

# تعیین میزان هوای نفوذی در ساختمان و تعیین نقاط درزدار

## با روش عکس برداری مادون قرمز

آرش کریمی<sup>۱</sup>، بهمن خستو<sup>۲</sup>، علی خواجه مبارکه<sup>۳</sup>  
علی کناری<sup>۴</sup>، رسول آخرتی<sup>۵</sup>، علی نوروزیمنش<sup>۶</sup>

تهران - خیابان سهروردی شمالی - پلاک ۱۹۷ - واحد ۶۴  
info@mabnaco.net

**چکیده:** در بسیاری از ساختمان‌های کم ارتفاع، بار حرارتی ناشی از نفوذ هوا میزان قابل توجهی از بار حرارتی کل ساختمان را شامل می‌شود، بررسیها نشان داده در ساختمان‌هایی که خوب درزگیری نشده‌اند، نفوذ هوا تا ۴۰٪ کل بار حرارتی ساختمان را تشکیل می‌دهد. در کشور ما، میزان هوای نفوذی ساختمان از شرایط استاندارد بسیار فاصله دارد که دلیل آن عدم توجه به میزان هوای نفوذی و تعویض هوا در طراحی و ساخت ساختمانهای کشور و همچنین استفاده از درب و پنجره‌های ناکارآ و غیراستاندارد می‌باشد. استفاده از درب و پنجره‌های با قاب آهنی که قسمتهای متحرک و ثابت آن بخوبی درزبندی نمی‌شوند، وجود ترک و شکستگی در شیشه پنجره‌ها، عدم استفاده از فنرهای اتوماتیک جهت بستن درب‌ها، لوله‌کشی نامناسب دودکش بخاری، عدم درزگیری دریچه‌های کولر در فصل زمستان و ... میزان هوای نفوذی و در نتیجه نرخ تعویض هوا در ساعت را در ساختمان بسیار بالا برده است. از این رو نیاز است تا در فرایند ممیزی انرژی ساختمان دفعات تعویض هوای ساختمان اندازه‌گیری شده و میزان انحراف از شرایط استاندارد مشخص گردد. در این مقاله نحوه تعیین دفعات تعویض هوا با استفاده از حسگر دی‌اکسید کربن و همچنین شناسایی نقاط ضعف پوسته ساختمان با استفاده از دوربینهای مادون قرمز بیان شده است.

**لغات کلیدی:** تعویض هوا، هوای نفوذی، ممیزی انرژی

۱. کارشناس ارشد مهندسی مکانیک - مشاوران بهسازی، نوسازی انرژی (مبنا)
۲. دکترای مهندسی مکانیک - دانشیار دانشگاه امیرکبیر
۳. کارشناس ارشد مهندسی مکانیک - مشاوران بهسازی، نوسازی انرژی (مبنا)
۴. کارشناس ارشد مهندسی مکانیک - سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت کشور
۵. کارشناس ارشد مهندسی مکانیک - سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت کشور
۶. کارشناس مهندسی مکانیک - سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت کشور

## ۱. مقدمه

با توجه به اینکه هوای نفوذی به ساختمان درصد قابل توجهی از بار حرارتی ساختمان را به خود اختصاص می‌دهد، تعیین میزان هوای نفوذی ساختمان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. کیفیت درزبندی درها و پنجره‌های بکار گرفته شده در ساختمان‌های کنونی کشور پایین می‌باشد که یکی از دلایل مصرف زیاد انرژی در ساختمانهای کشور می‌باشد.

ممیزان انرژی جهت تعیین وضعیت عملکرد ساختمان همواره با مشکل مواجه هستند و با مراجعه به جداول مربوطه، که میزان هوای نفوذی را به سطح پنجره، دمای هوای خارج، سرعت باد و ... وابسته می‌کند تعیین می‌کنند. با توجه به وابستگی شدید هوای نفوذی به عوامل مذکور جواب‌های تعیین شده دارای دقت مناسبی نمی‌باشند. براین اساس می‌بایست مطابق با روشهای استاندارد، میزان هوا نفوذی به ساختمان را به طور مستقیم اندازه‌گیری کرد. مطابق با روشهای ارائه شده در استانداردهای معتبر با استفاده از دو روش زیر می‌توان مقدار هوای نفوذی را تعیین کرد.

۱- استفاده از دمنده (blower) که برای ساختمان‌های کوچک قابل استفاده می‌باشد

۲- استفاده از روش ردیابی گاز

در این مقاله، چگونگی تعیین میزان دفعات تعویض هوا در ساختمان با استفاده از روش ردیابی گاز در ساختمان و با استفاده از دستگاه حسگر دی‌اکسید کربن ارائه شده است. در ادامه نیز جهت استفاده از این روش در ممیزی انرژی ساختمانها مقادیر استاندارد تعویض هوا در ساختمان مشخص شده است. براین اساس می‌توان میزان کاهش بار حرارتی ساختمان را با استفاده از درزگیری و یا تعویض درب و پنجره‌های غیر استاندارد محاسبه کرد و در نهایت با استفاده از دوربینهای مادون قرمز درزها و شکافهای موجود در اجزای ساختمان را مشخص کرد.

## ۲. تئوری آزمایش

معمولاً برای اندازه‌گیری نرخ تهویه در ساختمان‌ها از روش گاز ردیاب استفاده می‌شود. چرخش هوای ساختمان را می‌توان با اندازه‌گیری و ثبت پراکندگی گاز شاخص (که گازی است بی‌اثر، بی‌خطر و به آسانی در هوا پراکنده می‌شود)، برآورد کرد. در این روش تزریق گاز شاخص در مدت کوتاهی انجام شده و سپس در زمان‌های بعدی، پراکندگی گاز در هوا اندازه‌گیری و ثبت می‌گردد. تهویه هوا در ساختمان با استفاده از اندازه‌گیری نرخ تعویض هوا در ساعت (ACH) مشخص می‌شود و از تغییرات زمانی پراکندگی گاز شاخص جهت تعیین دفعات تعویض هوا استفاده می‌گردد. میزان غلظت گاز تزریقی در هر لحظه از رابطه (۱) پیروی می‌کند.

$$C(t) = C_o \cdot e^{-ACH \cdot t} \quad (1)$$

یا

$$ACH = \frac{\dot{V}}{V_{bldg}} = \frac{1}{t} \cdot \ln \left[ \frac{C_o}{C(t)} \right] \quad (2)$$

در رابطه فوق  $\dot{V}$ ،  $V_{bldg}$ ،  $C(t)$ ،  $C_o$  و  $t$  به ترتیب حجم هوای نفوذی به ساختمان در مدت زمان  $t$ ، حجم ساختمان یا فضایی که در آن گاز تزریق می‌شود، غلظت گاز شاخص در لحظه  $t$ ، غلظت گاز شاخص در زمان  $t_0$  و  $t$  زمان نمونه‌گیری غلظت گاز شاخص می‌باشد. در هنگام استفاده از روش ردیابی گاز باید گاز شاخص ویژگی‌های زیر را داشته باشد:

- سمی نباشد

- با هوا به خوبی مخلوط شود

- در دسترس بوده و حسگر آن موجود باشد

در این مقاله جهت تعیین میزان هوای نفوذی به ساختمان از گاز دی‌اکسید کربن به عنوان گاز شاخص و دستگاه TESTO 535 جهت اندازه‌گیری میزان دی‌اکسید کربن موجود در هوا استفاده شده است.

### ۳. نحوه اندازه‌گیری دفعات تعویض هوا در ساعت (ACH)

از آنجا که گاز دی‌اکسید کربن در هوا موجود است لذا برای تعیین میزان هوای نفوذی به ساختمان می‌بایست قبل از تزریق گاز دی‌اکسید کربن، ابتدا غلظت این گاز در هوای موجود مشخص گردد، برای این منظور با استفاده از دستگاه TESTO 535 می‌توان میزان دی‌اکسید کربن موجود در هوا را اندازه‌گرفت (تصویر ۱). این دستگاه میزان دی‌اکسید کربن موجود در هوا را با دقت ۱ ppm اندازه‌گیری می‌کند. با تزریق گاز دی‌اکسید کربن به فضای مورد نظر و بررسی روند تغییرات گاز و با استفاده از رابطه (۲) می‌توان میزان تعویض هوا در ساعت (ACH) را محاسبه کرد.

این حسگر باید در جایی تعبیه شود که در مسیر گردش هوا قرار بگیرد و از قرار دادن آن در کنار پنجره‌ها و درب‌ها که مسیر هوای نفوذی به ساختمان هستند برای جلوگیری از افزایش خطا در اندازه‌گیری پرهیز شود. جهت افزایش میزان دقت نرخ تعویض هوا در ساعت بهتر است تا برای هر یک از فضاها و اتاق‌های ساختمان از یک حسگر مجزا استفاده کرد و یا اینکه آزمایش برای هر فضا بطور جداگانه انجام گردد. با در اختیار داشتن دفعات تعویض هوا برای هر اتاق ساختمان و نیز حجم آن اتاق، دفعات تعویض هوا برای کل ساختمان مشخص می‌گردد.



تصویر ۱: دستگاه TESTO 535

در انجام ممیزی انرژی ساختمان، تعیین دفعات تعویض هوا در یک مقطع زمانی مشخص انجام می‌شود و توجه به این نکته ضروری است که نرخ تعویض هوا در ساعت در تابستان و زمستان بنا به دلایل زیر متفاوت است.

۱- اختلاف دمای هوای بیرون و درون ساختمان در زمستان نسبت به تابستان بیشتر بوده و در نتیجه اختلاف چگالی هوا نیز بیشتر می‌باشد. اختلاف چگالی نیز سبب ایجاد جریان و نفوذ هوا می‌گردد.

۲- در زمستان میزان باد و همچنین سرعت باد بیشتر است. وجود جریان باد در هوای بیرون میزان اختلاف فشار هوای داخل و خارج را افزایش داده و در نتیجه نفوذ هوا به داخل ساختمان بیشتر می‌شود.

با توجه به تفاوت زیاد میزان هوای نفوذی در تابستان و زمستان ضروری است تا میزان تعویض هوا در ساعت در سایر شرایط جوی نیز مشخص گردد. در جداول شماره ۲۱ و ۲۲ براساس استاندارد ASHRAE دفعات تعویض هوا در ساعت با توجه به میزان درزبندی ساختمان در دماهای مختلف آورده شده است. بنابراین با مشخص شدن دفعات تعویض هوا در ساعت در شرایط مشخص، دفعات تعویض هوا در ساعت در سایر شرایط نیز برآورد می‌شود.

جدول ۱: دفعات تعویض هوا در ساعت در زمستان با توجه به میزان درزبندی

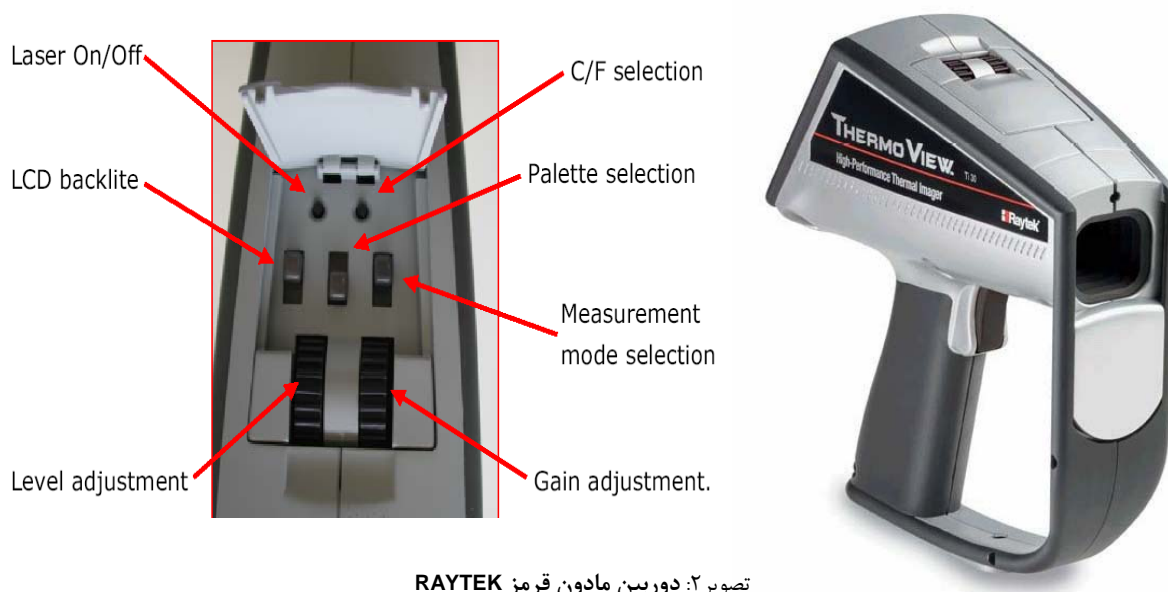
نوع ساختمان	دمای هوای خارج (سانتیگراد)									
	۱۰	۴	-۱	-۷	-۱۲	-۱۸	-۲۳	-۲۹	-۳۴	-۴۰
کیپ	۰,۴۱	۰,۴۳	۰,۴۵	۰,۴۷	۰,۴۹	۰,۵۱	۰,۶۳	۰,۵۵	۰,۵۷	۰,۵۹
متوسط	۰,۶۹	۰,۷۳	۰,۷۷	۰,۸۱	۰,۸۵	۰,۸۹	۰,۹۳	۰,۹۷	۱	۱,۰۵
درزدار	۱,۱۱	۱,۱۵	۱,۲	۱,۲۳	۱,۲۷	۱,۳	۱,۳۵	۱,۴	۱,۴۳	۱,۴۷

جدول ۲: دفعات تعویض هوا در ساعت در تابستان با توجه به میزان درزبندی

نوع ساختمان	دمای هوای خارج (سانتیگراد)						
	۱۹	۳۲	۳۵	۳۸	۴۱	۴۳	
کیپ	۰,۳۳	۰,۳۴	۰,۳۵	۰,۳۶	۰,۳۷	۰,۳۸	
متوسط	۰,۴۶	۰,۴۸	۰,۵	۰,۵۲	۰,۵۴	۰,۵۶	
درزدار	۰,۶۸	۰,۷	۰,۷۲	۰,۷۴	۰,۷۶	۰,۷۸	

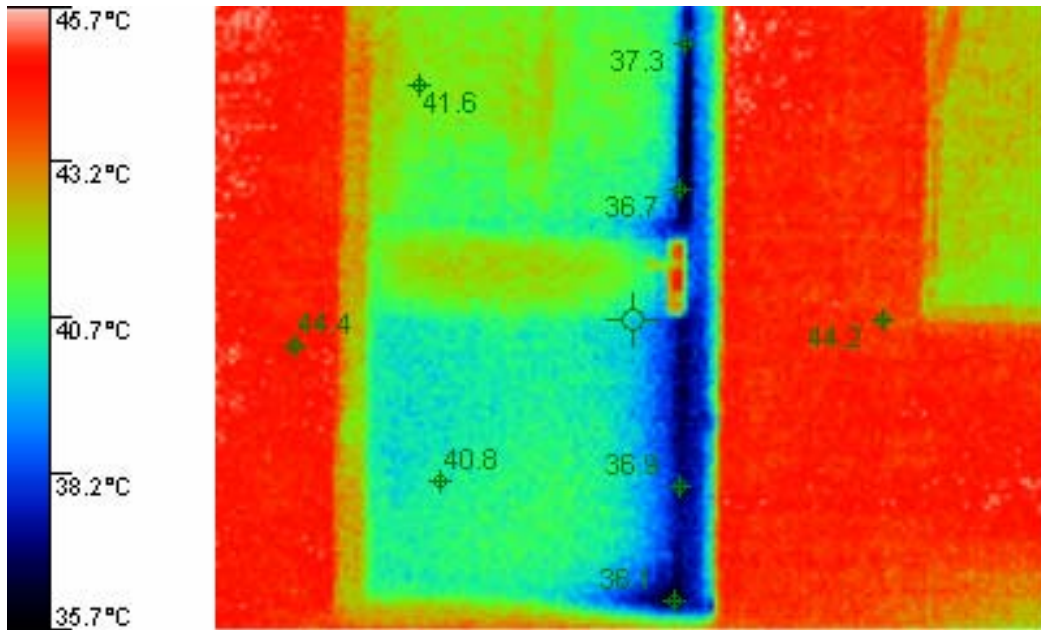
#### ۴. مکان‌یابی محل نشت‌ها در ساختمان با استفاده از عکس برداری مادون قرمز

مرحله بعدی پس از تعیین دفعات تعویض هوا در ساعت برای ساختمان، تعیین درزها و شکافهای ساختمان می‌باشد. در صورتی که میزان تعویض هوا در ساعت در ساختمان مورد نظر بیشتر از شرایط استاندارد باشد لازم است تا پنجره‌ها، درب‌ها، کانال‌ها و ... درزگیری شوند که برای این منظور نقاط نشت‌دار باید شناسایی و مشخص گردند. با استفاده از عکس‌برداری مادون قرمز می‌توان درزها، شکافها و دریچه‌های موجود در اجزای مختلف ساختمان را شناسایی کرد. در تصویر ۲ دوربین مادون قرمز شرکت RAYTEK نشان داده شده است که قابلیت نمایش دمای نقاط مختلف با دقت ۰,۱ درجه سانتیگراد را دارا می‌باشد.

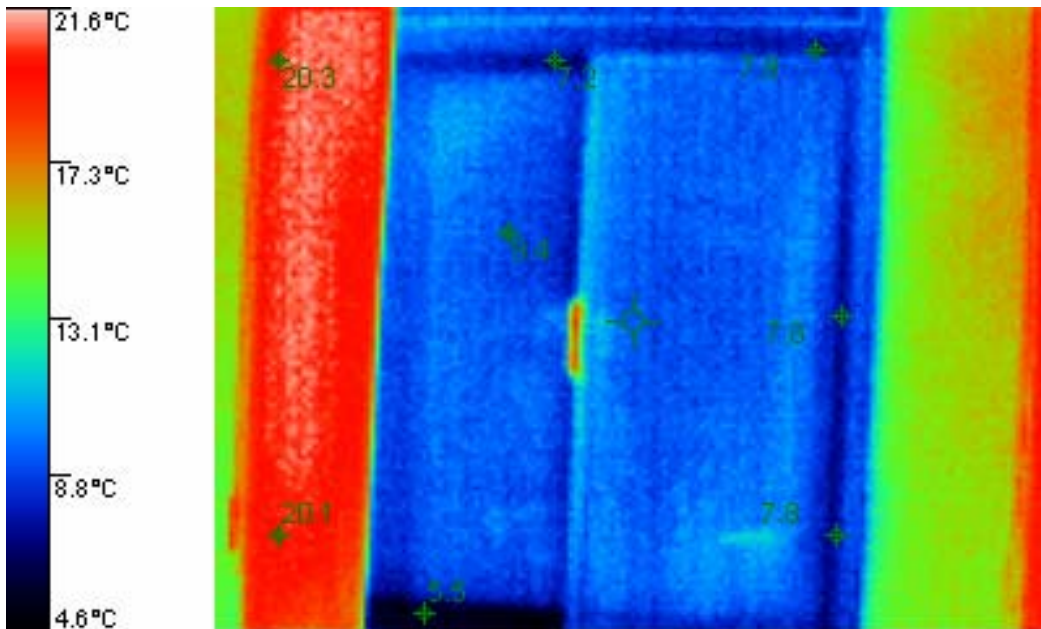


تصویر ۲: دوربین مادون قرمز RAYTEK

با استفاده از دوربین مادون قرمز می‌توان نقاط نشت‌دار و وضعیت عایق‌کاری جداره‌ها را بررسی نمود. در عکس‌هایی که توسط دستگاه گرفته می‌شود کانتور دمایی اجزای مختلف تصویر نشان داده شده است. با توجه به دمای اجزا مختلف می‌توان نقاطی که اتصال آنان ضعیف است و نشتی هوا دارد را پیدا کرد و نسبت به درزگیری آن نقاط اقدام کرد. به طور نمونه نشت هوا از درب ساختمان در تصویر ۳ نشان داده شده است. همانطور که در شکل مشخص است نقاط تیره در اطراف درب بیانگر سرد بودن و یا خروج هوای سرد از داخل ساختمان به محیط بیرون می‌باشد. در هنگام استفاده از دوربینهای مادون قرمز برای افزایش دقت در صورت امکان باید عکس‌برداری از بیرون و داخل ساختمان انجام شود.



تصویر ۳: تعیین نشت هوای سرد داخل ساختمان به بیرون به کمک عکس‌برداری مادون قرمز



تصویر ۴: تعیین نشت هوای سرد به داخل ساختمان به کمک عکس‌برداری مادون قرمز

## ۵. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

تعیین میزان هوای نفوذی در ساختمان‌ها، با داشتن دستگاه حسگر دی‌اکسیدکربن انجام‌پذیر خواهد بود و از آنجا که درزبندی ساختمان هزینه اجرایی اولیه نسبتاً پایینی دارد و نیز ساختمان‌های کشور از بعد میزان هوای نفوذی از شرایط استاندارد فاصله زیادی دارند یافتن نقاط درزدار و درزبندی آنان یکی از راهکارهای مناسب صرفه‌جویی انرژی خواهد بود.

## ۶. مراجع

[۱] دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان، نشر توسعه ایران، تهران، ۱۳۸۱

[1] Turnur W.C., Energy Management Handbook, Fifth Edition, the Fairmont press, inc., 2005.

[2] Krarti M., Energy Audit of Building Systems, CRC Press LLC, 2000.

[3] ASHRAE handbook of fundamentals, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc, Atlanta, 2001.