

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

امیر ابراهیمی مقدم*
 سید مجید هاشمیان
 امین ابراهیمی مقدم

دانشجوی دکتری، دانشگاه صنعتی شاهرود، دانشکده مهندسی مکانیک، شاهرود، ایران
 استادیار، دانشگاه صنعتی شاهرود، دانشکده مهندسی مکانیک و مکاترونیک، شاهرود، ایران
 مربی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد آزادشهر، گروه مهندسی عمران، آزادشهر، ایران

چکیده

نیاز به انرژی در زندگی کنونی به سرعت در حال افزایش است و این در حالیست که منابع انرژی محدود می‌باشند. در این مقاله با استفاده از روش‌های عددی و با بررسی ضریب جذب رنگ‌های مختلف دیواره خارجی یک ساختمان واقع در شهر مشهد، مناسب‌ترین رنگ دیواره بیرونی جهت کاهش مصرف انرژی در تمام فصول سال انتخاب شده است. ساختمان مورد بررسی توسط نرم‌افزار Gambit به صورت سه بعدی مدل‌سازی و شبکه‌بندی شده است. شبیه‌سازی انرژی تابش خورشیدی تابیده شده به ساختمان که محور اصلی پژوهش می‌باشد، توسط نرم‌افزار Fluent و با توجه به موقعیت مکانی قرارگیری ساختمان و در یک جریان آشفته انجام شده است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد با انتخاب مناسب‌ترین رنگ، در کل طول سال با کاهش دما به میزان ۱٫۵ درجه سلسیوس در فصل گرم و افزایش دمای حدود یک درجه سلسیوس در فصل سرد به میزان قابل توجهی انرژی برق و گاز مصرفی را کاهش خواهیم داشت. در انتها با بررسی ضریب جذب رنگ‌های مختلف، بر اساس نتایج پژوهش رنگ طوسی به عنوان مناسب‌ترین رنگ در جهت کاهش مصرف انرژی ساختمان انتخاب شده است.

واژه‌های کلیدی: کاهش مصرف انرژی، ضریب جذب، ساختمان مسکونی، شبیه‌سازی 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 انرژی و بهینه‌سازی آن‌ها می‌تواند تاثیر چشمگیری در کاهش انرژی مورد نیاز ساختمان در فصول مختلف سال داشته باشد. چه بسا هزینه اولیه بهینه‌سازی ساختمان می‌تواند بسیار کمتر از هزینه‌های مصرف انرژی ساختمان غیر بهینه، در طول دوره عمر ساختمان باشد [۳].

در ایران انرژی مصرف شده در ساختمان‌ها حدود ۴۰ درصد از انرژی کل مصرفی را به خود اختصاص می‌دهد که در مقایسه با سایر کشورها میزان زیادی می‌باشد. در این میان سوخت‌های فسیلی به خصوص گاز طبیعی بیشترین مصرف را در بین سایر مولفه‌های انرژی دارند و ۷۰ درصد از گاز طبیعی کشور برای مصارف ساختمان‌ها به کار می‌رود که میزان قابل توجهی در مقایسه با سایر کشورهای در حال توسعه، چون ترکیه با ۱۸ درصد مصرف گاز در بخش مسکن می‌باشد [۴].

یکی از مهم‌ترین روش‌های بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌ها، بهره جستن مناسب از انرژی خورشید در جهت کاهش

۱- مقدمه

در طی ۳۰ سال گذشته احتیاجات انرژی جهان به مقدار قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته است [۱]. نتایج تحقیقات در سال‌های اخیر نشان می‌دهد، بهترین جایگزین برای انرژی‌های فسیلی، انرژی خورشیدی می‌باشد. ارزانی و دسترس پذیری آسان از عوامل گسترش استفاده از انرژی خورشیدی است [۲]. امروزه به علت کاهش چشم‌گیر منابع سوخت‌های فسیلی فعالیت‌های زیادی در زمینه بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان صورت می‌گیرد. تاثیر پوسته ساختمان از نظر فیزیکی در صرفه‌جویی انرژی و تاثیر جزئیات اجرایی و لایه‌های به کار رفته در دیوار در بهره‌وری از انرژی بسیار مهم است. پوسته خارجی ساختمان بیشترین ارتباط را با فضای خارج داشته و عوامل آب و هوایی همچون تابش و باد و بازشوهای رو به فضای خارج نیز در طول عمر ساختمان، بیشترین میزان اتلاف انرژی را دارند. شناخت این دریچه‌های

۲-۱- مدل مطالعاتی و معادلات حاکم

همانطور که اشاره شد مدل مطالعاتی 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 به وسیله روش حجم محدود مورد مطالعه قرار گرفته است. معادلات حاکم بر مساله شامل معادله بقا جرم (معادله پیوستگی)، معادله بقا اندازه حرکت (معادله مومنوم) و معادله بقا انرژی می‌باشد که به ترتیب به صورت روابط (۱) تا (۳) تعریف می‌شوند.

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

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

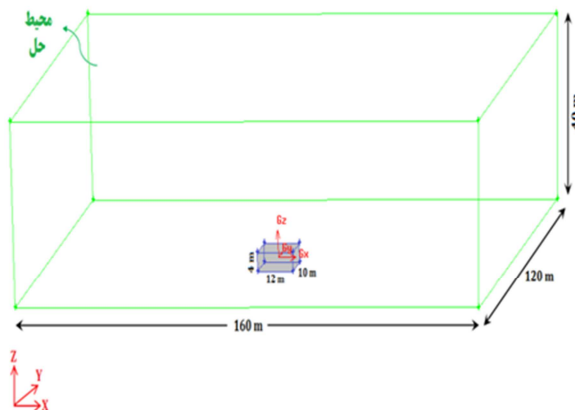
$$\frac{\partial}{\partial x_i} [u_i (\rho E + p)] = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[k_{eff} \frac{\partial T}{\partial x_j} + u_i (\bar{\tau}_{ij})_{eff} \right] + S_h \quad (3)$$

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 $-\rho \bar{u}_i \bar{u}_j$ بیانگر مؤلفه‌های تنش رینولدز می‌باشند. تانسور تنش $(\bar{\tau})$ نیز به صورت رابطه (۴) تعریف می‌شود [۱۲، ۱۳].

در معادله (۳)، E انرژی کل می‌باشد و به صورت رابطه (۵) تعریف می‌شود. k_{eff} رسانایی گرمایی موثر $(k + k_t)$ می‌باشد، که در آن k_t رسانایی گرمایی آشفته بوده و بر اساس مدل آشفستگی استفاده شده، تعیین می‌گردد و در مدل‌های آشفستگی ک- ϵ یا پسیلون $(k-\epsilon)$ به صورت $k_t = \frac{C_p \mu_t}{Pr_t}$ تعریف می‌شود. S_h نیز دربرگیرنده گرمای تولید شده در اثر واکنش‌های شیمیایی و یا هر گونه منبع گرمایی دیگر می‌باشد [۱۴].

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

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



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 مورد نظر، جهت گیری 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، برزگر و حیدری [۶] به بررسی تاثیر تابش دریافتی خورشید در بدنه‌های ساختمانی در شهر شیراز بر مصرف انرژی پرداخته‌اند. سوان و آگورسال [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 انرژی خورشیدی دیواره‌های خارجی ساختمان، نیز مورد توجه قرار گرفته است. آلیوچ و همکارانش [۹] به تحلیل تاثیر ضریب جذب (رنگ) دیواره ساختمانی‌ها در مناطق گرم پرداخته‌اند. در تحقیقی دیگر، جیان و چنگون [۱۰] به بررسی تاثیر میزان ضریب جذب دیواره‌های 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 نصب 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.

شایان ذکر است که محور اصلی این پژوهش تابش خورشیدی یا سولار می‌باشد. نرم‌افزار Fluent امکانی را در اختیار قرار می‌دهد تا بتوان با توجه به موقعیت جغرافیایی و زمان، میزان گرمای خورشیدی که به زمین می‌رسد را مورد استفاده قرار داد. بر این اساس بایستی مشخصات جغرافیایی مکان مورد بررسی و زمان انجام تحقیق را به طور دقیق در اختیار داشته باشیم. طول جغرافیایی مکان مورد بررسی در این پژوهش برابر ۵۹ درجه و ۱۵ دقیقه، عرض جغرافیایی برابر ۳۵ درجه و ۴۳ دقیقه و میزان اختلاف ساعت نیز ۳/۵+ می‌باشد. در مورد زمان آزمایش باید گفت که چون هدف این پژوهش بهینه‌سازی مصرف انرژی می‌باشد، برای تحقق این امر می‌بایست آزمایش را در بحرانی‌ترین شرایطی که ممکن است به وجود آید بررسی کنیم. با توجه به این نکته این پژوهش می‌بایست در گرم‌ترین و سردترین روزهای سال مورد بررسی قرار گیرد، از این رو با توجه به میزان شار گرمایی که قسمت مدل‌سازی خورشیدی نرم‌افزار Fluent در اختیار ما قرار می‌دهد تاریخ دهم مرداد ماه بعنوان گرم‌ترین روز سال و سی‌ام آذر ماه به عنوان سردترین روز انتخاب شدند.

۳-۲- جنس دیوار

یکی از اصلی‌ترین پارامترهای این پژوهش جنس ماده مورد استفاده در دیوار می‌باشد. به‌علت 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 ۰.۴ تا ۰.۹ آن را بررسی کنیم، می‌بایست مراحل را در گرم‌ترین روز و سردترین روز برای هرکدام 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

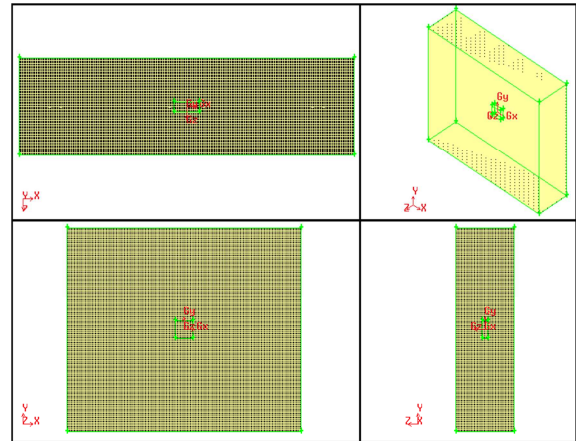
۷۰۰	چگالی (kg/m ³)
۱۰۵۰	گرمای ویژه (J/kgK)
۰.۳۶	رسانایی گرمایی (W/mK)

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

ضریب جذب	رنگ	ماده
۰.۷	قهوه‌ای مایل به قرمز	آجر قرمز
۰.۵۲	خاکستری	آجر خاکستری
۰.۷۵	خاکستری	آجر سیمان ازبست
۰.۷	خاکستری 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 معتبر و دقیق می‌باشند. هدف نهایی تمام مدل‌های آشفتگی محاسبه اندازه تنش رینولدز ($-\rho \overline{u_i u_j}$) 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 $k-\epsilon$ استاندارد^۱ که یک مدل دو معادله‌ای می‌باشد، استفاده شده است. همچنین جهت مدل‌سازی رفتار ناحیه نزدیک دیواره، از تابع دیواره استاندارد^۲ که در جریان‌های معمولی رینولدز-بالا^۳ کاربرد دارد مورد استفاده قرار گرفته است. در روش $k-\epsilon$ دو معادله انتقال اضافی^{۴-۵} که معادله‌های Turbulence Dissipation Rate و Buoyancy نام دارند - حل می‌شوند و لزجت آشفتگی (μ_t) به‌عنوان تابعی از k و ϵ به‌دست می‌آید. معادله‌های k و ϵ در روش $k-\epsilon$ استاندارد به‌ترتیب به‌صورت معادله‌های (۶) و (۷) می‌باشند [۱۵].

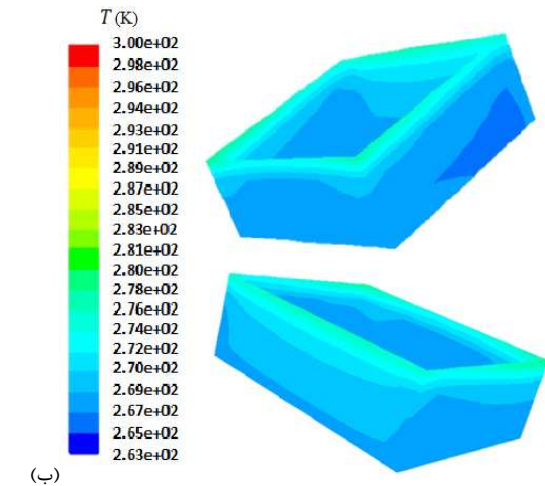
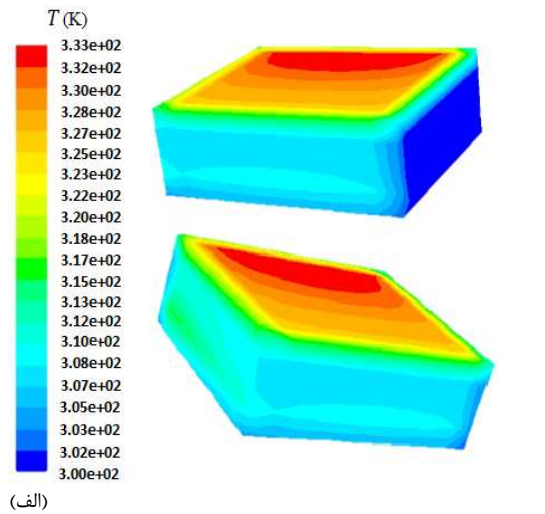
$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \epsilon \quad (6)$$

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

در معادله‌های (۶) و (۷)، G_k تولید انرژی جنبشی آشفتگی ناشی از گردایان‌های سرعت متوسط، G_b تولید انرژی جنبشی آشفتگی ناشی از شناوری^۶ و Y_M سهم اتساع نوسانی^۷ در آشفتگی تراکم‌پذیر، از نرخ اتلاف کل^۸ می‌باشد. همچنین $C_{1\epsilon} = 1.44$ ، $C_{2\epsilon} = 1.92$ و $C_{2\epsilon}$ و $C_{1\epsilon}$ ثابتی هستند. لزجت آشفتگی نیز به‌صورت $\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\epsilon}$ تعریف می‌شود که در آن $C_\mu = 0.09$ می‌باشد. همچنین $\sigma_k = 1$ و $\sigma_\epsilon = 1.3$ به‌ترتیب بیان‌گر عدد پراگتال آشفتگی برای k و ϵ می‌باشند [۱۶].

- 1 Standard k-ε
- 2 Standard Wall Function
- 3 High-Reynolds
- 4 Two Additional Transport Equation
- 5 Turbulence Kinetic Energy
- 8 Fluctuating Dilatation
- 9 Overall 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.



شکل ۳- توزیع 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 کاملا متفاوت است و این موضوع بیانگر عملکرد صحیح تابش در محیط نرم افزار 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

ضریب جذب	دیوار ۱	دیوار ۲	دیوار ۳	دیوار ۴	سقف
۰.۴	۵۰.۲۳	۳۵.۸۴	۳۰.۴۸	۳۰.۳۳	۶۰.۱۲
۰.۵	۵۱.۰۴	۳۶.۲۴	۳۰.۷۳	۳۰.۶۹	۶۱.۴۶
۰.۶	۵۱.۹۶	۳۶.۶۸	۳۱	۳۱.۱	۶۲.۲
۰.۷	۵۲.۷۸	۳۷	۳۱.۳۳	۳۱.۴۵	۶۳.۳۱
۰.۸	۵۳.۴۳	۳۷.۵۶	۳۱.۸۴	۳۱.۷۳	۶۴.۲۲
۰.۹	۵۴.۰۱	۳۸.۰۱	۳۲.۲۲	۳۲.۱۴	۶۵.۰۱

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 کرده‌ایم. 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 نکته 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 گمبیت 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 گمبیت 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.

۳-۱- نتایج استقلال از تعداد شبکه

جدول (۳) نشان دهنده نتایج مربوط به استقلال از تعداد سلول‌های 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 ۰.۶ آورده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، از تعداد سلول ۳۹۴۰۰۰ به ۴۴۸۰۰۰، تغییر چندانی در نتایج ایجاد نمی‌شود و درصد اختلاف نسبی بین نتایج این دو نمونه، حدود ۰.۱۴٪ می‌باشد که بسیار ناچیز می‌باشد. لذا تعداد سلول‌های به کار رفته در نمونه نهایی این پژوهش برابر تقریباً ۴۴۸۰۰۰ سلول در نظر گرفته شده است.

جدول ۳- تاثیر تعداد مش بر دمای ساختمان (به عنوان نمونه برای ضریب جذب ۰.۶ و فصل سرد)

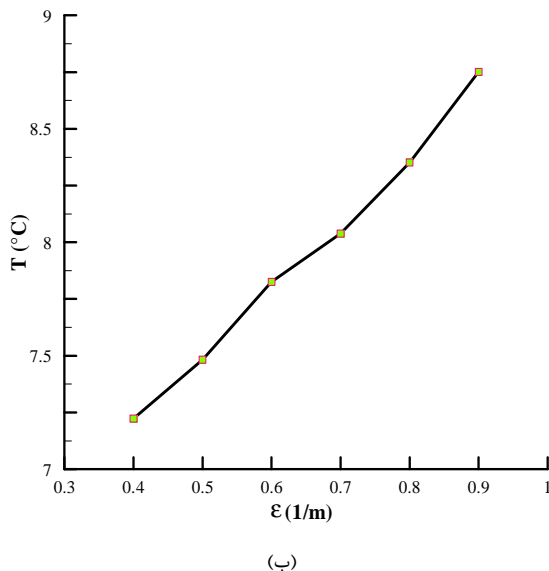
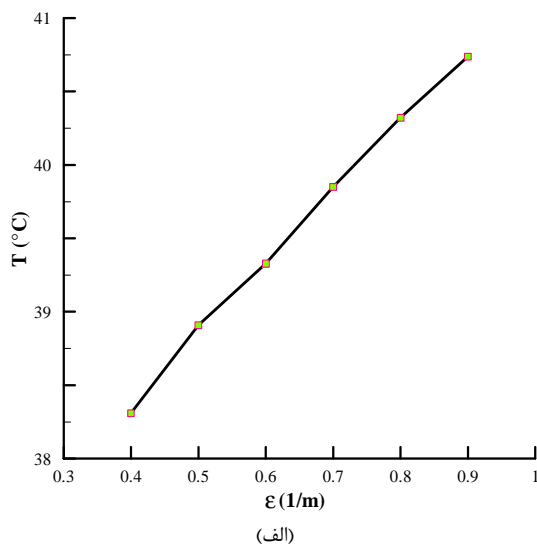
تعداد سلول	دمای داخل ساختمان (°C)
۳۴۶۰۰۰	۷.۷۰۱
۳۹۴۰۰۰	۷.۸۱۴
۴۴۸۰۰۰	۷.۸۲۵

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 هر یک 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 می‌باشد، 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 نمی‌باشد و قابل استفاده نیست.

نکته قابل توجه این است که از بین ضریب جذب‌های موجود، به منظور انتخاب بهینه‌ترین 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	۸	-۰/۳۵۶
۰/۶	۵/۳	۵/۲	۳/۴۲	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 بخش‌های گذشته، خروجی فاز اول پژوهش داده‌های ورودی فاز دوم را تشکیل می‌دهد. با استفاده از دمای دیوارها برای هر ضریب جذب، میزان دمای داخل برای فصول گرم و سرد به صورت نمودارهای شکل ۴ بدست خواهد آمد که با توجه به دقت بالای نرم‌افزار می‌توان پاسخ‌های بدست آمده را تحلیل نمود و بهینه‌ترین 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 می‌شود هر دو نمودار فصول گرم و سرد به صورت پیوسته و صعودی هستند. یعنی با افزایش ضریب جذب میزان دمای فضای داخلی ساختمان نیز افزایش می‌یابد. از طرفی میزان شیب نمودار مربوط به فصل گرم بیش‌تر از فصل سرد است و این موضوع باعث می‌شود تا با کاهش دما در تابستان که یکی از اهداف پژوهش می‌باشد، 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 جذب‌ها و بر اساس تغییر ضریب جذب در بازه ۰/۴ تا ۰/۹ می‌باشد. همانطور که در این نمودار مشاهده می‌شود، بیش‌ترین میزان اختلاف دما در هر دو فصل در حد فاصل ضرایب ۰/۴ و ۰/۵ می‌باشد. شکل (۶) که نتیجه نهایی در مورد بهترین ضریب جذب - که معرف رنگ بهینه می‌باشد - را برای ما مشخص می‌کند، بیانگر کل تغییرات دمایی بر اثر تغییر ضریب جذب در بازه ۰/۴ الی ۰/۹ می‌باشد که این تغییرات دما برای فصل گرم ۲/۴ درجه سلسیوس و برای فصل سرد ۱/۷۷ درجه سلسیوس می‌باشد. با توجه به ساختار نمودار، هر خط عمود بر محور ضریب جذب که با توجه به مقدار مشخص و ثابتی از ضریب جذب رسم می‌شود در دو نقطه، دو منحنی فصول سرد و گرم را قطع می‌کند 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 دارند، می‌باشد. اهمیت این نقاط در این است که میزان تغییر دمای یک ضریب جذب مشخص نسبت به کل تغییر دما در بازه ضریب جذب را در اختیار ما قرار می‌دهد.

با توجه به نمودار شکل ۶ و مطالب اشاره شده فوق، برای درک بهتر به این مثال توجه کنید: برای ضریب جذب ۰/۵ با توجه به خط عمودی که از این ضریب جذب رسم می‌کنیم، دو منحنی فصول سرد و گرم را در نقاط ۰/۲۶ و ۰/۶ قطع می‌کند که بیانگر آن است که با انتخاب این ضریب جذب در فصل تابستان (که تغییرات دمای کل این فصل در بازه

۴- نتیجه گیری

در این مقاله به تحلیل عددی میزان تاثیر ضریب جذب (رنگ) دیواره‌های 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 ۰/۴ تا ۰/۹ مورد بررسی قرار گرفته و بر اثر تغییر ضریب جذب در این بازه، کل تغییرات دما برای فصل گرم ۲/۴ درجه سلسیوس و برای فصل سرد ۱/۷۷ درجه سلسیوس می‌باشد. بهترین رنگی که می‌تواند برای دیواره خارجی ساختمان استفاده شود رنگی است که باعث شود در هر دو 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 دیواره‌های ساختمانی در شهر مشهد، رنگ طوسی می‌باشد که در طول کل سال با کاهش دما به میزان ۱/۵ درجه سلسیوس در تابستان و افزایش دمای ۰/۸ درجه سلسیوس در زمستان به میزان قابل توجهی انرژی برق و گاز مصرفی شهر را کاهش می‌دهد.

۵- نمادها

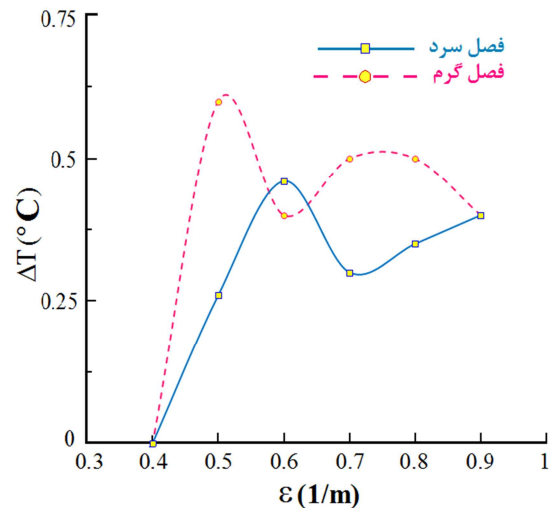
گرمای ویژه فشار ثابت (J/kgK)	C_p
گرمای ویژه حجم ثابت (J/kgK)	C_v
انرژی کل (J)	E
شتاب جاذبه (m/s^2)	g
تانسور واحد	I
رسانایی گرمایی (W/mK)	k
فشار (Pa)	p
عدد پرانتل	Pr
دما (K)	T
سرعت (m/s)	u

حروف یونانی

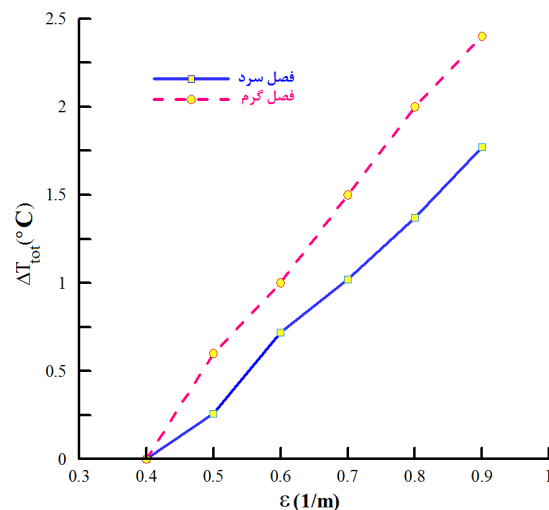
نرخ اتلاف آشفستگی	ϵ
انرژی جنبشی آشفستگی	\bar{k}
لزجت (kg/ms)	μ
نسبت گرمای ویژه	γ
چگالی (kg/m^3)	ρ
تانسور تنش	$\bar{\tau}$

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 برحسب ضریب جذب برای فصول گرم و سرد



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

۳-۴- 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 می‌بایست بین ۰/۶ تا ۰/۷ انتخاب شود زیرا با انتخاب ضریب جذب ۰/۶، علاوه بر کاهش ۱/۵ درجه سلسیوسی دما در فصل گرم، می‌توانیم به اندازه ۰/۷۲ درجه سلسیوس- که تقریباً نیمی از کل افزایش حرارتی است- در فصل سرد دما را افزایش دهیم. با استدلالی مشابه برای ضریب جذب ۰/۷ نیز ۱ درجه سلسیوس کاهش دما در فصل گرم و ۱/۰۲ 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 ۱/۵ درجه سلسیوس در فصل گرم و افزایش دمای ۰/۸ 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.
- [4] Aras H., and Aras N., Forecasting Residential Natural Gas Demand, *Energy Sources*, vol. 26, pp. 463-472, 2004.
- [۵] سبزویشانی مجید، خراسانی زاده حسین، شیخزاده قنبر علی، بررسی تاثیر جهت گیری، جنس و رنگ جداره 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 بدنه های ساختمان بر مصرف انرژی بخش خانگی، نشریه هنرهای زیبا، دوره ۱۸، شماره ۱، صفحات ۴۵-۵۶، بهار ۱۳۹۲.
- [7] 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، روش های مناسب بهینه سازی مصرف انرژی در یک ساختمان دانشگاهی در تبریز، نشریه علمی پژوهش مهندسی مکانیک مدرس، دوره ۱۲، شماره ۴، صفحات ۹۱-۱۰۴، آبان ۱۳۹۱.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] Versteeg H. K., and Malalasekera W., An introduction to computational fluid dynamics; the finite volume method, Longman Scientific and Technical, London, 1995.
- [13] FLUENT 6.3 User's Guide, February 2003.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] 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>.