

## بررسی تاثیر ضریب جذب خورشیدی دیواره بیرونی ساختمان مسکونی بر کاهش مصرف انرژی

دانشجوی دکتری، دانشگاه صنعتی شهرود، دانشکده مهندسی مکانیک، شهرود، ایران

استادیار، دانشگاه صنعتی شهرود، دانشکده مهندسی مکانیک و مکاترونیک، شهرود، ایران

مربي، دانشگاه آزاد اسلامي واحد آزادشهر، گروه مهندسي عمران، آزادشهر، ايران

\*امير ابراهيمی مقدم

سيد مجید هاشميان

امين ابراهيمی مقدم

### چکیده

نياز به انرژي در زندگی کنوی به سرعت در حال افزایش است و اين در حال حاليست که منابع انرژي محدود می باشند. در اين مقاله با استفاده از روش هاي عددی و با بررسی ضریب جذب رنگ های مختلف دیواره خارجی يك ساختمان واقع در شهر مشهد، مناسب ترین رنگ دیواره بیرونی جهت کاهش مصرف انرژي در تمام فصول سال انتخاب شده است. ساختمان مورد بررسی توسعه نرم افزار Gambit به صورت سه بعدی مدل سازی و شبکه بندی شده است. شبیه سازی انرژي تابش خورشیدی تابیده شده به ساختمان که محور اصلی پژوهش می باشد، توسعه نرم افزار Fluent و با توجه به موقعیت مکانی قرار گیری ساختمان و در يك جريان آشفته انجام شده است. نتایج اين پژوهش نشان می دهد با انتخاب مناسب ترین رنگ، در كل طول سال با کاهش دما به میزان ۱.۵ درجه سلسیوس در فصل گرم و افزایش دمای حدود يك درجه سلسیوس در فصل سرد به میزان قابل توجهی انرژي برق و گاز مصرفی را کاهش خواهیم داشت. در انتهای با بررسی ضریب جذب رنگ های مختلف، بر اساس نتایج پژوهش رنگ طوسی به عنوان مناسب ترین رنگ در جهت کاهش مصرف انرژي ساختمان انتخاب شده است.

واژه های کلیدی: کاهش مصرف انرژي، ضریب جذب، ساختمان مسکونی، شبیه سازی عددی.

## Investigation of Solar Absorption Coefficient of the External Walls of Residential Building on Energy Consumption Reduction

A. Ebrahimi-Moghadam

Shahrood University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering, Shahrood, Iran

S. M. Hashemian

Shahrood University of Technology, Faculty of Mechanical and Mechatronics Engineering,

Shahrood, Iran

A. Ebrahimi-Moghadam

Azad Shahr Islamic Azad University, Faculty of Civil Engineering, Azad Shahr, Iran

### Abstract

Today's energy needs are increasing very fast and this is while the energy resources are very limit. In this paper by using numerical methods and investigation absorption coefficient of different colors, the most appropriate color to reduce energy consumption in all seasons has been selected for external wall of a building in Mashhad. Modeling of building has been done and meshed by using Gambit software as a three dimensions model. The simulation of falling solar radiation to building which is the main objective of this study, has been done by Fluent software based on building's location and in turbulent flow. The results of this research indicate that by selecting the most appropriate color, in total during of the year by 1.5°C temperature decrease in warm days and about 1°C increase in cold days, we have significantly reduce energy consumption in electricity and gas. Finally according to the results of this research and by investigating absorption coefficient of different colors, gray color has been chosen as the most suitable criteria in order to reduce building energy consumption.

**Keywords:** Energy consumption reduction, absorption coefficient, residential building, numerical simulation.

اتلاف انرژي و بهینه سازی آنها می تواند تاثیر چشمگیری در کاهش  
انرژي مورد نیاز ساختمان در فصول مختلف سال داشته باشد. چه بسا  
هزینه اولیه بهینه سازی ساختمان می تواند بسیار کمتر از هزینه های  
صرف انرژي ساختمان غیر بهینه، در طول دوره عمر ساختمان باشد  
. [۳]

در ایران انرژي مصرف شده در ساختمان ها حدود ۴۰ درصد از  
انرژي کل مصرفی را به خود اختصاص می دهد که در مقایسه با سایر  
کشورها میزان زیادی می باشد. در این میان سوخت های فسیلی به  
خصوص گاز طبیعی بیشترین مصرف را در بین سایر مولفه های انرژی  
دارند و ۷۰ درصد از گاز طبیعی کشور برای مصارف ساختمان ها به کار  
می رود که میزان قابل توجهی در مقایسه با سایر کشورهای در حال  
توسعه، چون ترکیه با ۱۸ درصد مصرف گاز در بخش مسکن می باشد  
. [۴]

یکی از مهم ترین روش های بهینه سازی مصرف انرژي در  
ساختمان ها، بهره جستن مناسب از انرژي خورشید در جهت کاهش

### ۱- مقدمه

در طی ۳۰ سال گذشته احتياجات انرژي جهان به مقدار قابل  
مالحظه ای افزایش یافته است [۱]. نتایج تحقیقات در سال های اخیر  
نشان می دهد، بهترین جایگزین برای انرژی های فسیلی، انرژي  
خورشیدی می باشد. ارزانی و دسترس پذیری آسان از عوامل گسترش  
استفاده از انرژي خورشیدی است [۲]. امروزه به علت کاهش چشمگیر  
منابع سوخت های فسیلی فعالیت های زیادی در زمینه بهینه سازی  
صرف انرژي در ساختمان صورت می گیرد. تاثیر پوسته ساختمان از  
نظر فیزیکی در صرفه جویی انرژي و تاثیر جزئیات اجرایی و لایه های به  
کار رفته در دیوار در بهره وری از انرژي بسیار مهم است. پوسته خارجی  
ساختمان بیشترین ارتباط را با فضای خارج داشته و عوامل آب و هوایی  
همچون تابش و باد و بازشو های رو به فضای خارج نیز در طول عمر  
ساختمان، بیشترین میزان اتلاف انرژي را دارند. شناخت این در چه های

\* نویسنده مکاتبه کننده، آدرس پست الکترونیکی: amir\_ebrahimi\_051@shahroodut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۲/۱۶

تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۰/۱۴

## ۱-۲- مدل مطالعاتی و معادلات حاکم

همانطور که اشاره شد مدل مطالعاتی این پژوهش یک ساختمان مسکونی در شهر مشهد می‌باشد که به صورت سه بعدی توسط نرم‌افزار Gambit طراحی شده است. ساختمان مورد نظر به مساحت ۱۲۰ متر مربع و ارتفاع ۴ متر در داخل یک محیط حل به مساحت ۱۹۲۰۰ متر مربع و ارتفاع ۴۰ متر قرار گرفته است. شکل (۱) نشان دهنده ساختمان و محیط حل و شکل (۲) نشان دهنده مدل شبکه‌بندی شده می‌باشد.

در این پژوهش، تابش خورشیدی تابیده شده به یک ساختمان مسکونی، به صورت سه بعدی و بهوسیله روش حجم محدود مورد مطالعه قرار گرفته است. معادلات حاکم بر مساله شامل معادله بقا جرم (معادله پیوستگی)، معادله بقا اندازه حرکت (معادله مومنتوم) و معادله بقا انرژی می‌باشد که به ترتیب به صورت روابط (۱) تا (۳) تعریف می‌شوند.

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = S_m \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \bar{\tau}_{ij}}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j}(-\rho \bar{u}_i \bar{u}_j) + \rho g_i + F_i \quad (2)$$

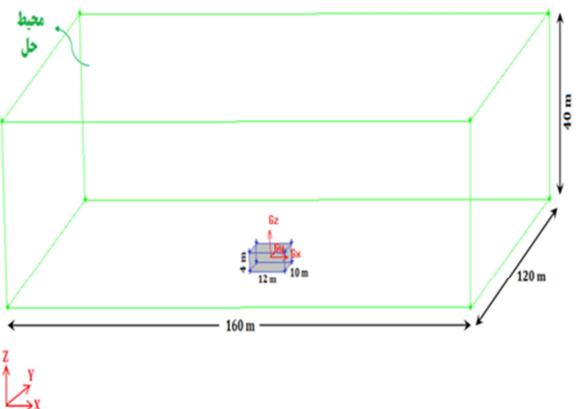
$$\frac{\partial}{\partial x_i} [u_i (\rho E + p)] = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ k_{eff} \frac{\partial T}{\partial x_j} + u_i (\bar{\tau}_{ij})_{eff} \right] + S_h \quad (3)$$

در معادلات (۱) و (۲)،  $S_m$  بیانگر جرم اضافه شده به فاز پیوسته اول از فاز پراکنده دوم (به عنوان مثال، به علت تبخیر قطره‌های مایع) و عبارت  $\bar{\tau}_{ij}$ - $\rho$ - بیانگر مؤلفه‌های تنش رینولدز می‌باشند. تانسور تنش نیز به صورت رابطه (۴) تعریف می‌شود [۱۳، ۱۲].

در معادله (۳)، انرژی کل می‌باشد و به صورت رابطه (۵) تعریف می‌شود.  $k_{eff}$  رسانایی گرمایی موثر ( $k + k_t$ ) می‌باشد، که در آن  $k$  رسانایی گرمایی آشفته بوده و بر اساس مدل آشفتگی استفاده شده، تعیین می‌گردد و در مدل‌های آشفتگی کا-اپسیلون ( $k-\epsilon$ ) به صورت  $k_t = \frac{c_p \mu t}{Pr_t}$  تعریف می‌شود.  $S_h$  نیز در برگیرنده گرمایی تولید شده در اثر واکنش‌های شیمیایی و یا هر گونه منبع گرمایی دیگر می‌باشد.

$$\bar{\tau} = \mu \left[ (\nabla \vec{v} + \nabla \vec{v}^T) - \frac{2}{3} \nabla \cdot \vec{v} \mathbf{I} \right] \quad (4)$$

$$E = h - \frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2} \quad (5)$$



شکل ۱- ساختمان و محیط حل

هزینه گرمایشی و یا جلوگیری از آن در راستای کاهش هزینه سرمایشی است. انرژی برخوردی خورشید به سطح دیوار یک ساختمان، تابعی از موقعیت جغرافیایی منطقه موردنظر، جهت‌گیری دیوار، شرایط و اقلیم آب و هوایی منطقه، موقعیت ساختمان‌های اطراف و همچنین نوع و پوشش زمین آن منطقه نسبت به ساختمان مرجع می‌باشد [۵]. در سال‌های اخیر، درک روند مصرف و تبیین روش‌هایی جهت بهینه‌سازی، مورد توجه پژوهشگران و مدیران انرژی در بخش مسکونی قرار گرفته است. در این زمینه، بزرگ و حیدری [۶] به بررسی تاثیر تابش دریافتی خورشید در بدنه‌های ساختمانی در شهر شیراز بر مصرف انرژی پرداخته‌اند. سوان و آگرمال [۷] به مرور ادبیات تکنیک‌های متفاوت استفاده شده در مدل‌سازی انرژی مصرفی بخش مسکونی پرداخته‌اند. تحقیقی در زمینه بهینه‌سازی مصرف انرژی در یک ساختمان آموزشی در شهر تبریز توسط ابراهیم پور و کریمی واحد [۸] انجام شده است. آن‌ها مقدار مصرف انرژی را با استفاده از نرم‌افزار Energy plus محاسبه کرده و با ایجاد تغییرات مختلفی از قبیل تغییر رنگ ساختمان، نوع و تعداد پنجره‌ها، نصب سایبان و... به بهینه‌سازی ساختمان پرداخته‌اند. در برخی تحقیقات، تاثیر رنگ ساختمان در قالب ضریب جذب خورشیدی دیوارهای خارجی ساختمان، نیز مورد توجه قرار گرفته است. آپوج و همکارانش [۹] به تحلیل تاثیر ضریب جذب (رنگ) دیواره ساختمان‌ها در مناطق گرم پرداخته‌اند. در تحقیقی دیگر، جیان و چنگون [۱۰] به بررسی تاثیر میزان ضریب جذب دیوارهای خارجی ساختمان بر میزان مصرف انرژی پرداخته‌اند. گروهی از محققین نیز به بررسی تاثیر عایق‌بندی ساختمان بر میزان مصرف انرژی پرداخته‌اند. در این راستا، بوستانی و میرزاپور [۱۱] به بررسی تاثیر محل نسب و نحوه توزیع عایق‌هایی در دیواره ساختمان بر روی مصرف انرژی پرداخته‌اند.

در این پژوهش سعی شده تا با بکارگیری نرم‌افزارهای قدرتمند موجود در زمینه دینامیک سیالات محاسباتی بتوان با انتخاب بهترین رنگ و بهترین مصالح برای ساختمانی مسکونی در شهر مشهد، میزان ورود انرژی خورشیدی را در تابستان به حداقل مقدار خود کاهش و در زمستان به بیشترین مقدار خود افزایش داد تا بتوان در مصرف انرژی جهت سرمایش و گرمایش ساختمان به میزان قابل توجهی صرفه‌جویی کرد.

هدف اصلی از انجام این پژوهش رسیدن به رنگی مناسب برای کل طول سال می‌باشد یعنی علاوه بر اینکه در گرمترین روز سال دمای کمتری داشته باشیم، در سردترین روز سال نیز دمای ساختمان را با استفاده از انرژی خورشیدی بالا ببریم، که برای تحقق این امر از فاکتور ضریب جذب استفاده شده است. در این راستا، ابتدا مدل مطالعاتی توسط نرم‌افزار Gambit به صورت سه بعدی طراحی و شبکه‌بندی شده و سپس توسط نرم‌افزار Fluent انرژی تابش خورشیدی تابیده شده به ساختمان شبیه‌سازی شده است.

## ۲- شبیه‌سازی عددی

در این بخش ابتدا به معرفی مدل مطالعاتی پرداخته شده و سپس به جزئیات شبیه‌سازی انجام گرفته در تحقیق پرداخته می‌شود.

### ۳-۲- جنس دیوار

یکی از اصلی‌ترین پارامترهای این پژوهش جنس ماده مورد استفاده در دیوار می‌باشد. به علت نزدیک بودن خواص سیمان به مواد مورد استفاده در ساخت دیوارها، جنس اصلی دیوارها را سیمان فرض کرده‌ایم. خصوصیات مورد نیاز سیمان در جدول (۱) آورده شده است. در مورد ضریب جذب باید گفت که چون می‌خواهیم در بازه  $0.9 \text{ تا } 0.4$  آن را بررسی کنیم، می‌بایست مراحل را در گرم‌ترین روز و سردترین روز برای هر کدام شش مرتبه با تعریف ضریب جذب جدید تکرار کنیم. در جدول (۲) نیز ضریب جذب برخی از مواد ارائه شده است.

جدول ۱- خواص سیمان

	چگالی ( $\text{kg/m}^3$ )
۷۰۰	
۱۰۵۰	
۰.۳۶	

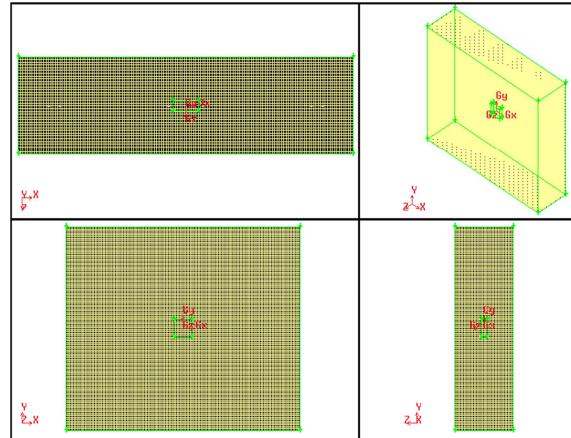
	گرمای ویژه ( $\text{J/K}$ )
۷۰۰	
۱۰۵۰	
۰.۳۶	

جدول ۲- ضریب جذب و رنگ برخی از مواد [۱۰]

ضریب جذب	رنگ	ماده
۰.۷	قهوه‌ای مایل به قرمز	آجر قرمز
۰.۵۲	حکستری	آجر حکستری
۰.۷۵	حکستری	آجر سیمان ازبست
۰.۷	حکستری فولادی	سیمان
۰.۷۵	قهوه‌ای مایل به قرمز	آجر سرخ
۰.۵	زرد کمرنگ (کرمی)	آجر سیلیسی
۰.۴۸	سفید	اندود آهک

### ۴-۲- شرایط مرزی

با توجه به این نکته که این نرم‌افزار توانایی محاسبه همزمان تابش خورشیدی و ضریب جذب و دمای فضای داخل را ندارد پژوهش را به دو بخش تقسیم نموده‌ایم. در بخش اول محیط حل و فضای خارجی ساختمان و در بخش دوم ساختمان و فضای داخلی آن بررسی شده



شکل ۲- مدل مطالعاتی شبکه‌بندی شده

### ۲-۲- مدل آشفتگی و مدل تابشی

تا کنون مدل‌های آشفتگی زیادی ارائه شده‌اند که هر کدام برای رژیم‌های خاص جریانی و حتی در ناحیه‌ای خاص از میدان جریان معبر و دقیق می‌باشند. هدف نهایی تمام مدل‌های آشفتگی محاسبه اندازه تنش رینولدز ( $R_{\text{el}}$ ) در نقاط مختلف جریان است. مدل‌های آشفتگی به سه دسته مدل‌های صفر، یک و دو معادله‌ای تقسیم‌بندی می‌شوند. برای مدل‌سازی آشفتگی در این تحقیق از روش k-ε استاندارد<sup>۱</sup> که یک مدل دو معادله‌ای می‌باشد، استفاده شده است. همچنین جهت مدل‌سازی رفتار ناحیه نزدیک دیواره، از تابع دیواره استاندارد<sup>۲</sup> که در جریان‌های معمولی رینولدز-بالا<sup>۳</sup> کاربرد دارد مورد استفاده قرار گرفته است. در روش k-ε و معادله انتقال اضافی<sup>۴</sup> - که معادله‌های Buoyancy و Turbulence Dissipation Rate نام دارد - حل می‌شوند و لزجت آشفته ( $k_{\text{t}}$ ) به عنوان تابعی از  $k$  و  $\epsilon$  به دست معادله‌های (۶) و (۷) می‌باشند [۱۵].

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \epsilon \quad (6)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho \epsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (G_k) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} + S_\epsilon \quad (7)$$

در معادله‌های (۶) و (۷)،  $G_k$  تولید انرژی جنبشی آشفتگی ناشی از گردابیان‌های سرعت متوسط،  $G_b$  تولید انرژی جنبشی آشفتگی ناشی از شناوری<sup>۵</sup> و  $S_\epsilon$  سهم اتساع نوسانی<sup>۶</sup> در آشفتگی تراکم‌پذیر، از نرخ اتلاف کل<sup>۷</sup> می‌باشد. همچنین  $C_{1\epsilon} = 1.44$ ،  $C_{2\epsilon} = 1.92$  و  $\sigma_\epsilon = 1.3$  می‌باشد. همچنین  $\mu_t = 0.09$  می‌باشد. همچنین  $\sigma_k = 1$  و  $\sigma_\epsilon = 0.09$  می‌باشد. به ترتیب بیان‌گر عدد پرانتل آشفته برای  $k$  و  $\epsilon$  می‌باشند [۱۶].

1Standard k- $\epsilon$

2Standard Wall Function

3High-Reynolds

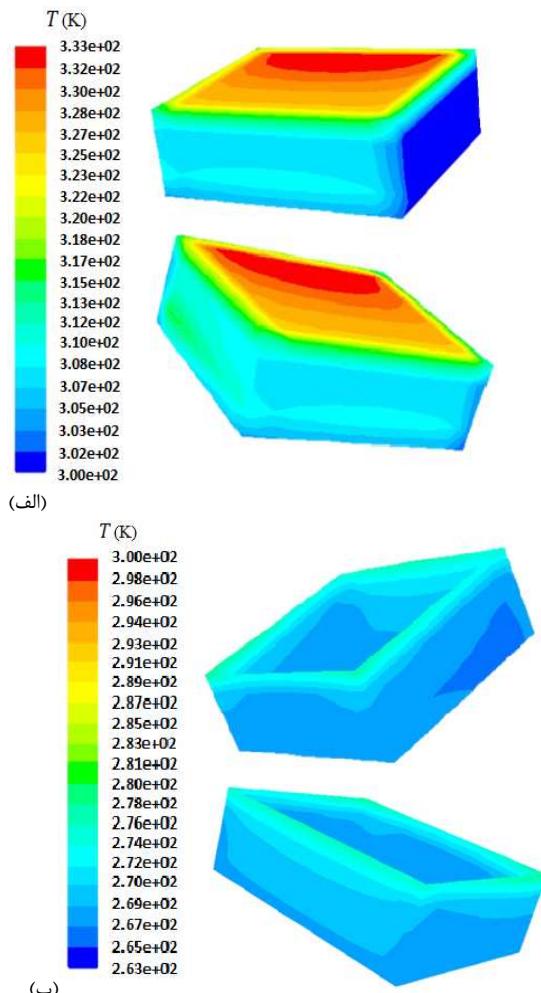
4 Two Additional Transport Equation

5Turbulence Kinetic Energy

6 Fluctuating Dilatation

7Overall Dissipation Rate

جهت تابش، یکی از دیوارها نسبت به سایرین دمای بیشتری دارد. شکل (۳) مربوط به توزیع حرارت در سقف و دیوارها در دو فصل گرم و سرد می‌باشد که در تصدیق مطالب اشاره شده فوق آورده شده است.



شكل ٣- توزيع دما در سقف و دیوارها، (الف) فصل گرم، (ب) فصل سرد

همانطور که در تصاویر شکل (۳) مشخص است، زاویه تابش در فصل تابستان و در فصل زمستان کاملاً متفاوت است و این موضوع بیانگر عملکرد صحیح تابش در محیط نرم‌افزار Fluent می‌باشد.

در جدول‌های (۴) و (۵)، میانگین دمای سقف و تمام دیوارها، به ترتیب در فصول گرم و سرد آورده شده است.

#### جدول ۴- میانگین دمای سقف و دیوارها در فصل گرم

سقف	٤ ديوار	٣ ديوار	٢ ديوار	١ ديوار	ضربي جذب
٦٠,١٢	٣٠,٣٣	٣٠,٤٨	٣٥,٨٤	٥٠,٢٣	٠,٤
٦١,٤٦	٣٠,٦٩	٣٠,٧٣	٣٦,٢٤	٥١,٠٤	٠,٥
٦٢,٢	٣١,١	٣١	٣٦,٦٨	٥١,٩٦	٠,٦
٦٣,٣١	٣١,٤٥	٣١,٣٣	٣٧	٥٢,٧٨	٠,٧
٦٤,٢٢	٣١,٧٣	٣١,٨٤	٣٧,٥٦	٥٣,٤٣	٠,٨
٦٥,٠١	٣٢,١٤	٣٢,٢٢	٣٨,٠١	٥٤,٠١	٠,٩

است. وجهی از محیط حل که باد با سرعت معین به صورت عمود بر آن وارد محیط حل می‌شود (وجهی که بر روی صفحه XZ قرار دارد) به عنوان شرط مرزی سرعت ورودی انتخاب کردایم. به جز کف محیط حل که دارای شرط مرزی از نوع دیواره می‌باشد، سایر وجههای محیط حل دارای شرط مرزی فشار خروجی می‌باشند. شرایط مرزی تمامی وجههای ساختمان نیز از نوع دیواره هستند.

۳- نتایج و بررسی آن‌ها

در این بخش به بررسی نتایج و داده‌های به دست آمده از نرم‌افزار می‌پردازیم. ابتدا نتایج مربوط به فاز اول را بررسی می‌کنیم. همانطور که اشاره شد، با توجه به این نتکته که نرم‌افزار Fluent توانایی محاسبه همزمان تابش خورشیدی و ضریب جذب و دمای فضای داخل را ندارد پژوهش را به دو بخش تقسیم نموده‌ایم. به این صورت که ابتدا با استفاده از مدل اول طراحی شده در گمیت که فقط محیط حل و فضای خارجی ساختمان مورد بررسی قرار می‌گیرد، میزان گرمای جذب شده توسط دیوارها مورد محاسبه قرار گرفته و سپس در فاز دوم پژوهش روی مدل دوم طراحی شده در گمیت که فقط ساختمان و فضای داخلی آن مورد بررسی قرار می‌گیرد، با ثابت در نظر گرفتن میزان حرارت دیوارها که خروجی فاز اول می‌باشد، میزان تغییرات دمای داخلی را مورد محاسبه قرار می‌دهیم.

### ۳- نتایج استقلال از تعداد شبکه

جدول (۳) نشان دهنده نتایج مربوط به استقلال از تعداد سلول-های محاسباتی (مش) به کار رفته در هندسه می‌باشد. این جدول نشان دهنده میزان درجه حرارت داخل ساختمان در فصل سرد است و برای نمونه برای ضریب جذب  $0.6$  آورده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، از تعداد سلول  $394000$  به  $448000$ ، تغییر چندانی در نتایج ایجاد نمی‌شود و درصد اختلاف نسبی بین نتایج این دو نمونه، حدود  $14\%$  می‌باشد که بسیار ناچیز می‌باشد. لذا تعداد سلول‌های به کار رفته در نمونه نهایی این پژوهش برابر تقریباً  $448000$  سلول در نظر گرفته شده است.

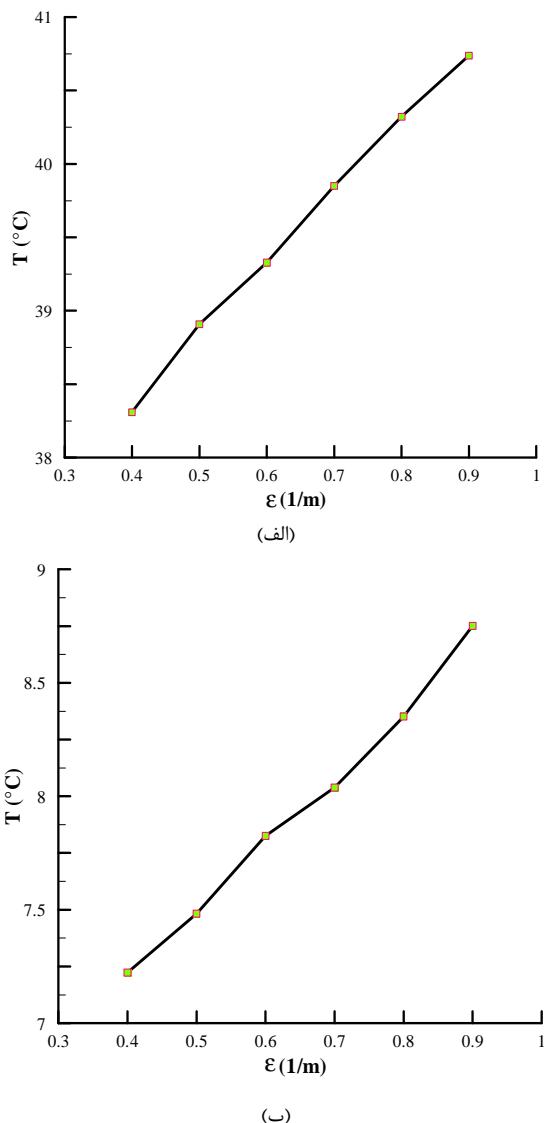
### جدول ۳- تأثیر تعداد مش بر دمای ساختمان (به عنوان نمونه برای ضریب چذب ۶۰ و فصل سرد)

تعداد سلوی	دماي داخل ساختمان (°C)
۳۴۶...	۷,۷۰۱
۳۹۴...	۷,۸۱۴
۴۴۸...	۷,۸۲۵

۳-۲- نتایج فاز اول پژوهش

در استفاده از منوی خورشیدی به دلیل اینکه نرمافزار با توجه به موقعیت جغرافیایی اعلام شده زاویه و جهت تابش خورشید را مدل می‌کند، میزان گرمایی که به هریک از دیوارها و سقف می‌رسد در تابستان و زمستان متفاوت می‌باشد. به عنوان مثال در تابستان به علت اینکه خورشید تقریباً به صورت عمود می‌تابد، دمای متوسط سقف بیشتر از سایر دیوارها می‌باشد و در زمستان نیز به علت مایل بودن

مشخص شده برای ضریب جذب، ۲/۴ می باشد)، توانستیم هوای داخل ساختمان را به میزان ۱/۸ درجه سلسیوس سرد کنیم ولی در نقطه مقابل برای فصل سرد فقط توانستیم ۰/۲۶ درجه سلسیوس هوا را گرم کنیم. لذا این ضریب جذب برای استفاده در کل طول سال بهینه نمی باشد و قابل استفاده نیست.  
نکته قابل توجه این است که از بین ضریب جذب های موجود، به منظور انتخاب بهینه ترین ضریب برای کل سال باید بر روی منحنی فصل گرم در نمودار شکل ۶ از سمت بیشترین ضریب به سمت کمترین ضریب و متعاقباً کاهش دما حرکت کنیم و بر روی منحنی فصل سرد از سمت کمترین ضریب به سمت بیشترین ضریب و متعاقباً افزایش دما پیش رفته تا در نهایت در بهترین ضریب این دو مسیر با هم تلاقی پیدا کنند.



شکل ۴- نمودار دمای داخلی ساختمان بر حسب ضریب جذب برای، (الف) فصل گرم، (ب) فصل سرد

جدول ۵- میانگین دمای سقف و دیوارها در فصل سرد

ضریب جذب	دیوار ۱	دیوار ۲	دیوار ۳	دیوار ۴	سقف
۰/۴	۳/۱۳	۳/۰۱	۲/۳۱	۷/۴	-۰/۵۲۳
۰/۵	۴/۱	۳/۸۵	۳/۴۲	۸	-۰/۳۵۶
۰/۶	۵/۳	۵/۲	۴/۸۶	۸/۶	-۰/۱۵
۰/۷	۵/۹۶	۵/۸	۴	۹/۰۲۱	۰/۰۱۳
۰/۸	۶/۶۷	۶/۴	۴/۵۳	۹/۶۳	۰/۳
۰/۹	۷/۶۳	۷/۵۶	۵/۰۱۶	۱۰/۳۲	۰/۵

### ۳-۳- نتایج فاز دوم پژوهش

با توجه به توضیحات اشاره شده در بخش های گذشته، خروجی فاز اول پژوهش داده های ورودی فاز دوم را تشکیل می دهد. با استفاده از دمای دیوارها برای هر ضریب جذب، میزان دمای داخل ساختمان گرم و سرد به صورت نمودارهای شکل ۴ بدست خواهد آمد که با توجه به دقت بالای نرم افزار می توان پاسخ های بدست آمده را تحلیل نمود و بهینه ترین ضریب جذب را برای کل طول سال انتخاب نمود. در شکل (۴)، نمودارهای مقادیر دمای داخل ساختمان بدست آمده برای هر یک از ضرایب جذب رسم شده است. همانطور که مشاهده می شود هردو نمودار فضول گرم و سرد به صورت پیوسته و صعودی هستند. یعنی با افزایش ضریب جذب میزان دمای فضای داخلی ساختمان نیز افزایش می یابد. از طرفی میزان شبیه نمودار مربوط به فصل گرم بیشتر از فصل گرم است و این موضوع باعث می شود تا با کاهش دما در تابستان که یکی از اهداف پژوهش می باشد، میزان کاهش دما در زمستان نیز مقداری باشد که از لحاظ مصرف انرژی به صرفه باشد.

شکل ۵ نشان دهنده اختلاف دما موجود بین هر کدام از ضریب جذب ها و بر اساس تغییر ضریب جذب در بازه ۰/۴ تا ۰/۹ می باشد. همانطور که در این نمودار مشاهده می شود، بیشترین میزان اختلاف دما در هر دو فصل در حد فاصل ضرایب ۰/۴ و ۰/۵ می باشد. شکل (۶) که نتیجه نهایی در مورد بهترین ضریب جذب - که معرف رنگ بهینه می باشد - را برای ما مشخص می کند، بیانگر کل تغییرات دمایی بر اثر تغییر ضریب جذب در بازه ۰/۹ الی ۰/۴ می باشد که این تغییرات دما برای فصل ۲/۴ درجه سلسیوس و برای فصل سرد ۱/۷۷ درجه سلسیوس می باشد. با توجه به ساختار نمودار، هر خط عمود بر محور ضریب جذب که با توجه به مقدار مشخص و ثابتی از ضریب جذب رسم می شود در دو نقطه، دو منحنی فضول سرد و گرم را قطع می کند که هر کدام از نقاط بدست آمده بیانگر تغییر دمایی یک ضریب جذب مشخص برای دو روز از سال که از لحاظ دمایی بدترین شرایط را دارد، می باشد. اهمیت این نقاط در این است که میزان تغییر دمایی یک ضریب جذب مشخص نسبت به کل تغییر دما در بازه ضریب جذب را در اختیار ما قرار می دهد.

با توجه به نمودار شکل ۶ و مطالعه اشاره شده فوق، برای در ک بهتر به این مثال توجه کنید: برای ضریب جذب ۰/۵ با توجه به خط عمودی که از این ضریب جذب رسم می کنیم، دو منحنی فضول سرد و گرم را در نقاط ۰/۲۶ و ۰/۰۶ قطع می کند که بیانگر آن است که با انتخاب این ضریب جذب در فصل تابستان (که تغییرات دمایی کل این فصل در بازه

#### ۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله به تحلیل عددی میزان تاثیر ضریب جذب (رنگ) دیوارهای خارجی یک ساختمان مسکونی بر میزان مصرف انرژی پرداخته شده است. ساختمان مورد مطالعه در این پژوهش واقع در شهر مشهد می‌باشد و مدل‌سازی آن به صورت سه بعدی انجام گرفته است. برای شبیه‌سازی انرژی تابیده شده به ساختمان از نرم‌افزار Fluent بهره گرفته شده است.

ضریب جذب دیواره خارجی ساختمان در بازه  $0.4 \text{ a } 0.9$  مورد بررسی قرار گرفته و بر اثر تغییر ضریب جذب در این بازه، کل تغییرات دما برای فصل گرم  $2/4$  درجه سلسیوس و برای فصل سرد  $1/77$  درجه سلسیوس می‌باشد. بهترین رنگی که می‌تواند برای دیواره خارجی ساختمان استفاده شود رنگی است که باعث شود در هردو فصل گرم و سرد از نظر مصرف انرژی بهینه باشد. لذا با بررسی ضریب جذب مواد و رنگ‌های مختلف، و با در نظر گرفتن هر دو فصل گرم و سرد، بهترین رنگ برای دیوارهای ساختمانی در شهر مشهد، رنگ طوسی می‌باشد که در طول کل سال با کاهش دما به میزان  $1/5$  درجه سلسیوس در تابستان و افزایش دمای  $0.8$  درجه سلسیوس در زمستان به میزان قابل توجهی انرژی برق و گاز مصرفی شهر را کاهش می‌دهد.

#### ۵- نمادها

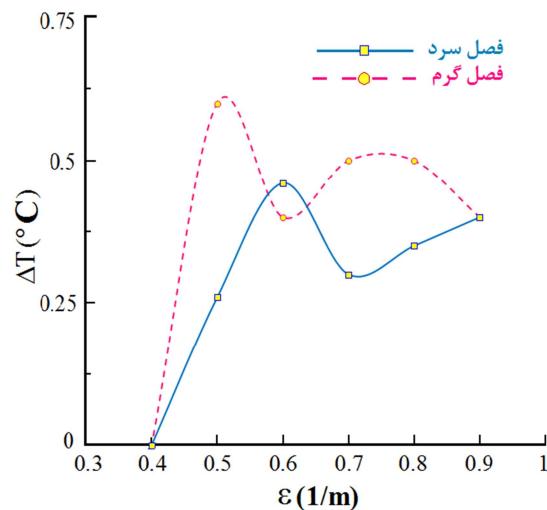
گرمای ویژه فشار ثابت( $\text{J/kgK}$ )	$c_p$
گرمای ویژه حجم ثابت( $\text{J/l}$ )	$c_v$
انرژی کل ( $\text{J}$ )	$E$
شتاب جاذبه ( $\text{m/s}^2$ )	$g$
تانسور واحد	$I$
رسانایی گرمایی ( $\text{W/mK}$ )	$k$
(Pa)	$p$
عدد پرانتل	$Pr$
(Dما) (K)	$T$
سرعت ( $\text{m/s}$ )	$u$

#### حروف یونانی

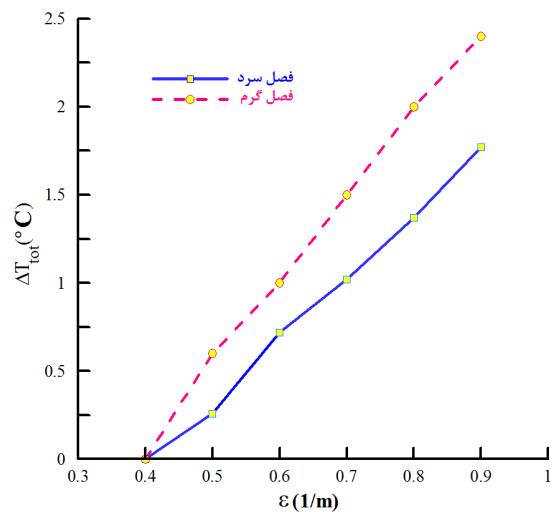
نرخ اتلاف آشفتگی	$\epsilon$
انرژی گنجشی آشفتگی	$\kappa$
لرجت ( $\text{kg/ms}$ )	$\mu$
نسبت گرمای ویژه	$\gamma$
چگالی ( $\text{kg/m}^3$ )	$\rho$
تانسور تنش	$\tau$

#### ۶- مراجع

- [1] Mohseni-Gharyehsafa B., Ebrahimi-Moghadam A., Okati V., Farzaneh-Gord M., Ahmadi M. H., Lorenzini G., Optimizing flow properties of the different nanofluids inside a circular tube by using entropy generation minimization approach, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2018, <https://doi.org/10.1007/s10973-018-7276-x>.
- [2] Ebrahimi-Moghadam A., Mohseni-Gharyehsafa B., and Farzaneh-Gord M., Using artificial neural network and quadratic algorithm for minimizing entropy generation of Al2O3-EG/W nanofluid flow inside parabolic trough solar collector, Renewable Energy, Vol. 129, pp. 473-485, 2018.



شکل ۵- تغییرات دما بر حسب ضریب جذب برای فصول گرم و سرد



شکل ۶- کل تغییرات دما بر حسب ضریب جذب برای فصول گرم و سرد

#### ۴-۳- انتخاب بهترین رنگ

در بخش‌های قبل نتایج حاصل از انجام پژوهش مورد بحث و بررسی قرار گرفت. اکنون با توجه به نتایج فوق و مثال ارائه شده بهترین ضریب جذب که در کل طول سال بهینه باشد می‌باشد بین  $0.6$  تا  $0.7$  انتخاب شود زیرا با انتخاب ضریب جذب  $0.6$ ، علاوه بر کاهش  $1/5$  درجه سلسیوسی دما در فصل گرم، می‌توانیم به اندازه  $0.72$  درجه سلسیوس-که تقریباً نیمی از کل افزایش حرارتی است- در سرد دما را افزایش دهیم. با استدلالی مشابه برای ضریب جذب  $0.7$  نیز  $1$  درجه سلسیوس کاهش دما در فصل گرم و  $0.2$  درجه سلسیوس افزایش دما در فصل سرد خواهیم داشت.

در نهایت با توجه به جدول (۲)، مناسب‌ترین رنگ برای استفاده در یک ساختمان واقع در شهر مشهد، رنگ طوسی می‌باشد که در کل طول سال با کاهش دما به میزان  $1/5$  درجه سلسیوس در فصل گرم و افزایش دمای  $0.8$  درجه سلسیوس در فصل سرد به میزان قابل توجهی انرژی برق و گاز مصرفی شهر را کاهش می‌دهد.

[۳] شاه نظری هدی، آهنین پژوه کیارش، بررسی اثر دیوارهای خارجی در مصرف انرژی ساختمان های مسکونی، دومین همایش ملی اقلیم، ساختمان و بهینه سازی مصرف انرژی(با رویکرد توسعه پایدار)، اصفهان، ۱۳۹۲

[۴] Aras H., and Aras N., Forecasting Residential Natural Gas Demand, Energy Sources, vol. 26, pp. 463-472, 2004.

[۵] سبزپوشانی مجید، خراسانیزاده حسین، شیخزاده قبر علی، بررسی تاثیر جهتگیری، جنس و رنگ چداره بیرونی ساختمان بر حرارت اکتسابی از خورشید، پنجمین همایش بهینه سازی مصرف سوخت در ساختمان، تهران، ۱۳۸۵

[۶] برزگر زهرا، حیدری شاهین، بررسی تاثیر تابش دریافتی خورشید در بدندهای ساختمان بر مصرف انرژی بخش خانگی، نشریه هنرهای زیبا، دوره ۱۸، شماره ۱، صفحات ۴۵-۵۶، بهار ۱۳۹۲

[۷] Swan H. G., and Ugursal V. I., Modeling of end-use consumption in the residential sector: A review of modeling techniques, Renewable and sustainable energy reviews, Vol. 13, pp. 1819-1835, 2009.

[۸] ابراهیم پور عبدالسلام، کریمی واحد یوسف، روش‌های مناسب بهینه‌سازی مصرف انرژی در یک ساختمان دانشگاهی در تبریز، نشریه علمی پژوهش مهندسی مکانیک مدرس، دوره ۱۲، شماره ۴، صفحات ۹۱-۱۰۴، آبان ۱۳۹۱

[۹] Alpuche M. G., Gonzalez I., Ochoa J. M., Marincic I., Duarte A., and Valdenebro E., Influence of absorptance in the building envelope of affordable housing in warm dry climates, Energy Procedia, Vol. 57, pp. 1842-1850, 2014.

[۱۰] Jian Y., and Chengwen Y., Effects of Solar Absorption Coefficient of External Wall on Building Energy Consumption, International Science Index, Vol. 5, pp. 654-656, 2011.

[۱۱] Boostani H., and Mirzapour E., Impact of external walls insulation location and distribution on energy consumption in buildings: A case study of Northern Cyprus, European Online Journal of Natural and Social Sciences, Vol. 4, pp. 737-741, 2015.

[۱۲] Versteeg H. K., and Malalasekera W., An introduction to computational fluid dynamics; the finite volume method, Longman Scientific and Technical, London, 1995.

[۱۳] FLUENT 6.3 User's Guide, February 2003.

[۱۲] Ebrahimi M. A., Farzaneh G. M., and Deimi DB. M., Develop an equation to calculate the amount of gas leakage from buried distribution gas pipelines, Iranian Journal of Mechanical Engineering, Vol. 18, no. 2, pp. 64-86, 2016.

[۱۳] Dormohammadi R., Farzaneh-Gord M., Ebrahimi-Moghadam A., and Ahmadi M. H., Heat transfer and entropy generation of the nanofluid flow inside sinusoidal wavy channels, Journal of Molecular Liquids, Vol. 269, pp. 229-240, 2018.

[۱۴] Ebrahimi-Moghadam A., Farzaneh-Gord M., Arabkoohsar A., and Jabari Moghadam A., CFD analysis of natural gas emission from damaged pipelines: Correlation development for leakage estimation, Journal of Cleaner Production, Vol. 199, pp. 257-271, 2018.

[۱۵] Ebrahimi-Moghadam A., Farzaneh-Gord M., and Deymi-Dashtebayaz M., Correlations for estimating natural gas leakage from above-ground and buried urban distribution pipelines, Journal of Natural Gas Science and Engineering, Vol. 34, pp. 185-196, 2016.

[۱۶] Farzaneh-Gord M., Pahlevan-Zadeh M. S., Ebrahimi-Moghadam A., and Rastgar S., Measurement of methane emission into environment during natural gas purging process, Environmental Pollution, 2018, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.07.027>.