بررسی تاثیرِلایه‌ی هوایِ تهویه شده در نماهای نوین با درزِ باز بر عملکرد حرارتی ساختمان*

محمد جواد ثقفی[1]، ناهید توسلی[2]

چکیده

نمای ساختمان، به عنوان یک لایه جداکننده میان شرایط آب و هوایی داخل و خارج آن عمل می کند. در میان روش های گوناگون مورد استفاده برای بهبود عملکرد حرارتی ساختمان، یکی از راه حل های مطرح، استفاده از نماهای نوین تهویه شونده است. یک گروه از نماهای تهویه شونده، «نماهای تهویه شونده با درز باز» (به اختصار OJVF) هستند که از جمله فناوری های روزآمد و نو در معماری می باشند. در OJVF، نما از تعدادی قطعات، که با درزهای باریک و باز از یکدیگر جدا شده اند، تشکیل شده است و تهویه از طریق این درزها صورت می گیرد. این تهویه باعث دفع رطوبت ناشی از بارندگی، کاهش مشکلات ناشی از میعان و تضمین سلامت دیوار می شود.

آنچه به عنوان یک سوال اساسی مطرح است، میزان تاثیر (مثبت یا منفی) درزهای باز بر عملکرد حرارتی این گونه نمای مطرح در کشورهای صنعتی، در اوقات مختلف سال است. هدف این تحقیق، بررسی رفتار حرارتی و جریان هوا در OJVF در معرض تابش خورشید در ضلع جنوبی ساختمان و کمّی سازی میزان صرفه جویی در مصرف انرژی، در مقایسه با یک نمای با لایه هوای بسته است. بدین منظور دو سیستم نمای باز و بسته، در نرم افزار فلوئنت Fluent شبیه سازی گردیده و عملکرد انرژی آن ها مقایسه شده اند. نتایج بیانگر آن است که استفاده از نمای با درز باز، در تهران و یزد که با توجه به دو اقلیم با تابش خورشید متوسط و زیاد انتخاب شده اند، صرفه جویی در مصرف انرژی سالانه بیشتری را به همراه دارد. بنابراین با توجه به فناوری نسبتا ساده OJVF، استفاده از آن در ضلع جنوبی ساختمان در اقلیم های یاد شده، مناسب تر از نماهای بسته رایج است.

واژه‌های کلیدی: نمای تهویه شونده، نماهای سبک، تهویه، نماهای نوین، مدل سازی رایانه ای.

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۶/۰۸

تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۸/۲۵

* این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد نویسنده دوم است.

۱. دکتری معماری، دانشکده هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، تهران، ایران (نویسنده مسؤول).
۲. دانشجوی کارشناسی‌ارشد انرژی و معماری، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

mohamad_mehranfar@yahoo.com
nahid_tavassoli@yahoo.com

۱. مقدمه

نمای تهویه شده با درز باز[1] یا به اختصار OJVF معمولا در گروه نماهای سبک[2] یا نماهای ترکیبی پیشرفته[3] طبقه بندی می شود[۱]. نمای تهویه شونده به خودی خود یک مفهوم مبهم است و درحالی که کاملا با نمای دوپوسته[4] (DSF) متفاوت است، بسیاری اوقات با آن اشتباه می شود. مهم ترین تفاوت OJVF با نمای دوپوسته، مصالح به کار رفته در آن ها است. معمولا مصالح به کار رفته در سیستم DSF، شفاف (شیشه) است، درحالی که OJVF با مصالح کدر ساخته می شود[۲]. مهم ترین دلیل رایج شدن این سیستم نما در میان معماران، تنوع در رنگ، شکل و مصالح و همچنین عملکرد بسیار خوب آن در شرایط مختلف آب و هوایی است. علاوه بر این، برپایی بسیار آسان و سریع آن، این نوع نما را به یک سیستم بسیار قابل رقابت، به ویژه در ترمیم ساختمان های قدیمی، تبدیل کرده است. این نما دو ویژگی عمده دارد: اول آن که تهویه، مشکلات ایجاد شده توسط رطوبت را کاهش می دهد و دیگر این که، عملکرد انرژی نما در مقایسه با نماهای متداول بهبود می یابد[۱]. تحقیق درباره رفتار حرارتی و جریان هوا در نماهای تهویه شونده با درز باز به دلیل استفاده فراوان از آن در سال های اخیر، چالش های زیادی را برانگیخته و مطالعه رفتار انرژی این سیستم به موضوعی قابل توجه و بررسی تبدیل شده است.

۲. اهمیت و ضرورت تحقیق

نمای با درز باز، طبق راهنمای مقررات ملی ساختمان، بهترین عملکرد را در برابر کج باران، چگالش و بادهای شدید دارد، با این اوصاف به صورت بسیار محدود در کشور مطرح شده است. پژوهش هایی در کشورهای صنعتی، بر روی گونه های خاصی از این نوع نماها انجام شده، اما در ایران کمتر به این موضوع پرداخته شده است.

همچنین در بیشتر نماهای با درز بازی که در ایران اجرا می شوند، توجهی به تاثیر باز بودن درزها و تهویه ایجاد شده در نما و در نظر گرفتن هندسه نما بر عملکرد حرارتی آن نمی شود. جزئیات بررسی شده در این مقاله که پتانسیل مطرح شدن آن در کشور بسیار زیاد است، در شرایط اقلیمی تهران، در پژوهش های دیگر نیامده است.

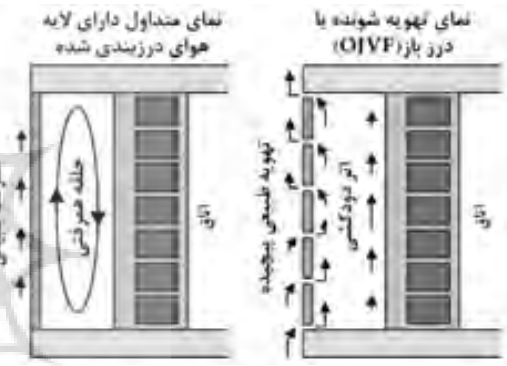
۳. معرفی نمای تهویه شونده با درز باز

در نماهای سبک، مصالح نما (فلز، سرامیک، سنگ یا کامپوزیت) با واسطه یک سازه فلزی روی دیوار از قبل عایق شده (که شامل لایه عایق، آجر روزنه دار یا سفال و نازک کاری داخلی است) نصب می شود. این واسطه، لایه ای از هوا بین نما و دیوار ایجاد می کند. ارتفاع این لایه هوا می تواند به اندازه یک طبقه یا به اندازه کل ارتفاع ساختمان باشد. این لایه هوا می تواند بسته و یا باز باشد. چنانچه لایه هوا کاملا بسته باشد، امکان ورود و خروج هوای بیرون به این لایه وجود ندارد. اما اگر درزهای بین قطعات نما باز باشد[5]، هوای بیرون می تواند در سرتاسر طول دیوار به لایه هوا وارد و خارج شود. در این صورت لایه نما از یک سری قطعات که با درزهای باز باریکی از هم جدا شده اند تشکیل می شود که به آن نمای تهویه شونده با درز باز یا OJVF گفته می شود. این درزهای کوچک که می توانند فقط افقی باشند و یا هم افقی و هم عمودی باشند به منظور فراهم آوردن امکان انبساط گرمایی بین قطعات نما و ایجاد تعادل فشار ناشی از باد در دو طرف صفحات نما، شکل گرفته اند[۱]. وجود این درزها موجب می شود لایه مشکلات ناشی از رطوبت و میعان، بر بارهای حرارتی ساختمان نیز تاثیر زیادی دارد که این تاثیرات با توجه به اقلیم می توانند مثبت یا منفی باشند. هوای موجود بین دیوار و نما تهویه شود که علاوه بر تاثیر مثبت بر یک مدل ساده شده از نمای تهویه شونده در تصویر۱ آمده است.

تصویر۱: مدل ساده شده ای از نمای تهویه شونده با درز باز

از آنجایی که هوا باید بتواند به خوبی گردش کند و با به وجود آمدن اثر دودکشی در اثر تابش آفتاب در ساعات روز، به سمت بالا حرکت کند، ابعاد لایه هوا مهم است. از سوی دیگر باید از موانعی که ممکن است جریان هوا را محدود کنند اجتناب شود (وجود عناصر سازه ای یا مهارها، نامنظمی های روی سطح لایه عایق یا پوشش بیرونی و غیره). وجود لایه هوا مزایای زیر را به همراه دارد: تبخیر آب باقی مانده در مصالح در زمان ساخت، خنک کردن پوسته بیرونی ساختمان در طول تابستان به دلیل حرکت رو به بالای هوا، کاهش جریان گرما از بیرون به درون ساختمان در طول تابستان، ممانعت از پراکندگی گرما از درون به بیرون به دلیل نبودن پل حرارتی.

تفاوت اصلی میان OJVF و دیگر نماهای مشابه آن است که، در سایر نماها لایه هوا کاملا بسته و یا فقط در بالا و پایین باز است، در حالی که در OJVF نما دارای درزهایی در سرتاسر طول نما است. بهبود عملکرد حرارتی در OJVF تحت شرایط تابش خورشید، متکی بر اثر شناوری[6] است؛ به این ترتیب که قطعات نما گرم می شوند و جریان هوای صعود کننده ای ایجاد می کنند که از طریق درزها به لایه هوا وارد و خارج می شود. این جریان هوا بخشی از بارهای حرارتی را از بین می برد و انتقال حرارت به محیط داخلی را کاهش می دهد. اگر بازشوها فقط در بالا و پایین نما باشند باز هم این پدیده اتفاق می افتد، اما کارایی آن به دلیل جریان هوای کمتر و دماهای بالاتری که در قسمت بالای لایه هوا ایجاد می شود، به این میزان نیست [۱]. در تصویر ۲ مقطع عرضی نمونه از یک نمای دارای لایه هوای بسته و یک OJVF نشان داده شده است.



تصویر۲: تفاوت رفتار هوا در نمای با درز باز و نمای بسته. ماخذ: [۱]

۴. پیشینه تحقیق

درباره ویژگی های فیزیکی مصالح استفاده شده در OJVF و ویژگی های مکانیکی نصب نما مطالعات متعددی انجام شده اما رفتار حرارتی یا پدیده دینامیک سیالات خاص OJVF، کمتر مورد بررسی قرار گرفته است. حجم زیادی از مطالعات درباره گروه «نماهای تهویه شده» در رابطه با نماهای تهویه شده دو پوسته، فتوولتاییک های تلفیق شده با بنا[7]، دیوار ترومب، سولار وال، نماهای کلکتور خورشیدی یا نماهای فتوولتاییک حرارتی[8] انجام شده و کمتر به طور ویژه طرح با درز باز مورد مطالعه واقع شده است. بیشتر این مطالعات به طور اساسی از نظر هندسه، کاربردهای معماری و اهداف انرژی، و همه آنها از نظر ویژگی های دینامیک سیالات با OJVF تفاوت دارند. با این وجود، به دلیل وجود مشابهت هایی که می تواند مسیر تحقیق را روان تر سازد، در تحقیق پیش رو، از ایده های به کار گرفته شده در سیستم های مشابه نیز استفاده شده است.

نماهای تهویه شده از بالا و پایین به گونه قابل توجهی در کارگریفیث[9] [۴] بررسی شده اند که در آن مدلی برای آنالیز حفره های تهویه شده همراه یک لایه بیرونی کدر با استفاده از نرم افزار انرژی پلاس پیشنهاد شده است. مدل سازی CFD از یک نمای تهویه شده سرامیکی دوبعدی که توسط مسادو[10] [۵] انجام شده نیز، قابل توجه است. گنزالس[11] [۶] نیز بررسی هایی در زمینه انتقال حرارت و دینامیک سیالات روی نماهای تهویه شونده با درز باز انجام داده است.

۵. مدلسازی با نرم افزار فلوئنت

«هانس هولاین» معتقد است که امروز نیز معماری امری در نرم افزارهای شبیه سازی انرژی متداول مانند TRNSYS، VisualDOE و Energyplus مدل مشخصی برای شبیه سازی نما با درز باز وجود ندارد [۳]. از طرفی جریان هوای ورودی و خروجی از طریق درزها در طول نما استفاده از CFD[12] (دینامیک سیالات محاسباتی) را اجباری می کند. بدین ترتیب، برای آنالیز پدیده گرمایی و دینامیک سیالات اتفاق افتاده در OJVF و مقایسه آن با نماهای دارای لایه هوای بسته، از نرم افزار فلوئنت، که امکان مطالعه و بررسی دقیق رفتار سیال در حرکت را به ما می دهد، استفاده شده است. در مطالعات انجام شده، تاکید ویژه ای بر رفتار جریان هوا داخل لایه هوا تحت شرایط تابش خورشید شده و مصالح مورد استفاده نیز کدر فرض شده اند. با توجه به این که ضلع جنوبی ساختمان، بیشترین تابش خورشیدی را دریافت می کند، در این تحقیق به بررسی نمای OJVF در ضلع جنوبی پرداخته شده است.

مشکل دیگر در بررسی این موضوع، طیف وسیع روش ها و تولیدات ساختمانی رایج در بازار ساخت و ساز است. ابعاد و نسبت قطعات، شکل و اندازه درزها و ساختار قاب فلزی نگه دارنده نما، متفاوت هستند. برای این تحقیق یک نما با ابعاد متداول انتخاب شده است. جهت بررسی تأثیر درزهای افقی و عمودی، لازم است که از مدل سازی سه بعدی استفاده کنیم، اما به دلیل پیچیدگی زیاد، در اینجا با مدلسازی دوبعدی، به بررسی تأثیر درزهای افقی می پردازیم و فرض می کنیم درزهای عمودی بسته باشند. در این صورت، جریان هوا با توجه به عدم توجه استفاده از سازه باربر در تمامی سطوح قائم عمود بر سطح نما یکسان خواهد بود. برای مقایسه دو سیستم باز و بسته، دو هندسه مشابه، با شرایط اقلیمی یکسان (تهران)، ایجاد شده اند که تنها در لایه خارجی با هم متفاوت هستند.

۵-۱. هندسه مدل سازی شده

هندسه مدل سازی شده برای نمای OJVF، دارای ارتفاع ۲/۸۴ متر است که معرف فاصله میان کف های دو طبقه پی در پی است. همچنین نما دارای چهار پانل از جنس سمنت برد و درنتیجه پنج درز باز است که ارتفاع هر پانل ۷۰ سانتی متر و اندازه درز بین پانل ها ۸ میلی متر در نظر گرفته شده است. میان قطعات نما و دیوار یک لایه هوا به ضخامت ۵ سانتی متر وجود دارد. دیوار از یک لایه گچ، سفال و عایق حرارتی تشکیل شده و دارای ضخامت کلی ۲۱ سانتی متر است. جدول ۱، ضخامت و ویژگی های حرارتی لایه های دیوار را نشان می دهد. مدل مشابهی برای بررسی نمای دارای لایه هوای بسته، ایجاد شده که تنها تفاوت آن نسبت به مدل OJVF در پوشش خارجی است که پیوسته می باشد (بدون درز بین قطعات).

برای هر یک از نماهای مورد نظر دو مرحله شبیه سازی انجام شده است. اول، شبیه سازی در شرایط پایدار[۱۳] (برای فهم رفتار جریان هوا و پدیده حرارتی اتفاق افتاده در OJVF) و دوم شبیه سازی در شرایط غیر پایدار[۱۴] (برای مقایسه عملکرد انرژی دو سیستم در طول شبانه روز برای فصل های تابستان و زمستان).

در شبیه سازی با شرایط پایدار، دو شرایط دمایی، مطابق با آب و هوای تهران، برای تابستان

$$T_{room}=۲۱^{\circ}C \qquad T_{ext}=۳۰^{\circ}C$$

و برای زمستان

$$T_{room}=۲۱^{\circ}C \qquad T_{ext}=۸^{\circ}C$$

انتخاب شده اند. دمای داخل برابر با دمای آسایش (۲۱ درجه) فرض شده است. انتخاب این دما برای مقایسه ساده تر نتایج، صورت گرفته است. تابش خورشیدی جذب شده از صفر تا ۸۰۰ وات بر مترمربع متغیر است. در عمل تابش های بالای ۴۰۰ وات بر مترمربع شرایط تابستانی و تابش های کمتر از آن شرایط زمستانی را شبیه سازی می کنند. در این مرحله سه موضوع رفتار جریان هوا، رفتار حرارتی و میزان شار حرارتی عبوری از دیوار، در دو نمای باز و بسته مقایسه شده اند.

هدف از شبیه سازی در شرایط ناپایدار، بررسی عملکرد سیستم در طول یک شبانه روز است (برای یک روز تابستانی و یک روز زمستانی). برای بررسی عملکرد سیستم در یک شبانه روز، اگر برای هر ساعت از شبانه روز، بر اساس دما و تابش آن ساعت، شبیه سازی در شرایط پایدار انجام شود، به علت تاخیر زمانی اتفاق افتاده در دیوار سفالی، نتایج به دست آمده صحیح نخواهد بود. بنابراین برای در نظر گرفتن تاخیر زمانی و بررسی عملکرد انرژی نما، با استفاده از شبیه سازی غیر پایدار، دمای خارجی و تابش خورشیدی برای هر ساعت از شبانه روز، به نرم افزار داده شده است.

از طرفی، برای جریان هوای بیرون، میانگینی از سرعت آن به نرم افزار داده شده است. زیرا یکی از مزایای سیستم OJVF این است که راه های ارتباطی متعدد (نواری) بین فضای بیرون و پشت نما باعث هم فشار شدن این دو فضا می شود. بدین صورت که باز بودن درزها در نما، موجب می شود جریان باد به سرعت به پشت نما منتقل شده، در نتیجه فشار هوای بیرون و پشت نما تا حدود زیادی تعدیل می گردد. بدین ترتیب اثر جریان هوای ناشی از باد به طور چشمگیری کاهش یافته و عملا عامل اصلی جریان هوا در لایه هوای پشت نما، گرم شدن آن در اثر تابش خورشید و حرکت رو به بالای آن است.

جدول ۱ ضخامت و ویژگی های لایه های دیوار نما از داخل به بیرون (منبع: مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان)

لایه	ضخامت (cm)	چگالی (Kg/m^3)	ضریب هدایت حرارتی ($W/m.^{\circ}K$)	ظرفیت حرارتی ($J/Kg^{\circ}K$)	قابلیت انتشار (emissivity)
گچ	۱	۱۲۰۰	۰/۴۶	۱۰۸۰	
سفال	۱۵	۱۴۰۰	۰/۵۲	۸۴۰	
عایق حرارتی (پلی استایرن)	۵	۴۰	۰/۰۳۹	۱۵۹۰	۰/۹
لایه هوا	۵				
نما (سمنت برد)	۱	۱۸۰۰	۰/۶۵	۱۰۰۰	۰/۹

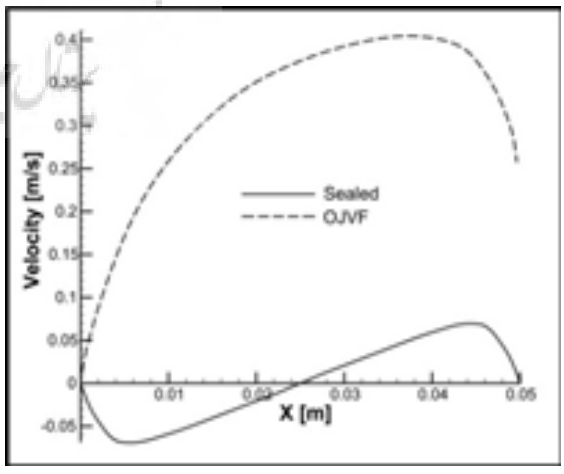
لازم به توضیح است که داده های مورد نیاز، با استفاده از نرم افزار انرژی پلاس تولید شده اند. در این بخش، به بررسی دو سیستم نمای باز و بسته در دو شهر تهران و یزد پرداخته شده است.

۶. نتایج شبیه سازی مرحله اول

۶-۱. رفتار جریان هوا

تصویر۳ نیمرخ سرعت عمودی هوای داخل حفره را در میانه ارتفاع (از سمت دیوار داخلی به سمت قطعات نما)، در OJVF و نمای بسته نشان می دهد. نیمرخ حلقه همرفتی که مشخصه نمای بسته است، با خط پر نشان داده شده است. هوای در تماس با بخش خارجی نما (که به دلیل تابش خورشید، دمای بالاتری دارد) گرم می شود و بالا می رود و هوای در تماس با دیوار، سرد می شود و پایین می آید.

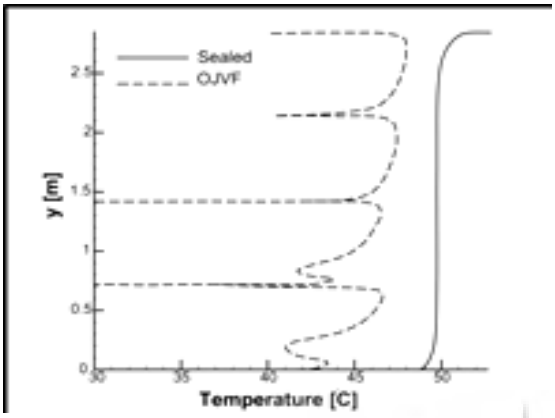
نتایج نشان می دهند که در حالت درز بسته جریان در نیمی از حفره به سمت بالا و در نیمی دیگر به سمت پایین حرکت می‌کند، حال آنکه در حالت درز باز، جریان هوا در تمام عرض بالا می رود. پروفیل های سرعت، برای تابش یکسان، مقادیر سرعت عمودی بسیار بالاتری را برای OJVF نسبت به نمای بسته نشان می دهند (سرعت هوا در نمای درز باز تقریبا پنج برابر بیشتر از نمای بسته است). این دو ویژگی یعنی بالا رفتن یکنواخت جریان و سرعت بالاتر، دو ویژگی بارز نمای OJVF در معرض تابش است که به خروج گرما از سطح نما به سمت خارج کمک می کند [۱].



تصویر۳ نیمرخ سرعت عمودی داخل حفره در میانه ارتفاع از دیوار داخلی به سمت قطعات نما (منبع : نگارندگان)

۶-۲. رفتار حرارتی

تغییرات دما در داخل لایه هوای نمای تهویه شده و درزبندی شده بر اساس ارتفاع، در تصویر۴ دیده می شود. در حفره نمای درزبندی شده، دما نسبت به ارتفاع تغییرات کمی دارد و حداکثر دما در قسمت بالای نما اتفاق می افتد که تقریبا ۵۴ درجه سلسیوس است.

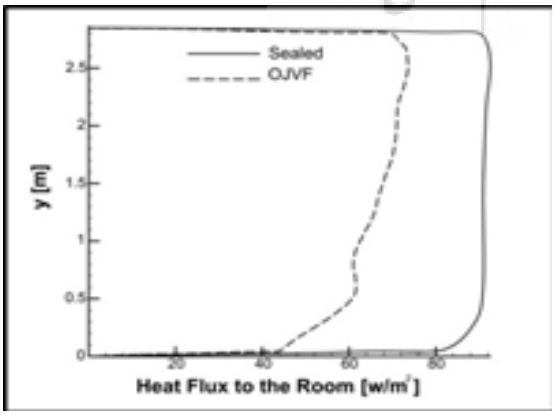


تصویر۴ تغییرات دما در داخل فاصله هوایی نمای تهویه شده و درزبندی شده بر اساس ارتفاع (منبع : نگارندگان)

۶-۳. شار حرارتی

در بررسی عملکرد حرارتی، میزان شار حرارتی عبوری از دیوار، به عنوان بهترین معیار مقایسه در نظر گرفته شده است. تصویر۵ شار حرارتی منتقل شده به داخل اتاق را برای نمای با لایه هوای بسته و نمای دارای درز باز در فصل تابستان، بر اساس ارتفاع نشان می دهد.

شار حرارتی در نمای بسته در طول ارتفاع نما، نسبتا یکنواخت است درحالی که در نمای OJVF در طول ارتفاع، شار حرارتی افزایش می یابد. مشاهده می شود که مقدار شار حرارتی، به طور قابل ملاحظه ای در نمای دارای لایه هوای بسته بیشتر از OJVF است.



تصویر۵ شار حرارتی منتقل شده به اتاق ،برای دیوار با درزهای بسته و درزهای باز (منبع : نگارندگان)

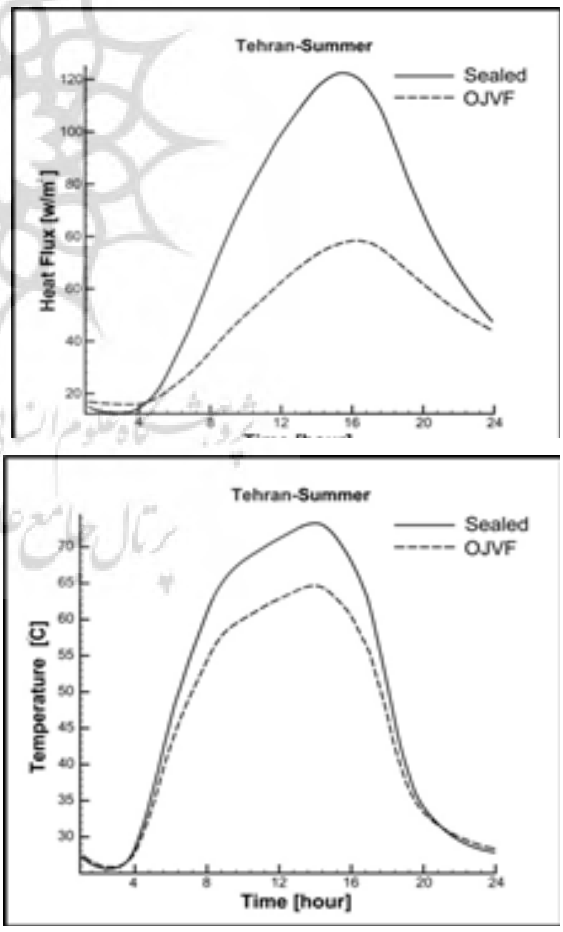
۷. نتایج شبیه سازی مرحله اول

۷-۱. شهر تهران

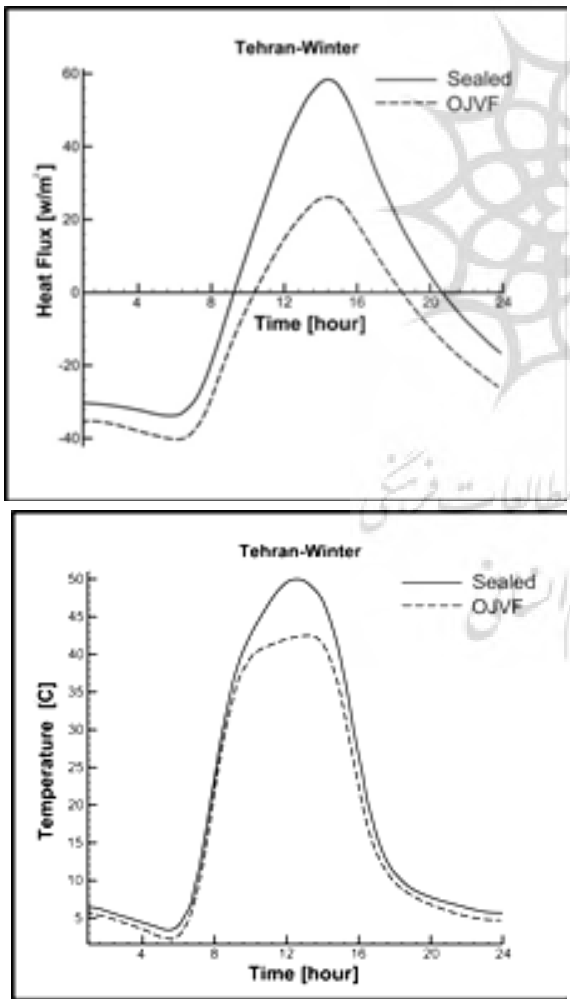
برای بررسی عملکرد نما در فصل تابستان، روز ۲۲ ماه ژوئن (اول تیر) انتخاب شده است. در این روز دما ۲۴/۵ تا ۳۶/۲۸ درجه و حداکثر مقدار تابش ۳/ ۸۲۳ کیلو وات بر مترمربع در ساعت ۱۵ می باشد. در تصویر۶ تغییرات شار حرارتی منتقل شده به اتاق و تغییرات دما برای نمای باز و بسته، به صورت ساعتی بررسی شده است. (گرمای دریافتی با علامت مثبت و گرمای از دست رفته با علامت منفی درنظر گرفته شده است) مشاهده می شود که، به غیر از ساعت های اولیه بامداد، در دیگر ساعت ها، میزان شار حرارتی وارد شده از خارج به داخل برای نمای درز بسته بیش از OJVF است. در نتیجه در صورت استفاده از نمای درز بسته که برای خنك نگه داشتن فضای داخل انرژی بیشتری مصرف خواهد شد.

در نمودار تغییرات دما بر حسب ارتفاع نیز مشاهده می شود که دمای نما با درزهای بسته بیش از دمای نما با درزهای باز است. نتایج به دست آمده برای شار حرارتی نیز این امر را تأیید می‌کند. بدین ترتیب در تابستان، OJVF عملکرد بهتری نسبت به نمای درزبندی شده در طول روز دارد و دریافت گرما را کاهش می دهد. در طول شب، شار حرارتی ورودی و خروجی بسیار کم است، زیرا دمای هوای داخل حفره و دمای هوای بیرون تقریبا برابر است. بدین ترتیب، مشاهده می شود که بهترین عملکرد OJVF در طول روز فصل تابستان اتفاق می افتد و در طول شب، بارهای حرارتی کمتر و تقریبا مشابه هستند وانتقال حرارت از جداره ها در شب تفاوت محسوسی ندارد.

برای بررسی عملکرد نما در فصل زمستان، روز ۲۲ ماه دسامبر (اول دی) انتخاب شده است. در این روز، دما ۰/۰۴۸ تا ۸/۲۸ درجه و حداکثر مقدار تابش ۸۲۲ وات بر



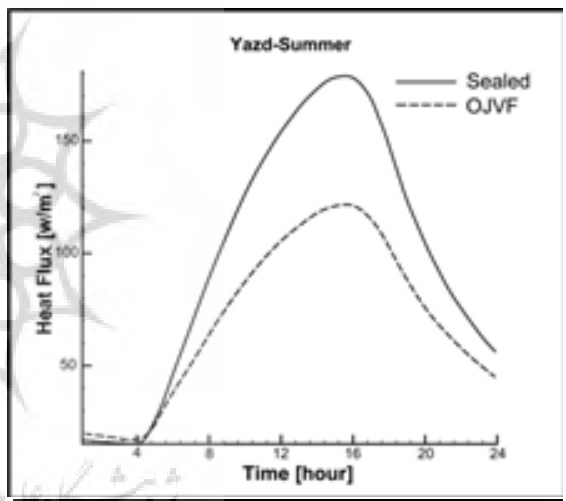
تصویر۶ بالا: تغییرات شار حرارتی و پایین: تغییرات دمای نمای درزباز و بسته در طول روز انتخاب شده برای تابستان در میانه ارتفاع نما در عایق حرارتی (منبع: نگارندگان)

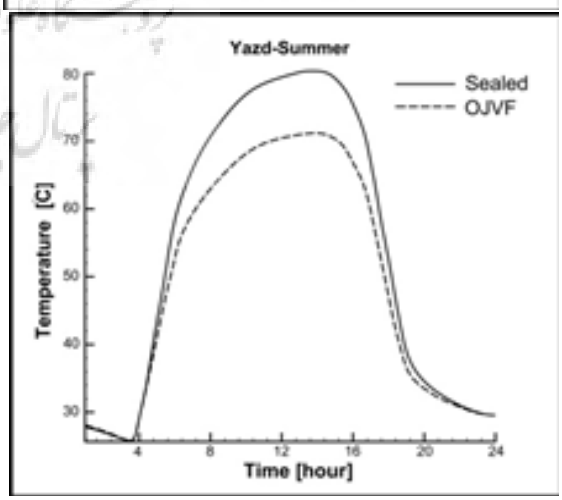


تصویر۷ بالا: تغییرات شار حرارتی و پایین: تغییرات دمای نمای درزباز و بسته در طول روز انتخاب شده برای زمستان در میانه ارتفاع نما در عایق حرارتی (منبع: نگارندگان)

مترمربع در ساعت ۱۳ می باشد. در تصویر ۷ تغییرات شار حرارتی منتقل شده به اتاق و تغییرات دما برای نمای باز و بسته به صورت ساعتی، برای زمستان بررسی شده اند.

مشاهده می شود که در ساعت های اولیه بامداد (پیش از ساعت ۹ صبح) و ساعت های پیش از نیمه شب (بعد از ساعت ۸ شب)، مقدار شار حرارتی، منفی است که به معنی انتقال انرژی از داخل به خارج و از دست دادن گرما است. از آن جا که هرقدر این مقدار کمتر باشد اتلاف گرمای کمتری داریم، نمای با درز بسته که مقدار شار حرارتی آن در این ساعت ها کمتر است، عملکرد حرارتی مناسب تری دارد و اقتصادی تر است. در بین این ساعات (یعنی در طول روز) که تابش خورشیدی بیشتر است (بالاتر از ۲۰۰ وات بر مترمربع)، شار حرارتی مثبت است. به این معنی که انرژی از خارج به داخل انتقال پیدا می‌کند. در این حالت با توجه به این که دمای هوای بیرون از دمای داخل کمتر

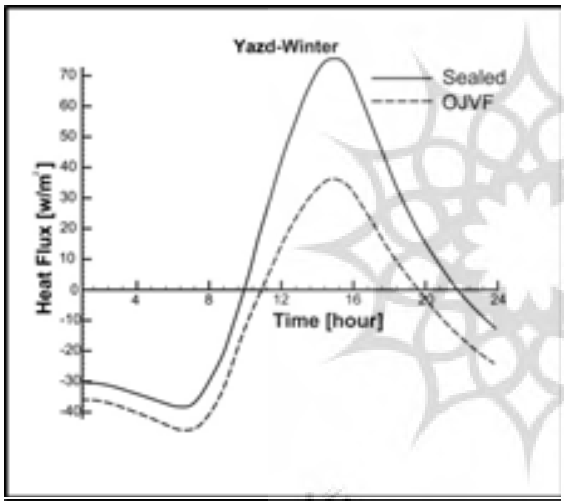


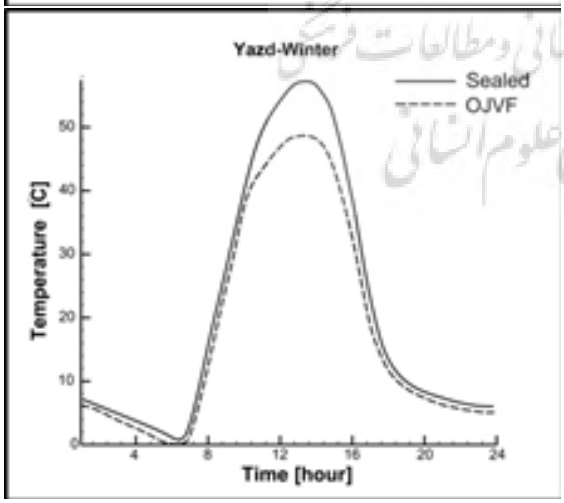


تصویر ۸ بالا: تغییرات شار حرارتی و پایین: تغییرات دمای نمای درز باز و بسته در طول روز انتخاب شده برای تابستان در میانه ارتفاع نما در عایق حرارتی (منبع: نگارندگان)

است، هرقدر میزان شار حرارتی ورودی بیشتر باشد بهتر است. در نتیجه در زمان هایی که شار مثبت می باشد، با استفاده از نمای با درز بسته، دریافت گرما بیشتر است. بدین ترتیب مصرف انرژی برای گرمایش، در زمستان کمتر از نمای باز می باشد. نمودار دما بر حسب ساعات شبانه روز نیز نتیجه‌ی مشابهی را به دست می‌دهد. بدین ترتیب که دمای سطح خارجی نمای بسته بیش از نمای با درزهای باز است.

نتیجه بررسی نمودارهای تغییرات شار حرارتی و تغییرات دما نشان می دهد که در زمستان اتلاف انرژی در نمای با درز باز بیشتر است و OJVF در شرایط تابش کم یا بدون تابش، عملکرد ضعیف تری دارد. به گونه ای که در طول روز گرمای کمتری از طریق نمای جنوبی دریافت می کند و در طول شب، گرمای بیشتری از دست می دهد.





تصویر ۹ بالا: تغییرات شار حرارتی و پایین: تغییرات دمای نمای درز باز و بسته در طول روز انتخاب شده برای زمستان در میانه ارتفاع نما در عایق حرارتی (منبع: نگارندگان)

۷-۲. شهر یزد

برای بررسی عملکرد نما در فصل تابستان برای شهر یزد، روز ۲۲ ژوئن (اول تیر) انتخاب شده است. دما ۲۵/۴ تا ۳۸ درجه و حداکثر تابش ۹۶۸/۳ وات بر مترمربع در ساعت ۱۴ است. در فصل زمستان نیز، روز ۲۲ دسامبر (اول دی) انتخاب شده است. دما از ۲/۹۷ تا ۹/۹۱ درجه و حداکثر تابش ۸۸۹/۶ وات بر مربع در ساعت ۱۳ است.

۷-۳. بررسی کلی در طول سال

بررسی های انجام شده نشان داد که در تابستان، OJVF به علت تخلیه گرما از نما، ناشی از تهویه ایجاد شده در لایه هوا، ویژگی های حرارتی بهتری نسبت به نمای بسته دارد. در مقابل، در زمستان و در غیاب تابش های بالا، نمای بسته با جلوگیری از جریان هوا و به تبع آن عدم تخلیه گرمای کسب شده، عملکرد بهتری دارد. حال این سوال باقی است که آیا میزان صرفه جویی حاصل از استفاده از نمای OJVF (در تابستان)، ضعف نسبی آن در مقایسه با نمای بسته (در زمستان) را جبران می کند؟ برای پاسخ به این سوال از دو روش و دو گونه محاسبه استفاده شده است.

روش اول: در این روش، شار حرارتی متوسط (شار منتقل شده از بیرون به داخل اتاق) برای هر فصل محاسبه می شود. برای تابستان هر قدر میزان شار متوسط کمتر باشد، انرژی کمتری از خارج به داخل انتقال پیدا می کند و هزینه ی کمتری برای خنک کردن داخل نیاز است. از طرف دیگر در زمستان هرچه مقدار شار حرارتی بیشتر باشد، انرژی بیشتری از بیرون به داخل انتقال پیدا می کند و انرژی کمتری صرف گرم کردن هوای درون می گردد. لذا کمیتی برابر با شار متوسط در تابستان (که هرچه کمتر باشد بهتر است) بعلاوه ی منفی شار متوسط در زمستان (که هرچه بیشتر باشد بهتر است) تعریف می شود. این کمیت هر قدر کمتر باشد نمای مورد نظر عملکرد حرارتی بهتری دارد.

در تهران برای نمای با درز بسته، شار متوسط در تابستان برابر با ۷۸/۶ وات بر مترمربع و در زمستان برابر با ۳/۶ وات بر مترمربع بدست آمده است که تفاضل آنها ۷۵ وات بر مترمربع است. برای OJVF شار متوسط در تابستان برابر با ۴۸/۹ وات بر مترمربع و در زمستان برابر با ۱۱/۵ وات بر مترمربع بدست آمده که تفاضل آنها ۶۰/۴ وات بر مترمربع می باشد. بدین ترتیب کمیت تعریفی برای OJVF کمتر از نمای بسته است. بنابراین، می توان نتیجه گرفت که به طور کلی عملکرد نمای باز بهتر از نمای بسته است و صرفه جویی به دست آمده در تابستان، بیش از اتلاف گرمایی آن در زمستان است و این اتلاف گرما را می توان اندک یا ناچیز در نظر گرفت.

در تحلیلی مشابه که برای اقلیم یزد انجام شده است: برای نمای بسته، شار متوسط در تابستان برابر با ۹۸/۱ وات بر مترمربع و در زمستان برابر با ۷/۲ وات بر مترمربع بدست آمده که تفاضل آنها ۹۰/۹ وات بر مترمربع می شود و برای OJVF شار متوسط در تابستان برابر با ۷۰/۶ وات بر مترمربع و در زمستان برابر با ۹/۷۹ وات بر مترمربع است که تفاضل آنها برابر ۸۰/۳۹ وات بر مترمربع خواهد شد. نتیجه نشانگر آن است که در شهر یزد نیز کمیت تعریفی برای OJVF کمتر از نمای بسته می باشد که بیانگر عملکرد بهتر نمای باز است. در یک جمع بندی از نتایج به دست آمده می توان اظهار داشت که استفاده از نمای با درز باز، موجب صرفه جویی ۱۹/۴۶٪ در تهران و ۱۱/۵۶٪ در یزد (در طول سال) خواهد شد.

روش دوم : در روش دوم از سطح زیر نمودار شار زمان استفاده شده، که واحد آن، وات ساعت بر مترمربع است. در این روش سطح زیر نمودار شار زمان در زمستان از مقدار آن در تابستان کم می شود. هر قدر مقدار این تفاضل کمتر باشد، نمای مورد نظر عملکرد بهتری دارد. در تهران برای نمای با درز بسته، این کمیت، در تابستان ۱۸۳۰ و در زمستان ۱۳۳/۴۶ است و تفاضل آنها ۱۶۹۶/۵۴ وات بر متر مربع بدست می آید. در نمای باز، برای تابستان ۱۱۱۲/۳ و برای زمستان ۲۱۵ است که تفاضل آنها برابر با ۱۳۲۷/۳ وات بر مترمربع می شود. بدین ترتیب کمیت تعریف شده برای OJVF کمتر از نمای بسته است که عملکرد بهتر نمای باز را در طول کل سال را تایید می کند. همین تحلیل برای شهر یزد بدین صورت خواهد بود: این کمیت در نمای بسته، برای تابستان ۲۲۸۰، برای زمستان ۲۱۳/۹۵ و تفاضل آنها ۲۰۶۶ وات بر مترمربع است. برای نمای باز این مقادیر عبارتند از ۱۶۲۹/۴۶ برای تابستان، ۱۷۹ برای زمستان و تفاضل آنها برابر است با ۱۸۰۸/۴۶ وات بر مترمربع. مشاهده می شود که این کمیت برای شهر یزد نیز در OJVF کمتر از نمای بسته است. بدین ترتیب این روش نیز عملکرد بهتر نمای باز را در طول سال را تایید می کند و حاکی از آن است که استفاده از نمای با درز باز، برای تهران ۲۱/۷۶٪ و برای یزد ۱۲/۴۶٪ موجب صرفه جویی در مصرف انرژی می شود که درصدهایی نزدیک به درصدهای بدست آمده از روش قبل هستند.

۸. بحث

نتایج شبیه سازی های انجام شده بیانگر آن است که نمای OJVF به لحاظ انرژی، سیستم مناسب تری نسبت به نمای دارای لایه هوای بسته است. اما باید به این نکته اشاره شود که نمی توان معیاری کلی و مشخص تعریف کرد و لازم است عملکرد کلی سالانه برای OJVF خاص (با مصالح و ابعاد مورد نظر) در هر شرایط اقلیمی، با در نظر گرفتن هزینه های اجرای ساختمان و هزینه انرژی برای گرمایش و سرمایش، ارزیابی شود.

دلیل اصلی استفاده از OJVF وجود جریان هوا در پشت نما است که رطوبت را دفع کرده و مشکلات ناشی از آن در دیوار را کاهش می دهد. استفاده از OJVF بیشتر برای تضمین سلامت دیوار است تا صرفه جویی در مصرف انرژی. اما در اقلیم هایی که بحث سرمایش مطرح باشد، در زمینه کاهش مصرف انرژی نیز می تواند مثبت واقع شود (مانند دو شهر تهران و یزد که مورد بررسی قرار گرفتند).

نتیجه گیری

در این پژوهش به بررسی نماهای نوین تهویه شونده با درز باز و تاثیر باز بودن درزها و تهویه ایجاد شده، بر عملکرد حرارتی جداره، پرداخته شد. با تحلیل نتایج به دست آمده از شبیه سازی های انجام شده توسط نرم افزار فلوئنت، به این نتیجه رسیدیم که نمای با درز باز به علت تهویه ایجاد شده در طول فاصله هوایی که منجر به خروج گرما از دیوار می شود ویژگی های حرارتی بهتری دارد. ولی برای زمستان و در غیاب تابش های بالای خورشیدی، نمای بسته مانند یک عایق عمل می کند و از نظر انرژی عملکرد بهتری از خود نشان می دهد.

در مقایسه دو نمای تهویه شونده با درز باز و نمای دارای لایه هوای بسته، در طول سال (در دو شهر تهران و یزد به صورت جداگانه)، به این نتیجه رسیدیم که OJVF برای شهر تهران حدود ۲۰/۵٪ و برای شهر یزد حدود ۱۲٪ موجب صرفه جویی در مصرف انرژی سالانه می شود. داده های بدست آمده در این مطالعه نشان می دهد که OJVF، به ویژه در نمای جنوبی ساختمان و برای آب هوای با تابستان های گرم با تابش زیاد و زمستان های ملایم گزینه مناسب تری نسبت به نمای درزبندی شده است، اما در زمستان های سخت و در شرایط با تابش کم، عملکرد ضعیفی دارد. همچنین، برای ساختمان هایی مانند ساختمان های اداری یا فضاهای عمومی با تعداد کاربر فراوان، به علت منابع گرمای داخلی زیاد، OJVF در نمای جنوبی می تواند گزینه مناسبی از نظر اقتصادی باشد و به خروج گرمای تولید شده در داخل کمک کند. نتایج بدست آمده از شبیه سازی ها، با کارها و تحقیقات انجام شده قبلی هماهنگ است و برایده نمای تهویه شده به عنوان یک عنصر ساختمانی که قادر است بهتر از راه حل های پیشین عمل کند، تاکید دارد.

در ادامه این مطالعه نیز می توان پیشنهادهای زیر را برای تحقیقات آتی مطرح کرد:

ادامه مطالعات در حالت شبیه سازی سه بعدی، با تحلیل اثر ابعاد درزها؛

بررسی تاثیر جریان های ایجاد شده در اثر باد بر عملکرد حرارتی و رطوبتی نما؛

بررسی تهویه شبانه و تفاوت های آن با جریان های حاکم در طول روز؛

انجام مطالعات با در نظر گرفتن انتقال مزدوج حرارت و رطوبت، با شبیه سازی سه بعدی و بررسی تأثیر آن بر رفع مخاطرات ناشی از میعان بر روی سطح بیرونی عایق حرارتی؛

ارائه یک رابطه حاصل از تحلیل های عملکرد نما در اوقات مختلف سال در مناطق اقلیمی کشور برای استفاده از نرم افزارهایی نظیر انرژی پلاس.

پی نوشت ها

1. Open joint ventilated facade
2. Light weight facade
3. Advanced integrated fcaade
4. Double skin fcaade
5. Rain screen fcaade
6. Buoyancy effect
7. Building integrated Photovoltaic (BIPV) or Ventilated PV fcaade
8. Photovoltaic/thermal collector facade (PVT Collector)
9. Computational Fluid Dynamics
10. Steady
11. Unsteady or Transient

فهرست منابع

1. C. Sanjuan, M.J. Suárez, M. González, J. Pistono, E. Blanco, Energy performance of an open-joint ventilated facade compared with a conventional sealed cavity facade, Solar Energy 1863–1851 (2011) 85.

2. Gonza´lez, M., Blanco, E., R´o, J.L., Pistono, J., San Juan, C., 2008a.Numerical study on thermal and fluid dynamic behaviour of an open joint ventilated facade. In: Proceedings of PLEA 25 – 2008th Conference on Passive and Low Energy Architecture, 24–22 October,Dublin, Ireland.
3. C. Sanjuan, M.J. Suárez, E. Blanco, M.R. Heras, Development and experimental validation of a simulation model for open joint ventilated facades, Energy and Buildings 3456–3446 (2011) 43.
4. Griffith, B., 2006. A model for naturally ventilated cavities on the exteriors of opaque building envelopes. In: Proceedings of SIMBUILD2006, Cambridge-Massachusetts, USA.
5. Mesado, C., Chiva, S., Julia´, E., Hernandez, L., 2010. Two dimensional modeling with CFD of the behaviour of a ventilated ceramic facade. In: V European Conference on Computational Fluid Dynamics ECCOMAS CFD, 17–14 June 2010, Lisbon, Portugal.
6. Gonza´lez, M., Blanco, E., Pistono, J., 2008b.Adjusting an energy simulation model by means of CFD techniques to analyze open-joint ventilated facades energy performance. In: Proceedings of WREC-X 2008 World Renewable Energy Congress, Glasgow, UK