

## تحلیل عددی و بهینه‌سازی تاثیر نانوسیال و تراکم توزیع فین بر عملکرد حرارتی یک مبدل حرارتی با میکروفین‌های بیضوی شکل

محمدجواد داعی<sup>۱</sup> و علیرضا ناجی میدانی<sup>۲</sup>

۱ دانشجوی کارشناسی ارشد تبدیل انرژی، موسسه آموزش عالی اقبال لاهوری مشهد، daei@eqbal.ac.ir

۲ استادیار گروه مهندسی مکانیک، موسسه آموزش عالی اقبال لاهوری مشهد، naji@eqbal.ac.ir

### چکیده

در مطالعه حاضر، تاثیر نانوسیال و تراکم توزیع فین بر عملکرد حرارتی و هیدرولیکی یک جاذب حرارتی با میکروپین‌های بیضوی شکل مورد مطالعه قرار گرفته است. جریان نانوسیال آرام بوده و عدد رینولدز برابر ۱۰۰ می‌باشد. پین‌های بیضوی شکل در دو آرایش خطی و غیرخطی بررسی شده و برای هر آرایش، سه تراکم توزیع فین مختلف مدلسازی شده است تا در مجموع شش هندسه مختلف مورد بررسی قرار بگیرد. سه تراکم بررسی شده در آرایش خطی به ترتیب شامل ۴، ۹ و ۱۵ فین و سه تراکم بررسی شده در آرایش غیرخطی به ترتیب شامل ۶، ۸ و ۱۴ فین می‌باشند و از نانوسیال‌های آب-اکسید آلومینیوم با کسرهای حجمی یک درصد و سه درصد استفاده شده است. از نرم افزار گمبیت برای طراحی هندسه‌ها و شبکه‌بندی آن‌ها و از نرم افزار فلونت برای تحلیل استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که استفاده از فین‌های بیضوی شکل به جای فین‌های دایره‌ای شکل باعث افزایش انتقال حرارت می‌شود به صورت کلی می‌توان نتیجه گرفت که تاثیر قطرهای بیضی با شرط ثابت بودن محیط، انتقال حرارت را تا ۰/۸ درصد و کار پمپ را تا ۱۲۰ درصد می‌تواند تحت تاثیر قرار دهد.

**واژگان کلیدی:** تحلیل عددی، نانوسیال، مبدل حرارتی، فیکروفن بیضوی شکل

## مقدمه

یکی از ابزارهای پرکاربرد انتقال حرارت را می توان میکروکانال ها نام برد که خنک کننده های بسیار کوچکی هستند و ضریب انتقال حرارت شان بسیار بالا بوده و از لحاظ وزنی و بعدی بسیار کوچک می باشند. البته باید در نظر داشت که این خنک کننده ها به علت محدود و کوچک بودن، انتقال حرارت پایینی دارند. پس می توان نتیجه گیری کرد اگر انتقال حرارت هدایتی سیالات افزایش یابد می تواند به انتقال حرارت میکروکانال های گرماگیر کمک کند.

در طول سال های اخیر مطالعات و بررسی های مختلفی در زمینه تحلیل حرارتی و هیدرولیکی و تاثیر نانوسیال و تاثیر شکل و آرایش فین ها در عملکرد جاذب های حرارتی میکروپین فین انجام شده که در ادامه آمده است.

سودفکادی و همکارانش [۱]، انتقال حرارت جاذب حرارتی با میکروپین فین های دایره ای، بیضوی و مربعی را در آرایش لوزوی (یکی در میان) و مربعی (پشت سر هم) بررسی کردند. آن ها متوجه شدند که در همه موارد آرایش لوزوی (یکی در میان) بهتر از آرایش مربعی (پشت سر هم) عمل می کند و همچنین در افت فشار و توان پمپاژ پایین تر فین بیضوی بهتر از بقیه عمل می کند. در افت فشار و توان پمپاژ بالاتر فین دایره ای بهترین عملکرد را دارد. کوثر و همکارانش [۲-۶]، به صورت تجربی افت فشار و ضرایب اصطکاک جاذب های حرارتی با میکروپین فین های دایره ای، مستطیلی، لوزوی، هیدروفویل شکل، و مخروطی حاوی سیال آب و R-123 را مطالعه کرده و یک رابطه برای ضرایب اصطکاک ارائه کردند. نتایج حرارتی و هیدرولیکی به دست آمدند تا عملکرد جاذب حرارتی را در نرخ جرمی جریان ثابت، افت فشار ثابت و توان پمپاژ ثابت ارزیابی و مقایسه کنند. ریچی و همکارانش [۷]، به صورت تجربی جاذب حرارتی با میکروپین فین های دایره ای، مربعی، مثلثی و لوزوی را با آرایش مربعی (پشت سر هم) تحت شرط مرزی شار حرارتی ثابت مطالعه کردند. نتایج نشان دادند که عدد ناسلت وابسته به آرایش فین و شکل فین است. به طور مخصوص، تغییرات عدد ناسلت در فین های مثلثی و لوزوی بهتر است. یانگ و همکارانش [۸]، بر روی جاذب های حرارتی با میکروپین فین های مربعی و دایره ای و بیضوی آزمایش انجام دادند. در آرایش مربعی (پشت سر هم)، ضریب انتقال حرارت با افزایش تراکم پین فین های دایره ای افزایش یافت اما برای میکروپین فین های مربعی تغییر چندانی مشاهده نشد. اما وقتی از آرایش لوزوی (یکی در میان) استفاده شد، میزان تراکم پین فین ها در هر سه شکل مربعی و دایره ای و بیضوی در بهبود ضریب انتقال حرارت موثر بود. حسن [۹-۱۰]، جاذب حرارتی میکروپین فین حاوی نانوسیال را در سه حالت پین فین های مربعی و مثلثی و دایره ای به صورت عددی مطالعه کرد و ویژگی های هیدرودینامیک و حرارتی آن ها را با هم مقایسه کرد. نتایج نشان داد که با استفاده از نانوسیال به جای سیال خالص انتقال حرارت بهبود می یابد و با افزایش غلظت حجمی هم انتقال حرارت و هم افت فشار بیشتر می شود. روبیو-جیمنز و همکارانش [۱۱]، یک میکروپین فین جدید با تراکم فین متغیر برای خنک کردن نسل آینده مدارهای IC معرفی کردند که در طراحی آن به توزیع دمای یکنواخت تر در طول مدار توجه شده بود. نتایج عددی آن ها نشان داد که یک جاذب حرارتی میکروپین فین با ۴۷۴۸ فین با آرایش مربعی (پشت سر هم) می تواند مقاومت حرارتی در محدوده ۰/۱۴ تا ۰/۲۵ K/W با افت فشارهایی کمتر از ۱۰۰ kPa داشته باشد. گرادیان دما در دیواره متصل به مدار به عنوان پارامتر مهم مقایسه ای کار آن ها انتخاب شد و گرادیان های دمایی کمتر از (۲C/mm) در میکروپین فین بررسی شده مشاهده شد. رفعتی و همکارانش [۲۳]، عملکرد جاذب حرارتی میکروپین فین با سیال اتیلن گلیکول و نانوسیالات با پایه آب دی یونیزه دارای سه غلظت حجمی مختلف از آلومینیوم، سیلیسیوم و تیتانیوم را بررسی کردند. آن ها آزمایش را در سه نرخ جریان ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ LPM انجام دادند و نشان دادند با افزایش نرخ جریان دمای پایه کمتر می شود. نانوسیال آلومینیوم با غلظت حجمی یک درصد عملکرد بهتری نشان داد و دمای پایه را در مقایسه با سیال پایه به میزان ۵/۵ درجه سانتیگراد کمتر کرد. شفیعی و همکاران [۱۲]، یک مطالعه عددی روی انتقال حرارت جابجایی اجباری در جاذب های حرارتی میکروپین فین ارائه دادند. در میان آرایش های مختلف پین فین ها مانند مورب و لوزوی (پشت سر هم)، موردی که آرایش مورب داشت بیشترین ظرفیت برداشت حرارت را در توان پمپاژ مشخص داشت. همچنین نشان داده شد که برداشت حرارتی جاذب حرارتی میکروپین فین در توان پمپاژهای متوسط و بالا کمتر از یک میکروکانال ساده بهینه شده است، اما در توان پمپاژ پایین اندکی بیشتر است. وان و همکارانش [۱۳]، یک مطالعه پارامتری انجام

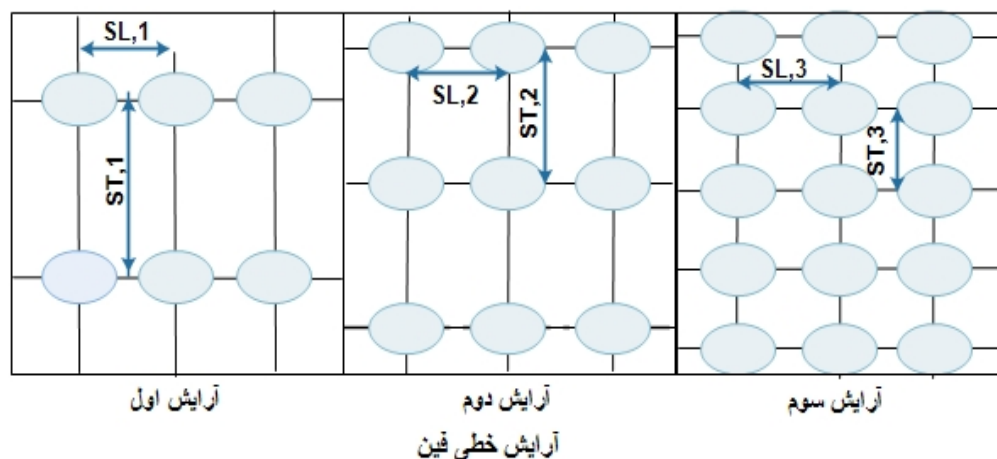
دادند تا تاثیر تمام ابعاد بین شامل قطر، فاصله طولی، عرضی و ارتفاع بر افت فشار را با ضرایب اصطکاک مختلف و ضرایب انتقال حرارت مختلف بررسی کنند. در کار آنها فین‌های دایره‌ای و مربعی با هم مقایسه شدند و نتایج نشان دادند که فین‌های دایره‌ای در یک توان پمپاژ یکسان عملکرد حرارتی بهتری دارد. جاجا و همکارانش [۱۴]، آزمایشی روی جاذب حرارتی میکروپین فین با متغیر بودن فاصله بین فین‌ها و استفاده از آب به عنوان سیال خنک کننده انجام دادند. آنها متوجه شدند که با افزایش نرخ جریان و کاهش فاصله بین فین‌ها، مقاومت حرارتی و دمای پایه جاذب کمتر می‌شود. آنها ماکزیمم نسبت بهبود ۱/۳۹ در ضریب انتقال حرارت و بهبود ۳/۹ برابری در سطح انتقال حرارت نسبت به جاذب حرارتی تخت مشاهده کردند. ژائو و همکارانش [۱۵]، یک جاذب حرارتی با میکروپین فین‌های مربعی را در شش آرایش با تراکم توزیع فین مختلف و زاویه قرارگیری فین مختلف به صورت عددی مطالعه کردند تا تاثیر میزان تراکم فین‌ها و زاویه قرارگیری آنها را بر عملکرد جاذب بررسی کنند. نتایج آنها نشان داد هر دو عامل میزان تراکم توزیع فین‌ها و زاویه قرارگیری آنها در عملکرد حرارتی مهم بوده و برای هر دو عامل تراکم فین و زاویه فین مقدار بهینه‌ای وجود دارد. نتایج همچنین نشان داد که عامل تراکم توزیع فین‌ها تاثیرگذارتر از زاویه قرارگیری فین‌ها است. تحقیقات نشان داد که در هیچ کار مشابه‌ای به بررسی و بهینه‌سازی میکرومبدل‌ها پرداخته نشده است.

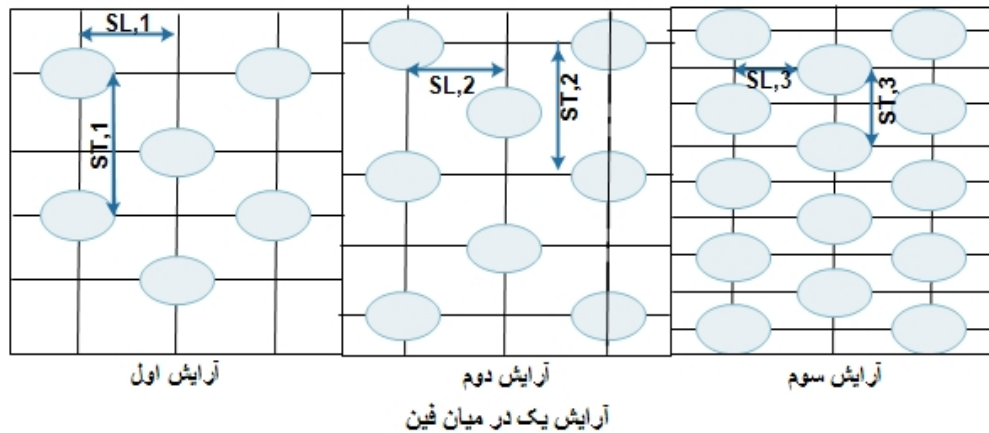
### بیان مسئله

در این تحقیق دو هندسه پایه، یکی خطی و دیگری یکی در میان و هرکدام با سه آرایش مختلف فین در مجموع با شش هندسه مورد بررسی قرار گرفته است. هدف از انجام تحقیق بررسی انتقال حرارت در میکروکانال است و ابتدا با توجه به هندسه پایه، بهترین قطرهای بیضی را به شرط محیط ثابت به دست آورده و بعد به بررسی اثر آرایش فین‌ها می‌پردازیم. ارتفاع کانال برابر با ۱۷۰ میکرومتر است. هدف تحقیق بهینه‌سازی قطر بهینه فین است با فرض اینکه محیط کل بیضی‌ها با محیط یک دایره با قطر ۸۰ برابر باشد. در نرم افزار فلونت میزان انتقال حرارت را در حالت‌های مختلف فین محاسبه می‌کنیم و سپس این حالت‌ها را به شبکه عصبی برده، دیتاها را آموزش داده و در نهایت با الگوریتم ژنتیک به بهینه‌سازی مسئله حاضر می‌پردازیم تا قطر بهینه برای بیشترین عملکرد فین بدست آید.

شکل ۱ و جدول ۱ هندسه کاری طرح حاضر است حال باید معادلات حاکم را در مورد این میکروکانال با توجه به فرضیات موجود

بنویسیم.





شکل (۱) نمایی از میکروکانال

جدول (۱) آرایش فین ها

	آرایش اول	آرایش دوم	آرایش سوم
$SL (\mu m)$	۱۵۰	۱۵۰	۱۵۰
$ST (\mu m)$	۳۰۰	۱۵۰	۱۰۰

### معادلات حاکم و شرایط مرزی

معادلات حاکم با در نظر گرفتن معادلات پیوستگی، مونتوم و انرژی به شکل زیر در می آیند.

#### معادله پیوستگی

معادله پیوستگی به شکل زیر تعریف می گردد.

$$\nabla \cdot (\rho \mathbf{V}) = 0 \quad (1)$$

که در آن  $\rho$  چگالی نانوسیال است. همچنین  $\mathbf{V}$  سرعت میانگین جرمی نانوسیال می باشد.

#### معادله مومنتوم

معادله مومنتوم برای نانو سیال به صورت زیر تعریف می شود:

$$\nabla \cdot (\rho \mathbf{V} \mathbf{V}) = -\nabla \hat{p} + \nabla \cdot [\mu (\nabla \mathbf{V})] + \nabla \cdot (\phi \rho_p \mathbf{V}_{dr,p} \mathbf{V}_{dr,p}) \quad (2)$$

که در آن  $\mu$  ویسکوزیته نانوسیال،  $\rho$  فشار استاتیکی و  $\phi$  درصد حجمی نانوذرات و  $\mathbf{V}_{dr,p}$  سرعت رانشی برای فاز دوم می باشد.

#### معادله انرژی برای حوزه سیال

معادله انرژی برای جریان لزج، پایا و تراکم ناپذیر در نانو سیال به صورت زیر تعریف می گردد:

$$\nabla \cdot \left( \phi \rho_p \mathbf{V}_p \left( C_{p,p} T + \frac{V_p^2}{2} + \frac{p}{\rho_p} \right) + (1-\phi) \rho_f \mathbf{V}_f \left( C_{p,f} T + \frac{V_f^2}{2} + \frac{p}{\rho_f} \right) \right) = \nabla \cdot (k \nabla T) + \Phi \quad (3)$$

که در آن  $k$  ضریب هدایت حرارتی،  $C_p$  ظرفیت گرمایی ویژه و  $\phi$  درصد حجمی نانوذرات و همچنین  $\Phi$  ترم اتلاف انرژی می باشد

که به صورت زیر تعریف می شود:

$$\Phi = \mu \left[ 2 \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + 2 \left( \frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 \right] \quad (4)$$

**شرایط مرزی****شرایط مرزی کانال**

شرط ورودی هیدرودینامیکی؛ در ورودی سرعت یکنواخت بوده یعنی داریم:

$$\mathbf{u} = U_i, \quad \mathbf{v} = 0 \quad (5)$$

**شرط ورودی گرمایی**

دما در ورودی یکنواخت بوده یعنی داریم:

$$T = T_i \quad (6)$$

**شرایط مرزی دیواره**

شرط هیدرودینامیکی؛ در بالا و پایین کانال شرط عدم لغزش برقرار است.

$$\mathbf{u} = 0, \quad \mathbf{v} = 0 \quad (7)$$

همچنین دیواره بالای کانال،  $y = H$ ، پایین کانال،  $y = 0$  می باشد.

شرط گرمایی؛ دیواره بالای کانال آدیاباتیک در نظر گرفته شده است یعنی داریم:

$$\frac{\partial T_s}{\partial y} = 0 \quad (8)$$

**شرایط مرزی خروجی**

برای خروجی، فشار برابر استاتیکی در نظر گرفته می شود:

$$p = p_0 \quad (9)$$

شرایط مرزی دیواره؛ در دیواره،  $y = 0$ ، تعادل گرمایی موجود است.

$$k_s \left( \frac{\partial T_s}{\partial y} \right) = k \left( \frac{\partial T}{\partial y} \right) \quad (10)$$

**اعتبار سنجی**

برای اینکه مسئله حاضر را اعتبار سنجی کنیم، مسئله نیماگادا و ونکاتاسویا مورد استفاده قرار گرفت. در مقاله موجود مقادیر شامل اعداد زیر می باشند:

$$L = 0/05 \text{ m}$$

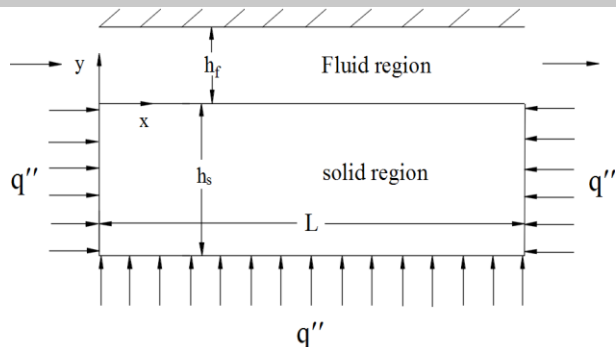
$$h_f + h_s = 625 \text{ } \mu\text{m} \text{ ارتفاع}$$

$$h_f = 295 \text{ } \mu\text{m} \text{ ارتفاع کانال}$$

$$h_s = 330 \text{ } \mu\text{m} \text{ ضخامت ناحیه جامد}$$

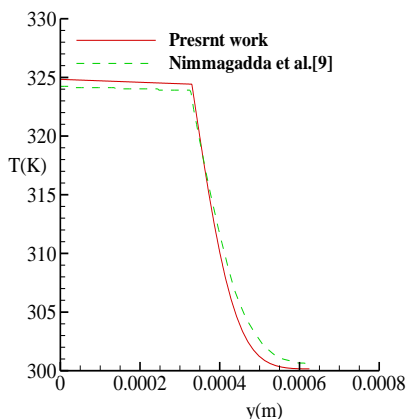
همچنین شکل به کار رفته در مقاله مطابق شکل ۲ می باشد. جریان دو بعدی در نظر گرفته شده است. همچنین خواص فیزیکی و دیواره جامد ثابت فرض شده اند.

شار حرارتی یکنواخت  $q'' = 150000 \text{ W/m}^2$  به هر سه طرف آن کانال وارد می گردد.

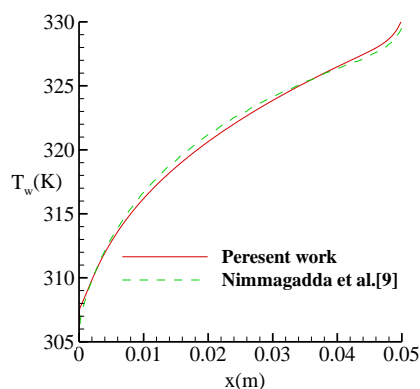


شکل (۲) هندسه مسئله نیماگادا و ونکاتاسوبایا

در شکل ۳ تغییرات دمای موجود درون دیوار بر حسب تغییرات طولی کانال رسم شده است و در شکل ۴ دمای موجود درون دیوار بر حسب عرض کانال در  $x = 0/025 \text{ m}$  رسم شده است.



شکل (۴) مقایسه تغییرات دما نسبت به عرض کانال در  $x = 0/025 \text{ m}$



شکل (۳) مقایسه تغییرات دمای دیوار نسبت به طول کانال

با مقایسه نمودارها می توان گفت که میزان انحراف از مقاله کمتر از نیم درصد می باشد. این میزان خطا قابل قبول بوده و می توان از صحت اطلاعات اطمینان حاصل نمود.

## مدل سازی

بعد از انجام تقسیم بندی، دیتاها در سه دسته آموزشی، تست و ارزیابی، از نرم افزار مینی تب برای ایجاد مدل ریاضی ما بین این توصیف گر ها و فعالیت انتقال حرارت استفاده شده است.

در این تحقیق ابتدا از مدل های رگرسیون خطی استفاده شده تا میزان انتقال حرارت مشخص شود و در نهایت از شبکه عصبی استفاده شده است که بعد از مشخص شدن میزان موفقیت هر یک از روش ها در پیش بینی انتقال حرارت به ارائه یک روش ترکیبی عصبی-ژنتیک پرداخته شده است. چند روش مدل سازی که در این تحقیق استفاده شده است عبارتند از:

مدل های شبکه عصبی

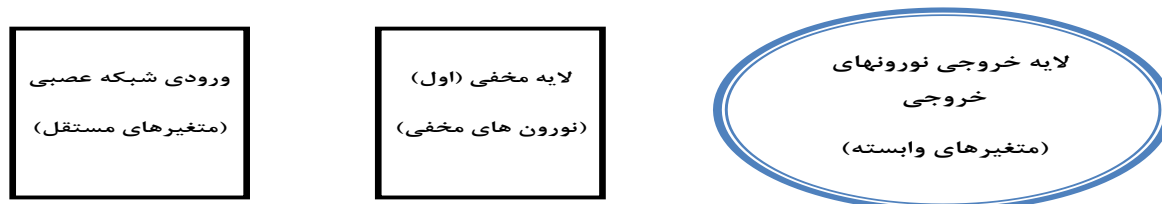
مدل های بهینه سازی

مدل سازی شبکه عصبی (MLP)

در این قسمت به طراحی بهینه یک شبکه عصبی چند لایه پرداخته و تمام ضرایب شبکه عصبی به صورت بهینه ارائه شده است.

## طراحی و بهینه سازی شبکه عصبی

در این مرحله توصیف گرهای انتخابی توسط نرم افزار مینی تب که برای هر کدام از مجموعه های آموزشی، ارزیابی و شبیه سازی دو مورد است به نرم افزار متلب انتقال داده می شود.



شکل (۵) لایه های شبکه عصبی ایجاد شده

برای اجرای شبکه عصبی، یک شبکه دو لایه شامل لایه مخفی و لایه خروجی مورد استفاده قرار می گیرد که در شکل ۵ نشان داده شده است.

در شبکه در نظر گرفته شده در قسمت بالا، در ورودی شبکه عصبی، توسط نرم افزار مینی تب ورودی ها (توصیف گرهای انتخابی) مشخص شده و وارد شبکه می شود که در این تحقیق دو متغیر است، در گام بعدی برای لایه مخفی، تعداد نورون های مخفی تعیین می شود، که برای رسیدن به این نتیجه، عمل بهینه سازی شبکه صورت می گیرد. به دلیل اینکه تعداد متغیر وابسته یک مورد است، در نتیجه تعداد نورون در لایه خروجی، یک، انتخاب خواهد شد.

توپولوژی یک شبکه عصبی مصنوعی توسط تعداد لایه ها، تعداد گره ها و رفتار تابع انتقال تعیین می شود. بهینه سازی توپولوژی شبکه عصبی مصنوعی مهمترین مرحله در بهبود یک مدل می باشد.

شبکه ها دارای چند لایه بسیار قدرتمند هستند. در طراحی شبکه برای کاری که مدنظر بوده، از شبکه دو لایه شامل لایه مخفی و لایه خروجی استفاده شده و تابع انتقال لایه اول (لایه پنهانی) سیگموئید، لایه دوم (لایه خروجی) نیز سیگموئید انتخاب شد. خروجی شبکه نیز همان پاسخ مورد نظر (انتقال حرارت  $(C/R)$ ) است. همانطور که گفته شد برای تعیین تعداد نورون های لایه مخفی از تکنیک های بهینه سازی استفاده شده است.

برای انجام عملیات بهینه سازی مقادیر عددی  $N$  (تعداد نورون های لایه مخفی)،  $LR$  (میزان یادگیری)،  $Mo$  (ضریب مومنتوم) و  $IT$  (ضریب تکرار پذیری) نسبت به هم در یک محدوده خاص تغییر داده می شود، بدین صورت که یکی از پارامترها تغییر داده شده و پارامترهای دیگر ثابت در نظر گرفته می شود تا مقادیر  $RMSE$ ،  $R$  (میزان همبستگی) بدست آمده از شبکه به ترتیب به بیشترین و کمترین مقدار خود برسند و پارامتر مورد نظر انتخاب شود. سپس این پارامتر در مقدار بهینه خود تنظیم شده و پارامتر دیگر به همین نحو تغییر داده می شود تا باز هم  $RMSE$  حداقل شده و  $R$  حداکثر گردد در نتیجه مقدار بهینه پارامتر انتخاب گردد و برای انتخاب بهینه پارامترهای بعدی، این عمل تکرار می شود تا تمامی پارامترها بهینه گردند.

شبکه عصبی مصنوعی که توسط عملیات فوق بهینه شده است برای پیش بینی میزان انتقال حرارت استفاده می شود.

## نتایج بهینه سازی

برای بهینه سازی از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است که مقادیر اصلی این تحقیق توسط شبکه آموزش داده شده عصبی بدست آمده و در نهایت توسط الگوریتم ژنتیک به بهینه سازی سیستم پرداخته شده، برای اینکه بتوانیم یک شبکه آموزش داده بهینه

<sup>1</sup> Layer

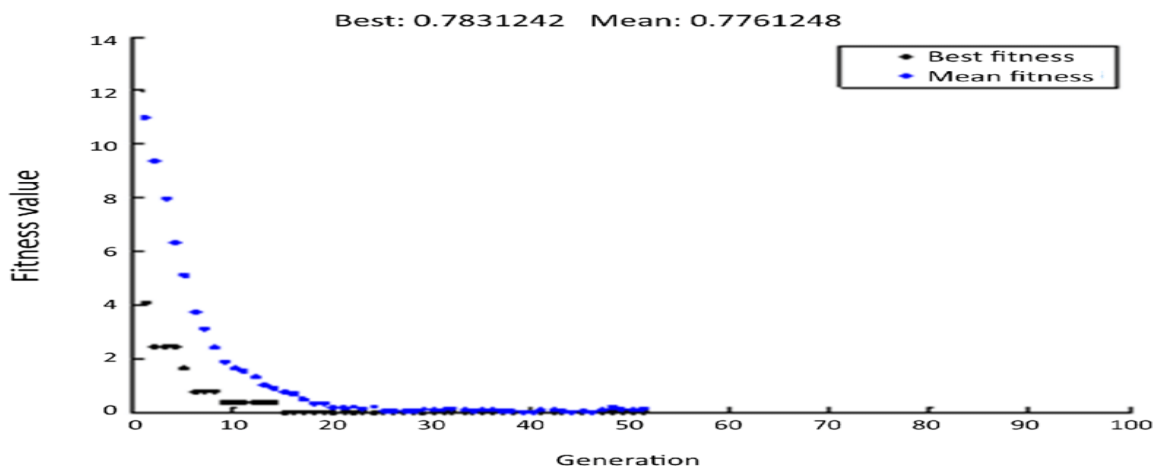
<sup>2</sup> Rate Learning

<sup>3</sup> momentum

<sup>4</sup> Iteration

<sup>5</sup> Root Mean Square of Error

داشته باشیم باید وزن های ایجاد شده در نوع تابع انتقال ابتدا بهینه سازی شود که این وزن ها را در این تحقیق از فرا ابتکاری الگوریتم ژنتیک با مقادیر مشخص شده جدول ۲ بهینه شده و همچنین برای اینکه الگوریتم در بهینه محلی گیر نکند از فراجش و نخبه گرایی استفاده شده است، ضریب تقاطع برابر با ۰/۲ در نظر گرفته شده و جمعیت اولیه برابر با ۵۰ است در نهایت نتیجه کلی بهینه سازی در شکل ۶ نشان داده شده است.



شکل (۶) مقادیر بهینه ژنتیک

جدول (۲) مقادیر استفاده شده در الگوریتم ژنتیک

تعداد جمعیت	تعداد ایتراشن	ضریب تقاطع
۵۰	۳۵۰	۰/۲

همانطور که مشاهده می شود بین نتایج بدست آمده از مدل بهینه سازی شده و پاسخ های واقعی همبستگی زیادی وجود دارد و خطای حدود ۲ درصد نشان می دهد. بنابراین می توان نتیجه گرفت که می توان از بهینه سازی به بررسی انتقال گرما پرداخت. میزان خطاها در جدول ۳ مشخص شده است

جدول (۳) خطاهای نسبی بین پاسخ های واقعی (مجموعه شبیه سازی) و پاسخ های مدل بهینه سازی الگوریتم ژنتیک

	RMSE	MPE	RSE(%)	R
داده های شبیه سازی	۱۳/۴۵۵۴۰	۴/۹۸۴۹۵۴۷۸۷۸۷	۹/۸۴۷۸۴۲۸۴۶۶	۰/۹۴۵۷۵۸۷۳

### بررسی مقادیر خطا روی پاسخ های حاصل از داده های آموزشی شبکه عصبی

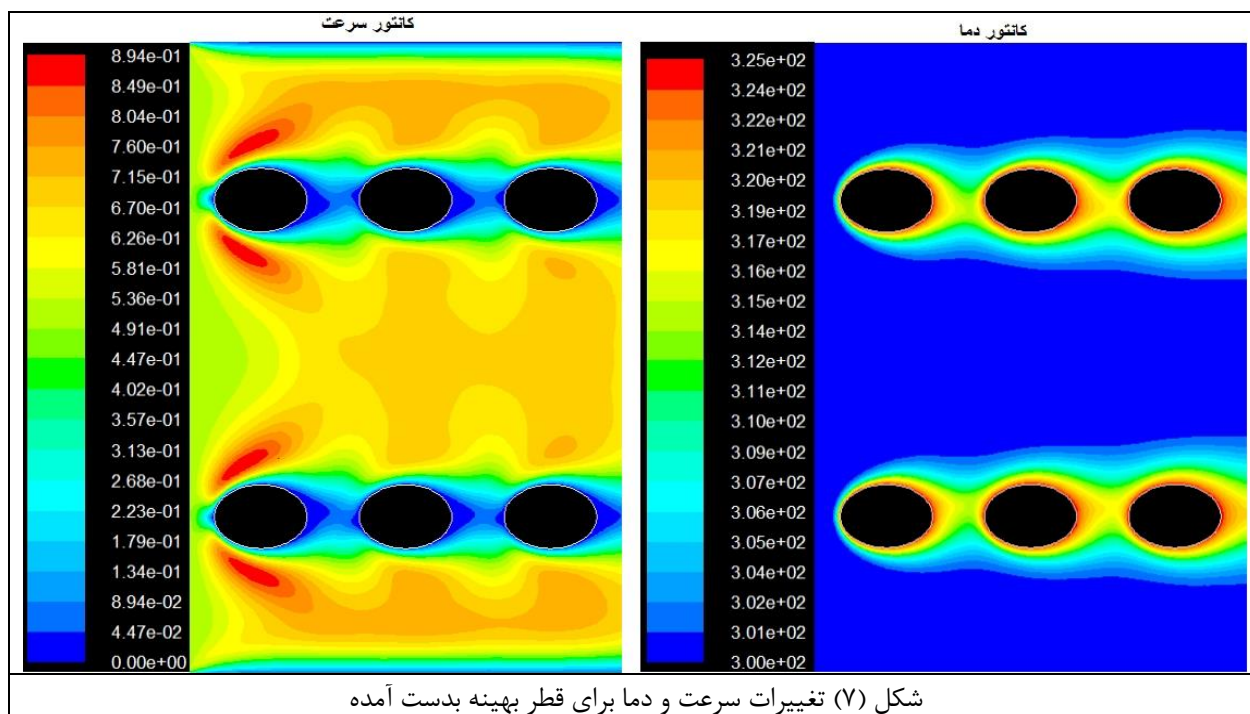
خطای بین مقادیر پیشگویی شده و مقادیر واقعی برای داده های آموزشی و ارزیابی در شبکه عصبی طراحی شده، به سه صورت RMSE، MPE و RSE محاسبه شدند ملاحظه می شود خطای بسیار کمتری نسبت به روش های رگرسیونی وجود دارد. به طوری که درصد خطا برای داده های آموزشی و ارزیابی به ترتیب برابر ۰/۱۱٪ و ۰/۱۹٪ بوده است. مقادیر پایین سایر پارامترهای خطا و همچنین مقادیر بسیار خوب ضرایب همبستگی نیز مؤید این ادعا می باشد.



جدول (۴) خطاهای نسبی بین پاسخهای واقعی و پاسخهای مدل MLP و ضریب همبستگی برای دو مجموعه آموزشی و ارزیابی

	RSE(%)	MPE	RMSE	R
داده های آموزش	۷/۹۲۳۰۶۸۰۷۲	۴/۹۹۲۰۵۹	۱۱/۷۳۶۳۲۶۹۴۳	۰/۹۴۳۵۹۶۵۷۳
داده های ارزیابی	۱۳/۴۰۵۹۶۸	۸/۴۷۵۹۳۴۵	۱۹/۱۵۵۲۹۴	۰/۹۱۲۳۷۳

که در نهایت به بهینه سازی قطرهای بهینه برای این مسئله برای قطر کوچک ۳۱ و قطر بزرگ برابر با ۴۷,۳۱ بدست آمده است که کانتور دمایی این مسئله در شکل ۷ نشان داده شده است.



در کل می توان نتیجه گرفت که قطرهای بیضی در بحث انتقال حرارت و سیالات نقش مهمی دارد و در هر آرایش با توجه به نتایج بالا یک حالت بهینه ای وجود دارد. همان طور که مشخص شد با تغییر قطرهای بیضی هیچ رابطه ای وجود ندارد که بتوان گفت افزایش یا کاهش قطر در جهت جریان یا جهت مخالف جریان انتقال حرارت افزایش یا کاهش می یابد، در این حالت می توان به یک حالت بهینه در بحث انتقال حرارت دست یافت ولی برای افزایش کار پمپ هر چقدر قطر در جهت جریان بیشتر باشد کار پمپ بیشتر خواهد بود و این یک امر بدیهی است چون مقاومت در جهت جریان بیشتر است ولی بحث انتقال حرارت باید بیشتر بررسی شود تا به حالت بهینه انتقال حرارت رسید.

#### بررسی آرایش های مختلف فین

با توجه به موارد فوق و بدست آوردن بهترین حالت در انتقال حرارت برای کل آرایش های فین خطی و حالت یک در میان از فین با قطر مشخص شده ای که از حالت بهینه استفاده شده است و با توجه به مواردی که قبلاً ذکر شده است ابتدا برای کل آرایش ها از این فین استفاده کرده و در نهایت اثر آرایش فین بر انتقال حرارت و کار پمپ را بررسی می کنیم در این حالت از نانوسیال آب اکسید آلومینیوم با کسرهای حجمی ۰/۰۱ و ۰/۰۳ استفاده نموده که علاوه بر اینکه اثر تراکم فین مشخص می شود اثر درصد

نانوسیال را نیز مشخص می‌کنیم. جدول ۵ برای آرایش خطی و جدول ۶ برای آرایش یک در میان، کار پمپ و دمای خروجی سیال و همچنین شار حرارتی پایه فین‌ها را نشان می‌دهد.

جدول (۵) دما و کار پمپ و شار حرارتی پایه فین‌ها در آرایش خطی

نرخ شار حرارتی در پایه فین‌ها	دمای خروجی سیال	کار پمپ	آرایش اول
۱۸۹/۲۱۷۷	۳۰۴/۰۸	۰/۱۰۷	کسر حجمی ۰/۰۱
۴۷/۲۹۱۶	۷۲۷۵/۳۰۴	۱۱۱۹/۰	کسر حجمی ۰/۰۳
آرایش دوم			
۳۳۲/۳۵۹۱	۲۱۷/۳۰۵	۱۷۸۹/۰	کسر حجمی ۰/۰۱
۳۹۶/۴۴۳۷	۸۶۶/۳۰۶	۱۸۸۷/۰	کسر حجمی ۰/۰۳
آرایش سوم			
۵۶۷/۷۴۳۱	۲۲/۳۰۷	۵۷۳۳/۰	کسر حجمی ۰/۰۱
۱۰۷/۸۵۹۴	۲۶/۳۰۸	۶۰۸۱/۰	کسر حجمی ۰/۰۳

جدول (۶) دما و کار پمپ و شار حرارتی پایه فین‌ها در آرایش یک‌درمیان

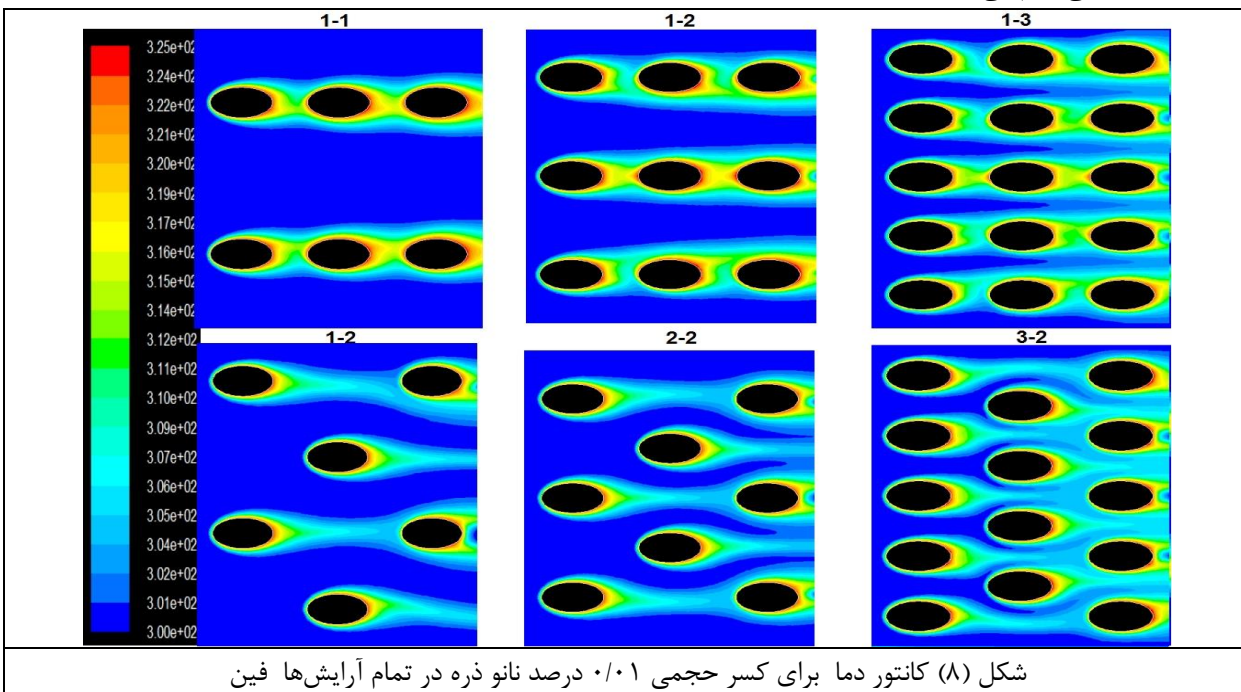
نرخ شار حرارتی در پایه فین‌ها	دمای خروجی سیال	کار پمپ	آرایش اول
۵۱۵/۲۹۰۱	۳۲/۳۰۳	۰/۱۵۸۴	کسر حجمی ۰/۰۱
۵۳۶/۳۴۰۳	۰۵/۳۰۴	۰/۱۶۶۵	کسر حجمی ۰/۰۳
آرایش دوم			
۹۰۱/۳۸۷۲	۷/۳۰۴	۰/۱۹۱۸	کسر حجمی ۰/۰۱
۲۵۹/۴۵۷۰	۵/۳۵	۰/۲۰۸۸	کسر حجمی ۰/۰۳
آرایش سوم			
۰۵۸/۸۰۳۴	۳۳/۳۰۷	۰/۵۹۰۱	کسر حجمی ۰/۰۱
۴۰۵/۹۲۷۷	۵۱/۳۰۸	۰/۶۲۳۷	کسر حجمی ۰/۰۳

همانطور که مشخص است کار پمپ با تراکم فین‌ها چه در حالت خطی و چه حالت یک در میان زیاد می‌شود و با اضافه کردن نانوسیال در هر دو حالت باعث افزایش کار پمپ می‌شود و همچنین در تمام موارد بالا هم با افزایش کسر حجمی نانوذره، دمای خروجی و شار حرارتی فین افزایش می‌یابد و با تراکم فین‌ها در هر دو حالت هم شار حرارتی فین و هم دمای خروجی افزایش می‌یابد تمام موارد ذکر شده یک امر بدیهی است. ولی نتایج توانست به ما نشان دهد که با افزایش نانوذره کار پمپ نسبت به تراکم فین‌ها افزایش زیادی نمی‌یابد و می‌توان در مواردی که در انتخاب پمپ محدودیت داریم جای تراکم فین از نانوذره و حتی با کسرهای حجمی بالاتر استفاده کنیم.

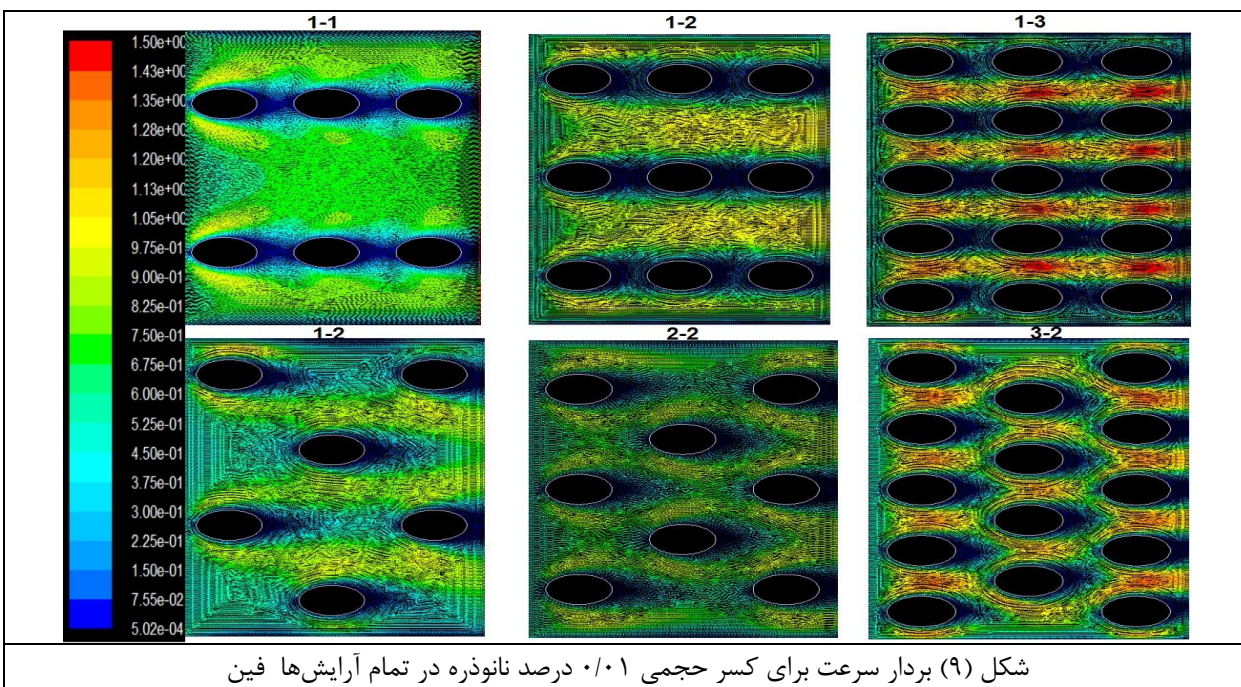
در نهایت توانستیم مشخص کنیم که اثر اضافه کردن نانوذره از اثر تراکم فین بیشتر است و همچنین با مقایسه با جدول ۵ مشخص می‌شود که تاثیر قطر بهینه برای مبدل‌های بیضوی از دو مورد بالا بیشتر است.

همانطور در شکل ۸ مشخص است با تراکم فین انتقال حرارت بیشتر می‌شود و در آرایش‌های فین یک در میان با توجه به نتایج شاید تفاوت زیادی در میانگین دمای خروجی وجود نداشته باشد ولی در آرایش‌های یک در میان دمای خروجی دارای یکنواختی

بیشتری است که این خود در مباحث انتقال حرارت و تنش‌های حرارتی ایجادشده بر اثر اختلاف دما در جامدات موجود در مبدل‌های حرارتی مهم می‌باشد.



همانگونه که از بردارهای مسیر حرکت سیال در شکل ۹ مشخص است با افزایش تراکم فین، مقاومت در برابر جریان بیشتر شده و در تراکم‌های یک در میان به علت همپوشانی بیشتر فین این مقاومت‌ها بیشتر و کار پمپ نیز افزایش می‌یابد.



## نتیجه گیری

بصورت کلی می توان نتیجه گرفت که تاثیر قطرهای بیضی با شرط ثابت بودن محیط، انتقال حرارت را تا ۰/۸ درصد و کار پمپ را تا ۱۲۰ درصد می تواند تحت تاثیر قرار دهد و در بهترین حالت از حالت های مورد بررسی انتقال حرارت ۸ درصد و کار پمپ نسبت به بدترین حالت ۸۰ درصد بهبود یافت.

در بررسی اثر تراکم فین در حالت خطی انتقال حرارت تا ۱/۳ درصد افزایش یافت و کار پمپ تاثیر قابل توجهی داشته و تا ۴۴۳ درصد افزایش یافت. در نهایت قطرهای بهینه در این مسئله برای قطر کوچک ۳۱ و قطر بزرگ برابر با ۴۷/۳۱ میکرومتر بدست آمده است.

## مراجع

1. Soodphakdee, D., Behnia, M., & Copeland, D. W. (2001). A Comparison of Fin Geometries for Heatsinks in Laminar Forced Convection—Part I: Round, Elliptical, and Plate Fins in Staggered and In-Line Configurations. *Int. J. Microcircuits Electron. Packag*, 24(1), 68-76.
2. Kosar, A., & Peles, Y. (2006). Thermal-hydraulic performance of MEMS-based pin fin heat sink. *Journal of heat transfer*, 128(2), 121-131.
3. Peles, Y., Koşar, A., Mishra, C., Kuo, C. J., & Schneider, B. (2005). Forced convective heat transfer across a pin fin micro heat sink. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 48(17), 3615-3627.
4. Kosar, A., & Peles, Y. (2007). TCPT-2006-096. R2: micro scale pin fin heat sinks—Parametric performance evaluation study. *IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies*, 30(4), 855-865.
5. Kosar, Y. Peles, Convective flow of refrigerant (R-123) across a bank of micro pin fins[J], *Int. J. Heat Mass Transf.* 49 (17) (2006) 3142e3155.
6. Kosar, C. Mishra, Y. Peles, Laminar flow across a bank of low aspect ratio micro pin fins[J], *J. Fluids Eng.* 127 (3) (2005) 419e430.
7. R. Ricci, S. Montelpare, An experimental IR thermographic method for the evaluation of the heat transfer coefficient of liquid-cooled short pin fins arranged in line[J], *Exp. Therm. Fluid Sci.* 30 (4) (2006) 381e391.
8. Yang K-S, Chu W-H, Chen I-Y, Wang C-C. A comparative study of the airside performance of heat sinks having pin fin configurations. *Int J Heat Mass Transfer* (2007);50:4661–7.
9. M.I. Hasan, Investigation of flow and heat transfer characteristics in micro pin fin heat sink with nanofluid[J], *Appl. Therm. Eng.* 63 (2) (2014) 598e607.
10. M.I. Hasan, A.M.A.R. Rageb, M. Yaghoubi, Investigation of a counter flow microchannel heat exchanger performance with using nanofluid as a coolant [J], *J. Electron Cool. Therm. Control* 2 (2012) 35e43.
11. Rubio-Jimenez, S. G. Kandlikar, and A. Hernandez-Guerrero“ ,Numerical analysis of novel micro pin fin heat sink with variable fin density,” *IEEE Trans. Compon. Packag. Manuf. Technol.*, vol. 2, no. 5, pp. 825–833, May 2012.
12. H. Shafeie, O. Abouali, K. Jafarpur, et al., Numerical study of heat transfer performance of single-phase heat sinks with micro pin-fin structures[J], *Appl. Therm. Eng.* 58 (1) (2013) 68e76.
13. Z. Wan, Y. Joshi, Pressure drop and heat transfer characteristics of square pin fin enhanced microgaps in single phase microfluidic cooling[C], in: *Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems (ITherm)*, 2014 IEEE Intersociety Conference on. IEEE, 2014, pp. 649e657.

14. Jajja SA, Ali W, Ali HM, Ali AM. Water cooled minichannel heat sinks for microprocessor cooling: effect of fin spacing. Appl Therm Eng 2014;64:76–82.
15. Zhao, Jin, et al. "Numerical study and optimizing on micro square pin-fin heat sink for electronic cooling." Applied Thermal Engineering 93 (2016): 1347-1359.