

# تعیین جهت های مناسب استقرار ساختمان به منظور دریافت بهینه تابش خورشیدی در شهر زنجان

تاریخ دریافت مقاله: ۹۴/۰۲/۱۴

تاریخ پذیرش نهایی مقاله: ۹۵/۰۳/۲۳

حسن اکبری (دکتری معماری، استادیار دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده فنی و مهندسی، گروه معماری، اردبیل، ایران)  
فرامرز هادوی\* (دانشجوی دکتری رشته جغرافیا و برنامه ریزی شهری، گروه جغرافیا، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران)  
مهدی زمانی (دکتری جغرافیای طبیعی، دانشگاه آزادعلوم و تحقیقات تهران، مدرس دانشگاه فرهنگیان، زنجان، ایران)  
یوسف علیپور (دانشجوی دکتری جغرافیا گرایش آب وهواشناسی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران)

## چکیده

در سال های اخیر مصرف بالای انرژی یکی از مشکلات کل جهان علی الخصوص شهرهای بزرگ می باشد. یکی از راهکارهایی که در این زمینه ارائه شده است استفاده حداکثری از انرژی خورشید می باشد. اگر ساختمان ها مطابق با تابش انرژی خورشید و اقلیم منطقه ساخته شوند و بتوانند در دوره گرم حداقل انرژی و در دوره سرد حداکثر انرژی را جذب کنند در مصرف انرژی صرفه جویی بسیار زیادی حاصل خواهد شد. با توجه به موقعیت خاص جغرافیایی شهر زنجان، جهت گیری ساختمان ها باید به گونه ای باشد که در دوره سرد بیش ترین میزان انرژی به ساختمان وارد شود و نیز در دوره گرم کم ترین میزان انرژی را دریافت کند. در این تحقیق با مطالعه موردی اقلیم شهر زنجان و به جهت استفاده حداکثری از انرژی خورشیدی ابتدا اطلاعات اقلیمی مورد نیاز از ایستگاه سینوپتیک زنجان برای دوره ۴۰ ساله (۱۳۴۸-۱۳۸۸) تهیه گردید. سپس با استفاده از روش محاسباتی قانون کسینوس میزان انرژی تابشی بر روی سطوح قائم برای ماه های مختلف و در ۲۴ جهت جغرافیایی محاسبه و از طریق نرم افزارهای Q-BASIC، Excel، اطلاعات پردازش شده و در نهایت بهترین جهت استقرار ساختمان ها در شهر زنجان تعیین گردیده است. سطوح قائم ۱۵۰+ جنوب شرقی و ۱۵۰- جنوب غربی بیش ترین میزان انرژی و سطوح ۱۵+ و ۱۵- شمال شرقی و غربی کم ترین میزان انرژی را در طول ماه های سرد و گرم سال دریافت می کنند. بر اساس نتایج این تحقیق بهترین جهت استقرار ساختمان به منظور دریافت بهینه انرژی خورشید در دوره های سرد و گرم سال جهت های ۱۳۵ درجه و ۲۲۵ درجه زاویه آزیموتی می باشد.

**واژه های کلیدی:** انرژی خورشیدی، شهر زنجان، جهت گیری ساختمان

## مقدمه

یکی از مشکلات قرن حاضر در جوامع بشری مصرف بالای انرژی می باشد که در این بین بیش ترین مصرف متعلق به انرژی های فسیلی می باشد. که این مسئله مشکلات عدیده زیر را به دنبال داشته است : ۱- تامین انرژی با توجه به غیر قابل تجدید بودن منابع انرژی از سوخت- های فسیلی ۲- افزایش گازهای گلخانه ای بر اثر استفاده از این نوع انرژی. در این مورد سازمان- های بین المللی متعددی تشکیل شده و مطالعات بسیار گسترده ای صورت گرفته است. بطور مثال در سال ۱۹۹۰ IPCC تشکیل گردید. بر اساس گزارش های منتشر شده افزایش گازهای گلخان های تا دهه ۲۰۳۰ گرمای جهانی را ۱/۵ تا ۴/۵ درجه و سطح دریاها را به میزان ۲۰الی۱۴۰ سانتی متر بالا خواهد آورد (عزیزی ۱۳۸۳). این مشکل در شهر ها نمود بیش تری دارد چرا که در شهر ها تراکم بالای جمعیت، خودروها و ساختمان ها باعث مصرف بالای انرژی و به تبع آن آلودگی بیشتر نسبت به سایر مناطق می گردد. که بهترین مثال در این زمینه جزیره های حرارتی می باشند (عزیزی ۱۳۸۳).

انرژی خورشید یکی از منابع تامین انرژی رایگان، پاک و عاری از اثرات مخرب زیست محیطی است که از دیر باز به روش های گوناگون مورد استفاده بشر قرار گرفته است . به دلیل بحران انرژی و اثرات مخرب انرژی های فسیلی در سال های اخیر، استفاده از انرژی های تجدیدپذیر و از جمله انرژی خورشیدی به منظور کاهش و صرفه جویی در مصرف انرژی، کنترل عرضه و تقاضای انرژی و کاهش انتشار گازهای آلاینده با استقبال فراوانی روبرو شده است. از ابتدای تاریخ زندگی بشر همواره ساخت ساختمان هایی مطابق با شرایط اقلیمی و جغرافیایی مورد توجه بوده و هست . لذا از همان ابتدا با استفاده از مصالح طبیعی و جهت- گیری مناسب ساختمان ها نسبت به عوامل اقلیمی و محیطی سعی در ساخت ساختمان هایی همساز با اقلیم و به منظور دستیابی به آسایش حرارتی مطلوب شده است. طبق نظرات جیوونی و کنیا، تنوع اقلیمی نتیجه پنج عامل مهم چون تابش آفتاب، دما، رطوبت هوا، میزان بارندگی و وزش باد است. عامل تابش نور خورشید اصلی ترین عامل در اقلیم هر منطقه می باشد( قیابکلو، ۱۳۹۳). در شرایط اقلیم سرد استفاده حداکثری از انرژی تابشی خورشید مورد توجه بوده و ساختمان ها در این اقلیم بایستی به نحوی جهت گیری شوند که حداکثر انرژی خورشید را در طول سال دریافت نماید. برعکس در اقلیم گرم جهت گیری ساختمان ها باید به نحوی باشد که

شدت تابش آفتاب به دیوارهای خارجی آن به حداقل رسیده و کم‌ترین انرژی خورشیدی سالانه را دریافت نماید.

میزان مصرف انرژی‌های فسیلی در شهر زنجان بسیار بالا می‌باشد. به طوری که میزان مصرف گاز در سال ۱۳۸۹ برابر ۵/۳ میلیون مترمکعب و میزان مصرف برق در سال ۱۳۸۸ برابر ۹۳۸۴۴۴۲۱۶ کیلو وات ساعت بوده است (<http://www.zedc.ir>). در شهر زنجان مطالعات خاصی در زمینه بررسی تاثیر زاویه و جهت تابش بر میزان دریافت انرژی خورشیدی ساختمان‌ها انجام نشده است. این تحقیق برآن است تا با بررسی میزان انرژی دریافتی سطوح قائم جداره ساختمان‌ها، بهترین جهت‌های استقرار ساختمان را مطابق با اقلیم منطقه برای شهر زنجان تعیین نماید. لذا انجام این تحقیق و تعیین بهترین جهت‌گیری ساختمان در اقلیم سرد زنجان جهت دریافت بیش‌ترین میزان دریافت انرژی خورشید در ماه‌های سرد سال ضروری می‌باشد.

### پیشینه تحقیق:

به منظور بررسی تاثیر شرایط اقلیمی بر آسایش حرارتی انسان تحقیقات علمی متعددی در جهان انجام شده است. ویکتور و آلداری اولگی در سال ۱۹۷۳ با بررسی رابطه بین متغیرهای همچون رطوبت نسبی، درجه حرارت و آسایش حرارتی انسان اقدام به ارائه جدول محیط آسایش انسان نمودند. پاروچ گیونی (۱۹۷۶) بر اساس متغیرهای رطوبت نسبی، فشار بخار و دمای خشک و دمای مرطوب، مرز آسایش ساکنین اقلیم در حالت استراحت و حدود موثر بودن شیوه‌های ساختمان‌سازی در تامین نیازهای بیوکلیماتیک انسان را مشخص نمود و جدول زیست-اقلیم ساختمانی را ارائه نمودند (قبادیان و مهدوی، ۱۳۹۱). کارل ماهانی (۱۹۷۱) بر اساس وضعیت حرارتی روز و شب، گروه رطوبتی، نوسان ماهانه دما، و حدود آسایش دمایی روز و شب اقدام به تدوین شاخص‌های ششگانه خشکی و رطوبت نموده و بر اساس این شاخص‌ها ویژگی‌های طراحی اقلیمی ساختمان‌ها را ارائه نمودند (کسمایی، ۱۳۶۳). در ایران نیز تحقیقات متعددی در رابطه با تهیه نقشه‌های تقسیمات بیوکلیماتیک ایران به روش کوپن (عدل، ۱۳۴۹)، نقشه تقسیمات اقلیمی ایران به روش اولگی (ریاضی، ۱۳۶۳)، پهنه بندی اقلیمی ایران به روش ماهانی (کسمایی، ۱۳۶۸ و ۱۳۷۳) و نقشه زیست اقلیم انسانی ایران به روش ترجونگ (کاوایانی، ۱۳۷۲) انجام شده است. در رابطه با تاثیر زاویه و جهت تابش بر میزان انرژی دریافتی ساختمان جداره‌های ساختمان در ماه‌های سرد و گرم مطالعات اندکی صورت

گرفته است. علیجانی در مقاله ای نقش آب و هوا بر طراحی مسکن در شهر تبریز را مورد ارزیابی قرار داده و با بررسی عوامل اقلیمی از جمله میزان انرژی دریافتی خورشید روش های مختلف طراحی کالبدی مسکن همساز با اقلیم تبریز را بیان کرده است (علیجانی، ۱۳۷۳). حیدری و همکاران در مقاله ای به ارزیابی زیست اقلیم انسانی شهر زنجان بر اساس روش های گوزینسکی، سلیمانینوف، کریمی، خوش اخلاق، آمبرژه و ایوانف پرداخته و بر اساس شرایط مطلوب آسایش انسانی با استفاده از شاخص های تراجونگ، بیکر و ماهانی و با بومی سازی جدول بیوکلیمای ساختمانی، پیشنهادهای برای طراحی و ساخت مسکن ارائه داده اند (حیدری و همکاران، ۱۳۹۱). برزگر و حیدری به بررسی تاثیر تابش دریافتی خورشید در بدنه های ساختمان بر مصرف انرژی بخش خانگی بر اساس جهت گیرهای مختلف ساختمان در شهر شیراز پرداخته اند. نتایج این تحقیق نشان می دهد خانه های با جهت گیری اقلیمی مناسب مانند جهت جنوب شرقی و شمال غربی از نظر میزان دریافت انرژی و مصرف در شرایط مناسب می باشند. (برزگر و حیدری، ۱۳۹۲) و (Barzegar, z et.al, 2012). سانتوز و همکاران به بررسی تاثیر جهت تابش در مصرف انرژی ساختمان اقلیمی اداری در شهر سانتا ماریا پرداختند (Santos, j.p et al, 2012). لشکری و همکاران جهت گیری بهینه ساختمانی در شهر اهواز بر اساس شرایط اقلیمی را مورد بررسی قرار دادند. بر اساس نتایج این تحقیق بیش ترین مقدار انرژی دریافتی سطوح قائم مربوط به ۱۵ درجه شرقی و ۳۰ درجه جنوب شرقی می باشد. همچنین استقرار ساختمان در جهت بهینه ۴۵ درجه و جهات قابل قبول ۳۰ درجه و ۱۵+ درجه شمالی از مبدا جنوب در اقلیم شهر اهواز پیشنهاد شده است (لشکری و همکاران، ۱۳۹۰). سبز پوشانی و همکاران تاثیر جهت گیری، جنس و رنگ جداره بیرونی ساختمان را بر حرارت اکتسابی از خورشید مورد مطالعه قرار دادند. نتایج بیانگر اینست که انرژی برخوردی خورشید به سطح دیوار یک ساختمان تابعی از موقعیت جغرافیایی، جهت گیری دیوار، اقلیم منطقه، موقعیت ساختمان های اطراف و همچنین نوع و پوشش زمین آن منطقه نسبت به ساختمان مرجع می باشد (سبز پوشانی و همکاران، ۱۳۸۵). حسین آبادی و همکاران در بررسی طراحی اقلیمی ساختمان های مسکونی شهر سبزوار با تاکید بر جهت گیری و عمق سایبان نشان دادند که جهت ۱۵ و ۳۰ درجه شرقی در ساختمان های یک طرفه و جهت ۱۶۵+ و ۱۵- شمالی- جنوبی در ساختمان های دوطرفه بهترین جهت های قرارگیری با توجه به تابش آفتاب برای سبزوار می باشد (حسین آبادی و همکاران، ۱۳۹۱).

## معرفی شهر زنجان:

شهر زنجان در شمال غربی کشور در انتهای دشت زنجان قرار دارد. این شهر بین دو رشته کوه موازی کوه‌های سلطانیه و طارم واقع شده است. و بر روی نقطه تقاطع مخروط افکنه دامنه جنوبی کوه‌های طارم و پادگانه‌های رود «زنجان چای» قرار دارد. بر اساس تقسیمات اقلیمی دکتر گنجی، شهر زنجان در منطقه اقلیمی سرد (کوهستان‌های غربی) با علامت اختصاری «Cfs<sup>'''a</sup>» قرار دارد. این شهر دارای اقلیمی سرد و خشک، با زمستان‌های سرد و تابستان معتدل می‌باشد. در این شهر نوسانات و اختلافات درجه حرارت شبانه روزی زیاد بوده، رطوبت هوا کم و بارش برف سنگین است. غلظت هوا در این منطقه کم بوده، و امکان تهویه طبیعی هوا را کاهش می‌دهد. همچنین شهر زنجان در دامنه رو به جنوب قرار داشته و به علت توپوگرافی منطقه، در جهت غرب، شرق و شمال گسترش پیدا کرده است.

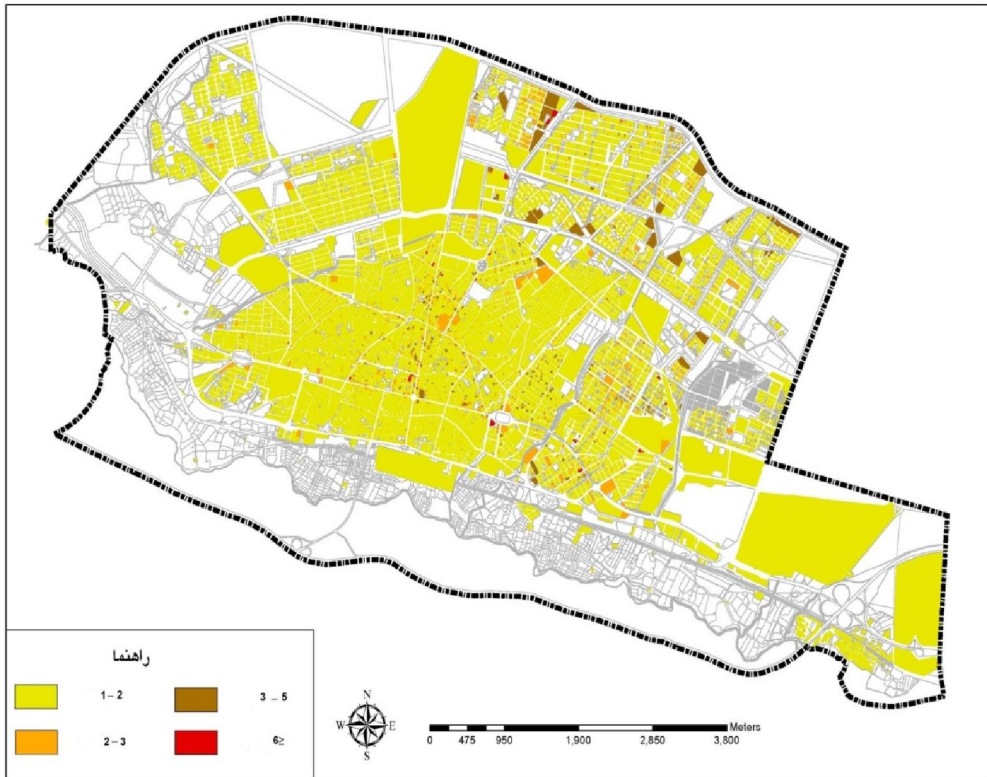
جدول ۱- ویژگی جغرافیایی شهر زنجان

ردیف	شاخص	مقدار	ردیف	شاخص	مقدار
۱	ارتفاع از سطح دریا (متر)	۱۶۶۳	۱۰	ساعات آفتابی	۲۸۳۸
۲	طول جغرافیایی	۱۹° ۴۸'	۱۱	مجموع سالانه بارش (mm)	۳۲۹,۱
۳	عرض جغرافیایی	۳۵° ۳۶'	۱۲	جمعیت (سال ۱۳۸۵)	۳۴۹۷۱۳
۴	فشار متوسط هوا (۱۰ <sup>۲</sup> پاسکال)	۱۰۱۴, ۱	۱۳	خانوار (سال ۱۳۸۵)	۸۹۸۲۹
۵	متوسط دمای سال (درجه سلسیوس)	۱۱,۵	۱۴	تراکم جمعیت (نفر در Km <sup>2</sup> )	۵۸۲۸,۵۵
۶	متوسط رطوبت نسبی	۵,۴۲	۱۵	تعداد واحد مسکونی	۷۲۳۷۸
۷	متوسط سرعت باد ( $\frac{m}{s}$ )	۳,۷	۱۶	تراکم واحد مسکونی (نفر در واحد)	۴,۸
۸	میانگین سالانه تابش آفتاب بر سطح افقی ( $\frac{kwh}{m^2}$ )	۳۹۰۰	۱۷	تعداد خانوار در هر واحد مسکونی	۱,۲
			۱۸	وسعت (km <sup>2</sup> )	۶۰
۹	جهت باد	شرقی			

مأخذ: سرشماری عمومی نفوس و مسکن استان زنجان، ۱۳۸۵ و سالنامه هواشناسی استان زنجان،

تعداد مسکن ویلایی (۱-۲) طبقه در شهر زنجان ۷۱۰۸۳ واحد و تعداد ساختمان های آپارتمانی (۳-۵) طبقه ۲۶۳۴ واحد و تعداد ساختمان های ۶ طبقه به بالا ۳۲ واحد می باشد. تعداد ساختمان های با مصالح و اسکلت بتنی ۹۱۰، با اسکلت آجر و آهن ۲۲۲۰۱، با اسکلت فلزی ۱۴۹۴۰ و با اسکلت خشت و چوب ۲۴۴ واحد می باشد.

تصویر ۱- پراکنش واحد های مسکونی در شهر زنجان بر اساس تعداد طبقات



مأخذ: نگارندگان

### روش تحقیق:

در این مقاله از روش تحقیق کمی و تحلیلی- توصیفی استفاده شده است. برای مطالعه شرایط زیست اقلیمی بهینه ساختمان های شهر زنجان، آمار مربوط به فاکتورهای اقلیمی همچون متوسط حداقل و حداکثر دما، متوسط حداقل و حداکثر رطوبت نسبی، یخبندان، بارش، تابش و سمت و سرعت باد از ایستگاه سینوپتیک زنجان در دوره آماری ۴۰ ساله از سال ۱۳۴۸

تا سال ۱۳۸۸ جمع‌آوری گردیده است. سپس با استفاده از نرم افزار Q-BASIC زاویه سمت و ارتفاع خورشید استخراج شده است. با استفاده از روش محاسباتی قانون کسینوس میزان انرژی تابشی بر روی سطوح قائم در زوایای مختلف محاسبه شده و پس از تحلیل و بررسی داده‌ها، جهت‌های بهینه استقرار در دوره‌های سرد و گرم سال مشخص گردید. در نهایت با استفاده از نرم‌افزار کامپیوتری excel اشکال و نمودارها ترسیم گردید.

### تجزیه و تحلیل داده‌ها :

فصول مختلف سال در نتیجه تغییر حرکت گردشی زمین نسبت به خورشید، ازبابت زاویه تابشی با یکدیگر متمایز هستند در نتیجه میزان دریافت انرژی خورشید در طول سال متفاوت است. بنابراین جهت استقرار یک ساختمان نیز تحت تأثیر مقدار انرژی خورشیدی تابیده شده به دیوارهای آن هم در طول سال و هم در ساعات مختلف، تغییر می‌کند. اهمیت تابش آفتاب در طراحی اقلیمی به نوع اقلیم منطقه و فصول سال بستگی دارد. در شرایط گرم حداقل انرژی خورشیدی مورد نیاز بوده و ساختمان باید در جهتی قرار گیرد که کم‌ترین تابش آفتاب را دریافت نماید. در شرایط سرد نیز جهت ساختمان باید به نحوی باشد که شدت تابش آفتاب بر دیوارهای آن به حداکثر رسیده و امکان نفوذ مستقیم اشعه خورشید به فضاهای داخلی وجود نداشته باشد. (البته باید به این نکته اساسی توجه داشت که میزان تأثیر جهت استقرار ساختمان در شرایط گرمایی هوای داخلی آن به خصوصیات طرح و نوع ساختمان بستگی دارد و چه بسا با انتخاب سطوح خارجی تیره تأثیر جهت به حداکثر خود برسد. چرا که سطح سفید بیش تر انرژی دریافتی مستقیم را انعکاس می‌دهد. پس نتیجه می‌گیریم که با استفاده از رنگ‌های مختلف در سطوح خارجی دیوارهای یک ساختمان می‌توان اثرات گرمایی تابش آفتاب در هوای داخل آن را کنترل نمود). با توجه به اینکه دوره ماه‌های سرد در شهر زنجان بیش تر از دوره ماه‌های گرم می‌باشد لذا هدف این پژوهش تعیین موقعیت بهینه قرارگیری ساختمان‌ها با هدف کسب حداکثر انرژی خورشیدی در فصل سرد در شهر زنجان می‌باشد تا در مواقع سرد سال حداکثر انرژی خورشید به نمای اصلی ساختمان بتابد.

در جدول شماره (۲) تغییرات دمای دو ساعته زنجان با استفاده از آمار ایستگاه سینوپتیک زنجان استخراج شده است. با استفاده از تغییرات دمای دو ساعته هر ماه و محدوده‌های آسایش حرارتی برای انسان، ماه‌های نیاز به گرما و سرما مشخص شده است. با توجه به

اینکه دمای آسایش برای انسان بین ۱۸ تا ۲۲ درجه است بیش تر ایام در شهر زنجان نیاز به ورود انرژی خورشید به داخل ساختمان است.

جدول شماره ۲- تغییرات دمای ساعتی زنجان در فواصل زمانی دو ساعته (میانگین ماهانه)

ساعت	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژولای	اگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
۲	-۶	-۶	-۱/۵	۴	۸	۱۲	۱۵/۵	۱۷	۱۳/۵	۸/۵	۴	-۱/۵
۴	-۶/۵	-۷	-۲	۳	۷	۱۱	۱۵	۱۶	۱۲	۷/۵	۲/۵	-۲/۵
۶	-۵/۵	-۷/۵	-۲/۵	۲/۵	۶/۵	۱۰	۱۴	۱۵	۱۱/۵	۶/۵	۲	-۳
۸	-۱/۵	-۶/۵	-۱/۵	۳/۵	۷/۵	۱۱/۵	۱۵/۵	۱۶/۵	۱۲/۵	۸/۵	۳/۵	-۲
۱۰	۱/۵	-۱/۵	۳/۵	۹/۵	۱۴/۵	۱۹/۵	۲۴	۲۵	۲۰/۵	۱۵/۵	۹/۵	۳
۱۲	۳	۱/۵	۶/۵	۱۳/۵	۱۸/۵	۲۴/۵	۲۹	۲۹/۵	۲۵	۲۰	۱۲/۵	۵/۵
۱۴	۲	۳	۸	۲۵	۲۰/۵	۲۶/۵	۳۱/۵	۳۲	۲۷	۲۲/۵	۱۴/۵	۷/۵
۱۶	-۰/۵	۲	۷/۵	۱۴	۱۹/۵	۲۵/۵	۳۰	۳۰/۵	۲۶	۲۱	۱۳/۵	۶/۵
۱۸	-۲/۵	-۰/۵	۴/۵	۱۱	۱۶	۲۱/۵	۲۶	۲۷	۲۲/۵	۱۷/۵	۱۰/۵	۴
۲۰	-۴	-۳	۱/۵	۸	۱۲/۵	۱۷	۲۱/۵	۲۲/۵	۱۸	۱۳/۵	۷/۵	۱/۵
۲۲	-۵	-۴/۵	۰/۵	۶/۵	۱۰/۵	۱۵	۲۰	۲۰/۵	۱۶	۱۱/۵	۶	۰
۲۴	-۵	-۵/۵	-۰/۵	۵	۹/۵	۱۳/۵	۱۷/۵	۱۸/۵	۱۴/۵	۹/۵	۴/۵	-۱

مآخذ: آمار ایستگاه هواشناسی زنجان

برای محاسبه انرژی حرارتی خورشیدی حاصل در سطوح مختلف روش نمودار اولگی (دیگرام تابشی) و روش‌های محاسباتی مختلفی وجود دارد که در این پژوهش از روش محاسباتی زیر استفاده شده است.

$$(۱) I_s = I_N \cos \theta$$

در رابطه فوق

$$I_s = \text{شدت تابش بر روی سطح (BTU/H/FT}^2\text{)}$$

$$I_N = \text{شدت تابش خورشید بر روی سطح عمود بر پرتوی خورشید (BTU/H/FT}^2\text{)}$$

$$\theta = \text{زاویه میان شعاع خورشید و خط عمود بر سطح}$$

در رابطه بالا مقدار  $I_N$  از طریق فرمول زیر محاسبه می‌گردد که توسط استیفنسو پیشنهاد

شده است، (کسمایی، ۱۳۷۸)

(۲)



$$I_{DN} = I^0 \exp(-a / \sinh)$$

در این رابطه:

$I_{DN}$  = حرارت حاصل از تابش مستقیم وعمودی آفتاب

$I^0$  = ثابت خورشیدی

$a$  = ضریب خاموشی<sup>۲</sup>

$h$  = زاویه تابش خورشید

همچنین  $\theta$  زاویه تلاقی میان خورشید و خط عمود بر یک سطح عمودی (دیوار) می‌باشد که به وسیله معادله کسینوس کروی معین می‌گردد، (Watson & Labs, 1983)

(۳)

$$\cos(\theta) = \cos(B)(\cos(\psi) - \cos(\phi))$$

در این رابطه:

$B$  = زاویه تابش

$\phi$  = زاویه جهت تابش

$\psi$  = زاویه جهت دیوار که در مسیر عقربه‌های ساعت از طرف شمال و بر حسب درجه اندازه‌گیری می‌شود.

بدین وسیله با استفاده از فرمول‌های ذکر شده مقدار انرژی دریافتی از خورشید در سطح قائم برای ماه‌های مختلف و در ۲۴ جهت جغرافیایی برای شهرزنجان محاسبه گردید. جدول شماره (۳) کل میزان انرژی تابیده شده در سطوح قائم برای کل مواقع سال و ماه-های مختلف آن را نشان می‌دهد.

جدول شماره ۳- میزان انرژی دریافتی در سطوح قائم زنجان (ساعات نظری)  
(BTU/H/FT<sup>2</sup>)

دسامبر	نوامبر	اکتبر	سپتامبر	اگوست	ژوئیه	ژوئن	می	آوریل	مارس	فوریه	ژانویه	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	شمال
-	-	11/69	73/4	81/3	73/7	82/31	۷۱/۳	۱۲/۱۸	-	-	-	+۱۵
-	15/86	75/88	221	269	264	261/2	213/74	۸۳/۵۵	۱۷/۰۴	۱۷/۲	/۹۱	+۳۰
28/9	108/4	187/6	415	459	458	452/7	378/9	۲۱۰/۴۲	۱۰۵/۴۶	۱۰۲/۸۷	۲۴/۹۲	+۴۵
134/7	261/9	329/2	625	642	640	628/7	550/7	۳۷۷/۲۳	۲۵۰/۷۳	۲۵۴/۷	۱۱۲/۴۶	+۶۰
299/1	251/5	471/8	773	791	784	769/2	708/87	۵۴۸/۰۹	۴۳۰/۳۷	۴۵۹/۲۰	۲۶۲/۳۳	+۷۵
503/3	653	600/3	895	879	865	856/3	825/23	۶۹۸/۳۹	۶۲۰	۶۹۰/۱۳	۴۶۵/۶۳	شرق
738/2	868/9	718/1	989	983	902	874/4	903/29	۸۴۳/۸	۸۲۹/۱	۹۳۳/۶۹	۷۰۰/۳۷	+۱۰۵
979/4	1074/5	802/8	1014	958	887	893	926/45	۹۵۳/۷	۱۰۱۳/۱	۱۱۷۶/۲	۹۵۳/۶۲	+۱۲۰
1228/1	1263/1	949/8	1006	873	806	818/7	914/94	۱۰۱۸/۳	۱۱۹۳/۷	۱۴۰۰/۷	۱۲۰۳/۸	+۱۳۵
1473	1434/7	900/5	841	748	685	719/3	857/98	۱۰۷۰/۷	۱۳۵۰	۱۶۰۶/۳	۱۴۴۹/۶	+۱۵۰
1635	1493	931	863	602	538	282/8	783/62	۱۱۱۴/۶	۱۴۸۷/۹	۱۷۶۹/۷	۱۶۲۳/۱	+۱۶۵
1696	1714	1122/7	746	511	434	479/8	736/65	۱۱۴۵/۳	۱۵۴۴/۹	۱۸۶۱	۱۶۸۳/۱	جنوب
1635	1493	931	863	602	538	282/8	783/62	۱۱۱۴/۶	۱۴۸۷/۹	۱۷۶۹/۷	۱۶۲۳/۱	-۱۶۵
1473	1434/7	900/5	841	748	685	719/3	857/98	۱۰۷۰/۷	۱۳۵۰	۱۶۰۶/۳	۱۴۴۹/۶	-۱۵۰
1228/1	1263/1	949/8	1006	873	806	818/7	914/94	۱۰۱۸/۳	۱۱۹۳/۷	۱۴۰۰/۷	۱۲۰۳/۸	-۱۳۵
979/4	1074/5	802/8	1014	958	887	893	926/45	۹۵۳/۷	۱۰۱۳/۱	۱۱۷۶/۲	۹۵۳/۶۲	-۱۲۰
738/2	868/9	718/1	989	983	902	874/4	903/29	۸۴۳/۸	۸۲۹/۱	۹۳۳/۶۹	۷۰۰/۳۷	-۱۰۵
503/3	653	600/3	895	879	865	856/3	825/23	۶۹۸/۳۹	۶۲۰	۶۹۰/۱۳	۴۶۵/۶۳	غرب
299/1	251/5	471/8	773	791	784	769/2	708/87	۵۴۸/۰۹	۴۳۰/۳۷	۴۵۹/۲۰	۲۶۲/۳۳	-۷۵
134/7	261/9	329/2	625	642	640	628/7	550/7	۳۷۷/۲۳	۲۵۰/۷۳	۲۵۴/۷	۱۱۲/۴۶	-۶۰
28/9	108/4	187/6	415	459	458	452/7	378/9	۲۱۰/۴۲	۱۰۵/۴۶	۱۰۲/۸۷	۲۴/۹۲	-۴۵
-	15/86	75/88	221	269	264	261/2	213/74	۸۳/۵۵	۱۷/۰۴	۱۷/۲	/۹۱	-۳۰
-	-	11/69	73/4	81/3	73/7	82/31	71/3	۱۲/۱۸	-	-	-	-۱۵

ماخذ: محاسبات نگارندگان

در این جدول (۳) انرژی به دست آمده بصورت تئوریک بوده و برای واقعی کردن، آن ها را در ضرایب (درصد ساعات آفتابی) ماه های مختلف ضرب نموده تا میزان انرژی بر روی دیوار قائم بصورت واقعی به دست بیاید. در جدول شماره (۴) متوسط ساعات آفتابی و درصد آن از متوسط طول روز محاسبه شده است.

## جدول شماره ۴- درصد ساعات آفتابی در زنجان

دسامبر	نوامبر	اکتبر	سپتامبر	آگوست	ژوئیه	ژوئن	می	آوریل	مارس	فوریه	ژانویه	
۹/۵۷	۱۰/۳۸	۱۱/۳۹	۱۲/۶۴	۱۳/۷۴	۱۴/۴۴	۱۴/۴۴	۱۳/۷۴	۱۲/۶	۱۱/۴۳	۱۰/۳۲	۹/۵۹	متوسط طول روز در عرض جغرافیایی زنجان
۴/۸۴	۶/۱۹	۸/۷۷	۱۰/۶۱	۱۱/۳۱	۱۱/۵۵	۱۱/۱۵	۸/۴۰	۶/۸۳	۶/۴۴	۵/۳۸	۴/۶۱	متوسط ساعات آفتابی
٪۵۰.۵	٪۶۰.۲	٪۷۶.۹	٪۸۳.۹	٪۸۲.۳	٪۷۷.۲	٪۷۷.۲	٪۶۱.۱	٪۵۴.۲	٪۵۴.۳	٪۵۲.۳	٪۴۸	درصد ساعات آفتابی از روز

مآخذ: آمار ایستگاه هواشناسی زنجان

در جدول شماره (۵) پس از طی این مرحله میزان دریافت انرژی با احتساب ضریب درصد ساعات آفتابی محاسبه و واقعی شده است.

جدول شماره ۵- میزان انرژی دریافتی در سطوح قائم زنجان با احتساب ضریب  
(BTU/H/FT<sup>2</sup>)

دسامبر	نوامبر	اکتبر	سپتامبر	آگوست	ژوئیه	ژوئن	می	آوریل	مارس	فوریه	ژانویه	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	شمال
-	-	8/88	50/68	49/61	56/77	63/37	43/51	6/57	-	-	-	+۱۵
-	9/51	57/66	152/77	163/85	203/6	201/12	130/38	45/11	9/54	8/94	/43	+۳۰
14/45	65/06	142/59	286/28	280/07	352/59	348/6	231/14	113/62	59/05	53/49	11/96	+۴۵
67/35	157/15	250/22	431/43	391/91	492/45	484/13	335/94	203/97	140/4	132/44	53/98	+۶۰
149/59	150/91	358/6	533/43	482/46	603/83	592/34	432/41	295/96	241	238/69	125/91	+۷۵
251/69	391/98	456/27	617/36	536/03	666/28	659/4	503/39	377/13	347/21	358/86	223/5	شرق
369/12	521/94	545/8	682/58	599/89	695/04	673/54	551	455/66	464/33	485/51	336/12	+۱۰۵
489/72	644/72	610/12	699/68	584/56	683/25	687/66	565/13	515/04	567/33	611/68	457/73	+۱۲۰
614/06	757/86	721/87	693/88	532/54	621/24	630/42	558/11	549/89	668/47	728/4	557/83	+۱۳۵
736/5	860/83	684/37	580/12	456/33	527/26	553/89	523/36	578/19	756/05	835/28	695/82	+۱۵۰
817/65	863/43	707/61	595/44	367/22	414/36	217/8	478	601/89	833/26	920/27	779/09	+۱۶۵
848/22	1028/4	853/31	514/86	312/1	334/21	369/48	449/35	618/49	865/16	967/76	807/41	جنوب
817/65	863/43	707/61	595/44	367/22	414/36	217/8	478	601/89	833/26	920/27	779/09	-۱۶۵
736/5	860/83	684/37	580/12	456/33	527/26	553/89	523/36	578/19	756/05	835/28	695/82	-۱۵۰
614/06	757/86	721/87	693/88	532/54	621/24	630/42	558/11	549/89	668/47	728/4	557/83	-۱۳۵
489/72	644/72	610/12	699/68	584/56	683/25	687/66	565/13	515/04	567/33	611/68	457/73	-۱۲۰
369/12	521/94	545/8	682/58	599/89	695/04	673/54	551	455/66	464/33	485/51	336/12	-۱۰۵
251/69	391/98	456/27	617/36	536/03	666/28	659/4	503/39	377/13	347/21	358/86	223/5	غرب
149/59	150/91	358/6	533/43	482/46	603/83	592/34	432/41	295/96	241	238/69	125/91	-۷۵
67/35	157/15	250/22	431/43	391/91	492/45	484/13	335/94	203/97	140/4	132/44	53/98	-۶۰
14/45	65/06	142/59	286/28	280/07	352/59	348/6	231/14	113/62	59/05	53/49	11/96	-۴۵
-	9/51	57/66	152/77	163/85	203/6	201/12	130/38	45/11	9/54	8/94	/43	-۳۰
-	-	8/88	50/68	49/61	56/77	63/37	43/51	6/57	-	-	-	-۱۵

(مآخذ: محاسبات نگارندگان)

سپس با استفاده از نتایج حاصل از جداول (۳ و ۵) میزان دریافت انرژی سطوح قائم برای دو دوره سرد و گرم اندازه گیری شده و به تفکیک این دو دوره در جداول (۶ و ۷) ارائه شده است.

جدول شماره ۶- میزان انرژی دریافتی در سطوح قائم زنگان با احتساب ضریب در دوره سرد سال  
(BTU/H/FT<sup>2</sup>)

دسامبر	نوامبر	اکتبر	سپتامبر	اگوست	ژولای	ژوئن	می	آوریل	مارس	فوریه	ژانویه	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	شمال
-	-	8/88	50/68	43/12	56/77	63/37	43/51	6/57	-	-	-	+۱۵
-	9/51	57/66	131/47	121/37	184/68	201/12	130/38	45/11	9/54	8/94	/43	+۳۰
14/45	65/06	142/59	210/02	191/18	306/31	348/6	231/14	113/62	59/05	53/49	11/96	+۴۵
67/35	157/15	250/22	271/09	249/45	408/06	484/13	335/94	203/97	140/4	132/44	53/98	+۶۰
149/59	150/91	343/14	311/73	291/23	483/42	592/34	432/41	295/96	241	238/69	125/91	+۷۵
251/69	391/8	411/61	33/35	312/72	515/63	659/4	503/39	377/13	347/21	358/86	223/5	شرق
369/12	521/94	451/12	331/36	310/52	527/88	658/55	551	455/66	464/33	458/51	336/12	+۱۰۵
489/72	644/72	461/99	305/24	289/01	496/88	657/68	565/13	515/04	567/33	611/68	457/73	+۱۲۰
614/06	758/86	508/34	257/85	318/72	432/58	587/59	558/11	549/89	668/47	728/4	557/83	+۱۳۵
736/5	860/83	389/16	195/51	187/73	336/24	479/1	515/02	578/19	756/05	835/28	695/82	+۱۵۰
817/65	863/43	310/88	117/32	172/93	198/76	116/85	435/02	601/89	833/26	920/27	779/09	+۱۶۵
848/22	1028/4	343/58	26/09	37/48	83/26	167/61	359	618/49	865/16	967/76	807/41	جنوب
817/65	863/43	310/88	117/32	172/93	198/76	116/85	435/02	601/89	833/26	920/27	779/09	-۱۶۵
736/5	860/83	389/16	195/51	187/73	336/24	479/1	515/02	578/19	756/05	835/28	695/82	-۱۵۰
614/06	758/86	508/34	257/85	318/72	432/58	587/59	558/11	549/89	668/47	728/4	557/83	-۱۳۵
489/72	644/72	461/99	305/24	289/01	496/88	657/68	565/13	515/04	567/33	611/68	457/73	-۱۲۰
369/12	521/94	451/12	331/36	310/52	527/88	658/55	551	455/66	464/33	458/51	336/12	-۱۰۵
251/69	391/8	411/61	33/35	312/72	515/63	659/4	503/39	377/13	347/21	358/86	223/5	غرب
149/59	150/91	343/14	311/73	291/23	483/42	592/34	432/41	295/96	241	238/69	125/91	-۷۵
67/35	157/15	250/22	271/09	249/45	408/06	484/13	335/94	203/97	140/4	132/44	53/98	-۶۰
14/45	65/06	142/59	210/02	191/18	306/31	348/6	231/14	113/62	59/05	53/49	11/96	-۴۵
-	9/51	57/66	131/47	121/37	184/68	201/12	130/38	45/11	9/54	8/94	/43	-۳۰
-	-	8/88	50/68	43/12	56/77	63/37	43/51	6/57	-	-	-	-۱۵

(ماخذ: محاسبات نگارندگان)

جدول شماره ۷- میزان انرژی دریافتی در سطوح قائم زنگان با احتساب ضریب در دوره گرم سال  
( BTU/H/FT<sup>2</sup>)

دسامبر	نوامبر	اکتبر	سپتامبر	اگوست	ژولای	ژوئن	می	آوریل	مارس	فوریه	ژانویه	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	شمال
-	-	-	-	6/48	-	-	-	-	-	-	-	+۱۵
-	-	-	21/3	42/48	18/91	-	-	-	-	-	-	+۳۰
-	-	-	76/25	88/89	46/27	-	-	-	-	-	-	+۴۵
-	-	-	160/23	142/45	84/38	-	-	-	-	-	-	+۶۰
-	-	15/45	221/69	191/22	120/4	-	-	-	-	-	-	+۷۵
-	-	44/65	284	223/3	143/72	-	-	-	-	-	-	شرق
-	-	94/68	351/22	289/37	167/15	14/99	-	-	-	-	-	+۱۰۵
-	-	148/12	394/43	295/54	186/37	29/99	-	-	-	-	-	+۱۲۰
-	-	213/53	436/03	213/82	188/65	42/82	-	-	-	-	-	+۱۳۵
-	-	295/2	384/61	268/59	191/02	74/79	8/33	-	-	-	-	+۱۵۰
-	-	396/72	478/11	194/28	194/81	114/95	42/98	-	-	-	-	+۱۶۵
-	-	509/73	488/76	274/61	250/9	201/87	95/22	-	-	-	-	جنوب
-	-	396/72	478/11	194/28	194/81	114/95	42/98	-	-	-	-	-۱۶۵
-	-	295/2	384/61	268/59	191/02	74/79	8/33	-	-	-	-	-۱۵۰
-	-	213/53	436/03	213/82	188/65	42/82	-	-	-	-	-	-۱۳۵
-	-	148/12	394/43	295/54	186/37	29/99	-	-	-	-	-	-۱۲۰
-	-	94/68	351/22	289/37	167/15	14/99	-	-	-	-	-	-۱۰۵
-	-	44/65	284	223/3	143/72	-	-	-	-	-	-	غرب
-	-	15/45	221/69	191/22	120/4	-	-	-	-	-	-	-۷۵
-	-	-	160/23	142/45	84/38	-	-	-	-	-	-	-۶۰
-	-	-	76/25	88/89	46/27	-	-	-	-	-	-	-۴۵
-	-	-	21/3	42/48	18/91	-	-	-	-	-	-	-۳۰
-	-	-	-	6/48	-	-	-	-	-	-	-	-۱۵

(ماخذ: محاسبات نگارندگان)

### نتایج تحقیق:

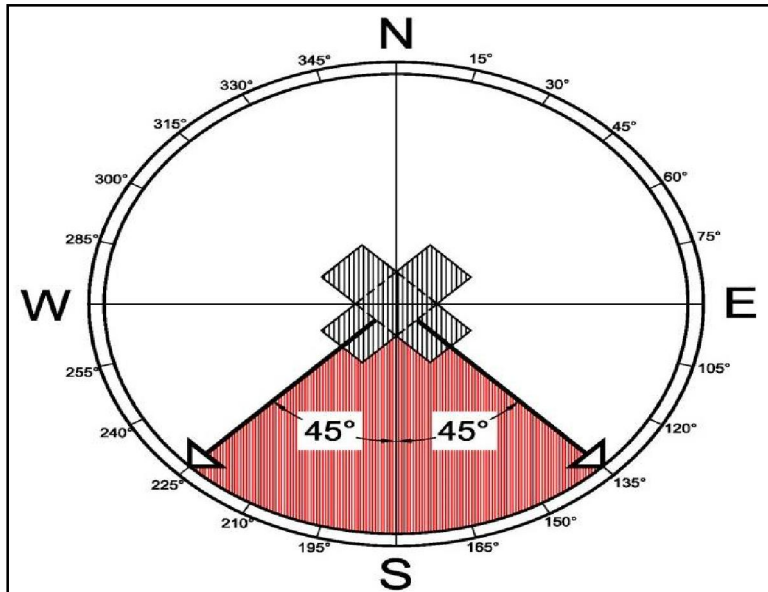
حال با توجه به نتایج جداول (۶ و ۷)، میزان انرژی بر روی دیوار قائم در دوره سرد و گرم و اختلاف بین آن‌ها در جدول شماره (۸) ارائه می‌گردد که بر اساس آن اولویت‌های استقرار ساختمان در جهت‌های مختلف جغرافیایی اولویت بندی شده است.

جدول شماره ۸- تعیین اختلاف دوره سرد و گرم و اولویت بندی

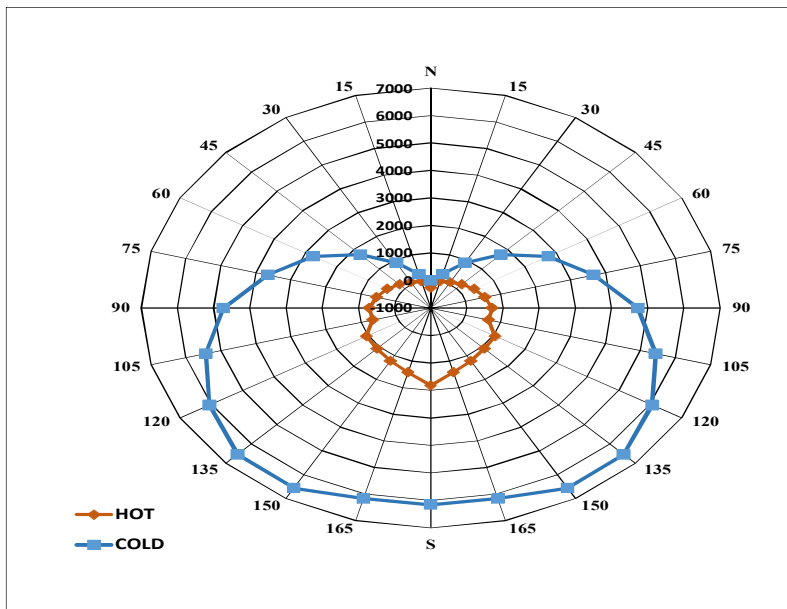
اولویت بندی	اختلاف دوره سرد و گرم	سرد	گرم	جهت
اولویت سیزدهم	0	0	-266.42	شمال
اولویت دوازدهم	266.42	272.9	6.48	جهت ۱۵
اولویت یازدهم	817.52	900.21	82.69	جهت ۳۰
اولویت دهم	1536.06	1747.47	211.41	جهت ۴۵
اولویت نهم	2367.06	2754.12	387.06	جهت ۶۰
اولویت هشتم	3107.57	3656.33	548.76	جهت ۷۵
اولویت هفتم	4064.62	4724.29	695.67	جهت ۹۰
اولویت پنجم	4780	5436.11	656.41	جهت ۱۰۵
اولویت سوم	5007.7	6062.15	1054.45	جهت ۱۲۰
اولویت اول	5445.85	6540.7	1094.85	جهت ۱۳۵
اولویت دوم	5342.89	6565.43	1222.54	جهت ۱۵۰
اولویت چهارم	4754.5	6176.35	1421.85	جهت ۱۶۵
اولویت ششم	4331.3	6152.47	1821.14	جنوب
اولویت چهارم	4754.5	6176.35	1421.85	جهت ۱۶۵-
اولویت دوم	5342.89	6565.43	1222.54	جهت ۱۵۰-
اولویت اول	5445.85	6540.7	1094.85	جهت ۱۳۵-
اولویت سوم	5007.7	6062.15	1054.45	جهت ۱۲۰-
اولویت پنجم	4780	5436.11	656.41	جهت ۱۰۵-
اولویت هفتم	4064.62	4724.29	695.67	جهت ۹۰-
اولویت هشتم	3107.57	3656.33	548.76	جهت ۷۵-
اولویت نهم	2367.06	2754.12	387.06	جهت ۶۰-
اولویت دهم	1536.06	1747.47	211.41	جهت ۴۵-
اولویت یازدهم	817.52	900.21	82.69	جهت ۳۰-
اولویت دوازدهم	266.42	272.9	6.48	جهت ۱۵-
اولویت سیزدهم	0	0	0	شمال

(ماخذ: محاسبات نگارندگان)

نمودار شماره ۱- تغییرات میزان انرژی خورشیدی دریافتی در جهات مختلف در مواقع سرد و گرم را بر روی دیوار قائم نشان میدهد.



نمودار شماره ۲- نمودار مقدار تابش آفتاب در تمام جهات در کل سال



مأخذ: محاسبات نگارندگان

همان گونه که در این جداول مشاهده می‌شود، در کل مواقع سال انرژی خورشیدی دریافت شده بر سطوح مختلف در جهات شرقی و غربی تقارن دارند. بیشترین مقدار انرژی دریافتی در ماه‌های سرد و گرم متعلق به سطوح  $+150$  جنوب شرقی و  $-150$  جنوب غربی بوده و کمترین میزان انرژی دریافتی در ماه‌های گرم و سرد متعلق به  $+15$  و  $-15$  شمال شرقی و غربی می‌باشد. لیکن این جهت‌ها در رابطه با کسب انرژی خورشیدی در مواقع سرد و گرم عملکرد متفاوتی دارند. جهات  $+135$  جنوب شرقی و  $-135$  جنوب غربی بیشترین میزان اختلاف انرژی دریافتی در ماه‌های گرم و سرد سال را دارند. بر طبق نمودار شماره (۱) جهات جنوبی بیشترین مقدار انرژی را در مواقع گرم سال و جهات شمالی کمترین مقدار را در مواقع سرد دریافت می‌کنند. لذا با توجه به ضابطه تعیین شده برای انتخاب بهترین جهات استقرار ساختمان در شهر زنجان به منظور دریافت بیشترین میزان انرژی خورشید، جهت جنوب شرقی و جنوب غربی جهت ایتیمم و جهات  $15$  الی  $45$  درجه شمال شرقی و غربی جزو جهات قابل قبول از نظر دریافت نکردن انرژی می‌باشند. با توجه به نتایج حاصل از جدول شماره (۸) و نمودار شماره (۱)، دو جهت با زاویه آزیموت  $135$  درجه و  $225$  درجه بهترین جهت استقرار ساختمان به منظور دریافت بهینه میزان انرژی خورشیدی در سطوح قائم در شهر زنجان می‌باشد.

### نتیجه گیری:

شهر زنجان با توجه به قرار گرفتن در عرض جغرافیایی بالا ( $36$  درجه شمالی)، ارتفاع  $1600$  متر از سطح دریا و داشتن دوره سرد طولانی و دوره گرم کوتاه، دارای موقعیت جغرافیایی خاص می‌باشد. در شهر زنجان با توجه به اهمیت کسب حداکثر انرژی خورشیدی در فصل سرد سال، ساختمان‌ها باید به نحوی طراحی گردند که در مواقع سرد سال بیشترین میزان انرژی خورشیدی را از سطوح قائم دریافت کنند. لذا جهت‌گیری ساختمان باید بر اساس این باشد که در دوره سرد بیشترین میزان انرژی و در دوره گرم کمترین میزان انرژی توسط جداره‌ها دریافت شود. در این مقاله برای محاسبه انرژی حرارتی خورشیدی در سطوح مختلف از روش محاسباتی قانون کسینوس و اطلاعات اقلیمی ایستگاه سینوپتیک شهر زنجان برای دوره  $40$  ساله ( $1348-1388$ ) استفاده شده است. با استفاده از قانون کسینوس مقدار انرژی دریافتی از خورشید (بصورت تئوریک و واقعی) در سطوح قائم برای ماه‌های مختلف و در  $24$  جهت



جغرافیایی برای شهر زنجان محاسبه گردید. پس از محاسبه میزان انرژی دریافتی سطوح قائم در کل سال و در دوره ماه‌های سرد و گرم سال نتایج زیر حاصل گردید:

- سطوح قائم  $150^{\circ}$  جنوب شرقی و  $150^{\circ}$  جنوب غربی بیشترین میزان انرژی و سطوح قائم  $15^{\circ}$  و  $15^{\circ}$  شمال شرقی و غربی کمترین میزان انرژی را در طول ماه‌های سرد و گرم سال دریافت می‌کنند.
- بیشترین اختلاف انرژی دریافتی در دوره گرم و سرد سال مربوط به سطوح قائم در جهات  $135^{\circ}$  + درجه جنوب شرقی و  $135^{\circ}$  - درجه جنوب غربی می‌باشد.
- به منظور دریافت بهینه مقدار انرژی خورشید در شهر زنجان، بهترین اولویت جهت استقرار ساختمان زاویه آزمون  $135^{\circ}$  درجه و  $225^{\circ}$  درجه می‌باشد.

## منابع و مأخذ:

- ۱- برزگر، زهرا و حیدری، شاهین، بررسی تاثیر تابش دریافتی خورشید در بدنه های ساختمان بر مصرف انرژی بخش خانگی، نشریه هنرهای زیبا- معماری و شهرسازی، دوره ۱۸، شماره ۱، بهار ۱۳۹۲
- ۲- حسین آبادی، سعید و همکاران، طراحی اقلیمی ساختمان های مسکونی شهر سبزوار با تاکید بر جهت گیری ساختمان و عمق سایبان، جغرافیا و توسعه، شماره ۲۷، تابستان ۱۳۹۱
- ۳- حیدری، محمد جواد و همکاران، ارزیابی زیست اقلیم انسانی شهر زنجان و نقش آن در طراحی مسکن، فصلنامه نگرش های نو در جغرافیای انسانی، سال چهارم، شماره دوم، بهار ۱۳۹۱
- ۴- ریاضی، جمشید، اصول محاسبه انتقال حرارت در اجزای ساختمانی، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، نشریه شماره ۲۱۱.
- ۵- سبز پوشانی، مجید و همکاران، بررسی تاثیر جهت گیری، جنس و رنگ جداره بیرونی ساختمان بر حرارت اکتسابی از خورشید، پنجمین همایش بهینه سازی مصرف سوخت در ساختمان، تهران ۱۳۸۵
- ۶- عدل، احمد حسین، تقسیمات اقلیمی و رستنی های ایران، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۳۹.
- ۷- عزیزی، قاسم، تغییر اقلیم، نشر قومس، ۱۳۸۳
- ۸- علیجانی، بهلول، نگرشی نو در کاربرد آب و هوا در مدیریت منابع و توسعه کشور (نقش آب و هوا در طراحی مسکن)، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۳۵، ۱۳۷۴
- ۹- قبادیان، وحید و مهدوی محمد فیض، طراحی اقلیمی (اصول نظری و اجرایی کاربرد انرژی در ساختمان)، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ چهاردهم، ۱۳۹۱
- ۱۰- قیابکلو، زهرا، تنظیم شرایط محیطی، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر، چاپ هشتم، ۱۳۹۳
- ۱۱- کاویانی، محمدرضا، بررسی زیست اقلیم انسانی ایران، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۲۸، ۱۳۷۲.
- ۱۲- کسمایی، مرتضی، پهنه بندی اقلیمی ایران مسکن و محیط های مسکونی، انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، تهران، ۱۳۷۲. کسمایی، مرتضی، اقلیم و معماری، انتشارات شرکت خانه سازی ایران، ۱۳۶۳

۱۳- لشکری، حسن، موزومی، سارا، سلکی، هیوا و لطفی، کورش، بهینه سازی جهت گیری بناهای ساختمانی در شهر اهواز بر اساس شرایط اقلیمی، جغرافیای طبیعی، سال چهارم، شماره ۱۲، تابستان ۱۳۹۰

- 14- Barzegar.z., et al, 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, vol.22,no.2,2012
- 15- Santos,j.p., et al, The effect of solar orientation in energy consumption for climate office building located in the city of santamaria, 28 th conference opportunities,limits & needs towards an environmentally responsible architecture,lima peru,2012
- 16- <http://nigc-zanjan.blogfa.com>
- 17- <http://www.zedc.ir>