http://mechanics.journals.modares.ac.ir

مجله علمی پژوهشی
مهندسی مکانیک مدرس
دوره ۱۲ شماره ۳ شهریور ۱۳۹۱ ص‌ص ۲۷-۳۶

تاریخچه مقاله:
دریافت ۹۱/۲/۲۴
پذیرش ۹۱/۳/۲۰
ارائه در سایت ۹۱/۵/۳۰

تحلیل عملکرد پل‌های حرارتی محل اتصال پنجره‌های نوین به دیوارهای ساختمانی با عایق حرارتی از خارج

مهدیه آب‌روش[۱]، بهروز محمدکاری[۲*]

۱- دانشجوی دکتری معماری، پردیس هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، تهران
۲- استادیار فیزیک ساختمان، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، تهران
* تهران، صندوق پستی ۱۶۹۶- ۱۳۱۴۵، kari@bhrc.ac.ir

چکیده- یکی از عوامل تعیین‌کنندهٔ میزان مصرف انرژی در ساختمان، علاوه بر مشخصات حرارتی عناصر تشکیل‌دهندهٔ پوستهٔ خارجی، نحوهٔ اتصال عناصر مختلف به یکدیگر در جزئیات اجرایی آن است. در صورت عدم رعایت ملاحظات لازم در این خصوص، پل‌های حرارتی قابل‌ملاحظه‌ای ایجاد می‌شود که می‌تواند اثربخشی عناصر مختلف پوسته را کاهش و میزان انتقال حرارت از پوسته خارجی را تا ۴۰ درصد افزایش دهد. در این مقاله، به ارزیابی عملکرد حرارتی وضعیت‌های گوناگون نصب پنجره، شامل حالت‌های استفاده یا عدم استفاده از پیش‌قاب چوبی یا فولادی، برای نصب پنجره‌های دارای شیشه‌های دوجداره پرداخته شد. این محاسبات به کمک شبیه‌سازی مدل‌هایی در نرم‌افزار تِرم[۱] صورت گرفت. تحلیل و مقایسه پل‌های حرارتی ناشی از روش‌های گوناگون نصب پنجره، با محل استقرار متفاوت در یک دیوار نمونه با عایق‌کاری حرارتی از خارج، انجام شد. برای هر یک از حالت‌های نصب قاب پنجره در داخل جدار، ضریب انتقال حرارت خطی در وضعیت‌های گوناگون قرارگیری پنجره و پیش‌آمدگی عایق حرارتی روی پیش‌قاب محاسبه گردید، و تأثیر عوامل فوق بر روی انتقال حرارت برآورد شد. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهند جزئیات اجرایی نصب پنجره، محل قرارگیری پروفیل و همچنین نحوه و میزان عایق‌کاری حرارتی اطراف پروفیل پنجره نقشی تعیین‌کننده بر عملکرد حرارتی جدار دارد.

کلیدواژگان: پنجره، پل حرارتی، قاب، مصرف انرژی، شیشه دوجداره، ضریب انتقال حرارت.

Analysis of thermal bridges' performance of new windows' installation in the building envelope with external thermal insulation

M. Abravesh[1], B. Mohammad Kari[2*]

1- PhD Student, College of Fine Arts, University of Tehran, Tehran, Iran
2- Assist. Prof. of Building Physics, Building and Housing Research Center, Tehran, Iran
* P.O.B. 13145-1696, Tehran, Iran. Kari@bhrc.ac.ir

Abstract- The amount of energy consumption in a building is affected not only by the components' performance, but also by the building envelope components' installation method. The negligence of the good practice methodology can have a huge impact on the thermal bridges, increasing the average thermal transmittance up to 40%.
In this paper, the thermal performance corresponding to different positions of the fixed frame, without sub-frame and with different sub-frame materials including wood and steel for double-glazed windows has been analyzed. Besides, in these cases, different configurations of thermal insulation have been considered. The evaluation of thermal bridges due to different models in a sample wall, insulated externally, has been carried out using THERM program. The linear heat transfer coefficient has been calculated for each model and the impact of each parameter on the thermal performance has been evaluated. The results show that the position of the frame, the sub-frame material and the configuration of the thermal insulation around the window frame affects considerably the thermal performance.
Keywords: Window, Thermal Bridge, Frame, Energy Consumption, Double Glazing, Thermal Transmittance Coefficient.

1. THERM

Archive of SID
www.SID.ir

۱- مقدمه

جدارهای نورگذر تک‌جداره، به دلیل ضریب هدایت حرارت زیاد شیشه و ضخامت کم آن، دارای بیشترین ضریب انتقال حرارت، در بین عناصر تشکیل‌دهنده پوسته خارجی ساختمان هستند. برای کاهش انتقال حرارت پنجره‌ها، لازم است از طرفی با بهره‌گیری از شیشه‌های چندجداره پوشش‌دار پر شده با گازهای خاص، انتقال حرارت از بخش نورگذر پنجره به حداقل برسد و از طرف دیگر، تمهیدات لازم برای کاهش انتقال حرارت از قاب پنجره نیز در نظر گرفته شود، زیرا استفاده از شیشهٔ دوجداره با قاب فلزی ساده (آلومینیومی یا فولادی) اثربخشی حرارتی شیشه چندجداره را به‌طور محسوسی کاهش می‌دهد. این تأثیر، زمانی که ابعاد پنجره کوچک است و یا وادارها و بازشوهای متعددی در آن تعبیه شده است تشدید می‌شود.

راه‌حل مؤثری که برای رفع این مشکل می‌توان پیشنهاد کرد، استفاده از پروفیل‌های بهبودیافته است. در این پروفیل‌ها، ضریب انتقال حرارت، با استفاده از موادی با ضریب هدایت حرارت کم، نظیر چوب و پی‌وی‌سی، یا با بهره‌گیری از یک ساختار گرماشکن[1] با موادی نظیر پلی‌آمید در بخش میانی پروفیل، به حداقل می‌رسد.

با توجه به لزوم عایق‌کاری حرارتی دیوارها و مشکلات ناشی از عدم رعایت اصول صحیح طراحی و اجرا، در سال‌های اخیر، به این موضوع به عنوان عاملی که عملکرد حرارتی پوسته را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد و می‌تواند باعث ایجاد یا تشدید پل‌های حرارتی در جدارها گردد، توجه ویژه‌ای شده است.

یکی از تحقیقات انجام شده در این زمینه، بررسی پل‌های حرارتی در دیوارها است [۱]. در این تحقیق، اتلاف حرارت ناشی از پل‌های حرارتی شبکه‌های فلزی دیوار با استفاده از روش‌های اندازه‌گیری و محاسبات عددی به کمک نرم‌افزار رایانه‌ای تریسکو[2] ارزیابی شده است. در تحقیق دیگری، یک مدل سه‌بعدی برای تحلیل پل‌های حرارتی در جدارهای ساختمانی ارائه شده است [۲]، که بیشتر برای تعیین پل‌های حرارتی دیوارهای ساخته‌شده با بلوک‌های مجوف کاربرد دارد.

در زمینه عملکرد حرارتی پنجره‌ها، تحقیقات بیشتر به بررسی تأثیر ابعاد و محل قرارگیری پنجره [۳،۴] و خصوصیات حرارتی- نوری شیشه‌ها [۵-۷] بر میزان مصرف انرژی سالانه و بار حرارتی و سرمایی ساختمان معطوف شده است. مطالعات اندکی در زمینه انتقال حرارت از قاب پنجره و پل‌های حرارتی در محل اتصال پنجره به دیوار صورت گرفته است و در داخل کشور، در این زمینه سابقه پژوهشی وجود ندارد.

تحقیق حاضر با هدف یافتن راه‌حل‌هایی برای یک مشکل اساسی در الگوهای اجرایی متداول در کشور انجام شده است. این مشکل از کاربرد پیش‌قاب‌های فولادی برای نصب انواع مختلف پنجره‌ها و نصب غیر اصولی عایق حرارتی ناشی می‌شود و باعث تشدید خوردگی، تخریب سریع مصالح، افزایش هزینه‌های اجرا، و همچنین ایجاد یا تشدید پل‌های حرارتی و خطر میعان می‌شود. در این موارد، افزایش میزان انتقال حرارت از پوسته خارجی می‌تواند به ۴۰ درصد برسد [۸،۲].

برای بهبود عملکرد حرارتی پیش‌قاب، می‌توان به‌جای کاربرد مقاطع فلزی از چارتراش چوبی استفاده کرد. روش دیگر، حذف پیش‌قاب و نصب مستقیم پنجره بر روی دیوار است که نیاز به فرهنگ‌سازی در کشور دارد. در این حالت، ضمن کاهش هزینه‌های اجرا، سرعت نصب نیز افزایش می‌یابد.

در این مقاله، به ارزیابی اثر استفاده از پیش‌قاب فولادی و چوبی و حذف آن، بر عملکرد حرارتی پنجره‌های دارای شیشه‌های دوجداره پرداخته می‌شود. همچنین، پل‌های حرارتی ناشی از آن، با توجه محل قرارگیری پنجره و روش نصب، در مقاطع مختلف جدار مورد تحلیل و بررسی قرار می‌گیرد. ابتدا انتقال حرارت از قاب و شیشه آن محاسبه می‌گردد، و سپس تعیین میزان انتقال حرارت مربوط به محل استقرار قاب پنجره‌ها، در سه حالت استفاده از پیش‌قاب چوبی و فولادی و حذف آن، با محاسبه ضریب انتقال حرارت خطی انجام می‌شود. مدل‌های درنظرگرفته‌شده، مشخصات دیوار نمونه مورد بررسی و تک‌تک مصالح مورد استفاده تیز شرح داده می‌شود.

برای انجام محاسبات مربوط به پل‌های حرارتی، روش‌های محاسبه ساده‌سازی شده و روش‌های پیشرفته عددی [۹-۱۱]، با استفاده از نرم‌افزارهای گوناگونی نظیر هیت[3] [۱۲] و تی‌بی‌تری‌دی[4] [۱۳] و تِرم مطرح می‌باشد. در این تحقیق، محاسبات مربوط به انتقال حرارت و تحلیل اثر پل‌های حرارتی با استفاده از نرم‌افزار تِرم انجام شده است [۱۴].

1. Thermal Break
2. TRISCO
3. Heat
4. TB3D/FMD

www.SID.ir
Archive of SID

۲- مفروضات

در این قسمت، به منظور مقایسه عملکرد حرارتی پنجره‌ها در حالات گوناگون نصب (استفاده از پیش‌قاب و بدون پیش‌قاب) و بررسی تأثیر محل قرارگیری پنجره در داخل دیوار (طرف خارج، قسمت میانی دیوار و طرف داخل) بر میزان مصرف انرژی، تغییرات ضرایب انتقال حرارت خطی در حالت‌های مختلف مورد بررسی و تحلیل قرار می‌گیرد. ابتدا، به معرفی مشخصات پنجره و دیوار نمونه پرداخته می‌شود و در ادامه مدل‌های درنظر گرفته شده تشریح می‌گردد.

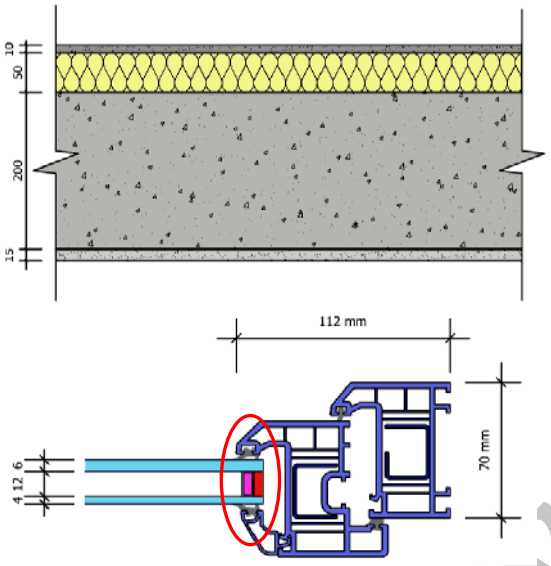
۲-۱- مشخصات پنجره و دیوار نمونه

محاسبات مربوط به پل‌های حرارتی ناشی از روش‌های گوناگون نصب پنجره و محل‌های استقرار متفاوت آن در یک دیوار نمونه بتنی دارای عایق‌کاری حرارتی از خارج صورت گرفته است. برای قسمت نورگذر، یک پنجره نوین دارای شیشه دوجداره ساده در نظر گرفته شده است. فضای خالی بین شیشه‌ها، که معمولاً حاوی هوای خشک یا یک گاز مخصوص است، نقشی تعیین‌کننده در کاهش ضریب انتقال حرارت جدار نورگذر دارد.

در این تحقیق، یک پنجره با قاب یوپی‌وی‌سی و شیشه دوجداره با ضخامت ۲۲ میلی‌متر (ضخامت شیشه داخلی ۴ میلی‌متر، ضخامت شیشه خارجی ۶ میلی‌متر و ضخامت لایه هوای بین دو شیشه ۱۲ میلی‌متر) در نظر گرفته شده است که ضریب انتقال حرارت سطحی این بخش نورگذر $۲/۸۸ W/m^2.K$ محاسبه شده است. ضریب هدایت حرارتی یوپی‌وی‌سی برابر $۰/۱۷ W/m.K$ است. ضخامت و ارتفاع مجموعه قاب (قاب ثابت و بازشو) به ترتیب برابر با ۷۰ و طول ۱۱۲ میلی‌متر در نظر گرفته شده است. با توجه به هندسه قاب، ضریب انتقال حرارت محاسبه‌شده برای آن، $۲/۰۱ W/m^2.K$ می‌باشد. برای به‌دست آوردن ضریب انتقال حرارت سطحی پنجره (مجموعه پروفیل و شیشه)، مدل آن در نرم‌افزار تِرم شبیه‌سازی گردید. مقدار ضریب انتقال حرارت سطحی محاسبه‌شده برای آن، با احتساب پل حرارتی در محل اتصال شیشه به پروفیل، که در شکل ۱ نشان داده شده است، برابر با $۲/۵۸۲ W/m^2.K$ می‌باشد.

در تمامی مدل‌ها، یک دیوار بتنی، که دارای یک لایه عایق حرارتی به ضخامت ۵ سانتی‌متر در طرف خارجی آن است، در نظر گرفته شده است. لایه‌های تشکیل‌دهنده دیوار نمونه از داخل به خارج عبارتند از: اندود گچ، بتن، عایق حرارتی و اندود سیمان. ضخامت و سایر مشخصات لایه‌ها در شکل ۱ و جدول ۱ نشان داده شده است.

با توجه به این نکته که در روش عایق‌کاری حرارتی از خارج امکان کاربرد انواع مختلف عایق حرارتی، با چگالی‌ها و ضخامت‌های متفاوت وجود دارد، مقدار متوسطی برای ضریب هدایت حرارت عایق در نظر گرفته شده است.



شکل ۱ دیوار نمونه و مقطع افقی پنجره جهت انجام محاسبات

جدول ۱ مشخصات حرارتی دیوار نمونه و لایه‌های تشکیل‌دهندهٔ آن

لایه‌های دیوار نمونه	ضخامت (m)	ضریب هدایت حرارت (W/m.K)	مقاومت حرارتی (m^2.K/W)
هوای داخل	-	-	۰/۱۱۰
اندود گچ	۰/۰۱۵	۰/۳۵	۰/۰۴۳
بتن	۰/۲۰۰	۱/۷۵	۰/۱۱۴
عایق حرارتی	۰/۰۵۰	۰/۰۴	۱/۲۵۰
اندود سیمان	۰/۰۱۰	۱/۱۵	۰/۰۰۸
هوای خارج	-	-	۰/۰۶۰

مجموع (مقاومت حرارتی دیوار): ۱/۵۸۵ (m^2.K/W)

ضریب انتقال حرارت: ۰/۶۳۰ (W/m^2.K)

۲-۲- تشریح مدل‌های ارائه‌شده

برای انجام محاسبات، چهار موقعیت مختلف استقرار پنجره برای روش‌های گوناگون نصب آن، شامل کاربرد پیش‌قاب و

Archive of SID

www.SID.ir

عدم استفاده از آن، در نظر گرفته شده است. در جدول ۲ مدل‌های تهیه‌شده برای انجام محاسبات نشان داده شده است.

در مدل‌های تهیه‌شده، چهار موقعیت گوناگون در نظر گرفته شده است که به شرح زیر می‌باشد:

موقعیت ۱: قرارگیری پروفیل پنجره همباد عایق حرارتی خارجی دیوار

موقعیت ۲: قرارگیری پروفیل پنجره همباد طرف خارج دیوار سازه‌ای

موقعیت ۳: قرارگیری پروفیل پنجره در قسمت میانی دیوار سازه‌ای

موقعیت ۴: قرارگیری پروفیل پنجره همباد طرف داخل دیوار سازه‌ای

لازم به توضیح است در حالت اجرایی اول (نصب پنجره بدون پیش‌قاب)، مدل دیگری به منظور به حداقل رساندن پل حرارتی و مقایسه آن با حالاتی که عایق حرارتی تا روی پیش‌قاب ادامه می‌یابد، در نظر گرفته شده است. در این حالت، پروفیل پنجره در راستای عایق حرارتی خارجی دیوار استقرار یافته است.

حالت‌های اجرایی گوناگون که در این شبیه‌سازی‌ها مد نظر قرار گرفته‌اند به شرح زیر می‌باشند:

حالت اجرایی ۱: نصب پنجره در داخل دیوار بدون استفاده از پیش‌قاب

حالت اجرایی ۲: نصب پنجره در داخل دیوار با استفاده از پیش‌قاب چوبی به ضخامت ۵ سانتی‌متر

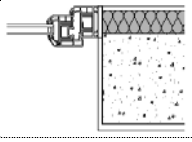
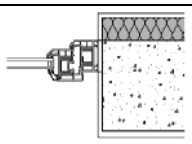
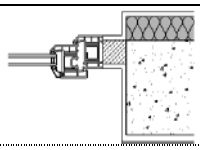
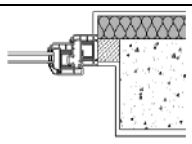
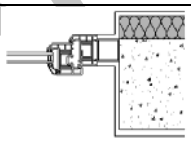
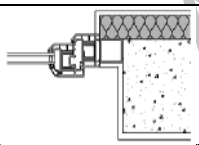
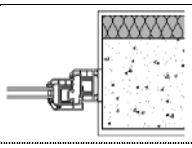
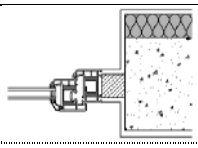
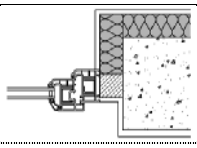
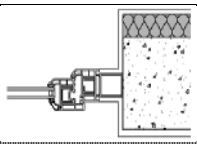
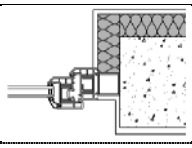
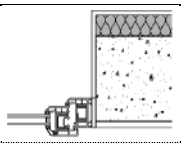
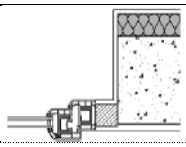
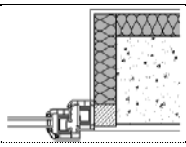
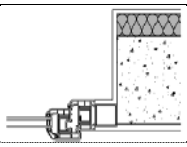
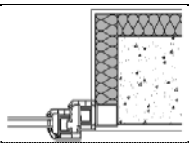
حالت اجرایی ۳: نصب پنجره در داخل دیوار با استفاده از پیش‌قاب چوبی و امتداد عایق حرارتی تا روی پیش‌قاب

حالت اجرایی ۴: نصب پنجره در داخل دیوار با استفاده از پیش‌قاب فولادی به ضخامت ۵ سانتی‌متر

حالت اجرایی ۵: نصب پنجره در داخل دیوار با استفاده از پیش‌قاب فولادی و امتداد عایق حرارتی روی پیش‌قاب

به منظور مقایسه تأثیر میزان پیش‌آمدگی عایق حرارتی روی پیش‌قاب بر عملکرد حرارتی در حالت‌های اجرایی ۳ و ۵، دو حالت مختلف برای میزان پیش‌آمدگی عایق (۴ و ۵ سانتی‌متر) بر روی پیش‌قاب، بررسی شده است.

جدول ۲ مدل‌های تهیه‌شده برای انجام محاسبات و شبیه‌سازی

	حالت اجرایی ۱ (بدون پیش‌قاب)	**حالت اجرایی ۲** (با پیش‌قاب چوبی)	**حالت اجرایی ۳** (با پیش‌قاب چوبی و عایق حرارتی روی آن)	**حالت اجرایی ۴** (با پیش‌قاب فولادی)	**حالت اجرایی ۵** (با پیش‌قاب فولادی و عایق حرارتی روی آن)
موقعیت ۱		–	–	–	–
	مدل ۱-۱	–	–	–	–
موقعیت ۲					
	مدل ۱-۲	مدل ۲-۲	مدل ۳-۲	مدل ۴-۲	مدل ۵-۲
موقعیت ۳					
	مدل ۱-۳	مدل ۲-۳	مدل ۳-۳	مدل ۴-۳	مدل ۵-۳
موقعیت ۴					
	مدل ۱-۴	مدل ۲-۴	مدل ۳-۴	مدل ۴-۴	مدل ۵-۴

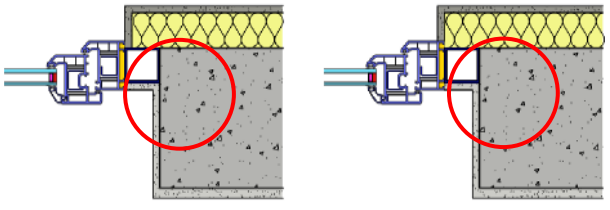
Archive of SID

www.SID.ir

در حالتی که عایق حرارتی ۵ سانتی‌متر باشد (حالت الف)، تمامی پیش‌قاب با عایق حرارتی پوشانده می‌شود و نازک‌کاری خارجی دیوار روی بخشی از پروفیل اصلی پنجره قرار می‌گیرد. اما در حالت دیگر (حالت ب) که عایق حرارتی ۴ سانتی‌متر در نظر گرفته شده است، قسمتی از پیش‌قاب با نازک‌کاری خارجی دیوار پوشانده می‌شود (شکل ۲).

۳- تحلیل نتایج شبیه‌سازی مدل‌های ارائه شده

به منظور انجام محاسبات مربوط به ضریب انتقال حرارت سطحی مجموعه دیوار و پنجره و ضریب انتقال حرارت خطی پل حرارتی در محل اتصال پنجره به دیوار، بخشی از دیوار نمونه با درنظر گرفتن موقعیت‌های گوناگون پنجره برای حالت‌های مختلف، مدل‌سازی گردید. تلاش شد ابعاد و تناسبات دیوار و پنجره به گونه‌ای در نظر گرفته شود که ضریب انتقال حرارت سطحی و خطی به‌دست آمده قابل تعمیم به اکثر دیوارهای متداول ساختمان باشد. در تمامی مدل‌ها، طول در نظر گرفته‌شده برای دیوار ۰٫۷۵ متر و طول پنجره ۰٫۲۵ متر می‌باشد. ابعاد بخش شبیه‌سازی شده به گونه‌ای انتخاب شد که در دورترین بخش دیوار و شیشه، اثر پل حرارتی بسیار کم و قابل چشم‌پوشی باشد. لازم به توضیح است مقدار یادشده برای طول دیوار تا ابتدای پروفیل اصلی پنجره در نظر گرفته شده است. به عبارت دیگر، در موارد کاربرد پیش‌قاب برای نصب پنجره، طول دیوار با احتساب ابعاد پیش‌قاب، ۰٫۷۵ متر لحاظ شده است، تا بتوان پل حرارتی ناشی از کاربرد پیش‌قاب را برآورد نمود.



شکل ۲ میزان پیش‌آمدگی عایق حرارتی بر روی پیش‌قاب

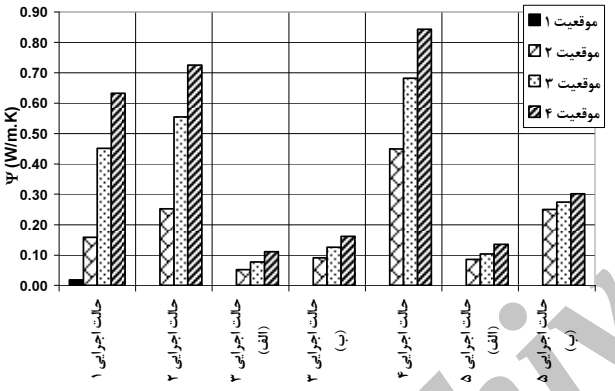
برای هر یک از مدل‌های ارائه‌شده، محاسبات مربوط به ضریب انتقال حرارت خطی پل حرارتی در محل اتصال پنجره به دیوار از طریق رابطه زیر به‌دست آمده است [۴]:

$$\psi = U_L - (U_1 L_1 + U_2 L_2) \qquad (۱)$$

همان‌طور که در قسمت فرضیات توضیح داده شد، در این محاسبات:

$U_1 = 0.630\ \mathrm{W/m^2.K}$
$L_1 = 0.75\ \mathrm{m}$
$U_2 = 2.582\ \mathrm{W/m^2.K}$
$L_2 = 0.25\ \mathrm{m}$

برای محاسبه ضریب انتقال حرارت خطی مجموعه دیوار و پنجره، با در نظر گرفتن پل حرارتی برای هر حالت، مدل مورد نظر در نرم‌افزار تِرم شبیه‌سازی گردید. در جدول ۳ مقادیر به‌دست آمده برای هر مدل ارائه شده است. همچنین، پس از به‌دست آوردن ضریب انتقال حرارت خطی پل حرارتی محل اتصال پنجره به دیوار، ضریب انتقال حرارت سطحی پروفیل (با احتساب پل حرارتی) نیز محاسبه شده است (شکل ۳).



شکل ۳ نمودار ضریب انتقال حرارت خطی پل حرارتی در محل اتصال پنجره به دیوار برای مدل‌های گوناگون

در ادامه، به منظور نمایش و مقایسه پل‌های حرارتی ناشی از روش‌های گوناگون نصب پروفیل پنجره به دیوار، نمودارهای هم‌شاری و هم‌دمایی برای چهار حالت مختلف نشان داده شده است (شکل‌های ۴ و ۵).

با بررسی و مقایسه نتایج به‌دست آمده از شبیه‌سازی‌ها مشخص شد کاربرد پیش‌قاب تا چه حد بر عملکرد پروفیل از دید انتقال حرارت تأثیر دارد. برای مثال، در نمونه‌های بررسی شده، مشخص گردید اضافه کردن پیش‌قاب چوبی یا فلزی، در شرایط یکسان، ضریب انتقال حرارت پروفیل را به ترتیب ۲۴ و ۷۶ درصد افزایش می‌دهد. در حالی که با حذف پیش‌قاب و استقرار پروفیل پنجره در راستای عایق حرارتی دیوار، ضریب انتقال حرارت پروفیل ۶۳ درصد کاهش می‌یابد.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۳ مقادیر ضریب انتقال حرارت سطحی و خطی محاسبه‌شده برای مدل‌های ارائه‌شده

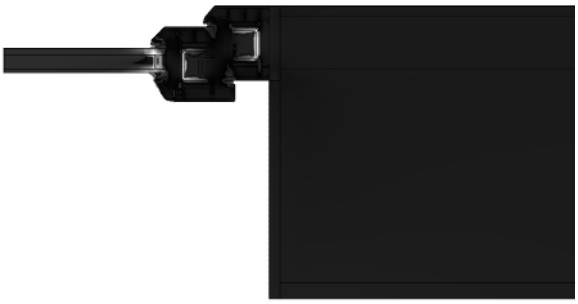
حالت اجرایی	نام مدل	ضریب انتقال حرارت سطحی مجموعه دیوار و پنجره $U\ (W/m^2.K)$	ضریب انتقال حرارت خطی مجموعه دیوار و پنجره $U_L\ (W/m.K)$	ضریب انتقال حرارت خطی پل حرارتی در محل اتصال پنجره به دیوار $\psi\ (W/m.K)$	ضریب انتقال حرارت سطحی پروفیل $U_{Profil}\ (W/m^2.K)$
حالت اجرایی ۱ (بدون پیش‌قاب)	مدل ۱-۱	۱٫۱۳۰	۱٫۱۴۱	۰٫۰۱۸	۲٫۱۷۲
	مدل ۱-۲	۱٫۲۶۹	۱٫۲۸۲	۰٫۱۵۹	۳٫۴۲۶
	مدل ۱-۳	۱٫۵۵۹	۱٫۵۷۵	۰٫۴۵۲	۶٫۰۴۱
	مدل ۱-۴	۱٫۷۳۸	۱٫۷۵۵	۰٫۶۳۲	۷٫۶۵۵
حالت اجرایی ۲ (پیش‌قاب چوبی)	مدل ۲-۲	۱٫۳۶۱	۱٫۳۷۵	۰٫۲۵۲	۴٫۲۵۶
	مدل ۲-۳	۱٫۶۶۱	۱٫۶۷۸	۰٫۵۵۵	۶٫۹۶۱
	مدل ۲-۴	۱٫۸۳۰	۱٫۸۴۸	۰٫۷۲۵	۸٫۴۸۵
حالت اجرایی ۳ (پیش‌قاب چوبی و عایق حرارتی)	مدل ۳-۲ (الف)	۱٫۱۶۳	۱٫۱۷۵	۰٫۰۵۲	۲٫۴۷۰
	مدل ۳-۳ (الف)	۱٫۱۸۹	۱٫۲۰۱	۰٫۰۷۸	۲٫۷۰۴
	مدل ۳-۴ (الف)	۱٫۲۲۲	۱٫۲۳۴	۰٫۱۱۱	۳٫۰۰۲
	مدل ۳-۲ (ب)	۱٫۲۰۲	۱٫۲۱۴	۰٫۰۹۱	۲٫۸۲۲
	مدل ۳-۳ (ب)	۱٫۲۳۷	۱٫۲۴۹	۰٫۱۲۶	۳٫۱۳۷
	مدل ۳-۴ (ب)	۱٫۲۷۲	۱٫۲۸۵	۰٫۱۶۲	۳٫۴۸۵
حالت اجرایی ۴ (پیش‌قاب فولادی)	مدل ۴-۲	۱٫۵۵۷	۱٫۵۷۳	۰٫۴۵۰	۶٫۰۲۳
	مدل ۴-۳	۱٫۷۸۷	۱٫۸۰۵	۰٫۶۸۲	۸٫۰۹۷
	مدل ۴-۴	۱٫۹۴۶	۱٫۹۶۵	۰٫۸۴۲	۹٫۵۳۱
حالت اجرایی ۵ (پیش‌قاب فولادی و عایق حرارتی)	مدل ۵-۲ (الف)	۱٫۱۹۷	۱٫۲۰۹	۰٫۰۸۶	۲٫۷۷۷
	مدل ۵-۳ (الف)	۱٫۲۱۵	۱٫۲۲۷	۰٫۱۰۴	۲٫۹۳۹
	مدل ۵-۴ (الف)	۱٫۲۴۶	۱٫۲۵۸	۰٫۱۳۵	۳٫۲۱۸
	مدل ۵-۲ (ب)	۱٫۳۵۹	۱٫۳۷۳	۰٫۲۵۰	۴٫۲۳۷
	مدل ۵-۳ (ب)	۱٫۳۸۳	۱٫۳۹۷	۰٫۲۷۴	۴٫۴۵۴
	مدل ۵-۴ (ب)	۱٫۴۱۰	۱٫۴۲۴	۰٫۳۰۱	۴٫۶۹۷

در مدل‌های در نظر گرفته‌شده، با بررسی تغییرات ضریب انتقال حرارت خطی حالات گوناگون با موقعیت‌های مختلف قرارگیری پنجره در داخل جدار، مشخص شد که:

- کمترین میزان پل حرارتی مربوط به حالتی است که پروفیل پنجره بدون پیش‌قاب روی عایق حرارتی دیوار و در امتداد آن قرار می‌گیرد (مدل ۱-۱)، که مقدار آن ۰٫۰۱۸W/m.K است (جدول ۳).

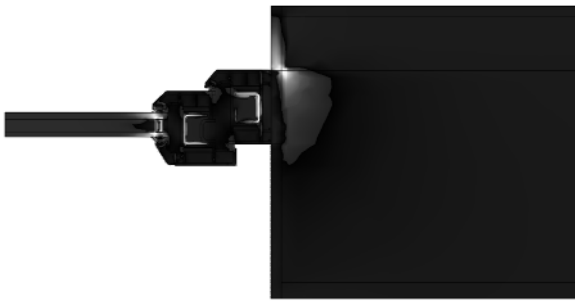
- برآوردهای انجام‌شده حاکی از آن است که محل قرارگیری پروفیل در داخل جدار تأثیر چشمگیری روی عملکرد حرارتی پنجره دارد. در حالت اجرایی ۱ (نصب پنجره بدون پیش‌قاب)، با جابه‌جایی پنجره از سمت داخلی دیوار (موقعیت ۴) به سمت خارجی (موقعیت ۲)، ضریب انتقال حرارت خطی ۷۵٪ کاهش می‌یابد. در صورت نصب پنجره در امتداد عایق حرارتی، برای به حداقل رساندن پل حرارتی، میزان ضریب انتقال حرارت خطی ۹۷٪ نسبت به موقعیت ۴ و ۸۸٪ نسبت به موقعیت ۲ کاهش پیدا می‌کند. در صورت انتقال پنجره از سمت داخل (موقعیت ۴) به قسمت میانی دیوار (موقعیت ۳)، میزان ضریب انتقال حرارت خطی ۲۹٪ افت می‌کند.

Archive of SID
www.SID.ir



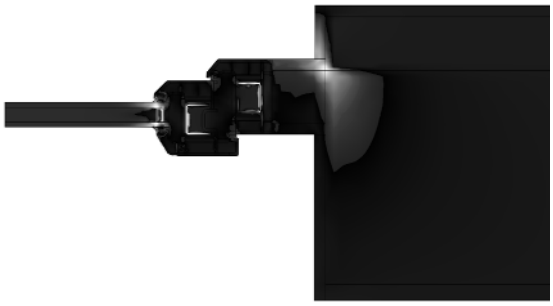
(الف) مدل ۱-۱

(نصب پروفیل پنجره بدون پیش‌قاب در امتداد عایق حرارتی دیوار)



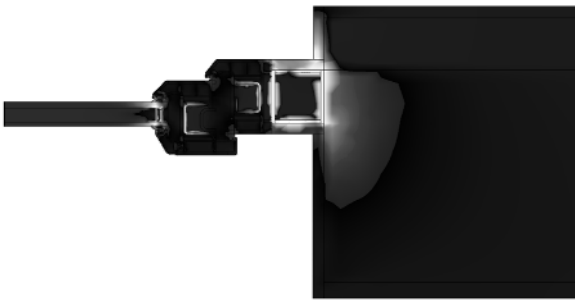
(ب) مدل ۱-۲

(نصب پروفیل پنجره بدون پیش‌قاب همباد لبه خارجی دیوار سازه‌ای)



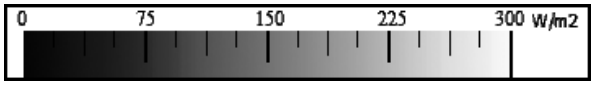
(پ) مدل ۲-۲

(نصب پروفیل پنجره با پیش‌قاب چوبی همباد لبه خارجی دیوار سازه‌ای)

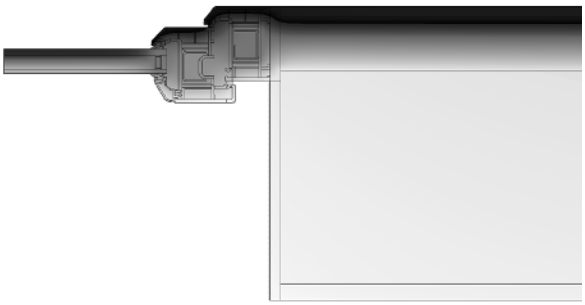


(ت) مدل ۴-۲

(نصب پروفیل پنجره با پیش‌قاب فولادی همباد لبه خارجی دیوار سازه‌ای)

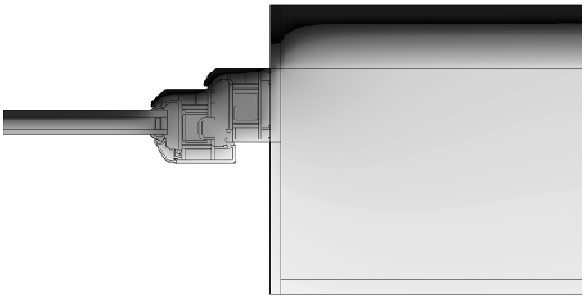


شکل ۴ پروفیل‌های هم‌شاری در حالت‌های گوناگون نصب پروفیل پنجره به دیوار



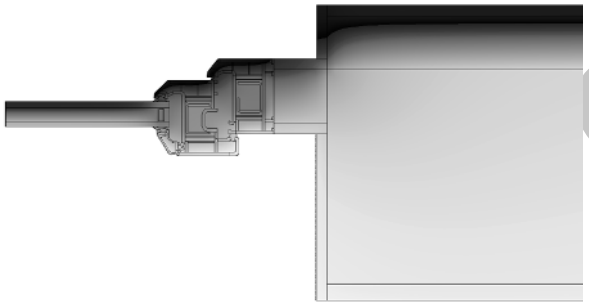
(الف) مدل ۱-۱

(نصب پروفیل پنجره بدون پیش‌قاب در امتداد عایق حرارتی دیوار)



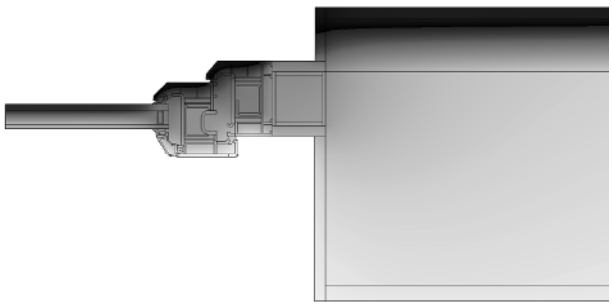
(ب) مدل ۱-۲

(نصب پروفیل پنجره بدون پیش‌قاب همباد لبه خارجی دیوار سازه‌ای)



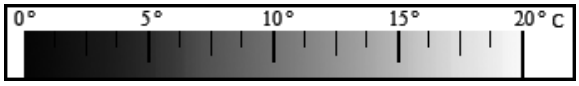
(پ) مدل ۲-۲

(نصب پروفیل پنجره با پیش‌قاب چوبی همباد لبه خارجی دیوار سازه‌ای)



(ت) مدل ۴-۲

(نصب پروفیل پنجره با پیش‌قاب فولادی همباد لبه خارجی دیوار سازه‌ای)



شکل ۵ پروفیل‌های هم‌دمایی در حالت‌های گوناگون نصب پروفیل پنجره به دیوار

www.SID.ir

در جدول ۴، تأثیر جابه‌جایی پنجره از سمت داخلی دیوار به سمت خارجی آن (موقیت ۲ نسبت به موقعیت ۴) و انتقال آن از قسمت داخلی به قسمت میانی (موقعیت ۳ نسبت به موقعیت ۴) بر میزان کاهش ضریب انتقال حرارت خطی پل حرارتی، در حالت‌های تعیین‌شده، بر حسب درصد نشان داده شده است. تغییرات چشمگیر در مقادیر به‌دست آمده نشان‌دهنده اهمیت محل استقرار پنجره و نحوه عایق‌کاری حرارتی بر عملکرد حرارتی مجموعه است.

- داده‌های ارائه شده نشان می‌دهند با کاربرد پیش‌قاب، پل حرارتی محل اتصال پنجره به دیوار، نسبت به حالتی که پنجره مستقیماً روی دیوار سازه‌ای قرار می‌گیرد (حالت اجرایی ۱)، افزایش می‌یابد. در موقعیت‌های مختلف استقرار پروفیل پنجره، با پیش‌قاب چوبی، این افزایش بین ۱۳٪ تا ۳۷٪، و با پیش‌قاب فولادی بین ۲۵٪ تا ۶۵٪ است (جدول ۵). یکی از راه‌کارهای ارائه‌شده برای کاهش پل حرارتی ناشی از کاربرد پیش‌قاب، امتداد عایق حرارتی دیوار تا روی پیش‌قاب می‌باشد. با توجه به نتایج به‌دست آمده، میزان پیش‌آمدگی عایق حرارتی اهمیت به‌سزایی در عملکرد حرارتی اتصال پنجره به دیوار دارد.

- در محاسبات انجام‌شده، به‌منظور مقایسه حالتی که پروفیل پنجره مستقیماً و بدون پیش‌قاب روی دیوار نصب می‌شود، با حالتی که عایق حرارتی روی پیش‌قاب قرار می‌گیرد (برای کاهش پل حرارتی)، مدلی برای حالت اول در نظر گرفته شد، که در آن پروفیل پنجره در امتداد عایق حرارتی قرار دارد (مدل ۱-۱). محاسبات نشان می‌دهند با حذف پیش‌قاب چوبی و قرارگیری پروفیل در امتداد عایق حرارتی دیوار، ضریب انتقال حرارت خطی ۶۵٪ کاهش می‌یابد. در صورت حذف پیش‌قاب فولادی، میزان کاهش ضریب انتقال حرارت خطی به ۷۹٪ می‌رسد.

لذا مشاهده می‌شود، در میان حالت‌های بررسی شده با موقعیت‌های گوناگون قرارگیری پروفیل پنجره، بهترین عملکرد مربوط به حالتی است که پروفیل پنجره به طور مستقیم در امتداد عایق حرارتی دیوار قرار می‌گیرد. در تمامی حالت‌های دیگر، با جابجایی پنجره از قسمت خارجی دیوار به قسمت داخلی آن و فاصله گرفتن از عایق حرارتی دیوار، میزان پل حرارتی افزایش می‌یابد. این تغییرات در حالتی که پیش‌قاب با عایق حرارتی پوشانده شده باشد به مراتب کمتر است و جابه‌جایی پروفیل در داخل جدار تأثیر کمتری بر میزان ضریب انتقال حرارت خطی دارد.

جدول ۴ میزان کاهش ضریب انتقال حرارت خطی با جابه‌جایی محل قرارگیری پنجره در حالتهای گوناگون اجرایی

جابجایی پنجره از قسمت داخلی دیوار	مقایسه موقعیت‌های گوناگون قرارگیری پنجره	حالت اجرایی ۱ (بدون پیش‌قاب)	حالت اجرایی ۲ (پیش‌قاب چوبی)	حالت اجرایی ۳ (پیش‌قاب چوبی و عایق حرارتی)		حالت اجرایی ۴ (پیش‌قاب فولادی)	حالت اجرایی ۵ (پیش‌قاب فولادی و عایق حرارتی)	
				الف	ب		الف	ب
به قسمت خارجی دیوار	موقعیت ۲ نسبت به موقعیت ۴	٪۷۵	٪۶۵	٪۵۴	٪۴۴	٪۴۷	٪۳۷	٪۱۷
به قسمت میانی دیوار	موقعیت ۳ نسبت به موقعیت ۴	٪۲۹	٪۲۴	٪۳۰	٪۲۲	٪۱۹	٪۲۳	٪۹

جدول ۵ میزان کاهش ضریب انتقال حرارت خطی در حالت‌های گوناگون عایق‌کاری حرارتی و موقعیت‌های مختلف استقرار پنجره در داخل جدار

اقدام صورت‌گرفته		مقایسه حالت‌های اجرایی گوناگون	موقعیت ۲	موقعیت ۳	موقعیت ۴
حذف پیش‌قاب چوبی		حالت اجرایی ۱ نسبت به حالت اجرایی ۲	٪۳۷	٪۱۹	٪۱۳
حذف پیش‌قاب فولادی		حالت اجرایی ۱ نسبت به حالت اجرایی ۴	٪۶۵	٪۳۴	٪۲۵
عایق کاری روی پیش‌قاب چوبی	الف	حالت اجرایی ۳ نسبت به حالت اجرایی ۲	٪۷۹	٪۸۶	٪۸۵
	ب		٪۶۴	٪۷۷	٪۷۸
عایق کاری روی پیش‌قاب فولادی	الف	حالت اجرایی ۵ نسبت به حالت اجرایی ۴	٪۸۱	٪۸۵	٪۸۴
	ب		٪۴۴	٪۶۰	٪۶۴

Archive of SID
www.SID.ir

- برآوردهای انجام‌شده نشان می‌دهند میزان پیش‌آمدگی عایق حرارتی بر روی پیش‌قاب تأثیر مستقیمی بر کاهش ضریب انتقال حرارت خطی دارد. همان‌طور که دیده می‌شود، با کم کردن میزان پیش‌آمدگی عایق حرارتی از ۵ سانتی‌متر به ۴ سانتی‌متر و جایگزینی آن با اندود خارجی نما، ضریب انتقال حرارت خطی برای پیش‌قاب چوبی ۳۱٪ تا ۴۳٪ و برای پیش‌قاب فولادی بین ۵۵٪ تا ۶۶٪، بسته به محل قرارگیری پنجره در داخل دیوار، افزایش می‌یابد.

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله، تأثیر محل قرارگیری پنجره در داخل یک دیوار نمونه بتنی و جزییات عایق‌کاری حرارتی از خارج بر عملکرد حرارتی پنجره و میزان پل‌های حرارتی در شرایط مختلف مورد تحلیل قرار گرفته است. حالت‌های مختلف اجرایی در نظر گرفته شده شامل نصب پنجره بدون پیش‌قاب، با پیش‌قاب چوبی و با پیش‌قاب فولادی، در محل‌های قرارگیری متفاوت است. نتایج نشان می‌دهند محل قرارگیری پروفیل در داخل جدار ساختمانی تأثیر قابل توجهی بر میزان ضریب انتقال حرارت خطی دارد. هر چه فاصله بین پروفیل پنجره و عایق حرارتی دیوار کمتر باشد، عملکرد حرارتی پنجره، با کاهش پل حرارتی ناشی از اتصال پنجره به دیوار، بهبود می‌یابد. برآوردهای انجام‌شده حاکی از آن است که در صورت عدم استفاده از پیش‌قاب، جابه‌جایی پنجره از سمت داخلی دیوار سازه‌ای به سمت خارج آن تا ۷۵٪ کاهش ضریب انتقال حرارت خطی را به همراه دارد. در صورت کاربرد پیش‌قاب چوبی و فولادی، این میزان به‌ترتیب به ۶۵٪ و ۴۷٪ می‌رسد.

نکته دیگری که در نصب اصولی پنجره حائز اهمیت است حذف فاصله بین عایق حرارتی و پروفیل پنجره است. برای دستیابی به این هدف، در حالت عایق‌کاری از خارج، لازم است که عایق خارجی زیر کف‌پنجره، نعل درگاهی و پوشش‌های کناری پنجره تا لبه قاب پنجره ادامه یابد. به همین منظور در این مقاله، برای نصب پنجره، حالت‌هایی در نظر گرفته شد که در آن‌ها عایق حرارتی تا لبه پروفیل اصلی پنجره ادامه می‌یابد و پیش‌قاب از طرف خارج با آن پوشانده می‌شود. به کمک این روش، برای هر دو حالت پیش‌قاب چوبی و فولادی، ضریب انتقال حرارت خطی حدوداً تا ۸۵٪ نسبت به حالتی که عایق حرارتی تنها تا لبه دیوار سازه‌ای امتداد می‌یابد، کاهش می‌یابد.

البته، لازم به توضیح است گاهی هنگام اجرا، این کار با ضخامت کمتر عایق حرارتی انجام می‌گردد که باعث می‌شود یک پل حرارتی جزئی به همین علت ایجاد شود. اما باید توجه کرد که مسئلهٔ مهم‌تر، میزان پیش‌آمدگی عایق حرارتی بر روی پیش‌قاب است. محاسبات نشان می‌دهند حتی کاهش یک سانتی‌متری عایق حرارتی بر روی پیش‌قاب و جایگزینی آن با نازک‌کاری خارجی دیوار باعث افت عملکرد حرارتی می‌شود و ضریب انتقال حرارت برای پیش‌قاب چوبی ۴۳٪ و برای پیش‌قاب فولادی ۶۶٪ افزایش می‌یابد.

با مقایسه نتایج به‌دست‌آمده، دیده می‌شود کمترین میزان پل حرارتی مربوط به زمانی است که پروفیل پنجره بدون پیش‌قاب روی عایق حرارتی و در امتداد آن قرار می‌گیرد.

به طور کلی، برای بهبود عملکرد حرارتی پنجره‌ها، راه‌کارهای زیر پیشنهاد می‌شود:

- جایگزین کردن پیش‌قاب فولادی با پیش‌قاب چوبی یا از جنس یوپی‌وی‌سی
- حذف پیش‌قاب و اتصال مستقیم پروفیل پنجره به دیوار سازه‌ای
- تغییر جزییات اجرایی برای استقرار پروفیل پنجره در راستای عایق حرارتی برای به حداقل رسانیدن پل‌های حرارتی در محل اتصال پنجره به دیوار.

۵- فهرست علایم

L_1	طول دیوار (m)
L_2	طول پنجره (m)
U_1	ضریب انتقال حرارت سطحی دیوار ($W/m^2.K$)
U_2	ضریب انتقال حرارت سطحی پنجره ($W/m^2.K$)
U_L	ضریب انتقال حرارت خطی مجموعه دیوار و پنجره با در نظر گرفتن پل حرارتی ($W/m.K$)
Ψ	ضریب انتقال حرارت خطی پل حرارتی در محل اتصال پنجره به دیوار ($W/m^2.K$)

۶- مراجع

[1] Zalewski L., Lassue S., Rousse D. and Boukhalfa K., "Experimental and Numerical Characterization of Thermal Bridges in Prefabricated Building

www.SID.ir
Archive of SID

Walls", *Energy Conversion and Management,* Vol. 5, 2010, pp. 2869–2877.

[2] Gao Y., Roux J., Zhao L.H. and Jiang Y., "Dynamical Building Simulation: a Low Order Model for Thermal Bridges Losses", *Energy and Buildings,* Vol. 40, 2008, pp.2236–2243.

[3] Persson M.L., Roos A., and Wall M., "Influence of Windows Size in the Energy Balance of Low Energy Houses", *Energy and Buildings,* Vol.38, 2006, pp. 181–188.

[4] Bokel RMJ., "The Effect of Window Position and Window Size on the Energy Demand for Heating, Cooling and Electric Lighting", *Proceedings 10th international IBPSA conference,* Beijing (China): International Building Performance Simulation Association, 2007. pp. 117–121.

[5] Clarke J.A., Janak M. and Ruyssevelt P., "Assessing the Overall Performance of Advanced Glazing Systems", *Solar Energy,* Vol. 63, No. 4, 1998, pp. 231–241.

[6] Lee ES. and Tavil A., "Energy and Visual Comfort Performance of Electrochromic Windows with Overhangs", *Build Environment,* Vol. 42, 2007, pp. 2439-49.

[7] Gasparella A., Pernigotto G., Cappelletti F., Romagnoni P. and Baggio P., "Analysis and Modelling of Window and Glazing Systems Energy Performance for a Well Insulated Residential Building", *Energy and Buildings,* Vol. 43, 2011, pp. 1030–1037.

[۸] مبحث نوزدهم، *صرفه‌جویی در مصرف انرژی*، مقررات ملی ساختمان، پیوست ۱۱، روش‌های محاسبه پل‌های حرارتی، دفتر امور مقررات ملی ساختمان، ۱۳۸۹، ص‌ص ۱۴۹-۱۵۰.

[۹] استاندارد ملی ایران، شماره ۱-۱۱۴۱۹، *عملکرد حرارتی درها، پنجره‌ها و کرکره‌ها - محاسبه ضریب انتقال حرارت- قسمت اول: کلیات*، ۱۳۸۸.

[۱۰] استاندارد ملی ایران، شماره ۲-۱۱۴۱۹، *عملکرد حرارتی درها، پنجره‌ها و کرکره‌های بیرونی - محاسبه ضریب انتقال حرارت -قسمت دوم: روش عددی برای چهارچوبه*، ۱۳۸۸.

[۱۱] استاندارد ملی ایران، شماره ۱۲۵۹۴، *شیشه در ساختمان- تعیین ضریب انتقال حرارت- روش محاسبه*، ۱۳۸۸.

[12] Lund-Gothenburg, Heat3, Lund-Gothenburg Group for Computational Building Physics, Lund University and Massachusetts Institute of Technology, 2001.

[13] Nimiya H., "Thermal Analysis of 3-Dimensional Heat Bridges Included in Steel Framed Houses-Method of Making Models and Analysis Examples", *Proceedings of the IBSPA 6th International Conference on Building Simulation 99*, University of Kyoto, Japan, 1999, pp. 747–753.

[14] THERM 5.2, *NFRC Simulation Manaual*, Lawrence Berkeley National Laboratory, 2006.

Archive of SID

www.SID.ir