

کاهش اتلافات حرارتی از پنجره های دو جداره با تغییر گاز بین شیشه ها

بهزاد قاسمی

استادیار مهندسی مکانیک

شهرکرد- کیلومتر ۲ جاده سامان- دانشگاه شهرکرد- دانشکده فنی و مهندسی

behzadgh@yahoo.com

چکیده

به منظور کاهش اتلافات حرارتی ساختمانها می توان از پنجره های دو جداره استفاده نمود. این پنجره ها از دو لایه شیشه، که توسط فاصله ای از هم جدا شده اند، ساخته می شوند. فاصله بین دو شیشه توسط هوا و یا گاز دیگری پر شده است. هدف از این مقاله کوتاه پیش بینی اثر نوع گاز در میزان تلفات حرارتی در پنجره است. بدین منظور با در نظر گرفتن یک مدل مناسب، از حل عددی معادلات حاکم بر رفتار سیال و شیشه ها می توان میزان تبادل حرارت بین دو طرف پنجره را بدست آورد. پنجره را به صورت یک محفظه با مقطع مربع مستطیل با دیواره های عمودی شیشه ای محتوی گاز در نظر می گیریم. دیواره های افقی محفظه عایق حرارتی فرض شده و سطوح خارجی شیشه ها در دمای ثابت می باشند. محاسبات به ازای اختلاف دماهای مختلف دو طرف پنجره، و تغییر فاصله

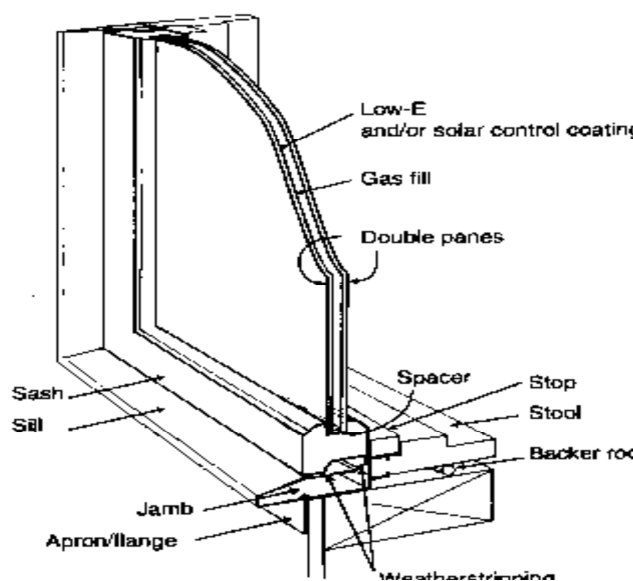
بین شیشه‌ها برای گازهای هوا، آرگون و کریپتون انجام می‌شود. نتایج نشان دهنده تغییر قابل توجه اتلافات حرارتی هنگام استفاده از گازهای مختلف به عنوان سیال واسط در این پنجره‌ها است.

واژه‌های کلیدی: پنجره دو جداره - تلفات حرارتی - جابجائی آزاد - هدایت - گاز.

مقدمه

پنجره‌ها روشنایی، گرما، هوای تازه و زیبایی‌ها را به خانه آورده و ارتباطی با محیط خارج برقرار می‌کنند. علی‌رغم این محاسن پنجره‌ها یکی از عوامل مهم در اتلافات حرارتی ساختمانها است. بطوری که حدود یک چهارم حرارت خارج شده ساختمانها در زمستان و یا حرارت وارد شده به آنها در تابستان از طریق پنجره‌ها صورت می‌گیرد. به همین دلیل از دیر باز کاهش این تلفات مد نظر طراحان ساختمانها بوده است. در گذشته نه چندان دور برای کاهش اتلافات حرارتی ساختمانها به جای استفاده از پنجره‌های با یک لایه شیشه از پنجره‌های با دو یا چند لایه شیشه کمک گرفته می‌شد. حتی در پاره‌ای از موارد، لایه‌های پلاستیکی در بین شیشه‌ها نیز به کار می‌رفت. ولی در دو دهه اخیر تکنولوژی ساخت پنجره‌های دو جداره با فاصله‌های هوایی روز به روز پیشرفت کرده است. این پنجره‌ها عموماً از دو لایه شیشه، که توسط فاصله‌ای از هم جدا شده‌اند، تشکیل می‌شوند. شکل ۱ نمونه‌ای از این پنجره‌ها را نشان می‌دهد. در این شکل جزییات قاب پنجره نیز مشخص شده است. فاصله بین دو لایه شیشه توسط هوا و یا گاز دیگری با ضریب هدایت پایین همچون آرگون، دی‌اکسید کربن و کریپتون پر می‌شود [۱ و ۲]. بدین ترتیب با توجه به اینکه پنجره‌های یک ساختمان عموماً دارای مقاومت حرارتی کمتری نسبت به سایر اجزای آن است، بکارگیری این پنجره‌ها می‌تواند نقش بسزایی در کاهش مصرف انرژی داشته باشد.

برای مطالعه دقیق میزان تلفات حرارتی از پنجره های دو جداره و مقایسه عملکرد آنها نسبت به پنجره های ساده تک شیشه ای نیاز به بررسی مکانیزمهای مختلف انتقال حرارت است. جابه جایی و تشعشع روی سطوح خارجی، هدایت در داخل شیشه ها، جابه جایی و تشعشع در فاصله هوایی دو پنجره و حتی نفوذ تشعشع خورشید از شیشه ها به داخل از جمله مکانیزم های دخیل در انتقال حرارت است. به همین دلیل جهت مطالعه عملکرد این سیستمها عموماً از فرضیات ساده کننده ای استفاده می شود. شاید ساده ترین تقریب استفاده از فرض انتقال حرارت هدایت یک بعدی در داخل شیشه ها و لایه هوا است [۳]. در این شرایط می توان نرخ انتقال گرما را به راحتی با کمک مقاومت های حرارتی محاسبه نمود. اما باید توجه داشت که سیال بین دو جداره شیشه ای با دماهای مختلف ساکن باقی نمی ماند. در واقع ایجاد گرادیان های دما در سیال باعث برقراری حرکت در آن می شود. سیال مجاور سطح گرم در اثر گرم شدن سبک شده و به سمت بالا حرکت کرده و سیال سرد از دور دست جایگزین آن می شود. بدین ترتیب حرکتهای چرخشی در داخل لایه هوایی محبوس بین دو شیشه ایجاد می گردد. این حرکتهای بر نرخ اتلاف گرما از پنجره تاثیر دارند [۴-۶].

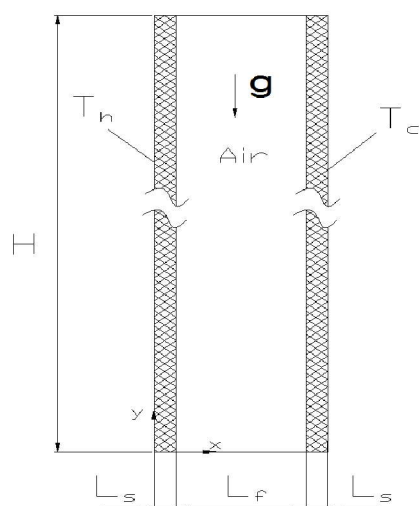


شکل ۱- شمایی از یک پنجره دو جداره

در این مقاله سعی می شود با در نظر گرفتن انتقال حرارت هدایتی در دو لایه شیشه و جابه جایی آزاد در فاصله بین آنها، میزان تلفات حرارتی از پنجره های دو جداره را محاسبه کنیم. هدف اصلی در اینجا مطالعه اثر حرکت های سیال و تغییر نوع گاز بین دو شیشه بر اتلافات حرارتی است. این محاسبات با صرف نظر از انتقال حرارت تشعشعی بوده و سطح خارجی شیشه ها در دمای ثابت فرض می شوند. نتایج به ازای اختلاف دماهای مختلف دو طرف پنجره و فواصل مختلف لایه های شیشه استخراج می شوند.

بیان مسئله و روش حل

با صرف نظر از اثرات بعد سوم، پنجره را به صورت محفظه ای دو بعدی مطابق شکل ۲ در نظر می گیریم. این محفظه از دو لایه شیشه ای به ضخامت $L_s = 5 \text{ mm}$ ، که توسط فاصله ای از یکدیگر جدا شده اند، تشکیل شده است. ارتفاع پنجره برابر $H = 0.5 \text{ m}$ و بعد عمود بر صفحه برابر واحد است. سطوح بالا و پایین را عایق فرض کرده و دمای دیواره های خارجی شیشه ها را به صورت یکنواخت T_c و T_h در نظر می گیریم.



شکل ۲- تصویر شماتیک پنجره دو جداره

جهت تحلیل مسئله لازم است که معادله هدایت انرژی در داخل شیشه ها و معادلات پیوستگی، ممنتوم و انرژی در داخل سیال بین آنها حل شوند. این معادلات با فرض جریان دو بعدی آرام برای گازهای هوا، آرگون و کریپتون به روش عددی حل شده و به توزیع دما در شیشه ها و گازها بدست آمده اند. معادلات فوق و جزئیات روش حل در مرجع [۷] آورده شده است. پس از معلوم شدن توزیع دما، برای محاسبه نرخ تبادل حرارت پنجره کفیسست از قانون فوریه روی یکی از سطوح عمودی محفظه استفاده نمود. این نرخ انتقال حرارت کل بر واحد طول پنجره عبارت است از:

$$Q = -k_s \int_0^H \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)_{x=0} dy \quad (1)$$

که در این رابطه k_s ضریب هدایت شیشه است.

همان گونه که قبلاً اشاره شد، اگر هوای بین دو جداره ساکن فرض شود، می توان با فرض هدایت یک بعدی در کل پنجره اتلافات حرارتی را تخمین زد. در این شرایط با استفاده از مقاومت های حرارتی نرخ اتلاف گرما از واحد طول پنجره عبارتست از:

$$Q_c = \frac{T_h - T_c}{\frac{2L_s}{k_s H} + \frac{L_f}{k_f H}} \quad (2)$$

که H ارتفاع پنجره و k_f ضریب هدایت هوا است.

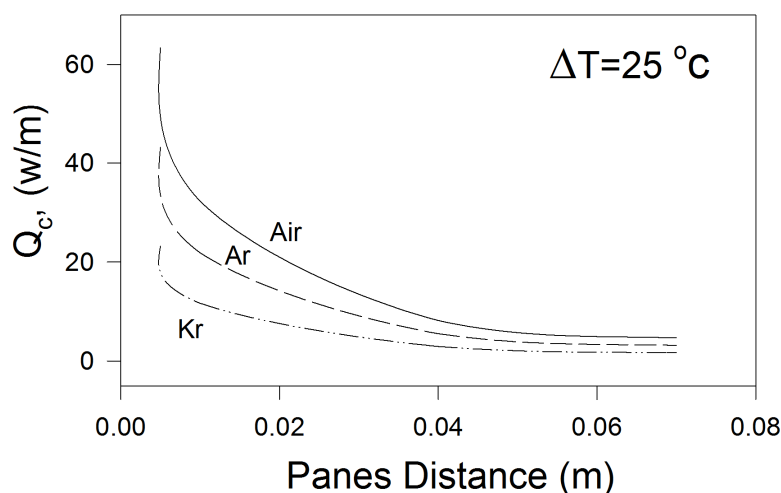
نتایج

خواص به کار رفته در محاسبات برای شیشه و گازهای هوا (Air)، آرگون (Ar) و کریپتون (Kr) در جدول ۱ آورده شده است. محاسبات برای سه مقدار اختلاف دمای داخل و خارج پنجره برابر با $\Delta T = T_h - T_c = 5, 25, 50 \text{ }^\circ\text{C}$ و فاصله بین شیشه های برابر با $L_f = 5 \text{ mm}$ الی $L_f = 70 \text{ mm}$ انجام شده است. نتایج بدست آمده از این بررسی ها در شکل های ۳ الی ۶ ارائه شده است.

جدول ۱- خواص ترموفیزیکی شیشه و گازهای مورد بررسی

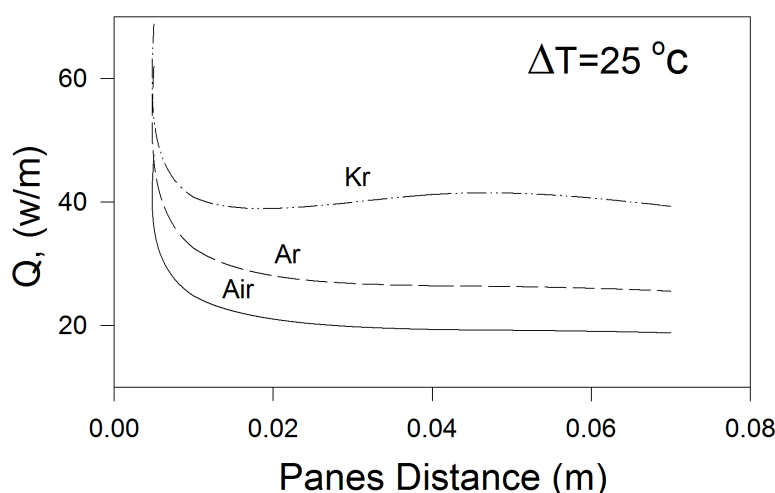
لزجت ($v \times 10^5$) m^2/s	گرمای ویژه $J/kg.K$	جرم حجمی kg/m^3	ضریب هدایت $W/m.K$	
-	750	2500	1.4	شیشه
1.589	1007	1.161	0.0263	هوا
1.410	517	1.624	0.0177	آرگون
0.673	248	3.743	0.0094	کریپتون

شکل ۳ تغییرات اتلافات حرارتی، Q_c ، با فاصله بین شیشه ها را برای گازهای مختلف نشان می دهد. این نمودار با فرض ساکن بودن گاز بین شیشه ها و بر اساس انتقال حرارت هدایتی (معادله ۲) استخراج شده اند. نمودارهای فوق به ازای اختلاف دمای داخل و خارج برابر با $\Delta T = 25^\circ C$ رسم شده اند. افزایش فاصله بین شیشه ها باعث کاهش اتلافات حرارتی برای کلیه گازها می شود. همان طور که دیده می شود، افزایش این فاصله از چهار سانتیمتر به بالا عملاً تأثیر چندانی بر کاهش تلفات حرارتی ندارد. علاوه بر اینکه به ازای کلیه فاصله ها، ابتدا گاز کریپتون و سپس گاز آرگون دارای تلفات کمتری می باشند.



شکل ۳- تغییرات اتلافات حرارتی هدایتی با فاصله بین لایه های شیشه برای گازهای مختلف

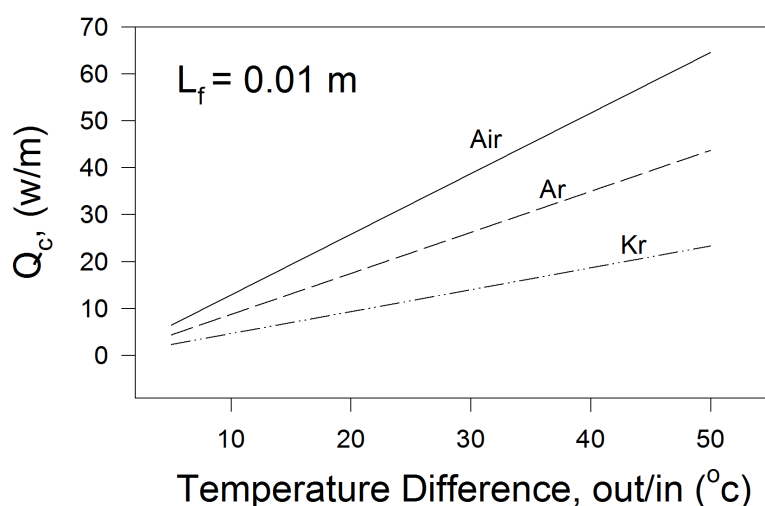
اگر حرکت‌های جابه‌جایی آزاد سیال بین شیشه‌ها نیز در نظر گرفته شود، رفتار متفاوتی به چشم می‌خورد. در شکل ۴ تغییرات اتلافات حرارتی با در نظر گرفتن حرکت‌های درون‌گاز، Q ، رسم شده است. در این حالت از حل معادلات حاکم، به روش حل عددی، توزیع دما و در نتیجه نرخ انتقال حرارت (معادله ۱) محاسبه شده است. همان‌طور که دیده می‌شود، اگر چه در اینجا نیز برای کلیه گازها با افزایش فاصله بین جداره‌ها نرخ تلفات حرارتی، کاهش می‌یابد، لیکن رفتار گازها متفاوت است. به عبارتی در اینجا استفاده از هوا شرایط مناسبتری ایجاد کرده و نرخ تلفات را کاهش می‌دهد.



شکل ۴- تغییرات اتلافات حرارتی با فاصله بین لایه‌های شیشه برای گازهای مختلف با در نظر گرفتن انتقال حرارت جابه‌جایی آزاد

علت این امر می‌تواند ناشی از تاثیر لزجتهای گازها بر حرکت‌های جابه‌جایی باشد. در حرکت‌های جابه‌جایی آزاد عدد ریلی، $Ra = \frac{g\beta\Delta TL^3}{\nu\alpha}$ ، معرف شدت جریان است. β ضریب انبساط حجمی حرارتی هر سه گاز تقریباً برابر بوده و صورت کسر ثابت است. مخرج کسر نیز حاصلضرب ضریب لزجت در ضریب پخش حرارتی، $\nu\alpha$ ، در مورد آرگون بیشتر از کریپتون و هوا بیشتر از دو تای دیگر است. بنابراین عدد ریلی هوا کمتر از دو تای دیگر بوده و جریان‌های ضعیفتری در آن برقرار

می شود. این امر باعث کاهش تبادل حرارت جابه جایی آزاد بین دو طرف می شود [۸]. به همین دلیل رفتار شکل ۴ در خصوص نقش گازها با رفتار شکل ۳ متفاوت است. البته باید مد نظر داشت که در بررسی فوق از اثر تشعشعی صرف نظر شده است.

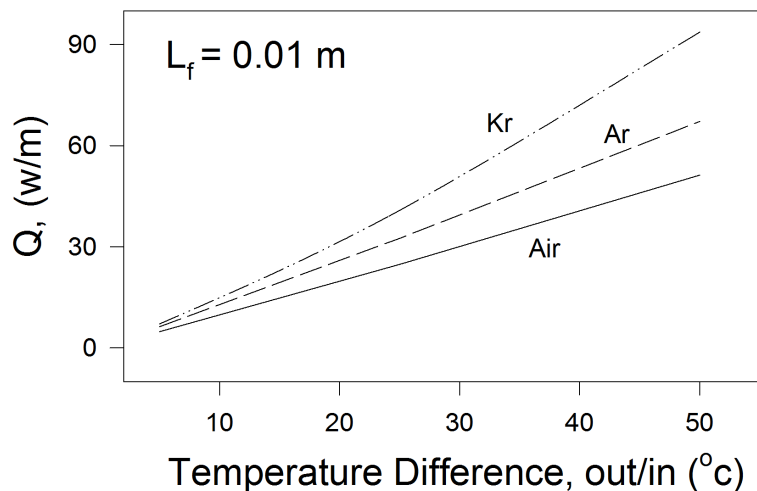


شکل ۵- تغییرات اتلافات حرارتی هدایتی با اختلاف دمای دو طرف پنجره برای گازهای مختلف

در شکل‌های ۵ و ۶ به ازای فاصله ثابت بین جداره‌ها داخل و خارج ($L_f = 1 \text{ cm}$) اثر تغییرات اختلاف دمای بین داخل و خارج بر نرخهای تبادل حرارت Q_c و Q رسم شده است. در هر دو شکل تغییرات تقریباً خطی بوده و با افزایش اختلاف دماهای داخل و خارج، $T_h - T_c$ ، اتلافات حرارتی زیاد می شوند. در اینجا نیز بدون در نظر گرفتن حرکت‌های درون گاز، کریپتون شرایط مناسبتری برای کاهش تلفات حرارتی نشان می دهد. ولی در حضور حرکت‌های سیال هوا مناسبتر است.

نتیجه گیری

در این بررسی اجمالی اثر گاز مورد استفاده در پنجره‌های دو جداره مطالعه گردید. محاسبات یکبار بدون در نظر گرفتن حرکت‌های جابه جایی آزاد سیال بین شیشه‌ها، یعنی با فرض انتقال حرارت هدایتی، و یکبار با در نظر گرفتن این حرکت‌ها انجام گرفت. وجود حرکت‌های جابه جایی تاثیر زیادی بر



شکل ۶- تغییرات اتلافات حرارتی با اختلاف دمای دو طرف پنجره برای گازهای مختلف با در نظر گرفتن انتقال حرارت جابه جایی آزاد

نتایج می گذارد. به گونه ای که تاثیر نوع گاز بر اتلافات حرارتی در دو روش، متفاوت ظاهر می شود. البته باید توجه داشت که تنها اضافه کردن حرکتیهای جابه جایی آزاد در گاز هنوز مدل کاملی از مسئله نیست. به نظر می رسد اثرات تشعشی گازها و جداره ها با توجه به پایین بودن نرخهای تبادل حرارت می توانند تاثیر قابل توجهی بر رفتار سیستم داشته باشد. لذا اعلام نظر قطعی منوط به تحلیل کامل مسئله، که در آن همه مکانیزمهای انتقال حرارت هدایتی، جابه جایی و تشعشی مد نظر قرار گرفته باشد، است.

مراجع

- 1- H. Bulow-Hube, "A breakthrough for coated glazing in Sweden," *Energi och Miljo*" no 2, 2002.
- 2- A. G. Wilson and W. P. Brown, "Thermal characteristics of double windows," <http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/cbd/cbd058e.html>
- 3- M. Gilberg, et. al., "Analyzing the impact of protective glazing on stained glass windows," *Studies in Conservation*, Vol. 48, pp. 1-12, 2002.

- 4- D. M. Webb, et. al., "Analysis of natural convection in vertically-vented enclosures," *International Journal of Mass Transfer*, Vol. 34, pp. 3037-3045, 1991.
- 5- A. Kumar, et. al., "Evolution to chaotic natural convection in a rectangular enclosure with mixed boundary conditions," *Numerical Heat Transfer, Part A*, Vol. 34, pp. 447-462, 1998.
- 6- X. Chi and J. M. Khodadadi, "Laminar natural convection heat transfer in a differentially heated square cavity due to a thin fin on hot wall," *Journal of Heat Transfer*, Vol. 125, pp. 624-634, 2003.

۷- بهزاد قاسمی و حسن خالقی .؛ پیش بینی اثر فاصله هوایی بر میزان اتلاف گرما از پنجره های دو جداره، ؛ اولین کنفرانس اکوانرژی ایران، دانشگاه ارومیه، ۱۳۸۳.

- 8- F. P. Incropera and D. P. Dawitt " Introduction to heat transfer," *John Wiley & Sons, New York*, 1996.