نشریه علمی-تخصصی تبدیل انرژی (JEED)
دوره ۹، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۱، ص: ۱۷- ۲۸

J. Energy Conversion
Volume: 9, Issue: 4, 2023: 17-28

DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.4.2.9

ارائه روش نوین برای افزایش توان گرمایشی سیستم رادیاتور قرنیزی با حذف پل حرارتی رسانشی، به روش تجربی

مصطفی عمران شوبی[۱]، حسام الدین سالاریان [۲]، علی لهراسبی نیچکوهی [۳و*]

۱- دانشجوی دکترا، گروه مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نور ، mo.omranshobi@iau.ac.ir
۲- دانشیار، گروه مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نور ،h_salarian@iau.ac.ir
*۳- استادیار، گروه مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نوشهر ، ali.lohrasbi@iau.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۲۳، بازنگری: ۱۴۰۱/۰۶/۲۲، پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۱۷

چکیده

هدف از این مقاله، ارائه ی روشی نوین، کم هزینه و بدون پیچیدگی، به منظور افزایش توان گرمایشی سیستمهای رادیاتور قرنیزی متداول می باشد. در این روش با جدا کردن مسیر های رفت و برگشت سیال عامل و حذف پل حرارتی رسانشی مابین آنها، طرح جدیدی ارائه گردید. با کمک آزمون های تجربی منطبق با استاندارد ملی ایران INSO 360-2، بهبود توان حرارتی مورد انتظار نشان داده شده است. توان گرمایشی طرح جدید ارائه شده، در مقایسه با دو طرح قبلی، رشد ۷۲ و ۴۸ درصدی داشته است. در این مطالعه نشان داده شد بدون افزایش دمای تغذیه، ارتفاع پروفیل قرنیزی و دبی جرمی سیال عامل می توان به قدرت گرمایشی بیشتری نائل شد که خود منجر به صرفه جویی در مصرف انرژی و افزایش توان غلبه بر کوران هوای سرد و تأمین آسایش حرارتی بیشتر برای ساکنان خواهد شد.گرمای ساطع شونده از طرح جدید با ارتفاع ۱۵ سانتی متر معادل با گرمای ساطع شونده طرح قبلی با ارتفاع معادل ۵۰ سانتی مترمی باشد.

* **عهده‌دار مکاتبات:** ali.lohrasbi@iau.ac.ir

کلمات کلیدی: رادیاتور قرنیزی، صرفه جویی انرژی، افزایش توان گرمایشی.

۱- مقدمه

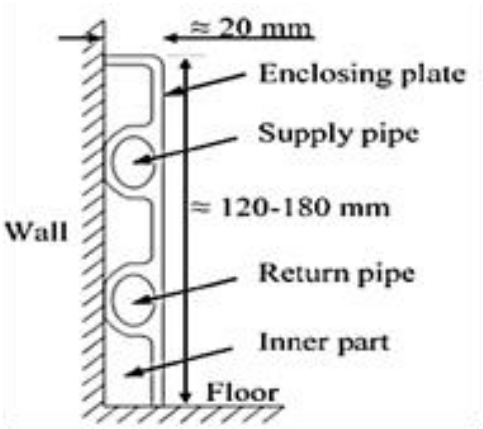
یک سوم کل انرژی تولید شده در جهان صرف گرمایش بخش ساختمان و نیمی از همان انرژی صرف گرمایش فضاهای مسکونی می گردد [۱]، لذا بهینه سازی و کاهش مصرف انرژی در زمینه گرمایش ساختمان یکی از نیازهای مهم پژوهشی، می‌باشد. امروزه به کارگیری سیستم های حرارتی پایه آبی به منظور گرمایش محیط داخلی ساختمان به امری کاملاً متداول تبدیل شده است. بسته به نوع سیستم گرمایش پایه آبی، دمای آب تغذیه جهت تأمین شرایط آسایش حرارتی ساکنان، متفاوت می باشد. سیستمهای گرمایشی پایه آبی به دو گروه کلی دما پایین (مانند گرمایش از کف) و دما بالا (مانند گرمایش رادیاتورهای متداول پره ای و پانلی) تقسیم بندی می شود[۲و۳]. عموماً در سیستم های دما بالا که بطور موضعی فضا را گرم می کنند، سهم همرفت بسیار بیشتر از سهم تابش می‌باشد. هرچه دمای تغذیه سیستم گرمایشی کمتر و سطح رادیاتور ها بیشتر باشد، میزان سهم تابش به سهم همرفت نزدیک تر خواهد شد و در نتیجه آسایش حرارتی بیشتری برای ساکنان حاصل خواهد شد[۱].

نحوه استناد به این مقاله: مصطفی عمران شوبی، حسام الدین سالاریان و علی لهراسبی نیچکوهی. ارائه روش نوین برای افزایش توان گرمایشی سیستم رادیاتور قرنیزی با حذف پل حرارتی رسانشی، به روش تجربی. مهندسی مکانیک تبدیل انرژی. ۱۴۰۱; ۹ (۴) : ۱۷-۲۸. DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.4.2.9

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-22]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.4.2.9]

عمده ضعف سیستم های دما پایین: ۱- لختی حرارتی (کندی پاسخ گرمایی) ۲- کمتر بودن سهم همرفت می باشد. همرفت بالا برای غلبه برکوران هوای سرد مجاور دیوارهای خارجی و پنجره های شیشه ای، پارامتر حیاتی محسوب می‌گردد [۱]. بنابراین سیستم گرمایش آبی ایی که هم با دمای پایین کار کند و هم لختی حرارتی نداشته باشد و البته همرفت نسبتاً خوبی نیز داشته باشد، مطلوب طراحان تهویه مطبوع بوده است. این انتظار، منجر به ظهور سیستم نوین گرمایش قرنیزی شده است که تحولی در سیستم گرمایشی پایه آبی محسوب می‌شود.

در سیستم گرمایش قرنیزی می توان بطور کامل و براحتی رادیاتورها را زیر دیوار های خارجی و پنجره ها که نقاط مواجهه با کوران هوای سرد می باشد، نصب کرد. این سیستم گرمایشی شامل دو لوله‌ی رفت و برگشت آب می باشد که زیبایی قرنیزها و سادگی رادیاتورها را یکجا فراهم آورده است و اجازه می دهد گرما مثل سیستم رادیاتورهای دیواری، سریع و مثل سیستم گرمایش کفی، بصورت یکنواخت در سرتاسر اتاق پخش شود. اولین نمونه از رادیاتور قرنیزی که بر گرفته از همین اصول میباشد در سال ۲۰۰۸ در کشور انگلستان اختراع و با نام تجاری ترما اسکرت [۴] به بازار معرفی گردید. قرنیز های گرمایشی از طریق مکانیزم های تابش و همرفت، دیوار ها و سطوح جاذب را گرم می‌کنند. ضمن برخورد هوای اتاق با این سطوح گرم شده، هوای مطبوعی در سرتاسر اتاق توزیع می‌گردد. شکل (۱)، طرحواره ی مقطع پروفیل های اولیه‌ی گرمایش قرنیزی را نشان می‌دهد. در پروفیل های متداول قرنیزی، آب گرم تغذیه از مسیر لوله بالایی وارد رادیاتور قرنیزی شده و ضمن جاری شدن در طول آن، در انتها با کمک اتصال U شکل به لوله پایینی ادامه مسیر می دهد و به نقطه‌ی ابتدایی بر می‌گردد و از آنجا، جهت بازگرمایش و با کمک پمپ سیرکولاسیون، به مولد گرما منتقل می‌شود. این سیکل تا رسیدن به دمای مطلوب ساکنان اتاق، تکرار می گردد.



شکل ۱- پروفیل متداول قرنیزی [۱]

سعید برفر و همکاران[۵]، با کمک شبیه سازی سه بعدی، اثر نانو سیال روی بهبود انتقال حرارت داخل لوله ی مبدل حرارتی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که وجود نانو ذره در آب، باعث افزایش ضریب انتقال حرارت به اندازه-ی ٪۵۲/۸۷ گردید. نوعی از سیستم گرمایش قرنیزی ساده البته نه به شکل امروزی در سال ۱۹۵۰ عرضه گشت[۶]. پلوسکیک و همکاران [۷] نشان دادند که به ازای افزایش هر یک سانتی متر به ارتفاع رادیاتورهای قرنیزی، شار حرارتی ساطع شده حدود ۲٪ افزایش می‌یابد. وانگ و همکاران[۸] مقایسه ای بین ترکیب استفاده از هیت پمپ برای تامین گرمایش با استفاده از رادیاتور های معمولی و قرنیزی انجام دادند و نتایج نشان داد که راندمان سیستم قرنیزی حدود ۱۰٪ بیشتر بوده است. دهقان و عبدل زاده [۹] به صورت عددی مقایسه ای از سه سیستم گرمایشی قرنیزی، کفی و رادیاتوری در یک اتاق سه بعدی انجام داده اند. آنها نتیجه گرفتند که سیستم قرنیزی بهترین عملکرد از نظر توزیع گرما را نشان می دهد. میرن و هولمبرگ[۱۰]، با مطالعه‌ی عددی و تجربی دو اتاق مجهز به سیستم های گرمایشی دما پایین و بالا نتیجه گرفتند علی رغم اینکه سیستم های دما پایین

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.4.2.9]

هوای داخلی مطلوبتری را ایجاد می کنند ولی در مقابله با کوران هوای سرد، ضعف از خود نشان می دهند. عدنان و هولمبرگ نشان دادند سیستم گرمایش قرنیزی با دمای تغذیه ۴۵°C، در مقابله با کوران هوای سرد، ضعیف می باشد. آنها نشان دادند اگر دمای تغذیه ۱۰°C افزایش می یافت، معضل کوران هوای سرد حل می شد[۱۱]. غیبی و رحمتی با ارائه رادیاتور های قرنیزی اصلاح یافته شامل پره های موجدار، به بهبود توان گرمایشی بیش از ۳۲٪ نسبت به طرح های متداول این سیستم دست یافتند [۱۲]. باقری و همکاران روی بهبود توان گرمایشی انواع مختلفی از رادیادتورهای قرنیزی با شکل ها و متریال مختلف مطالعه کردند[۱۳]. آنها با انجام آزمون های منطبق بر استاندارد اروپایی EN 442-2، نتیجه گرفتند که قرنیزهای گرمایشی با لوله های مسی بهترین عملکرد گرمایشی را از خود نشان می دهد. غیبی و همکاران[۱۴]، بطور تجربی، با استفاده از رویه‌ی اجرایی آزمون استاندارد اروپایی EN 442-2، اثر جریان هوای اجباری روی بهبود عملکرد حرارتی و مصرف کمتر انرژی سیستم گرمایش رادیاتور قرنیزی مطالعه کردند. آنها نتیجه گرفتند عملکرد حرارتی این سیستم گرمایشی با کمک جریان هوای اجباری، ۴۰٪ بهبود یافته است. رحمتی و همکاران[۱۵]، سیستم رادیاتور قرنیزی ترکیبی با فن کویل را ارائه کردند. آنها با مطالعه تجربی طبق استاندارد EN 442-2 ، به همراه شبیه سازی عددی نشان دادند، توان گرمایشی سیستم قرنیزی مجهز به سیستم جابجایی اجباری، ۴/۱۷ برابر بیشتر از نمونه های متداول با دمای تغذیه ۴۵°C-۵۵ می باشد.

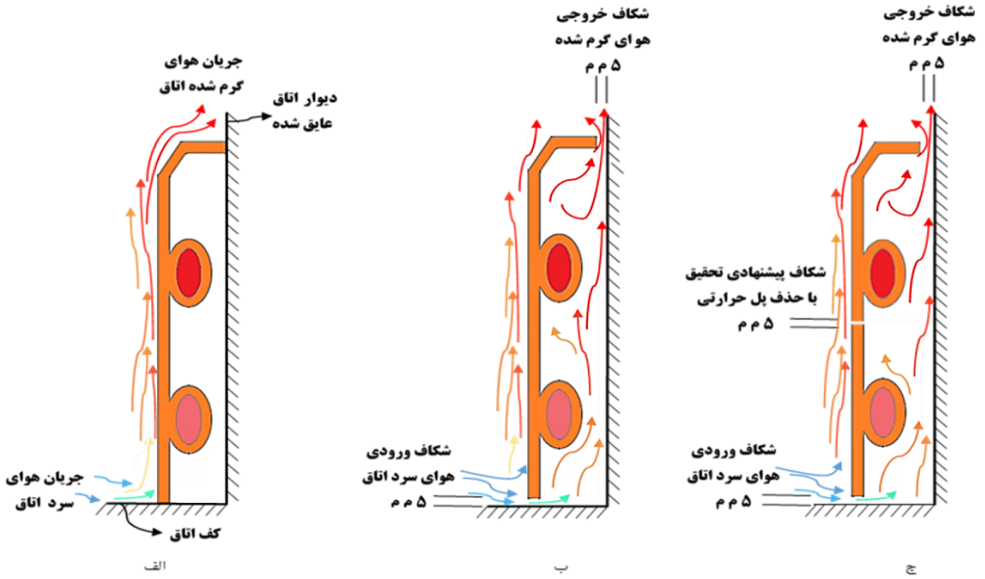
هدف کلی محققین گذشته در حوزه سیستم های گرمایشی قرنیزی، رسیدن به توان حرارتی بیشتر، که منجر به غلبه‌ی راحتر بر کوران هوای سرد و تأمین آسایش حرارتی بیشتر برای ساکنان و صرفه جویی در مصرف انرژی می شود، بوده است. سه روش کلی رسیدن به آن هدف عبارتند از: ۱- افزایش دمای آب تغذیه ۲- افزایش دبی جرمی جریان آب گرم داخل مدار ۳- افزایش ارتفاع پروفیل های گرمایش قرنیزی. نویسندگان مقاله در مطالعه ی قبلی خود [۱]، ضمن بررسی محدودیت های روش های فوق، با انجام آزمون های تجربی مطابق با استاندارد EN 442-2 و شبیه سازی عددی و با ارائه یک تغییر جزئی در نحوه‌ی نصب و اجرای سیستم های رادیاتور قرنیزی متداول، توانستند به ۳۴٪ توان حرارتی(تابش و همرفت) بیشتر نائل شوند. آنها با ایجاد فاصله هوایی از دیوار و کف به اندازه ۵ میلی متر، بدون افزایش سه گانه فوق الذکر، موفق به استحصال بیشتر گرما از آب در حال چرخش گشته اند. نتیجه کار آنها باعث افزایش توان غلبه بر کوران هوای سرد، آسایش حرارتی ساکنان و صرفه جویی در مصرف انرژی شد.

با دقت به مقطع پروفیل های متداول قرنیزهای گرمایشی (شکل ۱)، مشاهده می گردد که مسیر بالایی و پایینی جریان آب بطور یکپارچه، تولید و اکسترود شده اند. بنابراین پیش بینی می گردد که آب گرم موجود در مسیر پایینی که در حال برگشت به سمت مولد می باشد، بخشی از گرمای مسیر لوله ی بالایی را از طریق مکانیزم رسانش گرمایی، دریافت کند و با خود به مولد گرما برگرداند. این در حالیست که در سیستم های گرمایشی آبی انتظار می رود، در حالت ایده آل، کل گرمایی که مولد گرما به آب منتقل می کند، تماماً با هوای اتاق تبادل گردد و کمترین مقدار حرارت از طریق مسیر برگشت آب، به مولد گرما برگردد. عایق کاری جداگانه ی مسیرهای رفت و برگشت در مدار لوله کشی سیستم حرارت مرکزی و یا لوله های مسی سیستم سرمایش اسپلیت ها، مؤید همین مطلب می باشد. بنابراین نویسندگان این مقاله پیش بینی می کنند در صورت جداکردن مسیرهای بالا و پایین از هم، بدون افزایش ارتفاع پروفیل ها، دبی جرمی و دمای تغذیه، می‌توان ضمن از بین بردن پل حرارتی رسانشی مابین دو مسیر، به توان حرارتی بیشتری نائل شد. شکل ۲ بطور شماتیک روند پیشرفت و تغییرات ساختاری مقطع پروفیل های گرمایش قرنیزی را نشان می دهد. شکل ۲- الف همان مورد اول بوده که بدون فاصله از دیوار و کف اتاق، نصب می شده است. نقش تابش در این مورد پر رنگ بوده و در قیاس با سیستم گرمایشی رادیاتورهای دیواری متداول، همرفت کمتری از خود نشان می داده است. همچنین بدلیل محبوس بودن حرارت در پشت این مورد، انتقال حرارت تنها از روی سطح قرنیز صورت می گرفته است. در ادامه تحقیقات بعمل آمده، شکل ۲- ب، مورد دوم را داریم که در مطالعه قبلی نویسندگان مقاله بطور مفصل به آن پرداخته شده است[۱]. در سیستم گرمایش قرنیز مورد دوم، با توجه به فضای ایجاد شده در زیر و پشت قرنیز از دیوار و کف، توان حرارتی و بالطبع آن سهم همرفت رشد داشته است. شکل ۲- ج، مورد سوم، مربوط به طرح جدید ارائه شده توسط نویسندگان مقاله حاضر می باشد. در این مورد، از دو قرنیز تک لوله‌ی مجزا استفاده شده که در هنگام نصب شکاف ظریفی در

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.4.2.9]

وسط آن ایجاد می‌شود. مزایای این شکاف: ۱- مکش هوای ورودی بیشتر به پشت قرنیز ۲- جلوگیری از انتقال حرارت رسانشی بین مسیر رفت و برگشت بدلیل از بین رفتن پل حرارتی می باشد.



شکل۲- تغییرات ساختاری پروفیل های گرمایش قرنیزی. (الف) مورد متداول(مورد۱)، (ب) مورد اصلاح شده مطالعه قبلی(مورد۲)[۱]، (ج) مورد مطالعه حاضر(مورد۳)

در این مقاله، ضمن ارائه روشی نوین، با حذف پل حرارتی رسانشی مابین دو مسیر رفت و برگشت آب، به بررسی افزایش انتقال حرارت به محیط، بدون افزایش دمای تغذیه، ارتفاع و دبی سیال پرداخته می شود که در نهایت منتجه به صرفه جویی بیشتر در مصرف انرژی خواهد شد.

۲- بیان مسأله

پس از تولید نمونه‌ی اولیه آزمایشگاهی مورد۳، مطابق با رویه اجرایی آزمون استاندارد INSO 360-2، سه آزمون در دماهای مختلف به مانند دو مورد قبلی، روی مورد ۳ انجام پذیرفت. دستورالعمل های این استاندارد، جهت برآورد توان گرمایشی رادیاتور های پایه آبی که با دمای آب تغذیه زیر ۱۲۰°C کار می کنند، تهیه شده است. در این آزمون ها با اندازه گیری و کنترل پارامترهایی از قبیل دبی جرمی، دمای ورودی و خروجی آب، دما و فشار هوای اتاق، توان گرمایشی رادیاتور مورد آزمون برآورد می گردد. نتایج سه آزمون برای مورد۳، با نتایج آزمون های قبلی که برای موردهای ۱ و ۲ انجام گرفته بود، مقایسه شده است.

۳- اتاق آزمون و شرایط آزمون

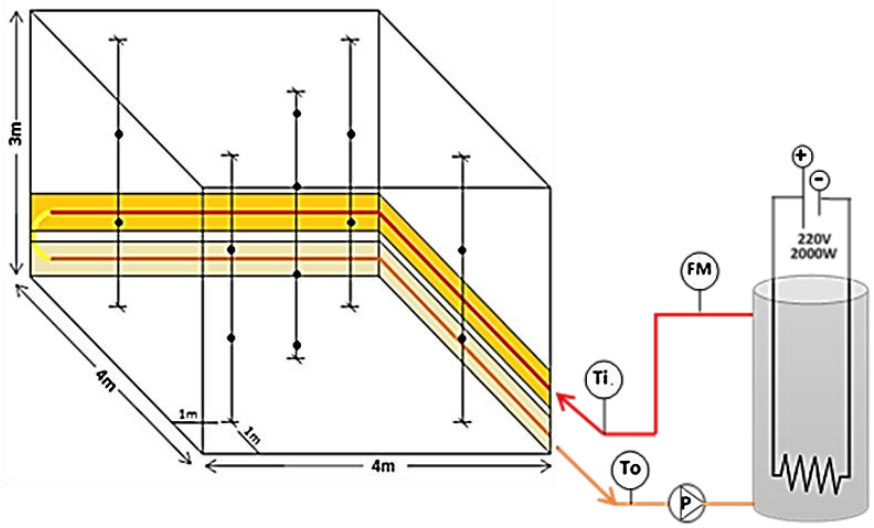
اتاقک آزمون کاملا ایزوله و بدون نفوذ هوا به داخل آن می باشد، مطابق دستورالعمل های اجرایی آزمون، با استفاده از تجهیزات کنترلی، آنقدر نرخ جریان آب تغذیه را تغییر داده می شود تا دمای مرجع اتاق به ۲۰°C و اختلاف دمای مازاد[1] به حد مورد نظر آزمون برسد. به اختلاف متوسط دمای آب ورودی و خروجی با دمای اتاق، دمای مازاد گفته می شود. پس از پایدار شدن دمای اتاق به مدت نیم ساعت، ثبت و داده برداری آغاز می گردد. در هر آزمون، دمای خروجی گزارش می‌شود. این روند برای سه دمای مختلف آب تغذیه تکرار می گردد. شکل ۳ شماتیک اتاق آزمون و محل قرارگیری حسگرهای دما را نشان می

[1] Excess temperature

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-22]

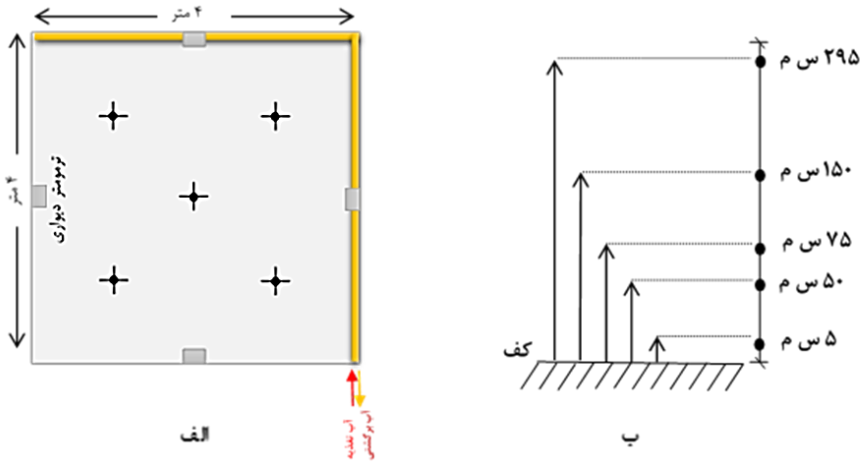
[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.4.2.9]

دهد. ابعاد اتاق آزمون ۴متر × ۴متر به ارتفاع۳ متر می باشد. دو ردیف مجزا از پروفیل قرنیز گرمایشی مورد ۳ به ابعاد هرکدام ۴ متر در امتداد طولی پایین دو دیوار اتاق نصب شده است. طول کلی‌ی مسیر عبور جریان آب در این آزمون، ۱۶ متر می باشد. به منظور جلوگیری از تلفات، آن بخش از دیوار که قرنیز های گرمایشی روی آن نصب شده اند مجهز به عایق الاستومری شده است. مولد گرمای آزمایشگاه از نوع آبگرمکن برقی با ۴ المان گرمایش قابل کنترل می باشد. دماها در طول فرآیند آزمون بوسیله میکرو کنترلگر ها مانیتور و ثبت می شود.



شکل۳- طرحواره اتاق آزمون بهمراه منبع گرمایش المنتی برقی و ترمومتر های نصب شده، فلومتر: FM، ترمومتر دمای ورودی آب تغذیه : Ti، ترمومتر دمای خروجی دمای برگشت : To، پمپ سیرکولاسیون : P.

شکل (۳) و (۴) طرحواره ای از نحوه ی نصب رادیاتورها از نوع مورد ۳، مولد گرمایش برقی المنتی، محل قرارگیری فلومتر و پمپ و چینش ترمومترها و همینطور ارتفاع ترمومتر ها از کف اتاق آزمون را نشان می دهد. در شکل(۵) تصویر واقعی از رادیاتورهای مورد ۳ در حین آزمون مشاهده می شود.



شکل۴- الف) پلان و مختصات چینش ترمومترهای داخل اتاق آزمون، ب) ارتفاع ترمومترها از کف اتاق آزمون

در شکل (۵) سمت راست، ترمومترهای دیواری و محافظ آلومینومی منحنی روی ترمومتر مرکزی مشاهده می شود.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-22]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.4.2.9]




شکل۵- رادیاتور های قرنیزی نصب شده در اتاق استاندارد حین انجام آزمون

در جدول۱، ابزارهای سنجش پارامترهای اصلی آزمون و محدوده‌ی عملکردی آنها که در حین انجام آزمون ها بکارگرفته شده، آورده شده است.

جدول ۱: ابزار ها و واحد های سنجش مورد استفاده در آزمون ها

پارامتر	ابزار اندازه گیری	محدوده عملکردی
دمای آب در گردش	ترمومتر	۰-۱۲۰°C درجه سانتیگراد
نرخ جریان جرمی	فلومتر(روتامتر)	۰-۷ لیتر بر دقیقه

در جدول ۲، مشخصات نمونه های آزمون حاضر و آزمون های قبلی انجام شده توسط نویسندگان مقاله، یکجا آورده شده است. با دقت به جدول ۲ ملاحظه می گردد که تفاوت قابل اعتنایی در مشخصات فیزیکی سه مورد رادیاتور قرنیزی دیده نمی‌شود.

جدول۲: مشخصات فیزیکی نمونه های بکار رفته در آزمون ها

نام نمونه	طول کلی قرنیز (m)	ارتفاع قرنیز (mm)	حجم آبگیری (ml)	نوع رنگ	قطر لوله بیضوی (mm)	ضخامت رنگ (mμ)	چگالی (Kg/m^3)
مورد اول	۸/۳	۱۵۰	۳۷۵۰	الکترواستاتیک	۲۲×۱۸	۱۱۰	۲۷۰۰
مورد دوم	۸/۳	۱۵۰	۳۷۰۰	الکترواستاتیک	۲۲×۱۸	۱۱۰	۲۷۰۰
مورد سوم	۷/۹	۱۵۵	۳۷۸۰	الکترواستاتیک	۲۲×۱۸	۱۱۰	۲۷۰۰

۴- معادلات

برای محاسبه توان گرمایشی رادیاتورها و کانوکتورهای پایه آبی، روشهای مختلفی وجود داردکه در مراجع [۱] و [۷] به طور مفصل توضیح داده شد. بطور کلی برای تعیین ظرفیت حرارتی خروجی از رادیاتورها، می توان از دو روش ذیل بهره جست:

الف - روش وزنی و اندازه گیری دبی جرمی و محاسبه اختلاف آنتالپی ها ورودی و خروجی سیال در حال گردش: در این روش با کمک معادله جهانی بالانس انرژی(۱) [۷] و [۱۳] ، توان گرمایشی خروجی از رادیاتورها بدست می آید.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.4.2.9]

$$P = \dot{m}(H_{inlet} - H_{outlet}) = \dot{m}C_p(T_{inlet} - T_{outlet}) \quad (۱)$$

که در آن، $\dot{m}$، H_{inlet}، H_{outlet}، T_{inlet}، T_{outlet} و C_p به ترتیب نرخ جریان جرمی،آنتالپی آب گرم تغذیه ورودی، آنتالپی آب گرم خروجی، دمای آب گرم تغذیه ورودی، دمای آب گرم خروجی و ظرفیت گرمایی ویژه آب گرم در حال گردش می باشد. طبق معادله (۱)، می توان با داشتن آنتالپی آب گرم ورودی و برگشت، بطور تئوریک مقدار توان گرمایشی ساطع شده از این رادیاتورها را محاسبه کرد. در حالت کلی تر برای محاسبه توان گرمایشی می توان از رابطه (۲)[۷] و [۱۲] و [۱۳] نیز استفاده کرد:

$$P = UA\Delta\theta = UA\frac{(T_{,inlet} - T_{ref}) - (T_{outlet} - T_{ref})}{ln\left(\frac{T_{inlet} - T_{ref}}{T_{outlet} - T_{ref}}\right)} \quad (۲)$$

که در آن، U ، A و $\Delta\theta$ به ترتیب ضریب انتقال حرارت کلی(w/m^2℃)، سطح خارجی رادیاتور در تبادل گرما با هوای اتاق(m^2) و متوسط اختلاف دمای لگاریتمی می باشد (℃).

ب - روش تعیین معادله مشخصه و ضرایب آن: بدلیل پیچیدگی در محاسبات ضریب انتقال حرارت کلی (U در معادله ۲) و متوسط اختلاف دمای لگاریتمی($\Delta\theta$ در معادله ۲)، بجای روش الف، روش تعیین معادله مشخصه، جهت برآورد ظرفیت حرارتی هر رادیاتور بکار گرفته می شود. این روش پیشنهادی تجربی، برگرفته از رویه اجرایی استاندارد اروپایی EN 442-2، می باشد. اداره استاندارد ملی ایران با اقتباس از استاندارد اروپایی EN 442-2، رویه‌ی اجرایی آزمون های استاندارد برآورد ظرفیت حرارتی رادیاتورها و کانوکتورها، INSO 360-2، را تدوین کرده است. همانگونه که در مطالعات قبلی[۷] و [۱۲] و [۱۳]، از روش معادله مشخصه، برای تعیین ظرفیت حرارتی رادیاتورها استفاده گردید، در این تحقیق نیز برای تعیین ظرفیت حرارتی رادیاتور قرنیزی با ابعاد مشخص، از همین روش استفاده شده است. طبق رویه اجرایی استاندارد INSO 360-2 ، سه آزمون مجزا، در سه دمای مازاد مختلف، انجام شده است. در نتیجه با داشتن دبی جرمی و آنتالپی ورودی و خروجی جریان آب، سه نقطه از نمودار ظرفیت حرارتی بر حسب دمای مازاد رادیاتور مورد آزمون بدست آمده است. با دقت به پراکنش سه داده‌ی آزمایشگاهی حاصله، از توابع رگرسیون توانی (نمایی)، که برای بدست آوردن معادله ی مشخصه رادیاتورها، بهترین تطابق و کمترین خطا را دارد، استفاده شده است. معادله مشخصه‌ی نمایی (۳)، که برگرفته از استانداردهای EN 442-2 و INSO 360-2 می باشد، برای بکارگیری روش حداقل مربعات ارائه شده است[۷] و [۱۲] و [۱۳]. ضرایب این معادله مشخصه در آزمایشگاه از روش محاسباتی حداقل مربعات بدست آمده و در گزارش نهایی آزمایشگاه ارائه می گردد. هر معادله‌ی مشخصه و ضرایب ثابت آن مختص یک رادیاتور ویژه با ابعاد مشخص تحت آزمون می باشد.

$$\Phi = B(\Delta T)^n \quad (۳)$$

$$\Delta T = T_{mean} - T_{ref} \quad (۴)$$

$$T_{mean} = \frac{T_{inlet} + T_{outlet}}{2} \quad (۵)$$

در معادلات فوق، Φ، B، n، ΔT، T_{mean} و T_{ref} به ترتیب توان حرارتی کلی رادیاتور، ثابت رادیاتور و نمای معادله مشخصه‌ی رادیاتور، دمای مازاد استاندارد، دمای متوسط ورودی و خروجی و دمای مرجع هوای اتاق نامیده می شوند. داده های ثبت شده آزمون های سه گانه برای رادیاتور قرنیزی مورد ۳، در جدول ۳ آورده شده است.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.4.2.9]

جدول۳: داده های آزمایشگاهی

نام نمونه	شماره آزمون	دبی جرمی (Kg/s)	دمای تغذیه (°C)	دمای برگشت (°C)	دمای مرجع هوای اتاق (°C)	فشار محیط داخل اتاق (KPa)	دمای مازاد (°C)
مورد سوم	۱	۰/۰۵	۸۴/۹۹	۷۵/۲۱	۲۰/۲۱	۸۹/۲	۵۹/۸۹
	۲	۰/۰۵	۶۹/۸۹	۶۲/۷۸	۱۹/۷۲	۸۹/۲	۴۶/۶۱
	۳	۰/۰۵	۵۱/۷۸	۴۷/۴۸	۱۹/۹۳	۸۹/۲	۲۹/۷۱

۵- نتایج

آزمونها با دماهای ورودی مختلف (۵۰ تا ۹۰ درجه سانتیگراد) برای مورد ۳ انجام شده است. همه آزمون ها در شرایط حالت پایدار و فشار اتمسفریک انجام شده است. به منظور کاهش تأثیرات تابشی از طرف دیواره های اتاق به ترمومتر مرکزی که در ارتفاع ۷۵ سانتی متری از کف نصب شده است، روی این ترمومتر توسط یک ورق منحنی آلومینیومی پوشانده شده است (به شکل ۵ توجه شود). پس از رسیدن به حالت پایدار، داده های آزمون در مدت یک ساعت جمع آوری، ثبت و به رایانه‌ی اتاق فرمان ارسال شده است. سپس طی فرآیند محاسباتی توضیح داده شده در بخش ۴- ب، توان حرارتی رادیاتور قرنیزی مورد ۳، در نقطه‌ی حداکثر دمای مازاد ($\Delta T = 60°C$)، بر اساس معادله مشخصه‌ی بدست آمده گزارش و تقریب زده شد. این روند برای دو طرح قبلی رادیاتور قرنیزی مورد ۱ و۲ نیز به همین منوال انجام شده است. نتایج برای هر سه طرح رادیاتور قرنیزی در جدول (۴) آورده شده است.

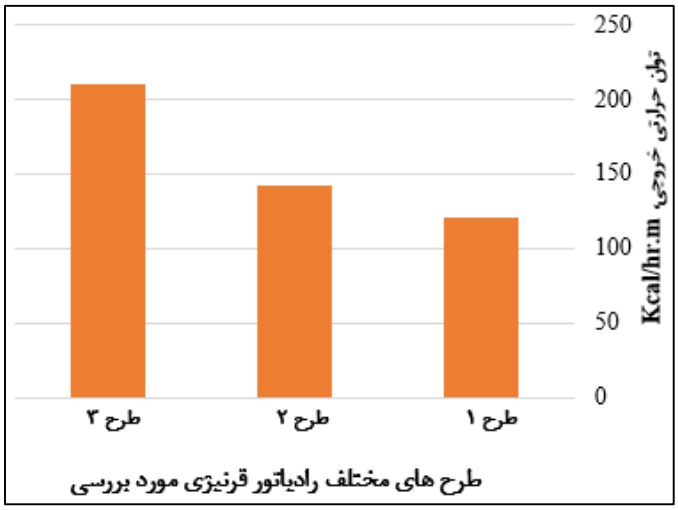
جدول۴: گزارش نهایی آزمون انجام شده روی رادیاتورهای قرنیزی موارد ۱، ۲ و ۳

نوع پروفیل قرنیزی آزمون شده معادله مشخصه	مورد ۳ $\Phi = B(\Delta T)^n$	مورد ۲ $\Phi = B(\Delta T)^n$	مورد ۱ $\Phi = B(\Delta T)^n$
ثابت B	۱۶/۳	۳۸/۳	۲/۷
ثابت n	۱/۱۳	/۸۹	۱/۴
دمای مازاد استاندارد (°C)	۶۰	۶۰	۶۰
نرخ کلی حرارت استاندارد($Kcal/hr$)	۱۶۵۷	۱۱۸۱/۹۳	۱۰۰۴/۳۳
حرارت استاندارد نرمال در واحد طول ($\frac{Kcal}{hr}.m$)	۲۱۰	۱۴۲/۴	۱۲۱

با توجه به حذف پل حرارتی ما بین مسیر رفت و برگشت آب گرم در حال گردش، که منجر به حذف اثر رسانش بین خط جریان رفت و برگشت شده است، می توان انتظار داشت مقدار توان حرارتی ساطع شونده در طرح مورد ۳، افزایش یابد. با مقایسه نتایج کلی مندرج در جدول (۴)، بهبود قابل توجه توان گرمایشی مورد ۳ نسبت به دو مورد قبلی مطابق شکل(۶) قابل مشاهده است. در این نمودار، توان گرمایشی هر مورد بازای یک متر طول، نشان داده شده است. علی رغم یکسان بودن ارتفاع هر سه مورد، مشاهده می گردد که توان گرمایشی مورد سوم حدود ۴۵٪ از مورد دوم و حدود ۷۳٪ از مورد اول بیشتر می باشد. این بدان معنی است که جدایش مسیر رفت و برگشت اثر چشمگیری روی توان حرارتی خروجی از رادیاتور های قرنیزی داشته است.

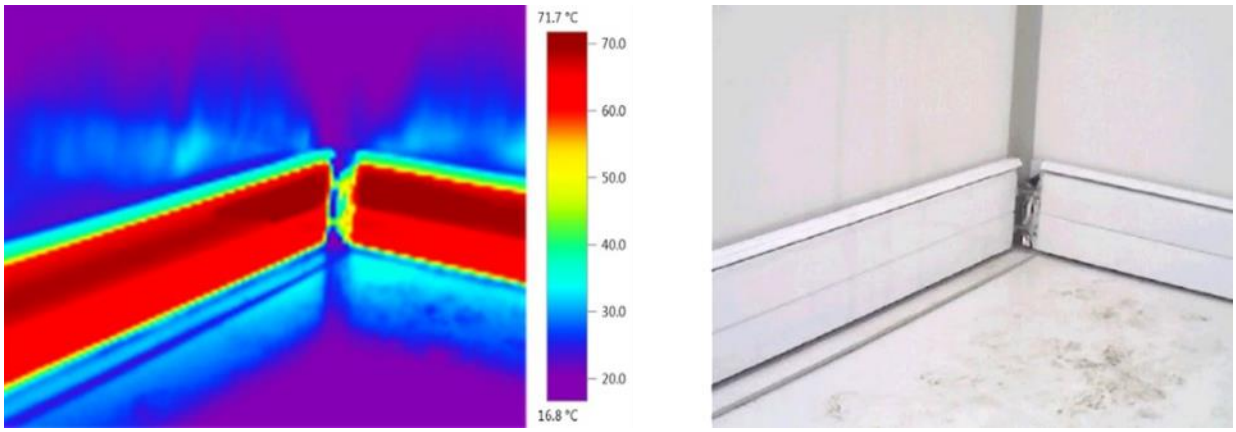
[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.4.2.9]



شکل ۶ . نمودار مقایسه برآورد توان گرمایشی رادیاتور های قرنیزی نوع ۱و۲و۳ مطابق گزارش آزمایشگاه استاندارد

به منظور درک بهتر از عملکرد حرارتی این سیستم گرمایشی، در آزمون های حاضر برای اولین بار از دوربین های حرارتی استفاده شده است. شکل (۷) یکی از تصاویر حرارتی اتاق آزمون، حین آزمون می باشد. همانطور که انتظار می‌رفت، در تصویر حرارتی، کاملاً مشاهده می شود که مسیر بالایی دمای بیشتری دارد. بنابراین اگر دو مسیر با هم متصل می‌بودند (مانند مورد ۱ و ۲)، طبق اصول علم انتقال حرارت، جریان گرما از طریق پل حرارتی موجود به مسیر پایینی رسانش پیدا می کرد و در نهایت، به مولد گرما عودت داده می شد که مطلوب طراح سیستم گرمایشی نمی باشد. همانطور که در شکل (۷) مشاهده می گردد، در این سیستم گرمایش، رفته رفته نقاطی از دیوارها و کف نیز گرم شده است. این بخش از دیوارها و کف، به مانند رادیاتور های دما پایین عمل کرده و باعث تابش به اجزای داخل اتاق می شود.



شکل۷ . تصویر حرارتی از کنج اتاق آزمون مجهز به رادیاتور قرنیزی مورد ۳

گاهی در طراحی مدار گرمایش قرنیزی، بدلایل گوناگون من جمله سازه ای و معماری داخلی، محدودیت مقدار طول محیطی اتاق وجود دارد. در نتیجه طول کمتری برای اجرای قرنیز وجود دارد. در چنین مواقعی توان گرمایشی بازای هر متر طول پروفیل رادیاتور قرنیزی، بسیار حائز اهمیت می‌گردد. برای جبران کسری حداقل طول گرمایشی مورد نیاز، یا باید ارتفاع پروفیل ها بیشتر گردد (افزایش سطح حرارتی) یا توان حرارتی پروفیل ها. البته افزایش ارتفاع پروفیل های قرنیزی، با معماری داخلی در تضاد

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-22]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.4.2.9]

می‌باشد. بنابراین می توان گفت طرح ۳، با توان حرارتی بیشتر و ارتفاع یکسان می تواند گزینه‌ی مناسبی برای چنین مواقعی باشد.

۶- نتیجه گیری

در مطالعه حاضر؛ نمونه‌ی جدیدی از رادیاتور قرنیزی با توان حرارتی بالاتر، بدون پل حرارتی رسانشی بین مسیرهای رفت و برگشت ارائه شده است. ارتفاع این نمونه جدید (مورد ۳)، با ارتفاع نمونه های قبلی (مورد ا و مورد ۲) یکی می باشد. جهت سنجش میزان بهبود توان گرمایشی، آزمون های منطبق بر استاندارد INSO 360-2 روی مورد ۳ نیز همانند دو طرح قبلی مورد ۱ و مورد ۲، انجام پذیرفت و پارامتر مهم ظرفیت حرارتی این نوع رادیاتور، مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به شکل (۶)، مشاهده می‌گردد که با از بین بردن پل حرارتی بین مسیر رفت و برگشت آب در حال گردش می توان به بهبود قابل توجهی در توان گرمایشی نائل شد. این افزایش توان حرارتی، بدون نیاز به افزایش ارتفاع پروفیل های قرنیزی، دمای تغذیه و دبی جریان آب حاصل گردید که قطعاً صرفه جویی در مصرف انرژی را نیز بدنبال خواهد داشت. با افزایش توان حرارتی مسلماً تابش و همرفت نیز افزایش می یابد که خود عامل مناسبی جهت تحقق آسایش حرارتی ساکنان خواهد شد.

با توجه به اینکه توان گرمایشی مورد ۳ باندازه ۴۸٪ از طرح قرنیز فاصله دار از دیوار و باندازه ۷۳٪ بیشتر از طرح قرنیز چسبیده به دیوار، می باشد، قطعاً نسبتهای همرفت و تشعشع آن نیز بطور قابل ملاحظه ای از دو مورد متداول قبلی نیز بیشتر خواهد شد. برای بررسی بیشتر این اثرات می‌توان در تحقیقات آتی به روش عددی عمل نمود. این افزایش توان حرارتی، منتجه به آسایش حرارتی بیشتر ساکنان و افزایش قدرت غلبه بر کوران هوای سرد و البته صرفه جویی بیشتر فضا و انرژی خواهد شد. طبق مطالعه ی قبلی، بازای افزایش هر سانتیمتر ارتفاع پروفیل های مورد ۱، باندازه ۲٪ توان حرارتی بیشتر حاصل می شده است. با توجه به نمودار شکل (۶)، می توان استنباط کرد اگر قرار بود برای تأمین بار حرارتی اتاقی، بجای مورد ۳، مورد۱ جایگزین می شد، می بایستی به اندازه‌ی ۳۶ سانتی متر به ارتفاع مورد ۱ اضافه می گشت. در آنصورت ارتفاع کلی مورد ۱ به حدود ۵۰ سانتی متر می رسید که البته این ارتفاع، مورد قبول معماران داخلی واقع نمی شود. مضافاً از نظر مصرف مصالح آلومینیوم و قیمت تمام شده نیز قابل توجیه نمی‌باشد.

فهرست علامت‌ها

علائم انگلیسی

سطح قرنیز گرمایش مجاور هوا، m^2	A
ظرفیت گرمایی ویژه آب، $Kj/Kg°C$	C_p
دمای مازاد استاندارد، °C	ΔT
متوسط اختلاف دمای لگاریتمی، °C	$\Delta\theta$
آنتالپی آب تغذیه ورودی، Kj/Kg	H_{inlet}
آنتالپی آب خروجی برگشتی، Kj/Kg	H_{outlet}
نرخ جریان جرمی آب،Kg/s	$\dot{m}$
توان حرارتی خروجی،Kw	P
دمای آب گرم تغذیه ورودی، °C	T_{inlet}
دمای آب گرم خروجی برگشتی، °C	T_{outlet}
متوسط دمای آب رفت و برگشت، °C	T_{mean}
دمای مرجع هوای اتاق، °C	T_{ref}
ضریب انتقال حرارت کلی، $w/m^2°C$	U

علائم یونانی

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.4.2.9]

ثابت رادیاتور معادله مشخصه	B
اختلاف دمای متوسط لگاریتمی، ℃	$\Delta\theta$
توان حرارتی رادیاتورمعادله مشخصه، Kcal/hr	Φ
ثابت نمایی معادله مشخصه	n

مراجع

[1] Shobi, M.O., Salarian, H., Nichkoohi, A.L., Nimvari, M.E., "Exprimental and Numerical Investigation of a Modified Designed Baseboard Radiator Using an Air Gap Enhancing Free Convection Heat Transfer", Building Engineering, 32 (2020), 101535. https://doi.org/10.1016

/j.jobe.2020.101535.

[2] Golkarfard, V., Talebizadeh, P., "Numerical Comparison of Airborne Particles Deposition and Dispersion in Radiator and Floor Heating Systems", Adv. Powder Technol., 25 (2014), 389–397.

[3] Myhren, J.A., Holmberg, S., "Performance Evaluation of Ventilation Radiators", Appl. Therm. Eng., 51 (2013), 315–324.

[4] http://www.discreteheat.com

[۵] سعید برفر، اشکان غفوری، فاطمه بهبهانی، شبیه سازی عددی سه بعدی انتقال حرارت درون یک لوله به همراه موانع نوار پیچشی صلیبی با نانوسیال آب– مس، نشریه علمی-تخصصی تبدیل انرژی، دوره ۸، شماره ۴، (۱۴۰۰) ، ص:۴۵-۵۵

[6] Performance of a Baseboard Heater, Journal of the Frankli Institute, 249 (1950), 240-240. https://doi.org/10.1016/0016-0032(50)90505-9.

[7] Ploskic, A., Holmberg, S., "Performance Evaluation of Radiant Baseboards (Skirtings) for Room Heating – An Analytical and Experimental Approach", Applied Thermal Engineering, 62 (2014), 382–389. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2013.09.053.

[8] Wang, Q., Plosk, A., and Holmberg, S., "Performance Analisis of Low Temperture Heating in Retoratting Practice of Existing Swedesh Multifamily Houses – an Investigation Including. Simulation and Measurements", Yhe 18th International Cold Climate HVAC Confrence, Dalian, chaina, (2015).

[9] Dehghan, M., Abdolzadeh, M., "Comparison Study on Air Flow and Particle Dispersion in a Typical Room with Floor, Skirt Boarding, and Radiator Heating Systems", Build. Environ., 133 (2018), 161-177. https://10.1016/j.buildenv.2018.02.018.

[10] Myhren, J.J., Holmberg , "Flow Patterns and Thermal Comfort in a Room with Panel, Floor and Wall Heating", Energy Build., 40 (2008), 524 – 536. https:// doi. org/ 10. 1016/ j. enbuild. 2007. 04. 011.

[11] Ploskic, A., Holmberg, S., "Low - Temperature Baseboard Heaters with Integrated Air Supply – an Analytical and Numerical Investigation", Build. Environ., 93 (2011), 176 – 186. https:// doi. org/ 10. 1016/ j. buildenv. 2010. 07. 011 .

[12] Gheibi, A., Rahmati, A.R., "An Experimental and Numerical Investigation on Thermal Performance of a New Modified Baseboard Radiator", Appl. Therm. Eng., 163 (2019), 114324. https:// doi. org/ 10. 1016/ j. applthermaleng. 2019. 114324.

[13] Bagheri, N., Moosavi, A., Shafii, M.B., "Thermal Enhancement of Baseboard Heaters using Novel Fin - Tube Arrays: Experiment and Simulation", Int. J. Therm. Sci., 151 (2020), 106285. https:// doi. org/ 10. 1016/ j. ijthermalsci. 2020. 106285.

[14] Gheibi, A., Rahmati, A.R., Karimpour, R., "The Effect of using Forced Airflow on the Thermal Performance of the Skirting Board Heating System", Thermal Science and Engineering Progress, 26 (2021),101091. https:// doi. org/ 10.1016/j.tsep.2021.101091.

[15] Rahmati, A.R., Gheibi, A., Karimpour, R., "Combining a New Baseboard Radiator with a Fan Coil System for Improving Heating Performance and Reduce Energy Consumption", Wiley Online Library, Heat Transfer, 51 (2022), 1253-1361. https:// doi. org 10.1002/htj.22378.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.4.2.9]

چکیده انگلیسی:

Investigation of Novel approach to progress the Radiant baseboards heating by eliminating the conductive thermal bridge - An experimental study

Mostafa Omran Shobi [1], Hesamoddin Salarian [2], Ali Lohrasbi Nichkoohi [3,*].

[1]Department of Mechanical Engineering, Nour Branch, Islamic Azad University, Nour, Iran.
[2]Department of Mechanical Engineering, Nour Branch, Islamic Azad University, Nour, Iran.
[3,*]Department of Mechanical Engineering, Nowshahr Branch, Islamic Azad University, Nowshahr, Iran.

Received: June 2022, Accepted: October 2022

Abstract

This paper presents a new, low-cost, and unsophisticated method to increase the thermal power of conventional baseboard radiator systems. A new design was achieved by separating the go and return paths of the fluid and eliminating the conductive thermal bridge between them. The experimental tests as per the National Iranian INSO 360-2 standard revealed the expected improvement in thermal power. The comparison of the new design's thermal power with that of the conventional methods in the industry shows 72% and 42% increases versus the two designs reviewed in the authors' previous works. This research showed that higher thermal power could be accomplished with no need to increase the feeding temperature, the height of the baseboard profile, and the flow rate of the working fluid, which would result in saving in energy consumption and increasing the capability of coping with cold weather and providing more thermal comfort for residents. This thermal power enhancement will be more important when there are constraints on increasing the length of baseboard radiating systems inside the home space.

Key words: radiant baseboard, energy saving, heating

*corresponding author: **Ali.Lohrasbi@iau.ac.ir**

Cite this article as: Mostafa Omran Shobi, Hesamoddin Salarian, Ali Lohrasbi Nichkoohi. Investigation of Novel approach to progress the Radiant baseboards heating by eliminating the conductive thermal bridge - An experimental study. Journal of Energy Conversion, 2023, 9(4), 17-28.
DOR**:** **20.1001.1.20089813.1401.9.4.2.9**

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.4.2.9]