

## نقش فرم سقف در صرفه جویی میزان انرژی گرمایشی با معیار آسایش حرارتی محیط زندگی

علی شرقی<sup>۱</sup>

نازنین عظیمی فریدنی<sup>۲\*</sup>

[N\\_azimy@yahoo.com](mailto:N_azimy@yahoo.com)

تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۰/۱۴

تاریخ دریافت: ۹۴/۸/۱۲

### چکیده

زمینه و هدف: در گذشته آسایش حرارتی از طریق طراحی ساختمان و تعداد معدودی از تجهیزات ساختمانی ایجاد می شد و انتخاب فرم پوسته مناسب یکی از شیوه های مورد توجه در معماری بود. چنین شرایطی در دهه ۱۹۶۰ بسیار دگرگون شد و تامین گرمایش و سرمایش و روشنایی ساختمان از طریق تجهیزات مکانیکی و استفاده از سوخت های فسیلی جنبه ای محوری و اصلی به خود گرفت. متعاقب بحران انرژی ایجاد شده از این طریق در سال های پیشین و آلودگی های محیط زیستی، مجدداً بهترین حالت گرمایش و سرمایش، توجه به طراحی ساختمان و استفاده از انرژی های پاک شد. در این شرایط، طراحی اجزای معماری به صورت مناسب می تواند، به تامین آسایش حرارتی درون محیط و در پی آن کاهش انرژی مصرفی ساختمان منجر شود. در میان این اجزا، ساختمانی، بام که نقش اساسی در تبادل حرارتی دارد اغلب نادیده گرفته شده است.

روش بررسی: روش تحقیق در این مقاله بر اساس مدلینگ و مشابه سازی کامپیوتری با نرم افزارهای رویت ۲۰۱۴ و انرژی پلاس ورژن ۸.۱ صورت گرفته است.

یافته ها: این پژوهش در اقلیم کوهستانی (کرج) در مورد مقایسه میان چهار تیپ سقف غالب از جمله تخت، یک طرفه، دو طرفه و چهار طرفه با زوایای مختلف بحث می کند. هدف آن دست یابی به فرم و زاویه بهینه سقف شیب دار در این منطقه بر اساس متوسط دمای تشعشعی می باشد که از عوامل اصلی آسایش حرارتی است، می باشد.

بحث و نتیجه گیری: نتایج آنالیز مدل های شبیه سازی شده، سقف بهینه و مناسب ترین زاویه آن را در سقف های شیب دار با مساحت کف ثابت با توجه به متوسط دمای متوسط تشعشعی در مدل های بررسی شده نشان می دهد. در پایان نیز به محاسبه میزان درصد صرفه جویی این سقف با میانگین عمل کرد گرمایشی سایر سقف ها پرداخته می شود.

واژه های کلیدی: معماری، فرم سقف، آسایش حرارتی، دمای متوسط تشعشعی، صرفه جویی در انرژی

۱- استادیار، گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی تهران، ایران.  
۲- کارشناسی ارشد معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید رجایی تهران، ایران\* (مسوول مکاتبات).

## **The role of slope shape roofs in heating energy consumption Based on thermal comfort**

**Ali Sharghi**<sup>1</sup>

**Nazanin Azimi Fereidani**<sup>2\*</sup>

[N\\_azimy@yahoo.com](mailto:N_azimy@yahoo.com)

### **Abstract**

**Background and Objective:** In the past, thermal comfort was created through the design of buildings and a handful of construction equipment. Selection of appropriate crust form was one of the noteworthy methods in architecture. Such circumstances were changed in 1960s. Heating, cooling and lighting supply of buildings by mechanical equipment and the use of fossil fuels became pivotal aspect. In the past years following the energy crisis created in this way and environmental pollution, again the best case of heating and cooling, became the accordance to building design and use of clean energy. In these circumstances, appropriate and followed by that reduction of energy consumption of buildings. Among these components, roofing, which plays a fundamental role in thermal exchange, is often overlooked.

**Method:** In this article, research method is done based on computer modeling and simulation by Revit 2014 and energy plus with version of 8.1.

**Findings:** So, ahead research intends to discuss in the mountainous of Karaj comparison between the four dominant type of roof including flat, one-way, two-way and four-way with the different angles. Its target is to achieve the optimum form and a roof sloping angle in this region based on the average radiant temperature, the man factors of thermal comfort.

**Discussion and Conclusion :** Results of Analysis of simulated models, shows optimal roof and its most appropriate angle in the sloping roof with constant floor area according to the average mean radiant temperature in the studied model.

**Keywords:** Architecture, Roof Shape, Thermal Comfort, Mean Radiant Temperature, Energy Saving.

---

1- Assistant Professor, Department of Architecture, Faculty of Architecture and urbanization, Shahid Rajaei Teacher Training University, Tehran, Iran

2- Msc of Architecture, Department of Architecture, Faculty of Architecture and urbanization, Shahid Rajaei Teacher Training University, Tehran, Iran\*(Corresponding Author).

## مقدمه

زندگی بشر از ابتدا در تمام ادوار تاریخ رابطه مستقیمی با چگونگی تولید و مصرف انرژی داشته است. گردش چرخ تکنولوژی مرهون انرژی و مصرف آن است. محدود بودن ذخایر سوخت های فسیلی و هم چنین آلودگی های زیست محیطی ناشی از سوزاندن آن ها باعث گسترش مباحث مربوط به محیط زیست، انرژی و از دغدغه های بشر امروزی شده است (۱). در این میان میزان مصرف انرژی در بخش ساختمان به اندازه ای زیاد است که صرفه جویی هر چند ناچیز در این بخش بر میزان شدت انرژی و بهره وری منابع، تاثیر درخور توجهی خواهد داشت. متأسفانه در کشور ایران هنوز تلاش جدی و موثری در این زمینه انجام نشده است. براساس اظهار نامه اداری سال ۲۰۰۲ ایران، ساخت و سازها بیش از یک سوم کل مصرف انرژی رابه خود اختصاص می دهند (۲). بنابراین نقش اصلی معمار در دست یابی به هدف استفاده بهینه از انرژی غیر قابل انکار است. جستجو و تحقیق درمورد روش های مختلف برای استفاده از انرژی های تجدید پذیر با استفاده از منابع انرژی پاک مانند انرژی خورشیدی و بهره بردن از روش های دقیق طراحی برای عناصر سازه ای نه تنها معماران ایرانی را ملزم به رعایت آن ها می کند، بلکه تمامی معماران باید بر روی این موضوع تمرکز کنند.

در میان این اجزاء، بام یکی از اجزای اصلی ساختمان است که عموماً مورد بی مهری طراحان معماری است. با بررسی عملکرد حرارتی، بام ساختمان و پیگیری تغییرات آن ها در ساعات و فصول مختلف می توان به راهکار هایی موثر در جهت اصلاح طراحی اجزای دست یافت و متوجه شد که چنین عنصر معماری تا چه اندازه در اتلاف انرژی بنا یا صرفه جویی غیر مستقیم انرژی، به خصوص در محیط های شهری موثر است (۳). مقاله پیش رو مطالعه بر روی رفتار حرارتی فرم سقف بر اساس دمای متوسط تشعشعی درون محیط زندگی که از عوامل آسایش حرارتی است، در سقف های شیب دار منازل مسکونی شهر کرج در نیمه شمالی کشور ایران و در غرب پایتخت ایران (تهران)، می باشد. هم چنین در این مقاله از روش مشابه سازی

محاسباتی به عنوان روش تحقیق کار استفاده شده است که در آن متغیرها مدل سازی شده، بر اساس چهار تیپ سقف در زوایای مختلف آنالیز و محاسبه شده اند.

## روش تحقیق

۱- اهداف تحقیق: با توجه به محدود بودن ذخایر سوخت های فسیلی و پیامدهای محیط زیستی و اقتصادی استفاده بی رویه از آن ها و هم چنین موقعیت جغرافیایی ایران که امکان دریافت قابل توجهی انرژی تابشی را ممکن می سازد، طراحی معماری مناسب می تواند با استفاده از راه کارهای سامانه های غیر فعال، به کاهش انرژی مصرفی نهایی در بخش ساختمان منجر شود. یکی از بخش های مورد مطالعه طراحی ساختمان، بخش مربوط به اجزای آن مانند سقف می باشد که نقش مهمی در کاهش میزان استفاده از انرژی را در ساخت و ساز بازی می کند (۴). با توجه به منطقه مورد مطالعه (مهرشهر کرج) و استفاده از سقف های شیب دار در این منطقه به صورت غالب، هدف این مقاله دست یابی به فرم بهینه سقف با توجه به زاویه بهینه سطح سقف جنوبی در دریافت انرژی از طریق محاسبه میزان دمای متوسط تشعشعی است که یکی از عوامل اصلی آسایش حرارتی فرد است.

مقاله پیش رو در پی پاسخ به پرسش های زیر می باشد.

- ۱- آیا ارتباطی بین فرم سقف و تامین آسایش حرارتی با توجه به دمای متوسط تشعشعی وجود دارد؟
- ۲- زاویه بهینه سقف در تامین آسایش حرارتی با توجه به دمای متوسط تشعشعی کدام است؟

## ۲- روش گرد آوری داده ها

روش تحقیق بر اساس مشابه سازی و مدل کامپیوتری بنا شده است. به این دلیل که تحقیق در مورد سقف های شیب دار و بررسی رفتارهای حرارتی بر حجم آن ها در مقیاس واقعی امکان پذیر نیست، بنابراین با مدل سازی کامپیوتری در مساحت کف ثابت، سقف ها با یک دیگر مقایسه شده اند. روش های به کار برده شده در این پژوهش، روش عددی - مقایسه ای

هستند. این مقاله از روش مشابه سازی کامپیوتری برای متغیرهای تحقیق استفاده می کند. مشابه سازی کامپیوتری محیط مجازی مشابهی را با منطقه مورد نظر ایجاد می کند تا رفتار حرارتی اجزا و عناصر ساختمان ها را بتوان در آن ها مطالعه کرد. از مزایای این روش طراحی می توان به قدرت پیش گویی نزدیک به واقعیت این شبیه سازی ها قبل از ساخت هر پروژه اشاره کرد و این روش به معمار امکان آن را می دهد که در هر مرحله با اطمینان از نرم افزارها یک روش بازخوردی قابل قبول را برای رسیدن به هدف نهایی خود اتخاذ نماید (۳). همچنین این نرم افزارها برای هر منطقه و هر ساختمانی قابل استفاده می باشند (۵).

در این تحقیق از نرم افزار انرژی پلاس ورژن ۸ برای مشابه سازی استفاده شده است. این نرم افزار یک موتور مشابه سازی مستقل برای تحلیل رفتار حرارتی است که خروجی های انرژی بسیار زیادی را در مقایسه با سایر نرم افزارهای مشابه شامل می شود. تمامی مدل ها در این نرم افزار مشابه سازی شده اند. این مقاله به موضوع تامین آسایش حرارتی محیط از طریق سقف بر اساس دمای متوسط تشعشی می پردازد، در حالی که مقدار آن را بر اساس درجه سانتی گراد محاسبه می شود. به دلیل این که نرم افزار انرژی پلاس محیط بصری برای مشاهده مدل های مورد تحقیق ندارد، ابتدا آن ها را در نرم افزار رویت سال ۲۰۱۴ مشابه سازی شده است پس از آن به نرم افزار اکوتکت ورژن ۲۰۱۲ وارد شده (SAVE AS IDF FILE) و پس از ورود داده ها به نرم افزار انرژی پلاس تحلیل های عددی در آن انجام شده است. پس از آن محاسبات عددی و نمودارهای مربوطه در نرم افزار اکسل ۲۰۱۴ انجام شده است. داده های آب و هوایی بر اساس شهر کرج بررسی می شود که در غرب تهران، پایتخت ایران قرار دارد.

### ۳. بام و کنترل دمایی فضا

یکی از عواملی که نقش تعیین کننده بر میزان مصرف انرژی سالیانه یک ساختمان دارد، دمای متوسط فضاهای کنترل شده است. در اوقات سرد سال، فضاهای کنترل شده دمای بین ۱۸- ۲۰ درجه سانتی گراد دارند، که متاسفانه به دلیل الگوی مصرفی غلطی که در کشور ما حاکم است و عدم استفاده از

راهکارهای موثر در پوسته بنا، در اغلب موارد، دمای فضاهای کنترل شده بیش از ۲۵ درجه سانتی گراد است، در صورت تغییر دمای مبنای داخل و در نظر گرفتن ۲۰ درجه سانتی گراد به جای ۲۵ درجه سانتی گراد، روز -درجه گرمایش بین ۴۸- ۷۰ درصد تغییر خواهد کرد. وضعیت مشابهی در اوقات گرم سال نیز وجود دارد. در این حالت باید تلاش گردد دما در حدود ۲۸ درجه سانتی گراد باقی بماند. تاثیر این تغییرات قابل ملاحظه است (۶). در این راستا، علاوه بر اصلاح الگوی مصرف می توان با تعبیه راه کارهای مناسب در پوسته ساختمان به ویژه بام تا حد زیادی به نتیجه مطلوب دست یابیم. طراحی مناسب و اجرای پوسته خارجی با رفتار حرارتی مطلوب موجب تاخیر در انتقال و نفوذ گرما از خارج به داخل سقف در تابستان و از داخل به خارج سقف در زمستان خواهد شد که این امر باعث می گردد دمای داخل ثابت و نیاز به گرمایش و یا سرمایش کاسته شود. هم چنین طراحی مطلوب در جداره افقی ساختمان باعث می شود که حرارت ناشی از تابش نیز به داخل ساختمان نفوذ نکند. بنابراین دریافت انرژی خورشیدی از جداره ها (در این مقاله سقف و زاویه آن) و اثر بر دمای هوای محیط، موثر بر میزان دمای متوسط تشعشی می باشد.

### ۴. فرم ساختمان و دمای متوسط تشعشی

ساختمان از چندین منبع انرژی دریافت می کند: ساکنان (وسایل) ساختمان، خورشید و نورپردازی. وسایل گرمایی و سایر وسایلی که انرژی مصرف می کنند پایان پذیرند. خورشید به وضوح مهم ترین منبع انرژی های پایان ناپذیر است. اشعه های خورشیدی به صورت مستقیم، اشعه های پراکنده و اشعه های منعکس شده دریافت می شوند که به سه حالت مختلف تابش، همرفت، هدایت منتقل می شود (۴). مقدار دمای متوسط تشعشی یکی از عوامل آسایش حرارتی برای فرد است که ارتباط مستقیمی با میزان اشعه دریافتی و فاصله آن دارد. در واقع دمای متوسط تشعشی از متوسط دمای سطوح مختلف در یک فضا با توجه به ضرایب دید از آن سطوح به دست می آید که در آن میزان انتقال انرژی بستگی مستقیم به اختلاف دمای دو سطح دارد (۷). بنابراین عوامل دمای محیط، سرعت هوا، وضعیت اقلیم محلی، موقعیت خورشید، جهت

یکی از جالب ترین پژوهش های صورت گرفته در این باره، رساله دکتری محمدالدی (۱۳۹۹) است که روی میزان تاثیر ارتفاع سقف نهایی بر شرایط آسایش و کنترل دمای داخلی بنا، با عنوان "ارزیابی و بهبود شرایط حرارتی در چادرهای زایران مکه در عربستان سعودی" در دانشگاه نیوکاسل انگلستان مورد بررسی قرار گرفته است. او با ساخت نمونه ها و مقایسه آن ها با نمونه کنترلی، به صورت میدانی دمای داخل چادرهای حجاج را طی مراسم حج سال ۱۹۸۷ اندازه گیری می کند و در نهایت برای بهبود شرایط طاقت فرسای اقلیمی، راه کارهایی را به صورت هدف مند ارائه می دهد. یکی از راه کارهای مدنظر نویسنده در این پروژه، بررسی تاثیر افزایش ارتفاع چادر متعارف با ارتفاع ۳.۵ متر برپاشده است. در حالی که ارتفاع نمونه مورد مطالعه تا ۴.۶۵ متر افزایش یافته است. نتیجه حاصل از اندازه گیری ها نشان می دهد که با افزایش ارتفاع، دمای هوا و دماسنج حداکثر ۵ درجه سانتی گراد در طی روز و ۲ درجه سانتی گراد در شب کاهش یافته است (۹).

در پژوهش مشابه دیگر "ارتفاع سقف و آسایش انسان"، کسمایی برای مطالعه تاثیر حرارتی ارتفاع سقف به ابعادی ۳/۳ متر را در نظر گرفته است که فردی در وسط آن نشسته است. دمای سقف این اتاق ۳۵ درجه سانتی گراد و دمای بقیه سطوح، اعم از دیوارها و کف یکسان و ۲۷ درجه سانتی گراد فرض می شود. در این حالت، با در نظر گرفتن ارتفاع ۱ و ۲ و ۴ و ۷ و ۱۰ و ۳/۰۰ در ۳/۶۰ و ۹۰ و ۶ متر برای سقف، می توان دمای تابشی را در هر مورد در رابطه با این فرد محاسبه نمود (۱۰).

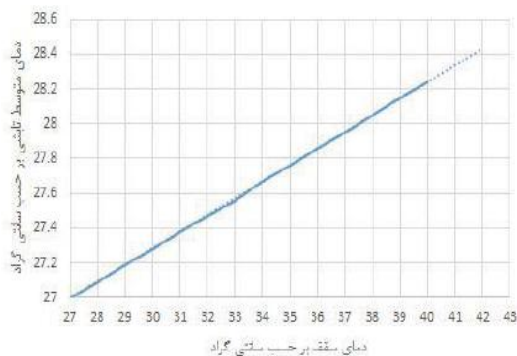
در نتیجه رابطه نزولی و غیر خطی میان ارتفاع سقف و متوسط دمای تابشی، در شکل (۱)، نمودار (۱) نشان می دهد که افزایش ارتفاع متناسب با کاهش متوسط دمای تابشی می گردد. در حالی که افزایش ارتفاع سقف به میزانی بیش از ۳ متر، بیش از ۰/۵۱ درجه سانتی گراد کاهش نخواهد داشت (۱۱).

گیری و زاویه خارجی اجزای ساختمان، اعم از بدنه (نما)، سقف و... همچنین انعکاس سطوح خارجی، ظرفیت حرارتی و مساحت سطح (حجم) و... از عواملی هستند که بر دمای متوسط تشعشعی تاثیر می گذارند.

علاوه بر این در راه حل های غیر فعال (پسیو) در ارتباط با ذخیره انرژی، برخلاف شکل اکتیو آن، طراحی خلاقانه معماری نقش مهمی در ارتباط با ضرورت ملاحظات انرژی بازی می کند. در این مورد، اولین قدم شامل حجم و فرم ساختمان می باشد. اولین چالش برای روبه رو شدن، در واقع استفاده از امکانات طبیعی برای افزایش دریافت انرژی و نوع ساختمان و پوشش است (۵). مقاله پیش رو ابتدا فرم ساختمان ها را مشابه سازی و مدل می کند و با تاکید بر زاویه سقف شیب دار اثر آن بر دمای متوسط تشعشعی را مطالعه کرده و در نهایت نتایج را تحلیل و زاویه بهینه سقف را با توجه به دمای متوسط تشعشعی گزارش می دهد.

#### ۴-۱ مطالعات انجام شده در زمینه نقش سقف بر دمای متوسط تشعشعی

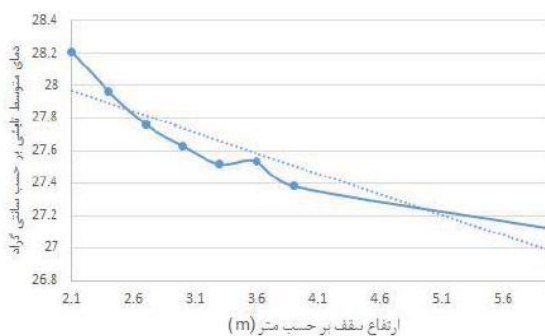
همان طور که پیش از این نیز بیان شد، پر اهمیت ترین قسمت پوشش ساختمان در زمینه حفاظت حرارتی، بام آن می باشد، چرا که بام ساختمان، مستقیماً تحت تابش نور و گرمای خورشید قرار دارد و حفاظت آن از دریافت این تابش نسبت به بخش های دیگر، دشوارتر است. از طرفی عمل کرد بام بستگی به فرم، ساختار و مصالح به کاررفته در آن دارد و عکس العمل آن در برابر شرایط آب و هوایی گوناگون، بسیار متفاوت خواهد بود (۸). مطالعه پژوهش های صورت گرفته در زمینه نقش سقف بر دمای متوسط تشعشعی، نشان می دهد که تحقیقات بسیاری در این باره گرد آوری شده است، اما میزان موثر این اثر گذاری، مورد بحث قرار نگرفته و اکثر مطالعات در قالب توصیه هایی است که با اندازه گیری های میدانی جمع آوری شده است.



شکل ۱- نمودار ۲ تاثیر دمای سقف در متوسط دمای تابشی (۱۱)

Figure 2. graph 2 roof temperature effect on the mean radiant temperature (11)

تابیدن به ساکنین اتاق نماید، ارتفاع آن عامل محدود کننده ای نخواهد بود. بنابراین می توان به این نتیجه دست یافت که هرچه میزان انرژی دریافتی از طریق سقف بیش تر باشد (حرارت سقف)، دمای متوسط تابشی (دمای متوسط تشعشعی) بیش تر خواهد بود و در پژوهش های پیشین به فرم سقف و اثرات آن بر دریافت انرژی و به تبع آن دمای متوسط تشعشعی که یکی از عوامل آسایش حرارتی فرد در داخل محیط است، پرداخته نشده است. بنابراین نویسنده مقاله پیش رو بر آن است که با تحلیل بر زاویه سقف های شیب دار (رایج در محیط مورد مطالعه) و یافتن زاویه بهینه تاثیر گذار بر دمای متوسط تشعشعی به فرم بهینه سقف دست یابد.



شکل ۱- نمودار ۱ ارتفاع سقف در متوسط دمای تابشی (۱۱)  
Figure 1. graph 1 the average height of the ceiling radiant temperature (11)

نمودار دوم، ارتباط متوسط دمای تشعشعی و افزایش دمای سقف را مورد بررسی قرار می دهد، زیرا وضعیت نمودار شکل (۲) یک رابطه صعودی و خطی را نشان می دهد. بنابراین می توان نتیجه گرفت که افزایش متوسط دمای تشعشعی به طور مستقیم با افزایش دمای سقف متناسب است. در نهایت نویسنده به همراه مطالعه و مقایسه پژوهش های صورت گرفته دیگر، چنین نتیجه می گیرد که این تاثیرات از نظر کمی، اهمیت چندانی ندارد و به نظر می رسد که به تاثیر ارتفاع سقف در شرایط هوای داخلی بیش از اندازه اهمیت داده شده است. در حالی که عامل قطعی حرارت سقف است و نه ارتفاع آن. اگر ساختمان یک بام به حدی گرم نشود که شروع به





شکل ۳- نمونه بام های شیب دار در منطقه (ماخذ تصاویر: نگارندگان)

Figure3. Sloped roof samples in an area (reference images: the authors)

## ۲-۴ شناسایی انواع سقف های شیب دار

ارزیابی روش مشابه سازی عددی به وسیله نرم افزار در دسترس بر می آید. در ادامه توضیحات پارامترهای استفاده شده برای مدل کردن آمده است.

در بالا سه تیپ سقف های نام برده شده و تیپ چهارم که سقف تخت می باشد، آورده شده است. بنابراین محاسبه عددی و تحلیلی این سقف ها و عملکرد حرارتی آن ها با استفاده از

جدول (۱-الف) - دسته بندی سقف های شیب دار (ماخذ:نگارندگان)

Table 1a- Categorizing sloping roofs (source: author)

دوطرفه		یک طرفه		تخت		نوع سقف	
سالت باکس (Salt box)		گیبل (Gable)		مونوپچ (Mono-pich)		نام	
						۳۰	زاویه
						۴۵	
						۶۰	

جدول (۱-ب) - دسته بندی سقف های شیب دار (ماخذ:نگارندگان)

Table 2a- Categorizing sloping roofs (source: author)

چهار طرفه			نوع سقف	
شکل M	منسارد (Mansard)	هیپ (Hip)	نام	
			۳۰	زاویه
			۴۵	
			۶۰	

همان طور که در بخش گردآوری داده بیان شد، به دلیل این که محیط گرافیکی مدل ها در نرم افزار انرژی پلاس وجود ندارد، در ابتدا نمونه ها در نرم افزار ورژن ۲۰۱۴ revit مدل سازی شده، پس از ورود به نرم افزار اکوتکت ورژن ۲۰۱۱.۰۱۰ (چون نمی توان مدل را مستقیماً از revit به انرژی پلاس منتقل کرد) به نرم افزار انرژی پلاس ورژن ۸/۰ برای محاسبات انرژی

(متوسط دمای تشعشعی) منتقل شد. مقدار دمای متوسط تشعشعی در نرم افزار انرژی پلاس از طریق فرمول زیر برای فردی که در فضایی با N سطح با دماهای T1 تا TN محصور شده، قابل محاسبه است.

$$T_r = T_{surf-1}F_{surf-1} + T_{surf-2}F_{surf-2} + \dots + T_{surf-n}F_{surf-n}$$

$$\begin{aligned} SurfTempAngleFacSummed &= SurfTempAngleFacSummed + SurfaceTemp * AngleFactorList \\ &(AngleFacNum) \% AngleFactor(SurfNum) \\ RadTemp &= SurfTempAngleFacSummed \end{aligned}$$

### ۵-۳- داده های مشابه سازی

موقعیت: کرج، عرض جغرافیایی: بین عرض ۳۵ درجه و ۲۸ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳۰ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی: بین طول ۵۰ درجه و ۱۰ دقیقه و ۵۱ درجه و ۳۰ دقیقه شرقی، مصالح سقف و دیوار: سقف تایل سفالی، دیوار آجری، کف چوب، Zone comfort ، ۶: Time step، ۱.۳۵: u-value ، ۲۱: temperature

### یافته های پژوهش

برای دست یابی به هدف، هر چهار فرم سقف در نرم افزار در ارتباط با متوسط دمای تشعشعی محاسبه شده اند. با توجه به مصالح یکسان (سفال)، ضریب انتقال حرارتی یکسان خواهد بود. هم چنین، دمای سطوح عمودی و کف، مصالح، بازتاب از سطوح، افراد داخل خانه (که تاثیرگذار بر دمای متوسط

تثعشعی داخل می باشند) در حالت پایدار و برای همه اعضا یکسان فرض شده است. به علاوه تمامی حجم ها کشیدگی شرقی-غربی دارند. از طرفی باید اشاره کرد که تمامی سقف ها با نسبت مساحت کف یکسان مدل سازی شده اند. در نهایت محاسبات عددی گویای عملکرد حرارتی سقف های شیب دار در ارتباط با بهره وری انرژی می باشد.

جدول (۲-الف) و (۲-ب) انواع تیپ سقف ها را با توجه به زوایایی که برای هر کدام به سه صورت ۳۰ و ۴۵ و ۶۰ درجه نسبت به محور X مدل شده اند نشان می دهد. که در این جدول همان طور که در بالا ذکر شد، تعدادی از سقف ها به دلیل این که امکان ساخت آن ها وجود نداشت و یا اصول زیبایی شناسی را نداشتند از محاسبات حذف شده و تعداد ۱۶ سقف از میان آن ها به نرم افزار وارد شدند.



جدول (۲-الف) - ویژگی های هندسی و دمای متوسط تشعشی به دست آمده برای سقف های شیب دار با زوایای مختلف (ماخذ:نگارندگان)

Table2.(a) The geometric characteristics and mean radiant temperature obtained for sloped roofs at different angles (source:author)

دوطرفه				یکطرفه		تخت		نوع سقف
سالت باکس (Saltbox)				گیبل (Gable)		مونوپیک (pitch)		
۴۵-۸	۳۰-۸	۳۰-۶۰-۴	۶۰-۳۰-۴	۴۵-۳	۳۰-۳	۳۰-۶		مشخصات بام (زاویه سقف)
۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	مساحت کف (مترمربع)
۱۵۰۰٫۷۰	۱۴۹۵٫۱۲	۱۲۴۸٫۵۵	۱۲۴۹٫۲۶	۱۳۲۶٫۴۴	۱۰۹۵٫۰۲	۱۳۸۴٫۲۸	۷۹۹٫۹۹	حجم کل فضای (مترمکعب)
۳٫۹	۳٫۹	۳٫۹	۳٫۹	۳٫۹	۳٫۹	۳٫۹	۳٫۹	ارتفاع پدنه (متر)
۰٫۵۶۸	۰٫۵۶۱	۰٫۶۰۸	۰٫۶۰۸	۰٫۵۸۵	۰٫۶۳۲	۰٫۶۰۶	۰٫۷۹۰	نسبت سطح به حجم
۱۷٫۴۰	۱۷٫۲۶	۱۶٫۷۵	۱۶٫۷۶	۱۷٫۶۳	۱۶٫۷۶	۱۶٫۵۳	۱۶٫۷۹	دمای متوسط دسامبر
۱۳٫۳۰	۱۳٫۲۰	۱۲٫۸۷	۱۲٫۸۰	۱۵٫۱۵	۱۳٫۰۴	۱۲٫۳۰	۱۳٫۱۷	نسبت تشعشی (درجه زائویه)
۱۷٫۷۳	۱۷٫۶۴	۱۷٫۹۸	۱۷٫۸۹	۱۸٫۵۰	۱۸٫۰۶	۱۷٫۲۱	۱۸٫۲۸	سالتی گراد (فوریه)
۳۸٫۸۰	۳۸٫۸۲	۴۰٫۴۲	۴۰٫۶۴	۳۳٫۶۷	۴۰٫۱۸	۳۹٫۶۳	۴۰٫۳۰	دمای متوسط زوئن
۴۰٫۲۲	۴۰٫۲۱	۴۱٫۵۰	۴۱٫۶۷	۳۳٫۹۸	۴۱٫۳۵	۴۰٫۷۴	۴۱٫۳۷	نسبت تشعشی (درجه زولای)
۴۰٫۴۱	۴۰٫۴۰	۴۱٫۸۷	۴۱٫۸۴	۳۴٫۰۲	۴۱٫۴۶	۴۰٫۹۹	۴۱٫۳۸	سالتی گراد (اگوست)

جدول (۲-ب) - ویژگی های هندسی و دمای متوسط تشعشی به دست آمده برای سقف های شیب دار با زوایای مختلف (ماخذ:نگارندگان)

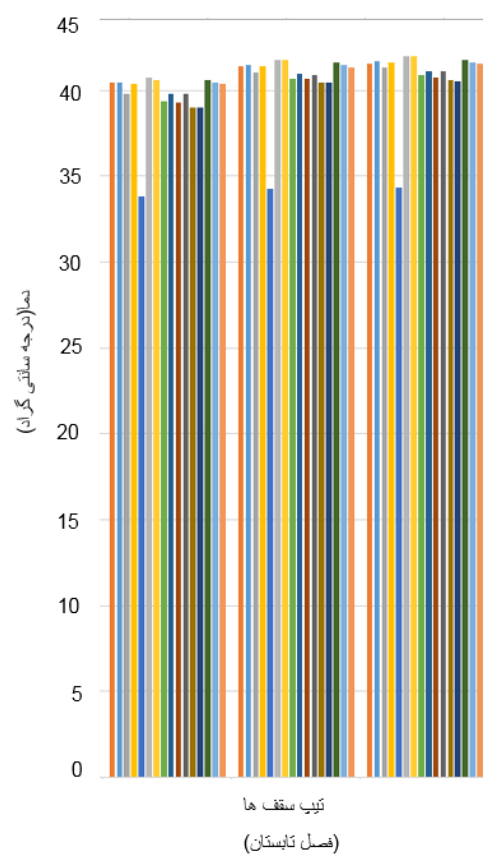
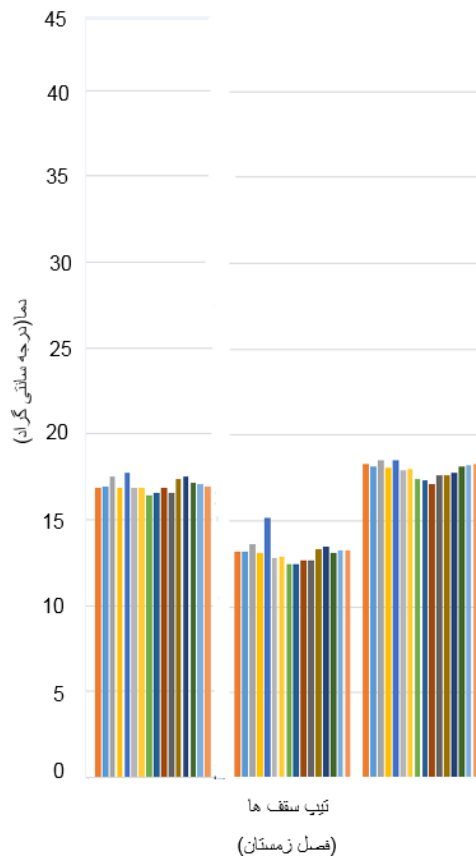
Table2.(b) The geometric characteristics and mean radiant temperature obtained for sloped roofs at different angles (source:author)

چهارطرفه						دوطرفه		نوع سقف
مشارد (Mansard)			شکل M		هیپ (Hip)		گیبل (Gable)	
۶۰-۹	۴۵-۹	۳۰-۹	۴۵-۷	۳۰-۷	۴۵-۴۵-۱	۳۰-۳۰-۱	۳۰-۵	مشخصات بام (زاویه سقف)
۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	مساحت کف (مترمربع)
۸۶۸٫۸۸	۹۷۷٫۸۹	۱۱۶۶٫۶۸	۱۳۲۰٫۰۹	۱۰۸۶٫۷۵	۱۲۵۱٫۱۱	۱۰۴۶٫۹۳	۱۳۸۴٫۵۵	حجم کل فضای (مترمکعب)
۳٫۹	۳٫۹	۳٫۹	۳٫۹	۳٫۹	۳٫۹	۳٫۹	۳٫۹	ارتفاع پدنه (متر)
۰٫۸۰۷	۰٫۶۷۲	۰٫۵۴۶	۰٫۶۱۸	۰٫۶۶۱	۰٫۵۶۹	۰٫۶۲۸	۰٫۵۶۲	نسبت سطح به حجم
۱۶٫۸۵	۱۶٫۹۶	۱۷٫۰۷	۱۶٫۷۶	۱۶٫۵۰	۱۷٫۴۴	۱۶٫۸۲	۱۶٫۳۳	دمای متوسط دسامبر
۱۳٫۲۴	۱۳٫۲۳	۱۳٫۱۲	۱۲٫۶۲	۱۲٫۵۶	۱۳٫۵۵	۱۳٫۱۲	۱۳٫۴۲	نسبت تشعشی (درجه زائویه)
۱۸٫۱۱	۱۸٫۱۷	۱۸٫۱۲	۱۷٫۰۹	۱۷٫۶۵	۱۸٫۴۷	۱۸٫۱۴	۱۷٫۳۶	سالتی گراد (فوریه)
۴۰٫۲۳	۴۰٫۲۶	۴۰٫۵۴	۳۹٫۰۷	۳۹٫۵۹	۳۹٫۷۵	۴۰٫۲۸	۳۹٫۲۲	دمای متوسط زوئن
۴۱٫۰۹	۴۱٫۱۸	۴۱٫۵۷	۴۰٫۴۴	۴۰٫۶۹	۴۰٫۹۵	۴۱٫۴۱	۴۰٫۴۴	نسبت تشعشی (درجه زولای)
۴۱٫۳۶	۴۱٫۴۶	۴۱٫۶۵	۴۰٫۶۵	۴۰٫۹۶	۴۱٫۱۶	۴۱٫۵۲	۴۰٫۷۳	سالتی گراد (اگوست)

در ماه فوریه (بهمن) ۳-۴۵-۴۵ و ۱-۴۵-۴۵ بهترین کارایی و ۳۰-۳۰-۱ و ۹-۶۰-۶۰ کارایی بهتری داشته اند.  
در ماه مارس ۱-۳۰-۳۰ و ۹-۶۰-۶۰ بعد از آن ها ۳-۴۵-۳۰ و ۱-۴۵-۴۵ بهترین کارایی را داشته اند.  
در تابستان بهترین کارایی را ۳-۴۵ و بعد از آن سقف تخت داشته است .

با توجه به داده های به دست آمده از نرم افزار اکسل ۴، نمودار برای فصل های مختلف سال، (بهار، تابستان، پاییز و زمستان)، بر اساس دمای متوسط تشعشعی در حجم هر کدام از سقف ها به دست آمد . در این میان فرم سقفی بهینه است که بالاترین دما را در فصل زمستان و پایین ترین دما را در فصل تابستان دارا باشد. (با توجه به محدوده آسایش حرارتی). در زیر دو نمودار فصل های تابستان و زمستان آورده شده است.

نتایج حاصل از نمودار (۳) نشان می دهد که در ماه ژانویه (دی) از همه سقف ها ۳-۴۵ بهترین کاربرد حرارتی و بعد از آن ۱-۴۵-۴۵ بوده است بقیه سقف ها کارایی در یک حد داشته اند.

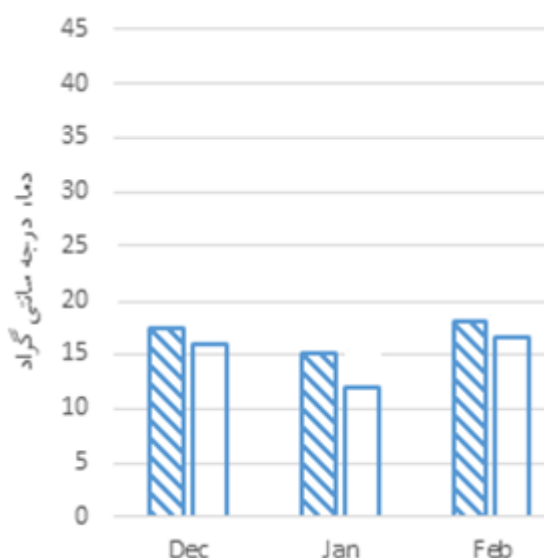


- FLAT:Zone Mean Radiant Temperature [C](Hourly)
- 1\_30\_30:Zone Mean Radiant Temperature [C](Hourly)
- 3\_45:Zone Mean Radiant Temperature [C](Hourly)
- 4\_30\_60:Zone Mean Radiant Temperature [C](Hourly)
- 6\_30:Zone Mean Radiant Temperature [C](Hourly)
- 7\_45:Zone Mean Radiant Temperature [C](Hourly)
- 8\_45:Zone Mean Radiant Temperature [C](Hourly)
- 9\_30:Zone Mean Radiant Temperature [C](Hourly)
- 1\_45\_45:Zone Mean Radiant Temperature [C](Hourly)
- 3\_30:Zone Mean Radiant Temperature [C](Hourly)
- 4\_60\_30:Zone Mean Radiant Temperature [C](Hourly)
- 5\_30:Zone Mean Radiant Temperature [C](Hourly)
- 7\_30:Zone Mean Radiant Temperature [C](Hourly)
- 8\_30:Zone Mean Radiant Temperature [C](Hourly)
- 9\_45:Zone Mean Radiant Temperature [C](Hourly)
- 9\_60:Zone Mean Radiant Temperature [C](Hourly)

## نتیجه گیری

امروزه بحران مصرف انرژی، کاهش سوخت های فسیلی و آلودگی محیط زیستی ناشی از آن، پژوهش گران تمامی زمینه ها را به ارایه راه کاری برای پاسخ به این چالش ها واداشته است. موضوع ساخت و ساز که یکی از پرمصرف ترین حوزه ها در زمینه مصرف انرژی می باشد. معماران را بر آن داشته تا به فکر راه حل هایی برای کاهش مصرف انرژی در زمینه طراحی ساختمان ها باشند. یکی از راه حل هایی که امروزه بیش از دیگر راه ها مورد توجه قرار گرفته است، استفاده از سامانه های غیر فعال می باشد. واقع طراحان بر این باورند که توجه به طراحی مناسب و استفاده از حداکثر انرژی پاک برای تامین انرژی مصرفی ساختمان بهترین راه حل برای کاهش استفاده از انرژی های تجدیدپذیر می باشد. در این میان طراحی اجزای ساختمان اهمیت می یابد. به طور خاص در این پژوهش جزء بام و توجه به فرم بهینه آن از منظر دمای متوسط تشعشعی و در پی آن تامین آسایش حرارتی محیط درون مورد تحلیل قرار گرفت. با توجه به انواع فرم های سقف در منطقه مورد طراحی (شهر کرج) که دارای اقلیمی کوهستانی است، نیاز گرمایشی در این منطقه در اولویت است. پژوهش حاضر ۱۶ نوع سقف در ۴ تیپ مختلف با زوایای مختلف را که اغلب در این منطقه مورد استفاده قرار گرفته اند، مورد تحلیل و مشابه سازی

کامپیوتری قرار داد. از ارزیابی حاصل از تحلیل ها به صورت کلی می توان به این نتیجه رسید که سقف ۳-۴۵ (gable-45) بهترین کارکرد را با توجه به دمای متوسط تشعشعی در مساحت کف ثابت نسبت به سایر سقف ها، برای آسایش حرارتی افراد دارا می باشد، زیرا بالاترین دما را در فصل های سرد سال و بهترین دما را در فصل های گرم دارا بوده است. از این جهت نیاز گرمایشی ساختمان را به انرژی های الکتریکی کاهش می دهد. هم چنین این دما عوامل دیگر آسایش حرارتی مانند رطوبت ، دمای محیط ، سرعت هوا و .... را در خود دارد، بنابراین با به دست آوردن دمای متوسط تشعشعی مناسب ، شرایط آسایش حرارتی فرد در داخل محیط به دست آمده است. البته با توجه به این که دماهای به دست آمده همیشه در محدوده آسایش حرارتی قرار ندارند و نیاز به وسایل سرمایشی و گرمایشی در برخی از ماه های سال احساس می شود، با طراحی صحیح و بهینه می توان امکان استفاده از این وسایل و مصرف انرژی را به حداقل رساند. در انتها با مقایسه عددی میان سقف 45 gable با بهترین کارایی در دو فصل و میانگین عمل کرد حرارتی سایر سقف ها در زمستان نمودار زیر به دست آمده است.



نمودار ۴- دمای متوسط تشعشعی (سقف بهینه - هاشور خورده) و (میانگین سایر سقف های رایج - بدون هاشور)  
Graph4. The mean radiant temperature (optimal roof- hatched) and (average of common roofs – without hatching)

## جدول ۳- میزان صرفه جویی سقف بهینه در ماه های زمستان

Table3. The amount of savings of optimal roof in the winter months

ماه های سال	میانگین عملکرد حرارتی سایر سقف	عملکرد حرارتی سقف بهینه	یک درجه کاهش نمای محیط شش درصد صرفه جویی در مصرف سوخت گرمایش
دسامبر	۱۶/۳۲	۱۷/۶۳	۷/۸۶
ژانویه	۱۳/۰۹	۱۵/۱۵	۱۲/۳۶
فوریه	۱۶/۸۶	۱۸/۵۰	۹/۸۴

haghshenas.(2013) , “the role of domed shape roofs in energy loss at night in hot and dry climate(case study :Isfahan historical mosques domes in iran), american journal of civil engineering and architecture, vol , 1 , no, 6. 117-121

۶. کاری. بهروز محمد، ۱۳۸۸، اصول و روش های عایق کاری بر اساس مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان (صرفه جویی در مصرف انرژی)، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، چاپ دوم، نشریه ک-۴۴۳، صص ۲۶-۲۸

۷. قیابکلوزهر، ۱۳۹۲، مبانی فیزیک ساختمان ۲: تنظیم شرایط محیطی، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر، چاپ دوم، تهران، صص ۱۱۴.

۸. نیلسن. هالگر کاک، ۱۳۸۹، معماری هم ساز با اقلیم، اصول طراحی معماری زیست محیطی در مناطق گرم، سفلائی. فرزانه (مترجم)، مرکز مطالعاتی و تحقیقاتی شهرسازی و معماری، چاپ اول. صص ۹۴ و ۹۵.

9. al-ghamdi, m,(1993).assessment and improvement of thermal conditions inside pilgrimage tents at makah, Saudi Arabia, architecture ph.d thesis, university of Newcastle

۱۰. کسمایی. مرتضی، ۱۳۸۷، اقلیم و معماری، نشر خاک، چاپ پنجم، اصفهان.

11. ahmad, a, m,(1974).ceiling heights and human comfort,building in hot climates,no 2, ERS Press, England

با توجه به این که یک درجه کاهش دمای محیط ، ۶ درصد صرفه جویی در مصرف سوخت گرمایشی را در پیش دارد(۱۲)، نتایج حاصل از نمودار(۴) گویای میزان بهینه سازی سقف مورد نظر در ماه های مختلف زمستان است. در آخر نیز باید یادآور شد که این پژوهش برای فرم سقف های شیب دار با توجه به مساحت کف یکسان برای تمامی حجم ها در نظر گرفته شده است. می توان پژوهش هایی مشابه را برای سایر اجزای ساختمان و با حجم ثابت و مساحت کف متغیر و یا با در نظر گرفتن سایر متغیرها انجام داد و به کاهش مصرف انرژی و فواید حاصل از آن دست یافت

## منابع

۱. مردانی. شیوا، ۱۳۹۰، مجموعه اقامتی محیطی خود کفا از لحاظ انرژی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و صنعت، صص ۳-۱۰.

۲. گرامیان. فرناز، ۱۳۹۰، طراحی مجتمع مسکونی پایدار، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و صنعت، صص ۵۶-۵۷.

۳. مسندی. مریم، حیدری. شاهین، ۱۳۸۹، شبیه سازی بام ها راه کار بررسی دقیق تاثیرات دمایی در محیطی مجازی، نشریه هنرهای زیبا، معماری و شهرسازی، شماره ۴۲، صص ۵-۱۲.

4. Ghaedi, Abdolkarim ,Ghaedi , Hojat and Hamed Ghaedi,(2012),” The role of roof shapes in design of green building systems(case study:iran, Bandar abbas), procedia apcbee,p 335-340.

5. mahdavi nejad, mohammad javad, badri, negar ,fakhari ,

۱۲. سیری. اسدالله، ۱۳۸۹، مصرف بهینه انرژی در زندگی روزمره، نشریه اقتصاد انرژی، شماره ۱۳۵، بهمن ماه،

صص ۵۷-۶۶.