

# ارزیابی کاهش تلفات حرارتی با استفاده از رنگ حاوی میکرو ذرات سرامیکی در دیواره داخلی یک اتاق با پانل سرمایش تشعشعی

قنبر علی شیخ زاده<sup>۱</sup>، علی اکبر عظمتی<sup>۲\*</sup>، آرمین سارائی<sup>۳</sup>

۱-دانشیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه کاشان، [sheikhz@kashanu.ac.ir](mailto:sheikhz@kashanu.ac.ir)

۲- دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه کاشان، [ali\\_azemati@yahoo.com](mailto:ali_azemati@yahoo.com)

۳- دانشجوی کارشناسی، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت، [armin\\_saraei@yahoo.com](mailto:armin_saraei@yahoo.com)

## چکیده

### زمینه و هدف

با توجه به محدود بودن و کاهش منابع انرژی و همچنین لزوم صرفه جویی در مصرف آن، اخیراً استفاده از رنگ‌های حاوی میکروذرات سرامیکی به عنوان عایق حرارتی و به منظور جلوگیری از اتلاف انرژی در صنایع مختلف و ساختمان‌ها مورد توجه قرار گرفته است. هدف از تحقیق حاضر شناخت تاثیر عایق کننده‌های جدید مثل رنگ حاوی میکرو ذرات سرامیکی در دیواره داخلی یک اتاق با در نظر گرفتن پانل سرمایش تشعشعی و تاثیر این عایق‌ها بر کاهش مصرف انرژی می‌باشد.

### روش بررسی

در کار حاضر، به منظور بررسی میدان جریان و توزیع دما در یک اتاق با پانل سرمایش تشعشعی، یک محفظه سه بعدی با شرایط مرزی مختلف شبیه‌سازی شده است. همچنین تاثیر پوشش رنگ با میکرو ذرات سرامیکی، رنگ آکرلیک معمولی و حالت بدون رنگ در حالت‌های مختلف با تغییر شرایط مرزی از جمله تغییر دمای دیوار و ضریب جذب، یک اتاق با پانل سرمایش تشعشعی مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته و نتایج باهم مقایسه شده‌اند.

### یافته‌ها

با استفاده از کد کامپیوتری نوشته شده، دمای سطح داخلی جدارها برای شرایط مرزی مختلف به دست آمده که از آن‌ها به عنوان شرط مرزی در مدل‌سازی استفاده شده است. در صورت استفاده از پانل سرمایش تشعشعی دیواری، دمای اتاق در تمام حالت‌ها در محدوده آسایش حرارتی می‌باشد و کمترین دما مربوط به حالت استفاده از رنگ حاوی میکرو ذرات سرامیکی در دیواره‌های داخلی اتاق است.

### نتایج

نتایج نشان دهنده آن است که رنگ‌های حاوی میکروذرات سرامیکی در دیواره‌های داخلی یک اتاق با فرض تعبیه پانل سرد به عنوان یک عایق حرارتی عمل نموده و باعث کاهش مصرف انرژی در حدود ۲۲٪ می‌شود.

واژه‌های کلیدی: میکروذرات سرامیکی، کاهش مصرف انرژی، سرمایش تشعشعی، محیط زیست

# Heat loss reduction using ceramic micro-particles in paint of the inner walls of a room with radiation cooling panel

G.A. Sheikhzadeh<sup>a</sup>, A.A. Azemati<sup>\*b</sup>, A. Saraei<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Phd, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Kashan, Kashan 87317-51167, Iran.

<sup>\*b</sup> Phd Student, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Kashan, Kashan 87317-51167, Iran. (ali\_azemati@yahoo.com)

<sup>c</sup> Bachelor Student, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Science and Technology, Iran.

## Abstract

### Introduction and Aim

Limited resources and the need for energy conservation, makes the use of energy loss preventive thermal insulations like paints containing micro mineral particles an economic option in different industries and buildings. the aim of the current study is to investigate the effect of modern insulation such as paints with ceramic micro-particle in internal walls of a room with radiative cooling panels on energy consumption.

### Method

In the present study, to investigate the flow field and temperature distribution in a room with a wall of radiation cooling, a three-dimensional cavity has been simulated with different boundary conditions. The effect of coating with ordinary acrylic paints and ceramic micro-particles in different states by changing the boundary conditions, like change wall temperature and absorption coefficient in a room with wall cooling radiation has been studied and the results were compared.

### Findings

Using the computer code, the interior surface temperature is obtained for different boundary conditions and used as boundary condition for simulation. In case of using wall radiative cooling panels, room temperature is in the comfort zone in all cases, and the lowest temperature occurs when using paints with ceramic microparticles in the interior surfaces of the room.

### Discussion

It was observed that the coating containing ceramic micro-particles acted as a thermal insulation and reduces energy consumption by about 22% .

**Key Words:** ceramic micro-particles, reducing energy consumption, radiation cooling, environment.

## زمینه و هدف

با توجه به کاهش ذخیره‌های انرژی و بالا رفتن هزینه‌های استفاده از آن، اخیراً بهینه‌سازی مصرف انرژی و کاهش تلفات آن و همچنین حفظ محیط زیست از آلاینده‌ها اهمیت بسیار زیادی پیدا کرده است. به دلیل تاثیر پوشش‌های خنک در بار سرمایش و گرمایش، استفاده از آن‌ها در بخش ساختمان را ضرورت یافته است. یکی از اثرات استفاده از این پوشش‌ها افزایش میزان بازتابش نور خورشید می‌باشد. نتایج مطالعات سینفا<sup>۱</sup> و همکاران نشان می‌دهد که افزایش بازتابش نور خورشید تابیده شده به سقف باعث کاهش بار برودتی حدود ۲۷-۱۱٪ می‌شود [۱]. کولوکوتسا<sup>۲</sup> و همکاران به بررسی پوشش‌های معدنی در اقلیم‌های گرم پرداختند، نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که این پوشش‌ها تاثیر به سزایی در کاهش بار سرمایشی ساختمان‌ها دارد [۲]. لی<sup>۳</sup> در بخش عایق‌کننده‌های سرامیکی نشان داد که اگر دمای خارج، صفر درجه سانتی‌گراد و دمای داخل اتاق ۲۰°C نگه‌داشته شود، با استفاده از این عایق‌کننده‌ها، مصرف انرژی بیش از ۱۲٪ کاهش می‌یابد [۳]. همچنین هی<sup>۴</sup> و همکاران از طریق آزمایش‌های تصویر برداری حرارتی به نتایج مشابهی دست یافتند [۴]. هوی<sup>۵</sup> و همکاران اختلاف دمایی حدود ۴/۷°C در دیوار با پوشش ذرات سرامیکی در مقایسه با دیوار بدون پوشش این ذرات را به دست آوردند [۵]. وانگ<sup>۶</sup> و همکاران با استفاده از مدل‌سازی پوشش‌های معدنی بازتابنده نور خورشیدی، کاهش بار سرمایشی و گرمایشی را در مناطق مختلف آب و هوایی نشان دادند [۶]. سینفا<sup>۷</sup> و همکاران نشان دادند که ذرات سرامیکی افزودنی به رنگ‌ها باعث کاهش ضریب انتشار و همچنین کاهش چشم‌گیر اتلاف حرارتی می‌شود [۷]. کاو<sup>۸</sup> و همکاران خواص حرارتی عایق‌کننده‌های سرامیکی را مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها نشان دادند که این ذرات دارای مقاومت بالایی در برابر اکسید شدن، خوردگی و سایش نسبت به دیگر پوشش‌های رنگی می‌باشند [۸]. ازکان<sup>۹</sup> و همکاران با استفاده از روش المان محدود، بهینه‌سازی مصرف انرژی و انتقال حرارت در پوشش‌های عایق‌کننده سرامیکی را مورد مطالعه قرار دادند [۹]. مطالعاتی که پائول<sup>۱۰</sup> در زمینه استفاده از ذرات سرامیکی در رنگ‌ها انجام داده است نشان می‌دهد که در صورت استفاده از آن‌ها می‌توان کاهش مصرف انرژی تا ۵۰٪ را نیز شاهد بود [۱۰]. عظمتی و همکاران نشان دادند که با افزودن میکرو ذرات معدنی به رنگ، مقدار ضریب جذب به ۰/۱۹ کاهش یافته و همچنین بار حرارتی ساختمان نیز کاهش چشم‌گیری می‌یابد که این باعث کاهش مصرف انرژی در حدود ۱۴٪ می‌شود [۱۱]. رنگ‌های همراه با عایق‌کننده سرامیکی با ایجاد مانع حرارتی تابشی از جدیدترین روش‌های عایق‌سازی جداره‌های ساختمانی می‌باشد [۱۲]. در سال‌های اخیر تحقیقاتی در خصوص استفاده از جداره‌های سرمایشی صورت گرفته است که بیش‌تر مطالعات مربوط به کارایی جداره‌های سرد در موضوعاتی مانند، بررسی آسایش حرارتی با استفاده از جداره سرد، افزایش ظرفیت سرمایشی و کاهش میزان مصرف انرژی و مباحث انتقال حرارت بوده است [۱۳]. با توجه به مرور انجام گرفته در زمینه اثرات استفاده از رنگ‌ها و پوشش‌های مختلف بر کاهش مصرف انرژی، اهمیت این موضوع و ضرورت پژوهش در این زمینه مشخص شد. به‌رحال گرچه، جنبه‌های مختلفی مورد بررسی قرار گرفته است، ولی انجام مطالعات بیش‌تر برای روشن شدن زوایای مختلف آن ضروری است. در تحقیق حاضر به کمک شبیه‌سازی عددی سه بعدی فضای یک اتاق با سرمایش تابشی، تاثیر استفاده از رنگ‌های حاوی میکرو ذرات سرامیکی که ذرات کروی شکل توخالی به قطر ۱۰۰-۳۰ میکرون هستند در دیواره‌های داخلی آن بر کاهش مصرف انرژی و ایجاد شرایط آسایش حرارتی مناسب مورد بررسی و مطالعه قرار می‌گیرد. هدف از تحقیق حاضر شناخت تاثیر عایق‌کننده‌های جدید مثل رنگ حاوی میکرو ذرات سرامیکی در دیواره داخلی یک اتاق با در نظر گرفتن پانل سرمایش تشعشعی و تاثیر این عایق‌ها بر کاهش مصرف انرژی می‌باشد.

## روش بررسی

مدل مورد نظر، مطابق شکل ۱، اتاقی با ابعاد ۳×۳×۳ متر می‌باشد و فرض شده است که این اتاق از تمام جهات با هوای بیرون در تماس و از کف به زمین متصل باشد.

1 Synnefa

2 Kolokotsa

3 Lee

4 Hei

5 Hui

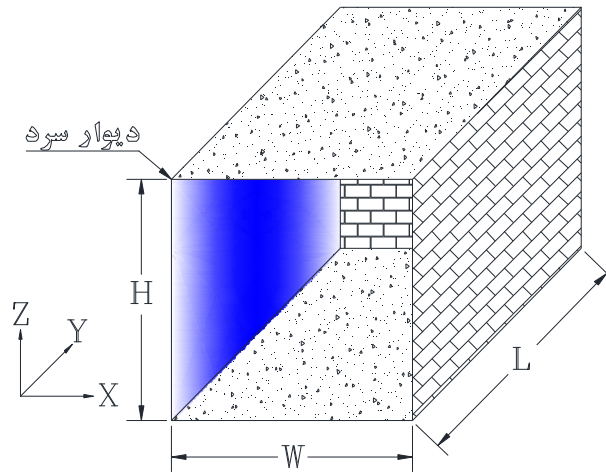
6 Wang

7 Synnefa

8 Cao

9 Ozkan

10 Paul



شکل ۱: هندسه و میدان حل

برای رنگ دیواره داخلی این اتاق سه وضعیت: ۱- بدون رنگ، ۲- با رنگ آکرلیک و ۳- رنگ حاوی میکرو ذرات سرامیکی، در نظر گرفته شده است. میکرو ذرات سرامیکی، ذرات کروی شکل توخالی به قطر ۱۰۰ - ۳۰ میکرون هستند و استفاده از این ذرات به عنوان یک عایق کننده معدنی ضریب صدور و مقاومت حرارتی جداره را بالا می برد و ضریب جذب را نیز کم می کند. نتایج XRD نشان دهنده این است که ساختار این ذرات از مولایت می باشد و خواص شیمیایی آن در جدول زیر ارایه شده است [۱۴].

جدول ۱: مواد تشکیل دهنده میکرو ذرات سرامیکی [۱۴]

Chemical composition	Percentage by mass
Silica, SiO <sub>2</sub>	۵۵-۶۰
Alumina, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۳۶-۴۰
Iron oxide, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۰/۴۰-۰/۵۰
Titanium dioxide, TiO <sub>2</sub>	۱/۴۰-۱/۶۰

ضرایب انتقال حرارت کلی دیواره های اتاق مورد نظر، برای وضعیت های مختلف در جدول ۲ آورده شده است:

جدول ۲: ضریب انتقال حرارت کلی جداره ها [۱۱]

کف (W/m <sup>۲</sup> .K)	سقف (W/m <sup>۲</sup> .K)	دیوار (W/m <sup>۲</sup> .K)	ضرایب انتقال حرارت هدایتی
۰/۵۶۸۲	۰/۲۶۸۲	۰/۴۳۴۷	بدون رنگ
۰/۵۶۸۲	۰/۲۶۳۱	۰/۴۲۱۸	با رنگ آکرلیک معمولی در دیواره های داخلی
۰/۵۶۸۲	۰/۲۰۸۶	۰/۲۹۷۸	با رنگ حاوی میکرو ذرات سرامیکی در دیواره های داخلی

برای مدل سازی و بررسی آسایش حرارتی، در ابتدا دمای سطوح داخلی توسط کد نوشته شده محاسبه می شود. بدین منظور معادله موازنه انرژی برای هر یک از سطوح مدل مورد نظر به صورت زیر نوشته می شود که این معادله شامل دو بخش جابه جایی و تشعشع می باشد [۱۵].

$$h_i A_i (T_{air} - T_i) + \varepsilon_i \sigma A_i \left( \sum_{k=1}^N F_{i-k} (T_k^4 - T_i^4) \right) = Q_i \quad (1)$$

اولین جمله سمت چپ معادله (۱) مربوط به انتقال حرارت جابه جایی میان سطح داخلی دیوار و هوای اتاق می باشد، و دومین جمله، به انتقال حرارت دریافتی سطح از طریق تشعشع سایر سطوح اتاق مربوط است.  $Q_i$  میزان حرارت انتقال یافته از سطح  $i$  می باشد و مطابق رابطه (۲) شامل سه بخش است.

$$Q_i = Q_{c(i)} - Q_{r-in(i)} - Q_{r-out(i)} \quad (2)$$

که در آن،  $Q_{c(i)}$  مقدار حرارت انتقال یافته توسط سازوکارهای هدایت و جابه‌جایی از سطح داخلی دیوار به محیط خارج است. همچنین  $Q_{r-in(i)}$  سهم سطح  $i$  از تابش خورشیدی ورودی به اتاق از طریق پنجره است.  $Q_{r-out(i)}$  نیز میزان حرارت تابشی خورشید بر روی سطح خارجی دیوار بیرونی می‌باشد. لازم به ذکر است با توجه به این که پنجره‌ای برای فضای نمونه در نظر گرفته نشده و همچنین معادله انرژی برای سطوح داخلی ساختمان نوشته می‌شود، لذا مقادیر  $Q_{r-out(i)}$  و  $Q_{r-in(i)}$  برابر صفر در نظر گرفته می‌شود.

$$Q_{c(i)} = \left( \frac{T_i - T_{out(i)}}{\frac{b_i}{k_i} + \frac{1}{h_{out(i)}}} \right) A \quad (3)$$

معادله موازنه انرژی علاوه بر سطوح داخلی بایستی برای هوا نیز نوشته شود:

$$m_{inf} C_{p,air} (T_{air} - T_{inf}) = \sum_{i=1}^N h_i A_i (T_i - T_{air}) \quad (4)$$

### شرط مرزی سطوح

دمای طرح تابستانی  $38^\circ\text{C}$ ، دمای زمین  $T_{ground} = 18^\circ\text{C}$  و ضریب صدور سطوح  $0.9$  در نظر گرفته می‌شود. بررسی و مدل‌سازی‌های انجام یافته بر مبنای قرارگیری پانل سرمایشی تشعشعی در دیوار است که دمای دیواره‌ی شرقی نیز برابر  $T_{cool-wall} = 19^\circ\text{C}$  در نظر گرفته می‌شود [۱۶]. همچنین خواص فیزیکی هوا (گرمای ویژه، لزجت دینامیکی، ضریب هدایت حرارتی، ضریب انبساط حرارتی و چگالی) در دمای  $300\text{K}$  در نظر گرفته می‌شود که در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳: مقادیر استفاده شده در مدل‌سازی

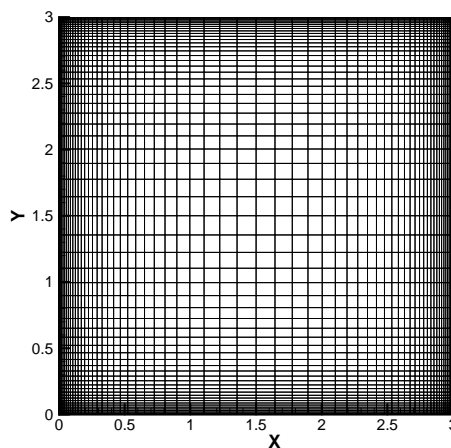
پارامترها	مقادیر / واحد
دمای هوای خارج اتاق	$T_{out} = 38^\circ\text{C}$
دمای زمین	$T_g = 18^\circ\text{C}$
شتاب جاذبه	$g = -9.8 \text{ m/s}^2$
ضریب انبساط حرارتی هوا	$\beta = 0.00365 \text{ 1/K}$
لزجت هوا	$\mu = 1.7894 \times 10^{-5} \text{ kg/m.s}$
گرمای ویژه هوا	$c_p = 1006.43 \text{ J/kg.K}$
ضریب جذب هوا	$a = 0.2$
ضریب پخش حرارتی هوا	$\alpha = 3 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$

### شبکه بندی هندسه مورد نظر

برای حل عددی معادلات دیفرانسیل پاره‌ای در مکانیک سیالات، مشتق‌های پاره‌ای را باید تقریب زد، با این تقریب‌ها مشتق‌های پاره‌ای به عبارت‌های تفاضل محدودی تبدیل می‌شوند که معادلات دیفرانسیل پاره‌ای را به معادلات جبری تبدیل می‌کنند [۱۷-۱۸]. در تمام مدل‌ها برای اطمینان استقلال جواب‌ها از تعداد نقاط شبکه و یافتن تعداد نقاط مورد نیاز، شبکه‌های متفاوتی مورد آزمایش قرار گرفته‌اند و شار حرارتی کل و تشعشعی آن‌ها برای حالت دیوار بدون پوشش باهم مقایسه گردیده و نتایج به‌دست آمده در جدول ۴ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود برای شبکه با تعداد سلول بیش از  $216000$  نرخ انتقال حرارت کلی تقریباً ثابت مانده است و دارای خطای کم‌تر از  $1\%$  می‌باشد. همچنین لازم به ذکر است که با توجه به سادگی شکل مورد مطالعه برای صرفه‌جویی در وقت و هزینه محاسبات، از شبکه‌بندی با سازمان استفاده می‌شود. به دلیل انتقال حرارت از مرزهای سیستم و با توجه به اهمیت آن در اطراف مرزها از شبکه‌بندی تطبیقی استفاده می‌شود.

جدول ۴: اثر افزایش تعداد نقاط شبکه بر انتقال حرارت کلی و تابشی

تعداد سلول N	بار حرارتی کل $Q_{total}(W)$	بار حرارتی تشعشی $Q_{radiation}(W)$
۱۰۰۰	۲۸۲/۱۶۵	۱۸۷/۵۹
۲۷۰۰۰	۲۴۲/۵۸۶	۱۸۷/۴۷
۶۴۰۰۰	۲۳۸/۴	۱۸۷/۵۱
۱۲۵۰۰۰	۲۴۸/۸۴	۱۸۷/۰۲
۲۱۶۰۰۰	۲۶۲/۶	۱۸۷/۷۵
۵۱۲۰۰۰	۲۶۲/۶	۱۸۶/۹۱



شکل ۲: هندسه جریان و میدان حل

## یافته ها

دمای سطوح داخلی حاصل از کد نوشته شده با نتایج مرجع [۱۹] در جدول ۵ مقایسه شده است. با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۵، بیشینه خطای حاصل حدود ۰/۴٪ به دست آمده که قابل قبول می باشد.

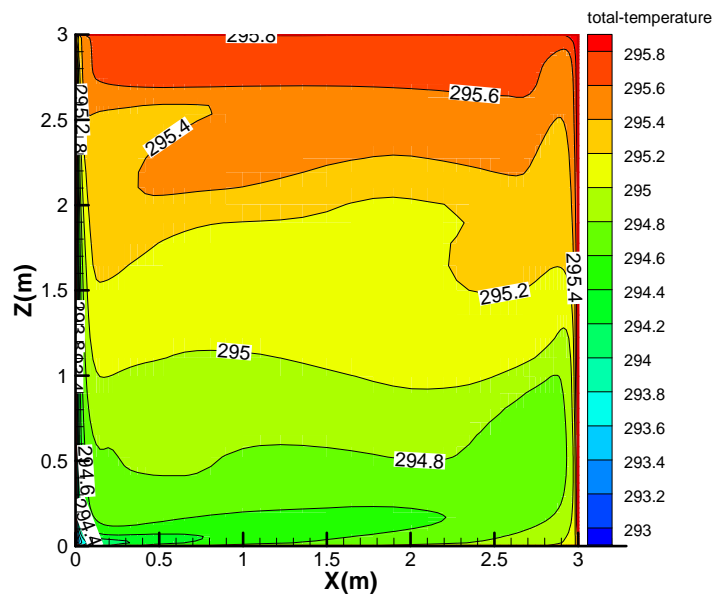
جدول ۵: دمای سطوح (K): مقایسه نتایج کار حاضر و مرجع [۱۹]

	کف	سقف	غربی	شرقی	جنوبی	شمالی
مرجع [۱۹]	۳۰۰/۶۷	۲۹۵/۷۶	۲۹۵/۵۶	۲۹۵/۷۱	۱۹۵/۴۷	۲۹۵/۵۸
کار حاضر	۳۰۰/۶۷	۲۹۶/۹۱	۲۹۶/۸۹	۲۹۶/۸۹	۲۹۶/۸۹	۲۹۶/۸۹

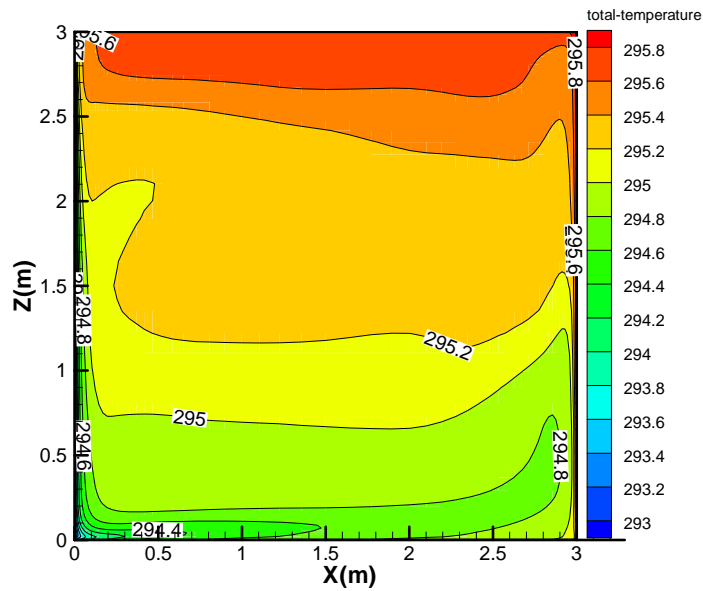
با استفاده از کد کامپیوتری نوشته شده، دمای سطح داخلی جدارها برای شرایط مرزی مختلف بدست آمده و در جدول ۶ ارائه شده اند که از آن ها به عنوان شرط مرزی در مدل سازی استفاده شده است. همچنین لازم به ذکر است که نتایج برای پانل سرمایشی با دمای  $19^{\circ}C$  و دمای طرح خارج تابستانی شهر تهران برابر با  $38^{\circ}C$  می باشد. با توجه به شرط مرزی دما ثابت نتایج بررسی شده حاکی از آن است که در فصل تابستان با توجه به یکنواختی بودن شرایط محیطی و استفاده از پانل سرمایش تشعشی، رنگ های حاوی میکرو ذرات سرامیکی به طور قابل ملاحظه ای مانع تلفات حرارتی از دیوارها شده است. توزیع دما در دیوارهای داخلی بدون رنگ، در دیوارهای داخلی با رنگ آکرلیک معمولی و در دیوارهای داخلی با رنگ حاوی میکرو ذرات سرامیکی در فصل تابستان به ترتیب در شکل های ۳، ۴ و ۵ قابل مشاهده است.

جدول ۶: دمای سطح داخلی دیوارها (K)

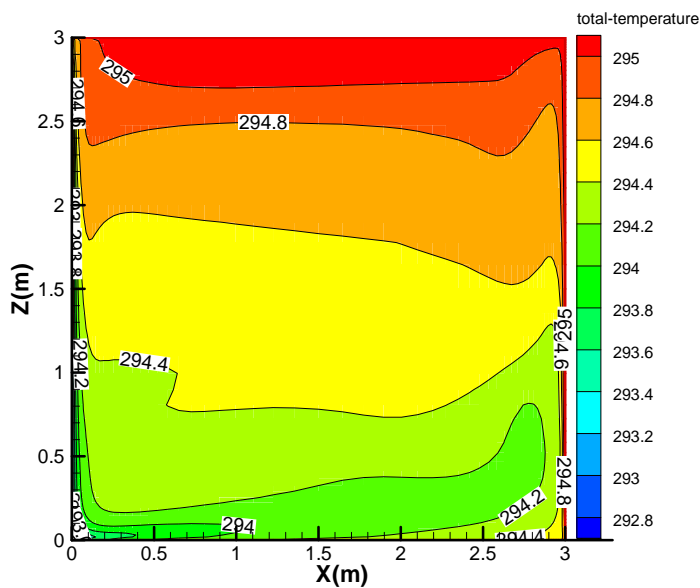
کف	سقف	دیوار	دمای داخلی دیوارها
۲۹۵/۵	۲۹۶	۲۹۶	بدون رنگ
۲۹۵	۲۹۶	۲۹۶	با رنگ آکرلیک معمولی در دیوارهای داخلی
۲۹۴/۵	۲۹۵	۲۹۵	با رنگ حاوی میکرو ذرات سرامیکی در دیوارهای داخلی



شکل ۳: خطوط هم دمای اتاق بدون رنگ در دیواره‌ها (صفحه  $xy$  و  $Z=1/5$ )



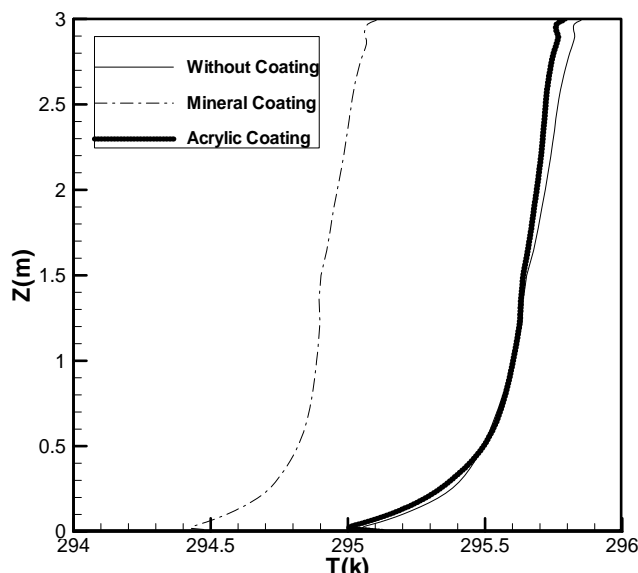
شکل ۴: خطوط هم دمای اتاق با رنگ آکرلیک معمولی در دیواره‌های داخلی (صفحه  $xy$  و  $Z=1/5$ )



شکل ۵: خطوط هم دمای اتاق با رنگ حاوی میکرو ذرات سرامیکی در دیواره‌های داخلی (صفحه  $xy$  و  $Z=1/5$ )

همان‌طور که در شکل‌های ۳ تا ۵ مشاهده می‌شود، در صورت استفاده از پانل سرمایه‌ش تشعشی دیواری، دمای اتاق در تمام حالت‌ها در محدوده آسایش حرارتی می‌باشد، همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود کم‌ترین دما مربوط به حالت استفاده از رنگ حاوی میکرو ذرات سرامیکی در دیواره‌های داخلی اتاق است که با توجه به خصوصیات آن‌ها مشاهده می‌شود که در این حالت لایه بندی حرارتی در نزدیکی دیواره‌ها کم‌تر از دو حالت دیگر است که این نشان دهنده انتقال حرارت کم‌تر از سطح دیواره‌ها نیز می‌باشد.

همچنین برای مقایسه و بررسی آسایش حرارتی، پروفیل دما در وسط اتاق برای سه حالت فوق در نمودار ۱ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، پروفیل دما در حالت‌های دیوار بدون پوشش و با پوشش رنگ آکرلیک تقریباً یکسان می‌باشد، ولی پروفیل دما در حالت دیوار با پوشش میکرو ذرات سرامیکی کاهش دمایی حدود ۱/۵ درجه را نسبت به آن‌ها دارد که این کاهش دمایی کاهش مصرف انرژی را نشان می‌دهد.



نمودار ۱: پروفیل دمای عمودی در وسط اتاق برای حالت‌های مختلف

نرخ انتقال حرارت به صورت کلی و تابشی در حالت‌های مختلف در جدول ۷ آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در مدل مورد نظر با شرایط مرزی مختلف و استفاده از پانل سرمایه‌ش تشعشی دیواری حدود ۷۰٪ انتقال حرارت به صورت تابشی می‌باشد.

جدول ۷: بار حرارتی کل در حالت‌های مختلف (W)

وضعیت پوشش	نرخ انتقال حرارت تابشی	نرخ انتقال حرارت کلی
بدون رنگ	۱۸۷/۷۵	۲۶۲/۶
با رنگ آکرلیک معمولی در دیواره‌های داخلی	۱۸۲/۵	۲۵۴/۶۲
با رنگ حاوی میکرو ذرات سرامیکی در دیواره‌های داخلی	۱۵۰/۲۲	۲۰۷/۴

همان‌طور که نشان داده شد، در صورت استفاده از پانل سرمایه‌ش تشعشی، در تمام حالت‌های بررسی شده دمای اتاق در محدوده دمای آسایش حرارتی می‌باشد. ولی با توجه به مقایسه نرخ انتقال حرارت کلی در حالت‌های مختلف که در جدول ۶ ارائه شده است، کم‌ترین بار حرارتی مربوط به استفاده از رنگ حاوی میکرو ذرات سرامیکی در دیواره‌های داخلی اتاق می‌باشد.

### نتیجه گیری

میدان جریان و توزیع دما در یک اتاق بدون رنگ، با رنگ آکرلیک معمولی و با رنگ حاوی میکرو ذرات سرامیکی در دیواره‌های داخلی با استفاده از نرم افزار گمبیت و فلوئنت<sup>۱</sup> مدل‌سازی شد. نتایج نشان دهنده آن است که کم‌ترین دما و بار حرارتی، مربوط به استفاده از رنگ حاوی میکرو ذرات سرامیکی می‌باشد و در صورت استفاده از رنگ حاوی میکرو ذرات سرامیکی، دمای اتاق بسیار نزدیک به دمای آسایش می‌شود. همان‌طور که مشاهده می‌شود رنگ حاوی میکرو ذرات سرامیکی به عنوان یک عایق کننده حرارتی عمل می‌نماید و در صورتی که مقایسه بین دیوار با رنگ حاوی میکرو ذرات سرامیکی در دیواره‌های داخلی و دیوار بدون رنگ انجام شود (با فرض تعبیه پانل سرد)، میزان صرفه‌جویی انرژی در فصل

<sup>1</sup> Gambit & Fluent



تابستان حدود ۲۲٪ می‌باشد و این حاکی از تاثیر به سزای جداره سرد و استفاده از رنگ حاوی میکرو ذرات سرامیکی در کاهش مصرف انرژی می‌باشد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که در صورت استفاده از پانل سرمایشی تابشی، حدود ۷۰٪ از بار حرارتی کل به صورت تشعشعی می‌باشد.

#### مراجع:

- [1] A. Synnefa, M. Santamouris, H. Akbari, 2007, Estimating the effect of using cool coatings on energy loads and thermal comfort in residential buildings in various climatic conditions, *Energy and Buildings*, Vol. 39, pp. 1167–1174.
- [2] D. Kolokotsa, P. Maravelaki-Kalaitzaki, S. Papantoniou, E. Vangeloglou, M. Saliari, T. Karlessi, M. Santamouris, 2012, Development and analysis of mineral based coatings for buildings and urban structures, *Solar Energy*, Vol. 86, pp. 1648–1659.
- [3] Y. C. Lee, 2008, Results of insulated demo projects in China, China National Center, China.
- [4] D. J. Hei, M. Hei, 2009, Thermal imaging testing on interiors showing energy savings when using Insuladd test, VIE. Inc, USA.
- [5] S. Hui, T. Hongwei, T. Athanasios, 2011, The effect of reflective coatings on building surface temperatures, indoor environment and energy consumption—An experimental study, China, *Energy and Buildings*, Vol. 43, pp. 573–580.
- [6] L. Wang, Y. Wang, X. G. Sun, J. Q. He, Z. Y. Pan, Y. Zhou, P.L. Wu, 2011, Influence of pores on the thermal insulation behavior of thermal barrier coatings prepared by atmospheric plasma spray, China, *Materials and Design*, Vol. 32, pp 36–47.
- [7] A. Synnefa, M. Santamouris, I. Livada, 2006, A study of the thermal performance of reflective coating for the urban environment, Greece, *Solar Energy*, Vol. 80, pp. 968–981.
- [8] X. Q. Cao, R. Vassenb, D. Stoever, 2004, Ceramic materials for thermal barrier coatings, Germany, *Journal of the European Ceramic Society*, Vol. 24, pp. 1–10.
- [9] S. Ozkan, I. Yasar, C. Erdal, 2005, Finite element modeling of the effect of the ceramic coatings on heat transfer characteristics in thermal barrier applications, Turkey, *Materials and Design*, Vol. 26, pp. 357–362.
- [10] T. Paul, 2004, Study of ceramic microsphere insulation with a consideration of the wider implications, UK.
- [۱۱] علی اکبر عظمتی، عباس سالمی تجرد، حسین حسینی، بهزاد شیرکوند هداوند، مدل سازی عایق کننده های معدنی موجود در رنگ های ساختمانی جهت بهینه سازی انرژی، مجموعه مقالات چهارمین کنفرانس بین المللی گرمایش، سرمایش و تهویه مطبوع، خرداد ۱۳۹۱، هتل المپیک، تهران، ایران.
- [12] E. Allen, J. Iano, *Fundamentals of Building Construction Materials and Methods*, 278 5<sup>th</sup> ed., Wiley, 2008.
- [۱۳] امیررضا صابونچی، شبیه سازی عددی میدان جریان وانتقال حرارت در یک اتاق با سرمایش تشعشعی، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه کاشان، ۱۳۸۸.
- [14] Suryavanshia, A.K., Swamy, R. N., 2002, Development of lightweight mixes using ceramic microspheres as fillers, *Cement and Concrete Research*, Vol.32, pp .1783–1789.
- [۱۵] مهدی معرفت، سید علیرضا ذوالفقاری، امیر امیدوار، طراحی مناسب نما و پوسته خارجی ساختمان، روشی موثر برای جلوگیری از رخداد میعان در سیستم های سرمایش تابشی سقفی، نشریه انرژی ایران، مرداد ۱۳۸۵، سال دهم، شماره ۲۶.
- [۱۶] حسین خراسانی زاده، قنبرعلی شیخ زاده، امیررضا صابونچی، هادی بت شکن، "مطالعه و مقایسه اثر پانل های سرمایش تابشی سقفی و دیواری بر توزیع دما، سرعت و انتقال حرارت در یک اتاق مسکونی"، مهندسی مکانیک مدرس، سال ۱۳، شماره ۹، ص ص ۱۴۹–۱۶۰، آذر ۹۲.
- [17] K. Hoffman, S. T. Chiang, 1993, *Computational Fluid Dynamics for Engineers*, Engineering Education System.
- [18] Anderson, 1995, *Computational Fluid Dynamics: the Basics with Applications*.
- [19] M. Rahimi, A. Sabernaemi, 2011, Experimental study of radiation and free convection in an enclosure with under-floor heating system, *Energy Conversion and Management*, Vol 52, PP.2752–2757.