

ارزیابی عددی شاخص تعادل حرارتی بلوک های فرم بتن عایق (ICF) در جداره خارجی ساختمان

(نمونه موردی: تیپولوژی مسکونی در شهر تهران)

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۰۴/۲۶

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۶/۰۳

شوکا خوشبخت بهرمانی^۱ (نویسنده مسئول)اشکان حسینی^۲

چکیده

مقدمه: ظرفیت انتقال حرارتی مصالح به عنوان یکی از ویژگی های مکانیکی آنها مطرح می باشد که اثرگذاری کلیدی بر قابلیت کنترل اتلاف حرارتی ساختمان ها دارد. از آنجا که مجموعه این مصالح تشکیل دهنده اجزای فضایی ساختمان (دیوار، کف و سقف) هستند، موضوع مطرح شده بر هر یک از این اجزا تاثیر مستقیم خواهد داشت. در میان المان های مذکور، دیوار ها به دلیل سطح وسیع ارتباطی که با فضای خارجی ساختمان دارند، اثر گسترده تری بر میزان اتلاف حرارتی از ساختمان ها دارند.

بیان مسئله: با توجه به تاثیر گذاری دیوار ها بر میزان اتلاف حرارتی ساختمان ها، پژوهش های بسیاری از نوع کمیتی در این حوزه صورت پذیرفته است. با این وجود، در حوزه محاسبات عددی مربوط به میزان اتلاف حرارتی و نرخ تعادل حرارتی این المان ها (دیوار های خارجی) در شرایطی که از مصالح پیش ساخته تشکیل شوند، عدم کفایت وجود دارد که این اصل به عنوان مسئله اصلی پژوهش پیش رو مطرح است.

روش تحقیق: با توجه به موارد مذکور و نوع روش تحقیق که نمونه موردی - تحلیل کمی می باشد، در پژوهش حاضر تمرکز به مطالعه و تحلیل عددی ویژگی های انتقال حرارتی دیوار های ساختمانی یک نمونه تیپولوژی ساختمانی مسکونی در شهر تهران خواهد بود که بر پایه بلوک های عایق فرم بتن (ICF) که توسط شرکت های مختلفی طراحی و ساخته می شوند، به وسیله نرم افزار دیزاین بیلدر مورد شبیه سازی قرار می گیرند.

نتایج: در نتیجه فرآیند پژوهشی که بر اساس مسئله اصلی و مطالعات منابع صورت پذیرفت، ویژگی تعادل حرارتی در دو حالت مجزا در بلوک های فرم بتن عایق استخراج گردید. در تمامی بلوک های ارزیابی شده میزان تعادل حرارتی در بازه (-۰,۲۲) و (-۰,۲۵) کیلووات قرار گرفت. همچنین نرخ تغییرات عرض بلوک ها به تعادل حرارتی، در حالت اول به صورت میانگین برابر ۱۰,۱۵ و در حالت دوم ۲,۶۷ بود.

کلمات کلیدی: فرم بتن عایق، بلوک فرم بتن، بلوک ICF، شبیه سازی انتقال حرارتی، انتقال حرارتی، دیوار خارجی ساختمان

۱. دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، تهران، ایران (پست الکترونیک: sho.khoshbakht@iauctb.ac.ir)

۲. دانشجوی دکتری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، تهران، ایران.

۱. مقدمه

ذخیره انرژی حرارتی در جداره ساختمان ها که بر پایه جرم حرارتی دیوار های ساختمانی مطرح هستند، به عنوان یک روش متداول در ذخیره انرژی حرارتی به صورت کوتاه مدت بیان می شود. تفکر استفاده از دیوارهای ساختمان به عنوان المان هایی در ذخیره انرژی حرارتی، سالهاست که مورد بحث قرار گرفته است. مواد تغییر فاز دهنده (PCM) در دیوارها که به عنوان مواد ذخیره ساز انرژی حرارتی (از طریق تغییر فاز ماده) راهکار است که به طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته است. (Shilei et al., 2007; Kuznik et al., 2008; Peippo et al., 1991). در دیدگاهی دیگر، توجه به ویژگی های حرارتی لایه بندی جداره ها و عملکرد حرارتی آنها به ویژه در موضوع انتقال حرارتی مطرح می باشد. چنان که در تحقیق با عنوان "اندازه گیری درجا خواص حرارتی دیوار: بررسی پارامتری روش های جریان سنج حرارتی از طریق داده های آزمایش های مجازی"، پژوهشگر اثربخشی این جداره ها در انتقال حرارت را با استفاده از داده های حاصل از شبیه سازی های عددی مدلی مشخص تفاضل برای انواع دیوارها، با در نظر گرفتن شرایط مرزی زمستان و تابستان به طور متناوب مورد بررسی قرار داده است (Alongi et al., 2023). همانگونه که در پژوهشی دیگر، عملکرد حرارتی یک پوشش ساختمانی، یعنی دیوار بنایی مورد بررسی قرار گرفته است، و بر اساس چند پیکربندی متعدد جداره خارجی، انتقال بار حرارتی از طریق سطح دیوار داخلی به خارجی مورد مطالعه قرار گرفته است و در نهایت نوع مونتاژ لایه بندی و ضخامت های مورد نظر در لایه ها، به عنوان عوامل عددی تاثیر گذار در تاخیر زمانی انتقال حرارتی نقش دارند (Balaji et al., 2013).

با توجه به ضرورت های مطرح شده، تدقیق در امر جداره های ساختمانی و دیوار ها، نشان می دهد که پژوهش های متنوعی در خصوص ویژگی های حرارتی دیوار های با ساختار مصالح بنایی صورت پذیرفته است و در جهت مقابل، ویژگی های حرارتی مطالعه شده در خصوص دیوار هایی که دارای ساختار صنعتی و پیش ساخته هستند، کمتر از نظر تحلیل عددی مورد مطالعه قرار گرفته اند. از جنبه دیگر، تمرکز بسیار اندک بر مطالعات تحلیلی عددی جداره های ساختمانی مطرح شده، در برخی کشور ها به عنوان یک نقطه ضعف در بدنه تحقیقاتی مطرح می باشد که در صورت عدم توجه کافی می تواند اثر سوء در حفظ انرژی حرارتی و نیز ممانعت از اتلاف آن به وجود آورد که می تواند نتایج منفی زیست محیطی و اقتصادی را به دنبال داشته باشد. در نتیجه این امر، وجود شکاف تحقیقاتی این چنین در خصوص تحلیل عددی انتقال حرارتی دیوار های ساختمانی صنعتی و پیش ساخته در شهر تهران، تعیین کننده مسئله اصلی تحقیق پیش رو می باشد و هدف آنرا اینگونه تبیین می نماید که در مسیر دستیابی به راهکاری منطقی - ریاضیاتی در خصوص آشکار سازی ویژگی های حرارتی دیوار های پیش ساخته و صنعتی موجود، گام بردارد.

در راستای تحقق این هدف، پس از انتخاب نمونه ای معین از تیپولوژی ساختمانی در شهر تهران و نیز انتخاب نمونه های دیوار های پیش ساخته از دسته ی بلوک های عایق فرم بتن که توسط شرکت های مختلف تولید می شوند، شبیه سازی و تحلیل عددی صورت خواهد پذیرفت، تا در نتیجه این امر، دستیابی به ساختار منطقی و قابل استفاده برای معماران و طراحان ساختمانی در زمان انجام فرآیند ساختمانی تحقق یابد. لازم به ذکر است که با توجه به تعداد محدودیت در دیتیل های اجرایی مستند در خصوص این مصالح در سطح داخلی، بهره برداری از مستندات شرکت های تولید کننده بین المللی، مورد ارزیابی قرار گرفته اند.

۲. مرور ادبیات

۱.۲. بلوک عایق فرم بتن^۱

قالب های عایق بتن (ICF) عنوان سیستم های دیوار ساختمان های مسکونی و تجاری و در سال های اخیر به عنوان سیستم های کف و سقف مورد استفاده قرار گرفته اند. ICF از یک هسته بتن مسلح تشکیل شده است که بین ۲ پانل فوم پلی استایرن منبسط شده تشکیل شده است که هم به عنوان فرم دائمی برای هسته بتنی و هم به عنوان عایق دائمی برای ساختمان عمل می کند. معمولاً با تقویت هسته بتنی توسط فولاد مناسب، این قالب ها به عنوان جزء سازه ای ساختمان نیز فرض می شود (R. F. Oleck, 2012). در پژوهشی که در سال ۲۰۱۲ صورت پذیرفته است، از اصلی ترین مزایای این بلوک عایق بدین صورت نام برده شده است: عملکرد سازه ای بهبود یافته، بهره وری انرژی و سرعت ساخت و ساز و مجموعه های قاب بندی یکپارچه (Keith, 2012).

سلیمان و همکاران (۲۰۲۰) مطالعه ای را برای بررسی ویژگی های فشاری و خمشی بلوک های پلی استایرن منبسط شده (EPS) و فوم بتن عایق (ICF) تحت شرایط بارگذاری استاندارد انجام داد. این مطالعه با هدف ارزیابی عملکرد حرارتی پانل های ICF و بر اساس مقدار ضریب مقاومت حرارتی (R-value) انجام شد. نتایج این مطالعه بینش های ارزشمندی را در مورد خواص مکانیکی و حرارتی بلوک مذکور ارائه نمود که برای درک عملکرد سیستم های عایق بلوک ICF ضروری است. در یک بحث در انجمن ساختمان سبز (Green Building Advisor) استفاده از بلوک ICF به عنوان عایق خارجی برجسته شد. این انجمن به روشی برای ساخت و ساز اشاره کرد که در آن دیوارهای طبقات بالایی از ۴ اینچ بتن و ۲٫۵ اینچ فوم EPS در هر طرف بتن تشکیل شده بود و در نتیجه مقدار تقریبی ضریب مقاومت حرارتی در این دیوارها برابر ۲۳ (K·m²/W) گردید. (Arun Solomon & Hemalatha, 2020) این رویکرد اهمیت ترکیب عایق اضافی برای افزایش عملکرد حرارتی سیستم های ICF را نشان می دهد. در پژوهشی دیگر، منتسی (۲۰۱۵) در خصوص استفاده از این بلوک ها در ابزار های شبیه سازی، از ناهماهنگی در مصرف انرژی و پیش بینی عملکرد حرارتی بلوک های ICF نکاتی را ارائه نموده است. (Mantese et al., 2015) بر خلاف این چالش، در پژوهشی دیگر که در سال ۲۰۱۱ صورت پذیرفته است، مشخص شده است که بلوک های ICF به طور قابل توجهی مصرف انرژی را در مقایسه با سازه های سبک وزن کاهش می دهد و ظرفیت سازه ای و کارایی انرژی بالاتری را ارائه می دهد. (Hatami & Morcouc, 2011) در پژوهشی دیگر در سال ۲۰۲۳ با هدف ارائه یک روش ابتکاری ذخیره سازی حرارتی خورشیدی یکپارچه ساختمانی با استفاده از دیوارهای پایه بتنی عایق (ICF) برای ساختمان های مسکونی در آب و هوای سرد مانند کانادا صورت پذیرفته است و پس از تحلیلی که با استفاده از نرم افزار TRNSYS انجام داده است، این نتیجه به دست آمده است که یک سیستم با دیوارهای ICF نسبت به یک سیستم مشابه با یک مخزن ذخیره حرارتی آب ۰٫۱۱ کسری بالاتری در مصرف خورشیدی دارد. (Emamjome, 2023a) در پژوهشی دیگر که در مجله تحقیقات پیشرفته در دانش مهندسی به چاپ رسیده است، از بلوک های پلی استایرن با عنوان ورودی اصلی سیستم ساخت صنعتی یاد شده است که این موضوع با توجه به خواص عایق حرارتی آن تبیین گردیده است. در این تحقیق بررسی خاصیت حرارتی این بلوک ها در سه ضخامت ۲٫۴ و ۶ اینچ مورد بررسی قرار گرفته است. پژوهشی با عنوان "شواهد تجربی و محاسباتی برای ارزیابی جرم حرارتی: نمونه ای از قالب بندی بتن عایق" در سال ۲۰۱۹ با هدف تحقیق تحلیل عملکرد حرارتی یک ساختمان ساخته شده با بلوک عایق فرم بتن، صورت گرفت و نتایج حاکی از آن بود که ساختار بلوک عایق فرم بتن، واکنش آهسته ای به تغییرات در شرایط مرزی نشان می دهد و در نتیجه یک محیط داخلی پایدار را فراهم می کند. (Mantese et al., 2019) در مقاله ای که در کنفرانس بین المللی انرژی خورشیدی در سال ۲۰۰۴ در ایالات متحده به چاپ رسیده است، پژوهشگر به مقایسه میزان انتقال انرژی در دو نوع

¹ Insulation Concrete Form blocks

سازه معمولی قاب چوبی و بلوک عایق فرم بتن پرداخته است و در نتیجه این امر، نشان دهنده کاهش ۷۵ درصدی مصرف انرژی در هر فوت مربع در هر درجه روز برای ساختمان با بلوک عایق فرم بتن در مقایسه با ساختمان چوبی است و همچنین لازم به ذکر است که در بازه زمانی این آزمایش، مصرف انرژی (گاز) برای گرمایش و آب گرم ۸۵ درصد کاهش یافت. (Arthur & Ribando, 2004) در پژوهشی در سال ۲۰۱۵، تحلیل انتقال حرارتی بین بلوک عایق فرم بتن و لوله های آب جانمایی شده در آنها صورت گرفت. در این آزمایش که بر اساس ضخامت متفاوت بلوک های دیوار و محل لوله ها انجام شد، نرخ انتقال حرارت پیش‌بینی شده میان بلوک ها و لوله های آب به صورت جداول ارائه گردید که این امر به عنوان یک چهارچوب عددی برای طراحان سازه های بلوک عایق فرم بتن محسوب می شوند. (Ekrami et al., 2015) در تحقیق دیگری که در سال ۲۰۱۰ در خصوص بلوک عایق فرم بتن صورت گرفته است، مدلسازی و تحلیل سه بعدی این مصالح در یک دیوار مورد بررسی قرار گرفته است و هدف اصلی این تحقیق ارزیابی ویژگی‌های انتقال حرارت دینامیکی از طریق دو مجموعه دیواری با بلوک عایق فرم بتن و در مقیاس متوسط برای یک چرخه یک ساله قرار گرفته است. (Saber et al., 2010) پژوهشی دیگر در سال ۲۰۲۲، با هدف ارزیابی رفتار حرارتی بلوک عایق فرم بتن برای استفاده در مسکن های کم درآمد و با شرایط اقلیمی شهر سائوپائولو برزیل صورت گرفت. با استفاده از مقررات فنی برزیل، کیفیت برای سطح بهره وری انرژی ساختمان های مسکونی یک خانوار در شرایط عادی با زمانی که از سیستم بلوک عایق فرم بتن در دیوارها استفاده گردید، تجزیه و تحلیل انجام شد. در مقایسه میزان جذب انرژی تابشی خورشید در سیستم آجری و نیز بلوک عایق فرم بتن در حالتی که برتری جذب برای بلوک های آجری معمولی برابر ۶,۴٪ برای تابستان و ۱۵,۹٪ برای زمستان است، این عملکرد برای بلوک عایق فرم بتن برابر ۱۱,۵٪ برای تابستان و ۲۰,۸٪ برای زمستان اندازه گیری شده است. (Nunes & Miotto, 2022) در تحقیق دیگری در سال ۲۰۱۹، پژوهش با هدف ارائه یک چارچوب ارزیابی یکپارچه برای مقایسه سه نوع مختلف سیستم دیوار بیرونی از منظر کارایی و اثرات زیست محیطی آنها بر طبیعت بوده است که عبارتند از: قاب چوبی، قالب‌های بتنی عایق شده، و پانل‌های بتنی عایق شده پیش‌ریخته. در نهایت پس از انجام تحلیل هر یک، چارچوبی با هدف تسهیل در تصمیم‌گیری چند معیاره در خصوص مصالح نام برده ایجاد گردید که رتبه‌بندی فناوری‌های جایگزین دیوار خارجی برای یک ساختمان در آن تدوین گردیده است. (Amiri Fard et al., 2019) در پژوهشی که در سال ۲۰۲۳، فضای داخلی بلوک های ICF را به عنوان یک منبع ذخیره انرژی خورشیدی در نظر گرفته اند، دستاوردها به این صورت بوده اند که یک سیستم مبتنی بر ICF با یک کلکتور خورشیدی ۱۶ متر مربعی می تواند به طور کامل ۹ ماه گرمایش فضا و بار آب گرم خانگی را برای یک خانه یک خانواده در آب و هوای سرد مانند لندن و یا انتاریو پوشش دهد (Emamjome Kashan et al., 2023b).

۲.۲. عایق فرم بتن^۲

کارپینو و همکاران (۲۰۲۰) که به بررسی خاصیت انتقال حرارتی بلوک های فورم بتنی عایق (ICF) پرداخته اند، از آنها به دلیل خواص حرارتی و کارایی انرژی مناسب، به عنوان یک روش ساخت و ساز محبوب در اقلیم های قاره ای نام برده اند. میرداد و همکاران در سال ۲۰۲۰، در یک مطالعه متفاوت، استفاده از پانل انبوه چوب MTP متصل به یک دال بتنی با اتصال دهنده های مکانیکی مانند پیچ های خودکار را مورد بررسی قرار داده است که اهمیت ترکیب لایه های عایق صدا میانی MTP و بتن را برای بهبود عملکرد برجسته می کند. (Mirdad & Chui, 2020) علاوه بر این، مطالعات بر روی خواص عایق حرارتی بتن فوم تنظیم شده توسط تکنیک‌های کف‌سازی مکانیکی و شیمیایی برای رسیدگی به مسائل محیطی حرارتی در تونل‌های داغ عمیق پیشنهاد شده‌اند. هدف این تحقیق افزایش خواص عایق حرارتی بتن فوم شده از طریق تأیید مهندسی و برجسته کردن پتانسیل این تکنیک ها در بهبود عملکرد عایق است (Jia et al., 2023). در پژوهش دیگر با عنوان "ارزیابی پتانسیل صرفه جویی انرژی در سیستم های سازه ای ICF در ابزارهای عملکرد ساختمان - شبیه سازی سیستم

² Insulation Concrete Form

سازه ای "Super Panel" پژوهشگر به بررسی ویژگی خاصیت انتقال حرارتی بلوک های عایق فرم بتن پرداخته است و نتایج شبیه سازی ها این طور تبیین می نماید که ساختمان ساخته شده با سیستم ICF، در مقایسه با یک سازه ی سبک وزن، دارای پتانسیل کاهش قابل توجه مصرف انرژی سالانه و اوج بوده است (بهرام بیگی، ۱۳۹۸). طور کلی، ادبیات بررسی شده رویکردها و مواد متنوع مورد استفاده در اشکال بتن عایق را نشان می دهد و بر اهمیت خواص مکانیکی، حرارتی و شیمیایی در افزایش عملکرد این سیستم ها تاکید می کند

۳.۲. تحلیل انتقادی

در یک دیدگاه جامع از بلوک های فرم بتن عایق (ICF) عملکرد چند سویه ای از آن شناخته شده است که اصلی ترین آن قابلیت ها بر پایه خواص سازه ای و عایق حرارتی آن مورد نظر است که بر پایه هسته بتنی آن و نیز لایه پلی استایرن موجود در آن شناسایی می گردد. با توجه به این دیدگاه، قابلیت توسعه ای آن، در هر یک از حوزه های سازه ای (از طریق مسلح سازی) و نیز بهره وری انرژی گرمایی و انتقال حرارتی (از طریق توسعه پلی استایرن) وجود دارد. لازم به ذکر است، در خصوص هر یک از دو حوزه مطرح شده، پژوهش های بسیاری صورت پذیرفته است که در یک تقسیم بندی، می توان آنها را بدین شرح تعیین نمود:

- توجه به ضرایب انتقال حرارتی این بلوک ها که به صورت ویژه، لایه ی پلی استایرن آنها مورد نظر بوده است.
- مطالعه و تحلیل ویژگی های آنها در زمینه معماری سبز که در انجمن ساختمان سبز، به عنوان مصالح با قابلیت توسعه ای (به ویژه در خصوص فیزیک حرارتی) مطرح گردیده است.
- پژوهش هایی که به مطالعه این نوع از بلوک ها از منظر عناصری برای ذخیره انرژی خورشیدی پرداخته اند که این ویژگی با توجه به ظرفیت حرارتی مصالح اصلی آن (هسته بتنی و پلی استایرن) مطرح گردیده است.
- خاصیت عایق بندی این مصالح در خصوص اجزایی همچون لوله ها نیز از عوامل کلیدی است که در خصوص این بلوک ها مطرح شده است.

در مجموعه مطالعات و پژوهش های مطرح شده در زمینه بلوک های فرم بتن عایق (ICF)، گروهی از پژوهشگران بر خاصیت عایق حرارتی این بلوک ها متمرکز شده اند و در نتیجه این امر شبیه سازی هایی مشابه با آنچه در پژوهش حاضر صورت گرفته است را انجام داده اند. در طی فرآیند های پژوهشی مذکور، محققین بر اساس تغییر در ضخامت لایه ی پلی استایرن به صورت محدود (حداکثر در ۳ ضخامت) نتایج شبیه سازی خود را ارائه نموده اند. علیرغم دستاورد هایی که این شبیه سازی ها در زمینه بلوک های مورد نظر ایجاد کرده است، توجه به ضخامت هسته بتنی در کنار لایه پلی استایرن و نیز در نظر گرفتن آنها بر اساس مشخصات فنی شرکت های تولید کننده به نحوی که در اقلیمی معین شبیه سازی ها صورت بگیرد، به عنوان نقاطی مطرح هستند که هنوز دستاورد های شایسته و کافی از آنها در بدنه پژوهشی این حوزه در دسترس نیست. لازم به ذکر است این نوع شبیه سازی ترکیبی (توجه به دو متغیر هسته بتنی و لایه پلی استایرن) در کنار اقلیم مشخص به عنوان نقدی است که بر پژوهش های پیشین وارد بوده است. شکاف پژوهشی این تحقیق نیز بر پایه مسئله مذکور، شکل گرفته است تا با هدف تعیین شده، امکان یافتن پاسخی مناسب به نقد پژوهشی مذکور، مهیا گردد.

۳. روش تحقیق

با توجه به آنچه در بخش ۱ در خصوص سوال پژوهش حاضر مطرح شده است، این پژوهش به دنبال دستیابی به یک چهارچوب قابل اتکا در زمینه انتقال حرارتی (تعادل حرارتی) بلوک های عایق فرم بتن می باشد تا به وسیله آن، تاثیری که

بر انتقال حرارت از جداره های ساختمان خواهد داشت، در زمان طراحی ساختمان شناسایی گردد. برای دستیابی به این هدف، مراحل پژوهش در این قسمت تشریح می گردد.

۱.۳. تعیین نمونه مورد مطالعه

بلوک عایق فرم بتن شرکت Amvic			
فرم بتن عایق کد R22		نوع بلوک	
۱۳۶,۵ کیلو پاسکال	مقاومت فشاری	۲۴ کیلوگرم بر متر مکعب	تراکم
۱,۴۲ وات بر متر مربع کلوین	انتقال حرارتی	۰,۷ متر مربع کلوین بر وات	مقاومت حرارتی
۴۳۲-۲۲۹	بازه عرض بلوک (میلیتر)	۴۰۶-۱۲۱۹	طول + ارتفاع (میلیتر)
بلوک عایق فرم بتن شرکت Super Form			
استاندارد		نوع بلوک	
۲۰۰-۱۰۰	بازه عرض هسته بتنی (میلیتر)	۳۲,۵-۲۲,۵	بازه عرض بلوک (میلیتر)
بلوک عایق فرم بتن شرکت Logix			
مستقیم و ایستا		نوع بلوک	
۶,۸۷	ضخامت بلوک (میلیتر)	۱۰۰+۴۰۰	طول + ارتفاع (میلیتر)
بلوک عایق فرم بتن شرکت Build Block			
استاندارد		نوع بلوک	
۲۰۳,۲-۱۰۱,۶	بازه عرض هسته بتنی (میلیتر)	۳۳۰,۲-۲۲۸,۶	بازه عرض بلوک (میلیتر)
۰,۴۹۵۱	مساحت بلوک (متر مربع)	۱۲۱۹,۲	طول بلوک (میلیتر)
بلوک عایق فرم بتن شرکت Nudura			
استاندارد		نوع بلوک	
۴۰۰-۱۰۰	بازه عرض هسته بتنی (میلیتر)	۴۳۸-۲۳۵	بازه عرض بلوک (میلیتر)
۶۷	عرض پلی استایرن (میلیتر)	۲۴۳۸	طول بلوک (میلیتر)
بلوک عایق فرم بتن شرکت Integra			
پتل استاندارد		نوع بلوک	
۳۰۵-۱۰۲	بازه عرض هسته بتنی (میلیتر)	۴۳۲-۲۲۹	بازه عرض بلوک (میلیتر)
		۱۲۲۰	طول بلوک (میلیتر)

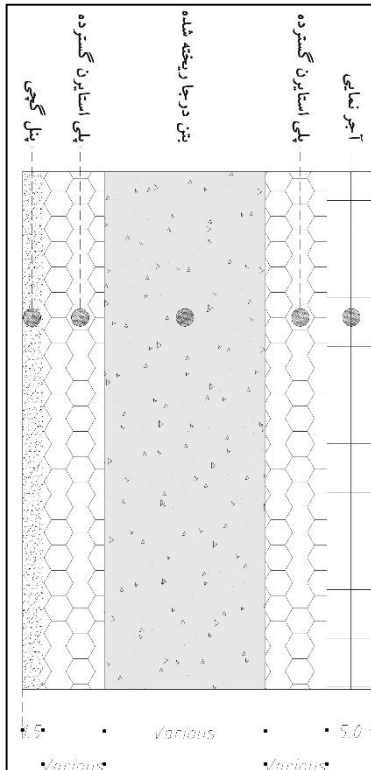
جدول شماره ۱- مشخصات بلوک های عایق فرم بتن شش شرکت منتخب

که توسط تولید کنندگان جهت ساختمان سازی به بازار عرضه می گردد. در این راستا، محصولات بلوک مورد نظر که توسط شش شرکت تولید می شوند، به عنوان پایه های اصلی تحلیل و ارزیابی این پژوهش خواهد بود. جداول شماره ۱ به معرفی جزئیات بلوک های تولید شده توسط این شرکت ها می پردازد.

۲.۳. شبیه سازی نمونه مورد مطالعه

پس از تعیین نمونه های مورد مطالعه در این تحقیق، انجام شبیه سازی نرم افزاری جهت دستیابی به نتایج صورت خواهد پذیرفت. در طی این مرحله دیتیل دیوار خارجی ساختمان مسکونی با مشخصات معین در شهر تهران که بر اساس بلوک شرکت های معرفی شده، شکل گرفته اند به عنوان ورودی به نرم افزار داده می شوند و با توجه به تغییرات لازم در ویژگی

ضخامتی هر یک از لایه های این بلوک ها، تحلیل نرم افزاری صورت می پذیرد. دیاگرام شماره ۱، نمایانگر دیتیل لایه بندی در خصوص دیوار مذکور می باشد.



1.Activity Template	
Template	Domestic Lounge
Sector	Residential space
Zone type	Standard
Include zone in thermal calculation	+
2.Floor Areas and Volumes	
Floor area (m2)	25.63
Zone volume (m3)	71.77
Inner surface mode	Deflation
3.Occupancy	
Occupancy density (people/m2)	0.0188
Schedule	Dwell_DomLounge_Occ
3.1.Metabolic	
Activity	Eating/drinking
Factor (Men=1.00, Women=0.85,)	0.90
Co2 generation rate (m3/s-W)	0.0000000382
3.2. Clothing	
Clothing schedule definition	3349
3.3. Comfort Radiant Temperature Weighting	
Calculation type	Zone average
4.Environmental Control	
4.1. Heating set point temperature	
Heating (°C)	21.00
Heating set back (°C)	12.00
4.2. Cooling set point temperature	
Cooling (°C)	25.00
Cooling set back (°C)	28.00
4.3. Humidity control	
RH Humidification set point (%)	10.00
RH Dehumidification set point (%)	90.00
4.4. Ventilation set point temperature	
Natural ventilation	
Indoor main temperature control	+
Min temperature definition	By value
Min temperature (°C)	24.00
Indoor max temperature control	-
4.5. Minimum fresh air	
Fresh air (l/s-person)	10.00
Mechanical ventilation per area (l/s-m2)	0.00
4.6. Lighting	
Target Illuminance (lux)	150
Default display lighting density (W/m2)	0.00

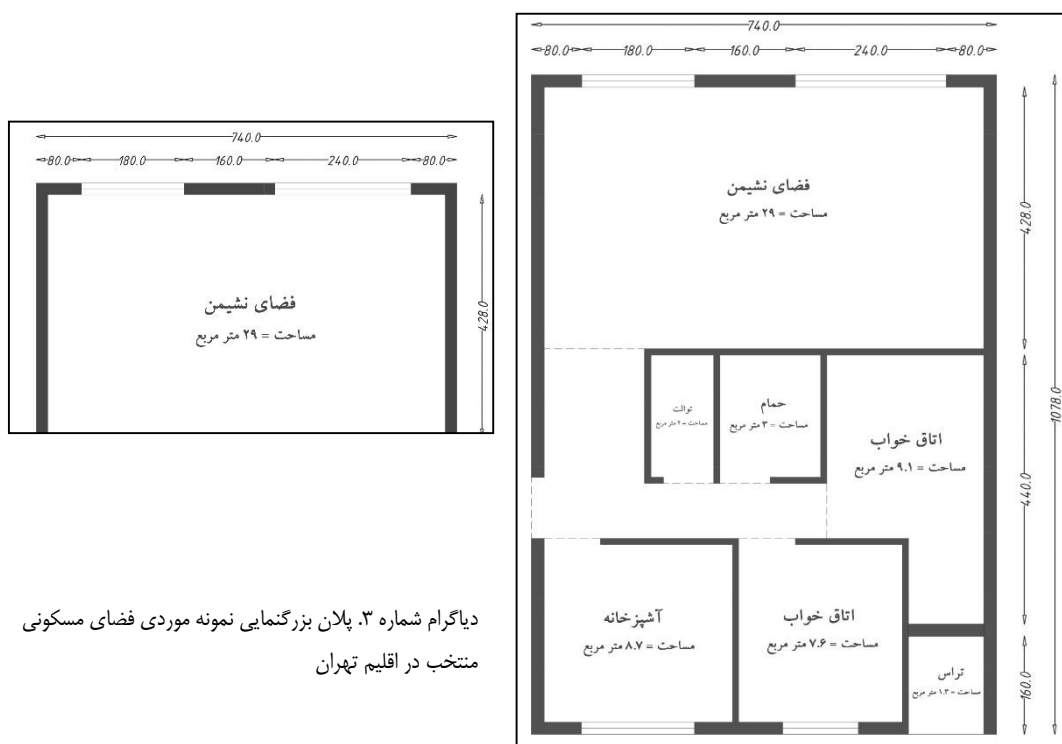
نمودار ۱. دیتیل لایه بندی دیوار خارجی تیپولوژی ساختمان مسکونی در تهران

جدول شماره ۲. جزئیات ورودی نرم افزار دیزاین بیلدر جهت شبیه سازی

لایه بندی دیوار خارجی ساختمان مورد مطالعه	
لایه بیرونی	
مصالح	آجر
ضخامت (متر)	۰.۰۱۵
لایه دوم	
مصالح	پلی استایرن گسترده (EPS)
ضخامت (متر)	متغیر (بر اساس کاتالوگ شرکت ها)
لایه سوم	
مصالح	بتن ریزته درجا
ضخامت (متر)	متغیر (بر اساس کاتالوگ شرکت ها)
لایه چهارم	
مصالح	پلی استایرن گسترده (EPS)
ضخامت (متر)	متغیر (بر اساس کاتالوگ شرکت ها)
لایه داخلی	
مصالح	پنل گچی
ضخامت (متر)	۰.۰۱۵

جدول شماره ۳. لایه بندی دیوار خارجی نمونه ساختمان مسکونی

جدول شماره ۳ نیز لایه های تشکیل دهنده دیوار خارجی مذکور را به تفکیک مصالح و ضخامت های هر یک به نمایش گذاشته است. لازم به ذکر است که فرآیند مدلسازی و شبیه سازی در این پژوهش توسط نرم افزار Design Builder نسخه ۶,۱,۰,۰۶ صورت می پذیرد. با توجه به این موضوع و نیز شرایط مورد نیاز در شبیه سازی نمونه مورد این تحقیق، جدول شماره ۲ به تبیین جزئیات مورد نیاز نرم افزار پرداخته است. اصلی ترین فاکتور های مورد بررسی در تنظیمات مذکور، نوع فعالیت در فضا، سطح و حجم فضای مورد نظر، نوع سکونت افراد، متابولیسم بدنی افراد، میزان پوشش افراد، دمای آسایش (بر اساس اقلیم شهر تهران)، کنترل های محیطی (گرم، سرما، کنترل رطوبت، هوای تازه و نورپردازی) می باشد.



دیاگرام شماره ۲. پلان نمونه موردی فضای مسکونی منتخب در اقلیم تهران

دیاگرام شماره ۳. پلان بزرگنمایی نمونه موردی فضای مسکونی منتخب در اقلیم تهران

دیاگرام شماره ۲ پلان نمونه مورد نظر جهت انجام شبیه سازی را نمایش داده است. این پلان دارای بخش های فضای نشیمن، اتاق خواب ها، آشپزخانه، حمام و سرویس بهداشتی می باشد. با توجه به آنکه پژوهش پیش رو بر اساس اثر گذاری اقلیم شهر تهران بر ساختمان های این شهر (با رویکرد استفاده از بلوک های ICF در ساخت) است، پلان مسکونی بر اساس تیپولوژی طراحی و ساخت واحد های مسکونی شهر تهران، انتخاب گردیده است. بدیهی است تغییر در تیپولوژی واحد مسکونی، بر نتایج کمی این تحقیق موثر خواهد بود.

در پژوهش پیش رو، تنها یک زون از این پلان به عنوان نمونه جهت شبیه سازی در نرم افزار انتخاب شده است. دیاگرام شماره ۳، نمایانگر بخش فضای نشیمن از نمونه مورد نظر می باشد که به عنوان بخش منتخب جهت شبیه سازی در نرم افزار Design Builder مدلسازی آن انجام شده است. ابعاد بخش مورد نظر در طول و عرض برابر ۷,۴۰ متر و ۴,۲۸ متر و در ارتفاع برابر ۲,۸۰ متر در نظر گرفته شده است. از نظر مساحت مفید برابر ۳۱,۶۷ متر مربع می باشد. لازم به ذکر است، تغییر در ابعاد مساحتی و حجمی فضایی، اثر مستقیم بر میزان تبادل حرارتی خواهد داشت. با توجه به موارد مذکور در ۱,۳، و نیز با توجه به ساختار بلوک های فرم بتن عایق (تشکیل شده از هسته بتنی و عایق پلی استایرن)، شبیه سازی نرم

افزایی بر اساس مشخصات بلوک هر یک از شرکت های سازنده و در ضخامت های معینی از هسته بتنی و عایق پلی استایرن صورت می پذیرد. در بخش نخست، ضخامت لایه پلی استایرن در تمامی بلوک ها ثابت فرض می شود و متغیر اصلی، ضخامت هسته بتنی می باشد. بر این اساس شبیه سازی در ضخامت های مختلف هسته بتنی انجام شده و نتایج استخراج و دسته بندی می شوند. در مرحله دوم، ضخامت هسته بتنی به عنوان عامل ثابت در شبیه سازی در نظر گرفته شده و تغییر در ضخامت لایه پلی استایرن، نتایج شبیه سازی را معین می نمایند.

۳.۳. محاسبات ریاضیاتی

پس از مدل سازی نرم افزاری و نیز شبیه سازی بر پایه داده های ورودی (بخش های ۱،۳ و ۲،۳) نتایج استخراج شده از شبیه سازی در جداول ۵ و ۴ (ثبات ضخامت پلی استایرن و هسته بتنی متغیر) و نیز جداول ۶ و ۷ (ثبات ضخامت هسته بتنی و ضخامت پلی استایرن متغیر) تبیین گردیده است. همچنین نتایج تغییرات تعادل حرارتی نیز در دو حالت به ترتیب در مجموعه دیاگرام های شماره ۴-۹ و نیز ۱۱-۱۶ به نمایش گذاشته شده است.

در ادامه با توجه به تغییرات مذکور در تعادل حرارتی هر یک از بلوک های فرم بتن عایق، به دنبال یافتن رابطه ی ریاضیاتی بین ضخامت های متغیر (در حالت اول هسته بتنی و در حالت دوم پلی استایرن) و نیز تعادل حرارتی خواهیم بود. برای این منظور برای بلوک های تولید شده توسط هر یک از شرکت ها، مراحل به شرح ذیل طی شده است:

۱،۳،۳. اطلاعات استخراج شده مربوط به شبیه سازی در هر دو حالت (ضخامت هسته بتنی متغیر و ضخامت پلی استایرن متغیر) بر پایه دو فاکتور اصلی (عرض و نیز تعادل حرارتی) در قالب جدول جداگانه معین شده اند.

۲،۳،۳. فاکتور واسطه میان عرض و نیز تعادل حرارتی، با عنوان ضریب تبدیل عرض (هسته بتنی یا پلی استایرن) به تعادل حرارتی معین شده است. این ضریب که بر واحد کیلووات بر میلیمتر تعیین شده است بر اساس رابطه شماره ۱ و ۲ تعیین می گردد.

رابطه شماره ۱ تعادل حرارتی = (ضریب تبدیل) * (عرض هسته بتنی)

رابطه شماره ۲ تعادل حرارتی = (ضریب تبدیل) * (عرض پلی استایرن)

با توجه به معین بودن ضخامت (عرض هسته بتنی در حالت اول شبیه سازی و عرض پلی استایرن در حالت دوم شبیه سازی) و نیز ضرایب تبدیل که بر اساس رابطه شماره ۱ و ۲ محاسبه شده اند و به عنوان فاکتور سوم در جدول بلوک های هر یک از شرکت ها (جداول شماره ۸ - ۱۹) برای تعیین رابطه میان عرض و تعادل حرارتی برای هر یک نیاز به یک بازه بندی برای عرض (هسته بتنی و پلی استایرن) وجود دارد. از همین رو بازه بندی برای هر یک از عرض ها، تعیین گردید که متغیر (X) به عنوان عرض هسته بتنی و متغیر (Y) به عنوان عرض پلی استایرن به کار گرفته شد. در نتیجه این تعیین متغیر، بازه بندی های مربوط به بلوک های هر شرکت (بازه بندی شماره ۱ - ۱۲) تعیین شدند. با توجه به بازه بندی مذکور، ضریب تبدیل محاسبه شده و نیز روابط شماره ۱ و ۲، این امکان وجود خواهد داشت که با توجه به هر نوع اصلاح بلوک های نامبرده که در دو حالت مذکور (تغییر عرض هسته بتنی یا تغییر عرض پلی استایرن) انجام بگیرد، امکان محاسبه میزان تعادل حرارتی آن در لحظه و با کمک فرمول ریاضیاتی قابل محاسبه باشد.

۴,۳. شناسه روش تحقیق

نوع روش تحقیق این پژوهش، مطالعه نمونه موردی و تحلیل کمی می باشد. در این قسمت به بررسی نوع روش تحقیق استفاده شده در این پژوهش از مناظر هدف، گردآوری داده ها، زمان بندی و روش تجزیه و تحلیل داده ها می پردازیم. دیاگرام شماره ۴ نیز به تبیین دقیق مراحل انجام شده در این تحقیق به صورت گرافیکی پرداخته است.

۱,۴,۳. تعیین هدف: با توجه به مسیر طی شده در این پژوهش، دسته بندی هدف از نظر کاربردی و بنیادی، در بخش تحقیق کاربردی قرار می گیرد چراکه دستاورد نهایی پژوهش با توجه به بحث صورت گرفته و خروجی ریاضیاتی، امکان استفاده از یک چهارچوب مشخص در خصوص بلوک های فرم بتن عایق را برای شخص طراح فراهم می آورد تا با استفاده از آن و نیز با توجه به مشخصات پروژه، بهترین انتخاب را از میان شرکت های سازنده این بلوک ها داشته باشد.

۲,۴,۳. گردآوری داده ها: در خصوص گرد آوری داده ها، با توجه به فرآیندی که ۱,۳ تشریح گردید، پس از انتخاب نمونه هایی از بلوک های عایق فرم بتن (تعداد مشخصی از شرکت های تولید کننده)، مطالعه و جمع آوری داده ها صورت پذیرفت. در نتیجه این امر نحوه گرد آوری داده ها در پژوهش حاضر از نوع مطالعه نمونه موردی، تعیین می گردد.

۳,۴,۳. زمان بندی: از آنجا که پایه اصلی داده های جمع آوری شده در این تحقیق (نمونه های موردی بلوک های عایق فرم بتن) حاصل از جزئیات فنی ارائه شده توسط شرکت های سازنده می باشند و با توجه به آنکه این داده ها با ایجاد توسعه و تغییرات در آینده دستخوش تغییر خواهند شد، زمان نتایج به دست آمده این تحقیق به صورت مقطعی تعریف می گردد. لازم به ذکر است، علیرغم آنکه روش انجام این پژوهش در آینده نیز قابل بهره برداری خواهد بود ولی نتایج کمی آن دچار تغییر خواهد شد.

۴,۴,۳. تجزیه و تحلیل: بررسی نتایج به دست آمده در این تحقیق (موارد مذکور در بخش ۴)، بر پایه ی مطالعه ی عددی و رقمی در بخش ۵ مورد بحث قرار گرفته است. در پی این روش تحلیلی، بازه بندی ریاضیاتی و تعیین متغیر های عددی صورت پذیرفته است. با توجه به این امر، روش تجزیه و تحلیل در این تحقیق از نوع کمی، می باشد.

۴. نتایج

۴.۱. تعادل حرارتی عایق فرم بتن (بلوک ICF) - ضخامت ثابت پلی استایرن

در این بخش نتایج حاصل از آزمایش شبیه سازی نمونه معرفی شده است که ساختار اصلی بلوک دیواری آن از جنس عایق فرم بتن (بلوک ICF) بوده است. در این حالت خروجی تعادلی حرارتی بلوک مذکور، که بر اساس جزئیات ارائه شده توسط شش شرکت سازنده به نرم افزار داده شده بودند، در جدول شماره ۴ ارائه گردیده است.

مطالعه بلوک فرم بتن عایق (ICF) - بر اساس اطلاعات ۶ شرکت سازنده - تحلیل تعادل حرارتی							
شرکت سازنده	شکل بلوک	ابعاد بلوک (میلیمتر)		عرض هسته بتنی (میلیمتر)	عرض کل پلی استایرن (میلیمتر)	عرض هر لایه پلی استایرن (میلیمتر)	تعادل حرارتی (کیلووات)
		طول	عرض				
Amvic	مستقیم	۲۲۹	۴۰۶	۱۰۲	۱۲۷	۶۳.۵	-۰.۲۵
		۲۷۹	۴۰۶	۱۵۲	۱۲۷	۶۳.۵	-۰.۲۴
		۳۳۰	۴۰۶	۲۰۳	۱۲۷	۶۳.۵	-۰.۲۴
		۳۸۱	۴۰۶	۲۵۴	۱۲۷	۶۳.۵	-۰.۲۳
		۴۳۲	۴۰۶	۳۰۵	۱۲۷	۶۳.۵	-۰.۲۳
Superform	مستقیم	۲۲۵	۱۵۰	۱۰۰	۱۲۵	۶۲.۵	-۰.۲۵
		۲۷۵	۱۵۰	۱۵۰	۱۲۵	۶۲.۵	-۰.۲۵
		۳۰۰	۱۵۰	۱۶۲.۵	۱۳۷.۵	۶۸.۷۵	-۰.۲۳
Logix	مستقیم	۲۴۱	۴۰۶	۱۰۲	۱۳۹	۶۹.۵	-۰.۲۳
		۲۹۸	۴۰۶	۱۵۹	۱۳۹	۶۹.۵	-۰.۲۳
		۳۴۳	۴۰۶	۲۰۳	۱۴۰	۷۰	-۰.۲۲
		۳۹۴	۴۰۶	۲۵۴	۱۴۰	۷۰	-۰.۲۲
BuildBlock	مستقیم	۲۲۸.۶	۴۱۰	۱۰۱.۶	۱۲۷	۶۳.۵	-۰.۲۵
		۲۷۹.۴	۴۱۰	۱۵۲.۴	۱۲۷	۶۳.۵	-۰.۲۵
		۳۳۰.۲	۴۱۰	۲۰۳.۲	۱۲۷	۶۳.۵	-۰.۲۴
Nudura	مستقیم	۲۳۵	۴۵۷	۱۰۰	۱۳۵	۶۷.۵	-۰.۲۴
		۲۸۶	۴۵۷	۱۵۰	۱۳۶	۶۸	-۰.۲۳
		۳۳۷	۴۵۷	۲۰۰	۱۳۷	۶۸.۵	-۰.۲۳
		۳۸۷	۴۵۷	۲۵۰	۱۳۷	۶۸.۵	-۰.۲۲
		۴۳۸	۴۵۷	۳۰۰	۱۳۸	۶۹	-۰.۲۲
Integra	مستقیم	۲۲۹	۳۳۳.۹	۱۰۲	۱۲۷	۶۳.۵	-۰.۲۵
		۲۵۴	۳۳۳.۹	۱۲۷	۱۲۷	۶۳.۵	-۰.۲۵
		۲۷۹	۳۳۳.۹	۱۵۲	۱۲۷	۶۳.۵	-۰.۲۵
		۳۳۰	۳۳۳.۹	۲۰۳	۱۲۷	۶۳.۵	-۰.۲۴
		۳۸۱	۳۳۳.۹	۲۵۴	۱۲۷	۶۳.۵	-۰.۲۴
		۴۳۲	۳۳۳.۹	۳۰۵	۱۲۷	۶۳.۵	-۰.۲۳

جدول شماره ۴- تحلیل تعادل حرارتی عایق فرم بتن (بلوک ICF) - ضخامت ثابت پلی استایرن

با توجه به موارد مذکور در ستون تعادل حرارتی که بر اساس کیلووات ذکر گردیده است، افزایش عرض بلوک ICF اثر مستقیم بر افزایش تعادل حرارتی آنها داشته است. همان گونه که از اطلاعات جدول شماره ۱ مشهود است، تغییرات تعادل حرارتی بر اساس افزایش عرض هسته بتنی در بازه ۱۰ سانتیمتر الی ۳۰ سانتیمتر و ثبات عرض لایه پلی استایرن صورت پذیرفته است. بر اساس همین امر، نرخ تغییرات عرض بلوک (بر اساس تغییر عرض هسته بتنی) به تغییرات تعادل حرارتی

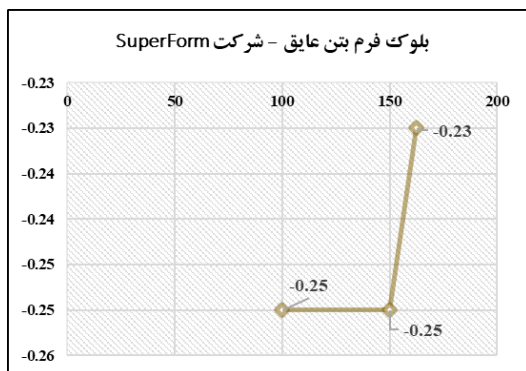
به عنوان یک فاکتور کلیدی محاسبه شده است. این نرخ تغییرات با توجه به ویژگی های فیزیکی تولید کنندگان بلوک ها توسط نرم افزار شبیه سازی محاسبه شده است. چنان که در جدول شماره ۴ مشهود می باشد، تعادل حرارتی برای بلوک های شرکت های Amvic و Nudura و Superform برابر ۰,۰۲ کیلو وات و برای بلوک های شرکت های Logix و Integra و Build Block برابر ۰,۰۱ کیلو وات می باشد. بازه بندی این تعادل حرارتی برای بلوک شرکت های Amvic و Superform بین (۰,۲۳-) و (۰,۲۵-) کیلووات، برای بلوک شرکت Nudura بین (۰,۲۲-) و (۰,۲۴-) می باشد.

محاسبه نرخ تغییرات عرض بلوک به تعادل حرارتی					
شرکت سازنده	شکل بلوک	ابعاد بلوک (میلیمتر) طول * ارتفاع * عرض	عرض بلوک (میلیمتر)	تعادل حرارتی (کیلووات)	نرخ تغییرات عرض بلوک به تعادل حرارتی
۲۷۹*۴۰۶*۱۲۱۹	۲۷۹	-۰,۲۴			
۳۳۰*۴۰۶*۱۲۱۹	۳۳۰	-۰,۲۴			
۳۸۱*۴۱۰*۱۲۱۹	۳۸۱	-۰,۲۳			
Superform	مستقیم	۲۲۵*۱۵۰*۱۰۰	۲۲۵	-۰,۲۵	۳,۷۵
		۲۷۵*۱۵۰*۱۰۰	۲۷۵	-۰,۲۵	
		۳۰۰*۱۵۰*۱۰۰	۳۰۰	-۰,۲۳	
Logix	مستقیم	۲۴۱*۴۰۶*۱۲۱۹	۳۴۱	-۰,۲۳	۵,۳
		۲۹۸*۴۰۶*۱۲۱۹	۲۹۸	-۰,۲۳	
		۳۴۳*۴۰۶*۱۲۱۹	۳۴۳	-۰,۲۲	
		۳۹۴*۴۰۶*۱۲۱۹	۳۹۴	-۰,۲۲	
BuildBlock	مستقیم	۲۲۸,۶*۲۱۰*۱۲۱۹	۲۲۸,۶	-۰,۲۵	۱۰,۱۶
		۲۷۹,۴*۲۱۰*۱۲۱۹	۲۷۹,۴	-۰,۲۵	
		۳۳۰,۲*۲۱۰*۱۲۱۹	۳۳۰,۲	-۰,۲۴	
Nudura	مستقیم	۲۳۵*۴۵۷*۲۴۳۸	۲۳۵	-۰,۲۴	۱۰,۱۵
		۲۸۶*۴۵۷*۲۴۳۸	۲۸۶	-۰,۲۳	
		۳۳۷*۴۵۷*۲۴۳۸	۳۳۷	-۰,۲۳	
		۳۸۷*۴۵۷*۲۴۳۸	۳۸۷	-۰,۲۲	
		۴۳۸*۴۵۷*۲۴۳۸	۴۳۸	-۰,۲۲	
Integra	مستقیم	۲۲۹*۳۲۳,۹*۱۲۱۹	۲۲۹	-۰,۲۵	۱۰,۱۵
		۲۵۴*۳۲۳,۹*۱۲۱۹	۲۵۴	-۰,۲۵	
		۲۷۹*۳۲۳,۹*۱۲۱۹	۲۷۹	-۰,۲۵	
		۳۳۰*۳۲۳,۹*۱۲۱۹	۳۳۰	-۰,۲۴	
		۳۸۱*۳۲۳,۹*۱۲۱۹	۳۸۱	-۰,۲۴	
		۴۳۲*۳۲۳,۹*۱۲۱۹	۴۳۲	-۰,۲۳	

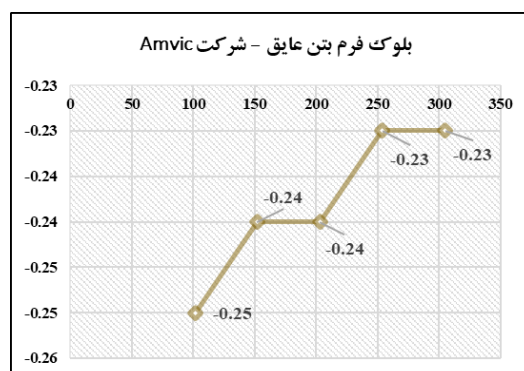
جدول شماره ۵- محاسبه نرخ تغییرات عرض بلوک به تعادل حرارتی (ضخامت ثابت پلی استایرن)

جدول شماره ۵، بیانگر محاسبه نرخ تغییرات مذکور می باشد. در بعد دیگر، محاسبه این نرخ تغییرات برای هر یک از بلوک های نامبرده به صورت گرافیکی نیز مورد بررسی قرار گرفته است. دیاگرام های شماره ۴ - ۹ تغییرات ایجاد شده در تعادل حرارتی را نسبت به تغییر ضخامت بلوک ICF (تغییر ضخامت هسته بتنی و ثبات ضخامت پلی استایرن) به نمایش گذاشته است. ستون عمودی نمایانگر میزان تغییرات تعادل حرارتی (با واحد کیلو وات) و ستون افقی بیانگر تغییرات ضخامت بلوک

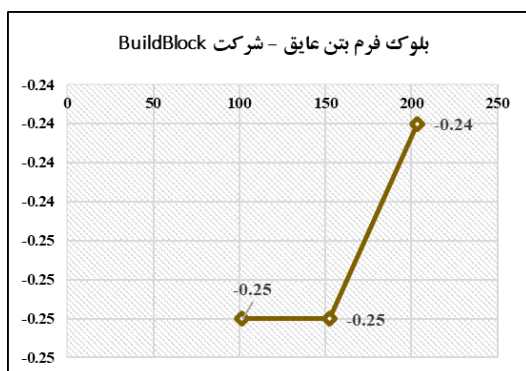
ICF می باشد. در ادامه، بر اساس فاکتور نرخ تغییرات (مذکور در جدول شماره ۲)، سنجش تغییرات ضخامت بلوک ICF به تعادل حرارتی صورت پذیرفته است و نتیجه آن در دیاگرام شماره ۷، مشهود می باشد.



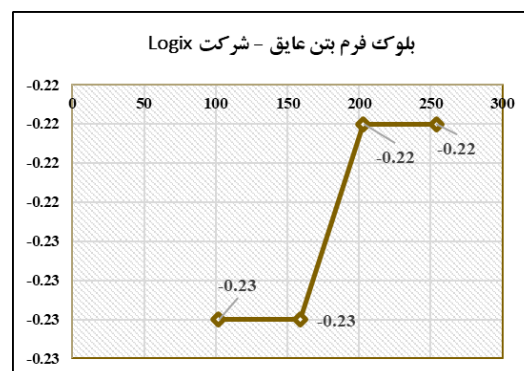
دیاگرام ۶ - تغییرات تعادل حرارتی بلوک شرکت Super form



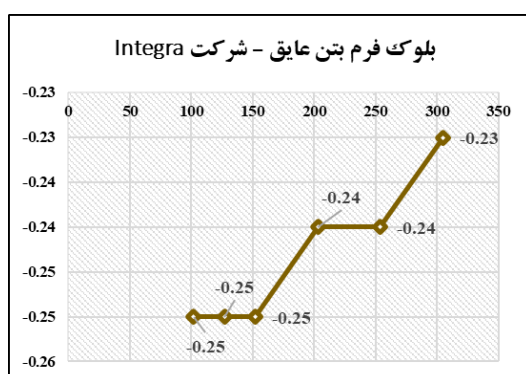
دیاگرام ۵ - تغییرات تعادل حرارتی بلوک شرکت Amvic



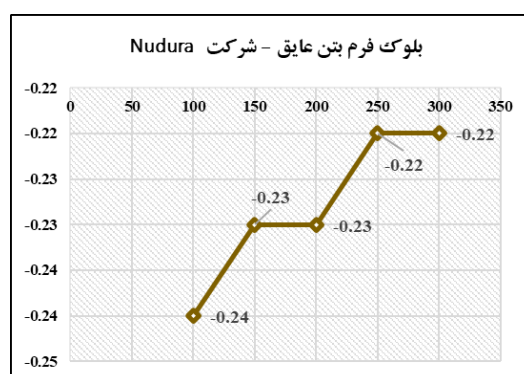
دیاگرام ۸ - تغییرات تعادل حرارتی بلوک شرکت BuildBlock



دیاگرام ۷ - تغییرات تعادل حرارتی بلوک شرکت Logix



دیاگرام ۱۰ - تغییرات تعادل حرارتی بلوک شرکت Integra



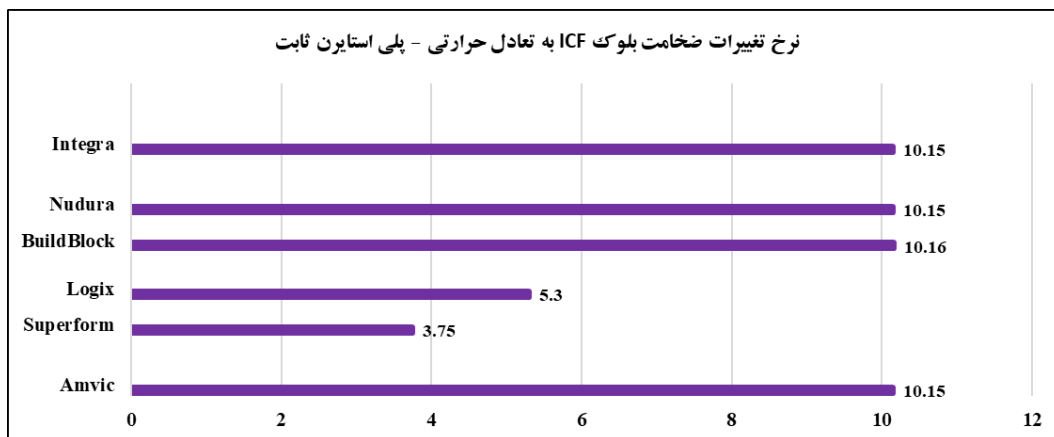
دیاگرام ۹ - تغییرات تعادل حرارتی بلوک شرکت Nudura

چنان که از دیاگرام های شماره ۵-۱۰ مشهود است، تغییرات تعادل حرارتی بلوک های فرم بتن عایق که توسط شرکت های مختلف ساخته شده اند، متفاوت می باشد. همان گونه که ذکر گردید، این بخش از نتایج بر اساس ضخامت ثابت لایه پلی استایرن و تغییر در ضخامت هسته بتنی به دست آمده است. با توجه به نحوه ایجاد تغییرات در میزان تعادل حرارتی، رفتار عملکردی عایق ها در دو صورت قابل دسته بندی می باشد :

- افزایش پلکانی : این نوع افزایش در عایق شرکت های Amvis و Logix و Integra و Nudura مشهود می باشد.
- افزایش خطی : این نوع افزایش در عایق شرکت های Super form و BuildBlock مشهود می باشد.

با توجه به این موضوع، تفاوت اصلی این دو افزایش در میزان کارایی هر یک از بلوک های فرم عایق مطرح می باشد. به عبارت دیگر، افزایش به صورت خطی تعادل حرارتی، نشان دهنده کارایی بالاتر نسبت به حالت افزایش پلکانی است، چراکه رفتار پلکانی به معنای ثبات افزایش تعادل حرارتی در برخی از نقاط است و در طرف مقابل افزایش خطی تعادل حرارتی بیانگر آن است که افزایش ضخامت بلوک فرم عایق در تمام فرآیند در جهت بهبود بوده است.

با توجه به دیاگرام های شماره ۵-۱۰ و نیز جدول شماره ۴ (نمایش فرآیند افزایش تعادل حرارتی)، بلوک شرکت Nudura و Logix به عنوان کاربردی ترین بلوک ها در میان موارد مذکور (از منظر بهبود تعادل حرارتی) محسوب می شوند. این امر بر اساس بهبود مقدار تعادل حرارتی آنها در بالاترین ضخامت هسته بتنی مطرح می باشد که برابر منفی ۰,۲۲ کیلووات می باشد. در ادامه لازم است که از مقادیر بهبود تعادل حرارتی بلوک شرکت های Amvic و SuperForm و Integra نام ببریم که برابر منفی ۰,۲۳ کیلووات می باشد و بر اساس این امر، این گروه بلوک ها در رتبه دوم قرار می گیرند. در دسته سوم، بلوک شرکت BuildBlock می باشد که مقدار بهبود تعادل حرارتی آن برابر منفی ۰,۲۴ کیلووات می باشد.



دیاگرام ۱۱ - مقایسه نرخ تغییرات (تغییر ضخامت بلوک ICF به تعادل حرارتی در حالت پلی استایرن ثابت و هسته بتنی متغیر) بلوک های شش شرکت مذکور

با توجه به آنچه در دیاگرام شماره ۱۱ مشهود است، بالاترین نرخ تغییرات مربوط به بلوک ICF شرکت BuildBlock می باشد که برابر ۱۰,۱۶ می باشد. از سوی دیگر، پایین ترین این مقدار مربوط به بلوک ICF شرکت Superform می باشد که مقدار آن برابر ۳,۷۵ محاسبه گردیده است. پراکندگی اصلی در نرخ تغییرات برابر مقدار ۱۰,۱۵ می باشد که متعلق به بلوک ICF شرکت های Integra و Nudura و Amvic می باشند.

۲.۴. تعادل حرارتی عایق فرم بتن (بلوک ICF) - ضخامت ثابت هسته بتنی

در این بخش نتایج حاصل از آزمایش شبیه سازی نمونه معرفی شده است که ساختار اصلی بلوک دیواری آن از جنس عایق فرم بتن (بلوک ICF) بوده است. در این حالت خروجی تعادلی حرارتی بلوک مذکور، که بر اساس جزئیات ارائه شده توسط شش شرکت سازنده به نرم افزار داده شده بودند، در جدول شماره ۶ ارائه گردیده است. لازم به ذکر است، در این حالت بر خلاف حالت مذکور در بخش ۱،۴، هسته بتنی با ضخامت ثابت در نظر گرفته شده است و تغییر ضخامت در لایه پلی استایرن صورت پذیرفته است.

مطالعه بلوک فرم بتن عایق (ICF) بر اساس اصلاح وضعیت لایه پلی استایرن استاندارد - تحلیل تعادل حرارتی						
تبادل حرارتی (کیلووات)	عرض هر لایه پلی استایرن (میلیمتر)	عرض کل پلی استایرن (میلیمتر)	عرض هسته بتنی (میلیمتر)	ابعاد بلوک (میلیمتر)	شکل بلوک	شرکت سازنده
				طول و ارتفاع و عرض		
-۰.۳۱	۸۰	۱۶۰	۲۰۳	۳۶۳×۴۰۶×۱۲۱۹	مستقیم	Amvic
-۰.۲۹	۱۰۰	۲۰۰	۲۰۳	۴۰۳×۴۰۶×۱۲۱۹		
-۰.۲۷	۱۲۰	۲۴۰	۲۰۳	۴۴۳×۴۰۶×۱۲۱۹		
-۰.۲۶	۱۴۰	۲۸۰	۲۰۳	۴۸۳×۶۱۰×۱۲۱۹		
-۰.۲۵	۱۶۰	۳۲۰	۲۰۳	۵۲۳×۶۱۰×۱۲۱۹		
-۰.۳۰	۸۰	۱۶۰	۱۵۰	۳۱۰×۱۵۰×۱۰۰	مستقیم	Superform
-۰.۲۹	۱۰۰	۲۰۰	۱۵۰	۳۵۰×۱۵۰×۱۰۰		
-۰.۲۷	۱۲۰	۲۴۰	۱۵۰	۳۹۰×۱۵۰×۱۰۰		
-۰.۳۱	۸۰	۱۶۰	۱۷۹	۳۳۹×۴۰۶×۱۲۱۹	مستقیم	Logix
-۰.۲۹	۱۰۰	۲۰۰	۱۷۹	۳۷۹×۴۰۶×۱۲۱۹		
-۰.۲۷	۱۲۰	۲۴۰	۱۷۹	۴۱۹×۴۰۶×۱۲۱۹		
-۰.۲۶	۱۴۰	۲۸۰	۱۷۹	۴۵۹×۴۰۶×۱۲۱۹		
-۰.۳۴	۸۰	۱۶۰	۱۵۰	۲۶۱.۶×۱۱۰×۱۲۱۹	مستقیم	BuildBlock
-۰.۲۹	۱۰۰	۲۰۰	۱۵۰	۳۵۲.۴×۱۱۰×۱۲۱۹		
-۰.۲۷	۱۲۰	۲۴۰	۱۵۰	۴۴۳.۲×۱۱۰×۱۲۱۹		
-۰.۳۱	۸۰	۱۶۰	۲۰۰	۳۶۰×۴۵۷×۲۴۳۸	مستقیم	Nadura
-۰.۲۹	۱۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۴۰۰×۴۵۷×۲۴۳۸		
-۰.۲۷	۱۲۰	۲۴۰	۲۰۰	۴۴۰×۴۵۷×۲۴۳۸		
-۰.۲۶	۱۴۰	۲۸۰	۲۰۰	۴۸۰×۴۵۷×۲۴۳۸		
-۰.۲۵	۱۶۰	۳۲۰	۲۰۰	۵۲۰×۴۵۷×۲۴۳۸		
-۰.۳۱	۸۰	۱۶۰	۱۹۰	۳۵۰×۳۲۳.۹×۱۲۱۹	مستقیم	Integra
-۰.۲۹	۱۰۰	۲۰۰	۱۹۰	۳۹۰×۳۲۳.۹×۱۲۱۹		
-۰.۲۷	۱۲۰	۲۴۰	۱۹۰	۴۳۰×۳۲۳.۹×۱۲۱۹		
-۰.۲۶	۱۴۰	۲۸۰	۱۹۰	۴۷۰×۳۲۳.۹×۱۲۱۹		
-۰.۲۵	۱۶۰	۳۲۰	۱۹۰	۵۱۰×۳۲۳.۹×۱۲۱۹		
-۰.۲۵	۱۸۰	۳۶۰	۱۹۰	۵۵۰×۳۲۳.۹×۱۲۱۹		

جدول شماره ۶- تحلیل تعادل حرارتی عایق فرم بتن (بلوک ICF) - ضخامت ثابت هسته بتنی

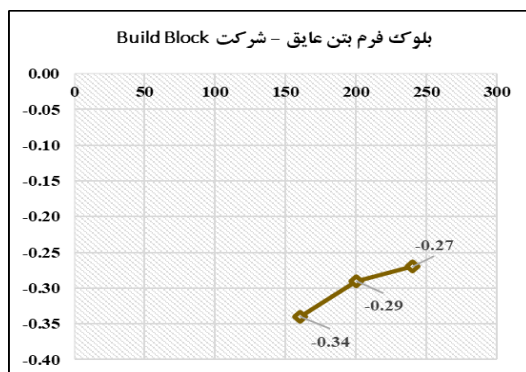
با توجه به موارد مذکور در ستون تعادل حرارتی که بر اساس کیلووات ذکر گردیده است، افزایش عرض بلوک ICF اثر مستقیم بر افزایش تعادل حرارتی آنها داشته است. همان گونه که از اطلاعات جدول شماره ۳ مشهود است، تغییرات تعادل حرارتی بر اساس افزایش عرض لایه پلی استایرن و ثبات عرض هسته بتنی، صورت پذیرفته است. بر اساس همین امر، نرخ تغییرات عرض بلوک (با افزایش ضخامت لایه پلی استایرن) به تغییرات تعادل حرارتی به عنوان یک فاکتور کلیدی محاسبه شده است. این نرخ تغییرات با توجه به ویژگی های فیزیکی تولید کنندگان بلوک ها توسط نرم افزار شبیه سازی محاسبه

شده است. چنان که در جدول شماره ۶ مشهود می باشد، تعادل حرارتی برای بلوک های شرکت های Amvic و Nudura و Integra برابر ۰,۰۶ کیلو وات و برای بلوک های شرکت Build Block و Logix و Superform به ترتیب برابر ۰,۰۷ و ۰,۰۵ و ۰,۰۳ کیلو وات می باشد. بازه بندی این تعادل حرارتی برای بلوک شرکت های Amvic و Nudura و Integra بین (۰,۲۵-) و (۰,۳۱-) کیلووات، برای بلوک شرکت Logix بین (۰,۲۶-) و (۰,۳۱-) کیلووات، برای بلوک شرکت Superform بین (۰,۲۷-) و (۰,۳۰-) کیلووات، برای بلوک شرکت Buildblock بین (۰,۲۷-) و (۰,۳۴-) کیلووات می باشد.

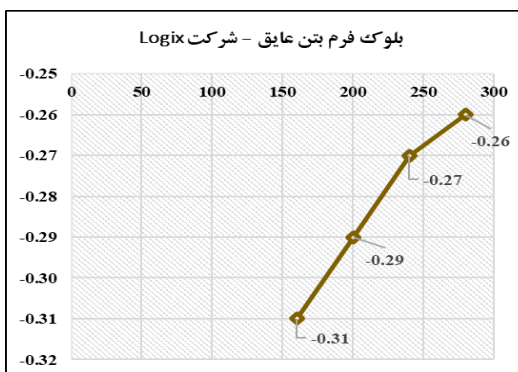
محاسبه نرخ تغییرات عرض بلوک به تعادل حرارتی				
شرکت سازنده	شکل بلوک	ابعاد بلوک (میلیمتر)		نسبت تغییرات عرض بلوک به تغییرات تعادل حرارتی
		طول	عرض	
Amvic	مستقیم	۳۶۳	۳۶۳	۰,۳۱-
		۴۰۳	۴۰۳	۰,۲۹-
		۴۴۳	۴۴۳	۰,۲۷-
		۴۸۳	۴۸۳	۰,۲۶-
		۵۲۳	۵۲۳	۰,۲۵-
Superform	مستقیم	۳۱۰	۳۱۰	۰,۳۰-
		۳۵۰	۳۵۰	۰,۲۹-
		۳۹۰	۳۹۰	۰,۲۷-
Logix	مستقیم	۳۳۹	۳۳۹	۰,۳۱-
		۳۷۹	۳۷۹	۰,۲۹-
		۴۱۹	۴۱۹	۰,۲۷-
		۴۵۹	۴۵۹	۰,۲۶-
BuildBlock	مستقیم	۲۶۱	۳۱۰	۰,۳۴-
		۳۵۲	۳۵۰	۰,۲۹-
		۴۴۳	۳۹۰	۰,۲۷-
Nudura	مستقیم	۳۶۰	۳۶۰	۰,۳۱-
		۴۰۰	۴۰۰	۰,۲۹-
		۴۴۰	۴۴۰	۰,۲۷-
		۴۸۰	۴۸۰	۰,۲۶-
		۵۲۰	۵۲۰	۰,۲۵-
Integra	مستقیم	۳۵۰	۳۵۰	۰,۳۱-
		۳۹۰	۳۹۰	۰,۲۹-
		۴۳۰	۴۳۰	۰,۲۷-
		۴۷۰	۴۷۰	۰,۲۶-
		۵۱۰	۵۱۰	۰,۲۵-
		۵۵۰	۵۵۰	۰,۲۵-

جدول شماره ۷- محاسبه نرخ تغییرات عرض بلوک به تعادل حرارتی (ضخامت ثابت هسته بتنی)

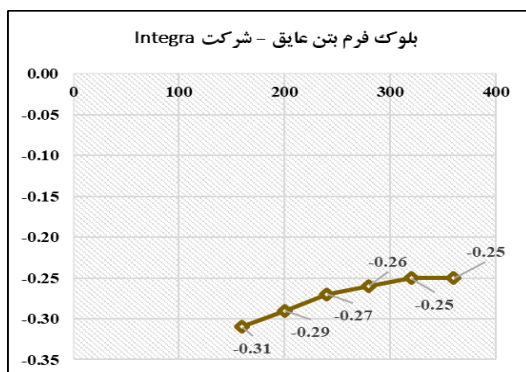
جدول شماره ۷، بیانگر محاسبه نرخ تغییرات عرض بلوک (با افزایش ضخامت لایه پلی استایرن) به تغییرات تعادل حرارتی می باشد. در بعد دیگر، محاسبه این نرخ تغییرات برای هر یک از بلوک های نامبرده به صورت گرافیکی نیز مورد بررسی قرار گرفته است. دیاگرام های شماره ۱۱ - ۱۶ تغییرات ایجاد شده در تعادل حرارتی را نسبت به تغییر ضخامت بلوک ICF (تغییر ضخامت پلی استایرن و ثبات هسته بتنی) به نمایش گذاشته است. ستون عمودی نمایانگر میزان تغییرات تعادل حرارتی (با واحد کیلو وات) و ستون افقی بیانگر تغییرات ضخامت بلوک ICF می باشد. در ادامه، بر اساس فاکتور نرخ تغییرات (مذکور در جدول شماره ۷)، سنجش تغییرات ضخامت بلوک ICF به تعادل حرارتی صورت پذیرفته است و نتیجه آن در دیاگرام شماره ۱۷، مشهود می باشد.



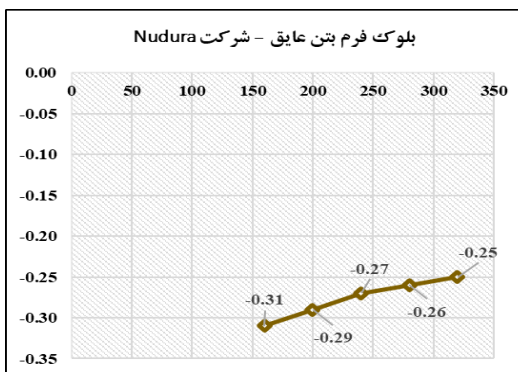
دیاگرام ۱۳ - تغییرات تعادل حرارتی بلوک شرکت Build Block



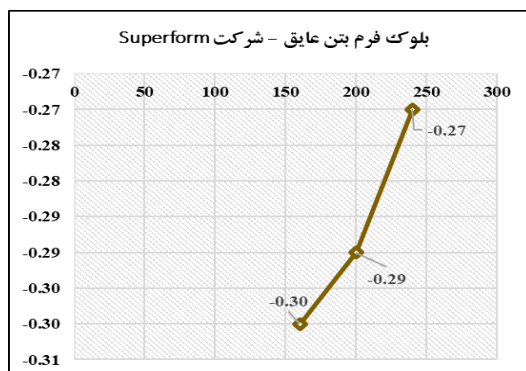
دیاگرام ۱۲ - تغییرات تعادل حرارتی بلوک شرکت Logix



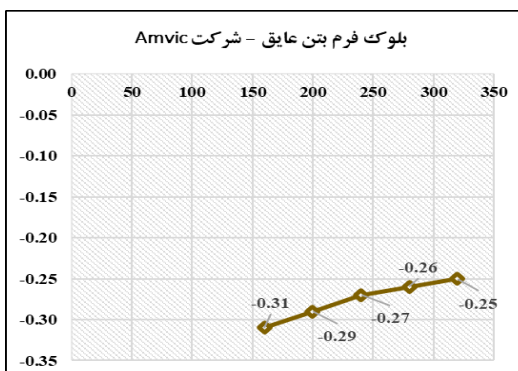
دیاگرام ۱۵ - تغییرات تعادل حرارتی بلوک شرکت Integra



دیاگرام ۱۴ - تغییرات تعادل حرارتی بلوک شرکت Nudura



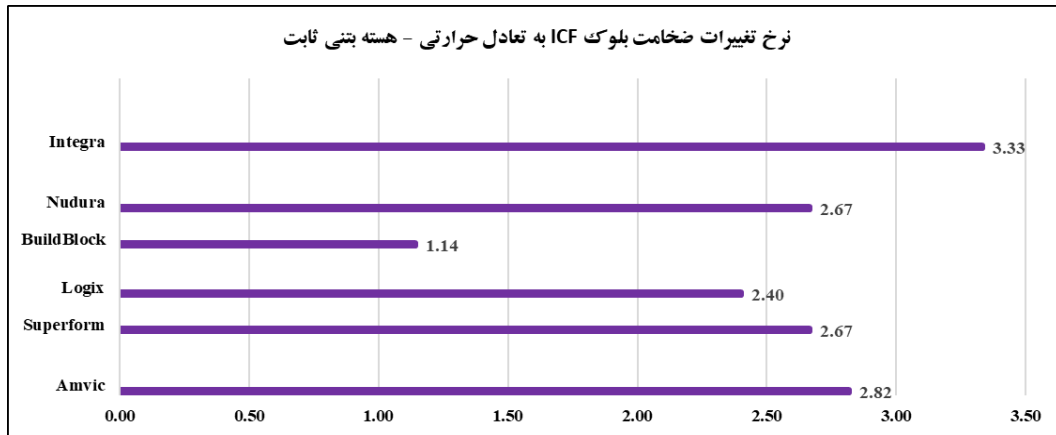
دیاگرام ۱۷ - تغییرات تعادل حرارتی بلوک شرکت Super form



دیاگرام ۱۶ - تغییرات تعادل حرارتی بلوک شرکت Amvic

چنان که از دیاگرام های شماره ۱۲-۱۷ مشهود است، تغییرات تعادل حرارتی بلوک های فرم بتن عایق که توسط شرکت های مختلف ساخته شده اند، متفاوت می باشد. همان گونه که ذکر گردید، این بخش از نتایج بر اساس ضخامت ثابت هسته بتنی و تغییر در ضخامت لایه پلی استایرن به دست آمده است. با توجه به نحوه ایجاد تغییرات در میزان تعادل حرارتی، رفتار عملکردی عایق ها به صورت خطی می باشد. نکته قابل توجه در این حالت، اهمیت کارآیی بالای بلوک شرکت های مختلف در این شبیه سازی می باشد و این امر را در رشد خطی آنها در تمامی فرآیند افزایش ضخامت پلی استایرن، می توان مشاهده نمود.

با توجه به دیاگرام های مذکور و نیز جدول شماره ۱ (نمایش فرآیند افزایش تعادل حرارتی)، بلوک شرکت Nudura و Logix به عنوان کاربردی ترین بلوک ها در میان موارد مذکور (از منظر بهبود تعادل حرارتی) محسوب می شوند. این امر بر اساس بهبود مقدار تعادل حرارتی آنها در بالاترین ضخامت هسته بتنی مطرح می باشد که برابر منفی ۰,۲۲ کیلووات می باشد. در ادامه لازم است که از مقادیر بهبود تعادل حرارتی بلوک شرکت های Amvic و SuperForm و Integra نام ببریم که برابر منفی ۰,۲۳ کیلووات می باشد و بر اساس این امر، این گروه بلوک ها در رتبه دوم قرار می گیرند. در دسته سوم، بلوک شرکت BuildBlock می باشد که مقدار بهبود تعادل حرارتی آن برابر منفی ۰,۲۴ کیلووات می باشد.



دیاگرام ۱۸ - مقایسه نرخ تغییرات (تغییر ضخامت بلوک ICF به تعادل حرارتی در حالت پلی استایرن متغیر و هسته بتنی ثابت) بلوک های شش شرکت مذکور

با توجه به آنچه در دیاگرام شماره ۱۸ مشهود است، بالاترین نرخ تغییرات مربوط به بلوک ICF شرکت Integra می باشد که برابر ۳,۳۳ می باشد. از سوی دیگر، پایین ترین این مقدار مربوط به بلوک ICF شرکت Buildlock می باشد که مقدار آن برابر ۱,۱۴ محاسبه گردیده است. پراکندگی اصلی در نرخ تغییرات بین ۲,۴۰ تا ۲,۸۲ می باشد که متعلق به بلوک ICF شرکت های Logix و Superform و Nudura و Amvic می باشند.

۵. بحث

در این بخش با توجه به ضعف تحقیقاتی (خلا پژوهشی) که در بخش مقدمه تبیین گردید و نیز با توجه به نتایج حاصل شده از ارزیابی عددی انتقال حرارتی دیوار های ساختمانی صنعتی و پیش ساخته در شهر تهران، این بخش با هدف تبیین سیستم فرمول ریاضیاتی تدوین گردیده است که معماران و طراحان حوزه ساختمانی، این امکان را بیابند تا در زمان انجام فرآیند

طراحی ساختمان در فاز نخست، با استفاده از آنها مناسب ترین گزینه را در خصوص طراحی دیوار های ساختمانی (در سیستم صنعتی و پیش ساخته) انتخاب نمایند تا بدین وسیله میزان اتلاف حرارتی حاصل از جداره های ساختمانی را به پایین ترین حالت برسانند. در جهت دستیابی به موارد مذکور، در ابتدا یک مقایسه عددی در خصوص دو حالت شبیه سازی نرم افزاری (ذکر شده در بخش روش تحقیق و نتایج) صورت می پذیرد و پس از آن ایجاد ساختاری فرمولی آنها صورت می گیرد.

۱.۵. مقایسه ی نتایج

پس از مقایسه نتایج به دست آمده در بخش های ۱،۴ و ۲،۴، نکته کلیدی که مشهود است، نوع تغییرات تعادل حرارتی در هر یک از بلوک هاست. همانگونه که در بخش ۱،۴ و دیاگرام های شماره ۱-۶ قابل مشاهده است، تغییرات در تعدادی از بلوک ها (Amvic و Logix و Integra و Nudura) به صورت پلکانی است و در دیگر بلوک ها (Superform و BuildBlock) به صورت خطی صورت گرفته است. در بخش دیگر (۲،۴) تغییرات ایجاد شده در تعادل حرارتی به صورت گرفته است. این امر نشان می دهد

- تغییرات ایجاد شده در حالت ضخامت ثابت پلی استایرن و تغییر ضخامت در هسته بتنی، روند تغییرات دارای تنوع بیشتری نسبت به حالت ضخامت ثابت هسته بتنی و ضخامت متغیر پلی استایرن می باشد.
- روند افزایشی تعادل حرارتی در حالتی که ضخامت هسته بتنی ثابت و ضخامت پلی استایرن متفاوت بوده است، از نظم بیشتری برخوردار بوده است و قابلیت پیش بینی میزان آن در ضخامت های متفاوت بیشتر می باشد.

از سوی دیگر، در صورتی که مقایسه ی نرخ تغییرات تعادل حرارتی در هر یک از دو حالت صورت بگیرد، تفاوت اصلی تأثیری که هسته بتنی و پلی استایرن بر تغییرات تعادل حرارتی می گذارند به این شکل قابل بیان است:

- فراوانی نرخ تغییرات صورت گرفته در حالت ثابت ضخامت پلی استایرن و تغییر ضخامت هسته بتنی، برابر ۱۰،۱۵ کیلووات می باشد.
- فراوانی نرخ تغییرات صورت گرفته در حالت تغییر ضخامت پلی استایرن و ثابت ضخامت هسته بتنی، برابر ۲،۶۷ کیلووات می باشد.

بر اساس این موضوع، تغییرات ضخامت هسته بتنی نسبت به پلی استایرن، امکان ایجاد تغییرات بیشتری بر تعادل حرارتی خواهد داشت.

۲.۵. فرمول نگاری ریاضیاتی نتایج

در مرحله فرمول نگاری، به دنبال آن خواهیم بود که ارتباط ریاضیاتی بین این تغییرات را بر اساس فرمول های ریاضیاتی شناسایی نماییم. جهت انجام این فرآیند، هر یک از بلوک های مورد استفاده در شبیه سازی که مربوط به تولید کننده ها (معرفی شده در بخش روش تحقیق) می باشند، به صورت مجزا مورد ارزیابی قرار می گیرند.

۱,۲,۵. بلوک فرم بتن عایق شرکت Amvic

در این قسمت، در ابتدا یافته های به دست آمده در خصوص بلوک فرم بتن عایق شرکت Amvic در دو حالت مذکور (هسته بتنی متغیر و پلی استایرن متغیر) تفکیک می گردد. جدول شماره ۸ و ۹ نمایانگر این بخش می باشند. روابط شماره ۱ و ۲ و نیز بازه بندی شماره ۱ و ۲ به جهت فرمول نگاری این بخش تبیین شده است.

ردیف	عرض هسته بتنی (حالت پلی استایرن ثابت و هسته بتنی متغیر) (میلیمتر)	تعادل حرارتی (کیلو وات)	ضریب تبدیل (کیلووات بر میلیمتر)
۱	۱۰۲	-۰,۲۵	-۰,۰۰۲۴
۲	۱۵۲	-۰,۲۴	-۰,۰۰۱۵
۳	۲۰۳	-۰,۲۴	-۰,۰۰۱۱
۴	۲۵۴	-۰,۲۳	-۰,۰۰۰۹
۵	۳۰۵	-۰,۲۳	-۰,۰۰۰۷

جدول شماره ۸- یافته های به دست آمده در خصوص بلوک فرم بتن عایق شرکت Amvic در حالت پلی استایرن ثابت و هسته بتنی متغیر

ردیف	عرض پلی استایرن (حالت پلی استایرن متغیر و هسته بتنی ثابت) (میلیمتر)	تعادل حرارتی (کیلو وات)	ضریب تبدیل (کیلووات بر میلیمتر)
۱	۱۶۰	-۰,۳۱	-۰,۰۰۱۹
۲	۲۰۰	-۰,۲۹	-۰,۰۰۱۴
۳	۲۴۰	-۰,۲۷	-۰,۰۰۱۱
۴	۲۸۰	-۰,۲۶	-۰,۰۰۰۹
۵	۳۲۰	-۰,۲۵	-۰,۰۰۰۷

جدول شماره ۹- یافته های به دست آمده در خصوص بلوک فرم بتن عایق شرکت Amvic در حالت پلی استایرن متغیر و هسته بتنی ثابت

$100 \leq x < 150 \rightarrow (x)(-0,0019) = \text{تعادل حرارتی}$ $150 \leq x < 200 \rightarrow (x)(-0,0012) = \text{تعادل حرارتی}$ $200 \leq x < 250 \rightarrow (x)(-0,0010) = \text{تعادل حرارتی}$ $250 \leq x < 300 \rightarrow (x)(-0,0008) = \text{تعادل حرارتی}$	$150 \leq y < 200 \rightarrow (y)(-0,0016) = \text{تعادل حرارتی}$ $200 \leq y < 250 \rightarrow (y)(-0,0012) = \text{تعادل حرارتی}$ $250 \leq y < 300 \rightarrow (y)(-0,0010) = \text{تعادل حرارتی}$ $300 \leq y < 350 \rightarrow (y)(-0,0007) = \text{تعادل حرارتی}$
---	---

بازه بندی شماره ۱- بازه بندی ضریب تبدیل بلوک شرکت Amvic - پلی استایرن ثابت و هسته بتنی متغیر

بازه بندی شماره ۲- بازه بندی ضریب تبدیل بلوک شرکت Amvic - پلی استایرن متغیر و هسته بتنی ثابت

۲,۲,۵. بلوک فرم بتن عایق شرکت Super Form

در این قسمت، در ابتدا یافته های به دست آمده در خصوص بلوک فرم بتن عایق شرکت Super Form در دو حالت مذکور (هسته بتنی متغیر و پلی استایرن متغیر) تفکیک می گردد. جدول شماره ۱۰ و ۱۱ نمایانگر این بخش می باشند. روابط شماره ۱ و ۲ و نیز بازه بندی شماره ۳ و ۴ به جهت فرمول نگاری این بخش تبیین شده است.

ردیف	عرض هسته بتنی (حالت پلی استایرن ثابت و هسته بتنی متغیر) (میلیمتر)	تعادل حرارتی (کیلو وات)	ضریب تبدیل (کیلووات بر میلیمتر)
۱	۱۰۰	-۰,۲۵	-۰,۰۰۲۵
۲	۱۵۰	-۰,۲۵	-۰,۰۰۱۶
۳	۱۶۲,۵	-۰,۲۳	-۰,۰۰۱۴

جدول شماره ۱۰- یافته های به دست آمده در خصوص بلوک فرم بتن عایق شرکت Super Form در حالت پلی استایرن ثابت و هسته بتنی متغیر

ردیف	عرض پلی استایرن (حالت پلی استایرن متغیر و هسته بتنی ثابت) (میلیمتر)	تعادل حرارتی (کیلو وات)	ضریب تبدیل (کیلووات بر میلیمتر)
۱	۱۶۰	-۰,۳۰	-۰,۰۰۱۸
۲	۲۰۰	-۰,۲۹	-۰,۰۰۱۴
۳	۲۴۰	-۰,۲۷	-۰,۰۰۱۱

جدول شماره ۱۱- یافته های به دست آمده در خصوص بلوک فرم بتن عایق شرکت Super Form در حالت پلی استایرن متغیر و هسته بتنی ثابت

$$\left. \begin{array}{l} 100 \leq x < 150 \rightarrow (x)(-0,0020) = \text{تعادل حرارتی} \\ 150 \leq x < 200 \rightarrow (x)(-0,0015) = \text{تعادل حرارتی} \end{array} \right\} \left. \begin{array}{l} 150 \leq y < 200 \rightarrow (y)(-0,0016) = \text{تعادل حرارتی} \\ 200 \leq y < 250 \rightarrow (y)(-0,0012) = \text{تعادل حرارتی} \end{array} \right\}$$

بازه بندی شماره ۳- بازه بندی ضریب تبدیل بلوک شرکت Super Form - پلی استایرن ثابت و هسته بتنی متغیر

بازه بندی شماره ۴- بازه بندی ضریب تبدیل بلوک شرکت Super Form - پلی استایرن متغیر و هسته بتنی ثابت

۳,۲,۵. بلوک فرم بتن عایق شرکت Logix

در این قسمت، در ابتدا یافته های به دست آمده در خصوص بلوک فرم بتن عایق شرکت Logix در دو حالت مذکور (هسته بتنی متغیر و پلی استایرن متغیر) تفکیک می گردد. جدول شماره ۱۲ و ۱۳ نمایانگر این بخش می باشند. روابط شماره ۱ و ۲ و نیز بازه بندی شماره ۵ و ۶ به جهت فرمول نگاری این بخش تبیین شده است.

ردیف	عرض هسته بتنی (حالت پلی استایرن ثابت و هسته بتنی متغیر) (میلیمتر)	تعادل حرارتی (کیلو وات)	ضریب تبدیل (کیلووات بر میلیمتر)
۱	۱۰۲	-۰,۲۳	-۰,۰۰۲۲
۲	۱۵۹	-۰,۲۳	-۰,۰۰۱۴
۳	۲۰۳	-۰,۲۲	-۰,۰۰۱۰
۴	۲۵۴	-۰,۲۲	-۰,۰۰۰۸

جدول شماره ۱۲- یافته های به دست آمده در خصوص بلوک فرم بتن عایق شرکت Logix در حالت پلی استایرن ثابت و هسته بتنی متغیر

ردیف	عرض پلی استایرن (حالت پلی استایرن متغیر و هسته بتنی ثابت) (میلیمتر)	تعادل حرارتی (کیلو وات)	ضریب تبدیل (کیلووات بر میلیمتر)
۱	۱۶۰	-۰,۳۱	-۰,۰۰۱۹
۲	۲۰۰	-۰,۲۹	-۰,۰۰۱۴
۳	۲۴۰	-۰,۲۷	-۰,۰۰۱۱
۴	۲۸۰	-۰,۲۶	-۰,۰۰۰۹

جدول شماره ۱۳- یافته های به دست آمده در خصوص بلوک فرم بتن عایق شرکت Logix در حالت پلی استایرن متغیر و هسته بتنی ثابت

$$\left. \begin{array}{l} 100 \leq x < 150 \rightarrow (x)(-0,0018) = \text{تعادل حرارتی} \\ 150 \leq x < 200 \rightarrow (x)(-0,0012) = \text{تعادل حرارتی} \\ 200 \leq x < 250 \rightarrow (x)(-0,0009) = \text{تعادل حرارتی} \end{array} \right\} \quad \left. \begin{array}{l} 150 \leq y < 200 \rightarrow (y)(-0,0016) = \text{تعادل حرارتی} \\ 200 \leq y < 250 \rightarrow (y)(-0,0012) = \text{تعادل حرارتی} \\ 250 \leq y < 300 \rightarrow (y)(-0,0010) = \text{تعادل حرارتی} \end{array} \right\}$$

بازه بندی شماره ۵- بازه بندی ضریب تبدیل بلوک شرکت
Logix - پلی استایرن ثابت و هسته بتنی متغیر

بازه بندی شماره ۶- بازه بندی ضریب تبدیل بلوک شرکت
Logix - پلی استایرن متغیر و هسته بتنی ثابت

۴,۲,۵. بلوک فرم بتن عایق شرکت Build Block

در این قسمت، در ابتدا یافته های به دست آمده در خصوص بلوک فرم بتن عایق شرکت Build Block در دو حالت مذکور (هسته بتنی متغیر و پلی استایرن متغیر) تفکیک می گردد. جدول شماره ۱۴ و ۱۵ نمایانگر این بخش می باشند. روابط شماره ۱ و ۲ و نیز بازه بندی شماره ۷ و ۸ به جهت فرمول نگاری این بخش تبیین شده است.

ردیف	عرض هسته بتنی (حالت پلی استایرن ثابت و هسته بتنی متغیر) (میلیمتر)	تعادل حرارتی (کیلو وات)	ضریب تبدیل (کیلووات بر میلیمتر)
۱	۱۰۲	-۰,۲۵	-۰,۰۰۲۱
۲	۱۵۲	-۰,۲۵	-۰,۰۰۱۴
۳	۲۰۳	-۰,۲۴	-۰,۰۰۱۰

جدول شماره ۱۴- یافته های به دست آمده در خصوص بلوک فرم بتن عایق شرکت Build Block در حالت پلی استایرن ثابت و هسته بتنی متغیر

ردیف	عرض پلی استایرن (حالت پلی استایرن متغیر و هسته بتنی ثابت) (میلیمتر)	تعادل حرارتی (کیلو وات)	ضریب تبدیل (کیلووات بر میلیمتر)
۱	۱۶۰	-۰,۳۴	-۰,۰۰۲۱
۲	۲۰۰	-۰,۲۹	-۰,۰۰۱۴
۳	۲۴۰	-۰,۲۷	-۰,۰۰۱۰

جدول شماره ۱۵- یافته های به دست آمده در خصوص بلوک فرم بتن عایق شرکت Build Block در حالت پلی استایرن متغیر و هسته بتنی ثابت

$$\left. \begin{array}{l} 100 \leq x < 150 \rightarrow (x)(-0,0020) = \text{تعادل حرارتی} \\ 150 \leq x < 200 \rightarrow (x)(-0,0013) = \text{تعادل حرارتی} \end{array} \right\} \quad \left. \begin{array}{l} 150 \leq y < 200 \rightarrow (y)(-0,0017) = \text{تعادل حرارتی} \\ 200 \leq y < 250 \rightarrow (y)(-0,0012) = \text{تعادل حرارتی} \end{array} \right\}$$

بازه بندی شماره ۷- بازه بندی ضریب تبدیل بلوک شرکت
Build Block - پلی استایرن ثابت و هسته بتنی

بازه بندی شماره ۸- بازه بندی ضریب تبدیل بلوک شرکت
Build Block - پلی استایرن متغیر و هسته بتنی ثابت

۵,۲,۵. بلوک فرم بتن عایق شرکت Nudura

در این قسمت، در ابتدا یافته های به دست آمده در خصوص بلوک فرم بتن عایق شرکت Nudura در دو حالت مذکور (هسته بتنی متغیر و پلی استایرن متغیر) تفکیک می گردد. جدول شماره ۱۶ و ۱۷ نمایانگر این بخش می باشند. روابط شماره ۱ و ۲ و نیز بازه بندی شماره ۹ و ۱۰ به جهت فرمول نگاری این بخش تبیین شده است.

ردیف	عرض پلی استایرن (حالت پلی استایرن متغیر و هسته بتنی ثابت) (میلیمتر)	تعادل حرارتی (کیلو وات)	ضریب تبدیل (کیلووات بر میلیمتر)
۱	۱۶۰	-۰,۳۱	-۰,۰۰۱۹
۲	۲۰۰	-۰,۲۹	-۰,۰۰۱۴
۳	۲۴۰	-۰,۲۷	-۰,۰۰۱۱
۴	۲۸۰	-۰,۲۶	-۰,۰۰۰۹
۵	۳۲۰	-۰,۲۵	-۰,۰۰۰۷

جدول شماره ۱۶- یافته های به دست آمده در خصوص بلوک فرم بتن عایق شرکت Nudura در حالت پلی استایرن ثابت و هسته بتنی متغیر

ردیف	عرض هسته بتنی (حالت پلی استایرن ثابت و هسته بتنی متغیر) (میلیمتر)	تعادل حرارتی (کیلو وات)	ضریب تبدیل (کیلووات بر میلیمتر)
۱	۱۰۰	-۰,۲۴	-۰,۰۰۲۴
۲	۱۵۰	-۰,۲۳	-۰,۰۰۱۵
۳	۲۰۰	-۰,۲۳	-۰,۰۰۱۱
۴	۲۵۰	-۰,۲۲	-۰,۰۰۰۸
۵	۳۰۰	-۰,۲۲	-۰,۰۰۰۷

جدول شماره ۱۷- یافته های به دست آمده در خصوص بلوک فرم بتن عایق شرکت Nudura در حالت پلی استایرن متغیر و هسته بتنی

$$\left. \begin{array}{l} 100 \leq x < 150 \rightarrow (x)(-0,0020) = \text{تعادل حرارتی} \\ 150 \leq x < 200 \rightarrow (x)(-0,0013) = \text{تعادل حرارتی} \\ 200 \leq x < 250 \rightarrow (x)(-0,0009) = \text{تعادل حرارتی} \\ 250 \leq x < 300 \rightarrow (x)(-0,0007) = \text{تعادل حرارتی} \end{array} \right\} \begin{array}{l} 150 \leq y < 200 \rightarrow (y)(-0,0016) = \text{تعادل حرارتی} \\ 200 \leq y < 250 \rightarrow (y)(-0,0012) = \text{تعادل حرارتی} \\ 250 \leq y < 300 \rightarrow (y)(-0,0010) = \text{تعادل حرارتی} \\ 300 \leq y < 350 \rightarrow (y)(-0,0008) = \text{تعادل حرارتی} \end{array}$$

بازه بندی شماره ۹- بازه بندی ضریب تبدیل بلوک شرکت Nudura - پلی استایرن ثابت و هسته بتنی متغیر

بازه بندی شماره ۱۰- بازه بندی ضریب تبدیل بلوک شرکت Nudura - پلی استایرن متغیر و هسته بتنی ثابت

۶,۲,۵. بلوک فرم بتن عایق شرکت Integra

در این قسمت، در ابتدا یافته های به دست آمده در خصوص بلوک فرم بتن عایق شرکت Integra در دو حالت مذکور (هسته بتنی متغیر و پلی استایرن متغیر) تفکیک می گردد. جدول شماره ۱۸ و ۱۹ نمایانگر این بخش می باشند. روابط شماره ۱ و ۲ و نیز بازه بندی شماره ۱۱ و ۱۲ به جهت فرمول نگاری این بخش تبیین شده است.

ردیف	عرض هسته بتنی (حالت پلی استایرن ثابت و هسته بتنی متغیر) (میلیمتر)	تعادل حرارتی (کیلو وات)	ضریب تبدیل (کیلووات بر میلیمتر)
۱	۱۰۲	-۰,۲۵	-۰,۰۰۲۴
۲	۱۲۷	-۰,۲۵	-۰,۰۰۱۹
۳	۱۵۲	-۰,۲۵	-۰,۰۰۱۶
۴	۲۰۳	-۰,۲۴	-۰,۰۰۱۱
۵	۲۵۴	-۰,۲۴	-۰,۰۰۰۹
۶	۳۰۵	-۰,۲۴	-۰,۰۰۰۷

جدول شماره ۱۸- یافته های به دست آمده در خصوص بلوک فرم بتن عایق شرکت Integra در حالت پلی استایرن ثابت و هسته بتنی متغیر

ردیف	عرض پلی استایرن (حالت پلی استایرن متغیر و هسته بتنی ثابت) (میلیمتر)	تعادل حرارتی (کیلو وات)	ضریب تبدیل (کیلووات بر میلیمتر)
۱	۱۶۰	-۰,۳۱	-۰,۰۰۱۹
۲	۲۰۰	-۰,۲۹	-۰,۰۰۱۴
۳	۲۴۰	-۰,۲۷	-۰,۰۰۱۱
۴	۲۸۰	-۰,۲۶	-۰,۰۰۰۹
۵	۳۲۰	-۰,۲۵	-۰,۰۰۰۷
۶	۳۶۰	-۰,۲۵	-۰,۰۰۰۶

جدول شماره ۱۹- یافته های به دست آمده در خصوص بلوک فرم بتن عایق شرکت Integra در حالت پلی استایرن متغیر و هسته بتنی ثابت

تعادل حرارتی = $(y)(-0,0016)$	$150 \leq y < 200$
تعادل حرارتی = $(y)(-0,0012)$	$200 \leq y < 250$
تعادل حرارتی = $(y)(-0,0010)$	$250 \leq y < 300$
تعادل حرارتی = $(y)(-0,0008)$	$300 \leq y < 350$
تعادل حرارتی = $(y)(-0,0006)$	$350 \leq y < 400$

بازه بندی شماره ۱۱- بازه بندی ضریب تبدیل بلوک شرکت Integra - پلی استایرن ثابت و هسته بتنی متغیر

بازه بندی شماره ۱۲- بازه بندی ضریب تبدیل بلوک شرکت Integra - پلی استایرن متغیر و هسته بتنی ثابت

تعادل حرارتی = $(x)(-0,0021)$	$100 \leq x < 130$
تعادل حرارتی = $(x)(-0,0017)$	$130 \leq x < 150$
تعادل حرارتی = $(x)(-0,0013)$	$150 \leq x < 200$
تعادل حرارتی = $(x)(-0,0010)$	$200 \leq x < 250$
تعادل حرارتی = $(x)(-0,0008)$	$250 \leq x < 300$

۳.۵. تطبیق نتایج

در این بخش مقایسه نتایج حاصل از این تحقیق و پژوهش های پیشین مورد بررسی قرار می گیرند تا به این ترتیب، اهمیت دستاورد های این پژوهش معین گردد.

با توجه به تحقیقی که توسط سلیمان و همکاران در سال ۲۰۲۰ انجام شده بود، توجه آنها بر تعیین میزان ضریب مقاومت حرارتی بلوک ICF نسبت به پنل بتنی انجام شده بود که این میزان ۷٫۹ مرتبه بهبود پیدا کرده بود. این در حالی است که با استفاده از نتایج تحقیق پیش رو امکان استفاده از شش حالت (نه تنها یک حالت) از ضرایب بلوک های مختلف ICF فراهم شده است، همچنین با توجه به فرمول های به دست آمده، شخص استفاده کننده نیز امکان انجام محاسبات تعادل حرارتی را دارد که به این روش، آزادی عمل بیشتری فراهم شده است. در دو پژوهش که به ترتیب در سال های ۲۰۱۶ و ۲۰۱۷ صورت پذیرفته اند، از جمله دستاورد های مشترک این گونه ذکر گردیده است که حفره های بزرگتر در بلوک های بتنی منجر به مقادیر بالاتر انتقال حرارتی می شود که دلیل اصلی آن، افزایش همرفت می باشد (Fogiatto et al., 2016) (Henrique dos Santos et al., 2017). جنبه ای متفاوت که در نتایج تحقیق پیش رو، تبیین گردیده است، توجه به میزان انتقال حرارتی از هسته پلی استایرنی بلوک ICF علاوه بر حفره های موجود در بخش میانی (فضای بتن ریزی) بوده است، که در کنار نتایج شبیه سازی، امکان محاسبه آن نیز فراهم گردیده است.

۶. نتیجه گیری

در بسیاری موارد ذخیره انرژی حرارتی در جداره ساختمان ها بر پایه جرم حرارتی دیوار های ساختمانی مورد مطالعه قرار گرفته است. به عنوان یک روش متداول در ذخیره انرژی حرارتی به صورت کوتاه مدت بیان می شود. تفکر استفاده از دیوارهای ساختمان به عنوان المان هایی در ذخیره انرژی حرارتی، سالهاست که مورد بحث قرار گرفته است. این موضوع به عنوان امریست که بر پایه ویژگی های حرارتی لایه بندی جداره ها و عملکرد حرارتی هر یک از این لایه ها در زمینه انتقال حرارتی شکر گرفته است. علیرغم آنکه پژوهش های متنوعی در خصوص ویژگی های حرارتی دیوار های با ساختار مصالح بنایی صورت پذیرفته است، ویژگی های حرارتی مطالعه شده در خصوص دیوار های ساختمانی که به وسیله مصالح پیش ساخته و یا صنعتی سازی شده، کمتر مورد توجه قرار گرفته است. این امر به ویژه در کشور های در حال توسعه با شفافیت بیشتر مشهود می باشد. این امر در وهله نخست به یک نقطه ضعف در بدنه تحقیقاتی مطرح می باشد که در صورت عدم بازبینی موضوع، اثرات منفی زیست محیطی و اقتصادی را بر کشور های مذکور تحمیل خواهد کرد. تحقیق انجام شده به بررسی این شکاف کلیدی در زمینه تحلیل عددی انتقال حرارتی مصالح مذکور در جداره های ساختمانی در شهر تهران پرداخت که به عنوان مسئله اصلی مطرح گردید. هدف آن نیز در راستای دستیابی به راهکاری منطقی - ریاضیاتی در خصوص آشکار سازی ویژگی های حرارتی دیوار های پیش ساخته و صنعتی بود. روشی که تحقیق حاضر در راستای حل مسئله دنبال کرد، بر اساس انتخاب تیپولوژی ساختمانی در اقلیم مورد مطالعه (شهر تهران) و نیز مشخصات فنی بلوک های تولید شده توسط برخی تولید کنندگان در سطح بین المللی بود که در نهایت توسط نرم افزار دیزاین بیلدر مورد شبیه سازی قرار گرفت. پس از ارائه نتایج عددی، موضوع فرمول نگاری ریاضیاتی آنها به هدف دستیابی به یک چهارچوب ریاضیاتی قابل استفاده برای معماران و طراحان ساختمان در شهر تهران، صورت پذیرفت که در بخش بحث، به تفصیل تشریح گردید.

۱.۶.۱.۶. دستاورد های پژوهش

با توجه به موارد مذکور، دستاورد های پژوهش صورت گرفته بشرح ذیل عبارتند از :

- در حالتی از مطالعه ی تحلیل که ضخامت لایه پلی استایرن ثابت و ضخامت هسته بتنی متغیر است، تعادل حرارتی بلوک های فرم بتن عایق (ICF) در یک تیپولوژی مسکونی ساختمانی از شهر تهران استخراج گردیده است که به سیله آن و نیز با استفاده از فرمول استخراج شده از آن، مهندس معمار در حین طراحی فاز اول معماری ساختمان، می تواند ضخامت مناسبی از بلوک های مذکور (بر اساس ضخامت متغیر هسته بتنی) شناسائی نموده و به طرحی دقیق متناسب با دو عامل اشتغال فضای طراحی (بر اساس ضخامت جداره ها) و نیز میزان انتقال حرارتی در ساختمان (از طریق جداره ها) دست یابد.
- در حالتی از مطالعه ی تحلیل که ضخامت لایه پلی استایرن متغیر و ضخامت هسته بتنی ثابت است، تعادل حرارتی بلوک های فرم بتن عایق (ICF) در یک تیپولوژی مسکونی ساختمانی از شهر تهران استخراج گردیده است که به سیله آن و نیز با استفاده از فرمول استخراج شده از آن، مهندس معمار در حین طراحی فاز اول معماری ساختمان، می تواند ضخامت مناسبی از بلوک های مذکور (بر اساس ضخامت متغیر لایه پلی استایرن) شناسائی نموده و به طرحی دقیق متناسب با دو عامل اشتغال فضای طراحی (بر اساس ضخامت جداره ها) و نیز میزان انتقال حرارتی در ساختمان (از طریق جداره ها) دست یابد.
- دستیابی به چهارچوب حاضر در این پژوهش و قابلیت استفاده از آن برای معماران و طراحان ساختمانی این امکان را فراهم می آورد که اعداد و ارقام دقیق را در خصوص میزان تعادل حرارتی هر یک از بلوک های ICF با توجه بر شرکت تولیدکننده و نیز مشخصات فنی، در کوتاه ترین زمان ممکن به دست آورند.

۱.۶.۲. آینده پژوهی موضوع

- با توجه به راهکار و روش پیاده سازی شده در خصوص فرمولاسیون مشخصات فنی بلوک شرکت های تولید کننده، امکان تکرار روش انجام شده برای بلوک های تولید شده توسط دیگر شرکت ها (متناسب با جزئیات فنی ارائه شده توسط هر یک) وجود خواهد داشت. در نتیجه این امر، امکان توسعه چهارچوب به دست آمده در این پژوهش، بر اساس دیگر انواع بلوک ها، وجود خواهد داشت.
- مطابق با پژوهشی با عنوان "بررسی تاثیر قالب های ICF در کاهش مصرف انرژی و زمان ساخت در راستای توسعه پایدار (مطالعه موردی : مناطق زلزله زده کرمانشاه)" که در سال ۱۳۹۷ صورت پذیرفته است، پژوهشگر این طور بیان کرده است که بهره بردای از بلوک های عایق فرم بتن در فرآیند بازسازی مناطق زلزله زده، علاوه بر کاهش مصرف انرژی ساخت، فرآیند ساخت را به نحوی تسهیل نموده است که زمان ساخت تا ۴۸ درصد کاهش یافته است (شیردل، ۱۳۹۷). با توجه به قابلیت مطرح شده، امکان انجام مطالعه کمی در حوزه ی اثر گذاری بلوک های فرم بتن عایق بر موضوع انرژی ساختمان ها در کنار فرآیند ساخت وجود دارد. لازم به ذکر است که پتانسیل مطرح شده علاوه بر شهر تهران، قابلیت پژوهش در دیگر استان ها و شهر های ایران را دارا می باشد.
- با توجه به آنکه دستاورد های پژوهشی این تحقیق (نتایج و فرمول های ریاضیاتی آنها) بر اساس تکیه بر اصول اقلیمی شهر تهران صورت گرفته است، امکان توسعه این روش در دیگر اقلیم ها (دیگر شهر های ایران یا دیگر

کشور ها) وجود خواهد داشت و این امر تاکید بیشتری بر اهمیت موضوع این پژوهش، در زمینه های کاربردی طراحی دارد.

- قابلیت دیگری که در پژوهشی در سال ۱۳۹۷ در مقاله "بررسی سیستم های ICF و ساخت و ساز معاصر با رویکرد اقتصادی و مدیریت مصرف انرژی" در حوزه بلوک های فرم بتن عایق مورد بررسی قرار گرفته است، رویکرد مطالعه ی تطبیقی سیستم های ساختمانی سنتی (دیوار دولایه از آجر سفال و فوم ۵ سانتی متری در میان آنها) و سیستم ساختمان ICF می باشد که در طی آن مقایسه هزینه ای در دو حوزه ساخت و پسا ساخت (هزینه های دوران بهره برداری) صورت پذیرفته است (عظیمی کارتییجی & کردی، ۱۳۹۶). این موضوع بیان گر پتانسیل مطالعه ی تطبیقی دیگر سیستم های ساختمانی مورد استفاده در ایران با سیستم ساختمانی بلوک عایق فرم بتن (ICF) می باشد که در حوزه ی انرژی مصرفی آنها در دوره بهره برداری قابل توسعه خواهد بود.
- با توجه به موضوع بهره برداری از بلوک های ICF در ترکیب با سیستم خورشیدی (کلکتور خورشیدی و مخازن مربوطه) امکان پژوهش در خصوص نحوه عملکرد آنها در ساختمان های مذکور در اقلیم های متفاوت، بر پایه محاسبات عددی وجود دارد.

۷. منابع

- بهرام بیگی، ی. (۱۳۹۸). ارزیابی پتانسیل صرفه جویی انرژی در سیستم های سازه ای ICF در ابزارهای عملکرد ساختمان -شبییه سازی سیستم سازه ای Super Panel چهارمین همایش بین المللی عمران، معماری و شهر سبز پایدار، <https://civilica.com/doc/990653>
- شیردل، م. (۱۳۹۷). بررسی تاثیر قالب های ICF در کاهش مصرف انرژی و زمان ساخت در راستای توسعه پایدار (مطالعه موردی : مناطق زلزله زده کرمانشاه) سومین کنفرانس بین المللی عمران ، معماری و طراحی شهری، <https://civilica.com/doc/806408>
- عظیمی کارتیجی، ع.، & کردی، ا. (۱۳۹۶). بررسی سیستم های ICF و ساخت و ساز معاصر با رویکرد اقتصادی و مدیریت مصرف انرژی کنگره بین المللی علوم و مهندسی، <https://civilica.com/doc/755500>
- Alongi, A., Sala, L., Angelotti, A., & Mazzarella, L. (2023). In Situ Measurement of Wall Thermal Properties: Parametric Investigation of the Heat Flow Meter Methods through Virtual Experiments Data. *Energies*, 16(10).
- Amiri Fard, F., Jafarpour, A., & Nasiri, F. (2019). Comparative assessment of insulated concrete wall technologies and wood-frame walls in residential buildings: a multi-criteria analysis of hygrothermal performance, cost, and environmental footprints. *Advances in Building Energy Research*, ۱۵، ۱-۳۳. <https://doi.org/10.1080/17512549.2019.1600583>
- Arthur, J. H., & Ribando, R. J. (2004). Use of Insulated Concrete Form (ICF) Construction for Energy Conservation in Residential Construction. ASME 2004 International Solar Energy Conference,
- Arun Solomon, A., & Hemalatha, G. (2020). Characteristics of expanded polystyrene (EPS) and its impact on mechanical and thermal performance of insulated concrete form (ICF) system. *Structures*, 23, 204-213. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.istruc.2019.10.019>.
- Balaji, N., Mani, M., & Reddy, B. (2013). *Thermal Performance of the Building Walls*.
- Ekrami, N., Garat, A., & Fung, A. S. (2015). Thermal Analysis of Insulated Concrete Form (ICF) Walls. *Energy Procedia*, 75, 2150-2156. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.07.353>
- Emamjome Kashan, M., Fung, A. S., & Hossein Eisapour, A. (2023a). Insulated concrete form foundation wall as solar thermal energy storage for Cold-Climate building heating system. *Energy Conversion and Management: X*, 19، ۱۰۰۳۹۱، <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2023.100391>
- Emamjome Kashan, M., Fung, A. S., & Hossein Eisapour, A. (2023b). Insulated Concrete Form Foundation Wall as Solar Thermal Energy Storage for Cold-Climate Building Heating System. *Energy Conversion and Management: X*.
- Fogiatto, Santos, G. H. d., & Mendes, N. (2016). Thermal transmittance evaluation of concrete hollow blocks.
- Hatami, A., & Morcou, G. (2011). Job-Built Insulated Concrete Forms (ICF) for Building Construction.
- Henrique dos Santos, G., Fogiatto, M. A., & Mendes, N. (2017). Numerical analysis of thermal transmittance of hollow concrete blocks. *Journal of Building Physics*, 41, 24 - 27.

- Jia, H., Zou, Q., Cui, B., & Zeng, J. (2023). Thermal Insulation Properties and Simulation Analysis of Foam Concrete Regulated by Mechanical and Chemical Foaming. *ACS Omega*, 8. <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c06929>
- Keith, C. E. D.-K. A. M.-J. (2012). *Blast Analysis of Integrated Framing Assemblies at Openings in Insulated Concrete Form Wall Construction Structures* Congress 2012, <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/9780784412367.001>
- Kuznik, F., Virgone, J., & Noel, J. (2008). Optimization of a phase change material wallboard for building use. *Applied Thermal Engineering*, 28(11), 129. ۱۲۹۸-۱ <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2007.10.012>
- Mantesi, E., Hopfe, C., Glass, J., & Cook, M. (2015). *Assessment of ICF Energy Saving Potentials in Whole Building Performance Simulation Tools*. https://doi.org/10.26868/2522270_۸,۲۰۱۵,۲۹۶۱
- Mantesi, E., Hopfe, C. J., Mourkos, K., Glass, J., & Cook, M. (2019). Empirical and computational evidence for thermal mass assessment: The example of insulating concrete formwork. *Energy and Buildings*, 188-189, 314-332. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.02.021>
- Mirdad, M. A. H., & Chui, Y. H. (2020). Stiffness prediction of Mass Timber Panel-Concrete (MTPC) composite connection with inclined screws and a gap. *Engineering Structures*, 207, 110215. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.110215>
- Nunes, G. H., & Miotto, J. L. (2022). THERMO-ENERGETIC PERFORMANCE OF INSULATED CONCRETE FORMS: IMPROVEMENTS IN LOW-INCOME HOUSES IN THE CLIMATE OF SÃO PAULO. *HOLOS*, 8(0). <https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/10236>
- Peippo, K., Kauranen, P., & Lund, P. D. (1991). A multicomponent PCM wall optimized for passive solar heating. *Energy and Buildings*, 17(4), 259-270. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0378-7788\(91\)90009-R](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0378-7788(91)90009-R)
- R. F. Oleck, A. C. H., D. W. Herrit. (2012). *Insulated Concrete Forms (ICF) As Blast-Resistant Barriers Structures Congress 2012*, <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/9780784412367.004>
- Saber, H., Maref, W., Lacasse, M., M.Z, R., & G, G. (2010). *Benchmarking 3D Thermal Model against Field Measurement on the Thermal Response of an Insulating Concrete Form (ICF) Wall in Cold Climate*.
- Shilei, L., Guohui, F., Neng, Z., & Li, D. (2007). Experimental study and evaluation of latent heat storage in phase change materials wallboards. *Energy and Buildings*, 39(10), 1088-1091. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.11.012>

Numerical Evaluation of the Thermal Balance Index of Insulated Concrete Form Blocks (ICF) in the External Building Walls (case study: residential typology in Tehran)

Shooka Khoshbakht Bahramani ¹ (corresponding author)

Ashkan Hassani ²

Abstract:

Introduction: One of the significant methods in the field of reducing thermal energy loss in residential buildings is to pay attention to the heat transfer capacity of building walls, which is determined based on the thermal characteristics of their layering. In much research, the study of these walls and their layering has been done.

Statement of the problem: Despite the fact that a lot of research has been done in the field of building walls and their types of materials with a heat transfer approach, insufficient attention has been paid to the thermal properties of these walls when they are designed and built with prefabricated and industrialized materials. as a lack of research and performance, which is presented as the main problem of this research.

Research methodology: according to the introduction as well as the problem raised, in the present research, the focus is on the study and numerical analysis of the heat transfer characteristics of the building walls of a residential building typology example in the city of Tehran. Based on insulated concrete form (ICF) blocks, which are different companies are designed and built, we are supposed to get a suitable answer for the problem raised through software simulation (Design Builder software) and mathematical formulation.

Results: As a result of the research process based on the main problem and resource studies, the characteristic of thermal balance was extracted in two separate states in insulated concrete form blocks, based on which a numerical comparison was made between these two states. Then, a mathematical formulation was made based on the extracted results, which allows architects and building designers to pay close attention to the thermal transfer of building walls (in the form of prefabricated blocks) during the design of the first phase of the building. and industrialized) have.

Keywords: Insulation concrete form, concrete form block, ICF block, heat transfer simulation, heat transfer, external building wall

¹ Faculty of Architecture and Design, Islamic Azad University, Tehran Central Branch, Tehran, Iran. (email: sho.khoshbakht@iauctb.ac.ir)

² Faculty of Architecture and Design, Islamic Azad University, Tehran Central Branch, Tehran, Iran.