

نسبت ابعادی و جهت‌گیری بهینه ساختمان بر اساس دریافت انرژی خورشیدی در اقلیم‌های مختلف ایران

حسن اکبری^{۱*} - فاطمه سادات حسینی نژاد^۲

۱. استادیار معماری، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران (نویسنده مسئول).
۲. دکتری برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۱۴ تاریخ اصلاحات: ۱۳۹۹/۰۵/۲۰ تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۹/۰۶/۱۲ تاریخ انتشار: ۱۴۰۰/۰۹/۳۰

چکیده

طراحی ساختمان‌های سازگار با اقلیم و بهره‌مند از انرژی خورشیدی باعث کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی می‌شود. هدف این پژوهش، تعیین مناسب‌ترین نسبت ابعادی و جهت‌گیری ساختمان‌ها برای دریافت تابش بهینه خورشید در شهرهای اردبیل، رشت، کرمان و بوشهر می‌باشد که به ترتیب در اقلیم سرد، معتدل، گرم-خشک و گرم-مرطوب قرار دارند. در این تحقیق فرم‌های مربع و مستطیل با راستای شمالی-جنوبی و شرقی-غربی مورد بررسی قرار گرفت. تمامی فرم‌های مورد مطالعه دارای مساحت و ارتفاع یکسان و راستای رو به جنوب می‌باشند. نسبت‌های ابعادی فرم مستطیل ۱:۱/۲ تا ۱:۳ (با فاصله ۰/۲) و جهت‌گیری نسبت‌های بهینه مورد مطالعه ۱۰۵ تا ۱۸۰ درجه (با فاصله ۱۵ درجه) جنوب‌شرقی و جنوب‌غربی می‌باشد. میزان انرژی مستقیم دریافتی سطوح قائم ساختمان‌ها با استفاده از روش محاسباتی «قانون کسینوس» برای ماه‌های مختلف و در ۲۴ جهت جغرافیایی به تفکیک دوره‌های سرد و گرم سال محاسبه و پردازش شد. نتایج نشان داد که بیشترین مقدار انرژی دریافتی سطوح قائم در دوره سرد و گرم، به ترتیب مربوط به فرم مستطیل با جهت شرقی-غربی و شمالی-جنوبی می‌باشد. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که فرم مناسب ساختمان‌ها در شهرهای مورد مطالعه مستطیل با جهت شرقی-غربی است. مناسب‌ترین نسبت ابعادی برای فرم مستطیل شرقی-غربی در اردبیل ۱:۱/۲، در رشت ۱:۱/۴ و در شهرهای کرمان و بوشهر ۱:۱/۶ است. بهترین جهت‌گیری برای نسبت‌های تعیین شده در اردبیل ۱۶۵ درجه جنوب‌شرقی و در شهرهای رشت، کرمان و بوشهر ۱۸۰ درجه جنوب می‌باشد.

واژگان کلیدی: نسبت ابعادی، جهت‌گیری ساختمان، سطوح قائم، عملکرد انرژی خورشیدی.

۱. مقدمه و بیان مسئله

در سال‌های اخیر با توجه به بحران انرژی و اثرات مخرب زیست‌محیطی سوخت‌های فسیلی، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر به‌ویژه انرژی خورشیدی برای صرفه‌جویی و کاهش مصرف بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. اگر ساختمان‌ها متناسب با تابش انرژی خورشید و همساز با شرایط اقلیمی منطقه طراحی شوند، در مصرف سوخت‌های فسیلی تا حد زیادی صرفه‌جویی می‌شود. فرم ساختمان تأثیر زیادی بر سازگاری اقلیمی آن و همچنین تنظیم شرایط بحرانی انتقال حرارت داخل/خارج دارد. بهترین فرم ساختمان، فرمی است که کمترین مقدار حرارت را در زمستان از دست بدهد و در تابستان نیز کمترین مقدار حرارت را از آفتاب و محیط اطراف دریافت کند. در شرایط اقلیم سرد استفاده حداکثری از انرژی تابشی خورشید مورد توجه بوده و ساختمان‌ها در این اقلیم بایستی به نحوی جهت‌گیری شوند که حداکثر انرژی خورشید را در طول سال دریافت نماید. برعکس در اقلیم گرم جهت‌گیری ساختمان‌ها باید به نحوی باشد که شدت تابش آفتاب به دیوارهای خارجی آن به حداقل رسیده و کمترین انرژی خورشیدی سالانه را دریافت نماید. این مطالعه با هدف تعیین نسبت‌های ابعادی و جهت‌گیری بهینه ساختمان از طریق بررسی میزان انرژی مستقیم دریافتی سطوح قائم ساختمان‌ها در شهرهای اردبیل، رشت، کرمان و بوشهر، که به ترتیب در اقلیم‌های سرد، معتدل، گرم-خشک و گرم-مرطوب قرار دارند انجام شده است.

۲. پیشینه تحقیق

اغلب مطالعات انجام شده در زمینه رابطه بین فرم ساختمان و انرژی، با تأکید بر مصرف انرژی و مدیریت کنترل و کاهش تقاضای سوخت‌های فسیلی صورت گرفته است. مطالعات مربوط به رابطه بین فرم ساختمان و مصرف انرژی را می‌توان به دو دسته تقسیم کرد:

الف) مقایسه تأثیر اشکال مختلف ساختمان بر مصرف انرژی، و ب) توسعه مدل‌های ساده برای تخمین انرژی در فرم‌های مختلف ساختمان (Wei et al., 2016). از زمان توسعه ابزارهای شبیه‌سازی انرژی، تأثیر شکل و فرم ساختمان بر عملکرد انرژی به طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته است. مطالعات متعدد نشان داده‌اند که بین فشردگی ساختمان (نسبت سطح پوسته خارجی به حجم) و مصرف انرژی آن همبستگی وجود دارد، و فرم‌هایی با میزان فشردگی بالا، مخصوصاً در اقلیم سرد و گرم، مصرف انرژی کمتری دارند (Ourghi et al., 2007, p.300; Al-Anzi et al., 2009, p.822; Depecker et al., 2001, p.627). همچنین شکل ساختمان تأثیر قابل توجهی در هزینه‌های ساختمانی و هزینه‌های انرژی ساختمان‌ها دارد (Mingfang, 2002; Ourghi et al. 2007; Pacheco et al.) (2012). ال-انزی و همکاران (۲۰۰۹)، فشردگی را به

عنوان یک شاخص در ارزیابی تأثیر شکل بر عملکرد انرژی یک ساختمان استفاده کردند (Al-Anzi et al., 2009). فرم و پوسته خارجی ساختمان مهمترین پارامترهای مؤثر بر اقلیم داخلی هستند (Hemsath & Bandhosseini 2003; Oral & Yilmaz 2003) و اندازه و جهت استقرار پوسته خارجی بر عملکرد حرارتی ساختمان تأثیر مستقیم دارد. تعیین فرم، جهت و ساختار مناسب پوسته خارجی می‌تواند مصرف انرژی ساختمان را تا ۴۰ درصد کاهش دهد (Wang et al., 2006). تحقیقات دیگر نشان داد که شکل دایره مطلوب‌ترین شکل در آب و هوای گرمسیری است (Rashidi & Embi 2016; Chia et al., 2007). کریم (۲۰۱۲)، نشان داد که ساختمانی با سازه قائم هسته دیوارها در سمت شرق و غرب و با نسبت ابعادی ۱:۳، تقاضای انرژی در چهار منطقه اصلی آب و هوایی (مناطق سرد، معتدل، گرمسیری و خشک) در ایالات متحده را به طور قابل‌توجهی کاهش می‌دهد (Krem, 2012). تاژودین و آنگو (۲۰۱۷)، نسبت ابعادی مناسب فرم‌های ساختمان (فرم‌های متراکم) را در یک ساختمان اداری در آب و هوای گرم و خشک بررسی کردند. آن‌ها ابتدا عملکرد حرارتی اشکال مختلف ساختمان با مساحت کف برابر را در برابر نسبت حجم به سطح مطالعه کردند و سپس، انواع فرم‌ها با نسبت‌های ابعادی مختلف در امتداد جهت شرق-غرب بهینه‌سازی شدند. مطالعه آنها نشان داد که فرم‌هایی با V/S بالاتر عملکرد بهتری دارند و همچنین در طول تابستان میزان تابش خورشید روی سطوح غربی در نسبت ابعادی بهینه ۱:۲/۵ در مقایسه با نسبت ابعادی ۱:۱، ۲۰ درصد بیشتر کاهش می‌یابد. از این گذشته، ظاهراً فرم‌های استوانه‌ای و مکعبی انرژی کمتری مصرف می‌کنند (Tajuddeen & Ango, 2017). جزایری و علی آبادی (۱۳۹۷)، در تحقیق خود در مورد تأثیر نسبت ابعاد ساختمان بر عملکرد انرژی در اقلیم‌های سرد و نیمه خشک به این نتیجه رسیدند که نسبت ابعاد ۱:۳/۳ برای ساختمان‌هایی با پنجره‌های کوچک در سمت شرق یا غرب، نسبت ابعادی بهینه به شمار می‌آید. این در حالی است که یک فرم کمترکشیده با نسبت ابعادی ۱:۲ برای ساختمان‌هایی با نسبت پنجره به دیوار (WWR) برابر در همه نماها بهتر عمل می‌کند. این یافته‌ها نشان داد که نسبت ابعادی بهینه در یک ساختمان بر اساس WWR هر نما تغییر می‌کند. مک کین و فانگ (۲۰۱۴)، در یک مطالعه جامع، تأثیر نسبت ابعادی را بر نیازهای انرژی ساختمان‌های مسکونی چند واحدی در کانادا بررسی کردند و گزارش دادند که نسبت ۱/۳ تا ۱/۵ در شهرهای مختلف کانادا ایده‌آل است (Mc Keen & Fung, 2014). در بررسی تأثیر تابش دریافتی خورشید در بدنه‌های ساختمان بر مصرف انرژی بخش خانگی بر اساس جهت‌گیری‌های مختلف ساختمان در شهر شیراز، نتایج نشان می‌دهد خانه‌های با جهت‌گیری

دادند که بهترین جهت‌گیری ساختمان برای دریافت بهینه انرژی خورشیدی در دوره‌های سرد و گرم سال، زاویه آزیموت ۱۳۵ و ۲۲۵ درجه است (Zamani et al., 2016). بررسی بهینه‌سازی جهت‌گیری ساختمان‌ها در برابر تابش در شهر شیراز نشان داد که جهت‌گیری بهینه برای ساختمان، جهات جنوب و ۱۶۵ درجه جنوب‌شرقی و جنوب‌غربی است. در میان این جهت‌گیری‌ها، با توجه به نمای ساختمان‌های یک طرفه و دو طرفه، جهت‌گیری جنوب به دلیل جذب حداکثر انرژی در فصل سرد سال و جذب کمتر انرژی در فصل گرم سال، مطلوب‌ترین جهت‌گیری است (کرمی کرد علیوند و نارنگی فرد، ۱۳۹۶).

۳. روش‌شناسی

به منظور تعیین بهترین نسبت ابعادی و جهت‌گیری ساختمان از نظر دریافت تابش خورشید، زاویه ساعتی، زاویه مدار میل، زاویه آزیموت و زاویه ارتفاع خورشید در ساعات مختلف روز از طریق نرم‌افزار Q-BASIC استخراج گردید. میزان انرژی مستقیم دریافتی سطوح قائم با استفاده از روش محاسباتی "قانون کسینوس" برای ماه‌های مختلف و در ۲۴ جهت جغرافیایی به تفکیک دوره‌های سرد و گرم سال به صورت نظری و واقعی محاسبه و پردازش شد. در این پژوهش فرم‌های مربع و مستطیل با راستای شمالی-جنوبی و شرقی-غربی بررسی شدند. در نمونه‌های مورد مطالعه، نسبت‌های ابعادی فرم مستطیل ۱:۱/۲ تا ۱:۳ (با فاصله ۰.۲) و جهت‌گیری نسبت‌های ابعادی بهینه مورد مطالعه ۱۰۵ تا ۱۸۰ درجه (با فاصله ۱۵ درجه) جنوب‌شرقی و جنوب‌غربی می‌باشد. تمامی فرم‌های مورد بررسی دارای مساحت و ارتفاع یکسان می‌باشند. بهترین نسبت ابعادی و جهت ساختمان بر اساس حداکثر میزان اختلاف بین انرژی دریافتی در دوره‌های سرد و گرم سال یا حداکثر مقدار انرژی دریافتی خورشید در دوره سرد تعیین شد.

اقلیمی مناسب مانند جهت جنوب‌شرقی و شمال‌غربی از نظر میزان دریافت انرژی و مصرف در شرایط مناسب می‌باشند (Barzegare et al., 2012؛ برزگر و حیدری، ۱۳۹۲). مطالعه رابطه فرم ساختمان‌های مسکونی و مصرف انرژی آنها در اقلیم گرم و خشک شهر سمنان نشان داد که در فرم‌های بدون سایه (مربع، مستطیل و دوزنقه)، فرم مربع عملکرد بهتری نسبت به مستطیل دارد، و مستطیل با نسبت ابعادی ۱:۳ فرم مناسب‌تری نسبت به دوزنقه به شمار می‌آید. همچنین گزارش شده است که در بین اشکال سایه‌انداز (T و L, U, H)، شکل L با نسبت عمق ۲ به ۳، و جهت بال‌ها به سمت غرب و شمال، و زاویه ۷۰ درجه بین بال‌ها بهترین گزینه برای بهره‌وری انرژی است (ضرغامی و همکاران، ۱۳۹۴). کربلایی دوری و حجازی‌زاده، جهت‌گیری بهینه ساختمان در شهر کاشان را بر اساس شرایط اقلیمی بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که جهت‌گیری ایده‌آل نمای اصلی ساختمان‌های یک طرفه به سمت ۱۸۰ درجه جنوبی است (کربلایی درنی و حجازی‌زاده، ۱۳۹۶). جهت‌گیری مناسب برای ساختمان‌های دو طرفه شمال-جنوب و برای ساختمان‌های چهارطرفه، ۱۵۰+ و ۳۰- درجه است. فرج‌زاده و عباسی در مقاله بهینه‌سازی جهت ساختمان‌های شهر قیر در رابطه با تابش آفتاب با استفاده از روش قانون کسینوس، جهت ۱۵۰ تا ۱۶۵ درجه جنوب‌شرقی را برای ساختمان‌های یک طرفه و جهت ۱۶۵ درجه جنوب‌شرقی و ۱۵ درجه شمال‌غربی را برای ساختمان‌های دو طرفه ایده‌آل‌ترین و جهت ۱۸۰ درجه را جهت قابل قبول تعیین نمود (فرج‌زاده و عباسی، ۱۳۹۱). بهینه‌سازی جهت‌گیری فضاهای باز و ساختمان‌ها برای اقلیم سرد بر اساس تابش آفتاب در شهرستان بروجرد مشخص کرد که بهترین جهت‌گیری برای بهینه‌سازی مصرف انرژی، در این شهر جهت جنوب-شمال و ۱۵ درجه غربی است (He- dayatian & Goodarzi, 2016). زمانی و همکاران نشان

جدول ۱. نسبت بین سطح پوسته خارجی مستطیل و مربع

مستطیل با راستای شمالی-جنوبی و شرقی-غربی										
مربع	۱:۱/۲	۱:۱/۴	۱:۱/۶	۱:۱/۸	۱:۲	۱:۲/۲	۱:۲/۴	۱:۲/۶	۱:۲/۸	۱:۳
۱/۰۰	۱/۰۰۴	۱/۰۱۴	۱/۰۲۷	۱/۰۴۳	۱/۰۶	۱/۰۷۸	۱/۰۹۷	۱/۱۱۶	۱/۱۳۵	۱/۱۵۳

۳-۱- منطقه مورد مطالعه

اردبیل، رشت، کرمان و بوشهر به ترتیب در اقلیم سرد (Dfb)، معتدل (Cfb)، گرم-خشک (BSks) و نیمه گرمسیری (Csa-BShs) قرار دارند (گنجی، ۱۳۳۳).

بر اساس سیستم طبقه‌بندی اقلیمی کوپن، شهرهای

جدول ۲. ویژگی‌های جغرافیایی - اقلیمی شهرهای مورد مطالعه

میانگین رطوبت نسبی (%)	دمای سالانه (°C)			ارتفاع (m)	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	
	میانگین	حداقل	حداکثر				
۷۱	۹/۰۵	۲/۸	۱۵/۳	۱۳۳۲	۳۸°۱۵' N	۴۸°۱۷' E	اردبیل
۸۲	۱۵/۹	۱۱/۳	۲۰/۶	-۶/۹	۳۷° ۱۵' N	۴۹° ۳۶' E	رشت
۳۱	۱۵/۸	۶/۹	۲۴/۷	۱۷۵۳	۳۰° ۱۵' N	۵۶° ۵۸' E	کرمان
۶۵	۲۵/۳	۱۷/۶	۳۲/۹	۲۲/۵	۲۸° ۵۹' N	۵۰° ۵۰' E	بوشهر

(IRIMO, 2018)

است، تعیین نسبت ابعادی بهینه و جهت‌گیری ساختمان براساس دریافت حداقل انرژی خورشیدی در فصل گرم سال صورت می‌گیرد.

۳-۲- روش محاسبه انرژی تابشی

اندازه و شدت پرتو و یا موج رسیده به یک سطح برابر است با حاصل ضرب اندازه و شدت پرتو در حالت عمود بر سطح در کسینوس زاویه بین جهت نرمال (خط عمود بر سطح) و امتداد پرتو تابیده شده است. این رابطه به قانون کسینوس معروف است. میزان تابش مستقیم خورشیدی رسیده به یک سطح در روی سطح زمین بر اساس روابط زیر محاسبه می‌شود (جدول ۳).

با استفاده از تغییرات دمای ساعتی هر ماه و محدوده‌های آسایش حرارتی برای انسان، ماه‌های نیاز به گرما و سرما مشخص شد. با توجه به دمای پایه آسایش ۲۱ درجه سانتی‌گراد، دمای روزانه در شهرهای اردبیل، رشت، کرمان و بوشهر به ترتیب در ۶۵ درصد، ۵۸ درصد، ۴۹ درصد و ۲۵ درصد از مواقع سال سردتر و به ترتیب در ۳۵ درصد، ۴۲ درصد، ۵۱ درصد و ۷۵ درصد از مواقع سال گرم‌تر از شرایط آسایش می‌باشد. با توجه به این‌که در شهرهای اردبیل و رشت دوره ماه‌های سرد بیش از ماه‌های گرم است، تعیین نسبت ابعادی بهینه و جهت‌گیری ساختمان، بر اساس دریافت حداکثر انرژی خورشید در فصل سرد سال صورت می‌گیرد. برعکس، از آنجا که دوره ماه‌های گرم در شهرهای کرمان و بوشهر بیشتر از ماه‌های سرد

جدول ۳. معادلات محاسبه انرژی تابشی مستقیم خورشید

$I_s = I_N \times \cos\theta$	I_s برابر شدت تابش بر روی سطح (BTU/H/FT ²)، I_N برابر شدت تابش خورشید بر روی سطح عمود بر پرتوی خورشید (BTU/H/FT ²)، θ برابر زاویه میان شعاع خورشید و خط عمود بر سطح می‌باشد. در معادله ۱، مقدار I_N از طریق معادله ۲ محاسبه می‌شود (Ashrae, 1995).
$I_{DN} = I^\circ \exp(-\alpha / \sinh)$	I_{DN} برابر حرارت حاصل از تابش مستقیم و عمودی آفتاب، I° برابر ثابت خورشیدی، α برابر ضریب خاموشی (Ashrae, 1995)، h برابر زاویه تابش خورشید می‌باشد.
$\cos\theta = \cosh \times \cos(Z-N)$	θ زاویه تلاقی میان خورشید و خط عمود بر یک سطح عمودی (دیوار) می‌باشد که به وسیله معادله کسینوس کروی معین می‌شود (Watson & Labs, 1983). h برابر زاویه تابش، Z برابر زاویه جهت تابش، N برابر زاویه جهت دیوار که در مسیر عقربه‌های ساعت از طرف شمال و بر حسب درجه اندازه‌گیری می‌شود. برای تعیین زاویه آزمون و زاویه تابش خورشید در هر ساعت از روز در رابطه ۲ و ۳، ابتدا باید زاویه ساعتی و زاویه مدار میل در طول روز محاسبه شود.
$\omega = 15 \times (12 - T)$	ω زاویه ساعتی نسبت به ظهر است. T ، برابر ساعت مورد نظر است. میدا اندازه‌گیری زاویه ساعتی، ظهر خورشیدی است. 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 یک زاویه، ۱۵ درجه طول جغرافیایی را طی می‌کند.
$\delta = 23.45 \times \sin[360((364+n)/365)]$	δ زاویه انحراف در طول روز 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. n برابر تعداد روزهای سال از اول سال شمسی است.

T_d طول روز است که متقارن با ظهر خورشیدی است و زمین در هر ساعت ۱۵ درجه به دور محور خود می‌چرخد. δ ، زاویه انحراف و θ نیز عرض جغرافیایی بر حسب درجه است.

$$T_d = 2/15 \text{ArcCos}(-\text{tag}\delta \times \tan\theta)$$

h ، زاویه ارتفاع تابش خورشید 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.

$$\text{Sinh} = (\cos\theta \times \cos\delta \times \cos\omega) + (\sin\theta \times \sin\delta)$$

Z ، زاویه آزیموت است. زاویه 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.

$$\text{SinZ} = (\cos\delta \times \sin\theta) / \cosh$$

۴. نتایج و بحث

محاسبه و سپس از حاصل ضرب انرژی دریافتی نظری در متوسط درصد ساعات آفتابی ماه‌های مختلف، میزان انرژی مستقیم دریافتی بر روی دیوار قائم به صورت واقعی به دست می‌آید. میانگین و درصد ساعات آفتابی در جدول ۴ ذکر شده است.

میزان انرژی تابشی دریافتی سطوح قائم برای ماه‌های مختلف و در ۲۴ جهت جغرافیایی برای شهرهای مورد مطالعه محاسبه شد. ابتدا میزان انرژی مستقیم دریافتی سطوح قائم به صورت تئوریک برای شهرهای مورد مطالعه

جدول ۴. درصد ساعات آفتابی در شهرهای مورد مطالعه

	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	جون	جولای	اگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
اردبیل	میانگین طول روز*	۹/۸	۱۰/۹	۱۲/۱	۱۳/۳	۱۴/۳	۱۴/۷	۱۴/۲	۱۳/۳	۱۱/۶	۱۰/۸	۹/۳
	میانگین ساعات آفتابی	۴/۹	۵/۳	۵/۵	۶	۷/۹	۹/۵	۹/۸	۸/۸	۷/۳	۶/۲	۵/۱
	ساعات آفتابی (%)	۴۹/۶	۴۸/۵	۴۵/۵	۴۴/۸	۵۵/۵	۶۴/۶	۶۸/۶	۶۶/۸	۶۳	۵۷/۳	۵۲/۴
رشت	میانگین طول روز*	۹/۹	۱۱	۱۲/۱	۱۳/۳	۱۳/۶	۱۴/۶	۱۴/۲	۱۳/۲	۱۱/۶	۱۰/۹	۹/۴
	میانگین ساعات آفتابی	۳/۱	۳/۱	۲/۹	۴	۵/۶	۶/۸	۷/۱	۵/۸	۴/۴	۴	۳/۲
	ساعات آفتابی (%)	۳۰/۸	۲۸/۱	۲۴	۳۰/۱	۴۱/۳	۴۶/۵	۵۰/۲	۴۴/۱	۳۸/۲	۳۶/۴	۳۲/۶
کرمان	میانگین طول روز*	۱۰/۴	۱۱/۲	۱۲/۱	۱۳	۱۳/۷	۱۳/۹	۱۳/۷	۱۲/۹	۱۱/۶	۱۱/۱	۱۰/۳
	میانگین ساعات آفتابی	۶/۵	۶/۹	۷	۷/۶	۹/۶	۱۰/۵	۱۰/۸	۱۰/۸	۱۰	۹/۴	۸
	ساعات آفتابی (%)	۶۲/۵	۶۱/۴	۵۸/۲	۵۸/۵	۷۰/۱	۷۵	۷۹/۴	۸۴	۸۵/۶	۸۴/۵	۷۷/۶
بوشهر	میانگین طول روز*	۱۰/۵	۱۱/۳	۱۲/۱	۱۲/۹	۱۳/۵	۱۳/۸	۱۳/۵	۱۲/۹	۱۱/۶	۱۱/۲	۱۰/۲
	میانگین ساعات آفتابی	۶/۶	۶/۸	۷	۷/۶	۹/۵	۱۰/۷	۱۰/۲	۱۰/۵	۹/۵	۹/۳	۷/۵
	ساعات آفتابی (%)	۶۳/۱	۶۰/۶	۵۸/۱	۵۹/۱	۷۰	۷۷/۸	۷۵/۷	۸۱/۵	۸۲/۱	۸۳/۳	۷۲

(IRIMO, 2018)

* طول روز توسط نویسندگان محاسبه شده است.

در جدول‌های ۵ تا ۶ میزان کل (سالانه) دریافت انرژی سطوح قائم با احتساب ضریب درصد ساعات آفتابی محاسبه و واقعی شده است. در این جدول‌ها میزان انرژی دریافتی بر روی دیوار قائم در دوره سرد و گرم و اختلاف بین آن‌ها نیز محاسبه شده است.

جدول ۵. میزان انرژی دریافتی سطوح قائم در شهرهای اردبیل و رشت (BTU/H/FT²)

راستا	اردبیل					رشت						
	کل	دوره				تفاوت	کل	دوره				
		سرد	درصد	گرم	درصد			سرد	درصد	گرم	درصد	
شمال	۳۱۰/۷	۱۶۲/۳	۵۲/۲	۱۴۸/۴	۴۷/۸	۱۴	۲۲۹/۴	۶۲/۷	۲۷/۳	۱۶۶/۶	۷۲/۷	-۱۰۳/۹
+۱۵	۵۵۵/۹	۳۱۳/۳	۵۶/۴	۲۴۲/۶	۴۳/۶	۷۰/۷	۴۰۵/۲	۱۲۴/۵	۳۰/۷	۲۸۰/۷	۶۹/۳	-۱۵۶/۲
+۳۰	۱۱۴۰/۲	۶۹۳/۸	۶۰/۹	۴۴۶/۴	۳۹/۱	۲۴۷/۴	۸۱۳/۶	۲۷۷/۶	۳۴/۱	۵۳۶	۶۵/۹	-۲۵۸/۳
+۴۵	۱۹۲۲/۷	۱۱۶۳/۸	۶۰/۵	۷۵۸/۹	۳۹/۵	۴۰۵	۱۳۴۱/۸	۵۲۱/۷	۳۸/۹	۸۲۰/۱	۶۱/۱	-۲۹۸/۴
+۶۰	۲۸۵۸/۷	۱۷۹۱/۴	۶۲/۷	۱۰۶۷/۳	۳۷/۳	۷۲۴/۱	۱۹۵۹/۸	۸۲۵/۸	۴۲/۱	۱۱۳۴	۵۷/۹	-۳۰۸/۳
+۷۵	۳۸۴۰/۵	۲۵۱۲/۷	۶۵/۴	۱۳۲۷/۸	۳۴/۶	۱۱۸۴/۹	۲۵۸۸	۱۲۲۰	۴۷/۱	۱۳۶۸	۵۲/۹	-۱۴۸
+۹۰	۴۷۱۶/۲	۳۱۴۲	۶۶/۶	۱۵۷۴/۳	۳۳/۴	۱۵۶۷/۷	۳۱۳۲/۶	۱۵۷۹/۷	۵۰/۴	۱۵۵۲/۹	۴۹/۶	۲۶/۸
+۱۰۵	۵۵۴۸/۱	۳۸۶۳/۴	۶۹/۶	۱۶۸۴/۷	۳۰/۴	۲۱۷۸/۷	۳۶۳۶	۱۹۹۷/۷	۵۴/۹	۱۶۳۸/۴	۴۵/۱	۳۵۹/۳
+۱۲۰	۶۱۵۷/۶	۴۴۴۸/۲	۷۲/۲	۱۷۰۹/۴	۲۷/۸	۲۷۳۸/۷	۳۹۸۴/۴	۲۳۶۲/۷	۵۹/۳	۱۶۲۱/۷	۴۰/۷	۷۴۰/۹
+۱۳۵	۶۵۸۸	۴۸۵۹/۵	۷۳/۸	۱۷۲۸/۵	۲۶/۲	۳۱۳۱/۱	۴۲۰۵/۱	۲۶۵۵	۶۳/۱	۱۵۵۰/۱	۳۶/۹	۱۱۰۴/۹
+۱۵۰	۶۸۵۴	۵۲۲۴/۲	۷۶/۲	۱۶۲۹/۷	۲۳/۸	۳۵۹۴/۵	۴۳۲۰/۵	۲۹۳۴/۳	۶۷/۹	۱۳۸۶/۲	۳۲/۱	۱۵۴۸/۱
+۱۶۵	۶۹۲۹	۵۳۲۹/۴	۷۶/۹	۱۵۹۹/۶	۲۳/۱	۳۷۲۹/۷	۴۳۱۶/۷	۳۰۸۷/۷	۷۱/۵	۱۲۲۸/۹	۲۸/۵	۱۸۵۸/۸
جنوب	۶۹۰۸/۴	۵۲۰۴/۷	۷۵/۳	۱۷۰۳/۷	۲۴/۷	۳۵۰۱	۴۲۷۹/۱	۳۰۸۸/۷	۷۲/۲	۱۱۹۰/۴	۲۷/۸	۱۸۹۸/۳
-۱۶۵	۶۹۲۹	۵۰۲۵/۳	۷۲/۵	۱۹۰۳/۶	۲۷/۵	۳۱۲۱/۷	۴۳۱۶/۷	۳۰۳۵/۶	۷۰/۳	۱۲۸۱/۱	۲۹/۷	۱۷۵۴/۴
-۱۵۰	۶۸۵۴	۴۶۵۰/۲	۶۷/۸	۲۲۰۳/۸	۳۲/۲	۲۴۴۶/۴	۴۳۲۰/۵	۲۸۱۴/۴	۶۵/۱	۱۵۰۶/۱	۳۴/۹	۱۳۰۸/۳
-۱۳۵	۶۵۸۸	۴۱۶۲/۵	۶۳/۲	۲۴۲۵/۵	۳۶/۸	۱۷۳۷/۱	۴۲۰۵/۱	۲۵۱۶	۵۹/۸	۱۶۸۹/۱	۴۰/۲	۸۲۶/۹
-۱۲۰	۶۱۵۷/۶	۳۵۷۸	۵۸/۱	۲۵۷۹/۶	۴۱/۹	۹۹۸/۴	۳۹۸۴/۴	۲۱۹۲/۵	۵۵	۱۷۹۱/۹	۴۵	۴۰۰/۶
-۱۰۵	۵۵۴۸/۱	۲۹۶۲	۵۳/۴	۲۵۸۶/۱	۴۶/۶	۳۷۵/۹	۳۶۳۶	۱۸۲۰/۷	۵۰/۱	۱۸۱۵/۳	۴۹/۹	۵/۴
-۹۰	۴۷۱۶/۲	۲۲۸۹/۶	۴۸/۵	۲۴۲۶/۷	۵۱/۵	-۱۳۷/۱	۳۱۳۲/۶	۱۴۱۱/۹	۴۵/۱	۱۷۲۰/۸	۵۴/۹	-۳۰۸/۹
-۷۵	۳۸۴۰/۵	۱۶۲۲/۹	۴۲/۳	۲۲۱۷/۵	۵۷/۷	-۵۹۴/۶	۲۵۸۸	۱۰۴۲	۴۰/۳	۱۵۴۶/۱	۵۹/۷	-۵۰۴/۱
-۶۰	۲۸۵۸/۷	۱۰۳۰/۱	۳۶	۱۸۲۸/۶	۶۴	-۷۹۸/۶	۱۹۵۹/۸	۶۷۱/۸	۳۴/۳	۱۲۸۸	۶۵/۷	-۶۱۶/۲
-۴۵	۱۹۲۲/۷	۵۸۱/۹	۳۰/۳	۱۳۴۰/۸	۶۹/۷	-۷۵۸/۸	۱۳۴۱/۸	۳۸۹/۴	۲۹	۹۵۲/۴	۷۱	-۵۶۳
-۳۰	۱۱۴۰/۲	۲۷۳/۱	۲۴	۸۶۷/۱	۷۶	-۵۹۴	۸۱۳/۶	۱۸۹/۲	۲۳/۳	۶۲۴/۴	۷۶/۷	-۴۳۵/۲
-۱۵	۵۵۵/۹	۱۹۹/۷	۳۵/۹	۳۵۶/۲	۶۴/۱	-۱۵۶/۵	۴۰۵/۲	۹۶/۹	۲۳/۹	۳۰۸/۳	۷۶/۱	-۲۱۱/۵

جدول ۶. میزان انرژی دریافتی سطوح قائم در شهرهای کرمان و بوشهر (BTU/H/FT²)

راستا	کرمان					بوشهر						
	کل	دوره				تفاوت	کل	دوره				
		سرد	درصد	گرم	درصد			سرد	درصد	گرم	درصد	
شمال	۴۹۶	۶۴/۶	۱۳	۴۳۱/۴	۸۷	-۳۶۶/۸	۵۳۱/۷	۱۳/۳	۲/۵	۵۱۸/۳	۹۷/۵	-۵۰۵
+۱۵	۸۲۰	۱۵۹/۲	۱۹/۲	۶۷۰/۸	۸۰/۸	-۵۱۱/۶	۸۷۹/۵	۵۳/۵	۶/۱	۸۲۶	۹۳/۹	-۷۷۲/۵
+۳۰	۱۶۶۷	۴۶۳/۳	۲۷/۸	۱۲۰۳/۷	۷۲/۲	-۷۴۰/۴	۱۷۳۴/۱	۱۷۴/۸	۱۰/۱	۱۵۵۹/۳	۸۹/۹	-۱۳۸۴/۴
+۴۵	۲۷۶۱/۹	۹۶۰/۵	۳۴/۸	۱۸۰۱/۴	۶۵/۲	-۸۴۰/۹	۲۸۲۷/۱	۴۲۰/۴	۱۴/۹	۲۴۰۶/۷	۸۵/۱	-۱۹۸۶/۳

راستا	بوشهر						کرمان					
	تفاوت	دوره				کل	تفاوت	دوره				کل
		درصد	گرم	درصد	سرد			درصد	گرم	درصد	سرد	
+۶۰	-۲۵۲۱/۲	۸۱/۱	۳۲۸۹/۸	۱۸/۹	۷۶۸/۶	۴۰۵۸/۴	-۸۲۰/۹	۶۰/۲	۲۴۱۷/۹	۳۹/۸	۱۵۹۶/۹	۴۰۱۴/۸
+۷۵	-۲۷۹۸/۶	۷۶/۷	۴۰۲۲/۱	۲۳/۳	۱۲۲۳/۵	۵۲۴۵/۶	-۵۹۶/۴	۵۵/۷	۲۹۲۲/۷	۴۴/۳	۲۳۲۶/۳	۵۲۴۹
+۹۰	-۳۱۱۴	۷۵/۱	۴۶۶۲/۹	۲۴/۹	۱۵۴۸/۹	۶۲۱۱/۷	-۴۲۳/۹	۵۳/۴	۳۳۵۳/۴	۴۶/۶	۲۹۲۹/۵	۶۲۸۲/۸
+۱۰۵	-۳۰۳۰/۲	۷۱/۵	۵۰۳۴/۲	۲۸/۵	۲۰۰۴	۷۰۳۸/۲	۲۰۸/۳	۴۸/۶	۳۴۹۴/۳	۵۱/۴	۳۷۰۲/۶	۷۱۹۶/۹
+۱۲۰	-۳۰۹۰/۷	۷۰/۵	۵۳۰۶/۱	۲۹/۵	۲۲۱۵/۴	۷۵۲۱/۶	۷۶۰/۶	۴۵/۱	۳۵۰۸/۷	۵۴/۹	۴۲۶۹/۲	۷۷۷۷/۹
+۱۳۵	-۳۰۰۸/۸	۶۹/۵	۵۳۶۶/۸	۳۰/۵	۲۳۵۷/۹	۷۷۲۴/۷	۱۹۳۶/۳	۳۸	۳۰۷۳/۸	۶۲	۵۰۱۰/۱	۸۰۸۳/۸
+۱۵۰	-۲۵۱۵/۸	۶۶/۳	۵۱۲۴/۱	۳۳/۷	۲۶۰۸/۳	۷۷۳۲/۵	۲۱۴۲	۳۶/۹	۳۰۲۱/۶	۶۳/۱	۵۱۶۳/۶	۸۱۸۵/۲
+۱۶۵	-۱۹۳۰/۵	۶۲/۸	۴۷۵۰/۴	۳۷/۲	۲۸۲۰	۷۵۷۰/۴	۲۶۴۴/۹	۳۳/۷	۲۷۲۷/۸	۶۶/۳	۵۳۷۲/۷	۸۱۰۰/۵
جنوب	-۱۹۰۸/۴	۶۲/۸	۴۶۸۳/۶	۳۷/۲	۲۷۷۵/۲	۷۴۵۸/۸	۲۷۰۱/۲	۳۳/۲	۲۶۶۱/۲	۶۶/۸	۵۳۶۲/۴	۸۰۲۳/۵
-۱۶۵	-۲۳۸۲/۸	۶۵/۷	۴۹۷۶/۶	۳۴/۳	۲۵۹۳/۸	۷۵۷۰/۴	۲۱۹۴/۸	۳۶/۵	۲۹۵۲/۹	۶۳/۵	۵۱۴۷/۶	۸۱۰۰/۵
-۱۵۰	-۳۳۹۶/۴	۷۲	۵۵۶۴/۴	۲۸	۲۱۶۸	۷۷۳۲/۵	۸۶۱/۳	۴۴/۷	۳۶۶۱/۹	۵۵/۳	۴۵۲۳/۳	۸۱۸۵/۲
-۱۳۵	-۴۲۳۵/۷	۷۷/۴	۵۹۸۰/۲	۲۲/۶	۱۷۴۴/۵	۷۷۲۴/۷	-۳۲۹/۱	۵۲	۴۲۰۶/۵	۴۸	۳۸۷۷/۳	۸۰۸۳/۸
-۱۲۰	-۴۷۳۱/۳	۸۱/۵	۶۱۲۶/۴	۱۸/۵	۱۳۹۵/۱	۷۵۲۱/۶	-۱۰۹۱/۲	۵۷	۴۴۳۴/۶	۴۲	۳۳۴۳/۴	۷۷۷۷/۹
-۱۰۵	-۴۹۱۰/۱	۸۴/۹	۵۹۷۴/۱	۱۵/۱	۱۰۶۴	۷۰۳۸/۲	-۱۷۰۲/۷	۶۱/۸	۴۴۵۰/۳	۳۸/۲	۲۷۴۶/۶	۷۱۹۶/۹
-۹۰	-۴۶۳۸/۷	۸۷/۳	۵۴۲۵/۲	۱۲/۷	۷۸۶/۵	۶۲۱۱/۷	-۲۱۰۳/۹	۶۶/۷	۴۱۹۳/۴	۳۳/۳	۲۰۸۹/۵	۶۲۸۲/۸
-۷۵	-۴۱۷۶/۸	۸۹/۸	۴۷۱۱/۲	۱۰/۲	۵۳۴/۴	۵۲۴۵/۶	-۲۲۶۲	۷۱/۵	۳۷۵۵/۵	۲۸/۵	۱۴۹۳/۵	۵۲۴۹
-۶۰	-۳۳۹۶/۱	۹۱/۸	۳۷۲۷/۳	۸/۲	۳۳۱/۲	۴۰۵۸/۴	-۲۲۱۸	۷۷/۶	۳۱۱۶/۴	۲۲/۴	۸۹۸/۴	۴۰۱۴/۸
-۴۵	-۲۵۳۸/۲	۹۴/۹	۲۶۸۲/۶	۵/۱	۱۴۴/۴	۲۸۲۷/۱	-۱۸۸۱/۷	۸۴/۱	۲۳۲۱/۸	۱۵/۹	۴۴۰/۱	۲۷۶۱/۹
-۳۰	-۱۶۸۶/۸	۹۸/۶	۱۷۱۰/۵	۱/۴	۲۳/۶	۱۷۳۴/۱	-۱۳۴۴/۸	۹۰/۳	۱۵۰۵/۹	۹/۷	۱۶۱/۱	۱۶۶۷
-۱۵	-۸۷۹/۵	۱۰۰	۸۷۹/۵	۰	۰	۸۷۹/۵	-۶۷۵/۶	۹۰/۷	۷۵۲/۸	۹/۳	۷۷/۲	۸۳۰

هم‌چنین بیشترین میزان اختلاف انرژی دریافتی در دوره سرد و گرم سال در اردبیل در ۱۶۵ درجه جنوب‌شرقی و در شهرهای رشت، کرمان و بوشهر در ۱۸۰ درجه جنوب است. میزان انرژی دریافتی سطوح قائم فرم‌های مربع و مستطیل با نسبت‌های ابعادی مختلف به تفکیک دوره‌های سرد و گرم محاسبه و در جداول ۷ و ۸ ارائه شده است. با توجه به میزان انرژی دریافتی و تفاوت میان میزان انرژی دریافتی در دوره‌های سرد و گرم، فرم بهینه سازگار با اقلیم منطقه تعیین شده است.

نتایج جداول ۵ و ۶ نشان می‌دهند که بیشترین میزان انرژی دریافتی سالانه در شهر اردبیل متعلق به سطوح ۱۶۵ درجه جنوب‌شرقی و جنوب‌غربی، و در شهرهای رشت، کرمان و بوشهر متعلق به سطوح ۱۵۰ درجه جنوب‌شرقی و جنوب‌غربی است. کمترین میزان انرژی دریافتی سالانه در کل شهرها نیز متعلق به سطوح رو به شمال و ۱۵ درجه شمال‌شرقی و غربی است. بیشترین میزان انرژی دریافتی در دوره سرد در اردبیل (۷۶/۹ درصد) مربوط به ۱۶۵ درجه جنوب‌شرقی و در شهرهای رشت (۷۲/۲ درصد)، کرمان (۶۶/۸ درصد) و بوشهر (۳۷/۲ درصد) مربوط به ۱۸۰ درجه جنوب است.

جدول ۷. میزان انرژی دریافتی فرم‌های مورد مطالعه در شهرهای اردبیل و رشت (BTU/H/FT2)

نسبت ابعادی	اردبیل								رشت			
	دوره				تفاوت	درصد	دوره					
	کل	سرد	درصد	گرم			کل	سرد	درصد	گرم		
مربع	۴۱۶۲/۹	۲۶۹۹/۶	۶۴/۹	۱۴۶۳/۳	۳۵/۱	۱۲۳۶/۴	۲۶۹۳/۴	۱۵۳۵/۷	۵۷	۱۱۵۷/۷	۴۳	۳۷۸/۱
۱:۱/۲	۴۱۱۲/۴	۲۶۹۸/۲	۶۵/۶	۱۴۱۴/۳	۳۴/۴	۱۲۸۳/۹	۲۶۵۳/۴	۱۵۳۹/۴	۵۸	۱۱۱۴	۴۲	۴۲۵/۴
۱:۱/۴	۴۰۷۰/۷	۲۶۹۷	۶۶/۳	۱۳۷۲/۷	۳۳/۷	۱۳۲۳/۲	۲۶۲۰/۲	۱۵۴۲/۴	۵۸/۹	۱۰۷۷/۸	۴۱/۱	۴۶۴/۶
۱:۱/۶	۴۰۳۵	۲۶۹۵/۹	۶۶/۸	۱۳۳۹/۱	۳۳/۲	۱۳۵۶/۸	۲۵۹۱/۹	۱۵۴۵	۵۹/۶	۱۰۴۶/۹	۴۰/۴	۴۹۸/۱
۱:۱/۸	۴۰۰۴/۸	۲۶۹۵	۶۷/۳	۱۳۰۹/۸	۳۲/۷	۱۳۸۵/۳	۲۵۶۷/۹	۱۵۴۷/۲	۶۰/۲	۱۰۲۰/۸	۳۹/۸	۵۲۶/۴
۱:۲	۳۹۷۸/۵	۲۶۹۴/۳	۶۷/۷	۱۲۸۴/۲	۳۲/۳	۱۴۱۰/۱	۲۵۴۷	۱۵۴۹/۱	۶۰/۸	۹۹۸	۳۹/۲	۵۵۱/۱
۱:۲/۲	۳۹۵۵/۵	۲۶۹۳/۶	۶۸/۱	۱۲۶۱/۹	۳۱/۹	۱۴۳۱/۷	۲۵۲۸/۸	۱۵۵۰/۷	۶۱/۳	۹۷۸/۱	۳۸/۷	۵۷۲/۶
۱:۲/۴	۳۹۳۴/۸	۲۶۹۳	۶۸/۴	۱۲۴۱/۸	۳۱/۶	۱۴۵۱/۲	۲۵۱۲/۳	۱۵۵۲/۲	۶۱/۸	۹۶۰/۱	۳۸/۲	۵۹۲/۱
۱:۲/۶	۳۹۱۷	۲۶۹۲/۵	۶۸/۷	۱۲۲۴/۵	۳۱/۳	۱۴۶۸	۲۴۹۸/۲	۱۵۵۳/۵	۶۲/۲	۹۴۴/۷	۳۷/۸	۶۰۸/۸
۱:۲/۸	۳۹۰۰/۶	۲۶۹۲	۶۹	۱۲۰۸/۶	۳۱	۱۴۸۳/۴	۲۴۸۵/۲	۱۵۵۴/۷	۶۲/۶	۹۳۰/۶	۳۷/۴	۶۲۴/۱
۱:۳	۳۸۸۶/۴	۲۶۹۱/۶	۶۹/۳	۱۱۹۴/۸	۳۰/۷	۱۴۹۶/۸	۲۴۷۳/۹	۱۵۵۵/۷	۶۲/۹	۹۱۸/۲	۳۷/۱	۶۳۷/۵
۱:۱/۲	۴۲۱۳/۴	۲۷۰۱/۱	۶۴/۱	۱۵۱۲/۲	۳۵/۹	۱۱۸۸/۹	۲۷۳۳/۵	۱۵۳۲/۱	۵۶	۱۲۰۱/۴	۴۴	۳۳۰/۷
۱:۱/۴	۴۲۵۵/۱	۲۷۰۲/۳	۶۳/۵	۱۵۵۲/۸	۳۶/۵	۱۱۴۹/۵	۲۷۶۶/۶	۱۵۲۹/۱	۵۵/۳	۱۲۳۷/۵	۴۴/۷	۲۹۱/۵
۱:۱/۶	۴۲۹۰/۸	۲۷۰۳/۴	۶۳	۱۵۸۷/۴	۳۷	۱۱۱۵/۹	۲۷۹۴/۹	۱۵۲۶/۵	۵۴/۶	۱۲۶۸/۴	۴۵/۴	۲۵۸/۱
۱:۱/۸	۴۳۲۱	۲۷۰۴/۲	۶۲/۶	۱۶۱۶/۷	۳۷/۴	۱۰۸۷/۵	۲۸۱۸/۹	۱۵۲۴/۳	۵۴/۱	۱۲۹۴/۶	۴۵/۹	۲۲۹/۷
۱:۲	۴۳۴۷/۳	۲۷۰۵	۶۲/۲	۱۶۴۲/۳	۳۷/۸	۱۰۶۲/۷	۲۸۳۹/۸	۱۵۲۲/۴	۵۳/۶	۱۳۱۷/۴	۴۶/۴	۲۰۵
۱:۲/۲	۴۳۷۰/۳	۲۷۰۵/۷	۶۱/۹	۱۶۶۴/۶	۳۸/۱	۱۰۴۱/۱	۲۸۵۸	۱۵۲۰/۸	۵۳/۲	۱۳۳۷/۳	۴۶/۸	۱۸۳/۵
۱:۲/۴	۴۳۹۱	۲۷۰۶/۳	۶۱/۶	۱۶۸۴/۷	۳۸/۴	۱۰۲۱/۵	۲۸۷۴/۵	۱۵۱۹/۳	۵۲/۹	۱۳۵۵/۲	۴۷/۱	۱۶۴
۱:۲/۶	۴۴۰۸/۸	۲۷۰۶/۸	۶۱/۴	۱۷۰۲	۳۸/۶	۱۰۰۴/۸	۲۸۸۸/۶	۱۵۱۸	۵۲/۶	۱۳۷۰/۷	۴۷/۴	۱۴۷/۳
۱:۲/۸	۴۴۲۵/۲	۲۷۰۷/۳	۶۱/۲	۱۷۱۷/۹	۳۸/۸	۹۸۹/۴	۲۹۰۱/۶	۱۵۱۶/۸	۵۲/۳	۱۳۸۴/۸	۴۷/۷	۱۳۲
۱:۳	۴۴۳۹/۴	۲۷۰۷/۷	۶۱	۱۷۳۱/۷	۳۹	۹۷۶	۲۹۱۲/۹	۱۵۱۵/۸	۵۲	۱۳۹۷/۲	۴۸	۱۱۸/۶

مستطیل (شرقی - غربی)

مستطیل (شمالی - جنوبی)

جدول ۸. میزان انرژی دریافتی فرم‌های مورد مطالعه در شهرهای کرمان و بوشهر (BTU/H/FT2)

نسبت ابعادی	کرمان								بوشهر				
	دوره				تفاوت	درصد	دوره						
	کل	سرد	درصد	گرم			کل	سرد	درصد	گرم			
مربع	۵۲۷۱/۳	۲۶۱۱/۵	۴۹/۵	۲۶۵۹/۸	-۴۸/۴	۵۰/۵	۲۶۵۹/۸	۲۶۱۱/۵	۱۲۸۱	۲۵/۱	۳۸۲۲/۵	۷۴/۹	-۲۵۴۱/۶
۱:۱/۲	۵۱۷۹/۱	۲۶۲۰/۸	۵۰/۶	۲۵۵۸/۳	۶۲/۵	۴۹/۴	۲۵۵۸/۳	۲۶۲۰/۸	۱۲۹۱/۳	۲۵/۸	۳۷۱۱/۱	۷۴/۲	-۲۴۱۹/۸
۱:۱/۴	۵۱۰۲/۷	۲۶۲۸/۵	۵۱/۵	۲۴۷۴/۲	۴۸/۵	۴۸/۵	۲۴۷۴/۲	۲۶۲۸/۵	۱۲۹۹/۸	۲۶/۴	۳۶۱۸/۹	۷۳/۶	-۲۳۱۹/۱
۱:۱/۶	۵۰۳۷/۵	۲۶۳۵	۵۲/۳	۲۴۰۲/۴	۴۷/۷	۴۷/۷	۲۴۰۲/۴	۲۶۳۵	۱۳۰۷/۱	۲۷	۳۵۴۰/۲	۷۳	-۲۲۳۳
۱:۱/۸	۴۹۸۲/۳	۲۶۴۰/۶	۵۳	۲۳۴۱/۷	۴۷	۴۷	۲۳۴۱/۷	۲۶۴۰/۶	۱۳۱۳/۳	۲۷/۴	۳۴۷۳/۵	۷۲/۶	-۲۱۶۰/۲
۱:۲	۴۹۳۴/۱	۲۶۴۵/۵	۵۳/۶	۲۲۸۸/۶	۴۶/۴	۴۶/۴	۲۲۸۸/۶	۲۶۴۵/۵	۱۳۱۸/۷	۲۷/۹	۳۴۱۵/۳	۷۲/۱	-۲۰۹۶/۶
۱:۲/۲	۴۸۹۲/۲	۲۶۴۹/۷	۵۴/۲	۲۲۴۲/۵	۴۵/۸	۴۵/۸	۲۲۴۲/۵	۲۶۴۹/۷	۱۳۲۳/۴	۲۸/۲	۳۳۶۴/۷	۷۱/۸	-۲۰۴۱/۳
۱:۲/۴	۴۸۵۴/۲	۲۶۵۳/۵	۵۴/۷	۲۲۰۰/۷	۴۵/۳	۴۵/۳	۲۲۰۰/۷	۲۶۵۳/۵	۱۳۲۷/۷	۲۸/۶	۳۳۱۸/۹	۷۱/۴	-۱۹۹۱/۲
۱:۲/۶	۴۸۲۱/۷	۲۶۵۶/۸	۵۵/۱	۲۱۶۴/۹	۴۴/۹	۴۴/۹	۲۱۶۴/۹	۲۶۵۶/۸	۱۳۳۱/۳	۲۸/۹	۳۲۷۹/۶	۷۱/۱	-۱۹۴۸/۳
۱:۲/۸	۴۷۹۱/۸	۲۶۵۹/۸	۵۵/۵	۲۱۳۲	۴۴/۵	۴۴/۵	۲۱۳۲	۲۶۵۹/۸	۱۳۳۴/۷	۲۹/۲	۳۲۴۳/۵	۷۰/۸	-۱۹۰۸/۸
۱:۳	۴۷۶۵/۷	۲۶۶۲/۵	۵۵/۹	۲۱۰۳/۳	۴۴/۱	۴۴/۱	۲۱۰۳/۳	۲۶۶۲/۵	۱۳۳۷/۶	۲۹/۴	۳۲۱۲	۷۰/۶	-۱۸۷۴/۴

مستطیل (شرقی - غربی)

نسبت ابعادی	کرمان				بوشهر				تفاوت			
	دوره				دوره							
	کل	سرد	درصد	گرم	کل	سرد	درصد	گرم				
۱:۱/۲	۵۳۶۳/۵	۲۶۰۲/۲	۴۸/۵	۲۷۶۱/۴	۵۱/۵	-۱۵۹/۲	۵۲۰۴/۵	۱۲۷۰/۶	۲۴/۴	۳۹۳۳/۹	۷۵/۶	-۲۶۶۳/۳
۱:۱/۴	۵۴۳۹/۹	۲۵۹۴/۵	۴۷/۷	۲۸۴۵/۴	۵۲/۳	-۲۵۰/۹	۵۲۸۸/۲	۱۲۶۲/۱	۲۳/۹	۴۰۲۶/۱	۷۶/۱	-۲۷۶۴
۱:۱/۶	۵۵۰۵/۱	۲۵۸۷/۹	۴۷	۲۹۱۷/۲	۵۲	-۳۲۹/۳	۵۳۵۹/۶	۱۲۵۴/۸	۲۳/۴	۴۱۰۴/۹	۷۶/۶	-۲۸۵۰/۱
۱:۱/۸	۵۵۶۰/۳	۲۵۸۲/۳	۴۶/۴	۲۹۷۸	۵۳/۶	-۳۹۵/۷	۵۴۲۰/۱	۱۲۴۸/۶	۲۳	۴۱۷۱/۵	۷۷	-۲۹۲۲/۹
۱:۲	۵۶۰۸/۵	۲۵۷۷/۵	۴۶	۳۰۳۱	۵۴	-۴۵۳/۵	۵۴۷۲/۹	۱۲۴۳/۲	۲۲/۷	۴۲۲۹/۷	۷۷/۳	-۲۹۸۶/۵
۱:۲/۲	۵۶۵۰/۴	۲۵۷۳/۲	۴۵/۵	۳۰۷۷/۱	۵۴/۵	-۵۰۳/۹	۵۵۱۸/۸	۱۲۳۸/۵	۲۲/۴	۴۲۸۰/۳	۷۷/۶	-۳۰۴۱/۸
۱:۲/۴	۵۶۸۸/۴	۲۵۶۹/۴	۴۵/۲	۳۱۱۸/۹	۵۴/۸	-۵۴۹/۵	۵۵۶۰/۴	۱۲۳۴/۳	۲۲/۲	۴۳۲۶/۲	۷۷/۸	-۳۰۹۱/۹
۱:۲/۶	۵۷۲۰/۹	۲۵۶۶/۱	۴۴/۹	۳۱۵۴/۷	۵۵/۱	-۵۸۸/۶	۵۵۹۶	۱۲۳۰/۶	۲۲	۴۳۶۵/۴	۷۸	-۳۱۳۴/۸
۱:۲/۸	۵۷۵۰/۸	۲۵۶۳/۱	۴۴/۶	۳۱۸۷/۷	۵۵/۴	-۶۲۴/۵	۵۶۲۸/۸	۱۲۲۷/۳	۲۱/۸	۴۴۰۱/۵	۷۸/۲	-۳۱۷۴/۳
۱:۳	۵۷۷۶/۸	۲۵۶۰/۵	۴۴/۳	۳۲۱۶/۴	۵۵/۷	-۶۵۵/۹	۵۶۵۷/۴	۱۲۲۴/۳	۲۱/۶	۴۴۳۳	۷۸/۴	-۳۲۰۸/۷

مستطیل (شمالی - جنوبی)

سطح، تفاوت بین دمای داخلی و خارجی و ضریب انتقال حرارت کلی دیوارها بستگی دارد. بر اساس قانون فوریه، برای دو جسم با شرایط دمایی و ضریب هدایتی برابر، میزان انرژی اتلافی و کسب شده رابطه مستقیمی با مساحت پوسته خارجی دارد. بنابراین 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 کسب شده از جدارها افزایش می‌یابد. نسبت ابعادی بهینه فرم نسبتی است که میزان انرژی اتلافی در فصل سرد و میزان انرژی جذب شده در فصل گرم حداقل باشد. با توجه به اصل تعادل بین انرژی دریافتی و تلف شده، می‌بایست حداقل میزان انرژی جذب شده در دوره سرد برای نسبت‌های ابعادی ۱:۱/۲ تا ۱:۳، نسبت به مربع به ترتیب ۱/۰۲۷، ۱/۰۱۴، ۱/۰۰۴، ۱/۰۴۳، ۱/۰۰۶، ۱/۰۷۸، ۱/۰۹۷، ۱/۱۱۶، ۱/۱۳۵ و ۱/۱۵۳ درصد و حداکثر میزان انرژی جذب شده در دوره گرم نیز به ترتیب ۰/۹۹۶، ۰/۹۸۶، ۰/۹۷۳، ۰/۹۵۷، ۰/۹۴، ۰/۹۲۲، ۰/۸۰۴، ۰/۸۰۳، ۰/۸۴، ۰/۸۵، ۰/۸۵ درصد باشد. جدول ۹، مقدار نسبت انرژی دریافتی فرم مستطیل به مربع را در دوره‌های سرد و گرم برحسب درصد نشان می‌دهد.

بر اساس نتایج جداول ۷ و ۸، حداکثر انرژی دریافتی سطوح قائم مربوط به فرم مستطیل با جهت شمالی - جنوبی و کمترین مقدار مربوط به فرم مستطیل با جهت شرقی - غربی است. در مستطیل شمالی - جنوبی، به دلیل بزرگی سطوح شرقی و غربی و مدت زمان بیشتر دریافت تابش توسط این سطوح، میزان انرژی دریافتی در طول دوره گرم نسبت به سایر فرم‌ها بیشتر می‌باشد. البته این فرم‌ها به دلیل تغییر زوایای سطوح نسبت به دریافت انرژی خورشیدی در مواقع سرد و گرم عملکرد متفاوتی دارند. بهترین فرم ساختمان با توجه به اقلیم شهرهای مورد مطالعه و براساس حداکثر میزان اختلاف انرژی دریافتی بین دوره‌های سرد و گرم سال یا حداکثر میزان دریافتی انرژی خورشید در دوره سرد تعیین می‌شود. بیشترین مقدار انرژی در دوره سرد در شهرهای مورد مطالعه مربوط به فرم مستطیل با جهت شرقی - غربی و کمترین مقدار انرژی در دوره سرد مربوط به فرم مستطیل با جهت شمالی - جنوبی است. بنابراین با توجه به معیارهای تعیین شده، بهترین فرم ساختمان در شهرهای مورد مطالعه، فرم مستطیل با جهت شرقی - غربی و سپس فرم مربع می‌باشد. اتلاف و جذب حرارتی به عواملی متعددی مانند مساحت

جدول ۹. نسبت انرژی دریافتی فرم مستطیل به مربع در دوره‌های سرد و گرم (درصد)

فرم	دوره	شهر	۱:۱/۲	۱:۱/۴	۱:۱/۶	۱:۱/۸	۱:۲	۱:۲/۲	۱:۲/۴	۱:۲/۶	۱:۲/۸	۱:۳
مستطیل (شرق - غربی)	سرد	اردبیل	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۰/۹۹۸	۰/۹۹۸	۰/۹۹۸	۰/۹۹۸	۰/۹۹۷	۰/۹۹۷	۰/۹۹۷
		رشت	۱/۰۰۲	۱/۰۰۴	۱/۰۰۶	۱/۰۰۷	۱/۰۰۹	۱/۰۱	۱/۰۱۱	۱/۰۱۲	۱/۰۱۲	۱/۰۱۳
		کرمان	۱/۰۰۴	۱/۰۰۶	۱/۰۰۹	۱/۰۱۱	۱/۰۱۳	۱/۰۱۵	۱/۰۱۶	۱/۰۱۷	۱/۰۱۹	۱/۰۲
		بوشهر	۱/۰۰۸	۱/۰۱۵	۱/۰۲	۱/۰۲۵	۱/۰۲۹	۱/۰۳۳	۱/۰۳۶	۱/۰۳۹	۱/۰۴۲	۱/۰۴۴
مستطیل (شمالی - جنوبی)	گرم	اردبیل	۰/۹۶۶	۰/۹۳۹	۰/۹۱۵	۰/۸۹۵	۰/۸۷۸	۰/۸۶۲	۰/۸۴۹	۰/۸۳۷	۰/۸۲۶	۰/۸۱۶
		رشت	۰/۹۶۲	۰/۹۳۱	۰/۹۰۴	۰/۸۸۲	۰/۸۶۲	۰/۸۴۵	۰/۸۲۹	۰/۸۱۶	۰/۸۰۴	۰/۷۹۳
		کرمان	۰/۹۶۲	۰/۹۳	۰/۹۰۳	۰/۸۸	۰/۸۶	۰/۸۴۳	۰/۸۲۷	۰/۸۱۴	۰/۸۰۲	۰/۷۹۱
		بوشهر	۰/۹۷۱	۰/۹۴۷	۰/۹۲۶	۰/۹۰۹	۰/۸۹۳	۰/۸۸	۰/۸۶۸	۰/۸۵۸	۰/۸۴۹	۰/۸۴

فرم	دوره	شهر	۱:۱/۲	۱:۱/۴	۱:۱/۶	۱:۱/۸	۱:۲	۱:۲/۲	۱:۲/۴	۱:۲/۶	۱:۲/۸
سرد	مستطیل (شمالی-جنوبی)	اردبیل	۱/۰۰۱	۱/۰۰۱	۱/۰۰۱	۱/۰۰۲	۱/۰۰۲	۱/۰۰۲	۱/۰۰۲	۱/۰۰۳	۱/۰۰۳
		رشت	۰/۹۹۸	۰/۹۹۶	۰/۹۹۴	۰/۹۹۳	۰/۹۹۱	۰/۹۹۱	۰/۹۸۹	۰/۹۸۹	۰/۹۸۸
		کرمان	۰/۹۹۶	۰/۹۹۳	۰/۹۹۱	۰/۹۸۹	۰/۹۸۷	۰/۹۸۵	۰/۹۸۴	۰/۹۸۳	۰/۹۸۱
		بوشهر	۰/۹۹۲	۰/۹۸۵	۰/۹۸	۰/۹۷۵	۰/۹۷	۰/۹۶۷	۰/۹۶۴	۰/۹۶۱	۰/۹۵۸
گرم	مستطیل (شمالی-جنوبی)	اردبیل	۱/۰۳۳	۱/۰۶۱	۱/۰۸۵	۱/۱۰۵	۱/۱۲۲	۱/۱۳۸	۱/۱۵۱	۱/۱۶۳	۱/۱۷۴
		رشت	۱/۰۳۸	۱/۰۶۹	۱/۰۹۶	۱/۱۱۸	۱/۱۳۸	۱/۱۵۵	۱/۱۷۱	۱/۱۸۴	۱/۱۹۶
		کرمان	۱/۰۳۸	۱/۰۷	۱/۰۹۷	۱/۱۲	۱/۱۴	۱/۱۵۷	۱/۱۷۳	۱/۱۸۶	۱/۱۹۸
		بوشهر	۱/۰۲۹	۱/۰۵۳	۱/۰۷۴	۱/۰۹۱	۱/۱۰۷	۱/۱۲	۱/۱۳۲	۱/۱۴۲	۱/۱۵۱

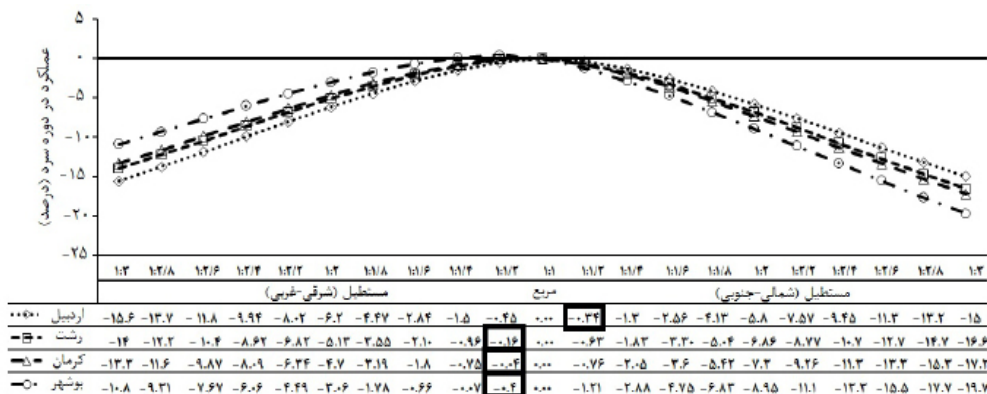
می‌دهند. با توجه به مقدار انرژی دریافتی و اتلافی در دوره سرد، نسبت ابعادی بهینه در دوره سرد در اردبیل، رشت، کرمان و بوشهر ۱:۱/۲ می‌باشد. همچنین با توجه به حداقل انرژی گرمایی دریافتی در دوره گرم، نسبت ابعادی بهینه در دوره گرم در اردبیل، رشت و کرمان ۱:۲ و در بوشهر ۱:۱/۸ می‌باشد. بر اساس رابطه ۹، بهترین نسبت ابعادی برای مستطیل شرقی-غربی در اردبیل ۱:۱/۲، در رشت ۱:۱/۴ و در کرمان و بوشهر ۱:۱/۶ می‌باشد.

مقدار عملکرد انرژی برای نسبت‌های ابعادی فرم‌ها طبق رابطه ۹ محاسبه می‌شود.

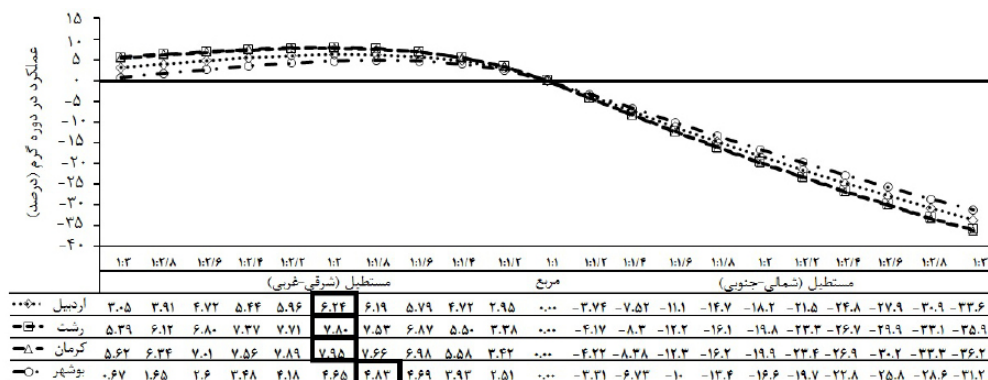
$$E_{Max. Required} - E_{Received} \times \text{Hot period (\%)} + [(E_{Min. Required} - E_{Received}) \times \text{Cold period (\%)}] \quad (9)$$

در رابطه ۹، E، انرژی مورد نیاز و دریافتی در دوره‌های گرم و سرد است (BTU/H/FT²). شکل‌های ۱ تا ۳، عملکرد نسبت‌های ابعادی مختلف فرم مستطیل را نسبت به شکل مربع در دریافت انرژی نشان

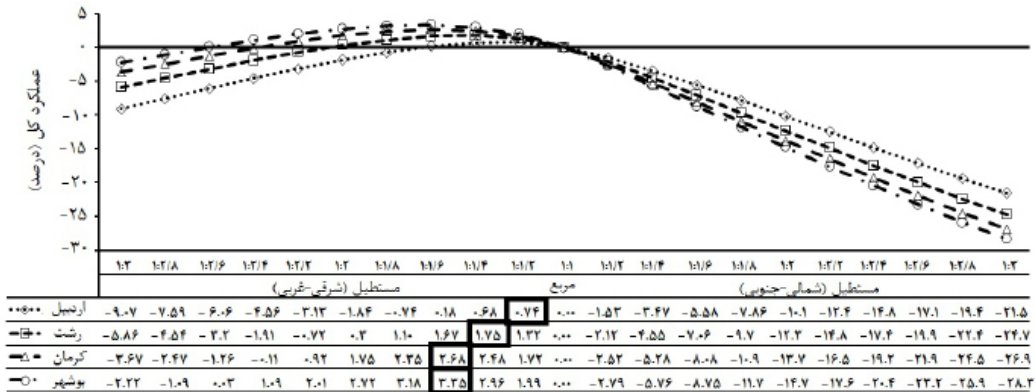
شکل ۱. عملکرد انرژی در فرم مستطیل و مربع در دوره سرد (درصد)



شکل ۲. عملکرد انرژی در فرم مستطیل و مربع در دوره گرم (درصد)



شکل ۳. عملکرد انرژی کل در فرم مستطیل و مربع (درصد)



جدول ۱۰، میزان انرژی دریافتی نسبت‌های ابعادی بهینه را در جهات مختلف در شهرهای مورد مطالعه نشان می‌دهد.

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

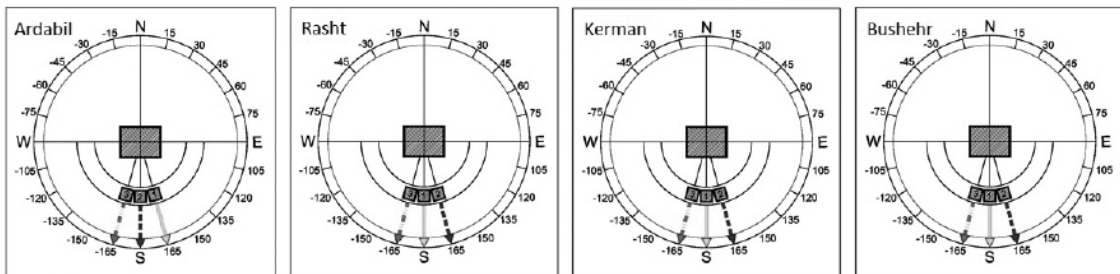
		جنوب شرقی					۱۸۰°	جنوب غربی						
		+۱۰۵°	+۱۲۰°	+۱۳۵°	+۱۵۰°	+۱۶۵°	۱۸۰°	-۱۶۵°	-۱۵۰°	-۱۳۵°	-۱۲۰°	-۱۰۵°		
اردبیل (۱:۱/۲)	کل	۴۲۶۱/۶	۴۲۷۵/۹	۴۲۵۵/۳	۴۲۲۹/۴	۴۱۷۵/۱	۴۱۱۲/۶	۴۱۷۵/۱	۴۲۲۹/۴	۴۲۵۵/۳	۴۲۷۵/۹	۴۲۶۱/۶		
	دوره سرد	۲۷۰۹/۶	۲۷۰۸/۶	۲۶۹۴/۶	۲۷۱۹/۶	۲۷۵۲/۲	۲۶۹۸/۲	۲۷۰۲/۹	۲۷۰۲/۵	۲۶۸۹/۳	۲۷۱۲/۸	۲۷۴۹/۷		
	درصد	۶۳/۶	۶۳/۳	۶۳/۳	۶۴/۳	۶۵/۹	۶۵/۶	۶۴/۷	۶۳/۹	۶۳/۲	۶۳/۵	۶۴/۵		
	دوره گرم	۱۵۵۲	۱۵۶۷/۲	۱۵۶۰/۸	۱۵۰۹/۸	۱۴۲۲/۹	۱۴۱۴/۴	۱۴۷۲/۲	۱۵۲۶/۹	۱۵۶۶	۱۵۶۲/۱	۱۵۱۱/۹		
	درصد	۳۶/۴	۳۶/۷	۳۶/۷	۳۵/۷	۳۴/۱	۳۴/۴	۳۵/۳	۳۶/۱	۳۶/۸	۳۶/۵	۳۵/۵		
	تفاوت	۱۱۵۷/۶	۱۱۴۱/۴	۱۱۳۳/۸	۱۲۰۹/۸	۱۳۲۹/۳	۱۲۸۳/۸	۱۲۳۰/۷	۱۱۷۵/۶	۱۱۲۳/۳	۱۱۵۱/۷	۱۲۳۷/۸		
رشت (۱:۱/۴)	کل	۲۷۹۹/۱	۲۸۰۲/۳	۲۷۷۳/۴	۲۷۳۵/۸	۲۶۷۳/۹	۲۶۲۰/۲	۲۶۷۳/۹	۲۷۳۵/۸	۲۷۷۳/۴	۲۸۰۲/۳	۲۷۹۹/۱		
	دوره سرد	۱۵۴۴/۹	۱۵۲۹/۲	۱۵۲۰/۸	۱۵۳۹/۸	۱۵۶۲/۳	۱۵۴۲/۴	۱۵۵۴/۹	۱۵۳۴	۱۵۲۰/۲	۱۵۳۱	۱۵۵۰/۳		
	درصد	۵۵/۲	۵۴/۶	۵۴/۸	۵۶/۳	۵۸/۴	۵۸/۹	۵۸/۲	۵۶/۱	۵۴/۸	۵۴/۶	۵۵/۴		
	دوره گرم	۱۲۵۴/۲	۱۲۷۴/۱	۱۲۵۲/۶	۱۱۹۶	۱۱۱۱/۶	۱۰۷۷/۸	۱۱۱۹	۱۲۰۱/۸	۱۲۵۳/۲	۱۲۷۲/۳	۱۲۴۸/۷		
	درصد	۴۴/۸	۴۵/۴	۴۵/۲	۴۳/۷	۴۱/۶	۴۱/۱	۴۱/۸	۴۳/۹	۴۵/۲	۴۵/۴	۴۴/۶		
	تفاوت	۲۹۰/۷	۲۵۵/۱	۲۶۸/۱	۳۴۳/۸	۴۵۰/۸	۴۶۴/۶	۴۳۶	۳۳۲/۲	۲۶۷	۲۵۸/۸	۳۰۱/۶		
کرمان (۱:۱/۶)	کل	۵۵۴۶/۹	۵۵۲۳/۲	۵۴۲۲/۹	۵۲۹۹/۳	۵۱۴۱/۳	۵۰۳۷/۹	۵۱۴۱/۳	۵۲۹۹/۳	۵۴۲۲/۹	۵۵۲۳/۲	۵۵۴۶/۹		
	دوره سرد	۲۶۱۹/۴	۲۵۴۹	۲۶۰۷/۳	۲۵۸۸/۴	۲۶۵۲/۵	۲۶۳۵	۲۶۳۲/۱	۲۵۲۸/۱	۲۵۳۶/۷	۲۵۴۴/۱	۲۶۰۹		
	درصد	۴۷/۲	۴۶/۲	۴۸/۱	۴۸/۸	۵۱/۶	۵۲/۳	۵۱/۲	۴۷/۷	۴۶/۸	۴۶/۱	۴۷		
	دوره گرم	۲۹۲۷/۶	۲۹۷۴/۲	۲۸۱۵/۵	۲۷۱۰/۸	۲۴۸۸/۸	۲۴۰۲/۹	۲۵۰۹/۲	۲۷۷۱/۲	۲۸۸۶/۲	۲۹۷۹/۱	۲۹۳۸		
	درصد	۵۲/۸	۵۳/۸	۵۱/۹	۵۱/۲	۴۸/۴	۴۷/۷	۴۸/۸	۵۲/۳	۵۳/۲	۵۳/۹	۵۳		
	تفاوت	-۳۰۸/۲	-۴۲۵/۲	-۲۰۸/۲	-۱۲۲/۴	۱۶۳/۶	۲۳۲/۲	۱۲۲/۹	-۲۴۳/۱	-۳۴۹/۵	-۴۳۵	-۲۲۹		
پوشهر (۱:۱/۶)	کل	۵۴۰۴/۶	۵۳۸۲/۶	۵۲۷۵/۹	۵۱۳۹/۷	۴۹۶۲/۲	۴۸۴۷/۷	۴۹۶۲/۲	۵۱۳۹/۷	۵۲۷۵/۹	۵۳۸۲/۶	۵۴۰۴/۶		
	دوره سرد	۱۲۹۰/۱	۱۲۳۴/۱	۱۱۸۶/۳	۱۲۲۵/۹	۱۳۰۷/۶	۱۳۰۷/۱	۱۳۰۲/۷	۱۲۱۰/۶	۱۱۴۷/۳	۱۱۷۱/۹	۱۲۴۶/۲		
	درصد	۲۳/۹	۲۲/۹	۲۲/۵	۲۳/۹	۲۶/۴	۲۷	۲۶/۳	۲۳/۶	۲۱/۷	۲۱/۸	۲۳/۱		
	دوره گرم	۴۱۱۴/۵	۴۱۴۹/۴	۴۰۸۹/۶	۳۹۱۳/۸	۳۶۵۴/۶	۳۵۴۰/۶	۳۶۵۹/۵	۳۹۲۹/۱	۴۱۲۸/۵	۴۲۱۱/۷	۴۱۵۸/۴		
	درصد	۷۶/۱	۷۷/۱	۷۷/۵	۷۶/۱	۷۳/۶	۷۳	۷۳/۷	۷۶/۴	۷۸/۳	۷۸/۲	۷۶/۹		
	تفاوت	-۲۹۱۵/۳	-۲۹۰۳/۳	-۲۶۸۷/۸	-۲۳۴۷	-۲۲۳۳/۵	-۲۳۵۶/۸	-۲۷۱۸/۵	-۲۹۸۱/۲	-۳۰۳۹/۷	-۲۹۱۲/۳			

به اقلیم شهرهای مورد مطالعه، بهترین جهت‌گیری ساختمان به دلیل دریافت حداقل انرژی در دوره گرم و حداکثر انرژی در دوره سرد تعیین می‌شود. بنابراین، براساس معیارهای تعیین‌شده، بهترین جهت‌گیری برای نسبت‌های ابعادی منتخب در شهر اردبیل، ۱۶۵ درجه جنوب‌شرقی و سپس ۱۸۰ درجه جنوب، و در شهرهای رشت، کرمان و بوشهر، ۱۸۰ درجه جنوب و بعد از آن جهت ۱۶۵ درجه جنوب‌شرقی است. شکل ۴ اولویت‌بندی استقرار ساختمان‌ها را در شهرهای مورد مطالعه نشان می‌دهد.

با توجه به نتایج حاصل از جدول ۱۰، در نسبت‌های ابعادی بررسی شده، حداکثر انرژی دریافتی سطوح قائم مربوط به جهت ۱۲۰ و ۱۰۵ درجه جنوب‌شرقی و جنوب‌غربی، و کمترین مقدار نیز مربوط به جهت رو به جنوب می‌باشد. با چرخش فرم به سمت شرق و غرب، مقدار انرژی دریافتی در دوره گرم افزایش و در دوره سرد کاهش می‌یابد، به طوری که مقدار انرژی دریافتی در دوره گرم در ۱۰۵ درجه جنوب‌شرقی و جنوب‌غربی در اردبیل، رشت، کرمان و بوشهر به ترتیب حدود ۱۰ درصد، ۱۶ درصد، ۲۱ درصد و ۱۶ درصد بیشتر از جهت رو به جنوب است. با توجه

شکل ۴. اولویت‌بندی استقرار ساختمان‌ها در شهرهای مورد مطالعه

(خط سبز: اولویت اول، خط آبی: اولویت دوم، خط قرمز: اولویت سوم)



۵. نتیجه‌گیری

به منظور دریافت میزان بهینه انرژی خورشیدی، بهترین فرم ساختمان در شهرهای مورد مطالعه، فرم مستطیل با راستای شرقی-غربی است. مناسب‌ترین نسبت ابعادی برای فرم مستطیل با راستای شرقی-غربی در اردبیل ۱:۱/۲، در رشت ۱:۱/۴ و در کرمان و بوشهر ۱:۱/۶ است. مناسب‌ترین جهت‌گیری برای نسبت‌های ابعادی منتخب در اردبیل، ۱۶۵ درجه جنوب‌شرقی و در شهرهای رشت، کرمان و بوشهر، ۱۸۰ درجه جنوب می‌باشد.

در این پژوهش نسبت ابعادی و جهت‌گیری بهینه ساختمان‌ها بر اساس دریافت انرژی در شهرهای اردبیل، رشت، کرمان و بوشهر بررسی گردید. فرم‌های مربع و مستطیل با راستای شمالی-جنوبی و شرقی-غربی مطالعه گردید. نسبت ابعادی فرم مستطیل ۱:۱/۲ تا ۱:۳ (با فاصله ۰/۲) می‌باشد. مقدار انرژی تابشی دریافتی سطوح قائم با استفاده از روش محاسباتی قانون کسینوس محاسبه شد. نتایج نشان داد که بیشترین مقدار انرژی دریافتی سطوح قائم مربوط به فرم مستطیل با راستای شمالی-جنوبی و کمترین مقدار هم مربوط به فرم مستطیل با راستای شرقی-غربی است.

فهرست منابع

- برزگر، زهرا و حیدری، شاهین (۱۳۹۲). بررسی تاثیر تابش دریافتی خورشید در بدنه‌های ساختمان بر مصرف انرژی بخش خانگی. نشریه هنرهای زیبا- معماری و شهرسازی، ۸۱(۱)، ۵۴-۶۵. DOI: 10.22059/JFAUP.2013.36356
- ضرغامی، اسماعیل، جهان بخش، حیدر و طحانیان، امیرحسین (۱۳۹۴). بررسی رابطه فرم ساختمان‌های مسکونی با میزان مصرف انرژی آنها در اقلیم گرم و خشک شهر سمنان، نشریه انرژی ایران، ۸۱(۴)، ۳۶-۶۷. <http://necjournals.ir/article-1-795-fa.html>
- فرج‌زاده، منوچهر و عباسی، محمد حسین (۱۳۹۱). بهینه‌سازی جهت ساختمان‌های شهر قیر در رابطه با تابش آفتاب با استفاده از روش روابط کسینوس، فصلنامه جغرافیایی سرزمین، ۹(۳۵)، ۴۳-۶۰. https://sarzamin.srbiau.ac.ir/article_6090.html?lang=fa
- کربلایی درئی، علیرضا و حجازی‌زاده، زهرا (۱۳۹۶). بهینه‌سازی جهت‌گیری استقرار ساختمان در شهر کاشان بر اساس شرایط اقلیمی، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، ۷(۲۷)، ۸۵-۱۰۳. <http://journals.hsu.ac.ir/jarhs/article-1-1194-en.html>
- کرمی‌کرد علیوند، فیروزه، نارنگی‌فرد، مهدی (۱۳۹۶). بهینه‌سازی جهت‌گیری ساختمان‌ها در برابر تابش (مطالعه موردی: شهر شیراز)، اندیشه جغرافیایی، ۸(۱۶)، ۹۶-۱۲۲. http://geonot.znu.ac.ir/article_25845.html?lang=en
- گنجی، حسن (۱۳۳۳). تقسیمات اقلیمی ایران، مجله دانشکده ادبیات، ۳(۱)، ۲۷-۷۲. <http://ensani.ir/fa/article>
- هدایتیان، مهرداد، گودرزی، مرجان (۱۳۹۵). بهینه‌سازی جهت‌گیری فضاهای آزاد و بناهای ساختمانی اقلیم سرد با تأکید بر تابش آفتاب شهر بروجرد، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۶(۲۴)، ۵۹-۸۲. <http://jgs.khu.ac.ir/article-1-2688-fa.html>
- Al-Anzi, A., Seo, D., Krarti, M. (2009). Impact of building shape on thermal performance of office buildings in Kuwait. Energy Conversion and Management, 50(3), 822-828. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2008.09.033>.
- Ashrae. (1995). Handbook, heating, ventilating, and airconditioning applications. United states: Ashrae Publications.
- Barzegar, Z., Heydari, S. (2012). Investigation of the effects of building envelopes received solar radiation on residential energy consumption: A case of SW and SE orientation in Shiraz. Honar- Ha- Ye- Ziba- Memari Va Sharsazi, 18(1), 45-56. DOI: 10.22059/JFAUP.2013.36356.
- Chia, S.L., Mohd hamdan, A., Dilshn Remaz, O. (2007). The effect of geometric shape and building orientation on minimising solar insolation on high-rise buildings in hot humid climate. Journal of Construction in Developing Countries, 12(1), 27-38. [http://web.usm.my/jcdc/vol12_1_2007/2_Chia%20Sook%20Ling%20\(p.27-38\).pdf](http://web.usm.my/jcdc/vol12_1_2007/2_Chia%20Sook%20Ling%20(p.27-38).pdf).
- Depecker, P., Menezo, C., Virgone, J., Lepers, S. (2001). Design of buildings shape and energetic consumption. Building and Environment, 36(5), 627-635. [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(00\)00044-5](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(00)00044-5).
- Hemsath, T.L., Alagheband Bandhosseini, K. (2015). Sensitivity analysis evaluating basic building geometry's effect on energy use. Renewable Energy, 76, 526-38. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.11.044>.
- IRIMO, (2018). Retrieved from: <https://www.irimo.ir/far/wd/2703>, at May, 2018; 23:30:28PM.
- Jazayeri, A., Aliabadi, M. (2018). The effect of building aspect ratio on the energy performance of dormitory buildings in cold and semi-arid climates of Iran. International Conference on Sustainability, Green Buildings. Environmental Engineering & Renewable Energy (SGER), Malaysia. file:///C:/Users/pc60a/Downloads/The_Effect_of_Building_Aspect_Ratio_on_t.pdf.
- Krem, M.A. (2012). Effect of building morphology on energy and structural performance of high-rise office buildings. PhD thesis, University of Massachusetts Amherst, USA.
- 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. <https://doi.org/10.3390/buildings4030336>.
- Mingfang, T. (2002). Solar control for buildings. Building and Environment, 37(7), 659-664. [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(01\)00063-4](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(01)00063-4).
- Oral, G.K., Yilmaz, Z. (2003). Building form for cold climatic zones related to building envelope from heating energy conservation point of view. Energy and Buildings, 35(4), 383-388. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00111-1](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00111-1).
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2006.04.011>.
- Pacheco, R., Ordonez, J., Martinez, G. (2012). Energy efficient design of building: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16(6), 3559-3573. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.03.045>.
- Rashidi, W.S.S.W.M., Embi, M.R. (2016). Analysing optimum building form in relation to lower cooling load. Procedia- Social and Behavioral Sciences, 222, 782-790. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.05.161>.
- Tajuddeen, I., Ango, A.J. (2017). The effect of aspect ratio of compact forms on thermal comfort in a telecommunications office building in hot-dry region. CARD International journal of Environmental studies and safety research (IJESSR), 2(2), 68-85. <https://casirmediapublishing.com/wp-content/uploads/2019/09/Pages-68-85-1.pdf>.
- Wang, W., Rivard, H., Zmeureanu, R. (2006). Floor shape optimization for green building design. Advanced Engineering Informatics, 20(4), 363-378. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2006.07.001>.

- Watson, D., Labs, K. (1983). Climate design: energy efficient building principles and practices. New York: McGraw-Hill. <https://www.amazon.com/Climatic-Design-Energy-Efficient-Principles-Practices/dp/0070684782>.
- Wei, L., Tian, W., Zuo, J., Yang, Z.Y., Liu, Y.L., Yang, S. (2016). Effects of building form on energy use for buildings in cold climate regions. Procedia Engineering, 146, 182-189. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.370>.
- Zamani, M., Akbari, H., Hadavi, F. (2016). Best orientation determination of buildings in Zanjan city based on solar radiation. Armanshahr Architecture and Urban Development, 8(16), 85-94. http://www.armanshahrjournal.com/article_33265.html.

<p style="text-align: center;">نحوه ارجاع به این مقاله</p> <p>اکبری، حسن، حسینی نژاد، فاطمه سادات. (۱۴۰۰). نسبت ابعادی جهت‌گیری بهینه ساختمان بر اساس دریافت انرژی خورشیدی در اقلیم‌های مختلف ایران. نشریه معماری و شهرسازی آرمان‌شهر، ۱۴(۳۶)، ۱-۱۴.</p> <p>DOI: 10.22034/AAUD.2020.222272.2147 URL: http://www.armanshahrjournal.com/article_142360.html</p>	
<p>COPYRIGHTS</p> <p>Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the Armanshahr Architecture & Urban Development Journal. This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License.</p> <p>http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/</p>	