٤- اطلاعات مربوط به پایان نامه :

الف: عنوان پایان نامه:

فارسی:

بهبودجریان جابجایی آزاد نانوسیال با رژیم آرام درمیکروکانال ها به روش هوش مصنوعی

انگلیسی:

Improving Free Convection Flow of Nanofluids with Laminar Regime in Microchannels Using Artificial Intelligence

ب: نوع کار تحقیقاتی: بنیادی۱ ❑ نظری۲ ❑ کاربردی۳ ■ عملی٤ ❑

پ: تعداد واحد پایان نامه: ٦

ت: پرسش اصلی تحقیق(مساله تحقیق) ٥:

چگونه می‌توان به کمک هوش مصنوعی و شبیه‌سازی عددی، عملکرد جابجایی آزاد نانوسیالات در رژیم آرام در میکروکانال‌ها را بهبود بخشید؟

ث: پرسش (پرسش های فرعی)٦:

چگونه می‌توان بهبود جریان جابجایی آزاد نانوسیالات در رژیم آرام را در میکروکانال‌ها به کمک روش‌های هوش مصنوعی مدل‌سازی کرد؟

تأثیر پارامترهای مختلف نانوسیالات مانند غلظت ذرات و ویژگی‌های حرارتی بر انتقال حرارت و جریان سیال در میکروکانال‌ها چیست؟

چگونه می‌توان نتایج شبیه‌سازی عددی با استفاده از ANSYS و هوش مصنوعی را در بهینه‌سازی عملکرد میکروکانال‌ها با هم مقایسه کرد؟

۱) تحقیق بنیادی: پژوهشی است که به کشف ماهیت اشیا ' پدیده ها و روابط بین متغیرها، اصول ،قوانین و ساخت یا آزمایش تئوری ها و نظریه ها می پردازد و به توسعه مرزهای دانش رشته علمی کمک می نماید.

۲) تحقیق نظری: نوعی پژوهش بنیادی است و از روش های استدلال و تحلیل عقلانی استفاده می کند و بر پایه مطالعات کتابخانه ای انجام می شود.

۳) تحقیق کاربردی: پژوهشی است که با استفاده از نتایج تحقیقات بنیادی به منظور بهبود و به کمال رساندن رفتارها ' روش ها' ابزارها' وسایل' تولیدات' ساختارها و الگوهای مورد استفاده جولمع انسانی انجام می شود.

٤) تحقیق عملی: پژوهشی است که با استفاده از نتایج تحقیقات بنیادی و با هدف رفع مسایل و مشکلات جوامع انسانی انجام می شود.

٥) پرسش اصلی بایست جامع ،کامل ،کلان و مفهومی باشد ولی کلی و بدیهی نباشد.

٦) پرسش یا پرسش های فرعی می توانند بر اساس تحقیق ، نظر دانشجو واستاد متنوع ومتعدد باشند.

۵- بیان مساله(تشریح ابعاد' حدود مساله' معرفی دقیق مساله' بیان جنبه های مجهول و مبهم و متغیرهای مربوط به پرسش های تحقیق' منظور تحقیق)

در سال‌های اخیر، مطالعه جریان جابجایی آزاد نانوسیالات[1] در میکروکانال‌ها[2] به دلیل پتانسیل آن‌ها در بهبود کارایی انتقال حرارت، توجه زیادی را به خود جلب کرده است. نانوسیالات که شامل سیالات معمولی با ذرات نانو تقویت شده هستند، دارای خواص حرارتی برتری مانند افزایش هدایت حرارتی و ویسکوزیته می‌باشند که آن‌ها را برای کاربردهای انتقال حرارت در سیستم‌های میکروالکترومکانیکی[3] (MEMS)، میکرو راکتورها[4] و مبدل‌های حرارتی میکرو ایده‌آل[5] می‌سازد [۱]. به دلیل خواص منحصر به فرد آن‌ها، نانوسیالات می‌توانند به‌طور قابل توجهی عملکرد انتقال حرارت را در مقایسه با سیالات معمولی بهبود بخشند، به ویژه در شرایط جریان آرام که دینامیک جریان تمایل به پایداری و پیش‌بینی‌پذیری دارد [۲]. با این حال، مدل‌سازی و بهینه‌سازی رفتار نانوسیالات در میکروکانال‌ها به دلیل تعاملات غیرخطی بین ذرات نانو و سیال پایه همچنان چالش‌برانگیز است.

یکی از راه‌حل‌های نوظهور برای غلبه بر این چالش‌ها، استفاده از تکنیک‌های هوش مصنوعی[6] (AI) است. به‌طور خاص، یادگیری ماشین[7] و شبکه‌های عصبی[8] در پیش‌بینی رفتارهای پیچیده سیال و بهینه‌سازی شرایط جریان در میکروکانال‌ها نتایج امیدوارکننده‌ای نشان داده‌اند [۳]. با آموزش مدل‌های هوش مصنوعی با داده‌های تجربی یا شبیه‌سازی شده، پژوهشگران می‌توانند رفتار غیرخطی نانوسیالات را با دقت و کارایی بیشتری نسبت به روش‌های عددی سنتی مدل‌سازی کنند. روش‌های هوش مصنوعی، به‌ویژه شبکه‌های عصبی مصنوعی[9] (ANN)، برای

[1] free convection of nanofluids
[2] microchannels
[3] micro-electromechanical systems
[4] micro-reactors
[5] micro-heat exchangers
[6] Artificial Intelligence
[7] machine learning
[8] neural networks
[9] Artificial Neural Networks

پیش‌بینی پارامترهای کلیدی مانند عدد نوسلت[1]، ضریب اصطکاک[2] و افت فشار[3] که برای بهینه‌سازی طراحی و عملکرد سیستم‌های انتقال حرارت حیاتی هستند، استفاده شده است [۴].

ادغام هوش مصنوعی در پیش‌بینی انتقال حرارت در نانوسیالات موفقیت چشم‌گیری در مدیریت حرارتی میکروکانال‌ها نشان داده است. برای مثال، مدل‌های ANN برای پیش‌بینی عملکرد حرارتی و هیدرولیکی میکروکانال‌ها تحت شرایط مختلف مانند تغییرات عدد رینولدز و کسر حجمی نانوذرات به کار گرفته شده‌اند. این مدل‌ها به کاهش پیچیدگی محاسباتی مرتبط با حل سیستم‌های بزرگ معادلات دیفرانسیل غیرخطی کمک می‌کنند [۵]. مطالعات نشان داده‌اند که تکنیک‌های یادگیری عمیق مانند شبکه‌های عصبی پیچشی[4] (CNNs) می‌توانند پیش‌بینی‌های دقیقی از میدان‌های دما، پروفایل‌های سرعت و سایر پارامترهای حیاتی در جریان‌های میکروکانالی ارائه دهند [۶].

علاوه بر پیش‌بینی عملکرد، روش‌های بهینه‌سازی مبتنی بر هوش مصنوعی[5] برای تنظیم دقیق طراحی مبدل‌های حرارتی میکروکانالی توسعه یافته‌اند. برای مثال، الگوریتم‌های ژنتیک[6] و روش‌های بهینه‌سازی چندهدفه[7] برای بهینه‌سازی هندسه میکروکانال‌ها و شرایط جریان به کار گرفته شده‌اند که منجر به بهبودهای قابل توجهی در کارایی انتقال حرارت شده است [۷]. این تکنیک‌های هوش مصنوعی نه تنها بار محاسباتی را کاهش می‌دهند، بلکه به بهینه‌سازی بلادرنگ برای کاربردهای مختلف انتقال حرارت نیز کمک می‌کنند و آن‌ها را برای توسعه سیستم‌های مدیریت حرارتی نسل آینده ارزشمند می‌سازند.

پیشرفت‌های اخیر در کاربردهای نانوسیال در میکروکانال‌ها نشان‌دهنده پتانسیل قابل توجه برای افزایش کارایی انتقال حرارت از طریق قرار دادن استراتژیک صفحات جداکننده است. مطالعه‌ای توسط [۸] نشان داد که استفاده از صفحات جداکننده در یک کانال محصور شده با نانوسیال مس-آب منجر به افزایش قابل توجهی در کارایی انتقال حرارت شده است، به‌ویژه زمانی که صفحات جداکننده بهینه قرار گرفته باشند. این بهینه‌سازی منجر به افزایش ۴۰ درصدی در عدد نوسلت از طریق بهبود توزیع سیال و افزایش تلاطم در داخل کانال شد.

در حوزه بهینه‌سازی میکروکانال، [۷] کاربرد الگوریتم‌های بهینه‌سازی توپولوژی۸ (TOA) و الگوریتم‌های ژنتیک۹ (GA) را برای طراحی میکروکانال و مبدل‌های حرارتی میکروکانالی بررسی کردند. تحلیل آن‌ها نشان داد که این الگوریتم‌ها به طور قابل توجهی تحلیل سیستماتیک و کمی مورد نیاز برای بهینه‌سازی پیکربندی‌های میکروکانال را بهبود می‌بخشند و در نتیجه عملکرد حرارتی و هیدرولیکی را افزایش می‌دهند. این رویکرد به‌ویژه در تطبیق طراحی‌های میکروکانال با نیازهای خاص انتقال حرارت و حفظ دینامیک جریان کارآمد مفید است.

---

[1] Nusselt number
[2] friction factor
[3] pressure drops
[4] Convolutional Neural Networks
[5] AI-based optimization
[6] genetic algorithms
[7] multi-objective optimization techniques
[8] topology optimization algorithms
[9] genetic algorithms

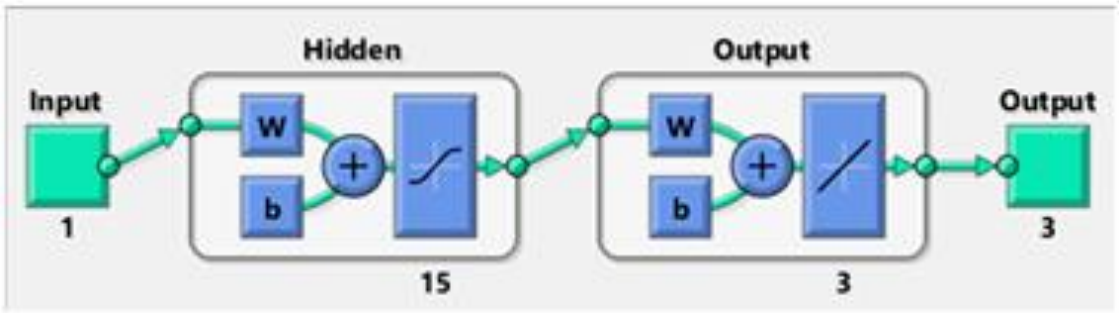
[۹] تحلیل دقیقی از پیش‌بینی هدایت حرارتی نانوسیال تیتانیا-آب با استفاده از الگوریتم‌های مختلف یادگیری ماشین ارائه کردند. مطالعه آن‌ها تأثیر حیاتی شکل و اندازه نانوذرات بر هدایت حرارتی را نشان داد و مشخص کرد که تکنیک‌های پیشرفته یادگیری ماشین مانند رگرسیون گرادیان بوستینگ و رگرسیون بردار پشتیبان می‌توانند دقت بالایی در پیش‌بینی خواص حرارتی نانوسیالات ارائه دهند که برای طراحی سیستم‌های حرارتی کارآمدتر ضروری است [۹].

این مطالعات به‌طور کلی بر اهمیت ادغام تکنیک‌های هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در توسعه و بهینه‌سازی سیستم‌های میکروکانال برای کاربردهای انتقال حرارت بهبود یافته تأکید می‌کنند. چنین ادغامی نه تنها دقت پیش‌بینی را افزایش می‌دهد، بلکه تطبیق بلادرنگ پارامترهای سیستم برای بهینه‌سازی عملکرد حرارتی را نیز تسهیل می‌کند. با وجود موفقیت تکنیک‌های هوش مصنوعی در مدل‌سازی و بهینه‌سازی جریان نانوسیالات در میکروکانال‌ها، همچنان چالش‌های متعددی وجود دارد که باید برطرف شوند. یکی از مسائل عمده، نبود مدل‌های عمومی هوش مصنوعی است که بتوانند طیف گسترده‌ای از متغیرهای مرتبط با رفتار نانوسیالات مانند اندازه، شکل و غلظت نانوذرات و همچنین شرایط جریان متغیر را مدیریت کنند. علاوه بر این، اکثر مطالعات کنونی بر سناریوهای خاص متمرکز هستند و نیاز به مدل‌های جامع‌تری است که بتوانند عملکرد را در طیف گسترده‌تری از شرایط عملیاتی پیش‌بینی کنند. هدف این پژوهش توسعه چارچوبی قوی مبتنی بر هوش مصنوعی است که بتواند جریان جابجایی آزاد نانوسیالات در میکروکانال‌ها تحت شرایط جریان آرام را بهبود بخشد و پیش‌بینی‌ها و بهینه‌سازی‌های دقیقی در سناریوهای متنوع ارائه دهد.

٦- سوابق مربوط(بیان مختصر سابقهٔ تحقیقات انجام شده دربارهٔ موضوع ونتایج به دست آمده در داخل و خارج از کشور، نظرهای علمی موجود دربارهٔ موضوع تحقیق)

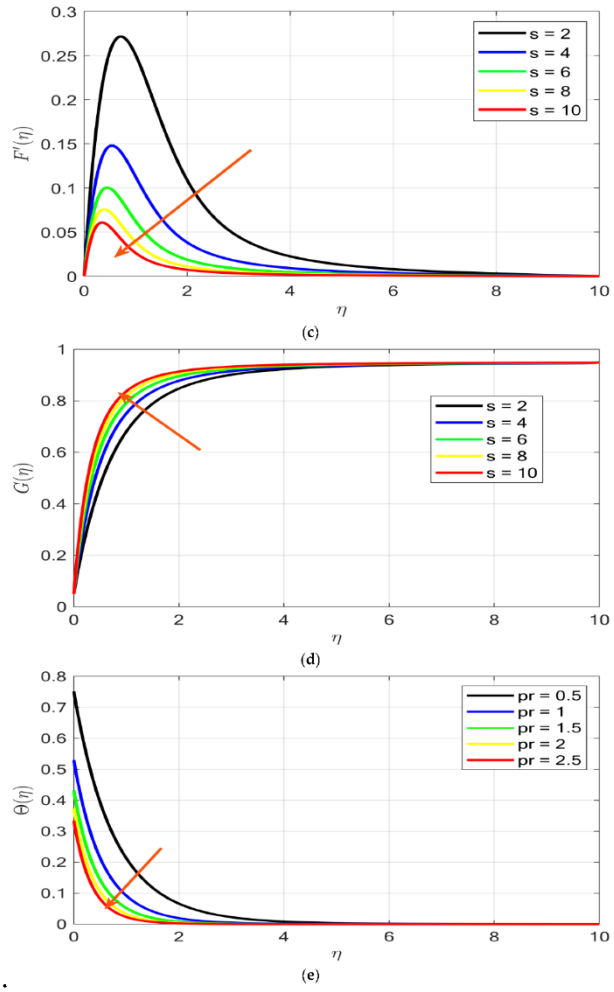
حسن[1] و همکاران (۲۰۲۲) در مقاله خود با عنوان "بررسی جابجایی مختلط در نانوسیال چرخان بر روی مخروط دوار با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و تکنیک BVP-4C" به تحلیل انتقال حرارت در یک نانوسیال در حال چرخش در سیستم دوار پرداخته‌اند. هدف اصلی این مطالعه، بررسی تاثیر پارامترهای مختلفی همچون اثر شناوری، نسبت چرخش و عدد پرانتل بر انتقال حرارت و پروفایل‌های دما و سرعت در نانوسیال چرخان بوده است. روش تحقیق این مطالعه بر پایه استفاده از شبکه‌های عصبی هوشمند با بازپخش (BINs) و شبکه‌های هوشمند لوینبرگ-مارکوارت (ANNLMBs) استوار است. آنها با استفاده از تکنیک "آدامز" برای حل دستگاه معادلات دیفرانسیل جزئی غیرخطی، مجموعه‌ای از داده‌ها را برای سناریوهای مختلف انتقال حرارت در نانوسیال در حال چرخش تولید کرده‌اند. سپس از این داده‌ها برای آموزش، تست و اعتبارسنجی شبکه‌های عصبی مصنوعی استفاده شد. یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد که عدد پرانتل و ناپایداری جریان باعث کاهش پروفایل دما و لایه مرزی حرارتی در نانوسیال دوار می‌شوند. همچنین، تاثیر سایر پارامترها مانند اثر شناوری و نسبت چرخش نیز بر انتقال حرارت مورد بررسی قرار گرفته است [۱۰].

[1] Hassan



شکل ۱. شکل ساختار شبکه عصبی مصنوعی [۱۰]

شکل اول: این شکل ساختار شبکه عصبی مصنوعی استفاده‌شده در مطالعه را نشان می‌دهد. ساختار شبکه شامل یک لایه ورودی، یک لایه پنهان، و یک لایه خروجی است. لایه پنهان شامل ۱۵ نرون است که اطلاعات ورودی را پردازش می‌کنند. این شبکه با استفاده از الگوریتم لوینبرگ–مارکوارت (ANNLMB) برای آموزش، تست، و اعتبارسنجی داده‌ها به کار رفته است. ورودی‌های این شبکه شامل پارامترهایی مانند ناپایداری جریان و عدد پرانتل هستند و خروجی‌ها شامل پروفایل‌های سرعت و دما می‌باشند. با این ساختار، شبکه عصبی قادر به مدل‌سازی رفتار غیرخطی نانوسیال در جریان چرخان و پیش‌بینی انتقال حرارت در شرایط مختلف است.



شکل ۲. تاثیر پارامترهای عدد پرانتل (Pr) و ناپایداری جریان (S) بر پروفایل‌های سرعت ((F(η))، دما ((Θ(η))، و گشتاور ((G(η)) در نانوسیال چرخان [۱۰]

شکل دوم: این شکل شامل سه نمودار است که تأثیر پارامترهای مختلفی مانند عدد پرانتل (Pr) و ناپایداری جریان (s) بر پروفایل‌های سرعت ($F(\eta)$)، دما ($\Theta(\eta)$)، و گشتاور ($G(\eta)$) در نانوسیال چرخان را نشان می‌دهد. نمودارهای بالایی تغییرات سرعت ($F(\eta)$) را در مقابل پارامتر η نشان می‌دهند. با تغییر مقادیر s، مشاهده می‌شود که چگونه سرعت نانوسیال در جریان چرخان تغییر می‌کند. نمودار دوم نشان‌دهنده تغییرات گشتاور ($G(\eta)$) است که با افزایش s، گشتاور سیستم نیز تغییر می‌کند. نمودار سوم تأثیر عدد پرانتل (pr) بر پروفایل دما ($\Theta(\eta)$) را نشان می‌دهد. با افزایش pr، دما و لایه مرزی حرارتی کاهش می‌یابد. این نتایج نشان می‌دهد که پارامترهای جریان، مانند ناپایداری و عدد پرانتل، نقش مهمی در کنترل انتقال حرارت و توزیع دما در نانوسیال دارند.

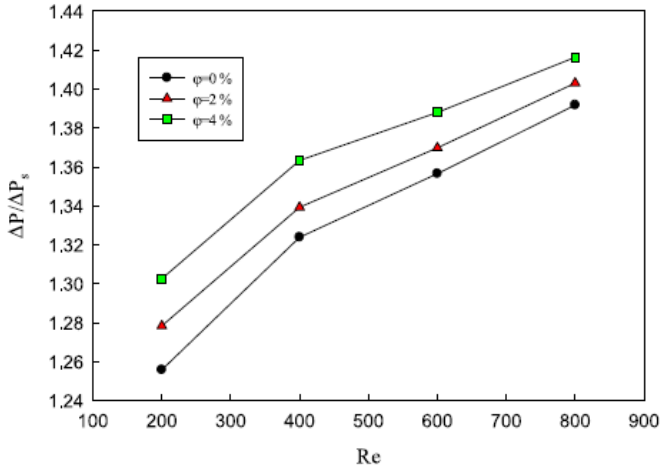
این دو شکل به‌طور مستقیم فرآیند تحقیق و رویکرد روش‌شناسی این مطالعه را نشان می‌دهند. شکل دوم تحلیل عددی نتایج را با توجه به تغییرات پارامترهای مختلف نشان می‌دهد، در حالی که شکل اول ساختار شبکه عصبی به‌کاررفته برای پیش‌بینی و بهینه‌سازی انتقال حرارت در نانوسیال چرخان را در پژوهش [۱۰] نشان می‌دهد.

اکبری[1] و همکاران (۲۰۲۳) در مقاله خود با عنوان "ارزیابی انتقال حرارت و جریان آرام نانوسیال در میکرومیکسرهای منحنی با استفاده از مدل دو فازی" به بررسی جریان و انتقال حرارت نانوسیال نقره-آب در میکرومیکسرهای مختلف پرداخته‌اند. هدف این پژوهش ارزیابی عملکرد میکرومیکسرها از نظر معیار ارزیابی عملکرد (PEC) در مقایسه با میکروکانال‌های صاف است. این مطالعه با استفاده از روش حجم محدود و مدل دو فازی مخلوط برای شبیه‌سازی نانوسیال در جریان آرام انجام شده است. پارامترهای مهمی مانند عدد رینولدز (۲۰۰ تا ۸۰۰) و کسر حجمی ذرات جامد (۰٪، ۲٪ و ۴٪) برای نانوسیال مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در این پژوهش چهار هندسه مختلف میکرومیکسرها با میکروکانال صاف مقایسه شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش عدد رینولدز و کسر حجمی ذرات جامد، انتقال حرارت به‌طور قابل توجهی بهبود می‌یابد، اما افت فشار نیز افزایش می‌یابد. بهترین عملکرد از نظر PEC در هندسه‌ی اول با عدد رینولدز ۸۰۰ و کسر حجمی ۴٪ مشاهده شد که عدد نوسلت (Nu) 2.3 برابر افزایش یافته و افت فشار تنها ۱.۴۲ برابر نسبت به میکروکانال صاف افزایش یافته است. این مطالعه نشان می‌دهد که با تغییرات مناسب در هندسه میکرومیکسرها می‌توان تعادل مناسبی بین انتقال حرارت و افت فشار به‌دست آورد [۱۱].

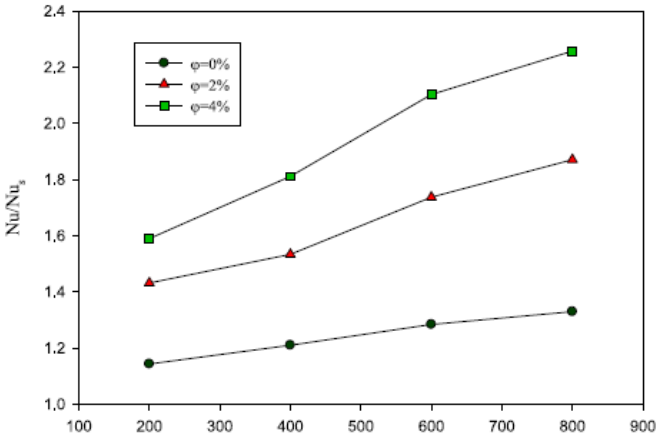
نتایج بررسی عملکرد حرارتی و افت فشار در میکرومیکسرهای مختلف و مقایسه آن‌ها با میکروکانال صاف نمایش داده شده است (شکل ۳ تا شکل ۸).

[1] Akbari

A



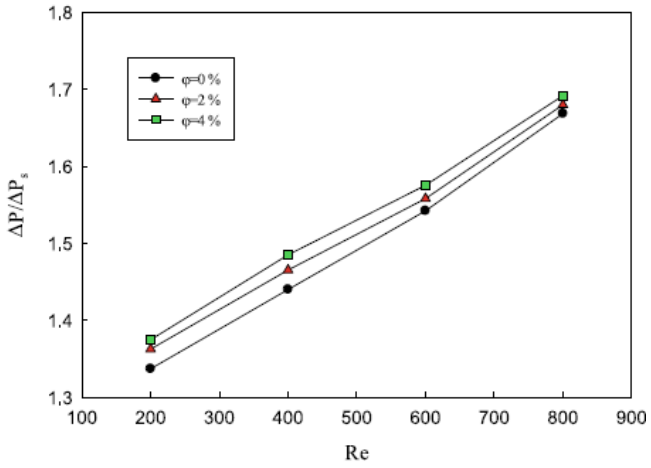
B



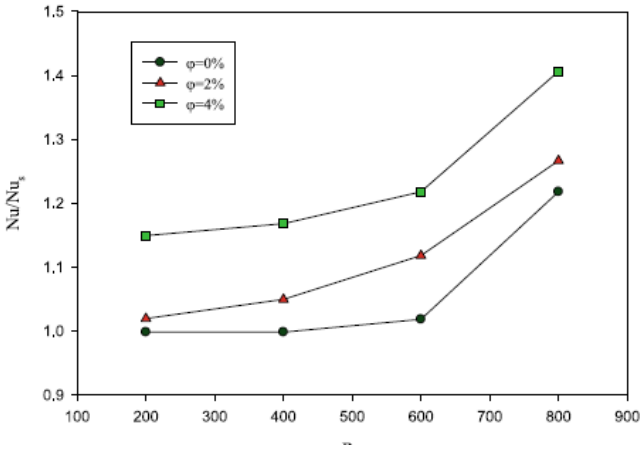
تصویر ۳. [۱۱]

شکل ۳الف و ۳ب: در این شکل‌ها نسبت افت فشار ($\Delta P/\Delta P_s$) و نسبت عدد نوسلت (Nu/Nu_s) با افزایش عدد رینولدز (Re) و کسر حجمی ذرات جامد (SVF) برای هندسه مورد بررسی در **حالت ۱** نمایش داده شده است. با افزایش Re و SVF ، هر دو نسبت افزایش می‌یابد که نشان‌دهنده بهبود انتقال حرارت با افزایش عدد نوسلت و همچنین افزایش افت فشار است.

A



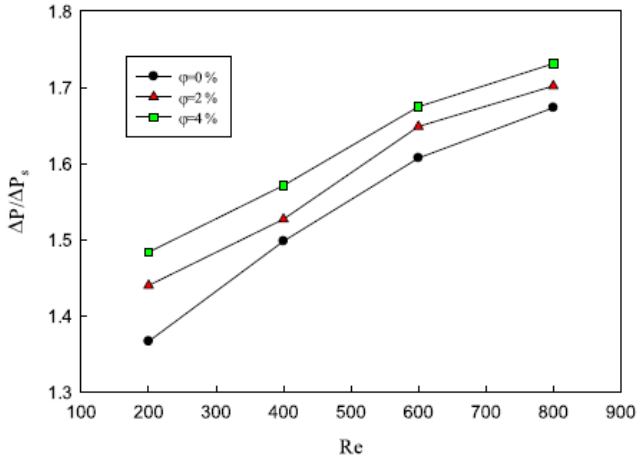
B



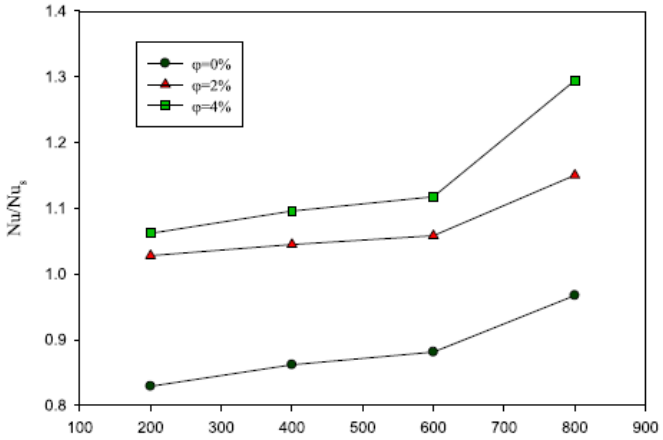
شکل ۴. [۱۱]

شکل ۴الف و ۴ذ: نتایج مشابهی برای حالت ۲ ارائه شده است. این شکل‌ها نشان می‌دهند که با افزایش عدد رینولدز و کسر حجمی، هم افت فشار و هم عدد نوسلت افزایش می‌یابد، اما در این حالت، افت فشار کمی بیشتر از حالت ۱ است که به دلیل تغییرات جریان و شکل هندسی است.

A

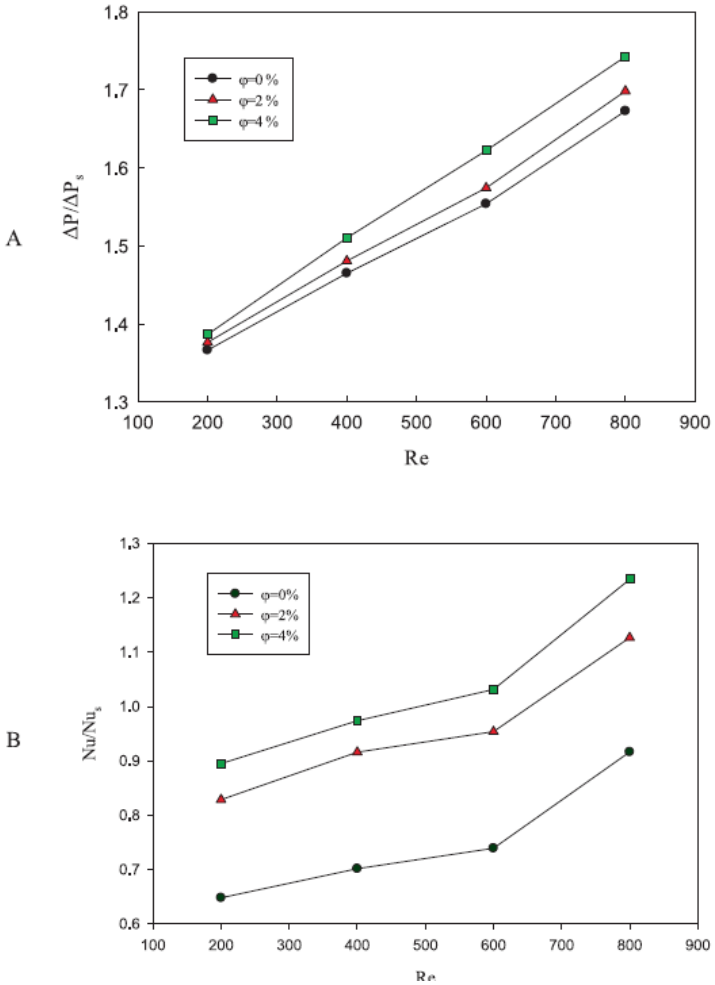


B



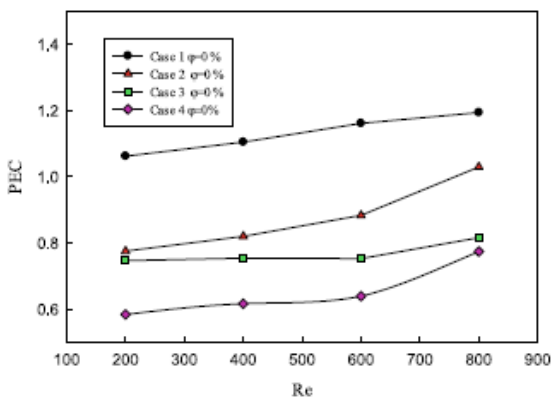
شکل ۵. [۱۱]

شکل ۵الف و ۵ب: در این شکل‌ها نتایج مربوط به حالت ۳ نشان داده شده است. مشابه حالت‌های قبلی، افزایش SVF و Re منجر به افزایش هر دو پارامتر افت فشار و عدد نوسلت می‌شود. با این حال، میزان افزایش عدد نوسلت در این حالت کمتر از حالت‌های قبلی است.

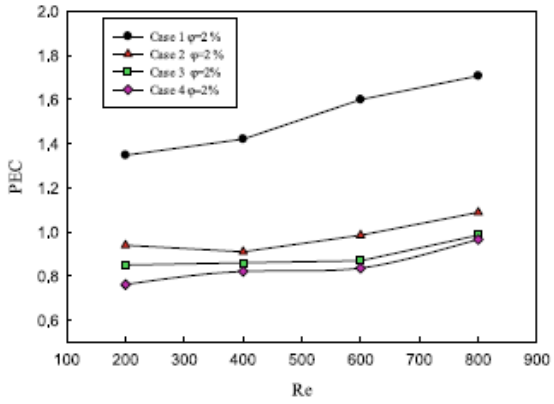


شکل ۶. [۱۱]

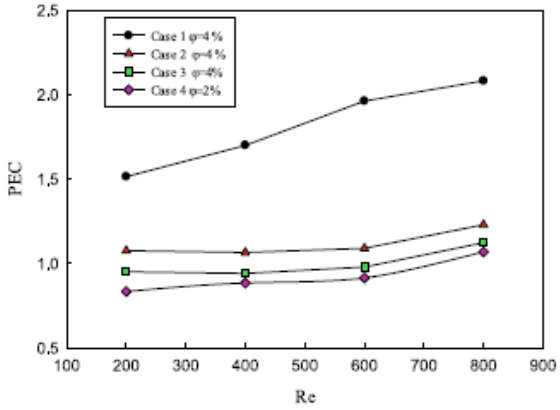
شکل ۶الف و ۶ب: نتایج مربوط به حالت ۴ نمایش داده شده است که بیشترین افت فشار را در مقایسه با سایر حالت‌ها دارد. همچنین عدد نوسلت در این حالت به نسبت کمتر است، اما با این وجود افزایش آن با افزایش Re و SVF مشاهده می‌شود.



a. SVF=0



b. SVF=0.02



c. SVF =0.04

شکل ۷. [۱۱]

شکل ۷. این شکل به مقایسه معیار ارزیابی عملکرد (PEC) در هر چهار حالت می‌پردازد. همان‌طور که دیده می‌شود، حالت ۱ بالاترین PEC را در تمامی مقادیر Re و SVF داراست، به این معنی که بهترین تعادل بین انتقال حرارت و افت فشار در این حالت به‌دست آمده است.

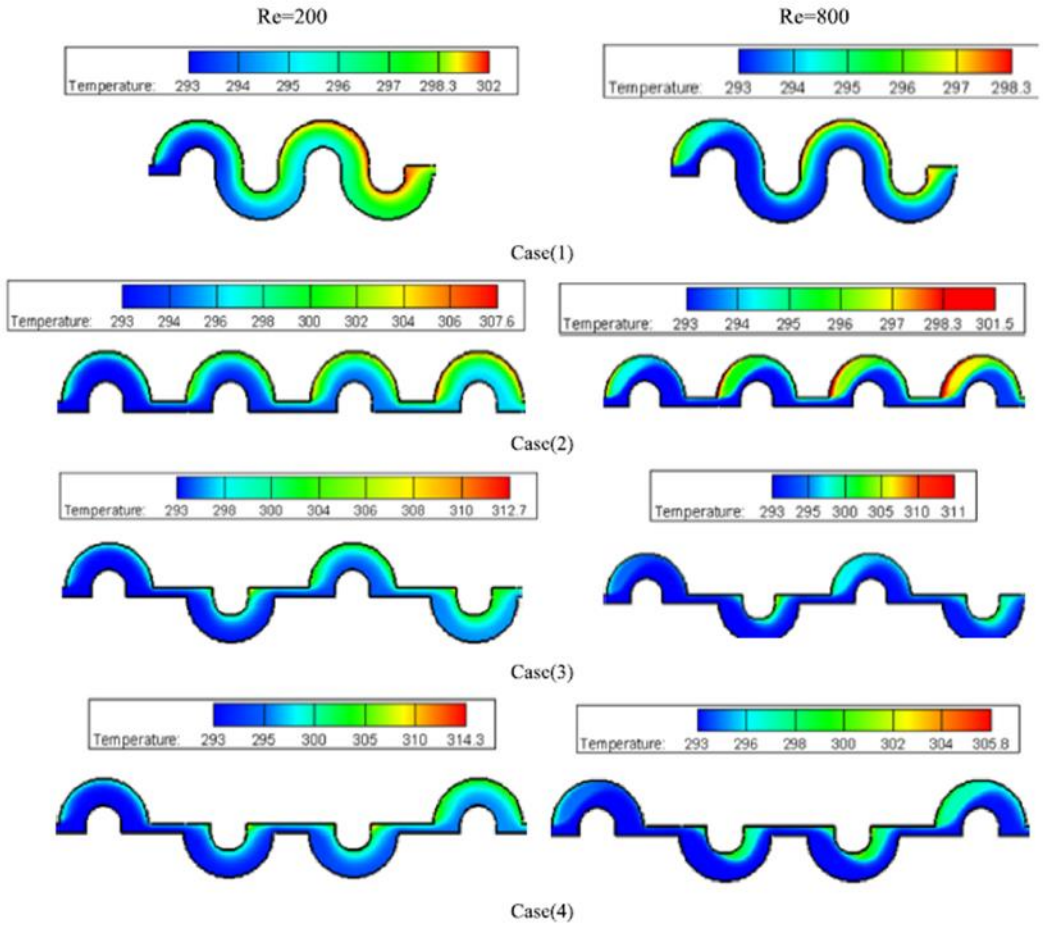


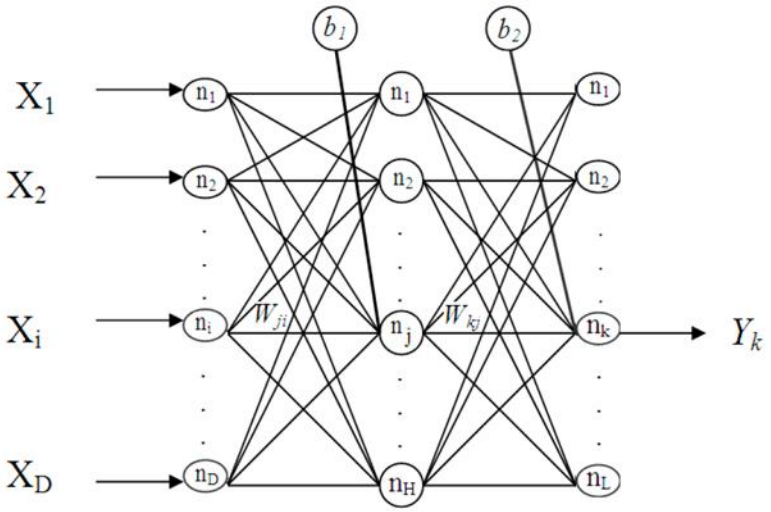
Fig. 8 The contours of temperature distribution in different Re numbers and cases.

شکل ۸ [۱۱]

شکل ۸ نتایج مربوط به توزیع دما در میکرومیکسرهای مختلف برای دو عدد رینولدز (Re = 200 و Re = 800) را نشان می‌دهد. در این شکل‌ها، چهار هندسه مختلف میکرومیکسرها بررسی شده‌اند و توزیع دمایی نانوسیال نقره-آب با استفاده از رنگ‌های مختلف نشان داده شده است. حالت ۱: برای Re = 200، توزیع دما در این هندسه نشان‌دهنده تغییرات قابل‌توجهی در دمای سیال است، و دما به‌سرعت در طول مسیر کاهش می‌یابد. در Re = 800، مشاهده می‌شود که توزیع دما یکنواخت‌تر شده و میزان انتقال حرارت بیشتر است. حالت ۲: در این حالت نیز با افزایش Re، دمای سیال به طور یکنواخت‌تری توزیع می‌شود و با افزایش جریان، دمای کلی پایین‌تر است. این نشان می‌دهد که افزایش رینولدز به بهبود توزیع حرارتی در این هندسه کمک می‌کند. حالت ۳ و ۴: در این دو حالت، توزیع دما نسبت به حالت‌های قبلی کمتر یکنواخت است و نواحی با دمای بالا (نقاط قرمز) بیشتر دیده می‌شوند. به‌ویژه در Re = 800، مشاهده می‌شود که افزایش رینولدز تاثیر کمتری بر یکنواختی دما داشته و انتقال حرارت به‌طور مؤثری بهبود نیافته است. به طور کلی، در تمامی هندسه‌ها، با افزایش رینولدز، دما یکنواخت‌تر شده و نواحی با دمای بالا کمتر می‌شوند. بهترین عملکرد از نظر یکنواختی توزیع دما در حالت ۱ و حالت ۲ دیده می‌شود، که نشان‌دهنده کارایی بهتر این دو هندسه در انتقال حرارت در مقایسه با سایر هندسه‌ها است [۱۱].

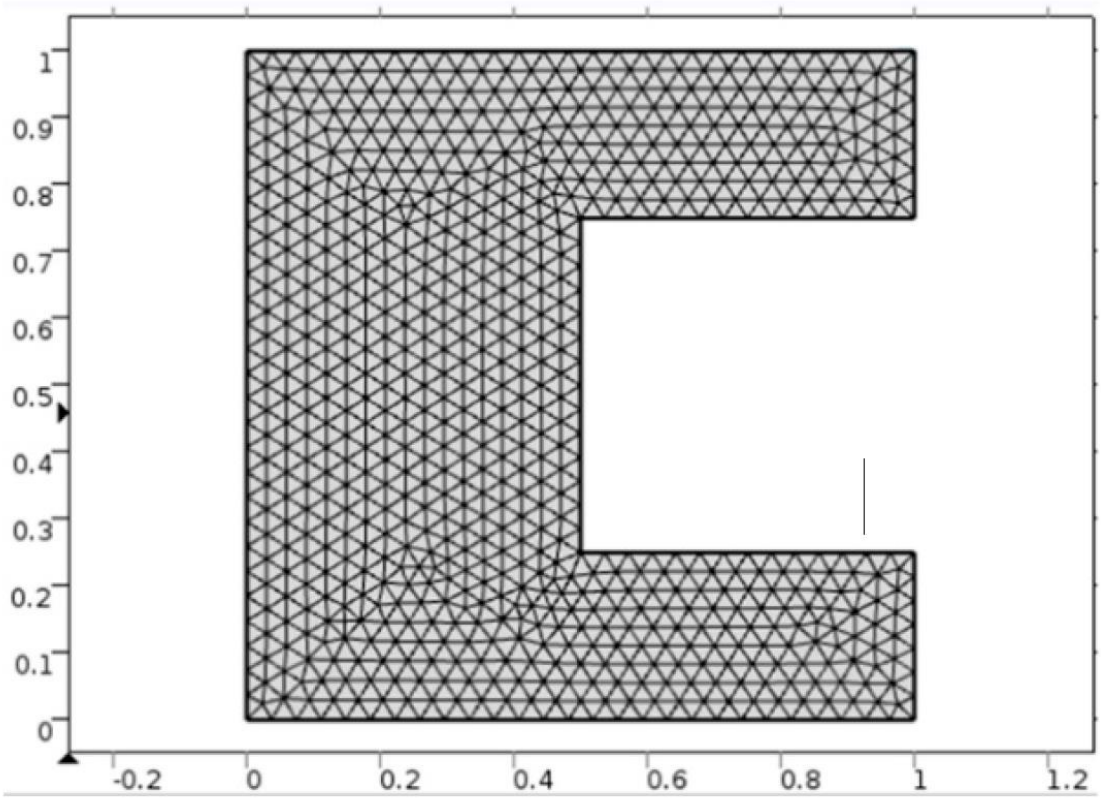
باقری و همکاران (۲۰۱۹) انتقال حرارت آزاد نانوسیالات هیبریدی در یک محفظه C-شکل تحت شار حرارتی متغیر و میدان مغناطیسی: شبیه‌سازی، تحلیل حساسیت و شبکه‌های عصبی مصنوعی را بررسی کردند، در این پژوهش، انتقال حرارت آزاد در یک محفظه C-شکل با سیال نانویی هیبریدی شامل نانولوله‌های کربنی چند جداره (MWCNT) و ذرات Fe3O4 در آب، تحت تأثیر شار حرارتی متغیر و میدان مغناطیسی بررسی شده است. معادلات حاکم به روش المان محدود (FEM) حل شده و سپس با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی (ANN) بهینه‌سازی شده با الگوریتم ازدحام ذرات (PSO)، عدد ناسلت (Nu) پیش‌بینی شده است. نتایج نشان می‌دهد که شبکه عصبی مصنوعی بهینه‌شده با الگوریتم PSO (ANN-PSO) دقت بالاتری در پیش‌بینی عدد ناسلت دارد و خطای میانگین مربعات (MSE) آن ۰.۲۲ است. همچنین، مشاهده شد که افزایش عدد رایلی (Ra) و نسبت ابعاد (AR) بیشترین تأثیر را بر افزایش نرخ انتقال حرارت دارند. در مقابل، با افزایش عدد هارتمن (Ha) در اعداد رایلی بالا، عدد ناسلت کاهش می‌یابد. این پژوهش نشان داد که استفاده از نانوسیالات هیبریدی می‌تواند به طور قابل‌توجهی انتقال حرارت را بهبود بخشد، به ویژه در مقایسه با نانوسیالات معمولی [۱۲].

در این پژوهش، هدف بررسی انتقال گرمای آزاد همرفتی در یک محفظه C شکل بود که از نانوسیال‌های هیبریدی و میدان مغناطیسی برای بهبود انتقال حرارت استفاده شده است.



شکل ۹. [۱۲]

شکل ۹ ساختار شبکه عصبی مصنوعی (ANN) را نشان می‌دهد که برای پیش‌بینی نرخ انتقال حرارت در این مطالعه استفاده شده است. ANN شامل سه لایه ورودی، پنهان، و خروجی است که در آن ورودی‌ها (شامل پارامترهایی مانند عدد رینولدز، عدد هارتمن، غلظت نانوذرات، زاویه انحراف محفظه و نسبت ابعادی) به نورون‌های لایه پنهان توزیع می‌شوند. سپس نورون‌های لایه پنهان خروجی‌های خود را محاسبه کرده و به لایه خروجی ارسال می‌کنند. این شبکه با الگوریتم PSO (بهینه‌سازی دسته‌ای ذرات) برای بهبود دقت پیش‌بینی آموزش داده شده است. با ترکیب ANN و PSO، مقدار خطا کاهش یافته و دقت پیش‌بینی‌های انجام شده برای عدد نوسلت بهبود یافته است.

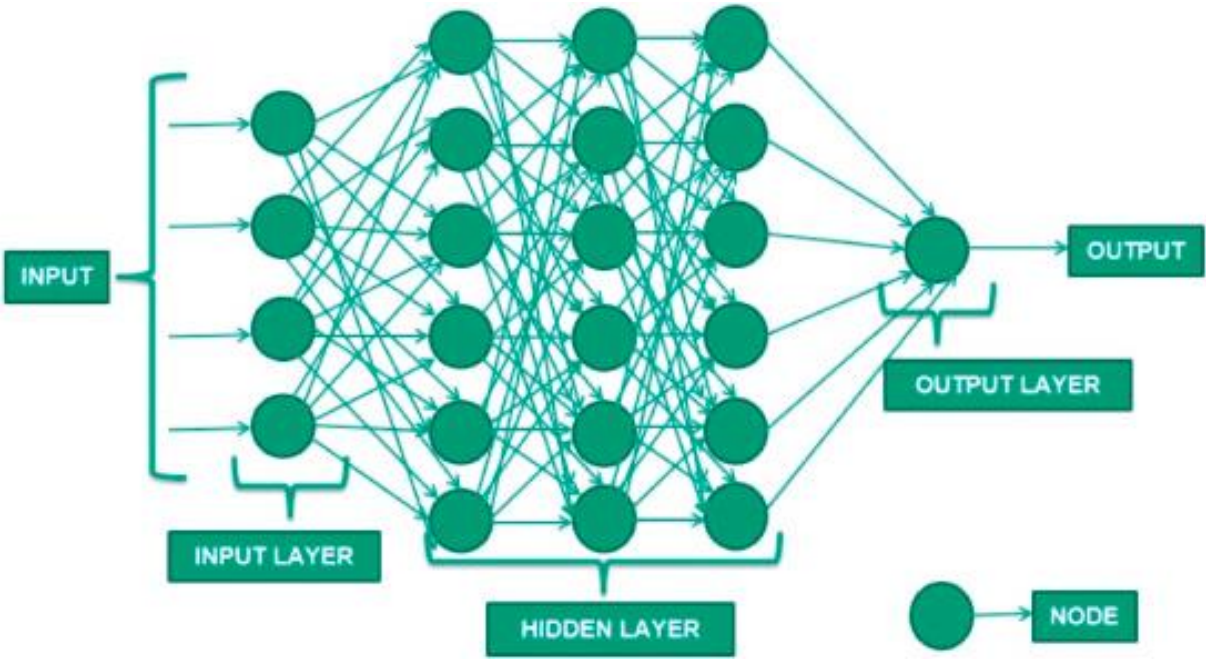


شکل ۱۰. [۱۲]

شکل ۱۰ شبکه‌بندی محفظه C شکل را نشان می‌دهد. شبکه‌بندی به این منظور انجام شده است که معادلات حاکم بر جریان و انتقال حرارت به دقت بیشتری حل شوند. در این مطالعه، از روش اجزای محدود (FEM) برای حل معادلات استفاده شده است و شبکه‌بندی دقیق‌تر منجر به نتایج دقیق‌تر شده است. عدد نوسلت (که بیانگر نرخ انتقال حرارت است) با افزایش عدد رینولدز و افزایش غلظت نانوذرات افزایش می‌یابد. میدان مغناطیسی (عدد هارتمن) تأثیر قابل‌توجهی در کاهش انتقال حرارت دارد، به‌ویژه در مقادیر بالای عدد رینولدز. با افزایش زاویه انحراف محفظه C شکل، نرخ انتقال حرارت بهبود می‌یابد. این نتایج نشان می‌دهد که ترکیب نانوسیال‌های هیبریدی و استفاده از شبکه عصبی مصنوعی می‌تواند رویکرد مؤثری برای بهبود عملکرد انتقال حرارت در سیستم‌های مختلف باشد.

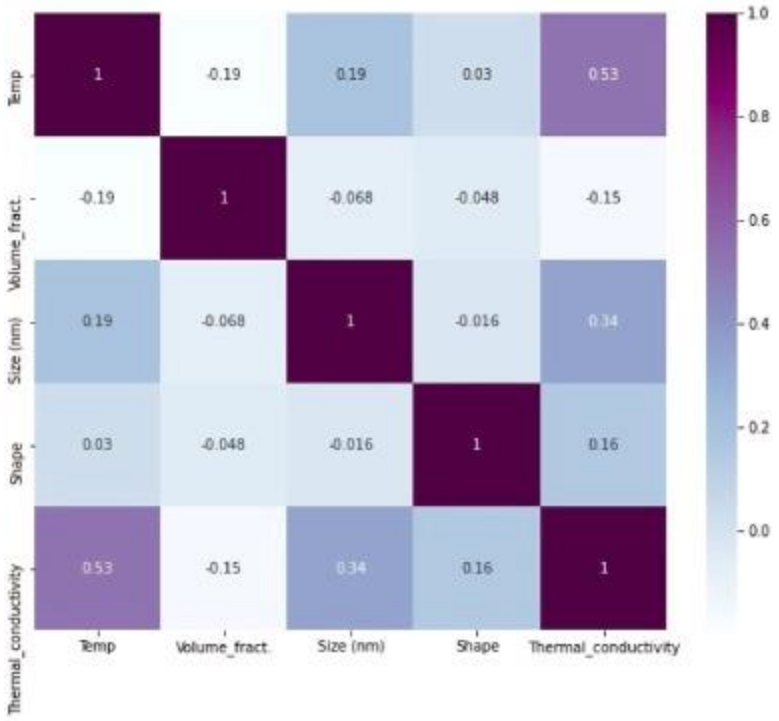
شارما [۹] و همکاران (۲۰۲۲) در پژوهش خود، انتقال حرارت نانوسیال آب–دی اکسید تیتانیوم (TiO_2) با استفاده از چند الگوریتم مختلف یادگیری ماشین، از جمله شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN)، رگرسیون تقویت گرادیان (GBR)، رگرسیون جنگل تصادفی (RFR)، رگرسیون بردار پشتیبان (SVR) و رگرسیون درخت تصمیم (DTR) پیش‌بینی شده است. در مجموع، ۲۲۸ نقطه داده مختلف در رابطه با شکل، اندازه، و دما به کار گرفته شدند تا به پیش‌بینی هدایت حرارتی نانوسیال پرداخته شود. نتایج مطالعه نشان داد که الگوریتم تقویت گرادیان با دقت بالا (مقدار R2 برابر با ۰.۹۹ برای مجموعه‌های داده آموزشی و تست) بهترین عملکرد را در میان الگوریتم‌های مورد بررسی دارد. در این پژوهش، از روش‌های مختلف یادگیری ماشین برای پیش‌بینی هدایت حرارتی نانوسیالات استفاده شد. داده‌ها شامل پنج پارامتر از جمله اندازه، شکل، دمای نانوذرات و هدایت حرارتی بود که به‌طور دقیق جمع‌آوری

شده بودند. الگوریتم‌ها با معیارهای میانگین مربعات خطا (MSE) و R2 ارزیابی شدند تا عملکرد آن‌ها مشخص شود. تحلیل نتایج نشان داد که الگوریتم تقویت گرادیان با مقدار R2 برابر با ۰.۹۹ و MSE برابر با ۰.۰۰۰۳ بهترین عملکرد را داشت. همچنین، با افزودن یک پارامتر جدید به نام شکل نانوذرات، پیش‌بینی‌های هدایت حرارتی بهبود قابل توجهی داشت. بررسی‌ها نشان داد که شکل نانوذرات تأثیر کمتری نسبت به دما، حجم و اندازه نانوذرات بر هدایت حرارتی دارد. این پژوهش نشان داد که استفاده از الگوریتم‌های مختلف یادگیری ماشین، به ویژه تقویت گرادیان، می‌تواند پیش‌بینی‌های دقیقی از هدایت حرارتی نانوسیالات ارائه دهد. همچنین، نتایج حاکی از آن است که اضافه کردن پارامتر شکل نانوذرات می‌تواند پیش‌بینی‌ها را بهبود بخشد، اگرچه تأثیر این پارامتر کمتر از دیگر پارامترها بود. این تصاویر مربوط به مقاله‌ای هستند که در آن از چندین الگوریتم یادگیری ماشین مختلف برای پیش‌بینی رسانش حرارتی نانوسیال تیتانیا-آب (TiO2–water) استفاده شده است. در این مطالعه، چندین الگوریتم مانند شبکه عصبی مصنوعی (ANN)، رگرسیون بوستینگ گرادیان (GBR)، رگرسیون بردار پشتیبان (SVR)، رگرسیون درخت تصمیم (DTR) و رگرسیون جنگل تصادفی (RFR) برای پیش‌بینی رسانش حرارتی مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۹].



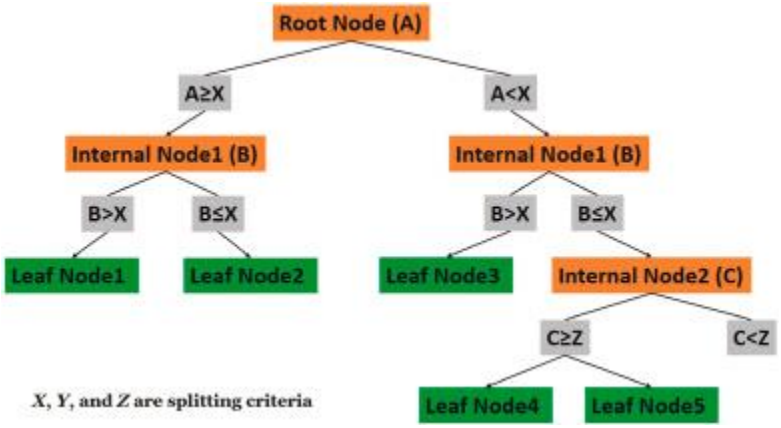
شکل ۱۱. [۹]

تصویر شبکه عصبی مصنوعی نشان‌دهنده ساختار لایه‌های ورودی، لایه‌های پنهان و لایه خروجی است که برای پیش‌بینی رسانش حرارتی استفاده شده است. هر نود (گره) نشان‌دهنده یک واحد پردازش است که اطلاعات را از لایه قبلی دریافت کرده و به لایه بعدی ارسال می‌کند.

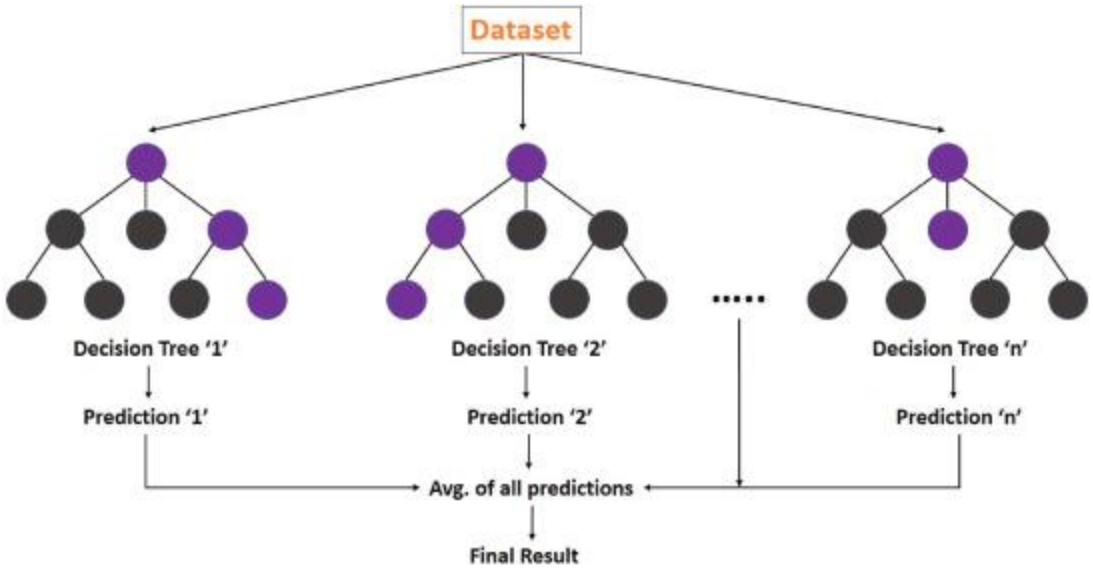


شکل ۱۲. [۹]

شکل ۱۲ نقشه همبستگی رابطه بین متغیرهای مستقل مانند دما، حجم کسر نانوذرات، اندازه و شکل نانوذرات با متغیر وابسته یعنی رسانش حرارتی را نشان می‌دهد. دما و اندازه نانوذرات بیشترین همبستگی مثبت را با رسانش حرارتی دارند.

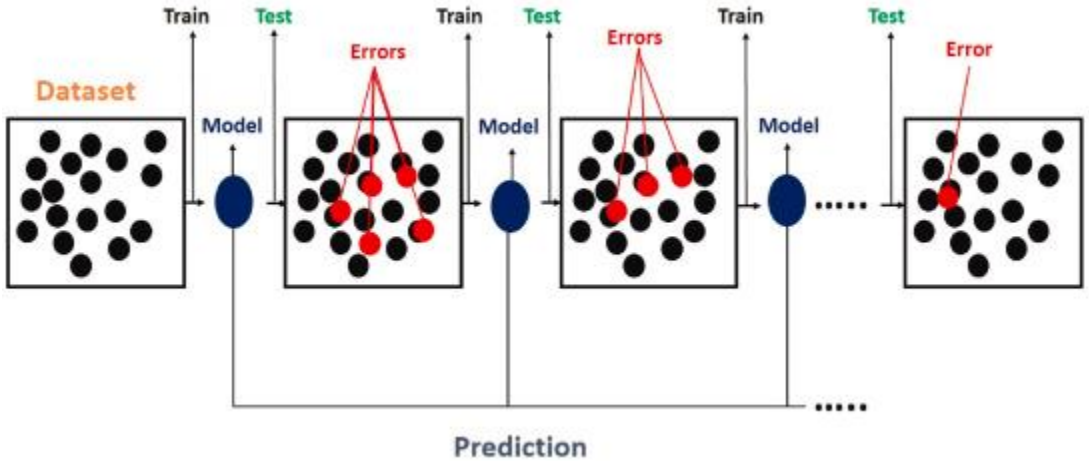


شکل ۱۳ .[۹]



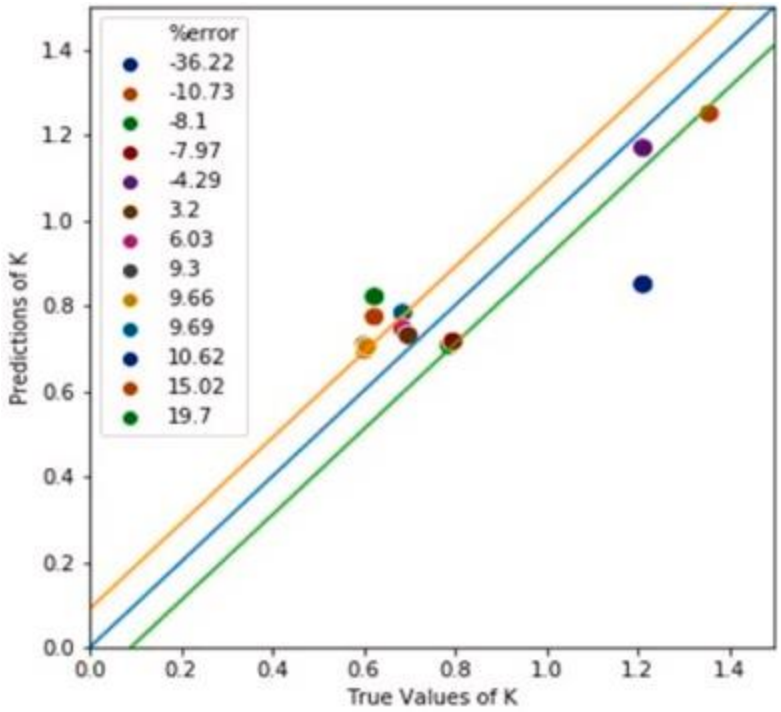
شکل ۱۴.[۹]

درخت تصمیم (شکل ۳ و ۴) نشان‌دهنده روند تقسیم داده‌ها برای پیش‌بینی مقادیر نهایی بر اساس معیارهای تقسیم درخت تصمیم است. هر شاخه نشان‌دهنده یک تصمیم بر اساس ویژگی‌های مختلف است.



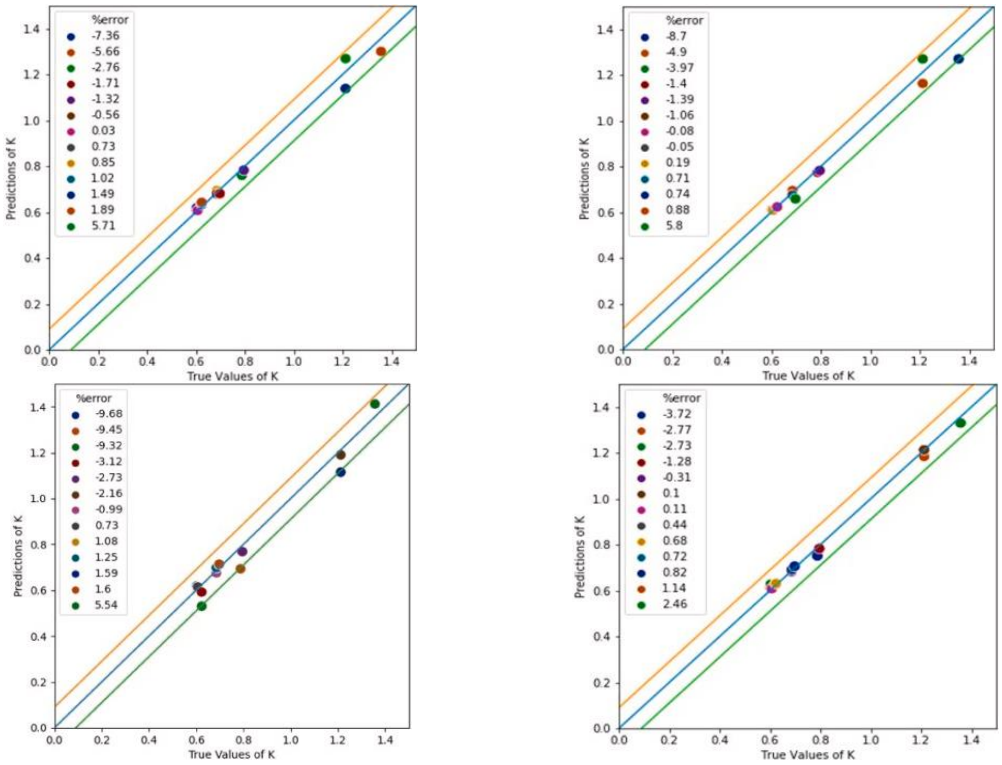
شکل ۱۵ [۹]

معماری جنگل تصادفی (شکل ۱۵) چندین درخت تصمیم را نشان می‌دهد که هر کدام به‌طور جداگانه پیش‌بینی می‌کنند و نتیجه نهایی از میانگین تمام پیش‌بینی‌ها به دست می‌آید.



شکل ۱۶. [۹]

بوستینگ گرادیان (شکل ۶) مدل بوستینگ را نشان می‌دهد که در آن خطاهای پیش‌بینی‌های قبلی اصلاح شده و مدل نهایی با کمترین خطا ساخته می‌شود.

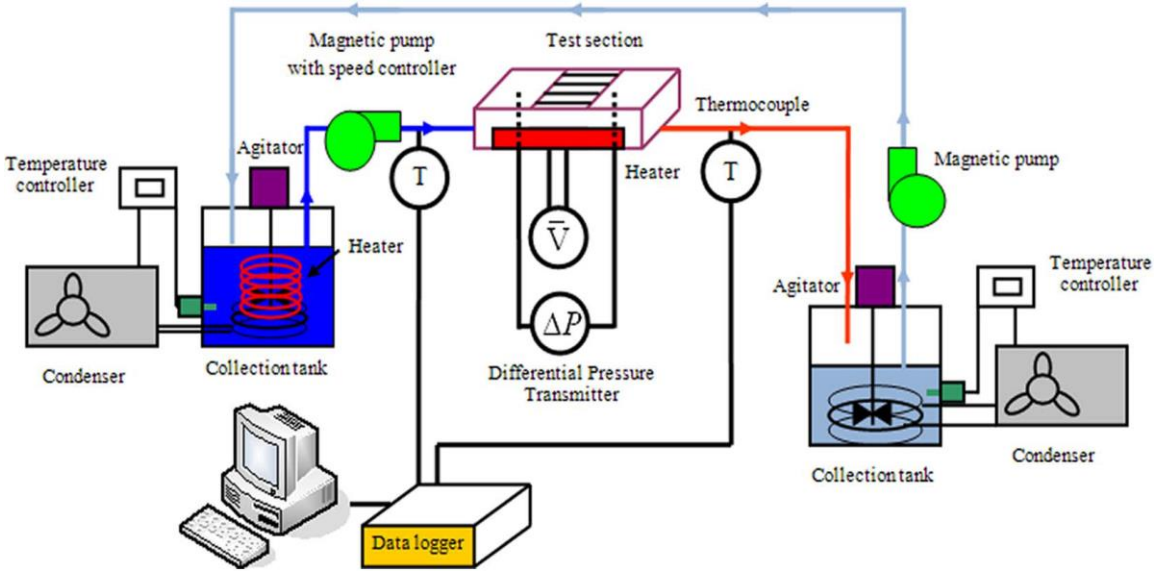


شکل ۱۷. [۹]

نمودارهای مقایسه درصد خطا (شکل ۱۷) نشان‌دهنده مقایسه مقادیر پیش‌بینی شده رسانش حرارتی با مقادیر واقعی هستند. هر نقطه خطای نسبی بین مقدار پیش‌بینی‌شده و مقدار واقعی را نمایش می‌دهد.

بر اساس نتایج این مطالعه، الگوریتم بوستینگ گرادیان بهترین عملکرد را با کمترین میزان خطا در پیش‌بینی رسانش حرارتی داشته است.

تفرج و همکاران (۲۰۱۷) در مقاله‌ای با عنوان مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی برای جریان نانوسیال در یک سینک حرارتی میکروکانال با استفاده از داده‌های تجربی، به بررسی جریان نانوسیال TiO2/آب در یک سینک حرارتی میکروکانال با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی (ANN) پرداخته شده است. سینک حرارتی شامل ۴۰ کانال است که هر کانال طول ۴ سانتیمتر، عرض ۵۰۰ میکرومتر و ارتفاع ۸۰۰ میکرومتر دارد. در این پژوهش از ۲۳ داده برای مدل‌سازی ضریب انتقال حرارت و ۷۲ داده برای مدل‌سازی عدد نوسلت استفاده شده است. داده‌های تجربی عدد نوسلت بر اساس سه مدل مختلف رسانش حرارتی، چهار کسر حجمی نانوذرات (۰، ۰.۵، ۱ و ۲ درصد)، دو عدد رینولدز (۴۰۰ و ۱۲۰۰) و سه نرخ حرارتی متفاوت (۵۰.۶، ۶۰.۷، و ۶۹.۱ وات) محاسبه شده‌اند. شبکه عصبی برای پیش‌بینی عدد نوسلت با استفاده از ورودی‌هایی نظیر کسر حجمی نانوذرات، عدد رینولدز، نرخ حرارتی و مدل رسانش حرارتی طراحی شده است. نتایج نشان داد که شبکه عصبی به خوبی می‌تواند جایگزین آزمایش‌های پرهزینه و زمان‌بر برای مطالعه جریان نانوسیال در میکروکانال‌ها باشد. نتایج این مطالعه نشان داد که خطای نسبی متوسط در پیش‌بینی عدد نوسلت و ضریب انتقال حرارت به ترتیب ۰.۳٪ و ۰.۲٪ بوده است. این تحقیق تأیید می‌کند که شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌توانند به‌طور مؤثر برای مدل‌سازی سیستم‌های حرارتی مبتنی بر نانوسیالات استفاده شوند و نیاز به آزمایش‌های پیچیده و پرهزینه را کاهش دهند [۱۳].

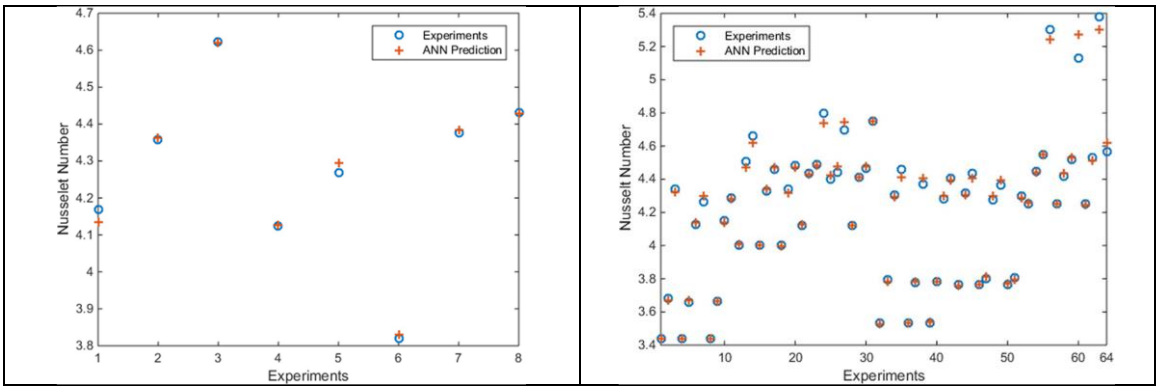


شکل ۱۸. [۱۳]

شکل ۱۸، شماتیکی از دستگاه آزمایش تجربی است که برای بررسی انتقال حرارت و جریان نانوسیال در یک میکروکانال حرارتی استفاده شده است. این سیستم شامل بخش‌های مختلفی است که عملکرد هر بخش به شرح زیر است: پمپ مغناطیسی با کنترل سرعت: این پمپ برای جابجایی سیال در سیستم مورد استفاده قرار می‌گیرد و سرعت جریان سیال را کنترل می‌کند. بخش آزمایش[1]: میکروکانال حرارتی که در آن نانوسیال مورد آزمایش قرار می‌گیرد و انتقال حرارت و رفتار جریان بررسی می‌شود. ترموکوپل: برای اندازه‌گیری دمای سیال در بخش‌های مختلف سیستم

[1] Test Section

استفاده می‌شود. ترانسمیتر اختلاف فشار: این دستگاه برای اندازه‌گیری تغییرات فشار در جریان سیال به کار می‌رود. هیتر: در سیستم، برای گرم کردن سیال و ایجاد شرایط حرارتی مورد نیاز استفاده می‌شود. آژیتاتور[1]: همزن در مخازن جمع‌آوری سیال برای ایجاد همگنی در دما و جلوگیری از ته‌نشینی نانوسیالات به کار می‌رود. کنترلر دما: برای تنظیم و کنترل دمای سیال در بخش‌های مختلف سیستم، از جمله مخازن و میکروکانال، استفاده می‌شود. دیتالاگر[2]: داده‌های حاصل از اندازه‌گیری دما، فشار و جریان را ثبت می‌کند تا بتوان به تحلیل دقیق‌تری از رفتار نانوسیال دست یافت. این سیستم به طور کلی برای انجام آزمایش‌های حرارتی و جریان در میکروکانال‌ها طراحی شده است و قابلیت کنترل دقیق دما و جریان سیال را داراست [۱۳].



شکل ۲۰ نتایج شبکه عصبی مصنوعی انتخاب‌شده [۱۳]

جدول ۱ مقایسه بین عدد نوسلت پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و مقادیر به‌دست‌آمده از آزمایش‌ها برای داده‌های آزمایشی

شماره آزمایش	ورودی ۱ (درصد کسر حجمی)	ورودی ۲ (شماره مدل)	ورودی ۳ (میزان گرمایش، W)	ورودی ۴ (عدد رینولدز)	نتیجه آزمایشگاهی (Nu)	خروجی شبکه(Nu)	درصد خطای نسبی
1	1	1	50.6	400	4.1694	4.1334	0.9
2	0.5	1	50.6	1200	4.3566	4.3618	0.1
3	2	3	50.6	1200	4.6221	4.6206	0.03
4	0	2	60.7	1200	4.1239	4.1256	0.04
5	1	2	60.7	400	4.2697	4.2959	0.6
6	0.5	1	69.1	400	3.8192	3.8297	0.3
7	2	3	69.1	400	4.3769	4.3829	0.1
8	0.5	3	69.1	1200	4.4303	4.4280	0.05

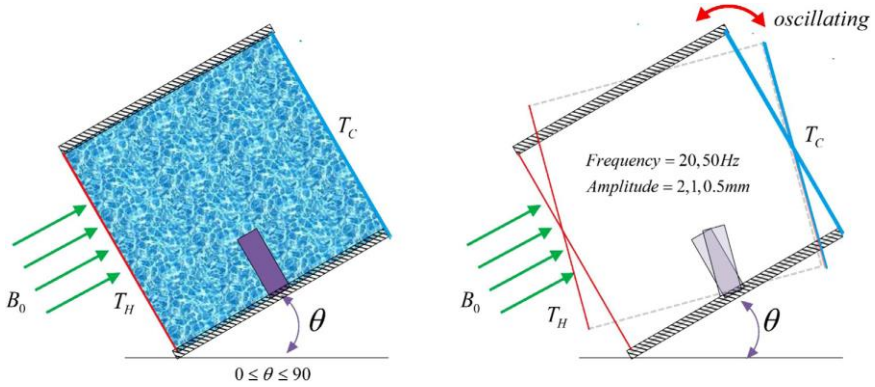
میانگین درصد خطا: ۰.۳

شکل ۲۰ نشان‌دهنده مقادیر عدد نوسلت[3] به‌دست‌آمده از آزمایش‌ها در مقابل خروجی‌های شبکه عصبی برای داده‌های آموزشی و آزمایشی هستند. علاوه بر این، جدول ۱ نتایج پیش‌بینی‌های شبکه را در مقایسه با نتایج آزمایشگاهی نشان می‌دهد. بر اساس شکل‌های ۱۲ و ۱۳ و جدول ۱، شبکه عصبی آموزش‌دیده توانسته است با خطای نسبی متوسط ۰.۳٪، مقادیر عدد نوسلت را پیش‌بینی کند. این خطای کم نشان‌دهنده قدرت بالای شبکه عصبی در صرفه‌جویی در زمان و کاهش هزینه‌های مطالعه در مورد جریان نانوسیال در میکروکانال حرارتی است.

[1] Agitator
[2] Data Logger
[3] Nusselt number

به‌طور کلی، استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌تواند به عنوان یک ابزار قدرتمند در پیش‌بینی ویژگی‌های جریان و انتقال حرارت نانوسیالات مورد استفاده قرار گیرد و نیاز به انجام آزمایش‌های پیچیده و هزینه‌بر را به میزان زیادی کاهش دهد.

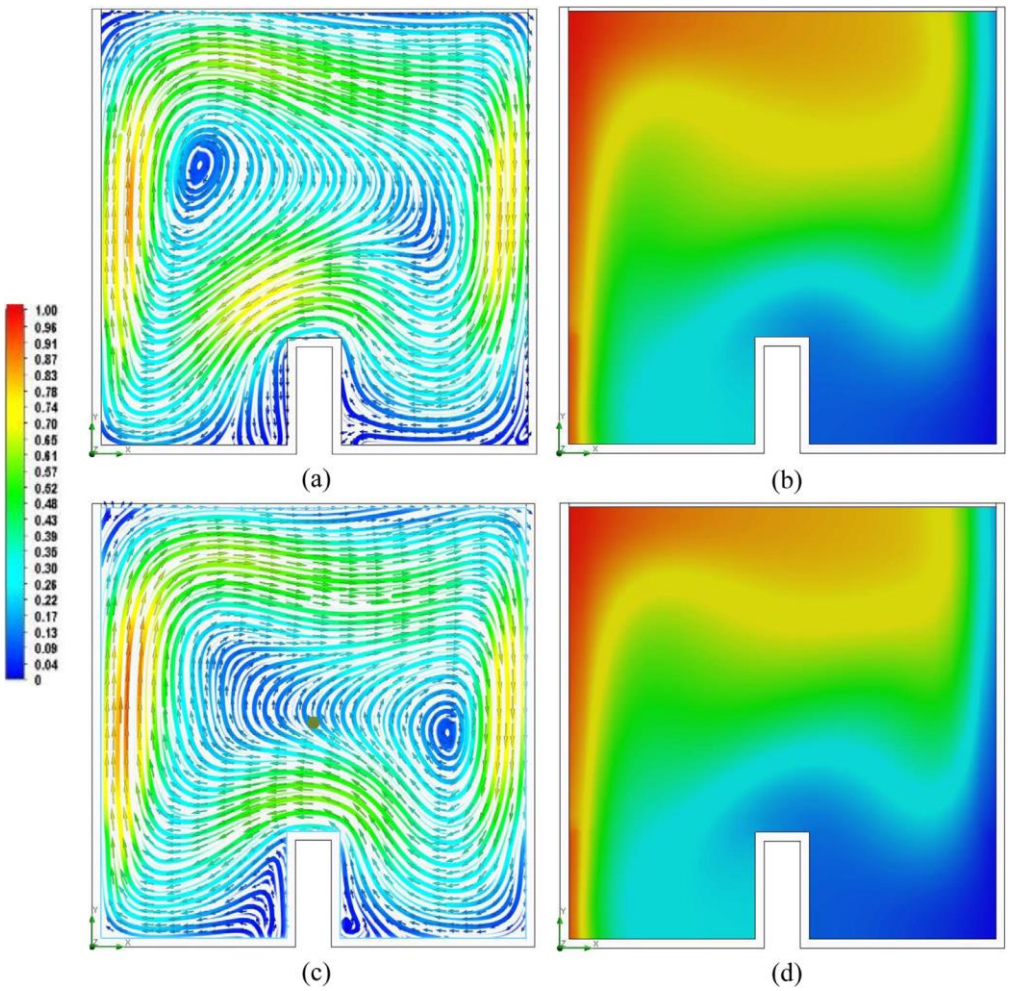
علیزاده و همکاران (۲۰۲۱) در مقاله‌ای با عنوان "پیش‌بینی هوش مصنوعی از همرفت طبیعی حرارت در یک حفره نوسانی پر شده با نانوسیال CuO"، به بررسی اثر شرایط مرزی متغیر مانند میدان مغناطیسی، زاویه و کسر حجمی نانوسیالات بر انتقال حرارت پرداختند. هدف این پژوهش، تحلیل اثرات پارامترهای مختلف بر انتقال حرارت با استفاده از ترکیبی از دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) و پیش‌بینی هوش مصنوعی (AI) بود. در این مطالعه، شبیه‌سازی عددی انتقال حرارت همرفت طبیعی در یک حفره مربعی دوبعدی با استفاده از تقریب بوسینسک[1] انجام شد. حفره حاوی نانوسیال CuO-آب بود و دارای یک بفل مستطیلی عایق در کف حفره بود. دیواره‌های عمودی حفره به ترتیب در دماهای TH و TC نگه داشته شدند، در حالی که دیواره‌های افقی عایق بودند. میدان مغناطیسی ثابت به صورت عمود بر دیواره حفره اعمال شد. عدد رایلی (Ra) در محدوده ۳۸۱۰ تا ۶۸۱۰ و عدد هارتمن (Ha) بین ۰ تا ۴۰ در نظر گرفته شد. همچنین، اثر نوسان حفره با فرکانس‌های ۲۰ و ۵۰ هرتز و دامنه‌های ۰.۵، ۱ و ۲ میلی‌متر بررسی شد. برای پیش‌بینی انتقال حرارت، از شبکه عصبی پرسپترون چندلایه (MLP) در هوش مصنوعی استفاده شد. نتایج نشان داد که افزایش عدد هارتمن (Ha) باعث کاهش نرخ انتقال حرارت می‌شود، زیرا میدان مغناطیسی اثرات همرفت طبیعی را تضعیف می‌کند. همچنین، افزایش دامنه نوسان حفره تأثیر قابل توجهی بر نرخ انتقال حرارت داشت. استفاده از هوش مصنوعی در پیش‌بینی انتقال حرارت، دقت بالایی را نشان داد و توانست به‌طور مؤثری تغییرات پیچیده جریان و دما را در حفره نوسانی مدل‌سازی کند. این پژوهش نشان داد که ترکیب دینامیک سیالات محاسباتی و هوش مصنوعی می‌تواند ابزار قدرتمندی برای تحلیل مسائل پیچیده انتقال حرارت با شرایط مرزی متغیر باشد. نتایج به‌دست‌آمده می‌تواند به‌عنوان پایه‌ای برای تحقیقات بیشتر در زمینه بهینه‌سازی سیستم‌های حرارتی مبتنی بر نانوسیالات مورد استفاده قرار گیرد [۱۴].



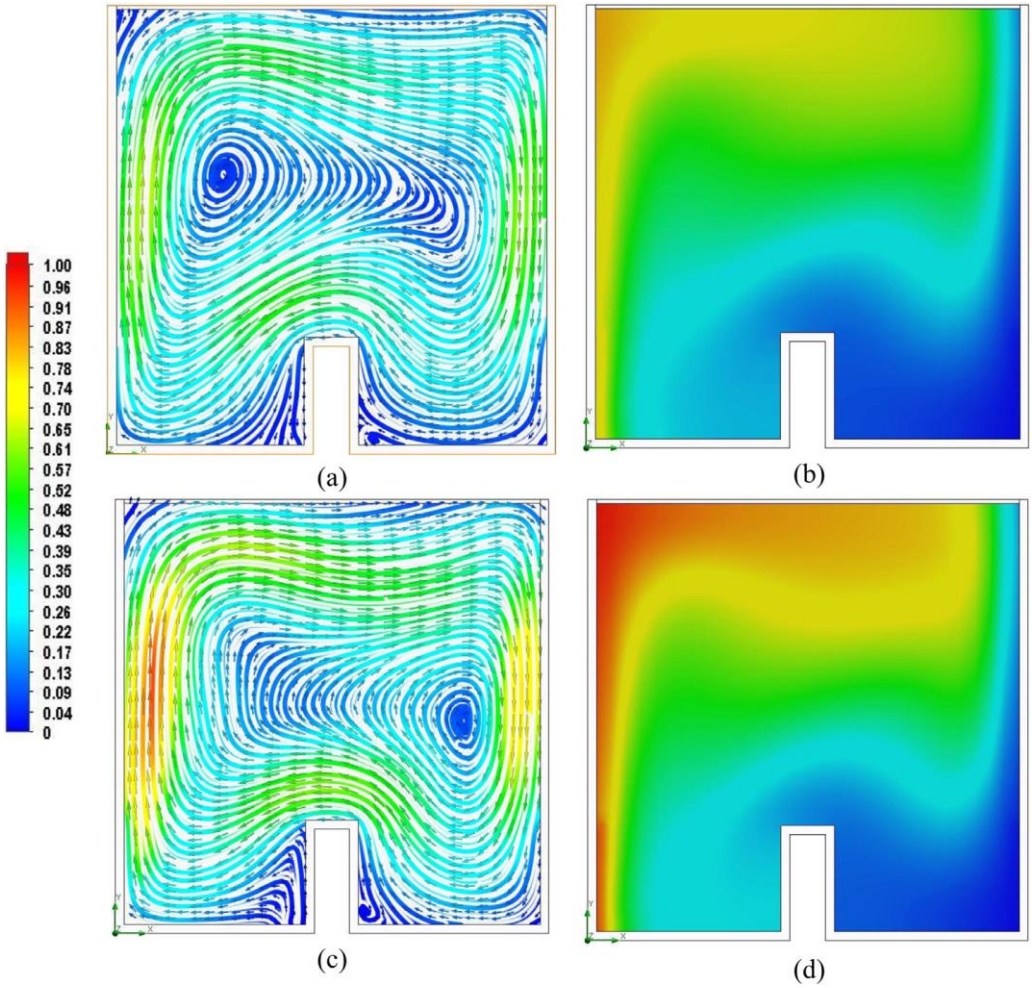
شکل ۲۱. [۱۴]

شکل ۲۱ نمایی کلی از مسأله و شبیه‌سازی هندسی انجام شده در مقاله را نشان می‌دهد. این شکل شامل هندسه حفره دوبعدی مربعی است که حاوی نانوسیال CuO-آب می‌باشد. دیواره‌های بالا و پایین حفره عایق در نظر گرفته شده‌اند و میدان مغناطیسی ثابت عمود بر دیواره اعمال شده است.

[1] Boussinesq approximation

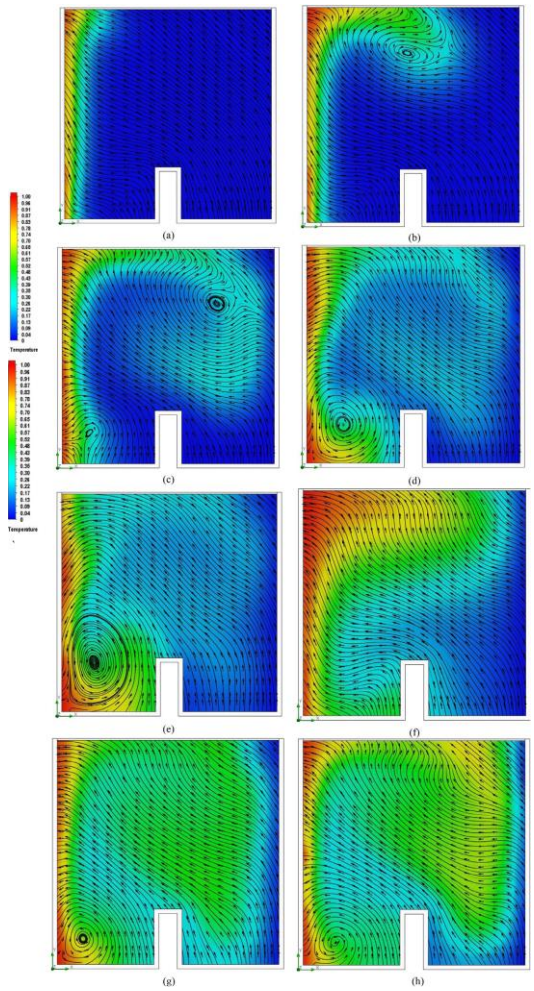

1.00
0.96
0.91
0.87
0.83
0.78
0.74
0.70
0.65
0.61
0.57
0.52
0.48
0.43
0.39
0.35
0.30
0.26
0.22
0.17
0.13
0.09
0.04
0
(a)
(b)
(c)
(d)

شکل ۲۲. [۱۴]



شکل ۲۳. [۱۴]

شکل‌های ۲۲ و ۲۳ نمایانگر خطوط جریان و توزیع دما برای مقادیر مختلف عدد رایلی (Ra) و هارتمن (Ha) هستند. برای مقادیر پایین رایلی، گرداب‌ها کوچک‌تر و منظم‌تر هستند، در حالی که با افزایش رایلی، گرداب‌ها بزرگ‌تر شده و نرخ انتقال حرارت افزایش می‌یابد. این شکل‌ها یافته‌های مربوط به تأثیر عدد هارتمن و رایلی بر همرفت طبیعی و نرخ انتقال حرارت را نشان می‌دهند. با اعمال میدان مغناطیسی، جریان سیال و توزیع دما به وضوح تحت تأثیر قرار گرفته و این موضوع در شکل‌ها به خوبی قابل مشاهده است.



شکل ۲۴. [۱۴]

شکل‌ها (۲۴) نتایج پیش‌بینی هوش مصنوعی برای جریان سیال و توزیع دما را در طی نوسانات مختلف زمانی نشان می‌دهند. در این شکل‌ها مشاهده می‌شود که هوش مصنوعی توانسته است به خوبی توزیع دما و جریان را در شرایط مختلف پیش‌بینی کند. این شکل‌ها به عنوان تأییدیه‌ای برای دقت بالای هوش مصنوعی در پیش‌بینی نتایج مورد استفاده قرار گرفته‌اند. این یافته‌ها نشان می‌دهد که هوش مصنوعی می‌تواند با دقت بالایی تغییرات پیچیده جریان و دما را مدل‌سازی کند. این اشکال همگی به خوبی روش، مدل‌سازی و نتایج به دست آمده از این پژوهش را نشان می‌دهند و نقش کلیدی در ارائه یافته‌های اصلی دارند. در پژوهش [۱۴] شبیه‌سازی‌ها با استفاده از نرم‌افزار Ansys CFX انجام شده است. همچنین، برای مش‌بندی و تولید شبکه محاسباتی از نرم‌افزار ICEM استفاده شده است. الگوریتم PISO[1] نیز برای همبستگی بین سرعت و فشار در حل معادلات استفاده شده است. به علاوه، برای پیش‌بینی انتقال حرارت و تجزیه و تحلیل داده‌های شبیه‌سازی، از ترکیبی از روش‌های هوش مصنوعی (AI) نیز استفاده شده است که کدهای مربوط به آن در زبان Python طراحی شده‌اند.

[1] Pressure-Implicit with Splitting of Operators

در مقاله‌ای با عنوان "انتقال حرارتی مبتنی بر همرفت مغناطیسی و درجه دوم در بیو-نانوسیال سه‌گانه تشعشعی از طریق شبکه‌های عصبی هوشمند: مکانیزم دو لایه پنهان" که توسط اسد ایوب و همکاران در سال ۲۰۲۴ منتشر شده است، نویسندگان به بررسی رفتار حرارتی نانوسیال خون مبتنی بر مدل Carreau در یک شریان عمودی و محدود پرداخته‌اند که حاوی نانوذرات مغناطیسی CuO، Al2O3، و TiO2 است. هدف اصلی این پژوهش بررسی انتقال حرارت و جریان خون در شرایط وجود همرفت درجه دوم و تشعشع حرارتی است. مدل فیزیکی مورد استفاده در این مطالعه مجموعه‌ای از معادلات دیفرانسیل جزئی (PDEs) تولید کرده است که با استفاده از تبدیل شباهت‌ها به معادلات دیفرانسیل عادی (ODEs) تبدیل شده‌اند. این معادلات سپس از طریق کد Matlab و استفاده از تابع bvp4c حل شدند. داده‌های عددی بدست‌آمده با یک مدل شبکه عصبی Levenberg-Marquardt (LMNN) آموزش داده شده تا نتایج بهینه برای مسئله پیش‌بینی شود. سرعت جریان خون با افزایش پارامتر ویسنبرگ، میدان مغناطیسی و همرفت مخلوط کاهش می‌یابد و با افزایش پارامتر همرفت درجه دوم، سرعت افزایش پیدا می‌کند. پروفایل دمایی با افزایش پارامتر انحناء، همرفت مخلوط و پارامتر نفوذپذیری کاهش می‌یابد. همرفت مغناطیسی باعث افزایش انتقال حرارت می‌شود، اما این تأثیر وابسته به زاویه شریان و دیگر پارامترهای فیزیکی است. این پژوهش نشان داد که افزودن نانوذرات مغناطیسی به خون، می‌تواند قابلیت‌های انتقال حرارت را بهبود بخشد. همچنین، این روش می‌تواند به بهبود فرآیندهای پزشکی نظیر درمان‌های حرارتی و تصویربرداری زیستی کمک کند. استفاده از شبکه‌های عصبی برای پیش‌بینی رفتار انتقال حرارت در چنین سیستم‌های پیچیده‌ای نشان‌دهنده توانمندی هوش مصنوعی در بهبود و تسریع فرآیندهای محاسباتی است [۱۵].

در پژوهشی، شبیه‌سازی عددی برای همرفت ترکیبی در یک حفره مربعی با دیواره‌های دمایی متفاوت و وجود چهار سیلندر چرخان با حرکت هارمونیک توسط شیرانی و همکاران در سال ۲۰۲۱ انجام شده است. این شبیه‌سازی برای پارامترهای مختلفی مانند کسر حجمی نانوذرات ($0 \leq \phi \leq 0.03$)، عدد ریچاردسون ($0.1 \leq Ri \leq 10$) و نوع حرکت سیلندرها انجام شده است. در این مطالعه از نانوسیال Cu-آب به عنوان سیال داخل محفظه استفاده شده است. مقایسه‌ای بین چرخش کامل و چرخش هارمونیک در حالت‌های پایدار و گذرا صورت گرفته است تا تأثیر حرکت هارمونیک بهتر درک شود. نتایج این مطالعه به صورت اعداد نوسلت متوسط و محلی، کانتورهای دما، کانتورهای جریان سیال، پروفایل‌های سرعت، PEC (نسبت عملکرد حرارتی به پمپاژ) و پروفایل‌های تولید آنتروپی ارائه شده است. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهند که انتقال حرارت به سرعت زاویه‌ای سیلندرها، نوع چرخش و غلظت نانوذرات بستگی دارد. افزودن نانوذرات باعث بهبود نرخ انتقال حرارت شده است، اما تأثیر نانوسیال‌ها بر هندسه محفظه کاهش یافته است، به جز در حالت‌هایی با عدد ریچاردسون $Ri = 1$ و چند مورد خاص. همچنین، طبق نمودارهای عدد نوسلت، می‌توان نتیجه گرفت که حرکت هارمونیک در این مطالعه تأثیر قابل توجهی بر نرخ انتقال حرارت نداشته است [۱۶].

چای و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهشی، ویژگی‌های جریان آرام و انتقال حرارت در سینک حرارتی میکروکانال‌های منقطع با ریب‌ها در اتاقک‌های عرضی را بررسی کرده است. مدل سه‌بعدی بر اساس روش حجم محدود و الگوریتم SIMPLEC انجام شده و اثرات ورودی، انتقال حرارت ترکیبی، گرمایش ویسکوز و خواص فیزیکی-حرارتی وابسته

به دما را در نظر می‌گیرد. پنج پیکربندی مختلف ریب‌ها شامل مستطیلی، مثلثی معکوس، الماسی، مثلثی رو به جلو و بیضوی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که ریب‌های موجود در اتاقک‌های عرضی به طور موثر از کاهش ضریب انتقال حرارت محلی در طول مسیر جریان جلوگیری می‌کنند. همچنین افزایش ۲۴-۵۷ درصدی در عدد نوسلت و افزایش ۳-۷۰ درصدی در فاکتور اصطکاک برای این سینک‌ها در مقایسه با سینک‌های حرارتی میکروکانال‌های مستقیم مشاهده شده است. بر اساس معیارهای ارزیابی عملکرد، سینک حرارتی با ریب‌های بیضوی بهترین عملکرد انتقال حرارت را با حداکثر ضریب عملکرد ۱.۳۹ نشان داد. این تحقیق از شبیه‌سازی عددی سه‌بعدی با استفاده از روش حجم محدود برای بررسی تأثیر ریب‌ها بر جریان و انتقال حرارت در سینک‌های حرارتی میکروکانال‌های منقطع استفاده کرده است. پنج نوع مختلف ریب از جمله مستطیلی، مثلثی معکوس، الماسی، مثلثی رو به جلو و بیضوی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. ریب‌ها باعث بهبود عملکرد انتقال حرارت در سینک‌های حرارتی میکروکانال‌های منقطع می‌شوند. افزایش عدد نوسلت ۲۴-۵۷ درصد و افزایش فاکتور اصطکاک ۳-۷۰ درصد در مقایسه با میکروکانال‌های مستقیم مشاهده شد. ریب‌های بیضوی بهترین عملکرد انتقال حرارت را با حداکثر ضریب عملکرد ۱.۳۹ ارائه دادند [۱۷].

در پژوهشی یک مدل تحلیلی برای بررسی جریان آرام و انتقال حرارت در میکروکانال‌هایی با سطح ناهموار توسط ژانگ و همکاران (۲۰۱۰) طراحی شده است. این مدل به‌صورت عددی بررسی شده تا اثرات عناصر ناهمواری بر ویژگی‌های حرارتی و هیدرودینامیکی مقایسه شود. در این مدل، سطوح ناهموار با عناصر ناهمواری مثلثی، مستطیلی و نیم‌دایره‌ای پیکربندی شده‌اند. اثرات عدد رینولدز، ارتفاع ناهمواری و فاصله بین عناصر ناهمواری بر افت فشار و انتقال حرارت در این میکروکانال‌های ناهموار مورد بررسی قرار گرفته است.یافته‌های تحقیق نشان می‌دهد که عناصر ناهمواری، عملکرد کلی انتقال حرارت را به بهای افزایش افت فشار بهبود می‌بخشند. در مقایسه با میکروکانال‌های صاف، عدد پوازی و عدد نوسلت متوسط میکروکانال‌های ناهموار ثابت نیستند و مقادیر بالاتری نسبت به حالت کلاسیک دارند. همچنین تفاوت‌هایی بین تأثیرات سه نوع عنصر ناهمواری مشاهده شد. با افزایش ارتفاع ناهمواری، جریان در سطوحی با عناصر ناهمواری مثلثی و نیم‌دایره‌ای باعث چرخش مجدد و جداشدگی جریان قوی‌تری می‌شود که به بهبود انتقال حرارت منجر می‌شود اما افت فشار را نیز افزایش می‌دهد. با این حال، تأثیر ارتفاع ناهمواری مستطیلی بر انتقال حرارت و افت فشار ضعیف‌تر از عناصر ناهمواری مثلثی و نیم‌دایره‌ای است. همچنین، اثرات فاصله بین عناصر ناهمواری بر عدد پوازی و عدد نوسلت متوسط به ترتیب برای عناصر نیم‌دایره‌ای، مثلثی و مستطیلی کاهش می‌یابد. تحلیل و شبیه‌سازی عددی با استفاده از مدل CFD برای بررسی تاثیر ارتفاع، فاصله و شکل ناهمواری‌ها بر جریان و انتقال حرارت در میکروکانال‌ها انجام شده است. از تکنیک حجم کنترل و روش SIMPLE برای حل معادلات حاکم استفاده شده است. عناصر ناهمواری باعث افزایش انتقال حرارت می‌شوند اما افت فشار را نیز افزایش می‌دهند. عناصر ناهمواری مثلثی و نیم‌دایره‌ای تأثیر بیشتری نسبت به عناصر مستطیلی دارند. با افزایش عدد رینولدز، تفاوت بین انتقال حرارت و افت فشار در میکروکانال‌های ناهموار نسبت به حالت کلاسیک بیشتر می‌شود [۱۸].

۷- فرضیه ها (هر فرضیه به صورت یک جمله ی خبری نوشته شود.) دقیقاً به پرسش مربوط باشندو کلی و بدیهی نباشند.

۱. استفاده از نانوسیال‌ها می‌تواند منجر به افزایش نرخ انتقال حرارت در میکروکانال‌ها شود.
۲. با افزایش غلظت نانوذرات در نانوسیال، نرخ انتقال حرارت بهبود می‌یابد.
۳. مدل‌های هوش مصنوعی می‌توانند به دقت نرخ انتقال حرارت و افت فشار در میکروکانال‌های نانوسیالی را پیش‌بینی کنند.

۸- اهداف تحقیق (شامل اهداف علمی، کاربردی وضرورت های خاص انجام تحقیق)

۱. اهداف علمی:(با شناسایی، تعیین، تبیین و غیره همراه است) :

هدف کلی:

بهینه‌سازی انتقال حرارت در جریان جابجایی آزاد نانوسیال در میکروکانال‌ها با استفاده از مدل‌های هوش مصنوعی و شبیه‌سازی عددی.

هدف های فرعی:

- بررسی و تحلیل تأثیر استفاده از نانوسیال بر بهبود انتقال حرارت در میکروکانال‌ها با رژیم آرام.
- ارزیابی تأثیر پارامترهای مختلف نانوسیال (مانند غلظت و نوع نانوذرات) بر جریان جابجایی آزاد و انتقال حرارت در میکروکانال‌ها.
- استفاده از مدل‌های هوش مصنوعی برای پیش‌بینی و بهینه‌سازی عملکرد حرارتی نانوسیال در میکروکانال‌ها و مقایسه نتایج آن با شبیه‌سازی‌های عددی.

۲.اهداف کاربردی :(اهدافی هستند که منجر به ارائه راه کار ،ساخت نمونه و... میشوند):

افزایش راندمان انتقال حرارت در میکروکانال‌های نانوسیالی با استفاده از تکنیک‌های هوش مصنوعی جهت بهینه‌سازی مصرف انرژی.

۳.ضرورت خاص انجام تحقیق(ضرورت خاص یعنی اهمیت ویژه ای که این تحقیق در این دوره از زمان در کشور دارد، یک تحقیق ممکن است ضرورت داشته باشد یا نداشته باشد، یا ضرورت ویژه ای داشته باشد،در حالت سوم توضیح داده شود).

با توجه به افزایش تقاضا برای کاهش مصرف انرژی و بهبود کارایی سیستم‌های حرارتی، استفاده از نانوسیالات در میکروکانال‌ها می‌تواند کمک بزرگی به کاهش اتلاف انرژی و افزایش بهره‌وری داشته باشد. این موضوع به ویژه در کشور ما با توجه به رشد سریع صنایع و نیاز به کاهش مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر، ضرورت پیدا می‌کند.

همچنین با توجه به رشد سریع فناوری نانو و هوش مصنوعی در جهان، لازم است کشور نیز در این زمینه‌ها به‌روز و پیشرو باشد. این تحقیق به دلیل تلفیق این دو فناوری نوین، فرصتی مناسب برای توسعه دانش بومی و تقویت زیرساخت‌های فناوری در ایران است. در دوره کنونی، کشور نیازمند تکنولوژی‌های پیشرفته برای افزایش کارایی در صنایع انرژی، نظامی و حتی پزشکی است. بهبود جریان جابجایی آزاد نانوسیالات در میکروکانال‌ها می‌تواند در بهبود سیستم‌های خنک‌کننده صنعتی و نظامی و همچنین در حوزه‌های نوینی همچون الکترونیک و زیست‌فناوری موثر واقع شود، که این خود ضرورتی ویژه در این دوره از زمان محسوب می‌شود.

۹- درصورت داشتن هدف کاربردی بیان نام بهره وران (اعم از مؤسسات آموزشی و اجرایی وغیره):

بهره‌وران این تحقیق شامل صنایع انرژی، شرکت‌های تولید تجهیزات خنک‌کننده پیشرفته، مراکز تحقیقاتی فناوری نانو، دانشگاه‌ها و مؤسسات آموزشی در زمینه مهندسی مکانیک و فناوری نانو خواهند بود. همچنین، صنایع نظامی و دفاعی که به بهبود سیستم‌های حرارتی و افزایش بهره‌وری انرژی نیاز دارند نیز از نتایج این تحقیق بهره‌مند می‌شوند.

۱۰- جنبهٔ نوآوری وجدید بودن تحقیق درچیست؟(این قسمت توسط استاد راهنما تکمیل و تایپ شود.)
صرفاً نوآوری تحقیق ذکر شود وبایست با (اهمیت وضرورت تحقیق) متفاوت باشد.

جنبه نوآوری این تحقیق در ترکیب روش‌های محاسباتی هوش مصنوعی با تحلیل دینامیک سیالات محاسباتی (CFD)برای بهبود جریان جابجایی آزاد نانوسیال در میکروکانال‌ها است. این ترکیب نوآورانه از تکنیک‌های یادگیری ماشینی برای پیش‌بینی و بهینه‌سازی رفتار حرارتی نانوسیالات استفاده می‌کند که تا کنون کمتر به‌طور جامع بررسی شده است. همچنین، به‌کارگیری مدل‌های هوشمند برای بهینه‌سازی عملکرد حرارتی در مقیاس میکرو، رویکردی جدید برای ارتقاء سیستم‌های حرارتی است که می‌تواند کارایی و دقت محاسبات را به‌طور چشمگیری افزایش دهد.

امضا:

۱۱- .روش کار :

الف.نوع روش تحقیق(توصیفی،توصیفی پیمایشی،تحلیل محتوا و....) :

روش تحقیق در این مطالعه توصیفی-تحلیلی و شبیه‌سازی عددی است. این روش ترکیبی از مراحل مختلف تحلیل تئوریک و مدل‌سازی محاسباتی است. در بخش توصیفی-تحلیلی، به بررسی و تحلیل مفاهیم نظری مربوط به جابجایی آزاد نانوسیال‌ها در میکروکانال‌ها پرداخته می‌شود. اطلاعات و داده‌های مورد نیاز از منابع علمی معتبر مانند کتاب‌ها، مقالات و پژوهش‌های پیشین جمع‌آوری شده و با توجه به موضوع تحقیق تحلیل می‌شوند. در این بخش، روابط فیزیکی، ویژگی‌های نانوسیالات، مفاهیم انتقال حرارت و میکروکانال‌ها به طور جامع مرور و تحلیل می‌گردند تا چارچوب نظری مناسبی برای بخش‌های عملی پژوهش فراهم شود.: در بخش روش شبیه‌سازی عددی، دینامیک سیالات محاسباتی (CFD)به عنوان ابزار اصلی مورد استفاده قرار می‌گیرد. از نرم‌افزارهایی نظیر ANSYS Fluent برای شبیه‌سازی جریان نانوسیالات در میکروکانال‌ها استفاده می‌شود. این شبیه‌سازی‌ها به بررسی رفتار حرارتی و هیدرودینامیکی نانوسیالات تحت شرایط مختلف می‌پردازند. ورودی‌های این بخش شامل پارامترهای فیزیکی و حرارتی مختلف نانوسیالات و کانال‌ها هستند که از بخش توصیفی استخراج شده‌اند.

در کنار شبیه‌سازی عددی برای هوش مصنوعی، از روش‌های هوش مصنوعی (AI) برای بهینه‌سازی جریان و پیش‌بینی نتایج استفاده می‌شود. مدل‌های هوش مصنوعی مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) با داده‌های شبیه‌سازی و تجربی آموزش داده می‌شوند تا بتوانند پیش‌بینی‌های دقیق‌تری از رفتار نانوسیالات ارائه دهند. این بخش به بهینه‌سازی پارامترهای جریان و یافتن بهترین شرایط انتقال حرارت کمک می‌کند.

ب.روش گردآوری اطلاعات (میدانی، کتابخانه ای وغیره):

استفاده از داده های موجود در مقالات:

کتابخانه‌ای: اطلاعات و داده‌های نظری مورد نیاز از طریق مطالعه منابع علمی موجود مانند کتاب‌ها، مقالات علمی معتبر، پژوهش‌های پیشین، پایان‌نامه‌ها و گزارش‌های فنی جمع‌آوری می‌شود. این منابع شامل اطلاعات پایه‌ای در مورد نانوسیالات، میکروکانال‌ها، جابجایی آزاد و روش‌های هوش مصنوعی است. همچنین استانداردها و دستورالعمل‌های بین‌المللی مرتبط نیز در این بخش مرور و گردآوری می‌شود.

شبیه‌سازی عددی: در این روش، اطلاعات مورد نیاز برای بررسی و تحلیل جریان نانوسیالات و انتقال حرارت از طریق شبیه‌سازی‌های کامپیوتری جمع‌آوری می‌شود. از نرم‌افزارهای تخصصی مانند ANSYS Fluent برای مدل‌سازی و شبیه‌سازی رفتار نانوسیالات در میکروکانال‌ها استفاده می‌شود. داده‌های حاصل از شبیه‌سازی‌ها به منظور بررسی ویژگی‌های جریان و تحلیل نتایج حرارتی به کار گرفته می‌شوند.

پ.ابزار گرد آوری اطلاعات (پرسشنامه، مصاحبه، مشاهده، آزمون، فیش، جدول، نمونه برداری، تجهیزات آزمایشگاهی وبانک های اطلاعاتی و شبکه های کامپیوتری و ماهواره ای و غیره):

داده‌های موجود در مقالات معتبر: برای گردآوری اطلاعات علمی و به‌روز، از مقالات علمی معتبر در پایگاه‌های داده علمی مانندScienceDirect ، Google Scholar، IEEE Xploreو Springer استفاده می‌شود. این مقالات شامل پژوهش‌های مشابه و مرتبط با نانوسیالات، انتقال حرارت در میکروکانال‌ها، و به‌کارگیری هوش مصنوعی در بهبود جریان‌های آرام می‌باشند.

برای تحلیل دقیق داده‌ها و شبیه‌سازی جریان نانوسیالات، از نرم‌افزارهای تخصصی شبیه‌سازی عددی مانند ANSYS Fluent و همچنین از ابزارهای هوش مصنوعی مانند MATLAB یا Python برای مدل‌سازی الگوریتم‌های هوش مصنوعی استفاده می‌شود.

ت.روش تجزیه و تحلیل اطلاعات :

تحلیل عددی: داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی مانند ANSYS Fluent تجزیه و تحلیل می‌شوند. این نرم‌افزار برای شبیه‌سازی جریان نانوسیالات در میکروکانال‌ها به کار می‌رود و به ما امکان می‌دهد پارامترهای مختلف مانند انتقال حرارت و الگوهای جریان را با استفاده از روش‌های دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) مدل‌سازی و تحلیل کنیم.

تحلیل هوش مصنوعی: پس از شبیه‌سازی عددی، داده‌ها به الگوریتم‌های هوش مصنوعی مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN)یا الگوریتم‌های یادگیری ماشین وارد می‌شوند. این الگوریتم‌ها برای پیش‌بینی و بهبود جریان و انتقال حرارت در نانوسیالات مورد استفاده قرار می‌گیرند. ابزارهایی مانند MATLAB یا Python می‌توانند برای پیاده‌سازی و آموزش این الگوریتم‌ها به کار روند.

مقایسه و ارزیابی: نتایج حاصل از هر دو روش شبیه‌سازی عددی و هوش مصنوعی با داده‌های تجربی و تئوری مقایسه می‌شوند. معیارهایی مانند عدد نوسلت (Nusselt number) برای تحلیل میزان انتقال حرارت و عدد رینولدز (Reynolds number) برای تحلیل نوع جریان استفاده می‌شود. همچنین از معیارهایی نظیر معیار ارزیابی عملکرد (PEC)برای سنجش کیفیت مدل‌ها و بهبودهای حاصل شده در عملکرد استفاده خواهد شد.

۱۲- جدول زمان بندی مراحل انجام دادن تحقیق از زمان تصویب تا دفاع نهایی :

تاریخ تصویب	از تاریخ	تا تاریخ
مطالعات کتابخانه ای		
جمع آوری اطلاعات		
تجزیه و تحلیل داده ها		
نتیجه گیری ونگارش پایان نامه		
تاریخ دفاع نهایی		
طول مدت اجرای تحقیق(حداقل مدت انجام پژوهش ٦ ماه است):		

۱۳- فهرست منابع ومآخذ (فارسی و غیره فارسی)مورد استفاده در پایان نامه به شرح زیر:

(بر اساس سامانه فهرست نویسی APAقابل دسترسی در سایت) www.apa.org

۱. Farahani, S.D., A.J. Mamoei, and A.a. Alizadeh, *Thermal performance of microchannel heat sink integrated with porous medium, slip coefficient and phase change material and machine learning approach.* Journal of Energy Storage, 2023. **74**: p. 109357.

۲. Zhao, N., et al., *Numerical investigations of laminar heat transfer and flow performance of Al2O3–water nanofluids in a flat tube.* International Journal of Heat and Mass Transfer, 2016. **92**: p. 268-282.

۳. Bahiraei, M., N. Mazaheri, and S. Hosseini, *Neural network modeling of thermo-hydraulic attributes and entropy generation of an ecofriendly nanofluid flow inside tubes equipped with novel rotary coaxial double-twisted tape.* Powder Technology, 2020. **369**: p. 162-175.

.٤ Masoud Ali, A., A. Rona, and M. Angelino, *Numerical investigation of various twisted tapes enhancing a circular microchannel heat sink performance.* International Journal of Heat and Fluid Flow, 2022. **98**: p. 109065.

.٥ Sahoo, A. and R. Nandkeolyar, *Entropy generation in convective radiative flow of a Casson nanofluid in non-Darcy porous medium with Hall current and activation energy: The multiple regression model.* Applied Mathematics and Computation, 2021. **402**: p. 125923.

.٦ Xie, Y., et al., *Multi-objective optimization of a microchannel heat sink with a novel channel arrangement using artificial neural network and genetic algorithm.* Case Studies in Thermal Engineering, 2024. **53**: p. 103938.

.٧ Song, G., et al., *Reviews: Applications of optimization algorithm for microchannel and microchannel heat sink on heat transfer.* International Journal of Heat and Fluid Flow, 2024. **108**: p. 109451.

.٨ Sahebi, S.A.R., D.D. Ganji, and J. Alinezhad, *On the thermal performance of nanofluid over a cylinder within a confined channel: The splitter effect.* Case Studies in Thermal Engineering, 2023. **49**: p. 103275.

.٩ Sharma, P., et al., *Thermal conductivity prediction of titania-water nanofluid: A case study using different machine learning algorithms.* Case Studies in Thermal Engineering, 2022. **30**: p. 101658.

.١٠ Hassan, A., et al., *Investigation of mixed convection in spinning nanofluid over rotating cone using artificial neural networks and BVP-4C technique.* Mathematics, 2022. **10**(24): p. 4833.

.١١ Akbari, O.A., et al., *Assessing heat transfer and nanofluid laminar flow in the curved micro-mixers by adopting two-phase model.* Alexandria Engineering Journal, 2023. **73**: p. 189-203.

.١٢ Bagheri, H., et al., *Free convection of hybrid nanofluids in a C-shaped chamber under variable heat flux and magnetic field: simulation, sensitivity analysis, and artificial neural networks.* Energies, 2019. **12**(14): p. 2807.

.١٣ Tafarroj, M.M., et al., *Artificial neural network modeling of nanofluid flow in a microchannel heat sink using experimental data.* International Communications in Heat and Mass Transfer, 2017. **86**: p. 25-31.

.١٤ Alizadeh, R., et al., *Artificial intelligence prediction of natural convection of heat in an oscillating cavity filled by CuO nanofluid.* Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers, 2021. **124**: p.٩٠-٧٥ .

.١٥ Ayub, A., et al., *Magnetized and quadratic convection based thermal transport in ternary radiative bio-nanofluid via intelligent neural networks: Two hidden layers mechanism.* Results in Physics, 2024. **65**: p. 107973.

.١٦ Shirani, N., et al., *Numerical simulation of transient mixed convection of water–Cu nanofluid in a square cavity with multiple rotating cylinders having harmonic motion.* Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2021. **143**(6): p. 4229-4248.

.١٧ Chai, L., G.D. Xia, and H.S. Wang, *Laminar flow and heat transfer characteristics of interrupted microchannel heat sink with ribs in the transverse microchambers.* International Journal of Thermal Sciences, 2016. **110**: p. 1-11.

.١٨ Zhang, C., Y. Chen, and M. Shi, *Effects of roughness elements on laminar flow and heat transfer in microchannels.* Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, 2010. **49**(11): p. 1188-1192.