

The Angles of Building Orientation for Solar Energy Use; a Case Study of Tehran City, Iran

ARTICLE INFO

Article Type

Original Research

Authors

Akbari H.^{*1} PhD,
Hosseini Nezhad FS.² PhD

How to cite this article

Akbari H, Hosseini Nezhad FS. The Angles of Building Orientation for Solar Energy Use; a Case Study of Tehran City, Iran. Geographical Researches. 2019;34(3):427-436.

¹Department of Architecture, Faculty of Engineering, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran

²Department of Urban Planning, Faculty of Urban and Regional Planning, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

*Correspondence

Address: Faculty of Engineering, Mohaghegh Ardabili University, University Street, Ardabil, Iran. Postal Code: 13131-56199
Phone: +98 (45) 33519985
Fax: +98 (45) 33512904
h.akbari.arc@gmail.com

Article History

Received: May 4, 2019
Accepted: August 17, 2019
ePublished: October 2, 2019

ABSTRACT

Aims & Backgrounds One of the approaches to reduce fossil fuel consumption and their pollution in cities, is to pay attention to the climatic conditions and ecosystems of the region and to use renewable energy in architecture and the design of buildings. This subject in the case for Tehran metropolis is more important, due to the high concentration of population and the activity and, consequently, the great amount of constructions. The aim of this research is to determine the optimal building orientations through surveying the amount of direct radiation energy, received by vertical surfaces of buildings in Tehran city.

Methodology The research method is descriptive-analytical and quantitative computational models have been used. In order to achieve this goal, taking into account the azimuth and the height of the sun at different times of the year, the "Law of cosines" computational method and Q-BASIC software were applied to compute and analyze the amount of received direct energy on vertical surfaces of buildings in all months of the year and in 24 geographic directions. The most suitable direction for building orientation is determined through the maximum difference between the amount of energy in cold and hot periods or the highest percentage of radiation received in the cold period.

Findings Based on the results of the research, the maximum annual amount of received solar energy in the city of Tehran belongs to the 150 degree South-East and West, and the lowest annual amount of energy is related to the walls facing the North; In order to get optimal solar energy, the directions of 150 degrees South-East to 210 degrees South-West are among the acceptable orientations (first to third priority). The best orientation for one-way buildings in Tehran is 180 degrees South.

Conclusion The best orientation for two-way buildings is the North-South direction and for four-sided buildings are (0, 180, 90, -90) degrees.

Keywords Optimal Building Orientation; Vertical Surfaces; Solar Energy; The "Law of Cosines"

CITATION LINKS

[Angstrom; 1924] Solar and terrestrial ...; [Ashra; 1995] Handbook of heating, ventilating and air-conditioning ...; [Bakirci; 2009] Models of solar radiation with hours of bright sunshine: A ...; [Barzegar, et al; 2012] Evaluation of the effect of building-orientation on achieved solar ...; [Barzegar & Heidari; 2013] Investigation of the effects of building envelopes received ...; [Coppolino; 1990] Validation of a very simple model for computing global solar radiation in ...; [Duffie & Beckman; 2006] Solar engineering of thermal ...; [Energy Balance Sheet of Iran; 2016] Energy Balance Sheet of ...; [Farajzadeh & Abbasi; 2012] Optimization of the direction of buildings of Qir town in ...; [Fazeli & Heidari; 2013] Optimization of energy consumption in ...; [Ganji; 1955] Iran's climatic ...; [Gueymard; 2000] Prediction and performance assessment of mean hourly global ...; [Habibi Khameneh & Mohammadi; 2014] The study of architecture of Tehran ...; [Hedayatian & Goodarzi; 2016] Optimizing the orientation of the open spaces and ...; [Hosseini, et al; 2012] Climate design of buildings in Sabzevar with an emphasis on ...; [IRIMO; 2018] IRIMO Islamic Republic of Iran Meteorological Office, Data Center, ...; [Karbalae doree & Hejazi Zadeh; 2017] Optimizing building orientation establishment in the city of Kashan ...; [Kasmai M; 2002] Climate ...; [Kheirabadi, et al; 2017] The role of urban spaces physical orientation on the extent of climate comfort of ...; [Lashkari, et al; 2011] Optimizing buildings orientation in Ahvaz ...; [Lashkari, et al; 2012] Optimization of the direction of buildings in ...; [Maghrabi; 2009] Parameterization of simple model to estimate monthly global solar ...; [Mondol, et al; 2008] Solar radiation modelling for the simulation of ...; [Neuwirth; 1980] The estimation of global and sky radiation in ...; [Paltridge & Proctor; 1976] Monthly mean solar radiation statistics for ...; [Prescott; 1940] Evaporation from a water surface in relation ...; [Sabbagh, et al; 1977] Estimation of the total solar radiation from ...; [Samimi; 1994] Estimation of height-dependent solar irradiation and application to ...; [Shafiei, et al; 2014] The appropriate form of tall building for ...; [Sozen, et al; 2004] Estimation of solar potential in Turkey by artificial neural ...; [Watsoz & Labs; 1983] Climate design: Energy efficient ...; [Wu, et al; 2007] Methods and strategy for modeling daily ...; [Zamani, et al; 2016] Best orientation determination of buildings in ...; [Zheng, et al; 2010] Developing a fuzzy analytic hierarchical process model for ...

زوایای قرارگیری ساختمان برای بهره‌مندی از انرژی تابشی خورشیدی؛ مطالعه موردی شهر تهران

حسن اکبری^{*} PhD

گروه معماری، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

فاطمه سادات حسینی‌نژاد PhD

گروه شهرسازی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

چکیده

اهداف و زمینه‌ها: یکی از راهکارهای کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی و آلودگی‌های ناشی از آن در شهرها، توجه به شرایط اقلیمی و زیست‌بوم منطقه و بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر در معماری و طراحی ساختمان‌هاست؛ این موضوع در خصوص کلانشهر تهران به دلیل تمرکز بالای جمعیت و فعالیت و به تبع آن، فراوانی بالای ساخت و ساز دارای اهمیت بیشتری است. هدف این پژوهش، تعیین جهت‌های بهینه استقرار ساختمان‌ها، از طریق بررسی میزان انرژی دریافتی مستقیم سطوح قائم ساختمان‌ها در شهر تهران بود.

روش‌شناسی: روش تحقیق توصیفی-تحلیلی بوده و از مدل‌های محاسباتی کمی استفاده شده است. برای تعیین بهترین جهت استقرار ساختمان، اولویت‌های استقرار و جهت‌گیری به لحاظ دریافت تابش آفتاب، ابتدا زاویه آزیموت و ارتفاع خورشید در ساعات مختلف رو با از نرم‌افزار Q-BASIC استخراج گردید. سپس با روش محاسباتی قانون کسینوس، میزان انرژی تابیده شده در هر ساعت از روز بر روی دیوارهای قائم در ۲۴ جهت مختلف جغرافیایی محاسبه گردید. در نهایت مناسب‌ترین جهت استقرار ساختمان‌های یک، دو و چهارطرفه براساس بیشترین درصد دریافت تابش در دوره سرد و بیشترین مقدار اختلاف بین دوره سرد و گرم تعیین گردید.

یافته‌ها: بیشترین مقدار انرژی دریافتی سالانه در شهر تهران متعلق به سطوح ۱۵۰ درجه جنوب‌شرقی و غربی و کمترین میزان انرژی دریافتی سالانه نیز مربوط به سطوح رو به شمال بود. جهات ۱۵۰ درجه جنوب شرقی تا ۲۱۰ درجه جنوب‌غربی جزو جهات قابل‌قبول از نظر دریافت بهینه انرژی خورشید بود. بهترین جهت استقرار برای ساختمان‌های یک‌طرفه در شهر تهران، جهت ۱۸۰ درجه جنوب بود. **نتیجه‌گیری:** بهترین جهت استقرار برای ساختمان‌های دوطرفه، جهت شمال-جنوب و برای ساختمان‌های چهارطرفه جهات ۰، ۱۸۰، ۹۰، ۹۰- درجه است.

کلیدواژه‌ها: جهت‌گیری بهینه ساختمان، سطوح قائم، انرژی خورشیدی، قانون کسینوس

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۵/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۵/۲۵

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

مقدمه

با افزایش رشد شهرنشینی در دهه‌های اخیر و استفاده بی‌رویه از سوخت‌های فسیلی و انرژی‌های تجدیدناپذیر، نیاز به کنترل و بهینه‌سازی مصرف انرژی و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در ساخت‌وسازها بیشتر از گذشته مورد توجه طراحان و برنامه‌ریزان شهری قرار گرفته است. مصرف انرژی در شهرها به سه بخش ساختمان، حمل و نقل و صنعت طبقه‌بندی می‌گردد، این در حالی است که بخش ساختمان، یک سوم کل انرژی جهانی را مصرف می‌کند [Zheng et al, 2010]. مطابق داده‌های ترانزنامه انرژی

ایران در سال ۱۳۹۴، سهم بخش ساختمان (خانگی، عمومی و تجاری) از کل مصرف نهایی انرژی در کشور، نزدیک به ۵/۶٪ است [Energy Balance Sheet of Iran, 2015]. میزان مصرف انرژی‌های فسیلی در شهر تهران بسیار بالا است. میزان مصرف برق در سال ۱۳۸۸ در شهر تهران در مجموع ۳۰۹۶۶ میلیون کیلووات ساعت و میزان گاز مصرفی ۲۹۷۶۶ میلیون مترمکعب است.

روشن است ۳۷/۱٪ مصرف برق و ۹۳٪ مصرف گاز در شهر تهران مربوط به بخش خانگی است همچنین ۱۰/۵٪ از کل حامل‌های انرژی کشور در شهر تهران مصرف می‌شود [Fazeli & Heidari, 2013]. لذا در شهری مانند تهران به‌عنوان بزرگترین مصرف‌کننده انرژی در کشور، بهینه‌سازی و کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی به ویژه در بخش ساختمان (خانگی، عمومی و تجاری) یک ضرورت است. این امر از طریق طراحی ساختمان‌ها و فضاهای شهری سازگار با اقلیم و بهره‌مند از انرژی‌های تجدیدپذیر از جمله انرژی خورشیدی، قابل دستیابی است.

به منظور بررسی تاثیر جهت و راستای استقرار فضاهای شهری و معماری بر میزان دریافت انرژی تابشی و تعیین جهت بهینه و سازگار با اقلیم در شهرهای مختلف ایران مطالعات اندکی صورت گرفته است. /ولگی با استفاده از مقاله تابش انرژی خورشیدی و دیاگرام موقعیت خورشید، روشی را برای محاسبه میزان انرژی تابشی مستقیم خورشید در هر ساعت از روز بر سطوح ساختمان ارائه داد [Kasmaei, 2002]. در بررسی تاثیر تابش دریافتی خورشید ساختمان بر مصرف انرژی بخش خانگی در شهر شیراز، نتایج تحقیق نشان می‌دهد خانه‌های با جهت‌گیری اقلیمی در راستای جنوب‌شرقی و شمال‌غربی از نظر میزان دریافت انرژی و مصرف شرایط مناسب هستند [Barzegar & Heydari, 2012, 2013].

در بهینه‌سازی جهت‌گیری بناهای ساختمانی در شهر اهواز براساس شرایط اقلیمی نتایج نشان می‌دهد جهات بهینه استقرار ساختمان، جهت ۴۵ درجه و جهات قابل‌قبول ۳۰ درجه و ۱۵۰+ درجه شمالی از مبدا جنوب است [Lashkari et al, 2011]. در بررسی طراحی اقلیمی ساختمان‌های مسکونی شهر سبزوار با تأکید بر جهت‌گیری

و عمق سایبان نتایج نشان می‌دهد که جهت ۱۵ درجه و ۳۰ درجه شرقی در ساختمان‌های یک‌طرفه و جهت (۱۶۵، ۱۵-) و شمالی-جنوبی در ساختمان‌های دوطرفه بهترین جهت‌های قرارگیری با توجه به تابش آفتاب برای سبزوار است [Hossein Abadi et al, 2012]. در تعیین جهت‌های مناسب استقرار ساختمان به منظور دریافت بهینه تابش خورشیدی در شهر زنجان نتایج نشان می‌دهد که بیشترین میزان انرژی دریافتی سطوح قائم مربوط به ۱۵۰ درجه جنوب‌شرقی و غربی است. همچنین بهترین جهت استقرار ساختمان به منظور دریافت بهینه انرژی خورشید در دوره‌های سرد و گرم سال جهت‌های ۱۳۵ درجه و ۲۲۵ درجه است [Zamani et al, 2016].

در مقاله بهینه‌سازی جهت ساختمان‌های شهر قیر در رابطه با تابش آفتاب با استفاده از روش روابط کسینوس، جهات ۱۵۰ تا ۱۶۵ جنوب‌شرقی را برای ساختمان‌های یک‌طرفه و جهت (۱۶۵، ۱۵-) در

نقاط جهان در دسترس نیست و لازم است با استفاده از مدل‌های نظری برآورد گردد [Mondol et al, 2008]. برآورد مقدار کل انرژی تابشی دریافتی بر روی یک سطح افقی به عوامل زیادی از جمله عوامل نجومی، هندسی، جغرافیایی و هواشناسی بستگی دارد، که برای بهبود هرچه بهتر برآورد مقدار کل انرژی تابشی دریافتی، تأثیر هر کدام از این عوامل را باید مورد بررسی قرار داد. مدل‌های محاسباتی مختلفی برای برآورد شدت تابش خورشید در یک نقطه از سطح زمین بر حسب عواملی هم‌چون نسبت آفتاب‌گیری [Angstrom, 1924; Prescott, 1940; Duffie & Beckman, 2006]، ساعات آفتابی، دمای ماکزیمم و رطوبت نسبی [Sabbagh et al, 1977]، زاویه ارتفاع خورشید و ضریب آفتاب‌گیری [Coppolino, 1990]، ارتفاع از سطح دریا [Samimi, 1994]، نسبت آفتاب‌گیری، عرض جغرافیایی، رطوبت نسبی و دما [Neuwirth, 1980]، ضریب ابر و زاویه زینت خورشید [Paltridge & Proctor, 1976]، عرض جغرافیایی، ارتفاع، ماه، ساعات آفتابی و میانگین دما [Sozen et al, 2004]، ساعات آفتابی، بارش، دمای نقطه شبنم، رطوبت نسبی، دما و فشار هوا [Bakirci, 2009; Maghrabi, 2009; Wu et al, 2007] پیشنهاد شده است.

براساس تحقیقات انجام شده، مهمترین پارامترهای لازم جهت محاسبه میزان انرژی مستقیم دریافتی سطوح عمودی و تعیین زاویه بهینه استقرار ساختمان شامل زاویه آیموت، زاویه ارتفاع خورشید، زاویه زینت، زاویه ساعتی، زاویه مدار میل، زاویه استقرار سطوح قائم، طول روز، ساعات آفتابی و تغییرات دمای ساعتی است. با توجه به اینکه این پارامترها براساس هر عرض جغرافیایی و اقلیم متفاوت هستند. لذا لازم است میزان انرژی تابشی دریافتی سطوح قائم در اکثر شهرهای ایران به ویژه در مناطقی با شرایط اقلیمی خاص محاسبه گردد. هم‌چنین در گزارشات مرتبط با موضوع بررسی اقلیم در طرح جامع شهر تهران، شامل گزارش هواشناسی و اقلیم (جلد ۱-۵) و مطالعات محیط زیست طرح جامع تهران- کلیات و ویژگی‌های محیطی وضع موجود (جلد اول)، فاکتورهای بسیار محدود اقلیمی همچون دما، بارش، تبخیر و نم نسبی مورد مطالعه قرار گرفته است و هیچ‌گونه مطالعه و ضابطه‌ای مبنی بر جهت‌گیری بهینه استقرار ساختمان براساس شرایط اقلیمی شهر تهران ارائه نشده است.

لذا این تحقیق بر آن است تا با محاسبه میزان انرژی مستقیم دریافتی سطوح قائم ساختمان‌ها در جهت‌های مختلف جغرافیایی، بهترین جهت‌های استقرار از نظر دریافت انرژی را برای ساختمان‌های یک، دو و چهارطرفه (نمای اصلی) در شهر تهران تعیین نماید.

روش‌شناسی

روش این تحقیق به صورت توصیفی- تحلیلی بوده و در آن از مدل‌های محاسباتی کمی استفاده شده است. به منظور تعیین بهترین جهت برای استقرار ساختمان و تعیین اولویت‌های استقرار

درجه برای ساختمان‌های دوطرفه پیشنهاد شده است [Farajzadeh & Abbasi, 2012]. در بهینه‌سازی جهت‌گیری فضاهای آزاد و بناهای ساختمانی اقلیم سرد با تأکید بر تابش آفتاب در شهر بروجرد نتایج نشان داد که بهترین جهت‌های استقرار ساختمان در بروجرد، جهت‌های جنوبی- شمالی و بعد از آن جهت ۱۵ درجه غربی است و بهترین جهت استقرار معابر راستای جنوب‌غربی- شمال‌شرقی است [Hedayatian & Goodarzi, 2016]. در بهینه‌سازی جهت‌گیری استقرار ساختمان در شهر کاشان براساس شرایط اقلیمی نتایج نشان می‌دهد که ایده‌آل‌ترین جهت برای نمای اصلی ساختمان‌های یک‌طرفه جهت ۱۸۰ درجه جنوب است. جهت مناسب برای ساختمان‌های دوطرفه مربوط به جهت شمال- جنوب و برای ساختمان‌های چهارطرفه جهت (۶۰، ۱۲۰، ۱۵۰، ۳۰-) درجه است [Karbalaee doree & Hejazi Zadeh, 2017]. در مطالعه معماری ساختمان‌های شهر تهران براساس عناصر اقلیمی (منطقه ۵ شهرداری) نتایج نشان می‌دهد که جهت تأمین آسایش حرارتی، مناسب‌ترین جهت استقرار ساختمان جهت شمالی- جنوبی با کشیدگی در راستای شرقی- غربی است [Habibi Khameneh & Mohammadi, 2014]. در بررسی فرم مناسب ساختمان بلند برای دریافت انرژی تابشی در تهران، براساس اطلاعات آب و هوایی تهران جهت‌گیری بهینه حدود ۵ درجه جنوب‌شرقی تعیین شده است [Shafiei et al, 2014]. در بررسی بهینه‌سازی جهت‌گیری بناهای ساختمانی در شهر سقز براساس شرایط اقلیمی نتایج نشان می‌دهد به منظور بهره‌مندی بهینه از انرژی خورشیدی بهترین جهت استقرار بناها جهت جنوب‌شرقی با کشیدگی در راستای شرقی- غربی است. هم‌چنین بهترین جهت برای ساختمان‌های دوطرفه جهت (۷۵، ۱۰۵-) درجه است [Lashkari et al, 2012]. در بررسی نقش جهت‌گیری کالبد فضاهای شهری در میزان آسایش اقلیمی شهروندان بندرعباس نتایج نشان می‌دهد که براساس عامل آفتاب‌گیری و باد، جهت شمالی- جنوبی مناسب‌ترین و جهت شرقی- غربی نامطلوب‌ترین جهت‌گیری برای فضاهای باز شهری از نظر اقلیمی است [Kheirabadi et al, 2017]. فصول مختلف سال در نتیجه تغییر حرکت گردشی زمین نسبت به خورشید، از بابت 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 روز تغییر می‌کند. تابش خورشید که به اتمسفر بیرونی می‌رسد، پیش از رسیدن به سطح زمین، در معرض جذب، انعکاس و فرآیند عبور از اتمسفر قرار می‌گیرد [Gueymard, 2000]. برای محاسبه درخصوص سطوح زاویه‌داری که در معرض تابش اشعه آفتاب قرار دارند، لازم است اجزای پرتو مستقیم و پراکنده شناخته شود. با این حال، به این دلیل که اکثر ایستگاه‌های هواشناسی تنها تابش کلی بر روی سطوح افقی را اندازه‌گیری می‌کنند، توزیع تابش بر روی سطح افقی و تابش کلی بر روی سطوح زاویه‌دار تقریباً برای تمامی

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

در این رابطه ω زاویه ساعتی و T برابر ساعت مورد نظر است. مدار میل خورشید، زاویه انحراف بین تابش خورشید با صفحه استوا است و مقدار آن بین $۲۳/۴۵ +$ و $۲۳/۴۵ -$ درجه تغییر می‌کند و از رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

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

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

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

در این رابطه δ زاویه انحراف زمین (مدار میل) و θ عرض جغرافیایی به درجه است.

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

$$\sin h = (\cos\theta \times \cos\delta \times \cos\omega) + (\sin\theta \times \sin\delta) \quad (۷)$$

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

زاویه سمت یا آزیموت خورشید، زاویه بین تصویر شعاع تابش خورشید بر صفحه افق با راستای شمال بوده و مقدار آن از $۱۸۰ +$ تا $۱۸۰ -$ درجه تغییر می‌کند. این زاویه از سمت جنوب به سمت شرق، مثبت و به سمت غرب، منفی است. زاویه سمت بر اساس رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

$$\sin Z = (\cos\delta \times \sin\theta) / \cosh \quad (۸)$$

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

شهر تهران با عرض جغرافیایی ۳۵° و $۴۱'$ و طول ۵۱° و $۱۹'$ در ارتفاع ۱۱۹۰ متر از سطح دریا و در حد فاصل منطقه کوهستانی و دشت قرار دارد. میانگین بیشینه، کمینه و متوسط سالیانه دمای شهر تهران به ترتیب $۲۲/۷$ ، $۱۱/۹$ و $۱۷/۳$ درجه و متوسط رطوبت نسبی سالیانه ۴۱% است [www.irimo.ir]. براساس تقسیمات اقلیمی کوپن، شهر تهران در منطقه اقلیمی گرم و خشک نیمه بیابانی با علامت اختصاری «BSC» قرار دارد [Ganji, 1955]. همچنین شهر تهران براساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن و با ضریب خشکی $۸/۵$ در منطقه اقلیمی خشک، براساس طبقه‌بندی ایوانف و

و جهت‌گیری به لحاظ دریافت تابش آفتاب، ابتدا زاویه آزیموت و ارتفاع خورشید در ساعات مختلف روز و با استفاده از نرم‌افزار Q-BASIC استخراج گردید. سپس با استفاده از روش محاسباتی قانون کسینوس، میزان انرژی تابیده شده (به صورت نظری و واقعی) در هر ساعت از روز بر روی دیوارهای قائم در ۲۴ جهت مختلف جغرافیایی محاسبه گردید. در نهایت مناسب‌ترین جهت استقرار ساختمان‌های یک، دو و چهارطرفه (نمای اصلی رو به آفتاب) بر اساس بیشترین درصد دریافت تابش در دوره سرد و بیشترین مقدار اختلاف بین دوره سرد و گرم تعیین گردید.

روش محاسبه انرژی تابشی میزان تابش مستقیم خورشیدی تابیده به یک سطح در روی سطح زمین بر اساس رابطه زیر محاسبه می‌گردد [Watson & Labs, 1983].

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

در این رابطه، I_s شدت تابش بر روی سطح بر حسب $(BTU/H/FT^2)$ ، I_N شدت تابش خورشید بر روی سطح عمود بر پرتوی خورشید بر حسب $(BTU/H/FT^2)$ و θ زاویه میان شعاع خورشید و خط عمود بر سطح است. در رابطه بالا مقدار I_N از طریق فرمول زیر محاسبه می‌گردد [Ashrae, 1995; Kasmaei, 2002].

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

در این رابطه، I_{DN} حرارت حاصل از تابش مستقیم و عمودی آفتاب بر حسب $(BTU/H/FT^2)$ ، I° ثابت خورشیدی بر حسب $(BTU/H/FT^2)$ ، α ضریب خاموشی جو [Ashrae, 1995] و h زاویه تابش خورشید بر حسب درجه است. همچنین θ زاویه تلاقی میان خورشید و خط عمود بر یک سطح عمودی (دیوار) است که به وسیله رابطه زیر محاسبه می‌شود [Watson & Labs, 1983].

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

در این رابطه، h زاویه تابش، Z زاویه جهت تابش، N زاویه جهت دیوار که در مسیر عقربه‌های ساعت از طرف شمال و بر حسب درجه اندازه‌گیری می‌شوند. جهت تعیین زاویه آزیموت و تابش خورشید، ابتدا لازم است زاویه ساعتی، زاویه انحراف (مدار میل) و طول روز محاسبه گردد. مبدا اندازه‌گیری زاویه ساعتی ظهر خورشیدی بوده و اندازه این زاویه از $۱۸۰ +$ تا $۱۸۰ -$ متغیر است. مقدار زاویه ساعتی در نیمکره شمالی در قبل از ظهر مثبت و در بعد از ظهر منفی است. با توجه به اینکه در یک ۲۴ ساعت زمین یک مرتبه به دور خود دوران می‌کند لذا در هر ساعت، ۱۵ درجه طول جغرافیایی را طی می‌کند.

زویای قرارگیری ساختمان برای بهره‌مندی از انرژی تابشی خورشیدی؛ مطالعه موردی شهر تهران ۴۳۱
 قرار دارد. جدول ۱ تغییرات دمای دو ساعته و جدول ۲ متوسط طول روز و درصد ساعات آفتابی شهر تهران را نشان می‌دهد.

با ضریب رطوبتی ۳۹٪ در منطقه اقلیمی صحرایی و براساس طبقه‌بندی آمبرژه و با ضریب Q2 برابر ۲۱/۶ در منطقه اقلیمی خشک

جدول ۱) تغییرات دمای ساعتی شهر تهران برحسب درجه سانتی‌گراد [https://energyplus.net]

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

جدول ۲) درصد ساعات آفتابی شهر تهران [www.irimo.ir]

متوسط طول روز	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
متوسط ساعات آفتابی	۵/۸	۶/۳	۶/۶	۷/۲	۹/۳	۱۱/۱	۱۱/۳	۱۱	۹/۸	۸/۵	۶/۵	۵/۵
درصد ساعات آفتابی	۰/۵۸	۰/۵۷	۰/۵۵	۰/۵۵	۰/۶۶	۰/۷۷	۰/۸	۰/۸۴	۰/۸۴	۰/۷۸	۰/۶۵	۰/۵۸

یافته‌ها

با استفاده از روش محاسباتی قانون کسینوس، ابتدا میزان انرژی دریافتی نظری سطوح قائم ساختمان در ساعات مختلف روز و در ۲۴ جهت مختلف جغرافیایی طبق جدول ۳ محاسبه گردید. سپس از حاصل ضرب انرژی دریافتی نظری در درصد ساعات آفتابی ماه‌های مختلف (مندرج در جدول ۲)، میزان انرژی دریافتی واقعی سطوح قائم به دست آمد (جدول ۴).

با استفاده از تغییرات دمای ساعتی و براساس حداقل دمای پایه آسایش، مواقع نیاز به دریافت و عدم دریافت انرژی تابشی مشخص گردید. در نهایت با احتساب ضریب دوره سرد و گرم سال در میزان انرژی دریافتی واقعی، میزان انرژی دریافتی سطوح قائم به تفکیک دوره‌های سرد و گرم سال تعیین و در جدول ۵ و ۶ و شکل ۱ ارایه گردید.

با توجه به نتایج حاصل از جدول ۵ و ۶، میزان انرژی مستقیم دریافتی سطوح قائم ساختمان‌های یک‌طرفه، دوطرفه و چهارطرفه به تفکیک دوره سرد و گرم سال و تفاوت بین آنها به منظور تعیین اولویتهای استقرار ساختمان در جهت‌های مختلف جغرافیایی در جداول ۷، ۸ و ۹ ارایه شده است.

براساس جدول ۷ بیشترین مقدار انرژی مستقیم دریافتی سالیانه در شهر تهران متعلق به سطوح ۱۵۰ درجه جنوب‌شرقی و غربی بوده و کمترین میزان انرژی دریافتی سالیانه نیز متعلق به سطوح رو به شمال است. بیشترین درصد دریافت انرژی در دوره سرد با ۶۰٪ مربوط به ۱۸۰ درجه جنوب و کمترین درصد دریافت نیز با ۱۸/۲٪ مربوط به جهت شمال است. جهت جنوبی بیشترین مقدار انرژی را در مواقع سرد سال و جهت شمالی بیشترین مقدار را در مواقع گرم سال دریافت می‌کنند. دیوار جنوبی با ۲۳۱۰ ساعت تابش‌گیری سالیانه، بیشترین مقدار انرژی را در ماه اکتبر به میزان ۱۴۰۵ بی تی

یو و کمترین مقدار را در ماه ژوئن به میزان ۲۵۵ بی تی یو دریافت می‌کند. دیوار شمالی با ۸۱۴ ساعت تابش‌گیری سالیانه از ماه آوریل تا آگوست، در ساعات اولیه صبح و ساعات غروب انرژی دریافت می‌کند. دیوارهای شرقی و غربی هرکدام با دریافت ۱۶۸۷ ساعت تابش‌گیری سالیانه، بیشترین مقدار انرژی را در ماه آگوست به میزان ۹۰۰ بی تی یو و کمترین مقدار انرژی را در ماه دسامبر به میزان ۲۹۸ بی تی یو دریافت می‌کنند. انرژی دریافتی سطوح قائم از سمت شمال تا ۱۰۵ درجه جنوب‌شرقی و غربی در دوره گرم بیشتر از دوره سرد و برعکس از ۱۲۰ درجه جنوب‌شرقی تا ۲۴۰ درجه جنوب‌غربی در دوره سرد بیشتر از دوره گرم سال است. در دوره سرد میزان انرژی دریافتی دیوار جنوبی دو برابر دیوارهای شرقی و غربی بوده، در حالیکه در دوره گرم مجموع انرژی دریافتی سطوح شمالی و جنوبی نصف مجموع انرژی دریافتی سطوح شرقی و غربی است. جدول ۸ و ۹ میزان انرژی دریافتی سطوح قائم ساختمان‌های دو و چهارطرفه را در شهر تهران نشان می‌دهد.

با توجه به نتایج حاصل از جداول ۸ و ۹، با چرخش هر چه بیشتر سطوح قائم ساختمان‌های دو و چهارطرفه به سمت جنوب شرقی و غربی، میزان انرژی کل و انرژی دریافتی در دوره گرم افزایش و در دوره سرد کاهش می‌یابد. در ساختمان‌های دوطرفه میزان انرژی دریافتی دوره گرم سطوح رو به شرق-غرب حدود دو برابر انرژی دریافتی سطوح رو به شمال-جنوب بوده و بیشترین میزان انرژی دریافتی در دوره سرد با ۵۸٪ مربوط به جهت شمال-جنوب و کمترین میزان انرژی دریافتی با ۴۳/۳٪ مربوط به جهت شرق-غرب است. در ساختمان‌های چهارطرفه، بیشترین درصد دریافت انرژی در دوره سرد با ۴۹/۴٪ مربوط به جهت (۰، ۱۸۰، ۹۰، -۹۰) و کمترین میزان انرژی دریافتی با ۴۸/۵٪ مربوط به جهت (۱۳۵، ۴۵، -۴۵، ۱۳۵) است.

جدول ۳) میزان انرژی دریافتی نظری سطوح قائم ساختمان در شهر تهران (BTU/H/FT²)

جهت	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژولای	اگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
شمال				۴۳/۹	۱۷۱/۷	۲۴۹	۱۶۷/۲	۳۹/۸				
± ۱۵			۲۰/۱	۱۳۴/۱	۴۳۳/۲	۳۳۷/۷	۲۷۲/۷	۱۳۷	۲۲			
± ۳۰		۲۵/۶	۱۱۷	۳۱۸/۱	۴۹۱/۴	۵۵۶/۴	۴۹۱/۸	۳۲۷/۳	۱۲۶/۵	۲۹/۸		
± ۴۵	۳۹/۶	۱۲۲/۳	۲۸۲/۵	۵۳۴/۶	۷۰۰/۸	۷۶۷	۷۰۲/۹	۵۵۱/۵	۳۰۶/۴	۱۴۴/۲	۳۶/۳	۲۳/۱
± ۶۰	۱۶۸/۴	۲۷۸	۴۸۵/۹	۷۳۶	۸۹۲/۳	۹۴۰/۹	۸۹۶/۷	۷۶۰/۹	۵۲۷/۹	۳۲۴/۶	۱۶۲/۶	۱۲۱
± ۷۵	۳۵۶/۷	۴۶۶/۷	۶۹۲/۶	۹۱۶/۵	۱۰۲۲/۹	۱۰۵۰/۷	۱۰۲۹/۶	۹۵۱	۷۵۰/۵	۵۴۱/۸	۳۵۰/۱	۲۹۴/۸
± ۹۰	۵۸۳/۲	۶۶۳/۵	۸۶۸/۹	۱۰۳۴/۶	۱۰۸۳/۹	۱۰۸۸/۹	۱۰۹۲/۴	۱۰۷۶/۲	۹۴۱/۲	۷۶۷/۹	۵۷۷/۴	۵۱۷/۲
± ۱۰۵	۸۴۰/۸	۸۷۴/۲	۱۰۳۵/۸	۱۱۱۷/۴	۱۰۹۴/۲	۱۰۷۱/۶	۱۱۰۴/۵	۱۱۶۵	۱۱۲۰/۵	۱۰۰۶/۸	۸۳۶/۹	۷۷۶/۸
± ۱۲۰	۱۱۰۳/۶	۱۰۶۵	۱۱۴۸/۹	۱۱۲۴/۱	۱۰۲۹/۹	۹۸۱/۲	۱۰۴۱/۳	۱۱۷۴/۴	۱۲۴۲/۶	۱۲۲۳	۱۱۰۳/۱	۱۰۵۲
± ۱۳۵	۱۳۶۱/۱	۱۲۳۵/۳	۱۲۲۰/۱	۱۰۸۳/۳	۸۹۵/۴	۸۲۴	۹۰۷/۴	۱۱۳۶/۴	۱۳۱۷/۲	۱۴۱۴/۹	۱۳۶۶/۷	۱۳۳۹/۸
± ۱۵۰	۱۶۱۹/۴	۱۳۸۸/۴	۱۲۶۵	۹۸۹/۹	۷۲۹/۷	۶۲۶/۳	۷۴۲/۳	۱۰۴۳/۹	۱۳۶۴/۸	۱۵۸۶/۳	۱۶۲۹/۴	۱۶۱۲/۶
± ۱۶۵	۱۸۰۶/۶	۱۵۱۹/۸	۱۲۹۹/۸	۸۸۲/۹	۵۳۹/۴	۴۱۵/۷	۵۵۲/۵	۹۳۶/۶	۱۴۰۴	۱۷۳۶/۳	۱۸۱۷	۱۷۹۸/۶
جنوب	۱۸۷۰/۶	۱۵۷۴/۲	۱۳۲۴/۷	۸۱۷/۶	۴۴۵/۴	۳۲۹/۸	۴۵۸	۸۶۹/۲	۱۴۳۰/۹	۱۷۹۶/۷	۱۸۸۰/۸	۱۸۶۲/۱

جدول ۴) میزان انرژی دریافتی واقعی سطوح قائم با احتساب درصد ساعات آفتابی (BTU/H/FT²)

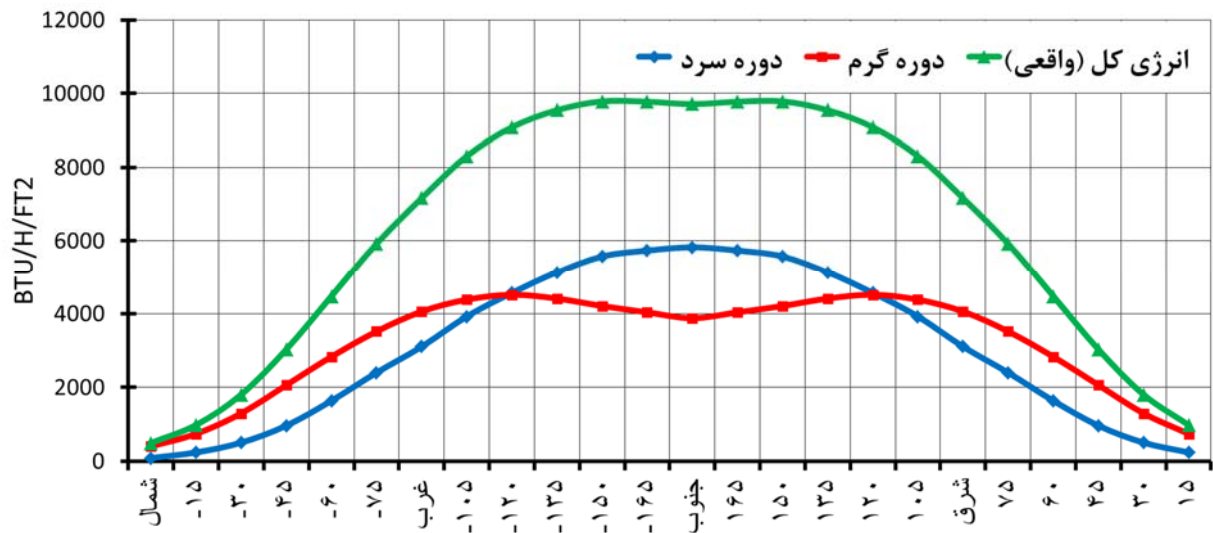
جهت	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژولای	اگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
شمال				۲۳/۹	۱۱۴/۲	۱۹۲/۷	۱۳۴/۵	۳۳/۳				
± ۱۵			۱۱	۷۳/۱	۲۸۷/۹	۲۶۱/۴	۲۱۹/۳	۱۱۴/۶	۱۸/۶			
± ۳۰		۱۴/۶	۶۴/۳	۱۷۳/۴	۳۲۶/۶	۴۳۰/۷	۳۹۵/۶	۲۷۳/۹	۱۰۶/۷	۲۳/۳		
± ۴۵	۲۲/۸	۶۹/۹	۱۵۵/۲	۲۹۱/۵	۴۶۵/۸	۵۹۳/۶	۵۶۵/۴	۴۶۱/۵	۲۵۸/۴	۱۱۲/۸	۲۳/۷	۱۳/۳
± ۶۰	۹۷/۱	۱۵۸/۸	۲۶۷	۴۰۱/۲	۵۳۹/۱	۷۲۸/۲	۷۲۱/۳	۶۳۶/۸	۴۴۵/۱	۲۵۳/۹	۱۰۶	۶۹/۸
± ۷۵	۲۰۵/۷	۲۶۶/۷	۳۸۰/۵	۴۹۹/۷	۶۷۹/۹	۸۱۳/۲	۸۲۸/۲	۷۹۵/۹	۶۳۲/۹	۴۲۳/۷	۲۲۸/۲	۱۷۰
± ۹۰	۳۳۶/۳	۳۷۹/۱	۴۷۷/۳	۵۶۴	۷۲۰/۴	۸۴۲/۸	۸۷۸/۷	۹۰۰/۶	۷۹۳/۶	۶۰۰/۵	۳۷۶/۴	۲۹۸/۳
± ۱۰۵	۴۸۴/۹	۴۹۹/۴	۵۶۹	۶۰۹/۲	۷۲۷/۳	۸۲۹/۴	۸۸۸/۴	۹۷۵	۹۴۴/۹	۷۸۷/۳	۵۴۵/۵	۴۴۸
± ۱۲۰	۶۳۶/۵	۶۰۸/۵	۶۳۱/۲	۶۱۲/۸	۶۸۴/۵	۷۵۹/۴	۸۳۷/۵	۹۸۲/۹	۱۰۴۷/۹	۹۵۶/۴	۷۱۹	۶۰۶/۷
± ۱۳۵	۷۸۵/۶	۷۰۵/۷	۶۷۰/۳	۵۹۰/۶	۵۹۵/۲	۶۳۷/۸	۷۲۹/۸	۹۵۱	۱۱۱۰/۸	۱۱۰۶/۴	۸۹۰/۹	۷۷۲/۷
± ۱۵۰	۹۳۴	۷۹۳/۲	۶۹۵	۵۳۹/۶	۴۸۵	۴۸۴/۸	۵۹۷/۱	۸۷۳/۷	۱۱۵۰/۹	۱۲۴۰/۴	۱۰۶۲/۱	۹۳۰/۱
± ۱۶۵	۱۰۴۱/۹	۸۶۸/۳	۷۱۴/۱	۴۸۱/۳	۳۵۸/۵	۳۲۱/۷	۴۴۴/۴	۷۸۳/۹	۱۱۸۴	۱۳۵۷/۸	۱۱۸۴/۴	۱۰۳۷/۳
جنوب	۱۰۷۸/۹	۸۹۹/۳	۷۲۷/۷	۴۴۵/۷	۲۹۶	۲۵۵/۳	۳۶۸/۴	۷۲۷/۴	۱۲۰۶/۶	۱۴۰۵	۱۲۲۶	۱۰۷۳/۹

جدول ۵) میزان انرژی دریافتی سطوح قائم در دوره سرد سال (BTU/H/FT²)

جهت	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژولای	اگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
شمال				۲۳/۹	۴۲/۲	۲۴/۱						
± ۱۵			۱۱	۷۳/۱	۱۲۰/۹	۳۶/۶						
± ۳۰		۱۴/۶	۶۴/۳	۱۷۳/۴	۱۶۳/۳	۶۸/۹				۲۳/۳		
± ۴۵	۲۲/۸	۶۹/۹	۱۵۵/۲	۲۹۱/۵	۱۹۵/۶	۸۳/۱				۱۱۲/۸	۲۳/۷	۱۳/۳
± ۶۰	۹۷/۱	۱۵۸/۸	۲۶۷	۴۰۱/۲	۲۴۹/۱	۱۰۱/۹				۱۹۰/۴	۱۰۶	۶۹/۸
± ۷۵	۲۰۵/۷	۲۶۶/۷	۳۸۰/۵	۴۹۹/۷	۲۸۵/۶	۱۱۳/۸				۲۵۴/۲	۲۲۸/۲	۱۷۰
± ۹۰	۳۳۶/۳	۳۷۹/۱	۴۷۷/۳	۵۶۴	۲۷۰/۲	۱۰۵/۳				۳۰۰/۳	۳۷۶/۴	۲۹۸/۳
± ۱۰۵	۴۸۴/۹	۴۹۹/۴	۵۶۹	۶۰۹/۲	۲۷۲/۷	۱۰۳/۷				۳۹۳/۷	۵۴۵/۵	۴۴۸
± ۱۲۰	۶۳۶/۵	۶۰۸/۵	۶۳۱/۲	۶۱۲/۸	۲۵۶/۷	۹۴/۹				۴۰۱/۷	۷۱۹	۶۰۶/۷
± ۱۳۵	۷۸۵/۶	۷۰۵/۷	۶۷۰/۳	۵۹۰/۶	۲۲۳/۲	۷۹/۷				۴۱۴/۹	۸۹۰/۹	۷۷۲/۷
± ۱۵۰	۹۳۴	۷۹۳/۲	۶۹۵	۵۳۹/۶	۱۶۰	۵۳/۳				۴۰۹/۳	۱۰۶۲/۱	۹۳۰/۱
± ۱۶۵	۱۰۴۱/۹	۸۶۸/۳	۷۱۴/۱	۴۸۱/۳	۴۴/۸					۳۶۶/۶	۱۱۸۴/۴	۱۰۳۷/۳
جنوب	۱۰۷۸/۹	۸۹۹/۳	۷۲۷/۷	۴۴۵/۷						۳۷۹/۴	۱۲۲۶	۱۰۷۳/۹

جدول ۶) میزان انرژی دریافتی سطوح قائم در دوره گرم سال (BTU/H/FT²)

جهت	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	اگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
شمال					۷۱/۹	۱۶۸/۶	۱۳۴/۵	۳۳/۳				
± ۱۵					۱۶۷	۲۲۴/۸	۲۱۹/۳	۱۱۴/۶	۱۸/۶			
± ۳۰					۱۶۳/۳	۳۶۱/۸	۳۹۵/۶	۲۷۳/۹	۱۰۶/۷			
± ۴۵					۲۷۰/۲	۵۱۰/۵	۵۶۵/۴	۴۶۱/۵	۲۵۸/۴			
± ۶۰					۳۴۴	۶۲۶/۳	۷۲۱/۳	۶۳۶/۸	۴۴۵/۱	۶۳/۵		
± ۷۵					۳۹۴/۴	۶۹۹/۳	۸۲۸/۲	۷۹۵/۹	۶۳۲/۹	۱۶۹/۵		
± ۹۰					۴۵۰/۳	۷۳۷/۴	۸۷۸/۷	۹۰۰/۶	۷۹۳/۶	۳۰۰/۳		
± ۱۰۵					۴۵۴/۵	۷۲۵/۷	۸۸۸/۴	۹۷۵	۹۴۴/۹	۳۹۳/۷		
± ۱۲۰					۴۲۷/۸	۶۶۴/۵	۸۳۷/۵	۹۸۲/۹	۱۰۴۷/۹	۵۵۴/۷		
± ۱۳۵					۳۷۲	۵۵۸/۱	۷۲۹/۸	۹۵۱	۱۱۱۰/۸	۶۹۱/۵		
± ۱۵۰					۳۲۴/۹	۴۳۱/۴	۵۹۷/۱	۸۷۳/۷	۱۱۵۰/۹	۸۳۱/۱		
± ۱۶۵					۳۱۳/۷	۳۲۱/۷	۴۴۴/۴	۷۸۳/۹	۱۱۸۴	۹۹۱/۲		
جنوب					۲۹۶	۲۵۵/۳	۳۶۸/۴	۷۲۷/۴	۱۲۰۶/۶	۱۰۲۵/۷		



شکل ۱) نمودار انرژی تابشی دریافتی (سالانه) در جهات مختلف جغرافیایی در شهر تهران

جدول ۷) میزان انرژی دریافتی سطوح قائم در ساختمان‌های یک‌طرفه در شهر تهران (BTU/H/FT²)

جهت	انرژی کل	دوره سرد	درصد دوره سرد	دوره گرم	درصد دوره گرم	تفاوت دوره سرد و گرم
شمال	۴۹۸/۵	۹۰/۸	۱۸/۲	۴۰۷/۷	۸۱/۸	-۳۱۶/۹
± ۱۵	۹۸۵/۹	۲۴۱/۶	۲۴/۵	۷۴۴/۳	۷۵/۵	-۵۰۲/۶
± ۳۰	۱۸۰۹/۱	۵۰۷/۸	۲۸/۱	۱۳۰۱/۳	۷۱/۹	-۷۹۳/۵
± ۴۵	۳۰۳۳/۸	۹۶۷/۹	۳۱/۹	۲۰۶۵/۹	۶۸/۱	-۱۰۹۸
± ۶۰	۴۴۷۸/۳	۱۶۴۱/۳	۳۶/۷	۲۸۳۶/۹	۶۳/۳	-۱۱۹۵/۶
± ۷۵	۵۹۲۴/۵	۲۴۰۴/۴	۴۰/۶	۳۵۲۰/۱	۵۹/۴	-۱۱۱۵/۸
± ۹۰	۷۱۶۸/۲	۳۱۰۷/۲	۴۳/۳	۴۰۶۰/۹	۵۶/۷	-۹۵۳/۷
± ۱۰۵	۸۳۰۸/۲	۳۹۲۶/۱	۴۷/۳	۴۳۸۲/۱	۵۲/۷	-۴۵۶
± ۱۲۰	۹۰۸۳/۴	۴۵۶۸/۱	۵۰/۳	۴۵۱۵/۴	۴۹/۷	۵۲/۷
± ۱۳۵	۹۵۴۶/۷	۵۱۳۳/۵	۵۳/۸	۴۴۱۳/۲	۴۶/۲	۷۲۰/۴
± ۱۵۰	۹۷۸۵/۸	۵۵۷۶/۷	۵۷	۴۲۰۹/۱	۴۳	۱۳۶۷/۶
± ۱۶۵	۹۷۷۷/۷	۵۷۳۸/۸	۵۸/۷	۴۰۳۸/۹	۴۱/۳	۱۶۹۹/۹
جنوب	۹۷۱۰/۴	۵۸۳۱	۶۰	۳۸۷۹/۴	۴۰	۱۹۵۱/۶

جدول ۸) میزان انرژی دریافتی سطوح قائم در ساختمان‌های دو طرفه در شهر تهران (BTU/H/FT²)

جهت دیوار	انرژی کل	دوره سرد	درصد دوره سرد	دوره گرم	درصد دوره گرم	تفاوت دوره سرد و گرم
شمال- جنوب	۵۱۰۴/۵	۲۹۶۰/۹	۵۸	۲۱۴۳/۶	۴۲	۸۱۷/۳
(+۱۵، -۱۶۵) / (-۱۵، +۱۶۵)	۵۳۸۱/۸	۲۹۹۰/۲	۵۵/۶	۲۳۹۱/۶	۴۴/۴	۵۹۸/۶
(+۳۰، -۱۵۰) / (-۱۵۰، +۳۰)	۵۷۹۷/۵	۳۰۴۲/۳	۵۲/۵	۲۷۵۵/۲	۴۷/۵	۲۸۷
(+۴۵، -۱۳۵) / (-۱۳۵، +۴۵)	۶۲۹۰/۳	۳۰۵۰/۷	۴۸/۵	۳۲۳۹/۵	۵۱/۵	-۱۸۸/۸
(+۶۰، -۱۲۰) / (-۱۲۰، +۶۰)	۶۷۸۰/۸	۳۱۰۴/۷	۴۵/۸	۳۶۷۶/۲	۵۴/۲	-۵۷۱/۵
(+۷۵، -۱۰۵) / (-۱۰۵، +۷۵)	۷۱۱۶/۳	۳۱۶۵/۲	۴۴/۵	۳۹۵۱/۱	۵۵/۵	-۷۸۵/۹
شرق- غرب	۷۱۶۸/۲	۳۱۰۷/۲	۴۳/۳	۴۰۶۰/۹	۵۶/۷	-۹۵۳/۷

جدول ۹) میزان انرژی دریافتی سطوح قائم در ساختمان‌های چهار طرفه در شهر تهران (BTU/H/FT²)

جهت دیوار	انرژی کل	دوره سرد	درصد دوره سرد	دوره گرم	درصد دوره گرم	تفاوت دوره سرد و گرم
(۰، ۱۸۰، ۹۰، -۹۰)	۶۱۳۶/۳	۳۰۳۴/۱	۴۹/۴	۳۱۰۲/۲	۵۰/۶	-۶۸/۲
(-۱۰۵، ۷۵، -۱۵، ۱۶۵)	۶۲۴۹/۱	۳۰۷۷/۷	۴۹/۳	۳۱۷۱/۳	۵۰/۷	-۹۳/۶
(-۱۲۰، ۶۰، -۳۰، ۱۵۰)	۶۲۸۹/۲	۳۰۷۳/۵	۴۸/۹	۳۲۱۵/۷	۵۱/۱	-۱۴۲/۲
(-۱۳۵، ۴۵، -۴۵، ۱۳۵)	۶۲۹۰/۳	۳۰۵۰/۷	۴۸/۵	۳۲۳۹/۵	۵۱/۵	-۱۸۸/۸
(-۱۵۰، ۳۰، -۶۰، ۱۲۰)	۶۲۸۹/۲	۳۰۷۳/۵	۴۸/۹	۳۲۱۵/۷	۵۱/۱	-۱۴۲/۲
(-۱۶۵، ۱۵، -۷۵، ۱۰۵)	۶۲۴۹/۱	۳۰۷۷/۷	۴۹/۳	۳۱۷۱/۳	۵۰/۷	-۹۳/۶

بحث

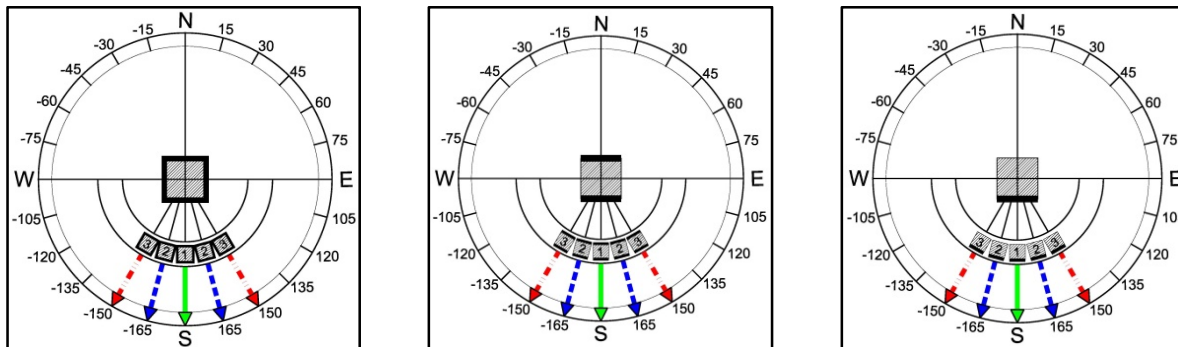
پژوهش حاضر در راستای پاسخ به این سؤال که جهات بهینه استقرار ساختمان براساس تابش خورشید در شهر تهران چگونه است؟ انجام پذیرفته است. اکثر ایستگاه‌های هواشناسی تنها تابش کلی بر روی سطوح افقی را اندازه‌گیری می‌کنند، توزیع تابش ساعتی بر روی سطح افقی و تابش کلی بر روی سطوح زاویه‌دار تقریباً برای تمامی نقاط جهان در دسترس نیست و لازم است با استفاده از مدل‌های نظری برآورد گردد. مهمترین پارامترهای لازم جهت محاسبه میزان انرژی مستقیم دریافتی سطوح شامل زاویه آرموت و ارتفاع خورشید، زاویه زینت، عرض جغرافیایی و زاویه مدار میل، طول روز، ساعات آفتابی و ضریب خاموشی جو است. با توجه به اینکه این پارامترها در هر عرض جغرافیایی و اقلیم متفاوت هستند، لذا بررسی میزان انرژی تابشی دریافتی سطوح قائم در اکثر شهرهای ایران به ویژه در شهرهای با شرایط خاص جغرافیایی و اقلیمی هم‌چون شهر تهران ضروری است. بررسی تحقیقات پیشین نشان داد که در مطالعات اقلیمی طرح‌های جامع و تفصیلی شهر تهران هیچ‌گونه ضابطه‌ای مبنی بر راستای بهینه استقرار بنا ارایه نشده است و جهات پیشنهاد شده در تحقیقات حبیبی‌خامنه و محمدی [Habibi Khameneh & Mohammadi, 2014] و شفیع و همکاران [Shafiei et al, 2014] نیز براساس پیش‌فرض تعیین شده در نرم‌افزار مشاور اقلیمی (Climate Consultant) و افزونه آب و هوای (Weather Tool) نرم‌افزار اکوتکت صورت گرفته است. لذا هدف اصلی این تحقیق بررسی میزان انرژی مستقیم دریافتی سطوح قائم ساختمان‌ها و تعیین جهات بهینه استقرار ساختمان‌های یک، دو و چهارطرفه در شهر تهران است. جهت محاسبه تابش مستقیم دریافتی سطوح قائم از روش محاسباتی قانون کسینوس استفاده شده است که در سایر تحقیقات مشابه از

جمله [Lashkari et al, 2011; Hossein Abadi et al, 2012; Zamani et al, 2016; Farajzadeh & Abbasi, 2012; Hedayatian & Goodarzi, 2016; Karbalaee doree & Hejazi Zadeh, 2017; Lashkari et al, 2012] مورد استفاده قرار گرفته است. براساس تغییرات دمای ساعتی و حداقل دمای پایه آسایش، دمای روزانه هوای شهر تهران در ۵۲٪ از مواقع سال گرم‌تر و در ۴۸٪ از مواقع سال، سردتر از شرایط آسایش است. با توجه به تعادل زمانی بین دوره گرم و سرد سال، نیاز به کنترل دریافت تابش خورشید و ممانعت از نفوذ تابش به فضاهای داخلی در دوره گرم و دریافت حداکثر تابش در دوره سرد در شهر تهران ضروری است. بر همین اساس جهت بهینه استقرار ساختمان در شهر تهران براساس بیشترین میزان اختلاف انرژی دریافتی بین دوره‌های سرد و گرم سال و یا دریافت حداقل میزان انرژی خورشید در دوره گرم و حداکثر دریافت در دوره سرد تعیین می‌گردد. با توجه به ضابطه تعیین شده، بهترین جهت استقرار برای ساختمان‌های یک‌طرفه در شهر تهران، جهت ۱۸۰ درجه جنوب با دریافت ۶۰٪ انرژی و بعد از آن جهت ۱۶۵ درجه جنوب‌شرقی و غربی با دریافت ۵۸/۷٪ انرژی در دوره سرد سال است. بهترین جهت استقرار برای ساختمان‌های دوطرفه در شهر تهران، جهت شمال- جنوب با دریافت حداکثر ۵۸٪ و بعد از آن جهات (+۱۶۵، -۱۵) و (-۱۶۵، +۱۵) درجه با دریافت ۵۵/۶٪ انرژی در دوره سرد است. نامناسب‌ترین جهت استقرار ساختمان‌های دوطرفه نیز جهات شرق- غرب و (+۷۵، -۱۰۵) و (-۷۵، +۱۰۵) درجه است.

بهترین جهت استقرار برای ساختمان‌های چهارطرفه در شهر تهران، جهات (۰، ۱۸۰، ۹۰، -۹۰) درجه با دریافت ۴۹/۴٪ و بعد از آن جهات (+۱۶۵، -۱۵، ۷۵، -۱۰۵) درجه با دریافت ۴۹/۳٪ در دوره سرد است. همچنین با توجه به اینکه با چرخش سطوح قائم ساختمان به سمت شرق و غرب میزان انرژی دریافتی در دوره گرم افزایش و در

بوده و کشیدگی ساختمان در راستای شرقی- غربی پیشنهاد می‌گردد. نتایج این تحقیق نیز در راستای تعیین جهت بهینه استقرار ساختمان در شهر تهران با نتایج تحقیقات [Habibi Khameneh & Mohammadi, 2014; Shafiei et al, 2014] هم‌راستا است. شکل ۲ نمودار اولویت‌بندی استقرار ساختمان‌های یک، دو و چهارطرفه را در شهر تهران نشان می‌دهد.

دوره سرد کاهش می‌یابد، لذا به منظور دریافت حداقل انرژی در دوره گرم و حداکثر انرژی در دوره سرد، لازم است کشیدگی طولی ساختمان در راستای شرقی و غربی قرار گیرد. بر همین اساس به منظور دریافت بهینه انرژی خورشید، جهت ۱۵۰ درجه جنوب‌شرقی تا ۲۱۰ درجه جنوب‌غربی جزو جهات قابل قبول (اولویت اول تا سوم) استقرار ساختمان‌های یک‌طرفه، دوطرفه و چهارطرفه در شهر تهران



شکل ۲ نمودار اولویت‌بندی استقرار ساختمان‌های یک‌طرفه (راست)، دوطرفه (وسط) و چهارطرفه (چپ) در شهر تهران (خط سبز: اولویت اول، خط آبی: اولویت دوم، خط قرمز: اولویت سوم)

Ashra E (1995). Handbook of heating, ventilating and air-conditioning applications. Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers.

Bakirci K (2009). Models of solar radiation with hours of bright sunshine: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 13(9):2580-2588.

Barzegar Z, Heydari S, Zarei M (2012). Evaluation of the effect of building-orientation on achieved solar radiation- a NE-SW orientated case of urban residence in semi-arid climate. *International Journal of Architectural Engineering & Urban Planning*. 22(2):108-113.

Barzegar Z, Heidari S (2013). Investigation of the effects of building envelopes received solar radiation on residential energy consumption: A case of SW and SE orientation in Shiraz. *Honar-haye-Ziba (Memari-va-Shahrsazi)*. 18(1):45-56. [Persian]

Coppolino S (1990). Validation of a very simple model for computing global solar radiation in European African Asian & north American areas. *Solar and Wind Technology*. 7(4):489-494.

Duffie JA, Beckman WA (2006). *Solar engineering of thermal processes*. 4th ed. Wiley.

Energy Balance Sheet of Iran [Internet]. [Cited 2016, 1 May]. Available from: <http://isn.moe.gov.ir/>.

Farajzadeh M, Abbasi MH (2012). Optimization of the direction of buildings of Qir town in relation to sun radiation using the cosine method. *Quarterly Geographical Journal of Territory*. 9(3):45-62. [Persian]

Fazeli A, Heidari S (2013). Optimization of energy consumption in residential areas of Tehran, using the rotterdam energy planning approach (REAP). *Energy Planning and Policy Research*. 1(3):83-96. [Persian]

Ganji MH (1955). Iran's climatic divisions. *Journal of the Faculty of Literature and Humanities*. 1(9): 27-72. [Persian]

Gueymard C (2000). Prediction and performance assessment of mean hourly global radiation. *Solar Energy*. 68(3):285-303.

Habibi Khameneh M, Mohammadi H (2014). The study of architecture of Tehran municipality- district 5, based on

نتیجه‌گیری

بررسی میزان انرژی مستقیم دریافتی سطوح قائم ساختمان‌ها در شهر تهران بیانگر این است که جهت ۱۳۵ درجه جنوب‌شرقی تا ۲۱۰ درجه جنوب‌غربی جزو جهات قابل قبول (اولویت‌های اول تا سوم) استقرار ساختمان‌های یک‌طرفه، دوطرفه و چهارطرفه در شهر تهران است. بهترین جهت استقرار برای ساختمان‌های یک‌طرفه، دوطرفه و چهارطرفه در شهر تهران، جهت ۱۸۰ درجه جنوب با کشیدگی طولی در راستای شرقی- غربی است. دستاورد این پژوهش در جهت‌گیری مناسب اقلیمی سطوح خارجی ساختمان‌ها و راستای استقرار معابر و فضاهای باز شهری براساس تابش خورشید کاربرد دارد. مطالعه فرم و شکل مناسب فضاهای معماری و شهری و همچنین تعیین نسبت‌های ابعادی بهینه ساختمان‌ها و جداره‌های معابر شهری براساس تابش خورشیدی در تحقیقات آتی پیشنهاد می‌گردد.

تشکر و قدردانی: موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

تأییدیه اخلاقی: موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

تعارض منافع: فاقد هرگونه تعارض منافع است.

سهم نویسندگان: حسن اکبری (نویسنده اول)، روش‌شناس/نگارنده بحث (۵۰٪)؛ فاطمه‌سادات حسینی‌نژاد (نویسنده دوم)، نگارنده مقدمه/پژوهشگر اصلی/تحلیگر آماری (۵۰٪)

منابع مالی: این مقاله حاصل تحقیقات شخصی نویسندگان بوده و فاقد هرگونه حمایت مالی است.

منابع

Angstrom A (1924). Solar and terrestrial radiation. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. 50:121-126.

- Mondol JD, Yohanis YG, Norton B (2008). Solar radiation modelling for the simulation of photovoltaic systems. *Renewable Energy*. 33(5):1109-1120.
- Neuwirth F (1980). The estimation of global and sky radiation in Austria. *Solar Energy*. 24(5):421-426.
- Paltridge G, Proctor D (1976). Monthly mean solar radiation statistics for Australia. *Solar Energy*. 18(3):235-243.
- Prescott J A (1940). Evaporation from a water surface in relation to solar radiation. *Transactions of the Royal Society of South Australia*. 64:114-118.
- Sabbagh JA, Sayigh AA, Al-Salam EMA (1977). Estimation of the total solar radiation from meteorological data. *Solar Energy*. 19(3):307-311.
- Samimi J (1994). Estimation of height-dependent solar irradiation and application to the solar climate of Iran. *Solar Energy*. 52(5):401-409.
- Shafiei M, Fayaz R, Hidari S (2014). The appropriate form of tall building for receiving solar energy in Tehran. *Iranian journal of Energy* 16(4):47-60.
- Sozen A, Arcaklio E, Ozalp M (2004). Estimation of solar potential in Turkey by artificial neural networks using meteorological and geographical data. *Energy Conversion and Management*. 45 (18-19):3033-3052.
- Watsoz D, Labs K (1983). *Climate design: Energy efficient building principles and practices*. New York: McGraw-Hill.
- Wu C, Liu Y, Wang T (2007). Methods and strategy for modeling daily global solar radiation with measured meteorological data: Case study in Nanchang station, China. *Energy Conversion and Management*. 48(9):2447-2452.
- Zamani M, Akbari H, Hadavi F (2016). Best orientation determination of buildings in Zanjan city based on solar radiation. *Armanshahr Architecture & Urban Development*. 9(16):85-94.
- Zheng G, Jing Y, Huang H, Shi G, Zhang X (2010). Developing a fuzzy analytic hierarchical process model for building energy conservation assessment. *Renewable Energy*. 35(1):78-87.
- climatic elements. *Quarterly of Geographical Journal of Territory*. 11(41):51-64. [Persian]
- Hedayatian M, Goodarzi M (2016). Optimizing the orientation of the open spaces and building constructions for cold climate based on sunshine in Borujerd city. *Journal of Researches in Geographical Sciences*. 16(42):59-82. [Persian]
- Hossein Abadi S, Lashkari H, Salmani Moghadam M (2012). Climate design of buildings in Sabzevar with an emphasis on orientation and shelter depth. *Journal of Geography and Development*. 10 (27):103-116. [Persian]
- IRIMO [Internet]. IRIMO Islamic Republic of Iran Meteorological Office, Data Center, Tehran. [Cited 2018, 6 May]. Available from: <http://www.irimo.ir/far/wd/2703>
- Karbalaee doree A, Hejazi Zadeh Z (2017). Optimizing building orientation establishment in the city of Kashan, based on climatic conditions. *Journal of Arid Regions Geographics Studies*. 7(27):85-103. [Persian].
- Kasmai M (2002). *Climate Architecture*. 2nd ed. Esfahan: Khak Publications. [Persian]
- Kheirabadi F, Nourmohammadzad H, Alizadeh H (2017). The role of urban spaces physical orientation on the extent of climate comfort of citizens: Case study of Bandar Abbas. *Geography and Sustainability of Environment*. 7(24):15-31. [Persian]
- Lashkari H, Mouzremi S, Salki H, Lotfi K (2011). Optimizing buildings orientation in Ahvaz based on climate. *Journal of Natural Geography*. 4 (12):45-62. [Persian]
- Lashkari H, Selki H, Tahaei F (2012). Optimization of the direction of buildings in Saqqez, based on climatological condition. *Journal of Geography and Regional Development*. 10(18):75-97. [Persian]
- Maghrabi AH (2009). Parameterization of simple model to estimate monthly global solar radiation based on meteorological variables and evaluation of existing solar radiation models for Tabuk, Saudi Arabia. *Energy Conversion and Management*. 50(11):2754-2760.