

## مطالعات جغرافیایی مناطق خشک

دوره هفتم، شماره‌ی بیستم و هفتم، بهار ۱۳۹۶

دریافت مقاله: ۹۵/۰۵/۰۲ تأیید نهایی: ۹۵/۱۱/۰۴

صص ۸۵-۱۰۳

### بهینه‌سازی جهت‌گیری استقرار ساختمان در شهر کاشان بر اساس شرایط اقلیمی

علیرضا کربلائی درئی\*، دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی - دانشگاه خوارزمی تهران

زهرا حجازی‌زاده، استاد اقلیم‌شناسی - دانشگاه خوارزمی تهران

#### چکیده

طراحی اقلیمی روشی مناسب جهت ایجاد مکان‌یابی انواع سازه‌ها و ایمن‌سازی در ایجاد شرایط آسایش انسان توأم با کاهش همه‌جانبه‌ی هزینه‌ی انرژی در انواع آب‌وهوا بوده و حائز اهمیت است. هدف از این مطالعه، بررسی بهینه‌سازی جهت استقرار ساختمان در شهر کاشان است. این شهر در غالب ایام سال، گرم و خشک است و ضرورت دارد با تعیین بهترین جهت برای ساختمان از تابش مناسب آفتاب در مواقع گرم و هم‌چنین در مواقع سرد از بیش‌ترین تابش آفتاب استفاده شود. در این پژوهش، مقدار انرژی خورشیدی تابیده‌شده بر سطوح قائم ساختمان به‌صورت نظری و واقعی با روش محاسباتی قانون کسینوس (استیون سون) صورت پذیرفته است. برای تفکیک دوره‌ی گرم و سرد سال با استفاده از دمای ساعتی از روش اربز (Erbs) بهره گرفته شد. نتایج این پژوهش نشان داد ایده‌آل‌ترین جهت برای نمای اصلی ساختمان‌های یک‌طرفه جهتی است که در مواقع گرم، کم‌ترین انرژی و در مواقع سرد، بیش‌ترین انرژی را دریافت می‌نماید. بر این اساس، در جهت ۱۸۰ درجه یا جنوب با دریافت ۵۳٫۶ درصد از انرژی دریافتی در مواقع سرد و دریافت ۴۱٫۷ درصد از کل انرژی در مواقع گرم جهت مناسبی به نظر می‌رسد. جهت مناسب برای ساختمان‌های دوطرفه مربوط به جهت شمال - جنوب است؛ زیرا در مواقع گرم سال ۴۱٫۷ درصد از انرژی دریافتی حاصل و در مواقع سرد سال مقدار ۵۳٫۵ درصد از انرژی را دریافت می‌دارد. بهترین جهت مناسب برای ساختمان‌های چهار طرفه مخصوصاً مجموعه‌های آپارتمانی جهت ۶۰°، ۱۲۰°-، ۱۵۰°+ و ۳۰°- است؛ زیرا در مواقع گرم مقدار ۵۲٫۸ درصد و در مواقع سرد ۳۸٫۴ درصد انرژی دریافت می‌کند.

**واژگان کلیدی:** جهت ساختمان، قانون کسینوس، انرژی خورشیدی، کاشان.

\* Email: std\_karbalaee@khu.ac.ir

## ۱- مقدمه

از دیرباز شرایط اقلیمی در شکل‌گیری ساخت‌وساز به‌ویژه ساخت‌وسازهای مسکونی سنتی یا بومی هر منطقه تأثیر به‌سزایی داشته؛ چراکه در این نوع ساخت‌وسازها تنها نیرو و انرژی قابل‌استفاده در گرمایش و سرمایش یا تهویه فضای داخلی، نیروی طبیعی (آفتاب، باد، تابش) بوده است. لذا با بررسی و مطالعه معماری سنتی و تدابیر اعمال‌شده توسط نیاکانمان در کنترل شرایط اقلیمی مناطق مختلف می‌توان به نحوه‌ی سازگاری معماری با شرایط اقلیمی هر منطقه پی برد؛ چراکه این نوع معماری بیش‌ترین سازگاری را با شرایط اقلیمی حاکم بر منطقه می‌تواند داشته باشد. با بررسی معماری سنتی هر منطقه به‌راحتی می‌توان به ارتباط مستقیم شرایط فیزیکی محیط‌زیست با ساختمان‌های آن ناحیه پی برد. طی مهروموم‌های متمادی سکونت‌گاه‌ها طوری طراحی شده‌اند که تغییرات انرژی مناطق را کنترل کنند. ممانعت از نفوذ گرما در مناطق گرم و بادهای سرد در مناطق سرد، حفاظت در برابر باران‌های شدید و برف، نفوذ مقداری از نور آفتاب برای روشنایی یا ایجاد سایه‌بان برای کنترل ورود اشعه‌ی خورشید به داخل ساختمان و... هر یک از این‌ها به اقتضای شرایط فیزیکی محیط خود و نیز با توجه به امکانات دسترسی به مصالح محلی و حتی درجه‌ی فناوری موجود در فرهنگ بومی در ساختمان‌ها به کار گرفته شده‌اند (حجازی زاده و سلکی، ۱۳۹۱: ۴۷). انرژی خورشید یکی از منابع تأمین انرژی رایگان، پاک و عاری از اثرات مخرب زیست‌محیطی است که از دیرباز به روش‌های گوناگون مورد استفاده‌ی بشر قرار گرفته است. به دلیل بحران انرژی و اثرات مخرب انرژی‌های فسیلی در سال‌های اخیر، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و از جمله انرژی خورشیدی به‌منظور کاهش و صرفه‌جویی در مصرف انرژی، کنترل عرضه و تقاضای انرژی و کاهش انتشار گازهای آلاینده با استقبال فراوانی روبه‌رو شده است. از ابتدای تاریخ زندگی بشر همواره ساخت ساختمان‌هایی مطابق با شرایط اقلیمی و جغرافیایی مورد توجه بوده و هست. لذا از همان ابتدا با استفاده از مصالح طبیعی و جهت‌گیری مناسب ساختمان‌ها نسبت به عوامل اقلیمی و محیطی سعی در ساخت ساختمان‌هایی همساز با اقلیم و به منظور دستیابی به آسایش حرارتی مطلوب شده است (اکبری و همکاران، ۱۳۹۵: ۱۵۶).

جهت‌گیری ساختمان، می‌تواند مقدار جذب تابش خورشید را تعیین کند. طراحان ساختمان باید با محاسبه‌ی شارژ تابشی خورشید در ساعات مختلف روز و روزهای مختلف سال (که مکان و زاویه‌ی تابش خورشید تغییر می‌کند)، جهت ساختمان را طوری انتخاب کنند که میزان تابش جذب‌شده، سبب گرمای بیش‌از حد ساختمان نشود. در مناطق سرد سیر، جهت ساختمان طوری انتخاب می‌شود که بیش‌ترین میزان جذب انرژی خورشید اتفاق بیفتد (شمس و خداکرمی، ۱۳۸۹: ۱۰۰). امروزه با مطالعه‌ی ساختمان‌های بومی در هر اقلیم، به‌روشنی این نکته حاصل می‌شود که تمامی ساختمان‌های بومی، کاملاً بر اساس اصول اقلیمی و در جهت استفاده‌ی حداکثر از انرژی‌های طبیعی و مقابله با سرما و گرمای آزاردهنده، طراحی و ساخته شده‌اند که این امر به‌طور کامل با فرهنگ مردم هر منطقه همسو بوده و معماری بومی و بوم‌آورد تعریف شده است (قبادیان، ۱۳۷۹: ۴۲). یکی از محورهای مهم معاهده‌ی پاریس، محدود کردن میزان افزایش متوسط دمای جو زمین به کم‌تر از ۲ درجه‌ی سانتی‌گراد و به‌طور عمده تلاش برای حفظ دما در سطح ۱٫۵ درجه‌ی سانتی‌گراد تا پایان این قرن حاضر است. این معاهده، استفاده‌ی کم‌تر از سوخت‌های فسیلی را بیان می‌دارد تا دمای کره‌ی زمین کنترل گردد. از عوامل مؤثر در کاهش استفاده از سوخت‌های فسیلی، بهره‌مندی از عوامل محیطی است. عوامل محیطی در کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی نقش تعیین‌کننده‌ی دارند که متأسفانه در حال حاضر کم‌تر مورد توجه قرار گرفته‌اند؛ برای مثال یکی از عوامل محیطی در کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی استفاده از انرژی خورشیدی است. مشکلات زیست‌محیطی که جهان هم‌اکنون با آن روبه‌رو است، مربوط به استفاده از سوخت‌های فسیلی است. لذا بهتر است با مطالعات کاربردی در جهت استفاده از عوامل محیطی در کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی اقدام نمود. در مطالعه‌ی حاضر به بهینه‌سازی جهت استقرار ساختمان پرداخته شده است؛ به بیان دیگر نقش عامل انرژی خورشیدی را در جهت استقرار ساختمان نشان می‌دهد.

جهت کاهش مصرف انرژی در ساختمان، طراحی اقلیمی و جهت‌گیری مناسب سازه، در ارتباط با تابش آفتاب است. در سال‌های اخیر مطالعات گسترده‌ای توسط صاحب‌نظران در جهان و ایران صورت گرفته است. اوک<sup>۱</sup> (۱۹۹۸) در پژوهشی به بررسی اصول طراحی خیابان و سایبان با توجه به عوامل اقلیمی و تابش پرداخته است. فیوچی و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۱۱) طراحی اقلیمی فعال را مورد بحث قرار داده‌اند. زمانی و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۱۶) به بررسی مناسب‌ترین جهت تابش برای ساختمان در شهر زنجان پرداختند. برزگر و حیدری<sup>۴</sup> (۲۰۱۲) به بررسی تأثیر تابش دریافتی خورشید در بدنه‌های ساختمان بر مصرف انرژی بخش خانگی بر اساس جهت‌گیری‌های مختلف ساختمان در شهر شیراز پرداخته‌اند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد خانه‌های با جهت‌گیری اقلیمی مناسب مانند جهت جنوب شرقی و شمال غربی از نظر میزان دریافت انرژی و مصرف در شرایط مناسب می‌باشند. شاه مرتضایی و صابرزاد<sup>۵</sup> (۲۰۱۶)، به بررسی تعیین جهت بهینه‌ی حیاط مرکزی خانه‌های دوره‌ی قاجار در شیراز بر اساس میزان دریافت تابش انرژی خورشیدی پرداخته‌اند. در این پژوهش با مطالعه‌ی میدانی از چندین حیاط مرکزی و هم‌چنین با استفاده از نرم‌افزار تجزیه و تحلیل شده است. نتایج نشان داد که بهینه‌سازی نسبت حیاط مرکزی خواهد توانست باعث کاهش دمای دیوارها و افزایش راحتی در داخل خانه‌های سنتی در طول دوره‌ی بسیار گرم در بوشهر شود. در داخل کشور مطالعات ارزشمندی در این باب انجام گردیده از قبیل جهان‌بخش (۱۳۷۷)، در مقاله‌ای نیازهای حرارتی ساختمان را در تبریز بررسی کرده است. وی در این مقاله با محاسبه‌ی مقدار روز درجه‌ی گرمایش و روز درجه‌ی سرمایش اثر اقلیم را بر شرایط زندگی بررسی می‌کند. سلیقه (۱۳۸۳) مدل‌هایی از مسکن ارائه کرد تا از شرایط اقلیمی منطقه سواحل جنوبی کشور، حداکثر استفاده را از جهت تابش، دما، بارش و رطوبت نسبی، به عمل آورد. منطقه از شرایط ویژه‌ی آب‌وهوایی نظیر ساعات آفتابی بالا، وزش بادهای نسیم دریا به خشکی و بادهای محلی برخوردار است. توجه به نیروهای زوال‌ناپذیر چون آفتاب و باد و استفاده از آن‌ها در بهبود شرایط حرارتی و بالا رفتن شاخص‌های آسایشی مسکن مورد توجه قرار گرفته است. رازجویان (۱۳۸۸) به طراحی ساختمان با توجه به موقعیت خورشید و محاسبه‌ی موقعیت آن از طریق نمودار استفاده نموده و پیشنهادهایی عملی جهت طراحی بنای مناسب در محیط‌های جغرافیایی گوناگون با توجه به تابش آفتاب و باد ارائه کرده است. کسمایی (۱۳۸۹) به محاسبه‌ی مقدار انرژی خورشیدی بر سطوح قائم به روش تجربی پرداخته که نتیجه‌ی عملی تحقیقات خود را برای شهرهای بزرگ ایران به شکل نمودار مقدار دریافت انرژی خورشیدی در ماه‌های مختلف سال در یک کتاب گردآوری و تحلیل نموده است. اخترکاو (۱۳۹۰)، تأثیر تابش خورشیدی بر معماری و منطقه‌ی آسایش و روش‌های کسب انرژی از خورشید مباحثی عنوان نموده است. امیدوار و همکاران (۱۳۹۰)، به تعیین مطلوبیت شرایط آسایش مدارس شهر یزد بر اساس شاخص‌های زیست‌اقلیمی پرداخته‌اند. در این راستا از آمار ۲۰ ساله (۱۳۸۵-۱۳۶۵) عناصر مهم آب‌وهوایی استفاده شده است. در این پژوهش به کمک شاخص‌های زیست - اقلیمی ماهانی، گیونی، ترجونگ و با استفاده از الگوی سایکرومتریک به روش اوانز، آسایش اقلیمی را در شهر یزد تعیین نموده. نتیجه‌ی این مطالعه نشان می‌دهد که حدود ۵۵ درصد طول سال، هوای شهر یزد از لحاظ دمایی و رطوبتی، خارج از محدوده‌ی آسایش قرار دارد. علاوه بر آن، نتایج تحقیق نشان داد که جهت استقرار و نحوه‌ی قرارگیری (کشیدگی شرقی- غربی) با استانداردهای اقلیمی شهر یزد هماهنگی دارد. وجود پنجره‌ها در نمای جنوبی و شمالی مدارس این شهر باعث تهویه طبیعی بهتری در این مدارس شده است. حسین‌آبادی و همکاران (۱۳۹۱) نیز به محاسبه‌ی تجربی مقدار انرژی خورشیدی تابیده‌شده بر سطوح قائم برای شهر سبزوار پرداخته و جهت‌گیری مناسب ساختمان با توجه به تابش آفتاب برای شهر مزبور را شرح داده است. وی بهترین جهت برای استفاده‌ی حداکثری از تابش آفتاب در دوره‌ی سرد سال را جهت جنوب غربی دانسته است. سلکی و

1- Oke

2- Fiocchi et al,

3- Zamani et al,

4- Barzegar et.al,

5- Shahmortezaei and Sabernejad

همکاران (۱۳۹۱) به جهت‌گیری ساختمان در رابطه با تابش آفتاب برای شهر سقز از طریق محاسبات تجربی دست یافته و جهت جنوب غرب را برای استفاده‌ی بیش‌تر از انرژی خورشید برای شهر سقز مناسب دانسته‌اند. خسروی و همکاران (۱۳۹۲) نیز به محاسبه میزان تابش کل رسیده به سطح افق با استفاده از پارامترهای اقلیمی و پهنه‌بندی آن در گستره‌ی استان آذربایجان شرقی پرداخته و نتایج نشان داد که کم‌ترین میزان تابش، مربوط به ماه ژانویه و بیش‌ترین میزان آن مربوط به ماه ژوئن و توزیع تابش سالانه‌ی استان از جنوب غربی به شمال و شمال شرقی روند کاهشی داشته است. محمدزاده و همکاران (۱۳۹۴) به بررسی میزان انطباق مسکن شهر جلفا با زاویه‌ی تابش آفتاب پرداخته‌اند. در این پژوهش، علاوه بر مشاهدات میدانی با به‌کارگیری اطلاعات سازمان هواشناسی کشور روش گیونی نیز انجام می‌شود. با انطباق نتایج حاصل از بررسی عوامل اقلیمی و روش‌های محاسباتی قانون کسینوس و عمق سایبان، نیازهای حرارتی ماهانه مورد ارزیابی قرار گرفته تا جهت بهینه‌ی قرارگیری ساختمان‌ها در جلفا معلوم شود. در ماه‌های گرم سال جهت‌های شرقی و غربی ساختمان‌ها و در ماه‌های سرد سال جهت جنوبی بیش‌ترین مقدار انرژی خورشیدی را دریافت می‌دارند. با توجه به ضوابط تعیین‌شده برای انتخاب موقعیت استقرار ساختمان، جهت شرقی- غربی از جهت دریافت کم انرژی خورشیدی در تابستان و حداکثر دریافت انرژی در ماه‌های سرد سال برای ساختمان‌ها در جلفا توصیه شده است. اکبری و همکاران (۱۳۹۵) به تعیین جهت‌های مناسب استقرار ساختمان‌ها جهت دریافت تابش خورشیدی در زنجان پرداخته‌اند. در این پژوهش با استفاده از روش محاسباتی قانون کسینوس میزان انرژی تابشی بر روی سطوح قائم برای ماه‌های مختلف و در ۲۴ جهت جغرافیایی محاسبه و از طریق نرم‌افزارهای Excel و Q-BASIC اطلاعات پردازش شده و در نهایت بهترین جهت استقرار ساختمان‌ها در شهر زنجان تعیین گردیده است. بر اساس نتایج این تحقیق، بهترین جهت استقرار ساختمان به‌منظور دریافت بهینه‌ی انرژی خورشید در دوره‌های سرد و گرم سال، جهت‌های ۱۳۵ درجه و ۲۲۵ درجه‌ی زاویه‌ی آزیموتی است. در پژوهش حاضر به بررسی بهینه‌سازی جهت استقرار ساختمان بر اساس قانون کسینوس پرداخته شده است تفاوت این پژوهش با مطالعات قبلی در این است که برای تفکیک دوره‌ی گرم و سرد از روش اربز<sup>۶</sup> بهره گرفته شده است.

## ۲- منطقه‌ی مورد مطالعه

شهرستان کاشان از ۴ بخش کاشان، برزک، قمصر و نیاسر تشکیل شده و شهر کاشان مرکز آن است. مساحت این شهر ۸۵۰۰ هکتار و مختصات آن ۵۱ درجه و ۲۷ دقیقه طول جغرافیایی و ۳۴ درجه‌ی عرض جغرافیایی است (شکل ۱). شهرستان کاشان با شهرستان‌های آران و بیدگل، برخوار و میمه، قم و نطنز همسایه است. این منطقه از جنوب و غرب در محاصره‌ی سلسله کوه‌های مرکزی ایران قرار گرفته است. شهرها و آبادی‌های دامنه‌ی این کوهستان عموماً دارای آب‌وهوایی لطیف و معتدل می‌باشند، اما از جانب شمال و شمال شرق که به زمینه‌ی شوره‌زار کویر مرکزی ایران اتصال پیدا می‌کند، هوای آن به تدریج خشک و سوزان می‌شود. بادهای موسوم به باد سرخ، باد شهریاری، باد سام، باد شمال و باد قبله از بادهای معروف این منطقه است که اکثراً از کویر به سوی کاشان می‌وزد. از نظر پهنه‌بندی اقلیمی شهر کاشان در پهنه‌ی اقلیمی با زمستان‌های نسبتاً سرد و تابستان‌های خیلی گرم و خشک قرار گرفته است.



شکل ۱: موقعیت نسبی شهرستان کاشان

### ۳- مواد و روش‌ها

طول زمان تابش با توجه به فصل، عرض جغرافیایی که با ساعات آفتابی، شدت تابش، ارتفاع و ابر و آلودگی هوا ارتباط دارد، می‌تواند به‌نوعی بر سازه‌ها و الگوی طراحی اثر گذاشته و عواملی مانند بافت شهرها، جهت‌گیری کوچه‌ها، خیابان‌ها و معابر نیز بر اهمیت موضوع می‌افزاید. تراکم و فشردگی مساکن در عرض‌های مختلف جغرافیایی، فرم و جهت حیاط در ارتباط با موقعیت ساختمان‌ها نیز در اینجا نقش دارند؛ به‌طوری‌که وجود یا عدم وجود بالکن در ارتباط با تابش خورشید و سایه و محل قرارگیری پنجره‌ها، تعداد و ابعاد آن‌ها از مهم‌ترین نکات در نورگیری ساختمان‌هاست. در عرض‌های جغرافیایی پایین به علت انرژی زیاد، ارتفاع پنجره‌ها کم و شکل آن‌ها معمولاً عرضی است. به عکس در عرض‌های جغرافیایی بالا ارتفاع پنجره‌ها زیاد و شکل آن‌ها غالباً طولی است. در عرض‌های جغرافیایی متوسط، ابعاد آن‌ها در حد متوسط و به شکل مربع است. جنس و رنگ مصالح و نمای ساختمان نیز در میزان نورگیری مهم است. برای این‌که روند نور و گرما به داخل ساختمان‌ها متناسب با نیاز ساکنین باشد، باید معماری طراحی سازه‌ها در عرض‌های جغرافیایی بالا بر اساس بافت گسترده و غیرمتراکم، مساکن باز و غیرفشرده با پنجره‌های زیاد باشد تا نورگیری مناسب صورت گیرد و نیز از احداث بالکن و سایبان پرهیز شود، در نتیجه تغییر وضعیت محور زمین نسبت به خورشید فصول مختلف پدید می‌آیند و شرایط آن‌ها نیز با هم متفاوت است و شرایط مختلف اقلیمی و علوم مربوط به آن‌ها و پدیده‌های مختلف جوی و... همگی در اثر این تغییر جهت محور زمین نسبت به خورشید است که پدید می‌آیند؛ بنابراین با تغییر جهت استقرار ساختمان در رابطه با تابش در واقع تأثیر کلی می‌توان بر عوامل محیطی و اقلیمی ذکر شده و نحوه تأثیر آن‌ها بر فضاهای ساختمانی بر جای گذاشت (حجازی زاده و مقیمی، ۱۳۸۶: ۱۸۹). در واقع اهمیت عامل تابش در طراحی ساختمان به نوع اقلیم و فصول سال و شدت آن‌ها در منطقه‌ی موردنظر بستگی دارد. در مواقع گرم جهت استقرار باید بر اساس کسب حداقل انرژی خورشیدی توسط ساختمان باشد تا میزان دریافت و نفوذ مستقیم اشعه خورشید به داخل بنا به حداقل کاهش یابد. البته میزان تأثیر تابش را می‌توان با کمک گرفتن از مصالح سنگین و عایق‌بندی‌های دقیق در سطوح مختلف ساختمان به حداقل یا صفر رسانید، در این صورت است که می‌توان جهت‌یابی نزدیک به جهت اصلی انتخاب کرد. به‌عنوان مثال، سطوح سفید درصد جذب کم‌تری نسبت به سطوح رنگی دیگر دارند و در صورت انتخاب این عامل در نمای ساختمان می‌توان از درصد جذب تابشی کاست؛ بنابراین باید مواقع گرم و سرد سال و زمان نیاز به سایه و آفتاب و میزان دریافتی انرژی از خورشید در جهات مختلف را برای ماه‌های دوازده‌گانه محاسبه کرد تا به تفکیک مواقع سرد و گرم سال حداقل انرژی دریافتی توسط سطوح قائم و افقی مشخص شود. در مواقع گرم نیاز به سایه و در سرما نیاز به نفوذ اشعه به داخل بنا ضروری است. محاسبه‌ی کل انرژی تابیده‌شده در سطوح مختلف در جهات متفاوت نیز با استفاده از روش‌های ریاضی و نموداری انجام‌شده و جهت بهینه‌ی تابش و استقرار ساختمان با آن بررسی شده است.

یکی از این روش‌های محاسباتی استفاده از روش کسینوسی است که به روش محاسباتی قانون کسینوس معروف است (کسمایی، ۱۳۸۷: ۲۸). جهت برآورد میزان قانون کسینوس می‌بایست با هندسه‌ی خورشید تا حدودی آشنا بود.

به‌طور کلی مدار میل خورشید زاویه‌ی انحراف بین تابش خورشید با صفحه‌ی استوا در ظهر خورشیدی است و مقدار آن از ۲۳,۴۵- درجه الی ۲۳,۴۵+ درجه تغییر می‌کند و از رابطه‌ی (۱) برآورد می‌گردد (اوک، ۲۰۰۲: ۳۴۰).

$$\delta = -23.45 \times \cos\left\{\frac{360(tj + 10)}{365}\right\} \quad \text{رابطه‌ی ۱}$$

در این رابطه،  $tj$  شماره‌ی تقویم ژولیوسی که از اول ژانویه شروع می‌شود. زاویه‌ی تابش از زاویه‌ی بین پرتوهای خورشید و عمود بر سطح موردنظر تشکیل می‌شود. در سطح افقی، زاویه‌ی برخورد همان زاویه‌ی سمت رأس است (زاویه‌ی تابش).

$$\sin \alpha = (\cos \phi \times \cos \delta \times \cos h) + (\sin \phi \times \sin \delta) \quad \text{رابطه‌ی ۲}$$

در این رابطه،  $\sin \alpha$  برابر با زاویه تابش و برابر عرض جغرافیایی و  $\delta$  برابر مدار میل خورشید و  $h$  برابر فاصله‌ی زاویه‌ای زمان موردنظر نسبت به ظهر است (حجازی‌زاده و کربلائی، ۱۳۹۵: ۴۷). سمت تابش زاویه‌ی بین تصویر شعاع تابش خورشید بر صفحه‌ی افق با راستای جنوب است که مقدار آن از ۱۸۰- الی ۱۸۰+ درجه تغییر می‌کند. این زاویه از رابطه‌ی (۳) به دست می‌آید:

$$\sin \phi_s = \sin^{-1} \frac{\cos \delta \times \sin h}{\cos \alpha} \quad \text{رابطه‌ی ۳}$$

در این رابطه،  $\sin \phi_s$  برابر است با زاویه‌ی سمت خورشید و  $\delta$  برابر است با مدار میل خورشید و  $h$  برابر است با فاصله‌ی زاویه‌ای زمان موردنظر نسبت به ظهر و  $\alpha$  برابر زاویه‌ی تابش است.

قانون کسینوس از رابطه‌ی (۴) قابل محاسبه است:

$$I_s = I_N \cos \theta \quad \text{رابطه‌ی ۴}$$

در این رابطه،  $I_s$  برابر است با شدت تابش بر روی سطح و  $I_N$  برابر است با شدت تابش خورشید بر روی سطوح عمود بر پرتو خورشید و  $\theta$  برابر زاویه‌ی میان شعاع خورشید و خط عمود بر سطح است. همچنین در رابطه‌ی (۴)  $I_N$  از طریق رابطه‌ی (۵) محاسبه می‌شود (فرج‌زاده و عباسی، ۱۳۹۱: ۴۸).

$$I_N = A / \exp(B / \sin \beta) \quad \text{رابطه‌ی ۵}$$

در این رابطه،  $I_N$  برابر است با حرارت حاصل از تابش مستقیم و عمودی آفتاب و  $\beta$  برابر است با زاویه تابش خورشید و  $A$  و  $B$  به ترتیب ضریب خاموشی اتمسفری و ضریب در فرمول کدردی انگسترم است که از جدول (۱) استخراج می‌گردد (بهادریان، ۱۳۸۵ به نقل از فرج‌زاده و عباسی، ۱۳۹۱: ۴۸).

جدول ۱: مقدار ضریب خاموشی مربوط به ماه‌های مختلف سال

ماه (شمسی)	ژوئیه	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر
ماه (میلادی)	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	مئ	ژوئن	ژوئیه	اگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	ژانویه
A	۰.۱۴۲	۰.۱۴۴	۰.۱۵۶	۰.۱۹۶	۰.۱۹۶	۰.۲۰۵	۰.۲۰۷	۰.۲۰۱	۰.۱۷۷	۰.۱۶	۰.۱۴۹	۰.۱۴۲	۰.۱۴۲
B	۰.۱۴۲	۰.۱۴۴	۰.۱۵۶	۰.۱۹۶	۰.۱۹۶	۰.۲۰۵	۰.۲۰۷	۰.۲۰۱	۰.۱۷۷	۰.۱۶	۰.۱۴۹	۰.۱۴۲	۰.۱۴۲

در رابطه‌ی (۴)  $\theta$  زاویه‌ی تلاقی میان خورشید و خط عمودی بر یک سطح عمودی (دیوار) است که به‌وسیله‌ی روابط کسینوس (۶ و ۷) کروی معین می‌گردد.

$$\cos \theta = \cos \alpha \times \cos(\psi - \phi) \quad \text{رابطه‌ی ۶} \quad \text{از ساعت ۶ تا ۱۲ ظهر}$$

$$\cos \theta = \cos \alpha \times \cos(\psi + \phi) \quad \text{رابطه‌ی ۷} \quad \text{از ساعت ۱۳ تا ۱۸ بعدازظهر}$$

در این رابطه،  $\alpha$  برابر زاویه تابش و  $\Phi$  برابر زاویه جهت تابش و  $\lambda$  برابر زاویه جهت دیوار که در جهت عقربه‌های ساعت از طرف شمال و بر حسب درجه اندازه‌گیری می‌شود (حجازی‌زاده و کربلائی، ۱۳۹۵: ۶۶).

با استفاده از روابط فوق، مقدار انرژی دریافتی از خورشید را برای ماه‌های مختلف در جهات متفاوت جغرافیایی برای هر شهر می‌توان محاسبه نمود. انتخاب جهت استقرار ساختمان به عواملی چون وضع طبیعی زمین، میزان نیاز به فضای خصوصی، کنترل و کاهش صدا و دو عامل باد و تابش آفتاب بستگی دارد. مهم‌ترین وظیفه‌ی معمار آن است که با توجه به شرایط حرارتی و بهداشتی و روانی مورد نیاز ساختمان را در جهتی قرار دهد که بیش‌ترین استفاده از نور خورشید حاصل شود.

#### ۴- بحث و نتایج

برای محاسبات قانون کسینوس از نرم‌افزار اکسل بهره گرفته شده است. در این نرم افزار برای هر ماه از سال روابط این قانون برنامه‌نویسی شده که با وارد کردن تنها متغیر عرض جغرافیایی مقدار انرژی تابیده‌شده کل برای تمامی ماه‌ها محاسبه می‌گردد. به علت محاسبات بسیار و جداول متعدد در قانون کسینوس، به‌طور نمونه محاسبات ماه شهریور بیان می‌شود. همان‌طوری که در جدول (۲) مشاهده می‌شود با استفاده از ارتفاع خورشید و زاویه جهت تابش و کسینوس ارتفاع تابش برای ساعات ۶ الی ۱۸ بعدازظهر، مقدار ضرایب تابش برای جهت‌های مختلف دیوار برآورد گردیده است.

جدول ۲: مراحل قانون کسینوس برای محاسبه‌ی مقدار ضرایب تابش، ماه شهریور

۱.۶۱												متوسط مدار میل	
۰.۰۲	۰.۲۳	۰.۴۳	۰.۶۰	۰.۷۳	۰.۸۱	۰.۸۳	۰.۸۱	۰.۷۳	۰.۶۰	۰.۴۳	۰.۲۳	۰.۰۲	ارتفاع خورشید
۹۱.۳۲	۹۷.۴۰	۱۰۶.۹۴	۱۱۸.۴۱	۱۳۳.۴۵	۱۵۴.۰۱	۱۸۰.۰۰	۱۵۴.۰۱	۱۳۳.۴۵	۱۱۸.۴۱	۱۰۶.۹۴	۹۷.۴۰	۹۱.۳۲	زاویه جهت تابش
۱.۰۰	۰.۹۷	۰.۹۰	۰.۸۰	۰.۶۹	۰.۵۹	۰.۵۵	۰.۵۹	۰.۶۹	۰.۸۰	۰.۹۰	۰.۹۷	۱.۰۰	کسینوس ارتفاع خورشید
۱۸	۱۷	۱۶	۱۵	۱۴	۱۳	۱۲	۱۱	۱۰	۹	۸	۷	۶	ساعت
-۰.۰۲	-۰.۱۳	-۰.۲۶	-۰.۳۸	-۰.۴۷	-۰.۵۳	-۰.۵۵	-۰.۵۳	-۰.۴۷	-۰.۳۸	-۰.۲۶	-۰.۱۳	-۰.۰۲	شمال
-۰.۲۸	-۰.۳۷	-۰.۴۸	-۰.۵۵	-۰.۵۹	-۰.۵۸	-۰.۵۳	-۰.۴۵	-۰.۳۳	-۰.۱۹	-۰.۰۳	۰.۱۳	۰.۲۴	۱۵
-۰.۵۲	-۰.۵۹	-۰.۶۶	-۰.۶۸	-۰.۶۶	-۰.۵۹	-۰.۴۸	-۰.۳۳	-۰.۱۶	۰.۰۲	۰.۲۰	۰.۳۷	۰.۴۸	۳۰
-۰.۷۲	-۰.۷۷	-۰.۸۰	-۰.۷۷	-۰.۶۹	-۰.۵۶	-۰.۳۹	-۰.۱۹	۰.۰۲	۰.۲۳	۰.۴۳	۰.۵۹	۰.۶۹	۴۵
-۰.۸۸	-۰.۹۰	-۰.۸۸	-۰.۸۰	-۰.۶۷	-۰.۴۹	-۰.۲۸	-۰.۰۴	۰.۲۰	۰.۴۲	۰.۶۲	۰.۷۷	۰.۸۵	۶۰
-۰.۹۷	-۰.۹۷	-۰.۹۰	-۰.۷۸	-۰.۶۱	-۰.۳۹	-۰.۱۴	۰.۱۱	۰.۳۶	۰.۵۸	۰.۷۷	۰.۹۰	۰.۹۶	۷۵
-۱.۰۰	-۰.۹۷	-۰.۸۷	-۰.۷۱	-۰.۵۰	-۰.۲۶	۰.۰۰	۰.۲۶	۰.۵۰	۰.۷۱	۰.۸۷	۰.۹۷	۱.۰۰	۹۰
-۰.۹۶	-۰.۹۰	-۰.۷۷	-۰.۵۸	-۰.۳۶	-۰.۱۱	۰.۱۴	۰.۳۹	۰.۶۱	۰.۷۸	۰.۹۰	۰.۹۷	۰.۹۷	۱۰۵
-۰.۸۵	-۰.۷۷	-۰.۶۲	-۰.۴۲	-۰.۲۰	۰.۰۴	۰.۲۸	۰.۴۹	۰.۶۷	۰.۸۰	۰.۸۸	۰.۹۰	۰.۸۸	۱۲۰
-۰.۶۹	-۰.۵۹	-۰.۴۳	-۰.۲۳	-۰.۰۲	۰.۱۹	۰.۳۹	۰.۵۶	۰.۶۹	۰.۷۷	۰.۸۰	۰.۷۷	۰.۷۲	۱۳۵
-۰.۴۸	-۰.۳۷	-۰.۲۰	-۰.۰۲	۰.۱۶	۰.۳۳	۰.۴۸	۰.۵۹	۰.۶۶	۰.۶۸	۰.۶۶	۰.۵۹	۰.۵۲	۱۵۰
-۰.۲۴	-۰.۱۳	۰.۰۳	۰.۱۹	۰.۳۳	۰.۴۵	۰.۵۳	۰.۵۸	۰.۵۹	۰.۵۵	۰.۴۸	۰.۳۷	۰.۲۸	۱۶۵
۰.۰۲	۰.۱۳	۰.۲۶	۰.۳۸	۰.۴۷	۰.۵۳	۰.۵۵	۰.۵۳	۰.۴۷	۰.۳۸	۰.۲۶	۰.۱۳	۰.۰۲	جنوب

به علت این‌که مقادیر منفی در محاسبات استفاده نمی‌گردد، مقادیر مشخص شده (منفی) برای ماه شهریور برابر صفر قرار داده می‌شود (جدول ۳).

جدول ۳: مراحل قانون کسینوس حذف اعداد منفی محاسبه‌شده در جدول (۲)

ساعت زاویه	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۵	۰.۲۴	۰.۱۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۳۰	۰.۴۸	۰.۳۷	۰.۲۰	۰.۰۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۴۵	۰.۶۹	۰.۵۹	۰.۴۳	۰.۲۳	۰.۰۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۶۰	۰.۸۵	۰.۷۷	۰.۶۲	۰.۴۲	۰.۲۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۷۵	۰.۹۶	۰.۹۰	۰.۷۷	۰.۵۸	۰.۳۶	۰.۱۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۹۰	۱.۰۰	۰.۹۷	۰.۸۷	۰.۷۱	۰.۵۰	۰.۲۶	۰.۰۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۰۵	۰.۹۷	۰.۹۷	۰.۹۰	۰.۷۸	۰.۶۱	۰.۳۹	۰.۱۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۲۰	۰.۸۸	۰.۹۰	۰.۸۸	۰.۸۰	۰.۶۷	۰.۴۹	۰.۲۸	۰.۰۴	۰	۰	۰	۰	۰
۱۳۵	۰.۷۲	۰.۷۷	۰.۸۰	۰.۷۷	۰.۶۹	۰.۵۶	۰.۳۹	۰.۱۹	۰	۰	۰	۰	۰
۱۵۰	۰.۵۲	۰.۵۹	۰.۶۶	۰.۶۸	۰.۶۶	۰.۵۹	۰.۴۸	۰.۳۳	۰.۱۶	۰	۰	۰	۰
۱۶۵	۰.۲۸	۰.۳۷	۰.۴۸	۰.۵۵	۰.۵۹	۰.۵۸	۰.۵۳	۰.۴۵	۰.۳۳	۰.۱۹	۰.۰۳	۰	۰
۱۸۰	۰.۰۲	۰.۱۳	۰.۲۶	۰.۳۸	۰.۴۷	۰.۵۳	۰.۵۵	۰.۵۳	۰.۴۷	۰.۳۸	۰.۲۶	۰.۱۳	۰.۰۲

با استفاده از ضرایب خاموشی اتمسفری و ضرایب فرمول کدِری انگسترَم بیان‌شده در جدول (۱) میزان دریافت انرژی تابیده‌شده در سطوح قائم به‌صورت نظری برای ماه شهریور برآورد گردیده است. با ضرب نمودن مقدار ضرایب تابش در مقدار  $\frac{EXP}{A}$  میزان دریافت انرژی در سطوح قائم برای ساعات نظری به دست خواهد آمد. سپس مجموع هر ردیف گرفته می‌شود و برای ۱۲ ماه سال محاسبه می‌گردد (جدول ۴).





جدول ۵: مجموع میزان دریافت انرژی در سطوح قائم ساعات نظری برای کل سال در شهر کاشان

ماه	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۵	۷۲.۷	۹۳.۱	۷۸.۵	۸۴.۴	۷۵.۵	۲۱.۶	۶.۶	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۹.۰	۱۳.۲
۳۰	۲۱۶.۲	۲۸۵.۰	۲۷۵.۳	۲۷۴.۵	۲۳۳.۱	۱۱۸.۲	۴۳.۸	۴۱.۷	۳۷.۷	۰.۰	۵۵.۷	۹۵.۱
۴۵	۳۹۲.۴	۴۷۹.۱	۴۷۶.۶	۴۶۶.۶	۴۱۷.۸	۲۶۹.۸	۱۳۲.۹	۱۲۰.۸	۱۱۱.۷	۳۰.۲	۱۷۵.۷	۲۴۵.۷
۶۰	۵۶۲.۶	۶۶۴.۷	۶۵۷.۱	۶۴۶.۳	۵۸۹.۷	۴۴۸.۹	۲۶۰.۵	۲۷۳.۱	۲۴۹.۸	۱۳۹.۷	۳۵۳.۶	۴۳۷.۰
۷۵	۷۲۴.۸	۸۰۶.۶	۷۹۲.۸	۷۸۲.۰	۷۴۱.۵	۶۳۰.۴	۴۰۶.۶	۴۶۹.۸	۴۴۶.۶	۳۰۷.۹	۵۶۳.۲	۶۳۴.۴
۹۰	۸۳۷.۶	۸۹۳.۷	۸۷۴.۵	۸۶۴.۵	۸۴۲.۸	۷۸۱.۰	۵۵۲.۵	۶۸۹.۶	۶۷۴.۸	۵۱۳.۹	۷۷۹.۲	۸۰۹.۲
۱۰۵	۹۲۵.۱	۹۳۹.۸	۹۱۱.۳	۹۰۵.۲	۹۱۳.۹	۹۲۰.۵	۷۰۱.۵	۹۲۵.۵	۹۲۲.۷	۷۴۹.۸	۱۰۰۲.۰	۹۷۷.۰
۱۲۰	۹۴۹.۶	۹۲۱.۹	۸۸۶.۰	۸۸۴.۲	۹۲۲.۷	۱۰۰۹.۳	۸۳۰.۳	۱۱۵۳.۵	۱۱۶۹.۷	۹۹۳.۴	۱۲۰۱.۲	۱۰۹۸.۹
۱۳۵	۹۳۹.۷	۸۴۲.۹	۸۰۰.۴	۸۰۲.۹	۸۸۸.۸	۱۰۶۲.۴	۹۳۸.۷	۱۳۶۵.۹	۱۴۱۲.۶	۱۲۳۷.۵	۱۳۷۴.۵	۱۱۸۱.۸
۱۵۰	۸۸۶.۵	۷۳۰.۶	۶۷۱.۸	۶۸۶.۴	۸۱۰.۰	۱۰۸۸.۸	۱۰۳۰.۸	۱۵۶۶.۶	۱۶۳۱.۰	۱۴۷۸.۷	۱۵۲۳.۸	۱۲۴۱.۵
۱۶۵	۸۲۰.۳	۵۹۰.۰	۵۲۰.۷	۵۴۳.۹	۷۱۸.۹	۱۱۰۴.۳	۱۱۰۷.۴	۱۷۰۰.۸	۱۷۷۷.۱	۱۶۵۷.۸	۱۶۴۶.۶	۱۲۹۱.۸
۱۸۰	۷۷۴.۰	۵۱۴.۵	۴۵۷.۸	۴۷۵.۷	۶۶۶.۱	۱۱۲۰.۸	۱۱۳۹.۶	۱۷۶۰.۸	۱۸۳۹.۸	۱۷۶۵.۳	۱۶۹۵.۳	۱۳۲۳.۷
-۱۶۵	۸۲۰.۳	۵۹۰.۰	۵۲۰.۷	۵۴۳.۹	۷۱۸.۹	۱۱۰۴.۳	۱۱۰۷.۴	۱۷۰۰.۸	۱۷۷۷.۱	۱۶۵۷.۸	۱۶۴۶.۶	۱۲۹۱.۸
-۱۵۰	۸۸۶.۵	۷۳۰.۶	۶۷۱.۸	۶۸۶.۴	۸۱۰.۰	۱۰۸۸.۸	۱۰۳۰.۸	۱۵۶۶.۶	۱۶۳۱.۰	۱۴۷۸.۷	۱۵۲۳.۸	۱۲۴۱.۵
-۱۳۵	۹۳۹.۷	۸۴۲.۹	۸۰۰.۴	۸۰۲.۹	۸۸۸.۸	۱۰۶۲.۴	۹۳۸.۷	۱۳۶۵.۹	۱۴۱۲.۶	۱۲۳۷.۵	۱۳۷۴.۵	۱۱۸۱.۸
-۱۲۰	۹۴۹.۶	۹۲۱.۹	۸۸۶.۰	۸۸۴.۲	۹۲۲.۷	۱۰۰۹.۳	۸۳۰.۳	۱۱۵۳.۵	۱۱۶۹.۷	۹۹۳.۴	۱۲۰۱.۲	۱۰۹۸.۹
-۱۰۵	۹۲۵.۱	۹۳۹.۸	۹۱۱.۳	۹۰۵.۲	۹۱۳.۹	۹۲۰.۵	۷۰۱.۵	۹۲۵.۵	۹۲۲.۷	۷۴۹.۸	۱۰۰۲.۰	۹۷۷.۰
-۹۰	۸۳۷.۶	۸۹۳.۷	۸۷۴.۵	۸۶۴.۵	۸۴۲.۸	۷۸۱.۰	۵۵۲.۵	۶۸۹.۶	۶۷۴.۸	۵۱۳.۹	۷۷۹.۲	۸۰۹.۲
-۷۵	۷۲۴.۸	۸۰۶.۶	۷۹۲.۸	۷۸۲.۰	۷۴۱.۵	۶۳۰.۴	۴۰۶.۶	۴۶۹.۸	۴۴۶.۶	۳۰۷.۹	۵۶۳.۲	۶۳۴.۴
-۶۰	۵۶۲.۶	۶۶۴.۷	۶۵۷.۱	۶۴۶.۳	۵۸۹.۷	۴۴۸.۹	۲۶۰.۵	۲۷۳.۱	۲۴۹.۸	۱۳۹.۷	۳۵۳.۶	۴۳۷.۰
-۴۵	۳۹۲.۴	۴۷۹.۱	۴۷۶.۶	۴۶۶.۶	۴۱۷.۸	۲۶۹.۸	۱۳۲.۹	۱۲۰.۸	۱۱۱.۷	۳۰.۲	۱۷۵.۷	۲۴۵.۷
-۳۰	۲۱۶.۲	۲۸۵.۰	۲۷۵.۳	۲۷۴.۵	۲۳۳.۱	۱۱۸.۲	۴۳.۸	۴۱.۷	۳۷.۷	۰.۰	۵۵.۷	۹۵.۱
-۱۵	۷۲.۷	۹۳.۱	۷۸.۵	۸۴.۴	۷۵.۵	۲۱.۶	۶.۶	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۹.۰	۱۳.۲

ژانویه دیوار

مقدار انرژی تابیده‌شده کل در ساعات نظری بر مبنای  $(BTU/H/FT^2)$  است؛ یعنی فرض بر این شده که در تمام طول ساعات روز، هوا کاملاً آفتابی بوده است. حال اگر اعداد حاصل‌شده بر ضریب ساعت آفتابی هر ماه ضرب شود، مقدار انرژی تابشی تابیده‌شده قریب به واقعی حاصل خواهد شد. ضریب ساعات آفتابی هر یک از ماه‌های سال با توجه به مجموع ساعات آفتابی ایستگاه هواشناسی شهر موردتحقیق و طول متوسط روز محل و مدار میل در هر ماه، محاسبه و در جدول (۶) ارائه گردید.

جدول ۶: مجموع ساعات آفتابی، متوسط ساعات آفتابی روزانه، طول روز و ضریب ساعت آفتابی ماهانه‌ی کاشان

ماه	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
میانگین ساعت آفتابی روزانه	۷.۴۱	۸.۸۱	۱۰.۴۷	۱۰.۳۷	۱۰.۲۷	۹.۲۵	۷.۷۴	۵.۹۶	۴.۹۹	۵.۱۱	۶.۱۰	۶.۲۹
طول روز	۱۲.۹۴	۱۳.۸۹	۱۴.۳۳	۱۴.۱۰	۱۳.۲۵	۱۲.۱۵	۱۱.۰۲	۱۰.۰۹	۹.۶۷	۹.۹۱	۱۰.۷۳	۱۱.۸۱
ضریب ساعت آفتابی	۰.۵۷	۰.۶۳	۰.۷۳	۰.۷۴	۰.۷۸	۰.۷۶	۰.۷۰	۰.۵۹	۰.۵۲	۰.۵۲	۰.۵۷	۰.۵۳
مدار میل	۹.۹۷	۱۹.۲۶	۲۳.۲۵	۲۱.۱۸	۱۳.۱۲	۱.۶۱	-۱۰.۳۳	-۱۹.۴۹	-۲۳.۲۴	-۲۱.۱۰	-۱۳.۲۹	-۲.۰۲

جدول ۷: مجموع کل انرژی تابیده‌شده‌ی واقعی به واحد بی‌تی‌یو بر روی دیوار قائم در کل سال کاشان

ماه	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۵	۴۱.۶۴	۵۹.۰۱	۵۷.۳۵	۶۲.۱۰	۵۸.۵۲	۱۶.۴۷	۵	۰	۰	۰	۵	۷۰.۱
۳۰	۱۲۳.۸۸	۱۸۰.۷۱	۲۰۱.۱۳	۲۰۱.۹۳	۱۸۰.۶۸	۸۹.۹۳	۳۰.۷۷	۲۵	۱۹	۰	۳۲	۵۰.۶۹
۴۵	۲۲۴.۷۸	۳۰۳.۷۳	۳۴۸.۲۰	۳۴۳.۲۸	۳۲۳.۸۳	۲۰۵.۳۶	۹۳.۲۵	۷۱.۴۲	۵۷.۶۶	۱۵.۵۶	۹۹.۹۲	۱۳۰.۹۴
۶۰	۳۲۲.۲۹	۴۲۱.۳۹	۴۸۰.۰۵	۴۷۵.۵۴	۴۵۷.۰۱	۳۴۱.۶۶	۱۸۲.۸۲	۱۶۱.۵۱	۱۲۹.۰۰	۷۲.۰۱	۲۰۱.۰۹	۲۳۲.۸۸
۷۵	۴۱۵.۲۲	۵۱۱.۴۰	۵۷۹.۱۹	۵۷۵.۴۰	۵۷۴.۶۷	۴۷۹.۷۷	۲۸۵.۳۹	۲۷۷.۸۰	۲۳۰.۶۱	۱۵۸.۷۵	۳۲۰.۳۱	۳۳۸.۰۴
۹۰	۴۷۹.۸۵	۵۶۶.۵۶	۶۳۸.۸۵	۶۳۶.۰۴	۶۵۳.۱۷	۵۹۴.۴۱	۳۸۷.۸۲	۴۰۷.۷۸	۳۴۸.۴۶	۲۶۴.۹۶	۴۴۳.۱۵	۴۳۱.۱۸
۱۰۵	۵۲۹.۹۸	۵۹۵.۸۲	۶۶۵.۷۵	۶۶۵.۹۸	۷۰۸.۲۸	۷۰۰.۵۴	۴۹۲.۴۲	۵۴۷.۲۷	۴۷۶.۵۰	۳۸۶.۶۱	۵۶۹.۸۶	۵۲۰.۶۰
۱۲۰	۵۴۳.۹۹	۵۸۴.۴۷	۶۴۷.۲۸	۶۵۰.۵۳	۷۱۵.۱۲	۷۶۸.۱۵	۵۸۲.۷۹	۶۸۲.۰۹	۶۰۴.۰۳	۵۱۲.۲۰	۶۸۳.۱۷	۵۸۵.۵۶
۱۳۵	۵۲۸.۳۱	۵۳۴.۳۷	۵۸۴.۷۰	۵۹۰.۷۵	۶۸۸.۸۶	۸۰۸.۵۱	۶۵۸.۸۹	۸۰۷.۶۳	۷۲۹.۴۶	۶۳۸.۰۸	۷۸۱.۶۹	۶۲۹.۷۰
۱۵۰	۵۰۷.۸۷	۴۶۳.۱۹	۴۹۰.۷۸	۵۰۵.۰۲	۶۲۷.۷۵	۸۲۸.۶۳	۷۲۳.۵۳	۹۲۶.۳۳	۸۴۲.۲۳	۷۶۲.۴۳	۸۶۶.۶۵	۶۶۱.۵۵
۱۶۵	۴۶۹.۹۳	۳۷۴.۰۷	۳۸۰.۴۲	۴۰۰.۱۴	۵۵۷.۱۶	۸۴۰.۳۹	۷۷۷.۳۲	۱۰۰۵.۶۹	۹۱۷.۶۹	۸۵۴.۷۶	۹۳۶.۴۶	۶۸۸.۳۳
۱۸۰	۴۴۳.۴۰	۳۲۶.۱۸	۳۳۴.۴۶	۳۴۹.۹۷	۵۱۶.۲۳	۸۵۲.۹۸	۷۹۹.۹۴	۱۰۴۱.۱۷	۹۵۰.۰۶	۹۱۰.۱۸	۹۶۴.۱۷	۷۰۵.۳۶
-۱۶۵	۴۶۹.۹۳	۳۷۴.۰۷	۳۸۰.۴۲	۴۰۰.۱۴	۵۵۷.۱۶	۸۴۰.۳۹	۷۷۷.۳۲	۱۰۰۵.۶۹	۹۱۷.۶۹	۸۵۴.۷۶	۹۳۶.۴۶	۶۸۸.۳۳
-۱۵۰	۵۰۷.۸۷	۴۶۳.۱۹	۴۹۰.۷۸	۵۰۵.۰۲	۶۲۷.۷۵	۸۲۸.۶۳	۷۲۳.۵۳	۹۲۶.۳۳	۸۴۲.۲۳	۷۶۲.۴۳	۸۶۶.۶۵	۶۶۱.۵۵
-۱۳۵	۵۲۸.۳۱	۵۳۴.۳۷	۵۸۴.۷۰	۵۹۰.۷۵	۶۸۸.۸۶	۸۰۸.۵۱	۶۵۸.۸۹	۸۰۷.۶۳	۷۲۹.۴۶	۶۳۸.۰۸	۷۸۱.۶۹	۶۲۹.۷۰
-۱۲۰	۵۴۳.۹۹	۵۸۴.۴۷	۶۴۷.۲۸	۶۵۰.۵۳	۷۱۵.۱۲	۷۶۸.۱۵	۵۸۲.۷۹	۶۸۲.۰۹	۶۰۴.۰۳	۵۱۲.۲۰	۶۸۳.۱۷	۵۸۵.۵۶
-۱۰۵	۵۲۹.۹۸	۵۹۵.۸۲	۶۶۵.۷۵	۶۶۵.۹۸	۷۰۸.۲۸	۷۰۰.۵۴	۴۹۲.۴۲	۵۴۷.۲۷	۴۷۶.۵۰	۳۸۶.۶۱	۵۶۹.۸۶	۵۲۰.۶۰
-۹۰	۴۷۹.۸۵	۵۶۶.۵۶	۶۳۸.۸۵	۶۳۶.۰۴	۶۵۳.۱۷	۵۹۴.۴۱	۳۸۷.۸۲	۴۰۷.۷۸	۳۴۸.۴۶	۲۶۴.۹۶	۴۴۳.۱۵	۴۳۱.۱۸
-۷۵	۴۱۵.۲۲	۵۱۱.۴۰	۵۷۹.۱۹	۵۷۵.۴۰	۵۷۴.۶۷	۴۷۹.۷۷	۲۸۵.۳۹	۲۷۷.۸۰	۲۳۰.۶۱	۱۵۸.۷۵	۳۲۰.۳۱	۳۳۸.۰۴
-۶۰	۳۲۲.۲۹	۴۲۱.۳۹	۴۸۰.۰۵	۴۷۵.۵۴	۴۵۷.۰۱	۳۴۱.۶۶	۱۸۲.۸۲	۱۶۱.۵۱	۱۲۹.۰۰	۷۲.۰۱	۲۰۱.۰۹	۲۳۲.۸۸
-۴۵	۲۲۴.۷۸	۳۰۳.۷۳	۳۴۸.۲۰	۳۴۳.۲۸	۳۲۳.۸۳	۲۰۵.۳۶	۹۳.۲۵	۷۱.۴۲	۵۷.۶۶	۱۵.۵۶	۹۹.۹۲	۱۳۰.۹۴
-۳۰	۱۲۳.۸۸	۱۸۰.۷۱	۲۰۱.۱۳	۲۰۱.۹۳	۱۸۰.۶۸	۸۹.۹۳	۳۰.۷۷	۲۵	۱۹	۰	۳۱.۶۵	۵۰.۶۹
-۱۵	۴۱.۶۴	۵۹.۰۱	۵۷.۳۵	۶۲.۱۰	۵۸.۵۲	۱۶.۴۷	۵	۰	۰	۰	۵	۷۰.۱

زاویه‌ی دیوار

می‌توان با داشتن متوسط دمای ماهانه‌ی یک منطقه، دمای ساعتی را به دست آورد. روش‌های مختلفی به این منظور وجود دارد. یکی از این روش‌ها مدلی است که شخصی به نام اربز (Erbs) پیشنهاد کرده است. این روش بر اساس میانگین دما و حداکثر دما و حداقل دما طراحی شده است که از رابطه‌ی (۸) برآورد می‌گردد.

$$t + (t_{max} - t_{min}) * (0.4632 * \cos(f - 3.805) + 0.0984 * \cos(2 * f - 0.36) + 0.0168 * \cos(3 * f - 0.822) + 0.0138 * \cos(4 * f - 3.513)) \quad \text{رابطه‌ی ۸}$$

در این رابطه،  $t$  برابر میانگین دمای هوا و  $t_{max}$  برابر میانگین دمای حداکثر و  $t_{min}$  برابر میانگین دمای حداقل است. مقدار  $f$  از رابطه (۹) برآورد می‌گردد.

$$f = 3.14 * (HOURES - 1) / 12 \quad \text{رابطه‌ی ۹}$$

که در این رابطه HOURES ساعت موردنظر است.

بر اساس دمای ساعتی به‌دست‌آمده برای ۲۴ ساعت شبانه‌روز بر اساس جدول (۸) محدوده‌های آن مشخص می‌گردد. دمای ساعتی ماهانه در جدول (۹) بر اساس روش اربز برآورد گردیده است.

جدول ۸: تفکیک محدوده‌های گرم و سرد

به شدت گرم	خیلی گرم	گرم	راحت	سرد	خیلی سرد	به شدت سرد
بالاتر از ۳۵	۲۸ تا ۳۵	۲۱ تا ۲۸	۱۴ تا ۲۰	۷ تا ۱۴	۰ تا ۷	کم‌تر از صفر

جدول ۹: برآورد دمای ساعتی ماهانه‌ی ۲۴ ساعته‌ی کاشان با استفاده از روش (اربز، ۱۹۸۳: ۵۵)

	اسفند	بهمن	دی	آذر	آبان	مهر	شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین
۱	۹.۸۸۲	۴.۵۴۶	۱.۸۱۱	۳.۸۶۹	۹.۲۱۶	۱۶.۵۱	۲۳.۰۸	۲۷.۹۷	۲۹.۶۴	۲۶.۸۶	۲۱.۴۴	۱۶.۱۲
۲	۹.۲۵۴	۳.۹۶۶	۱.۲۹۶	۳.۳۴۷	۸.۵۹۴	۱۵.۷۸	۲۲.۲۶	۲۷.۱۷	۲۸.۸۷	۲۶.۰۷	۲۰.۷۱	۱۵.۴۲
۳	۸.۶۷۸	۳.۴۳۲	۰.۸۲۳	۲.۸۶۶	۸.۰۲۳	۱۵.۱۱	۲۱.۵	۲۶.۴۲	۲۸.۱۵	۲۵.۳۴	۲۰.۰۵	۱۴.۷۹
۴	۸.۱۲۱	۲.۹۱۸	۰.۳۶۶	۲.۴۰۳	۷.۴۷۲	۱۴.۴۴	۲۰.۷۷	۲۵.۷۱	۲۷.۴۶	۲۴.۶۴	۱۹.۴۱	۱۴.۱۷
۵	۷.۶۷۸	۲.۵۰۷	۰.۰۰۱	۲.۰۳۳	۷.۰۳۳	۱۳.۹۶	۲۰.۱۹	۲۵.۱۴	۲۶.۹۲	۲۴.۰۸	۱۸.۸۹	۱۳.۶۸
۶	۷.۶۱۱	۲.۴۴۶	-۰.۰۰۵	۱.۹۷۸	۶.۹۶۷	۱۳.۸۶	۲۰.۱	۲۵.۰۵	۲۶.۸۳	۲۴	۱۸.۸۲	۱۳.۶۱
۷	۸.۲۳۴	۳.۰۲۲	۰.۴۵۸	۲.۴۹۷	۷.۵۸۴	۱۴.۵۹	۲۰.۹۲	۲۵.۸۵	۲۷.۶	۲۴.۷۹	۱۹.۵۴	۱۴.۳
۸	۹.۶۸	۴.۳۵۹	۱.۶۴۵	۳.۷۰۱	۹.۰۱۶	۱۶.۲۷	۲۲.۸۲	۲۷.۷۱	۲۹.۳۹	۲۶.۶۱	۲۱.۲۱	۱۵.۸۹
۹	۱۱.۷۶	۶.۲۸۴	۳.۳۵۴	۵.۴۳۵	۱۱.۰۸	۱۸.۹۶	۲۵.۵۵	۳۰.۳۹	۳۱.۹۷	۲۹.۲۳	۲۳.۲۳	۱۸.۱۹
۱۰	۱۲.۰۵	۸.۴	۵.۳۳۲	۷.۳۴	۱۳.۳۴	۲۱.۳۵	۲۸.۵۵	۳۳.۳۳	۳۴.۸	۳۲.۱۲	۲۶.۲۵	۲۰.۷۲
۱۱	۱۶.۱۲	۱۰.۳۱	۶.۹۳۱	۹.۰۳۳	۱۵.۳۹	۲۳.۷۶	۳۱.۲۷	۳۶	۳۷.۳۶	۳۴.۷۳	۲۸.۶۴	۲۳
۱۲	۱۷.۷۵	۱۱.۸۲	۸.۲۷۱	۱۰.۴۲	۱۷.۰۱	۲۵.۶۶	۳۳.۴۱	۳۸.۱	۳۹.۳۸	۳۶.۷۸	۳۰.۵۲	۲۴.۸
۱۳	۱۸.۹۴	۱۲.۹۳	۹.۲۵۳	۱۱.۴۲	۱۸.۱۹	۲۷.۰۵	۳۴.۹۸	۳۹.۶۳	۴۰.۸۶	۳۸.۲۹	۳۱.۹	۲۶.۱۲
۱۴	۱۹.۷۶	۱۳.۶۸	۹.۹۱۹	۱۲.۰۹	۱۸.۹۹	۲۸	۳۶.۰۴	۴۰.۶۸	۴۱.۸۷	۳۹.۳۲	۳۲.۸۶	۲۷.۰۲
۱۵	۲۰.۱۳	۱۴.۰۲	۱۰.۲۲	۱۲.۴	۱۹.۳۶	۲۸.۶۳	۳۶.۵۳	۴۱.۱۶	۴۲.۳۳	۳۹.۷۸	۳۳.۲۷	۲۷.۴۳
۱۶	۱۹.۹	۱۳.۸۱	۱۰.۰۴	۱۲.۲۲	۱۹.۱۴	۲۸.۱۷	۳۶.۲۴	۴۰.۸۷	۴۲.۰۵	۳۹.۵	۳۳.۰۱	۲۷.۱۸
۱۷	۱۹	۱۲.۹۸	۹.۲۹۷	۱۱.۴۶	۱۸.۲۴	۲۷.۱۱	۳۵.۰۵	۳۹.۷	۴۰.۹۳	۳۸.۳۴	۳۱.۹۶	۲۶.۱۸
۱۸	۱۷.۵۵	۱۱.۶۴	۸.۱۰۵	۱۰.۲۵	۱۶.۸۱	۲۵.۴۳	۳۳.۱۴	۳۷.۸۴	۳۹.۱۳	۳۶.۵۳	۳۰.۲۹	۲۴.۵۸
۱۹	۱۵.۸۹	۱۰.۱	۶.۷۴۱	۸.۸۷	۱۵.۱۶	۲۳.۴۹	۳۰.۹۶	۳۵.۷	۳۷.۰۸	۳۴.۴۳	۲۸.۳۷	۲۲.۷۴
۲۰	۱۴.۳۶	۸.۶۸۸	۵.۴۸۸	۷.۶	۱۳.۶۵	۲۱.۷۲	۲۸.۹۶	۳۳.۷۴	۳۵.۱۹	۳۲.۵۱	۲۶.۶۱	۲۱.۰۶
۲۱	۱۳.۱۴	۷.۵۶۲	۴.۴۸۹	۶.۵۸۶	۱۲.۴۵	۲۰.۳	۲۷.۳۶	۳۲.۱۷	۳۲.۶۸	۳۰.۹۸	۲۵.۲	۱۹.۷۲
۲۲	۱۲.۱۹	۶.۶۸۲	۳.۷۰۷	۵.۷۹۳	۱۱.۵	۱۹.۱۹	۲۶.۱۱	۳۰.۹۴	۳۲.۵	۲۹.۷۸	۲۴.۱	۱۸.۶۷
۲۳	۱۱.۳۷	۵.۹۲۲	۳.۰۳۳	۵.۱۰۹	۱۰.۶۹	۱۸.۲۴	۲۵.۰۴	۲۹.۸۹	۳۱.۴۹	۲۸.۷۴	۲۳.۱۶	۱۷.۷۴
۲۴	۱۰.۶	۵.۲۱	۲.۴۰۱	۴.۴۶۸	۹.۹۲۷	۱۷.۳۴	۲۴.۰۲	۲۸.۹	۳۰.۵۳	۲۷.۷۷	۲۲.۲۷	۱۶.۹۱

برای تفکیک دوره‌ی گرم و سرد با توجه به جدول برآورد شده، مجموع کل انرژی تابیده‌شده‌ی واقعی به واحد بی‌تی‌یو بر روی دیوار قائم و هم‌چنین با کمک جدول (۹) دوره‌ی سرد و گرم تفکیک می‌گردند (جدول (۱۰) و (۱۱)).

جدول ۱۰: مقدار انرژی تابیده شده روی دیوار قائم در دوره‌ی سرد سال به صورت واقعی به  $(BTU/H/FT^2)$

ماه	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
شمال	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۵	۳۸.۲۶	۵۹.۰۱	۰	۰	۰	۱۶.۴۷	۰	۰	۰	۰	۰	۶.۹۹
۳۰	۱۱۳.۲۹	۰	۰	۰	۰	۰	۱۵.۷۵	۰	۰	۰	۸	۵۰.۶۵
۴۵	۲۰۷.۷۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۱.۷۰	۱۲.۲۵	۱۵.۵۶	۵۹.۱۵	۱۳۰.۸۸
۶۰	۲۹۹.۹۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۹۰.۱۰	۶۰.۶۳	۷۲.۰۱	۱۴۶.۰۹	۲۳۲.۸۰
۷۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۸۹.۵۸	۱۴۳.۹۴	۱۵۸.۷۵	۲۵۴.۸۴	۳۳۷.۹۶
۹۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳۰۸.۷۵	۲۴۹.۴۰	۲۶۴.۹۶	۳۷۱.۶۶	۴۳۱.۰۹
۱۰۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۴۴۴.۱۹	۳۷۱.۷۹	۳۸۶.۶۱	۴۹۷.۲۲	۵۲۰.۵۲
۱۲۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۵۸۱.۹۸	۵۰۰.۸۱	۵۱۲.۲۰	۶۱۴.۳۵	۵۸۵.۴۸
۱۳۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۷۱۷.۳۱	۶۳۴.۷۶	۶۳۸.۰۸	۷۲۱.۳۶	۶۲۹.۶۴
۱۵۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۸۵۱.۹۵	۷۶۲.۵۱	۷۶۲.۴۳	۸۱۸.۹۳	۶۶۱.۵۰
۱۶۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۹۵۰.۲۳	۹۵۰.۲۳	۸۵۰.۳۸	۹۰۴.۶۰	۶۸۸.۳۱
جنوب	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۹۸۳.۷۵	۸۸۰.۳۶	۸۸۰.۳۸	۹۳۶.۵۱	۷۰۵.۳۵
-۱۶۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۹۵۰.۲۳	۸۵۰.۳۶	۸۵۰.۳۸	۹۰۴.۶۰	۶۸۸.۳۱
-۱۵۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۸۵۱.۹۵	۷۶۲.۵۱	۷۶۲.۴۳	۸۱۸.۹۳	۶۶۱.۵۰
-۱۳۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۷۱۷.۳۱	۶۳۴.۷۶	۶۳۸.۰۸	۷۲۱.۳۶	۶۲۹.۶۴
-۱۲۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۵۸۱.۹۸	۵۰۰.۸۱	۵۱۲.۲۰	۶۱۴.۳۵	۵۸۵.۴۸
-۱۰۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۴۴۴.۱۹	۳۷۱.۷۹	۳۸۶.۶۱	۴۹۷.۲۲	۵۲۰.۵۲
-۹۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳۰۸.۷۵	۲۴۹.۴۰	۲۶۴.۹۶	۳۷۱.۶۶	۴۳۱.۰۹
-۷۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۸۹.۵۸	۱۴۳.۹۴	۱۵۸.۷۵	۲۵۴.۸۴	۳۳۷.۹۶
-۶۰	۲۹۹.۹۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۹۰.۱۰	۶۰.۶۳	۷۲.۰۱	۱۴۶.۰۹	۲۳۲.۸۰
-۴۵	۲۰۷.۷۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۱.۷۰	۱۲.۲۵	۱۵.۵۶	۵۹.۱۵	۱۳۰.۸۸
-۳۰	۱۱۳.۲۹	۰	۰	۰	۰	۸۹.۹۳	۱۵.۷۵	۰	۰	۰	۷.۸۸	۵۰.۶۵
-۱۵	۳۸.۲۶	۵۹.۰۱	۰	۰	۰	۱۶.۴۷	۰	۰	۰	۰	۰	۶.۹۹

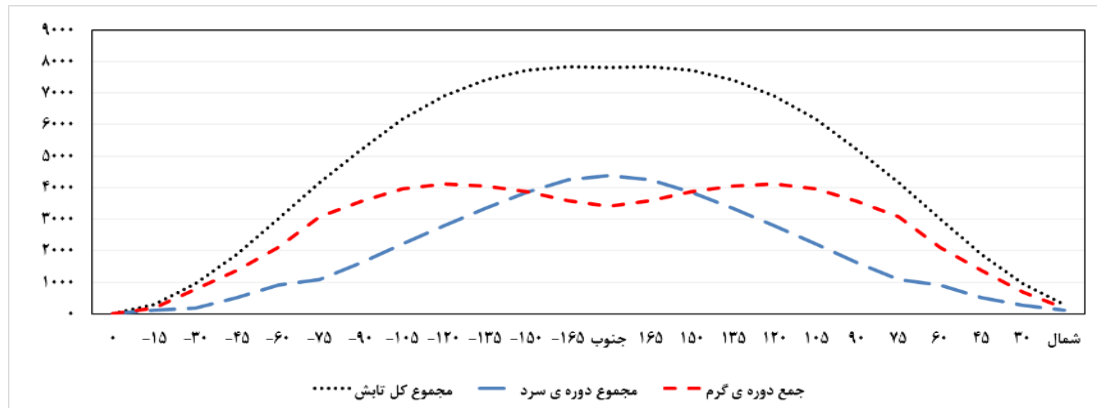
زاویه دیوار

جدول ۱۱: مقدار انرژی تابیده‌شده روی دیوار قائم در دوره‌ی گرم سال به‌صورت واقعی به (BTU/H/FT<sup>2</sup>)

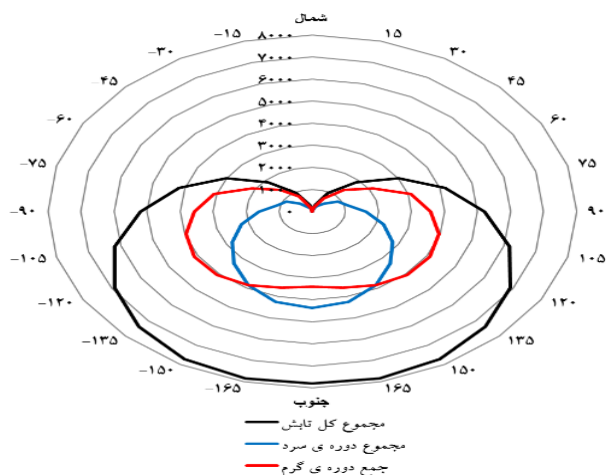
ماه	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
شمال	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۵	۰	۰	۵۷.۳۵	۶۲.۱۰	۵۴.۳۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۳۰	۰	۱۶۱.۹۷	۱۸۲.۸۵	۱۸۲.۳۷	۱۶۱.۷۴	۸۹.۹۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۴۵	۰	۲۶۶.۲۱	۳۰۵.۲۹	۳۰۱.۳۳	۲۹۱.۴۵	۲۰۵.۳۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۶۰	۰	۳۶۷.۶۴	۴۱۵.۴۳	۴۱۴.۰۶	۴۱۳.۴۰	۳۴۱.۶۵	۱۵۰.۷۶	۰	۰	۰	۰	۰
۷۵	۳۸۹.۰۳	۴۴۵.۰۹	۴۹۷.۲۶	۴۹۸.۵۷	۵۲۲.۸۰	۴۷۹.۷۷	۲۴۷.۸۱	۰	۰	۰	۰	۰
۹۰	۴۵۱.۶۶	۴۹۲.۲۱	۵۴۵.۲۰	۵۴۹.۱۱	۵۹۶.۵۸	۵۹۴.۴۰	۳۴۷.۳۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۰۵	۵۰۱.۶۹	۵۱۸.۴۹	۵۶۶.۷۵	۵۷۴.۸۷	۶۵۰.۸۲	۷۰۰.۵۳	۴۵۱.۷۲	۰	۰	۰	۰	۰
۱۲۰	۵۱۷.۵۴	۵۰۹.۴۴	۵۴۹.۶۹	۵۶۱.۴۵	۶۶۰.۷۱	۷۶۸.۱۴	۵۴۴.۶۸	۰	۰	۰	۰	۰
۱۳۵	۵۱۵.۵۰	۴۶۶.۷۵	۴۹۵.۱۶	۵۰۹.۷۶	۶۴۱.۲۰	۸۰۸.۵۱	۶۲۵.۹۶	۰	۰	۰	۰	۰
۱۵۰	۴۹۰.۲۶	۴۰۷.۵۸	۴۱۵.۴۰	۴۳۷.۶۵	۵۹۰.۰۹	۸۲۸.۶۳	۶۹۸.۰۳	۰	۰	۰	۰	۰
۱۶۵	۴۵۸.۷۱	۳۳۲.۹۵	۳۱۶.۷۳	۳۴۶.۸۳	۵۳۲.۰۷	۸۴۰.۳۹	۷۶۰.۹۹	۰	۰	۰	۰	۰
جنوب	۴۳۵.۲۸	۲۸۳.۶۰	۲۶۸.۵۲	۲۹۴.۷۸	۴۹۴.۶۱	۸۵۲.۹۸	۷۸۷.۸۴	۰	۰	۰	۰	۰
-۱۶۵	۴۵۸.۷۱	۳۳۲.۹۵	۳۱۶.۷۳	۳۴۶.۸۳	۵۳۲.۰۷	۸۴۰.۳۹	۷۶۰.۹۹	۰	۰	۰	۰	۰
-۱۵۰	۴۹۰.۲۶	۴۰۷.۵۸	۴۱۵.۴۰	۴۳۷.۶۵	۵۹۰.۰۹	۸۲۸.۶۳	۶۹۸.۰۳	۰	۰	۰	۰	۰
-۱۳۵	۵۱۵.۵۰	۴۶۶.۷۵	۴۹۵.۱۶	۵۰۹.۷۶	۶۴۱.۲۰	۸۰۸.۵۱	۶۲۵.۹۶	۰	۰	۰	۰	۰
-۱۲۰	۵۱۷.۵۴	۵۰۹.۴۴	۵۴۹.۶۹	۵۶۱.۴۵	۶۶۰.۷۱	۷۶۸.۱۴	۵۴۴.۶۸	۰	۰	۰	۰	۰
-۱۰۵	۵۰۱.۶۹	۵۱۸.۴۹	۵۶۶.۷۵	۵۷۴.۸۷	۶۵۰.۸۲	۷۰۰.۵۳	۴۵۱.۷۲	۰	۰	۰	۰	۰
-۹۰	۴۵۱.۶۶	۴۹۲.۲۱	۵۴۵.۲۰	۵۴۹.۱۱	۵۹۶.۵۸	۵۹۴.۴۰	۳۴۷.۳۰	۰	۰	۰	۰	۰
-۷۵	۳۸۹.۰۳	۴۴۵.۰۹	۴۹۷.۲۶	۴۹۸.۵۷	۵۲۲.۸۰	۴۷۹.۷۷	۲۴۷.۸۱	۰	۰	۰	۰	۰
-۶۰	۰	۳۶۷.۶۴	۴۱۵.۴۳	۴۱۴.۰۶	۴۱۳.۴۰	۳۴۱.۶۵	۱۵۰.۷۶	۰	۰	۰	۰	۰
-۴۵	۰	۲۶۶.۲۱	۳۰۵.۲۹	۳۰۱.۳۳	۲۹۱.۴۵	۲۰۵.۳۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰
-۳۰	۰	۱۶۱.۹۷	۱۸۲.۸۵	۱۸۲.۳۷	۱۶۱.۷۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
-۱۵	۰	۰	۵۷.۳۵	۶۲.۱۰	۵۴.۳۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰

زاویه‌ی دیوار

همان‌طور که در شکل (۲) مشاهده می‌شود، خطوط انرژی مواقع گرم در جهت‌های ۱۵۰- تا ۱۵۰+ در زیر خطوط مواقع سرد قرار می‌گیرد و نشان از مناسب‌ترین جهت‌ها برای استقرار ساختمان محسوب می‌شود. در شکل (۳) نمودار مقدار انرژی دریافتی جهات مختلف در مواقع سرد و گرم به صورتی دیگر ارائه شده است که نشان از مناسب بودن جهت جنوب برای استقرار ساختمان است.



شکل ۲: نمودار مقدار تابش آفتاب بر جهات مختلف ساختمان در کل مواقع، مواقع گرم، مواقع سرد



شکل ۳: نمودار مقدار تابش آفتاب بر جهات مختلف ساختمان در کل مواقع، مواقع گرم، مواقع سرد

به طور کلی دیوارهای جنوبی، بیشترین مقدار پرتو آفتاب را در آذرماه و کمترین مقدار آن را در خردادماه داشته و از شهریور تا اسفند، پرتو آفتاب را از طلوع تا غروب خورشید دریافت می کنند. دیوارهای جنوبی در اواسط تابستان از ساعت ۹ صبح تا ۳ بعدازظهر مورد تابش آفتاب قرار می گیرند. هنگام ظهر، حداکثر پرتوهای آفتاب بر روی این دیوارها می تابد. دیوارهای جنوب شرقی و جنوب غربی در زمستان بیش تر از تابستان در معرض تابش آفتاب قرار می گیرند. در تابستان حداکثر پرتوهای آفتاب به دیوارهای جنوب شرقی بین ساعت ۸ تا ۹ صبح و به دیوارهای جنوب غربی بین ساعت ۳ تا ۴ بعدازظهر می تابد. در زمستان این ساعتها به ترتیب ۹ تا ۱۰ صبح و ۲ تا ۳ بعدازظهر است. در دیوارهای شرقی، غربی و شمالی در زمستان، پرتو آفتاب کم تر از تابستان به این دیوارها می تابد. دیوار شمالی فقط بین فروردین تا شهریورماه، صبح زود و آخرین ساعات بعدازظهر در معرض تابش آفتاب قرار می گیرد. با توجه به جدول (۱۲) میزان کل انرژی خورشیدی تابیده شده بر نماهای اصلی ساختمان های یک طرفه کمترین مقدار انرژی تابیده شده مربوط به جهات شمال و ۱۵ + و ۱۵ - درجه و بیشترین مقدار انرژی مربوط به جهت ۱۶۵ + و ۱۶۵ - درجه است. با توجه به این که مقدار جهات شمال کمترین مقدار انرژی دریافتی را داراست، به نظر می رسد همین مقدار کم مربوط به مواقع گرم سال باشد که اصلاً لزومی به دریافت انرژی دیده نمی شود و از طرف دیگر با انتخاب جهت یادشده مشکل ماههای سرد افزایش می یابد؛ زیرا جهات یادشده در مواقع سرد سال اصلاً انرژی دریافت نمی کند. لذا انتخاب جهت شمال و ۱۵ + تا ۱۵ - درجه هر چند به نظر می رسد کمترین انرژی را دریافت می کنند، اما به لحاظ دریافت همین مقدار کم در زمان نامناسب و عدم دریافت در زمان مورد نیاز جهت مناسب برای شهر مورد پژوهش نیست. ایده آل ترین جهت برای نمای اصلی ساختمان های یک طرفه

جهتی است که در مواقع گرم، کم‌ترین انرژی و در مواقع سرد، بیش‌ترین انرژی دریافت دارد. براین اساس در جهت ۱۸۰ درجه یا جنوب با دریافت ۵۳٫۵ درصد از انرژی دریافتی در مواقع سرد و دریافت ۴۱٫۷ درصد از کل انرژی در مواقع گرم و همچنین جهت ۱۶۵ + و ۱۶۵- با دریافت ۵۱٫۷ درصد از انرژی در مواقع سرد و ۴۳٫۸ درصد از انرژی در مواقع گرم جهت مناسبی به نظر می‌رسد. کسمایی (۱۳۸۹) بهترین جهت برای ساختمان در منطقه‌ی گرم و خشک را جهت جنوب و برای حفظ ساختمان از گرمای بعدازظهر با ۱۵ تا ۳۰ درجه انحراف به سمت راست را مناسب می‌داند. این جهت از این نظر مناسب است که به‌راحتی بازشوها و پنجره‌های ساختمان از تابش مستقیم آفتاب حفاظت می‌شوند.

جدول ۱۲: کل میزان انرژی خورشیدی تابیده‌شده برنمای اصلی ساختمان‌های یک‌طرفه در مواقع مختلف سال به (BTU/H/FT<sup>2</sup>)

جمع دوره‌ی گرم		مجموع دوره‌ی سرد		مجموع کل سال		مواقع جهت سال
درصد	مقدار	درصد	مقدار	درصد	مقدار	
۰.۰	۰	۰.۰	۰	۰	۰	شمال
۵۵.۷	۱۷۳.۷۶	۳۸.۷	۱۲۰.۷۳	۰.۲۶	۳۱۱.۸۹	۱۵
۶۸.۶	۷۷۸.۸۵	۱۶.۵	۱۸۷.۶۷	۰.۹۴	۱۱۳۵.۴۶	۳۰
۶۱.۸	۱۳۶۹.۶۳	۲۳.۳	۵۱۶.۱۳	۱.۸۳	۲۲۱۷.۹۴	شمال شرق
۶۰.۵	۲۱۰۲.۹۴	۲۵.۹	۹۰۱.۵۳	۲.۸۷	۳۴۷۷.۲۴	۶۰
۶۴.۹	۳۰۸۰.۳۳	۲۲.۹	۱۰۸۵.۰۶	۳.۹۱	۴۷۴۶.۵۴	۷۵
۶۱.۱	۳۵۷۶.۴۵	۲۷.۸	۱۶۲۵.۸۶	۴.۸۲	۵۸۵۲.۲۳	شرق
۵۷.۸	۳۹۶۴.۸۸	۳۲.۴	۲۲۲۰.۳۳	۵.۶۵	۶۸۵۹.۶۲	۱۰۵
۵۴.۴	۴۱۱۱.۶۵	۳۷.۰	۲۷۹۴.۸۱	۶.۲۳	۷۵۵۹.۳۹	۱۲۰
۵۰.۸	۴۰۶۲.۸۴	۴۱.۸	۳۳۴۱.۱۵	۶.۵۹	۷۹۹۰.۹۶	جنوب شرق
۴۷.۱	۳۸۶۷.۶۴	۴۷.۰	۳۸۵۷.۳۲	۶.۷۶	۸۲۰۵.۹۴	۱۵۰
۴۳.۸	۳۵۸۸.۶۷	۵۱.۷	۴۲۴۳.۸۷	۶.۷۶	۸۲۰۲.۳۶	۱۶۵
۴۱.۷	۳۴۱۷.۶۲	۵۳.۵	۴۳۸۶.۳۴	۶.۷۵	۸۱۹۴.۰۹	جنوب
۴۳.۸	۳۵۸۸.۶۷	۵۱.۷	۴۲۴۳.۸۷	۶.۷۶	۸۲۰۲.۳۶	-۱۶۵
۴۷.۱	۳۸۶۷.۶۴	۴۷.۰	۳۸۵۷.۳۲	۶.۷۶	۸۲۰۵.۹۴	-۱۵۰
۵۰.۸	۴۰۶۲.۸۴	۴۱.۸	۳۳۴۱.۱۵	۶.۵۹	۷۹۹۰.۹۶	جنوب غربی
۵۴.۴	۴۱۱۱.۶۵	۳۷.۰	۲۷۹۴.۸۱	۶.۲۳	۷۵۵۹.۳۹	-۱۲۰
۵۷.۸	۳۹۶۴.۸۸	۳۲.۴	۲۲۲۰.۳۳	۵.۶۵	۶۸۵۹.۶۲	-۱۰۵
۶۱.۱	۳۵۷۶.۴۵	۲۷.۸	۱۶۲۵.۸۶	۴.۸۲	۵۸۵۲.۲۳	غرب
۶۴.۹	۳۰۸۰.۳۳	۲۲.۹	۱۰۸۵.۰۶	۳.۹۱	۴۷۴۶.۵۴	-۷۵
۶۰.۵	۲۱۰۲.۹۴	۲۵.۹	۹۰۱.۵۳	۲.۸۷	۳۴۷۷.۲۴	-۶۰
۶۱.۸	۱۳۶۹.۶۳	۲۳.۳	۵۱۶.۱۳	۱.۸۳	۲۲۱۷.۹۴	شمال غرب
۶۰.۷	۶۸۸.۹۳	۲۴.۴	۲۷۷.۶۰	۰.۹۴	۱۱۳۵.۴۶	-۳۰
۵۵.۷	۱۷۳.۷۶	۳۸.۷	۱۲۰.۷۳	۰.۲۶	۳۱۱.۸۹	-۱۵

بر اساس جدول (۱۳) برآورد شده برای کل انرژی خورشیدی تابیده‌شده بر نمای اصلی ساختمان‌های دوطرفه در مواقع گرم و سرد سال، جهت مناسب برای ساختمان‌های دوطرفه مربوط به جهت شمال - جنوب است؛ زیرا در مواقع گرم سال ۴۱٫۷ درصد از انرژی و همچنین در مواقع سرد سال بیش‌ترین مقدار ۵۳٫۵۳ درصد از انرژی را دریافت می‌دارد.



بعد از آن جهت ۱۵+ و ۱۶۵- و همچنین ۱۵- و ۱۶۵+ در اولویت بعدی قرار می‌گیرند. بهترین جهت برای ساختمان دو طرفه، جهت جنوب است. نامناسب‌ترین جهت ساختمان‌های دوطرفه مربوط به شرق و غرب است؛ زیرا بخش اعظم انرژی دریافتی آنان مربوط به مواقع گرم سال و کم‌ترین مقدار انرژی اکتسابی مربوط به مواقع سرد سال است. بهترین جهت مناسب برای ساختمان‌های چهار طرفه مخصوصاً مجموعه‌های آپارتمانی جهت ۶۰+ و ۱۲۰- و ۱۵۰+ و ۳۰- است؛ زیرا در مواقع گرم مقدار ۵۲٫۸۶ درصد و در مواقع سرد ۳۸٫۴ درصد انرژی را دریافت می‌کند (جدول ۱۴).

جدول ۱۳: کل انرژی خورشیدی تابیده‌شده بر نمای اصلی ساختمان‌های دوطرفه در مواقع گرم و سرد سال BTU/H/FT<sup>2</sup>

ردیف	زاویه‌ی دریافتی انرژی	زاویه‌ی استقرار ساختمان	مواقع گرم	درصد گرم	مواقع سرد	درصد سرد
۱	شمال - جنوب	S	۳۴۱۷٫۶۲	۴۱٫۷۱	۴۳۸۶٫۳۴	۵۳٫۵۳
۲	۱۵+ و ۱۶۵-	۱۵W	۳۷۶۲٫۴۴	۴۴٫۱۹	۴۳۶۴٫۶۰	۵۱٫۲۶
۳	۳۰+ و ۱۵۰-	۳۰W	۴۶۴۶٫۴۹	۴۹٫۷۴	۴۰۴۴٫۹۹	۴۳٫۳۰
۴	شمال شرقی - جنوب غربی	۴۵W	۵۴۳۲٫۴۸	۵۳٫۲۱	۳۸۵۷٫۲۸	۳۷٫۷۸
۵	۶۰+ و ۱۲۰-	۶۰W	۶۲۱۴٫۵۹	۵۶٫۳۱	۳۶۹۶٫۳۴	۳۳٫۴۹
۶	۷۵+ و ۱۰۵-	۷۵W	۷۰۴۵٫۲۱	۶۰٫۷۰	۳۳۰۵٫۳۹	۲۸٫۴۸
۷	شرق - غرب	W یا E	۷۱۵۲٫۸۹	۶۱٫۱۱	۳۲۵۱٫۷۲	۲۷٫۷۸
۸	۱۰۵+ و ۷۵-	۷۵E	۷۰۴۵٫۲۱	۶۰٫۷۰	۳۳۰۵٫۳۹	۲۸٫۴۸
۹	۱۲۰+ و ۶۰-	۶۰E	۶۲۱۴٫۵۹	۵۶٫۳۱	۳۶۹۶٫۳۴	۳۳٫۴۹
۱۰	جنوب شرقی - شمال غرب	۴۵E	۵۴۳۲٫۴۸	۵۳٫۲۱	۳۸۵۷٫۲۸	۳۷٫۷۸
۱۱	۱۵۰+ و ۳۰-	۳۰E	۴۵۵۶٫۵۶	۴۸٫۷۸	۴۱۳۴٫۹۱	۴۴٫۲۶
۱۲	۱۶۵+ و ۱۵-	۱۵E	۳۷۶۲٫۴۴	۴۴٫۱۹	۴۳۶۴٫۶۰	۵۱٫۲۶

جدول ۱۴: کل انرژی خورشیدی تابیده‌شده بر نماهای اصلی ساختمان چهار طرفه در مواقع گرم و سرد سال BTU/H/FT<sup>2</sup>

ردیف	زاویه‌ی دریافتی انرژی	زاویه‌ی استقرار ساختمان	مواقع گرم	درصد گرم	مواقع سرد	درصد سرد
۱	شمال، جنوب، شرق، غرب	N.S.E.W	۱۰۵۷۰٫۵۱	۵۳٫۱۲	۷۶۳۸٫۰۶	۳۸٫۳۹
۲	۱۵+ و ۱۶۵- و ۱۰۵+ و ۷۵-	۱۵SW	۱۰۸۰۷٫۶۵	۵۳٫۷۱	۷۶۶۹٫۹۹	۳۸٫۱۲
۳	۳۰+ و ۱۵۰- و ۱۲۰+ و ۶۰-	۳۰SW	۱۰۸۶۱٫۰۸	۵۳٫۳۰	۷۷۴۱٫۳۲	۳۷٫۹۹
۴	۴۵+ و ۱۳۵- و ۱۳۵+ و ۴۵-	۴۵SW	۱۰۸۶۴٫۹۶	۵۳٫۲۱	۷۷۱۴٫۵۶	۳۷٫۷۸
۵	۶۰+ و ۱۲۰- و ۱۵۰+ و ۳۰-	۶۰SW	۱۰۷۷۱٫۱۵	۵۲٫۸۶	۷۸۳۱٫۲۵	۳۸٫۴۳
۶	۷۵+ و ۱۰۵- و ۱۶۵+ و ۱۵-	۷۵SW	۱۰۸۰۷٫۶۵	۵۳٫۷۱	۷۶۶۹٫۹۹	۳۸٫۱۲

## ۵- نتیجه‌گیری

هدف از طراحی اقلیمی، ثابت نگه‌داشتن یا به حداقل رساندن هزینه‌ی لازم برای حفظ شرایط مطلوب و آسایش در فضای داخل بنا است. حفظ آسایش حرارتی، از تعادل دما میان بدن و محیط اطراف ناشی می‌گردد. از راه کارهای اساسی در تحقق اهداف فوق، تعیین جهت مناسب ساختمان بر اساس شرایط اقلیم محلی به‌خصوص تابش آفتاب است. برای ایجاد آسایش در ساختمان، جهت استقرار آن باید طوری طراحی شود که بهترین تابش آفتاب را در فصول سرد و بهترین کوران را در فضاهای داخلی در فصول گرم سال به همراه داشته باشد. در این پژوهش با استفاده از روش قانون کسینوس مقدار عددی تابش آفتاب بر جهات مختلف ساختمان محاسبه شد. در مقایسه با دیگر مطالعات برای تفکیک دوره‌های گرم و سرد از روش (Erbs) استفاده گردیده که در مقایسه با روش نمودار محاسبه دمای مؤثر از دقت بالاتری برخوردار است. با توجه به تابش آفتاب، ایده‌آل‌ترین جهت برای نمای اصلی ساختمان‌های یک‌طرفه جهتی بود که در مواقع گرم،

کم‌ترین انرژی و در مواقع سرد، بیش‌ترین انرژی دریافتی را داراست. بر این اساس، در جهت ۱۸۰ درجه و جنوب با دریافت ۵۳٫۶ درصد از انرژی دریافتی در مواقع سرد و دریافت ۴۱٫۷ درصد از کل انرژی در مواقع گرم و هم‌چنین جهت ۱۶۵ + و ۱۶۵- با دریافت ۵۱٫۷ درصد از انرژی در مواقع سرد و ۴۳٫۸ درصد از انرژی در مواقع گرم جهت مناسبی به نظر می‌رسد. از نظر ساختمان‌های دوطرفه در مواقع گرم و سرد سال، جهت مناسب برای ساختمان‌های دوطرفه مربوط به جهت شمال - جنوب است؛ زیرا در مواقع گرم سال ۴۳٫۷ درصد از انرژی و هم‌چنین در مواقع سرد سال بیش‌ترین مقدار ۵۳٫۵ درصد از انرژی را دریافت می‌دارد. بهترین جهت مناسب برای ساختمان‌های چهار طرفه مخصوصاً مجموعه‌های آپارتمانی جهت ۶۰+ و ۱۲۰- و ۱۵۰+ و ۳۰- است؛ زیرا در مواقع گرم مقدار ۵۲٫۸ درصد و در مواقع سرد ۳۸٫۴ درصد از انرژی را دریافت می‌کند.

## ۶- منابع

۱. اخترکاو، مهدی، صدیق، مرتضی، اخترکاو، حمید (۱۳۹۰). تنظیم شرایط همساز با بوم و اقلیم ایران (اقلیم، معماری و انرژی)، تهران: انتشارات کلهر.
۲. اکبری، حسن، هادوی، فرامرز، زمانی، مهدی، علیپور، یوسف (۱۳۹۵). تعیین جهت‌های مناسب استقرار ساختمان به‌منظور دریافت بهینه‌ی تابش خورشیدی در شهر زنجان، نشریه‌ی آمایش محیط، دوره‌ی ۹، شماره‌ی ۳۳، صص ۱۷۳-۱۵۵.
۳. امیدوار، کمال، علیزاده شورکی، یحیی، زارع‌شاهی، عبدالنبی (۱۳۹۰). تعیین مطلوبیت شرایط آسایش مدارس شهر یزد بر اساس شاخص‌های زیست - اقلیمی، نشریه‌ی شهر و معماری بومی، دوره‌ی ۱، شماره‌ی ۱، صص ۱۱۷-۱۰۱.
۴. جهان‌بخش، سعید (۱۳۷۷)، ارزیابی زیست اقلیم انسانی تبریز و نیازهای حرارتی ساختمان، فصلنامه‌ی تحقیقات جغرافیایی، شماره‌ی ۴۸، صص ۶۸-۷۹.
۵. حجازی‌زاده، زهرا، سلکی، هیوا، حسینی امینی، حسن (۱۳۹۱). کاربرد اقلیم در معماری و شهرسازی (شهر سقز)، تهران: انتشارات آثار معاصر، صص ۴۷.
۶. حجازی‌زاده، زهرا، کربلایی، علیرضا (۱۳۹۵). مقدمه‌ای بر اقلیم آسایش حرارتی و شاخص‌های آن. تهران: انتشارات آکادمیک و انجمن جغرافیای ایران.
۷. حسین‌آبادی، سعید، لشکری، حسن، سلمانی مقدم، محمد (۱۳۹۱). طراحی اقلیمی ساختمان‌های مسکونی (شهر سبزوار) با تأکید بر جهت‌گیری ساختمان و عمق سایبان، فصلنامه‌ی جغرافیا و توسعه‌ی زاهدان، دوره‌ی ۱۰، شماره‌ی ۲۷، صص ۱۳۰-۱۱۶.
۸. خسروی، محمود، جهان‌بخش اصل، سعید، درخشی، جعفر (۱۳۹۲). برآورد و پهنه‌بندی تابش خورشیدی دریافتی در سطح افقی با استفاده از پارامترهای اقلیمی در محیط GIS، مطالعه‌ی موردی: استان آذربایجان شرقی. فضای جغرافیایی. شماره‌ی ۴۳، صص ۶۳-۳۹.
۹. رازجویان، محمود (۱۳۸۸). آسایش در پناه معماری همساز با اقلیم، تهران: انتشارات دانشگاه شهید بهشتی.
۱۰. سلیقه، محمد (۱۳۸۳). مدل‌سازی مسکن همساز با اقلیم برای شهر چابهار، مجله‌ی جغرافیا و توسعه‌ی زاهدان، دوره‌ی ۲، شماره‌ی ۴، صص ۱۷۰-۱۴۷.
۱۱. شمس، مجید، خداکرمی، مهناز (۱۳۸۹). بررسی معماری سنتی همساز با اقلیم سرد، مطالعه موردی: سنندج، فصلنامه‌ی آمایش محیط ملایر، دوره‌ی ۳، شماره‌ی ۱۰، صص ۱۱۴-۹۱.
۱۲. قبادیان، وحید (۱۳۷۹). بررسی اقلیمی ابنیه سنتی، تهران: انتشارات دانشگاه تهران، صص ۴۲.
۱۳. کسمایی، مرتضی (۱۳۸۹). اقلیم و معماری، اصفهان: نشر خاک.
۱۴. محمدزاده، رحمت، جهانی، مقصود، قراخانی شجاعی، رضا (۱۳۹۴). مطالعه‌ی میزان انطباق مسکن شهر جلفا با زاویه‌ی تابش آفتاب، نشریه‌ی فضای جغرافیایی، دوره‌ی ۱۵، شماره‌ی ۵۲، صص ۱۳۵-۱۱۷.
15. Architecture, Lima Peru. Shahmortezaei, Seyed Reza; Sabernejad, Jaleh. (2016). Optimization of Proportions of Central Courtyard based on Comfort Standards in the Traditional Qajar Period Houses in Boushehr. Space Ontology International Journal. Volume 5, Issue 2, pp 49-55.

16. Barzegar, Zahra, Shahin Heidari, and Mahnaz Zarei (2012). Evaluation of the effect of building orientation on achieved solar radiation-a NE-SW orientated case of urban residence in sem-arid climate. Iran University of Science & Technology. Volume 22, Number 2, pp 108-113.
17. Erbs, Daryl Gregory (1983). Models and applications for weather statistics related to building heating and cooling loads, Ph.D. thesis, Mechanical Engineering Dept., University of Wisconsin—Madison.
18. Fiocchi, Carl, Simi Hoque, and Mohammad Shahadat (2011). Climate responsive design and the Milam residence. Sustainability, Sustainability 3, Number 11, pp 2289-2306.
19. Oke, T. R., (1988). Street design and urban canopy layer climate. Energy and buildings, Volume 11, Issues 1-3, pp 103-113.
20. Oke, Timothy R (2002). Boundary layer climates. Routledge.
21. Zamani, Mahdi, Akbari, Hassan, Hadavi, Faramarz (2016). Best Orientation Determination of Buildings in Zanjan City Based on Solar Radiation. Armanshahr Architecture & Urban Development, Volume 9, Number 16, pp 85-94.
22. <http://farrokhzad.persianblog.ir>