



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

دانیال حکیمی راد<sup>۱</sup>، مهدی معرفت<sup>۲\*</sup>، بهروز محمد کاری<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

۲- استاد، مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

۳- استادیار مهندسی عمران، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران

\* تهران، صندوق پستی ۱۴۱۱۵-۱۱۱، maerefat@modares.ac.ir

### چکیده

مطالعه نفوذ هوا و هوابندی 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 درب و پنجره‌ها بررسی شده است. بدین منظور درزهایی براساس درب و پنجره‌های رایج در ایران شبیه‌سازی شد و با نصب ۸ نوع نوآور 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 هوابندی درزبندهای مختلف جهت انتخاب بهتر و مناسب درزبندها و همچنین ارائه نتایج کلی نرخ نفوذ هوا از درب و پنجره‌های درزبندی شده خصوصاً پنجره‌هایی که درزبندی شده ساختمانی برای مهندسین طراح است. نتایج نشان می‌دهد که درزبندهای مختلف عملکرد هوابندی متفاوتی دارند. این تفاوت در اختلاف فشارهای زیاد تا ۶ برابر نیز می‌رسد. نتایج با استفاده از رابطه معروف توانی برآشش شد و ضرائب 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.

کلید واژگان: نفوذ هوا، شبیه‌سازی تجربی، درزبندی، هوابندی، 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 HakimiRad<sup>1</sup>, Mehdi Maerefat<sup>1\*</sup>, Behrouz Mohammad Kari<sup>2</sup>

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

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 [۲].

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 [۳] اشاره کرد. از این‌رو با توجه به اهمیت بحث نفوذ هوا و هوابندی ساختمان، تحقیقاتی در این مورد انجام شده است.

رلاندر [۵,۴]، به طور تجربی تأثیر روش‌های مختلف درزبندی پنجره در نشت هوای 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، بازشویی‌های غیر عمد و استفاده‌ی عادی از درب‌های بیرونی، هنگام ورود و خروج اتفاق می‌افتد نفوذ هوا<sup>۱</sup> و اگر جریان هوا از داخل ساختمان به خارج باشد به آن نشت هوا<sup>۲</sup> می‌گویند [۱].

عامل اصلی نفوذ یا نشت هوا، اختلاف فشار بین داخل و خارج ساختمان است این اختلاف فشار ممکن است ناشی از برخورد باد به پوسته خارجی ساختمان، اثر دودکشی<sup>۳</sup> و یا تهویه مکانیکی باشد. البته نفوذ هوا، علاوه بر

<sup>1</sup> Infiltration

<sup>2</sup> Exfiltration

<sup>3</sup> Stack effect

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

## 2- شبیه‌سازی تحریبی

### 2-1- دسته‌بندی انواع درز و نام‌گذاری ابعاد درزها

مرسوم ترین روش دسته‌بندی درزها، براساس هندسه مسیر عبور هوا از درز است [12,11]. بر این اساس درزها به ۵ دسته کلی تقسیم‌بندی می‌شوند که عبارت‌اند از: درز مستقیم، L شکل، Z شکل و W شکل. با توجه به این که 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 درزهای اندود درز نامیده شده و با  $h$  مشخص می‌شود. بعدی که در راستای جریان هوا 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 "دراها 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 آزمونه 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 مقبال هم نگه میدارد که درز مطلوب به طور صحیح شبیه‌سازی شود. همچنین پروفیل‌ها طوری ساخته شدند که توانایی نصب درزبندها به طور متعارف روزی آنها وجود داشته باشد.

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

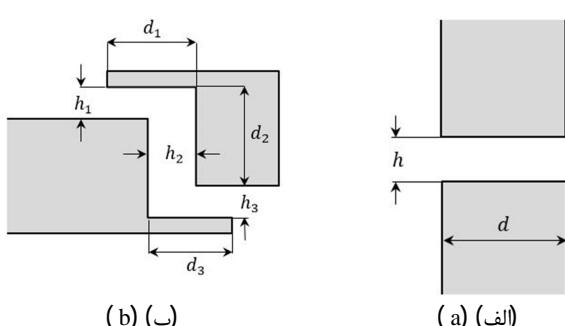


Fig. 1 Schematic of gaps dimensions. a) Straight gap. b) Z shape gap

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 مختلف درزبندی نشان داد که درزبندی با نوار درزگیر بهترین عملکرد را دارد.

حسونه و همکاران [6] رایج‌ترین پنجره‌های مورد استفاده در ساختمان-های 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 لوایی 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 کارکرد وسایل احتراقی ضروری است. در مرجع [7] نشان داده شده که همزمان با کارکرد وسایل احتراقی، تهویه هوا فقط به واسطه نفوذ هوا از درزهای درب و پنجره کافی نیست و برای تأمین هوا لازم برای تنفس نیاز به دریچه هوا می‌باشد.

علاوه بر انتخاب روش مناسب هوبندی، 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 معتربرترین این مراجع اشری<sup>1</sup> [1] است. در این مرجع یک رابطه تجربی پیشنهاد داده 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 سیار قدیمی هستند و شامل مصالح جدید نمی‌شوند. یکی از مراجع با دقت 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 به کار 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 دقیق تر 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 هوبندی درزبندهای مختلف بررسی می‌شود؛ ثانیاً جمع‌بندی این نتایج و نتایج پژوهش قبلی مؤلفین می‌تواند مجموعی 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.

<sup>1</sup> ASHRAE

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

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

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

با توجه به این که دستگاه اندازه‌گیری و کanal کشی به طور کامل هوابند 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 پروفیل‌ها کاملا هوابند 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 به منظور 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 هوابندی تعیین شوند. مهمترین پارامترها شامل: جنس درزبند، شکل مقاطعه، میزان فشردنی 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 مقاطعه‌ای متفاوت استفاده شده است. جنس درزبندها از دو ماده<sup>1</sup> EPDM و TPV-TPE<sup>2</sup> است. "شکل 4" سطح مقاطعه 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 فشردنی درزبندها بین قاب و بازشو درب و پنجره می‌تواند بسیار متفاوت باشد، در این پژوهش ضعیفترین حالت هوابندی یعنی فشردنی 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 به صورت متقاضان استفاده شده است.

#### 3-آالیز خطای آزمایشگاهی

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

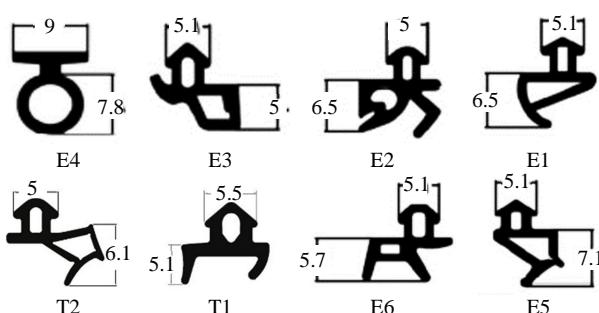


Fig. 4 Section area and gaskets

شکل 4 سطح مقاطعه و نامگذاری درزبندها

<sup>1</sup> Ethylene propylene diene monomer

<sup>2</sup> Thermoplastic vulcanizates-thermoplastic elastomers

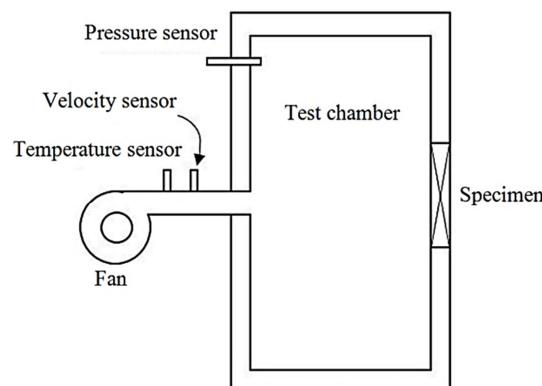
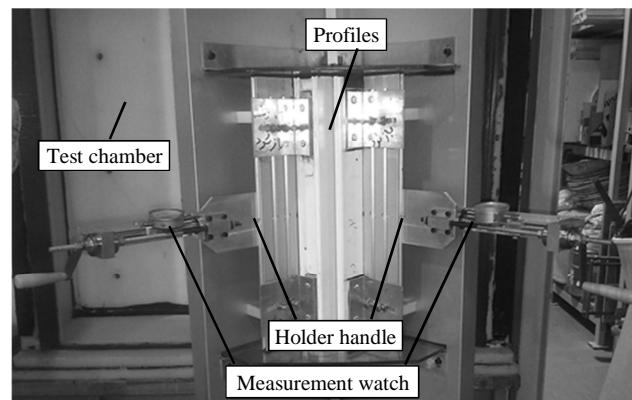


Fig. 2 Schematic of tester device

شکل 2 شماتیک دستگاه آزمایش



شکل 3 شکل واقعی پایه نگهدارنده پروفیل‌ها

استفاده از دسته‌های تنظیم موقعیت و ساعت اندازه‌گیری، ابعاد درز به طور 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 به طوری که نتایج بر حسب واحد طول (یک متر) درز ارائه می‌شود. بنابراین تنها پارامتر متغیر درزها در این پژوهش، ارتفاع درز می‌باشد که بر حسب ارتفاع درزبند (شکل 4) تنظیم می‌شود. لازم به ذکر است که طول پروفیل‌ها و درزبندهای آزمونه 0.5 متر است و در نهایت نتایج برای یک متر بیان می‌شود.

در مرحله بعد توسط دستگاه آزمایش به طرفین آزمونه 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 به صورت پلهای زیاد می‌شود [14,13].

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 کanal و اختلاف فشار طرفین آزمونه حاصل می‌شود. به این ترتیب نرخ نفوذ هوا از درزها محاسبه خواهد شد.

#### 2- نحوه محاسبه نرخ نفوذ هوا

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

حداقل باقی‌ماندها برازش 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 هوابندی از خود نشان می‌دهند. درزبندهای E1، E2، E3، E4، E5، E6 و E7 نشان داده شده است. در این شکل مقاطع آن‌ها می‌توان عکس‌گرفت که وجود یک یا دو زبانه بلند در مقاطع درزبند، باعث عملکرد هوابندی بهتری می‌شود. همچنین عملکرد ضعیف درزبندهای E3 و E4 نشان می‌دهد که درزبندهای حبابی شکل یا شبیه حبابی که بدون زبانه‌اند عملکرد ضعیفتری در هوابندی دارند و بهتر است که از این‌گونه درزبندها برای هوابندی پنجه 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 هوابندی 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 مقاطع درزبند، جهت قرارگیری آن درون درز نیز می‌تواند تأثیرگذار باشد. به طوری که 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

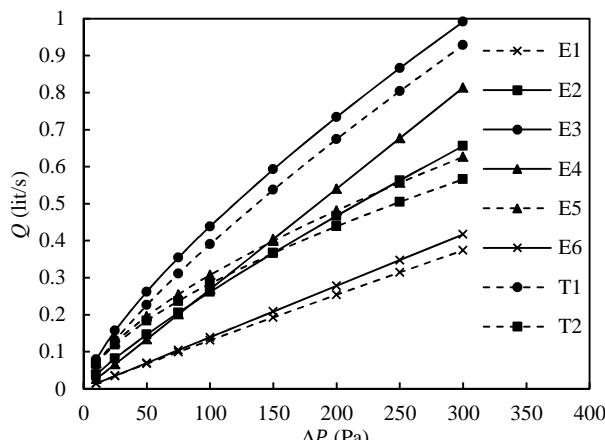


Fig. 6 Air infiltration rate in terms of pressure difference for straight gap

Table 1 Error analysis for  $Q_t$  values and E1 gasket

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

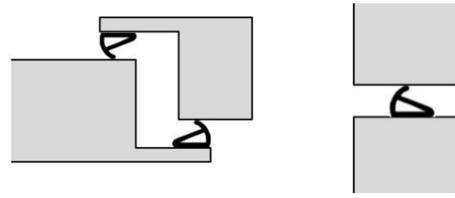


Fig. 5 Gasket placement into gap

شکل 5 نحوه قرارگیری درزبند درون درز

صورت تجربی حاصل شده‌اند و هر دستگاه آزمایشگاهی دارای خطای می‌باشد، بهتر است که آنالیز خطای 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 خطای 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  $\bar{x}$ ،  $\sigma$  و  $e$  به ترتیب از روابط (3) تا (5) محاسبه شده‌اند [15].

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

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

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

در جدول 1 مشاهده می‌شود که مقادیر انحراف از معیار و درصد خطای در قابوی هستند و به جز دو مورد که اختلاف فشارهای پایین هستند، خطای کمتر از 7 درصد است. در فشارهای کم نیز بدليل این‌که نفوذ و در نتیجه سرعت هوا بسیار کم است، خطای دستگاه بیشتر شده است. در کل با توجه به کم بودن درصد خطای دستگاه، 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 هوابندی را بهتر مورد مقایسه و ارزیابی قرار داد. درز Z شکل نیز رایج‌ترین درز بین قاب و بازشو 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 برازش دارد تا بتوان نتایج با مفهوم از آن دریافت کرد. نتایج با استفاده از رابطه (6) [1] و مطابق با روش

جدول 1 آنالیز خطای برای مقادیر  $Q_t$  و درزبند E1

نرخ نفوذ هوا از درز درب و پنجره‌ها است، به منظور 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 به راحتی 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 به صورت یک دستورالعمل ساده ارائه شده است که مهندسین تهیه 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 مقادیر بسیار زیادی تحت تأثیر فشار باد است، به همین دلیل در محاسبات مهندسی، برآورده 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
- 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) میانگین آنها 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 به وسیله نوار درزبند محاسبه شده است. به منظور 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

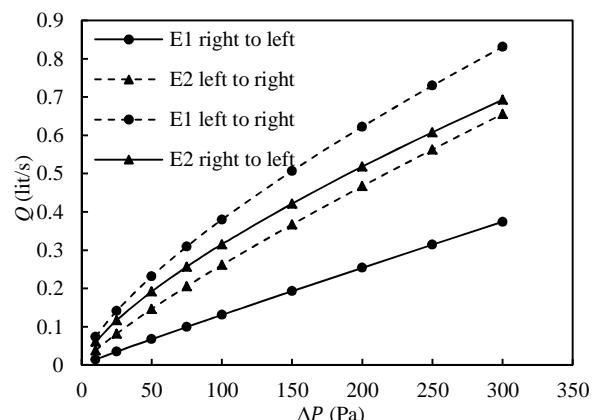


Fig. 7 نرخ نفوذ هوا بر حسب اختلاف فشار برای جهت‌گیری‌های متفاوت درزبند

شکل 6 نرخ نفوذ هوا بر حسب اختلاف فشار برای درز مستقیم

قرارگیری تأثیر بسیار کمی در نتایج دارد. در مورد جهت قرارگیری درزبند 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.

#### 4-2- در Z شکل

نتایج نرخ نفوذ هوا از درز Z شکل پس از برآش 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 انتخاب نمودارها نیز تغییر کرده و مقدار  $n$  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.

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

از آن جایی که یکی از اهداف این پژوهش ارائه دستورالعمل کلی برای محاسبه

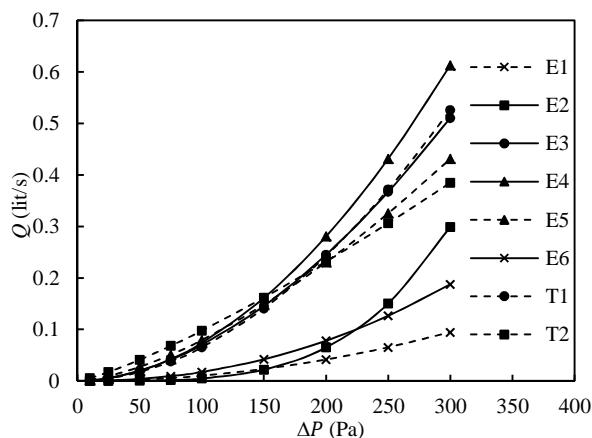


Fig. 8 نرخ نفوذ هوا بر حسب اختلاف فشار برای درز Z شکل

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

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

زیرنویس‌ها	اضافی (شتبه)	e
مؤثر	eff	
شمارنده	i	
کلی	t	

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

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

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

سرعت باد (m/s)							اندازه درز (mm)
12	10	8	6	4	2		
3.4	2.6	1.8	1.1	0.5	0.2	1	
10.3	8.3	6.4	4.5	2.6	0.9	2	
16.7	13.7	10.8	7.8	4.9	2	3	
22.9	19	15	11.1	7.1	3.2	4	
29.1	24.1	19.2	14.2	9.3	4.3	5	
35.1	29.2	23.2	17.3	11.3	5.4	6	
41.1	34.2	27.3	20.3	13.4	6.5	7	
47.1	39.2	31.3	23.4	15.4	7.5	8	
53.1	44.2	35.3	26.4	17.5	8.6	9	
59.1	49.2	39.3	29.3	19.5	10.2	10	

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

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

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

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

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

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

## 6- فهرست عالی

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