



مطالعه تجربی تأثیر درزبندهای نوین بر نرخ نفوذ هوا و ارائه روابط محاسبه نفوذ هوا از درب‌ها و پنجره‌ها

دانیال حکیمی راد¹، مهدی معرفت^{2*}، بهروز محمد کاری³

- 1- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
 - 2- استاد، مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
 - 3- استادیار مهندسی عمران، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران
- * تهران، صندوق پستی 14115-111، maerefat@modares.ac.ir

چکیده

مطالعه نفوذ هوا و هواپندگی ساختمان از چند دیدگاه همچون مصرف انرژی، کیفیت هوا، آسایش حرارتی و ورود آلودگی به ساختمان اهمیت بسیاری دارد. در این پژوهش، به صورت تجربی تأثیر عملکرد درزبندهای نوین بر نرخ نفوذ هوا از درز درب و پنجره‌ها بررسی شده است. بدین منظور درزهایی براساس درب و پنجره‌های رایج در ایران شبیه‌سازی شد و با نصب 8 نوع نوار درزبند مختلف با جنس و سطح مقطع‌های متفاوت درون این درزها، نرخ نفوذ هوا در اختلاف فشارهای مختلف بدست آمده است. اهداف انجام این پژوهش، بررسی عملکرد هواپندگی درزبندهای مختلف جهت انتخاب بهتر و مناسب درزبندها و همچنین ارائه نتایج کلی نرخ نفوذ هوا از درب و پنجره‌های درزبندی شده خصوصاً پنجره‌های جدید ساختمانی برای مهندسين طراح است. نتایج نشان می‌دهد که درزبندهای مختلف عملکرد هواپندگی متفاوتی دارند. این تفاوت در اختلاف فشارهای زیاد تا 6 برابر نیز می‌رسد. نتایج با استفاده از رابطه معروف توانی برازش شد و ضرایب این معادله برای حالت متوسط محاسبه گردید. در بخش آخر مقاله توصیه‌هایی کاربردی از نتایج ارائه شده که می‌تواند مرجع دقیق و سریعی برای محاسبات نرخ نفوذ هوا از درب‌ها و پنجره‌ها باشد.

کلیدواژگان: نفوذ هوا، شبیه‌سازی تجربی، درزبندی، هواپندگی، درب و پنجره

Experimental study on the effect of modern gaskets on air infiltration rate and offer relations for calculating air infiltration of doors and windows

Danial HakimiRad¹, Mehdi Maerefat^{1*}, Behrouz Mohammad Kari²

- 1- Department of Mechanical Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
2- Energy, Acoustic & Light Department of Road, Housing & Urban Development Research Center (BHRC), Tehran, Iran
* P.O.B. 14115-111, Tehran, maerefat@modares.ac.ir

ABSTRACT

Study of air infiltration in a building is highly important from several aspects, such as energy, air quality, thermal comfort and pollution entrance to the building. In this paper, the effect of new gaskets on air infiltration rate of doors and windows was investigated. To do this, existed gaps between the common doors and windows of Iran were simulated and by installing eight various gaskets, with different material and cross sections, the air infiltration rates at different pressure differences were obtained. The objective of this study was to evaluate the airtight performance of different gaskets, in order to select the right type, as well as providing air infiltration rate data for caulking doors and windows for designer engineers. Results showed different airtight performance for various gaskets, in which, at higher pressures differences could reach up to six times. Data were fitted to the power-law model and the coefficients of the equation were obtained. Based on the results, practical recommendations for calculation of air infiltration rate from doors and windows were also given.

Keywords: Air infiltration, Experimental simulation, Air sealing, Air tightness, Door and window

1- مقدمه

عوامل ذکر شده، به وضع و محل قرارگیری شکاف‌ها و منافذ، کیفیت ساخت و قدمت ساختمان، شرایط آب و هوایی محیط و هندسه‌ی ساختمان نیز بستگی دارد [2].

مطالعه نفوذ هوا به داخل ساختمان‌ها از چند دیدگاه دارای اهمیت است که از جمله آن‌ها می‌توان به مصرف انرژی، طراحی سیستم‌های تهویه مطبوع، کیفیت هوای داخل و آسایش حرارتی، و همچنین جلوگیری از نفوذ ذرات، آلودگی، صدا و رطوبت [3] اشاره کرد. از این‌رو با توجه به اهمیت بحث نفوذ هوا و هواپندگی ساختمان، تحقیقاتی در این مورد انجام شده است.

رلاندر [4،5]، به‌طور تجربی تأثیر روش‌های مختلف درزبندی پنجره در نفوذ هوا از ساختمان‌های چوبی را بررسی کرد. او با آزمایش بر روی پنجره‌ها

به جریان هوای ورودی کنترل نشده از خارج به داخل ساختمان که از طریق شکاف‌ها، منافذ، بازشوهای غیر عمد و استفاده‌ی عادی از درب‌های بیرونی، هنگام ورود و خروج اتفاق می‌افتد نفوذ هوا¹ و اگر جریان هوا از داخل ساختمان به خارج باشد به آن نفوذ هوا² می‌گویند [1].

عامل اصلی نفوذ یا نفوذ هوا، اختلاف فشار بین داخل و خارج ساختمان است این اختلاف فشار ممکن است ناشی از برخورد باد به پوسته خارجی ساختمان، اثر دودکشی³ و یا تهویه مکانیکی باشد. البته نفوذ هوا، علاوه بر

¹ Infiltration

² Exfiltration

³ Stack effect

Please cite this article using:

D.HakimiRad, M.Maerefat, B.Mohammad Kari, Experimental study on the effect of modern gaskets on air infiltration rate and offer relations for calculating air infiltration of doors and windows, *Modares Mechanical Engineering, Proceedings of the Second International Conference on Air-Conditioning, Heating and Cooling Installations*, Vol. 16, No. 13, pp. 32-37, 2016 (in Persian فارسی)

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

2- شبیه‌سازی تجربی

2-1- دسته‌بندی انواع درز و نام‌گذاری ابعاد درزها

مرسوم‌ترین روش دسته‌بندی درزها، براساس هندسه مسیر عبور هوا از درز است [12,11]. بر این اساس درزها به 5 دسته کلی تقسیم‌بندی می‌شوند که عبارت‌اند از: درز مستقیم، L شکل، Z شکل، U شکل و W شکل. با توجه به این‌که اکثر درزهای رایج در درب و پنجره‌های متداول ایران از نوع درزهای مستقیم و Z شکل است؛ لذا در پژوهش حاضر این درزها مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. درزها دارای سه بعد عمق، ارتفاع و طول می‌باشند. کوچک‌ترین بعد درز ارتفاع درز نامیده شده و با h مشخص می‌شود. بعدی که در راستای جریان هوای نفوذی است عمق درز نامیده و با d مشخص می‌شود. و بعد دیگر درز که خیلی بزرگتر از دو بعد ارتفاع و عمق است طول درز نامیده شده و با l مشخص می‌شود. نام‌گذاری ابعاد مختلف درزهای مستقیم و Z شکل در "شکل 1" آمده است. در این شکل طول درز در راستای عمود بر صفحه است.

2-2- دستگاه آزمایش

دستگاه آزمایش از دو بخش کلی تشکیل می‌شود. بخش اصلی شامل محفظه فشار، فن و سنسورهای اندازه‌گیری می‌شود که این دستگاه طبق استاندارد ملی ایران شماره 7822 تحت عنوان "درها و دیوارهای پرده‌ای و پنجره‌های ساختمانی، تعیین میزان نفوذ هوا- روش آزمون" برای اندازه‌گیری نرخ نفوذ هوا از پنجره‌ها، ساخته شده و در آزمایشگاه مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی از آن استفاده می‌شود. این دستگاه می‌تواند به وسیله تنظیم دور فن، اختلاف فشارهای مختلف را ایجاد کند.

بخش دیگر دستگاه که مختص این پژوهش طراحی و ساخته شده است شامل یک محفظه کوچک مجهز به پایه نگهدارنده است که به محفظه اصلی فشار متصل می‌شود. پایه نگهدارنده وظیفه تنظیم پروفیل‌های آزمون در شرایط ابعادی بسیار دقیق را دارد. بدین منظور این پایه نگهدارنده به دو ساعت اندازه‌گیری با دقت یک صدم میلی‌متر مجهز است و پروفیل‌ها را به صورت دقیق و کنترل شده طوری مقابل هم نگه می‌دارد که درز مطلوب به طور صحیح شبیه‌سازی شود. همچنین پروفیل‌ها طوری ساخته شدند که توانایی نصب درزبندها به طور متعارف روی آنها وجود داشته باشد. شماتیک کلی المان‌های دستگاه اعمال اختلاف فشار و تصویر واقعی پایه نگهدارنده به ترتیب در "شکل‌های 2 و 3" نشان داده شده‌اند.

2-3- روش انجام آزمایش

ابتدا پروفیل‌ها به‌صورت گونیا و تراز بر روی پایه نگهدارنده نصب می‌شوند. سپس نوارهای درزبند در جای مخصوص روی پروفیل‌ها قرار می‌گیرند. با

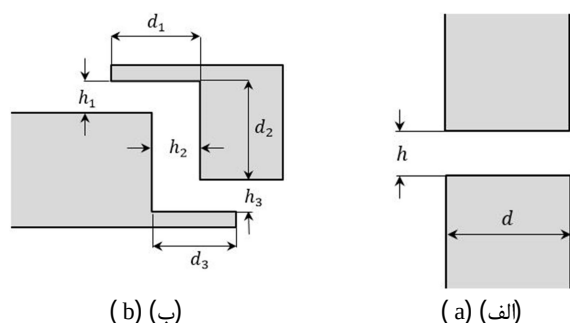


Fig. 1 Schematic of gaps dimensions. a) Straight gap. b) Z shape gap

شکل 1 شماتیک ابعاد درزها. (الف) درز مستقیم. (ب) درز Z شکل

در چند ساختمان متفاوت به این نتیجه رسید که طراحی ساختمان نقش بسزایی در میزان نفوذ دارد. در یک ساختمان با شرایط مطلوب، نفوذ هوا تا 24 درصد نسبت به حد متوسط کاهش و برای یک ساختمان نامطلوب 16 درصد افزایش دارد. همچنین با اعمال روش‌های مختلف درزبندی نشان داد که درزبندی با نوار درزگیر بهترین عملکرد را دارد.

حاسونه و همکاران [6] رایج‌ترین پنجره‌های مورد استفاده در ساختمان‌های مسکونی عمان را به روش عددی شبیه‌سازی کردند. انتخاب‌های آنها شامل انواع مختلف بازشو پنجره و درزهای متفاوت بود. نتایج آنها نشان داد که پنجره با بازشو کشویی بدترین عملکرد را از نظر نفوذ دارد و پنجره لولایی دوطرفه را به عنوان بهترین عملکرد نفوذ هوا توصیه کردند.

برخی از طراحان معتقدند نفوذ هوا از درزها و منافذ ساختمان باعث افزایش کیفیت هوا و تأمین هوای تازه مورد نیاز برای تنفس می‌شود که خصوصاً در فصول سرد و با کرکرد وسایل احتراقی ضروری است. در مرجع [7] نشان داده شده که همزمان با کرکرد وسایل احتراقی، تهویه هوا فقط به واسطه نفوذ هوا از درزهای درب و پنجره کافی نیست و برای تأمین هوای لازم برای تنفس نیاز به دریچه هوا می‌باشد.

علاوه بر انتخاب روش مناسب هوابندی، محاسبه نرخ نفوذ هوا از انواع درب و پنجره‌ها نیز از دیدگاه طراحی تأسیساتی ساختمان اهمیت دارد. در مراجع مختلف تأسیساتی، مقادیر و جداولی برای این منظور آورده شده است. یکی از مهمترین و معتبرترین این مراجع اشری¹ [1] است. در این مرجع یک رابطه تجربی پیشنهاد داده شده است و مقدار نرخ نفوذ هوا براساس برازش داده‌های تجربی بدست می‌آید و برای ساختمان‌های مختلف متفاوت است.

در مراجع تأسیساتی داخلی نیز جداولی برای استفاده مهندسین طراح ارائه شده است که بعضاً با دقت کم یا بسیار قدیمی هستند و شامل مصالح جدید نمی‌شوند. یکی از مراجع با قدمت زیاد که هنوز مورد استفاده مهندسین زیادی می‌باشد مرجع [8] است. در این کتاب دو روش حجمی و درزی برای محاسبه نفوذ هوا ارائه شده است. روش حجمی براساس تعداد درب و پنجره اتاق مقدار تعویض هوا در ساعت را پیشنهاد می‌دهد که دقت بسیار پایینی دارد. روش درزی نیز براساس هر فوت طول درز و برای انواع مختلف پنجره‌ها مقادیر نفوذ هوا را براساس سرعت باد بیرون ساختمان ارائه داده است. مقادیر و اصطلاحات به‌کار رفته در این جدول برای مصالح قدیمی و همراه با تقریب زیادی است و تعداد حالت‌های کمی را شامل می‌شود.

در مرجع [9] باز هم از دو روش حجمی و درزی استفاده شده است. روش درزی در این مرجع براساس اندازه درز و سرعت باد، مقادیر نفوذ هوا را پیش‌بینی کرده است که بازه اندازه درزها بسیار کم است و شامل تمام درز پنجره‌های رایج در ایران نمی‌شود. همچنین برای پنجره‌های دارای نوار درزگیر نیز اطلاعاتی داده نشده است. با توجه به موارد ذکر شده، وجود مرجعی با نتایج دقیق‌تر و به‌روزتر جهت استفاده مهندسین احساس می‌شود.

مؤلفین مقاله در پژوهش پیشین خود [10] مقادیر نرخ نفوذ هوا از درزهای درب و پنجره‌های رایج ایران (بدون درزبندی) را محاسبه کردند. در این مقاله و در ادامه پژوهش قبلی، با در نظر گرفتن درزبندی درزها با نوارهای درزبند مختلف، اولاً عملکرد هوابندی درزبندهای مختلف بررسی می‌شود؛ ثانیاً جمع‌بندی این نتایج و نتایج پژوهش قبلی مؤلفین می‌تواند مرجعی جامع برای محاسبه نرخ نفوذ هوا از درب و پنجره‌های موجود در ایران باشد. که به-منظور استفاده طراحان تهویه مطبوع و تأسیسات بسیار کاربردی است.

¹ ASHRAE

طرفین آزمون و نرخ جریان ورودی به محفظه آزمایش به حالت پایا رسیدند سرعت هوای عبوری از کانال اندازه‌گیری و ثبت شده و سپس از رابطه (1) برای محاسبه دبی هوای عبوری از کانال استفاده شده است.

$$Q_t = V \times A_{eff} \quad (1)$$

مقدار A_{eff} برابر 17671.46 mm^2 است.

با توجه به این که دستگاه اندازه‌گیری و کانال کشی به‌طور کامل هوا بند نیستند لذا هنگام انجام آزمایش مقداری هوا از دستگاه نشت پیدا می‌کند که به آن دبی هوای نشت اضافی گفته می‌شود. برای تعیین دبی هوای نشتی واقعی از درز باید دبی هوای نشت اضافی محاسبه شود، برای این منظور ارتفاع درز را برابر صفر کرده (درز بین پرفیل‌ها کاملاً هوا بند شده) سپس میزان نشت اضافه در اختلاف فشارهای مختلف اندازه‌گیری و ثبت شده و سپس با استفاده از رابطه (2) دبی هوای نشتی واقعی از درز محاسبه شده است.

$$Q = Q_t - Q_e \quad (2)$$

5-2- نمونه نوارهای درزبند

برای درزبندی درب و پنجره‌ها از نوارهای درزبند بسیار متنوع و گوناگونی توسط سازنده‌های مختلف استفاده می‌شود. به همین دلیل مطالعه درزبندی درب و پنجره‌ها به‌منظور ارائه دستورالعمل کلی محاسبه نرخ نفوذ هوا، باید به گونه‌ای باشد تا نتایج قابل تعمیم به کل درب و پنجره‌های رایج در ایران باشد. ابتدا باید پارامترهای تأثیرگذار بر کارایی درزبندها در هوا بندی تعیین شوند. مهمترین پارامترها شامل: جنس درزبند، شکل مقطع، میزان فشردگی نسبت به حالت اولیه، شکل درز و تعداد درزبندها می‌شود.

در این پژوهش از 8 نوار درزبند مختلف از دو جنس رایج و پرکاربرد و همچنین با سطح مقطع‌های متفاوت استفاده شده است. جنس درزبندها از دو ماده $EPDM^1$ و $TPV-TPE^2$ است. "شکل 4" سطح مقطع و نامگذاری درزبندها را نشان می‌دهد. درزبندهای EPDM با حرف E و جنس دیگر با حرف T نام‌گذاری شده‌اند. با توجه به این که میزان فشردگی درزبندها بین قاب و بازو درب و پنجره می‌تواند بسیار متفاوت باشد، در این پژوهش ضعیفترین حالت هوا بندی یعنی فشردگی صفر در نظر گرفته شده است. این کار به دلیل یکنواخت بودن آزمایشات برای نمونه‌های مختلف انجام شده است. همچنین مطابق "شکل 5" برای درز مستقیم از یک نوار درزبند و برای درز Z شکل از دو نوار درزبند به‌صورت متقارن استفاده شده است.

3- آنالیز خطای آزمایشگاهی

با توجه به این که این پژوهش براساس استاندارد ملی شماره 7822 ایران [13] انجام شده است نیازی به صحت‌سنجی نتایج نیست، ولی چون داده‌ها به

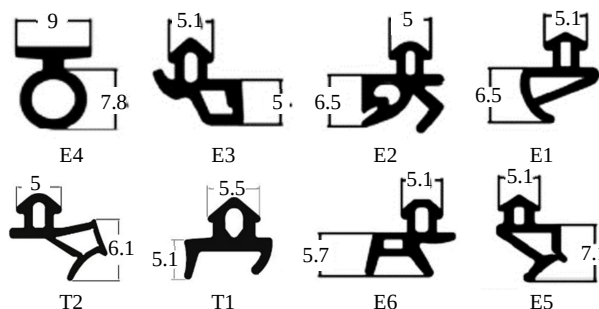


Fig. 4 Section area and named gaskets

شکل 4 سطح مقطع و نام‌گذاری درزبندها

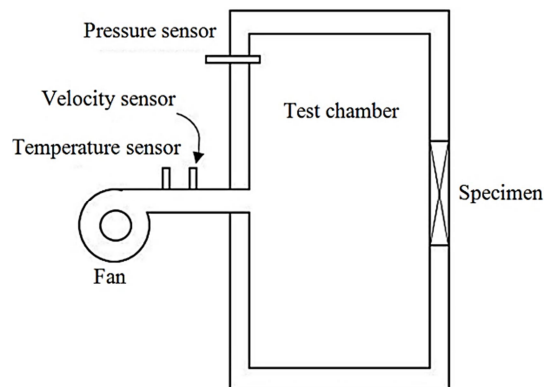


Fig. 2 Schematic of tester device

شکل 2 شماتیک دستگاه آزمایش

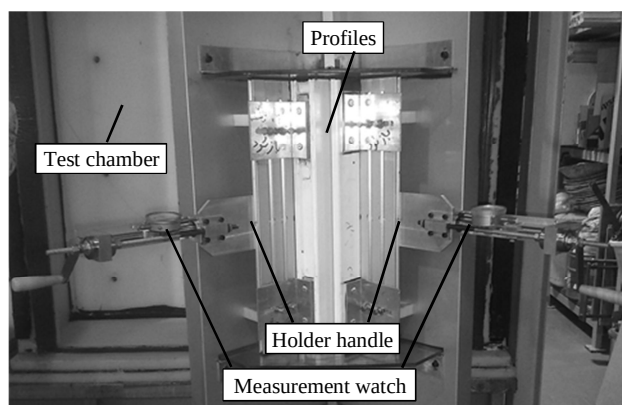


Fig. 3 The actual form of stand profiles

شکل 3 شکل واقعی پایه نگهدارنده پروفیل‌ها

استفاده از دسته‌های تنظیم موقعیت و ساعت اندازه‌گیر، ابعاد درز به‌طور کنترل شده و دقیق تنظیم می‌شود. مؤلفین در پژوهش قبل خود [10] نشان دادند که تأثیر عمق درز در نتایج ناچیز است و همچنین نتایج با طول درز رابطه مستقیم دارد به‌طوری که نتایج برحسب واحد طول (یک متر) درز ارائه می‌شود. بنابراین تنها پارامتر متغیر درزها در این پژوهش، ارتفاع درز می‌باشد که برحسب ارتفاع درزبند (شکل 4) تنظیم می‌شود. لازم به ذکر است که طول پروفیل‌ها و درزبندهای آزمون 0.5 متر است و در نهایت نتایج برای یک متر بیان می‌شود.

در مرحله بعد توسط دستگاه آزمایش به طرفین آزمون اختلاف فشار مناسب اعمال می‌شود. این اختلاف فشار در استانداردهای مختلف متفاوت است ولی در حالت کلی این اختلاف فشار یا مقداری ثابت است و یا به صورت پله‌ای از صفر تا مقدار مشخصی افزایش می‌یابد. در استاندارد ملی ایران و آلمان این اختلاف فشار به‌صورت پله‌ای زیاد می‌شود [13, 14].

چون در تحقیق حاضر آزمایش‌ها براساس استاندارد ملی ایران انجام شده‌اند لذا اختلاف فشارهای آزمون مرحله به مرحله ایجاد و در هر گام برای یک فاصله زمانی مطلوب حفظ شده است تا شرایط به حالت پایدار برسد. اطمینان از حالت پایدار با مشاهده تغییرات سرعت هوای عبوری از کانال و اختلاف فشار طرفین آزمون حاصل می‌شود. به این ترتیب نرخ نفوذ هوا از درزها محاسبه خواهد شد.

4-2- نحوه محاسبه نرخ نفوذ هوا

دبی کل هوای عبوری برابر مجموع دبی عبوری از درز، محفظه آزمایش و سیستم کانال کشی است. که برای محاسبه آن، هنگامی که اختلاف فشار

¹ Ethylene propylene diene monomer

² Thermoplastic vulcanizates-thermoplastic elastomers

حداقل باقی‌مانده‌ها برآزش شده‌اند.

$$Q = c(\Delta P)^n \quad (6)$$

نتایج نرخ نفوذ هوا از درز مستقیم برای نوارهای درزبند مختلف در "شکل 6" نشان داده شده است. در این شکل مقدار توان n کمتر از یک می‌باشد.

در "شکل 6" مشاهده می‌شود که درزبندهای مختلف، کارایی متفاوتی در عملکرد هواپسندی از خود نشان می‌دهند. درزبندهای E1، E2 و E6 عملکرد بهتری در هواپسندی داشته‌اند. با توجه به شکل مقطع آن‌ها می‌توان نتیجه گرفت که وجود یک یا دو زبانه بلند در مقطع درزبند، باعث عملکرد هواپسندی بهتری می‌شود. همچنین عملکرد ضعیف درزبندهای E3 و E4 نشان می‌دهد که درزبندهای حبابی شکل یا شبه حبابی که بدون زبانه‌اند عملکرد ضعیفتری در هواپسندی دارند و بهتر است که از این‌گونه درزبندها برای هواپسندی پنجره استفاده نشود. از نظر جنس درزبندها، تفاوت قابل ملاحظه‌ای بین دو جنس به کار رفته در آزمایش‌ها مشاهده نمی‌شود و هر دو جنس - EPDM و TPV-TPE کارایی مشابهی در هواپسندی دارند. یکی از عوامل دیگری که ممکن است بر نتایج تأثیرگذار باشد، جهت قرارگیری درزبند درون درز است (جهت قرارگیری در برابر جریان هوا). برای بررسی تأثیر این عامل، دو درزبند E1 و E2 در جهت عکس نیز تست شدند که نتایج آن در "شکل 7" نشان داده شده است.

منظور از عبارات راست به چپ و چپ به راست در "شکل 7" جهت جریان هوای نفوذی از کنار درزبند براساس "شکل 4" می‌باشد.

در "شکل 7" مشاهده می‌شود که براساس شکل مقطع درزبند، جهت قرارگیری آن درون درز نیز می‌تواند تأثیرگذار باشد. به‌طوری‌که در درزبند E1 نتایج تا 2 برابر تفاوت دارد. هرچند که همچنان در بازه نرخ هوای نفوذی "شکل 6" قرار می‌گیرد. در درزبند E2 نیز شاهد این هستیم که جهت قرارگیری

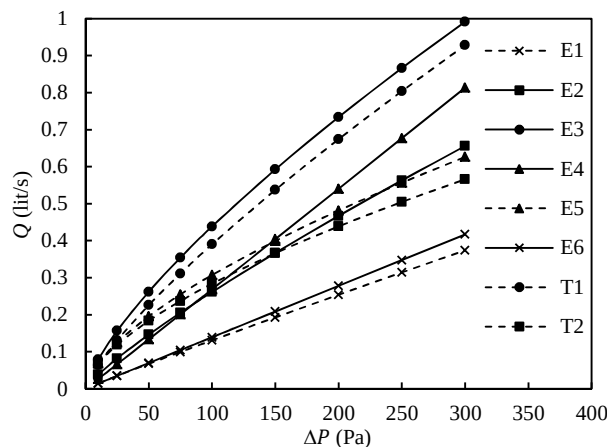


Fig. 6 Air infiltration rate in terms of pressure difference for straight gap

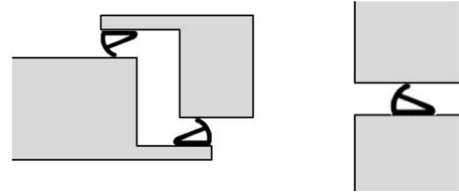


Fig. 5 Gasket placement into gap

شکل 5 نحوه قرارگیری درزبند درون درز

صورت تجربی حاصل شده‌اند و هر دستگاه آزمایشگاهی دارای خطا می‌باشد، بهتر است که آنالیز خطا انجام شود. بدین منظور آزمایش‌ها در برخی موارد چندین مرتبه با شرایط یکسان انجام شد تا بتوان خطای دستگاه را اندازه‌گیری و آنالیز کرد. برای اندازه‌گیری خطا، آزمایش‌ها برای درزبند E1 به تعداد 5 مرتبه تکرار شده و با استفاده از رابطه (1)، مقادیر محاسبه شده برای Q_t آنالیز می‌گردند که در جدول 1 نشان داده شده است.

در جدول 1، مقادیر $\bar{x}$ ، σ و e به ترتیب از روابط (3) تا (5) محاسبه شده‌اند.

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (3)$$

$$\sigma = \left[\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \right]^{1/2} \quad (4)$$

$$e = \frac{\max(x_i) - \min(x_i)}{\bar{x}} \times 100 \quad (5)$$

در جدول 1 مشاهده می‌شود که مقادیر انحراف از معیار و درصد خطا در حد قابل قبولی هستند و به جز دو مورد که اختلاف فشارهای پایین هستند، خطا کمتر از 7 درصد است. در فشارهای کم نیز بدلیل این‌که نفوذ و در نتیجه سرعت هوا بسیار کم است، خطای دستگاه بیشتر شده است. در کل با توجه به کم بودن درصد خطا، می‌توان از صحت داده‌ها در این پژوهش اطمینان داشت.

4- نتایج و بحث

آزمایشات برای درز مستقیم و Z شکل انجام شده است. با آزمایش بر روی درز مستقیم می‌توان کارایی درزبندهای مختلف در هواپسندی را بهتر مورد مقایسه و ارزیابی قرار داد. درز Z شکل نیز رایج‌ترین درز بین قاب و بازو پنجره‌ها است و نتایج کلی نرخ نفوذ هوا براساس این نوع درز ارائه می‌شود. فشارهای پله‌ای اعمال شده در طرفین درز، مقادیر 10، 25، 50، 75، 100، 150، 200، 250 و 300 پاسکال می‌باشد.

4-1- درز مستقیم

مقادیر اندازه‌گیری شده پس از ثبت نیاز به برآزش دارد تا بتوان نتایج با مفهوم از آن دریافت کرد. نتایج با استفاده از رابطه (6) [1] و مطابق با روش

جدول 1 آنالیز خطا برای مقادیر Q_t و درزبند E1

Table 1 Error analysis for Q_t values and E1 gasket

فشار	تست 1	تست 2	تست 3	تست 4	تست 5	$\bar{x}$	σ	e %
10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-
25	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.00	0.00
50	1.06	1.13	1.24	1.24	1.06	1.15	0.09	15.43
75	1.77	1.94	2.12	1.87	1.84	1.91	0.13	18.52
100	2.47	2.65	2.65	2.47	2.47	2.54	0.10	6.94
150	3.71	3.89	3.78	3.68	3.71	3.75	0.08	5.65
200	4.59	4.88	4.59	4.77	4.81	4.73	0.13	5.98
250	5.65	5.83	5.80	5.65	5.65	5.72	0.09	3.09
300	6.36	6.61	6.64	6.54	6.36	6.50	0.13	4.35

نرخ نفوذ هوا از درز درب و پنجره‌ها است، به‌منظور قابل تعمیم بودن نتایج، باید میانگینی از تمامی نتایج نشان داده شده در "شکل‌های 6 و 8" ارائه شود. "شکل 9" میانگین نتایج دو "شکل 6 و 8" می‌باشد و از روی آن می‌توان در مورد نرخ نفوذ هوا در فشارهای مختلف به‌راحتی اظهارنظر کرد. مقادیر ضرایب C و n میانگین مربوط به رابطه (6) نیز در جدول 2 ارائه شده است.

4-4- توصیه‌های کاربردی

در این بخش با دیدگاه صرفاً کاربردی و مهندسی، خلاصه‌ای از نتایج به‌صورت یک دستورالعمل ساده ارائه شده است که مهندسین تهویه مطبوع و تأسیسات می‌توانند از آن برای محاسبه نرخ نفوذ هوا از تمامی درب و پنجره‌های رایج در ایران استفاده کنند. اختلاف فشار درون و بیرون ساختمان به مقدار بسیار زیادی تحت تأثیر فشار باد است، به همین دلیل در محاسبات مهندسی، برآورد نرخ نفوذ هوا براساس سرعت باد صورت می‌گیرد. نتایج برای دو حالت ارائه شده است. حالت اول انواع درز بدون استفاده درزبند و بر اساس اندازه درز که مربوط به پژوهش قبلی مؤلفین است [10]. سه مرحله زیر برای محاسبه سریع و دقیق نرخ نفوذ هوا از طریق درز پنجره‌های ساختمان بدون درزبند پیشنهاد می‌شود:

- 1- اندازه‌گیری ارتفاع درز. اگر چند ارتفاع متفاوت در مسیر عبور جریان بود (h_1, h_2, h_3) از میانگین آن‌ها استفاده شود.
 - 2- برآورد سرعت باد عمود بر دیوارها در اطراف ساختمان.
 - 3- استفاده از جدول 3 برای محاسبه نرخ نفوذ هوا.
- برای درزهای با نوار درزبند (همانند درب و پنجره‌های استاندارد UPVC جدید و ...) از جدول 4 استفاده شود.

5- جمع‌بندی

در پژوهش حاضر، به صورت تجربی و با استفاده از روش و دستگاه استاندارد شماره 7822 ملی ایران، نرخ نفوذ هوا از درز درب و پنجره‌های درزبندی شده به‌وسیله نوار درزبند محاسبه شده است. به‌منظور قابل تعمیم بودن نتایج از 8 نوع درزبند مختلف با ویژگی و شکل‌های متفاوت استفاده شد. نتایج حاصله را می‌توان به صورت زیر خلاصه بیان کرد.

- 1- درزبندهای مختلف عملکرد متفاوتی برای هوابندی از خود نشان دادند که نشان‌دهنده اهمیت انتخاب درزبند مناسب توسط سازنده‌ها است.
- 2- درزبندی درب‌ها و پنجره‌ها تأثیر بسیار زیادی در کاهش نفوذ هوا دارد. به

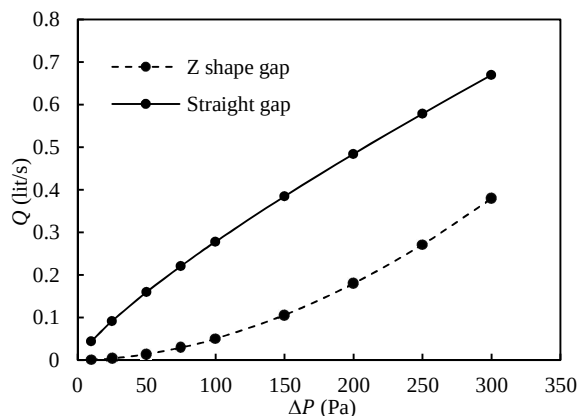


Fig. 9 The average results of air infiltration rate for straight and Z shape gap

شکل 9 میانگین نتایج نرخ نفوذ هوا برای درزهای مستقیم و Z شکل

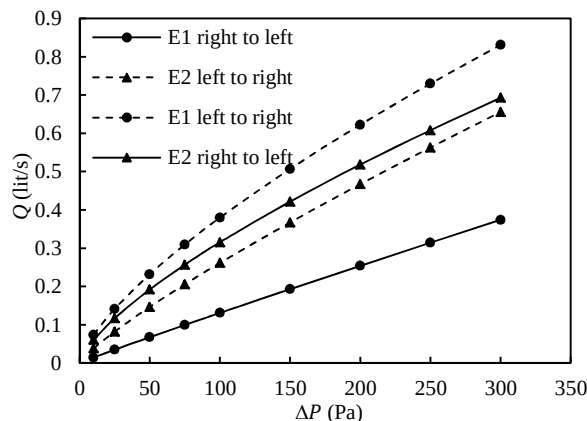


Fig. 7 Air infiltration rate in terms of pressure difference for different orientations gasket

شکل 7 نرخ نفوذ هوا بر حسب اختلاف فشار برای جهت‌گیری‌های متفاوت درزبند
شکل 6 نرخ نفوذ هوا بر حسب اختلاف فشار برای درز مستقیم

قرارگیری تأثیر بسیار کمی در نتایج دارد. در مورد جهت قرارگیری درزبندها در قاب پنجره باید به این نکته توجه شود که درزبندها در جهتی قرار گیرند که با توجه به جهت فشار، هوابندی بهتری انجام شود.

2-4- درز Z شکل

نتایج نرخ نفوذ هوا از درز Z شکل پس از برازش توسط رابطه (6)، در "شکل 8" نشان داده شده است. توجه شود که به دلیل عملکرد یکسان در نفوذ و نشت هوا، درزبندها به صورت قرینه (مطابق شکل 5) نصب شده‌اند. در "شکل 8" مشاهده می‌شود که بازه نرخ نفوذ هوا نسبت به "شکل 6" کاهش یافته است، که البته همین انتظار هم می‌رفت. ترتیب درزبندها از نظر هوابندی کمی تغییر کرده است و درزبند E1 بدترین عملکرد را دارد. همچنین جهت انحنای نمودارها نیز تغییر کرده و مقدار توان n در رابطه (6) بیشتر از یک می‌باشد که می‌توان نتیجه گرفت در اختلاف فشارهای پایین (کمتر 100 پاسکال)، درز Z شکل عملکرد بسیار بهتری نسبت به درز مستقیم دارد. این تحلیل در "شکل 8" به خوبی قابل مشاهده است.

3-4- جمع‌بندی نتایج جهت ارائه رابطه نرخ نفوذ هوا

از آنجایی که یکی از اهداف این پژوهش ارائه دستورالعمل کلی برای محاسبه

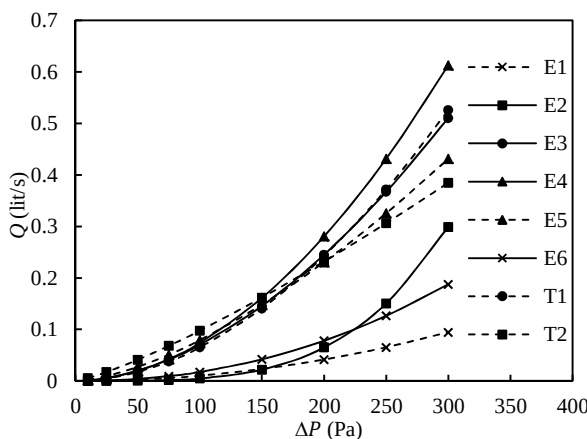


Fig. 8 Air infiltration rate in terms of pressure difference for Z shape gap

شکل 8 نرخ نفوذ هوا بر حسب اختلاف فشار برای درز Z شکل

زیرنویس‌ها

e اضافی (نشتی)
eff مؤثر
i شمارنده
t کلی

7- تقدیر و تشکر

از شرکت زند لاستیک و مدیر عامل این شرکت جناب آقای آرش‌پور به دلیل حمایت و تهیه درزبندهای مورد نیاز در این پژوهش تشکر فراوان داریم.

8- مراجع

- [1] ASHRAE, *Handbook of fundamentals, Chapter 16: ventilation and infiltration, USA Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers*, 2009.
- [2] M. Cook, Y. Ji, G. Hunt, CFD modeling of buoyancy driven natural ventilation opposed by wind, *Ninth International Building performance simulation association conference*, Montreal, Canada, pp. 207-214, 2005.
- [3] C. Chen, B. Zhao, W. Zhau, X. Jiang, Z. Tan, A methodology for predicting particle penetration factor through cracks of windows and doors for actual engineering application. *Building and Environment*, Vol. 47, pp. 339-348, 2012.
- [4] T.O. Relander, J.V. Thue, A. Gustavsen, Air tightness performance of different sealing methods for windows in wood-frame buildings, *8th Nordic Symposium on Building Physics*, Copenhagen, Denmark, 2008.
- [5] T.O. Relander, J.V. Thue, A. Gustavsen, The influence of different sealing methods of window and door joints on the total air leakage of wood-frame buildings, *Proceedings of the Nordic Symposium on Building Physics*, Copenhagen, Denmark, 2008.
- [6] K. Hassouneh, A. Alshboul, A. Al-Salaymeh, Influence of infiltration on the energy losses in residential buildings in Amman, *Sustainable Cities and Society*, Vol. 5, pp. 2-7, 2012.
- [7] Ch. Noroozi, M. Maerefat, S. A. Zolfaghari, Effective use of thermal floating combustion heating appliances in order to control indoor air quality, *Sharif mechanical engineering*, Vol. 29, No. 1, pp. 103-111, 2011. (in Persian فارسی)
- [8] S. M. Tabatabaei, *Building installations calculations: include central heating, air conditioning, water supply and sewage disposal building, construction of gas piping system, quick calculations*, 7th edition, pp. 51-108, Tehran: Roozbahan, 2002. (in Persian فارسی)
- [9] V. Vakiloreaya, *Reference calculations of mechanical building installations*, pp. 473-500, Tehran: Sanei shahmirzadi, 2009. (in Persian فارسی)
- [10] D. HakimiRad, M. Maerefat, B MohammadKari, H Rasouli, Field study of gap dimensions around conventional doors and windows in Iran and relations for calculating air infiltration of them, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 16, No. 7, pp. 83-92, 2016. (in Persian فارسی)
- [11] P. H. Baker, S. Sharples, I.C. Ward. Air flow through cracks, *Building and Environment*, Vol. 22, No. 4, pp. 293-304, 1987.
- [12] I. S. Walker, D. J. Wilson, M. H. Sherman, A comparison of the power law to quadratic formulations for air infiltration calculations, *Energy and Buildings*, Vol. 27, No. 3, pp. 293-299, 1998.
- [13] Iranian national standard, doors and curtain walls and windows of the building, to determine the air infiltration – test method, (Standard number 7822), 1382. (in Persian فارسی)
- [14] DIN, Windows and doors, air permeability – test method, *Standard DIN EN 1026*, 2000.
- [15] J. R. Taylor, *An introduction to error analysis: The study of uncertainty in physical measurements*, Mill Valley, California: Anonymous University Science Books, 1982.

جدول 2 مقادیر ضرایب c و n میانگین مربوط به رابطه (6)

Table 2 Values of coefficients average c , n about relate 6

n	c	
0.800	6.98E-03	درز مستقیم
1.841	1.04E-05	درز Z شکل

جدول 3 نرخ نفوذ هوا (lit/s) به ازای یک متر طول برای درزهای فاقد درزبند [10]

Table 3 Air infiltration rate (lit/s) in terms of one meter of gap's length for gaps without gasket [10]

اندازه درز (mm)	سرعت باد (m/s)	
12	10	8
3.4	2.6	1.8
10.3	8.3	6.4
16.7	13.7	10.8
22.9	19	15
29.1	24.1	19.2
35.1	29.2	23.2
41.1	34.2	27.3
47.1	39.2	31.3
53.1	44.2	35.3
59.1	49.2	39.3
		6
		4
		2
		0.2
		0.9
		2
		3.2
		4.3
		5.4
		6.5
		7.5
		8.6
		10.2

جدول 4 نرخ نفوذ هوا (lit/s) به ازای یک متر طول درز برای درزهای دارای درزبند

Table 4 Air infiltration rate (lit/s) in terms of one meter of gap's length for sealed gaps

سرعت باد (m/s)	20	18	16	14	12	<10
نرخ نفوذ هوا (lit/s)	0.37	0.18	0.12	0.07	0.04	0

طوری که از هر متر درز دارای درزبند، هوا کمتر از 0.05 لیتر بر ثانیه در اختلاف فشارهای معمول نفوذ می‌کند.

3- ضرایب لازم برای برآورد نرخ نفوذ هوا از انواع درزهای موجود در درب و پنجره‌های رایج ایران بدست آمد.

4- توصیه‌های کاربردی جهت استفاده مهندسين تأسیسات برای برآورد نرخ نفوذ هوا از درب‌ها و پنجره‌ها ارائه شد.

6- فهرست علائم

A	مساحت (mm^2)
c	ضریب ثابت معادله توانی ($\text{lit}^3\text{s}^{-1}\text{Pa}^{-n}$)
d	عمق (mm)
e	خطا (%)
h	ارتفاع (mm)
l	طول (mm)
N	تعداد داده‌ها
n	ضریب توان در معادله توانی
P	فشار (Pa)
Q	دبی حجمی ($\text{lit}^3\text{s}^{-1}$)
x	مقدار داده
$\bar{x}$	میانگین
V	سرعت (ms^{-1})

علائم یونانی

σ