

# تحلیل عددی تأثیر رنگ دیواره خارجی بر میزان مصرف انرژی ساختمان

## مطالعه موردی: ساختمانی در شهر مشهد

امیر ابراهیمی مقدم

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، amir\_ebrahimi\_051@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۱/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۴/۲۲

### چکیده

امروزه با وجود محدودیت شدید در منابع انرژی، نیاز به انرژی در حال افزایش است. در این مقاله با استفاده از روش‌های عددی و بررسی ضریب جذب رنگ‌های مختلف دیواره خارجی یک ساختمان واقع در شهر مشهد، مناسب‌ترین رنگ جداره بیرونی ساختمان جهت کاهش مصرف انرژی در تمام فصول سال انتخاب شده است. ساختمان مورد بررسی توسط نرم‌افزار گمبیت به صورت سه‌بعدی مدلسازی و شبکه‌بندی شده است. شبیه‌سازی انرژی تابشی خورشید به ساختمان، که محور اصلی این پژوهش است، توسط نرم‌افزار فلوئنت و با توجه به موقعیت مکانی قرارگیری ساختمان و در یک جریان آشفته انجام شده است. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که با انتخاب مناسب‌ترین رنگ، در کل طول سال با کاهش دما به میزان ۱/۵ درجه سانتی‌گراد در فصل گرم و افزایش دمای حدود یک درجه سانتی‌گراد در فصل سرد به میزان قابل توجهی انرژی برق و گاز مصرفی را کاهش خواهد داد. در پایان، با بررسی ضریب جذب رنگ‌های گوناگون، براساس نتایج پژوهش رنگ طوسی به‌عنوان مناسب‌ترین رنگ در جهت کاهش مصرف انرژی ساختمان انتخاب شده است.

**واژگان کلیدی:** رنگ ساختمان، تشعخ خورشیدی، شبیه‌سازی عددی، فلوئنت، انرژی

### ۱. مقدمه

شناخت این درپچه‌های اتلاف انرژی و بهینه‌سازی آنها می‌تواند تأثیر 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 غیربهینه، در طول دوره عمر ساختمان باشد [۱]. در ایران انرژی مصرف‌شده در ساختمان‌ها حدود ۴۰ درصد از انرژی کل مصرفی را به‌خود اختصاص می‌دهد که در مقایسه با سایر کشورها میزان زیادی می‌باشد [۲]. یکی از مهم‌ترین روش‌های

امروزه به دلیل کاهش چشمگیر منابع سوخت فسیلی فعالیت‌های چشمگیری در زمینه بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان صورت می‌گیرد. تأثیر پوسته ساختمان از نظر فیزیکی در صرفه‌جویی انرژی و تأثیر جزئیات اجرایی و لایه‌های به‌کار رفته در دیوار در بهره‌وری از انرژی بسیار مهم است. پوسته خارجی ساختمان بیشترین ارتباط را با فضای خارج دارد و عوامل آب‌وهوایی همچون تابش و باد و بازشوهای روبه فضای خارج نیز در طول عمر ساختمان، بیشترین میزان اتلاف انرژی را دارند.

بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌ها، بهره‌جستن مناسب از انرژی خورشید در جهت کاهش هزینه گرمایشی 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 آب‌وهوایی منطقه، موقعیت ساختمان‌های اطراف و همچنین نوع و پوشش زمین آن منطقه نسبت به ساختمان مرجع می‌باشد [۳].

طی 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 (۱۳۹۲) به بررسی تأثیر تابش دریافتی خورشید در بدنه‌های ساختمانی در شهر شیراز بر مصرف انرژی پرداخته‌اند [۴]. سوان و آگورسال (۲۰۰۹) به مرور ادبیات تکنیک‌های متفاوت استفاده شده در مدلسازی انرژی مصرفی بخش مسکونی پرداخته‌اند [۵]. تحقیقی در زمینه بهینه‌سازی مصرف انرژی در یک ساختمان آموزشی در شهر تبریز توسط ابراهیم پور و کریمی واحد (۱۳۹۱) با استفاده از نرم‌افزار انرژی پلاس انجام شده است [۶]. در برخی تحقیق‌ها، تأثیر رنگ ساختمان در قالب ضریب جذب انرژی خورشیدی دیواره‌های خارجی ساختمان نیز مورد توجه قرار گرفته است. آپوچ و همکاران (۲۰۱۴) به تحلیل تأثیر ضریب جذب (رنگ) دیواره ساختمانی‌ها در مناطق گرم پرداخته‌اند [۷]. در تحقیقی دیگر، جیان و چنگون (۲۰۱۱) به بررسی تأثیر میزان ضریب جذب دیواره‌های خارجی ساختمان بر میزان مصرف انرژی پرداخته‌اند [۸]. گروهی از محققان نیز به بررسی تأثیر عایق‌بندی ساختمان بر میزان مصرف انرژی پرداخته‌اند. در این راستا، بوستانی و میرزاپور (۲۰۱۵) به بررسی تأثیر محل نصب و نحوه توزیع عایق‌هایی در دیواره ساختمان روی مصرف انرژی پرداخته‌اند [۹].

در این پژوهش سعی شده است با به‌کارگیری نرم‌افزارهای قدرتمند موجود در زمینه دینامیک سیالات محاسباتی<sup>۱</sup> 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 گمبیت به صورت سه‌بعدی طراحی و شبکه‌بندی شده و سپس توسط نرم‌افزار فلونت<sup>۲</sup> انرژی تابشی خورشید به ساختمان شبیه‌سازی شده است.

## ۲. مدل مطالعاتی

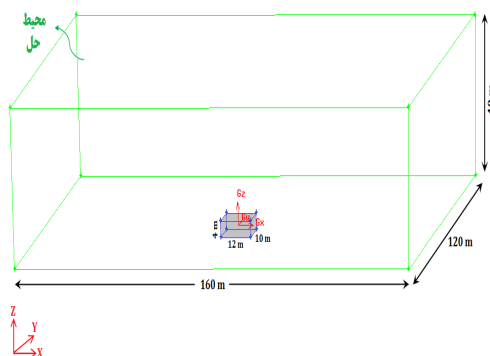
همان‌گونه که قبلاً اشاره شد، مدل مطالعاتی مطالعاتی این پژوهش یک ساختمان مسکونی در شهر مشهد می‌باشد که به صورت سه‌بعدی توسط نرم‌افزار گمبیت طراحی شده است. ساختمان مورد نظر به مساحت ۱۲۰ متر مربع و ارتفاع ۴ متر در داخل یک محیط حل به مساحت ۱۹۲۰۰ متر مربع و ارتفاع ۴۰ متر قرار گرفته است. شکل ۱ نشان‌دهنده ساختمان و محیط حل و شکل ۲ نشان‌دهنده مدل شبکه‌بندی شده می‌باشد. پس از طراحی و شبکه‌بندی مدل مطالعاتی، حل عددی معادلات حاکم بر مسئله (معادلات پیوستگی، ممنتوم و انرژی) با استفاده از نرم‌افزار فلونت [۱۰] انجام خواهد شد. گفتنی است محور اصلی این پژوهش تابش خورشید یا سولار می‌باشد. نرم‌افزار فلونت امکانی را در اختیار قرار می‌دهد تا بتوان با توجه به موقعیت جغرافیایی و زمان، میزان حرارت خورشیدی که به زمین می‌رسد را مورد استفاده قرار داد. بر این اساس باید مشخصات جغرافیایی مکان مورد بررسی و زمان انجام تحقیق را به‌طور 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 باید آزمایش را در بحرانی‌ترین شرایطی که ممکن است به وجود آید بررسی کنیم. با توجه به اینکه این پژوهش باید در گرم‌ترین و سردترین روزهای سال مورد بررسی قرار گیرد، از اینرو با توجه به میزان شار حرارتی که قسمت مدلسازی سولار نرم‌افزار فلونت در اختیار قرار می‌دهد تاریخ ۱۰ مردادماه به‌عنوان گرم‌ترین روز سال و ۳۰ آذرماه به‌عنوان سردترین روز انتخاب شدند.

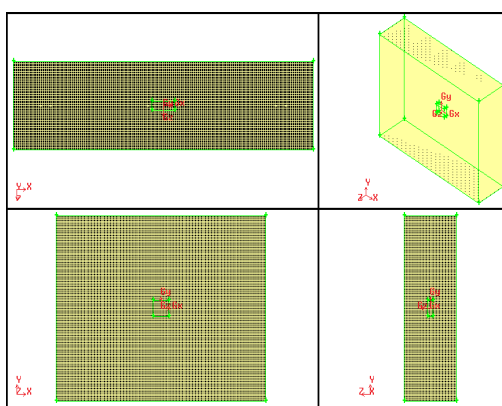
### ۳. جنس دیوار

آمده است. در مورد ضریب جذب باید گفت که چون می‌خواهیم در بازه ۰/۴ تا ۰/۹ آن را بررسی کنیم، باید 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.

یکی از اصلی‌ترین پارامترهای این پژوهش جنس ماده مورد استفاده در دیوار است. به‌علت نزدیک‌بودن خواص سیمان به مواد مورد استفاده در ساخت دیوارها، جنس اصلی دیوارها را سیمان فرض کرده‌ایم. خصوصیات مورد نیاز سیمان در جدول ۱



شکل ۱. ساختمان و محیط حل



شکل ۲. مدل مطالعاتی شبکه‌بندی شده

جدول ۱. خواص سیمان

۷۰۰	چگالی (کیلوگرم بر متر مکعب)
۱۰۵۰	ظرفیت حرارتی ویژه (ژول بر کیلوگرم کلونین)
۰/۳۶	هدایت حرارتی (وات بر متر کلونین)

جدول ۲. ضریب جذب و رنگ برخی از مواد [۸]

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. شرایط مرزی

با توجه به اینکه این نرم‌افزار توانایی محاسبه همزمان تابش خورشید و ضریب جذب و دمای فضای داخل را ندارد، پژوهش به دو بخش تقسیم می‌شود: در بخش اول محیط حل و فضای خارجی ساختمان و در بخش دوم ساختمان و فضای داخلی آن بررسی شده است. وجهی از محیط حل که باد با سرعت معین به‌صورت عمود بر آن وارد محیط حل می‌شود (وجهی که بر روی صفحه  $xz$  قرار دارد) به‌عنوان شرط مرزی سرعت ورودی انتخاب کرده‌ایم. به‌جز 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.

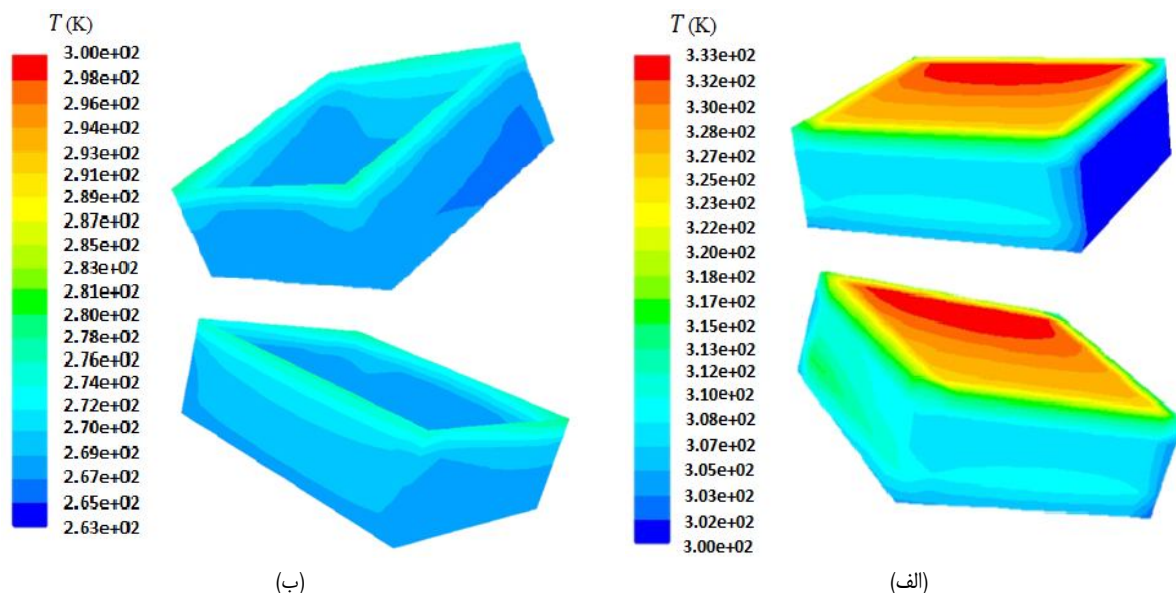
## ۵. نتایج و بررسی آنها

در این بخش به بررسی نتایج و داده‌های به‌دست آمده از نرم‌افزار می‌پردازیم. ابتدا نتایج مربوط به فاز اول را بررسی می‌کنیم. همان‌طور که اشاره شد، با توجه به اینکه نرم‌افزار فلونت توانایی محاسبه همزمان تابش خورشید 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 حرارت جذب‌شده 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.

### ۵-۱. نتایج فاز اول پژوهش

در استفاده از منوی سولار چون نرم‌افزار با توجه به موقعیت جغرافیایی اعلام‌شده زاویه و جهت تابش خورشید را مدل می‌کند، میزان حرارتی که به هریک از دیوارها و سقف می‌رسد در تابستان و زمستان متفاوت می‌باشد. مثلاً در تابستان به‌علت اینکه خورشید تقریباً به‌صورت عمود می‌تابد، درجه حرارت متوسط سقف بیشتر از سایر دیوارها می‌باشد و در زمستان نیز به‌علت مایل‌بودن جهت تابش، یکی از دیوارها نسبت به سایرین درجه حرارت 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. همان‌طور که در 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 فلونت می‌باشد.



شکل ۳. توزیع دما در سقف و دیوارها؛ الف) فصل گرم، ب) فصل سرد

در جدول‌های ۳ و ۴، میانگین دمای سقف و تمام دیوارها، به ترتیب در فصول گرم و سرد ذکر شده است.

جدول ۳. 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

جدول ۴. 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

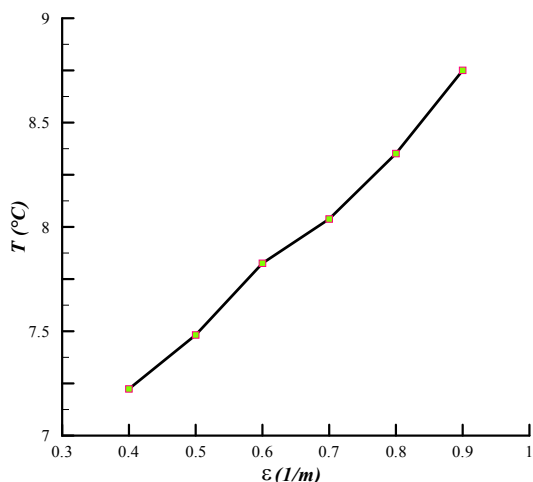
## ۲-۵. نتایج فاز دوم پژوهش

با توجه به توضیحات ارائه شده در بخش‌های قبل، 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 به دست خواهد آمد که با توجه به دقت بالای نرم‌افزار می‌توان پاسخ‌های حاصل را تحلیل نمود و بهینه‌ترین ضریب جذب را برای کل طول سال انتخاب کرد. در شکل ۴، نمودارهای مقادیر دمایی به دست آمده برای هر یک از ضرایب جذب رسم شده است. همان‌گونه 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 گرم است و این موضوع باعث می‌شود با کاهش دما در تابستان که یکی از اهداف پژوهش است، میزان کاهش دما در زمستان

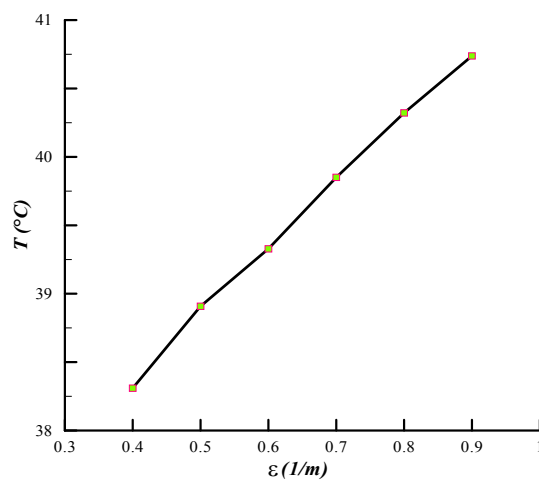
نیز مقداری باشد که از لحاظ مصرف انرژی به صرفه باشد. شکل ۵ که نتیجه نهایی در مورد بهترین ضریب جذب، که معرف رنگ بهینه می‌باشد، را برای ما مشخص می‌کند، بیانگر کل تغییرات دمایی بر اثر تغییر ضریب جذب در بازه ۰/۴ الی ۰/۹ می‌باشد که این تغییرات دما برای فصل گرم ۲/۴ درجه سانتی‌گراد و برای فصل سرد ۱/۷۷ درجه سانتی‌گراد 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 به دست 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 قرار می‌دهد. با توجه به نمودار ۵ و مطالب اشاره شده، برای درک بهتر مثالی ارائه می‌شود. برای

استفاده در کل طول سال بهینه نمی‌باشد و قابل استفاده نیست. نکته قابل توجه این است که از بین ضریب جذب‌های موجود، برای انتخاب بهینه‌ترین ضریب برای کل سال باید روی منحنی فصل گرم در نمودار ۵ از سمت بیشترین ضریب به سمت کمترین ضریب و متعاقباً کاهش دما حرکت کنیم و 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.

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 مشخص شده برای ضریب جذب، ۲/۴ می‌باشد)، توانستیم هوای داخل ساختمان را به میزان ۱/۸ درجه سانتی‌گراد سرد کنیم، اما در نقطه مقابل برای فصل سرد فقط توانستیم ۰/۲۶ درجه سانتی‌گراد هوا را گرم کنیم. لذا این ضریب جذب برای

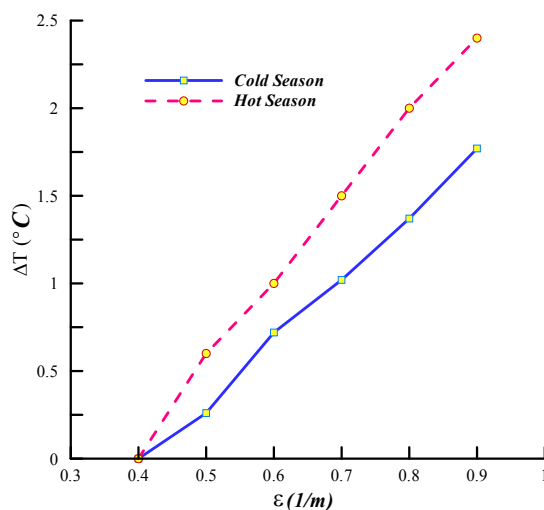


(ب)



(الف)

شکل ۴. نمودار درجه حرارت داخلی ساختمان برحسب ضریب جذب برای؛ الف) فصل گرم، ب) فصل سرد



شکل ۵. کل تغییرات درجه حرارت برحسب ضریب جذب برای فصول گرم و سرد

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 اینکه به اندازه ۱/۵ درجه سانتی‌گراد کاهش دما در

### ۳-۵. انتخاب بهترین رنگ

در بخش‌های قبل نتایج پژوهش مورد بحث و بررسی قرار گرفت. اکنون با توجه به نتایج فوق و مثال گفته‌شده بهترین

فصل گرم داریم، می‌توانیم به اندازه ۰/۷۲ درجه سانتی‌گراد، 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 سانتی‌گراد کاهش دما در فصل گرم و ۱/۰۲ درجه سانتی‌گراد 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 است که در طول کل سال با کاهش دما به میزان ۱/۵ درجه سانتی‌گراد در فصل گرم و افزایش دمای ۰/۸ درجه سانتی‌گراد در فصل سرد به میزان قابل توجهی انرژی برق و گاز مصرفی شهر را کاهش می‌دهد.

## ۶. 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

## ۷. مأخذ

واقع در شهر مشهد می‌باشد و مدلسازی آن به صورت سه‌بعدی انجام شده است. برای شبیه‌سازی تشعشع به ساختمان از نرم‌افزار فلوئنت استفاده 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 سانتی‌گراد و برای فصل سرد ۱/۷۷ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. بهترین رنگی که می‌تواند برای دیواره خارجی ساختمان استفاده شود رنگی است که سبب 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 دیوارهای ساختمانی در شهر مشهد، رنگ طوسی است که در طول کل سال با کاهش دما به میزان ۱/۵ درجه سانتی‌گراد در تابستان و افزایش دمای ۰/۸ درجه سانتی‌گراد در زمستان به میزان قابل توجهی انرژی برق و گاز مصرفی شهر را کاهش می‌دهد.

[۱] شاه‌نظری، ه.ک. آهنین‌پژوه. "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.

[2] Aras, Haydar, and Nil Aras. "Forecasting residential natural gas demand." *Energy Sources* 26, no. 5 (2004): 463-472.

[۳] سبزویشانی، م.، ح. خراسانی‌زاده، ق. شیخ‌زاده. "بررسی تاثیر جهت‌گیری، جنس و رنگ جداره بیرونی ساختمان بر حرارت اکتسابی از خورشید"، پنجمین همایش بهینه‌سازی مصرف سوخت در ساختمان، تهران، ۱۳۸۵.

[۴] برزگر، ز.، ش. حیدری. "بررسی تاثیر تابش دریافتی خورشید در بدنه‌های ساختمان بر مصرف انرژی بخش خانگی"، هنرهای زیبا، دوره ۱۸، ش. ۱، ۱۳۹۲، ص. ۴۵-۵۶.

[5] Swan, Lukas G., and V. Ismet Ugursal. "Modeling of end-use energy consumption in the residential sector: A review of modeling techniques." *Renewable and sustainable energy reviews* 13, no. 8 (2009): 1819-1835.

[۶] ابراهیم‌پور، ع.، ی. کریمی واحد. "روش‌های مناسب بهینه‌سازی مصرف انرژی در یک ساختمان دانشگاهی در تبریز"، مهندسی مکانیک مدرس، دوره ۱۲، ش. ۴، ۱۳۹۱، ص. ۹۱-۱۰۴.

[7] Alpuche, María G., Ileana González, José M. Ochoa, Irene Marincic, Alejandro Duarte, and Esaiy Valdenebro. "Influence of absorptance in the building envelope of affordable housing in warm dry climates." *Energy Procedia* 57 (2014): 1842-1850.

[8] Yao, Jian, and Chengwen Yan. "Effects of solar absorption coefficient of external wall on building energy consumption." In *Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology*, vol. 76, pp. 758-760. 2011.

[9] Boostani, Haleh, and Elmira Mirzapour. "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* 4, no. 4 (2015): 737.

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

پی نوشت

- 
1. CFD
  2. Fluent