

## مطالعه تجربی اثر شیار عمقی در پره سوزنی شکل بر انتقال حرارت

محمد خلف علیوی القره غولی<sup>۱</sup>، محمدباقر آیینی<sup>۲</sup>

نویسنده مسئول: کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک - تبدیل انرژی، دانشگاه فردوسی مشهد / وزارت برق عراق - مدیریت آموزش و توسعه، alkaragoly74@gmail.com  
استادیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد، mbayani@um.ac.ir

### چکیده

در این مطالعه اثر ایجاد شیار عمقی در پره‌های سوزنی بر انتقال حرارت به صورت تجربی بررسی شده است. با استفاده از روش طراحی آزمایش تاگوچی<sup>۱</sup>، ۹ طرح مختلف شیار عمقی که در آن‌ها ارتفاع و عرض شیار و همچنین مختصات موقعیت شیار در طول پره به عنوان متغیرهای مسئله در نظر گرفته شده و ۳ طرح از این ۹ طرح که دارای بیشترین سطح تماس با سیال هستند انتخاب شده است و به صورت تجربی در سرعت جریان هوای مختلف مورد مطالعه قرار گرفتند. نتایج حاصل از آزمایش ۳ طرح پره‌های سوزنی شیاردار و ساده (بدون شیار) مورد مقایسه قرار گرفت. برای نیل به این مقصود، پره‌های سوزنی آلومینیومی دارای شیار عمقی با ابعاد و موقعیت‌های مختلف تحت شار حرارتی ثابت در ۱۳ سرعت عبوری مختلف آزمایش شده و دمای پایه پره‌ها به وسیله ترموکوپل اندازه‌گیری شد. برای اطمینان از صحت نتایج آزمایش‌های مذکور و نیز آزمایش تست سرعت هوا، ۳ بار تکرار شده و نتایج حاصله باهم مقایسه گردید تا از بروز هرگونه خطا حتی الامکان جلوگیری شود. نهایتاً با تحلیل نتایج آزمایش‌ها، طرح بهینه از نظر عرض، ارتفاع و موقعیت شیار در پره مشخص شد و نیز دمای اندازه‌گیری شده پایه پره‌های شیاردار با دمای پایه پره ساده مقایسه گردید.

### واژه‌های کلیدی

پره سوزنی شکل، شیار عمقی، سطوح گسترش‌یافته، روش تاگوچی و بهبود انتقال حرارت

### ۱ مقدمه

سطوح گسترش‌یافته<sup>۲</sup> (پره‌ها<sup>۳</sup>) ابزاری مناسب برای دست‌یابی به انتقال حرارت بیشتر انتقال حرارت بین سیال و سطحی معلوم است که به طور وسیع در کاربردهای صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. پره‌ها در صنعت، جهت خنک کاری سطوح گرم از جمله مبدل‌های حرارتی، توربین‌های گازی قدرتمند در هواپیماهای نظامی، سطوح الکترونیکی کامپیوتر، وسایل نقلیه و غیره بکار می‌رود.

انتقال حرارت در محفظه‌های بسته و باز و آسیب نرسیدن به قطعات الکترونیکی و الکترونیکی و حساس به دما به علت کاهش راندمان و خرابی آن‌ها در دمای بالا، از اصلی‌ترین دغدغه‌های طراحان است. در یک مطالعه تحقیقاتی مشخص شده است که کنترل حرارت در سال

۲۰۱۰ هشت میلیارد دلار هزینه در برداشته که با رشد ۶/۴ درصدی، این هزینه در سال ۲۰۱۶ به رقم ۱۰/۹ میلیارد دلار رسیده است [۱]. افزایش انتقال حرارت از پره‌ها از سه طریق امکان‌پذیر است:

- ۱- ضریب رسانش حرارتی پره.
- ۲- افزایش ضریب انتقال حرارت جابجایی بین پره و محیط.
- ۳- افزایش نسبت سطح به حجم پره.

از آنجاکه تهیه پره با ضریب رسانش حرارت بالا پرهزینه می‌باشد و افزایش ضریب انتقال حرارت جابجایی بین پره و محیط نیز دارای محدودیت است لذا افزایش نسبت سطح به حجم پره به عنوان گزینه‌ای مناسب جهت بالا بردن کارایی پره مورد توجه قرار می‌گیرد. در تحقیق حاضر، با ایجاد شیار عمقی در پره سوزنی شکل، سطح انتقال حرارت بیشتر شده، تغییرات نرخ انتقال حرارت با استفاده از این روش بررسی می‌شود. انتقال حرارت در پره‌های سوزنی در تحقیقات متعددی از زوایا مختلف مورد توجه قرار گرفته شده است.

از جمله مطالعات اولیه در این موضوع سال ۱۹۷۲، توسط زوکاسکاس [۲] انجام شد که با کاهش گام طولی و افزایش گام عرضی میان پره‌ها، متوجه افزایش انتقال حرارت از مجموعه پره‌های سوزنی شد. متزگر و هالی [۳] در تحقیقی مشابه، به مقایسه‌ی نتایج آزمایش‌های خود با زوکاسکاس پرداخته اختلاف ۵٪ را نشان داد. مافید و همکاران [۴] با انتخاب پره سوزنی شکل با سطح مقطع‌های دایره‌ای، مثلثی و مستطیلی به بررسی میزان انتقال حرارت و انتخاب طول بهینه در طراحی پرداختند. دهمنه و فارکاده [۵] انتقال حرارت در پره‌های استوانه‌ای با چیدمان جابه‌جاشده در دو حالت بدون سوراخ و سوراخ‌دار را مطالعه نمودند. نتیجه حاصل از مطالعات آنان نشان داد که بیشترین انتقال حرارت در پره‌های سوراخ‌دار و در محدوده اعداد رینولدز پایین اتفاق می‌افتد. داشماخ و راخداکار [۶] تأثیر متغیرهای طراحی بر روی کارایی حرارتی پره سوزنی تحت همرفت ترکیبی (ترکیب آزادی و اجباری) به صورت تجربی بررسی کردند. آن‌ها نتیجه گرفتند که مقادیر بهینه متغیرهای طراحی پره سوزنی به صورت: نسبت منظری  $(\gamma) = 0.9/1.8$ ، نسبت سطح پره گذاری نشده به سطح کلی پایه  $(\alpha) = 0.7/0.2$ ، گام طولی  $(S_L) = 36$  میلی‌متر و گام عرضی  $(S_T) = 18$  میلی‌متر می‌باشد. یوم و همکاران [۷] در سال ۲۰۱۵، انتقال حرارت و افت فشار برای آرایه پره‌های سوزنی میکرومتری در یک کانال مستطیلی باریک در جریان‌های مختلف آرام تا مغشوش را مورد تحقیق قرار دادند. در این مقاله، پره‌های سوزنی میکرومتری از جنس مس با طول ۱۵۰-۴۰۰ میکرومتر و قطر ۷۵-۷۰۰ میکرومتر ساخته و مورد آزمون قرار داده

<sup>1</sup> Taguchi

<sup>2</sup> Extended surfaces

<sup>3</sup> Fins

طراحی، تحلیل نتایج و توجیه رفتار فرآیند و بهینه‌سازی در کنار شما خواهند بود. این تحلیل‌ها اغلب به وسیله نرم‌افزارهای تحلیل آماری انجام می‌شود که معروف‌ترین آن‌ها Minitab و Design Expert می‌باشد [۹].

## ۱-۲- انتخاب متغیرهای طراحی

متغیرهای متعددی برای مطالعه وجود داشت از جمله جنس پره‌ها، گام طولی، ارتفاع و قطر پره‌ها، سرعت سیال عبوری، عرض شیار، طول شیار و موقعیت شیار در پره می‌باشند. در این پژوهش از مطالعه‌ای تجربی که توسط دشماخ و وارخدکار [۶] انجام شده، استفاده می‌شود، در این مطالعه نسبت منظری پهنه ۹/۱۸ و گام طولی پهنه ۳۶ میلی‌متر، برای پره از جنس آلومینیوم می‌باشد. در مطالعه فوق معادله‌ی نسبت منظری به صورت زیر است:

$$\gamma = \frac{H}{d} \quad (1)$$

که در آن:  $d$  قطر پره سوزنی و  $H$  ارتفاع پره است.

در این مطالعه از پره‌های سوزنی با ارتفاع ( $H$ ) مساوی با ۶۰ میلی‌متر و با سرعت جریان هوا متغیر از ۰ تا ۹/۶ متر بر ثانیه استفاده می‌شود. برای اندازه قطر پره‌ها با استفاده از رابطه (۱) می‌توان نوشت:

$$d = \frac{H}{\gamma} = \frac{60}{9.18} = 6.5 \text{ mm} \quad (2)$$

ابعاد شیارها که در پره‌های سوزنی ایجاد شده که در روش تاگوچی و با نرم‌افزار مینی‌تاب<sup>۵</sup> استفاده شده، در جدول ۱ درج شده است. در این جدول برای استفاده از روش تاگوچی مقادیر متغیرهای طراحی مطالعه (طول شیار، موقعیت شیار و عرض شیار) در سه سطح مختلف در نظر گرفته شده است. این سه سطح به اندازه‌های کوچک، متوسط و بزرگ قرار داده شده است. به طوری که این مقادیر می‌تواند روی همه‌ی طرح‌های تاگوچی اعمال شود. شکل ۱ نمایی برای پره سوزنی شیاردار با ابعاد  $L$ ,  $Y$ ,  $X$ ,  $d$ ,  $H$  و  $L$  نشان داده شده است.

جدول ۱: ابعاد شیارهای ایجاد شده در پره‌های سوزنی که در روش تاگوچی

استفاده شده است

Factor \ Level	طول شیار (L) (میلی‌متر)	موقعیت شیار (Y) (میلی‌متر)	عرض شیار (X) (میلی‌متر)
۱	۱۰	۵	۱
۲	۲۰	۱۰	۱/۵
۳	۳۵	۲۰	۲



شکل ۱: نمایی از پره سوزنی شیاردار با ابعاد  $L$  و  $Y$ ,  $X$ ,  $d$ ,  $H$  و  $L$

شد و نهایتاً نتایج نشان داد که بیشترین افزایش انتقال حرارت در سطح با پره‌های سوزنی با طول ۲۵۰ میکرومتر طول و قطر ۴۰۰ میکرومتر اتفاق می‌افتد و در این حالت انتقال حرارت به میزان ۷۹٪ نسبت به پره‌های ساده افزایش می‌یابد. آن‌ها نشان دادند که از سطوح حاوی پره‌های سوزنی میکرومتری برای بهبود عملکرد چاه حرارتی در خنک‌کننده‌های دستگاه‌های الکترونیکی کاربرد خواهد داشت. پراکاش و رانگاسوامی [۸] در سال ۲۰۱۶ انتقال حرارت از ۹ پره‌ی سوزنی سوراخ‌دار مختلف با چیدمان خطی و ۸ پره‌ی سوزنی سوراخ‌دار با چیدمان جابه‌جاشده که همه‌ی پره‌ها دارای قطر ۱۶ میلی‌متر و سوراخ به قطر ۳ میلی‌متر است را به صورت تجربی بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که انتقال حرارت از پره‌های سوزنی سوراخ‌دار با چیدمان جابه‌جاشده در مقایسه با پره‌های سوزنی ساده (بدون سوراخ) و با پره‌های سوزنی سوراخ‌دار با چیدمان خطی بهتر است.

همان‌طور که قبلاً بیان شد یکی از بهترین راه‌های افزایش انتقال حرارت در پره‌ها افزودن سطح پره‌ها است، از طرفی با ایجاد تغییر در شکل هندسی پره می‌توان سطح پره را افزایش داد. از آنجاکه در مطالعات پیشین، افزودن سطح پره سوزنی با ایجاد شیار عمقی در آن‌ها بررسی نشده است، لذا در این پژوهش انتقال حرارت از پره‌های سوزنی که دارای شیار عمقی می‌باشند، مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است. با استفاده از روش طراحی آزمایش تاگوچی، ۹ طرح مختلف شیار عمقی که در آن‌ها ارتفاع و عرض شیار و همچنین مختصات موقعیت شیار در طول پره به عنوان متغیرهای مسئله در نظر گرفته شده، ارائه گردیده و ۳ طرح از این ۹ طرح که دارای بیشترین مساحت سطح تماس با سیال انتخاب شده است و آن‌ها به صورت تجربی مورد مطالعه قرار می‌گیرند. پس از تحلیل نتایج به دست آمده، طرح پهنه از نظر عرض، ارتفاع و موقعیت شیار در پره مشخص می‌گردد و در نهایت میزان انتقال حرارت از آن به طور تجربی به دست آمده و با پره ساده مقایسه می‌گردد.

## ۲ اصول طراحی و بستر آزمایش

### ۱-۲ اصول طراحی آزمایش‌ها

تکنیک طراحی آزمایش‌ها<sup>۴</sup> (DOE) یکی از تکنیک‌های بهبود کیفیت است که در دهه‌های ۱۹۹۰، ۱۹۸۰ به عنوان یک مزیت رقابتی در کشورهای غربی و ژاپن مطرح شد. استفاده صحیح از روش‌های طراحی آزمایش‌های آماری می‌تواند باعث سهولت در مراحل طراحی و تولید محصولات جدید و بهبود محصولات موجود

گردد. با استفاده از این تکنیک ممکن است تعداد زیادی عوامل متغیر ورودی شناسایی شوند. استفاده از تمامی آن‌ها به علت تعداد زیاد آزمایش‌ها و همچنین هزینه‌های مربوط به اندازه‌گیری برای هر کدام از آن‌ها بسیار مشکل و حتی ممکن است غیرممکن باشد. لذا باید تعداد متغیرها را با انتخاب مهم‌ترین آن‌ها کاهش داد. کارشناسان در تمامی مراحل ارزیابی، انتخاب متغیرها و تکنیک

<sup>5</sup> Minitab

<sup>4</sup> Design of Experiments

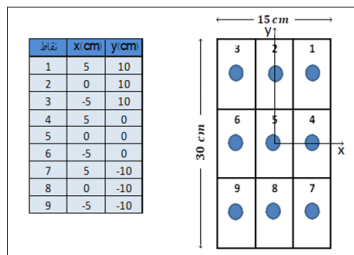
داده شده است. تونل باد مورد استفاده دارای یک فن سانتریفیوژ<sup>۹</sup> است. این فن از درون کانال هوا را می مکد و برای تنظیم کردن میزان دبی هوا، از تغییر حالت دریچه هوا که در انتهای دستگاه نصب شده، استفاده می شود. در حالت باز بودن کامل دریچه سرعت کاری دستگاه بیشینه می باشد و مقدار آن سرعت ۹/۶ متر بر ثانیه می باشد.



شکل ۴: دستگاه تونل باد

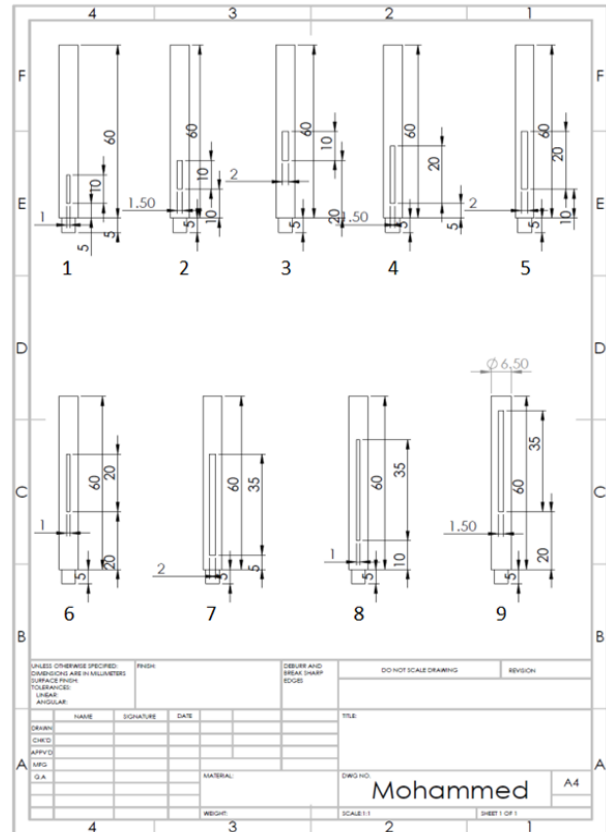
### ۲-۲-۲ اندازه گیری سرعت

سرعت درون کانال به ندرت یکنواخت بوده و ابزارهای اندازه گیری نظیر لوله پیتوت<sup>۱۰</sup> و آنیمومتر<sup>۱۱</sup>، سرعت محلی<sup>۱۲</sup> (در یک نقطه) را نشان می دهند، لذا می بایست از مفهوم سرعت متوسط استفاده کرد. در آزمایش ها برای اندازه گیری سرعت از ترمو-آنیمومتر<sup>۱۳</sup> استفاده می گردد. همان طور که پیش تر اشاره شد، برای اندازه گیری سرعت در کانال می بایست در نقاط مختلفی از شیار تعبیه شده در بدنه بالایی کانال، حسگر ترمو-آنیمومتر را قرار داده و بین اعداد به دست آمده، میانگین گیری کرد. نکته مهم در به دست آوردن سرعت متوسط، محل قرارگیری حسگر ترمو-آنیمومتر در عرض کانال است. به این منظور با استفاده از روش سطوح برابر<sup>۱۴</sup> محل دقیق قرارگیری حسگرهای اندازه گیری سرعت مشخص می شود. در این روش، سطح مقطع کانال به سطوح مساوی (۹ یا ۱۶ قسمت) تقسیم شده و ابزار اندازه گیری سرعت دقیقاً در وسط هر یک از سطوح قرار گرفته و سرعت ثبت می گردد. شکل ۵ محل قرارگیری ابزار اندازه گیری سرعت در روش سطوح برابر برای کانال با مقطع مستطیلی برای ۹ نقطه نشان داده شده است.



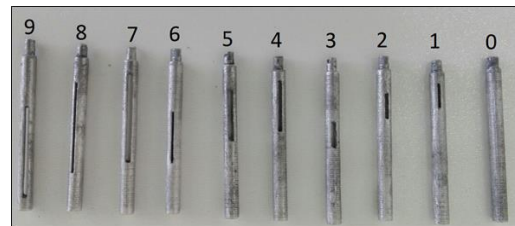
شکل ۵: محل قرارگیری حسگر ترمو-آنیمومتر در روش سطوح برابر برای ۹ نقطه

از جدول بالا مشخص است که برای سه تا سطح و سه تا متغیر، تعداد طراحی ها ۲۷ عدد است، ولی با استفاده از روش تاگوچی در نرم افزار مینی تاب، ۹ طرح را پیشنهاد می دهد. نتایج روش تاگوچی، ۹ طرح مختلف از پره سوزنی شیاردار عمقی است که با استفاده از نرم افزار سالیدورک<sup>۶</sup> نقشه آن ها رسم شده است. در شکل ۲ ابعاد و مشخصات هندسی پره ها برای ۹ طرح پیشنهادی رسم شده است.



شکل ۲: نمایی از ۹ طرح مختلف پره های سوزنی شیار عمقی دارد

شکل ۳ نمایی از پره ها سوزنی شیاردار بعد از تمام شدن همه فرایند ساختن آن ها نشان داده شده است.



شکل ۳: نمایی از پره ها بعد از تمام شدن همه فرایند ساختن آن ها

### ۲-۲-۲ مشخصات دستگاه و وسایل اندازه گیری آزمایش

#### ۱-۲-۲-۲ مشخصات کلی دستگاه

برای انجام مطالعه حاضر از دستگاه تونل باد تی دی ۴۹<sup>۷</sup> از شرکت تک کویپمنت<sup>۸</sup> استفاده شده است. در شکل ۵ دستگاه تونل باد نشان

<sup>9</sup> Centrifuge

<sup>10</sup> Pitot tube

<sup>11</sup> Anemometer

<sup>12</sup> Local Velocity

<sup>13</sup> Thermo - Anemometer

<sup>14</sup> Equal-Area Method

<sup>6</sup> SolidWorks

<sup>7</sup> TD49

<sup>8</sup> TecQuipment



شکل ۷: گرم کن الکتریکی پایه آلومینیومی

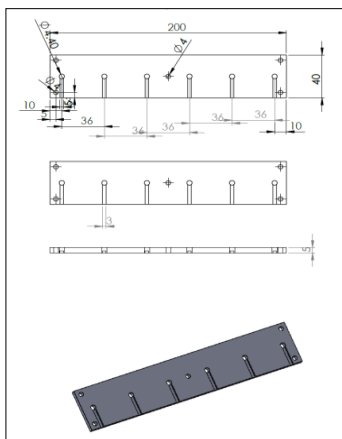
برای ایجاد جریان الکتریکی از یک ترانس برقی استفاده شده است، محدوده ولتاژ این ترانس برقی از ۰ تا ۱۲ ولت است. با تنظیم ولتاژ ترانس الکتریکی روی ۱۲ ولت و با استفاده از مولتی متر برای اندازه گیری ولت، ولتاژ واقعی ۱۱/۳ ولت اندازه گیری شد. در نتیجه توان گرم کن ۳۷/۵ وات به دست آمد. با تقسیم این عدد بر ابعاد پایه که الیاف کربنی بر روی آن واقع می شود، (۴۰ میلی متر X ۲۰۰ میلی متر) شار حرارتی اعمالی به مجموعه ۴۶۹۴/۵ وات بر مترمربع به دست آمد.

### ۳-۲ هندسه و نحوه آزمایش

ابعاد هندسی صفحه و پره های سوزنی عبارت است از:

- طول صفحه = ۲۰۰ میلی متر، عرض صفحه = ۴۰ میلی متر، ضخامت صفحه = ۵ میلی متر.

در شکل ۸ نقشه صفحه آلومینیومی زیر پره که در نرم افزار سالدورک تهیه شده نشان داده شده است.



شکل ۸: نقشه صفحه آلومینیومی

- طول پره = ۶۰ میلی متر، قطر پره = ۶/۵ میلی متر، گام طولی چیدمان پره ها = ۳۶ میلی متر. پره سوزنی ساده (بدون شیار) به نام طرح ۰ نامیده شده است.
- مساحت سطح در تماس با سیال پره های سوزنی برای ۱۰ طرح فوق به ترتیب صعودی به صورت زیر می باشد:
  - ۱- طرح ۰ = ۱۳۶۲/۲۷ میلی متر مربع.
  - ۲- طرح ۳ = ۱۴۷۰/۸۹ میلی متر مربع.

شکل ۶ نمایی از دستگاه ترمو-آنیومتر و حسگر آن که در آزمایشگاه برای اندازه گیری سرعت استفاده شده، نشان داده شده است.



شکل ۶: نمایی از دستگاه ترمو-آنیومتر و حسگر آن

برای اطمینان از دقت و درستی اندازه گیری سرعت هوا توسط ترمو-آنیومتر سه بار انجام شده است، در جدول ۲ متوسط سرعت های جریان هوا که در سه تا آزمایش انجام گرفته شده، درج شده است.

جدول ۲: متوسط سرعت های جریان هوا در حالات مختلف باز بودن دریچه بر حسب متر بر ثانیه.

متوسط سرعت جریان هوا	
در صد باز بودن دریچه	متوسط سرعت جریان هوا (متر/ثانیه)
5%	1.1
10%	1.4
15%	1.6
20%	1.7
30%	2.0
40%	2.6
50%	3.7
60%	4.7
70%	5.8
80%	7.0
90%	8.3
100%	9.6

### ۳-۲-۲ گرم کن الکتریکی و ترانس برق

برای ایجاد شار حرارتی یکنواخت و گرم کردن پایه های آلومینیومی از یک گرم کن الکتریکی دست ساز با ابعاد مشابه پایه آلومینیومی استفاده شده است، این گرم کن از جنس الیاف کربن بوده و مقاومت آن ۶۵ اهم در هر متر است. برای اتصال الیاف کربن به ترانس، الیاف کربن با اندازه بیشتر از طول صفحه انتخاب شد. با استفاده از مولتی متر مقاومت الکتریکی گرم کن ۳/۴ اهم به دست آمد. در شکل ۷ گرم کن الکتریکی نشان داده شده است.

آزمایش ۱۵-۲۲ دقیقه پس از تنظیم شرایط، داده برداری انجام شده است. معیار رسیدن به حالت پایا، عدم تغییر دماها در طی ۵ دقیقه انتخاب شده است.

در جدول ۳ موقعیت ترموکوپل‌ها در صفحه آلومینیومی درج شده. که در آن  $x$ : مختصات موقعیت ترموکوپل‌ها در صفحه آلومینیومی بوده و  $l$ : طول صفحه آلومینیومی می‌باشد.

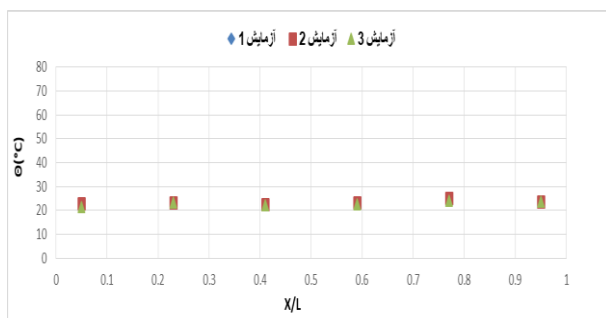
جدول ۳: موقعیت ترموکوپل‌ها در صفحه آلومینیومی به ازای  $x$  و  $x/l$

موقعیت ترموکوپل‌ها در صفحه آلومینیومی						
ترموکوپل‌ها	1	2	3	4	5	6
$x(\text{mm})$	10	46	82	118	154	190
$x/l$	0.05	0.23	0.41	0.59	0.77	0.95

در شکل ۱۰ اختلاف دما پایه پره‌های طرح ۷ با دمای محیط ( $\theta$ ) به ازای سرعت ۲ متر بر ثانیه در سه آزمایش مختلف رسم شده، مشاهده می‌گردد که تغییرات  $\theta$  در آزمایش‌های مختلف برای پره‌های متفاوت مورد آزمایش علی‌رغم تغییر دما محیط، ناچیز بوده و لذا می‌توان با تقریب خوبی از تکرارپذیری آزمایش مطمئن شد. تغییرات  $\theta$  برای پره‌های طرح ۷ در سه آزمایش مختلف به ازای سرعت‌های هوا ۵/۸ متر بر ثانیه و ۹/۶ متر بر ثانیه به ترتیب در شکل‌های ۱۲ و ۱۳ رسم شده است. مشاهده می‌شود که در تمامی این سرعت‌ها، نتایج تقریباً مستقل از آزمایش بوده و می‌توان برای دقت بیشتر از نتایج آزمایش برای سه تکرار مختلف، متوسط گیری نمود.



شکل ۱۰: تغییرات  $\theta$  طرح ۷ برحسب موقعیت به ازای سرعت هوا ۲ متر بر ثانیه در سه آزمایش مختلف



شکل ۱۱: تغییرات  $\theta$  طرح ۷ برحسب موقعیت به ازای سرعت هوا ۵/۸ متر بر ثانیه در سه آزمایش مختلف

- ۳- طرح ۲ =  $1477/82$  میلی‌متر مربع.
- ۴- طرح ۱ =  $1483/59$  میلی‌متر مربع.
- ۵- طرح ۵ =  $1553/92$  میلی‌متر مربع.
- ۶- طرح ۴ =  $1574/04$  میلی‌متر مربع.
- ۷- طرح ۶ =  $1591/97$  میلی‌متر مربع.
- ۸- طرح ۹ =  $1718/36$  میلی‌متر مربع.
- ۹- طرح ۷ =  $1719/31$  میلی‌متر مربع.
- ۱۰- طرح ۸ =  $1754/53$  میلی‌متر مربع.

برای انجام مطالعه حاضر طرح‌های ۷، ۸ و ۹ که دارای بیشترین مساحت سطح تماس با سیال انتخاب شده است، و نتایج آن‌ها با داده‌های پره سوزنی ساده (بدون شیار) که طرح ۰ نامیده شده، مقایسه شده است. تعداد صفحات آلومینیومی ۴ صفحه است. ۳ صفحه دارای پره‌های سوزنی با شیار عمقی و یک صفحه دارای پره‌های سوزنی ساده است، هر صفحه دارای یک ردیف پره بوده که هر ردیف دارای ۶ پره بوده که بافاصله ۳۶ میلی‌متر در جهت جریان چیده شده‌اند. این صفحه‌ها روی یک صفحه از جنس فیبر استخوانی که عایق الکتریکی می‌باشد، نصب گردیده است. ابعاد این صفحه ۲۰۰ میلی‌متر X ۱۵۰ میلی‌متر است و برای جلوگیری از انتقال حرارت و هم‌سطح شده مجموعه، دوتا قطعه چوبی با ابعاد ۵۵ میلی‌متر X ۲۰۰ میلی‌متر در دو طرف گرم‌کن بر روی این صفحه چسبیده شده است. در شکل ۹ نحوه قرار دادن نمونه در داخل تونل باد به همراه عایق کاری اطراف آن نشان داده شده است.

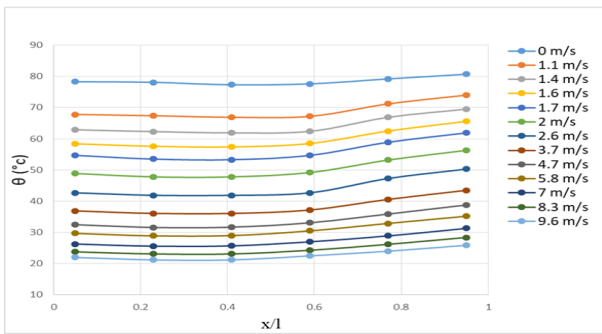


شکل ۹: نمایی از نمونه مورد آزمایش در داخل تونل باد

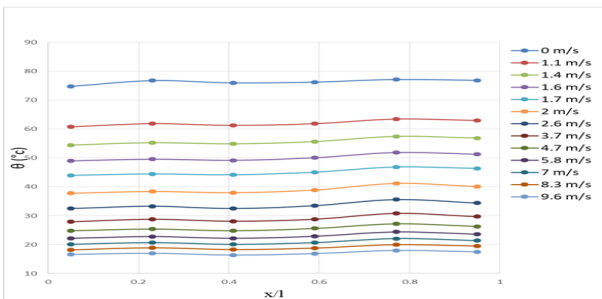
### ۳ نتایج و تحلیل آن‌ها

همان‌طور که قبلاً هم ذکر شد هدف مطالعه حاضر بررسی تأثیر شیار عمقی در پره‌های سوزنی بر انتقال حرارت است، لذا با بررسی نتایج حاصل از این آزمایش‌ها مشخص می‌شود که چه طرحی بهترین عملکرد حرارتی را در سرعت‌های مختلف جریان هوا دارد. با تنظیم سرعت جریان هوا بر اساس میزان باز بودن دریچه فن که در بخش (۲-۲) توضیح داده شد هر یک از آزمایش‌ها سه بار انجام شده است. برای اطمینان از رسیدن به حالت پایا<sup>۱۵</sup> از نظر حرارتی، در هر

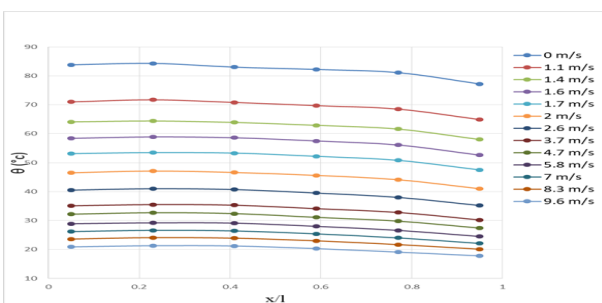
<sup>15</sup> Steady State



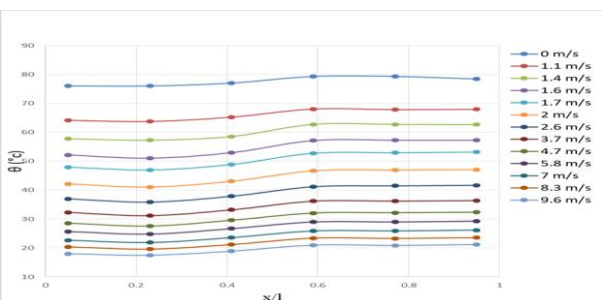
شکل ۱۳: تغییرات  $\theta$  طرح ۰ به ازای سرعت‌های مختلف هوا



شکل ۱۴: تغییرات  $\theta$  طرح ۷ به ازای سرعت‌های مختلف هوا



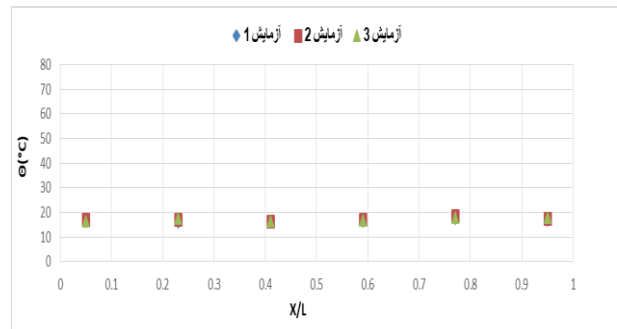
شکل ۱۵: تغییرات  $\theta$  طرح ۸ به ازای سرعت‌های مختلف هوا



شکل ۱۶: تغییرات  $\theta$  طرح ۹ به ازای سرعت‌های مختلف هوا

نمودارهای نوع دوم یعنی تغییرات اختلاف دمای پایه پره‌ها با محیط برای طرح‌های مختلف (۰، ۷، ۸ و ۹) در سرعت‌های مختلف به ترتیب در شکل‌های ۱۷ تا ۲۰ نشان داده شده است. نتایج این نمودارها خیلی مهم است، زیرا هدف این مطالعه، بررسی اثر ایجاد شیار عمقی در پره‌های سوزنی بر انتقال حرارت است.

این نتایج با انجام دادن آزمایش‌های مختلف برای همه‌ی طرح‌ها در سرعت‌های مختلف جریان هوا به دست آمده که سرعت‌های مذکور از ۰ متر بر ثانیه (باز بودن ۰٪ دریچه) تا سرعت جریان هوا مساوی با ۹/۶ متر بر ثانیه (باز بودن کامل دریچه) متغیر است. برای



شکل ۱۷: تغییرات  $\theta$  طرح ۷ برحسب موقعیت به ازای سرعت هوا ۹/۶ متر بر ثانیه در سه آزمایش مختلف

نتایج طرح ۰ (پره ساده) به عنوان مبنا قرار می‌گیرد و نتایج طرح‌های مختلف در مقایسه با نتایج این طرح مورد بررسی قرار می‌گیرند. بدیهی است هر قدر  $\theta$  کمتر از  $\theta$  مبنا باشد، مطلوب‌تر است، پس طرحی بهینه است که مقدار  $\theta$  آن کمتر از  $\theta$  مبنای باشد و بیشترین اختلاف را با آن داشته باشد.

به منظور مقایسه نتایج آزمایشگاهی دو نوع از نمودار رسم شده است. در نوع اول، اختلاف دمای پایه پره‌ها با محیط برای هر طرح به ازای سرعت‌های مختلف جریان هوا نشان داده و در نوع دوم همان اختلاف دما برای طرح‌های مختلف به ازای یک سرعت معین رسم شده است.

اختلاف دمای پایه پره‌ها با محیط به ازای سرعت‌های مختلف برای طرح مختلف (۰، ۷، ۸ و ۹) به ترتیب در شکل‌های ۱۳ تا ۱۶ رسم شده است. مشاهده می‌شود که با افزایش سرعت،  $\theta$  برای تمامی پره‌های هر طرح کاهش می‌یابد که این روند کاهشی از قبل هم قابل پیش‌بینی است. اما دو نکته حائز اهمیت وجود دارد:

الف: در تمامی طرح‌ها، با افزایش شیب کاهش  $\theta$ ، نیز کند می‌شود به طوری که می‌توان گفت بعد از یک سرعت خاص دیگر افزایش سرعت، اثر چندانی در دمای پایه پره ندارد. این پدیده را می‌توان این‌گونه توجیه نمود که به ازای یک شار حرارتی ثابت، برای انتقال حرارت از پره دو مقاومت رسانشی و جابجایی وجود دارد. در ابتدا با افزایش سرعت و در نتیجه افزایش ضریب انتقال حرارت جابجایی، مقاومت جابجایی که احتمالاً در سرعت‌های کم مقاومت غالب در انتقال حرارت است، کاهش یافته و در نتیجه مقاومت کل نیز کاهش می‌یابد. پس اختلاف دمای بین پایه پره و محیط نیز کاهش می‌یابد. با افزایش سرعت و کاهش مقاومت جابجایی، از نقطه معینی، مقاومت رسانشی نقش مقاومت غالب در انتقال حرارت را دارد و کاهش مقاومت جابجایی تأثیر چندانی در میزان اختلاف دما بین پایه پره و محیط ندارد.

ب: در شکل‌های فوق مشاهده می‌شود که تغییر روند تغییرات دمای پایه پره‌های یک ردیف است، در پره ساده با حرکت به سمت پایین دست جریان، دمای پایه پره‌ها افزایش می‌یابد در حالی که در تمامی پره‌های شیار دارد، یک‌روند خاص وجود ندارد. این پدیده می‌تواند در اثر تأثیر گردابه‌های تشکیل شده پشت پره‌ها و تغییر روند شکل و اندازه آن‌ها در اثر وجود شیارهای مختلف باشد.

جلوگیری از زیاد شدن نمودارها، نتایج فقط برای چهار سرعت ارائه شده است.

الف: روند تغییرات دمای پایه پره‌ها در طرح‌های مختلف تقریباً مستقل از سرعت هوا می‌باشد و به ازای تمامی سرعت‌های مورد بررسی، جابجای معنی‌داری در دمای پایه پره‌های به ازای طرح‌های مختلف صورت نمی‌پذیرد.

ب: می‌توان دید که کمترین دمای پایه پره در تمامی سرعت‌های مورد بررسی مربوط به طرح ۷ است.

پ: با توجه به مشخصات هندسی پره‌ها در بخش (۲-۳) ملاحظه می‌شود که پره‌های طرح‌های ۹، ۷ و ۸ به ترتیب با مساحت سطح تماس با سیال برابر ۱۷۱۸/۳۶، ۱۷۱۹/۳۱ و ۱۷۵۴/۵۳ میلی‌متر مربع دارای بیشترین سطح تماس با سیال می‌باشند. اما علی‌رغم بیشترین سطح تماس با سیال در طرح ۸، طرح ۷ دارای نتایج بهتری است. پس می‌توان گفت که فقط مساحت سطح تماس عامل مؤثر در انتقال حرارت پره‌ها نیست، بلکه موقعیت شیار و اندازه آن در میزان انتقال حرارت مؤثر است. همچنین مشاهده می‌شود طرح ۸ با عرض شیار ۱ میلی‌متر در سرعت‌های کم عملکرد خوبی ندارد و دمای پایه آن از دمای پایه پره سوزنی ساده بیشتر است. می‌توان گفت که در سرعت‌های کم، میزان جریان هوا از شیار با عرض ۱ میلی‌متر ناچیز بوده و تقریباً هوایی از داخل شیار عبور نمی‌کند. لذا ایجاد شیار در این سرعت‌ها، اثر عکسی داشته و دمای پایه پره را افزایش می‌دهد.

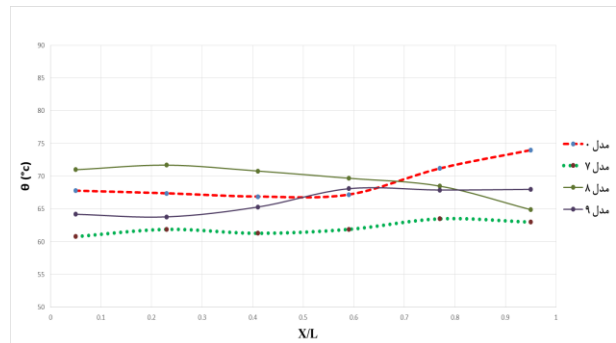
تفاوت طرح‌های ۷ و ۹ در اندازه عرض شیار و موقعیت شیار است به پایه پره است، هر چه شیار عریض‌تر و نزدیک‌تر به پایه باشد، اثر بیشتری در انتقال حرارت از پره دارد. برای افزایش عرض شیار محدودیت وجود دارد زیرا قطر پره ۶/۵ میلی‌متر است و عرض شیار بیش از ۲ میلی‌متر باعث ایجاد ضعف در استحکام مکانیکی پره می‌گردد. اما شیار را هنوز می‌توان نزدیک‌تر به پایه پره ایجاد کرد و اثر آن را در انتقال حرارت از پره مطالعه کرد.

به‌منظور ارزیابی کلی طرح ۷، نسبت متوسط اختلاف دمای ایجاد شده در پره‌های طرح ۷ نسبت به طرح ۰ ( $\Delta\bar{\theta}$ ) طبق رابطه زیر محاسبه گردیده:

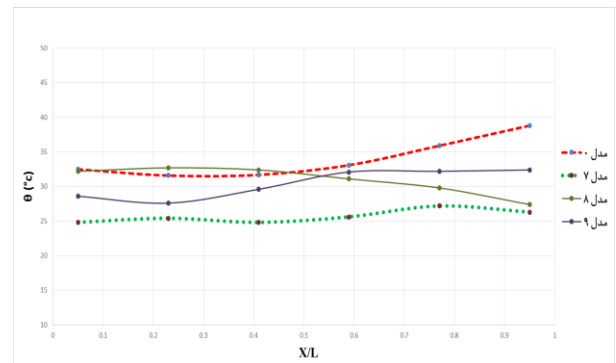
$$\bar{\theta} = \frac{\theta_1 + \theta_2 + \dots + \theta_6}{6} \quad (3)$$

$$\Delta\bar{\theta} = \frac{\bar{\theta}_0 - \bar{\theta}_7}{\bar{\theta}_0} * 100 \quad (4)$$

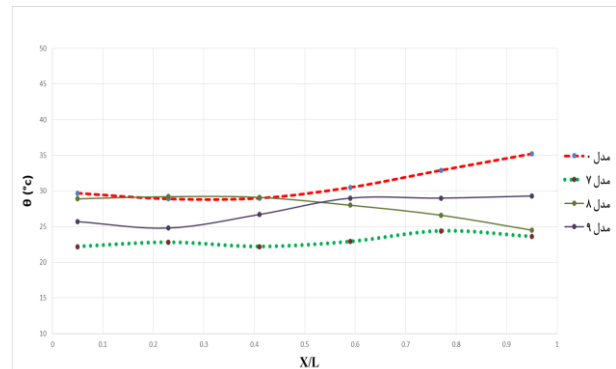
در شکل ۲۱، نسبت فوق برحسب سرعت جریان هوا رسم شده است. مشاهده می‌شود که در سرعت‌های کم، جریان به‌خوبی در شیارها برقرار نمی‌شود و در نتیجه در سرعت کم شیار تأثیر ناچیزی در انتقال حرارت از پره دارد. اما با افزایش سرعت تأثیر شیارها در افزایش انتقال حرارت به علت وجود جریان در آن‌ها محسوس می‌گردد و دمای پایه پره‌ها کاهش می‌یابد. این روند کاهش دما تا سرعت حدود ۲ متر بر ثانیه ادامه دارد و پس‌از آن تقریباً ثابت باقی‌ماند به‌عبارت‌دیگر مقدار ( $\Delta\bar{\theta}$ ) در حدود ۲۵٪ ثابت باقی‌مانده و مستقل از سرعت است.



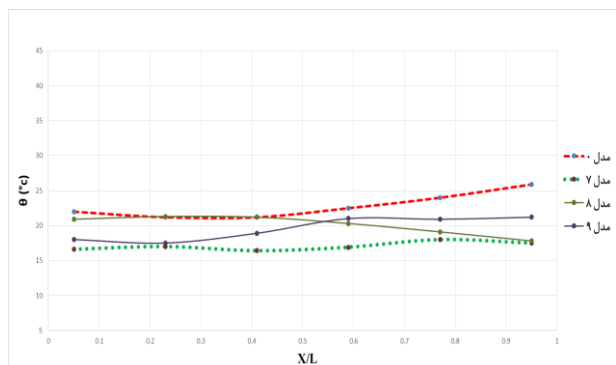
شکل ۱۷: تغییرات  $\theta$  در سرعت هوا ۱/۱ متر بر ثانیه برای طرح‌های مختلف



شکل ۱۸: تغییرات  $\theta$  در سرعت هوا ۴/۷ متر بر ثانیه برای طرح‌های مختلف



شکل ۱۹: تغییرات  $\theta$  در سرعت هوا ۵/۸ متر بر ثانیه برای طرح‌های مختلف



شکل ۲۰: تغییرات  $\theta$  در سرعت هوا ۹/۶ متر بر ثانیه برای طرح‌های مختلف

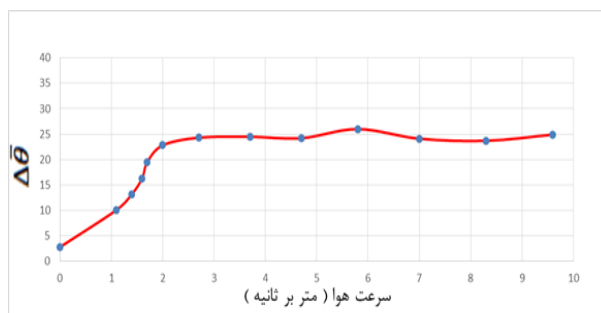
از مقایسه شکل‌های ۱۷ تا ۲۰ مشاهده می‌شود که:

نسبت به طرح ۰ تقریباً ۲۵٪ است. از نتایج این نسبت به ازای سرعت‌های مختلف جریان هوای مشاهده می‌شود که در سرعت‌های کم، جریان به‌خوبی در شیارها برقرار نمی‌شود، اما با افزایش سرعت تأثیر شیارها در افزایش انتقال حرارت به علت وجود جریان در آن‌ها محسوس می‌گردد و دمای پایه پره‌ها کاهش پیدا می‌کند. این روند کاهش دما تا سرعت حدود ۲ متر بر ثانیه ادامه دارد و پس‌از آن تقریباً ثابت باقی ماند و مستقل از سرعت است.

۴- با ایجاد شیار عمقی در پره سوزنی علاوه بر اینکه میزان انتقال حرارت افزایش می‌یابد، هزینه ساختن پره و وزن آن نیز کاهش می‌یابد.

#### مراجع

- [1] "availableat:www.bccresearch.com/report/thermal-management-technologies--market."
- [2] Žukauskas, A., 1972. "Heat transfer from tubes in crossflow". *Advances in heat transfer*, vol. 8, pp. 93-160.
- [3] Metzger, D., and Haley, S., 1982. "Heat transfer experiments and flow visualization for arrays of short pin fins". *ASME 1982 International Gas Turbine Conference and Exhibit*, American Society of Mechanical Engineers.
- [4] Mafeed, M., Salman, A. M., Ramis, M., Baig, A., and Khan, S., 2012. "Optimum Length for Pin Fins used in Electronic Cooling". *Applied Mechanics and Materials*, vol. 110, pp. 1667-1673.
- [5] Dhumne, A.B. and Farkade, H.S., 2013. "Heat Transfer Analysis of Cylindrical Perforated Fins in Staggered Arrangement", *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, Vol. 2, Issue 5, pp. 225-230.
- [6] Deshmukh, P., and Warkhedkar, R., 2013. "Thermal performance of elliptical pin fin heat sink under combined natural and forced convection". *Experimental Thermal and Fluid Science*, vol. 5, pp. 1-7.
- [7] Yeom, T., Simon, T., Zhang, T., Zhang, M., North, M. and Cui, T., 2016. "Enhanced heat transfer of heat sink channels with micro pin fin roughened walls," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 92, pp. 617-627.
- [8] Prakash, S., and Rangaswamy, M., 2016. "Experimental Study of Perforated Pin Fins with Perforations around the Circumference of the Fins". *International Journal of Advanced Engineering Research and Science (IJAERS)*, vol. 3, no. 7.
- [9] "http://irdoe.persianblog.ir/post/2."



شکل ۲۱: تغییرات نسبت متوسط اختلاف دمای ایجادشده در پره‌های طرح ۷ نسبت به طرح ۰ به ازای سرعت‌های مختلف هوا

#### ۴ نتیجه‌گیری

در این پژوهش اثر ایجاد شیار عمقی در پره‌های سوزنی بر انتقال حرارت به‌صورت تجربی مطالعه شده است. انتقال حرارت از پره‌های سوزنی شیاردار در سرعت‌های مختلف جریان هوا به‌طور تجربی مطالعه شده و با انتقال حرارت از پره‌های سوزنی ساده (بدون شیار) مقایسه شده است.

به این منظور از پره سوزنی آلومینیومی دارای شیار عمقی با ابعاد و موقعیت مختلف (۳ طرح) استفاده شده که تحت شار حرارتی ثابت قرار گرفته و در ۱۳ سرعت جریان هوای مختلف، دمای پایه پره‌ها توسط ترموکوپل اندازه‌گیری می‌شود. این آزمایش‌های و آزمایش‌های مربوط به اندازه‌گیری سرعت جریان هوا برای اطمینان از دقت و درستی ۳ بار تکرار شده و نتایج باهم مقایسه گردیده تا از بروز هرگونه خطا جلوگیری شود. برای تولید شار حرارتی ثابت و کاهش اتلاف حرارت، از یک گرم‌کن برقی از جنس الیاف کربن متصل به ترانس برقی استفاده شده است. در بررسی‌های انجام‌شده بر روی ۳ طرح مختلف از پره‌های سوزنی شیاردار و پره سوزنی ساده (بدون شیار)، نتایج زیر حاصل شده است:

- ۱- با مقایسه نتایج بین ۳ طرح مختلف پره‌های سوزنی شیاردار با نتایج پره‌های سوزنی ساده (طرح ۰) مشاهده می‌شود که میزان انتقال حرارت در طرح‌ها از طرح ۰ بهتر است. این به آن معنا است که افزودن مساحت سطح پره سوزنی در اثر ایجاد شیار عمقی در آن، در یک دمای پایه پره ثابت، منجر به افزایش انتقال حرارت در آن‌ها خواهد شد.
- ۲- علی‌رغم اینکه پره طرح ۸ دارای بیشترین مساحت سطح تماس با سیال است ولی نتایج نشان می‌دهد که بیشترین میزان انتقال حرارت در طرح ۷ رخ داده است یعنی علاوه بر مساحت سطح تماس، ابعاد شیار و موقعیت آن بر انتقال حرارت نیز تأثیر دارد.

- ۳- با مقایسه بین طرح ۰ (پره سوزنی ساده) و طرح ۷ (پره سوزنی شیاردار بهینه) نتیجه می‌شود که بیشترین مقدار نسبت متوسط اختلاف دمای ایجادشده در پره‌های طرح ۷





بسمه تعالی



# سومین کنفرانس انتقال حرارت و جرم ایران کواهی ارائه مقاله

بدین وسیله تایید می شود مقاله ذیل در سومین کنفرانس انتقال حرارت و جرم ایران که در تاریخ ۱ الی ۲ آذرماه در دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل برگزار شده است، ارائه گردید.

عنوان مقاله:

مطالعه تجربی اثر شیار عمقی در پره سوزنی شکل بر انتقال حرارت

نویسندگان:

محمد خلف علیوی القره غولی، محمدباقر آیانی

دکتر موسی فرزادی  
دبیر سومین کنفرانس انتقال  
حرارت و جرم ایران



دکتر رضوان عالمیان  
دبیر اجرایی سومین کنفرانس  
انتقال حرارت و جرم ایران