

بهینه‌سازی جهت استقرار ساختمان در بهره‌مندی از تابش خورشیدی در اقلیم گرم و خشک (مطالعه موردی: شهرهای اصفهان، سمنان، کرمان و یزد)

حسن اکبری^{۱*}، فاطمه سادات حسینی نژاد^۲

۱- استادیار معماری، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۲- دکتری شهرسازی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

(تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۴/۱۹، تاریخ پذیرش نهائی: ۱۳۹۸/۰۸/۲۳)

چکیده

با توجه به شرایط خاص جغرافیایی و اقلیم گرم و خشک فلات مرکزی ایران، طراحی و ساخت بناها و فضاهای شهری همساز با اقلیم در این مناطق، نیازمند کسب حداقل انرژی خورشید در ماه‌های گرم از طریق جهت‌گیری مناسب، کاهش سطوح در معرض تابش و ایجاد حداکثر سایه‌اندازی بر روی سطوح خارجی است. هدف این پژوهش، تعیین جهت‌های بهینه استقرار ساختمان‌ها در اقلیم گرم و خشک منطقه، از طریق بررسی میزان انرژی مستقیم دریافتی سطوح قائم ساختمان‌ها در شهرهای اصفهان، سمنان، کرمان و یزد است. ابتدا با استفاده از روش محاسباتی قانون کسینوس، میزان انرژی تابشی دریافتی به صورت نظری و واقعی محاسبه گردید. سپس بر اساس حداقل دمای پایه آسایش حرارتی، میزان انرژی دریافتی سطوح قائم به تفکیک دوره‌های سرد و گرم سال در ۲۴ جهت مختلف جغرافیایی محاسبه و پردازش گردید. در نهایت بر اساس حداقل انرژی دریافتی در دوره گرم سال، جهت مناسب استقرار سطوح قائم ساختمان‌های یک، دو و چهارطرفه در شهرهای مورد مطالعه تعیین گردیده است. یافته‌های تحقیق نشان می‌دهد که بهترین جهت استقرار سطوح قائم ساختمان‌های یک‌طرفه در شهرهای اصفهان، سمنان، کرمان و یزد جهت ۱۸۰ درجه جنوب و بعد از آن جهت ۱۶۵ درجه جنوب شرقی است. هم‌چنین بهترین جهت استقرار سطوح قائم ساختمان‌های دوطرفه در شهرهای مورد مطالعه، جهات (۱۸۰، ۰) درجه و برای ساختمان‌های چهارطرفه جهات (۱۸۰، ۰، ۹۰، -۹۰) درجه است.

کلید واژه‌ها: اقلیم گرم و خشک، جهت‌گیری ساختمان، سطوح قائم، انرژی خورشیدی، قانون کسینوس

*- نویسنده مسئول: Email: h.akbari.arc@gmail.com

پرسش‌های پژوهش

زاویه بهینه استقرار سطوح قائم ساختمان‌ها بر اساس دریافت مستقیم تابش خورشید در شهرهای اقلیم گرم و خشک ایران (اصفهان، سمنان، کرمان و یزد) چگونه است؟

۱- مقدمه

طراحی ساختمان‌های همساز با اقلیم و بهره‌مند از انرژی‌های تجدیدپذیر از جمله انرژی خورشیدی می‌تواند نقش مهمی در کاهش مصرف انرژی‌های فسیلی داشته باشد. فرم و پوسته خارجی ساختمان مهمترین پارامترهای موثر بر اقلیم داخلی ساختمان بوده (Hemsath & Bandhosseini, 2003; Oral & Yilmaz, 2015; Alagheband, 2015) و اندازه و جهت استقرار پوسته خارجی بر عملکرد حرارتی ساختمان تاثیر مستقیم دارند. به منظور دستیابی به شکل و فرم پایدار ساختمان از نظر انرژی، لازم است پوسته‌های خارجی ساختمان طوری طراحی و جهت‌گیری شوند که در مواقع سرد سال حداکثر انرژی تابشی خورشید و در مواقع گرم کمترین انرژی خورشیدی را دریافت نمایند. با توجه به اقلیم گرم و خشک شهرهای فلات مرکزی ایران، تامین آسایش حرارتی فضاهای داخلی و بیرونی، نیازمند کنترل و به حداقل رساندن دریافت تابش خورشیدی در ماه‌های گرم از طریق افزایش مقاومت و ظرفیت حرارتی مصالح، جهت‌گیری مناسب، افزایش سایه‌اندازی و بازتاب سطوح خارجی است. این تحقیق درصدد است تا با بررسی میزان تابش مستقیم دریافتی سطوح قائم ساختمان‌ها با استفاده

از روش‌های محاسباتی قانون کسینوس، جهات مناسب استقرار ساختمان‌ها را بر اساس دریافت بهینه تابش در شهرهای اصفهان، سمنان، کرمان و یزد تعیین نموده و امکان برنامه‌ریزی مناسب و مدیریت مصرف و تامین انرژی ساختمان را از طریق کنترل مقادیر دریافت و جذب تابش بر اساس مواقع نیاز به انرژی گرمایشی و سرمایشی فراهم سازد. لذا انجام این تحقیق و تعیین جهت‌گیری بهینه سطوح قائم ساختمان در شهرهای مورد مطالعه به منظور بهره‌مندی بهینه از انرژی خورشید و سازگاری با اقلیم منطقه ضروری است.

۲- پیشینه تحقیق

در رابطه با تاثیر زاویه و جهت استقرار سطوح خارجی ساختمان بر میزان انرژی دریافتی خورشید و تعیین راستای بهینه استقرار بنا به‌عنوان یکی از مهمترین ملاحظات اولیه طراحی فضاهای معماری و شهری همساز با اقلیم مطالعات اندکی صورت گرفته است. بیشتر مطالعات انجام شده در این خصوص در زمینه تاثیر جهت‌گیری ساختمان بر بهینه‌سازی مصرف انرژی‌های گرمایشی، سرمایشی و روشنایی، تامین آسایش حرارتی، تهویه طبیعی و روشنایی طبیعی صورت گرفته است. جهت استقرار یک ساختمان برای کارآمدی انرژی کلی آن اهمیت دارد. یک ساختمان با جهت‌گیری مناسب استقرار می‌تواند ضمن کاهش بارهای گرمایشی و سرمایشی موجب صرفه‌جویی بالا در هزینه‌ها شود. پیش از هر ساخت و ساز، لازم است تصمیم مهمی در تعیین محل ساختمان و جهت استقرار آن اتخاذ

نظر میزان دریافت انرژی و مصرف در شرایط مناسب هستند (برزگر و حیدری، ۱۳۹۲: ۵۲؛ Barzegar et al., 2012: 112). جهت‌گیری بهینه بر اساس تابش آفتاب در شهر سبزوار در ساختمان‌های مسکونی یک‌طرفه، جهت ۱۶۵ و ۱۵۰ درجه جنوب شرقی و در ساختمان‌های دوطرفه جهات (۱۶۵، ۱۵) - درجه تعیین شده است (حسین‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۰۳). جهات مناسب استقرار ساختمان‌ها بر اساس تابش آفتاب و باد در شهر گرگان، محدوده جنوب تا جنوب‌غربی است (مدیری و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۴۱). جهت‌گیری بهینه ساختمان‌ها بر اساس تابش خورشید در شهر شیراز، جهات جنوب و ۱۶۵ درجه جنوب شرقی و غربی تعیین شده است (کرمی‌کرد علیوند و نارنگی‌فرد، ۱۳۹۶: ۱۱۷). در طراحی اقلیمی و تعیین جهت‌گیری بهینه ساختمان‌ها و خیابان‌ها در رابطه با تابش در شهر مشهد، نتایج نشان داد مناسب‌ترین جهت برای استقرار نماهای اصلی ساختمان‌ها، جهت ۱۳۵ درجه جنوب شرقی و مطلوب‌ترین کشیدگی خیابان‌ها و معابر نیز زاویه ازیموت ۲۲۵-۴۵ درجه است (بهزادیان‌مهر و همکاران، ۱۳۹۶: ۲۱۱). در بهینه‌سازی جهت‌گیری استقرار ساختمان در شهر کاشان بر اساس شرایط اقلیمی نتایج نشان داد که جهت مناسب برای ساختمان‌های یک‌طرفه جهت ۱۸۰ درجه جنوب است. جهت مناسب برای ساختمان‌های دوطرفه مربوط به جهت شمال-جنوب و برای ساختمان‌های چهارطرفه، جهت (۱۵۰، ۳۰-) درجه است (کربلائی‌درئی و حجازی‌زاده، ۱۳۹۶: ۱۰۲). در بررسی نقش جهت‌گیری کالبد فضاها شهری در میزان

شود. این امر می‌تواند ساختمان را در مناسب‌ترین راستای خود قرار داده و برای ساکنان نیز بهترین شرایط آسایش محیطی (به لحاظ معماری ساختمان) را فراهم کند (Akande, 2010). روش پایدار برای سرمایه‌ش یک ساختمان، از طریق به حداقل رساندن دریافت تابش، جهت‌گیری مناسب ساختمان، چیدمان مناسب نسبت به ساختمان‌های مجاور و استفاده مناسب از سایه امکان‌پذیر است. جهت استقرار در تعیین میزان نفوذ و دریافت تابش و در نتیجه افزایش گرما و تهویه ساختمان موثر بوده و راهبردهای سایه‌اندازی موجب صرفه‌جویی ۱۰-۲۰ درصد مصرف انرژی سرمایشی ساختمان می‌شود (Sharma, 2016: 139). طبق نظر گیوونی، مهم‌ترین ملاحظات موثر بر جهت‌گیری ساختمان در آب و هوای گرم و خشک، به حداقل رساندن تأثیر تابش خورشیدی بر ساختمان در تابستان است، علی‌رغم اهمیت تهویه، این عامل به عنوان عامل ثانویه بعد از جهت استقرار در نظر گرفته می‌شود (Givoni, 1994). ویکتور اولگی با استفاده از روش‌های محاسباتی، نمودارهایی را به صورت نقاله‌ای ارائه کرده است که به وسیله آنها می‌توان مقدار انرژی خورشیدی مستقیم، پراکنش یافته و منعکس شده بر روی سطوح خارجی یک ساختمان را در عرض‌های مختلف جغرافیایی برآورد کرد، این نمودار به نقاله محاسبه انرژی خورشیدی اولگی معروف است (کسمایی، ۱۳۸۲: ۲۹-۳۱). در بررسی تأثیر تابش دریافتی خورشید در بدنه‌های ساختمان بر مصرف انرژی بخش خانگی در شهر شیراز نتایج نشان داد که خانه‌های با جهت‌گیری اقلیمی جنوب شرقی و شمال غربی از

ایستگاه‌های سینوپتیک کشور تنها داده‌های مربوط به مقدار تابش جهانی (Global Radiation) اندازه‌گیری شده و گزارش می‌گردد. مجموع تابش خورشیدی مستقیم و پراکنده دریافت شده از زاویه فضایی 2π استرادیان بر روی یک سطح افقی، تابش جهانی نامیده می‌شود. مقدار دقیق تابش جهانی با نصب دستگاه پیرانومتر به صورت کاملاً افقی و رو به آسمان در ایستگاه‌های تابش‌سنجی و خودکار هواشناسی اندازه‌گیری می‌شود. طبق دستورالعمل سازمان هواشناسی جهانی در اکثر ایستگاه‌های هواشناسی تنها تابش کلی بر روی سطوح افقی اندازه‌گیری و به صورت میانگین ماهیانه ارائه می‌گردد، توزیع تابش بر روی سطح افقی و تابش کلی ساعتی بر روی سطوح زاویه‌دار و قائم تقریباً برای تمامی نقاط جهان در دسترس نیست. لذا لازم است تابش کلی ساعتی بر روی سطوح زاویه‌دار و عمودی با استفاده از مدل‌های نظری برای عرض‌های مختلف جغرافیایی برآورد گردد (Mondol et al., 2008). یکی از نخستین و پرکاربردترین مدل‌های خطی برآورد میزان تابش خورشید روی سطح افقی بر اساس ساعات آفتابی، مدل انگستروم (Angstrom, 1924)، مدل اصلاح شده انگستروم-پرسکات (Prescott, 1940) و مدل دافی و بکمن (Duffie & Beckman, 2006) است. همچنین بسیاری از محققین جهت افزایش دقت مدل، مقادیر تابش روزانه مستقیم و پراکنده خورشید بر روی سطح افقی را در کشورهای مختلف دنیا با استفاده از پارامترهایی هم‌چون ضریب ابرناکی و زاویه زینت خورشید (Paltridge & Proctor, 1976)، ساعات

آسایش اقلیمی شهروندان بندرعباس نتایج نشان داد که بر اساس عامل آفتاب‌گیری و باد، جهت شمالی-جنوبی مناسب‌ترین و جهت شرقی-غربی نامطلوب‌ترین جهت‌گیری برای فضاهاى باز شهری از نظر اقلیمی است (خیرآبادی و همکاران، ۱۳۹۶: ۲۷). در طراحی اقلیمی و جهت‌یابی بهینه مسکن شهر قائم‌شهر ضمن مطالعه جهت‌یابی استقرار در شهرک‌های نساجی، کوچک‌سرا، فرهنگ و نیکان، نتایج نشان داد، بهترین جهت احداث بنا با توجه به میزان تابش دریافتی، ۵ درجه انحراف از سمت جنوب به سمت شرق یا غرب است (قلی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۸: ۷۳). در طراحی مجموعه همساز با اقلیم در شهر خرمشهر، جهات مناسب برای ساختمان‌های یک‌طرفه، جهت ۱۶۵ درجه جنوب‌شرقی و برای ساختمان‌های دوطرفه جهت جنوب تعیین شده است (افشاری و تقوایی، ۱۳۹۲: ۸۷).

در نتیجه حرکت وضعی و انتقالی زمین و زاویه مدار میل، زاویه تابش و سمت خورشید در هر عرض جغرافیایی و در ساعات مختلف روز با یکدیگر متفاوت بوده و به طبع آن شدت انرژی تابیده شده به سطوح واقع در زمین در ساعات مختلف روز نیز متفاوت است. بنابراین مقدار انرژی خورشیدی تابیده شده به سطوح خارجی ساختمان با توجه به زاویه و جهات استقرار آنها در طول روز، ماه و فصل‌های مختلف سال تغییر می‌کند. تابش خورشید که به اتمسفر بیرونی می‌رسد، پیش از رسیدن به سطح زمین، در معرض جذب، انعکاس و فرآیند عبور از اتمسفر قرار می‌گیرد (Gueymard, 2000). در حال حاضر در

ثابت خورشیدی و ساعات آفتابی در هر یک از شهرهای مورد مطالعه در طولانی مدت ثابت و پایدار هستند.

۳- روش تحقیق

به منظور تعیین بهترین جهت برای استقرار ساختمان و تعیین اولویت‌های استقرار و جهت‌گیری به لحاظ دریافت تابش آفتاب، ابتدا زاویه ساعتی، زاویه مدار میل، طول روز، زاویه آزیموت و زاویه ارتفاع خورشید در ساعات مختلف روز با استفاده از روابط ۴ تا ۸ در شهرهای مورد مطالعه محاسبه گردید. سپس با استفاده از روش محاسباتی قانون کسینوس، میزان انرژی تاییده شده (به صورت نظری و واقعی) در هر ساعت از روز بر روی دیوارهای قائم و در ۲۴ جهت مختلف جغرافیایی محاسبه و بر اساس تغییرات دمای ساعتی و حداقل دمای پایه آسایش حرارتی به تفکیک انرژی دوره سرد و گرم سال پردازش گردید. در نهایت بر اساس کمترین درصد دریافت تابش در دوره گرم سال و یا بیشترین مقدار اختلاف انرژی دریافتی بین دوره سرد و گرم سال، مناسب‌ترین جهات استقرار سطوح قائم ساختمان‌های یک، دو و چهارطرفه تعیین گردید.

۳-۱- روش محاسبه انرژی تابشی

اندازه و شدت پرتو و یا موج رسیده به یک سطح برابر است با حاصل ضرب اندازه و شدت پرتو در حالت عمود بر سطح در کسینوس زاویه بین جهت نرمال (خط عمود بر سطح) و امتداد پرتو تاییده

آفتابی، دمای ماکزیمم و رطوبت نسبی (Sabbagh et al., 1977)، نسبت آفتاب‌گیری، عرض جغرافیایی، رطوبت نسبی و دما (Neuwirth, 1980)، زاویه ارتفاع خورشید و ضریب آفتاب‌گیری (Coppolino, 1990)، ارتفاع از سطح دریا (Samimi, 1994)، عرض جغرافیایی، ارتفاع از سطح دریا، ساعات آفتابی و میانگین دما (Sozen et al., 2004)، ساعات آفتابی، بارش، دمای نقطه شبنم، رطوبت نسبی، دما و فشار هوا (Bakirci, 2009; Maghrabi, 2009; Wu et al., 2007) برآورد نموده‌اند. براساس تحقیقات انجام شده، مهمترین پارامتری که در بیشتر معادلات تجربی برآورد تابش خورشیدی از آن استفاده می‌شود، ساعات آفتابی است. ساعات آفتابی تنها پدیده بلندمدتی است که اطلاعات اندازه‌گیری شده آن دقیق و قابل اعتماد و قابل استفاده برای برآورد دقیق تابش خورشیدی روی سطح زمین است. در این تحقیق جهت محاسبه میزان انرژی تابشی مستقیم سطوح قائم از روش محاسباتی قانون کسینوس استفاده شده است. مهمترین پارامترها جهت محاسبه میزان انرژی تابشی مستقیم بر اساس مدل محاسباتی قانون کسینوس شامل عرض جغرافیایی، زاویه آزیموت، زاویه ارتفاع خورشید، زاویه زینت (θ_z)، زاویه ساعتی، زاویه انحراف (مدار میل)، زاویه جهت سطوح قائم، طول روز (طلوع و غروب آفتاب)، ثابت خورشیدی، ضریب خاموشی جو و ساعات آفتابی است. بیشتر پارامترهای مورد استفاده در این مدل از جمله عرض جغرافیایی، زاویه آزیموت، زاویه تابش، زاویه ساعتی، زاویه انحراف (مدار میل)، طول روز،

جهت تعیین زاویه سمت و زاویه تابش خورشید در هر ساعت از روز در روابط ۲ و ۳، ابتدا لازم است زاویه ساعتی، زاویه انحراف (مدار میل) و طول روز محاسبه گردد. مبدا اندازه‌گیری زاویه ساعتی ظهر خورشیدی است. اندازه این زاویه از $+180$ تا -180 متغیر است. مقدار زاویه ساعتی در نیمکره شمالی در قبل از ظهر مثبت و در بعد از ظهر منفی است. با توجه به اینکه در یک ۲۴ ساعت زمین یک مرتبه به دور خود دوران می‌کند لذا در هر ساعت یک زاویه، ۱۵ درجه طول جغرافیایی را طی می‌کند. بنابراین زاویه ساعتی از طریق فرمول زیر بدست می‌آید.

$$\omega = 15 \times (12 - T) \quad (۴)$$

در رابطه (۴)، T برابر ساعت مورد نظر است. مدار میل خورشید، زاویه انحراف بین تابش خورشید با صفحه استوا است و مقدار آن بین $+23/45$ و $-23/45$ درجه تغییر می‌کند و از رابطه زیر محاسبه می‌گردد (Cooper, 1969).

$$\delta = 23.45 \times \sin[360((364+n)/365)] \quad (۵)$$

در رابطه (۵)، n برابر تعداد روزهای سال از اول سال شمسی است.

طول روز، فاصله زمانی بین طلوع و غروب خورشید است. طول روز نسبت به ظهر خورشیدی قرینه بوده و زمین در هر ساعت ۱۵ درجه حول محور خود حرکت می‌کند. طول روز از رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

$$T_d = 2/15 \arccos(-\tan \delta \times \tan \phi) \quad (۶)$$

در رابطه (۶)، δ زاویه انحراف زمین (مدار میل) و ϕ عرض جغرافیایی به درجه است.

شده، این رابطه به قانون کسینوس معروف است. میزان تابش مستقیم خورشیدی رسیده به یک سطح در روی سطح زمین بر اساس رابطه زیر محاسبه می‌گردد (Watson & Labs, 1983).

$$I_s = I_N \times \cos \theta \quad (۱)$$

در رابطه (۱)، I_s شدت تابش بر روی سطح بر حسب $(BTU/H/FT^2)$ ، I_N شدت تابش خورشید بر روی سطح عمود بر پرتو خورشید بر حسب $(BTU/H/FT^2)$ و θ (زاویه زینت)، زاویه میان شعاع خورشید و خط عمود بر سطح است. در رابطه بالا مقدار I_N از طریق رابطه زیر محاسبه می‌گردد (کسمایی، ۱۳۸۲؛ Ashrae, 1995).

$$I_{DN} = I^\circ \exp(-\alpha / \sinh) \quad (۲)$$

در رابطه (۲)، I_{DN} حرارت حاصل از تابش مستقیم و عمودی آفتاب بر حسب $(BTU/H/FT^2)$ ، I° ثابت خورشیدی (مقدار تابش خورشید در خارج از اتمسفر بر روی یک صفحه عمود بر شعاع خورشید و برابر با $1367W/m^2$)، α ضریب خاموشی جو (Ashrae, 1995) و h زاویه تابش خورشید بر حسب درجه است. همچنین θ زاویه تلاقی میان خورشید و خط عمود بر یک سطح عمودی (دیوار) می‌باشد که به وسیله معادله کسینوس کروی تعیین می‌گردد (Watson & Labs, 1983).

$$\cos \theta = \cosh \cos(Z - N) \quad (۳)$$

در رابطه (۳)، h زاویه تابش، Z زاویه جهت تابش و N زاویه جهت دیوار که در مسیر عقربه‌های ساعت از طرف شمال و بر حسب درجه اندازه‌گیری می‌شود.

در رابطه (۸)، δ زاویه انحراف (مدار میل)، \emptyset عرض جغرافیایی و h زاویه ارتفاع تابش به درجه است.

۲-۳- محدوده مورد مطالعه

بر اساس تقسیمات اقلیمی ایران، شهرهای اصفهان، سمنان، کرمان در منطقه اقلیمی گرم و خشک نیمه بیابانی و شهر یزد گرم و خشک بیابانی با علامت اختصاری «BSks» قرار دارد (گنجی، ۱۳۳۳: ۳۷-۳۹). این شهرها دارای اقلیمی گرم و خشک، با زمستان‌های سخت و سرد و تابستان‌های گرم و خشک است. از ویژگی‌های آب و هوایی این مناطق، اختلاف زیاد درجه حرارت هوای تابستان و زمستان، هم‌چنین اختلاف زیاد درجه حرارت هوای شب و روز در تابستان است. رطوبت کم و نبودن ابر در آسمان باعث نوسانات و اختلافات زیاد درجه حرارت شبانه‌روزی (حدود ۲۰ درجه) در تابستان می‌شود.

زاویه ارتفاع خورشید، زاویه بین شعاع تابش خورشید با تصویر آن روی صفحه افق بوده و مقدار آن از صفر تا ۹۰ درجه تغییر می‌کند. این زاویه بر اساس رابطه زیر به دست می‌آید.

$$\text{Sinh}=(\cos\emptyset\times\cos\delta\times\cos\omega)+(\sin\emptyset\times\sin\delta) \quad (۷)$$

در رابطه (۷)، δ زاویه انحراف (مدار میل)، \emptyset عرض جغرافیایی به درجه و ω زاویه ساعتی نسبت به ظهر است.

زاویه سمت یا آزیموت خورشید، زاویه بین تصویر شعاع تابش خورشید بر صفحه افق با راستای شمال بوده و مقدار آن از $+180$ تا -180 درجه تغییر می‌کند. این زاویه از سمت جنوب به سمت شرق، مثبت و به سمت غرب، منفی است. زاویه سمت بر اساس رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

$$\text{SinZ}=(\cos\delta\times\sin\emptyset)/\cosh \quad (۸)$$

جدول ۱- ویژگی‌های جغرافیایی و اقلیمی شهرهای مورد مطالعه (ماخذ: منبع: irimo.ir).

دوره آماری	متوسط رطوبت نسبی (درصد)	دمای سالیانه (درجه)			ارتفاع از سطح دریا (متر)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	
		میانگین	کمینه	بیشینه				
۲۰۱۸-۲۰۰۸	۳۲/۷	۱۶/۱	۶/۵	۲۴/۸	۱۵۵۰	°۵۱ ۴۰' E	°۳۲ ۳۷' N	اصفهان
۲۰۱۸-۲۰۰۸	۳۴/۸	۱۹	۱۳/۱	۲۴/۶	۱۱۳۰	°۵۳ ۳۳' E	°۳۵ ۳۵' N	سمنان
۲۰۱۸-۲۰۰۸	۲۷/۲	۱۷/۵	۷/۶	۲۶	۱۷۵۳	°۵۶ ۵۸' E	°۳۰ ۱۵' N	کرمان
۲۰۱۸-۲۰۰۸	۲۴/۳	۲۰/۹	۱۳/۷	۲۷/۸	۱۲۳۷	°۵۴ ۱۷' E	°۳۱ ۵۴' N	یزد

برای روز- درجه گرمایش، ۱۸ درجه سانتی‌گراد است (مقررات ملی ساختمان ایران- مبحث ۱۹، ۱۳۸۸). با توجه به حداقل دمای پایه آسایش حرارتی، دمای ساعتی روزانه هوای شهرهای اصفهان، سمنان، کرمان و یزد به ترتیب در ۴۴، ۵۳،

با استفاده از تغییرات دمای ساعتی ماهیانه (جدول ۲) و دمای پایه جهت محاسبه روز- درجه گرمایش و روز- درجه سرمایش، مواقع نیاز به انرژی گرمایشی و سرمایشی مشخص می‌گردد. دمای پایه جهت محاسبه روز- درجه سرمایش، ۲۱ درجه و

۴۹ و ۴۵ درصد از مواقع سال در دوره سرد (مواقع نیاز به سایه و عدم دریافت تابش) قرار دارد. ۵۵ و ۵۱، ۵۶، ۴۷ و در ۵۱ و ۵۵

جدول ۲- دمای دو ساعته شهرهای مورد مطالعه (ماخذ: www.reports.irimo.ir; energyplus.net)

ساعت	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	اگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	
۶	-۲/۶	۱	۴/۴	۱۰/۳	۱۵/۴	۲۰/۶	۲۲/۷	۲۰/۶	۱۵	۱۰/۱	۳/۷	۰/۵	اصفهان
۸	-۰/۵	۳/۶	۸/۵	۱۴	۱۹/۴	۲۴/۷	۲۶/۹	۲۵/۱	۲۰/۶	۱۴/۷	۷/۴	۳	
۱۰	۳	۶/۷	۱۱/۹	۱۷/۲	۲۲/۶	۲۸	۳۰/۶	۲۹/۳	۲۵/۴	۱۹/۴	۱۱/۵	۶/۱	
۱۲	۶/۳	۹/۱	۱۴/۴	۱۹/۴	۲۴/۷	۳۰/۵	۳۳/۵	۳۲/۷	۲۸/۸	۲۲/۹	۱۴/۸	۸/۷	
۱۴	۸/۴	۱۰/۴	۱۵/۹	۲۰/۲	۲۵/۲	۳۲/۴	۳۵/۴	۳۴/۸	۲۹/۹	۲۴/۳	۱۶/۶	۹/۹	
۱۶	۷/۵	۱۰	۱۵/۵	۱۹/۴	۲۴/۷	۳۲/۷	۳۵/۶	۳۵/۱	۲۸/۸	۲۳/۶	۱۵	۸/۷	
۱۸	۵/۵	۸/۸	۱۴	۱۷/۶	۲۳/۵	۳۱/۴	۳۴/۳	۳۳/۸	۲۶/۷	۲۱/۸	۱۲/۷	۶/۸	
۶	۰/۱	۱/۶	۷/۸	۱۴/۷	۲۰/۹	۲۶	۲۸/۶	۲۶/۹	۲۲/۶	۱۵/۵	۸/۱	۲/۵	سمنان
۸	۲/۲	۴/۸	۱۰/۷	۱۷/۸	۲۳/۹	۲۹/۳	۳۱/۸	۳۰/۲	۲۶/۲	۱۸/۹	۱۱/۷	۴/۷	
۱۰	۴/۸	۷/۳	۱۳/۲	۲۰/۴	۲۶/۴	۳۲	۳۴/۷	۳۳/۱	۲۹/۱	۲۱/۹	۱۴/۴	۷/۴	
۱۲	۶/۴	۹	۱۴/۹	۲۲	۲۸/۱	۳۳/۷	۳۶/۶	۳۵/۱	۳۰/۹	۲۳/۷	۱۵/۹	۸/۹	
۱۴	۶/۷	۹/۵	۱۵/۶	۲۲/۴	۲۸/۶	۳۴/۴	۳۷/۳	۳۵/۹	۳۱/۲	۲۴	۱۵/۷	۹	
۱۶	۵/۳	۸/۲	۱۴/۷	۲۱/۵	۲۷/۸	۳۳/۶	۳۶/۷	۳۵/۱	۲۹/۷	۲۲/۲	۱۳/۷	۷/۴	
۱۸	۴/۶	۶/۹	۱۳/۱	۱۹/۷	۲۵/۷	۳۱/۴	۳۴/۵	۳۲/۹	۲۷/۷	۲۰/۸	۱۲/۹	۶/۷	
۶	-۲/۹	۰	۷/۱	۱۱/۶	۱۸/۶	۲۳/۶	۲۴/۴	۲۰/۷	۱۶/۹	۱۱/۳	۳/۱	-۱/۴	کرمان
۸	۳/۱	۵/۶	۱۲/۱	۱۶/۴	۲۳/۲	۲۸/۲	۲۸/۹	۲۶/۵	۲۲/۵	۱۸	۹/۶	۵/۶	
۱۰	۸/۳	۱۰/۳	۱۵/۶	۲۰/۳	۲۶/۷	۳۱/۷	۳۲/۷	۳۱/۴	۲۷/۵	۲۳	۱۵/۵	۱۱	
۱۲	۱۱	۱۳/۱	۱۷/۷	۲۲/۹	۲۹/۴	۳۳/۷	۳۵/۲	۳۴/۲	۳۰/۵	۲۵/۶	۱۸/۷	۱۳/۴	
۱۴	۱۰/۹	۱۳/۷	۱۸/۱	۲۳/۷	۳۰	۳۴/۲	۳۵/۸	۳۴/۸	۳۱/۲	۲۵/۳	۱۸/۷	۱۳	
۱۶	۷/۸	۱۱/۲	۱۶/۲	۲۲/۱	۲۸/۳	۳۲/۸	۳۴/۶	۳۳/۱	۲۸/۶	۲۱/۶	۱۴/۷	۹/۳	
۱۸	۶/۲	۹/۲	۱۳/۷	۱۹/۵	۲۵/۴	۲۹/۶	۳۱/۴	۳۰	۲۵/۵	۱۹/۴	۱۲/۷	۷/۷	
۶	-۰/۲	۱/۲	۵/۸	۱۴/۱	۱۹/۷	۲۴/۴	۲۶/۱	۲۲/۸	۱۶/۲	۱۲/۴	۶/۴	۱/۷	یزد
۸	۲/۶	۴/۳	۱۱	۱۸/۷	۲۴/۳	۲۸/۵	۳۱/۳	۲۸/۵	۲۳/۶	۱۸	۱۰/۳	۵/۴	
۱۰	۶/۴	۸/۶	۱۵/۲	۲۲/۳	۲۷/۸	۳۲	۳۴/۸	۳۳/۲	۲۸/۹	۲۲/۶	۱۴	۹/۶	
۱۲	۹/۶	۱۲/۴	۱۷/۹	۲۴/۶	۳۰/۳	۳۴/۷	۳۷	۳۶/۵	۳۲/۲	۲۵/۶	۱۶/۹	۱۲/۸	
۱۴	۱۱	۱۴/۶	۱۸/۸	۲۵/۴	۳۱/۶	۳۶/۵	۳۸/۵	۳۷/۶	۳۳/۴	۲۷	۱۸/۹	۱۳/۹	
۱۶	۱۰	۱۳/۶	۱۸/۲	۲۴/۹	۳۱/۵	۳۷/۱	۳۸/۲	۳۷/۵	۳۲/۵	۲۶/۱	۱۷/۴	۱۲/۴	
۱۸	۷/۹	۱۱/۱	۱۶/۵	۲۳/۵	۳۰/۱	۳۶/۲	۳۶/۵	۳۵/۹	۳۰	۲۳/۸	۱۴/۷	۱۰	

۴- نتایج و یافته‌ها

جغرافیایی برای شهرهای مورد مطالعه محاسبه گردیده، سپس از حاصل ضرب انرژی دریافتی نظری در متوسط درصد ساعات آفتابی ماه‌های مختلف، میزان انرژی مستقیم دریافتی بر روی

با استفاده از روش محاسباتی قانون کسینوس، ابتدا میزان انرژی مستقیم دریافتی سطوح قائم به صورت تئوریک در هر ساعت از روز و در ۲۴ جهت

دیوار قائم به صورت واقعی به دست می‌آید. در سرد محاسبه گردید. جدول ۳ متوسط ساعات نهایت بر اساس حداقل دمای آسایش حرارتی، آفتابی و درصد آن از متوسط طول روز را نشان می‌دهد. میزان انرژی دریافتی بر اساس دوره‌های گرم و

جدول ۳- درصد ساعات آفتابی شهرهای مورد مطالعه (ماخذ: irimo.ir) و محاسبات نگارندگان (* طول روز بر اساس محاسبات نگارندگان است).

شهر	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
اصفهان	متوسط طول روز°	۱۰/۳	۱۱/۱	۱۲/۱	۱۳/۱	۱۳/۸	۱۴/۱	۱۳/۸	۱۴/۱	۱۱	۱۰/۲	۹/۹
	متوسط ساعات آفتابی	۶/۸	۷/۵	۷/۹	۸/۱	۱۰	۱۱/۲	۱۱/۳	۱۱	۹/۴	۷/۵	۶/۶
	درصد ساعات آفتابی	۶۶	۶۷	۶۵	۶۲	۷۲	۸۰	۸۲	۸۴	۸۶	۷۳	۶۷
سمنان	متوسط طول روز°	۱۰	۱۱	۱۲/۱	۱۳/۲	۱۴	۱۴/۴	۱۳/۱	۱۱/۶	۱۰/۹	۱۰	۹/۶
	متوسط ساعات آفتابی	۵/۷	۶/۳	۶/۷	۷/۴	۹/۲	۱۰/۹	۱۰/۹	۹/۸	۸/۷	۶/۸	۵/۶
	درصد ساعات آفتابی	۵۷	۵۷	۵۶	۵۶	۶۵	۷۶	۷۸	۸۳	۸۵	۶۸	۵۹
کرمان	متوسط طول روز°	۱۰/۴	۱۱/۲	۱۲/۱	۱۳	۱۳/۷	۱۳/۹	۱۲/۹	۱۱/۶	۱۱/۱	۱۰/۳	۱۰/۱
	متوسط ساعات آفتابی	۶/۵	۶/۹	۷	۷/۶	۹/۶	۱۰/۵	۱۰/۸	۱۰/۸	۹/۴	۸	۶/۸
	درصد ساعات آفتابی	۶۳	۶۱	۵۸	۵۸	۷۰	۷۵	۷۹	۸۴	۸۶	۷۸	۶۸
تهران	متوسط طول روز°	۱۰/۳	۱۱/۲	۱۲/۱	۱۳	۱۳/۸	۱۴/۱	۱۳/۷	۱۱/۶	۱۱/۱	۱۰/۳	۹/۹
	متوسط ساعات آفتابی	۶/۳	۷/۳	۷/۱	۷/۸	۹/۷	۱۱/۱	۱۱/۲	۱۱/۱	۱۰/۲	۹/۵	۶/۶
	درصد ساعات آفتابی	۶۱	۶۵	۵۹	۶۰	۷۱	۷۹	۸۱	۸۶	۸۸	۷۳	۶۷

جداول ۴ تا ۷ میزان انرژی کل (سالیانه) دریافتی دوره‌های سرد و گرم سال در شهرهای اصفهان، سطوح قائم را به صورت واقعی و به تفکیک سمنان، کرمان و یزد نشان می‌دهد.

جدول ۴- میزان انرژی مستقیم دریافتی سطوح قائم در ساختمان‌های یک طرفه شهر اصفهان (BTU/H/FT2)

جهت	انرژی کل	دوره سرد		دوره گرم		تفاوت	جهت	انرژی کل	دوره سرد		دوره گرم		تفاوت
		مقدار	درصد	مقدار	درصد				مقدار	درصد	مقدار	درصد	
شمال	۴۷۲/۷	۸۱/۴	۱۷/۲	۳۹۱/۲	۸۲/۸	-۳۰۹/۸	جنوب	۸۵۵۴/۶	۶۱۵۵/۲	۷۲	۲۳۹۹/۴	۲۸	۳۷۵۵/۸
۱۵	۸۰۴	۲۰۰/۱	۲۴/۹	۶۰۳/۹	۷۵/۱	-۴۰۳/۸	-۱۵	۸۰۴	۱۱۷/۹	۱۴/۷	۶۸۶/۱	۸۵/۳	-۵۶۸/۲
۳۰	۱۶۳۶/۵	۵۱۱/۵	۳۱/۳	۱۱۲۵	۶۸/۷	-۶۱۳/۵	-۳۰	۱۶۳۶/۵	۲۷۵/۷	۱۶/۸	۱۳۶۰/۸	۸۳/۲	-۱۰۸۵/۱
۴۵	۲۷۴۶	۱۰۱۵/۷	۳۷	۱۷۳۰/۳	۶۳	-۷۱۴/۶	-۴۵	۲۷۴۶	۶۴۳/۹	۲۳/۴	۲۱۰۲/۱	۷۶/۶	-۱۴۵۸/۲
۶۰	۴۰۳۰/۹	۱۸۰۵/۷	۴۴/۸	۲۲۲۵/۳	۵۵/۲	-۴۱۹/۶	-۶۰	۴۰۳۰/۹	۱۲۱۳/۵	۳۰/۱	۲۸۱۷/۵	۶۹/۹	-۱۶۰۴
۷۵	۵۳۱۵/۲	۲۵۹۸/۶	۴۸/۹	۲۷۱۶/۶	۵۱/۱	-۱۱۷/۹	-۷۵	۵۳۱۵/۲	۱۸۹۲/۸	۳۵/۶	۳۴۲۲/۴	۶۴/۴	-۱۵۲۹/۷
۹۰	۶۴۱۲/۹	۳۲۹۳/۸	۵۱/۴	۳۱۱۹/۱	۴۸/۶	۱۷۴/۶	-۹۰	۶۴۱۲/۹	۲۵۷۶/۶	۴۰/۲	۳۸۳۶/۲	۵۹/۸	-۱۲۵۹/۶
۱۰۵	۷۴۰۶/۷	۴۱۴۱/۷	۵۵/۹	۳۲۶۵	۴۴/۱	۸۷۶/۷	-۱۰۵	۷۴۰۶/۷	۳۳۱۲/۶	۴۴/۷	۴۰۹۴/۱	۵۵/۳	-۷۸۱/۵
۱۲۰	۸۰۷۱/۴	۴۷۶۲/۱	۵۹	۳۳۰۹/۳	۴۱	۱۴۵۲/۹	-۱۲۰	۸۰۷۱/۴	۳۹۴۷	۴۸/۹	۴۱۲۴/۴	۵۱/۱	-۱۷۷/۴
۱۳۵	۸۴۶۰/۲	۵۲۹۶/۴	۶۲/۶	۳۱۶۳/۷	۳۷/۴	۲۱۳۲/۷	-۱۳۵	۸۴۶۰/۲	۴۶۴۶/۷	۵۴/۹	۳۸۱۳/۵	۴۵/۱	۸۳۳/۲
۱۵۰	۸۶۳۵/۲	۵۷۰۶/۹	۶۶/۱	۲۹۲۸/۴	۳۳/۹	۲۷۷۸/۵	-۱۵۰	۸۶۳۵/۲	۵۲۷۸/۵	۶۱/۱	۳۳۵۶/۷	۳۸/۹	۱۹۲۱/۸
۱۶۵	۸۶۰۱/۳	۶۱۳۵/۷	۷۱/۳	۲۴۶۵/۶	۲۸/۷	۳۶۷۰/۱	-۱۶۵	۸۶۰۱/۳	۵۸۲۴/۴	۶۷/۷	۲۷۷۶/۹	۳۲/۳	۳۰۴۷/۵

جدول ۵- میزان انرژی مستقیم دریافتی سطوح قائم در ساختمان‌های یک طرفه شهر سمنان (BTU/H/FT2)

تفاوت	دوره گرم		دوره سرد		انرژی کل	جهت	تفاوت	دوره گرم		دوره سرد		انرژی کل	جهت
	درصد	مقدار	درصد	مقدار				درصد	مقدار	درصد	مقدار		
۲۲۳۶/۹	۳۶/۴	۲۹۸۷/۷	۶۳/۶	۵۲۲۴/۵	۸۲۱۲/۲	جنوب	-۳۱۱	۸۹/۲	۳۵۳/۷	۱۰/۸	۴۲/۶	۳۹۶/۳	شمال
-۶۰۲/۲	۹۲/۹	۶۵۲	۷/۱	۴۹/۸	۷۰۱/۸	-۱۵	-۴۷۹/۹	۸۴/۲	۵۹۰/۹	۱۵/۸	۱۱۱	۷۰۱/۸	۱۵
-۱۱۶۳/۷	۹۰/۴	۱۳۰۲/۸	۹/۶	۱۳۹/۱	۱۴۴۱/۹	-۳۰	-۸۰۵/۲	۷۷/۹	۱۱۲۳/۶	۲۲/۱	۳۱۸/۴	۱۴۴۱/۹	۳۰
-۱۷۴۵/۸	۸۶	۲۰۸۶/۶	۱۴	۳۴۰/۸	۲۴۲۷/۵	-۴۵	-۱۰۳۹/۷	۷۱/۴	۱۷۳۳/۶	۲۸/۶	۶۹۳/۹	۲۴۲۷/۵	۴۵
-۲۱۷۵/۷	۸۰/۱	۲۸۹۲	۱۹/۹	۷۱۶/۲	۳۶۰۸/۲	-۶۰	-۹۹۷/۳	۶۳/۸	۲۳۰۲/۸	۳۶/۲	۱۳۰۵/۴	۳۶۰۸/۲	۶۰
-۲۳۴۶/۷	۷۴/۴	۳۵۷۷/۲	۲۵/۶	۱۲۳۰/۵	۴۸۰۷/۶	-۷۵	-۸۶۳/۹	۵۹	۲۸۳۵/۸	۴۱	۱۹۷۱/۹	۴۸۰۷/۶	۷۵
-۲۳۱۴/۴	۶۹/۸	۴۰۸۵/۳	۳۰/۲	۱۷۷۰/۹	۵۸۵۶/۱	-۹۰	-۷۶۵/۴	۵۶/۵	۳۳۱۰/۸	۴۳/۵	۲۵۴۵/۴	۵۸۵۶/۱	۹۰
-۲۰۶۰/۸	۶۵/۱	۴۴۴۵/۵	۳۴/۹	۲۳۸۴/۸	۶۸۳۰/۳	-۱۰۵	-۲۴۰/۴	۵۱/۸	۳۵۳۵/۴	۴۸/۲	۳۲۹۴/۹	۶۸۳۰/۳	۱۰۵
-۱۵۷۶/۴	۶۰/۵	۴۵۴۶	۳۹/۵	۲۹۶۹/۷	۷۵۱۵/۷	-۱۲۰	۲۷۶/۷	۴۸/۲	۳۶۱۹/۵	۵۱/۸	۳۸۹۶/۲	۷۵۱۵/۷	۱۲۰
-۹۳۹	۵۵/۹	۴۴۴۶/۳	۴۴/۱	۳۵۰۷/۳	۷۹۵۳/۷	-۱۳۵	۸۰۲/۷	۴۵	۳۵۷۵/۵	۵۵	۴۳۷۸/۲	۷۹۵۳/۷	۱۳۵
۱۶۲/۸	۴۹	۴۰۲۳/۷	۵۱	۴۱۸۶/۴	۸۲۱۰/۱	-۱۵۰	۱۳۷۸/۱	۴۱/۶	۳۴۱۶	۵۸/۴	۴۷۹۴/۱	۸۲۱۰/۱	۱۵۰
۱۳۴۲/۴	۴۱/۹	۳۴۵۲/۸	۵۸/۱	۴۷۹۵/۲	۸۲۴۸/۱	-۱۶۵	۱۹۵۰/۷	۳۸/۲	۳۱۴۸/۷	۶۱/۸	۵۰۹۹/۴	۸۲۴۸/۱	۱۶۵

جدول ۶- میزان انرژی مستقیم دریافتی سطوح قائم در ساختمان‌های یک طرفه شهر کرمان (BTU/H/FT2)

تفاوت	دوره گرم		دوره سرد		انرژی کل	جهت	تفاوت	دوره گرم		دوره سرد		انرژی کل	جهت
	درصد	مقدار	درصد	مقدار				درصد	مقدار	درصد	مقدار		
۲۷۰۱/۲	۳۳/۲	۲۶۶۱/۲	۶۶/۸	۵۳۶۲/۴	۸۰۲۳/۵	جنوب	-۳۶۶/۸	۸۷	۴۳۱/۴	۱۳	۶۴/۶	۴۹۶	شمال
-۶۷۵/۶	۹۰/۷	۷۵۲/۸	۹/۳	۷۷/۲	۸۳۰	-۱۵	-۵۱۱/۶	۸۰/۸	۶۷۰/۸	۱۹/۲	۱۵۹/۲	۸۳۰	۱۵
-۱۳۴۴/۸	۹۰/۳	۱۵۰۵/۹	۹/۷	۱۶۱/۱	۱۶۶۷	-۳۰	-۷۴۰/۴	۷۲/۲	۱۲۰۳/۷	۲۷/۸	۴۶۳/۳	۱۶۶۷	۳۰
-۱۸۸۱/۷	۸۴/۱	۲۳۲۱/۸	۱۵/۹	۴۴۰/۱	۲۷۶۱/۹	-۴۵	-۸۴۰/۹	۶۵/۲	۱۸۰۱/۴	۳۴/۸	۹۶۰/۵	۲۷۶۱/۹	۴۵
-۲۲۱۸	۷۷/۶	۳۱۱۶/۴	۲۲/۴	۸۹۸/۴	۴۰۱۴/۸	-۶۰	-۸۲۰/۹	۶۰/۲	۲۴۱۷/۹	۳۹/۸	۱۵۹۶/۹	۴۰۱۴/۸	۶۰
-۲۲۶۲	۷۱/۵	۳۷۵۵/۵	۲۸/۵	۱۴۹۳/۵	۵۲۴۹	-۷۵	-۵۹۶/۴	۵۵/۷	۲۹۲۲/۷	۴۴/۳	۲۳۲۶/۳	۵۲۴۹	۷۵
-۲۱۰۳/۹	۶۶/۷	۴۱۹۳/۴	۳۳/۳	۲۰۸۹/۵	۶۲۸۲/۸	-۹۰	-۴۲۳/۹	۵۳/۴	۳۳۵۳/۴	۴۶/۶	۲۹۲۹/۵	۶۲۸۲/۸	۹۰
-۱۷۰۳/۷	۶۱/۸	۴۴۵۰/۳	۳۸/۲	۲۷۴۶/۶	۷۱۹۶/۹	-۱۰۵	۲۰۸/۳	۴۸/۶	۳۴۹۴/۳	۵۱/۴	۳۷۰۲/۶	۷۱۹۶/۹	۱۰۵
-۱۰۹۱/۲	۵۷	۴۴۳۴/۶	۴۳	۳۳۴۳/۴	۷۷۷۷/۹	-۱۲۰	۷۶۰/۶	۴۵/۱	۳۵۰۸/۷	۵۴/۹	۴۲۶۹/۲	۷۷۷۷/۹	۱۲۰
-۳۲۹/۱	۵۲	۴۲۰۶/۵	۴۸	۳۸۷۷/۳	۸۰۸۳/۸	-۱۳۵	۱۹۳۶/۳	۳۸	۳۰۷۳/۸	۶۲	۵۰۱۰/۱	۸۰۸۳/۸	۱۳۵
۸۶۱/۳	۴۴/۷	۳۶۶۱/۹	۵۵/۳	۴۵۲۳/۳	۸۱۸۵/۲	-۱۵۰	۲۱۴۲	۳۶/۹	۳۰۲۱/۶	۶۳/۱	۵۱۶۳/۶	۸۱۸۵/۲	۱۵۰
۲۱۹۴/۸	۳۶/۵	۲۹۵۲/۹	۶۳/۵	۵۱۴۷/۶	۸۱۰۰/۵	-۱۶۵	۲۶۴۴/۹	۳۳/۷	۲۷۲۷/۸	۶۶/۳	۵۳۷۲/۷	۸۱۰۰/۵	۱۶۵

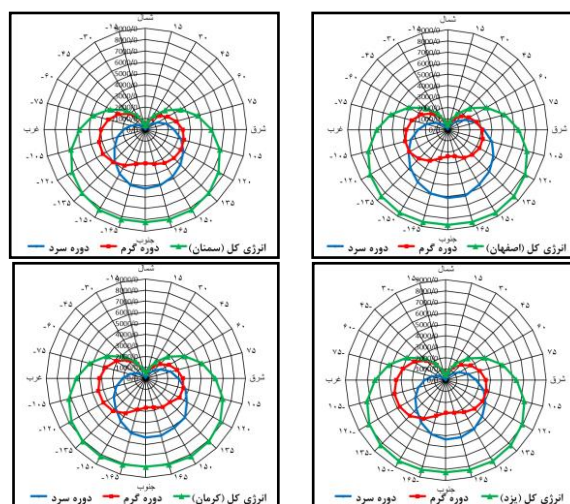
جدول ۷- میزان انرژی مستقیم دریافتی سطوح قائم در ساختمان‌های یک طرفه شهر یزد (BTU/H/FT2)

تفاوت	دوره گرم		دوره سرد		انرژی کل	جهت	تفاوت	دوره گرم		دوره سرد		انرژی کل	جهت
	درصد	مقدار	درصد	مقدار				درصد	مقدار	درصد	مقدار		
۲۳۷۷/۵	۳۵/۶	۲۹۴۲/۹	۶۴/۴	۵۳۲۰/۴	۸۲۶۳/۳	جنوب	-۴۲۰	۹۳/۶	۴۵۰/۸	۶/۴	۳۰/۸	۴۸۱/۵	شمال
-۷۲۲/۲	۹۴/۴	۷۶۷/۸	۵/۶	۴۵/۶	۸۱۳/۴	-۱۵	-۵۵۰/۵	۸۳/۸	۶۸۱/۹	۱۶/۲	۱۳۱/۵	۸۱۳/۴	۱۵
-۱۴۷۴/۸	۹۴/۷	۱۵۶۲/۶	۵/۳	۸۷/۸	۱۶۵۰/۴	-۳۰	-۹۳۶/۱	۷۸/۴	۱۲۹۳/۲	۲۱/۶	۳۵۷/۱	۱۶۵۰/۴	۳۰
-۲۱۳۰/۱	۸۸/۷	۲۴۴۲/۷	۱۱/۳	۳۱۲/۷	۲۷۵۵/۴	-۴۵	-۱۱۳۳/۱	۷۰/۶	۱۹۴۴/۲	۲۹/۴	۸۱۱/۲	۲۷۵۵/۴	۴۵
-۲۵۳۷/۸	۸۱/۵	۳۲۸۰	۱۸/۵	۷۴۲/۲	۴۰۲۲/۱	-۶۰	-۱۱۹۸/۲	۶۴/۹	۲۶۱۰/۲	۳۵/۱	۱۴۱۱/۹	۴۰۲۲/۱	۶۰
-۲۶۸۱	۷۵/۴	۳۹۷۹/۶	۲۴/۶	۱۲۹۸/۶	۵۲۷۸/۲	-۷۵	-۱۰۵۴/۲	۶۰	۳۱۶۶/۲	۴۰	۲۱۱۲	۵۲۷۸/۲	۷۵
-۲۵۴۵/۹	۷۰/۱	۴۴۴۳/۳	۲۹/۹	۱۸۹۷/۵	۶۳۴۰/۸	-۹۰	-۸۶۸/۴	۵۶/۸	۳۶۰۴/۶	۴۳/۲	۲۷۳۶/۲	۶۳۴۰/۸	۹۰
-۲۲۰۱/۱	۶۵/۱	۴۷۴۶/۵	۳۴/۹	۲۵۴۵/۴	۷۲۹۱/۹	-۱۰۵	-۲۶۳/۹	۵۱/۸	۳۷۷۷/۹	۴۸/۲	۳۵۱۴	۷۲۹۱/۹	۱۰۵
-۱۶۱۱	۶۰/۲	۴۷۶۱/۷	۳۹/۸	۳۱۵۰/۷	۷۹۱۲/۴	-۱۲۰	۲۹۱/۸	۴۸/۲	۳۸۱۰/۳	۵۱/۸	۴۱۰۲/۱	۷۹۱۲/۴	۱۲۰
-۸۱۹/۶	۵۵	۴۵۳۸/۴	۴۵	۳۷۱۸/۸	۸۲۵۷/۲	-۱۳۵	۹۶۴/۶	۴۴/۲	۳۶۴۶/۳	۵۵/۸	۴۶۱۰/۹	۸۲۵۷/۲	۱۳۵

۳۹۲/۳	۴۷/۷	۳۹۹۹/۵	۵۲/۳	۴۳۹۱/۷	۸۳۹۱/۲	-۱۵۰	۱۷۵۶/۸	۳۹/۵	۳۳۱۷/۲	۶۰/۵	۵۰۷۴	۸۳۹۱/۲	۱۵۰
۱۷۰۳/۴	۳۹/۸	۳۳۱۳/۲	۶۰/۲	۵۰۱۶/۶	۸۳۲۹/۸	-۱۶۵	۲۲۸۶/۷	۳۶/۳	۳۰۲۱/۵	۶۳/۷	۵۳۰۸/۳	۸۳۲۹/۸	۱۶۵

مختلف جغرافیایی تعیین می‌گردد. تصویر ۱ تغییرات میزان انرژی مستقیم دریافتی سطوح قائم را در جهات مختلف جغرافیایی و به تفکیک دوره‌های سرد و گرم سال نشان می‌دهد.

بر اساس نتایج حاصل از جداول ۴ تا ۷ و بر اساس حداقل انرژی دریافتی در دوره گرم و یا بیشترین میزان اختلاف انرژی دریافتی در دوره سرد و گرم سال، اولویت‌های استقرار ساختمان در جهت‌های



تصویر ۱. نمودار مقدار تابش دریافتی سالیانه سطوح قائم در جهات مختلف جغرافیایی در شهرهای مورد مطالعه (ماخذ: نگارندگان)

همچنین بیشترین میزان اختلاف انرژی دریافتی بین دوره‌های سرد و گرم سال در شهرهای مورد مطالعه مربوط به همین جهات است. بر اساس تصویر ۱ جهات جنوبی-غربی بیشترین مقدار انرژی را در مواقع گرم سال و جهات جنوب-شرقی بیشترین مقدار انرژی را در مواقع سرد دریافت می‌کنند. بر اساس تغییرات دمای ساعتی جدول ۲، دمای روزانه هوای شهرهای اصفهان، سمنان، کرمان و یزد به ترتیب در ۴۷، ۵۶، ۵۱ و ۵۵ درصد از مواقع سال به‌ویژه در ماه‌های می، ژوئن، ژولای، آگوست، سپتامبر و اکتبر بالاتر از حداقل دمای

بر اساس نتایج حاصل از جداول ۴ تا ۷، بیشترین مقدار انرژی واقعی دریافتی سالانه در شهرهای اصفهان، کرمان و یزد متعلق به سطوح ۱۵۰ درجه جنوب-شرقی - غربی و در شهر سمنان متعلق به سطوح ۱۶۵ درجه جنوب-شرقی - غربی است. کمترین میزان انرژی واقعی دریافتی سالانه نیز متعلق به سطوح رو به شمال و ۱۵ شمال-شرقی - غربی است. کمترین درصد دریافت انرژی در دوره گرم سال در شهر اصفهان با ۲۸ درصد، سمنان با ۳۶/۴ درصد، کرمان با ۳۳/۲ درصد و یزد با ۳۵/۶ درصد مربوط به ۱۸۰ درجه جنوب است.

دریافت بهینه میزان انرژی خورشیدی سطوح قائم ساختمان‌های یک‌طرفه، در شهرهای اصفهان، سمنان، کرمان و یزد جهت ۱۸۰ درجه جنوب و بعد از آن جهت ۱۶۵ درجه جنوب شرقی است. جدول ۸ و ۹ میانگین انرژی دریافتی سطوح قائم ساختمان‌های دو و چهار طرفه را در شهرهای مورد مطالعه نشان می‌دهد.

پایه آسایش است. لذا دوره گرم سال به ویژه در شهرهای سمنان، کرمان و یزد بیشتر از دوره سرد سال بوده و جهت‌گیری بهینه استقرار سطوح قائم ساختمان‌ها در شهرهای مورد مطالعه بر اساس کنترل و دریافت حداقل میزان انرژی خورشید در دوره گرم تعیین می‌گردد. با توجه به نتایج حاصل از جداول ۴ تا ۷ و بر اساس حداقل انرژی دریافتی در دوره گرم سال، بهترین جهت استقرار به منظور

جدول ۸- میزان انرژی مستقیم دریافتی سطوح قائم ساختمان‌های دوطرفه در شهرهای مورد مطالعه (BTU/H/FT²)

شهر	جهت	دوره سرد		تفاوت	جهت	دوره گرم		تفاوت
		مقدار	درصد			مقدار	درصد	
اصفهان	۱۸۰، ۰	۳۱۱۸/۳	۶۹/۱	۱۳۹۵/۳	۳۰/۹	۱۷۲۳	۹۰، -۹۰	۱۷۲۳
	۱۶۵، -۱۵	۳۱۲۶/۸	۶۶/۵	۱۵۷۵/۹	۳۳/۵	۱۵۵۰/۹	۱۶۵، ۱۵	۱۵۵۰/۹
	۱۵۰، -۳۰	۲۹۹۱/۳	۵۸/۲	۲۱۴۴/۶	۴۱/۸	۸۴۶/۷	۱۵۰، ۳۰	۸۴۶/۷
	۱۳۵، -۴۵	۲۹۷۰/۲	۵۳	۲۶۳۲/۹	۴۷	۳۳۷/۲	۱۳۵، ۴۵	۳۳۷/۲
	۱۲۰، -۶۰	۲۹۸۷/۸	۴۹/۴	۳۰۶۳/۴	۵۰/۶	-۷۵/۵	۱۲۰، ۶۰	-۷۵/۵
	۱۰۵، -۷۵	۳۰۱۷/۲	۴۷/۴	۳۳۴۳/۷	۵۲/۶	-۳۲۶/۵	۱۰۵، ۷۵	-۳۲۶/۵
سمنان	۱۸۰، ۰	۲۶۳۳/۶	۶۱/۲	۱۶۷۰/۷	۳۸/۸	۹۶۲/۹	۹۰، -۹۰	۹۶۲/۹
	۱۶۵، -۱۵	۲۵۷۴/۶	۵۷/۵	۱۹۰۰/۴	۴۲/۵	۶۷۴/۲	۱۶۵، ۱۵	۶۷۴/۲
	۱۵۰، -۳۰	۲۴۶۶/۶	۵۱/۱	۲۳۵۹/۴	۴۸/۹	۱۰۷/۲	۱۵۰، ۳۰	۱۰۷/۲
	۱۳۵، -۴۵	۲۳۵۹/۵	۴۵/۵	۲۸۳۱/۱	۵۴/۵	-۴۷۱/۵	۱۳۵، ۴۵	-۴۷۱/۵
	۱۲۰، -۶۰	۲۳۰۶/۲	۴۱/۵	۳۲۵۵/۷	۵۸/۵	-۹۴۹/۵	۱۲۰، ۶۰	-۹۴۹/۵
	۱۰۵، -۷۵	۲۲۶۲/۷	۳۸/۹	۳۵۵۶/۳	۶۱/۱	-۱۲۹۳/۵	۱۰۵، ۷۵	-۱۲۹۳/۵
کرمان	۱۸۰، ۰	۲۷۱۳/۵	۶۳/۷	۱۵۴۶/۳	۳۶/۳	۱۱۶۷/۲	۹۰، -۹۰	۱۱۶۷/۲
	۱۶۵، -۱۵	۲۷۲۵	۶۱	۱۷۴۰/۳	۳۹	۹۸۴/۷	۱۶۵، ۱۵	۹۸۴/۷
	۱۵۰، -۳۰	۲۶۶۲/۳	۵۴	۲۲۶۳/۷	۴۶	۳۹۸/۶	۱۵۰، ۳۰	۳۹۸/۶
	۱۳۵، -۴۵	۲۷۲۵/۱	۵۰/۳	۲۶۹۷/۸	۴۹/۷	۲۷/۳	۱۳۵، ۴۵	۲۷/۳
	۱۲۰، -۶۰	۲۵۸۳/۸	۴۳/۸	۳۳۱۲/۶	۵۶/۲	-۷۲۸/۷	۱۲۰، ۶۰	-۷۲۸/۷
	۱۰۵، -۷۵	۲۵۹۸/۱	۴۱/۷	۳۶۲۴/۹	۵۸/۳	-۱۰۲۶/۹	۱۰۵، ۷۵	-۱۰۲۶/۹
یزد	۱۸۰، ۰	۲۶۷۵/۶	۶۱/۲	۱۶۹۶/۸	۳۸/۸	۹۷۸/۷	۹۰، -۹۰	۹۷۸/۷
	۱۶۵، -۱۵	۲۶۷۶/۹	۵۸/۶	۱۸۹۴/۷	۴۱/۴	۷۸۲/۳	۱۶۵، ۱۵	۷۸۲/۳
	۱۵۰، -۳۰	۲۵۸۰/۹	۵۱/۴	۲۴۳۹/۹	۴۸/۶	۱۴۱	۱۵۰، ۳۰	۱۴۱
	۱۳۵، -۴۵	۲۴۶۱/۸	۴۴/۷	۳۰۴۴/۵	۵۵/۳	-۵۸۲/۷	۱۳۵، ۴۵	-۵۸۲/۷
	۱۲۰، -۶۰	۲۴۲۲/۱	۴۰/۶	۳۵۴۵/۱	۵۹/۴	-۱۱۲۳	۱۲۰، ۶۰	-۱۱۲۳
	۱۰۵، -۷۵	۲۴۰۶/۳	۳۸/۳	۳۸۷۸/۸	۶۱/۷	-۱۴۷۲/۴	۱۰۵، ۷۵	-۱۴۷۲/۴

جدول ۹- میزان انرژی مستقیم دریافتی سطوح قائم ساختمان‌های چهارطرفه در شهرهای مورد مطالعه (BTU/H/FT²)

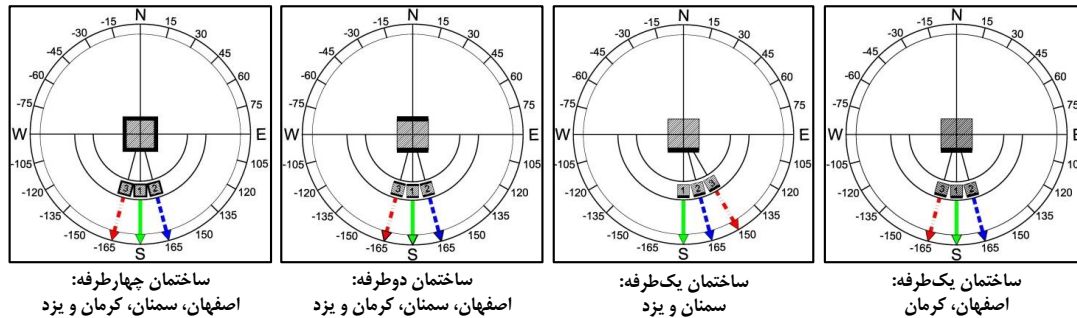
تفاوت دوره	دوره گرم	دوره سرد	انرژی کل	جهت دیوار
------------	----------	----------	----------	-----------

سرد و گرم	درصد	مقدار	درصد	مقدار			
۵۹۰/۳	۴۴/۶	۲۴۳۶/۵	۵۵/۴	۳۰۲۶/۸	۵۴۶۳/۳	(۱۸۰، ۰، ۹۰، -۹۰)	اصفهان
۵۵۰/۶	۴۵	۲۴۹۰/۶	۵۵	۳۰۴۱/۲	۵۵۳۱/۸	(۱۶۵، -۱۵، ۷۵، -۱۰۵)	
۲۷۴/۱	۴۷/۵	۲۶۵۹/۷	۵۲/۵	۲۹۳۳/۸	۵۵۹۳/۵	(۱۵۰، -۳۰، ۶۰، -۱۲۰)	
۱۹۸/۳	۴۸/۲	۲۷۰۲/۴	۵۱/۸	۲۹۰۰/۷	۵۶۰۳/۱	(۱۳۵، -۴۵، ۴۵، -۱۳۵)	
۲۸۹/۳	۴۷/۴	۲۶۵۲/۱	۵۲/۶	۲۹۴۱/۴	۵۵۹۳/۵	(-۱۵۰، ۳۰، -۶۰، ۱۲۰)	
۴۹۷/۷	۴۵/۵	۲۵۱۷/۱	۵۴/۵	۳۰۱۴/۷	۵۵۳۱/۸	(-۱۶۵، ۱۵، -۷۵، ۱۰۵)	
-۲۸۸/۵	۵۲/۸	۲۶۸۴/۳	۴۷/۲	۲۳۹۵/۹	۵۰۸۰/۲	(۱۸۰، ۰، ۹۰، -۹۰)	سمنان
-۳۹۴	۵۳/۸	۲۷۷۰/۵	۴۶/۲	۲۳۷۶/۵	۵۱۴۷	(۱۶۵، -۱۵، ۷۵، -۱۰۵)	
-۵۸۹/۸	۵۵/۷	۲۸۹۱/۹	۴۴/۳	۲۳۰۲/۱	۵۱۹۴	(۱۵۰، -۳۰، ۶۰، -۱۲۰)	
-۷۳۰/۴	۵۷	۲۹۶۰/۵	۴۳	۲۲۳۰/۱	۵۱۹۰/۶	(۱۳۵، -۴۵، ۴۵، -۱۳۵)	
-۶۳۵/۴	۵۶/۱	۲۹۱۴/۷	۴۳/۹	۲۲۷۹/۳	۵۱۹۴	(-۱۵۰، ۳۰، -۶۰، ۱۲۰)	
-۴۳۱/۱	۵۴/۲	۲۷۸۹	۴۵/۸	۲۳۵۷/۹	۵۱۴۷	(-۱۶۵، ۱۵، -۷۵، ۱۰۵)	
-۴۸/۴	۵۰/۵	۲۶۵۹/۸	۴۹/۵	۲۶۱۱/۵	۵۲۷۱/۳	(۱۸۰، ۰، ۹۰، -۹۰)	کرمان
-۸۲/۷	۵۰/۸	۲۷۱۳/۴	۴۹/۲	۲۶۳۰/۷	۵۳۴۴/۱	(۱۶۵، -۱۵، ۷۵، -۱۰۵)	
-۲۷۸/۷	۵۲/۶	۲۸۴۵	۴۷/۴	۲۵۶۶/۲	۵۴۱۱/۲	(۱۵۰، -۳۰، ۶۰، -۱۲۰)	
-۲۷۸/۹	۵۲/۶	۲۸۵۰/۹	۴۷/۴	۲۵۷۲	۵۴۲۲/۹	(۱۳۵، -۴۵، ۴۵، -۱۳۵)	
-۳۳۴/۱	۵۳/۱	۲۸۷۲/۷	۴۶/۹	۲۵۳۸/۵	۵۴۱۱/۲	(-۱۵۰، ۳۰، -۶۰، ۱۲۰)	
-۹۲/۶	۵۰/۹	۲۷۱۸/۴	۴۹/۱	۲۶۲۵/۷	۵۳۴۴/۱	(-۱۶۵، ۱۵، -۷۵، ۱۰۵)	
-۳۶۴/۲	۵۳/۴	۲۸۶۰/۴	۴۶/۶	۲۴۹۶/۲	۵۳۵۶/۶	(۱۸۰، ۰، ۹۰، -۹۰)	یزد
-۴۲۲/۷	۵۳/۹	۲۹۲۵/۵	۴۶/۱	۲۵۰۲/۸	۵۴۲۸/۳	(۱۶۵، -۱۵، ۷۵، -۱۰۵)	
-۶۳۱/۸	۵۵/۷	۳۰۶۲/۹	۴۴/۳	۲۴۳۱/۱	۵۴۹۴	(۱۵۰، -۳۰، ۶۰، -۱۲۰)	
-۷۷۹/۵	۵۷/۱	۳۱۴۲/۹	۴۲/۹	۲۳۶۳/۴	۵۵۰۶/۳	(۱۳۵، -۴۵، ۴۵، -۱۳۵)	
-۶۹۷/۵	۵۶/۳	۳۰۹۵/۸	۴۳/۷	۲۳۹۸/۳	۵۴۹۴	(-۱۵۰، ۳۰، -۶۰، ۱۲۰)	
-۴۴۸	۵۴/۱	۲۹۳۸/۲	۴۵/۹	۲۴۹۰/۲	۵۴۲۸/۳	(-۱۶۵، ۱۵، -۷۵، ۱۰۵)	

شرق روند صعودی پیدا می‌کند. با توجه به نتایج حاصل از جدول ۸ و بر اساس حداقل انرژی دریافتی در دوره گرم، بهترین جهت استقرار سطوح قائم ساختمان‌های دوطرفه به منظور دریافت بهینه میزان انرژی خورشیدی، در شهرهای اصفهان، سمنان، کرمان و یزد جهات (۱۸۰، ۰) درجه و بعد از آن جهات (۱۶۵، -۱۵) درجه است. هم‌چنین طبق جدول ۹، بهترین جهت استقرار سطوح قائم ساختمان‌های چهارطرفه در شهرهای مورد مطالعه، جهات (۱۸۰، ۰، ۹۰، -۹۰) درجه و بعد از آن جهات (۱۶۵، -۱۵، ۷۵، -۱۰۵) درجه است. تصویر

با چرخش سطوح قائم ساختمان‌های دو و چهارطرفه به سمت جنوب شرقی و غربی، میزان انرژی دریافتی در دوره گرم افزایش و در دوره سرد کاهش می‌یابد. طوری که میزان انرژی دریافتی در دوره گرم در ساختمان‌های دوطرفه با راستای شرقی- غربی بیش از ۲ الی ۳ برابر ساختمان‌ها با راستای شمالی- جنوبی است. البته در ساختمان‌های چهارطرفه میزان انرژی دریافتی در دوره سرد از ۱۸۰ درجه جنوب تا ۱۳۵ درجه جنوب شرقی و غربی روند کاهشی داشته و از راستای ۱۲۰ درجه جنوب شرقی و غربی به سمت

۲ نمودار اولویت‌بندی استقرار ساختمان‌های یک، دو و چهارطرفه را در شهرهای مورد مطالعه نشان می‌دهد.



تصویر ۲- نمودار اولویت‌بندی استقرار ساختمان‌های یک، دو و چهارطرفه در شهرهای مورد مطالعه (خط سبز: اولویت اول، خط آبی: اولویت دوم، خط قرمز: اولویت سوم) (منبع: نگارندگان)

۵- نتیجه‌گیری

تعیین گردید. نتایج نشان می‌دهد که جهت مناسب استقرار سطوح قائم ساختمان‌های یک‌طرفه در شهرهای اصفهان، سمنان، کرمان و یزد جهت ۱۸۰ درجه جنوب و بعد از آن جهت ۱۶۵ درجه جنوب شرقی است. همچنین در تمامی شهرهای مورد مطالعه، جهت مناسب استقرار سطوح قائم برای ساختمان‌های دوطرفه، جهات (۰، ۱۸۰) درجه و برای ساختمان‌های چهارطرفه، جهات (۹۰، -۹۰، ۰، ۱۸۰) درجه است. یافته‌های این تحقیق در تعیین فرم، نسبت ابعادی و جهات مناسب استقرار سطوح قائم فرم‌های مختلف چندضلعی، جداره‌های معابر و فضاهای شهری بر اساس دریافت بهینه تابش خورشید کاربرد دارد. همچنین امکان برنامه‌ریزی و مدیریت مصرف و تامین انرژی ساختمان را از طریق کنترل مقادیر دریافت و جذب تابش بر اساس مواقع نیاز به انرژی گرمایشی و سرمایشی فراهم می‌سازد.

شهرهای اصفهان، سمنان، کرمان و یزد دارای اقلیمی گرم و خشک، با زمستان‌های سخت و سرد و تابستان‌های گرم و خشک است. با توجه به اقلیم گرم و خشک شهرهای فلات مرکزی ایران، تامین آسایش حرارتی فضاهای داخلی و بیرونی نیازمند کنترل و به حداقل رساندن دریافت تابش خورشیدی در ماه‌های گرم سال از طریق جهت‌گیری مناسب، کاهش سطوح مواجه با تابش و ایجاد حداکثر سایه‌اندازی بر روی سطوح است. با استفاده از روش محاسباتی قانون کسینوس، میزان انرژی مستقیم دریافتی به صورت نظری و واقعی و به تفکیک دوره‌های سرد و گرم سال بر روی سطوح قائم در ۲۴ جهت مختلف جغرافیایی در شهرهای مورد مطالعه محاسبه گردید. در نهایت مناسب‌ترین جهات استقرار سطوح قائم ساختمان‌های یک، دو و چهار طرفه بر اساس کمترین درصد دریافت تابش در دوره گرم سال و یا بیشترین مقدار اختلاف بین دوره سرد و گرم

منابع

- افشاری، هدی و تقوایی، علی اکبر. (۱۳۹۲). طراحی مجموعه مسکونی همساز با اقلیم خرمشهر. فصلنامه فضای جغرافیایی. دوره ۱۳، شماره ۴۲، ۷۱-۱۰۲.
- برزگر، زهرا و حیدری، شاهین. (۱۳۹۲). بررسی تاثیر تابش دریافتی خورشید در بدنه‌های ساختمان بر مصرف انرژی بخش خانگی. نشریه هنرهای زیبا- معماری و شهرسازی. دوره ۱۸، شماره ۱، ۴۵-۵۶.
- بهزادیان مهر، علی؛ علیجانی، بهلول و رهنما، محمدرحیم. (۱۳۹۶). طراحی اقلیمی و تعیین جهت‌گیری بهینه ساختمان‌ها و خیابان‌ها در رابطه با تابش در شهر مشهد. جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای. دوره ۱۵، شماره ۲، ۱۹۷-۲۱۶.
- حسین آبادی، سعید؛ لشکری، حسن و سلمانی‌مقدم، محمد. (۱۳۹۱). طراحی اقلیمی ساختمان‌های مسکونی شهر سبزوار با تاکید بر جهت‌گیری ساختمان و عمق سایبان. جغرافیا و توسعه. دوره دهم، شماره ۲۷، ۱۰۳-۱۱۶.
- خیرآبادی، فواد؛ نورمحمدزاده، حسین و علیزاده، هوشمند. (۱۳۹۶). نقش جهت‌گیری کالبد فضاهای شهری در میزان آسایش اقلیمی شهروندان (مطالعه موردی: شهر بندرعباس). جغرافیا و پایداری محیط. دوره هفتم، شماره ۲۴، ۱۵-۳۱.
- قلی‌نژاد، مینا؛ صفراد، طاهر؛ زنگنه شهرکی، سعید و وروده، همت‌اله. (۱۳۹۸). طراحی اقلیمی و جهت‌یابی بهینه مسکن (مطالعه موردی: شهر قائم‌شهر). مطالعات ساختار و کارکرد شهری. دوره ششم، شماره ۱۹، ۷۳-۹۳.
- کربلائی درئی، علیرضا و حجازی‌زاده، زهرا. (۱۳۹۶). بهینه‌سازی جهت‌گیری استقرار ساختمان در شهر کاشان بر اساس شرایط اقلیمی. مطالعات جغرافیایی مناطق خشک. دوره هفتم، شماره ۲۷، ۸۵-۱۰۳.
- کرمی‌کرد علیوند، فیروزه و نارنگی‌فرد، مهدی. (۱۳۹۶). بهینه‌سازی جهت‌گیری ساختمان‌ها در برابر تابش (مطالعه موردی: شهر شیراز). اندیشه جغرافیایی. دوره هشتم، شماره ۱۶، ۹۶-۱۲۲.
- کسمایی، مرتضی. (۱۳۸۲). اقلیم و معماری. اصفهان: نشر خاک، چاپ سوم.
- گنجی، حسن. (۱۳۳۳). تقسیمات اقلیمی ایران. مجله دانشکده ادبیات، دوره سوم، شماره ۱، ۲۷-۷۲.
- مدیری، مهدی؛ ذهاب ناظوری، سمیه؛ علی بخشی، زهرا؛ افشارمنش، حمیده و عباسی، محمد (۱۳۹۱). بررسی جهت مناسب استقرار ساختمان‌ها بر اساس تابش آفتاب و جهت باد (مطالعه موردی: شهر گرگان). فصلنامه جغرافیا (برنامه‌ریزی منطقه‌ای)، دوره دوم، شماره ۲، ۱۴۱-۱۵۶.
- مقررات ملی ساختمان ایران- مبحث ۱۹: صرفه‌جویی در مصرف انرژی. تهران: وزارت مسکن و شهرسازی، دفتر امور مقررات ملی ساختمان.
- Akande, O. K. (2010). Passive design strategies for residential buildings in a hot dry climate in Nigeria. WIT Press www.witpress.com ISSN 1743-3541.
- Angstrom, A. (1924). Solar and terrestrial radiation. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 50, 121-126.
- Ashrae (1995). Handbook, heating, ventilating, and airconditioning applications. ashrae publications.
- Bakirci, K. (2009). Models of solar radiation with hours of bright sunshine: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13(9), 2580-2588.
- Barzegar, Z., Heydari, Sh. (2012). Evaluation of the effect of building orientation on achieved solar radiation- a NE-SW orientated case of urban residence in semi-arid climate. International Journal of Architectural Engineering & Urban Planning, 22(2), 108-113.
- Cooper, P.I. (1969). The absorption of radiation in solar stills. Solar Energy, 12(3), 333-346.
- Copolino, S. (1990). Validation of a very simple model for computing global solar radiation in European African (Asian & North American Areas). Solar and Wind Technology, 7(4), 489-494.
- Duffie, J.A., & Beckman, W.A. (2006). Solar engineering of thermal processes. New Jersey: Wiley.
- Givoni, B. (1994). Passive and low energy cooling of buildings. New Jersey: Wiley.
- Guemard, C. (2000). Prediction and performance assessment of mean hourly global radiation. Solar Energy, 68(3), 285-303.

- Haase, M., & Amato, A. (2009). An investigation of the potential for natural ventilation and building orientation to achieve thermal comfort in warm and humid climates. *Solar energy*, 83(3), 389-399.
- Hemsath, T.L., & Alagheband Bandhosseini, K. (2015). Sensitivity analysis evaluating basic building geometry's effect on energy use. *Renewable Energy*, 76, 526-538.
- https://energyplus.net/weather-location/asia_wmo_region_2/IRN//IRN_Tehran-Mehrabad.407540_ITMY.
- IRIMO, Islamic Republic of Iran Meteorological Office, Data Center, Tehran. <http://www.irimo.ir/far/wd/2703>.
- Maghrabi, A. H. (2009). Parameterization of simple model to estimate monthly global solar radiation based on meteorological variables and evaluation of existing solar radiation models for Tabuk, Saudi Arabia. *Energy Conversion and Management*, 50(11), 2754-2760.
- Mondol, J.D., Yohanis, Y.G., & Norton, B. (2008). Technical note solar radiation modelling for the simulation of photovoltaic systems. *Renewable Energy*, 33(5), 1109-1120.
- Neuwirth, F. (1980). The Estimation of global and sky radiation in Austria. *Solar Energy*, 24(5), 421-426.
- Oral, G.K., & Yilmaz, Z. (2003). Building form for cold climatic zones related to building envelope from heating energy conservation point of view. *Energy and Buildings*, 35(4), 383-388.
- Paltridge, G.W., & Proctor, D. (1976). Monthly mean solar radiation statistics for australia. *Solar Energy*, 18(3), 235-243.
- Prescott, J. A. (1940). Evaporation from a water surface in relation to solar radiation. *Transactions of the Royal Society of South Australia*, 64, 114-118.
- Sabbagh, J.A., Sayigh, A.A.M., & Al-Salam E.M.A. (1977). Estimation of the total solar radiation from meteorological data. *Solar Energy*, 19(3), 307-311.
- Samimi, J. (1994). Estimation of height-dependent solar irradiation and application to the solar climate of Iran. *Solar Energy*, 52(5), 401-409.
- Sharma, R. (2016). Sustainable buildings in hot and dry climate of India. *Journal of Engineering Research and Applications*, 6(1), 134-144.
- Sozen, A., Arcaklio, E., & Ozalp, M. (2004). Estimation of solar potential in Turkey by artificial neural networks using meteorological and geographical data. *Energy Conversion and Management*, 45(18-19), 3033-3052.
- Watson, D., & Labs, K. (1983). *Climate design: Energy efficient building principles and practices*. New York: McGraw-Hill.
- Wu, C., Liu, Y., & Wang, T. (2007). Methods and strategy for modeling daily global solar radiation with measured meteorological data; case study in nanchang station, China. *Energy Conversion and Management*, 48(9), 2447-2452.

Optimization of the building orientation to receive solar radiation in hot-arid climate (Case Studies: Isfahan, Semnan, Kerman and Yazd cities)

Hassan Akbari^{1*}, Fatemeh Sadat Hosseini Nezhad²

1- Assistant Professor of Architecture, Faculty of Engineering, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

2- PhD in Urban and Regional Planning, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Abstract

Due to the special geographic conditions and hot and dry climate of the central plateau of Iran, the design and construction of climate-friendly buildings and urban spaces in these regions, requires receiving minimum energy in hot months through appropriate orientation, decreasing the area of surfaces facing radiation and maximizing the amount of shading on exterior surfaces. The aim of this research is to determine the optimal building orientations in hot-arid climate of the region through surveying the amount of direct radiation energy received by vertical surfaces of buildings in Isfahan, Semnan, Kerman and Yazd cities. At first, the amount of received radiation energy was calculated in theoretical and real way, by using the "Law of Cosines" computational method. Then based on the minimum temperature of thermal comfort, the amount of energy received by the vertical surfaces was calculated and processed in 24 different geographical directions, separately for cold and hot periods of the year. Finally, based on the minimum energy received during the hot period of the year, the most suitable orientations of vertical surfaces of buildings for one, two and four-sided buildings were determined in studied cities. The research findings show that the best orientation of vertical surfaces for one-sided buildings in Isfahan, Semnan, Kerman and Yazd is 180 degrees South and after that, is 165 degrees SE. Also, the best orientation of vertical surfaces for two-sided buildings in studied cities is (180, 0) and for four-sided buildings is (180, 0, 90, -90) degrees.

Keywords: hot-arid climate, building orientation, vertical surfaces, solar energy, the "Law of Cosines"

* E-mail: h.akbari.arc@gmail.com