

بهینه‌سازی جهت‌سازهای ساختمانی بر اساس تابش انرژی خورشید در همدان

سید محمد حسینی^۱، زهرا حجازی‌زاده^۲، علیرضا کربلایی درئی^۳، عبدالرضا کاشکی^۴
تاریخ وصول: ۱۳۹۶/۱۲/۲۰، تاریخ تایید: ۱۳۹۷/۱۲/۱۳

چکیده

امروزه ارتباط اقلیم معماری در طراحی جهت‌سازهای ساختمانی و تابش انرژی خورشید کاملاً مشهود است. لذا بهینه‌سازی جهت این سازه‌ها در دوره‌ی گرم و سرد سال سبب کاهش مصرف انرژی و افزایش بهره‌وری می‌گردد. در این راستا، پژوهش حاضر سعی دارد ضمن واکاوی شرایط تابشی در همدان، جهت بهینه‌سازی ساختمان در مواقع گرم با کمترین دریافت انرژی و در مواقع سرد با بیشترین انرژی خورشیدی شناسایی شود. برای نیل به این هدف و محاسبه‌ی شدت تابش خورشیدی بر سطوح قائم ساختمان‌ها در همدان از برنامه‌نویسی در نرم‌افزار *EXCEL* و روش محاسباتی کسینوس استیونسون محاسبه و برای تفکیک دوره‌های سرد و گرم از نمودار محاسب دمای مؤثر استفاده شد. نتایج نشان داد که موقعیت ویژه جغرافیایی همدان شامل قرارگیری آن در نیمه‌ی غربی کشور، سردسیر بودن و همجواری آن با رشته کوه زاگرس - الوند سبب شده است که در اغلب ماه‌های سال (مگر در تابستان و میانه‌ی روز)، نیاز به انرژی خورشیدی بالا باشد. همچنین نتایج حاکی از این است که مناسب‌ترین جهت برای نمای ساختمان‌های یک‌طرفه جهت جنوب با انحراف ۱۵ درجه‌ای به سمت شرق و غرب است. برای ساختمان‌های دوطرفه جهت شمال - جنوب ایده‌آترین جهت است زیرا ۱۸/۶ درصد انرژی تابیده شده خورشید مربوط به دوره‌ی گرم سال و ۸۱/۴ درصد انرژی مربوط به دوره سرد سال است. در ساختمان‌های چهارطرفه به ویژه مجتمع‌های طبقاتی و آپارتمانی نیز امتداد +۷۵، -۱۰۵، +۱۶۵ و -۱۵ بهترین جهات است. این جهات، ۲۹/۵ درصد از انرژی خورشیدی مربوط به دوره‌ی گرم سال و ۷۰/۵ درصد انرژی به دوره سرد سال تعلق دارد.

کلیدواژگان: اقلیم معماری، تابش خورشید، جهت ساختمان، کسینوس استیونسون، همدان.

۱- استادیار اقلیم‌شناسی، دانشگاه سیدجمال‌الدین اسدآبادی، اسدآباد، همدان، ایران، نویسنده مسئول: h.climate@sjau.ac.ir

۲- استادیار اقلیم‌شناسی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

۳- دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

۴- استادیار اقلیم‌شناسی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، خراسان رضوی، ایران

مقدمه

امروزه مصرف بالای انرژی در بخش سازه‌های ساختمانی و مسکونی، یکی از دغدغه‌های مدرن و اساسی سراسر جهان به ویژه در شهرهای بزرگ دنیا که از تراکم بالای جمعیتی، حمل و نقل گسترده و انبوه‌سازی پیچیده برخوردارند، می‌باشد (یانو و زو^۱، ۲۰۱۱: ۲۱۹۷؛ عزیزی، ۱۳۸۳: ۲۰). کشور ایران نیز از این قاعده مستثنی نیست و بیش از ۴۰ درصد مصرف انرژی به این بخش مربوط می‌شود. پژوهش‌ها نشان می‌دهد که مصرف متوسط انرژی در ساختمان‌های کشور تقریباً ۵ برابر اروپاست. ضعف موجود در طراحی و معماری ساختمان‌ها و فرهنگ نامناسب مصرف انرژی از بزرگترین دلایل این سوء استفاده می‌باشد (مبنا، ۱۳۹۲: ۳). یکی از راهکارهایی که در این زمینه ارائه شده است، استفاده حداکثری از انرژی خورشید است. زیرا خورشید یکی از منابع تأمین انرژی رایگان، پاک و عاری از اثرات مخرب زیست‌محیطی است که از دیرباز به روش‌های گوناگون و با استفاده از مصالح طبیعی و جهت‌گیری مناسب ساختمان‌ها همساز با شرایط اقلیمی برای رسیدن به آسایش حرارتی مطلوب مورد استفاده بشر قرار گرفته است. به دلیل بحران انرژی و اثرات مخرب سوخت‌های فسیلی در سال‌های اخیر، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و از جمله انرژی خورشیدی به منظور کاهش و صرفه جویی در مصرف انرژی، کنترل عرضه و تقاضای آن و کاهش انتشار گازهای آلاینده با استقبال فراوانی روبرو شده است. لازم به ذکر است که جهت‌گیری ساختمان‌ها بر اساس اصول و شرایط اقلیم بومی در هر منطقه می‌تواند مقدار جذب تابش خورشید را تعیین کند. این در حالی است که معماران و طراحان سازه‌های ساختمانی نیز باید با محاسبه شارژ تابشی خورشید در ساعات مختلف روز و روزهای مختلف سال (که مکان و زاویه تابش خورشید تغییر می‌کند) جهت ساختمان را طوری انتخاب کنند که میزان تابش جذب شده، سبب گرمای بیش از حد ساختمان در تابستان و مناطق گرمسیر نشود. ضمن اینکه در مناطق سردسیر، جهت ساختمان طوری باشد که بیشترین میزان جذب انرژی خورشید در دوره سرد سال رخ دهد (شمس و خداکرمی، ۱۳۸۹: ۱۰۱). از این رو نور خورشید همیشه برای ایجاد روشنایی در یک ساختمان مورد نیاز است، اما از آنجا که این نور سرانجام به حرارت تبدیل می‌شود، باید میزان تابش مورد نیاز هر ساختمان با توجه به نوع آن ساختمان و شرایط اقلیمی محل تعیین شود (کسمایی، ۱۳۸۴: ۱۲۰).

مبانی نظری

معماران و طراحان حوضه شهری بر این باورند که سازه‌های مسکونی یکی از اصلی‌ترین بخش‌های مصرف‌کننده انرژی در هر کشور است (کاپلوتو^۲، ۲۰۰۲: ۳۲۹؛ وان و همکاران^۳، ۲۰۰۸: ۶۷۰). مانند بسیاری دیگر از کشورها در ایران نیز بخش مسکونی سهم بسزایی در مصرف انرژی دارد و در سال‌های اخیر پژوهش‌های گسترده‌ای در زمینه معماری اقلیمی سازه‌های ساختمانی با تاکید بر جهت‌گیری ساختمان‌ها و رابطه آن با تابش خورشید در سطح جهان و ایران انجام شده است. به عنوان نمونه؛ اسکافیلد^۴ (۱۹۸۵: ۲۰۵)، بارهای حرارتی و برودتی ساختمان را در ایالات متحده آمریکا بررسی کرد و نشان داد وقتی پنجره‌ها در جهت جنوب باشد، بارهای کل کمتر از حالتی است که این جداره به سمت شرق یا غرب جهت‌گیری شده باشد. همچنین جهت‌گیری شمالی نیز دارای بارهای کل کمتر از شرق یا غرب در جنوب ایالات متحده می‌باشد. رونگ و همکاران^۵ (۲۰۰۴: ۷۳)، بر این باورند که تابش خورشیدی تأثیر بسزایی بر میزان آسایش حرارتی

۱ - Yao and Zhu

۲ - Capeluto

۳ - Wan et al

۴ - Scofield

۵ - Borong et al

ساختمان دارد، چه در زمستان با جذب حرارت و چه در تابستان با جلوگیری و دفع حرارت از ساختمان. برای جلوگیری از جذب تابش خورشید در بدنه‌های ساختمان در گرمای تابستان از سایه‌اندازی و عایق حرارتی در معماری بومی بهره می‌گرفته‌اند. جانسون (۲۰۰۶: ۱۳۲۶)، تاثیر هندسه شهری روی آسایش حرارتی بیرونی در یک اقلیم خشک گرم در مراکش مطالعه نمود و بر این باور است که در این اقلیم باید طراحی شهری فشرده صورت گیرد تا هرچه بیشتر شرایط آسایش حرارتی را در شهر فراهم آورد. کازا^۲ (۲۰۱۰: ۶۵۷۴)، از روش واکاوی عددی رگرسیون به منظور تبیین اثرات پارامترهای مختلف بر توزیع طیف مصرف انرژی استفاده نمود. نتایج حاکی از آن است که اندازه مسکن برای تهویه فضا اهمیت دارد اما نوع مسکن دارای تاثیر کمتری است. علاوه بر این، به نظر نمی‌رسد تراکم ساختمان‌های همجوار هیچ نوع تاثیری بر مصرف انرژی نداشته باشد. جابر و عجیب^۳ (۲۰۱۱: ۱۸۲۹)، ارزیابی بهترین جهت‌گیری ساختمان، اندازه پنجره و ضخامت عایق‌کاری حرارتی برای یک ساختمان مسکونی در منطقه مدیترانه را بررسی کردند و بر این باورند که در حدود ۲۷/۶ درصد از مصرف انرژی سالانه را می‌توان با انتخاب بهترین جهت، اندازه بینه پنجره‌ها، سایبان‌ها و ضخامت مطلوب عایق صرفه‌جویی نمود. در این زمینه می‌توان به اختصار به پژوهش‌های دیگری همچون کاموفو^۴ (۱۹۹۸: ۳۲۷) در مورد اثرگذاری شکل ساختمان بر وضعیت باد؛ اسپیرلا^۵ (۲۰۰۲: ۱) بررسی عوامل اقلیمی موثر در ساختمان‌ها و زمانی و همکاران^۶ (۲۰۱۶: ۸۵) به بررسی مناسب‌ترین جهت تابش برای ساختمان در زنجان اشاره نمود.

در ایران نیز؛ سبزوستانی و همکاران (۱۳۸۵)، تاثیر جهت‌گیری، جنس و رنگ جداره بیرونی ساختمان را بر حرارت اکتسابی از خورشید مورد مطالعه قرار دادند. نتایج بیانگر این است که انرژی تابشی خورشید به سطح دیوار یک ساختمان تابعی از موقعیت جغرافیایی، جهت‌گیری دیوار، اقلیم منطقه، موقعیت ساختمان‌های اطراف و همچنین نوع و پوشش زمین آن منطقه نسبت به ساختمان مرجع می‌باشد. لشکری و همکاران (۱۳۹۰)، بر اساس جهت‌گیری بینه ساختمانی در شهر اهواز به این نتایج رسیدند که بیشترین مقدار انرژی دریافتی سطوح قائم مربوط به ۱۵ درجه شرقی و ۳۰ درجه جنوب شرقی می‌باشد. همچنین استقرار ساختمان در جهت بینه ۴۵ درجه و جهات قابل قبول ۳۰ درجه و ۱۵+ درجه شمالی از مبدا جنوب در اهواز پیشنهاد می‌شود. حسین‌آبادی و همکاران (۱۳۹۱)، با محاسبه تجربی مقدار انرژی خورشیدی تابیده شده بر سطوح قائم در شهر سبزوار بر این باورند که بهترین جهت برای استفاده حداکثری از تابش آفتاب در دوره سرد سال، جهت جنوب غرب است. همین نتیجه را لشکری و همکاران (۱۳۹۱)، برای شهر سقر در استان کردستان و مدیری و همکاران (۱۳۹۱)، برای گرگان به دست آوردند. فرج‌زاده و عباسی (۱۳۹۱)، با بینه‌سازی جهت ساختمان‌های شهر قیر در رابطه با تابش آفتاب معتقدند که جهت ۱۵۰+ تا ۱۶۵+ برای ساختمان‌های یک طرفه و جهت ۱۵۰+ و ۱۵- برای ساختمان‌های دوطرفه، ایده‌آل‌ترین و جهت ۱۸۰، جهت پذیرفتنی انتخاب شد. برزگر و حیدری (۱۳۹۲)، به بررسی تاثیر تابش دریافتی خورشید در بدنه‌های ساختمان بر مصرف انرژی بخش خانگی در شیراز پرداختند و نشان دادند خانه‌های با جهت‌گیری اقلیمی مناسب مانند جهت جنوب شرقی و شمال غربی از نظر میزان دریافت انرژی و مصرف در شرایط مناسبتری می‌باشند. خسروی و همکاران (۱۳۹۲)، با واکاوی میزان تابش کل رسیده به سطح افق و پهنه‌بندی آن در گستره استان آذربایجان شرقی معتقدند کمترین میزان تابش مربوط به ماه ژانویه و

۱ - Jahansson

۲ - Kaza

۳ - Jaber and Ajib

۴ - Camuffo

۵- Espriella

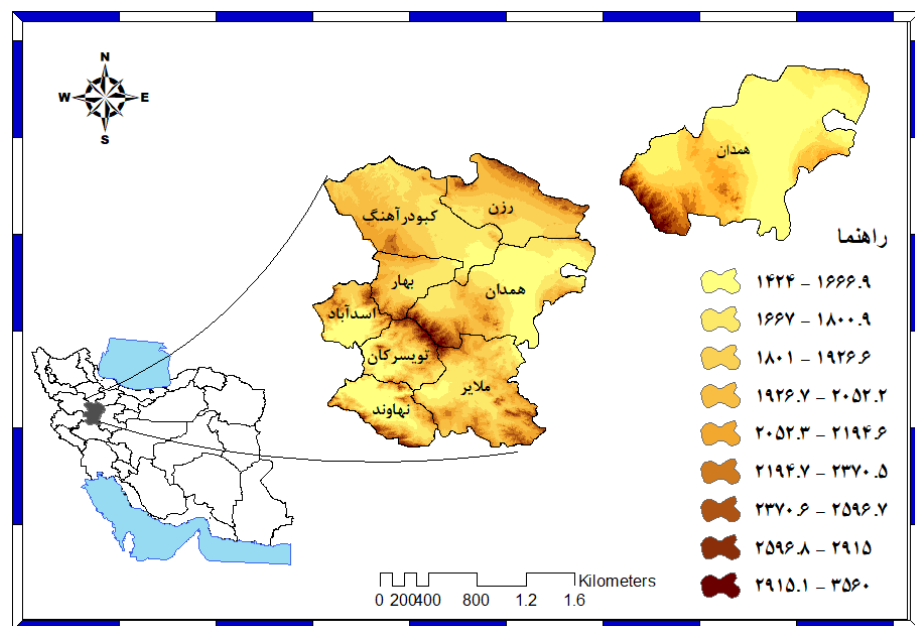
۶- Zamani et al

بیشترین میزان آن مربوط به ماه ژوئن و توزیع تابش سالانه استان از جنوب غربی به شمال و شمال شرقی روند کاهشی نشان می‌دهد. عیالی و موحد (۱۳۹۴)، با واکاوی تعیین جهت بهینه‌ی حیاط مرکزی خانه‌های دوره‌ی قاجار در شیراز معتقدند که بهترین زاویه از نظر دریافت میزان تابش انرژی خورشید، جبهه‌ی شمالی حیاط مرکزی این خانه‌ها، محدوده‌ی زاویه ۲۵ درجه‌ی چرخش نسبت به شمال است. محمدزاده و همکاران (۱۳۹۴)، برای انتخاب موقعیت استقرار ساختمان‌ها در جلفا، جهت شرقی - غربی از جهت دریافت کم انرژی خورشیدی در تابستان و حداکثر دریافت انرژی در ماه‌های سرد سال را برای ساختمان‌های این شهر توصیه می‌کنند. اکبری و همکاران (۱۳۹۵)، بر این باورند که بهترین جهت استقرار ساختمان‌ها در زنجان به منظور دریافت بهینه انرژی خورشید در دوره‌های سرد و گرم سال، جهت‌های ۱۳۵ درجه و ۲۲۵ درجه زاویه آزیموتی می‌باشد. حجازی‌زاده و کربلانی (۱۳۹۵) معتقدند که ایده‌آل‌ترین جهت برای نمای اصلی ساختمان‌های یک‌طرفه در کاشان، جهت ۱۸۰ درجه یا جنوب با دریافت ۵۶/۲ درصد از انرژی دریافتی در مواقع سرد و ۴۳/۸ درصد از کل انرژی در مواقع گرم می‌باشد.

با توجه به موقعیت خاص جغرافیایی شهر همدان و قرارگیری آن در دامنه‌های نسبتاً سرد رشته کوه الوند، جهت‌گیری ساختمان‌ها باید به گونه‌ای باشد که در دوره‌ی سرد بیشترین میزان انرژی خورشید و در دوره‌ی گرم، کمترین میزان انرژی توسط ساختمان‌ها دریافت شود تا در مصرف انرژی صرفه‌جویی بسیار زیادی حاصل گردد. برای نیل به این هدف، پژوهش حاضر سعی در بررسی شرایط اقلیم معماری همدان با توجه به میزان تابش خورشید و تعیین بهینه جهت سازه‌های ساختمانی - مسکونی دارد.

منطقه مورد مطالعه

استان همدان بین ۳۳ تا ۳۵ درجه عرض شمالی و ۴۷ تا ۴۹ درجه طول شرقی و حدود ۱/۲ درصد از کل مساحت ایران در غرب کشور قرار دارد. این استان از شمال با استان‌های زنجان و قزوین، از جنوب به استان لرستان، از شرق به استان مرکزی و از غرب به استان‌های کرمانشاه و کردستان محدود می‌شود. بلندترین نقطه استان همدان قله الوند با ارتفاع ۳۵۷۴ متر است. شهرستان همدان با عرض شمالی ۳۴ تا ۳۵ و طول شرقی ۴۸ تا ۴۹، یکی از کلان‌شهرهای ایران در منطقه غرب و کوهستانی کشور محسوب می‌شود و از شهرهای سردسیر ایران به شمار می‌آید. موقعیت جغرافیایی همدان در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی استان و شهر همدان، منبع: نویسندگان

داده‌ها و روش‌شناسی

شدت تابش آفتاب به وضعیت آب و هوا، موقعیت خورشید و ارتفاع محل مورد نظر وابسته است. ولی مقدار انرژی خورشیدی تاییده شده به یک سطح، علاوه بر موارد فوق به زاویه‌ی برخورد پرتو خورشید به سطح مورد نظر نیز بستگی دارد؛ یعنی در یک نقطه از سطح زمین و در یک زمان معین، مقدار انرژی خورشیدی تاییده به سطوحی که نسبت به پرتو خورشید زوایای مختلفی دارند، کاملاً متفاوت است (عیالی و موحد، ۱۳۸۵: ۱۶۴). در پژوهش حاضر برای واکاوی و محاسبه‌ی شدت تابش خورشیدی بر سطوح قائم ساختمان‌ها از روش محاسباتی کسینوس استیونسون^۱ و برای تفکیک دوره‌های سرد و گرم از نمودار محاسب دمای مؤثر^۲ استفاده شده است. تمامی محاسبات با استفاده از نرم افزار اکسل برنامه نویسی شده است که چگونگی محاسبه آن به اختصار در زیر بیان می‌شود. برای انجام محاسبات کسینوسی تابش خورشید، ابتدا می‌بایست میزان زاویه میل خورشید δ را به دست آورد و سپس زاویه سمت‌الراس را محاسبه نمود (بهادری‌نژاد و یعقوبی، ۱۳۸۵: ۲۱۸):

$$\delta = 23.45 (\sin (360(284+N)/365)) \quad \text{رابطه ۱}$$

در این رابطه؛ δ مدار میل خورشید و N شماره روز میلادی (روز ژولوس) است. زاویه انحراف خورشید یا مدار میل از رابطه کوپر (رابطه ۷) محاسبه می‌شود. زاویه ساعت برای طلوع و غروب خورشید از رابطه (۹) بدست می‌آید. طول روز عبارت است از: فاصله زمانی بین طلوع و غروب آفتاب. طول روز نسبت به ظهر خورشیدی قرینه است و در زمین در هر ساعت ۱۵ درجه حول محور خود حرکت می‌کند (حجازی‌زاده و کربلایی، ۱۳۹۵: ۴۳).

خورشید در حرکت ظاهری خود بر بالای یک مدار میل معین، به هنگام طلوع، از افق ظاهر می‌شود و به تدریج تا موقع ظهر، به حداکثر ارتفاع خود می‌رسد و دوباره تا غروب بتدریج از ارتفاع آن کاسته می‌شود و در ورای افق ناپدید می‌گردد. لذا مقدار انرژی ای که حتی در مواقع مختلف یک روز هم به نقطه‌ای از سطح زمین می‌رسد، به دلیل تغییر زاویه تابش تغییر می‌کند. حداکثر این انرژی در مواقع ظهر و حداقل آن در مواقع طلوع و غروب خورشید به نقطه مورد نظر می‌رسد (علیجانی، ۱۳۸۷: ۶۷). موقعیت خورشید را می‌توان در هر زمان و مکان با دو زاویه، یعنی زاویه سمت‌الراس و زاویه جهت تابش، تعیین کرد. حال زاویه سمت‌الراس یا همان زاویه ورود تابش خورشید بر سطح افق از رابطه زیر استخراج می‌شود (همان، ۲۲۰):

$$\cos \theta z = (\sin \delta \sin \varphi) + (\cos \delta \cos \varphi \cos \omega) \quad \text{رابطه ۲}$$

در این رابطه؛ $\cos \theta z$ زاویه سمت‌الراس؛ δ مدار میل خورشید؛ φ عرض جغرافیایی و ω زاویه ساعت می‌باشد. با محاسبه مدار میل خورشید و زاویه تابش می‌توان محاسبات کسینوسی را ادامه داد. بدین صورت که اگر شدت پرتو مستقیم و زاویه تلاقی θ شعاع خورشیدی بر روی سطح داده شده باشد، در آن صورت (قبادیان و مهدوی، ۱۳۸۷: ۴۵):

$$I_s = I_n \cos \theta \quad \text{رابطه ۳}$$

در این رابطه؛ I_s شدت تابش بر روی سطح BTU/h/ft^2 ؛ I_n شدت تابش خورشید بر روی سطوح عمود بر پرتو خورشید؛ θ زاویه تلاقی میان شعاع خورشید و خط عمود بر سطح عمودی دیوار است.

۱ - Cosine D. G. Stephenson

۲ - Effective Temperature

لازم به ذکر است که θ توسط معادله کسینوس کروی محاسبه می‌گردد (واتسون و لایز، ۱۳۸۵؛ برگردان: قبادیان و مهدوی):

$$\cos \theta = \cos \alpha \times \cos(\psi - \psi') \quad \text{رابطه ۴}$$

در این رابطه؛ α زاویه تابش خورشید (ارتفاع خورشید)؛ ψ زاویه جهت تابش (زاویه آزیموت) در مسیر گردش عقربه‌های ساعت، از طرف شمال و بر حسب درجه؛ ψ' زاویه جهت دیوار در مسیر عقربه‌های ساعت، از طرف شمال و بر حسب درجه.

همچنین در رابطه ۳، مقدار I_n شدت تابش خورشید بر روی سطوح عمود بر پرتوی خورشید، از رابطه زیر به دست می‌آید (فرج‌زاده و عباسی، ۱۳۹۱: ۴۸):

$$I_n = A / \exp(B / \sin \alpha) \quad \text{رابطه ۵}$$

در این رابطه؛ I_n شدت تابش خورشید بر روی سطوح عمود بر پرتوی خورشید؛ α زاویه تابش خورشید؛ A و B به ترتیب، ضریب خاموشی اتمسفری و ضریب در فرمول کدوری انگسترم است که این ضرایب از جدول ثابت استخراج می‌گردد.

برای واکاوی نمودار محاسب دمای مؤثر در همدان نیاز به تفکیک دوره‌ی گرم و دوره‌ی سرد سال از یکدیگر ضرورت می‌یابد. زیرا در این صورت، در دوره سرد سال بیشترین میزان انرژی و در دوره گرم سال، کمترین میزان انرژی مورد نیاز سازه‌های مسکونی و در نتیجه آسایش حرارتی انسان است. بنابراین به مجموعه زمان‌هایی که ساختمان برای ایجاد شرایط حرارتی مناسب به انرژی خورشیدی نیاز دارد، مواقع سرد و به مجموعه زمان‌هایی که نفوذ آفتاب به فضاهای داخلی منجر به افزایش دمای ساختمان می‌گردد، مواقع گرم گفته می‌شود. ملاک تفکیک دوره سرد از دوره‌ی گرم سال، دمای ۲۱ درجه سانتیگراد به عنوان حد پایین آسایش، ملاک عمل قرار گرفت و این دما به عنوان مرز نیاز یا عدم نیاز به تابش آفتاب و یا مرز تعیین کننده مواقع گرم و سرد سال محسوب شد (فرج‌زاده و عباسی، ۱۳۹۱: ۵۰).

بحث و نتایج

نمودار محاسب دمای مؤثر در همدان

همان‌گونه که در بخش روش‌شناسی اشاره شد در نمودار محاسب دمای مؤثر، دمای ۲۱ درجه سانتیگراد به عنوان مرز دوره‌ی گرم و سرد سال قلمداد می‌شود. با این تفسیر جدول ۱، تقویم نیاز دمای ۲ ساعتی در همدان را نشان می‌دهد. این جدول با استفاده از داده‌های میانگین حداکثر و حداقل دما در بازه زمانی ۱۹۷۶ تا ۲۰۱۶ بر اساس نمودار محاسب دمای مؤثر برآورد شده است. پیرو نتایج این جدول، ماه‌های اردیبهشت تا مهر (به ویژه تیر و مرداد) در ساعت‌های ۱۰ تا ۲۰ که مجموعاً ۲۲/۲ درصد از مواقع سال را شامل می‌شوند، دمای همدان بالای ۲۱ درجه است و به عنوان دوره‌ی گرم سال و زمان عدم نیاز به آفتاب شناخته می‌شود. در ۷۷/۸ درصد از سال نیز دمای همدان کمتر از ۲۱ درجه است و این دوره، زمان نیاز بیشتر به آفتاب و انرژی خورشیدی است که به دروه سرد سال معروف است. به نظر می‌رسد شرایط ویژه همدان از نظر توپوگرافی و جغرافیایی از یک سو و قرارگیری آن در دامنه رشته کوه‌های مرتفع الوند از سوی دیگر سبب شده است که این استان از نظر میزان دریافت انرژی خورشیدی و به تبع آن، افزایش تعداد ساعات آفتاب و نیاز دمایی رقم بالایی نداشته باشد. رخداد این‌گونه شرایط سبب می‌شود که مدیریت ساخت و ساز واحدهای مسکونی به گونه‌ای باشد که ساختمان‌های این شهر در بهترین جهت جغرافیایی، بیشترین بازده را از انرژی خورشید دریافت نمایند.

جدول ۱: تقویم نیاز آب و هوایی تغییرات دمای ۲ ساعتی در همدان (بازه‌ی زمانی ۱۹۷۶ تا ۲۰۱۶)

ساعت	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
2	7	9	12	18	18	10	7	2	-3	-7	-5.5	2
4	5	8	11	17	17	9	6	0	-4	-8	-5	0.5
6	4.5	7.0	10.0	16.0	15.0	8.0	5.0	-0.4	-4.4	-9.0	-6.0	0.0
8	6	8.5	12	21	21	10	6.5	0.5	-4.5	-8.5	-5	1
10	13	16	22	25	24.5	21	15	7	2	-5.5	0.5	7
12	16.5	21	27	31	31	26	19	11	5	-2	4.5	10
14	18.5	22.5	30.0	34.0	33.9	29.4	21.7	13.1	6.2	-1.0	6.0	12.0
16	17	21	29	32	30.5	26.5	21	12	6	-2	5	11
18	14	18	24	28	27	23	16	9	3	-4	2	10.5
20	11	14	19	22	21	17	11	6	1	-5.5	1	8.5
22	9	12	16	21	22	15	9	4	0	-6.5	-2	4
24	8	11	15	19	21	12	7	2	-2	-8	-3	3

منبع: نگارندگان

محاسبات انرژی تابشی خورشید در همدان

در طراحی‌های اقلیم معماری، جهت ساختمان باید به گونه‌ای باشد که در مواقع سرد بیشترین میزان انرژی و در مواقع گرم کمترین میزان انرژی به نمای اصلی بتابد. بنابراین اولین مرحله، در تعیین چنین جهتی، تعیین مواقع مختلف سال از نظر کسب میزان انرژی خورشیدی است (کسمایی، ۱۳۸۴: ۱۳۷). با استفاده از محاسبات کسینوسی در برآورد مقدار انرژی تابیده شده روی دیوار قائم برای ۱۲ ماه سال در ۲۴ جهت جغرافیایی، مقدار انرژی تابیده شده کل در ساعات نظری بر حسب $BTU/H/FT^2$ استخراج شد (جدول ۲). مشاهده می‌شود که محدوده‌ی بین $+105$ تا -150 درجه که غالباً جهت جنوب، جنوب غرب و شرق را شامل می‌شود در اغلب ماه‌های سال در همدان، بیشترین میزان انرژی تابیده شده از خورشید را دریافت می‌کنند.

جدول ۲: میزان انرژی دریافتی بر دیوار قائم در همدان (ساعات نظری) بر مبنای $BTU/H/FT^2$ (بازه زمانی ۱۹۷۶ تا ۲۰۱۶)

ماه	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
شمال	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	73.06	93.23	78.41	84.32	75.60	21.76	43.98	42	37	41	56	95.53
	216.89	285.52	274.71	274.71	233.51	118.90	118.90	120.90	111.43	118.60	176.37	246.51
	393.23	479.33	477.14	467.09	418.44	270.93	270.93	270.93	250.04	269.69	354.74	438.07
	563.43	665.00	657.29	646.52	590.30	449.86	449.86	449.86	427.33	427.33	564.65	635.42
	725.14	806.58	792.64	781.90	741.66	631.28	631.28	631.28	607.45	607.45	780.61	809.85
	837.44	893.20	873.98	863.99	842.48	781.51	781.51	781.51	753.29	753.29	942.51	977.13
	924.27	938.81	910.33	904.21	912.99	920.39	920.39	920.39	902.09	902.09	1003.19	1098.19
	948.11	920.45	884.64	882.82	921.27	1008.38	1008.38	1008.38	1154.13	1154.13	1201.92	1098.19
	937.25	840.60	798.67	801.26	886.50	1060.79	1060.79	1060.79	1366.11	1366.11	1374.46	1180.07
	883.18	727.97	669.35	683.99	806.77	1086.28	1086.28	1086.28	1566.58	1566.58	1523.17	1238.90
	816.21	586.73	517.63	540.81	714.99	1100.73	1100.73	1100.73	1778.18	1778.18	1645.60	1288.52
جنوب	769.36	510.90	454.71	472.59	661.94	1117.04	1138.42	1171.01	1840.91	1823.78	1694.36	1320.25
-165	816.21	586.73	517.63	540.81	714.99	1100.73	1106.19	1701.00	1778.18	1778.18	1645.60	1288.52
-150	883.18	727.97	669.35	683.99	806.77	1086.28	1029.87	1566.58	1631.73	1631.73	1523.17	1238.90
-135	937.25	840.60	798.67	801.26	886.50	1060.79	938.29	1366.11	1413.15	1413.15	1374.46	1180.07
-120	948.11	920.45	884.64	882.82	921.27	1008.38	1008.38	1154.13	1170.50	1170.50	1201.92	1098.19
-105	924.27	938.81	910.33	904.21	912.99	920.39	920.39	926.37	923.61	923.61	1003.19	977.13
-90	837.44	893.20	873.98	863.99	842.48	781.51	781.51	690.49	675.56	675.56	780.61	809.85
-75	725.14	806.58	792.64	781.90	741.66	631.28	631.28	470.58	447.15	447.15	564.65	635.42
-60	563.43	665.00	657.29	646.52	590.30	449.86	449.86	273.63	250.04	250.04	354.74	438.07
-45	393.23	479.33	477.14	467.09	418.44	270.93	270.93	120.90	111.43	118.60	176.37	246.51
-30	216.89	285.52	274.71	274.71	233.51	118.90	118.90	43.98	37	41	55.81	95.53
-15	73.06	93.23	78.41	84.32	75.60	21.76	21.76	0	0	0	9	13.25

زاویه دیوار

منبع: نگارندگان

سپس برای بررسی میزان واقعی انرژی تابشی خورشید در همدان نیاز به ضریب ساعت آفتاب در هر ماه است تا مقدار انرژی تابشی به مقدار واقعی آن تبدیل شود. بنابراین ویژگی‌های آماری تابش خورشید در همدان به شرح جدول ۲ نشان داده شده است (جدول ۳). شواهد نشان می‌دهد که در همدان نیز مانند اغلب نقاط کشور، میانگین ساعات آفتابی و طول روز در دوره گرم سال (شش ماه اول)، بیشتر از دیگر ماه‌هاست. این در حالی است که در این موقع از سال، برای نیل به آسایش حرارتی و صرفه‌جویی در مصرف برق و آب، نیاز کمتری به انرژی خورشیدی است. این وضعیت در دوره سرد سال، عکس دوره گرم سال می‌باشد (محاسبات طول روز و مدار میل به صورت ساعتی در یک سال برآورد گردید و سپس میانگین ماهانه آن‌ها مد نظر قرار گرفت).

جدول ۳: آماره‌های مربوط به تابش خورشید در همدان (بازه زمانی ۱۹۷۶ تا ۲۰۱۶)

ماه	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر
میانگین ساعات آفتابی ماهانه	122.52	136.44	167.57	183.64	238.38	289.38	285.35	281.72	263.83	219.55	158.71	118.32
میانگین ساعت واقعی آفتاب روزانه	3.95	4.70	5.41	6.12	7.69	9.65	9.20	9.09	8.79	7.08	5.29	3.82
طول روز	9.92	10.74	11.81	12.94	13.88	14.32	14.09	13.25	12.15	11.03	10.10	9.68
ضریب ساعت آفتابی	0.398	0.438	0.458	0.473	0.554	0.673	0.653	0.686	0.724	0.642	0.524	0.394
مدار میل	-21.10	-13.29	-2.02	9.97	19.26	23.25	21.18	13.12	1.61	-10.33	-19.49	-23.24

منبع: نگارندگان

در نهایت با احتساب ضریب ساعت آفتابی (جدول ۳) در همدان و داده‌های نظری برآورد شده است (جدول ۴)، مقدار انرژی تاییده شده کل به صورت واقعی محاسبه گردید که در جدول ۴ نمایش داده شده است. با احتساب ضریب ساعت آفتابی مشاهده می‌شود که باز هم محدوده‌ی بین ۱۰۵+ تا ۱۵۰- درجه در قلمرو بیشترین میزان انرژی تابشی خورشید قرار گرفته است.

جدول ۴: میزان انرژی دریافتی دیوار قائم در همدان (ساعات واقعی) با احتساب ضریب ساعت آفتابی بر مبنای $BTU/H/FT^2$

ماه	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
شمال	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	22.31	31.57	29.62	36.63	43.89	17.28	5	0	0	0	4	4
30	66.22	96.69	104.09	119.34	135.56	94.44	36.69	37	34	29	27	30.89
45	120.06	162.33	180.23	202.90	242.92	215.18	111.22	108.84	101.19	84.63	86.89	79.72
60	172.02	225.20	248.28	280.85	342.70	357.30	217.92	246.34	227.07	192.45	174.77	141.66
75	221.40	273.15	299.41	339.66	430.57	501.39	339.93	423.65	406.07	335.74	278.19	205.48
90	255.68	302.48	330.13	375.32	489.10	620.71	461.60	621.62	613.50	497.97	384.58	261.89
105	282.19	317.93	343.86	392.80	530.04	731.02	585.75	833.98	838.77	672.58	494.24	315.99
120	289.47	311.71	334.16	383.50	534.85	800.90	692.80	1039.03	1062.97	843.18	592.15	355.14
135	286.16	284.67	301.68	348.07	514.66	842.53	782.80	1229.87	1283.33	1004.90	677.16	381.61
150	269.65	246.53	252.83	297.13	468.37	862.78	859.21	1410.34	1481.84	1156.50	750.42	400.64
165	249.20	198.70	195.52	234.93	415.09	874.25	922.88	1531.36	1614.83	1257.11	810.74	416.68
جنوب	234.90	173.02	171.76	205.30	384.29	887.20	949.76	1585.38	1671.80	1301.46	834.76	426.94
-165	249.20	198.70	195.52	234.93	415.09	874.25	922.88	1531.36	1614.83	1257.11	810.74	416.68
-150	269.65	246.53	252.83	297.13	468.37	862.78	859.21	1410.34	1481.84	1156.50	750.42	400.64
-135	286.16	284.67	301.68	348.07	514.66	842.53	782.80	1229.87	1283.33	1004.90	677.16	381.61
-120	289.47	311.71	334.16	383.50	534.85	800.90	692.80	1039.03	1062.97	843.18	592.15	355.14
-105	282.19	317.93	343.86	392.80	530.04	731.02	585.75	833.98	838.77	672.58	494.24	315.99
-90	255.68	302.48	330.13	375.32	489.10	620.71	461.60	621.62	613.50	497.97	384.58	261.89
-75	221.40	273.15	299.41	339.66	430.57	501.39	339.93	423.65	406.07	335.74	278.19	205.48
-60	172.02	225.20	248.28	280.85	342.70	357.30	217.92	246.34	227.07	192.45	174.77	141.66
-45	120.06	162.33	180.23	202.90	242.92	215.18	111.22	108.84	101.19	84.63	86.89	79.72
-30	66.22	96.69	104.09	119.34	135.56	94.44	36.69	37	34	29	27.50	30.89
-15	22.31	31.57	29.62	36.63	43.89	17.28	5	0	0	0	4	4.29

منبع: نگارندگان

سپس با استفاده از اعمال ضریب ساعت آفتابی ناشی از تقلیل شدت انرژی در نتیجه ابرناکی آسمان یا آلودگی هوا، مقدار انرژی تابیده شده خورشید در دوره سرد و گرم سال به دیوارهای قائم در جهت‌های مختلف همدان محاسبه گردید (جدول ۵ و ۶) سپس با استفاده از جدول (۱) تقویم نیاز آب و هوایی تغییرات دمای ۲ ساعتی در همدان (بازه زمانی ۱۹۷۶ تا ۲۰۱۶) دوره سرد و گرم از همدیگر تفکیک گردید. دلیل تفکیک به دو دوره این است که مشخص شود میزان تابش دوره سرد و دوره گرم چگونه می باشد؛ نتایج نشان می دهد که در دوره سرد سال، کمترین میزان دریافت انرژی خورشید به شمال و بیشترین میزان آن به زاویه ۱۸۰ درجه، جنوب تعلق دارد. این در حالی است که در دوره گرم سال، کمترین میزان دریافت انرژی خورشید متعلق به جهت‌های شمال، ۱۵+، ۳۰+، ۳۰- و ۱۵- می باشد. بیشترین میزان انرژی نیز مربوط به زاویه ۱۳۵+ و ۱۳۵- است.

جدول ۵: میزان انرژی دریافتی دیوار قائم در همدان در دوره سرد سال به صورت واقعی بر مبنای $BTU/H/FT^2$

ماه	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	جمع
شمال	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	22.31	31.57	29.62	0	0	17.28	5	0	0	0	4	4	115
30	66.22	96.69	104.09	0.00	0.00	94.44	36.69	37	34	29	27	30.89	557
45	120.06	162.33	180.23	0.00	0.00	215.18	111.22	108.84	101.19	84.63	86.89	79.72	1250
60	172.02	225.20	0.00	0.00	0.00	0.00	217.92	246.34	227.07	192.45	174.77	141.66	1597
75	221.40	273.15	0.00	0.00	0.00	0.00	339.93	423.65	406.07	335.74	278.19	205.48	2484
90	255.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	461.60	621.62	613.50	497.97	384.58	261.89	3097
105	282.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	585.75	833.98	838.77	672.58	494.24	315.99	4023
120	289.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1039.03	1062.97	843.18	592.15	355.14	4182
135	286.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1229.87	1283.33	1004.90	677.16	381.61	4863
150	269.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1410.34	1481.84	1156.50	750.42	400.64	5469
165	249.20	198.70	0.00	0.00	0.00	0.00	922.88	1531.36	1614.83	1257.11	810.74	416.68	7002
جنوب	234.90	173.02	0.00	0.00	0.00	0.00	949.76	1585.38	1671.80	1301.46	834.76	426.94	7178
-165	249.20	198.70	0.00	0.00	0.00	0.00	922.88	1531.36	1614.83	1257.11	810.74	416.68	7002
-150	269.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1410.34	1481.84	1156.50	750.42	400.64	5469
-135	286.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1229.87	1283.33	1004.90	677.16	381.61	4863
-120	289.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1039.03	1062.97	843.18	592.15	355.14	4182
-105	282.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	585.75	833.98	838.77	672.58	494.24	315.99	4023
-90	255.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	461.60	621.62	613.50	497.97	384.58	261.89	3097
-75	221.40	273.15	0.00	0.00	0.00	0.00	339.93	423.65	406.07	335.74	278.19	205.48	2484
-60	172.02	225.20	248.28	0.00	0.00	357.30	217.92	246.34	227.07	192.45	174.77	141.66	2203
-45	120.06	162.33	180.23	0.00	0.00	215.18	111.22	108.84	101.19	84.63	86.89	79.72	1250
-30	66.22	96.69	104.09	0.00	0.00	94.44	36.69	37	34	29	27.50	30.89	557
-15	22.31	31.57	29.62	0.00	0.00	17.28	5	0	0	0	4	4.29	115

منبع: نگارندگان

جدول 6: میزان انرژی دریافتی دیوار قائم در همدان در دوره گرم سال به صورت واقعی بر مبنای $BTU/H/FT^2$

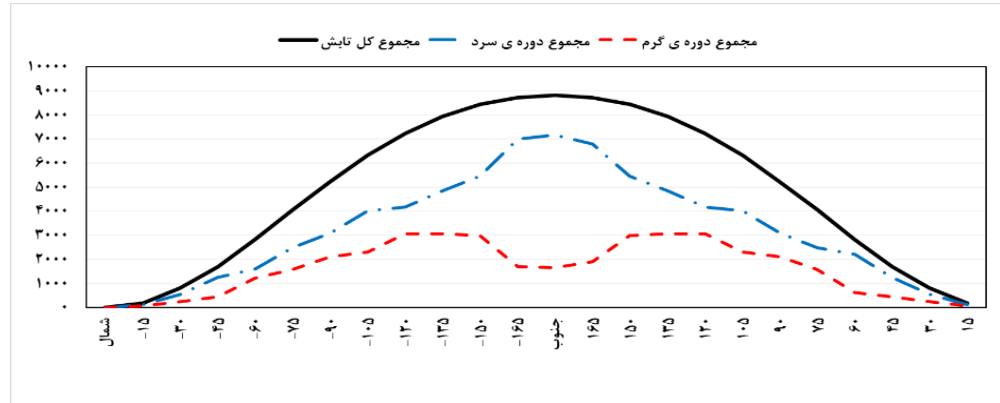
ماه	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	جمع
شمال	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	37	44	0	0	0	0	0	0	0	81
30	0	0	0	119.34	135.56	0	0	0	0	0	0	0	255
45	0	0	0	202.90	242.92	0	0	0	0	0	0	0	446
60	0	0	248.28	280.85	342.70	357.30	0	0	0	0	0	0	1229
75	0	0	299.41	339.66	430.57	501.39	0	0	0	0	0	0	1571
90	0	302.48	330.13	375.32	489.10	620.71	0	0	0	0	0	0	2118
105	0	317.93	343.86	392.80	530.04	731.02	0	0	0	0	0	0	2316
120	0	311.71	334.16	383.50	534.85	800.90	692.80	0	0	0	0	0	3058
135	0	284.67	301.68	348.07	514.66	842.53	782.80	0	0	0	0	0	3074
150	0	246.53	252.83	297.13	468.37	862.78	859.21	0	0	0	0	0	2987
165	0	199	195.52	234.93	415.09	874.25	0	0	0	0	0	0	1918
جنوب	0	0	171.76	205.30	384.29	887.20	0	0	0	0	0	0	1649
-165	0	198.70	195.52	234.93	415.09	874.25	0	0	0	0	0	0	1918
-150	0	246.53	252.83	297.13	468.37	862.78	859.21	0	0	0	0	0	2987
-135	0	284.67	301.68	348.07	514.66	842.53	782.80	0	0	0	0	0	3074
-120	0	311.71	334.16	383.50	534.85	800.90	692.80	0	0	0	0	0	3058
-105	0	317.93	343.86	392.80	530.04	731.02	0	0	0	0	0	0	2316
-90	0	302.48	330.13	375.32	489.10	620.71	0	0	0	0	0	0	2118
-75	0	299.41	299.41	339.66	430.57	501.39	0	0	0	0	0	0	1571
-60	0	248.28	280.85	342.70	489.10	620.71	0	0	0	0	0	0	624
-45	0	202.90	202.90	242.92	342.70	489.10	0	0	0	0	0	0	446
-30	0	119.34	119.34	135.56	135.56	135.56	0	0	0	0	0	0	255
-15	0	36.63	36.63	43.89	43.89	43.89	0	0	0	0	0	0	81

منبع: نگارندگان

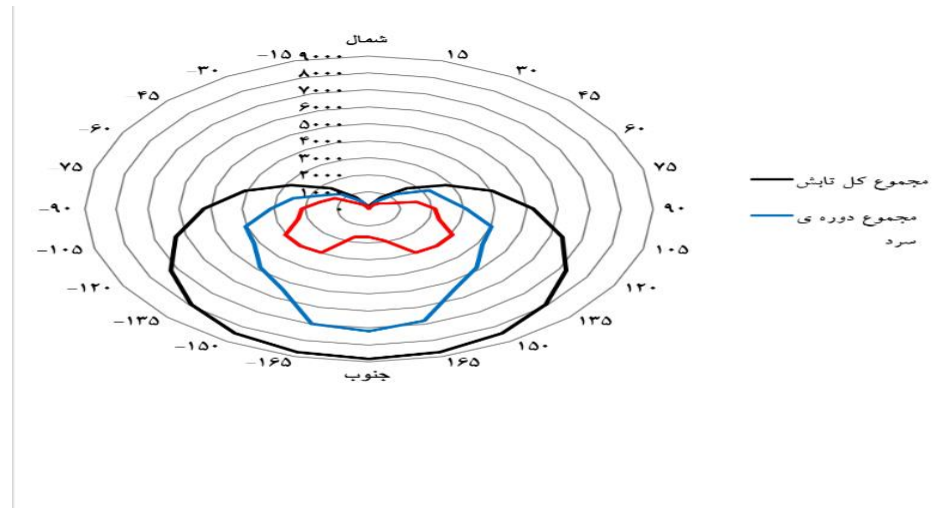
شناسایی جهت بهینه ساختمان در همدان

همان‌گونه که در شکل ۲ و ۳ مشاهده می‌شود، نمودار بیشترین تابش کل همدان به سمت جنوب‌شرق، جنوب و جنوب‌غرب کشیده شده است. این در حالی است که نمودار انرژی تابشی در دوره سرد سال، تقریباً جهت تابش کل را با اندکی ضعف به سمت جنوب تبعیت می‌کند. اما نمودار دوره گرم به عنوان نموداری دو قله‌ای و سینوسی، به سمت

جنوب غرب ۱۳۵- و شرق ۱۳۵+ درجه بیشترین تمایل را دارد. به طور کلی می‌توان اذعان داشت که در شهر همدان بیشترین میزان تابش خورشیدی در جهات جنوب شرق و جنوب غرب دریافت می‌شود. لیکن این ویژگی در دوره‌ی گرم سال که نیاز گرمایی کمتر است، چندان مطلوب نیست اما در دوره سرد سال که نیاز بیشتری به گرمایش و دریافت انرژی خورشیدی است، یک امتیاز ویژه محسوب می‌شود.



شکل ۲: میزان انرژی دریافتی خورشید در جهات مختلف ساختمان در دوره‌ی سرد و گرم در همدان، منبع: نگارندگان



شکل ۳: میزان انرژی دریافتی خورشید در جهات مختلف ساختمان در دوره‌ی سرد و گرم در همدان، منبع: نگارندگان

همان‌گونه که جدول ۷، نشان می‌دهد که در طول سال، کمترین مقدار از کل انرژی تابیده شده بر نماهای اصلی ساختمان‌های یک‌طرفه در همدان مربوط به جهات‌های شمال، ۱۵+، ۱۵-، ۳۰+، ۳۰-، ۴۵+ و ۴۵- درجه است که به ترتیب دارای ۰، ۱۷، ۰، ۱/۴ درصد از کل انرژی تابیده شده خورشید را شامل می‌شود. بیشترین مقدار کل تابش خورشیدی نیز مربوط به جهات‌های جنوب (۱۸۰)، ۱۶۵+ و ۱۶۵- به ترتیب با مقدار ۷/۶، ۷/۵ درصد می‌باشد. دوره‌ی سرد سال نیز دارای کمترین میزان انرژی مربوط به جهت شمال با صفر درصد و بیشترین مقدار به جهات ۱۸۰، ۱۶۵+ و ۱۶۵- درجه که به ترتیب ۸۱/۳، ۸۰/۳ و ۷۸ درصد از انرژی خورشیدی است. دوره گرم سال نیز با کمترین مقدار در جهات شمال، جنوب، ۱۶۵- و ۱۶۵+ درجه از انرژی خورشیدی و بیشترین انرژی در جهات ۱۲۰+ و ۱۲۰- در همدان شناسایی شد. لازم به ذکر است که برای بهره‌برداری بیشتر انرژی خورشیدی در فصل زمستان و حداقل بهره‌برداری از آن در فصل تابستان جهت‌های فوق با بیشترین انرژی دریافتی در دوره سرد سال و کمترین انرژی دریافتی در دوره گرم سال، مناسب‌ترین جهت برای ساختمان‌های یک‌طرفه است. با این تفسیر این جهات در دوره سرد و گرم

سال شامل جهت‌های جنوب (۱۸۰)، +۱۶۵ و -۱۶۵ می‌باشد. به دیگر سخن، نامساعدترین جهت از نظر ساختمان‌سازی در همدان جهت‌های شمال و شمال شرق و شمال غرب می‌باشد. اگر چه این نماها نظم بهتری از دریافت تابش آفتاب دارند اما در تابستان گرم‌تر و در زمستان سردتر از نمای جنوبی خواهند بود (کسمایی، ۱۳۸۴: ۲۱۳). بنابراین ایده‌آل‌ترین جهت برای نمای اصلی ساختمان‌های یک‌طرفه، جهتی است که در مواقع گرم کمترین انرژی و در مواقع سرد بیشترین انرژی را دریافت کند.

جدول ۷: میزان انرژی دریافتی بر نمای اصلی ساختمان‌های یک‌طرفه در همدان بر مبنای $BTU/H/FT^2$

مواقع جهت سال	مجموع کل سال		مجموع دوره ی سرد		جمع دوره ی گرم	
	مقدار	درصد	مقدار	درصد	مقدار	درصد
شمال	0	0	0	0.0	0	0.0
شمال 15	195.48	0.17	114.96	58.8	80.52	41.2
شمال 30	812.20	0.70	557.30	68.6	254.90	31.4
شمال شرق 45	1696.12	1.46	1250.29	73.7	445.83	26.3
شمال شرق 60	2826.57	2.44	1597.44	56.5	1229.13	43.5
شمال شرق 75	4054.64	3.50	2483.61	61.3	1571.03	38.7
شمال شرق 90	5214.60	4.50	3096.85	59.4	2117.75	40.6
شمال شرق 105	6339.13	5.47	4023.49	63.5	2315.64	36.5
شمال شرق 120	7239.86	6.25	4181.95	57.8	3057.91	42.2
جنوب شرق 135	7937.45	6.85	4863.04	61.3	3074.41	38.7
جنوب شرق 150	8456.24	7.30	5469.40	64.7	2986.84	35.3
جنوب شرق 165	8721.30	7.53	7001.50	80.3	1719.79	19.7
جنوب 180	8826.58	7.62	7178.03	81.3	1648.55	18.7
جنوب 165	8721.30	7.53	6802.81	78.0	1918.49	22.0
جنوب 150	8456.24	7.30	5469.40	64.7	2986.84	35.3
جنوب غربی 135	7937.45	6.85	4863.04	61.3	3074.41	38.7
جنوب غربی 120	7239.86	6.25	4181.95	57.8	3057.91	42.2
جنوب غربی 105	6339.13	5.47	4023.49	63.5	2315.64	36.5
جنوب غربی 90	5214.60	4.50	3096.85	59.4	2117.75	40.6
جنوب غربی 75	4054.64	3.50	2483.61	61.3	1571.03	38.7
جنوب غربی 60	2826.57	2.44	2203.02	77.9	623.55	22.1
شمال غرب 45	1696.12	1.46	1250.29	73.7	445.83	26.3
شمال غرب 30	812.20	0.70	557.30	68.6	254.90	31.4
شمال غرب 15	195.48	0.17	114.96	58.8	80.52	41.2

منبع: نگارندگان

بر اساس جدول شماره ۸، بهترین جهت مناسب برای ساختمان‌های دوطرفه جهت شرق-غرب است. زیرا ۱۸/۷ درصد انرژی تابیده شده خورشید بر دو نمای اصلی ساختمان مربوط به دوره ی گرم سال و ۸۱/۳ درصد انرژی مربوط به دوره سرد سال است. ضمن اینکه نامطلوبترین جهت ساختمان‌های دو طرفه نیز جهات +۶۰، -۱۲۰، -۶۰ و +۱۲۰ با مقدار ۴۲/۵ درصد در دوره ی گرم سال و ۵۷/۴ درصد در دوره ی سرد سال است. زیرا بخش اعظم انرژی دریافتی در این جهات مربوط به مواقع گرم سال است که به این انرژی نیازی نیست.

جدول ۸: میزان انرژی دریافتی بر نمای اصلی ساختمان‌های دو طرفه در همدان بر مبنای $BTU/H/FT^2$

ردیف	زاویه دریافتی انرژی	زاویه استقرار ساختمان	مواقع گرم	درصد گرم	مواقع سرد	درصد سرد
1	شمال - جنوب	S	1648.55	18.68	7178.03	81.32
2	+15 و -165	۱۵W	1999.01	22.42	6917.77	77.58
3	+30 و -150	۳۰W	3241.74	34.98	6026.70	65.02
4	شمال شرقی - جنوب غربی	۴۵W	3520.24	36.54	6113.32	63.46
5	+60 و -120	۶۰W	4287.04	42.59	5779.39	57.41
6	+75 و -105	۷۵W	3886.67	37.39	6507.10	62.61
7	شرق - غرب	E یا W	4235.49	40.61	6193.71	59.39
8	+105 و -75	۷۵E	3886.67	37.39	6507.10	62.61
9	+120 و -60	۶۰E	3681.47	36.57	6384.97	63.43
10	جنوب شرقی - شمال غربی	۴۵E	3520.24	36.54	6113.32	63.46
11	+150 و -30	۳۰E	3241.74	34.98	6026.70	65.02
12	+165 و -15	۱۵E	1800.31	20.19	7116.47	79.81

منبع: نگارندگان

در جدول ۹، میزان انرژی دریافتی بر نمای اصلی ساختمان چهارطرفه در همدان نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود که مناسبترین جهت، +۷۵، -۱۰۵، +۱۶۵ و -۱۵ است. در این جهات فقط ۲۹/۵ درصد از انرژی خورشیدی مربوط به دوره‌ی گرم سال و ۷۰/۵۵ درصد از انرژی به دوره سرد سال تعلق دارد. بنابراین جهتی پذیرفتنی و قابل قبول محسوب می‌شود. زیرا این جهات کمترین انرژی را در فصل گرم و بیشترین انرژی را در دوره سرد سال دریافت می‌کنند. از سویی دیگر نامساعدترین جهت از نظر دریافت انرژی در دوره‌ی گرم و سرد سال جهت‌های +۶۰، -۱۲۰، +۱۵۰ و -۳۰ است. زیرا در این جهات بیشترین میزان انرژی در فصل گرم (۳۸/۹ درصد) و کمترین میزان آن در فصل سرد (۶۱/۰۶ درصد) دریافت می‌شود.

جدول ۹: میزان انرژی دریافتی بر نمای اصلی ساختمان چهارطرفه در همدان بر مبنای $BTU/H/FT^2$

ردیف	زاویه دریافتی انرژی	زاویه استقرار ساختمان	مواقع گرم	درصد گرم	مواقع سرد	درصد سرد
1	شمال، جنوب، شرق، غرب	N.S.E.W	5884.04	30.56	13371.74	69.44
2	+15 و -165 و +105 و -75	۱۵SW	5885.68	30.48	13424.87	69.52
3	+30 و -150 و +120 و -60	۳۰SW	6923.21	35.81	12411.66	64.19
4	+45 و -135 و +135 و -45	۴۵SW	7040.48	36.54	12226.65	63.46
5	+60 و -120 و +150 و -30	۶۰SW	7528.79	38.94	11806.09	61.06
6	+75 و -105 و +165 و -15	۷۵SW	5686.98	29.45	13623.57	70.55

منبع: نگارندگان

نتیجه‌گیری

امروزه محدود بودن منابع انرژی و لزوم صرفه‌جویی در مصرف آن، طراحی بهینه و مناسب جهت ساختمان را ضروری می‌سازد. این در حالی است که رشد سریع و نامتوازن سازه‌های ساختمانی از یک سو و عدم رعایت اصول طراحی متناسب با اقلیم منطقه از سویی دیگر، سبب شده است که تعادل بین میزان انرژی دریافتی خورشیدی در ساختمان‌ها با دوره‌های سرد و گرم سال برقرار نشود. بنابراین برای نیل به این هدف، پژوهش حاضر سعی نمود ضمن واکاوی شرایط

تابشی در همدان، جهت بهینه ساختمان شناسایی گردد تا بتوانند در مواقع گرم کمترین انرژی و در مواقع سرد بیشترین انرژی خورشیدی را دریافت کنند. نتایج حاصل از نمودار محاسب دمای مؤثر نشان داد که موقعیت جغرافیایی ویژه همدان اعم از قرارگیری آن در نیمه‌ی غربی کشور، در یک اقلیم سردسیر و همجواری آن با رشته کوه زاگرس - الوند سبب شده است که در اغلب ماه‌های سال (مگر در تابستان و میانه‌ی روز)، دارای دماهای کمتر از ۲۱ درجه باشد. رخداد این شرایط در همدان ایجاب می‌کند که در اغلب اوقات سال که نیاز به انرژی خورشید بالاست جهت ساختمان‌ها طوری طراحی شوند که بیشترین دریافت انرژی را داشته باشند. همچنین نتایج حاکی از این است که مناسبترین جهت برای نمای ساختمان‌های یک‌طرفه جهت های جنوب (۱۸۰) و ۱۶۵+ و ۱۶۵- می باشد (به عبارتی دیگر جهت جنوب با انحراف ۱۵ درجه‌ای به سمت شرق و غرب) می‌باشد. اما برای ساختمان‌های دوطرفه جهت شمال-جنوب ایده‌آلترین جهت است زیرا، ۱۸/۶ درصد انرژی تابیده شده خورشید مربوط به دوره‌ی گرم سال و ۸۱/۴ درصد انرژی مربوط به دوره سرد سال است. در ساختمان‌های چهارطرفه به ویژه مجتمع‌های طبقاتی و آپارتمانی جهات اصلی جغرافیایی در ۷۵+، ۱۰۵-، ۱۶۵+ و ۱۵- بهترین جهات است. در این جهات، فقط ۲۹/۵ درصد از انرژی خورشیدی مربوط به دوره‌ی گرم سال و ۷۰/۵ درصد از انرژی به دوره سرد سال تعلق دارد. ملاحظه می‌شود که همدان بیشترین میزان تابش خورشیدی خود را در جهات جنوب، جنوب شرق و جنوب غرب دریافت می‌کند و این جهات در دوره‌ی گرم سال که نیاز گرمایی کمتر است، چندان مطلوب نیست. لذا پیشنهاد می‌شود طراحان، معماران و مهندسان شهرسازی در احداث سازه‌های مسکونی و شهرک‌های جدید به جهت بهینه ساختمان‌ها توجه مبرم نمایند تا بتوان از انرژی پاک و رایگان خداوندی در دوره‌ی سرد سال بیشترین استفاده را نمود. ضمن اینکه جهت سازه‌ها در دوره‌ی گرم سال که نیاز به انرژی خورشیدی چندان ضروری نیست به گونه‌ای طراحی شود که دریافتی انرژی تابشی خورشید در ساختمان‌ها اندک باشد. تطابق نتایج پژوهش حاضر با یافته‌های اکبری و همکاران (۱۳۹۵)، حجازی‌زاده و کربلایی (۱۳۹۵)، زمانی و همکاران (۲۰۱۶)، در برآورد مقادیر تابش سطح زمین در کرمان با مدل برد و هول استورم، مجرد و همکاران (۱۳۹۴) در برآورد مقدار تابش سطح زمین در کرمانشاه، فتح نیا و رجایی (۱۳۹۴) در بهینه‌سازی جهت سازه‌های ساختمانی بر اساس تابش انرژی خورشیدی، گواهی بر صحت نسبی این پژوهش است.

منابع

۱. اکبری، حسن؛ هادوی، فرامرز؛ زمانی، مهدی و علیپور، یوسف (۱۳۹۵). تعیین جهت‌های مناسب استقرار ساختمان به منظور دریافت بینه تابش خورشیدی در شهر زنجان، فصلنامه آمایش محیط، شماره ۳۳، ۱۷۳-۱۵۵.
۲. 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، شماره ۱۸، ۴۵-۵۶.
۳. بهادری‌نژاد، مهدی و یعقوبی، محمود (۱۳۸۵). تهویه و سرمایش طبیعی در ساختمان‌های سنتی ایران، مرکز نشر دانشگاهی، تهران.
۴. حجازی‌زاده، زهرا، کربلایی، علیرضا (۱۳۹۵). مقدمه‌ای بر اقلیم آسایش حرارتی و شاخص‌های آن. تهران: انتشارات آکادمیک و انجمن جغرافیای ایران.
۵. حسین‌آبادی، سعید؛ لشکری، حسن و سلمانی‌مقدم، محمد (۱۳۹۱). طراحی اقلیمی ساختمان‌های مسکونی شهر سبزوار با تاکید بر جهت‌گیری ساختمان و عمق سایبان، فصلنامه جغرافیا و توسعه، شماره ۲۷، ۱۱۶-۱۰۳.
۶. خسروی، محمود؛ جهانبخش‌اصل، سعید؛ درخشی، جعفر (۱۳۹۲). برآورد و پهنه‌بندی تابش خورشیدی دریافتی در سطح افقی با استفاده از پارامترهای اقلیمی در محیط GIS، مطالعه موردی: استان آذربایجان شرقی، فضای جغرافیایی، شماره ۴۳، ۶۳-۳۹.
۷. سبزوшانی، مجید؛ خراسانی‌زاده، حسین و شیخ‌زاده، قنبرعلی (۱۳۸۵). بررسی تاثیر جهت‌گیری، جنس و رنگ جلداره بیرونی ساختمان بر حرارت اکتسابی از خورشید، پنجمین همایش بهینه‌سازی مصرف سوخت در ساختمان، سازمان بینه‌سازی مصرف سوخت کشور، تهران.
۸. شمس، مجید و خداکریمی، مهناز (۱۳۸۹). بررسی معماری سنتی همساز با اقلیم سرد، مطالعه موردی: سنندج، فصلنامه آمایش محیط، شماره ۱۰، ۱۱۵-۱۰۰.
۹. عزیزی، قاسم (۱۳۸۳). تغییر اقلیم، نشر قومس، چاپ اول، تهران.
۱۰. عالی، حامد و موحد، خسرو (۱۳۹۴). تعیین جهت بینه‌ی حیاط مرکزی خانه‌های دوره‌ی قاجار شیراز بر اساس میزان دریافت تابش انرژی خورشیدی، جغرافیا و توسعه، شماره ۴۲، ۱۸۲-۱۶۱.
۱۱. فرح‌زاده، منوچهر و عباسی، محمد حسین (۱۳۹۱). بینه‌سازی جهت ساختمان‌های شهر قیر در رابطه با تابش آفتاب با استفاده از روش روابط کسینوس، فصلنامه جغرافیایی سرزمین، شماره ۳۵، ۵۹-۴۳.
۱۲. کسمایی، مرتضی (۱۳۸۴). اقلیم و معماری، انتشارات خاک، چاپ دوم، تهران.
۱۳. لشکری، حسن؛ سلکی، هیوا و طاهائی، فاطمه (۱۳۹۱). بینه‌سازی جهت‌گیری بناهای ساختمانی در شهر سقز بر اساس شرایط اقلیمی، مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، شماره ۱۸، ۹۷-۷۵.
۱۴. لشکری، حسن؛ موزومی، سارا؛ سلکی، هیوا و لطفی، کورش (۱۳۹۰). بینه‌سازی جهت‌گیری بناهای ساختمانی در شهر اهواز بر اساس شرایط اقلیمی، جغرافیای طبیعی، شماره ۱۲، ۶۲-۴۵.
۱۵. مینا، مشاوران بهسازی و نوسازی انرژی (۱۳۹۲). گزارش قرارداد طراحی و ساخت ساختمان انرژی صفر، شماره قرارداد ۸۱۵/۱۲۰، ۸۱-۱.
۱۶. محمدزاده، رحمت؛ جهانی، مقصود و قرخانی‌شجاعی، رضا (۱۳۹۴). مطالعه میزان انطباق مسکن شهر جلفا با زاویه تابش آفتاب، فصلنامه علمی پژوهشی فضای جغرافیایی، شماره ۵۲، ۱۳۵-۱۱۷.
۱۷. مدیری، مهدی؛ سمیه، ذهاب ناظوری؛ علی‌بخشی، 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 (برنامه ریزی منطقه ای)، شماره ۲، ۱۵۶-۱۴۱.
۱۸. واتسون، داندل؛ کنت، لایز (۱۳۸۷). طراحی اقلیمی، اصول نظری و اجرایی کاربرد انرژی در ساختمان، برگردان: قبادیان، وحید و مهدوی، محمد فیض، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ هشتم، تهران.

19. Borong, L., Gang, T., Peng, W., Ling, S., Yingxin, Z., Guangkui, Z., (2004), *Study on the thermal performance of the Chinese traditional vernacular dwellings in summer*, Energy and Building, 36: 73-79.
20. Camuffo, D., (1998), *Microclimate for Cultural Heritage*, Elsevier, New York.
21. Capeluto, G., (2002), *Energy performance of the self-shading building envelope*, Energy and Buildings, 327-336.
22. Espriella, C., (2002), *Improving Comfort by Using Passive Climatic Design: The Case of an Existing Medium scaled Institutional Building in Bogotá, Colombia*, Architecture, Energy & Environment HDM- Housing Development and Management, Lund University, Sweden, 1-14.
23. Jaber, S., Ajib, S. (2011), *Optimum, technical and energy efficiency design of residential building in Mediterranean region*, Energy and Buildings, 43: 1829-1834.
24. Jahansson, E., (2006), *Influences of urban geometry on outdoor thermal comfort in a hot dry climate; A Study in Fez, Morocco*, Building and Environment, 41 (10): 1326-1338.
25. Kaza, N. (2010), *Understanding the spectrum of residential energy consumption: A quintile regression approach*, Energy Policy, 38: 6574-6585.
26. Moghadam, H., Farshchi Tabrizi, F., Zolfaghari Sharak, A., (2011), *Optimization of Solar Flat Collector Inclination*, Desalination, 1-3: 107-111.
27. Scofield, M. P., (1985), *the impact of building orientation on residential heating and cooling*, Energy and Buildings, 8: 205- 224.
28. Wan, Kevin K.W., Cheung, K. L., Dalong, Liu, Lam, Joseph C., (2008), *Impact of modeled global solar radiation on simulated building heating and cooling loads*, Energy Conversion and Management, 662-667.
29. Yao, J., Zhu, N., (2011), *Enhanced supervision strategies for effective reduction of building energy consumption-A case study of Ningbo*, Energy and Buildings, 43:2197-2202.
30. Zamani, Mahdi, Akbari, Hassan, Hadavi, Faramarz (2016). *Best Orientation Determination of Buildings in Zanjan City Based on Solar Radiation*. Armanshahr Architecture & Urban Development, 16: 85-94