



ارزیابی عملکرد بادگیر اولین ساختمان انرژی صفر ایران به کمک شبیه سازی سه بعدی

علی خواجه مبارکه^۱، امین ذوالفقاری^{۲*}، رامین قربانی^۳

۱- کارشناس ارشد مهندسی مکانیک، مشاوران بهسازی، نوسازی انرژی (مینا)، khajeh@mabnaco.net

۲- کارشناس ارشد مهندسی مکانیک، مشاوران بهسازی، نوسازی انرژی (مینا)، zolfaghari@mabnaco.net

۳- دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک، مشاوران بهسازی، نوسازی انرژی (مینا)، raminghorbany@gmail.com

چکیده

پروژه طراحی و اجرای اولین ساختمان انرژی صفر ایران در سال ۱۳۹۱ از سوی پژوهشگاه مواد و انرژی تعریف شده و طراحی و اجرای آن در قالب EPC به شرکت مشاوران بهسازی نوسازی انرژی (مینا) واگذار گردید. ساختمان‌های انرژی صفر خالص به ساختمان‌هایی اطلاق می‌شود که خالص مصرف انرژی سالیانه آن صفر باشد. اجرای ساختمان انرژی صفر معمولاً با دید پیشبرد دانش طراحی در کشور صورت می‌گیرد. تنها با به کارگیری الزامات معماری خاص در طراحی، مصرف انرژی ساختمان به حدود ۱۰٪ یک ساختمان مشابه کاهش یافته است. امروزه به دلیل مشکلات زیست محیطی و همچنین افزایش هزینه‌های مربوط به تهویه ساختمان‌ها، بسیاری از محققان تلاش گسترده‌ای را به منظور استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر در تهویه ساختمان آغاز کرده‌اند. بادگیرها یک نمونه از وسایلی هستند که ضمن کاهش مصرف انرژی، با ایجاد جریان هوا در ساختمان، شرایط مطلوبی را برای ساکنان در طول ماه‌های گرم تابستان ایجاد می‌کنند. در این مقاله به شبیه‌سازی عددی سه بعدی عملکرد بادگیر ساختمان انرژی صفر پرداخته شده است. به منظور اعتبار سنجی نتایج حاصل از شبیه‌سازی با اندازه‌گیری‌های تجربی در ساختمان مقایسه شده است. بر اساس نتایج حاصل، بادگیر به درستی هوای بیرون ساختمان را به داخل هدایت می‌کند.

واژه‌های کلیدی: ساختمان انرژی صفر، شبیه‌سازی عددی، بادگیر، مصرف انرژی

۱- مقدمه

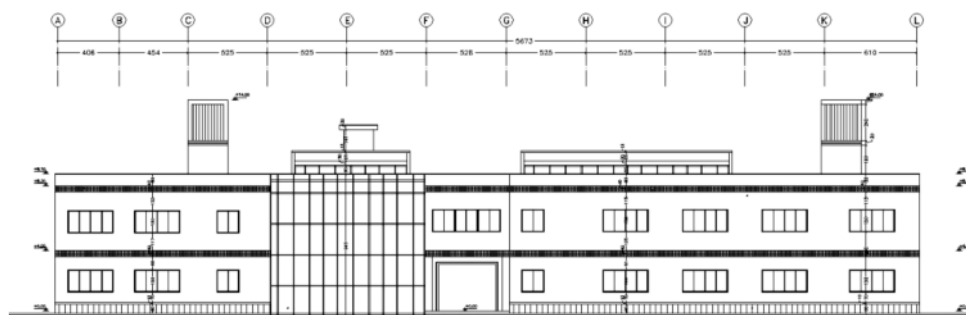
مصرف انرژی در بخش ساختمان بیشترین میزان مصرف انرژی در جهان را به خود اختصاص داده است. تلاش‌های جهانی برای کاهش آلودگی، همچنین کاهش منابع انرژی جهانی و این حقیقت که ساختمان‌ها سهم بزرگی از مصرف انرژی اولیه در جهان را به خود اختصاص داده‌اند، تحقیقات را به سوی تعریف جدیدی از ساختمان‌ها با عنوان ساختمان‌های انرژی-آلاینده صفر (ZEB^۱) سوق داده است. ساختمان ZEB به طور کلی به ساختمانی گفته می‌شود که میزان مصرف انرژی آن با استفاده از شیوه‌های مختلف تا حد زیادی کاهش یابد تا بتوان مصرف انرژی اولیه آن را با استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر و پاک جبران نمود [۱].

^۱ Zero Energy Building

پروژه طراحی و اجرای اولین ساختمان انرژی‌صفر ایران در سال ۱۳۹۱ از سوی پژوهشگاه مواد و انرژی تعریف شده و طراحی و اجرای آن در قالب EPC به شرکت مشاوران بهسازی نوسازی انرژی (مینا) واگذار گردید. ساختمان‌های انرژی‌صفر خالص به ساختمان‌هایی اطلاق می‌شود که خالص مصرف انرژی سالانه آن صفر باشد. ساختمان انرژی‌صفر پژوهشگاه مواد و انرژی در شهرستان کرج نیز با دیدگاه کاهش مصارف انرژی اولیه و جبران انرژی مصرف شده از طریق تولید انرژی از منابع تجدیدپذیر و پاک، به عنوان اولین ساختمان انرژی‌صفر در ایران طراحی و ساخته شد. ساختمان مذکور با زیربنای ۲۰۰۰ متر مربع در دو طبقه و با کاربری آموزشی-پژوهشی می‌باشد. در این ساختمان سعی گردیده تا با استفاده از معماری ساختمان و عواملی مانند بادگیر و گلخانه نیاز انرژی ساختمان تا حد ممکن کاهش یافته و بخشی از نیازهای انرژی ساختمان نیز با استفاده از انرژی خورشیدی تامین گردد. شکل ۱ تصویری از ساختمان انرژی‌صفر و شکل ۲ نمایی روبرویی آن را نشان می‌دهند.



شکل ۱- ساختمان انرژی‌صفر



شکل ۲- نمای جنوبی ساختمان انرژی‌صفر

امروزه به دلیل مشکلات زیست محیطی و همچنین افزایش هزینه های مربوط به تهویه ساختمان ها، بسیاری از محققان تلاش گسترده ای را به منظور استفاده از انرژی های تجدید پذیر در تهویه ساختمان آغاز کرده اند. تهویه طبیعی ایجاد روشی به منظور ورود و خروج جریان هوا به ساختمان با استفاده از انرژی های تجدید پذیر است. بادگیرها یک نمونه از وسایلی هستند که با ایجاد جریان هوا در ساختمان، شرایط مطلوبی را برای ساکنان در طول ماه های گرم تابستان ایجاد می کنند. به طور خلاصه، بادگیرها جریان هوا را از ارتفاعاتی بالاتر از سطح زمین گرفته و آن را به داخل ساختمان هدایت می کنند. در مناطقی که با غالب در یک جهت می وزد، بادگیرها تنها یک دهانه به عنوان ورودی هوا دارند. اما در مناطقی که جهت باد متغیر است، معمولاً از بادگیرهای چهار طرفه استفاده می شود. عملکرد بادگیرها بستگی به سرعت و جهت وزش باد و زمان استفاده از آن ها دارد. در طراحی سیستم های تهویه مطبوع طبیعی، فراهم ساختن حداقل هوای مورد نیاز برای تهویه



3.th International Congress on Civil Engineering , Architecture
and Urban Development
29-31 December 2015, Shahid Beheshti University , Tehran , Iran

ساختمان به همراه تنظیم دمای محیط باید به صورت همزمان در نظر گرفته شود. بررسی انجام شده نشان می دهد که بادگیر ها قادر به تأمین این دو پارامتر می باشند.

تاکنون چندین مطالعه علمی در رابطه با عملکرد سرمایه‌ی بادگیر ها انجام شده است. نتایج نشان می دهد که بادگیر ها نقش مهمی در ایجاد تهویه طبیعی و ایجاد آسایش گرمایی در فضاهای مختلف دارند. کلانتر [۲] به مطالعه تجربی و شبیه سازی عددی عملکرد سرمایه‌ی بادگیرها در مناطق گرم و خشک شهر یزد پرداخت. نتایج نشان داد که در صورت استفاده از مقدار منطقی از آب در سیستم تبخیری یک بادگیر، دمای داخلی کاهش و رطوبت نسبی افزایش می یابد. هردو این موارد برای تهویه مناطق گرم و خشک مناسب هستند.

برای آنکه از حساسیت بادگیر ها نسبت به تغییر جهت باد کاسته شود، بعضی از محققان، بادگیر با سطح مقطع دایره را پیشنهاد کرده اند. الموعلم و آوبی [۳] به مقایسه عملکرد دو بادگیر با سطح مقطع مربعی و دایره ای پرداختند. نتایج بدست آمده از نتایج تجربی و شبیه سازی نشان داد که کارایی یک بادگیر چهار طرفه بسیار بهتر از عملکرد یک بادگیر دایره ای به ازای همان سرعت باد در دهانه بیرونی است. آنها توضیح دادند که این امر به خاطر این حقیقت است که لبه های تیز بادگیر مربعی سبب ایجاد یک ناحیه وسیع جدایش جریان و در نتیجه اختلاف فشار بیشتر در جهت باد روی سطوح می شود. هاگز و عبدالغنی [۴] به شبیه سازی عددی یک بادگیر چهارطرفه برای تهویه یک اتاق درس پرداختند. نتایج بدست آمده نشان داد که بادگیر توانایی تأمین مقدار هوای مورد نیاز را حتی در سرعت های کم باد، دارد. کاراکاتسانیس و همکاران [۵] به بررسی آیرودینامیکی بادگیر پرداختند. آنها با استفاده از تعیین ضرایب فشار، میزان دبی هوای القایی توسط بادگیر را به داخل ساختمان تعیین کردند. آنها جهت جریان هوا را در سه حالت بادگیر به صورت منفرد، بادگیر به همراه خانه متصل به آن و بادگیر به همراه خانه و حیاط را بررسی کردند. بررسی های آنها نشان داد که در هندسه بادگیر - خانه، جریان هوا از خانه به سمت بادگیر است در حالی که در هندسه بادگیر - خانه - حیاط، بادگیر جریان هوای خارجی را به داخل ساختمان هدایت می کند. منتظری و دهقان [۶] با مدل سازی دو بعدی یک بادگیر دوطرفه نشان دادند که به علت جدایش جریان از لبه پایینی بادگیر، یک گردابه کوچک درست در مجاورت آن تشکیل می شود. کاظمی و همکاران [۷] با مرئی سازی توسط دود توانستند ناحیه جدایش جریان را نشان دهند. آنها همچنین تأثیر تغییر هندسه سقف بادگیر را بر روی ناحیه جدایش مورد مطالعه قرار دادند. لی و مک [۸] به منظور مطالعه تأثیر جهت باد بر روی میزان دبی هوای ورودی به ساختمان، عملکرد یک بادگیر چهار طرفه را در سرعت ها و زوایای مختلف حمله باد به صورت عددی بررسی کردند. منتظری [۹] به بررسی تأثیر تعداد دریچه های بادگیر با سطح مقطع دایره ای پرداخت. نتایج او نشان داد که حساسیت بادگیر نسبت به تغییر جهت باد با افزایش تعداد دریچه ها کاهش می یابد.

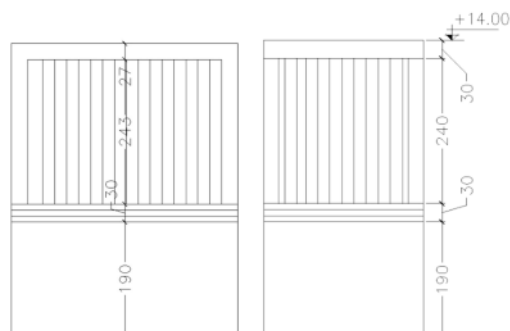
در این مقاله هدف شبیه سازی سه بعدی بادگیر ساختمان انرژی صفر است. در ابتدا به بیان مشخصات هندسی بادگیر پرداخته می شود. در ادامه نحوه مدل سازی بادگیر به همراه ساختمان انرژی صفر توضیح داده شده و به دنبال آن نتایج بررسی و تحلیل می شود.

۲- هندسه بادگیر

شکل ۳، بادگیر ساختمان انرژی صفر را نشان می دهد. ارتفاع بادگیر از سطح زمین ۱۴ متر است. مشخصات هندسی بادگیر نیز در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۳- بادگیر ساختمان انرژی صفر ایران



شکل ۴- مشخصات هندسی بادگیر

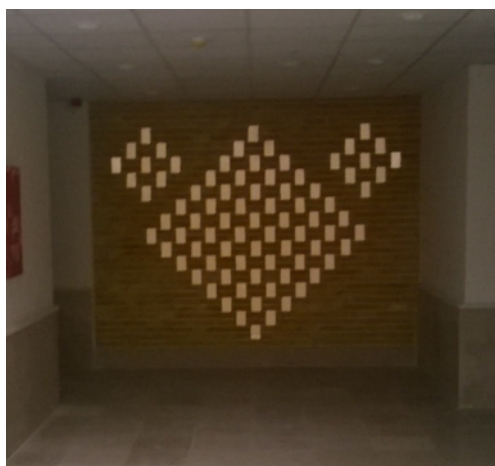
۳- مدل سازی

در این قسمت به نحوه مدل سازی بادگیر ساختمان انرژی صفر پرداخته شده است. شکل ۵، هندسه مدل سازی شده ساختمان انرژی صفر به همراه بادگیرها را نشان می دهد.



شکل ۵- هندسه مدل سازی شده ساختمان انرژی صفر

در ساختمان به منظور زیباسازی راهروها، دریچه های ورودی و خروجی هوا بین بادگیر و راهرو به صورت مشبک ساخته شده اند. این صفحه مشبک در شکل ۶ نشان داده شده است.



شکل ۶- صفحات مشبک ورودی بادگیر به راهرو

به دلیل اینکه این صفحات باعث تغییر اندازه و الگوی جریان می شود، این مورد در مدلسازی نیز لحاظ شده است. شکل ۷ قسمت هایی از ساختمان را که در آن ها هوا جریان دارد نشان می دهد.

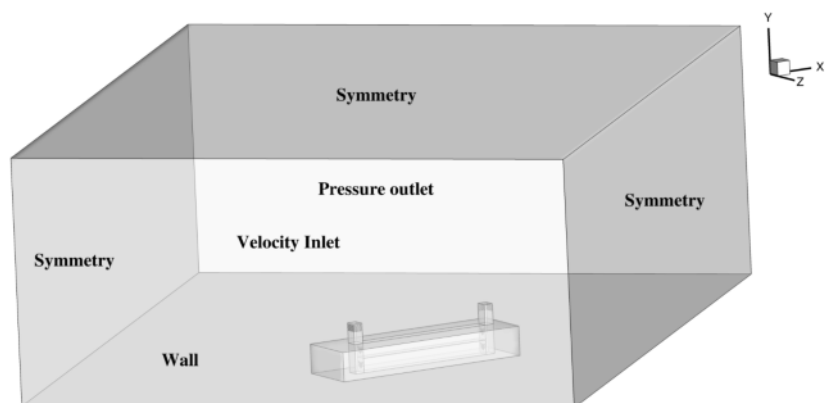


شکل ۷- فضای عبور جریان در ساختمان

این بادگیر به صورت دو طرفه و دارای هشت دریچه ورودی هوا است که پنج دریچه در ضلع غربی و سه دریچه در ضلع جنوبی آن قرار دارد. دریچه ها به شکل مستطیل شکل هستند. با توجه به اندازه گیری های انجام شده در محیط، جهت باد از سمت جنوب غربی است. در نتیجه از هر دو طرف بادگیر باد وارد آن می شود.

بر اساس مشاهدات و اندازه گیری های انجام شده، باد با سرعت ۴ متر بر ثانیه با زاویه ۴۵ درجه و از سمت جنوب غربی به ساختمان می وزد. البته لازم به ذکر است که اساساً این ساختمان طوری طراحی و ساخته شده است که توانایی دریافت بیشترین مقدار باد را داشته باشد و اندازه گیری های مربوط به باد قبل از طراحی ساختمان در منطقه انجام شده است. ولی برای حصول اطمینان از این امر، این اندازه گیری ها دوباره انجام شده است.

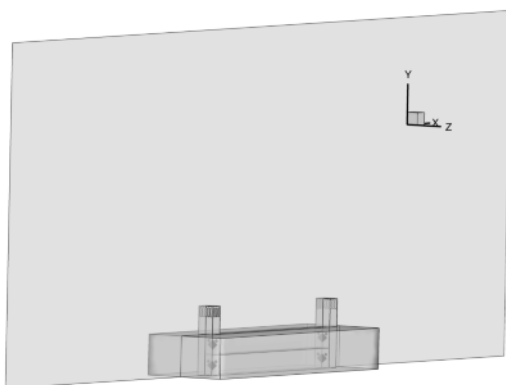
شکل ۸ شرایط مرزی در نظر گرفته شده در اطراف ساختمان برای شبیه سازی را نشان می دهد.



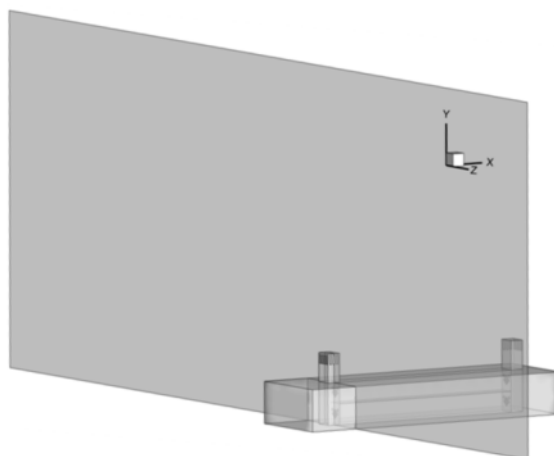
شکل ۸- شرایط مرزی در نظر گرفته شده در اطراف ساختمان

حل به صورت سه بعدی و پایا انجام شده است. همچنین مدل توربولانسی K-E برای مدل سازی جریان آشفته به کار گرفته شده است.

به منظور تحلیل بهتر نتایج و مشاهده پدیده های فیزیکی حاصل از جریان بادهایی که از هر دو دریچه وارد بادگیر می شوند، دو صفحه در مدل ساختمان ایجاد شده و نتایج بر روی آنها بررسی و تحلیل شده است. این دو صفحه در شکل های ۹ و ۱۰ نشان داده شده اند.



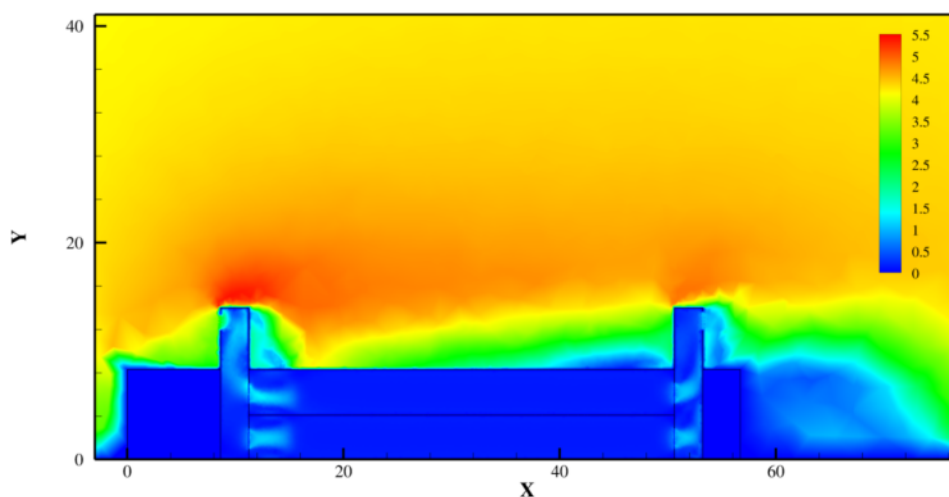
شکل ۹- صفحه شماره ۱: شامل دو بادگیر به همراه راهروها و صفحات مشبک



شکل ۱۰- صفحه شماره ۲: شامل بادگیر غربی

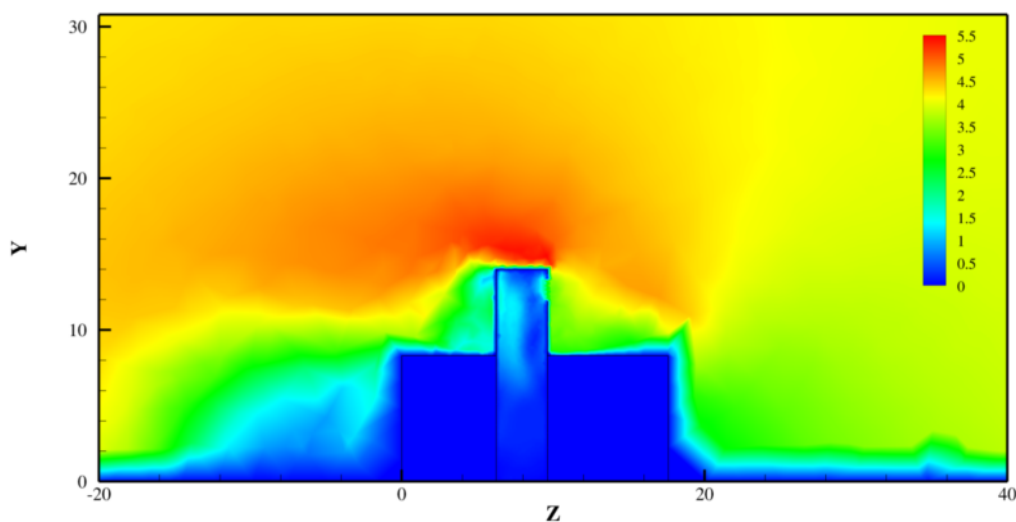
۴- نتایج

در این قسمت به بررسی و تحلیل نتایج بدست آمده از شبیه سازی عددی ساختمان پرداخته شده است. شکل ۱۱ کانتور سرعت را در صفحه شماره ۱ نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود، قسمتی از هوای خارجی وارد بادگیر شده و از طریق مجراهای تعبیه شده وارد راهرو های ساختمان می گردد.



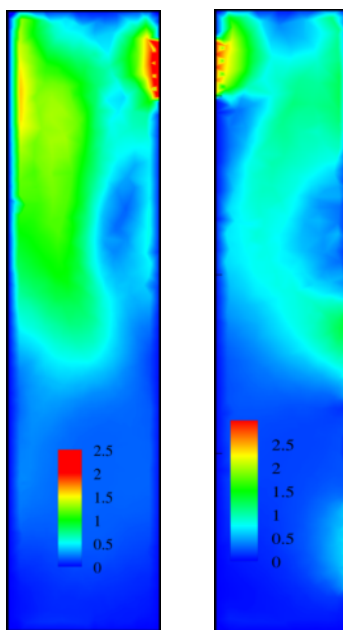
شکل ۱۱- کانتور اندازه سرعت در صفحه شماره ۱

شکل ۱۲ کانتور اندازه سرعت را در صفحه شماره ۲ نشان می دهد.



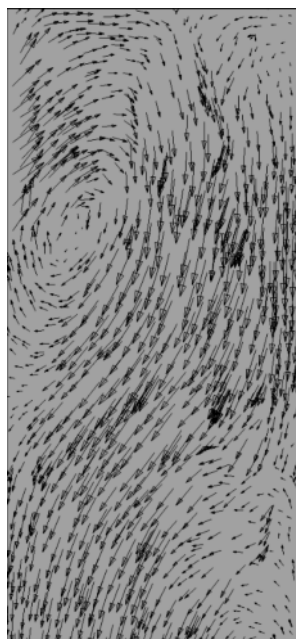
شکل ۱۲- کانتور اندازه سرعت در صفحه شماره ۲

شکل ۱۳ کانتور های اندازه سرعت را در دو صفحه مرکزی بادگیر غربی نشان می دهد. همان گونه که در شکل مشاهده می شود، با نزدیک شدن جریان آزاد به بادگیر از سرعت آن کاسته می شود، به گونه ای که سرعت جریان ورودی از دریچه بادگیر حدود ۰/۶ جریان آزاد است.

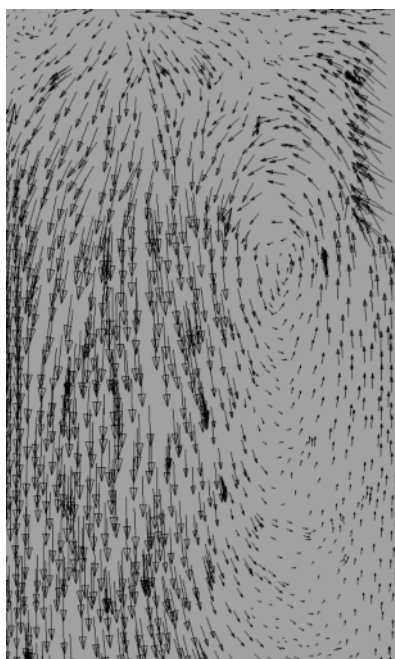


شکل ۱۳- کانتورهای اندازه سرعت در بادگیر غربی

در شکل های ۱۴ و ۱۵ بردارهای سرعت بدست آمده در دو صفحه تقارن بادگیر نشان داده شده است. همان گونه که مشاهده می شود در اثر جدایش جریان از لبه پایینی دریچه ورودی بادگیر، سطح مؤثر عبور جریان به طور قابل ملاحظه ای کاهش می یابد. همان طور که مشاهده می شود در هر دو سمت بادگیر جدایش اتفاق می افتد. علاوه بر این گردابه های بسیار بزرگی در ناحیه جدایش تشکیل می شود که بخش بزرگی از دهانه ورودی بادگیر را احاطه کرده و باعث ایجاد یک جریان چرخشی شده اند. ناحیه جدایش و گردابه های تشکیل شده، باعث اتلاف انرژی سیال شده و در نتیجه توانایی بادگیر را در القای جریان هوا به فضای مسکونی کاهش می دهند.

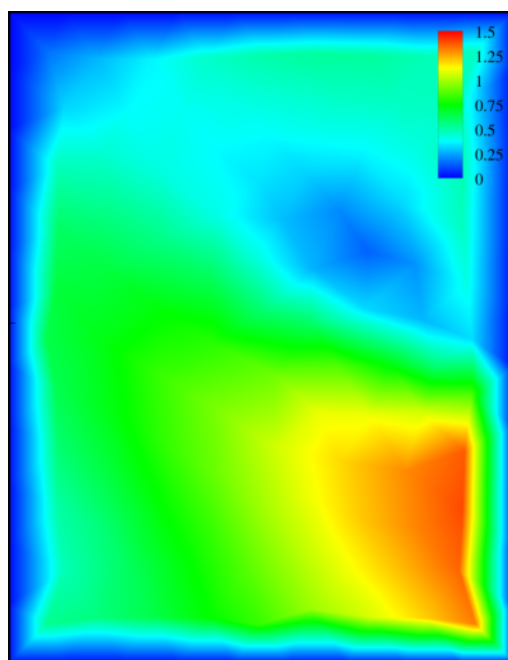


شکل ۱۴- بردار های سرعت در بادگیر غربی - ورود از دریچه غربی



شکل ۱۵- بردار های سرعت در بادگیر غربی - ورود از دریچه جنوبی.

در شکل ۱۶ توزیع سرعت متوسط جریان عبوری از دهانه خروجی بادگیر غربی نشان داده شده است. همان طور که در مشاهده می شود، کمترین سرعت جریان هوا در گوشه کانال است که ناشی از جدایش جریان می باشد. علاوه بر این، بیشترین سرعت جریان هوا مربوط به گوشه های دهانه خروجی می باشد. علت این امر آن است که جدایش جریان باعث کاهش سطح مؤثر عبور جریان هوا شده و در نتیجه جریان هوا به سمت گوشه های کانال بادگیر هدایت شده است. دبی هوای عبوری از دهانه خروجی بادگیر ۵/۱۴ کیلوگرم بر ثانیه بدست آمد.

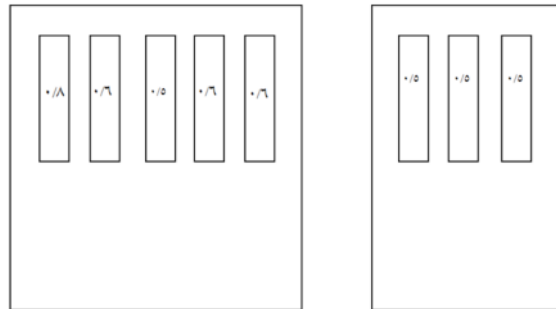


شکل ۱۶- کانتور سرعت جریان عبوری از دهانه خروجی بادگیر غربی

۵- اعتبار سنجی نتایج

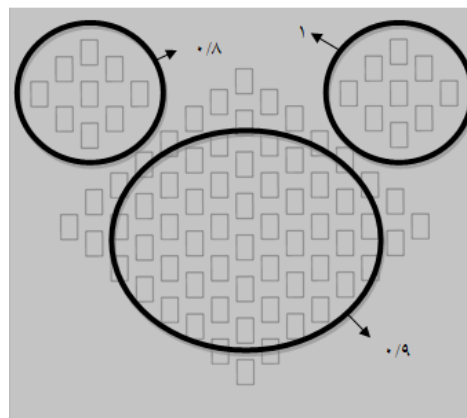
به منظور اعتبار سنجی، نتایج بدست آمده از شبیه سازی سه بعدی با نتایج تجربی که توسط اندازه گیری سرعت جریان در قسمت های مختلف ساختمان بدست آمده، مقایسه شده است. اندازه گیری در دریچه های بادگیر غربی و شرقی و همچنین در ورودی راهرو های ساختمان با استفاده از جریان سنج سیم داغ انجام شده است.

شکل ۱۷ مقادیر اندازه گیری شده سرعت جریان را در ورودی بادگیر غربی بر حسب متر بر ثانیه نشان می دهد.

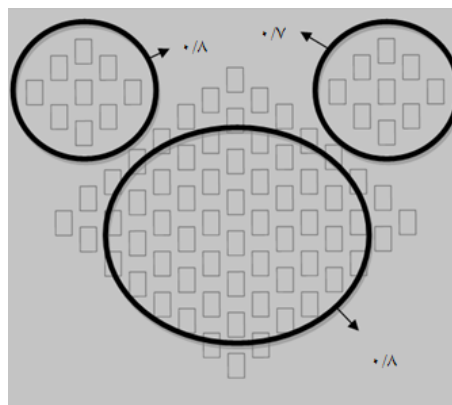


شکل ۱۷- مقادیر اندازه گیری شده سرعت جریان در ورودی بادگیر غربی بر حسب متر بر ثانیه

شکل های ۱۸ و ۱۹ نیز به ترتیب مقادیر اندازه گیری شده سرعت در خروجی صفحات مشبک واقع در راهرو های طبقه اول و همکف را نشان می دهند.

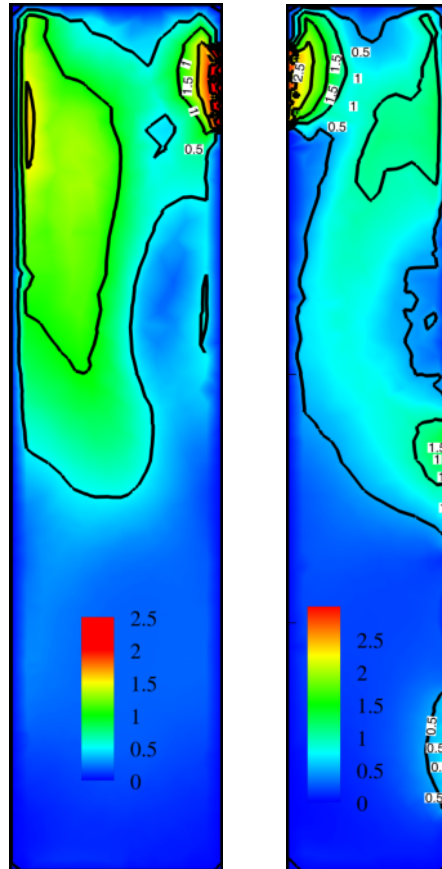


شکل ۱۸- مقادیر اندازه گیری شده سرعت جریان در خروجی صفحه مشبک - راهرو طبقه اول بر حسب متر بر ثانیه

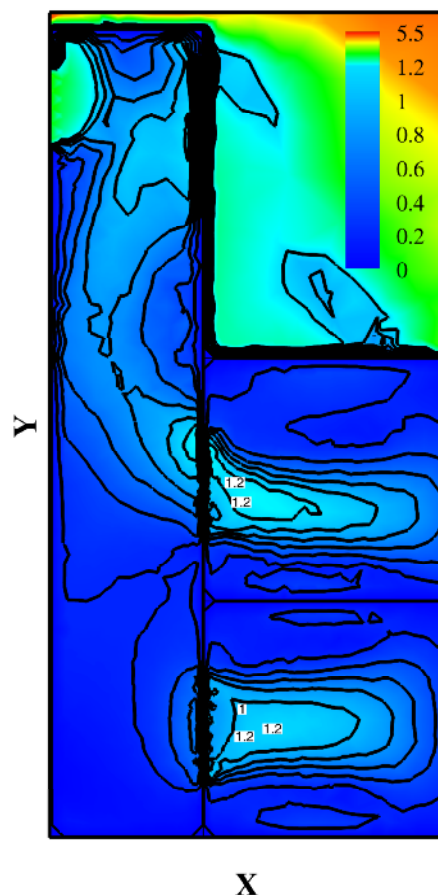


شکل ۱۹- مقادیر اندازه گیری شده سرعت جریان در خروجی صفحه مشبک - راهرو طبقه همکف بر حسب متر بر ثانیه

شکل ۲۰ نتایج حاصل از شبیه سازی را در دو صفحه متعامد درون بادگیر غربی و شکل ۲۱ نتایج بدست آمده را در راهرو
ها نشان می دهند.
همان طور که مشاهده می شود نتایج بدست آمده از دقت قابل قبولی برخوردارند.



شکل ۲۰- مقادیر سرعت بدست آمده از شبیه سازی عددی در دو صفحه متعامد درون بادگیر غربی برحسب متر بر ثانیه



شکل ۲۱- مقادیر سرعت بدست آمده از شبیه سازی عددی در ورودی راهرو ها - مقادیر برحسب متر بر ثانیه هستند.

۶- نتیجه گیری

استفاده از بادگیر در اولین ساختمان انرژی صفر ایران، سبب کاهش مصرف انرژی شده است. در این مقاله به شبیه سازی سه بعدی عملکرد بادگیر این ساختمان پرداخته شد. شبیه سازی سه بعدی در شرایط آب و هوایی حاکم نشان داد که بادگیر به درستی هوای خارج از ساختمان را به داخل کشیده و سبب ایجاد تهویه طبیعی می گردد. به منظور اعتبار سنجی نتایج بدست آمده از شبیه سازی عددی با نتایج اندازه گیری شده در ساختمان مقایسه شد. این مقایسه نشان دهنده دقت خوب نتایج شبیه سازی است. نتایج بدست آمده نشان می دهد که جدایش جریان در داخل بادگیر دو طرفه، در هر دو ورودی جنوبی و غربی ایجاد می شود. با جدایش جریان یک ناحیه گردابه ای بزرگ ایجاد شده که سبب کاهش سطح مقطع عبوری جریان می شود. استفاده از روش هایی که باعث کاهش ناحیه جدایش جریان شود، سبب ورود مقدار بیشتری از هوا به داخل ساختمان شده و در نتیجه تهویه بهتر را به همراه دارد.

مراجع

- [1] Anna Joanna Marszal (2009), "A literature review of Zero Energy Building (ZEB) definitions"
- [2] V. Kalantar, "Numerical simulation of cooling performance of wind tower (Baud-Geer) in hot and arid region", Renewable Energy, vol. 34, pp. 246-254, 2009.



**3.th International Congress on Civil Engineering , Architecture
and Urban Development
29-31 December 2015, Shahid Beheshti University , Tehran , Iran**

[3] A.A. Elmualim, H.B. Awbi, "Wind tunnel and CFD investigation of the performance of wind catcher ventilation system", International Journal of ventilation, vol. 1, pp. 53-64, 2002.

[4] Hughes B. R., Abdul Ghani S. S. S., "Investigation of a Windvent Passive Ventilation Device against Current Fresh Air Supply Recommendations", Energy and Buildings, Vol. 40, 2008, pp. 1651-1659.

[5] Karakatsanis C., Bahadori M. N., Vickery B. J., "Evaluation of Pressure Coefficient and Estimation of Air Flow Rates in Buildings Employing Wind Towers", Solar Energy, Vol. 37, No. 4, 1986, pp. 363-374.

[۵] منتظری ح., دهقان ع.ا., "بررسی عددی جریان هوای القا شده توسط یک بادگیر به عنوان عامل تهویه طبیعی در داخل یک ساختمان نمونه", دهمین کنفرانس دینامیک شاره ها، یزد، ۱۳۸۵.

[6] Kazemi Esfeh M., Dehghan A. A., Dehghan Manshadi M., Mohagheghian S., "Visualized Flow Structure around and inside of One-Sided Wind Catchers", Energy and Buildings, 2012, DOI:10.1016/j.enbuild.2012.09.015

[7] Li L., Mak C. M., "The Assessment of the Performance of a Wind Catcher System Using Computational Fluid Dynamics", Building and Environment, Vol. 42, 2007, pp. 1135-1141.

[8] Montazeri H., "Experimental and numerical study on natural ventilation performance of various multi-opening wind catchers", Building and Environment, Vol. 46, 2011, pp. 370-378.