

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره شانزدهم، شماره ویژه ۹۳

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

قنبرعلی شیخ زاده^۱

علی اکبر عظمتی^{*۲}

ali_azemati@yahoo.com

آرمین سارائی^۳

تاریخ پذیرش: ۹۳/۶/۲۶

تاریخ دریافت: ۹۳/۱/۱۶

چکیده

زمینه و هدف: با توجه به محدود بودن و کاهش منابع انرژی و همچنین لزوم صرفه‌جویی 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 تشعشی 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 تشعشی، 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 تشعشی مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته و نتایج باهم مقایسه شده‌اند.

یافته‌ها: با استفاده از کد کامپیوتری نوشته شده، دمای سطح داخلی جداره‌ها 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 تشعشی 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 تشعشی، محیط زیست

۱- دانشیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه کاشان

۲- دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه کاشان* (مسوول مکاتبات).

۳- دانشجوی کارشناسی، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت

مقدمه

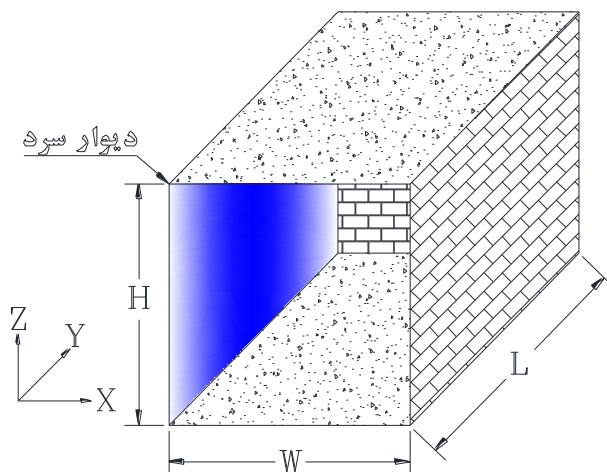
ضریب جذب به ۰/۱۹ کاهش یافته و همچنین بار حرارتی ساختمان نیز کاهش چشم‌گیری می‌یابد که این باعث کاهش مصرف انرژی در حدود ۱۴٪ می‌شود (۱۱). رنگ‌های همراه با عایق‌کننده سرامیکی با ایجاد مانع حرارتی تابشی از جدیدترین روش‌های عایق‌سازی جداره‌های ساختمانی می‌باشد (۱۲). در سال‌های اخیر تحقیقاتی در خصوص استفاده از جداره‌های سرامیکی صورت گرفته است که بیش-تر مطالعات مربوط به کارایی جداره‌های سرد در موضوعاتی مانند، بررسی آسایش حرارتی با استفاده از جداره سرد، افزایش ظرفیت سرامیکی 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 سرامایش 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 سرامایش 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.

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 سرامایش 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^۱ و همکاران نشان می‌دهد که افزایش بازتابش نور خورشید تابیده شده به سقف باعث کاهش بار برودتی حدود ۲۷-۱۱٪ می‌شود (۱). کولوکوتسا^۲ و همکاران به بررسی پوشش‌های معدنی در اقلیم‌های گرم پرداختند، نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که این پوشش‌ها تاثیر به‌سزایی در کاهش بار سرامایشی ساختمان‌ها دارد (۲). لی^۳ 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^۴ و همکاران از طریق آزمایش‌های تصویر برداری حرارتی به نتایج مشابهی دست یافتند (۴). هوی^۵ و همکاران اختلاف دمایی حدود ۴/۷°C در دیوار با پوشش ذرات سرامیکی در مقایسه با دیوار بدون پوشش این ذرات را به‌دست آوردند (۵). وانگ^۶ و همکاران با استفاده از مدل‌سازی پوشش‌های معدنی بازتابنده نور خورشیدی، کاهش بار سرامایشی و گرمایشی را در مناطق مختلف آب و هوایی نشان دادند (۶). سینفا^۷ و همکاران نشان دادند که ذرات سرامیکی افزودنی به رنگ‌ها باعث کاهش ضریب انتشار و همچنین کاهش چشم‌گیر اتلاف حرارتی می‌شود (۷). کاو^۸ 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^۹ 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^{۱۰} 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

- 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

ضریب جذب را نیز کم می‌کند. نتایج XRD نشان دهنده این است که ساختار این ذرات از مولایت می‌باشد و خواص شیمیایی آن در جدول زیر ارائه شده است (۱۴).

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 به‌عنوان یک عایق کننده معدنی ضریب صدور و مقاومت حرارتی جداره را بالا می‌برد و

جدول ۱- مواد تشکیل دهنده میکرو ذرات سرامیکی (۱۴)

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

ضرایب انتقال حرارت کلی دیواره‌های اتاق مورد نظر، برای وضعیت‌های مختلف در جدول ۲ آورده شده است:

جدول ۲- ضریب انتقال حرارت کلی جداره‌ها (۱۱)

کف (W/m ² .K)	سقف (W/m ² .K)	دیوار (W/m ² .K)	ضرایب انتقال حرارت هدایتی
۰/۵۶۸۲	۰/۲۶۸۲	۰/۴۳۴۷	بدون رنگ
۰/۵۶۸۲	۰/۲۶۳۱	۰/۴۲۱۸	با رنگ آکرلیک معمولی در دیواره‌های داخلی
۰/۵۶۸۲	۰/۲۰۸۶	۰/۲۹۷۸	با رنگ حاوی میکرو ذرات سرامیکی در دیواره‌های داخلی

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

اولین جمله سمت چپ معادله (۱) مربوط به انتقال حرارت جابه‌جایی میان سطح داخلی دیوار و هوای اتاق می‌باشد، و دومین جمله، به انتقال حرارت دریافتی سطح از طریق تشعشع سایر سطوح اتاق مربوط

برای مدل‌سازی و بررسی آسایش حرارتی، در ابتدا دمای سطوح داخلی توسط کد نوشته شده محاسبه می‌شود. بدین منظور معادله موازنه انرژی برای هر یک از سطوح مدل مورد نظر به صورت زیر نوشته می‌شود که این معادله شامل دو بخش جابه‌جایی و تشعشع می‌باشد (۱۵).

جدول ۳- مقادیر استفاده شده در مدل سازی

مقادیر / واحد	پارامترها
$T_{out} = ۳۸ \text{ }^\circ\text{C}$	دمای هوای خارج اتاق
$T_g = ۱۸ \text{ }^\circ\text{C}$	دمای زمین
$g = -۹/۸ \text{ m/s}^۲$	شتاب جاذبه
$\beta = ۰/۰۰۳۶۵ \text{ 1/K}$	ضریب انبساط حرارتی هوا
$\mu = ۱/۷۸۹۴ \times ۱۰^{-۵} \text{ kg/m.s}$	لزجت هوا
$c_p = ۱۰۰۶/۴۳ \text{ J/kg.K}$	گرمای ویژه هوا
$a = ۰/۲$	ضریب جذب هوا
$\alpha = ۳ \times ۱۰^{-۵} \text{ m}^۲/\text{s}$	ضریب پخش حرارتی هوا

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 به دست آمده در جدول ۴ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود برای شبکه با تعداد سلول بیش از ۲۱۶۰۰۰ نرخ انتقال حرارت کلی تقریباً ثابت مانده است و دارای خطای کم‌تر از ۱٪ 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 تشعشعی $Q_{radiation}(w)$
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

است. Q_i میزان حرارت انتقال یافته از سطح i می‌باشد و مطابق رابطه (۲) شامل سه بخش است.

$$Q_i = Q_{c(i)} - Q_{r-in(i)} - Q_{r-out(i)} \quad (۲)$$

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. $Q_{rout(i)}$ نیز میزان حرارت تابشی خورشید بر روی سطح خارجی دیوار بیرونی می‌باشد. لازم به ذکر است با توجه به این‌که 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.

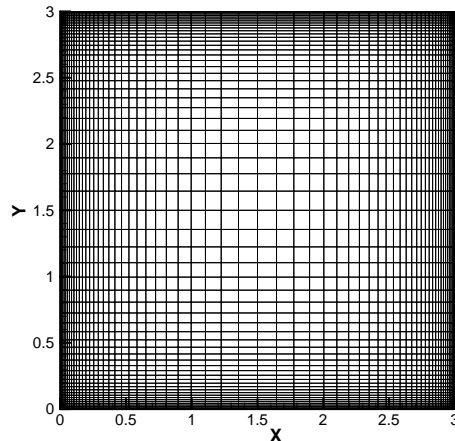
$$Q_{c(i)} = \left(\frac{T_i - T_{out(i)}}{\frac{b_i}{k_i} + \frac{1}{h_{out(i)}}} \right) A \quad (۳)$$

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

$$m_{inf} C_{p,air} (T_{air} - T_{inf}) = \sum_{i=1}^N h_i A_i (T_i - T_{air}) \quad (۴)$$

شرط مرزی سطوح

دمای طرح تابستانی $۳۸ \text{ }^\circ\text{C}$ ، دمای زمین $T_{ground} = ۱۸ \text{ }^\circ\text{C}$ و ضریب صدور سطوح ۰/۹ در نظر گرفته می‌شود. بررسی و مدل‌سازی‌های انجام یافته بر مبنای قرارگیری پانل سرمایشی تشعشعی در دیوار است که دمای دیواره‌ی شرقی نیز برابر $T_{cool-wall} = ۱۹ \text{ }^\circ\text{C}$ در نظر گرفته می‌شود (۱۶). همچنین خواص فیزیکی هوا (گرمای ویژه، لزجت دینامیکی، ضریب هدایت حرارتی، ضریب انبساط حرارتی و چگالی) در دمای ۳۰ K در نظر گرفته می‌شود که در جدول ۳ ارائه شده است.



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)

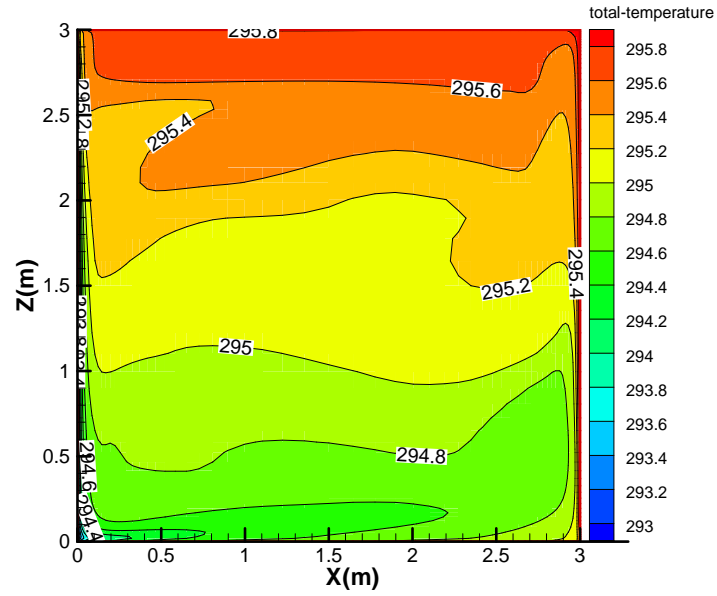
	شمالی	جنوبی	شرقی	غربی	سقف	کف
مرجع (۱۹)	۲۹۵/۵۸	۱۹۵/۴۷	۲۹۵/۷۱	۲۹۵/۵۶	۲۹۵/۷۶	۳۰۰/۶۷
کار حاضر	۲۹۶/۸۹	۲۹۶/۸۹	۲۹۶/۸۹	۲۹۶/۸۹	۲۹۶/۹۱	۳۰۰/۶۷

استفاده از پانل سرمایش تشعشعی، 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.

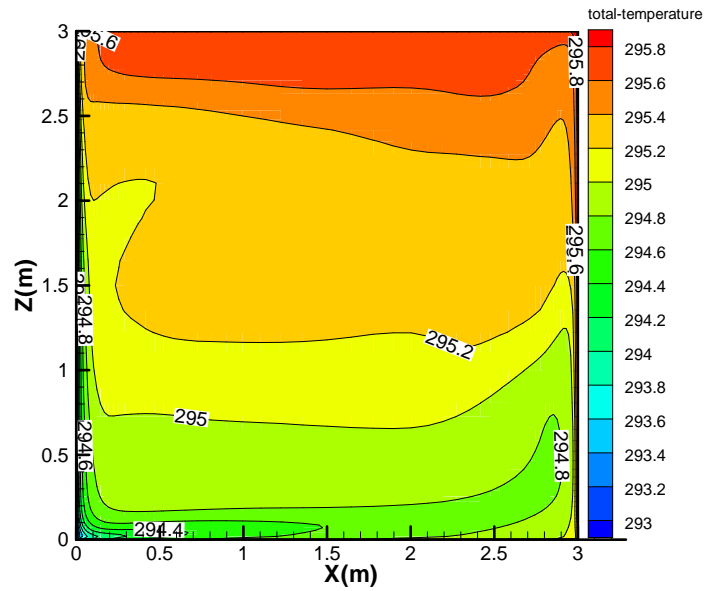
با استفاده از کد کامپیوتری نوشته شده، دمای سطح داخلی جدارها برای شرایط مرزی مختلف بدست آمده و در جدول ۶ ارائه شده اند که از آن ها به عنوان شرط مرزی در مدل سازی استفاده شده است. همچنین لازم به ذکر است که نتایج برای پانل سرمایشی با دمای 19°C و دمای طرح خارج تابستانی شهر تهران برابر با 38°C می باشد. با توجه به شرط مرزی دما ثابت نتایج بررسی شده حاکی از آن است که در فصل تابستان با توجه به یکسان بودن شرایط محیطی و

جدول ۶- دمای سطح داخلی دیوارها (K)

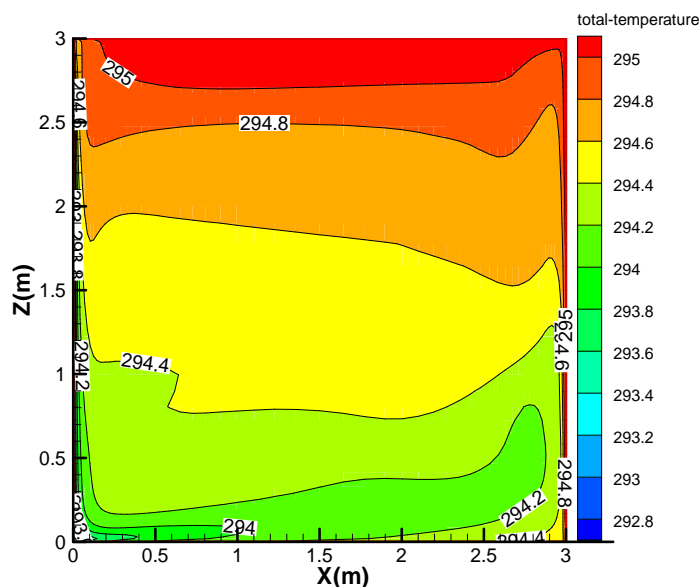
کف	سقف	دیوار	دمای داخلی دیوارها
۲۹۵/۵	۲۹۶	۲۹۶	بدون رنگ
۲۹۵	۲۹۶	۲۹۶	با رنگ آکرلیک معمولی در دیوارهای داخلی
۲۹۴/۵	۲۹۵	۲۹۵	با رنگ حاوی میکرو ذرات سرامیکی در دیوارهای داخلی



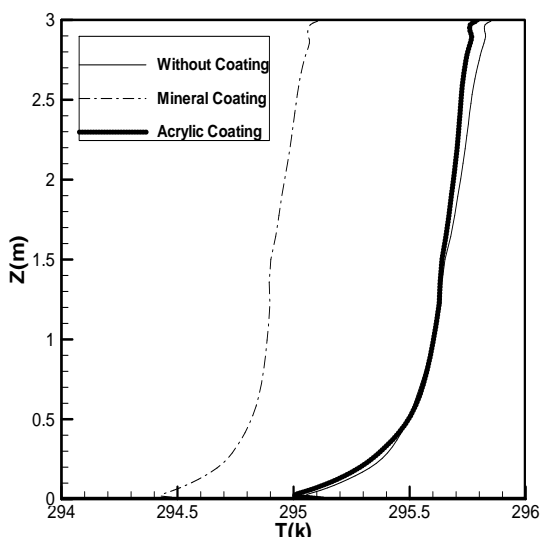
شکل ۳- خطوط هم دمای اتاق بدون رنگ در دیواره‌ها (صفحه XY و $Z=1/5$)



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 $Z=1/5$)



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

نرخ انتقال حرارت به‌صورت 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 سرمایش تشعشعی دیواری حدود ۷۰٪ انتقال حرارت به‌صورت 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 در شکل‌های ۳ تا ۵ مشاهده می‌شود، در صورت استفاده از پانل سرمایش تشعشعی 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.

- 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 5th 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
- همان طور که نشان داده شد، در صورت استفاده از پانل سرمایش تشعشعی، در تمام حالت های بررسی شده دمای اتاق در محدوده دمای آسایش حرارتی می باشد. ولی با توجه به مقایسه نرخ انتقال حرارت کلی در حالت های مختلف که در جدول ۶ ارائه شده است، کمترین بار حرارتی مربوط به استفاده از رنگ حاوی میکروذرات سرامیکی در دیوارهای داخلی اتاق می باشد.
- ### نتیجه گیری
- میدان جریان و توزیع دما در یک اتاق بدون رنگ، با رنگ آکرلیک معمولی و با رنگ حاوی میکرو ذرات سرامیکی در دیوارهای داخلی با استفاده از نرم افزار گمبیت و فلونت^۱ مدل سازی شد. نتایج نشان دهنده آن است که کمترین دما و بار حرارتی، مربوط به استفاده از رنگ حاوی میکرو ذرات سرامیکی می باشد و در صورت استفاده از رنگ حاوی میکرو ذرات سرامیکی، دمای اتاق بسیار نزدیک به دمای آسایش می شود. همان طور که مشاهده می شود رنگ حاوی میکرو ذرات سرامیکی به عنوان یک عایق کننده حرارتی عمل می نماید و در صورتی که مقایسه بین دیوار با رنگ حاوی میکرو ذرات سرامیکی در دیوارهای داخلی و دیوار بدون رنگ انجام شود (با فرض تعبیه پانل سرد)، میزان صرفه جویی انرژی در فصل تابستان حدود ۲۲٪ می باشد و این حاکی از تاثیر به سزای جداره سرد و استفاده از رنگ حاوی میکرو ذرات سرامیکی در کاهش مصرف انرژی می باشد. همچنین نتایج نشان می دهد که در صورت استفاده از پانل سرمایشی تابشی، حدود ۷۰٪ از بار حرارتی کل به صورت تشعشعی می باشد.
- ### منابع
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

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.

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 سیستم‌های 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 پانل‌های سرمایش تابشی سقفی و دیواری بر توزیع دما، سرعت و