

## ارتقای کیفیت تهویه طبیعی در کلاس‌های مدارس استان

## مازندران براساس وضعیت بازشوها با روش CFD

Improving the Quality of Natural Ventilation in Classrooms of  
Mazandaran Province Based on the Position of the Openings Using  
CFD Methodامید رهایی<sup>۱</sup> (نویسنده مسئول)، حمیدرضا عظمتی<sup>۲</sup>

تاریخ ارسال:	تاریخ بازنگری:	تاریخ پذیرش:	تاریخ انتشار آنلاین:
۱۳۹۷/۰۹/۲۳	۱۳۹۸/۰۷/۰۵	۱۳۹۸/۱۲/۲۴	۱۳۹۹/۰۴/۳۱

## چکیده

تامین هوای پاک و تازه برای دانش آموزان در کلاس درس، خصوصا در فصل گرم، بسیار ضروری است. براساس شواهد و مطالعات، سیستم‌های تهویه مکانیکی، ضمن گرانی، مصرف انرژی نسبتا بالایی دارند و تولید نوبه مینمایند. این مسئله در اقلیم مازندران، خصوصا در هوای شرجی، بسیار مطرح است خصوصا اینکه این مدارس با کولر آبی خنک میشوند؛ درحالیکه در بخش قابل توجهی از سال امکان استفاده از فرایند تهویه طبیعی وجود دارد و در فصل گرم مدارس تعطیل است. لذا هدف اصلی این مقاله ارائه راه حلی اجرایی در معماری کلاسهای درس است که بتواند موجب بهبود جریان هوای داخل تحت تاثیر باد خارج (تهویه طبیعی) شده، به نحوی که جریان هوای مطلوب و قابل کنترلی طبق استاندارد اشری در فضای داخلی برقرار باشد. پژوهش حاضر که یک تحقیق کاربردی است و ماهیتی میان رشته ای دارد، با اتکا به اندازه‌گیریهای تجربی در یک مدرسه موردی در آمل، بدست آمده است. روش تحقیق در این پژوهش، یک روش ترکیبی است: در مرحله اول با استفاده از یک راهبرد تجربی، متغیرهای مستقل تأثیرگذار، شناسایی و متغیر وابسته (سرعت و جهت جریان هوای داخل) توسط دستگاه‌های دقیق دیجیتال و انجام آزمایش دود اندازه‌گیری شد. سپس داده‌ها با استفاده از راهبرد شبیه‌سازی، تحلیل شدند. شبیه‌سازی در این پژوهش با روش دینامیک سیال محاسباتی (CFD)<sup>۱</sup> و با استفاده از نرم افزارهای Gambit و Fluent صورت پذیرفت. ابتدا روایی و پایایی شبیه‌سازیها از طریق تطبیق با شواهد تجربی به اثبات رسید و سپس اقدام به تجزیه و تحلیل داده‌ها و متعاقبا مداخله در معماری از طریق شبیه‌سازی شد. نتایج نشان دادند که ترکیب بندی صحیح بازشوها و ایجاد نمای پلکانی در راستای باد موافق و نیز پیش بینی مکنده‌های موثر در دیوار رو به باد، میتواند با کنترل موثر ورود، خروج و پخشایش هوا در فضای داخلی (طبق استاندارد اشری)، تهویه طبیعی را تحت کنترل قرار داده و جریان مطلوبی را در تمام فضای داخل برقرار نماید.

## واژه‌های کلیدی:

جریان هوای داخل، تهویه طبیعی، بازشوها، روش CFD.

۱. استادیار، دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران. o.rahaei@sru.ac.ir  
 ۲. استاد، دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران. azemati@sru.ac.ir

## ۱- مقدمه

با وجودی که سیستم‌های تهویه مطبوع امروزه در ساختمانها به عنوان انتخاب نهایی در نظر گرفته می‌شوند (Energy Information Administration, 1995). با اینحال بسیار گران و پرهزینه اند (Kokh, Nilson, & Halger, 2006). تهویه طبیعی یک جایگزین کارآمد برای کاهش مصرف انرژی در ساختمان به حساب می‌آید و بسیار توصیه می‌شود (Busch, J.F. 1992)، (Zhao, R., Xia, Y., 1998) و (Finnegan, J.J., Pickering, C.A.C., Burge, P.S., 1994). چنانکه هزینه انرژی یک ساختمان با تهویه طبیعی مناسب، ۴۰ درصد کمتر از یک ساختمان با تهویه مطبوع است (Energy Consumption Guide 19, 1993). در اکثر مدارس ایران به جهت کاهش هزینه های تهویه مطبوع، از کولر آبی در فصل گرم استفاده می‌شود. مشاهدات نشان می‌دهد که در اقلیم مرطوب خزری نیز از کولر آبی استفاده می‌شود که موجب برهم خوردن شرایط آسایش ساکنین خصوصا در زمانی که هوا رطوبت بالایی دارد، می‌شود. در چنین مواردی کولرها خاموش و پنجره‌ها باز می‌شوند که یا جریان هوای موثری در داخل اتاق برقرار نمی‌شود و یا اینکه باد شدیدی در داخل کلاس می‌وزد که موجب برهم زده شدن آسایش دانش آموزان خواهد شد و کاغذها را باد میبرد. در این شرایط در برخی از نقاط کلاس باد شدید و در برخی نقاط دیگر، رکود هوا برقرار است.

بازشو یکی از مهم‌ترین عناصر ساختمان است که تأثیر زیادی بر الگوی جریان هوای داخل دارد (Shetabivash, H., 2015). از آنجا که کلاسهای مدارس، خصوصا در مناطق مرطوب شمال ایران، نیاز مبرم به تهویه موثر دارند و در مدارس ایران عمدتا به دلیل هزینه های سنگین (خرید و نصب، مصرف انرژی و هزینه های نگهداری)، از سیستمهای تهویه مطبوع کمتر استفاده می‌شود (بعضا از کولرهای گازی پنجره ای نیز استفاده می‌شود که مصرف انرژی زیاد و نوبه فراوانی دارند و هزینه نگهداری آنها نیز زیاد است). لذا شرایط آسایش در این کلاسها بشدت ناپایدار بوده و باید شرایط مساعدی جهت برقراری فرایند تهویه طبیعی موثر در کلاسهای درس برقرار نمود. این تهویه باید چنان باشد که اولاً جریان مطلوب هوا در تمام نقاط کلاس برقرار باشد و ثانياً سرعت آن طبق استاندارد اشری حداکثر ۱ متر بر ثانیه باشد (Chlela, F. et al. 2009) تا هم امکان تهویه طبیعی مطلوب مهیا باشد و هم اینکه جریان کنترل نشده باد، مزاحمت ایجاد ننماید. لذا این پژوهش بر آن است تا معیاری جهت طراحی کلاسها در اقلیم آمل، با تمرکز بر موقعیت

بازشوها و ترکیب کلی کلاس و نیز با توجه به جهت وزش باد غالب، تنظیم نماید تا بتوان جریان قابل کنترلی از تهویه طبیعی در تمام نقاط کلاس چنان ایجاد بشود تا اهداف مذکور تامین شوند.

## ۲- ادبیات موضوع

مروری بر نوشته‌ها و تحقیقات مختلف نشان می‌دهد که در اواخر دهه ۱۹۳۰ علاقه فراوانی در زمینه مهندسی تهویه به وجود آمد (Burgess, 1995) و (ACGIH, 1951). آگاهی از جریانات هوای داخلی در محیطهای بسته به سه دلیل قابل توجه است: آسایش حرارتی، کیفیت هوای داخل و مصرف انرژی ساختمان (Amidpoor, M., 2009). در مناطقی که در آن انرژی محدود و یا کمیاب است، تهویه طبیعی باید مورد استفاده قرار گیرد (Hassana, M.A. et al. 2007). دو روش برای تحلیل جریان هوا در ساختمان وجود دارد: روش‌های تجربی و شبیه‌سازی‌های عددی. مقایسه با روش‌های آزمایشگاهی بسیار ارزان‌تر، دقیق‌تر و سریع‌تر هستند. با این حال در این روش نمی‌توان تمامی شرایط فیزیکی را در نظر گرفت و همواره نیاز به یک سری تقریب وجود دارد. بنابراین ضرورت دارد تا شبیه‌سازی‌های عددی توسط نتایج آزمایشگاهی اعتباربخشی شوند (Amidpoor, M., 2009).

در سه دهه گذشته مطالعات تجربی متعددی بر جریان جابجایی طبیعی انجام شده است. جریان جابجایی طبیعی و آشفته در محفظه اولین بار توسط الدر (Elder, J.W., 1965: 111-99) و پس از آن توسط اسماید و گیل (Giel, P. W., 1986: 1459-64 and Schmidt, F. W., 1986) بررسی گردید. در این آزمایش‌ها از آب به جای هوا استفاده شد، لازم به ذکر است که مقادیر آشفتنگی در این آزمایش‌ها اندازه گیری نشده است. چیز رایت (Cheeswright, R., 1968: 1-9) سرعت میانگین، دمای هسته و نوسانات آشفتنگی را در یک محفظه حاوی هوا با اختلاف دما در دیوارها بررسی کرد. عدد رایلی جریان محفظه حدود  $10^{10}$  و نسبت ابعاد محفظه ۵ به ۱ بوده است. دافاآلا و بتس (Dafa Alla, A. A, and Bets, P. V., 1996: 165-194) جریان جابجایی طبیعی در یک محفظه بلند با نسبت منظر ۲۸ به ۰/۲ و عدد رایلی  $10^{10} \times 8/3$  را به صورت تجربی بررسی کرده‌اند، در این آزمایش از سرعت سنجی لیزر برای اندازه گیری سرعت و نوسانات آن و نیز از ترموکوپل برای اندازه گیری دما و نوسانات آن استفاده شده است.

اولسن (Olsen, D. A., Glicksman, L.R., and Ferm, H. M., 1990: 640-647) در یک اتاقک حاوی هوا و درون یک

شبیه سازی عددی آزمایش نموده است (rahaei, o. 2014). با همین روش کیفیت جریان هوای داخل در زمان فرایند تهویه طبیعی آزمایش شد و معماری جهت طراحی اتاق جهت بهبود فرایند تهویه طبیعی پیشنهاد شد (Teodosiu, C., V. Ilie, and R. Teodosiu, 2014) که مشابه این پژوهش است. در تحقیق مشابهی نیز بهبود وضعیت تهویه طبیعی در یک گالری با روش CFD آزمایش شد (Ascione, F., L. Bellia, and A. Capozzoli, 2013). در زمینه تاثیر عناصر بومی معماری بر روش‌های تهویه طبیعی در بازار دزفول تحقیق جامعی به عمل آمد و از مدل  $k - \epsilon$  استاندارد برای شبیه سازی جریان هوا در فضای بازار استفاده گردید (Rahaei, O., 2013). بینا، م. (2008) در خصوص تهویه طبیعی شوادان‌ها تحقیقی تجربی به عمل آورد که در آن دمای محیط مورد ارزیابی واقع شد.

در تمام پژوهش‌های فوق روش CFD و نرم افزار fluent مورد استفاده بوده و تماماً روش‌های تهویه طبیعی را توصیه نموده اند. ضمن اینکه در چندین تحقیق مشابه، بهبود وضعیت تهویه طبیعی در فضای معماری را مرتبط با شیوه طراحی فضا دانسته که مشابه آن در این پژوهش انجام میشود.

### ۳- روش انجام تحقیق

مطابق ادبیات مطروحه، تحقیق حاضر ماهیت بین‌رشته‌ای دارد و روش تحقیق آن ترکیبی است؛ در مرحله اول با استفاده از یک راهبرد تجربی، آزمون‌هایی صورت پذیرفت و متغیرهای مستقل تأثیرگذار شناسایی شدند. موقعیت بازشوها و ترکیب کلاس به عنوان متغیرهای مستقل، و وضعیت جریان هوای داخل کلاس به عنوان متغیر وابسته در این پژوهش مورد مطالعه قرار گرفتند. سرعت جریان هوا و جهت آن (متغیرهای وابسته) توسط دستگاه‌های دقیق دیجیتال در طول مدت آزمون (ماه‌های اردیبهشت و خرداد که بیشترین نیاز به تهویه احساس میشود و امکان استفاده از آن مهیا است) اندازه‌گیری شدند. به منظور پیدا کردن جهت باد غالب، از آزمایش دود استفاده شد. همچنین مشاهدات تجربی نشان داد که جهت باد غالب محلی در دوره آزمون از جهت شمال غربی به جنوب شرقی بوده است. جامعه آماری انتخابی در این پژوهش مدارس شهر آمل را شامل میشود و یک نمونه موردی تصادفی نیز جهت آزمون‌های تجربی انتخاب شد.

در مرحله بعد به منظور تحلیل داده‌ها و نیز مداخله در معماری، از روش شبیه‌سازی استفاده شد (مطابق ادبیات موضوع و پس از اثبات روایی آن). شبیه سازی‌ها با روش دینامیک سیال محاسباتی (CFD) انجام شدند. ابتدا پایایی

محفظه مدل کوچک، آزمایشی را بر جریان جابجایی طبیعی هوا با عدد رایلی حدود  $10^{10}$  انجام داده است. ابعاد اتاق حدوداً به نسبت ۱ به ۳ بود. در این آزمایش جریان و دمای اندازه گیری شده در هسته و لایه مرزی نمایش داده شد. این یکی از محدود آزمایشاتی است که بر روی یک اتاق با ابعاد و شرایط تقریباً واقعی انجام شده است. از نتایج این آزمایش برای اعتبار بخشی به مدل سازی های محققین بعدی در تحقیقات مشابه استفاده شده است (Amidpoor, M., 2009:91). ناگانو و تاگاوا آزمایش اولسن را با استفاده از مدل صفر معادله ای و مدل  $k - \epsilon$  شبیه سازی نمودند و برای اعتبار بخشی به محاسبات از نتایج آزمایش اولسن استفاده نمودند. نتایج محاسبات در هر دو مدل، مشابه بود (Nagano, Y., and Tagawa, 1990: 33-39). تاکنون هنکز و همکارانش (Giel, P. W., and Schmidt, F. W., 1986: 1459-64)، لنخارست (Chen, Q., 1996: 233-244) و هانجالیک (Markatos, N.C., and Pericleous, K.A., 1984: 755-772) جریان جابجایی طبیعی در داخل یک محفظه حاوی هوا را به صورت عددی شبیه سازی کرده اند. هنکز و همکارانش از مدل  $k - \epsilon$  استاندارد و چندین مدل  $k - \epsilon$  با عدد رینولدز پایین برای شبیه سازی جریان هوا در یک محفظه مربعی با دیوارهای گرم و عدد رایلی  $10^{14}$  استفاده کرده اند. لنخارست و همکارانش از مدل  $k - \epsilon$  استاندارد به همراه توابع دیوار برای شبیه سازی جریان هوا در یک اتاق با یک رادیاتور استفاده کردند. مدل آنها پیش بینی مطلوبی از جریان متوسط انجام داده بود و با نتایج آزمایشگاهی نیز همخوانی داشت، با این حال در مدل سازی توربولانس ضعیف بود. چن از مدل‌های مختلف تنش رینولدزی (RSM) برای محاسبه جابجایی طبیعی اجباری و توأم اتاق استفاده نمود (Chen, Q., 1996). نتایج مدل سازی‌ها نشان دادند که کارایی روش های مختلف RSM در شبیه سازی جریان هوای ساختمان یکسان است. با روش CFD مشخص شد که اندازه و موقعیت پنجره‌ها تاثیر عمده ای بر کیفیت هوای داخل دارد (Sribanurekha et al. 2016). همچنین در سال‌های اخیر، بهره‌وری انرژی به موضوعات مورد علاقه دانشمندان بدل شده است و شیوه های تهویه طبیعی با روش CFD تحلیل میگردند (Martínez-Molina et al. 2016).

کامپچرو همکاران استراتژی‌های کنترل HVAC را تغییر داده و با روش CFD برتری شیوه های تهویه طبیعی را نشان داده است (Kompatscher et al, 2017). رهایی (2014) شیوه های تهویه مطبوع را در ساختمانی صنعتی با روش تجربی و

این آزمونها نیز حدود ۳۰ روز (بیشترین نیاز به تهویه طبیعی در محدوده اردیبهشت تا خرداد است) از ۲۰ اردیبهشت تا ۲۰ خرداد در نظر گرفته شد. آزمونهای تجربی سنجش سرعت باد در فضای داخل کلاس در پنج نقطه و در سه ارتفاع ۰٫۵ متر، ۱٫۲ متر و ۱٫۸ متر (تراز مورد نیاز برای شخص در حالتهای نشسته و ایستاده) در ۴ حالت زیر در طول مدت آزمون انجام شد (تصاویر ۱ و ۲ و ۳).

۱. تمام بازشوها باز
۲. پنجره ۱ و در باز
۳. پنجره ۲ و در باز
۴. فقط پنجره‌ها باز

به منظور اندازه‌گیری سرعت باد از دستگاه سرعت‌سنج مدل Kimo VT 200 استفاده شد. این دستگاه با حسگر سیم حرارتی خود، قابلیت اتصال به کامپیوتر را داشته و نوسانات سرعت باد را به صورت نمودار ثبت می‌کند.

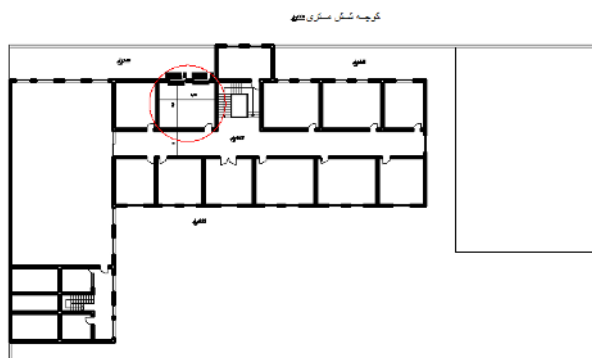


Fig. 2 The school's plan and the case study



شبهه سازه‌های عددی بوسیله آزمونهای تجربی اثبات گردید و سپس به تحلیل داده‌ها با روشی تفسیری و مقایسه‌ای پرداخته شد. پیش‌پردازشگر Gambit به منظور مدل‌سازی‌های هندسی و ایجاد شبکه (مش بندی) مورد استفاده قرار گرفت و نرم افزار Fluent نیز به منظور تحلیل شبکه به کار گرفته شد. در این پژوهش از مدل  $k-\epsilon$  استاندارد برای شبیه‌سازی جریان هوا استفاده شد. بدین ترتیب روش تحقیق این پژوهش، ترکیبی از راهبردهای تجربی، شبیه‌سازی و پژوهش موردی است. تدابیر مورد استفاده شامل مطالعات کتابخانه‌ای، مشاهدات و برداشت‌های میدانی، اندازه‌گیری‌های کارگاهی و شبیه‌سازی بوده است.

#### ۴- معرفی نمونه موردی

کلیه آزمایشات در یک کلاس موردی در یک دبستان (انتخاب تصادفی) در شهر آمل صورت پذیرفتند. مدت انجام

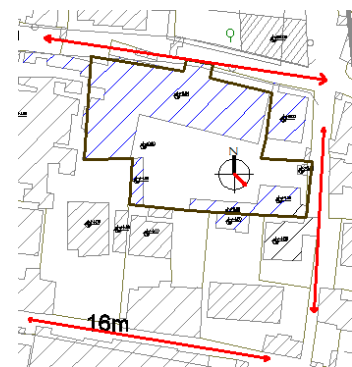


Fig. 1 The school's position and the streets around

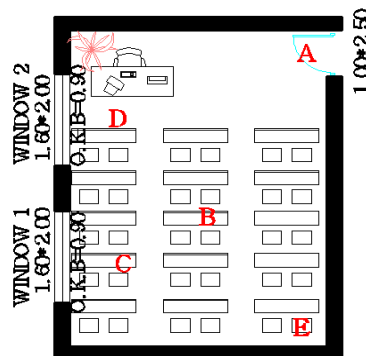


Fig. 3 Plan of the case study

سرعت وزش باد در هر یک از نقاط کلاس، در بازه زمانی ۴ دقیقه‌ای است. به منظور پیدا کردن جهت باد نیز از آزمایش دود استفاده شد. ضمن اینکه سرعت باد خارج نیز به کمک دستگاه کیمو از طریق پنجره کلاس در فاصله ۳ متری از دیوار کلاس در تراز ۶ متری از سطح کوچه در تمام طول مدت آزمون اندازه‌گیری شد.

#### ۵- آزمونهای تجربی

این آزمون‌ها در ۵ نقطه مختلف از فضای داخلی یکی از کلاسهای طبقه اول که باد خوبی در زمان باز بودن بازشوها از خلال آن میوزید، در ترازهای مختلف ارتفاعی، صورت پذیرفت. آزمونها حدود ساعات ۸ الی ۱۴ در نمونه موردی به عمل آمد. هر اندازه‌گیری شامل حداقل، حداکثر و میانگین

Table 1: The average speed of airflow in different levels of test's points in different positions, while the average speed of the outdoor wind is 5m/s. All units are m/s

Position 2. Only win 1 and the door are open				Position 1. All openings are open			
+1.8 m	+1.2	+0.5 m	point	+1.8 m	+1.2	+0.5 m	point
0.81	0.97	0.74	A	0.67	1.03	0.57	A
0.42	0.29	0.28	B	0.28	0.4	0.25	B
0.34	0.42	0.29	C	0.69	0.89	0.67	C
0.42	1.34	0.68	D	0.96	1.11	0.48	D
0.32	0.35	0.30	E	0.93	0.90	0.35	E
Position 4. Only windows are open				Position 3. Only win 2 and the door are open			
+1.8 m	+1.2	+0.5 m	point	+1.8 m	+1.2	+0.5 m	point
0.27	0.30	0.31	A	0.50	0.68	0.55	A
0.17	0.26	0.19	B	0.36	0.45	0.27	B
0.45	0.47	0.36	C	0.93	1.05	0.59	C
0.72	0.63	0.45	D	0.42	0.44	0.27	D
0.44	0.41	0.26	E	0.74	1.01	0.47	E

میگیرد. در این پژوهش مطابق ادبیات موضوع از یک روش دینامیک سیال محاسباتی (CFD) برای شبیه‌سازی جریان هوای داخل استفاده شد. جهت اعتبار بخشی به شبیه‌سازی‌ها و اثبات پایایی، وضع موجود مطابق داده‌های تجربی شبیه‌سازی گردید. پیش‌پردازشگر Gambit به منظور مدل‌سازی‌های هندسی و ایجاد شبکه (با روش TET) مورد استفاده قرار گرفت و نرم‌افزار Fluent نیز به منظور تحلیل شبکه به کار گرفته شد. نتایج شبیه‌سازی (تصاویر ۴ تا ۱۰ با اعداد بدست آمده از آزمونهای تجربی (جدول ۱) قابل مقایسه بود و اختلاف بسیار اندکی (حدود ۰.۵٪) دیده می‌شد که طبق استاندارد اشری کمتر از ۱۰ درصد و قابل قبول است. این اختلاف نیز بدلیل خطای آزمون، قابل اغماض است. بدین ترتیب مدل‌های مختلف کلاس بر اساس مفروضات این پژوهش (نتایج آزمونهای تجربی) شبیه‌سازی شدند و مداخله در شبیه‌سازی‌ها صورت پذیرفت. به منظور انجام شبیه‌سازی‌ها، جریان بادی با سرعت ۵ متر بر ثانیه (مطابق نتایج مطالعات تجربی) از سمت غرب و در امتداد کوچه شمالی (مطابق مشاهدات این پژوهش) وارد می‌شود. شبیه‌سازی‌ها نشان دادند که با وجود وزش باد با سرعت ۵ متر بر ثانیه، جریان تقریباً راکدی در اطراف مدرسه وجود دارد.

آزمونهای تجربی نشان داد، نقطه E (تصویر ۳) که نقطه کور اتاق محسوب می‌شود، در وضعیت ۱ و وضعیت ۳ وضعیت نسبتاً مطلوبی به هنگام تهویه طبیعی دارد و البته وضعیت ۳ از وضعیت ۱ بهتر است. بنابراین صرف‌باز بودن همه بازشوها نمیتواند جریان مطلوب ایجاد نماید. همچنین سرعت باد غالب در فضای میانی کوچه در تراز ۶ متری از سطح کوچه در طول مدت آزمون حدود ۳.۵ m/s از غرب به شرق اندازه‌گیری شد. حداکثر سرعت باد، ۱۵ m/s و میانگین سرعت باد بعد از حذف سرعتهای کمتر از ۱ m/s، حدود ۵ m/s اندازه‌گیری شد. لازم به ذکر است که حدود ۸۰٪ مدت آزمون، سرعت باد خارج، بیشتر از ۱ متر بر ثانیه بود و داده‌های جدول ۱ در این شرایط تهیه شدند. شواهد نشان از وزش باد نسبتاً دائمی در اطراف مدرسه دارند.

#### ۶- تحلیل داده‌ها با روش CFD

از آنجاکه هدف اصلی این پژوهش، برقراری جریان مطلوب و تحت کنترل هوا طبق استاندارد اشری در فضای داخلی کلاس بوسیله باد خارج است و متغیرهای مستقل این پژوهش بازشوها و ترکیب کالبدی کلاس است، لذا مداخله در معماری اجتناب‌ناپذیر است که این امر به کمک شبیه‌سازی صورت



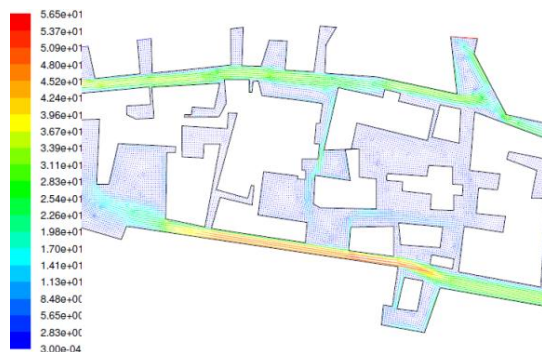


Fig. 5 Velocity vectors around the school

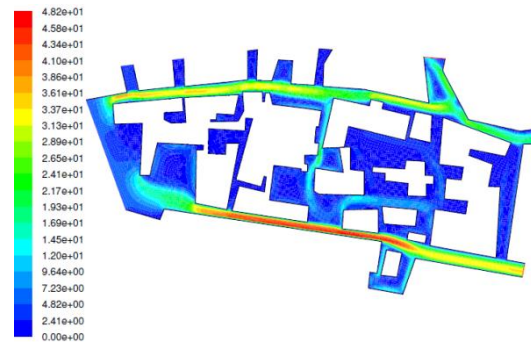


Fig. 4 Contours of velocity magnitude around the school

است. جریان هوا بیشتر به سمت دیواره‌ی سمت راست متمایل است (در صورتی که چیدمان پلان برای دانش‌آموزان باید به صورتی باشد تا نور از سمت چپ بتابد)؛ بنابراین نیاز به عنصری هدایت‌کننده دارد تا باد را از گوشه به سمت مرکز بکشاند. وجود جریان گردابه‌ی  $3^{\circ}$  نامطلوب در مرکز و رکود نسبی هوا در میانه کلاس (محل نشستن دانش‌آموزان) از عوارض نامطلوب این حالت است. در زمان بسته بودن درب خروجی کلاس، وضعیت بسیار نامطلوب تر میشود و هرچند مسیر گردش هوا در داخل کلاس، شبیه حالت الف است، با اینحال تقریباً جریان هوای داخل در تقریباً تمام نقاط کلاس راکد است (تصویر ۱۱، حالت ب).

#### ۷- نتایج حاصل از شبیه سازی

به منظور برقراری تهویه طبیعی موثر در فضای داخل کلاس، مداخله در معماری کلاس با روش اعتبار سنجی شده مذکور، در شبیه سازی‌ها انجام پذیرفت. این مداخلات با توجه به ادبیات موضوع و مشابه پژوهش‌های سایر محققین در کلاس و بر اساس متغیرهای این پژوهش به شرح زیر است:

#### ۷-۱- مداخله اول: حذف مانع باد در نمای خارجی

با حذف مانع خارجی، به شرط باز بودن درب کلاس (حالت الف در تصویر ۱۱)، شدت جریان ورودی از طریق پنجره‌ی اول افزایش می‌یابد اما همچنان سرعت جریان هوا در قسمت مرکزی صفر و در اکثر قسمت‌ها نزدیک به صفر

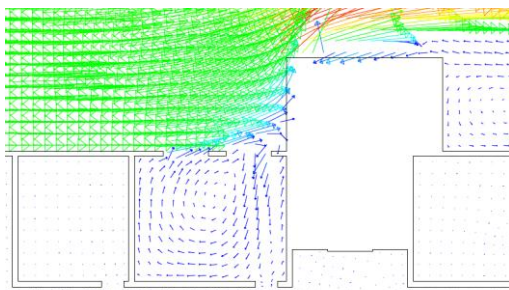


Fig. 8 Eddy current in case study (aisle window: close)

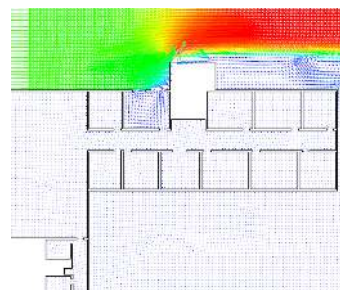


Fig. 7 Velocity vectors around the school (aisle window: close)

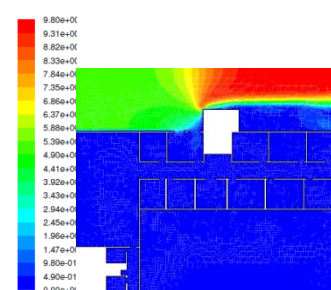


Fig. 6 Contours of velocity magnitude around the school (aisle window: close)



Fig. 10 Velocity vectors around the school (aisle window: open)

تهویه هوای داخل بدتر شده است. علیرغم باز بودن درب خارجی کلاس، نسبت به وضعیت بدون تیغه، تغییر محسوسی در جهت جریان بوجود نیامده است (تصویر ۱۲).

۲-۷- مداخله دوم: اجرای تیغه موازی با جبهه‌ی نما با اجرای تیغه خارجی مطابق تصویر ۱۲، سرعت جریان هوا در فضای داخلی نسبت به مداخله اول کمتر شده است. جریان هوا در بیشتر قسمت‌های کلاس راکد است و اوضاع

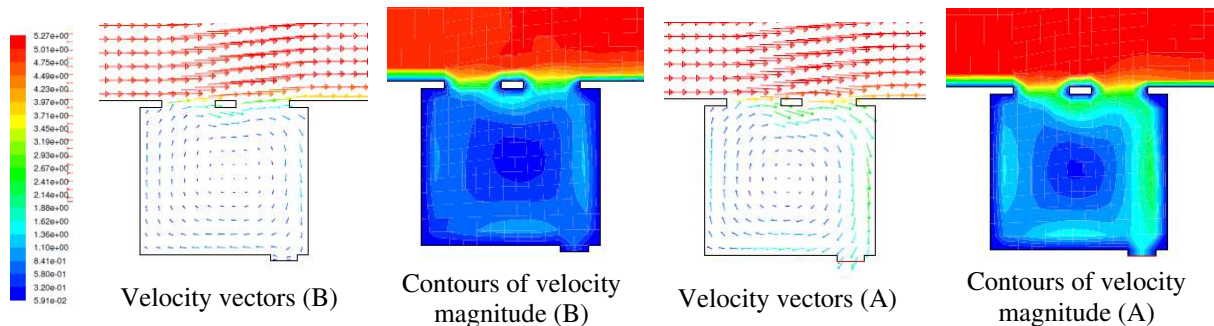


Fig. 11 Contours of velocity magnitude and velocity vectors in first intervention. A: the door is open, B: the door is close

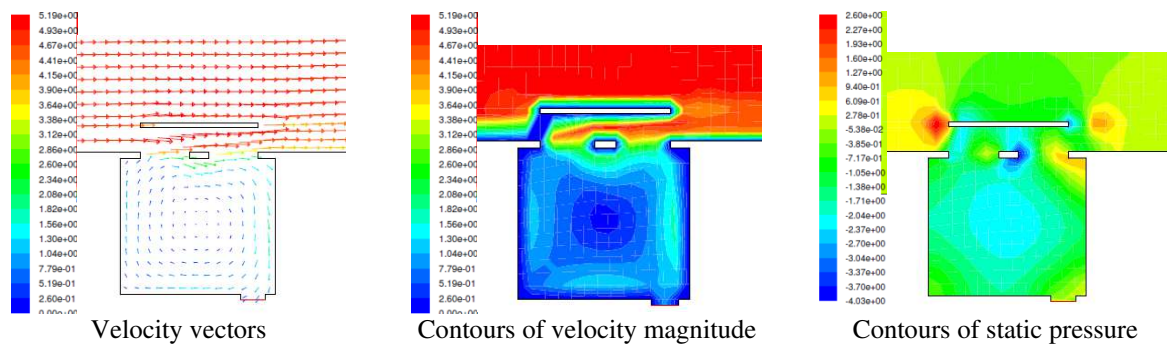


Fig. 12 Contours of velocity magnitude and velocity vectors in second intervention

مرکز تغییر کرده است. در این وضعیت یک جریان گردابه‌ای در پشت تیغه و یک جریان گردابه‌ای در داخل کلاس ایجاد شده است و هنوز شکل کلی جریان هوای داخل، مساعد نبوده و در بخشی از کلاس، جریان باد شدید و در بخشهای دیگر، رکود نسبی هوا احساس میشود (تصویر ۱۴). در صورتی که درب کلاس بسته باشد، پنجره‌ی دوم به‌عنوان منطقه مکش عمل کرده و تیغه تنها آشفتگی جریان هوا را در محدوده پنجره‌ها افزایش می‌دهد. در این وضعیت تقریباً هیچ جریان موثری در کلاس وجود ندارد.

۳-۷- مداخله سوم: اجرای تیغه عمودی بعد از پنجره‌ی دوم با اجرای تیغه عمودی در پنجره‌ی دوم، سرعت جریان هوا در یک محدوده‌ی خاص بالا رفته ولی همچنان اکثر نقاط دارای جریان راکد یا نزدیک به صفر هستند. تنها شدت جریان در پنجره دوم بالا میرود و جریان ورودی با شدت بیشتری از طریق در خارج می‌شود (تصویر ۱۳).

۴-۷- مداخله چهارم: اجرای تیغه عمودی بعد از پنجره‌ی اول الگوی جریان هوای کلاس نسبت به وضعیت قبل تغییر نموده و شدت جریان هوای داخل، از کناره دیوار به سمت

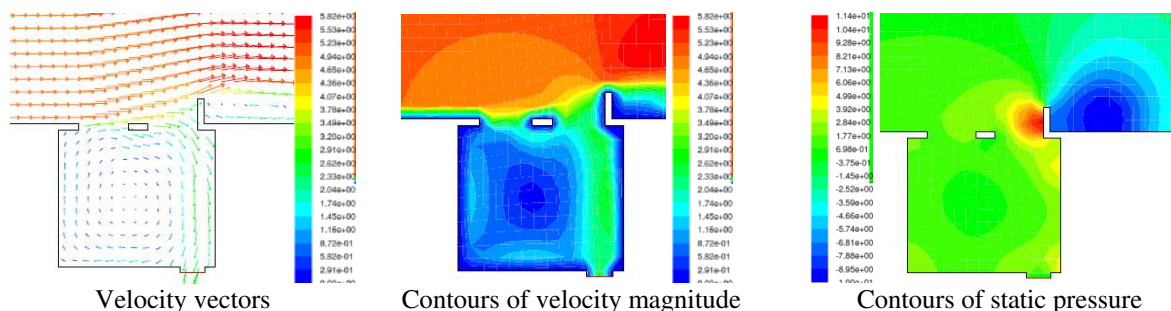


Fig. 13 Contours of velocity magnitude and velocity vectors in third intervention



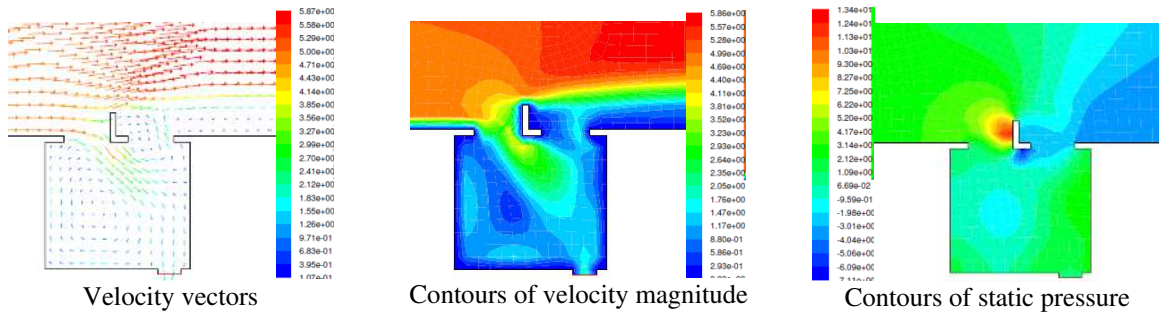


Fig. 14 Contours of velocity magnitude and velocity vectors in 4th intervention

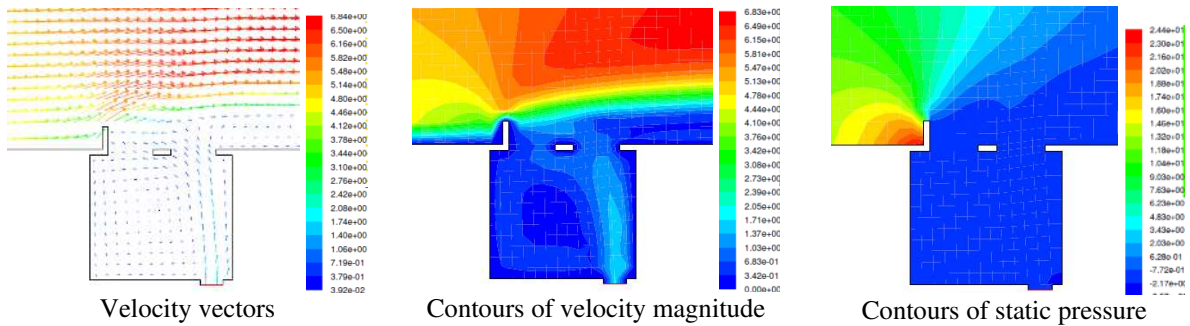


Fig. 15 Contours of velocity magnitude and velocity vectors in 5th intervention

۶-۷- مداخله ششم: اجرای دو تیغه عمودی در وسط (یکی رو به داخل و یکی رو به بیرون)  
مطابق تصویر ۱۶، جریان باد از پنجره اول وارد کلاس شده و از طریق پنجره دوم و درب، خارج میشود. آشفته‌گی جریان هوای داخل بسیار زیاد بوده و دو جریان گردابه‌ای در کلاس چنان ایجاد شده که فضای داخلی به دو بخش تفکیک شده است.

۵-۷- مداخله پنجم: اجرای تیغه عمودی قبل پنجره‌ی اول  
تیغه به عنوان سدی در برابر عبور جریان عمل می‌کند و جریان هوا را از پنجره دور می‌کند. در نتیجه مداخله تأثیری کاملاً منفی بر سرعت جریان هوا در کلاس داشته است. و در نقاطی هم که قبلاً سرعت بالا بود، افت ایجاد شد. باز و بسته بودن درب کلاس نیز تأثیری چندانی در شکل جریان ندارد (تصویر ۱۵).

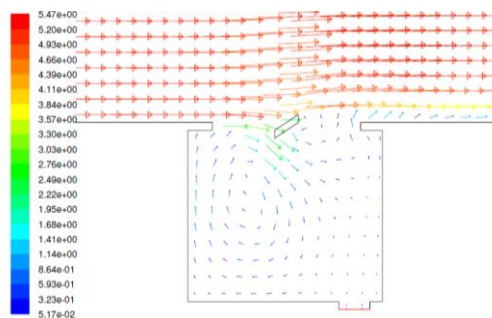


Fig. 17 Velocity vectors in 7th intervention

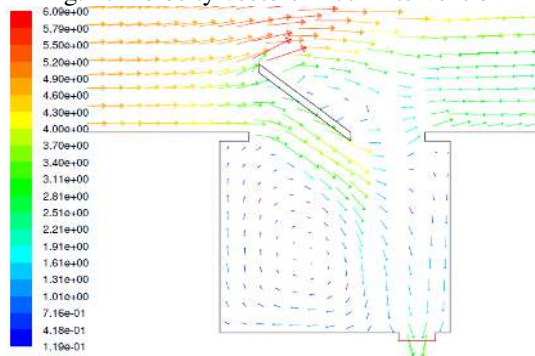


Fig. 19 Velocity vectors in 7th intervention, C (the door is open)

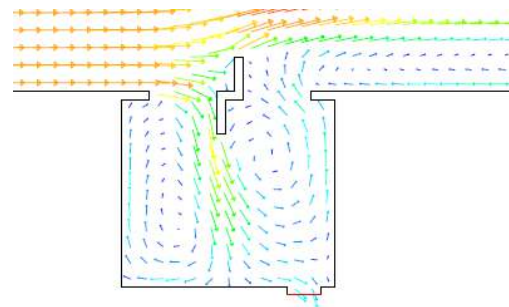


Fig. 16 Velocity vectors in 6th intervention

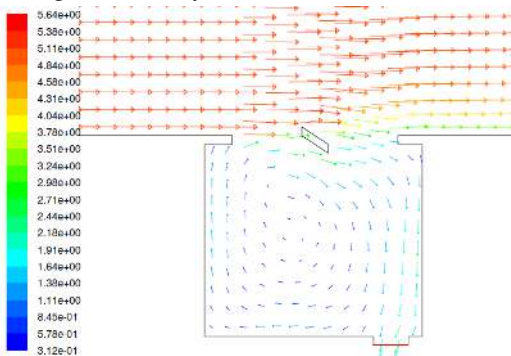


Fig. 18 Velocity vectors in 7th intervention, B (the door is open)



در این حالت اگر درب کلاس بسته باشد، شکل جریان تغییر خاصی نمی‌کند ولی ناحیه رکود هوا در فضای داخل کلاس چندین برابر خواهد شد.

**۷-۸- مداخله هشتم: اجرای تیغی مایل مداخله هفتم در نقاط مختلف جداره خارجی**

در این حالت نیز شرایط مختلف مورد آزمون واقع گردید و هرگز نتیجه‌ای بهتر از حالت ج در مداخله هفتم بوجود نیامد. پس از انجام آزمونهای مختلف و جابجایی درب کلاس و ترکیب حالت‌های فوق، مداخلات ترکیبی به شرح زیر پیشنهاد گردید.

**مداخله ترکیبی: اجرای تیغی مایل، جابجایی در و افزودن تیغی عمودی**

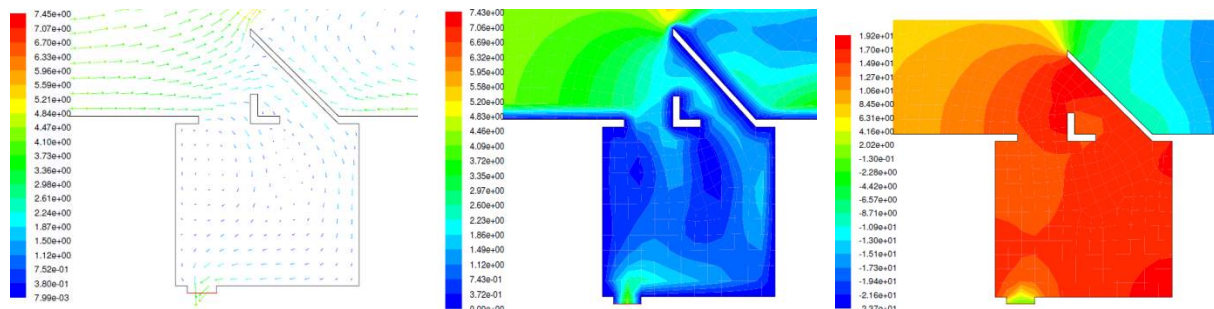
همانگونه که از تصویر ۲۰ مشخص است، جریان بسیار آرامی تقریباً در تمام نقاط کلاس برقرار شده است. البته فشار نسبی هوا، اندکی بالا رفته که ممکن است آسایش دانش‌آموزان را برهم بزند. با اینحال هنوز نقاط کور زیادی در فضای داخل وجود دارد که علاوه بر ارتقای نسبی تهویه طبیعی نسبت به حالت‌های قبل، مشکل جریان موثر هوا در فضای داخل کلاس هنوز حل نشده است.

**۷-۷- مداخله هفتم: اجرای دیوار مایل بین دو پنجره**

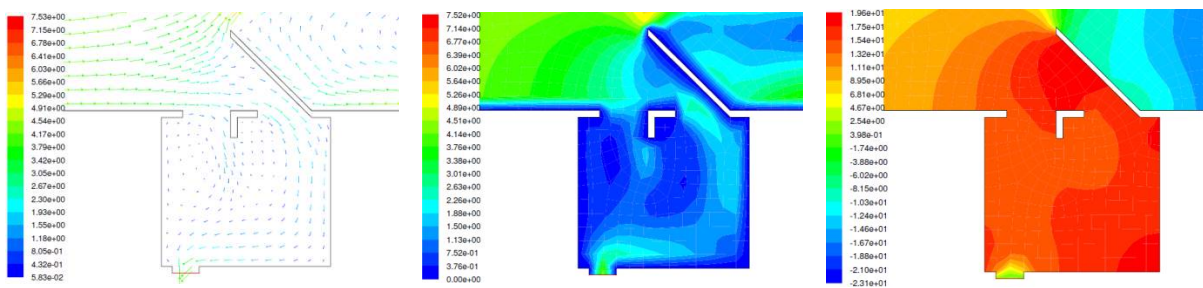
با مایل کردن دیواره بین دو پنجره (حالت الف) مطابق تصویر ۱۷، کمی تلاطم و سرعت جریان هوا در پنجره اول افزایش پیدا کرده اما در بقیه قسمت‌ها صفر یا نزدیک به صفر شده است. تنها سرعت جریان ورودی از طریق پنجره اول را بهبود بخشیده است. در زمانی که درب کلاس بسته باشد، هیچ جریان موثری در داخل کلاس ایجاد نمی‌شود.

در حالتیکه دیوار مایل بین دو پنجره (حالت ب) مطابق تصویر ۱۸ باشد، شکل جریان هوای داخل متفاوت گشته، جریان هوا در کناره‌های دیوار سرعت بیشتری می‌گیرد. اما در وسط کلاس رکود هوا کاملاً محسوس می‌باشد. در زمان بسته بودن درب کلاس نیز هیچ جریان موثری در داخل کلاس برقرار نمی‌شود.

در شرایطی که دیوار مایل بین دو پنجره (حالت ج) مطابق تصویر ۱۹ باشد، بطوریکه تمام طول پنجره اول را بپوشاند، شکل جریان بهبود می‌یابد. با اینحال آشفستگی شدید جریان هوا در بین پنجره‌ها و نیز میانه کلاس، مشکل ساز است و البته در نیمی از کلاس جریان گردابه‌ای با رکود هوا در میانه آن برقرار است که حالت مطلوبی نخواهد بود.



Velocity vectors  
Fig. 20 Contours of velocity magnitude and velocity vectors in 1th composed intervention

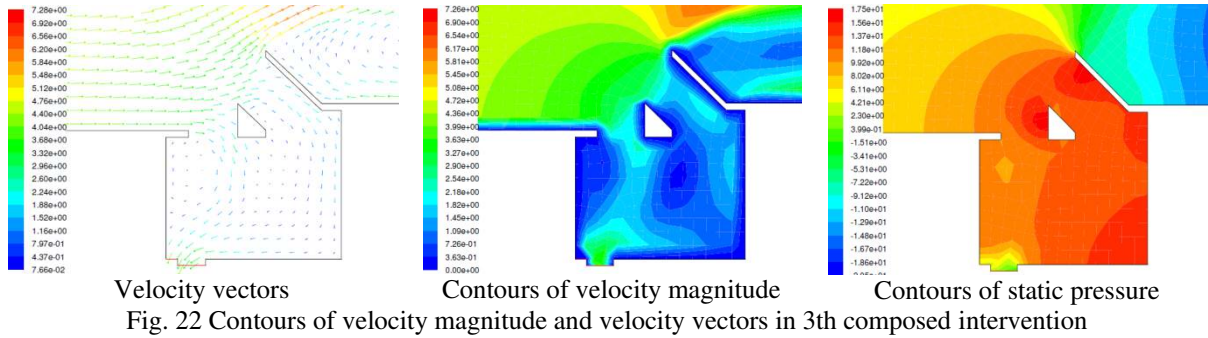


Velocity vectors  
Fig. 21 Contours of velocity magnitude and velocity vectors in 2th composed intervention.

از وضعیت مداخله ترکیبی ۱ بهتر شده و فقط تفاوت در شکل تیغه میان پنجره‌هاست.

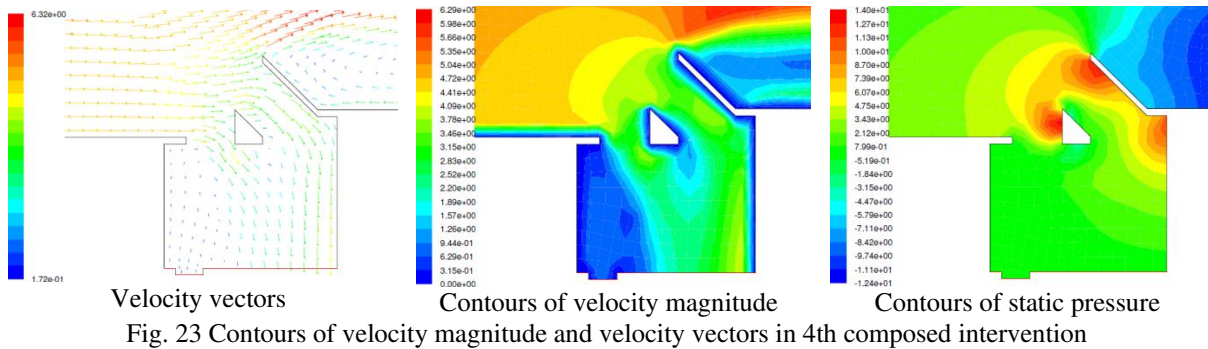
**مداخله ترکیبی ۲: اجرای تیغی مایل، جابجایی در و افزودن تیغی عمودی رو به داخل**

مطابق تصویر ۲۱ شکل جریان هوای داخل در این حالت



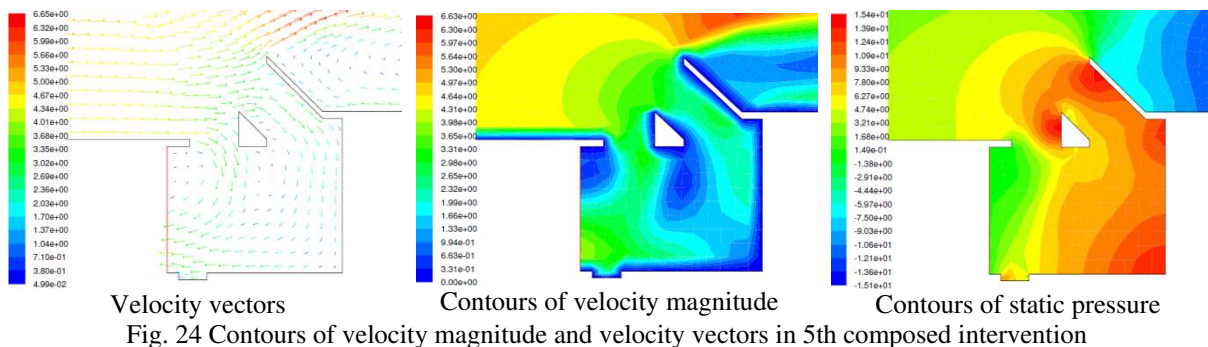
در فضای داخل، بالا رود ولی به نظر میرسد باید برای خروج هوا، تمهیداتی اعمال شود تا کیفیت تهویه طبیعی ارتقا پیدا کند. اندازه و رنگ فلش‌ها بهبود چندانی در اوضاع را نشان نمی‌دهد ولی جهت فلش‌ها نشان دهنده بهتر شدن مسیر حرکت جریان هوا در فضا است (تصویر ۲۲).

مداخله ترکیبی ۳: اجرای تیغه‌ی مایل، ایجاد حالت پلکانی در پلان، جابجایی و افزایش عرض درب  
با ایجاد حالت پلکانی در نما و افزایش عرض در، ورود جریان هوا از طریق پنجره اول بهبود پیدا کرد اما در پنجره‌ی دوم سرعت جریان هوا کاهش یافت. با وجود آنکه انتظار می‌رفت با ایجاد حالت پلکانی باید سرعت تهویه و جریان هوا



افزایش پیدا کرده است، به طوری که سرعت باد آسایش ساکنین را مختل می‌کند. رنگ و سایز فلش‌ها نشان دهنده بهتر شدن سرعت و مسیر حرکت جریان هوا در فضا است.

مداخله ترکیبی ۴: حذف دیواره پایینی پلان  
مطابق تصویر ۲۳ با برداشتن دیوار پایین و افزایش عرض خروجی هوا، سرعت حرکت جریان در فضا به طرز چشمگیری



حرکت هوا در داخل کلاس بسیار مطلوب خواهد شد. خصوصاً اینکه دریچه خروج هوا از طریق دیوار غربی قابل تنظیم باشد تا با سرعت باد خارج هماهنگ شود. بردارهای سرعت و جهت جریان هوای داخل در تصویر ۲۴، موید جریان موثر هوای داخل بدون برهم زدن آسایش ساکنین فضا می‌باشد.

مداخله ترکیبی ۵: اجرای تیغه‌ی مایل، ایجاد حالت پلکانی در پلان، جابجایی در و تعبیه خروجی هوا در دیواره‌ی سمت چپ  
مطابق تصویر ۲۴، ایجاد حالت پلکانی در نمای شمالی، چنانچه مطابق تصویر بوسیله تیغه‌های نما به هر دو پنجره باد مستقیم برسد و خروجی هوای تزریقی از طریق پنجره‌ها از طریق دیوار غربی و درب خروجی جنوب غربی باشد،

رسیدن به خروجی را طی می‌کند. البته جریان گردابه‌ای مختصری در کنج اتاق ایجاد شده است که قابل اغماض است.

لازم به ذکر است که مطابق نمودارها جریان بسیار ایده آلی در تمام نقاط کلاس برقرار گردیده است که این میزان بین ۰,۱ متر بر ثانیه تا ۱ متر بر ثانیه در نوسان بوده و طبق استاندارد اشری در شرایط ایده آل به سر می‌برد.

در این حالت، عنصر وسط بین دو پنجره به عنوان مانعی برای تغییر مسیر جریان هوای بیرون برای ورود از طریق پنجره‌ی اول و به عنوان هدایت کننده‌ی جریان برای پنجره دوم عمل می‌کند. حالت پلکانی اتاق هم جریان هوای بیرون را به داخل هدایت می‌کند. سایز و جهت فلش‌ها، بهبود کیفیت تهویه طبیعی را در فضای داخل نشان می‌دهد به گونه‌ای که باد مسیر حداکثری برای

Table 2: All composed interventions in this study

Embedded an outlet in left wall	Remove the bottom wall in plan	Increase the door width	Move the door	Create a stepped mode in plan	Add an inner vernacular partition	Add an outer vernacular partition	Run the crooked wall	Composed interventions
			*			*	*	1
			*		*		*	2
		*	*	*		*	*	3
	*	-	-	*		*	*	4
*			*	*		*	*	5

به کلاس، خروجی مناسب در نظر گرفته نشود، جریان هوای داخل بشدت آشفته خواهد بود. لذا پیش بینی خروجی مناسب بر اساس دبی هوای ورودی می‌تواند جریان هوای داخل را متعادل نماید. بر اساس شبیه سازی ها، خروجی جریان هوای داخلی باید در دیواری پیش بینی شود که سمت رو به باد است. بدین معنی که اگر جهت وزش باد از غرب به شرق باشد، خروجی هوای داخل باید در دیوار غربی کلاس پیش بینی شود. در این حالت، درب خروج کلاس نیز باید در گوشه جنوب غربی پیش بینی شود. خروجی هوا از طریق دیوار غربی می‌تواند بصورت مکند هایی پیش بینی شود که بصورت فن یا لوله های مکند ه یا دریچه خروج هوا در دیوار رو به باد (دیوار غربی) پیش بینی شده و هوا از طریق لوله هایی در دیوار، خارج میشود. میزان مکندگی دیوار غربی، می‌تواند سرعت جریان هوای داخل را تنظیم نماید. بدین معنی که اگر سرعت جریان باد بیرون شدید باشد، مکند هها خاموش یا با دور کند کار نمایند و اگر سرعت جریان باد خارج کم باشد، مکند هها می‌توانند با سرعت بیشتری هوا را تخلیه نمایند. در این حالت شکل جریان هوای داخل، بسیار بهبود یافته و البته قابل تنظیم است. بر این اساس پیش بینی ترکیب کلی کلاس بر مبنای جریان هوای داخلی موثر، به منظور تسهیل فرایند تهویه طبیعی، باید مطابق نتایج این پژوهش و با نمای پلکانی و خروجی قابل تنظیم و سراسری در دیوار رو به باد باشد و در این حالت جریان یکنواخت و ملایمی طبق استاندارد اشری در تمام نقاط کلاس برقرار خواهد بود.

#### ۸- نتیجه گیری

با بررسی مداخلات صورت گرفته که خلاصه انواع ترکیبی این مداخلات در جدول ۲ آمده است، در وضعیتهای متعدد، شامل مداخله های متعدد در وضعیت بازشوها، فرم پلان و ترکیب دیوارها، به دلایل زیر حالت بهینه انتخاب گردید.

- بالا رفتن سرعت جریان هوا در فضای داخل کلاس به نحوی که اولاً آزار دهنده نباشد و طبق استاندارد اشری حداکثر ۱ متر بر ثانیه سرعت داشته باشد، ثانيا بصورت یکنواخت در تراز افراد ساکن در کلاس بدون ایجاد نقطه کور، برقرار باشد.
- به حداقل رساندن نقاط کم فشار نسبی و حذف جریانهای گردابه ای در فضای داخلی که بعضا آزار دهنده است
- اصلاح جهت حرکت جریان هوا
- هدایت صحیح جریان هوای بیرون به فضای داخل و ایجاد کوران مطلوب
- براساس مداخلات صورت گرفته در این پژوهش، مشخص گردید که اساسا برای برقراری جریان موثر هوا در فضای داخل کلاس، هر دو پنجره باید بعنوان ورودی هوا عمل کنند و فشار هوای ورودی به هر دو پنجره تقریبا یکسان و دبی هوای ورودی از هر دو پنجره تقریبا برابر باشد. این اتفاق در شرایطی روی میدهد که نمای ساختمان و موقعیت پنجره های خارجی آن، حالت پلکانی داشته باشد و باد خارج بتواند به یک میزان به هر دو پنجره برسد. اگر برای هوای وارد شده



## پی‌نوشت

1. Computational Fluid Dynamic
2. Reynolds stress model
3. Eddy curret:

جریان گردابه ای یا گردابی اغلب به الگوی چرخش سیال حول یک محور عمودی مستقیم گفته می‌شود. این جریانات اصولاً آزار دهنده اند.

## References

## فهرست منابع

- ACGIH (2011). The Industrial Ventilation Manual. USA: the American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) Ltd.
- Amidpoor M (2009). Investigating the effects of using smokeless heaters on indoor air quality, research project, Khaje Nasir-o-din Toosi University, department of mechanic, Client: Optimizing Iran's fuel consumption co.
- Ascione F, Bellia L, Capozzoli A (2013). A coupled numerical approach on museum air conditioning: Energy and fluid-dynamic analysis, Applied energy, Vol. 103, pp. 416-427.
- Bina M (2008). Climatic analyses of Shavadans in Dezful's houses, Honarhaye Ziba, No. 33, pp. 37-46.
- Burgess WA (1995). Recognition of Health Hazards in Industry, New York, Wiley Ltd.
- Busch JF (1992). A tale of two populations: thermal comfort in airconditioned and naturally ventilated offices in Thailand, Energy and Buildings, Vol. 18, No. 3/4, pp. 235-249.
- Chlela F, Husaunndee A, Inard Ch, Riederer P (2009). A new methodology for the design of low energy buildings, Energy and Buildings, Vol. 41, pp. 982-990.
- Cheesewright R (1968). Turbulent natural convection from a vertical plane surface, Journal of Heat Transfer, Transaction of ASME, pp. 1-9.
- Chen Q (1996). Prediction of room air motion by Reynolds-Stress models, Building and Environment, No. 31, pp. 233-244
- Corgnati SP, Perino M (2013). CFD application to optimise the ventilation strategy of Senate Room at Palazzo Madama in Turin (Italy), Journal of Cultural Heritage, Vol. 14, No. 1, pp. 62-6.
- Dafa Alla AA, Bets PV (1996). Turbulent natural convection in a tall cavity, Experimental Heat Transfer, No. 9, pp. 165-194.
- Elder JW (1965). Turbulence free convection in a vertical slot, Journal of Fluid Mechanics, Vol. 23, No. 1, pp. 99-111.
- Energy Consumption Guide 19 (1993). Energy Efficiency in Offices, Energy Efficiency Office/HMSO, London.
- Energy Information Administration (1995). State Energy Data Report, 3-7 Tables.
- Finnegan JJ, Pickering CAC, Burge PS (1994). The sick building syndrome: prevalence studies, British Medical Journal, Vol. 289, pp. 1573-1575.
- Giel PW, Schmidt FW (1986). All experiment study of high Rayleigh number natural convection, In: An Enclosure Proceeding of the 8th International Heat Transfer Conference, Vol. 4, pp. 1459-1464.
- Hassana MA, Guirguis NM, Shaalan MR, El-Shazly KM (2007). Investigation of effects of window combinations on ventilation characteristics for thermal comfort in buildings, Vol. 209, pp. 251-260.
- Kompatscher K, Kochen S, Van Schijndel AWM, Schellen HL (2017). Coupled heat, moisture and CFD modeling in the built environment, in 2017 COMSOL Conference, 18-20 October 2017, Rotterdam, The Netherlands.
- Kokh, Nilson, & Halger (2006). Natural Ventilation (Ahmadinejid M, Trans.) Esfahan: Nashr-e-khak: 1.
- Loomans M, Mook F Van (1995). Survey on measuring indoor airflows FAGO, report 95.25.W., Eindhoven University of Technology Sweden.
- Markatos NC, Pericleous KA (1984). Laminar and turbulent natural convection in enclosed cavity, International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 27, No. 5, pp. 755-772.
- Martínez-Molina A, Tort-Ausina I, Cho S, Vivancos JL (2016). Energy efficiency and thermal comfort in historic buildings: A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 61, pp. 70-85.
- Nagano Y, Tagawa N (1990). An improved k-ε model for Boundary layer flows, Journal of Fluids Engineering, Vol. 112, pp. 33-39.
- Olsen DA, Glicksman LR, Ferm HM (1990). Steady state natural convection in a empty and partitioned enclosure at high Rayleigh numbers, Journal of Heat Transfer, ASME, Vol. 112, pp. 640-647.
- Rahaei O (2013). Cultural identity and its effects on natural ventilation methods in Dezful's cultural Bazaar, Baghe-Nazar, No. 24, pp. 39-46.
- Rahaei O (2014). Effects of architectural somatic variables on mixed air conditioning systems' efficiency in industrial buildings, Armanshahr Architecture & Urban Development Journal, Vol. 12, pp. 69-81.
- Sribanurekha V, Wijerathne SN, Wijepala LHS, Jayasinghe C (2016). 'Effect of Different Ventilation Conditions on Indoor CO2 Levels'.
- Shetabivash H (2015). Investigation of opening position and shape on the natural crossventilation, Energy and Buildings, Vol. 93, pp. 1-15.
- Sulaiman RB, Kamaruzzaman SyN, S.P. R, Pitt M (2011). The environmental performance of air conditioning systems in heritage buildings in tropical climates, Journal of Surveying, Construction and Property, Vol. 9, No. 1



- Teodosiu C, Ilie V, Teodosiu R (2014). Appropriate CFD turbulence model for improving indoor air quality of ventilated spaces, *Mathematical Modelling in Civil Engineering*, Vol. 10, No. 4, pp. 28-42.
- Zhao R, Xia Y (1998). Effective non-isothermal and intermittent air movement on human thermal responses, *Roomvent*, Vol. 2, pp. 351-357.

## Improving the Quality of Natural Ventilation in Classrooms of Mazandaran Province Based on the Position of the Openings Using CFD Method

Omid Rahaei<sup>1</sup> (Corresponding Author), Hamid Reza Azemati<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Assistant Professor, School of Architecture and Urban Design, Shahid Rajaei Teacher training University, Tehran, Iran (o.rahaei@sru.ac.ir)

<sup>2</sup>Professor, School of Architecture and Urban Design, Shahid Rajaei Teacher training University, Tehran, Iran (azemati@sru.ac.ir)

Received  
14/12/2018

Revised  
27/09/2019

Accepted  
14/03/2020

Available Online  
21/07/2020

**Introduction:** Providing clean and fresh air for students in the classroom is of paramount importance, especially in hot seasons. Based on research findings and evidences, mechanical air conditioning systems are not only expensive, but also consume a lot of energy and produce noise. In sultry conditions of Mazandaran province, this issue is more accentuated since the schools are cooled by evaporative air coolers, while it is possible to use the natural ventilation in a better share of the year, and the schools are closed in warm seasons. Hence, the purpose of this paper is to offer a practical solution that can be architecturally applied to the classrooms to improve the indoor airflow by inducing outdoor ventilation (natural ventilation), and provide a desirable and controllable indoor airflow according to the ASHRAE standard. In most Iranian schools, evaporative air coolers are used in hot seasons to reduce the high costs of air conditioning systems. Observations suggest that evaporative air coolers are also used in hot and humid climate near the Caspian Sea, resulting discomfort, particularly with high levels of humidity. In such cases, the evaporative air coolers are turned off and the windows are opened. Mostly, the induced indoor airflow is not effective, or a high flow of air enters the classroom in these situations.

**Problem statement:** Achieving comfort at schools in sultry conditions in hot and humid weather of northern Iran is challenging, and thus it is necessary to establish an effective air conditioning system in the classrooms. Moreover, natural ventilation is the best solution in these conditions according to the climatic and economic reasons. Natural ventilation should consistently induce airflow in all parts of the classroom at a reasonable velocity. Hence, this research investigates the criteria for designing classrooms in the climate of Amol, considering the position and the general configuration of the openings in the classrooms, and the direction of the prevailing wind to induce a controlled level of natural ventilation in all parts of the classroom. The main purpose of this article is to address these issues.

**Research methodology:** According to the literature, the present study is interdisciplinary in nature, and uses a combination of methods. The position of the openings and the composition of classrooms were examined as the independent variables, while the status of the indoor airflow was considered as the dependent variable in this research. The airflow velocity and direction were measured by precise digital devices during the test periods. The statistical population selected in this study includes all schools of Amol while a random case study was selected for further experimental tests.

In the next step, a simulation method was used to analyze the data for evaluating the architectural interventions. Simulations were performed by computational fluid dynamics method: The Gambit pre-processor was used for geometric modeling and grid generation, and Fluent Software was used to analyze the grid. In this study, the k- $\epsilon$

standard model was used to simulate airflow. Thus, this research uses a combination of methodologies including experimentation, simulations and case study.

Results: After examining different tests, an optimal situation was selected according to the following criteria:

- Increased velocity of the indoor airflow in classrooms which (1) is not disturbing and, (2) provides a consistent airflow for all of the students at all spots of the classroom.
- Eliminated vortices in indoor airflow.
- Modified airflow direction.
- Properly directed outdoor airflow into the indoor space and an induced desirable airflow.

According to the interventions made in this study, it was determined that both windows must act as air inlets to establish effective airflow in the classroom. The inlet air pressure to both windows must be approximately the same, and the outlet air flow from both windows must be approximately equal as well. This happens when the building facade and the exterior windows have a stepped configuration, and consequently the outdoor airflow can enter both windows equally. If there is no proper outlet considered for the air entering the classroom, the indoor air flow will be very turbulent. Therefore, devising an appropriate outlet based on the inlet airflow rate can balance the indoor air flow. According to the simulations, an outlet for the indoor air flow should be made within the wall facing the wind. In other words, if the wind is blowing from the west to the east, the indoor air outlet must be projected on the west wall of the classroom. In this case, the exit door should also be devised in the southwest corner of the classroom. Some air outlets can be created (in the western wall) that act as a fan, a suction pipe, or an air outlet opening in the wall facing the wind, so that the air exits through the pipes in the wall. The suction rate of the western wall can regulate the internal air flow. Moreover, if the wind velocity is too high in the outdoor, the suction devices are turned off or slowed-down, and if the wind velocity is low, the suction devices can discharge more air. In this case, the shape of the indoor air flow is optimized and adjusted.

#### Key words:

Indoor airflow, Natural ventilation, Openings, CFD method

---

#### COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the Journal of Iranian Architecture & Urbanism. This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License.

(<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



---

نحوه ارجاع به این مقاله:

رهابی، امید و عظمتی، حمیدرضا (۱۳۹۹). ارتقای کیفیت تهویه طبیعی در کلاس‌های مدارس استان مازندران بر اساس وضعیت بازشوها با روش CFD. نشریه علمی معماری و شهرسازی ایران، ۱۱(۱۹)، ۵۷-۷۱.

DOI: 10.30475/ISAU.2020.161257.1140

URL: [http://www.isau.ir/article\\_110145.html](http://www.isau.ir/article_110145.html)

