

فصلنامه پژوهش‌های سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی انرژی

سال پنجم / شماره ۱۴ / بهار ۱۳۹۸ / صفحات ۲۲۷-۱۹۷

## ارزیابی تأثیر زاویه دیوار جنوبی، با محور قائم، بر میزان نیاز حرارتی و مصرف انرژی ساختمان‌های مسکونی در یزد

الهام سرکرده‌یی

استادیار دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه صنعتی شاهرود (نویسنده مسئول)

sarkardehee@gmail.com

فرشاد نصراللهی

استادیار دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اصفهان

Arshidez@yahoo.com

محمود رضا تقفی

دانشیار دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اصفهان

saghafi@au.ac.ir

دیوار جنوبی ساختمان نقش مؤثری در عملکرد گرمایشی ساختمان دارد و می‌تواند وابستگی ساختمان را به انرژی‌های فسیلی کاهش دهد. در این پژوهش تأثیر پارامترهای دیوار جنوبی؛ مساحت شیشه و سایه بان بیرونی، با تغییر زاویه‌ی دیوار جنوبی (با محور قائم) در ساختمان مسکونی در شهر یزد بررسی شد. جهت انجام پژوهش، پس از مطالعات اولیه، از روش علی؛ شبیه‌سازی حرارتی با نرم‌افزار دیزاین بیلدر استفاده شد. زاویه‌ی دیوار با محور قائم، از صفر تا ۶۰ درجه و سطح شفاف دیوار در انواع: بدون شیشه، دارای شیشه با مساحت یکسان و شیشه سرتاسری، در ۳۳ حالت مدل‌سازی و انرژی مصرفی ساختمان بررسی شد. یافته‌ها نشان داد دیوار جنوبی ۱۵°، با حداکثر سطح شیشه خور (تک جداره) دارای سایه‌بان متحرک بیرونی، در دو بازه‌ی زمانی (ساعت ۸-۱۸) و کل شبانه‌روز با گام یک‌ساله، به ترتیب نیاز گرمایشی را ۴۳٪ و ۱۷٪ و مصرف انرژی (گرمایشی- سرمایشی) را ۹/۱٪ و ۶/۷٪ کاهش می‌دهد.

**واژگان کلیدی:** گرمایش خورشیدی ایستا، زاویه تابش، صرفه‌جویی در مصرف انرژی

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱/۳۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۹/۲۲

## ۱. مقدمه

کشور ما حدود ۱٪ جمعیت جهان را دارد و در حدود ۲٪ از انرژی جهان را مصرف می‌نماید (سازمان مدیریت و بهینه‌سازی مصرف انرژی، ۱۳۹۶). در ایران انرژی مصرفی غالب را گاز طبیعی با ۵۴/۶۷٪ از کل انرژی مصرفی در برمی‌گیرد و ۵۳/۹٪ دی‌اکسید کربن موجود در جو ایران در اثر احتراق گاز طبیعی تولید شده است (سابا، ۱۳۹۰). مصرف انرژی در بخش‌های خانگی و تجاری بیشترین میزان مصرف انرژی کشور ایران را به خود اختصاص داده است (ترازنامه وزارت نیرو، ۱۳۹۱). با توجه به انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از توسعه سریع تقاضای انرژی (گزارش پتروشیمی، ۱۳۸۲) و سهم ۳۳ درصدی بخش ساختمان در افزایش و تولید گازهای گلخانه‌ای (حیدری، ۱۳۸۸)، بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌های مسکونی به‌عنوان یک راهکار اساسی برای کاهش مصرف انرژی و نیز کاهش آلاینده‌ها مطرح است. هرگونه صرفه‌جویی در انرژی، با بهره‌گیری از روش‌های غیرفعال (ایستا) چه در طراحی، چه در ساخت ساختمان‌ها، چه در بهره‌گیری از تأسیسات فعال و غیرفعال و تغییر رفتار و عادت مصرف‌کنندگان می‌تواند رقم قابل توجهی در حفظ منابع کشور از یک‌سو و جلوگیری از آلودگی محیط و ضایعات انسانی و محیطی از سوی دیگر را در برداشته باشد (بهادری نژاد و همکاران، ۱۳۸۵). نظر به اینکه رابطه مستقیمی بین پوسته ساختمان و مصرف انرژی آن وجود دارد، ضروری است در مرحله طراحی معماری ساختمان به مسئله صرفه‌جویی در مصرف انرژی توجه شود. توجه به معماری ایستا در طراحی ساختمان در مصرف مؤثر انرژی دارای نقش کلیدی است (کسمایی، ۱۳۸۹). به‌عنوان مثال در شهر تهران تا ۴۴٪ مصرف انرژی سالانه با طراحی معماری قابل کاهش است (غفاری جباری و همکاران، ۱۳۹۲). معماری ایستا، هماهنگ با شرایط اقلیمی است و به خلق معماری منطبق بر محیط‌زیست می‌انجامد (Kwon, 2014). معماری منطبق بر اقلیم عملکرد گراست که رابطه فرم و عملکرد در آن واضح است و می‌توان از

آن به عنوان معماری ایستا، نام برد (Zhai & Previtali, 2010). خورشید به عنوان منشأ گرمای کوه زمین و منبع همه‌ی انواع انرژی، یکی از مهم‌ترین پدیده‌های طبیعی است که می‌تواند در طراحی اقلیمی نقشی تعیین‌کننده داشته باشد (طاهباز و جلیلیان، ۱۳۹۰). استراتژی‌های طراحی خورشیدی ایستا، روش‌های مقرون‌به‌صرفه‌ای هستند که به صرفه‌جویی در مصرف انرژی ساختمان‌ها می‌انجامد (kruzner, et al, 2013). در سامانه گرمایش خورشیدی ایستا، دریافت، جذب، ذخیره‌سازی و توزیع انرژی خورشید توسط ساختمان و معماری آن صورت می‌گیرد (Duffie, et al, 1991; Anderson, et al, 1987). دستیابی به مشخصات بهینه‌ی نمای جنوبی به منظور دریافت بیشتر انرژی خورشید، ایجاد گرمایش ایستا و صرفه‌جویی در مصرف انرژی، مسئله‌ی پژوهش است.

### بیان مسئله پژوهش

ایران در مجموع کشوری است آفتابی و از نظر مقدار و دریافت انرژی خورشیدی در شمار بهترین کشورها محسوب می‌شود (حاج سقپی، ۱۳۸۰). به گفته متخصصان این فن با وجود ۳۰۰ روز آفتابی و متوسط تابش ۴/۵-۵/۵ کیلووات ساعت بر مترمربع در روز، یکی از کشورهای با پتانسیل بالا در زمینه‌ی انرژی خورشیدی معرفی شده است (ساتبا، ۱۳۹۶). با دریافت انرژی خورشید (در دوره‌ی نیاز به گرمایش) می‌توان محدوده‌ی شرایط آسایش را گسترش داد (کسمایی، ۱۳۸۹). نظر به اینکه شرایط آسایش حرارتی (در ساختمان)، محدوده‌ای است از دما و رطوبت که در آن سازوکار تنظیم حرارت بدن در حداقل فعالیت باشد (Givoni 1976)؛ اکثر ماه‌های دوره‌ی نیاز به گرمایش در شهر یزد، بدون استفاده از تجهیزات گرماساز، دارای شرایط آسایش نیست. در یزد زمستان (و دو ماه پاییز)، خارج از محدوده‌ی آسایش است (صادقی روش و طباطبایی، ۱۳۸۸). با توجه به اینکه شهر یزد، روی کمربند زرد تابشی قرار دارد و از نظر

دریافت انرژی خورشید دارای پتانسیل بالایی است و بر اساس برآوردهای انجام‌شده انرژی تابشی ورودی به یزد  $7787 \text{ MJ/M}^2$  در سال است (معینی و همکاران، ۱۳۸۹)؛ انگیزه اصلی این پژوهش، ایجاد گرمایش خورشیدی ایستا و کاهش نیاز گرمایشی ساختمان مسکونی در یزد است. دریافت انرژی خورشیدی توسط سطوح رو به جنوب ساختمان‌ها، به‌ویژه سطوح شفاف، از راهکارهای گرمایش ایستا است. تمرکز بر کاهش نیاز گرمایشی ساختمان توسط دیوار و بازوهای جنوبی با ایجاد گرمایش ایستا (روش جذب مستقیم) و صرفه‌جویی در مصرف انرژی فسیلی، هدف اصلی تحقیق است.

### فرضیه پژوهش

نظر به اینکه مقدار زاویه تابش اشعه‌ی خورشید در هر لحظه متغیر است؛ بر اساس فرضیه‌ی پژوهش؛ بهترین شرایط ساختمان از نظر ایجاد گرمایش ایستا، در وضعیتی است که دیوار جنوبی ساختمان، بر میانگین زاویه تابش عمود باشد. هر چه زاویه دیوار جنوبی با محور قائم، به میانگین زاویه تابش (آن دوره از سال) نزدیک‌تر باشد؛ نیاز گرمایشی ساختمان کمتر خواهد بود. این پژوهش سعی دارد با شبیه‌سازی رایانه‌ای، به منظور ایجاد بیشترین گرمایش ایستا، زاویه بهینه دیوار جنوبی (با محور قائم) را محاسبه کند.

### ۲. پیشینه پژوهش

سیستم‌های گرمایشی ایستا در حالت کلی به سه روش فعالیت می‌کنند: سیستم جذب مستقیم، سیستم جذب غیرمستقیم، سیستم جذب مجزا (کسمایی، ۱۳۷۷). در سیستم جذب مستقیم، تابش آفتاب به‌طور مستقیم به فضای که گرم کردن آن مورد نظر است، وارد شده و بر سطوح داخلی این فضا که جذب‌کننده این سیستم محسوب می‌گردند، تابیده و به حرارت تبدیل می‌شود. در سیستم جذب غیرمستقیم، تابش آفتاب به‌وسیله توده‌ای که حدفاصل سطوح شیشه‌ای و اتاق است، جذب و ذخیره می‌شود. سیستم جذب مجزا، مانند سیستم مستقیم است، با این تفاوت که در اینجا، فاصله نزدیک کاملاً مشخصی بین فضای مورد نظر و انباره حرارتی وجود دارد (کسمایی، ۱۳۸۹)؛ لکنر،

۱۳۸۵؛ مور، ۱۳۸۲). این پژوهش بر سیستم جذب مستقیم، تمرکز دارد و دو سیستم دیگر که به فضای الحاقی و یا توده‌ای در ساختمان نیازمند است؛ مورد نظر پژوهش نیست.

### استفاده از دیوار جنوبی ساختمان جهت ایجاد گرمایش ایستا

گرمایش خورشیدی ایستا از طریق پنجره‌های بزرگ جنوبی در نیمکره شمالی بخشی از نیاز گرمایشی ساختمان را تأمین کرده و میزان گرمایش موردنیاز ساختمان در فصول سرد به‌طور فراوانی کاهش می‌یابد و حدود نیمی از نیاز گرمایشی خود را از طریق پنجره‌های طراحی شده (با این هدف) تأمین می‌کند (Enermodal Engineering Limited, 1993). در سال ۱۹۷۴ دیوید رایت (معمار) خانه خود را در سانتافه در نیومکزیکو بر اساس دریافت مستقیم خورشیدی از شیشه‌های جنوبی ساخت. بر روی شیشه‌ها صفحات عایق متحرک طراحی کرد تا اتلاف حرارت شبانه را به حداقل برساند (Yellott, 1975). به‌طور کلی سیستم‌های گرمایش خورشیدی در زمستان عملکرد گرمایش را با بازدهی مناسب انجام می‌دهند، اما برای جلوگیری از گرمای بیش از حد در تابستان باید تمهیداتی اندیشیده شود (Givoni, 1998). پژوهش‌های زیادی به توصیف و تحلیل دیوارهای (جنوبی) ذخیره‌کننده خورشیدی ایستا و تأثیر آن‌ها بر صرفه‌جویی مصرف انرژی ساختمان پرداخته‌اند (Zalewski, et al, 1997, 2002; Sharma, et al, 1989; Jie, et al, 2007; Ji, et al, 2009). ولی تاکنون هیچ پژوهشی به بررسی تأثیر زاویه‌ی دیوار جنوبی، با محور قائم، بر مصرف انرژی ساختمان پرداخته‌ست. پژوهش‌هایی نیز به بررسی افزایش کارایی شیشه‌ی دیوار جنوبی ترمب، بر حفظ گرمایش ایستا پرداخته‌اند. پارامترهایی نظیر: عایق کردن شیشه در مقابل انتقال حرارت (Richman & Pressnail, 2009) استفاده از شیشه با پوشش‌های مخصوص و معروف به کم انرژی<sup>۱</sup> (Gan & Riffat, 1998) استفاده از شیشه دوجداره (Jie, Hua, et al. 2007) باهدف افزایش کارایی سیستم گرمایشی ایستا، دیوار

1. low- e

جنوبی ترمب، ارزیابی شده است. پنجره‌ها و سطوح شفاف دیوارهای جنوبی به روش دریافت مستقیم سهم بزرگی در ایجاد گرمایش ایستا دارند. تمرکز این پژوهش، بررسی تأثیر پارامتر زاویه‌ی دیوار جنوبی، با محور قائم، بر ایجاد گرمایش ایستا است. پژوهش با ایجاد سایه‌بان متحرک بیرونی بر پنجره جنوبی مدل‌های مورد بررسی، در ماه‌های گرم به کنترل نیاز سرمایشی ساختمان نیز خواهد پرداخت.

### ۳. روش‌شناسی تحقیق

تحقیق از نظر هدف، یک تحقیق کاربردی با رویکرد کمی است. روش تحقیق مورد استفاده در این پژوهش؛ روش علی، شبیه‌سازی رایانه‌ای، است. شبیه‌سازی از روش‌های مناسب در پژوهش‌های معماری است. امکان ساخت و بررسی مدل‌های ساختمانی را به تعداد زیاد فراهم می‌کند (گروت و وانگ، ۱۳۸۴). روش پژوهش آزمایشی (علی) یکی از اساسی‌ترین تکنیک‌های گردآوری داده (مخصوصاً در حوزه‌ی معماری ساختمان) است. آزمایش به گونه‌ای قابل تکرار در شرایط کنترل شده است که در آن یک یا چند متغیر غیر وابسته، دست‌کاری می‌شوند تا امکان آزمون فرضیه پیدا شود (حیدری، ۱۳۹۴). در این پژوهش نرم‌افزار دیزاین بیلدر<sup>۱</sup>، ابزار تحقیق است. این نرم‌افزار از حل گر پایه انرژی پلاس<sup>۲</sup> برای تحلیل فرایندهای انتقال حرارت حاکم بر ساختمان بهره می‌گیرد (Designbuilder, 2017).

### اعتبارسنجی ابزار پژوهش؛ نرم‌افزار دیزاین بیلدر

برای تحقیق دقت نتایج نرم‌افزار دیزاین بیلدر، یک نمونه آزمایشی؛ مورد ۶۰۰ استاندارد اشری (۲۰۰۱-۱۴۰)، آزمایش شد و نتایج به دست آمده با نتایج موجود در کتابچه مقایسه شدند. از صحت و دقت نسخه نرم‌افزار اطمینان حاصل گردید و مورد تأیید استانداردهای اشری قرار

4. Designbuilder

5. EnergyPlus

گرفت (ANSI/ASHRAE, 2004). نرم افزار انرژی پلاس از ابزارهای شبیه سازی مرسوم در حوزه انرژی و ساختمان بوده و پژوهش های زیادی با این نرم افزار انجام شده و انتشار یافته اند؛ نصراللهی (Nasrollahi, 2009)، انصاری منش (انصاری منش، ۱۳۹۲)، نصراللهی (Nasrollahi, 2013) و سرکرده یی (سرکرده یی، ۱۳۹۷) ..... همچنین برخی کشورهای حوزه اسکاندیناوی و اروپا جهت تصمیم سازی های کلان از نرم افزار دیزاین بیلدر بهره برده اند.

### کاربرد تحقیق

کاربرد تحقیق در زمینه طراحی و اجرای معماری ساختمان های مسکونی است. نتایج این تحقیق می تواند از جنبه ی استفاده از انرژی های تجدید پذیر و کاهش وابستگی ساختمان مسکونی به انرژی فسیلی، مد نظر قرار گیرد.

### مراحل تحقیق

در مراحل تحقیق، ابتدا مطالعه عمومی از شرایط اقلیمی در شهر یزد (جدول ۱) و بررسی نمونه مورد نظر انجام شد (جدول ۲). در این پژوهش تأثیر متغیرهای دیوار جنوبی ساختمان نمونه بر مصرف انرژی در شهر یزد ارزیابی می شود. سه بخش اول به تأثیر متغیرهای دیوار جنوبی بر نیاز حرارتی و انرژی مصرفی گرمایشی ساختمان می پردازد. با توجه به اینکه هدف مقاله بررسی پتانسیل ایجاد گرمایش خورشیدی ایستا توسط دیوار جنوبی ساختمان است؛ میزان دریافت خورشیدی از ضلع جنوب ساختمان (در زمان حضور خورشید) بررسی می شود و اندازه گیری ها در دو بازه زمانی (ساعت ۸- ساعت ۱۸) و کل شبانه روز در گام زمانی یک ساله، انجام شده است. به طور کلی این پژوهش چهار بخش را شامل می شود؛ ساختمان در ۱۱ زاویه دیوار جنوبی، مدل سازی شد (کمترین صفر و بیشترین ۶۰ درجه).

بخش اول پژوهش، در تمامی مدل ها شیشه دیوار جنوبی دارای مساحت یکسان ۲۲ مترمربع، است (با و بدون سایه بان (گونه ی AC و A)).

بخش دوم پژوهش، شیشه دیوار جنوبی سرتاسری، مساحت شیشه متناسب با افزایش زاویه و مساحت دیوار، زیاد می‌شود (با و بدون سایه‌بان (گونه‌ی BC و B)).

بخش سوم پژوهش، شبیه‌سازی ساختمان با دیوار جنوبی بدون شیشه در زاویه‌های مذکور مورد بررسی قرار گرفت (گونه‌ی F).

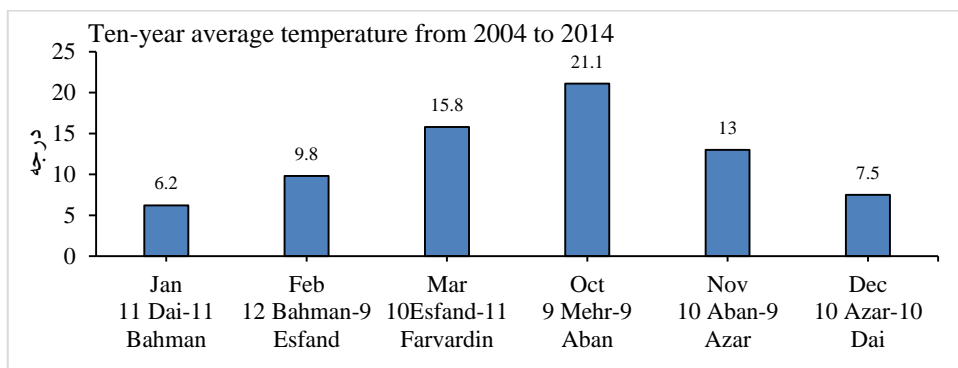
بخش چهارم پژوهش: بررسی مصرف انرژی سالیانه (گرمایشی - سرمایشی) ساختمان نمونه، با تغییر زاویه‌ی دیوار جنوبی از حالت قائم به زاویه‌های مورد بررسی.

نتایج (دسته‌بندی شده) حاصل از خروجی‌ها و اندازه‌گیری‌ها، به صورت جداول و نمودار، به وسیله‌ی نرم‌افزار اکسل ترسیم شد. تحلیل نتایج (با تمرکز بر میزان صرفه‌جویی در مصرف انرژی) به روش قیاس و استقرا، انجام شد.

#### ۴. موقعیت اقلیمی یزد، زاویه تابش زمستان‌های یزد

شهر یزد با موقعیت ۳۱ درجه و ۵۴ دقیقه، عرض شمالی و ۵۴ درجه ۱۷ دقیقه طول شرقی و ارتفاع ۱۲۳۰ متر از سطح دریا با اقلیم خشک و فاقد ماه مرطوب و میانگین رطوبت نسبی سالانه ۳۰ درصد به عنوان یک نمونه بارز از اقلیم خشک و در تقسیمات اقلیمی زمستانه، دارای اقلیم سرد است (کسمایی، ۱۳۸۹). در بررسی مربوط به یک دوره ۱۰ ساله (۱۳۷۹-۱۳۸۸)، متوسط دمای هوا برابر ۲۰/۳ درجه سلسیوس، حداکثر مطلق دما در تیرماه برابر ۴۴/۸ درجه سلسیوس، حداقل دما در دی‌ماه برابر ۱۰/۸- درجه سلسیوس گزارش شده و اختلاف درجه حرارت سالانه حوالی یزد ۲۷ درجه سلسیوس است (سالنامه هواشناسی، ۱۳۹۴). پنج ماه سرد سال، شامل ماه‌های دی، بهمن، اسفند، آبان و آذر، بدون قرار گرفتن در معرض گرمای تابشی (انرژی خورشید یا منبع دیگر) آسایش حرارتی امکان‌پذیر نیست (صادقی روش و طباطبایی، ۱۳۸۸). در "نمودار ۱" کمترین میانگین دما در ماه سرد؛ مربوط به ژانویه (۱۱ دی تا ۱۱ بهمن) و بیشترین میانگین دما در ماه اکتبر (۹ مهر تا ۹ آبان) ارزیابی می‌شود.





نمودار ۱. میانگین (ده ساله‌ی دما از ۱۳۸۲-۱۳۹۲) دمای ماهانه‌ی ماه‌های سرد (سالنامه هواشناسی، ۱۳۹۴).

جهت ایجاد آسایش حرارتی (با روش‌های ایستا) در یزد، ابتدا سرمایه‌ش تبخیری (۲۶/۱٪) و بعد اکتساب گرما از تجهیزات داخل بنا (۲۲/۵٪) بیشترین زمان از سال می‌توانند بکار روند. کاربرد این تدابیر، نیاز به انرژی فعال در این شهرها را به حداقل می‌رساند (صبوری و رحیمی، ۱۳۹۶). سرمایه‌ش تبخیری (در ترکیب با تهویه طبیعی): مانند استفاده از حوض آب در مسیر کوران هوا یا کولر آبی، در یزد اولین راهکار پیشنهادی در جدول رتبه‌بندی راهکارهای طراحی معماری بر اساس بهترین مجموعه تدابیر انرژی، است (صبوری و رحیمی، ۱۳۹۶).

استفاده از انرژی خورشید در ساختمان به‌منظور ایجاد گرمایش ایستا می‌تواند وابستگی ساختمان را به انرژی‌های فسیلی کاهش دهد. جهت استفاده از انرژی خورشیدی در ساختمان، تعیین و بررسی دو مؤلفه‌ی زاویه تابش و جهت تابش، به‌صورت ساعتی از طریق نرم‌افزار و یا نقاله خورشیدی قابل دستیابی است. زاویه تابش<sup>۱</sup> یا ارتفاع خورشید، زاویه‌ی شعاع تابش خورشید با تصویر آن بر روی صفحه افق است و مقدار آن از ۰ تا ۹۰ درجه تغییر می‌کند. زاویه سمت<sup>۲</sup>، زاویه بین تصویر شعاع تابش خورشید بر صفحه افق با شمال جغرافیایی است. برای نمونه، در جدول ۱، زاویه تابش ساعت ۷ الی ۱۵، روز ۱۵ ام (وسط ماه) ماه‌های سرد از نرم‌افزار دیزاین

2. Solar altitude
3. Solar Azimuth

بیلدر استخراج شده است. (میانگین زاویه تابش در یک ساعت مشخص روزهای یک ماه، با زاویه تابش در آن ساعت روز ۱۵ ام ماه برابر است). به جهت صحت و یا نادرستی فرضیه پژوهش و دستیابی به زاویه تابش ماه‌های سرد، میانگین داده‌های به دست آمده (زاویه تابش) با کمک نرم‌افزار اکسل محاسبه شد. میانگین زاویه تابش ماه‌های سرد ۲۸° است که معیار آزمون فرضیه، قرار می‌دهیم.

جدول ۹. زاویه تابش ۱۵ ام ماه‌های سرد یزد

روز	15-Jan	15-Feb	15-Mar	15-Oct	15-Nov	15-Dec
زاویه تابش (درجه)	۳/۲	۷/۱	۱/۵	۳	۹/۵	۴/۷
ساعت	۷/۰۰	۸/۰۰	۹/۰۰	۱۰/۰۰	۱۱/۰۰	۱۲/۰۰
زاویه تابش (درجه)	۱۴	۱۸/۶	۲۹	۲۶	۲۹	۲۴
ساعت	۱۰/۰۰	۱۱/۰۰	۱۲/۰۰	۱۳/۰۰	۱۴/۰۰	۱۵/۰۰
زاویه تابش (درجه)	۳۰/۹	۳۷	۳۷	۳۷	۳۵	۳۰
ساعت	۱۳/۰۰	۱۴/۰۰	۱۵/۰۰	۱۶/۰۰	۱۷/۰۰	۱۸/۰۰
زاویه تابش (درجه)	۳۵/۵	۴۳	۴۷	۴۵	۳۹	۳۴/۲
ساعت	۱۶/۰۰	۱۷/۰۰	۱۸/۰۰	۱۹/۰۰	۲۰/۰۰	۲۱/۰۰
زاویه تابش (درجه)	۳۶/۴	۴۵	۵۳	۴۹	۳۸	۳۴/۴
ساعت	۱۷/۰۰	۱۸/۰۰	۱۹/۰۰	۲۰/۰۰	۲۱/۰۰	۲۲/۰۰
زاویه تابش (درجه)	۳۴	۴۲	۵۵	۴۸	۳۴	۳۱
ساعت	۱۸/۰۰	۱۹/۰۰	۲۰/۰۰	۲۱/۰۰	۲۲/۰۰	۲۳/۰۰
زاویه تابش (درجه)	۲۸	۳۵	۵۱	۴۳	۲۷	۲۴
ساعت	۱۹/۰۰	۲۰/۰۰	۲۱/۰۰	۲۲/۰۰	۲۳/۰۰	۲۴/۰۰
زاویه تابش (درجه)	۱۹/۵	۲۶	۴۳	۳۵	۱۷	۱۵/۸

مأخذ: یافته‌های تحقیق

## ۵. جامعه‌ی آماری و روش نمونه‌گیری

جامعه‌ی آماری پژوهش، ساختمان‌های مسکونی جدیدالاحداث (در زمین‌های محدود) است. روش نمونه‌گیری در این پژوهش از نوع خوشه‌ای هدفمند و چندمرحله‌ای است. در نمونه‌گیری خوشه‌ای، واحد نمونه‌گیری فرد نیست بلکه یک گروه است (گال، بورگ و گال، ۱۳۸۹).

### ساختمان نمونه

زمین با ابعاد ۱۰ در ۲۰ در شهرک‌های جدید یزد، نظیر شهرک محمدآباد، بسیار مشاهده می‌شود. جهت دستیابی به ابعاد ساختمان نمونه برای مدل‌سازی، با مراجعه به زمین‌های تفکیک‌شده در شهرک‌های آماده ساخت مسکن، ابعاد زمین ۱۰ در ۲۰ انتخاب گردید. اکثر زمین‌های تفکیکی از سمت شرق و غرب همسایگی داشته و نورگیری مستقیم ندارند. زمین‌ها از سمت جنوب، نورگیری مستقیم از حیاط اصلی یا معبر و از سمت شمال، از معبر یا باواسطه حیاط خلوت نورگیری دارند. با توجه به ضوابط ساخت، ۶۰ درصد طول زمین بعلاوه ۱/۲۰ متر، سطح مجاز ساخت است. بنا بر موارد مطروحه ابعاد بنای نمونه، ۱۰ در ۱۳/۲۰ متر است. مشخصات کلی ساختمان در "جدول ۲" آمده است. مطابق با مبحث ۱۹ (سازمان مسکن شهرسازی، ۱۳۹۴)، مبنی بر عایق‌کاری پوسته‌ی خارجی ساختمان، دیوارهای خارجی از جنس پانل‌های "۳-دی"، داری دولایه بتن و عایق بین این دولایه است. به جز دیوارهای محیط باکس پله، که از نظر دمایی فضای کنترل نشده است؛ دیگر پارتیشن‌های فضای داخلی پلان در نظر گرفته نشده است تا نتایج پژوهش، مستقل از ریز فضاهای واحد مسکونی، قابل تعمیم‌تر باشد.

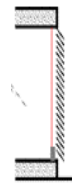
جدول ۲. مشخصات ساختمان نمونه

	ارتفاع طبقه (۳ متر)		ارتفاع خرپشته (۲/۵ متر)	
	ابعاد خارجی ساختمان (۱۰×۱۳ مترمربع)		دارای دو فضای داخلی: فضای کلی و فضای سیرکولاسیون (راه‌پله)	
دیوارهای خارجی	دیوارهای داخلی	سقف	کف	دیوارهای داخلی
نمای سبک، رمانتکس، (۲)	گچ، (۳)	آسفالت یا ایزوگام، (۳)	بتن، (۱۴)	گچ، (۲/۵ س)
بتن با چگالی متوسط، (۷)	گچ، (۳)	بتن مسلح، (۱)	عایق، پلی استایرن، (۵)	آجر، (۱۰ س)
عایق، پلی استایرن، (۸)	گچ، (۳)	عایق، پلی استایرن، (۵)	ملات ماسه سیمان، (۱)	گچ، (۲/۵ س)
بتن با چگالی متوسط، (۵)	گچ، (۳)	بتن با چگالی متوسط، (۵)	سرامیک، (۲)	
گچ، (۳)	گچ، (۳)	تیرچه، بلوک سفالی، (۱۵)		
		گچ، (۳)		

پنج متر سانی متر

تک جداره	پروفیل آلومینیم، ۴	شیشه معمولی، ۰/۳
دوجداره	پروفیل یو پی وی سی، ۴	دولایه شیشه معمولی هرکدام ۰/۳ و ضخامت هوای بین آن‌ها ۰/۱۳

سایه‌بان بیرونی: (کرکره‌ای، با انعکاس متوسط)، برنامه زمانی باز بودن سایه‌بان (وجود سایه‌بان): در ماه‌های گرم هرروز سایه‌بان باز است. در ماه‌های سرد از ساعت ۱۶ هرروز تا ۵ بامداد روز بعد بر روی پنجره بازمی‌گردد (عایق شبانه).



پنجره‌ها، سانی متر

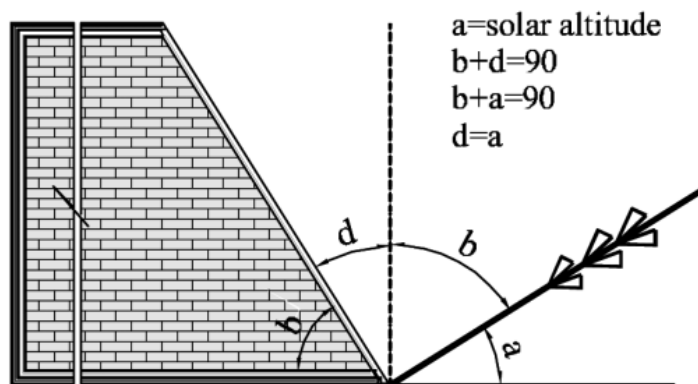
ساختمان در ۵ گونه‌ی تنظیمات سطح شفاف

گونه A	گونه AC	گونه B	گونه BC	گونه F
مساحت شیشه	مساحت شیشه	مساحت شیشه	مساحت شیشه	بدون شیشه
یکسان، ۲۲	یکسان، ۲۲	(سرتاسری) متناسب	متناسب با شیب	
مترمربع، بدون سایه‌بان	مترمربع، با سایه‌بان بیرونی	با شیب دیوار، بدون سایه‌بان	دیوار، با سایه‌بان بیرونی	

مأخذ: مصالح پیشنهادی (نگارندگان)

## ۶. مراحل شبیه‌سازی

ابعاد، مشخصات و مصالح ساختمان نمونه طبق "جدول ۲" و در حالت‌های مختلف نمای جنوبی، از زاویه ۰ تا زاویه ۶۰ درجه، مدل‌سازی شده است (زاویه دیوار جنوبی با محور قائم). با توجه به فرضیه‌ی پژوهش، بهترین وضعیت ساختمان از نظر دریافت گرمایش ایستا، دیوار جنوبی، عمود بر میانگین زاویه‌ی تابش است که در این صورت، زاویه دیوار جنوبی و محور قائم با میانگین زاویه تابش برابر است (شکل ۱). جهت پیگیری قبول یا رد فرضیه، شبیه‌سازی در سه مرحله کلی و در هر مرحله، ۱۱ مدل (۱۱ زاویه) انجام شد. مرحله اول: مدل‌ها با مساحت یکسان شیشه ( $22m^2$ ) دیوار جنوبی، مورد بررسی قرار گرفتند (۷۳ درصد سطح دیوار قائم جنوبی شیشه است). مرحله دوم: نمای جنوبی با شیشه سرتاسری (افزایش مساحت شیشه متناسب با مساحت دیوار) و در مرحله سوم سطح دیوار جنوبی بدون شیشه، مدل‌سازی شدند.



شکل ۴. رابطه زاویه تابش و زاویه ساختمان با محور قائم (نگارندگان، ۱۳۹۷).

## ۷. تحلیل یافته‌ها

### انرژی گرمایشی موردنیاز ساختمان نمونه

افزایش مساحت شیشه‌ی جنوبی، با جذب گرمایش خورشیدی، کاهش نیاز گرمایشی را نتیجه می‌دهد. مساحت شیشه‌ی جنوبی گونه‌های ساختمانی اندازه‌گیری شد (جدول ۳).

جدول ۳. مساحت شیشه (مترمربع) در زاویه های مختلف دیوار جنوبی

زاویه (درجه)	۰	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۴۰	۵۰	۵۵	۶۰
مساحت شیشه گونه B و Bc	۳۰	۳۰/۱	۳۰/۵	۳۱/۱	۳۱/۹	۳۳/۱	۳۴/۶	۳۹/۲	۴۶/۷	۵۲/۳	۶۰























گونه A, AC: مساحت شیشه یکسان، ۲۲ مترمربع

مأخذ: یافته‌های تحقیق

برای دستیابی به زاویه‌ی مناسب دیوار جنوبی، نیاز گرمایشی گونه‌های دارای شیشه‌ی جنوبی، در "جدول ۴" آمده است. بر اساس فرضیه (در یزد)، دیوار  $28^\circ$ ، بیشترین گرمایش ایستا را ایجاد می‌کند. یافته‌ها در اولین مرحله شبیه‌سازی، فرضیه راردر کرد (جدول ۴). در گونه‌ی A و AC، به ترتیب: دیوار  $30^\circ$  و  $40^\circ$  بیشترین گرمایش ایستا را ایجاد کردند (ساعت ۸-۱۸).

تأثیر متغیرهای موردبررسی؛ سطح شفاف، سایه‌بان بیرونی، سطح غیر شفاف و زاویه دیوار جنوبی بر نیاز گرمایشی در جدول ۴، مشخص است.

جدول ۴. تأثیر زاویه دیوار جنوبی با شیشه‌ی تک‌جداره، بر نیاز گرمایشی

تصاویر (شیشه یک جداره)		زاویه دیوار جنوبی (درجه)		نیاز انرژی گرمایشی (kwh/m <sup>2</sup> /year)		
گونه A	گونه B	شبان‌روز	کل	ساعت ۸ تا ۱۸	کل	ساعت ۸ تا ۱۸
گونه A	گونه B	Ac	Ac	Ac	Bc	Bc
		۲۰/۹۸	۴/۸	۵/۶۱	۲۰/۳۳	۴/۲۱
		۱۹/۵۶	۴/۰۳	۴/۸۱	۱۸/۹۵	۳/۴۹
		۱۸/۳۸	۳/۴۳	۴/۱۸	۱۷/۷۷	۲/۸۸
		۱۷/۴۳	۲/۹۷	۳/۷	۱۶/۹	۲/۳۹
		۱۷/۴۶	۲/۸	۳/۶۳	۱۷/۲۱	۲/۲۶
		۱۷/۴۴	۲/۶۹	۳/۵۸	۱۷/۲۲	۲/۰۶
		۱۷/۴	۲/۶	۳/۵۵	۱۷/۲۶	۱/۸۵
		۱۷/۴۵	۲/۵۶	۳/۶۶	۱۷/۷۴	۱/۵۶
		۱۷/۶۸	۲/۶۶	۳/۹۷	۱۹/۲۱	۱/۴۲
		۱۷/۸۴	۲/۷۵	۴/۱۸	۲۰/۶۶	۱/۴۳
		۱۷/۹۹	۲/۸۶	۴/۴۱	۲۳	۱/۵۵

مأخذ: یافته‌های تحقیق

در ماه‌های سرد، سایه‌بان متحرک بیرونی، از ساعت ۴ بعدازظهر تا ۵ بامداد روز بعد، بر روی پنجره بازمی‌گردد. در هر دوبازه‌ی اندازه‌گیری تأثیر وجود سایه‌بان متحرک خارجی، بر کاهش نیاز گرمایشی، زیاد ارزیابی می‌شود (جدول ۴ و پیوست ۲).

در صورتی که دیوار جنوبی دارای حداکثر سطح شیشه‌خور باشد (گونه‌های B)، ورود نور جنوبی و گرمایش خورشیدی در بنا بیشتر می‌شود (جدول ۴). نظر به اینکه یک سطح در حالت افقی اتلاف حرارت بیشتری نسبت به وضعیت قائم خواهد داشت، با افزایش زاویه‌ی دیوار با

محور قائم، تا جایی که دریافت گرمایش خورشیدی سطح شیب‌دار از اتلاف حرارت آن بیشتر باشد، در مصرف انرژی گرمایشی صرفه‌جویی خواهد شد. به عنوان مثال در بازه‌ی ۸-۱۸، با افزایش زاویه‌ی دیوار تا  $50^\circ$  (گونه BC)، کاهش نیاز گرمایشی ارزیابی می‌شود (جدول ۴).

### سایه‌بان بیرونی مورد استفاده در مدل‌سازی

سایه‌بان بیرونی شبانه، مانع تبادل حرارت دمای داخل بنا با هوای خارج است و تشعشع گرما از شیشه به فضای خارج را می‌کاهد. البته برای بیشترین بازدهی، سایه‌بان باید دقیقاً روی پنجره باشد (ابراهیم پور و کریمی واحد، ۱۳۹۱).

در ماه‌های گرم، سایه‌بان بیرونی، نیاز سرمایشی ساختمان را می‌کاهد اما با توجه به جلوگیری از ورود اشعه‌ی خورشید به داخل بنا، مصرف انرژی برق، برای ایجاد روشنایی افزایش می‌یابد.

تعریف زاویه‌ی پره‌ی سایه‌بان بیرونی: زاویه‌ای که از تقاطع امتداد پره (سایه‌بان بیرونی) با خط عمود بر شیشه ایجاد می‌شود. در شکل ۲، مشخصات سایه‌بان بیرونی پژوهش معرفی شده است.

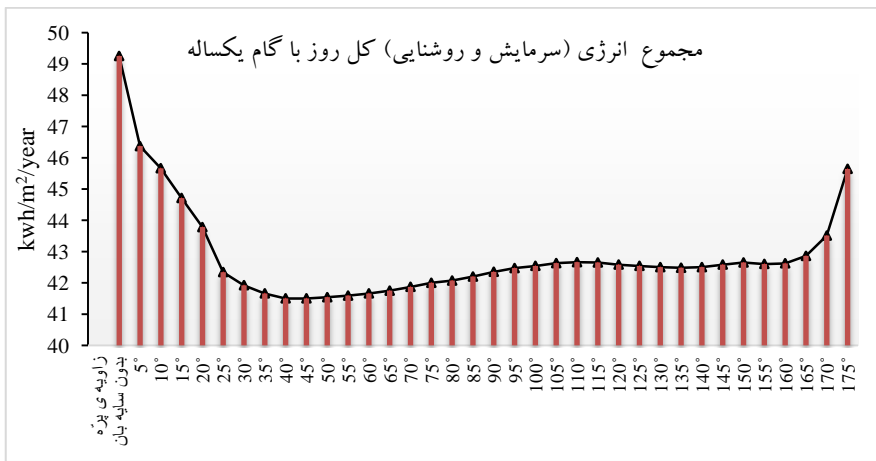
فاصله پره از پنجره	۰/۰۵ (متر)
جهت استقرار پره‌ها	افقی
عرض پره	۰/۰۲۵۰ (متر)
طول پره	هم‌اندازه طول پنجره
ضخامت پره	۰/۰۰۱ (متر)
زاویه پره	۴۵ (درجه)
ضریب هدایت گرمایی پره	۰/۹ (وات بر متر - کلوبین)

شکل ۲. مشخصات سایه‌بان مورد استفاده در مدل‌سازی

در مدل‌سازی‌ها، روشنایی ساختمان نمونه، با لامپ‌های LED، تأمین می‌شود. به منظور دستیابی به زاویه‌ی مناسب پره‌ی سایه‌بان، زاویه‌های مختلف پره‌ی سایه‌بان از زاویه‌ی  $5^\circ$  تا  $175^\circ$  شبیه‌سازی، نیاز سرمایشی و نیاز روشنایی ساختمان اندازه‌گیری و بررسی شد (نمودار ۲).



در صورتی که سایه بان بیرونی نصب شود؛ مصرف انرژی سرمایش کاهش و انرژی جهت روشنایی افزایش می‌یابد؛ اما کاهش مصرف انرژی در قسمت سرمایش، بسیار قابل توجه است. زاویه بهینه پرّه سایه بان بیرونی، زاویه  $40^\circ$  یا  $45^\circ$  است (نمودار ۲). کمترین میزان مصرف انرژی، مجموع روشنایی و سرمایش؛ در زاویه  $45^\circ$  پرّه سایه بان بیرونی،  $41 \text{ kWh/m}^2/\text{year}$  است. در مدل‌سازی‌های آتی، سایه بان بیرونی با پرّه  $45^\circ$  انتخاب شد.



نمودار ۲. تأثیر زاویه پرّه سایه بان بیرونی، بر انرژی مصرفی (سرمایش و روشنایی)، کل روز با گام یکساله

پس از محاسبه‌ی زاویه بهینه پرّه سایه بان در قسمت کاهش مصرف انرژی سرمایش؛ میانگین زاویه تابش ماه‌های گرم محاسبه گردید (جدول ۵). میانگین زاویه تابش در دوره سرمایش، حدوداً  $44^\circ$  است (جدول ۵) و به این ترتیب نتایج نمودار ۲ مورد تأیید است.

جدول ۵. میانگین زاویه تابش ۱۵ ماه‌های گرم یزد

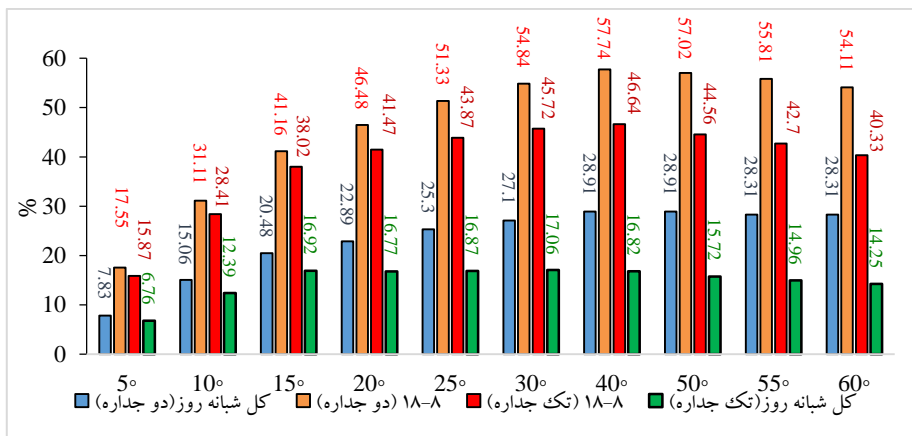
روز	15-Apr	15-May	15-Jun	15-Jul	15-Agu	15-Sep	میانگین زاویه تابش (درجه)
میانگین از Sep تا Apr	41	46/7	49/1	48/2	44	36/9	44/3

مأخذ: مستخرج از نرم‌افزار دیزاین بیلدر

با ورود نور بیشتر به بنا، نیاز به انرژی روشنایی کمتر و انرژی موردنیاز سرمایش بیشتر است. به‌طور مثال؛ در زاویه‌ی  $135^\circ$  پره‌ی سایه‌بان، نیاز به انرژی روشنایی کمتر از زمانی است که زاویه‌ی پره‌ی سایه‌بان  $45^\circ$  باشد و در مقابل نیاز به انرژی سرمایشی، در حالت اول بیش‌تر از دومی است (تصویر  $135^\circ$  پره‌ی سایه‌بان، به پیوست می‌باشد).

### بحث

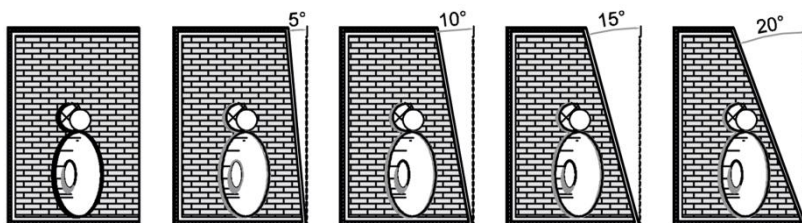
در بخش اول پژوهش (ساعت ۸-۱۸)، با افزایش زاویه دیوار جنوبی گونه Ac، تا زاویه  $40^\circ$  درجه،  $46/6\%$  انرژی موردنیاز گرمایشی کاهش می‌یابد که  $38\%$  این کاهش تا زاویه  $15^\circ$  اتفاق می‌افتد. در "نمودار ۳" درصد صرفه‌جویی انرژی گرمایشی ساختمان نمونه در زاویه‌های مختلف دیوار جنوبی گونه‌ی "Ac" شهر یزد نشان داده شده است.



نمودار ۳. درصد صرفه‌جویی انرژی گرمایشی "Ac" در زاویه‌های مختلف دیوار (یافته‌های تحقیق)

با توجه به اینکه مساحت شیشه دیوار جنوبی در این گونه‌ی ساختمان ثابت است تأثیر متغیر زاویه دیوار جنوبی، بر کاهش نیاز گرمایشی، زیاد ارزیابی می‌شود (نمودار ۳). یافته‌ها نشان‌داد: بخش اعظم دریافت انرژی خورشیدی به‌منظور ایجاد گرمایش ایستا تا زاویه  $15^\circ$  حاصل می‌شود

(جدول و نمودار ۳)، بعلاوه در شرایطی که تراز کف ساختمان تغییر نکند، سرگیر بودن دیوار در زاویه‌های زیاد شرایط استفاده از فضای داخلی را دچار چالش می‌کند (شکل ۳).



شکل ۳. تأثیر زاویه دیوار جنوبی با محور قائم، بر فضای داخلی ساختمان (نگارندگان، ۱۳۹۷).

در بازه‌ی اندازه‌گیری ساعت ۸-۱۸ میزان تأثیر حضور سایه‌بان شبانه، (ساعت ۱۶-۱۸) بر نیاز گرمایشی، مخصوصاً در زاویه‌های زیاد دیوار، به‌عنوان عایق حرارتی مشهود است. با توجه به جدول ۶ و ۳، تأثیر شیشه در ایجاد گرمایش ایستا، در صورتی مؤثر است که سایه‌بان متحرک بیرونی بر روی شیشه‌ها نصب گردد.

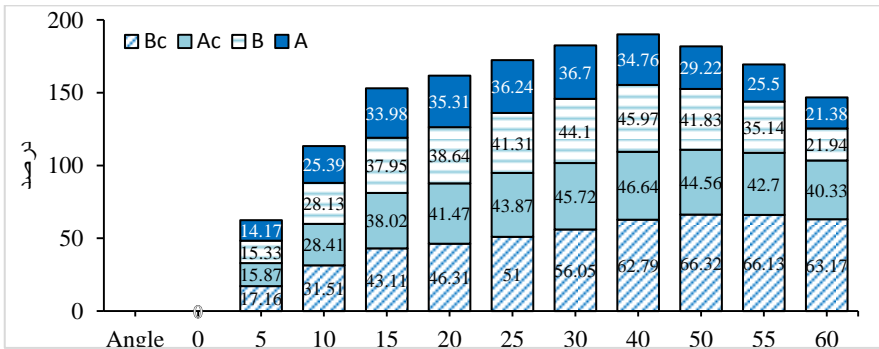
جدول ۶. میانگین صرفه‌جویی انرژی گرمایشی ساختمان نمونه در زاویه‌های ۰ تا ۶۰ درجه دیوار جنوبی

میانگین درصد صرفه‌جویی انرژی گرمایشی، از زاویه‌ی ۰ تا ۶۰°		نوع ساختمان (شیشه تک‌جداره)
نسبت به دیوار قائم		
کل شبانه‌روز	۱۸-۸	
	%۴۵	گونه Bc
	%۳۵	گونه Ac
ندارد	%۳۱	گونه B
ندارد	۲۶/۶	گونه A

مأخذ: یافته‌های تحقیق

در نمودار ۴، درصد صرفه‌جویی انرژی گرمایشی در گونه‌های مختلف ساختمان نمونه (شیشه تک‌جداره)، از زاویه‌ی ۰° تا ۶۰° نشان داده شده است (ساعت ۸-۱۸). ۱۵° مناسب‌ترین زاویه‌ی دیوار است (نمودار ۴ و جدول ۸). به‌طور مثال در زاویه ۵۰° گونه Bc، ۶۶/۳٪ نسبت به

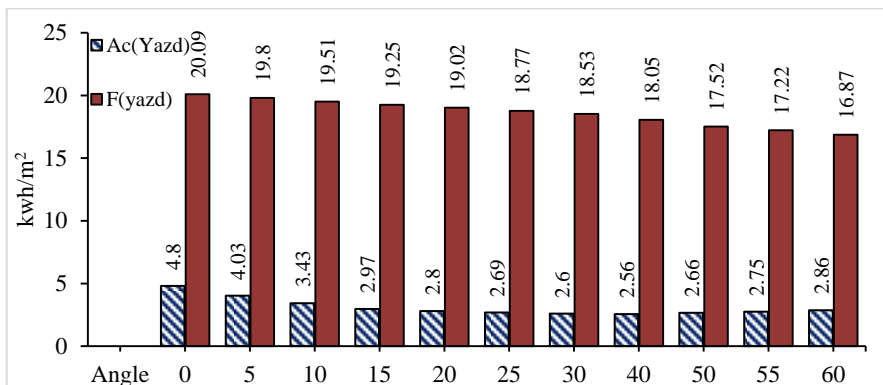
حالت قائم، صرفه‌جویی دارد؛ قابل توجه است که ۱/۴۳٪ از ۳/۶۶٪ مذکور تا زاویه ۱۵ درجه حاصل می‌شود (نمودار ۴).



نمودار ۴. مقایسه درصد کاهش انرژی گرمایشی ساختمان نمونه (ساعت ۸-۱۸)،

در زاویه‌های مختلف دیوار جنوبی (۰-۶۰ درجه)

در مرحله سوم مدل‌سازی، دیوار بدون پنجره بررسی شد (گونه‌ی F). با توجه به "نمودار ۵" (ساعت ۸-۱۸) نیاز به انرژی گرمایشی ساختمان با دیوار قائم بدون شیشه، نسبت به حالتی که ۷۳٪ سطح دیوار قائم جنوبی شیشه باشد، ۳۱٪ افزایش می‌یابد.



نمودار ۵. نیاز گرمایشی گونه‌ی F و گونه‌ی Ac، بازه اندازه‌گیری ۸-۱۸

حذف شیشه، نیاز گرمایشی را از ۴/۸ به ۲۰/۰۹ کیلووات ساعت بر مترمربع، می‌افزاید. یافته‌های دومین و سومین مرحله شبیه‌سازی (گونه‌های B و گونه‌ی F) نیز فرضیه را رد کرد.

## انرژی سالیانه مورد نیاز (گرمایشی - سرمایشی) ساختمان نمونه

به طور معمول تمهیداتی که در ساختمان‌ها کاهش نیاز حرارتی را به همراه دارد، موجب افزایش بار برودتی می‌شود (حقانی و همکاران، ۱۳۹۶). در این پژوهش، با افزایش زاویه‌ی دیوار جنوبی، نیاز سرمایشی افزایش یافت (جدول ۷)، لذا مجموع انرژی در مدل‌ها بررسی شد (جدول ۸).

جدول ۷. انرژی مصرفی یک‌ساله ساختمان جهت تأمین سرمایش بر حسب  $\text{kwh/m}^2/\text{year}$

زاویه دیوار	گونه BC		گونه B		گونه AC		گونه A
	دو جداره	یک جداره	دو جداره	یک جداره	دو جداره	یک جداره	یک جداره
۰°	۲۱/۹	۲۳/۵	۳۱/۶	۳۴/۱	۲۱/۱	۲۲/۵	۳۲/۳
۵°	۲۲/۵	۲۴/۲	۳۴	۳۶/۹	۲۱/۵	۲۳/۱	۳۴/۷
۱۰°	۲۳/۲	۲۵/۱	۳۷/۲	۴۰/۴	۲۲	۲۳/۷	۳۷/۵
۱۵°	۲۴/۱	۲۶/۱	۴۱	۴۵/۱	۲۲/۵	۲۴/۲	۴۱/۱
۲۰°	۲۴/۹	۲۶/۹	۴۴/۹	۴۹/۲	۲۲/۷	۲۴/۵	۴۳/۶
۲۵°	۲۶/۰	۲۸/۱	۴۹/۵	۵۳/۹	۲۳/۱	۲۴/۹	۴۶/۲
۳۰°	۲۷/۴	۲۹/۶	۵۵/۱	۵۹/۲	۲۳/۴	۲۵/۲	۴۸/۵
۴۰°	۳۰/۶	۳۳/۱	۶۸/۱	۷۲/۳	۲۳/۶	۲۵/۵	۵۲/۷
۵۰°	۳۵/۳	۳۸/۱	۸۶	۸۹/۹	۲۳/۳	۲۵/۱	۵۵/۷
۵۵°	۳۸/۶	۴۱/۷	۹۷/۵	۱۰۰/۸	۲۲/۹	۲۴/۸	۵۶/۸
۶۰°	۴۳/۲	۴۶/۶	۱۱۱/۷	۱۱۴	۲۲/۵	۲۴/۳	۵۷/۵

مأخذ: یافته‌های تحقیق

در این پژوهش جهت اندازه‌گیری مجموع انرژی (انرژی مصرفی (سرمایشی - گرمایشی))،  $\text{cop}^1$  دستگاه سرمایش، عدد ۳ و  $\text{cop}$  دستگاه گرمایش؛ عدد ۰/۵ در نظر گرفته شد. در جدول ۸ انرژی

<sup>۱</sup> ضریب عملکرد دستگاه

مصرفی یک‌سال ساختمان مشخص شده است. زاویه‌ی پیشنهادی جهت تغییر زاویه‌ی دیوار در ساختمان با شیشه‌ی تک جداره، زاویه‌ی ۱۵ درجه است. زاویه‌دار کردن دیوار ساختمان اتلاف حرارت را افزایش می‌دهد؛ چون سطح شیشه، در بخش اتلاف حرارت، موثرتر از قسمت غیر شفاف دیوار است؛ در نتیجه اگر دیوار عایق‌بندی مناسبی داشته باشد و شیشه‌ی پنجره‌ی آن نیز دوجداره باشد؛ در گونه‌ی AC، با زاویه‌دار کردن دیوار به سمت داخل ساختمان، مصرف انرژی کاهش می‌یابد اما در ساختمان با شیشه‌ی تک‌جداره زاویه‌ی بهینه‌ی دیوار ۱۵ درجه است. با توجه به "شکل ۳ و جدول ۸" استفاده از دیوار ۱۵ درجه، در همه‌ی گونه‌های ساختمانی توصیه می‌شود.

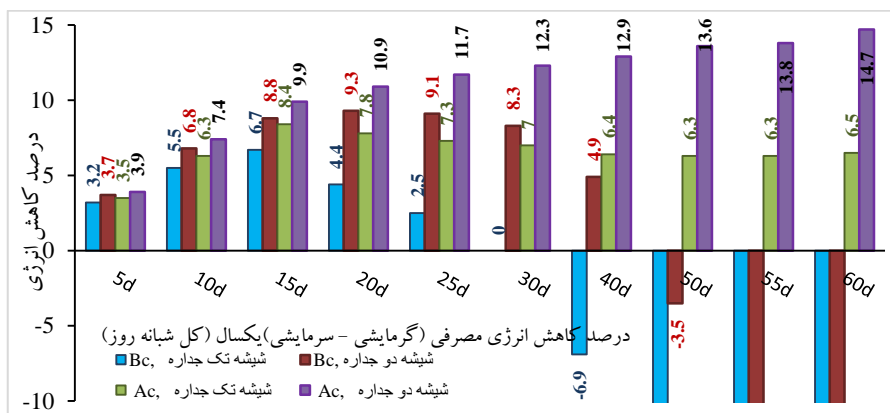
جدول ۸. انرژی مصرفی یک‌سال ساختمان  $\text{kWh/m}^2/\text{year}$

مجموع انرژی، کلّ شبانه‌روز				
گونه‌ی AC		گونه‌ی BC		شیشه زاویه دیوار
یک جداره	دو جداره	یک جداره	دو جداره	
۶۴/۶	۵۴/۳	۶۴/۲۲	۵۳/۳	۰°
۶۲/۲۹	۵۲/۱۳	۶۲/۱۶	۵۱/۳	۵°
۶۰/۴۹	۵۰/۲۳	۶۰/۶۶	۴۹/۶۶	۱۰°
۵۹/۱۳	۴۸/۹	۵۹/۹	۴۸/۵۶	۱۵°
۵۹/۵۱	۴۸/۳۶	۶۱/۳۴	۴۸/۳	۲۰°
۵۹/۸۴	۴۷/۹	۶۲/۵۶	۴۸/۴	۲۵°
۶۰/۰۴	۴۷/۶	۶۴/۱۷	۴۸/۸۶	۳۰°
۶۰/۴۱	۴۷/۲۶	۶۸/۶۳	۵۰/۶۶	۴۰°
۶۰/۵۲	۴۶/۹	۷۶/۵۶	۵۵/۱۳	۵۰°
۶۰/۵۱	۴۶/۷۶	۸۳/۰۴	۵۸/۸۶	۵۵°
۶۰/۳۶	۴۶/۳	۹۲/۶۱	۶۴/۴۶	۶۰°

در نمودار ۷، درصد کاهش مصرف انرژی ساختمان نمونه، گونه AC، BC، با تغییر زاویه‌ی دیوار (نسبت به همان گونه با دیوار قائم)، مشخص شده است. در گونه‌ی BC، زاویه‌دار کردن

دیوار، بیشتر از ۳۰ درجه، مصرف انرژی ساختمان را افزایش می‌دهد. در گونه‌ی Ac اگر شیشه تک‌جداره باشد تا زاویه‌ی ۱۵° و اگر دوجداره باشد در تمامی زاویه‌ها مصرف انرژی کاهش می‌یابد (نمودار ۷).

میانگین درصد کاهش مصرف انرژی در ۴ گونه‌ی نمودار ۷، در زاویه‌های ۵°، ۱۰°، ۱۵° و ۲۰° درجه به ترتیب ۳/۵۷، ۶/۵، ۸/۴۵، ۸/۱ و ۷/۵۶ است. ملاحظه می‌شود تا زاویه‌ی ۱۵° دیوار، میانگین درصد کاهش مصرف انرژی ۴ گونه‌ی نمودار ۷، روند افزایشی دارد و بعد از ۱۵ درجه، این روند، کاهش می‌یابد.

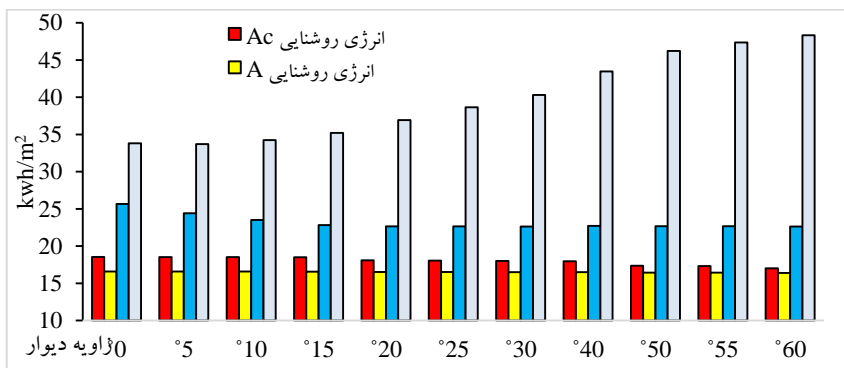


نمودار ۷. درصد کاهش انرژی یکسال ساختمان، در زاویه‌های مختلف دیوار (یافته‌های تحقیق)

وجود شیشه در سطوح خارجی ساختمان نیاز سرمایشی را بالا برده و در مقابل، افزایش مساحت شیشه‌ی جنوبی، با جذب گرمایش خورشیدی، کاهش نیاز گرمایشی را نتیجه می‌دهد. با استفاده از شیشه دوجداره، در مصرف انرژی صرفه‌جویی زیادی خواهد شد. در غیر این صورت هر چه مساحت شیشه بیشتر شود، میزان مصرف انرژی بالاتر خواهد بود.

## اختلاف مصرف انرژی جهت روشنایی

نظر به اینکه سایه‌بان بیرونی از ورود نور به ساختمان تا حدی جلوگیری می‌کند؛ میزان مصرف انرژی برق، در ساعات روز (ساعت ۸-۱۸) در دو گونه‌ی A و AC در زاویه‌های موردبررسی دیوار جنوبی، شبیه‌سازی و ارزیابی شد (نمودار ۸).

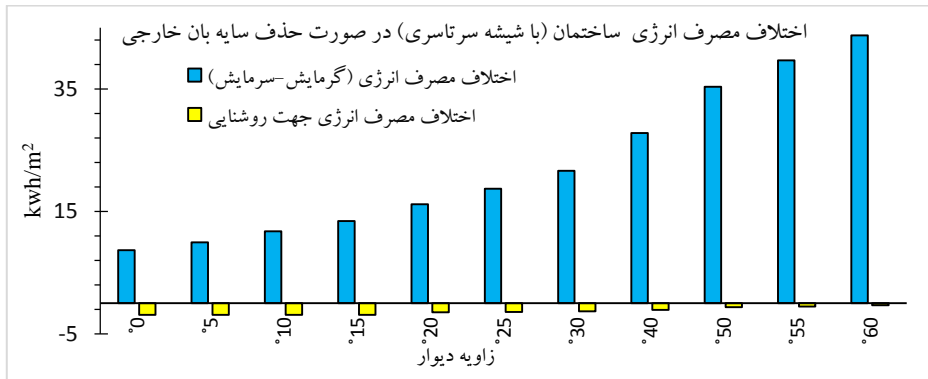


نمودار ۸. مصرف انرژی (گرمایش- سرمایش- روشنایی) A و AC در زاویه‌های مختلف دیوار ساعت ۸-۱۸.

با ایجاد سایه‌بان بیرونی، در دیوار با زاویه‌ی قائم حدوداً ۲ کیلووات ساعت بر مترمربع، مصرف انرژی جهت روشنایی بالا می‌رود که در این ساختمان، سایه‌بان بیرونی، ۸ کیلووات ساعت بر مترمربع، مصرف انرژی جهت گرمایش و سرمایش را می‌کاهد. در نتیجه و بر اساس یافته‌های "نمودار ۸" ایجاد سایه‌بان بیرونی مقرون‌به‌صرفه است. استفاده از سایه‌بان بیرونی در ساختمان با شیشه‌ی سرتاسری، مصرف انرژی را به شدت کاهش می‌دهد (نمودار ۹).

در زاویه‌های بیشتر دیوار؛ استفاده از سایه‌بان بیرونی در افزایش مصرف انرژی جهت روشنایی، تأثیر چندانی ندارد اما مصرف انرژی جهت سرمایش و گرمایش، کاهش می‌یابد. به-طور مثال (در یک سال) حذف سایه‌بان، در ساختمان با شیشه‌ی سرتاسری، در زاویه‌ی ۱۵ درجه دیوار حدوداً ۱۳/۵ کیلووات ساعت بر مترمربع، انرژی جهت سرمایش و گرمایش را بالا می‌برد و ۱/۹ کیلووات ساعت بر مترمربع، مصرف انرژی جهت روشنایی را کاهش می‌دهد (نمودار ۹).





نمودار ۹. اختلاف مصرف انرژی (گرمایش - سرمايش، روشنایی)

BC , B در زاویه‌های مختلف دیوار، ساعت ۸-۱۸،

## ۹. نتیجه‌گیری

این مقاله باهدف بررسی تأثیر زاویه دیوار جنوبی، بر کاهش مصرف انرژی گرمایشی ساختمان مسکونی در شهر یزد انجام شده است. اندازه‌گیری‌ها در دو بازه‌ی زمانی (ساعت ۸-۱۸) و کل شبانه‌روز در گام زمانی یک‌ساله، انجام شده است.

پس از مدل‌سازی و شبیه‌سازی رایانه‌ای یافته‌های پژوهش نشان داد: دیوار زاویه‌دار نسبت به دیوار قائم در ایجاد گرمایش ایستا تأثیر قابل توجهی دارد و هرچه مساحت شیشه دیوار جنوبی بیشتر باشد و شیشه‌ها دارای سایه‌بان بیرونی (کرکره‌ای) شبانه باشند، تأثیر زاویه‌ی دیوار جنوبی، در دریافت انرژی خورشیدی و ایجاد گرمایش ایستا بیشتر است.

نتایج شبیه‌سازی‌ها (ساعت ۸-۱۸)، گام زمانی یک‌ساله، ساختمان با شیشه‌ی تک‌جداره:

بخش اول پژوهش با افزایش زاویه دیوار تا زاویه  $40^\circ$  گونه AC، انرژی موردنیاز گرمایشی، کاهش می‌یابد. ۳۸٪ این کاهش تا زاویه  $15^\circ$  حاصل می‌شود. بخش دوم پژوهش، در گونه BC تا زاویه  $50^\circ$  در یزد با ۶۶/۳٪ نسبت به دیوار قائم در مصرف انرژی گرمایشی صرفه‌جویی دارد که ۴۳/۱٪ تا زاویه  $15^\circ$  حاصل می‌شود. البته در هر دو بخش اول و دوم پژوهش، گام‌های کاهش مصرف انرژی، در زاویه‌های پایین بیشتر است. در زاویه‌های ۵، ۱۰ و ۱۵ درجه بیشترین کاهش

انرژی با تغییر زاویه‌ی دیوار مشاهده می‌شود. بخش سوم پژوهش، دیوار قائم بدون شیشه نسبت به حالتی که ۷۳ درصد سطح دیوار قائم جنوبی شیشه باشد، مصرف انرژی گرمایشی ساختمان، ۳۱۸٪ افزایش می‌یابد که معادل عددی این افزایش ۱۵/۲۹ کیلووات ساعت بر مترمربع، است.

نتایج نشان داد: جهت صرفه‌جویی در مصرف انرژی گرمایشی بهترین حالت، ساختمان دارای شیشه حداکثری در نمای جنوبی است. پیشنهاد برای زاویه دیوار جنوبی، ۱۵° است.

استفاده از پنجره‌ی دوجداره به‌جای یک جداره در دیوار قائم (گونه BC) ۱۷٪ و در زاویه ۱۵ درجه، ۲۴٪ کاهش انرژی گرمایشی به همراه دارد (ساعت ۸-۱۸).

بااینکه سایه‌بان بیرونی از ورود نور به ساختمان تا حدی جلوگیری می‌کند اما موجب صرفه‌جویی بسیار زیادی در مصرف انرژی، گرمایش و سرمایش، است.

نتایج شبیه‌سازی‌ها، کل شبانه‌روز، گام زمانی یک‌ساله

در صورتی که ساختمان دارای شیشه‌ی دوجداره باشد: دیوار با زاویه‌ی ۱۵°، در گونه BC و AC به ترتیب ۸/۸٪ و ۹/۹٪ در مصرف انرژی (گرمایش - سرمایش) صرفه‌جویی می‌شود. با افزایش زاویه‌ی دیوار جنوبی، تأثیر مثبت وجود شیشه مخصوصاً دوجداره به‌عنوان دریافت‌کننده انرژی خورشید و سایه‌بان متحرک بیرونی، به‌عنوان عایق حرارتی، در کاهش نیاز گرمایشی بسیار زیاد است. دیوار جنوبی با زاویه ۱۵° با حداکثر سطح شیشه‌خور (تک جداره) دارای سایه‌بان متحرک بیرونی در یزد؛ در یک سال بازه‌های اندازه‌گیری، ساعت ۸-۱۸ و کل شبانه‌روز به ترتیب ۴۳٪ و ۱۷٪ نیاز گرمایشی و ۹/۱٪ و ۶/۷٪ مصرف انرژی (گرمایشی - سرمایشی) را کاهش می‌دهد. با با در نظر گرفتن اینکه درصد زیادی از صرفه‌جویی انرژی تا زاویه ۱۵° حاصل می‌شود و توجه به "شکل ۳"، پیشنهاد پژوهش برای انتخاب زاویه‌ی بهینه‌ی دیوار جنوبی، ۱۵° است.

با توجه به اینکه با زاویه‌دار کردن دیوار جنوبی، گرمایش ایستای بیشتری ایجاد می‌شود؛ پژوهش پیشنهاد می‌کند: علاوه بر استفاده‌ی سایه‌بان خارجی شبانه و شیشه‌ی دوجداره که مانع اتلاف حرارت است از سایه‌بان داخلی، نظیر نصب پرده ضخیم بر شیشه‌ها، استفاده شود تا اتلاف

حرارت، به حداقل ممکن برسد. در این صورت در شب که به شفافیت شیشه از نظر دریافت نور نیازی نیست، نمای جنوبی کاملاً عایق می‌شود.

## منابع

ابراهیم پور، عبدالسلام و یوسف کریمی واحد (۱۳۹۱)، "روش‌های مناسب بهینه‌سازی مصرف انرژی در یک ساختمان دانشگاهی در تبریز"، مجله مهندسی مکانیک مدرس، ۱۲(۴)، ۹۱-۱۰۴.  
انصاری منش، مریم. (۱۳۹۲). پایان‌نامه‌ی دکتری، استراتژی‌های سبز در ساختمان‌های اداری کرمانشاه. تهران: دانشگاه علوم تحقیقات.

بهادری نژاد، مهدی و محمود یعقوبی (۱۳۸۵)، تهویه و سرمایش طبیعی در ساختمان‌های سنتی ایران، تهران: مرکز نشر دانشگاهی.

ترازنامه انرژی، (۱۳۹۱)، وزارت نیرو. <http://eeo.moe.gov.ir>

حاج سقطی، اصغر، (۱۳۸۰)، اصول و کاربرد انرژی خورشیدی، تهران: دانشگاه علم و صنعت ایران.  
حقانی، معصومه؛ محمد کاری، بهروز و ریما فیاض (۱۳۹۶)، "بررسی تأثیر سایه‌بان‌های کرک‌های در صرفه‌جویی مصرف انرژی ساختمان‌های اداری تهران"، مهندسی مکانیک مدرس، ۱۷(۴)، ۱۷-۲۸.  
حیدری، شاهین (۱۳۸۸)، برنامه‌ریزی انرژی در ایران، تهران: انتشارات دانشگاه تهران.  
حیدری، شاهین (۱۳۹۴)، درآمدی بر روش تحقیق در معماری، تهران: کتاب فکر نو.  
سابا (۱۳۹۰)، گزارش دفتر برنامه‌ریزی برای برق و انرژی، تهران: وزارت انرژی، معاون برق و انرژی، دفتر برنامه‌ریزی برای برق و انرژی.

ساتبا (۱۳۹۶)، سازمان انرژی تجدید پذیر و انرژی، بازیابی از <http://www.satba.gov.ir>

سازمان مسکن شهرسازی (۱۳۹۴)، مبحث ۱۹، مجموعه کتاب‌های مقررات ملی ساختمان، تهران: سازمان مسکن و شهرسازی.

سازمان مدیریت و بهینه‌سازی مصرف انرژی (۱۳۹۶)، بازیابی از سازمان مدیریت و بهینه‌سازی مصرف انرژی: [www.eecm.ir](http://www.eecm.ir)

سالنامه هواشناسی (۱۳۹۴)، سازمان هواشناسی کشور، بازیابی از گزارش سازمان هواشناسی کشور: [irimo.ir](http://irimo.ir)

سرکره‌یی، الهام (۱۳۹۷). پایان‌نامه‌ی دکتری، امکان‌سنجی ترکیب دو سامانه‌ی (سرمایشی-گرمایشی) ایستا باهدف صرفه‌جویی در مصرف انرژی ساختمان‌های مسکونی یزد. اصفهان، دانشگاه هنر اصفهان.

صادقی روش، محمدحسن و سید مهدی طباطبایی (۱۳۸۸، بهار و تابستان). "تعیین محدوده آسایش حرارتی در شرایط آب‌وهوای خشک (مطالعه موردی: شهر یزد)"، نشریه هویت شهر، ۳(۴).

صبوری، صابر و لیلا رحیمی (۱۳۹۶)، "تحلیل زمانی آسایش اقلیمی شهرها با رویکرد کاهش مصرف انرژی: مطالعه موردی شهرهای تهران، تبریز، اصفهان، شیراز، یزد و بندرعباس"، فصلنامه پژوهش‌های سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی انرژی، ۳(۶)، ۳۵-۷.

طاهباز، منصوره و شهربانو جلیلی (۱۳۹۰)، "نقش طراحی معماری در کاهش مصرف انرژی ساختمان"، نشریه ۱۲۹، ۱-۲۸.

غفاری جباری، شهلا؛ غفاری جباری، شیوا و الهام صالح (۱۳۹۲) "راهکارهای طراحی مسکن در بهینه‌سازی مصرف انرژی شهر تهران"، فصلنامه پژوهش‌های سیاست‌گذاری برنامه‌ریزی انرژی، ۱(۱): ۱۱۵-۱۳۲

کسمایی، مرتضی (۱۳۷۷)، جزوه انرژی خورشیدی، تهران: دانشگاه علم و صنعت ایران.

کسمایی، مرتضی (۱۳۸۹)، اقلیم و معماری، اصفهان: خاک.

گال، مردیت؛ بورگ، والتر و جویس گال (۱۳۸۹)، روش‌های تحقیق کمی و کیفی در علوم تربیتی و روانشناسی، (نصر، احمدرضا؛ عریضی، حمیدرضا؛ ابوالقاسمی، محمود؛ پاک سرشت، محمدجعفر؛ کیامنش، علیرضا؛ باقری، خسرو؛ خیر، محمد؛ شهنی بیلاق، منیحه؛ خسروی، زهره، مترجم) تهران: سمت

گروت، لیندا و دیوید وانگ (۱۳۸۹)، روش‌های تحقیق در معماری، (عینی‌فر، علیرضا. مترجم) تهران: دانشگاه تهران.

گزارش پتروشیمی (۱۳۸۲)، گزارش در مورد اثرات پیمان کیوتو در صنایع نفت، گاز و پتروشیمی، کنفرانس فناوری و صرفه‌جویی در هزینه صرفه‌جویی در انرژی و حفاظت از محیط زیست، تهران.

لکنو، نوبت (۱۳۸۵)، سرمایش، گرمایش، روشنایی. (کی نژاد، محمد علی و آذری، رحمان. مترجم) تبریز: دانشگاه هنر اسلامی تبریز.

معینی، سام؛ جوادی، شهرام؛ دهقان منشادی، محسن و رضا اسماعیلی (۱۳۸۹)، "برآورد پتانسیل تابش خورشیدی در شهر یزد"، نشریه انرژی ایران، ۱۳(۱)، ۷۱-۷۸.

مور، فولو (۱۳۸۲)، سیستم های کنترل محیط زیست، (کی نژاد، محمد علی و آذری، رحمان. مترجم) تبریز: دانشگاه هنر اسلامی تبریز.

**Anderson, R., Kreith, F.** (1987). Natural Convection in active and Passive Solar Systems. *Adv Heat Transfer*, 18, 1-86

**Designbuilder** (2017). Designbuilder. Retrieved from [www.designbuilder.co.uk](http://www.designbuilder.co.uk).

**Duffie, J.A., Beckman, W.A.** (1991). *Solar Engineering of Thermal Processes*. New York: John Wiley and Sons Inc.

**eecm.** (2017). Retrieved from Energy management and optimization site: <http://www.eecm.ir>

**Enermodal Engineering Limited.** (1993). *Performance of Windows Used in the Advanced Houses Program*. Canada: Prepared for Natural Resources.

**Gan, G., & Riffat, S.** (1998). A numerical study of solar chimney for natural ventilation of buildings with heat recovery. *Applied Thermal Engineering*, 18(12), 1171-1187.

**Givoni, B.** (1976). *Man, Climate and Architecture*. New York, USA: Elsevier press.

**Givoni, B.** (1998). *Climate Considerations*. New York: John Wiley.

**Ji, J., Luo, C., Sun, W., Yu, H., He, W., & Pei, G.** (2009). An improved approach for the application of Trombe wall system to building construction with selective thermo-insulation facades. *Chinese Science Bulletin*, 54(11), 1949-56.

**Jie, J., Hua, Y., Gang, P., Bin, J., & Wei, H.** (2007). Study of PV-Trombe wall assisted with DC fan. *Building and Environment*, 42(10), 3529-39.

**kruzner, k., cox, k., machmer, B., & klotz.** (2013). trends in observable passive solar design for existing homes in the u.s. *energy policy*, 55.

**Kwon, C.** (2014). Form or performance in sustainable architecture. *International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development*, 5(1), 21-27.

**Nasrollahi, F.** (2009). *Climate and Energy Responsive Housing in Continental Climates*. Berlin: Technical University Berlin.

**Nasrollahi, F.** (2013). *Green Office Buildings: Low Energy Demand through Architectural Energy Efficiency*. Berlin: Technical University Berlin.

**Richman, R., Pressnail, K.** (2009). A more sustainable curtain wall system: analytical modeling of the solar dynamic buffer zone (SDBZ) curtain wall. *Building and Environment*, 44(1), 1-10.

**Sharma, A.K., Bansal, N.K., Sodha, M.S., Vinod Gupta.** (1989). Thermal Wall for Cooling/Heating of Building in Composite Climate. *International Journal of Energy Research*, 13, 733-739.

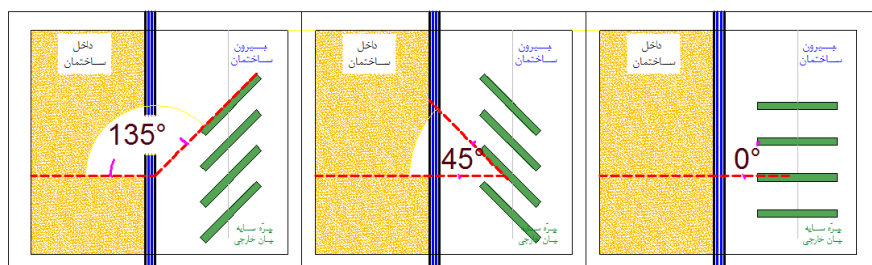
**Yellott, J.I.** (1975). *Solar Oriented Architecture: Research Report for the AIA Research Corporation and the National Bureau of Standards*. Arizona: Arizona State University, Tempe.

**Zalewski, I., Chantant, M., Lassue, S., & Duthoit, B.** (1997). Experimental thermal study of a solar wall of composite type. *Energy and Buildings*, 25(1), 7-18.

**Zalewski, I.S., Lassue, B., Duthoit M, Butez.** (2002). Study of solar walls validating a numerical simulation model. *International Review on Building and Environment*, 37, 109-121.

**Zhai, Z., & Previtali, J.** (2010). Ancient vernacular architecture Characteristics categorization and energy performance evaluation. *Energy Buildings*, 42(3), 357-365.

## پیوست ۱



زاویه پره سایه بان بیرونی: صفر، ۴۵ و ۱۳۵ درجه

## پیوست ۲

جدول نیاز گرمایشی یک‌ساله ساختمان و تأثیر سایه بان متحرک خارجی بر مصرف انرژی گرمایشی

نوع ساختمان (شیشه یک جداره)، کل شبانه روز						
زاویه دیوار جنوبی (درجه)		نیاز انرژی گرمایشی (kwh/m <sup>2</sup> /year)		درصد کاهش نیاز گرمایشی در سال، با ایجاد سایه بان		
Bمدل	Aمدل	B	B <sub>C</sub>	A	A <sub>C</sub>	
۷/۷٪	۷/۳٪	۲۲/۰۴	۲۰/۳۳	۲۲/۶۳	۲۰/۹۸	۰
۸/۴٪	۷/۸٪	۲۰/۶۸	۱۸/۹۵	۲۱/۲۲	۱۹/۵۶	۵
۹/۱٪	۸/۵٪	۱۹/۵۴	۱۷/۷۷	۲۰/۰۸	۱۸/۳۸	۱۰
۹/۶٪	۸/۲٪	۱۸/۷۰	۱۶/۹	۱۸/۹۸	۱۷/۴۳	۱۵
۱۲/۳٪	۱۰/۹٪	۱۹/۶۳	۱۷/۲۱	۱۹/۵۹	۱۷/۴۶	۲۰
۱۳/۹٪	۱۲٪	۱۹/۹۹	۱۷/۲۲	۱۹/۸۲	۱۷/۴۴	۲۵
۱۴/۸٪	۱۲/۴٪	۲۰/۲۷	۱۷/۲۶	۱۹/۸۷	۱۷/۴	۳۰
۱۸/۶٪	۱۴/۴٪	۲۱/۷۸	۱۷/۷۴	۲۰/۳۷	۱۷/۴۵	۴۰
۲۳/۲٪	۱۶/۳٪	۲۵	۱۹/۲۱	۲۱/۱۱	۱۷/۶۸	۵۰
۲۵/۷٪	۱۷/۲٪	۲۷/۸۱	۲۰/۶۶	۲۱/۵۴	۱۷/۸۴	۵۵
۲۸/۵٪	۱۸/۱٪	۳۲/۱۵	۲۳	۲۱/۹۶	۱۷/۹۹	۶۰