

تعیین زاویه بهینه استقرار سطوح قائم ساختمان بر اساس دریافت انرژی خورشیدی در اقلیم گرم و مرطوب

(مطالعه موردی: شهرهای بندرعباس، بوشهر و اهواز)

Determining The Optimum Orientation of Vertical Building Surfaces, Based on Solar Energy Receiving in The Hot and Humid Climate (Case Study: Bandar Abbas, Bushehr and Ahwaz Cities)

حسن اکبری^۱ (نویسنده مسئول)، فاطمه سادات حسینی نژاد^۲

تاریخ ارسال:	تاریخ بازنگری:	تاریخ پذیرش:	تاریخ انتشار آنلاین:
۱۳۹۷/۰۵/۰۲	۱۳۹۸/۰۲/۱۵	۱۳۹۸/۰۷/۱۱	۱۳۹۸/۱۱/۳۰

چکیده

افزایش نرخ شهرنشینی در دهه‌های اخیر و استفاده بی‌رویه از سوخت‌های فسیلی و انرژی‌های تجدیدناپذیر، موجب شده که طراحان و برنامه‌ریزان شهری، موضوع کنترل و بهینه‌سازی مصرف انرژی و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر را در ساخت و سازها بیشتر از گذشته مورد توجه قرار دهند. با توجه به ویژگی‌های خاص اقلیمی نوار سواحل جنوبی کشور ایران، جهت‌گیری ساختمان‌ها در این مناطق لازم است بر مبنای استفاده بهینه از تابش خورشیدی و جریان باد تعیین شود. هدف این پژوهش تعیین بهترین جهت استقرار ساختمان‌ها بر اساس کسب حداقل انرژی در دوره گرم سال در شهرهای بندرعباس، بوشهر و اهواز است. برای دستیابی به این هدف، میزان انرژی تابشی دریافتی بر روی سطوح قائم به صورت نظری و واقعی با استفاده از روش محاسباتی قانون کسینوس و نقاله تابش اولگی، برای ماه‌های مختلف و در ۲۴ جهت جغرافیایی محاسبه شده و در نهایت بهترین جهت استقرار ساختمان‌ها متناسب با اقلیم برای شهرهای مورد مطالعه تعیین گردیده است. مطابق با نتایج به دست آمده، جهت استقرار بهینه با استفاده از روش‌های قانون کسینوس و نقاله تابش اولگی در شهرهای مورد مطالعه، برای ساختمان‌های یک، دو و چهارطرفه یکسان می‌باشد. مناسب‌ترین جهت استقرار به منظور دریافت بهینه میزان انرژی خورشیدی برای ساختمان‌های یک‌طرفه در شهرهای بندرعباس، بوشهر و اهواز جهت ۱۸۰ درجه جنوب و بعد از آن جهت ۱۶۵ درجه جنوب‌شرقی و غربی است. جهت استقرار مناسب برای ساختمان‌های دوطرفه در شهرهای مورد مطالعه جهت شمال- جنوب و بهترین جهت گیری برای ساختمان‌های چهارطرفه جهت (۷۵، ۱۰۵، ۱۵، ۱۶۵) و (۱۰۵، ۱۵، ۷۵، ۱۶۵) درجه است.

واژه‌های کلیدی:

انرژی خورشیدی، جهت‌گیری سطوح قائم، قانون کسینوس، نقاله تابش اولگی، اقلیم گرم و مرطوب.

۱. استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. h.akbari.arc@gmail.com

۲. دکتری شهرسازی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. Hosseini-zhad1359@gmail.com

۱- مقدمه

کاهش بارهای حرارتی، برودتی فضاهای داخلی ضروری می‌باشد.

۲- پیشینه تحقیق

به منظور تعیین جهت بهینه و سازگار با اقلیم فضاهای شهری و معماری بر اساس دریافت انرژی تابشی خورشید مطالعات اندکی صورت گرفته است. اغلب مطالعات انجام شده در زمینه رابطه بین فرم ساختمان و مصرف انرژی به صورت مقایسه تاثیر فرم‌های مختلف ساختمانی بر مصرف انرژی و یا توسعه مدل‌های ساده بر اساس تحلیل‌های آماری پیش‌بینی مصرف انرژی فرم‌های گوناگون انجام شده است (Wei et al., 2016). بین پارامترهای مرتبط با خورشید، گرمایش و نور روز از عوامل موثر در کاهش مصرف انرژی بوده که تحت تاثیر جهت‌گیری می‌باشند. مطالعات متعدد نشان داده‌اند که شکل ساختمان و جهت‌گیری در کاهش مصرف انرژی ساختمان موثر است و بین فشرده‌گی (نسبت سطح پوسته خارجی به حجم) ساختمان و مصرف انرژی آن همبستگی وجود دارد. فرم‌های با میزان فشرده‌گی بالا، مصرف انرژی کمتری به ویژه در اقلیم سرد و گرم دارند (Depecker et al., 2001; Ourghi et al., 2007; Al-Anzi et al., 2009). فرم و پوسته خارجی ساختمان مهمترین پارامترهای موثر بر اقلیم داخلی ساختمان بوده و اندازه و جهت استقرار پوسته خارجی بر عملکرد حرارتی ساختمان تاثیر مستقیم دارند (Oral & Yilmaz, 2003; Hemsath & Alagheband Bandhosseini, 2015). روش‌های تعیین میزان تابش کلی دریافتی خورشید در سطح زمین شامل (الف) اندازه‌گیری مستقیم، (ب) تحلیل‌های آماری، (پ) محاسبه مولفه‌های تابش مستقیم و پراکنده خورشید در یک لحظه معین از زمان و (ت) برآورد مولفه‌های تابش مستقیم و غیرمستقیم خورشید بر اساس ویژگی‌های فیزیکی پدیده تضعیف تابش در عبور از اتمسفر و برآورد تابش کلی در سطح زمین، می‌باشد. این روش‌ها در سه گروه روابط آماری یک متغیره، روابط آماری چند متغیره و روش‌های مبتنی بر محاسبه مولفه‌های تابش قابل دسته‌بندی می‌باشد (خلیلی و رضایی صدر، ۱۳۷۶). مدل‌های محاسباتی مختلفی جهت برآورد دقیق شدت تابش مستقیم و پراکنده‌ی خورشید روی یک سطح افقی برحسب عواملی هم‌چون نسبت آفتاب‌گیری (Angstrom, 1924; Prescott, 1940; Duffie & Beckman, 2006)، دمای ماکزیمم و رطوبت نسبی (Sabbagh et al; 1977)، زاویه تابش خورشید و نسبت آفتاب‌گیری (Coppolino, 1990)، ارتفاع از سطح دریا (Samimi, 1994)،

با صنعتی شدن جوامع بشری و پیشرفت روزافزون علم و فناوری و توسعه صنایع، نیاز به مصرف و استخراج سوخت‌های فسیلی به اوج خود رسیده است. به دلیل محدودیت منابع فسیلی، آلودگی زیست‌محیطی ناشی از سوخت مواد فسیلی، گرم شدن هوا و اثر گلخانه‌ای و بسیاری از عوامل آلاینده دیگر، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و از جمله انرژی خورشیدی به منظور کاهش و صرفه‌جویی در مصرف انرژی، کنترل عرضه و تقاضای انرژی و کاهش انتشار گازهای آلاینده با استقبال فراوانی روبرو شده است. کشور ایران با داشتن حدود ۳۰۰ روز آفتابی در سال جزو بهترین کشورهای دنیا در زمینه پتانسیل انرژی خورشیدی در جهان است. موقعیت جغرافیایی ایران موجب شده که امکان دریافت میزان قابل توجهی انرژی تابشی خورشید فراهم باشد. در این شرایط، با توجه به محدود بودن ذخایر سوخت‌های فسیلی و آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از سوزاندن آنها، طراحی شهری و معماری مناسب می‌تواند با استفاده از سامانه‌های فعال و غیرفعال، به کاهش انرژی مصرفی نهایی ساختمان منجر شود. شناخت دقیق شرایط اقلیمی و تعیین پتانسیل‌ها و امکانات محیطی محل قرارگیری ساختمان، برای دستیابی به یک معماری همساز با اقلیم و پایدار به‌ویژه از منظر انرژی ضروری می‌باشد. انتخاب جهت‌گیری بهینه ساختمان به منظور به حداکثر رساندن استفاده از روشنایی طبیعی روز و به حداقل رساندن انرژی دریافتی در ماه‌های گرم و حداکثر دریافت در دوره‌های سرد سال می‌تواند تاثیر به‌سزایی در صرفه‌جویی و بهره‌وری انرژی داشته باشد. با توجه به اقلیم گرم و مرطوب شهرهای سواحل جنوبی کشور، جریان هوا نقش بسیار مهمی در احساس آسایش حرارتی دارد. اگر جریان باد با سایه همساز شود امکان تبخیر شدن عرق و خنک شدن بدن در این اقلیم فراهم شده و افراد در دمای بالاتر از مرز آسایش می‌توانند به فعالیت خود ادامه دهند. لذا جهت‌گیری ساختمان‌ها در این مناطق می‌بایست به صورت هم‌زمان براساس استفاده بهینه از تابش خورشیدی و جریان باد تعیین گردد. این تحقیق درصدد است تا با بررسی میزان انرژی تابشی مستقیم دریافتی سطوح قائم جداره ساختمان‌ها، بهترین جهت‌های استقرار ساختمان را مطابق با اقلیم منطقه برای شهرهای بندرعباس، بوشهر و اهواز تعیین نماید. لذا انجام این تحقیق و تعیین بهترین جهت‌گیری ساختمان در شهرهای مورد مطالعه به منظور دستیابی به یک معماری همساز با اقلیم و

میزان انطباق مساکن شهر جلفا با زاویه تابش آفتاب نشان دادند که استقرار بهینه ساختمان در شهر جلفا از نقطه نظر تابش آفتاب در جهت شرقی- غربی بوده و جهات ۱۶۵ جنوب شرقی تا ۱۶۵ جنوب غربی نیز جهات قابل قبول می باشد (محمدزاده و همکاران، ۱۳۹۴). در تعیین جهت بهینه استقرار ساختمان در شهر کاشان بر اساس شرایط اقلیمی نتایج نشان داد که جهت مناسب استقرار برای ساختمان های یک طرفه جهت رو به جنوب، برای ساختمان های دو طرفه، جهت (۱۸۰، ۰) درجه و برای ساختمان های چهار طرفه، جهت (۱۲۰، -۳۰، ۶۰، -۱۵۰) درجه می باشد (کربلانی درئی و حجازی زاده، ۱۳۹۶). عظمتی و حسینی در بررسی تاثیر جهت گیری ساختمان های آموزشی بر بارهای حرارتی و برودتی در اقلیم های مختلف، جهت های مناسب را از لحاظ بار حرارتی و برودتی بررسی و در اقلیم های مختلف را مشخص نموده اند (عظمتی و حسینی، ۱۳۹۲). حجازی زاده و همکاران در بهینه سازی جهت گیری فضاهای آزاد در شهر دزفول بر اساس شرایط اقلیمی نشان دادند که در شهر دزفول جهت استقرار بهینه حیاط ساختمان جهت شمال شرقی با کشیدگی در راستای شمالی- جنوبی می باشد. جهت استقرار معابر نیز به منظور جلوگیری از ماندگاری گرمای آفتاب در سطح خیابان ها و معابر جهات غربی- شرقی و ۴۵ درجه شرقی با توجه به تداخل دو عامل درجه حرارت کم و عدم تابش آفتاب و جلوگیری از ورود بادهای گرم مناسب ترین جهت است. همچنین استقرار ساختمان در جهت بهینه ۴۵ درجه و جهات قابل قبول ۳۰ درجه و ۱۵+ درجه شمالی از مبدأ جنوب می باشد (حجازی زاده و همکاران، ۱۳۹۱). در بررسی نقش جهت گیری کالبد فضاهای شهری در میزان آسایش اقلیمی شهروندان در شهر بندرعباس، نتایج نشان می دهد که بر اساس عامل تابش، سایه و جریان باد، مناسب ترین جهت گیری برای کالبد فضاهای باز شهر بندرعباس از لحاظ تامین آسایش اقلیمی شهروندان، جهت شمالی- جنوبی می باشد (خیرآبادی و همکاران، ۱۳۹۶).

۳- روش تحقیق

جهت محاسبه میزان انرژی مستقیم تابشی دریافتی سطوح قائم در جهت های مختلف جغرافیایی، در مرحله اول پارامترهای مرتبط با هندسه خورشید شامل زاویه ساعتی، زاویه انحراف (مدار میل)، زاویه سمت، زاویه زینت و زاویه ارتفاع خورشید در تمامی ساعات مختلف روز در شهرهای مورد مطالعه با استفاده از روابط محاسباتی و نرم افزار Q-

نسبت آفتاب گیری، عرض جغرافیایی، رطوبت نسبی و دما (Neuwirth, 1980)، ابرناکی و زاویه زینت خورشید (Paltridge & Proctor, 1976)، عرض جغرافیایی، ارتفاع از سطح دریا، ساعات آفتابی و میانگین دما (Sozen et al.; 2004)، ساعات آفتابی، بارش، دمای نقطه شبنم، رطوبت نسبی، دما و فشار هوا (Wu et al., 2007) پیشنهاد شده است. با استفاده از مقاله تابش انرژی خورشیدی اولگی و دیاگرام موقعیت خورشید، می توان میزان انرژی تابشی مستقیم خورشید را در هر ساعت از روز بر سطوح مختلف افقی، قائم و شیبدار ساختمان محاسبه کرد (کسمایی، ۱۳۸۱). بررسی تاثیر تابش دریافتی خورشید در بدنه های ساختمان بر مصرف انرژی بخش خانگی در شهر شیراز، نشان داد که جهت مناسب استقرار از نظر میزان دریافت انرژی و مصرف، جهت گیری اقلیمی در راستای جنوب شرقی و شمال غربی می باشند (برزگر و حیدری، ۱۳۹۲؛ Barzegar 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 بیشترین 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 مبدأ جنوب در اقلیم شهر اهواز پیشنهاد شده است (لشکری و همکاران، ۱۳۹۰). حسین آبادی و همکاران (۱۳۹۱)، در بررسی طراحی اقلیمی ساختمان های مسکونی شهر سبزوار با تاکید بر جهت گیری و عمق سایبان نشان دادند که جهت مناسب استقرار بنا با توجه به تابش خورشید برای ساختمان های یک طرفه، جهت ۱۶۵ و ۱۵۰ درجه جنوب شرقی و برای ساختمان های دو طرفه، جهت (۱۵، -۱۶۵) درجه می باشد. در تعیین جهت های مناسب استقرار ساختمان به منظور دریافت بهینه تابش خورشیدی در شهر زنجان نتایج نشان می دهد که جهت مناسب و قابل قبول استقرار ساختمان به منظور دریافت بهینه انرژی خورشید، جهات ۱۳۵ درجه جنوب شرقی تا ۲۲۵ درجه جنوب غربی می باشد (Zamani et al., 2016). در بهینه سازی جهت سازه های ساختمانی بر اساس تابش انرژی خورشید در همدان، نتایج بیانگر اینست که مناسب ترین جهت برای نمای ساختمان های یک طرفه، جهت ۱۶۵ درجه جنوب شرقی- غربی و برای ساختمان های دو طرفه جهت شمال- جنوب و برای ساختمان های چهار طرفه جهت (۷۵، -۱۰۵، -۱۵، ۱۶۵) می باشد (حسینی و همکاران، ۱۳۹۸). محمدزاده و همکاران در مقاله مطالعه

$$I_{DN} = I^{\circ} \exp(-\alpha / \sinh) \quad (2)$$

در رابطه (۲)، 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 می‌باشد. همچنین θ زاویه تلاقی میان خورشید و خط عمود بر یک سطح عمودی (دیوار) می‌باشد که به وسیله معادله کسینوس کروی تعیین می‌گردد (Watson & Labs, 1983).

$$\cos\theta = \cosh \cos(Z-N) \quad (3)$$

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

محدوده مورد مطالعه: بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی کوپن شهرهای بندرعباس، بوشهر و اهواز در منطقه اقلیمی گرم و مرطوب (سواحل جنوبی) با علامت اختصاری «BShsn» یا آب و هوای نیمه صحرایی عرض‌های پایین جغرافیایی قرار دارد (گنجی، ۱۳۳۳). از ویژگی‌های این اقلیم، تابستان بسیار گرم و مرطوب و زمستان معتدل می‌باشد. در این اقلیم رطوبت هوا در تمام فصل‌های سال زیاد است و به همین دلیل اختلاف درجه حرارت هوا در روز و شب و در فصل‌های مختلف کم می‌باشد. هم‌چنین اقلیم منطقه متأثر از بادهای صحرایی عربستان (نامناسب) و بادهای ساحلی (مناسب) می‌باشد. این منطقه اقلیمی در امتداد یک نوار ساحلی باریک و نسبتاً طولانی است که از مصب اروندرود در جنوب‌غربی استان خوزستان شروع شده و به خلیج گواتر در جنوب‌شرقی استان سیستان و بلوچستان ختم می‌شود (کسمایی، ۱۳۸۱). جدول ۱ ویژگی‌های اقلیمی و جغرافیایی شهرهای مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

BASIC استخراج گردید. در مرحله دوم با استفاده از روش محاسباتی قانون کسینوس و نقاله تابش اولگی، میزان انرژی مستقیم تابیده شده در هر ساعت از روز بر روی سطوح قائم در ۲۴ جهت جغرافیایی به صورت نظری و واقعی محاسبه گردید. در مرحله سوم بر اساس حداقل دمای پایه آسایش حرارتی، انرژی دریافتی سطوح به تفکیک دوره‌های سرد و گرم سال محاسبه گردید. در مرحله چهارم مناسب‌ترین جهت برای استقرار ساختمان‌های یک، دو و چهارطرفه بر اساس بیشترین مقدار اختلاف بین انرژی دریافتی دوره سرد و گرم و بیشترین درصد دریافت تابش در دوره سرد سال تعیین گردید.

روش محاسبه انرژی تابشی: در روش نموداری اولگی با استفاده از انطباق نقاله تابش انرژی خورشیدی اولگی و دیاگرام موقعیت خورشید در عرض‌های جغرافیایی مورد نظر، میزان انرژی تابشی تابیده به سطوح عمودی در جهت‌های مختلف و در هر ساعت از روز محاسبه گردید. در روش محاسباتی قانون کسینوس میزان انرژی تابشی مستقیم بر سطوح عمودی با استفاده از روابط زیر انجام گردید. میزان تابش مستقیم خورشیدی رسیده به یک سطح در روی سطح زمین بر اساس رابطه زیر محاسبه می‌گردد (Watson & Labs, 1983).

$$I_S = I_N \times \cos\theta \quad (1)$$

در رابطه (۱)، I_S شدت تابش بر روی سطح بر حسب $(BTU/H/FT^2)$ ، I_N شدت تابش خورشید بر روی سطح عمود بر پرتو خورشید بر حسب $(BTU/H/FT^2)$ و θ (زاویه زینت)، زاویه میان شعاع خورشید و خط عمود بر سطح می‌باشد. در رابطه بالا مقدار I_N از طریق رابطه زیر محاسبه می‌گردد که توسط استیونسن پیشنهاد شده است (کسمایی، ۱۳۸۱؛ Ashrae, 1995).

Table 1: Geographical-climatic characteristics of the studied cities (Source: IRIMO, 2018)

City	Latitude	Longitude	Elevation (m)	Annual Temp. (°C)			Ave. RH (%)
				Max.	Min.	Ave.	
Bandar Abbas	27° 13' N	56° 22' E	9.8	32.1	21.8	27	65
Bushehr	28° 59' N	50° 50' E	19.6	29.7	19.5	24.6	65
Ahwaz	31° 20' N	48° 40' E	22.5	25.3	17.6	32.9	43

گرمایشی و سرمایشی مشخص می‌گردد. دمای پایه جهت محاسبه روز-درجه سرمایش، ۲۱ درجه و برای روز-درجه گرمایش، ۱۸ درجه سانتی‌گراد بوده و در مناطق گرم و مرطوب حداقل دمای فضاها داخلی در ماه‌های گرم ۲۵ درجه و حداکثر دما در ماه‌های سرد ۲۰ درجه می‌باشد

تغییرات دماهای دو-سه ساعته شهرهای بندرعباس، بوشهر و اهواز با استفاده از آمار ایستگاه‌های سینوپتیک استخراج گردید (جدول ۲). با استفاده از تغییرات دمای ساعتی هر ماه و دمای پایه جهت محاسبه روز-درجه سرمایش و روز-درجه سرمایشی، مواقع نیاز به انرژی

درجه) و در شهر اهواز (۲۲ و ۲۶ درجه) می‌باشد (قائقرمه و همکاران، ۱۳۹۷). با توجه به حداقل دمای پایه آسایش، بیشتر ایام سال در شهرهای مورد مطالعه در دوره گرم قرار گرفته و نیاز به کنترل تابش بر روی جداره‌ها و ممانعت از ورود انرژی خورشید به داخل ساختمان می‌باشد.

(مقررات ملی ساختمان ایران - مبحث ۱۹، ۱۳۸۸). آستانه دمای پایه جهت محاسبه شاخص روز - درجه گرمایش و سرمایش (مواقع نیاز به دریافت و عدم دریافت انرژی تابشی) بر اساس ۵۰ درصد داده‌های میانی منطقه آسایش، در شهر بندرعباس (۲۱/۲ و ۲۳/۹ درجه)، در شهر بوشهر (۲۱ و ۲۲

Table 2: The Average hourly temperature of studied cities (Source: Energyplus, 2018; IRIMO, 2018)

City	Hours	Jan	Feb	Mar	Apr	May	June	July	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Bandar Abbas	6	13.6	14.4	18	22.1	25.6	28.9	31.6	30.6	28.1	24.4	18.5	14.1
	8	17.3	18.4	22.8	26.9	30.5	33.2	34.6	33.2	32.3	29.3	23.8	18.1
	10	20.5	21.6	25.8	29.5	33	35.4	36.2	34.8	34.6	32.3	27.2	21.6
	12	22.6	23.6	27.4	30.6	34.3	36.4	36.9	35.7	35.6	33.6	29	23.8
	14	22.7	23.8	27.9	30.7	34.8	37.2	37.1	35.9	35.6	33.3	29.2	24.1
	16	21.3	22.8	27.1	29.7	34.4	36.4	36.4	35.1	34.5	31.9	27.4	21.4
Bushehr	6	16.2	18.9	22.9	26.2	31.9	33.2	35.7	37.6	34.6	30	24.5	19.1
	9	18.3	20.2	24.1	26.7	32.1	34.1	36.1	37.9	35.2	30.9	26.4	21.4
	12	18.7	20.6	23.7	26.8	32.4	34.1	36.2	37.8	35.5	31.4	26.6	21.5
	15	16.1	18	21.7	25.4	30.9	33.1	35	36.6	33.8	29.4	24.3	19.3
	18	15.3	17.1	21	23.6	29.5	31.2	33.3	34.5	32.2	26.9	22.8	18.1
	6	7.2	8.6	12.3	17.4	22.7	25.6	27.9	27.1	23.1	18.5	12.8	18.5
Ahwaz	8	8.2	9.6	13.5	18.7	24.2	27.5	29.5	29	25	20	14	14
	10	13.2	15.2	19.7	25.9	32.1	36.7	38.5	37.7	34.3	28.3	20.6	14.9
	12	16	18.5	23.4	30	36.9	41.8	43.4	43	39.5	33.1	24.5	17.9
	14	17.5	20.3	25.2	32.1	39.2	44.5	46.3	45.8	42.5	35.9	26.5	19.4
	16	16.8	19.5	24.2	30.9	37.9	43	44.9	44.1	40.9	34.3	25.5	18.6
	18	14.2	16.6	21.2	27.5	34	38.7	40.5	39.9	36.5	30.3	22.2	16

ایجاد سایه و هدایت جریان هوا به داخل بنا به منظور دستیابی به آسایش حرارتی ساکنین ضروری می‌باشد. لذا در این مناطق جهت استقرار ساختمان براساس شرایط اقلیمی لازم است طوری باشد که در دوره‌های گرم شدت تابش آفتاب بر سطوح آن به حداقل رسیده و امکان نفوذ مستقیم اشعه خورشید به فضاهای داخلی وجود نداشته باشد. هم‌چنین برای ایجاد آسایش حرارتی در فصول گرم سال، ایجاد حداکثر جریان هوا و تهویه طبیعی در فضاهای داخلی ساختمان ضروری می‌باشد. با توجه به تغییرات دمای ساعتی (جدول ۲) و حداقل دمای آسایش حرارتی، دوره ماه‌های گرم در شهرهای مورد مطالعه بیشتر از دوره ماه‌های سرد می‌باشد. لذا تعیین موقعیت بهینه قرارگیری ساختمان‌ها با هدف کسب حداقل انرژی خورشیدی در دوره گرم سال در شهرهای مورد مطالعه ملاک عمل می‌باشد.

با استفاده از روش محاسباتی قانون کسینوس و نقاله تابش اولگی، ابتدا مقدار انرژی مستقیم دریافتی سطوح قائم به صورت تئوریک برای ماه‌های مختلف و در ۲۴ جهت جغرافیایی برای شهرهای مورد مطالعه محاسبه گردیده، سپس از حاصل ضرب انرژی دریافتی نظری در متوسط درصد

۴- یافته‌های تحقیق

شدت تابش آفتاب و حرارت حاصل از آن در زمین به عوامل متعددی از جمله وضعیت آب و هوا، موقعیت خورشید، عرض جغرافیایی و به ویژه ساعات آفتابی روزانه منطقه مورد نظر بستگی دارد. ولی مقدار انرژی خورشیدی تابیده شده به یک سطح، علاوه بر موارد فوق به زاویه برخورد پرتو خورشید به سطح مورد نظر نیز بستگی دارد. با تغییر سمت و زاویه خورشید، مقدار انرژی خورشیدی تابیده به سطوحی که نسبت به پرتو خورشید زوایای مختلفی دارند، در طول سال و در ساعات مختلف روز کاملاً متفاوت است. جهت‌گیری یکی از عوامل اصلی در طراحی پایدار فضاهای شهری و معماری است. جهت‌گیری مناسب در کنار نسبت ابعادی و فرم مناسب ساختمان‌ها، یکی از مهمترین عواملی است که به بهره‌گیری مناسب از انرژی‌های طبیعی به‌ویژه انرژی خورشیدی به صورت فعال و غیرفعال کمک می‌کند. اهمیت تابش آفتاب در طراحی اقلیمی به نوع اقلیم منطقه به ویژه دمای روزانه و میزان ساعات آفتابی بستگی دارد. به دلیل بالا بودن دما و رطوبت هوا در بیشتر مواقع از سال و عدم آسایش اقلیمی در شهرهای سواحل جنوبی ایران به ویژه بندرعباس و بوشهر،

طول روز و درصد ساعات آفتابی را در شهرهای مورد مطالعه نشان می‌دهد.

ساعات آفتابی ماه‌های مختلف، میزان انرژی مستقیم دریافتی بر روی دیوار قائم به‌صورت واقعی به دست می‌آید. جدول ۳

Table 3. The day length and percentage of sunshine hours in studied cities (source: IRIMO, 2018)

		Jan	Feb	Mar	Apr	May	June	July	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Bandar Abbas	Ave. Day length*	10.6	11.3	12.1	12.9	13.5	13.7	13.4	12.8	11.6	11.2	10.5	10.3
	Ave. sunshine hours	7.4	7.3	7.3	8.2	10.1	9.9	8.8	8.7	8.5	9.4	8.4	7.5
	sunshine hours (%)	70	64	60	64	75	72	65	68	74	84	80	73
Bushehr	Ave. Day length*	10.5	11.3	12.1	12.9	13.5	13.8	13.5	12.9	11.6	11.2	10.5	10.2
	Ave. sunshine hours	6.6	6.8	7	7.6	9.5	10.7	10.2	10.5	9.5	9.3	7.5	6.4
	sunshine hours (%)	63	61	58	59	70	78	76	82	82	83	72	62
Ahwaz	Ave. Day length*	10.3	11.2	12.1	13	13.7	14	13.7	13	11.6	11.1	10.3	10
	Ave. sunshine hours	5.8	6.8	6.8	7.5	9.3	10.6	10.9	10.7	9.7	8.8	6.9	5.8
	sunshine hours (%)	56	61	56	58	68	75	80	83	84	79	67	58

*The day length is calculated by the writers.

و اهواز نشان می‌دهد. همچنین بر اساس نتایج حاصل از جدول ۴، میزان انرژی دریافتی واقعی سطوح قائم به تفکیک دوره‌های سرد و گرم در جدول‌های ۵، ۶ و ۷ ارائه شده است.

جدول ۴ میزان انرژی کل (سالانه) دریافتی سطوح قائم را به‌صورت نظری و واقعی و بر اساس روش محاسباتی قانون کسینوس و مقاله تابش اولگی در شهرهای بندرعباس، بوشهر

Table 4: The amount of theoretical and real energy received by vertical surfaces in studied cities (BTU/H/FT2) (T: Theoretical energy, R: Real energy)

	Wall orientation	Law of Cosines		Olgyay chart		Wall orientation	Law of Cosines		Olgyay chart	
		T	R	T	R		T	R		
Bandar Abbas	North	750.8	529.2	856	592.1	±105	9959.2	7066.3	9370	6647
	±15	1247.9	869.7	1290	901.6	±120	10637.5	7580.6	9856	6987.7
	±30	2450.7	1700.3	2369	1669.9	±135	10914.5	7814.5	10117	7173
	±45	3991.4	2779.2	3915	2771.2	±150	10929.7	7867.5	10053	7121.9
	±60	5742.2	4020.1	5793	4106.7	±165	10705.2	7748.5	9314	6567.1
	±75	7425.2	5223.2	7145	5069.1	South	10541.7	7650.7	9636	6814.1
	±90	8793.4	6213.1	8349	5923.7					
Bushehr	North	715.2	531.7	790	614.2	±105	9961.5	7038.2	9503	6745.6
	±15	1195.8	879.5	1239	958.8	±120	10698.8	7521.6	10155	7125.9
	±30	2377.3	1734.1	2378	1813.6	±135	11047	7724.7	10334	7155.4
	±45	3900.3	2824.1	3877	2907.5	±150	11125.6	7732.5	9991	6826
	±60	5647.8	4058.4	5450	4017.9	±165	10953.7	7570.4	10212	6844.9
	±75	7347	5245.6	7088	5157.4	South	10817.1	7458.8	9942	6615.7
	±90	8746.9	6211.7	8408	6040.7					
Ahwaz	North	638.2	471.5	638	504.1	±105	9974.9	6888.6	9493	6608.8
	±15	1080.6	792.7	1119	874.6	±120	10853	7427.1	10332	7084.6
	±30	2212.7	1610.6	2277	1745.8	±135	11359.3	7698.3	10705	7213.6
	±45	3707.5	2671.7	3746	2806	±150	11584.2	7767.1	10790	7134.3
	±60	5442.4	3872.8	5172	3777.8	±165	11522.3	7651.5	10685	6922.5
	±75	7174.1	5048.8	7005	5040.7	South	11460	7581.5	10525	6748.1
	±90	8648.9	6028	8282	5857.9					

Table 5: The amount of direct energy received by vertical surfaces in one-sided buildings in Bandar Abbas city (BTU/H/FT2)

Wall orientation	Law of Cosines					Olgyay chart				
	Period Cold		Period Hot		Difference	Period Cold		Period Hot		Difference
	Amount	%	Amount	%		Amount	%	Amount	%	
North	0	0	529.2	100	-529.2	0	0	592.1	100	-592.1
±15	10.6	1.2	859.2	98.8	-848.6	0	0	901.6	100	-901.6
±30	72.9	4.3	1627.4	95.7	-1554.5	64	3.8	1606	96.2	-1542
±45	259.7	9.3	2519.5	90.7	-2259.9	202	7.3	2569.2	92.7	-2367.3
±60	596	14.8	3424.1	85.2	-2828	579.3	14.1	3527.4	85.9	-2948.1
±75	912.9	17.5	4310.4	82.5	-3397.5	733.1	14.5	4336	85.5	-3602.9
±90	1090.1	17.5	5123	82.5	-4032.8	894	15.1	5029.7	84.9	-4135.7
±105	1445.3	20.5	5621	79.5	-4175.7	1222.5	18.4	5424.5	81.6	-4202

Wall orientation	Law of Cosines					Olgay chart				
	Period Cold		Period Hot		Difference	Period Cold		Period Hot		Difference
	Amount	%	Amount	%		Amount	%	Amount	%	
±120	1544.5	20.4	6036.1	79.6	-4491.6	1309	18.7	5678.7	81.3	-4369.7
±135	1525.1	19.5	6289.4	80.5	-4764.3	1350.2	18.8	5822.8	81.2	-4472.6
±150	1689.7	21.5	6177.9	78.5	-4488.2	1517.3	21.3	5604.6	78.7	-4087.4
±165	1854	23.9	5894.5	76.1	-4040.5	1666.2	25.4	4900.9	74.6	-3234.8
South	1857.4	24.3	5793.3	75.7	-3935.8	1673.9	24.6	5140.2	75.4	-3466.3

Table 6: The amount of direct energy received by vertical surfaces in one-sided buildings in Bushehr city (BTU/H/FT²)

Wall orientation	Law of Cosines					Olgay chart				
	Period Cold		Period Hot		Difference	Period Cold		Period Hot		Difference
	Amount	%	Amount	%		Amount	%	Amount	%	
North	13.3	2.5	518.3	97.5	-505	0.0	0.0	614.2	100.0	-614.2
±15	53.5	6.1	826	93.9	-772.5	10.3	1.1	948.5	98.9	-938.2
±30	174.8	10.1	1559.3	89.9	-1384.4	106.6	5.9	1707	94.1	-1600.3
±45	469.3	16.6	2354.8	83.4	-1885.5	366	12.6	2541.5	87.4	-2175.5
±60	850.1	20.9	3208.3	79.1	-2358.2	690.8	17.2	3327.1	82.8	-2636.3
±75	1341.7	25.6	3903.9	74.4	-2562.2	1115.9	21.6	4041.5	78.4	-2925.6
±90	1741.6	28	4470.1	72	-2728.5	1508.4	25.0	4532.2	75	-3023.8
±105	2259.2	32.1	4779	67.9	-2519.8	2005.4	29.7	4740.2	70.3	-2734.8
±120	2656.2	35.3	4865.3	64.7	-2209.1	2393.7	33.6	4732.2	66.4	-2338.5
±135	2951	38.2	4773.7	61.8	-1822.6	2685.8	37.5	4469.6	62.5	-1783.9
±150	3202.2	41.4	4530.2	58.6	-1328	2875.2	42.1	3950.9	57.9	-1075.7
±165	3402.8	44.9	4167.6	55.1	-764.7	3244.3	47.4	3600.6	52.6	-356.2
South	3419.9	45.9	4038.9	54.1	-619	3172.3	48.0	3443.4	52	-271.1

Table 7: The amount of direct energy received by vertical surfaces in one-sided buildings in Ahwaz city (BTU/H/FT²)

Wall orientation	Law of Cosines					Olgay chart				
	Period Cold		Period Hot		Difference	Period Cold		Period Hot		Difference
	Amount	%	Amount	%		Amount	%	Amount	%	
North	12.1	2.6	459.4	97.4	-447.3	0.0	0.0	504.1	100.0	-504.1
±15	46.1	5.8	746.6	94.2	-700.4	6.4	0.7	868.3	99.3	-861.9
±30	151.3	9.4	1459.4	90.6	-1308.1	81.9	4.7	1663.9	95.3	-1582
±45	405.7	15.2	2266	84.8	-1860.3	320.1	11.4	2485.9	88.6	-2165.9
±60	817.7	21.1	3055.1	78.9	-2237.3	697.6	18.5	3080.2	81.5	-2382.7
±75	1308.2	25.9	3740.6	74.1	-2432.5	1110.4	22	3930.3	78	-2820
±90	1702.7	28.2	4325.3	71.8	-2622.6	1479.5	25.3	4378.3	74.7	-2898.8
±105	2236.5	32.5	4652.1	67.5	-2415.6	1988.8	30.1	4620	69.9	-2631.2
±120	2607.1	35.1	4820	64.9	-2212.9	2364.3	33.4	4720.3	66.6	-2356.1
±135	3001.2	39	4697.1	61	-1695.8	2773.9	38.5	4439.6	61.5	-1665.7
±150	3239.6	41.7	4527.4	58.3	-1287.8	3026.6	42.4	4107.8	57.6	-1081.2
±165	3463.7	45.3	4187.8	54.7	-724	3259.7	47.1	3662.8	52.9	-403.1
South	3450.3	45.5	4131.2	54.5	-680.9	3187.4	47.2	3560.8	52.8	-373.4

جغرافیایی تعیین می‌گردد. تصویر ۱ تغییرات مقدار انرژی خورشیدی دریافتی را به صورت سالیانه و به تفکیک مواقع سرد و گرم در شهرهای مورد مطالعه نشان می‌دهد.

با توجه به میزان انرژی کل دریافتی بر روی سطوح قائم و به تفکیک دوره‌های سرد و گرم و اختلاف بین آنها، اولویت‌های استقرار ساختمان در جهت‌های مختلف

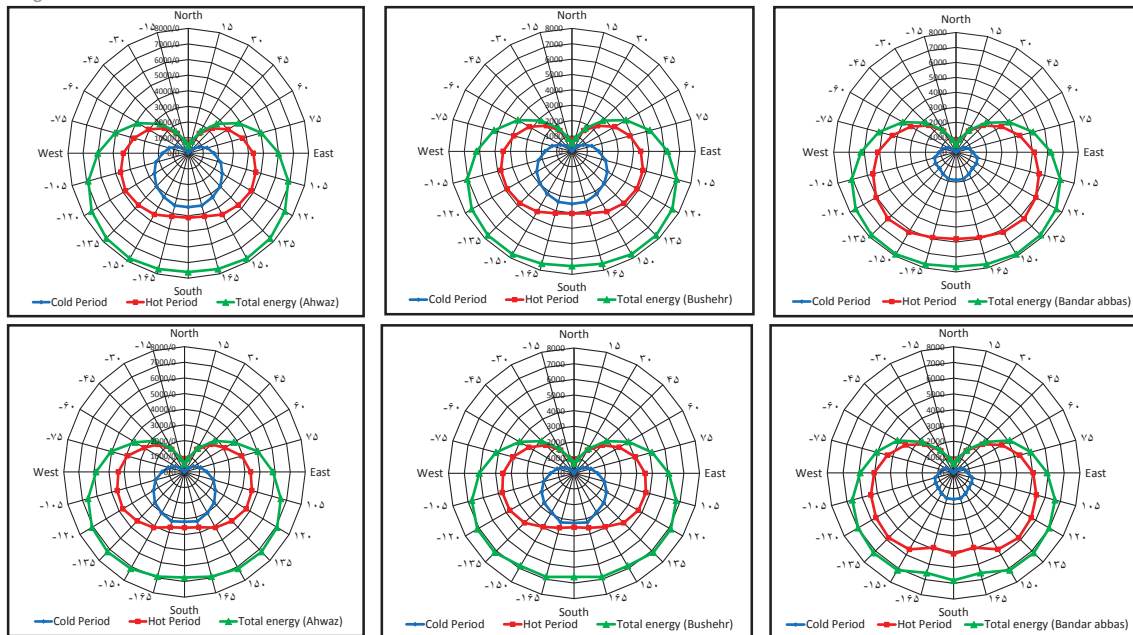


Fig. 1 The amount of received radiation in all directions throughout the year (Top: Based on Law of cosines; Bottom: Based on Olgyay chart)

مورد مطالعه مربوط به جهت شمال و ۱۵ درجه جنوب شرقی و غربی می‌باشد. هر چند به منظور دریافت حداقل انرژی در دوره گرم سال در شهرهای مورد مطالعه جهت شمال می‌تواند جهتی مناسبی باشد ولی با توجه به دریافت بسیار کم انرژی در دوره سرد بین ۲/۶-۰ درصد و همچنین قرارگیری پشت به بادهای مطلوب ساحلی، جهت شمال، جهت مناسبی برای استقرار ساختمان و فضاهای شهری نمی‌باشد. با توجه به اینکه بیشتر ایام سال در این شهرها دما و رطوبت بالاتر از حد آسایش قرار داد، لذا بهترین جهت استقرار ساختمان در شهرهای مورد مطالعه بر اساس دریافت حداقل میزان انرژی خورشید در دوره گرم تعیین می‌گردد. بر همین اساس بهترین جهت استقرار برای ساختمان‌های یک‌طرفه بر اساس روش قانون کسینوس در شهرهای بندرعباس، بوشهر و اهواز جهت ۱۸۰ درجه جنوب بوده و حداکثر میزان انرژی دریافتی در دوره گرم بر اساس روش مذکور به ترتیب ۷۵/۷، ۵۴/۱ و ۵۴/۵ درصد می‌باشد. هم‌چنین بهترین جهت استقرار برای ساختمان‌های یک‌طرفه بر اساس نقاله تابش اولگی در شهر بندرعباس جهت ۱۶۵ درجه جنوب شرقی و غربی با دریافت حداکثر ۷۴/۶ درصد و در شهر بوشهر و اهواز جهت ۱۸۰ جنوب به ترتیب با دریافت حداکثر ۵۲/۸ و ۵۲ درصد انرژی در دوره گرم سال می‌باشد. هم‌چنین با توجه به میزان انرژی دریافتی در دوره گرم، جهات ۱۶۵ درجه جنوب شرقی و غربی، اولویت دوم و جهات ۱۵۰ درجه جنوب شرقی و غربی، اولویت سوم استقرار برای ساختمان‌های یک‌طرفه در شهرهای مورد مطالعه می‌باشد.

همان‌گونه که در جداول ۵، ۶ و ۷ مشاهده می‌شود، بیشترین مقدار انرژی دریافتی سالانه در شهرهای بندرعباس، بوشهر و اهواز متعلق به سطوح ۱۵۰ درجه جنوب شرقی و غربی می‌باشد. کمترین میزان انرژی دریافتی سالانه نیز متعلق به سطوح رو به شمال می‌باشد. کمترین درصد دریافت انرژی در دوره گرم سال بر اساس روش قانون کسینوس در شهرهای بندرعباس، بوشهر و اهواز به ترتیب با ۷۵/۷، ۵۴/۱ و ۵۴/۵ درصد مربوط به جهت ۱۸۰ درجه جنوب می‌باشد. هم‌چنین کمترین درصد دریافت انرژی در دوره گرم سال بر اساس نقاله تابش اولگی در شهر بندرعباس با ۷۴/۶ درصد مربوط به جهت ۱۶۵ درجه جنوب شرقی و غربی و در شهرهای بوشهر و اهواز به ترتیب با ۵۲/۸ و ۵۲ درصد مربوط به جهت جنوب می‌باشد. بر طبق تصویر شماره ۱، جهات جنوبی بیشترین مقدار انرژی را در مواقع گرم سال و جهات شمالی کمترین مقدار را در مواقع سرد دریافت می‌کنند. هم‌چنین میزان انرژی دریافتی در دوره گرم نسبت به کل سال بر اساس روش قانون کسینوس و نقاله تابش اولگی به ترتیب در شهر بندرعباس، ۸۰/۸ و ۸۲ درصد، در شهر بوشهر، ۶۶/۱ و ۶۷/۹ درصد و در شهر اهواز، ۶۵/۷ و ۶۷/۴ درصد می‌باشد. نتایج بیانگر این است که دوره گرم سال در شهرهای مورد مطالعه بیشتر بوده و بیشترین میزان انرژی دریافتی مربوط به دوره گرم می‌باشد، لذا نیاز به کنترل دریافت تابش خورشیدی سطوح خارجی و ممانعت از نفوذ تابش به فضاهای داخلی در دوره گرم در این شهرها ضروری می‌باشد. کمترین میزان انرژی دریافتی در شهرهای

جدول ۸ و ۹ میانگین انرژی دریافتی سطوح قائم ساختمان‌های دو و چهار طرفه را نشان می‌دهد.

Table 8: The amount of direct energy received by vertical surfaces in two-sided buildings in studied cities (BTU/H/FT²)

City	Orientation	Law of Cosines					Olgay chart				
		Period				Dif.	Period				Dif.
		Cold	%	Hot	%		Cold	%	Hot	%	
Bandar Abbas	(N, S)	928.7	22.7	3161.2	77.3	-2232.5	837.0	22.6	2866.2	77.4	-2029.2
	(165, -15)/ (-165, 15)	932.3	21.6	3376.8	78.4	-2444.5	833.1	22.3	2901.3	77.7	-2068.2
	(150, -30)/ (-150, 30)	881.3	18.4	3902.6	81.6	-3021.4	790.6	18.0	3605.3	82.0	-2814.7
	(135, -45)/ (-135, 45)	892.4	16.8	4404.5	83.2	-3512.1	776.1	15.6	4196.0	84.4	-3419.9
	(120, -60)/ (-120, 60)	1070.3	18.5	4730.1	81.5	-3659.8	944.1	17.0	4603.1	83.0	-3658.9
	(105, -75)/ (-105, 75)	1179.1	19.2	4965.7	80.8	-3786.6	977.8	16.7	4880.3	83.3	-3902.5
Bushehr	(E, W)	1090.1	17.5	5123	82.5	-4032.8	894.0	15.1	5029.7	84.9	-4135.7
	(N, S)	1716.6	43	2278.6	57	-562	1586.1	43.9	2028.8	56.1	-442.7
	(165, -15)/ (-165, 15)	1728.2	40.9	2496.8	59.1	-768.6	1627.3	41.7	2274.5	58.3	-647.2
	(150, -30)/ (-150, 30)	1688.5	35.7	3044.7	64.3	-1356.2	1490.9	34.5	2828.9	65.5	-1338.0
	(135, -45)/ (-135, 45)	1710.2	32.4	3564.2	67.6	-1854.1	1525.9	30.3	3505.6	69.7	-1979.7
	(120, -60)/ (-120, 60)	1753.2	30.3	4036.8	69.7	-2283.6	1542.2	27.7	4029.6	72.3	-2487.4
Ahwaz	(105, -75)/ (-105, 75)	1800.5	29.3	4341.4	70.7	-2541	1560.7	26.2	4390.8	73.8	-2830.2
	(E, W)	1741.6	28	4470.1	72	-2728.5	1508.4	25.0	4532.2	75.0	-3023.8
	(N, S)	1731.2	43	2295.3	57	-564.1	1593.7	44.0	2032.4	56.0	-438.7
	(165, -15)/ (-165, 15)	1754.9	41.6	2467.2	58.4	-712.2	1633.0	41.9	2265.5	58.1	-632.5
	(150, -30)/ (-150, 30)	1695.4	36.2	2993.4	63.8	-1298	1554.2	35.0	2885.8	65.0	-1331.6
	(135, -45)/ (-135, 45)	1703.5	32.9	3481.5	67.1	-1778.1	1547.0	30.9	3462.8	69.1	-1915.8
Ahwaz	(120, -60)/ (-120, 60)	1712.4	30.3	3937.5	69.7	-2225.1	1530.9	28.2	3900.3	71.8	-2369.4
	(105, -75)/ (-105, 75)	1772.3	29.7	4196.4	70.3	-2424	1549.6	26.6	4275.2	73.4	-2725.6
	(E, W)	1702.7	28.2	4325.3	71.8	-2622.6	1479.5	25.3	4378.3	74.7	-2898.8

Table 9: The amount of direct energy received by vertical surfaces in four-sided buildings in studied cities (BTU/H/FT²)

City	Orientation	Law of Cosines					Olgay chart				
		Period				Dif.	Period				Dif.
		Cold	%	Hot	%		Cold	%	Hot	%	
Bandar Abbas	(180, 0, 90, -90)	1009.4	19.6	4142.1	80.4	-3132.7	865.5	18	3947.9	82	-3082.5
	(165, -15, 75, -105)	1055.7	20.2	4171.2	79.8	-3115.6	905.4	18.9	3890.8	81.1	-2985.3
	(150, -30, 60, -120)	975.8	18.4	4316.4	81.6	-3340.6	867.4	17.4	4104.2	82.6	-3236.8
	(135, -45, 45, -135)	892.4	16.8	4404.5	83.2	-3512.1	776.1	15.6	4196	84.4	-3419.9
	(120, -60, 30, -150)	975.8	18.4	4316.4	81.6	-3340.6	867.4	17.4	4104.2	82.6	-3236.8
	(105, -75, 15, -165)	1055.7	20.2	4171.2	79.8	-3115.6	905.4	18.9	3890.8	81.1	-2985.3
Bushehr	(180, 0, 90, -90)	1729.1	33.9	3374.4	66.1	-1645.2	1547.3	32	3280.5	68	-1733.2
	(165, -15, 75, -105)	1764.3	34.0	3419.1	66.0	-1654.8	1594	32.4	3332.7	67.6	-1738.7
	(150, -30, 60, -120)	1720.9	32.7	3540.8	67.3	-1819.9	1516.6	30.7	3429.3	69.3	-1912.7
	(135, -45, 45, -135)	1710.2	32.4	3564.2	67.6	-1854.1	1525.9	30.3	3505.6	69.7	-1979.7
	(120, -60, 30, -150)	1720.9	32.7	3540.8	67.3	-1819.9	1516.6	30.7	3429.3	69.3	-1912.7
	(105, -75, 15, -165)	1764.3	34.0	3419.1	66.0	-1654.8	1594	32.4	3332.7	67.6	-1738.7
Ahwaz	(180, 0, 90, -90)	1717.0	34.2	3310.3	65.8	-1593.3	1536.6	32.4	3205.4	67.6	-1668.8
	(165, -15, 75, -105)	1763.6	34.6	3331.8	65.4	-1568.1	1591.3	32.7	3270.3	67.3	-1679
	(150, -30, 60, -120)	1703.9	33.0	3465.5	67.0	-1761.5	1542.6	31.3	3393.1	68.7	-1850.5
	(135, -45, 45, -135)	1703.5	32.9	3481.5	67.1	-1778.1	1547	30.9	3462.8	69.1	-1915.8
	(120, -60, 30, -150)	1703.9	33.0	3465.5	67.0	-1761.5	1542.6	31.3	3393.1	68.7	-1850.5
	(105, -75, 15, -165)	1763.6	34.6	3331.8	65.4	-1568.1	1591.3	32.7	3270.3	67.3	-1679

در دوره گرم بر اساس روش‌های مذکور به ترتیب در شهر بندرعباس ۷۷/۳ و ۷۷/۴ درصد، در شهر بوشهر ۵۷ و ۵۶/۱ درصد و در شهر اهواز ۵۷ و ۵۶ درصد می‌باشد. هم‌چنین با توجه به حداقل انرژی دریافتی در دوره گرم، جهات (۱۵-، ۱۶۵،) و (۱۵، ۱۶۵-) درجه در اولویت دوم استقرار برای

با توجه به نتایج حاصل از جدول ۸ و بر اساس حداقل انرژی دریافتی در دوره گرم سال، بهترین جهت استقرار برای ساختمان‌های دوطرفه براساس روش قانون کسینوس و نقاله تابش اولگی در شهرهای بندرعباس، بوشهر و اهواز جهت شمال- جنوب می‌باشد. حداکثر میزان انرژی دریافتی

در شهر بندرعباس ۷۹/۸ و ۸۱/۱ درصد، در شهر بوشهر ۶۶ و ۶۷/۶ درصد و در شهر اهواز ۶۵/۴ و ۶۷/۳ درصد می‌باشد. همچنین با توجه به حداقل انرژی خورشیدی در دوره گرم، جهات (۹۰-، ۹۰، ۰، ۱۸۰) درجه در اولویت دوم استقرار برای ساختمان‌های چهارطرفه قرار دارد. تصویر ۲ نمودار اولویت‌بندی استقرار ساختمان‌های یک، دو و چهارطرفه را در شهرهای مورد مطالعه نشان می‌دهد.

ساختمان‌های دوطرفه قرار دارد. طبق جدول ۹ و بر اساس حداقل انرژی دریافتی در دوره گرم سال، بهترین جهت استقرار به منظور دریافت بهینه میزان انرژی خورشیدی در سطوح قائم برای ساختمان‌های چهارطرفه بر اساس روش قانون کسینوس و مقاله تابش اولگی در شهرهای بندرعباس، بوشهر و اهواز جهات (۱۰۵-، ۷۵، ۱۵-، ۱۶۵) و (۱۰۵، ۷۵، ۱۵-، ۱۶۵) درجه بوده و حداکثر میزان انرژی دریافتی در دوره گرم بر اساس روش‌های مذکور به ترتیب

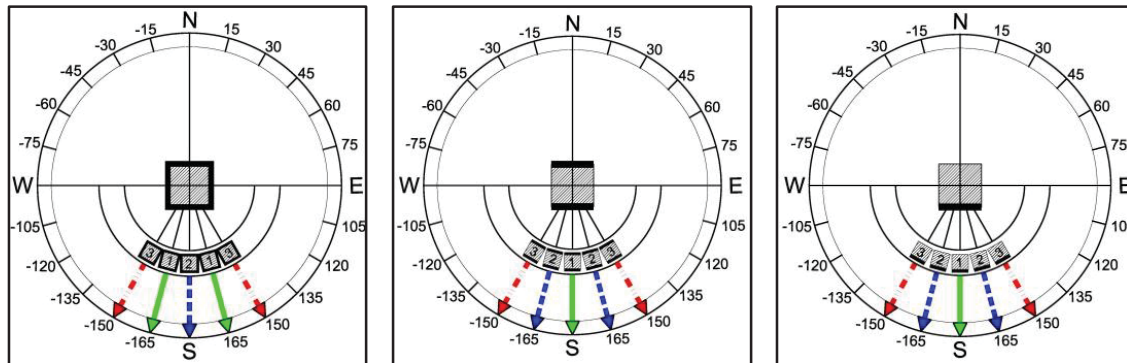


Fig. 2 Chart of orientation prioritization for one-sided (right), two-sided (center) and four-sided (left) buildings in studied cities. (Green line: first priority; Blue line: second priority; Red line: third priority)

شهرهای مورد مطالعه محاسبه گردید. نتایج نشان می‌دهد که جهت استقرار بهینه با استفاده از روش‌های قانون کسینوس و مقاله تابش اولگی در شهرهای مورد مطالعه، برای ساختمان‌های یک، دو و چهارطرفه یکسان می‌باشد. به منظور دریافت بهینه میزان انرژی خورشیدی سطوح قائم، بهترین جهت استقرار برای ساختمان‌های یک‌طرفه در شهرهای بندرعباس، بوشهر و اهواز، جهت ۱۸۰ جنوب و بعد از آن جهت ۱۶۵ جنوب‌شرقی و غربی می‌باشد. بهترین جهت استقرار برای ساختمان‌های دوطرفه در شهرهای بندرعباس، بوشهر و اهواز جهت شمال- جنوب و بعد از آن جهات (۱۶۵، ۱۵) و (۱۶۵، ۱۵-) درجه می‌باشد. همچنین بهترین جهت استقرار برای ساختمان‌های چهارطرفه در شهرهای بندرعباس، بوشهر و اهواز جهات (۱۰۵، ۷۵، ۱۵-)، (۱۶۵، ۱۰۵، ۷۵، ۱۵-) درجه و بعد از آن جهات (۹۰-، ۹۰، ۰، ۱۸۰) درجه می‌باشد. بر اساس داده‌های محاسباتی و یافته‌های این تحقیق، امکان محاسبه میزان انرژی دریافتی و تعیین جهت مناسب استقرار سطوح قائم فرم‌های مختلف چندضلعی منظم با تناسب ابعادی مختلف و جداره‌های معابر و فضاهای شهری وجود دارد.

۵- نتیجه‌گیری

شناخت دقیق شرایط اقلیمی و تعیین پتانسیل‌های محیطی و جغرافیایی محل قرارگیری ساختمان، برای دستیابی به یک معماری پایدار و همساز با اقلیم و به منظور استفاده حداکثری از انرژی‌های تجدیدپذیر ضروری می‌باشد. شهرهای بندرعباس، بوشهر و اهواز دارای اقلیمی گرم و مرطوب با تابستان‌های بسیار گرم و مرطوب و زمستان‌های معتدل می‌باشند. با توجه به بالا بودن دما و رطوبت هوا در بیشتر مواقع سال در سواحل جنوبی کشور، بهره‌گیری از حداکثر پوشش سایه و جریان هوا نقش بسیار مهمی در احساس آسایش حرارتی دارد. لذا در این مناطق جهت استقرار ساختمان‌ها و فضاهای شهری بر اساس شرایط اقلیمی لازم است طوری باشد که در دوره‌های گرم شدت تابش آفتاب بر سطوح آن به حداقل رسیده و امکان ایجاد حداکثر جریان هوا و تهویه طبیعی در فضاهای داخلی ساختمان وجود داشته باشد. در این تحقیق با استفاده از روش محاسباتی قانون کسینوس و مقاله تابش اولگی، میزان انرژی تابشی مستقیم بر روی سطوح قائم در ۲۴ جهت جغرافیایی و به تفکیک دوره‌های سرد و گرم سال برای

فهرست منابع

- برزگر، زهرا؛ حیدری، شاهی (۱۳۹۲). بررسی تاثیر تابش دریافتی خورشید در بدنه‌های ساختمان بر مصرف انرژی بخش خانگی، نشریه هنرهای زیبا- معماری و شهرسازی، دوره ۱۸، شماره ۱، صص. ۴۵-۵۶.
- حجازی‌زاده، زهرا؛ افتخاری، سیدمروت؛ سلکی، هیوا (۱۳۹۱). بهینه‌سازی جهت‌گیری فضاهای آزاد در شهر دزفول بر اساس شرایط اقلیمی، جغرافیا (فصلنامه علمی - پژوهشی انجمن جغرافیای ایران)، سال دهم، شماره ۳۲، صص. ۷-۲۷.
- حسین‌آبادی، سعید؛ لشکری، حسن؛ سلمانی‌مقدم، محمد (۱۳۹۱). طراحی اقلیمی ساختمان‌های مسکونی شهر سبزوار با تاکید بر جهت‌گیری ساختمان و عمق سایبان، جغرافیا و توسعه، سال دهم، شماره ۲۷، ۱۱۶-۱۰۳.
- حسینی، سید محمد؛ حجازی‌زاده، زهرا؛ کربلایی‌درئی، علیرضا؛ کاشکی، عبدالرضا (۱۳۹۸). بهینه‌سازی جهت‌سازهای ساختمانی بر اساس تابش خورشید در همدان، جغرافیا (فصلنامه علمی - پژوهشی انجمن جغرافیای ایران)، دوره ۱۷، شماره ۶۰، صص. ۲۰-۵.
- خلیلی، علی؛ رضایی صدر، حسن (۱۳۷۶). برآورد تابش کلی خورشید در گستره ایران بر مبنای داده‌های اقلیمی، تحقیقات جغرافیایی، دوره ۴، شماره ۴۶، صص. ۱۵-۳۵.
- خیرآبادی، فواد؛ نورمحمدزاد، حسین؛ علیزاده، هوشمند (۱۳۹۶). نقش جهت‌گیری کالبد فضاهای شهری در میزان آسایش اقلیمی شهروندان (مطالعه موردی: شهر بندرعباس)، جغرافیا و پایداری محیط، سال هفتم، شماره ۲۴، صص. ۱۵-۳۱.
- عظمتی، علی‌اکبر؛ حسینی، حسین (۱۳۹۲). بررسی تاثیر جهت‌گیری ساختمان‌های آموزشی بر بارهای حرارتی و برودتی در اقلیم‌های مختلف، علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره ۱۵، شماره ۲، صص. ۱۴۷-۱۵۷.
- قانقرمه، عبدالعظیم؛ روشن، غلامرضا؛ شاهکویی، اسماعیل (۱۳۹۷). بازنگری در تعیین دمای پایه آسایش حرارتی مناطق اقلیمی متفاوت ایران به منظور محاسبه شاخص درجه- روز مورد نیاز سرمایشی و گرمایشی، فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی، دوره ۲۷، شماره ۱۰۵، صص. ۱۲۷-۱۴۳.
- کربلایی‌درئی، علیرضا؛ حجازی‌زاده، زهرا (۱۳۹۶). بهینه‌سازی جهت‌گیری استقرار ساختمان در شهر کاشان بر اساس شرایط اقلیمی، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، دوره هفتم، شماره ۲۷، صص. ۸۵-۱۰۳.
- کسمایی، مرتضی (۱۳۸۱). اقلیم و معماری، اصفهان، نشر خاک، چاپ دوم، صص. ۲۸-۳۱.
- گنجی، حسن (۱۳۳۳). تقسیمات اقلیمی ایران، مجله دانشکده ادبیات، سال سوم، شماره ۱، صص. ۲۷-۷۲.
- لشکری، حسن؛ موزرمی، سارا؛ سلکی، هیوا؛ لطفی، کورش (۱۳۹۰). بهینه‌سازی جهت‌گیری بناهای ساختمانی در شهر اهواز بر اساس شرایط اقلیمی، جغرافیای طبیعی، سال چهارم، شماره ۱۲، صص. ۴۵-۶۲.
- محمدزاده، رحمت؛ جهانی، مقصود؛ قراخانی شجاعی، رضا (۱۳۹۴). مطالعه میزان انطباق مسکن شهر جلفا با زاویه تابش آفتاب، فصلنامه فضای جغرافیایی، سال پانزدهم، شماره ۵۲، صص. ۱۱۷-۱۳۵.
- مقررات ملی ساختمان ایران- بحث ۱۹: صرفه‌جویی در مصرف انرژی (۱۳۸۸). وزارت مسکن و شهرسازی- دفتر امور مقررات ملی ساختمان.
- Al-Anzi A, Seo D, Krarti M (2009). Impact of building shape on thermal performance of office buildings in Kuwait, Energy Conversion and Management, Vol. 50, No. 3, pp. 822-828.
- Angstrom A (1924). Solar and terrestrial radiation, Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, Vol. 50, pp. 121-126.
- Ashrae (1995). Handbook, heating, ventilating, and airconditioning applications. ashrae publications.
- Bakirci K (2009). Models of solar radiation with hours of bright sunshine: A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 13, No. 9, pp. 2580-2588.
- Barzegar Z, Heydari Sh, 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, Vol. 22, No. 2, pp. 108-113.
- 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, Vol. 7, No. 4, pp. 489-494.
- Depecker P, Menezo C, Virgone J, Lepers S (2001). Design of buildings shape and energetic consumption, Building and Environment, Vol. 36, No. 5, pp. 627-635.
- Duffie JA, Beckman WA (2006). Solar engineering of thermal processes, 3rd ed, John Wiley & Sons, Inc.
- Energyplus, 2018. Retrieved from: https://energyplus.net/weather-location/asia_wmo_region_2/IRN//IRN_Tehran-Mehrabad.407540_ITMY, at April, 2018; 22: 25:30PM.
- Hemsath TL, Alagheband Bandhosseini K (2015). Sensitivity analysis evaluating basic building geometry's effect on energy use, Renewable Energy, Vol. 76, pp. 526-38.
- IRIMO, 2018. Retrieved from: <http://www.irimo.ir/far/wd/2703>, at May, 2018; 23:30:28PM.
- 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, Vol. 50, No. 11, pp. 2754-2760.
- Neuwirth F (1980). The Estimation of global and sky radiation in austria, Solar Energy, Vol. 24, No. 5, pp. 421-426.
- Oral GK, Yilmaz Z (2003). Building form for cold climatic zones related to building envelope from heating energy conservation point of view, Energy and Buildings, Vol. 35, No. 4, pp. 383-388.

- Ourghi R, Al-Anzi A, Krarti M (2007). A simplified analysis method to predict the impact of shape on annual energy use for office buildings, *Energy Conversion and Management*, Vol. 48, No. 1, pp. 300-305.
- Paltridge GW, Proctor D (1976). Monthly mean solar radiation statistics for Australia, *Solar Energy*, Vol. 18, No. 3, pp. 235- 243.
- Prescott JA (1940). Evaporation from a water surface in relation to solar radiation, *Transactions of the Royal Society of South Australia*, Vol. 64, pp. 114-118.
- Sabbagh JA, Sayigh AAM, Al-Salam EMA (1977). Estimation of the total solar radiation from meteorological data, *Solar Energy*, Vol. 19, No. 3, pp. 307-311.
- Samimi J (1994). Estimation of height-dependent solar irradiation and application to the solar climate of Iran, *Solar Energy*, Vol. 52, No. 5, pp. 401-409.
- 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*, Vol. 45, Nos. 18-19, pp. 3033-3052.
- Watson D, Labs K (1983). *Climate design: energy efficient building principles and practices.*, McGraw-Hill, New York, 37.
- Wei L, Tian W, Zuo J, Yang ZY, Liu YL, Yang S (2016). Effects of building form on energy use for buildings in cold climate regions, *Procedia Engineering*, Vol. 146, pp. 182-189.
- 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*, Vol. 48, No. 9, pp. 2447-2452.
- Zamani M, Akbari H, Hadavi F (2016). Best orientation determination of buildings in zanzan city based on solar radiation, *Armanshahr Architecture & Urban Development*, Vol. 8, No. 16, pp. 85-94.20.

Determining The Optimum Orientation of Vertical Building Surfaces, Based on Solar Energy Receiving in The Hot and Humid Climate (Case Study: Bandar Abbas, Bushehr and Ahwaz Cities)

Hassan Akbari¹(Corresponding Author), Fatemeh Sadat Hosseini Nezhad²

¹Assistant Professor of Architecture, Faculty of Engineering, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran (h.akbari.arc@gmail.com)

²Ph.D in Urban and Regional Planning, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran (Hosseininezhad1359@gmail.com)

Received
24/07/2018

Revised
05/05/2019

Accepted
03/10/2019

Available Online
19/02/2020

Introduction

Due to the hot and humid climate of the southern coastal cities of Iran, radiation and airflow play a very important role in thermal comfort feeling. If the wind flow is compatible with shade, they cause more evaporation in the perspiration process and cool the body, allowing people to continue working at temperatures above the comfort zone. Therefore, the orientation of buildings in these regions should be determined simultaneously based on the optimum use of solar radiation and wind flow. This research aims to determine the best orientations of buildings, compatible with climate, in Bandar Abbas, Bushehr and Ahwaz cities, by surveying the amount of direct radiation energy received by the vertical surfaces of buildings.

Research Methodology

To calculate the amount of direct radiation energy received by the vertical surfaces in different geographic directions, firstly, the parameters related to the solar geometry including solar hour angle, declination angle, side angle, Zenith angle, and sun altitude were extracted using computational relationships and Q-BASIC software, in different hours of the day, in studied cities. Secondly, using the "Law of cosines" computational method and Olgyay chart, the amount of per hour direct radiation energy, received by vertical surfaces in 24 geographic directions was measured through theoretical and real calculation. Thirdly, based on the minimum temperature of thermal comfort, the amount of energy received by the surfaces was calculated for hot and cold periods of the year, separately. Fourthly, the most appropriate orientations for one-sided, two-sided, and four-sided buildings were determined based on the maximum difference between the received energy in the cold and hot periods and the highest percentage of radiation received in the cold period of the year.

Research Findings

The amount of received energy during the hot period compared to the whole year according to the Law of Cosines and Olgyay chart methods, is respectively 80.8% and 82% in Bandar Abbas, 66.1% and 67.9% in Bushehr, and, 67.4% and 65.7%, respectively. The results indicate that the duration of hot period of the year is longer than cold period in studied cities and the highest amount of energy is obtained through the hot period, therefore it is necessary to control the absorption of solar radiation by external surfaces and to prevent the penetration of radiation into the internal spaces during the hot period in these cities. Accordingly, the best orientations for building in studied cities are determined based on the minimum amount of solar energy received during the hot period. The best orientation for one-sided buildings according to the Law of Cosines in Bandar Abbas, Bushehr and Ahwaz is 180° South and the maximum amount of received energy in the hot period is respectively 75.7%, 54.1% and 54.5%. Also, the best orientation for one-sided buildings according to Olgyay chart in Bandar

Abbas is the orientations of 165° Southeast and Southwest with the maximum amount of 74.6% and in Bushehr and Ahvaz is 180° South with the maximum amount of 52% and 52.8% received energy, respectively in hot period of the year.

Based on the minimum received energy during the hot period, the best orientations for two-sided buildings using the Law of Cosines and Olgyay chart in Bandar Abbas, Bushehr and Ahvaz are the North-South direction. The maximum amount of received energy during the hot period using the mentioned methods is respectively 77.3% and 77.4% in Bandar Abbas, 57% and 56.1% in Bushehr, and 57% and 56% in Ahvaz. Also, the best orientation for four-sided buildings using the Law of Cosines and Olgyay chart in the cities of Bandar Abbas, Bushehr and Ahvaz is respectively (165, -15, 75, 105) and (-165, 15, -75, 105) degrees. The maximum amount of received energy during the hot period using mentioned methods is respectively 79.8% and 81.1% in Bandar Abbas, 66% and 67.6% in Bushehr and 65.4% and 67.3% in Ahvaz.

Conclusion

The results show that the optimum orientations using the Law of Cosines and Olgyay chart methods, for one-sided, two-sided and four-sided buildings are the same in studied cities. In order to obtain the optimum amount of solar energy on vertical surfaces, the best orientation for one-sided buildings in Bandar Abbas, Bushehr and Ahvaz is respectively 180° South and 165° Southeast and Southwest. The best orientation for two-sided buildings in studied cities is North-South and then (165, -15) and (-165, -15) degrees. The best orientations for four-sided buildings in those cities are (165, -15, 75, -105) and (-165, 15, -75, 105) degrees then (180, 0, 90, -90) degrees.

Key words:

Solar energy, Orientation of vertical surfaces, The “Law of cosines”, Olgyay chart, Hot humid climate.