرمای موجود، در بیشتر مواقع بوسیله افزایش سطح آنها صورت می‌گیرد که همواره باعث افزایش حجم و اندازه این دستگاه‌ها می‌شود. استفاده از چاه‌های حرارتی یکی از راه‌های افزایش انتقال حرارت می‌باشد. در این کار با توجه به گستردگی استفاده از میکروکانال‌های دایروی و مربعی و سهولت ساخت آن بر روی چاه حرارتی میکروکانال با دو هندسه دایروی و مربعی بهینه‌سازی انجام گرفته شده است. علاوه بر هندسه، انتخاب سیال عامل در چاه حرارتی نیز حائز اهمیت است. لذا در این پژوهش در پی یافتن شرایط بهینه‌ای برای میکرو چاه حرارتی با سطح مقطع دایره‌ای و مربعی برای دو سیال آب و آمونیاک خواهیم بود. برای این منظور از الگوریتم ژنتیک جهت بهینه‌سازی استفاده شده تا اثرات این تغییرات بر روی مقاومت حرارتی و توان پمپاژ مشاهده گردد. در انتها حالت بهینه چاه حرارتی برای میکروکانال با سطح مقطع مربعی و دایروی ارائه خواهد شد. نتایج نشان داد که حالت بهینه برای سیال عامل آمونیاک؛ چاه حرارتی‌ای است که دارای ۱۶ میکروکانال می‌باشد و در بین دو هندسه، میکروکانال دایره‌ای از نظر گرمایی و هیدرودینامیکی عملکرد بهتری را دارد. اما نتایج بهینه سازی شده برای سیال آب، تعداد ۶ میکروکانال در داخل چاه حرارتی را پیشنهاد می‌دهد. نتایج به دست آمده برای هر دو سیال آب و آمونیاک، نشان دهنده ی برتری میکروکانال با هندسه دایروی است. میزان مقاومت حرارتی کمتر و توان پمپاژ کمتر در قطر هیدرولیکی ثابت با توجه به نتایج بهینه‌سازی از جمله مواردی است که این برتری را نشان می‌دهد.

### واژه های کلیدی

چاه‌حرارتی میکروکانال، دایروی، مربعی، بهینه‌سازی، الگوریتم ژنتیک

### مقدمه

در سال‌های اخیر با پیشرفت فن‌آوری استفاده از وسایل الکترونیکی کوچک افزایش پیدا کرده است. به دلیل محدودیت فضا برای استفاده از خنک نمودن هوا، انتقال حرارت و افت فشار در میکروکانال‌ها به‌طور گسترده توسط محققان مورد مطالعه قرار گرفته است. چاه حرارتی وسیله‌ای است که حرارت را از طریق یک ساختار جامد، به محیط یک سیال، هم چون آب، و یا هوا انتقال می‌دهد. یکی از ابزارهای کارا برای خنک‌کاری قطعات ریز، چاه حرارتی میکروکانال

در این پژوهش، عملکرد هیدرودینامیکی میکروکانال چاه حرارتی با استفاده از افت فشار و میزان پمپ مورد نیاز متناظر با آن به دست آمده است. روش استفاده شده بر اساس روش پیشنهادی کلینر و همکاران [۹] است.

$$\Delta p_{tot} = \Delta p_{hs} + \Delta p_{tu} \quad (1)$$

که در آن  $\Delta p_{hs}$  و  $\Delta p_{tu}$  به ترتیب میزان افت فشار چاه حرارتی و لوله‌ها می‌باشد. افت فشار درون میکروکانال تصحیح شده و عبارت نهایی برای افت فشار کلی عبارت است از:

$$\Delta p_{tot} = f_{hs} \frac{L}{D_h} \rho_f \frac{V_{mf}^2}{2} + \left( 1.79 - 2.32 \left( \frac{1}{1+\chi} \right) + 0.53 \left( \frac{1}{1+\chi} \right)^2 \right) \rho_f \frac{V_{mf}^2}{2} + f_{t1} \frac{L_{t1}}{D_{tu}} \rho_f \frac{V_{mf}^2}{2} + f_{t2} \frac{L_{t2}}{D_{tu}} \rho_f \frac{V_{mf}^2}{2} + 0.42 \rho_f \frac{V_{mf}^2}{2} + \left( 1 - \frac{A_t^2}{A_{hs}^2} \right) \rho_f \frac{V_{mf}^2}{2} + 0.42 \left( 1 - \frac{A_t^2}{A_{hs}^2} \right) \rho_f \frac{V_{mf}^2}{2} + \rho_f \frac{V_{mf}^2}{2}$$

توان پمپ نیز از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$Pp = \Delta p_{tot} \times G \quad (3)$$

راندمن حرارتی چاه حرارتی میکروکانال از طریق مقاومت حرارتی کلی آن به دست آمده است. مقاومت حرارتی کلی هر چاه حرارتی به صورت نسبت اختلاف دمای بین حداکثر دمای لایه با دمای مبرد ورودی به شار حرارتی بیان می‌شود. دمای حداکثر معمولاً در انتهای میکروکانال قرار دارد و شار حرارتی نیز به صورت یکنواخت به پشت میکروکانال چاه حرارتی اعمال می‌شود. مقاومت حرارتی کلی چاه حرارتی با رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$R_{tot} = \frac{T_{surf,max} - T_{in}}{q} \quad (4)$$

$T_{in}$  و  $T_{surf,max}$  به ترتیب بیشترین دمای لایه و دمای مبرد ورودی هستند. معادله (۱) را به صورت مؤلفه‌های مقاومت حرارتی نیز می‌توان بیان کرد [۱۰]:

$$R_{tot} = R_{cond} + R_{capa} + R_{conv} \quad (5)$$

که مؤلفه  $R_{cond}$  برای انتقال حرارت هدایت در لایه زیرین میکروکانال،  $R_{capa}$  ظرفیت حرارتی مبرد و  $R_{conv}$  مربوط به انتقال حرارت همرفتی می‌باشد. مقاومت حرارتی کلی به صورت سری در نظر گرفته می‌شود به طوری که اولین مقاومت ناشی از لایه زیرین میکروکانال است، بعد مقاومت ناشی از ظرفیت حرارتی مبرد و نهایتاً مقاومت حرارتی مربوط به همرفت قرار دارد.

مقاومت کلی که از رابطه (۵) به دست می‌آید، برای یک ضخامت ثابت از لایه زیرین و نرخ جریان مبرد، اساساً به  $R_{conv}$  بستگی دارد که به صورت زیر بیان می‌شود [۱۱]:

$$R_{conv} = \frac{1}{h_{av} A_{eff}} \quad (6)$$

مؤلفه دوم در معادله (۵) مربوط به مقاومت حرارتی مبرد یا همان مقاومت خازنی است که به صورت زیر بیان می‌شود:

$$R_{capa} = \frac{1}{\rho_f c_p G} \quad (7)$$

مستطیلی را با استفاده از نظریه ساختارها [۴] ارائه دادند. کیم [۵] سه مدل را برای بهینه‌سازی میکرو چاه به کاربرد و نشان داد که در نسبت‌های منطقی بالا، مدل محیط متخلخل بهتر از مدل پره در مقایسه با روش عددی می‌باشد.

چن و همکاران [۶] حل سه‌بعدی انتقال حرارت و جریان برای میکروچاه‌های حرارتی غیر دایره‌ای را انجام دادند و مشاهده کردند که نتایج برای آب، تطابق خوبی با کانال‌های ماکرو دارد. لیو و گاریملا [۷] پنج مدل تحلیلی تقریبی برای به دست آوردن ابعاد بهینه میکرو چاه حرارتی را ارائه کردند. کیم و همکاران [۵] بهینه‌سازی‌ای را بر روی میکروچاه حرارتی انجام داد. توابع هدف برای بهینه‌سازی کارشان را انتقال حرارت و افت فشار قرار دادند، لذا توان پمپاژ و مقاومت حرارتی را مدل‌سازی نمودند تا راندمن چاه حرارتی را بهینه سازند.

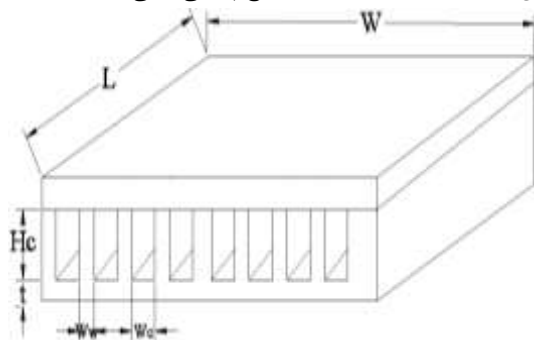
در سال ۲۰۱۳ مروری بر روش‌های افزایش راندمن حرارتی چاه حرارتی میکروکانال توسط ادهام و همکاران [۸] بر روی هندسه مختلف کانال، سیال خنک‌کننده، رژیم جریان و ابزارهای بهینه‌سازی جمع‌آوری شده است. همچنین مطالعاتی بر روی استفاده از نانوسیالات به‌عنوان سیال خنک‌کننده و اثر آن بر روی راندمن حرارتی مورد بررسی قرار گرفته شده است.

در این مقاله با استفاده از الگوریتم ژنتیک نوشته شده در نرم افزار متلب و با تعریف توابع هدف هیدرودینامیکی (توان پمپاژ) و گرمایی (مقاومت حرارتی) سعی در بهینه‌سازی چاه حرارتی میکروکانال را در دو هندسه مربعی و دایره‌ای با دو سیال آب و آمونیاک خواهیم داشت. در قسمت بعد هندسه مساله و روابط استفاده شده برای مدل سازی عملکرد گرمایی و هیدرودینامیکی آورده شده است.

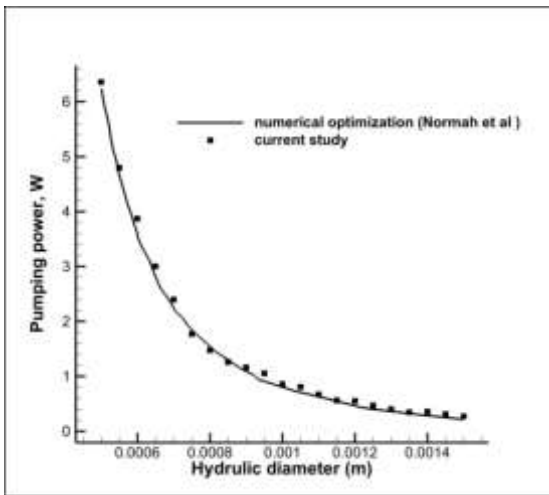
### هندسه مورد بررسی و مدل‌سازی ریاضی

میکروکانال چاه حرارتی از  $n$  کانال متصل به هم تشکیل شده است. سطح بالایی با یک پوشش آدیاباتیک پوشیده شده است. لوله‌هایی برای انتقال مبرد استفاده شده است که از اتلاف جریان جلوگیری شود و همچنین به حالت کاملاً توسعه یافته برسد.

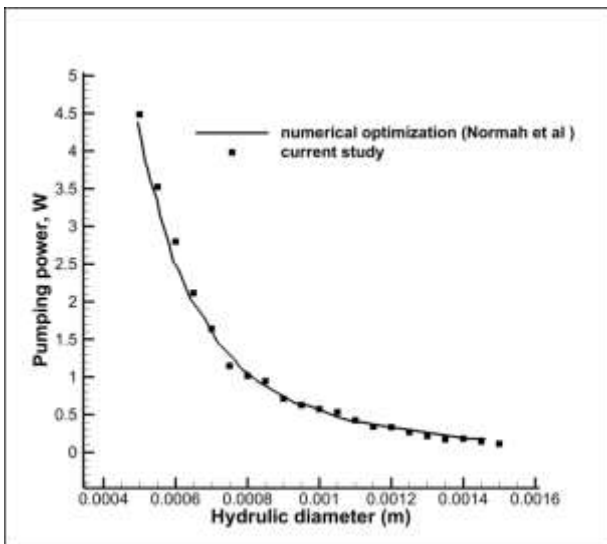
عملکرد سیستم میکروکانال مذکور با یک مدل مقاومتی سیستماتیک مدل سازی شده است. شار حرارتی وارد به سطح پایینی میکروکانال به صورت یکنواخت در نظر گرفته شده است. همان‌طور که در شکل ۱ نیز نشان داده شده است، ضخامت سطح پایینی  $t$  می‌باشد.



شکل ۱: شماتیک چاه حرارتی میکرو کانال



شکل ۲: صحت سنجی تغییرات توان پمپاژ بر حسب قطر هیدرودینامیکی میکروکانال دایره ای



شکل ۳: صحت سنجی تغییرات توان پمپاژ بر حسب قطر هیدرودینامیکی میکروکانال مربعی

در قسمت بعدی نتایج مربوط به سایر پارامترها و سیال عامل نیز آورده شده است.

#### الف: نتایج بهینه‌سازی برای سیال عامل آمونیاک

نتایج حاصل از بهینه‌سازی در شکل های ۴ و ۵ آورده شده است. همانطور که در شکل ۴ مشاهده می‌گردد، در هر توان پمپاژ یکسان، مقاومت حرارتی میکروکانال مربعی از میکروکانال دایره‌ای بیشتر است. شکل ۵ نیز نشان می‌دهد که کانالی با قطر کوچک‌تر مقاومت کمتری را در مقایسه با کانال با قطر بزرگتر دارد. نتایج و توضیحات کامل تر در مطالعه قبلی برای این سیال عامل قابل مشاهده است [۱۱].

$$G = nH_e W_e V_{mf} \quad (۸)$$

مقاومت حرارتی رسانش لایه زیرین میکروکانال  $R_{cond}$  نیز به صورت زیر بیان می‌شود:

$$R_{cond} = \frac{t}{k_{hs} L \times W} \quad (۹)$$

در این پژوهش با توجه به اینکه از دو هندسه مختلف مربع و دایره‌ای استفاده شده روابط برای هندسه دایره‌ای و مربعی نیاز به تصحیح دارند. برای این منظور ضریب از ضریب  $\alpha$  استفاده شده است که برابر نسبت  $H_c$  به عرض دیواره است.

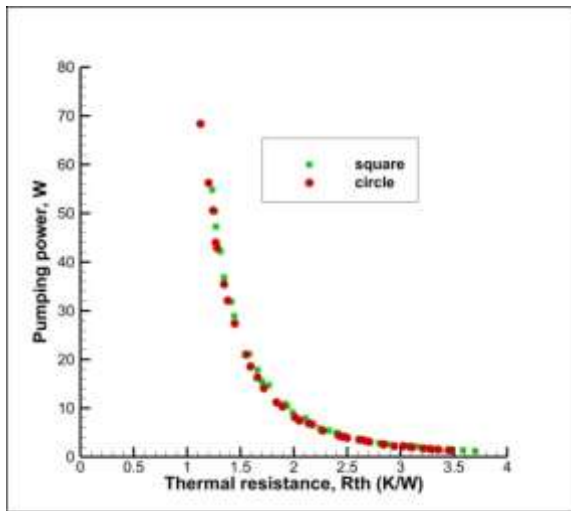
سایر پارامترهای لازم برای استفاده جهت بهینه‌سازی در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱: شرایط و خواص مورد استفاده جهت بهینه‌سازی

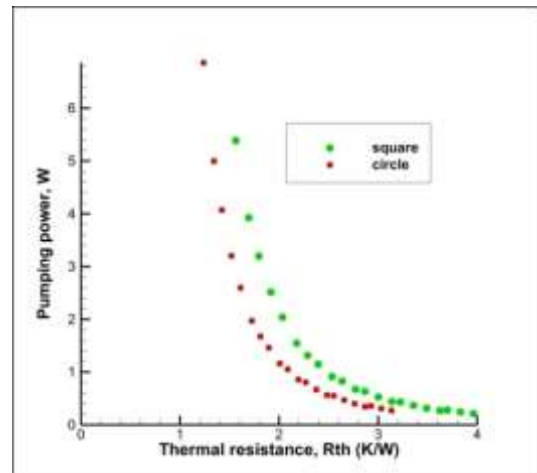
سیال	دما (°C)	رسانش حرارتی $k_f (W/mK)$	ظرفیت مخصوص حرارتی $C_{pf} (J/kgK)$	لزجت دینامیکی $\mu_f (kg/m^3)$	چگالی $\rho_f$	دبی حجمی $G (m^3/s)$
آمونیاک	۱۰	۰/۵۰۶۶	۴۷۲۷/۷	۱۰ <sup>-۶</sup> ۱۴۱/۶	۶۳۴/۶	۱۰ <sup>-۶</sup> ۱/۱۳
آمونیاک	۵	۰/۵۱۹	۴۶۹۷	۱۰ <sup>-۶</sup> ۱۴۸	۶۱۹/۹	۱۰ <sup>-۶</sup> ۱/۱۳

#### نتایج

برای صحه گذاری و مقایسه نتایج بدست آمده در تحقیق حاضر، از بهینه‌سازی مربوط به نرم‌ا و همکاران [۱۰] استفاده شده است. در کار آن‌ها که در سال ۲۰۱۵ منتشر شده است، توان پمپاژ را بر حسب قطر هیدرولیکی بر روی میکروکانال مربعی و دایره‌ای برای سیال آمونیاک ارائه داده‌اند. در شکل ۲ و شکل ۳ مقایسه بین تحقیق حاضر با مرجع ذکر شده آورده شده است. نقاط به دست آمده از نتایج حاصل از الگوریتم ژنتیک نوشته با نتایج حاصل از تحقیق نرم‌ا و همکاران برای هر دو حالت میکروکانال مربعی و دایره‌ای، بسیار نزدیک و قابل قبول می‌باشد و درصد خطا در بیشترین حالت ۲ درصد می‌باشد.

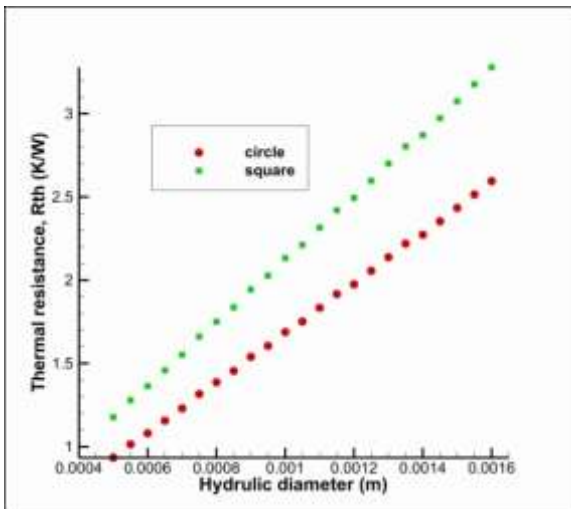


شکل ۶: نمودار تغییرات توان پمپاژ بر حسب مقاومت حرارتی برای سیال آب

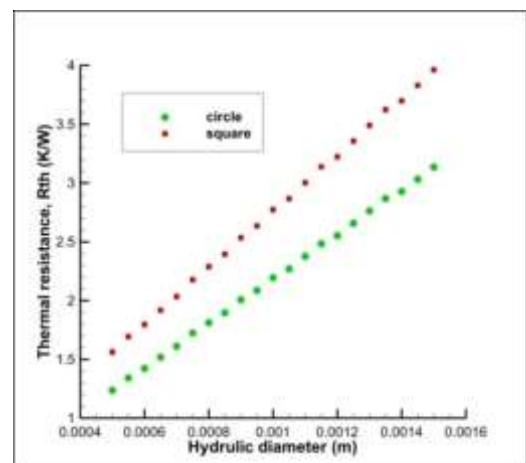


شکل ۴: نمودار تغییرات توان پمپاژ بر حسب مقاومت حرارتی برای سیال آمونیاک [۱۱]

شکل ۷ نیز تغییرات مقاومت حرارتی بر حسب قطر هیدرولیکی را برای سیال آب نمایش می‌دهد. مشابه آمونیاک در این حالت نیز با افزایش قطر هیدرولیکی، مقاومت حرارتی برای هر دو میکروکانال افزایش یافته است. میزان مقاومت حرارتی از لحاظ مقداری برای میکروکانال مربعی دارای مقادیر بالاتری است. این اختلاف در قطرهای هیدرولیکی بالاتر مشهودتر است.



شکل ۷: نمودار تغییرات مقاومت حرارتی بر حسب قطر هیدرولیکی برای سیال آب



شکل ۵: نمودار تغییرات مقاومت حرارتی بر حسب قطر هیدرولیکی برای سیال آمونیاک [۱۱]

### ب: نتایج بهینه‌سازی برای سیال عامل آب

با تغییر سیال عامل از آمونیاک به آب مقادیر به دست آمده تغییر خواهد کرد. در ادامه به بررسی میزان تغییرات توان پمپاژ و مقاومت حرارتی میکروکانال در صورت استفاده از آب به عنوان مبرد پرداخته می‌شود. در ادامه شکل‌های مربوط به نتایج تغییر سیال عامل به آب آمده است.

همان‌گونه که در شکل ۶ دیده می‌شود، در این حالت و با استفاده از سیال عامل آب به جای آمونیاک تغییر محسوسی در استفاده از میکروکانال مربعی و دایره‌ای وجود ندارد. با توجه به این شکل مشاهده می‌گردد که تقریباً استفاده از میکروکانال مربعی و دایره‌ای دارای نتایج یکسانی در یک قطر هیدرولیکی یکسان می‌باشند و سهولت در ساخت می‌تواند مورد توجه قرار گیرد.

### ج: مقایسه نتایج بین سیال آب و آمونیاک

در این قسمت نتایج حاصل از استفاده دو سیال عامل آب و آمونیاک درون میکروکانال مربعی و دایره‌ای با یکدیگر مقایسه می‌گردند. همان‌طور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود برای آمونیاک میزان توان پمپاژ در قطرهای هیدرولیکی بالا تقریباً ثابت است اما در قطرهای هیدرولیکی پایین مقداری تفاوت بین میکروکانال مربعی و دایره‌ای وجود دارد. روند تغییرات آب نیز مانند آمونیاک است با این تفاوت که از لحاظ مقداری توان تولید شده در آن نزدیک به ۶ برابر آمونیاک می‌باشد.

جدول ۲: نتایج حاصل از بهینه‌سازی برای سیال آمونیاک

تعداد میکروکانال	توان پمپاژ (W)	حرارتی (K/W) مقاومت	عرض کانال $W_w$ (mm)	$H_h$ (mm)	هندسه و دمای سیال
۱۶	۴۳/۷	۱/۴۰۷	۰/۱۰۲	۰/۵۰۱	مربعی ۱۰ درجه
۱۶	۶۱/۴	۱/۱۸	۰/۱۰۲	۰/۵۰۳	دایره‌ای ۱۰ درجه
۱۶	۴۳/۹	۱/۴۰۷	۰/۱۰۵	۰/۵۰۸	مربعی ۵ درجه
۱۶	۶۴/۹	۱/۴۰۷	۰/۱۰۱	۰/۵۰۱	دایره‌ای ۵ درجه

در نهایت برای حالتی که از سیال عامل آب استفاده شود، بهینه‌سازی انجام شده و نتایج به صورت زیر در جدول ۳ آورده شده است.

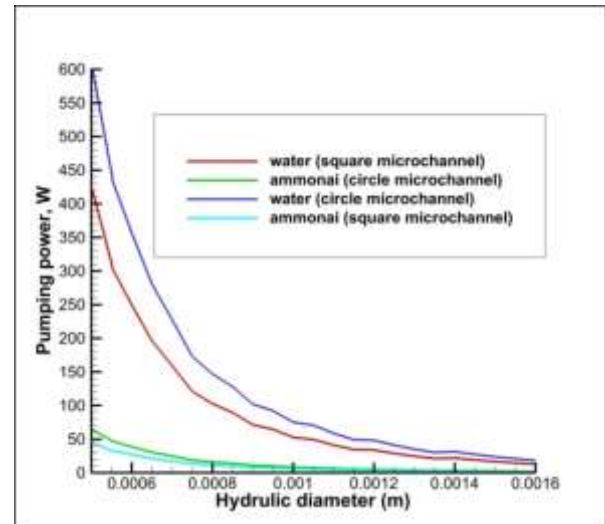
جدول ۳: نتایج حاصل از بهینه‌سازی برای سیال آب

تعداد میکروکانال	توان پمپاژ (W)	حرارتی (K/W) مقاومت	عرض کانال $W_w$ (mm)	$H_h$ (mm)	دما (°C)	هندسه و دمای سیال
۶	۲/۸۳	۲/۸۰۲	۰/۱۶۸	۱/۶۳	۳۱/۷۲	مربعی
۶	۳/۰۷	۲/۷	۰/۱۴۷	۱/۶۳	۳۶/۳۲	دایره‌ای

در مجموع از این نتایج می‌توان بسته به نوع کارکرد مورد نیاز بر اساس کمترین توان پمپاژ، کمترین مقاومت حرارتی و یا در حالتی بهینه برای هر دو مورد، قطر هیدرولیکی بهینه‌سازی شده را برای ساخت چاه‌حرارتی انتخاب نمود. همچنین اگر بخواهیم مدیریت هزینه را در نظر بگیریم، با توجه به شکل‌های مربوط به توان پمپاژ در مقاومت حرارتی مربوط به آن را انتخاب نمود.

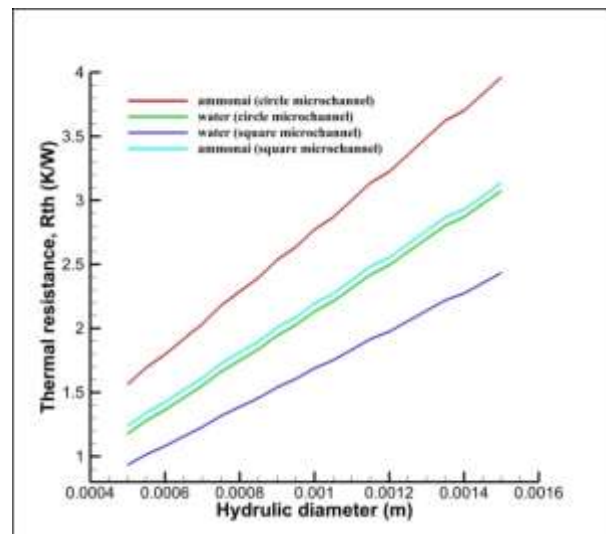
### نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

در این پژوهش به بررسی چاه حرارتی میکروکانال دایروی و مربعی با دو سیال عامل آب و آمونیاک پرداخته شده است. به منظور بهینه‌سازی از روش الگوریتم ژنتیک استفاده شده است که این الگوریتم توسط نرم افزار متلب برنامه نویسی شده است. نتایج به دست آمده برای دو نوع سیال عامل آب و آمونیاک حاکی از آن است که میزان تغییرات مقاومت حرارتی با افزایش قطر هیدرولیکی افزایش می‌یابد و در مورد افت فشار این موضوع کاملاً برعکس است. با توجه به نتایج بهینه‌سازی می‌توان مشاهده کرد که به ازای قطر هیدرولیکی مشخص مقدار افت فشار و مقاومت حرارتی برای میکروکانال دایروی مقادیر بهتری نسبت به کانال مربعی دارد. همچنین نتایج نشان داد



شکل ۸: نمودار تغییرات توان پمپاژ بر حسب قطر هیدرولیکی برای سیال آب و آمونیاک

شکل ۹ تغییرات مقاومت حرارتی بر حسب قطر هیدرولیکی میکروکانال دایره‌ای و مربعی را برای دو سیال آمونیاک و آب نشان می‌دهد. با توجه به این شکل نشان می‌دهد که در یک قطر هیدرولیکی یکسان، سیال آمونیاک در میکروکانال دایره‌ای، بالاترین مقاومت حرارتی را نشان می‌دهد که این امر به علت خواص ترمودینامیکی این سیال می‌باشد.



شکل ۹: نمودار تغییرات مقاومت حرارتی بر حسب قطر هیدرولیکی برای سیال آب و آمونیاک

در انتها بهینه‌سازی برای دماهای ۵ و ۱۰ درجه سانتی‌گراد در جدول ۲ برای سیال آمونیاک آورده شده است. نتایج برای این دو دما اختلاف زیادی با هم ندارند که این امر در میکروکانال مربعی مشهودتر است. این کاهش دما از ۱۰ به ۵ درجه، کمتر از ۱٪ بر بهبود مقاومت حرارتی و معادل همین مقدار افزایش توان پمپاژ را در پی دارد. برای میکروکانال دایره‌ای، تقریباً ۶٪ بر روی توان پمپاژ و کمتر از ۲٪ مقاومت حرارتی را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

- [6] Y. Chen, C. Zhang, M. Shi, J. Wu, Three-dimensional numerical simulation of heat and fluid flow in noncircular microchannel heat sinks, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, Vol. 36, No. 9, pp. 917-920, 2009.
- [7] D. Liu, S. V. Garimella, Analysis and optimization of the thermal performance of microchannel heat sinks, *International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow*, Vol. 15, No. 1, pp. 7-26, 2005.
- [8] A. M. Adham, N. Mohd-Ghazali, R. Ahmad, Thermal and hydrodynamic analysis of microchannel heat sinks: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 21, pp. 614-622, 2013.
- [9] M. B. Kleiner, S. Kühn, K. Habberger, High performance forced air cooling scheme employing microchannel heat exchangers, *Components, Packaging, and Manufacturing Technology, Part A, IEEE Transactions on*, Vol. 18, No. 4, pp. 795-804, 1995.
- [10] G.-M. Normah, J.-T. Oh, N. B. Chien, K.-I. Choi, A. Robiah, Comparison of the optimized thermal performance of square and circular ammonia-cooled microchannel heat sink with genetic algorithm, *Energy Conversion and Management*, 2015.

[۱۱] عظیم زاده، علی، خالقی نیا، جهانفر و کردانی، ناصر، ۱۳۹۴. ” بهینه سازی راندمان حرارتی چاه حرارتی میکروکانال مربعی و دایره-ای به وسیله الگوریتم ژنتیک “، دومین کنفرانس ملی بهینه سازی در علوم و مهندسی.

که میزان توان پمپاژ برای سیال عامل آب به مراتب بالاتر از آمونیاک است اما مقاومت حرارتی این سیال نسبت به آمونیاک پایین تر می-باشد. با استفاده از بهینه سازی انجام گرفته توسط الگوریتم ژنتیک می توان به راحتی سیال عامل را با خواص متفاوت مورد بررسی قرار داد و با این کار از انجام مکرر کارهای آزمایشگاهی و همچنین شبیه سازی های عددی که زمان بر است جلوگیری نمود. همچنین می توان با توجه به کارکرد مورد نیاز چاه حرارتی، با توجه شکل های مربوط به توان پمپاژ و مقاومت حرارتی برحسب قطر هیدرولیکی ابعاد و تعداد میکروکانال در چاه حرارتی را انتخاب نمود.

## مراجع

- [1] J. Ryu, D. Choi, S. Kim, Numerical optimization of the thermal performance of a microchannel heat sink, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 45, No. 13, pp. 2823-2827, 2002.
- [2] Y. Muzychka, Constructural design of forced convection cooled microchannel heat sinks and heat exchangers, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 48, No. 15, pp. 3119-3127, 2005.
- [3] T. Bello-Ochende, L. Liebenberg, J. Meyer, Constructural cooling channels for micro-channel heat sinks, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 50, No. 21, pp. 4141-4150, 2007.
- [4] A. Bejan, S. Lorente, *Design with constructural theory*, 2008.
- [5] S. J. Kim, Methods for thermal optimization of microchannel heat sinks, *Heat transfer engineering*, Vol. 25, No. 1, pp. 37-49, 2004.