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 سرکرده یی
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 ثقفی
دانشیار دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اصفهان
saghafi@aui.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 علّی؛ شبیه‌سازی حرارتی با نرم‌افزار دیزاین بیلدر استفاده شد. زاویه‌ی دیوار با محور قائم، از صفرتا 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 شیشه‌خور (تک جداره) دارای سایه‌بان متحرک بیرونی، در دو بازه¬ی زمانی (ساعت ۸- ۱۸) و کل شبانه¬روز با گام یک ساله¬، به ترتیب نیازگرمایشی 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 دریافت: ۱۳۹۶/ ۹/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/ ۱/۳۱

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

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 تولیدشده 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 درافزایش 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 قابل‌توجهی 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). به‌عنوان‌مثال 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

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

آن به‌عنوان معماری ایستا، نام برد (Zhai & Previtali, 2010). خورشید به‌عنوان منشأ گرمای کره‌ی 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[1]، 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 به‌منظور دریافت بیشتر انرژی خورشید، ایجاد گرمایش ایستا و صرفه‌جویی در مصرف انرژی، مسئله‌ی پژوهش است.

بیان مسئله پژوهش

ایران درمجموع کشوری است آفتابی و ازنظر مقدار و دریافت انرژی خورشیدی در شمار بهترین کشورها محسوب می‌شود (حاج سقطی، ۱۳۸۰). به گفته متخصصان این فن باوجود ۳۰۰ روز آفتابی و متوسط تابش ۴/۵- ۵/۵ کیلووات ساعت بر مترمربع در روز، یکی از کشورهای با پتانسیل بالا درزمینه‌ی انرژی خورشیدی معرفی‌شده 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 ازنظر

1. passive solar heating

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

دریافت انرژی خورشید دارای پتانسیل بالایی است و بر اساس برآوردهای انجام‌شده انرژی تابشی ورودی به یزد MJ/M^2 ۷۷۸۷ در سال است (معینی و همکاران، ۱۳۸۹)؛ انگیزه‌ی اصلی این پژوهش، ایجاد گرمایش خورشیدی ایستا وکاهش 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 بازشوهای جنوبی با ایجاد گرمایش ایستا (روش جذب مستقیم) و صرفه‌جویی در مصرف انرژی فسیلی، هدف اصلی تحقیق است.

فرضیه پژوهش

نظر به اینکه مقدار زاویه‌ی تابش اشعه‌ی خورشید در هرلحظه متغیر است؛ بر اساس فرضیه‌ی پژوهش؛ بهترین شرایط ساختمان ازنظر 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، به‌منظور 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 فضایی که گرم کردن آن موردنظر است، واردشده 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 موردنظر و انباره حرارتی وجود دارد (کسمایی، ۱۳۸۹؛ لکنر،

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

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 طراحی‌شده (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). به‌طورکلی سیستم‌های گرمایش خورشیدی در زمستان عملکرد گرمایش را با بازدهی مناسب انجام می‌دهند، اما برای جلوگیری از گرمای بیش‌ازحد در تابستان باید تمهیداتی اندیشیده شود (Givoni, 1998). پژوهش‌های زیادی به توصیف و تحلیل دیوارهای (جنوبی) ذخیره کننده 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 نپرداخته ست. 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[1] (Gan & Riffat , 1998) استفاده از شیشه دوجداره (Jie , Hua, et al. 2007) باهدف افزایش کارایی سیستم گرمایشی ایستا، دیوار

1. low- e

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

جنوبی ترمب، ارزیابی‌شده 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 موردبررسی، در ماه‌های گرم به کنترل نیاز سرمایشی ساختمان نیز خواهد پرداخت.

۳. روش‌شناسی تحقیق

تحقیق ازنظر هدف، یک تحقیق کاربردی با رویکرد کمّی است. روش تحقیق مورداستفاده در این پژوهش؛ روش علّی، شبیه‌سازی رایانه‌ای، است. شبیه‌سازی از روش‌های مناسب در پژوهش-های معماری است. امکان ساخت و بررسی مدل‌های ساختمانی را به تعداد زیاد فراهم می‌کند (گروت و وانگ، ۱۳۸۴). روش پژوهش آزمایشی (علّی) یکی از اساسی‌ترین تکنیک‌های گردآوری داده (مخصوصاً در حوزه‌ی معماری ساختمان) است. آزمایش به‌گونه‌ای 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[۱]، ابزار تحقیق است. این نرم‌افزار از حل گر پایه انرژی پلاس[۲] برای تحلیل فرایندهای انتقال حرارت حاکم بر ساختمان بهره می‌گیرد (Designbuilder, 2017).

اعتبارسنجی ابزار پژوهش؛ نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر

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

4. Designbuilder
5. EnergyPlus

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

گرفت (ANSI/ASHRAE, 2004). نرم‌افزار انرژی پلاس از ابزارهای شبیه‌سازی مرسوم در حوزه انرژی و ساختمان بوده و پژوهش‌های زیادی با این نرم‌افزار انجام شده و انتشاریافته‌اند؛ نصراللهی (Nasrollahi, 2009)، انصاری‌منش (انصاری منش، ۱۳۹۲)، نصراللهی (Nasrollahi, 2013) و سرکرده‌یی (سرکرده‌یی، ۱۳۹۷) ..... . همچنین برخی کشورهای حوزه اسکاندیناوی و اروپا جهت تصمیم سازی‌های کلان از نرم‌افزار دیزاین بیلدر بهره برده‌اند.

کاربرد تحقیق

کاربرد تحقیق در زمینه طراحی و اجرای معماری ساختمان‌های مسکونی است. نتایج این تحقیق می‌تواند از جنبه‌ی استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر و کاهش وابستگی ساختمان مسکونی به انرژی فسیلی، مدّ نظر قرار گیرد.

مراحل تحقیق

در مراحل تحقیق، ابتدا مطالعه عمومی از شرایط اقلیمی در شهر یزد (جدول ۱) و بررسی نمونه موردنظر انجام شد (جدول ۲). در این پژوهش تأثیر متغیرهای دیوار جنوبی ساختمان نمونه بر مصرف انرژی در شهر یزد ارزیابی می‌شود. سه بخش اول به تأثیر متغیرهای دیوار جنوبی بر نیاز حرارتی و انرژی مصرفی گرمایشی ساختمان می‌پردازد. 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 می‌شود و اندازه‌گیری‌ها در دو بازه زمانی (ساعت ۸- ساعت ۱۸) و کل شبانه‌روز در گام زمانی یک‌ساله، انجام‌شده است. به‌طورکلی این پژوهش چهار بخش را شامل می‌شود؛ ساختمان در ۱۱ زاویه دیوار جنوبی، مدل‌سازی شد (کمترین صفر و بیشترین ۶۰ درجه).

بخش اول پژوهش، در تمامی مدل‌ها شیشه دیوار جنوبی دارای مساحت یکسان ۲۲ مترمربع، است (با و بدون سایه‌بان (گونه‌ی AC و A)).

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

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 موردبررسی قرار گرفت (گونه‌ی F).

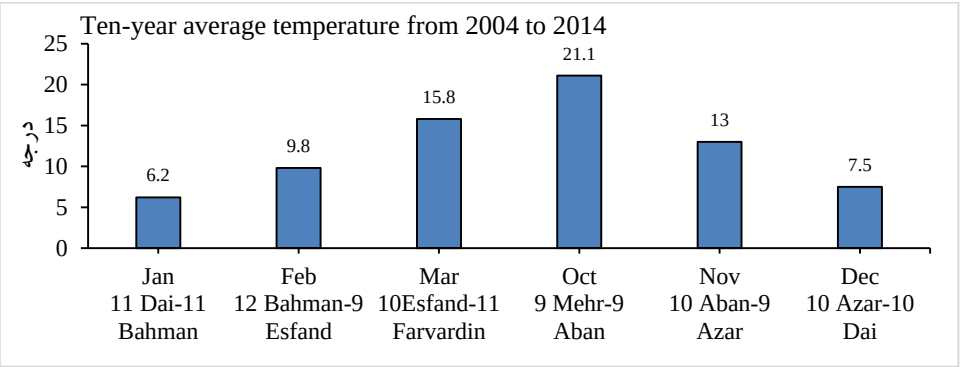
بخش چهارم پژوهش: بررسی مصرف انرژی سالیانه (گرمایشی- سرمایشی) ساختمان نمونه، با تغییر زاویه‌ی دیوار جنوبی از حالت قائم به زاویه‌های موردبررسی.

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

٤. 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 به‌عنوان 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 گزارش‌شده 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.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]



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 سرمایش 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). سرمایش تبخیری (در ترکیب با تهویه طبیعی): مانند استفاده از حوض آب در مسیر کوران هوا یا کولرآبی، 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 قابل‌دستیابی است. زاویه تابش[1] 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[2]، 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

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

بیلدر استخراج‌شده است. (میانگین زاویه‌ی تابش در یک ساعت مشخص روزهای یک ماه، با زاویه‌ی 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 به‌دست‌آمده (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
ساعت	زاویه تابش (درجه)	زاویه تابش (درجه)	زاویه تابش (درجه)	زاویه تابش (درجه)	زاویه تابش (درجه)	زاویه تابش (درجه)
۷/۰۰	۳/۲	۷/۱	۱/۵	۳	۹/۵	۴/۷
۸/۰۰	۱۴	۱۸/۶	۱۴	۱۵	۲۰	۱۵
۹/۰۰	۲۳/۴	۲۹	۲۶	۲۶	۲۹	۲۴
۱۰/۰۰	۳۰/۹	۳۷	۳۷	۳۷	۳۵	۳۰
۱۱/۰۰	۳۵/۵	۴۳	۴۷	۴۵	۳۹	۳۴/۲
۱۲/۰۰	۳۶/۴	۴۵	۵۳	۴۹	۳۸	۳۴/۴
۱۳/۰۰	۳۴	۴۲	۵۵	۴۸	۳۴	۳۱
۱۴/۰۰	۲۸	۳۵	۵۱	۴۳	۲۷	۲۴
۱۵/۰۰	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).

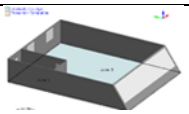
[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

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 حیاط‌خلوت 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. به‌جز 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، قابل‌تعمیم‌تر باشد.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

جدول ۲. مشخصات ساختمان نمونه

	ارتفاع طبقه (۳ متر)	**ارتفاع خرپشته (۲/۵ متر)**		
	ابعاد خارجی ساختمان (۱۰×۱۳/۲ مترمربع)	دارای دو فضای داخلی: فضای کلی و فضای سیرکولاسیون (راه‌پله)		
جزییات اجرایی از خارج به داخل، سانتی متر	دیوارهای خارجی	سقف	کف	دیوارهای داخلی
	نمای سبک، رمانتکس، (۲) بتن با چگالی متوسط، (۷) عایق، پلی استایرن، (۸) بتن با چگالی متوسط، (۵) گچ، (۳)	آسفالت یا ایزوگام، (۳) بتن مسلح، (۱) عایق، پلی استایرن، (۵) بتن با چگالی متوسط، (۵) تیرچه، بلوک سفالی، (۱۵) گچ، (۳)	بتن، (۱۴) عایق، پلی استایرن، (۵) ملات ماسه سیمان، (۱) سرامیک، (۲)	گچ، (۲/۵ س) آجر، (۱۰ س) گچ، (۲/۵ س)
پنجره‌ها، سانتی متر	تک جداره	پروفیل آلومینیم، ۴	شیشه معمولی، ۰/۳	
	دوجداره	پروفیل یو پی‌وی‌سی، 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).

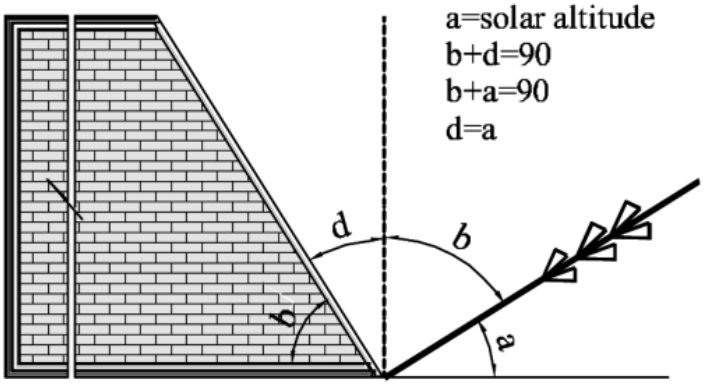
ساختمان در ۵ گونه‌ی تنظیمات سطح شفاف				
گونه A مساحت شیشه یکسان، ۲۲ مترمربع، بدون سایه‌بان	گونه AC مساحت شیشه یکسان، ۲۲ مترمربع، با سایه‌بان بیرونی	گونه B مساحت شیشه (سرتاسری) متناسب با شیب دیوار، بدون سایه‌بان	گونه BC مساحت شیشه متناسب با شیب دیوار، با سایه‌بان بیرونی	گونهF بدون شیشه

مأخذ: مصالح پیشنهادی (نگارندگان)

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

٦. 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 ازنظر 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 ($۲۲m^2$) دیوار جنوبی، موردبررسی 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).

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

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 AC, A : مساحت شیشه یکسان،۲۲ مترمربع											

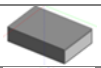
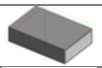
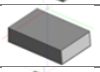
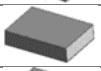
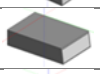
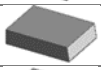
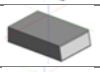
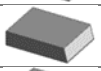
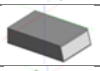
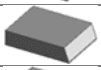
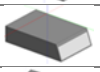
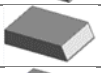
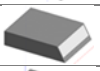
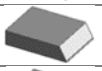
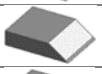
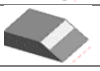
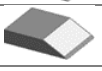
مأخذ: یافته‌های تحقیق

برای دستیابی به زاویه‌ی مناسب دیوار جنوبی، نیاز گرمایشی گونه‌های دارای شیشه‌ی جنوبی، در "جدول ۴" آمده است. بر اساس فرضیه (در یزد)، دیوار ° ۲۸، بیشترین گرمایش ایستا را ایجاد می‌کند. یافته‌ها در اولین مرحله شبیه‌سازی، فرضیه را رد کرد (جدول ۴). در گونه‌ی A و Ac، به ترتیب: دیوار ° ۳۰ و ° ۴۰ 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.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

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

تصاویر (شیشه یک جداره)		زاویه دیوار جنوبی (درجه)	نیاز انرژی گرمایشی ($kwh/m^2/year$)					
			کل شبانه‌روز	ساعت ۸ تا ۱۸		کل شبانه‌روز	ساعت ۸ تا ۱۸	
گونه A	گونه B		Ac	Ac	A	B_C	B_C	B
		۰	۲۰/۹۸	۴/۸	۵/۶۱	۲۰/۳۳	۴/۲۱	۵/۰۲
		۵	۱۹/۵۶	۴/۰۳	۴/۸۱	۱۸/۹۵	۳/۴۹	۴/۲۵
		۱۰	۱۸/۳۸	۳/۴۳	۴/۱۸	۱۷/۷۷	۲/۸۸	۳/۶
		۱۵	۱۷/۴۳	۲/۹۷	۳/۷	۱۶/۹	۲/۳۹	۳/۱۱
		۲۰	۱۷/۴۶	۲/۸	۳/۶۳	۱۷/۲۱	۲/۲۶	۳/۰۸
		۲۵	۱۷/۴۴	۲/۶۹	۳/۵۸	۱۷/۲۲	۲/۰۶	۲/۹۴
		۳۰	۱۷/۴	۲/۶	۳/۵۵	۱۷/۲۶	۱/۸۵	۲/۸
		۴۰	۱۷/۴۵	۲/۵۶	۳/۶۶	۱۷/۷۴	۱/۵۶	۲/۷۱
		۵۰	۱۷/۶۸	۲/۶۶	۳/۹۷	۱۹/۲۱	۱/۴۲	۲/۹۲
		۵۵	۱۷/۸۴	۲/۷۵	۴/۱۸	۲۰/۶۶	۱/۴۳	۳/۲۵
		۶۰	۱۷/۹۹	۲/۸۶	۴/۴۱	۲۳	۱/۵۵	۳/۹۲

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 نیازگرمایشی، زیاد ارزیابی می‌شود (جدول ۴ و پیوست ۲).

درصورتی‌که 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

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

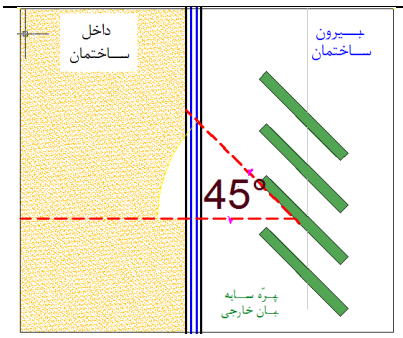
محور قائم، تا جایی که دریافت گرمایش خورشیدی سطح شیب‌دار از اتلاف حرارت آن بیشتر باشد، در مصرف انرژی گرمایشی صرفه‌جویی خواهد شد. به عنوان مثال در بازه‌ی ۸- ۱۸، با افزایش زاویه‌ی دیوار تا ۵۰° (گونه Bc)، کاهش نیاز گرمایشی ارزیابی می‌شود (جدول ۴).

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 پرّه‌ی سایه‌بان بیرونی: زاویه‌ای که از تقاطع امتداد پره (سایه‌بان بیرونی) با خط عمود بر شیشه ایجاد می‌شود. در شکل ۲، مشخصات سایه‌بان بیرونی پژوهش معرفی‌شده است.



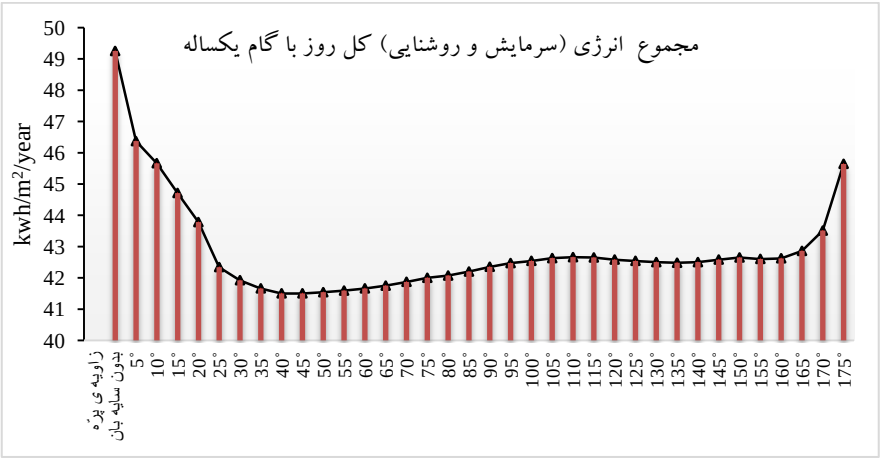
۰/۰۵ (متر)	**فاصله پرّه از پنجره**
افقی	جهت استقرار پرّه‌ها
۰/۰۲۵۰(متر)	عرض پرّه
هم‌اندازه طول پنجره	طول پرّه
۰/۰۰۱(متر)	ضخامت پرّه
۴۵ (درجه)	زاویه پرّه
۰/۹(وات بر متر- کلوین)	ضریب هدایت گرمایی پرّه

شکل ۲. مشخصات سایه‌بان مورداستفاده در مدل‌سازی

در مدل سازی‌ها، روشنایی ساختمان نمونه، با لامپ‌های LED، تأمین می‌شود. به‌منظور دستیابی به زاویه‌ی مناسب پرّه‌ی سایه‌بان، زاویه‌های مختلف پرّه‌ی سایه‌بان از زاویه‌ی ۵° تا ۱۷۵° شبیه‌سازی، نیاز سرمایشی و نیاز روشنایی ساختمان اندازه‌گیری و بررسی شد (نمودار ۲).

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

درصورتی‌که سایه‌بان بیرونی نصب شود؛ مصرف انرژی سرمایش کاهش و انرژی جهت روشنایی افزایش می‌یابد؛ اما کاهش مصرف انرژی در قسمت سرمایش، بسیار قابل‌توجه است. زاویه‌ی بهینه‌ی پرّه سایه‌بان بیرونی، زاویه‌ی ۴۰° یا ۴۵° است (نمودار ۲). کمترین میزان مصرف انرژی، مجموع روشنایی و سرمایش؛ در زاویه‌ی ۴۵° پرّه سایه‌بان بیرونی، ۴۱ kwh/m^2/year است. در مدل‌سازی‌های آتی، سایه‌بان بیرونی با پرّه‌ی ۴۵° انتخاب شد.



نمودار ۲. تأثیر زاویه‌ی پرّه‌ی سایه‌بان بیرونی، بر انرژی‌مصرفی (سرمایش و روشنایی)، کل روز با گام یک‌ساله

پس از محاسبه‌ی زاویه‌ی بهینه‌ی پرّه‌ی سایه‌بان در قسمت کاهش مصرف انرژی سرمایش؛ میانگین زاویه‌ی تابش ماه‌های گرم محاسبه گردید (جدول ۵). میانگین زاویه‌ی تابش در دوره‌ی سرمایش، حدوداً ۴۴° است (جدول ۵) و به‌این‌ترتیب نتایج نمودار ۲ مورد تایید است.

جدول ۵. میانگین زاویه‌ی تابش ۱۵ ام ماه‌های گرم یزد

روز	15-Sep	15- Agu	15-Jul	15-Jun	15-May	15-Apr	میانگین از Apr تا Sep
میانگین زاویه تابش (درجه)	۳۶/۹	۴۴	۴۸/۲	۴۹/۱	۴۶/۷	۴۱	۴۴/۳

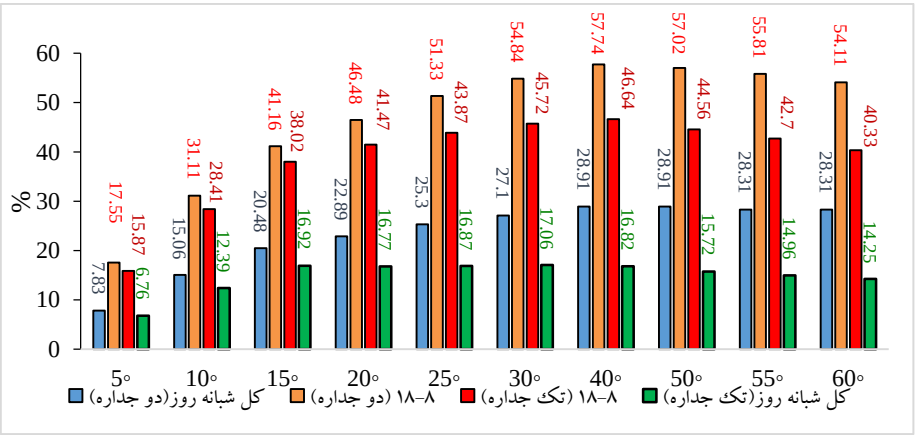
مأخذ: مستخرج از نرم‌افزار دیزاین بیلدر

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

با ورود نور بیشتر به بنا، نیاز به انرژی روشنایی کمتر و انرژی موردنیاز سرمایش بیشتر است. به‌طور مثال؛ در زاویه‌ی ۱۳۵° پرّه‌ی سایه‌بان، نیاز به انرژی روشنایی کمتر از زمانی است که زاویه‌ی پرّه‌ی سایه‌بان ۴۵° باشد و در مقابل نیاز به انرژی سرمایشی، در حالت اول بیش‌تر از دومی است (تصویر ۱۳۵° پرّه‌ی سایه‌بان، به پیوست می‌باشد).

بحث

در بخش اول پژوهش (ساعت ۸- ۱۸)، با افزایش زاویه دیوار جنوبی گونه Ac، تا زاویه ۴۰ درجه، ۴۶/۶٪ انرژی موردنیاز گرمایشی کاهش می‌یابد که ۳۸٪ این کاهش تا زاویه ۱۵° اتفاق می‌افتد. در "نمودار ۳" درصد صرفه‌جویی انرژی گرمایشی ساختمان نمونه در زاویه‌های مختلف دیوار جنوبی گونه‌ی "Ac" شهر یزد نشان داده‌شده است.

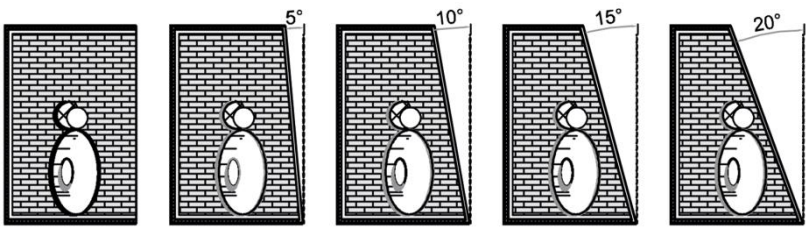


نمودار ۳. درصد صرفه‌جویی انرژی گرمایشی "Ac" در زاویه‌های مختلف دیوار (یافته‌های تحقیق)

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 ایجادگرمایش ایستا تا زاویه ۱۵° حاصل می‌شود

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

(جدول و نمودار ۳)، بعلاوه در شرایطی که تراز کف ساختمان تغییر نکند، سر گیر 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 تاثیر 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

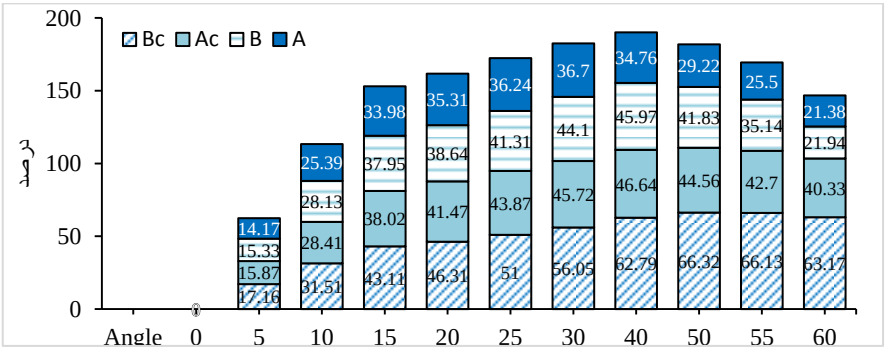
نوع ساختمان (شیشه تک‌جداره)	میانگین درصد صرفه‌جویی انرژی گرمایشی، از زاویه‌ی ۰ تا ۶۰ °، نسبت به دیوار قائم	
	۸– ۱۸	کل شبانه‌روز
گونه Bc	٪۴۵	٪۷/۷۶
گونه Ac	٪۳۵	٪۱۳/۵
گونه B	٪۳۱	ندارد
گونه A	۲۶/۶	ندارد

مأخذ: یافته‌های تحقیق

در نمودار ۴، درصد صرفه‌جویی انرژی گرمایشی در گونه‌های مختلف ساختمان نمونه (شیشه تک‌جداره)، از زاویه‌ی ° ۰ تا ° ۶۰، نشان داده‌شده 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

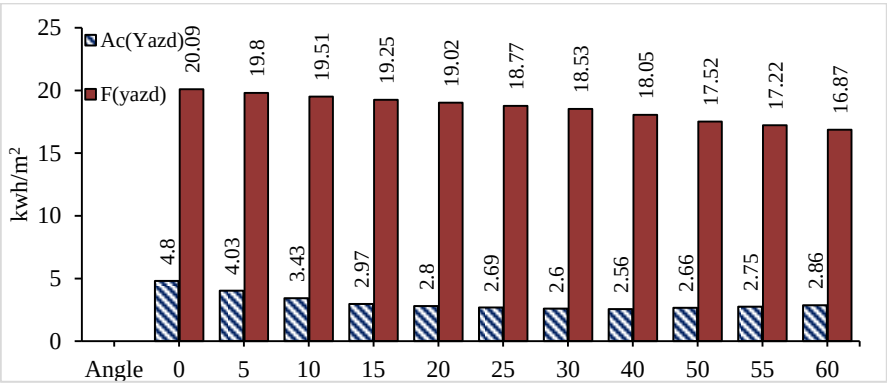
[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

حالت قائم، صرفه‌جویی دارد؛ قابل‌توجه است که ۴۳/۱٪ از ۶۶/۳٪ 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، ۳۱۸٪ 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 گونه F) نیز فرضیه را رد کرد.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

انرژی سالیانه موردنیاز (گرمایشی- سرمایشی) ساختمان نمونه

به‌طورمعمول 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 $kwh/m^2/year$

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

مأخذ: یافته‌های تحقیق

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

[1] ضریب عملکرد دستگاه

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

مصرفی یک‌سال ساختمان مشخص شده است. زاویه‌ی پیشنهادی جهت تغییر زاویه‌ی دیوار در ساختمان با شیشه‌ی تک جداره، زاویه‌ی ۱۵ درجه است. زاویه‌دار کردن دیوارساختمان 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 $kwh/m^2/year$

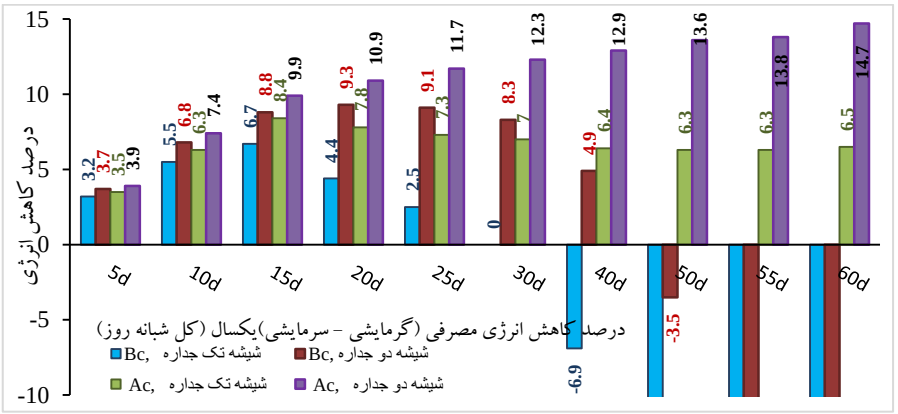
مجموع انرژی ، کلّ شبانه‌روز				
	گونه‌ی Bc		**گونه‌یAc**	
شیشه زاویه دیوار	دو جداره	یک جداره	دو جداره	**یک جداره**
۰°	۵۳/۳	۶۴/۲۲	۵۴/۳	**۶۴/۶**
۵°	۵۱/۳	۶۲/۱۶	۵۲/۱۳	**۶۲/۲۹**
۱۰°	۴۹/۶۶	۶۰/۶۶	۵۰/۲۳	**۶۰/۴۹**
۱۵°	۴۸/۵۶	۵۹/۹	۴۸/۹	**۵۹/۱۳**
۲۰°	۴۸/۳	۶۱/۳۴	۴۸/۳۶	**۵۹/۵۱**
۲۵°	۴۸/۴	۶۲/۵۶	۴۷/۹	**۵۹/۸۴**
۳۰°	۴۸/۸۶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

در نمودار ۷، درصد کاهش مصرف انرژی ساختمان نمونه،گونه Bc, Ac، با تغییر زاویه‌ی دیوار (نسبت به همان‌گونه با دیوار قائم) ، مشخص شده است. در گونه‌ی Bc، زاویه‌دار کردن

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

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 ۴گونه‌ی نمودار ۷، در زاویه‌های ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درجه به‌ترتیب ۳/۵۷، ۶/۵، ۸/۴۵، ۸/۱ و ۷/۵۶ است. ملاحظه‌می‌شود تا زاویه‌ی ۱۵ دیوار، میانگین درصد کاهش مصرف انرژی ۴گونه‌ی نمودار ۷، روند افزایشی دارد و بعد از ۱۵درجه، این روند، کاهشی است.



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

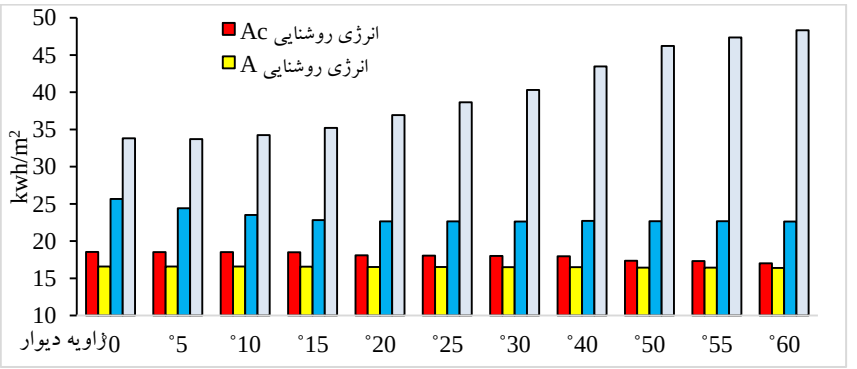
وجود شیشه در سطوح خارجی ساختمان نیاز سرمایشی را بالابرده و در مقابل، افزایش مساحت شیشه‌ی جنوبی، با جذب گرمایش خورشیدی، کاهش نیاز گرمایشی را نتیجه می‌دهد.

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.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

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).

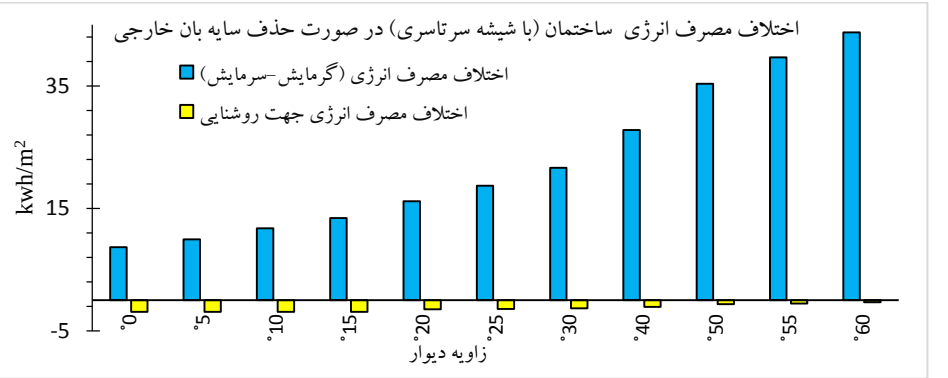


نمودار ۸. مصرف انرژی (گرمایش- سرمایش- روشنایی) A و Ac در زاویه‌های مختلف دیوار ساعت ۸-۱۸،

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. درنتیجه و بر اساس یافته‌های " نمودار ۸" ایجاد سایه‌بان بیرونی مقرون‌به‌صرفه است. استفاده از سایه‌بان بیرونی در ساختمان با شیشه‌ی سرتاسری، مصرف انرژی را به‌شدت 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. به‌طور 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).

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]



نمودار ۹. اختلاف مصرف انرژی (گرمایش – سرمایش، 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 انجام‌شده است. اندازه‌گیری‌ها در دو بازه‌ی زمانی (ساعت ۸- ۱۸) و کلّ شبانه‌روز در گام زمانی یک‌ساله، انجام‌شده است.

پس از مدل‌سازی و شبیه‌سازی رایانه‌ای یافته‌های پژوهش نشان داد: دیوار زاویه‌دار نسبت به دیوار قائم در ایجاد گرمایش ایستا تأثیر قابل‌توجهی 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 ۴۰° گونه Ac، انرژی موردنیاز گرمایشی، کاهش می‌یابد. ۳۸٪ این کاهش تا زاویه ۱۵° حاصل می‌شود. بخش دوم پژوهش، درگونه Bc تا زاویه ۵۰° در یزد با ۶۶/۳٪ نسبت به دیوار قائم در مصرف انرژی گرمایشی صرفه‌جویی دارد که ۴۳/۱٪ تا زاویه ۱۵° 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

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

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

درصورتی‌که ساختمان دارای شیشه‌ی دوجداره باشد: دیوار با زاویه‌ی °۱۵، درگونه 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 نیازگرمایشی 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 "شکل۳"، 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

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

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

منابع

ابراهیم پور، عبدالسلام و یوسف کریمی واحد (۱۳۹۱)، "روش های مناسب بهینه سازی 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 ساختمان های 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 کرکرهای 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 کتاب های 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

سالنامه هواشناسی (۱۳۹۴)، سازمان هواشناسی کشور، بازیابی از گزارش سازمان هواشناسی کشور: irimo.ir

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

سرکره‌یی، الهام (۱۳۹۷). پایان‌نامه‌ی دکتری، امکان‌سنجی ترکیب دو سامانه¬ی (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 ییلاق، منیحه؛ خسروی، زهره، مترجم) تهران: سمت

گروت، لیندا و دیوید وانگ (۱۳۸۹)، روش های تحقیق در معماری، (عینی¬فر، علیرضا. مترجم) تهران: دانشگاه تهران.

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

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

لکنر، نربرت (۱۳۸۵)، سرمایش، گرمایش، روشنایی. (کی نژاد، محمد علی وآذری، 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، فولر (۱۳۸۲)، سییستم های کنترل محیط زیست، (کی نژاد، محمد علی وآذری، 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.

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 fac¸ ades. 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.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

Sharma, AK., Bansal, NK., Sodha, MS., 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.

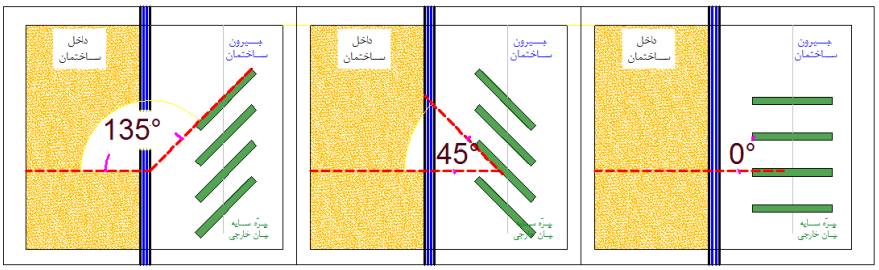
Zalewski, l., Chantant, M., Lassue, S., & Duthoit, B. (1997). Experimental thermal study of a solar wall of composite type. Energy and Buildings, 25(1), 7-18.

Zalewski, l.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.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

پیوست ۱



زاویه پرّه سایه‌بان بیرونی: صفر، ۴۵ و ۱۳۵ درجه

پیوست ۲

جدول نیاز گرمایشی یک‌ساله ساختمان و تاثیر سایه‌بان متحرک خارجی بر مصرف انرژی گرمایشی

نوع ساختمان (شیشه یک جداره)، کل شبانه روز

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

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]