نشریه هنرهای زیبا- معماری و شهرسازی • دوره ۱۷ • شماره ۱ • بهار ۱۳۹۱

بررسی و مقایسه عملکرد حرارتی دیوار خارجی با بلوک های سفالی رایج در ایران*

محمدجواد ثقفی[۱]، مجید حاجی زاده[۲]**

[۱] استاد دانشکده معماری، پردیس هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

[۲] کارشناس ارشد انرژی و معماری، دانشکده معماری، پردیس هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

(تاریخ دریافت مقاله: ۹۰/۹/۹، تاریخ پذیرش نهایی: ۹۱/۲/۲)

چکیده

تاثیر مقاومت حرارتی دیوارهای خارجی ساختمان بر میزان کاهش و بهینه سازی میزان مصرف انرژی مورد نیاز برای گرمایش و سرمایش بناها امروزه بر کسی پوشیده نیست. شناخت و بررسی عملکرد حرارتی سیستم های دیوار خارجی رایج، می تواند در بهبود و افزایش مقاومت حرارتی آنها بسیار موثر باشد. بنابراین سیستم بلوک سفالی حفره دار که در جهان و به خصوص ایران بسیار رایج شده است، مورد بررسی حرارتی قرار گرفته است. ابتدا به پژوهش های انجام شده بر روی تاثیر هندسه بلوک های سفالی بر روی میزان انتقال حرارت، اشاره شده و همچنین میزان تاثیر هر یک از سه حالت انتقال حرارت یعنی هدایت، همرفت و تشعشع بررسی شده است. سپس سه نوع از رایج ترین بلوک های سفالی مورد استفاده در این سیستم دیوار خارجی، در نرم افزار فلوئنت شبیه‌سازی شده اند و مشخصات کمی و کیفی حرارتی آنها استخراج و با هم مقایسه شده اند که نتایج، نشانگر تاثیر چشمگیر هندسه‌ی بلوک ها بر مقاومت حرارتی آنهاست. در انتها نیز با تحلیل نتایج بدست آمده راهکارهایی جهت طراحی بلوک‌های سفالی بهینه ارائه شده است. افزایش مقاومت انتقال حرارت آجر با طولانی‌ترین کردن راه پیموده شده توسط حرارت از سطح گرم به سطح سرد آجر از طریق بدنه بلوک سفالی یکی از موثرترین راهکارهاست.

واژه های کلیدی

سیستم دیوار خارجی، انتقال حرارت، بلوک سفالی، هدایت، همرفت، بهینه سازی مصرف انرژی.

*این مقاله تحت حمایت شرکت بهینه سازی مصرف سوخت نگاشته شده است.

**نویسنده مسئول: تلفن: ۰۹۱۲۷۷۶۴۸۱۶، نمابر: ۰۲۱-۵۵۱۳۸۹۶۳، E-mail: majidhajizadeh@ut.ac.ir.

مقدمه

دیوار خارجی ساختمان‌ها به عنوان مهم‌ترین اجزای ساختمان برای جداساختن محیط کنترل شده داخلی ساختمان‌ها با محیط کنترل نشده بیرون شناخته می شوند. در موضوع کنترل حرارتی داخل ساختمان، یکی ازمهم‌ترین پارامترها برای یک دیوار خارجی مقاومت حرارتی آن است. همواره در طول سال‌های اخیر به ویژه پس از دهه هفتاد میلادی که با بحران انرژی روبرو شدیم، روش‌هایی برای افزایش مقاومت حرارتی دیوارها ارائه شده اند که گاه با اقبال روبرو شده اند و گاه اینطور نبوده است. یکی از این راهکارها بلوک سفالی مجوف است که به دلیل مزایایی که دارد، از جمله سبک بودن و ارزان و سهل‌الاجرا بودن، مورد استفاده فراوان قرار گرفته است. در ایران نیز امروزه بخش عمده ساخت و سازها با همین سیستم انجام می‌شود. بنابراین لازم است که مطالعاتی در زمینه عملکرد حرارتی با هدف بهینه نمودن هر چه بیشتر آنها از نقطه‌نظر انتقال حرارت انجام گیرد. پیش فرض تحقیق این است که با بهینه سازی صرفاً هندسه بلوک‌های سفالی مجوف می‌توان به مقاومت حرارتی بالاتری در آنها دست یافت. به همین منظور در این پژوهش سعی بر این بوده است با مطالعه گونه های مختلف شکلی، تاثیر هندسه بلوک های سفالی در میزان انتقال حرارت بررسی شود.

۱- پیشینه‌ی تحقیق

مطالعات نظری و تجربی به وضوح نشان داده‌اند که هندسه‌ی سوراخ‌ها نقشی کلیدی در تعیین مشخصات فیزیکی، مکانیکی بلوک‌های سفالی دارند. در زمینه انتقال حرارت، تحقیقات متعددی انجام شده که به نتایجی تعیین کننده منجر شده اند و در حال حاضر در کشورهای صنعتی، بلوک‌های سفالی مخصوصی تولید می شوند که جوابگوی کلیه انتظارات از بعد انتقال حرارت و صرفه جویی در مصرف انرژی می باشند.

تحقیقات انجام‌شده:

lorente et al. در سال ۱۹۹۵ انتقال حرارت در بلوک های سفالی حفره دار را مورد بررسی قرار دادند. نتایج برای یک حفره با اندازه ۲۵*۸٫۸*۵٫۵ سانتی متر که در دو سطح ۸٫۸ و ۲۵ آن اختلاف دما(۵ تا ۲۰ درجه) وجود دارد و سایر سطوح آدیاباتیک می باشند، نشان داد که مقدار انتقال حرارت تشعشعی ۵۰ درصد، انتقال حرارت همرفتی ۲۵ درصد و سهم هدایت نیز ۲۵ درصد کل انتقال حرارت می باشد (Lorente et al.,1996,2).

B.lalacarriere – B.lartigue – F.monchoux در سال ۲۰۰۲ انتقال حرارت در بلوک های سفالی حفره دار عمودی را به وسیله نرم افزار Fluent بررسی کردند و در دو حالت، با فرض نبودن همرفت یا وجود همرفت همراه با هدایت، بررسی‌ها انجام شد(در هر دو حالت از اثر تشعشع صرفه نظر شد). در این تحقیق پارامترهای هندسی یک بلوک با حفره توخالی بر میزان ضریب انتقال در اختلاف دماهای متفاوت حرارت به شرح زیر بررسی شده است.

۱- با افزایش ضخامت حفره میزان شار حرارتی نفوذی کاهش می یابد.

۲- با افزایش ارتفاع حفره نیز شار حرارتی کاهش می یابد.

۳- با کاهش اختلاف دما میزان شار حرارتی نفوذی کاهش می یابد.

در حفره‌های کوچک افزایش ضخامت حفره، خیلی مفیدتر از افزایش ارتفاع می باشد ولی در حفره های بزرگ افزایش ارتفاع یا ضخامت حفره تاثیر زیادی بر میزان کاهش شار حرارتی نفوذی ندارد(معرفت و دیگران،۱۳۸۵).

۲- سیستم بلوک سفالی در ایران

در سال‌های اخیر، صنعت ساختمان با افزایش تولید بلوک‌های سفالی سبک روبه‌رو بوده است. آجرها و بلوک‌های با ۳۰ تا ۵۰ درصد سوراخ را آجرها و بلوک‌های توخالی می‌نامند. چنین محصولاتی، بلوک‌های ساختمانیِ مورد مصرف در دیوارهای نازک و بلوک‌های توخالی سقفی را در بر می‌گیرد. این بلوک‌ها به منظور کاهش وزن مرده بنایی، در دیوارهای خارجی و جداکننده‌ها مصرف می‌شوند.

بلوک‌های سفالی منفرد، هنگامی که توسط ملات به یکدیگر متصل می‌شوند، مجموعاً به عنوان بلوک‌کاری یا به عبارت دیگر بنایی بلوکی نامیده می‌شوند. عموماً بلوک‌های دیواری، گچ‌کاری یا اندود می‌شوند. البته در بعضی موارد، بلوک‌ها دارای اندازه و شکل منظم و ظاهری مناسب هستند و برای دیوارسازی بدون اندود مورد استفاده قرار می‌گیرند. ابعاد و شکل هندسی بلوک‌های تولیدی در ایران و دیگر کشورها از تنوع بالایی برخوردار است.

حفره‌ها در اکثر موارد خالی باقی می‌مانند، ولی در بعضی موارد، در زمان تولید، تمامی یا بخشی از حفره‌ها با یک عایق حرارتی یا یک ماده با ضریب هدایت حرارت اندک پر می‌شود. در ساخت و سازهای متداول، بندهای افقی بین بلوک‌ها می‌تواند با ملات معمولی (با ضخامت حدود ۱۰ میلی‌متر) یا ملات‌های با چگالی و یا ضخامت کمتر در نظر گرفته می‌شود.

بدیهی است نوع ملات مورد استفاده باید با بلوک همخوانی داشته باشد، تا دیوار به صورتی یکپارچه و همگن عمل کند. درصورتی که مشخصات بلوک و شرایط اجرا مطلوب باشد، ضخامت بند تا حدود ٦ میلی‌متر نیز می‌تواند کاهش یابد. در جهت افقی، فاصله بین بلوک‌ها می‌تواند به صورت سرتاسری یا موضعی با ملات پر شود، یا خالی بماند(کاری و ویسه،۱۳۸۷).

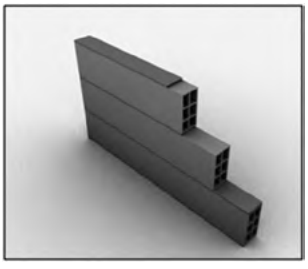
۳- شبیه سازی در نرم افزار فلوئنت[FLUENT]

نرم افزار فلوئنت، نرم افزار علمی معتبری است که غالباً در پژوهش‌های دقیق رشته های مهندسی مثل مکانیک سال‌هاست مورد استفاده قرار می‌گیرد و در بین متخصصین از مقبولیت برخوردار است. دو نمونه پژوهشی که در بخش پیشینه تحقیق به آنها اشاره شد نیز از این نرم افزار برای انجام محاسبات بهره گرفته‌اند. ویژگی منحصر به فرد آن نسبت به نرم‌افزارهای مشابه مثل Ansis امکان مطالعه و بررسی سیالات در این نرم‌افزار با دقت بالاست که در پژوهش به دلیل اینکه حفره‌های هوای محبوس درون بلوک های سفالی مورد بررسی قرار گیرد و نقش آنها در انتقال حرارت سنجیده شود، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

در این پژوهش، ۳ نوع از رایج ترین بلوک های سفالی در ایران در قالب سیستم دیوار (همراه با ملات و اندودها) در نرم‌افزار فلوئنت ۱۳(۲۰۱۱) به صورت ۳ بعدی شبیه سازی شده‌اند. مدل مورد نظر در هر سه مورد از ٤ عدد بلوک تشکیل شده است که باملات ماسه سیمان به ضخامت ۱ سانتی متر به هم متصل شده‌اند. اندود درونی از ۱,۵ سانتی متر گچ خاک و نیم سانتی‌متر گچ نهایی و اندود بیرونی از دو سانتی متر ملات سیمانی تشکیل شده است. در هر ۳ مدل دمای هوای داخل، ۲۵ درجه سانتی گراد و دمای هوای بیرون، ۵ درجه سانتی گراد در نظر گرفته شده‌است.

مشخصات حرارتی محاسبات (ضریب هدایت حرارتی و ضریب تابش) همه مصالح از مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان ایران برگرفته شده است. عوامل مداخله گر مانند اندودهای درونی و بیرونی و ضخامت لایه بدنه بلوک‌ها، همگی در هر سه مدل ثابت و یکسان در نظر گرفته شده اند تا به صورت ویژه هندسه خود بلوک ها در مقایسه با هم مورد سنجش قرار گیرد. هر مدل ۳ بار محاسبه شده است. بار نخست اثر تابش و همرفت نادیده گرفته شده‌اند و بار دوم فقط اثر تابش نادیده گرفته شده است و بار سوم هر سه اثر بررسی شده اند. بدین طریق سهم هر یک از این سه راه در انتقال حرارت بدست آمده است.

۳-۱- بررسی رفتار حرارتی دیوار با بلوک سفالی ۱۰ سانتی متری افقی با ۶ حفره



تصویر۱- دیوار با بلوک سفالی ۱۰ سانتی متری با ۶ حفره.

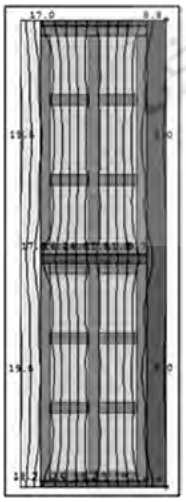
هدایت: در بررسی رفتار حرارتی این دیوار مشخص شد که جداره‌های افقی بلوک و همچنین ملات افقی بین دو بلوک، مستقیماً سطح گرم بلوک را به سطح سرد آن متصل می کنند و چون نسبتاً طول کوتاهی نیز دارند، همانطور که در تصویر٤و جدول ۱ دیده می شود، شار حرارتی آنها نسبت به بخش های دیگر دیوار حدود ۳ برابر است و به عنوان پل حرارتی عمل می کنند. براساس محاسبات ٤۵ درصد انتقال حرارت در این مدل از سطح گرم دیوار به سطح سرد آن از طریق هدایت صورت گرفته است.

جدول ۱- مشخصات عددی بدست آمده از دیوار با بلوک سفالی ۱۰ سانتی متری با ۶ حفره.

مقاومت حرارتی	۰.۴	[m².k/w]
دمای سطح داخلی	۱۹.۵۸	[C]
دمای سطح خارجی	۷.۹۱	[C]
حداکثر شار حرارتی	۱۰۰	[W/m²]
حداقل شار حرارتی	۳۳	[W/m²]
ضخامت	۱۴	[cm]
حداکثر سرعت هوا	۳۸	[mm/s]

همرفت: همانطور که در شکل ۳ دیده می‌شود، اختلاف حرارت در راستای انتقال حرارت بین سطوح داخلی حفره‌ها حدود ۵ درجه است و میزان همرفت هوای داخل حفره نیز تابعی از اختلاف حرات بین این سطوح می باشد. همانطور که در تصویر۵ دیده می‌شود، هوای محبوس داخل حفره با حداکثر سرعت ۳۸ میلی‌متر بر ثانیه درون حفره گردش می‌کند که این سرعت بیشینه در جوار دو سطح با حداکثر اختلاف روی می دهد. سهم همرفت در انتقال حرارت در این دیوار ۲۵ درصد است.

تابش: میزان انتقال حرارت از طریق تابش، تابعی از اختلاف حرارت سطوح داخلی حفره و زاویه قرارگیری این سطوح نسبت به هم هستند، که در این بلوک سطوح کاملاً روبروی هم هستند. تابش ۳۰ درصد از حرارت را از سطح گرم به سطح سرد منقل می کند.



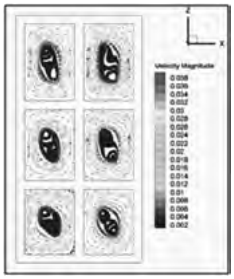
تصویر۳- پروفیل خطوط هم دمایی.

تصویر۲- پروفیل رنگی هم دمایی.

تصویر۴- پروفیل شار حرارتی.

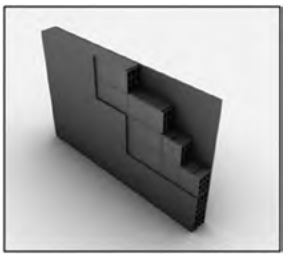
همانطور که جدول۱ نشان می‌دهد، دمای سطح داخلی ۱۹,۵ درجه است، یعنی با دمای هوای داخل(دمای آسایش) که ۲۵ در نظر گرفته شده است ۵,۵ درجه اختلاف دارد و در زمستان بار گرمایی زیادی را بر ساختمان تحمیل می کند. دمای سطح بیرونی

دیوار ۷,۹۱ است که ۲,۹۱ از دمای هوای بیرون که در شبیه‌سازی ۵ درجه در نظر گرفته شده است، بیشتر است و این به معنای اتلاف زیاد حرارت داخل ساختمان است.

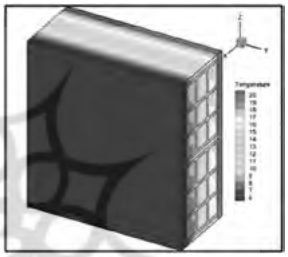


تصویر۵- سرعت حرکت هوا در حفره ها بر اساس متر بر ثانیه.

ب-بررسی رفتار حرارتی دیوار با بلوک سفالی ۱۵ سانتی متری با ۹ حفره

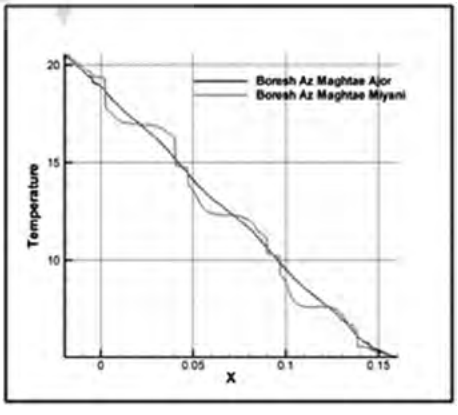


تصویر۶- دیوار با بلوک سفال ۱۵ سانتی متری با ۹ حفره.



تصویر ۷- هم دمایی در مدل ۳ بعدی.

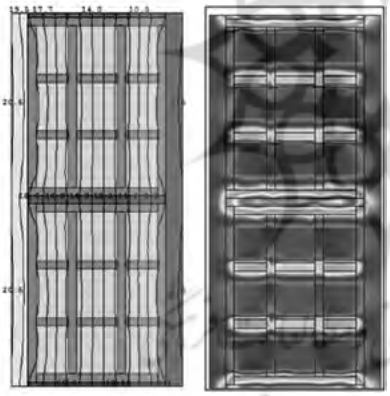
هدایت: در این بلوک نسبت به بلوک قبلی طول جداره هایی که مستقیماً از سطح سرد به سطح گرم کشیده شده اند، بیشتر است و همچنین طول ملات افقی بین دو بلوک. ولی با این حال با توجه به جدول ۲ می‌بینیم که حداکثر شار حرارتی برابر با بلوک قبلی است و حداقل شار حرارتی نسبت به بلوک قبلی حدود ۲,۵ برابر شده است. علت در دو بخش همرفت و تابش بررسی می شود. ۵۵ درصد انتقال حرارت در این دیوار از طریق هدایت است.



نمودار۱ - نمودار تغییرات دما در ضخامت دیوار.

تابش و همرفت: از آنجا که در بلوک ۹ حفره‌ای ۲ جدار میانی در راستای عمود بر جهت انتقال حرارت داریم ولی محیط حفره‌ها تقریباً ثابت است، باعث شده که اختلاف دمای سطوح داخلی حفره‌ها که در راستای عمود بر جهت انتقال حرارت قرار گرفته‌اند کاهش یابد(تصویر۹). میزان همرفت و تابش تابعی از اختلاف حرارت سطوح هستند، در نتیجه سهم همرفت وتابش در انتقال حرارت در بلوک ۹ حفره‌ای نسبت به بلوک ۶ حفره‌ای کاهش یافته است. مطابق تصویر ۱۰، سرعت چرخش هوا در داخل حفره‌ها ۲۲ میلیمتر بر ثانیه است که نسبت به بلوک ۶ حفره ای ۱۶ میلیمتر بر ثانیه کاهش یافته است. در نتیجه سهم هدایت نسبت به بلوک قبلی پررنگ تر است و همانطور که اشاره شد با وجود افزایش طول جداره ها، حداکثر شار حرارتی نسبت به بلوک قبلی ثابت مانده و حداقل شار حرارتی افزایش یافته است. سهم همرفت در انتقال حرارت ۲۰ درصد و سهم تابش ۲۵ درصد است.

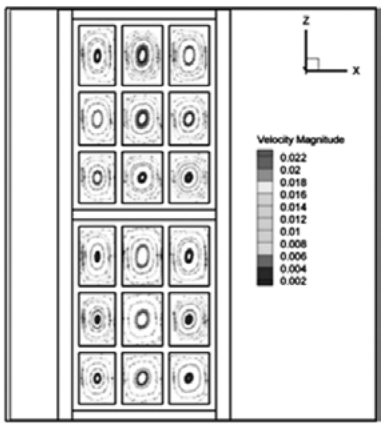
با دقت در نمودار ۱ تغییرات دما در ضخامت دیوار نقش حرکت چرخشی هوای محبوس در حفره ها را در انتقال حرارت مشاهده می کنیم. نمودار خطی تغییرات دما در مقطع یکی از جداره های بلوک را نشان می دهد. در این مقطع حرارت تنها از جرم بلوک عبور می کند. نمودار سینوسی دوم تغییرات دما از مقطع میانی بلوک را نشان می هد که از جداره‌های عمودی و حفره‌های هوا عبور کرده است و حرکت چرخشی هوای حامل گرما را به تصویر کشیده است.



تصویر۸- پروفیل شار حرارتی.

تصویر۹-پروفیل خطوط هم دمایی

تصویر۱۰- پروفیل هم دمایی رنگی.



تصویر ۱۱- سرعت حرکت هوا درداخل حفره ها بر اساس متر بر ثانیه.

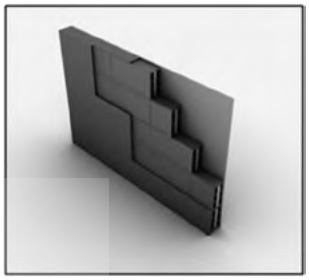
جدول۲- مشخصات عددی بدست آمده از دیوار با بلوک سفالی ۱۵ سانتی متری با ۹ حفره.

مقاومت حرارتی	۰.۴۹	[m².k/w]
دمای سطح داخلی	۲۰.۵۸	[C]
دمای سطح خارجی	۷.۳۷	[C]
حداکثر شار حرارتی	۹۰	[W/m²]
حداقل شار حرارتی	۸۲	[W/m²]
ضخامت	۱۹	[cm]
حداکثر سرعت هوا	۲۲	[mm/s]

جدول۳- مشخصات عددی بدست آمده از دیوار با بلوک سفالی ۱۲ سانتی متری با عایق حرارتی ۲ سانتی متری میانی.

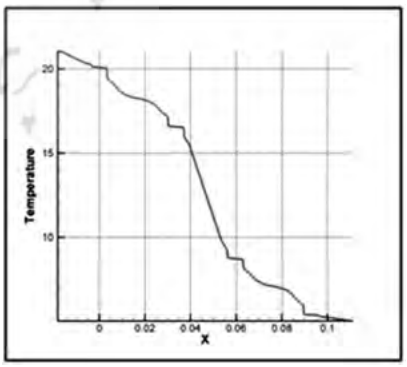
مقاومت حرارتی	۰.۶۰	[m².k/w]
دمای سطح داخلی	۲۱.۶۸	[C]
دمای سطح خارجی	۶.۷۳	[C]
حداکثر شار حرارتی	۱۴۵	[W/m²]
حداقل شار حرارتی	۱۰	[W/m²]
ضخامت	۱۶	[cm]
حداکثر سرعت هوا	۲۴	[mm/s]

ج- بررسی رفتار حرارتی دیوار با بلوک سفالی ۱۲ سانتی متری همراه با عایق حرارتی ۲ سانتی متری داخلی



تصویر۱۲- دیوار با بلوک سفالی ۱۲ سانتی متری همراه با عایق حرارتی ۲ سانتی متری داخلی.

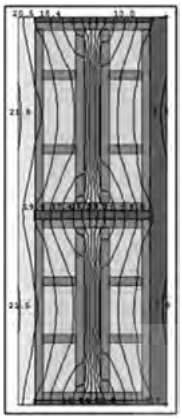
تصویر۱۳- همدمایی در مدل ۳ بعدی.



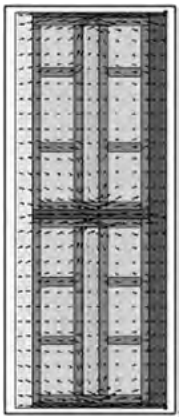
نمودار۲- نمودار تغییرات دما در ضخامت دیوار.

تابش و همرفت: قرارگرفتن عایق حرارتی پلی استایرن به ضخامت ۲ سانتی متر در میانه بلوک سفالی، به طور کامل ارتباط نیمه‌ی گرم و سرد بلوک سفالی از طریق تابش و همرفت را قطع کرده است. اگرچه در حفره های دو طرف تابش و همرفت وجود دارد و مطابق تصویر ۱۸ هوا با سرعت ۲۴ میلی متر بر ثانیه درون حفره ها چرخش می کند ولی تنها راه باقی مانده، انتقال

تصویر۱۴- پروفیل هم دمایی.



تصویر۱۵- پروفیل خطوط هم دمایی.



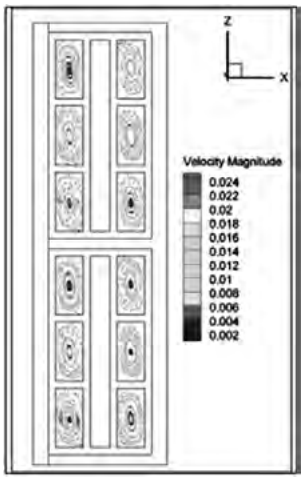
تصویر۱۶- بردارهای انتقال حرارت.

حرارت از سطح گرم به سطح سرد هدایت است. همرفت ۱۵ درصد و تابش ۱۵ درصد حرارت را انتقال می دهند.

هدایت: با توجه به توضیحات بالا، نقش پررنگ هدایت از طریق جداره ها و ملات افقی میان بلوک ها مشخص می‌شود و همانطور که در جدول ۳ مشخص است شار حرارتی حداکثر حدود ۵۰ درصد بیشتر از دو حالت قبلی است و هدایت سهم ۷۰ درصدی در انتقال حرارت دارد.

با دقت در نمودار۲ که تغییرات دما در ضخامت دیوار را نشان می دهد، افت ناگهانی و شدید دما در محدوده ۲ سانتی متری میانی را که عایق حرارتی قرار دارد را مشاهده می کنیم.

تصویر۱۷- پروفیل شار حرارتی.



تصویر۱۸- سرعت حرکت هوا درداخل حفره ها.

نتیجه

با تحلیل نتایج بدست آمده از محاسبات بالا و مقایسه آنها با هم، پیشنهادات زیر به منظور طراحی و ساخت بلوک‌های سفالی بهینه از نقطه نظر مقاومت حرارتی ارائه می شود.

– افزایش مقاومت انتقال حرارت آجر با طولانی‌ترین کردن راه پیموده شده توسط حرارت از سطح گرم به سطح سرد آجر از طریق بدنه بلوک سفالی.

– کاهش تعداد و ضخامت جدارهای عرضی بین سطوح: چون این جداره ها مستقیماً سطوح سرد و گرم را به هم وصل می کنند به صورت پل حرارتی عمل می کنند. بنابراین برای رسیدن به مقاومت حرارتی بیشتر باید تا حد امکان حذف یا کم شوند.

– افزایش تعداد ردیف سوراخ‌ها (جهت افزایش دیوارهای حفاظ تابشی): هر چه جداره های عمودی که نقش حفاظ تابشی را دارند بیشتر شوند سبب کوچک‌تر شدن حفره‌ها نیز می‌شوند که از نقش همرفت در انتقال حرارت می کاهند. البته نباید سبب سنگین شدن زیاد بلوک سفالی گردند.

– استفاده از حفره‌های غیرمستطیلی به منظور کاهش انتقال حرارت تابشی: چون سطوح مستطیل با هم موازی هستند تاثیر تابش و همرفت را به بیشترین حالت خود می رسانند، بنابراین استفاده از مقاطعی که سطوح روبروی هم آن غیر موازی باشند در افزایش مقاومت حرارتی موثر خواهند بود.

– در نظر گرفتن سوراخ های کوچک در جهت جریان حرارت به منظور کاهش یا حذف جریان همرفت.

– افزایش طول بلوک‌ها سبب کاهش تعداد درزهای عمودی بین بلوک ها در دیوارمی شود. این درزها به عنوان پل حرارتی عمل می نمایند.

– کاهش ضریب گسیل و جذب سطوح به منظور کاهش انتقال حرارت از طریق تابش بین سطوح داخلی حفره ها.

– کاهش اختلاف دمای بین سطوح: در این راستا، مؤثرترین اقدام افزایش تعداد حفره‌ها در جهت جریان حرارت است.

فهرست منابع

محمدکاری، بهروز و ویسه،سهراب (۱۳۸۷)، سیستم دیوار خارجی با بلوک سفالی نوین، مرکز حقیقات ساختمان و مسکن، چاپ اول، تهران.

معرفت، مهدی و ابراهیم پور، عبدالسلام و محمدکاری،بهروز (۱۳۸۵)، بررسی تاثیر هندسه حفره آجر بر روی میزان انتقال حرارت نفوذی به داخل ساختمان، پنجمین همایش بهینه سازی مصرف سوخت در ساختمان،تهران.

Lorente, S. and Petit, M and Javelas, R(1996),Simplified analytical mode for thermal transfer in vertical hollow brick,*Energy and building*,Vol 24.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی