

بهینه‌سازی فرم، نسبت ابعادی و جهت‌گیری ساختمان بر اساس تابش خورشید و جهت باد (مطالعه‌ی موردی: شهرهای تبریز، یزد و بندرعباس)

حسن اکبری*، استادیار معماری-دانشگاه محقق اردبیلی

حجت‌اله رشید کلویز، استادیار معماری-دانشگاه محقق اردبیلی

چکیده

انرژی‌های تجدیدپذیر (مانند انرژی خورشیدی) می‌تواند از طریق طراحی فضاهای معماری و شهری سازگار با اقلیم و زیست‌بوم منطقه و با در نظر گرفتن ویژگی‌های معماری ساختمان از قبیل فرم، ابعاد و جهت‌گیری آن تأمین شود. هدف از این پژوهش، تعیین فرم، نسبت ابعادی و جهت مناسب استقرار ساختمان بر اساس انرژی تابشی خورشید و جهت باد غالب در شهرهای تبریز، یزد و بندرعباس است. در این پژوهش، شش فرم هندسی متداول، شامل مربع، مستطیل (با راستای شرقی- غربی و شمالی- جنوبی)، شش ضلعی، هشت ضلعی، شانزده ضلعی و سی‌ودو ضلعی (دایره) با مساحت و ارتفاع برابر و رو به جنوب مورد بررسی قرار گرفته و از میان آن‌ها، فرم مستطیل با نسبت‌های ابعادی $۱:۱/۲$ ، $۱:۱/۴$ ، $۱:۱/۶$ ، $۱:۱/۸$ و $۱:۲$ و در جهات ۱۲۰ ، ۱۳۵ ، ۱۵۰ ، ۱۶۵ و ۱۸۰ درجه جنوب شرقی و غربی مطالعه گردیده است. میزان انرژی تابشی دریافتی بر روی سطوح قائم به صورت نظری و واقعی با استفاده از روش محاسباتی "قانون کسینوس"، برای ماه‌های مختلف و در جهت جغرافیایی و به تفکیک دوره‌های سرد و گرم سال محاسبه و پردازش شده است. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که بهترین فرم ساختمان در تمام شهرهای مورد مطالعه، مستطیل با راستای شرقی- غربی و بعد از آن فرم مربع است. نسبت ابعادی بهینه برای فرم مستطیل با راستای شرقی- غربی، در شهر تبریز برابر $۱:۱/۲$ و در شهرهای یزد و بندرعباس برابر $۱:۱/۶$ است. جهت مناسب استقرار ساختمان بر اساس تابش و جهت باد غالب، در شهر تبریز، جهت ۱۶۵ درجه جنوب شرقی و در شهرهای یزد و بندرعباس، جهت ۱۸۰ درجه جنوب است.

واژگان کلیدی: فرم، نسبت ابعادی، جهت‌گیری بهینه، انرژی خورشیدی، جهت باد، قانون کسینوس.

۱- مقدمه

افزایش مصرف انرژی و استفاده‌ی روزافزون از سوخت‌های فسیلی در دهه‌های اخیر، پدیده‌ی تغییرات آب و هوایی و تولید انواع گازهای گلخانه‌ای را به دنبال داشته است. از این‌رو، ایجاد بسترهای مناسب برای تأمین انرژی مصرفی و همچنین تمرکز بر روی چگونگی مصرف انرژی‌های تولیدی و کاهش مصرف آن‌ها، می‌تواند به‌عنوان یک راهکار مؤثر جهت غلبه بر این چالش‌ها مورد توجه قرار گیرد. رو به اتمام بودن منابع سوخت‌های فسیلی، بازدهی کم و هزینه‌ی بالای مشکلات محیط زیستی آن‌ها، ضرورت بهینه‌سازی مصرف انرژی و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر را امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر نموده است.

امروزه از طریق طراحی مناسب فرم و جهت‌گیری ساختمان‌ها و فضاهای شهری می‌توان انرژی لازم جهت تأمین گرمایش، سرمایش و روشنایی را کاهش داد. استفاده از اصول معماری و شهرسازی سنتی ایران می‌تواند نقش تأثیرگذاری بر طراحی پایدار بناهای آینده داشته و موجب سازگاری و هماهنگی بیش‌تر ساختمان‌ها با شرایط اقلیمی و صرفه‌جویی در مصرف انرژی و هویت یافتن معماری شود. با توجه به شرایط خاص اقلیمی شهرهای تبریز، یزد و بندرعباس، فرم و جهت استقرار بناها و فضاهای شهری در این مناطق لازم است به گونه‌ای باشد که سطوح خارجی آن حداکثر انرژی را در دوره‌ی سرد و حداقل انرژی را در دوره‌ی گرم سال دریافت نماید. همچنین امکان محافظت بنا از بادهای نامطلوب در ماه‌های سرد و بهره‌مندی مناسب از بادهای مطلوب در ماه‌های گرم فراهم گردد. لذا این تحقیق درصدد است تا بر اساس میزان انرژی مستقیم دریافتی سطوح قائم ساختمان‌ها و جهات باد غالب، فرم، نسبت ابعادی و جهت‌گیری مناسب ساختمان‌ها را مطابق با اقلیم منطقه در شهرهای تبریز، یزد و بندرعباس تعیین نماید.

۲- پیشینه‌ی تحقیق

فرم ساختمان تأثیر قابل توجهی بر کاربرد انرژی در ساختمان‌ها دارد. انتخاب شکل و جهت‌گیری مناسب برای ساختمان، دوتا از مهم‌ترین مؤلفه‌های طراحی یکپارچه است. انتخاب یک هندسه‌ی بهینه‌ی ساختمان، یک مرحله‌ی ابتدایی مهم در طراحی ساختمان‌های پایدار است (McKeen & Fung, 2014: 336). در سطح جهانی، بخش قابل توجهی از انرژی ساختمان برای دستیابی به آسایش حرارتی و روشنایی مورد نیاز مصرف می‌شود (Ahsan & Svane, 2010: 184; Mirrahimi et al., 2016: 1510). علاوه بر مصالح ساختمانی، فرم ساختمان و سایر عوامل مرتبط با آن به شدت بر آسایش حرارتی داخلی و انرژی روشنایی ساختمان‌های با تهویه مطبوع و طبیعی تأثیر می‌گذارد. مهم‌ترین پارامترهای مؤثر بر آسایش حرارتی و روشنایی محیط داخلی، شکل ساختمان، جهت‌گیری و نسبت پنجره به دیوار (WWR) ساختمان است، این پارامترها به هم پیوسته بوده و برای دستیابی به آسایش حرارتی بهینه و کارایی انرژی، یک ترکیب مناسب (از این پارامترها) لازم است (Cheung et al., 2005: 44; Yıldız & Arsan, 2011: 81; Ihm & Krarti, 2012: 4295). آل انزی و همکاران^۱ (۲۰۰۹) سنجهای متفاوت را برای اندازه‌گیری فشردگی یک فرم پیشنهاد کردند. فشردگی نسبی (RC) در مطالعات آن‌ها به‌عنوان شاخصی در هنگام ارزیابی تأثیر شکل بر عملکرد انرژی ساختمان استفاده شده است. گراتیا و دی‌هرد^۲ (۲۰۰۲) در بررسی تأثیر فشردگی فرم بر بارهای حرارتی ساختمان در کشور بلژیک نشان دادند که فرم با فشردگی بالا با کم‌ترین میزان نیاز بار حرارتی، دارای همبستگی است. اورگی و همکاران^۳ (۲۰۰۷) یک روش تحلیل ساده‌شده را برای پیش‌بینی تأثیر شکل ساختمان اداری با تهویه مطبوع بر سرمایش سالانه‌ی آن و مصرف کل انرژی در چهار شهر رم، تونس، قاهره و قایس انجام دادند. نتایج حاکی از وابستگی شدید بین مصرف انرژی سالانه ساختمان و پارامترهایی همچون شکل ساختمان، اندازه‌ی

1- AlAnzi, Seo and Krarti
2- Gratia and De Herde
3- Ourghi et al.

پنجره و نوع براق بودن [سطوح] است. دپکر و همکاران^۴ (۲۰۰۱) در طراحی شکل ساختمان‌ها و مصرف انرژی در اقلیم سرد پیشنهاد کردند که بار گرمایشی به‌طور مستقیم با ضریب شکل متناسب است. پژوهش مک‌کین و فانگ^۵ (۲۰۱۴) نشان می‌دهد که انرژی گرمایی با افزایش نسبت ابعادی از ۱ تا مقادیر بیش‌تر برای ساختمان‌های مسکونی چند واحدی، در کانادا افزایش می‌یابد. در بررسی تأثیر پارامترهای مختلف فرم ساختمان اداری از جمله جهت‌گیری، نسبت ابعادی، نسبت پنجره به دیوار، تعداد طبقات و مقیاس‌های کلی بر مصرف انرژی در هاربین چین، نتایج نشان می‌دهد که تعداد طبقات تنها متغیر غالب است که بر شدت مصرف انرژی گرمایش سالانه تأثیر می‌گذارد؛ درحالی‌که مقیاس کلی ساختمان مهم‌ترین عاملی است که هم در سرمایه‌ش و هم در مصرف برق در واحد سطح کف تأثیر دارد (Wei et al., 2016: 188). رفیعیان و همکاران (۱۳۹۰) در بررسی و امکان‌سنجی تأثیر فرم و تراکم بلوک‌های مسکونی بر مصرف انرژی در شهر جدید هشتگرد، نشان دادند که با اعمال تغییر در فرم، تراکم، جهت‌گیری و ارتفاع ساختمان‌های مسکونی، می‌توان تا حدود ۴۵ درصد از میزان مصرف انرژی ساختمان کاست. شفیعی و همکاران (۱۳۹۲) در بررسی فرم مناسب ساختمان بلند برای دریافت انرژی تابشی در تهران، نشان دادند که فرم مناسب ساختمان بلند از نظر دریافت تابش خورشیدی فرمی است که بیش‌ترین میزان تابش دریافتی در فصل زمستان و کم‌ترین را در فصل تابستان داشته باشد و البته با توجه به راهکارهای سامانه‌های غیرفعال، میزان دریافت در فصل زمستان در اولویت است. در نهایت جهت دستیابی به فرم مناسب خورشیدی، گزاره‌هایی همچون افزایش سطح پوسته‌ی جنوبی فرم ساختمان، سایه‌اندازی خود ساختمان بر روی خود در فصل تابستان، پرهیز از فرم‌های محدب و مقعر و استفاده از فرم‌های هرم یا هرم ناقص پیشنهاد شده است. برزگر و حیدری (۱۳۹۲ و ۲۰۱۲) به بررسی تأثیر تابش دریافتی خورشید در بدنه‌های ساختمان بر مصرف انرژی‌بخش خانگی بر اساس جهت‌گیری‌های مختلف ساختمان در شهر شیراز پرداخته‌اند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد خانه‌های با جهت‌گیری اقلیمی مناسب مانند جهت جنوب شرقی و شمال غربی از نظر میزان دریافت انرژی و مصرف در شرایط مناسب می‌باشند. حاجی‌پور و همکاران (۱۳۹۳) در بررسی تأثیر فرم شهر بر میزان مصرف انرژی عملکردی در بخش مسکونی شهر شیراز نشان دادند که بین الگوی سکونت و میزان مصرف انرژی عملکردی، رابطه‌ی همبستگی قوی وجود دارد. هم‌چنین بین کیفیت بنای ساختمان، عمر ساختمان، نوع سازه و مساحت با میزان مصرف انرژی عملکردی رابطه همبستگی با شدت متوسط برقرار است. ضرغامی و همکاران (۱۳۹۴) در بررسی رابطه‌ی فرم ساختمان‌های مسکونی با میزان مصرف انرژی آن‌ها در اقلیم گرم و خشک شهر سمنان نشان دادند که در بین اشکال بدون سایه (مربع، مستطیل و دوزنقه)، مربع کارایی بهتری نسبت به مستطیل دارد و پس‌از آن مستطیل با نسبت ابعاد ۱/۳ مناسب است. در میان اشکال سایه‌انداز (L، U، H و T)، شکل L با نسبت عمق ۲ به ۳ و جهت‌گیری بال به سمت غرب و شمال و زاویه‌ی بین بال‌های آن ۷۰ درجه، بهترین گزینه از لحاظ کارایی انرژی است. هم‌چنین نتایج نشان می‌دهد در مقایسه‌ی بین اشکال سایه‌انداز و بدون سایه، شکل L نسبت به مربع و مستطیل کارایی بهتری در مصرف انرژی دارد. مرتضایی و همکاران (۱۳۹۶) به بررسی ریخت‌گونه شناسانه‌ی بافت‌های مسکونی جدید در راستای بهینه‌سازی مصرف انرژی اولیه در سپاهان شهر پرداخته‌اند. نتایج بیانگر این است که بین مصرف انرژی اولیه و شاخص‌های طرح چیدمان، مکان قرارگیری توده، فرم ساختمان، ارتفاع ساختمان، سطح معابر و فضاهای باز رابطه‌ی همبستگی قوی و بین مصرف انرژی اولیه و شاخص تناسب بلوک، رابطه‌ی همبستگی متوسط وجود دارد. هم‌چنین بر اساس نتایج حاصل از تحلیل واریانس، الگوهای متداول ردیفی و الگوهای مربع شکل، به ترتیب کارآمدترین و ناکارآمدترین الگوی بافت مسکونی جدید به‌شمار می‌آیند. سایر الگوها مانند گونه‌های H، T، I و L شکل از لحاظ مصرف انرژی اولیه در سطح میانی قرار می‌گیرند و در این میان، الگوهای H شکل بهترین گزینه برای ساختمان متراکم چهار طبقه می‌باشند. حسین‌آبادی و همکاران (۱۳۹۱) در طراحی اقلیمی ساختمان‌های مسکونی شهر سبزوار با تأکید

4- Depecker et al

5- McKean & Fung

بر جهت‌گیری و عمق سایبان نشان دادند که جهت ۱۵ و ۳۰ درجه شرقی در ساختمان‌های یک‌طرفه و جهت ۱۶۵+ و ۱۵- درجه شمالی- جنوبی در ساختمان‌های دوطرفه، بهترین جهت‌های قرارگیری با توجه به تابش آفتاب برای سبزواری است. کربلائی‌درئی و حجازی‌زاده (۱۳۹۱) در بهینه‌سازی جهت‌گیری استقرار ساختمان در شهر کاشان بر اساس شرایط اقلیمی نشان دادند که ایده‌آل‌ترین جهت برای نمای اصلی ساختمان‌های یک‌طرفه جهت ۱۸۰ درجه یا جنوب است. جهت مناسب برای ساختمان‌های دوطرفه نیز جهت شمال- جنوب و برای ساختمان‌های چهار طرفه جهت ۱۵۰+ و ۳۰- درجه است. فرج‌زاده و عباسی (۱۳۹۱) در بهینه‌سازی جهت ساختمان‌های شهر قیر در رابطه با تابش آفتاب با استفاده از روش روابط کسینوس، جهت ۱۵۰ تا ۱۶۵ درجه جنوب شرقی را برای ساختمان‌های یک‌طرفه و جهت ۱۶۵ درجه جنوب شرقی و ۱۵ درجه شمال غربی را برای ساختمان‌های دوطرفه ایده‌آل‌ترین و جهت ۱۸۰ درجه را جهت قابل‌قبول تعیین نمود. کرمی‌کرد علیوند و نارنگی‌فرد (۱۳۹۶) در بهینه‌سازی جهت‌گیری ساختمان‌ها در برابر تابش شهر شیراز نشان دادند که جهت‌های بهینه برای استقرار ساختمان جهات جنوب و ۱۶۵ درجه جنوب شرقی و غربی است. از میان این جهت‌ها و با در نظر گرفتن نمای یک‌طرفه و دوطرفه بناها، جهت جنوب به دلیل جذب حداکثر انرژی در مواقع سرد سال و جذب کم‌تر انرژی در مواقع گرم سال به‌عنوان جهت مطلوب تشخیص داده شد.

۳- محدوده‌ی مورد مطالعه

بر اساس تقسیمات اقلیمی کوپن، شهر تبریز دارای اقلیم سرد و خشک با زمستان‌های سرد و تابستان‌های گرم و خشک، شهر یزد دارای اقلیمی گرم و خشک بیابانی با زمستان‌های سخت و سرد و تابستان‌های گرم و خشک و شهر بندرعباس دارای اقلیمی گرم و مرطوب با تابستان بسیار گرم و مرطوب و زمستان معتدل است (گنجی، ۱۳۳۳: ۳۹-۳۷). ویژگی‌های جغرافیایی- اقلیمی، جهات و سرعت باد غالب و درصد ساعات آفتابی شهرهای مورد مطالعه در جدول ۱، ۲ و ۳ ارائه شده است.

جدول ۱: ویژگی‌های جغرافیایی- اقلیمی شهرهای مورد مطالعه

| متوسط رطوبت نسبی (درصد) | دمای سالیانه (درجه) | | | ارتفاع از سطح دریا (متر) | طول جغرافیایی | عرض جغرافیایی | |
|-------------------------|---------------------|-------|--------|--------------------------|---------------|---------------|----------|
| | میانگین | کمینه | بیشینه | | | | |
| ۵۴ | ۱۲/۴۵ | ۶/۹ | ۱۸ | ۱۳۶۱ | ۴۶° , ۱۷' | ۳۸, ۵' | تبریز |
| ۳۱ | ۱۹/۱ | ۱۱/۷ | ۲۶/۵ | ۱۲۳۷ | ۵۴° , ۱۷' | ۳۱, ۵۴' | یزد |
| ۶۵ | ۲۷ | ۲۱/۸ | ۳۲/۱ | ۹/۸ | ۵۶° , ۲۲' | ۲۷, ۱۳' | بندرعباس |

منبع (www.irimo.ir)

جدول ۲: جهات و سرعت باد غالب در شهرهای مورد مطالعه

| دسامبر | نوامبر | اکتبر | سپتامبر | آگوست | ژوئای | ژوئن | مئی | آوریل | مارس | فوریه | ژانویه | جهت باد غالب (درجه) | تبریز |
|--------|--------|-------|---------|-------|-------|------|-----|-------|------|-------|--------|---------------------|----------|
| ۹۰ | ۹۰ | ۹۰ | ۹۰ | ۹۰ | ۹۰ | ۹۰ | ۹۰ | ۹۰ | ۹۰ | ۹۰ | ۹۰ | | |
| ۵/۹ | ۶/۲ | ۷/۳ | ۹/۷ | ۱۱ | ۱۱/۳ | ۹/۷ | ۸/۱ | ۸/۱ | ۷/۲ | ۶ | ۵/۹ | سرعت باد غالب (نات) | |
| ۱۳۵ | ۱۳۵ | ۲۷۰ | ۳۱۵ | ۳۱۵ | ۳۱۵ | ۳۱۵ | ۳۱۵ | ۲۷۰ | ۲۷۰ | ۲۷۰ | ۱۳۵ | جهت باد غالب | یزد |
| ۶/۵ | ۵/۸ | ۷/۲ | ۸ | ۸/۶ | ۹/۴ | ۹/۱ | ۹/۹ | ۹/۴ | ۹ | ۸/۲ | ۶/۷ | سرعت باد غالب (نات) | |
| ۱۸۰ | ۱۸۰ | ۱۸۰ | ۱۸۰ | ۱۸۰ | ۱۸۰ | ۱۸۰ | ۱۸۰ | ۱۸۰ | ۱۸۰ | ۱۸۰ | ۱۸۰ | جهت باد غالب | بندرعباس |
| ۶/۹ | ۷/۹ | ۸/۸ | ۹/۳ | ۹/۹ | ۹/۸ | ۹/۲ | ۹/۴ | ۹/۶ | ۹/۱ | ۸/۲ | ۷/۳ | سرعت باد غالب (نات) | |

منبع (www.irimo.ir)

جدول ۳: درصد ساعات آفتابی شهرهای مورد مطالعه

| دسامبر | نوامبر | اکتبر | سپتامبر | اگوست | ژولای | ژوئن | می | آوریل | مارس | فوریه | ژانویه | |
|--------|--------|-------|---------|-------|-------|------|------|-------|------|-------|--------|--------------------|
| ۹/۳ | ۹/۷ | ۱۰/۸ | ۱۱/۶ | ۱۳/۳ | ۱۴/۳ | ۱۴/۷ | ۱۴/۳ | ۱۳/۳ | ۱۲/۱ | ۱۰/۹ | ۹/۸ | متوسط طول روز* |
| ۴/۶ | ۶ | ۷/۷ | ۹/۷ | ۱۰/۹ | ۱۱/۴ | ۱۰/۸ | ۸/۷ | ۶/۵ | ۵/۸ | ۵ | ۴/۲ | متوسط ساعات آفتابی |
| ۰/۴۹ | ۰/۶۲ | ۰/۷۲ | ۰/۸۴ | ۰/۸۲ | ۰/۸ | ۰/۷۳ | ۰/۶۱ | ۰/۴۹ | ۰/۴۸ | ۰/۴۶ | ۰/۴۳ | درصد ساعات آفتابی |
| ۹/۹ | ۱۰/۳ | ۱۱/۱ | ۱۱/۶ | ۱۳ | ۱۳/۷ | ۱۴/۱ | ۱۳/۸ | ۱۳ | ۱۲/۱ | ۱۱/۲ | ۱۰/۳ | متوسط طول روز* |
| ۶/۶ | ۷/۵ | ۹/۵ | ۱۰/۲ | ۱۱/۱ | ۱۱/۲ | ۱۱/۱ | ۹/۷ | ۷/۸ | ۷/۱ | ۷/۳ | ۶/۳ | متوسط ساعات آفتابی |
| ۰/۶۷ | ۰/۷۳ | ۰/۸۶ | ۰/۸۸ | ۰/۸۶ | ۰/۸۱ | ۰/۷۹ | ۰/۷۱ | ۰/۶ | ۰/۵۹ | ۰/۶۵ | ۰/۶۱ | درصد ساعات آفتابی |
| ۱۰/۳ | ۱۰/۵ | ۱۱/۲ | ۱۱/۶ | ۱۲/۸ | ۱۳/۴ | ۱۳/۷ | ۱۳/۵ | ۱۲/۹ | ۱۲/۱ | ۱۱/۳ | ۱۰/۶ | متوسط طول روز* |
| ۷/۵ | ۸/۴ | ۹/۴ | ۸/۵ | ۸/۷ | ۸/۸ | ۹/۹ | ۱۰/۱ | ۸/۲ | ۷/۳ | ۷/۳ | ۷/۴ | متوسط ساعات آفتابی |
| ۰/۷۳ | ۰/۸ | ۰/۸۴ | ۰/۷۴ | ۰/۶۸ | ۰/۶۵ | ۰/۷۲ | ۰/۷۵ | ۰/۶۴ | ۰/۶ | ۰/۶۴ | ۰/۷ | درصد ساعات آفتابی |

منبع (www.irimo.i و محاسبات نویسنده) * طول روز بر اساس محاسبات نویسنده است.

۴- روش‌شناسی تحقیق

با استفاده از نرم‌افزار Q-BASIC، زاویه‌ی مدار میل، زاویه‌ی آزیموت، زاویه‌ی ارتفاع خورشید و طول روز در عرض‌های جغرافیایی موردنظر محاسبه گردید. سپس با استفاده از روش محاسباتی قانون کسینوس، میزان انرژی مستقیم تابشی بر روی سطوح قائم در هر ساعت از روز و در ۳۲ جهت مختلف جغرافیایی و به تفکیک دوره‌های سرد و گرم سال محاسبه گردید. جهت تعیین فرم، نسبت ابعادی و جهت‌گیری بهینه ساختمان‌ها در شهرهای مورد مطالعه، شش فرم هندسی از جمله مربع، مستطیل (با راستای شرقی- غربی و شمالی- جنوبی)، شش ضلعی، هشت ضلعی، شانزده ضلعی و سی‌دو ضلعی (دایره) مورد بررسی قرار گرفت. تمامی فرم‌ها با مساحت کف و ارتفاع برابر و در راستای جنوب مورد بررسی قرار گرفت. از میان آن‌ها و به منظور تعیین نسبت ابعادی بهینه، فرم مستطیل با نسبت‌های ابعادی ۱:۱/۲، ۱:۱/۴، ۱:۱/۶، ۱:۱/۸ و ۱:۲ و در جهات ۱۲۰، ۱۳۵، ۱۵۰، ۱۶۵ و ۱۸۰ درجه جنوب شرقی و غربی مورد بررسی قرار گرفت.

۴-۱- روش محاسبه انرژی تابشی

برای محاسبه‌ی انرژی مستقیم تابیده‌شده بر روی سطوح قائم ساختمان از روش محاسباتی قانون کسینوس استفاده شده است. میزان تابش مستقیم خورشیدی تابیده به یک سطح در روی سطح زمین بر اساس رابطه‌ی زیر محاسبه می‌گردد (Watson & Labs, 1983).

$$I_s = I_N \cos \theta \quad \text{رابطه‌ی ۱}$$

در رابطه‌ی ۱، I_s برابر شدت تابش بر روی سطح (BTU/H/FT²)، I_N برابر شدت تابش خورشید بر روی سطح عمود بر پرتوی خورشید (BTU/H/FT²)، θ برابر زاویه میان شعاع خورشید و خط عمود بر سطح است. در رابطه‌ی بالا مقدار I_N از طریق فرمول زیر محاسبه می‌گردد (کسمایی، ۱۳۸۲: ۲۸).

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

در رابطه‌ی ۲، I_{DN} برابر حرارت حاصل از تابش مستقیم و عمودی آفتاب، I° برابر ثابت خورشیدی، α برابر ضریب خاموشی، h برابر زاویه تابش خورشید است. همچنین θ زاویه تلاقی میان خورشید و خط عمود بر یک سطح عمودی (دیوار) است که به وسیله‌ی معادله‌ی کسینوس کروی معین می‌گردد (Watson & Labs, 1983).

$$\cos \theta = \cos h \cos(Z - N) \quad \text{رابطه‌ی ۳}$$

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

۵- یافته‌های تحقیق

با استفاده از روش محاسباتی قانون کسینوس، میزان انرژی مستقیم دریافتی سطوح قائم ساختمان در هر ساعت از روز و در ۳۲ جهت مختلف جغرافیایی محاسبه گردید. ابتدا انرژی دریافتی سطوح قائم به‌صورت نظری محاسبه شده، سپس از حاصل ضرب درصد ساعات آفتابی ماه‌های مختلف (مندرج در جدول ۳) در میزان انرژی دریافتی نظری، میزان انرژی دریافتی سطوح قائم به‌صورت واقعی محاسبه گردید. بر اساس حداقل دمای آسایش، مواقع نیاز به گرمایش و سرمایش تعیین و میزان انرژی دریافتی سطوح به تفکیک دوره‌های سرد و گرم محاسبه گردید. در جدول‌های ۴ تا ۶ میزان انرژی دریافتی واقعی (سالانه) و انرژی دریافتی در دوره‌های سرد و گرم ارائه شده است.

جدول ۴: میزان انرژی مستقیم دریافتی سطوح قائم در شهر تبریز (BTU/H/FT²)

| زاویه دیوار | کل انرژی | دوره سرد | دوره گرم | تفاوت | زاویه دیوار | کل انرژی | دوره سرد | دوره گرم | تفاوت |
|-------------|----------|----------|----------|--------|-------------|----------|----------|----------|--------|
| شمال | ۳۵۰/۶ | ۲۰۷/۱ | ۱۴۳/۵ | ۶۳/۷ | جنوب | ۷۶۶۶/۹ | ۵۶۰۸/۱ | ۲۰۵۸/۸ | ۳۵۴۹/۳ |
| ۱۱/۲۵ | ۵۰۸/۲ | ۳۲۴/۲ | ۱۸۴ | ۱۴۰/۲ | -۱۱/۲۵ | ۵۰۸/۲ | ۲۳۰/۷ | ۲۷۷/۵ | -۴۶/۸ |
| ۲۲/۵ | ۹۲۸ | ۵۹۶/۱ | ۳۳۱/۸ | ۲۶۴/۳ | -۲۲/۵ | ۹۲۸ | ۳۱۸/۵ | ۶۰۹/۵ | -۲۹۰/۹ |
| ۳۳/۷۵ | ۱۵۰۸/۲ | ۱۰۱۵/۶ | ۴۹۲/۶ | ۵۲۲/۹ | -۳۳/۷۵ | ۱۵۰۸/۲ | ۳۹۹/۲ | ۱۱۰۹ | -۷۰۹/۹ |
| ۴۵ | ۲۱۹۸/۷ | ۱۴۹۱ | ۷۰۷/۸ | ۷۸۳/۲ | -۴۵ | ۲۱۹۸/۷ | ۶۷۸/۱ | ۱۵۲۰/۷ | -۸۴۲/۶ |
| ۵۶/۲۵ | ۲۹۸۶/۶ | ۱۹۸۴/۸ | ۱۰۰۱/۸ | ۹۸۳/۱ | -۵۶/۲۵ | ۲۹۸۶/۶ | ۱۰۷۸/۸ | ۱۹۰۷/۸ | -۸۲۹ |
| ۶۷/۵ | ۳۸۱۶/۹ | ۲۵۵۱/۳ | ۱۲۶۵/۶ | ۱۲۸۵/۸ | -۶۷/۵ | ۳۸۱۶/۹ | ۱۵۴۵/۱ | ۲۲۷۱/۸ | -۷۲۶/۸ |
| ۷۸/۷۵ | ۴۶۳۵/۳ | ۳۱۹۷ | ۱۴۳۸/۳ | ۱۷۵۸/۸ | -۷۸/۷۵ | ۴۶۳۵/۳ | ۲۰۵۷/۷ | ۲۵۷۷/۵ | -۵۱۹/۸ |
| شرق | ۵۳۳۵/۲ | ۳۶۳۴/۳ | ۱۷۰۰/۹ | ۱۹۳۳/۴ | غرب | ۵۳۳۵/۲ | ۲۵۷۲/۳ | ۲۷۶۲/۹ | -۱۹۰/۶ |
| ۱۰۱/۲۵ | ۶۰۶۲/۴ | ۴۲۵۳ | ۱۸۰۹/۴ | ۲۴۴۳/۶ | -۱۰۱/۲۵ | ۶۰۶۲/۴ | ۳۱۲۸/۷ | ۲۹۳۳/۷ | ۱۹۵ |
| ۱۱۲/۵ | ۶۶۱۶/۳ | ۴۷۶۷/۹ | ۱۸۴۸/۴ | ۲۹۱۹/۵ | -۱۱۲/۵ | ۶۶۱۶/۳ | ۳۶۲۴/۶ | ۲۹۹۱/۷ | ۶۳۲/۹ |
| ۱۲۳/۷۵ | ۷۰۵۰/۸ | ۵۱۵۹/۷ | ۱۸۹۱/۱ | ۳۲۶۸/۶ | -۱۲۳/۷۵ | ۷۰۵۰/۸ | ۴۰۷۸ | ۲۹۶۳/۸ | ۱۱۲۳/۱ |
| ۱۳۵ | ۷۳۷۱/۷ | ۵۴۵۷/۹ | ۱۹۱۳/۸ | ۳۵۴۴ | -۱۳۵ | ۷۳۷۱/۷ | ۴۵۲۵/۵ | ۲۸۴۶/۲ | ۱۶۷۹/۳ |
| ۱۴۶/۲۵ | ۷۵۹۱/۲ | ۵۷۵۷/۱ | ۱۸۳۴/۲ | ۳۹۲۲/۹ | -۱۴۶/۲۵ | ۷۵۹۱/۲ | ۴۹۰۸/۵ | ۲۶۸۲/۸ | ۲۲۲۵/۷ |
| ۱۵۷/۵ | ۷۶۸۷/۲ | ۵۸۴۷ | ۱۸۴۰/۲ | ۴۰۰۶/۸ | -۱۵۷/۵ | ۷۶۸۷/۲ | ۵۲۲۷/۴ | ۲۴۵۹/۸ | ۲۷۶۷/۷ |
| ۱۶۸/۷۵ | ۷۶۸۳/۸ | ۵۸۳۳/۸ | ۱۸۵۰ | ۳۹۸۳/۸ | -۱۶۸/۷۵ | ۷۶۸۳/۸ | ۵۴۸۶/۱ | ۲۱۹۷/۷ | ۳۲۸۸/۴ |

جدول ۵: میزان انرژی مستقیم دریافتی سطوح قائم در شهر یزد (BTU/H/FT²)

| زاویه دیوار | کل انرژی | دوره سرد | دوره گرم | تفاوت | زاویه دیوار | کل انرژی | دوره سرد | دوره گرم | تفاوت |
|-------------|----------|----------|----------|---------|-------------|----------|----------|----------|---------|
| شمال | ۴۸۱/۵ | ۳۰/۸ | ۴۵۰/۸ | -۴۲۰ | جنوب | ۸۲۶۳/۳ | ۵۳۲۰/۴ | ۲۹۴۲/۹ | ۲۳۷۷/۵ |
| ۱۱/۲۵ | ۶۷۷/۵ | ۹۵/۷ | ۵۸۱/۸ | -۴۸۶/۱ | -۱۱/۲۵ | ۶۷۷/۵ | ۳۵/۲ | ۶۴۲/۳ | -۶۰۷/۱ |
| ۲۲/۵ | ۱۲۰۶/۸ | ۲۴۴/۲ | ۹۶۲/۵ | -۷۱۸/۳ | -۲۲/۵ | ۱۲۰۶/۸ | ۴۰/۳ | ۱۱۶۶/۴ | -۱۱۲۶/۱ |
| ۳۳/۷۵ | ۱۹۰۳/۴ | ۴۵۰ | ۱۴۵۳/۴ | -۱۰۰۳/۴ | -۳۳/۷۵ | ۱۹۰۳/۴ | ۱۲۰/۵ | ۱۷۸۲/۹ | -۱۶۶۲/۴ |
| ۴۵ | ۲۷۵۵/۴ | ۸۱۱/۲ | ۱۹۴۴/۲ | -۱۱۳۳/۱ | -۴۵ | ۲۷۵۵/۴ | ۳۱۲/۷ | ۲۴۴۲/۷ | -۲۱۳۰/۱ |
| ۵۶/۲۵ | ۳۶۹۶/۱ | ۱۲۲۴/۳ | ۲۴۷۱/۸ | -۱۲۴۷/۵ | -۵۶/۲۵ | ۳۶۹۶/۱ | ۶۱۷/۱ | ۳۰۷۹ | -۲۴۶۲ |
| ۶۷/۵ | ۴۶۵۹ | ۱۷۷۳/۹ | ۲۸۸۵/۱ | -۱۱۱۱/۲ | -۶۷/۵ | ۴۶۵۹ | ۱۰۱۰/۸ | ۳۶۴۸/۲ | -۲۶۲۷/۴ |
| ۷۸/۷۵ | ۵۵۸۰/۹ | ۲۳۲۰/۷ | ۳۲۶۰/۲ | -۹۳۹/۵ | -۷۸/۷۵ | ۵۵۸۰/۹ | ۱۴۵۸/۴ | ۴۱۲۲/۵ | -۲۶۶۴/۲ |
| شرق | ۶۳۴۰/۸ | ۲۷۳۶/۲ | ۳۶۰۴/۶ | -۸۶۸/۴ | غرب | ۶۳۴۰/۸ | ۱۸۹۷/۵ | ۴۴۴۳/۳ | -۲۵۴۵/۹ |
| ۱۰۱/۲۵ | ۷۰۹۸/۸ | ۳۳۴۰/۲ | ۳۷۵۸/۶ | -۴۱۸/۴ | -۱۰۱/۲۵ | ۷۰۹۸/۸ | ۲۳۹۸/۱ | ۴۷۰۰/۶ | -۲۳۰۲/۵ |

| زاویه دیوار | کل انرژی | دوره سرد | دوره گرم | تفاوت | زاویه دیوار | کل انرژی | دوره سرد | دوره گرم | تفاوت |
|-------------|----------|----------|----------|--------|-------------|----------|----------|----------|---------|
| ۱۱۲/۵ | ۷۶۳۶/۵ | ۳۷۹۵/۲ | ۳۸۴۱/۳ | -۴۶/۱ | -۱۱۲/۵ | ۷۶۳۶/۵ | ۲۸۵۴/۳ | ۴۷۸۲/۳ | -۱۹۲۸ |
| ۱۲۳/۷۵ | ۸۰۱۸/۸ | ۴۲۵۴/۹ | ۳۷۶۳/۸ | ۴۹۱/۱ | -۱۲۳/۷۵ | ۸۰۱۸/۸ | ۳۲۹۳/۳ | ۴۷۲۵/۵ | -۱۴۳۲/۱ |
| ۱۳۵ | ۸۲۵۷/۲ | ۴۶۱۰/۹ | ۳۶۴۶/۳ | ۹۶۴/۶ | -۱۳۵ | ۸۲۵۷/۲ | ۳۷۱۸/۸ | ۴۵۳۸/۴ | -۸۱۹/۶ |
| ۱۴۶/۲۵ | ۸۳۷۳ | ۴۹۴۵/۱ | ۳۴۲۷/۹ | ۱۵۱۷/۲ | -۱۴۶/۲۵ | ۸۳۷۳ | ۴۲۵۴/۹ | ۴۱۱۸/۱ | ۱۳۶/۸ |
| ۱۵۷/۵ | ۸۳۹۵/۶ | ۵۲۲۵/۵ | ۳۱۷۰/۱ | ۲۰۵۵/۳ | -۱۵۷/۵ | ۸۳۹۵/۶ | ۴۷۴۱/۹ | ۳۶۵۳/۷ | ۱۰۸۸/۱ |
| ۱۶۸/۷۵ | ۸۳۰۹/۳ | ۵۳۶۰/۳ | ۲۹۴۹ | ۲۴۱۱/۳ | -۱۶۸/۷۵ | ۸۳۰۹/۳ | ۵۱۲۳/۱ | ۳۱۸۶/۲ | ۱۹۳۶/۹ |

جدول ۶: میزان انرژی مستقیم دریافتی سطوح قائم در شهر بندرعباس (BTU/H/FT2)

| زاویه دیوار | کل انرژی | دوره سرد | دوره گرم | تفاوت | زاویه دیوار | کل انرژی | دوره سرد | دوره گرم | تفاوت |
|-------------|----------|----------|----------|---------|-------------|----------|----------|----------|---------|
| شمال | ۵۲۹/۲ | ۰ | ۵۲۹/۲ | -۵۲۹/۲ | جنوب | ۷۶۵۰/۷ | ۱۲۳۰ | ۶۴۲۰/۷ | -۵۱۹۰/۶ |
| ۱۱/۲۵ | ۷۲۲/۹ | ۷/۹ | ۷۱۴/۹ | -۷۰/۷ | -۱۱/۲۵ | ۷۲۲/۹ | ۰ | ۷۲۲/۹ | -۷۲۲/۹ |
| ۲۲/۵ | ۱۲۳۶/۱ | ۳۵/۲ | ۱۲۰۰/۹ | -۱۱۶۵/۷ | -۲۲/۵ | ۱۲۳۶/۱ | ۰ | ۱۲۳۶/۱ | -۱۲۳۶/۱ |
| ۳۳/۷۵ | ۱۹۴۰/۶ | ۹۷/۹ | ۱۸۴۲/۷ | -۱۷۴۴/۸ | -۳۳/۷۵ | ۱۹۴۰/۶ | ۴/۶ | ۱۹۳۶ | -۱۹۳۱/۳ |
| ۴۵ | ۲۷۷۹/۲ | ۲۴۱/۳ | ۲۵۳۷/۸ | -۲۲۹۶/۵ | -۴۵ | ۲۷۷۹/۲ | ۳۰/۱ | ۲۷۴۹/۱ | -۲۷۱۹ |
| ۵۶/۲۵ | ۳۷۰۲/۹ | ۴۳۶/۱ | ۳۲۶۶/۷ | -۲۸۳۰/۶ | -۵۶/۲۵ | ۳۷۰۲/۹ | ۵۳/۳ | ۳۶۴۹/۶ | -۳۵۹۶/۴ |
| ۶۷/۵ | ۴۶۲۸/۸ | ۶۰۶/۱ | ۴۰۲۲/۷ | -۳۴۱۶/۷ | -۶۷/۵ | ۴۶۲۸/۸ | ۱۰۰/۶ | ۴۵۲۸/۳ | -۴۴۲۷/۷ |
| ۷۸/۷۵ | ۵۵۰۷/۲ | ۷۵۹/۶ | ۴۷۴۷/۶ | -۳۹۸۸ | -۷۸/۷۵ | ۵۵۰۷/۲ | ۱۲۴/۱ | ۵۳۸۳/۱ | -۵۲۵۹ |
| شرق | ۶۲۱۳/۱ | ۸۱۰/۳ | ۵۴۰۲/۸ | -۴۵۹۲/۶ | غرب | ۶۲۱۳/۱ | ۱۳۴/۶ | ۶۰۷۸/۵ | -۵۹۴۳/۹ |
| ۱۰۱/۲۵ | ۶۸۹۶/۴ | ۱۰۰۸/۵ | ۵۸۸۷/۹ | -۴۸۷۹/۴ | -۱۰۱/۲۵ | ۶۸۹۶/۴ | ۱۷۵/۲ | ۶۷۲۱/۲ | -۶۵۴۶ |
| ۱۱۲/۵ | ۷۳۵۳/۹ | ۱۰۶۹/۵ | ۶۲۸۴/۳ | -۵۲۱۴/۸ | -۱۱۲/۵ | ۷۳۵۳/۹ | ۱۸۶/۶ | ۷۱۶۷/۲ | -۶۹۸۰/۶ |
| ۱۲۳/۷۵ | ۷۶۵۹ | ۱۱۱۶/۹ | ۶۵۴۲/۱ | -۵۴۲۵/۲ | -۱۲۳/۷۵ | ۷۶۵۹ | ۲۰۷/۱ | ۷۴۵۲ | -۷۲۴۴/۹ |
| ۱۳۵ | ۷۸۱۴/۵ | ۱۱۱۴/۱ | ۶۷۰۰/۵ | -۵۵۸۶/۴ | -۱۳۵ | ۷۸۱۴/۵ | ۴۲۱/۸ | ۷۳۹۲/۸ | -۶۹۷۱ |
| ۱۴۶/۲۵ | ۷۸۵۷/۶ | ۱۱۱۴/۲ | ۶۷۴۳/۴ | -۵۶۲۹/۱ | -۱۴۶/۲۵ | ۷۸۵۷/۶ | ۶۲۵/۶ | ۷۲۳۲ | -۶۶۰۶/۴ |
| ۱۵۷/۵ | ۷۸۱۵/۵ | ۱۲۲۱/۹ | ۶۵۹۳/۶ | -۵۳۷۱/۷ | -۱۵۷/۵ | ۷۸۱۵/۵ | ۱۰۴۴/۶ | ۶۷۷۰/۹ | -۵۷۲۶/۳ |
| ۱۶۸/۷۵ | ۷۷۰۷/۴ | ۱۲۵۴/۹ | ۶۴۵۲/۵ | -۵۱۹۷/۵ | -۱۶۸/۷۵ | ۷۷۰۷/۴ | ۱۱۵۹ | ۶۵۴۸/۴ | -۵۳۸۹/۴ |

با توجه به نتایج حاصل از جداول ۴ تا ۶، بیشترین مقدار انرژی دریافتی سالانه در شهرهای تبریز و یزد متعلق به سطوح ۱۵۷/۵ درجه جنوب شرقی و غربی و در شهر بندرعباس متعلق به سطوح ۱۴۶/۲۵ درجه جنوب شرقی و غربی است. کمترین میزان انرژی دریافتی سالانه نیز متعلق به سطوح رو به شمال است. بیشترین درصد دریافت انرژی در دوره سرد در شهر تبریز با ۷۶/۱ درصد مربوط به جهت ۱۵۷/۵ درجه جنوب شرقی و کمترین درصد دریافت انرژی در دوره گرم در شهرهای یزد با ۳۵/۵ درصد و در شهر بندرعباس با ۸۳/۷ درصد مربوط به جهت ۱۶۸/۷۵ درجه جنوب شرقی است. همچنین بیشترین میزان اختلاف انرژی دریافتی بین دوره‌های سرد و گرم سال در شهر تبریز مربوط به جهت ۱۵۷/۵ درجه جنوب شرقی، در شهر یزد مربوط به جهت ۱۶۸/۷۵ درجه جنوب شرقی و در شهر بندرعباس مربوط به جهت رو به شمال است. بر اساس داده‌های حاصل از جداول ۴ تا ۶، میزان انرژی دریافتی سطوح قائم فرم‌های مورد مطالعه به تفکیک دوره‌های سرد و گرم محاسبه و در جداول ۷ تا ۹ ارائه شده است. بر اساس حداکثر انرژی دریافتی در دوره سرد و بیشترین اختلاف انرژی دریافتی بین دوره سرد و گرم، فرم‌های بهینه و سازگار با اقلیم منطقه تعیین می‌گردد.

جدول ۷: میزان انرژی دریافتی سطوح قائم فرم‌های مورد مطالعه در شهر تبریز (BTU/H/FT²)

| فرم | کل انرژی | دوره‌ی سرد | درصد دوره‌ی سرد | دوره‌ی گرم | درصد دوره‌ی گرم | تفاوت دوره‌ی سرد و گرم |
|----------------|----------|------------|-----------------|------------|-----------------|------------------------|
| مربع | ۴۶۷۲ | ۳۰۰۵/۵ | ۶۴/۳ | ۱۶۶۶/۵ | ۳۵/۷ | ۱۳۳۹ |
| مستطیل (ش - غ) | ۱:۱/۲ | ۲۹۹۶/۶ | ۶۵ | ۱۶۱۵/۱ | ۳۵ | ۱۳۸۱/۵ |
| | ۱:۱/۴ | ۴۵۶۱/۴ | ۲۹۸۹/۲ | ۶۵/۵ | ۳۴/۵ | ۱۴۱۶/۹ |
| | ۱:۱/۶ | ۴۵۱۸/۹ | ۲۹۸۲/۹ | ۶۶ | ۱۵۳۶ | ۱۴۴۶/۸ |
| | ۱:۱/۸ | ۴۴۸۲/۵ | ۲۹۷۷/۵ | ۶۶/۴ | ۱۵۰۵ | ۱۴۷۲/۵ |
| | ۱:۲ | ۴۴۵۰/۹ | ۲۹۷۲/۸ | ۶۶/۸ | ۱۴۷۸ | ۱۴۹۴/۸ |
| مستطیل (ش - ج) | ۱:۱/۲ | ۴۷۳۲/۳ | ۳۰۱۴/۴ | ۱۷۱۷/۹ | ۳۶/۳ | ۱۲۹۶/۴ |
| | ۱:۱/۴ | ۴۷۸۲/۵ | ۳۰۲۱/۸ | ۶۳/۲ | ۳۶/۸ | ۱۲۶۱ |
| | ۱:۱/۶ | ۴۸۲۵ | ۳۰۲۸ | ۶۲/۸ | ۳۷/۲ | ۱۲۳۱/۱ |
| | ۱:۱/۸ | ۴۸۶۱/۴ | ۳۰۳۳/۴ | ۶۲/۴ | ۳۷/۶ | ۱۲۰۵/۴ |
| | ۱:۲ | ۴۸۹۳ | ۳۰۳۸/۱ | ۶۲/۱ | ۳۷/۹ | ۱۱۸۳/۱ |
| شش‌ضلعی | ۴۷۲۶/۹ | ۳۰۲۸/۲ | ۶۴/۱ | ۱۶۹۸/۷ | ۳۵/۹ | ۱۳۲۹/۵ |
| هشت‌ضلعی | ۴۷۲۸/۶ | ۳۰۲۱/۸ | ۶۳/۹ | ۱۷۰۶/۸ | ۳۶/۱ | ۱۳۱۵ |
| شانزده ضلعی | ۴۷۴۵/۴ | ۳۰۴۰/۸ | ۶۴/۱ | ۱۷۰۴/۶ | ۳۵/۹ | ۱۳۳۶/۲ |
| سی‌ودو ضلعی | ۴۷۴۹/۳ | ۳۰۴۸/۶ | ۶۴/۲ | ۱۷۰۰/۸ | ۳۵/۸ | ۱۳۴۷/۸ |

جدول ۸: میزان انرژی دریافتی سطوح قائم فرم‌های مورد مطالعه در شهر یزد (BTU/H/FT²)

| فرم | کل انرژی | دوره‌ی سرد | درصد دوره‌ی سرد | دوره‌ی گرم | درصد دوره‌ی گرم | تفاوت دوره‌ی سرد و گرم |
|----------------|----------|------------|-----------------|------------|-----------------|------------------------|
| مربع | ۵۳۵۶/۶ | ۲۴۹۶/۲ | ۴۶/۶ | ۲۸۶۰/۴ | ۵۳/۴ | -۳۶۴/۲ |
| مستطیل (ش - غ) | ۱:۱/۲ | ۵۲۶۷/۱ | ۲۵۱۲/۵ | ۲۷۵۴/۶ | ۵۲/۳ | -۲۴۲/۱ |
| | ۱:۱/۴ | ۵۱۹۲/۶ | ۲۵۲۶/۱ | ۴۸/۶ | ۵۱/۴ | -۱۴۰/۴ |
| | ۱:۱/۶ | ۵۱۲۹/۵ | ۲۵۳۷/۶ | ۴۹/۵ | ۵۰/۵ | -۵۴/۳ |
| | ۱:۱/۸ | ۵۰۷۵/۴ | ۲۵۴۷/۴ | ۵۰/۲ | ۴۹/۸ | ۱۹/۵ |
| | ۱:۲ | ۵۰۲۸/۵ | ۲۵۵۶ | ۵۰/۸ | ۴۹/۲ | ۸۳/۴ |
| مستطیل (ش - ج) | ۱:۱/۲ | ۵۴۴۶/۱ | ۲۴۷۹/۹ | ۲۹۶۶/۲ | ۵۴/۵ | -۴۸۶/۳ |
| | ۱:۱/۴ | ۵۵۲۰/۶ | ۲۴۶۶/۳ | ۴۴/۷ | ۵۵/۳ | -۵۸۸ |
| | ۱:۱/۶ | ۵۵۸۳/۷ | ۲۴۵۴/۸ | ۴۴ | ۵۶ | -۶۷۴/۱ |
| | ۱:۱/۸ | ۵۶۳۷/۸ | ۲۴۴۴/۹ | ۴۳/۴ | ۵۶/۶ | -۷۴۷/۹ |
| | ۱:۲ | ۵۶۸۴/۷ | ۲۴۳۶/۴ | ۴۲/۹ | ۵۷/۱ | -۸۱۱/۹ |
| شش‌ضلعی | ۵۴۳۵/۶ | ۲۴۵۹/۷ | ۴۵/۳ | ۲۹۷۶ | ۵۴/۷ | -۵۱۶/۳ |
| هشت‌ضلعی | ۵۴۳۱/۵ | ۲۴۲۹/۸ | ۴۴/۷ | ۳۰۰۱/۷ | ۵۵/۳ | -۵۷۱/۹ |
| شانزده ضلعی | ۵۴۵۳ | ۲۴۴۵/۳ | ۴۴/۸ | ۳۰۰۷/۷ | ۵۵/۲ | -۵۶۲/۴ |
| سی‌ودو ضلعی | ۵۴۵۵/۱ | ۲۴۵۰/۵ | ۴۴/۹ | ۳۰۰۴/۶ | ۵۵/۱ | -۵۵۴/۱ |

جدول ۹: میزان انرژی دریافتی سطوح قائم فرم‌های مورد مطالعه در شهر بندرعباس (BTU/H/FT²)

| فرم | کل انرژی | دوره‌ی سرد | درصد دوره‌ی سرد | دوره‌ی گرم | درصد دوره‌ی گرم | تفاوت دوره‌ی سرد و گرم |
|----------------|----------|------------|-----------------|------------|-----------------|------------------------|
| مربع | ۵۱۵۱/۵ | ۵۴۳/۷ | ۱۰/۶ | ۴۶۰۷/۸ | ۸۹/۴ | -۴۰۶۴/۱ |
| مستطیل (ش - غ) | ۱:۱/۲ | ۵۵۰/۲ | ۱۰/۹ | ۴۵۰۴/۸ | ۸۹/۱ | -۳۹۵۴/۶ |
| | ۱:۱/۴ | ۴۹۷۴/۶ | ۱۱/۲ | ۴۴۱۹ | ۸۸/۸ | -۳۸۶۳/۴ |
| | ۱:۱/۶ | ۴۹۰۶/۵ | ۵۶۰/۲ | ۴۳۴۶/۴ | ۸۸/۶ | -۳۷۸۶/۲ |
| | ۱:۱/۸ | ۴۸۴۸/۲ | ۵۶۴/۱ | ۴۲۸۴/۱ | ۸۸/۴ | -۳۷۲۰ |
| | ۱:۲ | ۴۷۹۷/۷ | ۵۶۷/۵ | ۴۲۳۰/۲ | ۸۸/۲ | -۳۶۶۲/۷ |
| مستطیل (ش - ج) | ۱:۱/۲ | ۵۳۷/۲ | ۱۰/۲ | ۴۷۱۰/۸ | ۸۹/۸ | -۴۱۷۳/۶ |
| | ۱:۱/۴ | ۵۳۲۸/۵ | ۵۳۱/۸ | ۴۷۹۶/۶ | ۹۰ | -۴۲۶۴/۸ |
| | ۱:۱/۶ | ۵۳۹۶/۵ | ۵۲۷/۳ | ۴۸۶۹/۲ | ۹۰/۲ | -۴۳۴۲ |
| | ۱:۱/۸ | ۵۴۵۴/۸ | ۵۲۳/۳ | ۴۹۳۱/۵ | ۹۰/۴ | -۴۴۰۸/۱ |
| | ۱:۲ | ۵۵۰۵/۴ | ۵۲۰ | ۴۹۸۵/۴ | ۹۰/۶ | -۴۴۶۵/۵ |
| شش‌ضلعی | ۵۲۳۰/۲ | ۵۱۸/۲ | ۹/۹ | ۴۷۱۲ | ۹۰/۱ | -۴۱۹۳/۹ |
| هشت‌ضلعی | ۵۲۲۴/۲ | ۴۹۷/۸ | ۹/۵ | ۴۷۲۶/۴ | ۹۰/۵ | -۴۲۲۸/۷ |
| شانزده ضلعی | ۵۲۴۱/۴ | ۵۱۵/۴ | ۹/۸ | ۴۷۲۶ | ۹۰/۲ | -۴۲۱۰/۵ |
| سی‌ودو ضلعی | ۵۲۴۵/۳ | ۵۱۲/۲ | ۹/۸ | ۴۷۳۳/۱ | ۹۰/۲ | -۴۲۲۰/۸ |

با توجه به نتایج حاصل از جداول ۷ تا ۹، بیش‌ترین میزان انرژی دریافتی سطوح قائم مربوط به فرم مستطیل با راستای شمالی - جنوبی و کم‌ترین نیز مربوط به فرم مستطیل با راستای شرقی - غربی است. در مستطیل شمالی - جنوبی (به‌ویژه در نسبت‌های ابعادی ۱:۱/۴ تا ۱:۲) به دلیل بزرگی سطوح شرقی و غربی و مدت‌زمان بیش‌تر دریافت تابش توسط این سطوح، میزان انرژی دریافتی در دوره‌ی گرم سال نسبت به سایر فرم‌ها بیش‌تر است. لیکن این فرم‌ها به دلیل تغییر زاویه سطوح در رابطه با کسب انرژی خورشیدی در مواقع سرد و گرم عملکرد متفاوتی دارند. بر اساس تغییرات دمای ساعتی، دمای روزانه هوای شهرهای تبریز، یزد و بندرعباس به ترتیب در ۶۸، ۴۵ و ۱۰ درصد از مواقع سال سردتر و در ۳۲، ۵۵ و ۹۰ درصد از مواقع سال گرم‌تر از حداقل دمای پایه آسایش است. بر همین اساس در شهر تبریز دوره‌ی ماه‌های سرد بیش‌تر از دوره‌ی ماه‌های گرم و در شهرهای یزد و بندرعباس برعکس است. با توجه به اقلیم‌های مختلف شهرهای مورد مطالعه، بهترین فرم ساختمان بر اساس بیش‌ترین میزان اختلاف انرژی دریافتی بین دوره‌های سرد و گرم سال و یا دریافت حداکثر میزان انرژی خورشید در دوره‌ی سرد و حداقل انرژی در دوره‌ی گرم تعیین می‌گردد. در شهرهای مورد مطالعه بیش‌ترین درصد دریافت انرژی در دوره‌ی سرد، مربوط به فرم مستطیل با راستای شرقی - غربی بوده و برعکس بیش‌ترین درصد دریافت انرژی در دوره‌ی گرم مربوط به فرم مستطیل با راستای شمالی - جنوبی (نسبت‌های ابعادی ۱:۱/۴ تا ۱:۲) است. لذا با توجه به ضابطه‌ی تعیین‌شده، بهترین فرم ساختمان در شهرهای مورد مطالعه، مستطیل با راستای شرقی - غربی و بعداز آن فرم مربع است. نامناسب‌ترین فرم نیز با دریافت حداقل انرژی در دوره‌ی های سرد، فرم مستطیل با راستای شمالی - جنوبی است.

اتلاف و جذب حرارتی به عواملی از قبیل مساحت سطح، اختلاف دمای داخل و خارج و ضریب کلی انتقال حرارت جداره‌ها بستگی دارد. بر اساس قانون فوریه، برای دو جسم با شرایط دمایی و ضریب هدایتی برابر، میزان انرژی اتلافی و کسب‌شده رابطه مستقیمی با مساحت پوسته خارجی دارد. لذا در شرایط ثابت دمایی و ضریب هدایتی سطوح، با افزایش نسبت ابعادی فرم، میزان سطوح خارجی افزایش یافته و به همان نسبت میزان انرژی اتلافی و کسب‌شده از

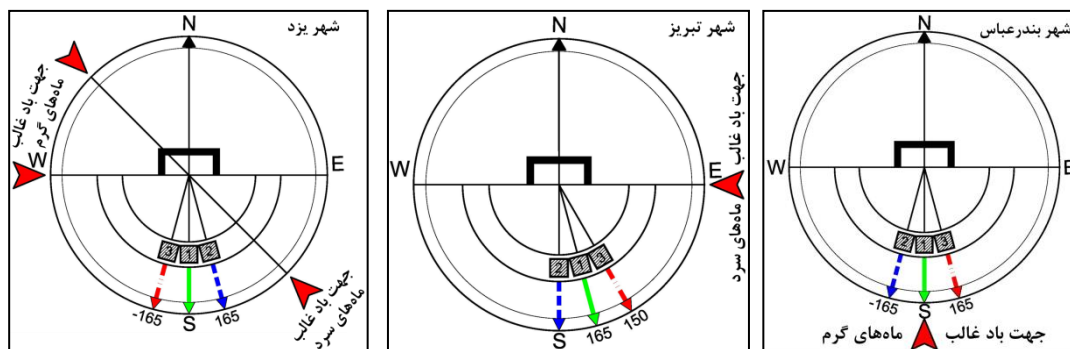
جدارها افزایش می‌یابد. نسبت ابعادی بهینه فرم، نسبتی است که میزان انرژی اتلافی در فصل سرد و میزان انرژی جذب‌شده در فصل گرم حداقل باشد. با توجه به اصل تعادل بین انرژی دریافتی و تلف‌شده، می‌بایست حداقل میزان انرژی جذب‌شده در دوره‌ی سرد برای فرم مستطیل شرقی- غربی با نسبت‌های ابعادی ۱:۱/۲ تا ۱:۲ نسبت به فرم مربع به ترتیب ۱/۰۰۴، ۱/۰۱۴، ۱/۰۲۷، ۱/۰۴۳ و ۱/۰۶ درصد و حداکثر میزان انرژی جذب‌شده در دوره‌ی گرم نیز به ترتیب ۰/۹۹۶، ۰/۹۸۶، ۰/۹۷۳، ۰/۹۵۷ و ۰/۹۴ درصد باشد. میزان انرژی دریافتی در دوره‌ی سرد برای نسبت‌های مذکور نسبت به فرم مربع در شهر تبریز به ترتیب ۰/۹۹۷، ۰/۹۹۵، ۰/۹۹۲، ۰/۹۹۱ و ۰/۹۸۹، در شهر یزد به ترتیب ۱/۰۰۷، ۱/۰۱۲، ۱/۰۱۷، ۱/۰۲۱، ۱/۰۲۴ و در شهر بندرعباس ۱/۰۱۲، ۱/۰۲۲، ۱/۰۳، ۱/۰۳۸، ۱/۰۴۴ است. لذا با توجه به میزان انرژی اتلافی و کسب‌شده در دوره‌ی سرد، نسبت ابعادی بهینه در دوره‌ی سرد در شهرهای مورد مطالعه، نسبت ۱:۱/۲ است. همچنین میزان انرژی دریافتی در دوره‌ی گرم برای نسبت‌های مذکور نسبت به فرم مربع در شهر تبریز به ترتیب ۰/۹۶۹، ۰/۹۴۳، ۰/۹۲۲، ۰/۹۰۳ و ۰/۸۸۷، در شهر یزد به ترتیب ۰/۹۶۳، ۰/۹۳۲، ۰/۹۰۶، ۰/۸۸۴ و ۰/۸۶۴ و در شهر بندرعباس به ترتیب ۰/۹۷۸، ۰/۹۵۹، ۰/۹۴۳، ۰/۹۳ و ۰/۹۱۸ است. با توجه به کسب حداقل انرژی گرمایی در دوره‌ی گرم، نسبت ابعادی بهینه در دوره‌ی گرم در شهر تبریز نسبت ۱:۱/۸، در شهر یزد نسبت ۱:۲ و در شهر بندرعباس نسبت ۱:۱/۶ است. با استفاده از رابطه‌ی "(تفاوت بین انرژی دریافتی و حداکثر انرژی مورد نیاز × درصد دوره‌ی گرم) + (تفاوت بین انرژی دریافتی و حداقل انرژی مورد نیاز × درصد دوره‌ی سرد)"، بهترین نسبت ابعادی برای مستطیل با راستای شرقی- غربی، در شهر تبریز نسبت ۱:۱/۲ و در شهرهای یزد و بندرعباس نسبت ۱:۱/۶ است. جدول ۱۰ میزان انرژی دریافتی سطوح قائم فرم مستطیل شرقی- غربی را بر اساس نسبت ابعادی منتخب در جهت‌های مختلف جغرافیایی نشان می‌دهد.

جدول ۱۰: میزان انرژی دریافتی مستطیل شرقی- غربی بر اساس نسبت ابعادی بهینه (BTU/H/FT²)

| | | جنوب غربی | | | | ۱۸۰ | جنوب شرقی | | | | | |
|----------------------|------------|-----------|---------|---------|---------|---------|-----------|---------|---------|---------|---------|--|
| | | ۱۲۰ | ۱۳۵ | ۱۵۰ | ۱۶۵ | | ۱۶۵ | ۱۵۰ | ۱۳۵ | ۱۲۰ | | |
| بندریز- نسبت ۱:۱/۲ | انرژی کل | ۴۸۰۵/۸ | ۴۷۸۵/۲ | ۴۷۴۹/۸ | ۴۶۸۴/۳ | ۴۶۱۱/۷ | ۴۶۸۴/۳ | ۴۷۴۹/۸ | ۴۷۸۵/۲ | ۴۸۰۵/۸ | | |
| | دوره‌ی سرد | مقدار | ۳۰۵۸/۷ | ۳۰۳۵/۴ | ۳۰۳۴/۶ | ۳۰۲۴/۱ | ۲۹۹۶/۶ | ۳۰۸۴/۷ | ۳۰۶۱/۵ | ۳۰۴۰/۸ | ۳۰۵۰/۹ | |
| | درصد | ۶۳/۶ | ۶۳/۴ | ۶۳/۹ | ۶۴/۶ | ۶۵ | ۶۵/۹ | ۶۴/۵ | ۶۳/۵ | ۶۳/۵ | ۶۳/۵ | |
| | دوره‌ی گرم | مقدار | ۱۷۴۷/۲ | ۱۷۴۹/۸ | ۱۷۱۵/۳ | ۱۶۶۰/۲ | ۱۶۱۵/۱ | ۱۵۹۹/۶ | ۱۶۸۸/۳ | ۱۷۴۴/۴ | ۱۷۵۴/۹ | |
| | درصد | ۳۶/۴ | ۳۶/۶ | ۳۶/۱ | ۳۵/۴ | ۳۵ | ۳۴/۱ | ۳۵/۵ | ۳۶/۵ | ۳۶/۵ | ۳۶/۵ | |
| | تفاوت | | ۱۳۱۱/۵ | ۱۲۸۵/۶ | ۱۳۱۹/۳ | ۱۳۶۳/۸ | ۱۳۸۱/۵ | ۱۴۸۵/۱ | ۱۳۷۳/۳ | ۱۲۹۶/۴ | ۱۲۹۶ | |
| یزد- نسبت ۱:۱/۶ | انرژی کل | ۵۶۰۳/۲ | ۵۵۰۶/۳ | ۵۳۸۴/۸ | ۵۲۳۰/۶ | ۵۱۲۹/۵ | ۵۲۳۰/۶ | ۵۳۸۴/۸ | ۵۵۰۶/۳ | ۵۶۰۳/۲ | | |
| | دوره‌ی سرد | مقدار | ۲۳۹۶/۶ | ۲۳۴۰/۷ | ۲۳۹۲/۸ | ۲۵۰۹/۵ | ۲۵۳۷/۶ | ۲۵۴۳ | ۲۴۶۵/۷ | ۲۳۸۶/۱ | ۲۴۰۳/۸ | |
| | درصد | ۴۲/۸ | ۴۲/۵ | ۴۴/۴ | ۴۸ | ۴۹/۵ | ۴۸/۶ | ۴۵/۸ | ۴۳/۳ | ۴۲/۹ | ۴۲/۹ | |
| | دوره‌ی گرم | مقدار | ۳۲۰۶/۷ | ۳۱۶۵/۶ | ۲۹۹۲ | ۲۷۲۱/۱ | ۲۵۹۱/۹ | ۲۶۸۷/۶ | ۲۹۱۹/۱ | ۳۱۲۰/۲ | ۳۱۹۹/۵ | |
| | درصد | ۵۷/۲ | ۵۷/۵ | ۵۵/۶ | ۵۲ | ۵۰/۵ | ۵۱/۴ | ۵۴/۲ | ۵۶/۷ | ۵۶/۷ | ۵۷/۱ | |
| | تفاوت | | -۸۱۰/۱ | -۸۲۴/۹ | -۵۹۹/۳ | -۲۱۱/۶ | -۵۴/۳ | -۱۴۴/۶ | -۴۵۲/۴ | -۷۳۴/۱ | -۷۹۵/۷ | |
| بندرعباس- نسبت ۱:۱/۶ | انرژی کل | ۵۴۰۹/۴ | ۵۲۹۶/۹ | ۵۱۷۴/۸ | ۵۰۱۵/۱ | ۴۹۰۶/۵ | ۵۰۱۵/۱ | ۵۱۷۴/۸ | ۵۲۹۶/۹ | ۵۴۰۹/۴ | | |
| | دوره‌ی سرد | مقدار | ۴۱۸/۳ | ۴۲۴/۱ | ۴۹۹/۷ | ۵۸۰/۳ | ۵۶۰/۲ | ۵۵۱/۱ | ۴۶۳/۸ | ۴۷۹/۶ | ۵۳۶/۱ | |
| | درصد | ۷/۷ | ۸ | ۹/۷ | ۱۱/۶ | ۱۱/۴ | ۱۱ | ۹ | ۹/۱ | ۹/۹ | ۹/۹ | |
| | دوره‌ی گرم | مقدار | ۴۹۹۱/۱ | ۴۸۷۲/۸ | ۴۶۷۵/۲ | ۴۴۳۴/۸ | ۴۳۴۶/۴ | ۴۴۶۴ | ۴۷۱۱/۱ | ۴۸۱۷/۳ | ۴۸۷۳/۳ | |
| | درصد | ۹۲/۳ | ۹۲ | ۹۰/۳ | ۸۸/۴ | ۸۸/۶ | ۸۹ | ۹۱ | ۹۰/۹ | ۹۰/۱ | ۹۰/۱ | |
| | تفاوت | | -۴۵۷۲/۷ | -۴۴۴۸/۷ | -۴۱۷۵/۵ | -۳۸۵۴/۵ | -۳۷۸۶/۲ | -۳۹۱۲/۹ | -۴۲۴۷/۳ | -۴۳۳۷/۷ | -۴۳۳۷/۲ | |

با توجه به نتایج حاصل از جدول ۱۰، در نسبت‌های ابعادی بهینه، بیش‌ترین میزان انرژی دریافتی سطوح قائم مربوط به جهات ۱۲۰ درجه جنوب شرقی و غربی و کم‌ترین نیز مربوط به جهت رو به جنوب است. با چرخش هر چه بیش‌تر فرم به سمت شرق و غرب، میزان انرژی دریافتی در دوره‌ی گرم افزایش و در دوره‌ی سرد کاهش می‌یابد. با

توجه به اقلیم‌های مختلف شهرهای مورد مطالعه، بهترین جهت استقرار ساختمان بر اساس بیش‌ترین میزان اختلاف انرژی دریافتی بین دوره‌های سرد و گرم سال و یا دریافت حداقل انرژی در دوره‌ی گرم و حداکثر در دوره‌ی سرد تعیین می‌گردد. لذا با توجه به ضابطه‌ی تعیین‌شده، بهترین جهت برای نسبت ابعادی بهینه در شهر تبریز، جهت ۱۶۵ درجه جنوب شرقی و بعدازآن جهت ۱۸۰ درجه جنوب است. همچنین بهترین جهت برای نسبت ابعادی بهینه در شهر یزد، جهت ۱۸۰ درجه جنوب و بعدازآن جهت ۱۶۵ درجه جنوب شرقی و در شهر بندرعباس، جهت ۱۸۰ درجه جنوب و بعدازآن جهت ۱۶۵ درجه جنوب غربی است. با توجه به اینکه دوره‌ی ماه‌های سرد در شهر تبریز بیش‌تر از دوره‌ی ماه‌های گرم و در شهرهای یزد و بندرعباس برعکس است؛ لذا در شهر تبریز محافظت بنا از بادهای غالب ماه‌های سرد و در شهرهای یزد و بندرعباس بهره‌مندی از بادهای غالب ماه‌های گرم جهت ایجاد کوران و تهویه در فضای داخلی ضروری است. در شهر تبریز جهت باد غالب ماه‌های سرد، ۹۰ درجه شرقی است. به‌منظور دریافت حداکثر تابش در دوره‌ی سرد و محافظت بنا از باد غالب در ماه‌های سرد، لازم است کشیدگی بنا در راستای شرقی و غربی قرار گیرد. بر همین اساس جهت ۱۶۵ درجه جنوب شرقی به دلیل دریافت حداکثر تابش در دوره‌ی سرد سال (۶۵/۹ درصد) و همچنین امکان محافظت جبهه‌ی اصلی و طولی بنا از باد غالب زمستانی، بهترین جهت استقرار ساختمان در شهر تبریز است. در شهر یزد جهت بادهای غالب ماه‌های سرد از سمت ۱۳۵ درجه جنوب شرقی و ۲۷۰ درجه غرب بوده و جهت بادهای غالب ماه‌های گرم بین ۲۷۰ درجه غرب و ۳۱۵ شمال غرب در نوسان است. وزش این بادهای گرم سال (از اسفند تا مرداد) همراه با گردوغبار و توفان‌های شدید گردوخاک از سمت دشت‌های اردکان- یزد و عقدا- یزد بوده (امیدوار، ۱۳۸۹) و لازم است به‌صورت غیرمستقیم و کاملاً کنترل و فیلتر شده وارد فضاهای داخلی ساختمان‌ها شود. دمای روزانه هوای شهر یزد در ۴۵ درصد از مواقع سال سردتر و در ۵۵ درصد از مواقع سال گرم‌تر از حداقل دمای پایه آسایش است. با توجه به تعادل نسبی بین دوره‌های سرد و گرم سال، جهت‌گیری بنا در شهر یزد لازم است بر اساس محافظت از بادهای سرد زمستانی و بهره‌مندی از بادهای تابستانی و دریافت حداقل تابش در ماه‌های گرم صورت گیرد. لذا اگر به‌منظور استفاده از باد غالب تابستانی، ساختمان را در راستای ۳۱۵ درجه شمال غربی قرار دهیم، علیرغم بهره‌مندی مناسب از باد غالب تابستانی در ۵۵ درصد از مواقع گرم سال، بنا در ۴۵ درصد از مواقع سرد سال در راستای باد غالب زمستانی (۱۳۵ درجه جنوب شرقی) قرار خواهد گرفت. از طرفی میزان انرژی دریافتی در دوره‌ی گرم برای جهات ۱۳۵ درجه جنوب شرقی و ۳۱۵ درجه شمال غرب، حدود ۲۰ درصد بیش‌تر از جهت ۱۸۰ درجه جنوب است. همچنین میزان انرژی دریافتی در دوره‌ی سرد نیز برای جهات مذکور، حدود ۶ درصد کم‌تر از جهت ۱۸۰ درجه جنوب است. بر همین اساس جهت ۱۸۰ درجه جنوب به دلیل دریافت حداقل تابش در دوره‌ی گرم سال (۵۰/۵ درصد) و همچنین امکان محافظت جبهه‌ی اصلی و طولی بنا از باد غالب زمستانی و هدایت غیرمستقیم و کنترل‌شده‌ی بادهای تابستانی غرب و شمال غرب به داخل بنا، بهترین جهت استقرار ساختمان در شهر یزد است. در شهر بندرعباس جهت باد غالب ماه‌های گرم، ۱۸۰ درجه جنوب و از سمت دریا است. لذا به‌منظور دریافت حداقل تابش در دوره‌ی گرم و بهره‌مندی از بادهای مطلوب (دریا به ساحل و ساحل به دریا) و امکان تهویه و کوران مناسب در فضاهای داخلی لازم است کشیدگی بنا در راستای شرقی- غربی بوده و جبهه‌ی اصلی و طولی بنا عمود بر راستای باد غالب باشد. بر همین اساس جهت ۱۸۰ درجه جنوب به دلیل دریافت حداقل تابش در دوره‌ی گرم سال (۶۵/۹ درصد) و همچنین عمود بر راستای بادهای مطلوب (دریا به ساحل و ساحل به دریا)، بهترین جهت استقرار ساختمان در شهر بندرعباس است. شکل ۱ نمودار اولویت‌بندی استقرار ساختمان‌ها را بر اساس دریافت تابش و جهت باد غالب در شهرهای مورد مطالعه نشان می‌دهد.



شکل ۱: اولویت‌بندی استقرار ساختمان‌ها بر اساس تابش و جهت باد غالب در شهرهای مورد مطالعه
(خط سبز: اولویت اول، خط آبی: اولویت دوم، خط قرمز: اولویت سوم)

۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

جهت تعیین فرم، نسبت ابعادی و جهت بهینه استقرار ساختمان بر اساس انرژی تابشی و باد غالب در شهرهای تبریز، یزد و بندرعباس، شش فرم هندسی از جمله مربع، مستطیل، شش‌ضلعی، هشت‌ضلعی، شانزده ضلعی و سی‌ودو ضلعی، با مساحت و ارتفاع برابر مورد بررسی قرار گرفت. میزان انرژی مستقیم دریافتی سطوح قائم با استفاده از روش محاسباتی قانون کسینوس، برای ماه‌های مختلف و در ۳۲ جهت جغرافیایی و به تفکیک دوره‌های سرد و گرم سال محاسبه گردید. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که بیش‌ترین میزان انرژی دریافتی سطوح قائم مربوط به فرم مستطیل با راستای شمالی- جنوبی و کم‌ترین نیز مربوط به فرم مستطیل با راستای شرقی- غربی است. به‌منظور دریافت بهینه‌ی انرژی خورشید، مناسب‌ترین فرم ساختمان در شهرهای مورد مطالعه‌ی فرم مستطیل با راستای شرقی- غربی است. نسبت ابعادی بهینه برای فرم مستطیل با راستای شرقی- غربی در شهر تبریز، نسبت ۱:۱/۲ و در شهرهای یزد و بندرعباس، نسبت ۱:۱/۶ است. جهت مناسب استقرار ساختمان بر اساس تابش و جهت باد غالب در شهر تبریز، جهت ۱۶۵ درجه جنوب شرقی و در شهرهای یزد و بندرعباس جهت ۱۸۰ درجه جنوب است.

۷- منابع

- ۱- امیدوار، کمال (۱۳۸۹). تحلیلی از رژیم بادهای شدید و توفانی یزد، برنامه‌ریزی و آمایش فضا (فصلنامه‌ی مدرس علوم انسانی سابق)، دوره‌ی ۱۴، شماره‌ی ۱، صص ۱۰۵-۸۴.
- ۲- برزگر، زهرا و حیدری، شاهین (۱۳۹۲). بررسی تأثیر تابش دریافتی خورشید در بدنه‌های ساختمان بر مصرف انرژی‌بخش خانگی، نشریه‌ی هنرهای زیبا- معماری و شهرسازی، دوره‌ی ۱۸، شماره‌ی ۱، صص ۵۶-۴۵.
- ۳- حاجی‌پور، خلیل و فروزان، نرجس (۱۳۹۳). بررسی تأثیر فرم شهر بر میزان مصرف انرژی عملکردی در بخش مسکونی (نمونه موردی: شهر شیراز)، نشریه‌ی هنرهای زیبا- معماری و شهرسازی، دوره‌ی ۱۹، شماره‌ی ۴، صص ۲۶-۱۷.
- ۴- حسین‌آبادی، سعید، لشکری، حسن و سلمانی مقدم، محمد (۱۳۹۱). طراحی اقلیمی ساختمان‌های مسکونی شهر سبزوار با تأکید بر جهت‌گیری ساختمان و عمق سایبان، جغرافیا و توسعه، سال دهم، شماره‌ی ۲۷، صص ۱۱۶-۱۰۳.
- ۵- رفیعیان، مجتبی، فتح جلالی، آرمان و داداش‌پور، هاشم (۱۳۹۰). بررسی و امکان‌سنجی تأثیر فرم و تراکم بلوک‌های مسکونی بر مصرف انرژی شهر، نمونه موردی شهر جدید هشتگرد، آرمان‌شهر، دوره‌ی ۴، شماره‌ی ۶، صص ۱۱۶-۱۰۷.
- ۶- شفیعی، مریم، فیاض، ریما و حیدری، شاهین (۱۳۹۲). فرم مناسب ساختمان بلند برای دریافت انرژی تابشی در تهران، نشریه‌ی انرژی ایران، دوره‌ی ۱۶، شماره‌ی ۴، صص ۶۰-۴۷.
- ۷- ضرغامی، اسماعیل، جهان‌بخش، حیدر و طحانیان، امیرحسین (۱۳۹۴). بررسی رابطه فرم ساختمان‌های مسکونی با میزان مصرف انرژی آن‌ها در اقلیم گرم و خشک شهر سمنان، نشریه‌ی انرژی ایران، دوره‌ی ۱۸، شماره‌ی ۴، صص ۷۶-۶۳.
- ۸- فرج‌زاده، منوچهر و عباسی، محمدحسین (۱۳۹۱). بهینه‌سازی جهت ساختمان‌های شهر قیر در رابطه با تابش آفتاب با استفاده از روش روابط کسینوس، فصلنامه‌ی جغرافیایی سرزمین، سال نهم، شماره‌ی ۳۵، صص ۶۰-۴۳.

- ۹- کربلائی درئی، علیرضا و حجازی زاده، زهرا (۱۳۹۶). بهینه‌سازی جهت‌گیری استقرار ساختمان در شهر کاشان بر اساس شرایط اقلیمی، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، دوره هفتم، شماره ۲۷، صص ۱۰۳-۸۵.
- ۱۰- کرمی کرد علیوند، فیروزه، نارنگی فرد، مهدی (۱۳۹۶). بهینه‌سازی جهت‌گیری ساختمان‌ها در برابر تابش (مطالعه‌ی موردی: شهر شیراز)، اندیشه‌ی جغرافیایی، سال هشتم، شماره ۱۶، صص ۱۲۲-۹۶.
- ۱۱- کسمایی، مرتضی (۱۳۸۲). اقلیم و معماری، اصفهان، نشر خاک، چاپ دوم، صص ۳۱-۲۸.
- ۱۲- گنجی، محمدحسن (۱۳۳۳). تقسیمات اقلیمی ایران، مجله‌ی دانشکده‌ی ادبیات، سال سوم، شماره ۱، صص ۷۲-۲۷.
- ۱۳- مرتضایی، گلناز، محمدی، محمود، نصراللهی، فرشاد و قلعه‌نویی، محمود (۱۳۹۶). بررسی ریخت‌گونه شناسانه‌ی بافت‌های مسکونی جدید در راستای بهینه‌سازی مصرف انرژی اولیه (مطالعه‌ی موردی: سپاهان شهر)، مطالعات شهری، دوره ۶، شماره ۲۴، صص ۵۴-۴۱.
- 14- Ahsan, T., Svane, O. (2010). Energy efficient design features for residential buildings in tropical climates: the Context of Dhaka, Bangladesh. *Sustainable Architecture and Urban Development*. 4, 183–202.
- 15- AlAnzi, A., Seo, D., Krarti, M., (2009). Impact of building shape on thermal performance of office buildings in Kuwait. *Energy Conversion and Management*. 50, 822-828.
- 16- Barzegar, Z., Heydari, Sh. (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.
- 17- Cheung, C., Fuller, R., Luther, M. (2005). Energy-efficient envelope design for high-rise apartments. *Energy and Buildings*. 37(1), 37–48.
- 18- Depecker, P., Menezo, C., Virgone, J., Lepers, S. (2001). Design of buildings shape and energetic consumption. *Building and Environment*. 36, 627–635.
- 19- Gratia, E., De Herde, A. (2002). Design of low energy office buildings. *Energy and Buildings*. 35, 473-491.
- 20- Ihm, P., Krarti, M. (2012). Design optimization of energy efficient residential buildings in Tunisia. *Building and Environment*. 58, 81–90.
- 21- IRIMO, Islamic Republic of Iran Meteorological Office, Data Center, Tehran. <http://www.irimo.ir/far/wd/2703>.
- 22- McKeen, P., Fung, A.S. (2014). The effect of building aspect ratio on energy efficiency: A case study for multi-unit residential buildings in Canada. *Buildings*. 4, 336-354.
- 23- Mirrahimi, S., Mohamed, M.F., Haw, L.C., Ibrahim, N.L.N., Yusoff, W.F.M., Aflaki, A. (2016). The effect of building envelope on the thermal comfort and energy saving for high-rise buildings in hot-humid climate. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 53, 1508–1519.
- 24- 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*. 48(1), 300–305.
- 25- Watson, D., Labs, K., (1983). *Climate design: Energy efficient building principles and practices*. McGraw-Hill, New York, 37.
- 26- Wei, L. Tian, W., Zuo, J., Yang, Zh., Lui, Y., Yang, S. (2016). Effects of building form on energy use for buildings in cold climate regions, *Procedia Engineering*, 146: 182-189.
- 27- Yıldız, Y., Arsan, Z.D. (2011). Identification of the building parameters that influence heating and cooling energy loads for apartment buildings in hot-humid climates. *Energy* 36(7), 4287–4296.