



تحلیل عددی عملکرد بادگیر چهار جهته متصل به تالار و حیاط مرکزی در زوایای مختلف برخورد باد

حسین دهقانی محمدآبادی^۱، سید عباس یزدانفر^۲، علی اکبر دهقان^{۳*}، ابوالفضل دهقانی محمدآبادی^۴

۱- کارشناسی ارشد، مهندسی معماری، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران

۲- دانشیار، مهندسی معماری، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران

۳- دانشیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه یزد، یزد

۴- کارشناسی ارشد، مهندسی معماری، دانشگاه یزد، یزد

* یزد، صندوق پستی ۸۹۱۹۵-۷۴۱

adehghan@yazd.ac.ir

از راه در سایت: ۱۳۹۵ اذر ۱۳

کلید واژگان:

پادگیر چهار جهته

حیاط مرکزی

تهویه طبیعی

زاویه حمله

تحلیل عددی

مقاله پژوهشی کامل

دراфт: ۰۹ مرداد ۱۳۹۵

پذیرش: ۰۴ آبان ۱۳۹۵

کلید واژگان:

پادگیر چهار جهته

حیاط مرکزی

تهویه طبیعی

زاویه حمله

تحلیل عددی

چکیده

در این تحقیق رفتار هیدرودینامیکی پادگیر چهارجهته متصل به تالار و حیاط مرکزی در یک مدل کوچک شده از یک خانه تاریخی موجود و در حال استفاده در قالب تحلیل عددی با تغییر زاویه حمله مورد بررسی قرار گرفته است. پادگیر خانه حظیره‌ای، دارای شش کاتال با مقاطع مستطیلی است که به همراه حیاط مرکزی و تالار، از رایج‌ترین گونه‌ها در معماری بومی یزد به شمار می‌رود. هدف این مقاله شناخت رفتار پادگیرهای چهارجهته از نظر میزان مکش و دمش هوا به عنوان راهکار پاسخ‌ده بومی در تهیه طبیعی ساختمان است تا در کاربرد نوین راهنمای مهندسان باشد. مطالعه عددی بر روی مدلی با مقیاس ۱:۲۵ در سیزده زاویه حمله با فواصل ۱۵ درجه صورت گرفته و پارامترهای مورد بررسی دی و جهت جریان در کاتال‌های پادگیر هستند. شبکه مورد استفاده از نوع ساختارمند انتخاب شده و از نرم‌افزار فلوئنس از مجموعه تجاری انسیس برای حل معادلات استفاده شده است. نتایج مدل‌سازی عددی با نتایج آزمایش تجربی که بر روی همین مدل با مقیاس یکسان انجام شده، اعتبارسنجی شده و توافق خوبی میان آن‌ها مشاهده شده است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد پادگیر چهارجهته در ۶۸.۵ درصد زوایای حمله در حالت برآینده به صورت مکشی، و در بقیه زوایا با نسبت تقریباً برابر ورودی و خروجی جریان در نقش تعویض کننده هوا عمل می‌کند. بر این اساس می‌توان خارج از بحث پدیده شناوری، استفاده از پادگیرهای چهارجهته در کوپر ایران را بیشتر برای دفع حرارت ساختمان و کمتر برای جذب هوا خنک محیط دانست.

Numerical analysis of the performance of four-sided wind tower attached to parlor and courtyard in different wind incident angles

Hossein Dehgani Mohammadabadi¹, Seyed Abbas Yazdanfar¹, Ali Akbar Dehghan^{2*}, Abolfazl Dehgani Mohammadabadi³

۱- School Of Architecture and Environmental Design, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

۲- Department of Mechanical Engineering, Yazd University, Yazd, Iran

۳- School of Architecture and Environmental Design, Yazd University, Yazd, Iran

* P.O.B. 89195-741 Iran, Yazd, Iran. adehghan@yazd.ac.ir

ARTICLE INFORMATION

Original Research Paper

Received 09 August 2016

Accepted 25 October 2016

Available Online 03 December 2016

Keywords:

Nanofluid

Mixed Convection

Sinusoidal Channel

Magnetic Field

Entropy Generation

ABSTRACT

In this study, hydrodynamic behavior of four-sided wind tower attached to parlor and courtyard of a scaled model from existing historical house with wind incident angle as variable was numerically investigated. Hazire-ei house wind tower, which has six channels with rectangular cross section, integrated with parlor and courtyard is considered among the most typical ones in the vernacular architecture of Yazd city. This article seeks to investigate the performance of four-sided wind tower regarding suction and supply amount of air, and the way it was used as a vernacular solution for natural ventilation in order to provide engineers with design guidelines for contemporary use. Numerical study was conducted on a 1:25 scaled model and for 13 wind incident angles with 15 degree intervals. Interested parameters are mass flow rate and flow direction in each channel. A structured mesh was generated and ANSYS Fluent software was used for numerical simulation. Numerical modeling results were validated against experimental tests conducted on the same scaled model and good agreement was observed. Results indicate that in 61.5% of incident angels, four-sided wind tower acts to draw the air out of building and in other incident angels with approximately equal amount of supply and extract rate, it operates as an air exchange unit. Accordingly, it can be concluded that putting aside stack effects, four-sided wind towers in dry regions of Iran are mostly employed for heat dissipation rather than inducing outdoor cool breezes.

ساختمان‌ها مرسوم بوده است. اما این روند به علت ارزش انرژی و پیامدهای

در دهه‌های گذشته استفاده از تجهیزات مکانیکی در سرمایش و تهویه زیستمحیطی ناگزیر به توقف است. با رجوع به راهکارهای سرمایش غیرفعال

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

H. Dehgani Mohammadabadi, S. A. Yazdanfar, A. A. Dehghan, A. Dehgani Mohammadabadi, Numerical analysis of the performance of four-sided wind tower attached to parlor and courtyard in different wind incident angles, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 16, No. 12, pp. 125-134, 2016 (in Persian)

قرارگیری آن‌ها بستگی دارد.
دهقان و همکاران [9] با انجام آزمایش تونل باد و همچنین تجسم جریان به بررسی تأثیر سقف بادگیر بر کارایی تهویه آن پرداختند. مطالعه آنان شامل بررسی تأثیر سرعت و جهت باد بر بادگیر یکطرفه با سه نوع سقف صاف، قوسی و شبیه‌دار بود. بدین منظور با اندازه‌گیری ضربی فشار سطوح و محاسبه نرخ جریان در کanal بادگیر و همچنین اندازه‌گیری مستقیم سرعت خروجی بادگیر با سرعت سنج سیم و مقایسه اطلاعات به دست آمده، مزایا و معایب سقف‌های مختلف را بیان نمودند و به این نتیجه رسیدند که شکل سقف بادگیر قویاً بر الگوی جریان، حوزه فشار داخلی و نرخ جریان تأثیرگذار است.

کاظمی و همکاران [10] با آزمایش تجربی و تجسم جریان، تأثیر دنباله سازه‌های بالا دست بر عملکرد بادگیر یکطرفه با سقف تخت را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که در صورتی که سازه بالا دست کوتاه باشد باعث افزایش نرخ تهویه به فضا می‌شود، اما در حالتی که ارتفاع سازه زیاد باشد دهانه بادگیر در دنباله جریان آن قرار می‌گیرد و به صورت مکشی عمل می‌کند.

منتظری و همکاران [11] با انجام آزمایش تونل باد، تجسم جریان و تحلیل عددی بر روی بادگیر دوطرفه و محاسبه نرخ جریان به کمک ضربی فشار سطوح دریافتند که کارایی تهویه در بادگیر دوطرفه قویاً به ضربی فشار در بازشوهای بادگیر بستگی دارد. نتایج همچنین نشان داد پدیده "مسیر میان بر"⁴ در بادگیر که در آن جریان ورودی قبل از وارد شدن به اتاق از کanal‌های مکشی خارج می‌شود، از زاویه صفر به 90 درجه افزایش می‌یابد. منتظری معتقد است بادگیر دوطرفه در زاویه حمله 90 درجه بیشترین کارایی را دارد.

در پژوهشی دیگر منتظری [12] با هدف کاهش اثر تغییر زاویه حمله بر کارایی بادگیر، پنج مدل بادگیر با تقسیمات داخلی دو، سه، چهار، شش و دوازده‌تایی را به صورت تجربی و عددی آزمایش کرد و به این نتیجه رسید که حساسیت بادگیر استوانه‌ای نسبت به جهت جریان با افزایش تعداد تقسیمات داخلی کاهش می‌یابد، در حالی که از میزان دبی جریان نیز کاسته می‌شود.

سو و همکاران [13] با اندازه‌گیری نرخ خالص جریان در بادگیر تجاری استوانه‌ای در تحلیل عددی و آزمون تجربی به این نتیجه رسیدند که نوع جریان بالا دست در میزان خروجی بادگیر تأثیر عمده دارد. آنان همچنین دریافتند که زاویه برخورد در عملکرد بادگیر استوانه‌ای اثر کم‌رنگی دارد.

علم‌وعلیم و اویی [14] با مقایسه تجربی و عددی دو بادگیر با هندسه مربعی و دایره‌ای دریافتند که هر دو مورد تحت تأثیر سرعت و جهت باد هستند. نتایج آزمایش نشان داد از زاویه صفر به 45 درجه نرخ تهویه در هر دو نوع کاهش می‌یابد. اما در نهایت آن‌ها بادگیر مربعی را به خاطر ایجاد جدایش در اثر لبه‌های تیز و در نتیجه ایجاد اختلاف فشار بیشتر از لحاظ تهویه کارتر دانستند.

بادگیرها از لحاظ سوی دریافت باد به انواع یک‌جهته، دو‌جهته، چهار‌جهته، شش‌جهته و هشت‌جهته تقسیم می‌شوند. بادگیرهای یک‌جهته و دو‌جهته بیشتر در مناطق دارای باد غالب کاربرد دارند و استفاده از بادگیرهای چهار‌جهته و بیشتر نشانگر این است که استفاده از باد در هر جهت وزش اهمیت زیادی دارد [2].

در اقلیم گرم و خشک ایران این‌بهی به صورت فشرده در کنار یکدیگر قرار

و یومی نظری بادگیر در تهییه ساختمان می‌توان در جهت کاهش میزان مصرف انرژی گام برداشت [1].

بادگیر، از شاهکارهای معماری ایران است که با استفاده از انرژی تجدیدپذیر باد آسایش حرارتی را در فضول گرم تأمین می‌کند. به طور کلی عملکرد بادگیر در فرایند تهییه طبیعی متأثر از دو پدیده نیروی باد و اثر دودکشی است. بادگیر می‌تواند علاوه بر تأمین باد، با خارج کردن حرارت از کالبد ساختمان فضای داخلی را خنک کند [2]. نتایج یک آزمایش با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی نشان می‌دهد کارایی تهییه بادگیر به کمک وزش باد در قیاس با عملکرد شناوری 76 درصد بیشتر است [3].

تحقیقات انجام شده بر روی بادگیر در دو حوزه مطالعات جریان شناسی و مطالعات حرارتی دسته‌بندی می‌شوند که در ادامه به مرور حوزه جریان‌شناسی می‌پردازیم.

تحقیقات کولوکوترونی نشان می‌دهد کارایی بادگیر متأثر از سرعت هوای بیرون، تفاوت دما و محل و تعداد بازشوهای بنا است [4].

علم‌وعلیم [5] با مقایسه تهییه به کمک بادگیر نصب شده روی بام و تهییه از طریق یک پنجره دریافت که تهییه توسط بادگیر به طور قابل توجهی مؤثرتر از تهییه توسط پنجره باز است.

کاراکاتسائیس و همکاران [1] برای اولین بار در بررسی جریان‌شناسی، مدلی از بادگیر با مقیاس 1:70 را در سه حالت بادگیر منفرد، بادگیر متصل به اتاق و بادگیر متصل به اتاق و حیاط، موردمطالعه قراردادند. آنان توسط اندازه‌گیری ضربی فشار¹ بر سطوح بادگیر چهار جهته و بازشوهای خانه میزان دبی جریان² را تخمین زدند و دریافتند که میزان جریان هوا از بادگیر به خانه به ضربی فشار بازشوهای اتاق بستگی دارد، به طوری که با کاهش ضربی فشار بازشوهای اتاق جریان از بادگیر به اتاق افزایش می‌یابد. نتایج همچنین نشان داد که بسته به وجود حیاط داخلی و همچنین جهت وزش باد، جریان از بادگیر به اتاق و یا در جهت مخالف حرکت می‌کند، این تحقیق نوع رفتار بادگیر را بر اساس ضربی فشار سطوح و بدون برقراری جریان در داخل اتاق و بادگیر تخمین زده و از تعیین جزئیات دقیق رفتار بادگیر در زوایای مختلف حمله باز مانده است.

کالوتیت و هاگز [7] با انجام آزمایش تونل باد به همراه تحلیل عددی و تجسم جریان بر روی مدل بادگیر نصب شده بر روی یک کلاس درس با مقیاس 1:10، به بررسی کارایی تهییه بادگیر در سرعت‌ها و زوایای مختلف حمله پرداختند و دریافتند که بادگیر چهار جهته مدرن قادر به تأمین نرخ مناسب تهییه حتی در سرعت 2 متر بر ثانیه است. نتایج همچنین نشان داد بیشترین میزان کارایی بادگیر در زاویه برخورد 45 درجه با بازدهی 32% بیشتر از زاویه صفر رخ می‌دهد. آنان در ادامه تحقیقاتشان، [6] مشخصه‌های جابجایی جریان هوا را در یک اتاق تهییه شده توسط بادگیر بررسی کردند. برای این کار آنان چندین پارامتر از جمله "متوسط عمر هوا"³ را معرفی کردند که جابجایی عددی هوا را نشان می‌دهد. عمر هوا که با حل یک معادله دیفرانسیل جزئی در تحلیل عددی محاسبه می‌شود، می‌تواند نقاط قوت و ضعف گردش هوا در یک فضا را نشان دهد.

کروز-سلاس و همکاران [8] با انجام آزمایش تجربی توسط کanal آبی باز بر روی یک اتاق با پنجره‌ای در جداره و بادگیری در سقف، دریافتند که کارایی تهییه توسط این سامانه به طور عمده به بازشوهای بادگیر و جهت

¹ Pressure coefficient (C_p)

² Flow rate (m³)

³ (MAA) Mean age of air

⁴ Short circuit

$$\frac{\partial(\rho\omega)}{\partial t} + \nabla \times (\rho\omega u) = \nabla \times (\Gamma_\omega \nabla \omega) + \tilde{G}_\omega - Y_\omega + D_\omega + S_\omega \quad (4)$$

در این معادلات \tilde{G}_k ، نشانگر تولید انرژی جنبشی آشفتگی در اثر گرادیان‌های سرعت متوسط است. \tilde{G}_ω عبارت نشانگر تولید و ترم‌های Γ_ω و Γ_k به ترتیب ضرایب پخش مؤثر k و ω هستند، و Y_ω به ترتیب بیانگر عبارات استهلاک انرژی جنبشی آشفته، k و استهلاک مخصوص، ω می‌باشند و D_ω نشانگر نفوذ عرضی است. عبارات S_k و S_ω ترم‌های چشمی هستند که در صورت لزوم توسط کاربر تعیین می‌شوند.

2- روش حل

در مطالعه حاضر به منظور انجام محاسبات از نرم‌افزار انسیس² 16 با حلگر فلوئنت³، برای گسسته‌سازی معادلات از روش حجم محدود⁴ در ترکیب با مدل آشفتگی $k-\omega SST$ ⁵، برای گسسته‌سازی عبارات جابجایی روش بالادست⁶ مرتبه دوم و برای تصحیح کوپلینگ بین فشار و سرعت از الگوریتم سیمپل⁷ استفاده شده است.

3- هندسه مورد بررسی

مسئله مورد بررسی شامل مدلی از خانه حظیره‌ای یزد است که با مقیاس 1:25 تهیه شده و تلاش شده در تمامی جزئیات شبیه نمونه واقعی باشد. معیار انتخاب این بناء نوع بادگیر، ارتفاع و موقعیت آن، تعداد کانال‌ها و وجود حیاط مرکزی و تالار به عنوان الگوی غالب بناء در شهر کویری یزد بوده است [2]. مطالق "شکل 1" هندسه شامل بادگیری است که به اتفاقی نیمه بسته (تالار) متصل است و به سمت حیاط داخلی قرار دارد. به عنوان شبیه‌سازی خانه در بافت شهری فشرده فرض بر آن شده که کل مجموعه در زیر سطح جریان آزاد واقع شده و تنها بادگیر در معرض مستقیم جریان آزاد قرار می‌گیرد. بادگیر دارای سطح مقطع مستطیلی است و توسط تیغه‌های داخلی به 6 کانال تقسیم می‌شود.

ابعاد و مشخصات هریک از اجزای مدل در جدول (۱) ارائه شده است.

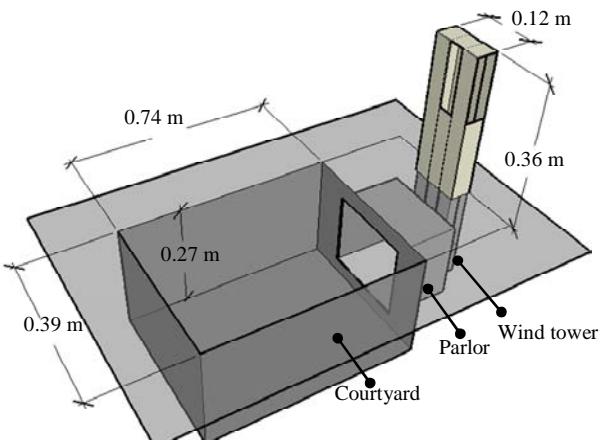


Fig. 1 investigated geometry

شکل 1 هندسه مورد بررسی

می‌گیرند و با استفاده از حیاط مرکزی از گرمای سوزان و طوفان‌های شدید مصنون می‌مانند. خانه‌ها شامل دو بخش تابستان‌نشین و زمستان‌نشین هستند. اصلی‌ترین فضای تابستان‌نشین، تالار نام دارد که فضایی نیمه بسته است و دهانه‌ای باز و مرفوع رو به حیاط دارد. بادگیر معمولاً در اتصال با یکی از جوانب تالار و غالباً در سمت جنوب غربی بنا قرار می‌گیرد. الگوی بادگیر چهار چهته متصل به تالار و حیاط، ساختار غالب اینیه در اقلیم کویری چون یزد است [2].

مرور مطالعات گذشته نشان می‌دهد دیدگاه‌های مطرح شده در مورد بادگیر عموماً معطوف به استفاده از آن به عنوان سامانه‌ای غیرفعال برای جذب هوای محیط و هدایت آن به فضای داخلی ساختمان هستند، این برداشت برای بادگیرهای یکطرفه هنگامی که رو به باد غالب قرار گیرند، صادق است. اما در مورد بادگیرهای چندجهته باید توجه داشت که عملکرد القای جریان به داخل و مکش آن به بیرون هم‌زمان صورت می‌گیرد. نوع کارکرد بادگیر از نظر میزان مکش و دمش هوا در اینجا شفاف نیست و نیاز به مطالعه بیشتری دارد. پژوهش حاضر تلاش دارد میزان اتکای بادگیر به هر کدام از نقش‌های مکشی و دمشی را در تهیه ساختمان مشخص کند. برای نیل به این هدف مطالعه بر روی بادگیر چهار چهته متصل به تالار و حیاط مرکزی در یک بنای تاریخی و در حال استفاده واقع در محله فهادن یزد صورت گرفته است.

2- روش تحقیق

در این پژوهش از روش شبیه‌سازی و تحلیل عددی برای بررسی عملکرد بادگیر چهار طرفه استفاده شده است. هم‌زمان یک مطالعه تجربی بر روی مدل مذکور با مقیاس یکسان در حال انجام است که بخشی از داده‌های آن برای صحبت‌سنگی نتایج عددی ارائه شده است. دینامیک سیالات محاسباتی شامل مدل‌های متنوع برای حل عددی جریان سیال است. از مهم‌ترین این روش‌ها می‌توان به روش معادلات متوسط‌گیری شده زمانی¹ اشاره کرد. همچنین از روش استدلال منطقی برای نتیجه‌گیری استفاده شده است.

2-1- معادلات حاکم

بقاء جرم:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \times (\rho u) = 0 \quad (1)$$

در این معادله ρ ، چگالی و u بردار سرعت است.

بقاء مومنتوم:

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \nabla \times (\rho u u) = -\nabla p + \rho g + \nabla \times (u \nabla u) - \nabla \times \tau, \quad (2)$$

در این رابطه p فشار، g بردار شتاب گرانشی، μ لزجت دینامیکی و τ تانسور تنش‌های آشفتگی یا تنش‌های رینولدز در اثر نوسانات سرعت است.

در معادلات بقاء مومنتوم، مقادیر نوسانی به شکل مجھول جدید و با عنوان تنش‌های رینولدز در معادلات شرکت می‌کنند که اثرات آن‌ها باید توسط مدل‌های آشفتگی تعیین شوند. یکی از مدل‌های آشفتگی معروف مدل آشفتگی $k-\omega SST$ است که به سبب دقت مناسب در شبیه‌سازی لایه‌مرزی به علت وجود دیوارهای زیاد در مدل و همچنین پیش‌بینی جدایش جریان انتخاب شده و با معادلات کمکی زیر معرفی می‌شود [15].

انرژی جنبشی آشفتگی:

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \nabla \times (\rho k u) = \nabla \times (\Gamma_k \nabla k) + \tilde{G}_k - Y_k + S_k \quad (3)$$

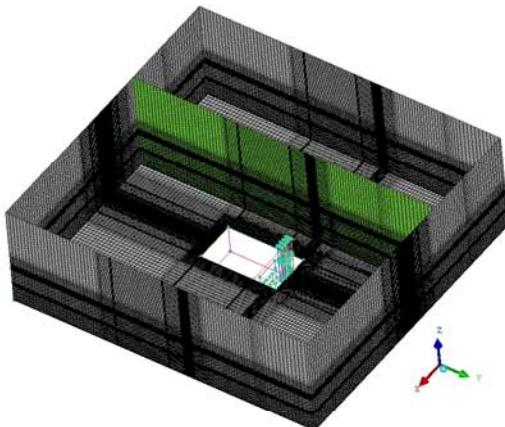
نرخ انتشار آشفتگی:

¹ Reynolds Averaged Navier Stokes (RANS)

0.00001 اعمال شده است.

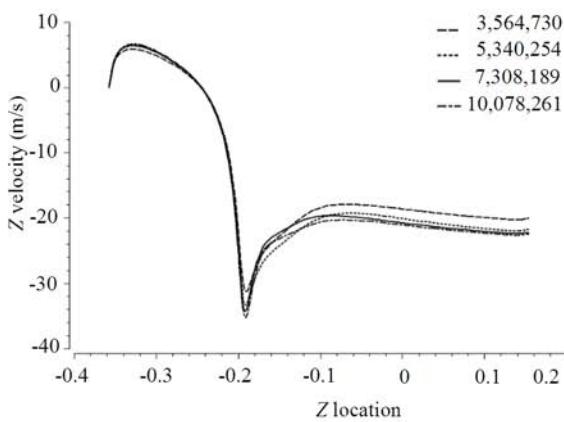
2- شبکه‌بندی و بررسی حل مستقل از شبکه

در این مطالعه با توجه به پیچیدگی مسئله و همچنین جزئیات و گوشش‌های 90 درجه در هندسه از شبکه ساختارمند استفاده شده است. نرمافزار مورد استفاده برای شبکه‌بندی با نام آی‌سی‌ای‌ام^۴ از مجموعه نتیجی 16 انتخاب شده است. برای بررسی استقلال حل از شبکه، انجام حل برای چهار شبکه با تعداد 3,500,000, 5,300,000 و 7,300,000 سلول تکرار شده است. انتخاب تعداد سلول‌های شبکه‌ها براساس بررسی نحوه تغییر نتایج در مناطق دارای گرادیان‌های شدید و در صورت لزوم متراسکم سازی شبکه در این نقاط صورت گرفته است. سپس سرعت در راستای محور قائم بر روی خطی در مرکز کanal C2 (شکل ۴) در زاویه حمله صفر درجه ، از نرمافزار استخراج شده است. با توجه به شکل نمودار به ازای تغییر تعداد شبکه از 7300000 به 10000000 تغییر چندانی در مقادیر دیده نمی‌شود، لذا شبکه با تعداد سلول 7300000 به عنوان شبکه مناسب برای انجام محاسبات انتخاب می‌شود.



شکل ۳: شبکه‌بندی ساختارمند برای فضای محاسباتی

شکل ۳ شبکه‌بندی ساختارمند برای فضای محاسباتی



شکل ۴: بررسی حل مستقل از شبکه

در شبکه‌بندی تلاش شده تا در نزدیکی مرزها و دیوارهای دیوارهای 10 لایه

⁶ No-slip

⁷ Roughness constant

⁸ Roughness height

⁹ ICEM

جدول ۱ مشخصات موقعیت و ابعاد بخش‌های مختلف هندسه

Table 1 location and dimensions of the different parts of the geometry

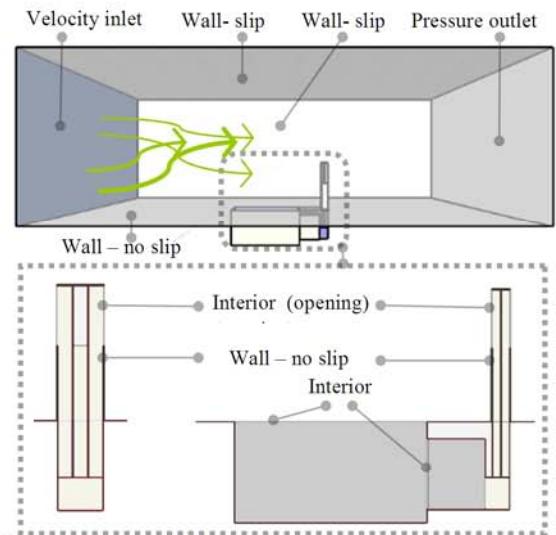
اجزاء	ابعاد $(L \times W \times H)$	توضیحات
بادگیر	12×5×51(cm)	-
کانال‌ها	2.2×4×35.2(cm)	شروع کانال تا دریچه ورودی
(منفرد)	15.8×2.2(cm)	دربیچه‌های شمال شرقی و جنوب غربی
بازشوها ورودی (دواتایی)	15.8×4(cm)	دربیچه‌های شمال غربی و جنوب شرقی
تالار	12.1×6.5×8.6(cm)	از یک جداره متصل به تالار
دیوارهای باز رو به حیاط	21.7×15.8×19.4(cm)	دارای جدارهای باز در کف
حیاط	52×39×27(cm)	محدوده محاسباتی

2- شرایط مرزی

از آن جا که در این مطالعه به منظور افزایش دقت و کیفیت نتایج از مدلی با مقیاس 1:25 استفاده شده، برای تشابه عدد بی بعد رینولدز^۱، در شرط مرزی ورودی سرعت^۲، سرعتی معادل 25.5 متر بر ثانیه اعمال شده است که در 3.6 کیلومتر بر ساعت در مقیاس واقعی است، هرچند ثابت شده است که در هندسه‌های تیز گوشه و زاویه‌دار به علت جدایش جریان از گوشش‌های تیز رفتار هیدرودینامیکی و الگوی جریان به عدد رینولدز وابسته نیست [۱۶].

در مرز ورودی سرعت، برای فشار میانگین شرط گرادیان صفر و شدت آشفتگی^۳ مطابق با شرایط آزمایش توبل باد، 0.28 درصد منظور شده است. در مرز خروجی فشار^۴، فشار استاتیک متوسط برابر با فشار اتمسفریک، و مشخصه‌های آشفتگی جریان برگشتی نیز مانند شرایط ورودی سرعت اعمال شده است.

برای دیوارهای جانبی دائمی محاسباتی، شرط لغزش^۵ و برای تمامی



شکل ۲: شرایط مرزی

دیوارهای در مدل شرط عدم لغزش^۶ با ضریب زیری^۷ و ارتفاع زیری^۸

¹ Reynolds

² Velocity inlet

³ Turbulence intensity (I)

⁴ Pressure outlet

⁵ Slip

زوایایی مانند زاویه حمله 45 درجه که جریان به طور مایل به بادگیر برخورد می‌کند، شکل جریان در کanal‌ها به در بد و ورود به صورت گردابهای با سرعت چرخش بالا است که رفتنه رفتنه از سرعت آن کاسته می‌شود. در این شرایط اندازه‌گیری فشار توسط لوله پیتوت خطای ایجاد می‌کند. ایجاد این خطای آن جهت است که لوله پیتوت تنها زمانی فشار کل را کاملاً دریافت می‌کند که راستای جریان بر دهانه آن عمود باشد [12].

4- پارامترهای مورد بررسی

سازوکار بادگیر چهار طرفه بین صورت است که هنگام وزش باد در اثر اعمال فشار مشبت بر سطح رو به باد، میان دهانه بازشوهای بادگیر (مثالاً C2 در شکل 9) و دریچه‌های منتهی به اتاق اختلاف فشار ایجاد می‌شود، در نتیجه

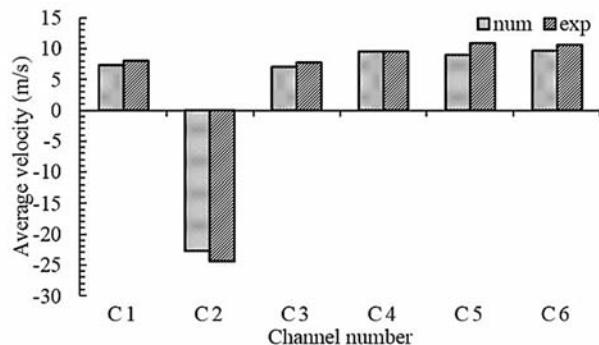


Fig. 6 Comparison of current study and experiment results in zero wind incident angel

شکل 6 مقایسه نتایج مطالعه حاضر و نتایج تجربی در زاویه حمله صفر

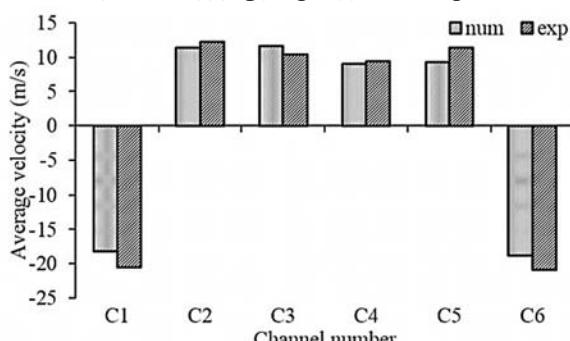


Fig. 7 Comparison of current study and experiment results in 90° wind incident angel

شکل 7 مقایسه نتایج مطالعه حاضر و نتایج تجربی در زاویه حمله 90°

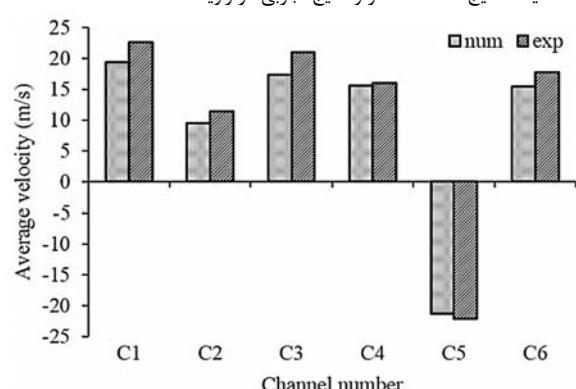


Fig. 8 Comparison of current study and experiment results in 180° wind incident angel

شکل 8 مقایسه نتایج مطالعه حاضر و نتایج تجربی در زاویه حمله 180°

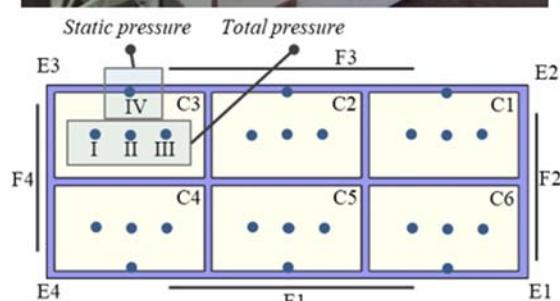
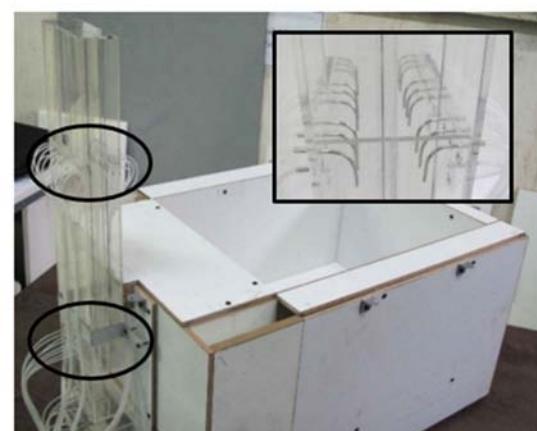
سلول با ضریب رشد 1.2 تا حد امکان لایه‌مرزی پوشش داده شود. مقدار واي پلاس دیواره¹ در تمامی محاسبات کمتر از 5 بدست‌آمد که نشانگر انتخاب مناسب اندازه سلول‌های نزدیک جداره در ارتباط با مدل آشتفتگی $k-\omega SST$ است.

3- صحت سنجی نتایج

در این مطالعه برای صحت سنجی نتایج شبیه‌سازی از نتایج آزمایش تجربی توپل باد که در زوایای مختلف حمله با فواصل 15 درجه صورت گرفته، استفاده شده است. از میان این زوایا، تناظر نتایج عددی و تجربی برای سه زوایه 0, 90 و 180 صورت گرفته است. مطابق "شکل 5" برای ارزیابی تجربی عملکرد بادگیر در مقطع تمامی کanal‌های مدل بادگیر، فشار کل در سه نقطه و فشار استاتیک در یک نقطه به طور همزمان اندازه‌گیری شده، سپس توسط رابطه (5) سرعت جریان در نقاط مذکور بدست آمده و در انتهای میانگین سه سرعت محاسبه شده است. از آن جا که جهت جریان در کanal‌های بادگیر در اثر تغییر زوایه حمله تغییر می‌کند، اندازه‌گیری سرعت با در نظر گرفتن لوله پیتوت‌های نصب شده در بالا و پایین هر کanal (شکل 5) با جهات مخالف صورت گرفته تا جریان در هر جهتی پس از یکنواخت شدن نسبی در کanal اندازه‌گیری شود.

$$p - p_s = \frac{1}{2} \rho V^2 \quad (5)$$

در "شکل‌های 6, 7 و 8" مقادیر سرعت متوسط اندازه‌گیری شده در کanal‌های شش گانه بادگیر در آزمایش توپل باد و مطالعه عددی ارائه شده‌اند. بیشترین میزان اختلاف بین مقادیر حاصل از شبیه‌سازی عددی و نتایج تجربی 17.7 درصد است که در زاویه حمله 45 درجه دیده می‌شود. علت این



شکل 5 موقعیت نقاط اندازه‌گیری فشار کل و استاتیک در کanal‌های بادگیر اختلاف را می‌توان حساسیت لوله پیتوت به راستای حرکت جریان دانست. در

¹ Wall y plus

از زوایای حمله و همچنین اجزای هندسه از جمله وجوده بادگیر، لبه‌ها یا یال‌ها، کanal‌ها و دریچه‌های ورودی آن‌ها در "شکل 9" شماره‌گذاری شده‌اند که در بیان نتایج به آن‌ها ارجاع داده می‌شود.

از آنجا که مطالعه عددی در سیزده زاویه حمله انجام شده است، بهمنظور پرهیز از شکل‌ها و کانتورهای زیاد، تنها برخی از زوایای حمله انتخاب و کانتورهای مربوط به آن‌ها ارائه شده‌اند.

در کلیه کانتورهای ارائه شده، با میل به رنگ نیمه سرعت در جهت منفی محور قائم افزایش می‌یابد که نشانگر داشتی بودن کanal (حرکت جریان از بادگیر به بنا)، و با میل به رنگ روشن سرعت در راستای مثبت محور قائم افزایش می‌یابد که نشانگر مکشی بودن کanal (هدایت جریان به بیرون ساختمان) است. در میان این طیف رنگ خاکستری نشان‌دهنده سرعت صفر است.

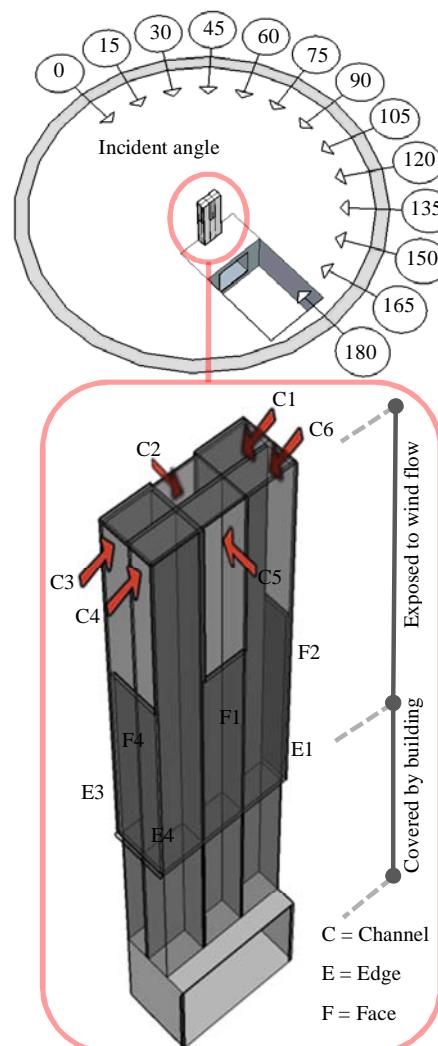
"شکل 10" نمودار کلی عملکرد بادگیر را در زوایای حمله ۰ تا ۱۸۰ درجه با فواصل ۱۵ درجه‌ای نشان می‌دهد. در این نمودار محور افقی نشانگر زوایای حمله و محور قائم شامل دبی کanal‌های بادگیر است. به ازای هر زاویه حمله شش میله که نشانگر رفتار کanal‌های بادگیر در آن زاویه است، به ترتیب از چپ به راست از کanal C1 تا C6، ارائه شده‌اند. تمام نمودارهای میله‌ای با مقادیر مثبت، نشان‌دهنده دبی هوای مکش شده و تمامی مقادیر منفی نشانگر دبی جریان دمیده شده به بنا توسط بادگیر هستند. بر طبق این نمودار می‌توان عملکرد بادگیر را در گروه‌های زیر دسته‌بندی کرد:

5-1- زوایای صفر، ۱۵ و ۳۰ درجه

در این سه زاویه رفتار بادگیر تقریباً مشابه است، بهطوری‌که یک کanal به صورت دمشی و پنج کanal به صورت مکشی عمل می‌کند. مطابق "شکل 11" جریان پس از برخورد به وجه F3 (وجه رو به باد در زاویه حمله صفر) با اعمال فشار بر دهانه بازشوی کanal C2 از لبه پایینی آن جدا می‌شود و سپس افزایش سرعت داده و به سمت پایین هدایت می‌شود. این جدایش که در تمامی زوایا در لبه پایینی کanal‌های ورودی اتفاق می‌افتد، قبلاً در مطالعه تجربی بادگیرهای یک‌طرفه توسط دهقان و همکاران مشاهده شده است [9]. در هنگام برخورد جریان به بادگیر در زاویه حمله صفر، توزیع فشار به گونه‌ای است که وجه رو به باد دارای ضرب فشار مثبت و دو وجه جانبی و وجه پشت به باد دارای ضرب فشار منفی می‌شوند [2]. جریان از دو لبه E2 و E3، C3، C1، C2 شده و با ایجاد نواحی فشار منفی باعث خروج هوای از کanal‌های C4، C5 و C6 که در دو وجه جانبی F2 و F4 قرار دارند، می‌شود. در وجه پشت به باد (F1) نیز فشار منفی باعث خروج جریان از کanal C5 می‌شود.

با توجه به آن‌که ضرب فشار سطوح عامل اساسی در تعیین جهت حرکت جریان از بادگیر به اتفاق و یا بر عکس است، و از آنجا که تالار در این زوایا پشت به باد و در ناحیه فشار منفی قرار دارد، انتظار می‌رود جهت جریان از بادگیر به تالار باشد، اما مشاهده می‌شود جریان در حالت برآیند به سمت بادگیر حرکت می‌کند. دلیل این امر وجود ۵ کanal مکشی است که درنهایت جریان را به سمت بادگیر می‌کشند. عملکرد مکشی بادگیر در زاویه حمله صفر در آزمایش عددی و تجربی انجام شده توسط کالوتیت و هاگر [7] نیز استنتاج شده است.

با میل از زاویه صفر به ۳۰ درجه، با کاهش ضرب فشار وجه رو به باد و همچنین تمایل جریان به چرخش گردابهای در کanal ورودی، دبی جریان ورودی کاهش می‌یابد که چنین رفتاری در تحقیقات پیشین نیز مشاهده شده است [14,7].



شکل 9 زوایای حمله و نام‌گذاری جزئیات بادگیر

شکل 9 زوایای حمله و نام‌گذاری جزئیات بادگیر

جریان به سمت اتفاق حرکت می‌کند. همچنین در دهانه‌های جانبی و پشت به باد، با شکل‌گیری ناحیه کم‌فشار، جریان از اتفاق به سمت بادگیر کشیده می‌شود [2]. بهمنظور بررسی عملکرد بادگیر در اثر تغییر زاویه حمله (متغیر مستقل تحقیق) دبی و جهت جریان به عنوان متغیرهای وابسته در هر یک از کanal‌های بادگیر در زوایای مختلف برخورد از نرم‌افزار استخراج شده است. لازم به ذکر است علی‌رغم توازن نزدیک مقادیر آزمایش تجربی و شبیه‌سازی عددی، تحقیق حاضر تأکید خود را به جای کمیت مقادیر متوجه تغییرات آن‌ها در زوایای مختلف حمله می‌سازد. این مهم در ارزیابی عملکرد بادگیر به عنوان یک عنصر دمش باد و یا مکش آن، نقشی اساسی ایفا می‌کند. برای سنجش کارایی بادگیر در هر زاویه حمله نسبت دبی خروجی کل به دبی ورودی کل محاسبه شده است. بدینهی است که برای مقدار بزرگ‌تر از یک بادگیر به صورت مکشی و برای مقدار کوچک‌تر از یک بادگیر به صورت دمشی و برای مقادیر نزدیک به یک بادگیر با میزان برابر ورود و خروج هوای در نقش تعویض کننده هوا عمل می‌کند.

5- نتایج

در این بخش از مطالعه جزئیات و نتایج شبیه‌سازی عددی رفتار بادگیر در زوایای مختلف برخورد ارائه می‌شود. بهمنظور سهولت در ارائه نتایج، هر یک

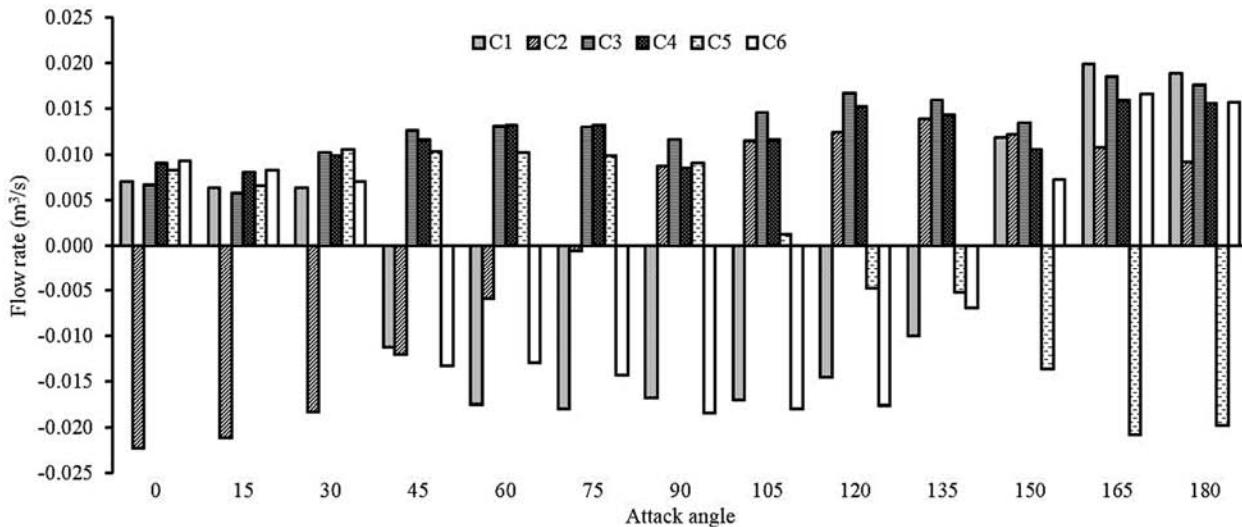


Fig. 10 Comparison of extract and total supply flow rate of windcatcher channels in all wind incident angels

شکل 10 مقایسه دبی خروجی و ورودی کانال‌های بادگیر در تمام زوایای حمله باد

پایین شکل برشی افقی از قسمت تحتانی بازشوهای بادگیر (خط‌چین روی مقاطع) ارائه شده است.

2-5-زوایای 45 و 60 درجه

رفتار جریان در این دو زاویه مشابه است. عملکرد بادگیر از زاویه 30 به 45 درجه دچار تغییر اساسی می‌شود. جریان از یال‌های E1 و E3 جدا شده و وجود F2 و F3 را تحت فشار ثابت و وجود F1 و F4 را تحت فشار منفی قرار می‌دهد. بدین صورت سه کanal، C1، C2 و C6 در وجود رو به باد بهصورت دمشی و سه کanal، C3، C4 و C5 در وجود پشت به باد بهصورت مکشی عمل می‌کنند. همان‌گونه که در مطالعات پیشین اشاره شده [7]، در زاویه 45 درجه بادگیر با سطح مقطع راست‌گوشه با بیشترین سطح در معرض جریان قرار می‌گیرد، لذا اختلاف فشار در دو سوی بازشوهای بادگیر افزایش می‌یابد و درنتیجه نسبت به زاویه قبلی در دبی دمشی بادگیر افزایش چشمگیر مشاهده می‌شود. علاوه بر این مطابق "شکل 10" در این زاویه بادگیر دارای کمترین دبی مکشی است، لذا بادگیر در زاویه 45 درجه دارای بیشترین کارایی از لحاظ دمش هوا به فضای داخل است که این مهم توسط کالوتیت و هاگز [7] نیز استنتاج شده است. در این زاویه دبی جریان ورودی دو برابر بیزان معادل 30 درجه است و تنها در این زاویه است که میزان دمش بادگیر برای زاویه 45 درجه بیشتر از مکش آن است. به طور کلی در بازه زوایای 45 تا 105 درجه، قابلیت دمشی بادگیر افزایش می‌یابد و نسبت مکش به دمش هوا به عدد یک نزدیک می‌شود و بادگیر در نقش تعویض کننده هوا عمل می‌کند (شکل 10).

در این دو زاویه دهانه تالار همچنان در جبهه پشت به باد حیاط قرار دارد و دارای ضریب فشار منفی است که چنین شرایطی عملکرد دمشی بادگیر را تقویت می‌کند.

3-5-زوایای 75، 90 و 105 درجه

مطابق "شکل 12" در زاویه 90 درجه دو کanal، C1 و C6 بهصورت ورودی و کanal‌های C2، C3، C4 و C5 بهصورت خروجی عمل می‌کنند. رفتار جریان در مورد دو زاویه دیگر مشابه زاویه 90 درجه است، با این تفاوت که در زاویه 75 درجه کanal، C2 و در زاویه 105 درجه کanal، C5 بهعلت قرارگیری بازشوی

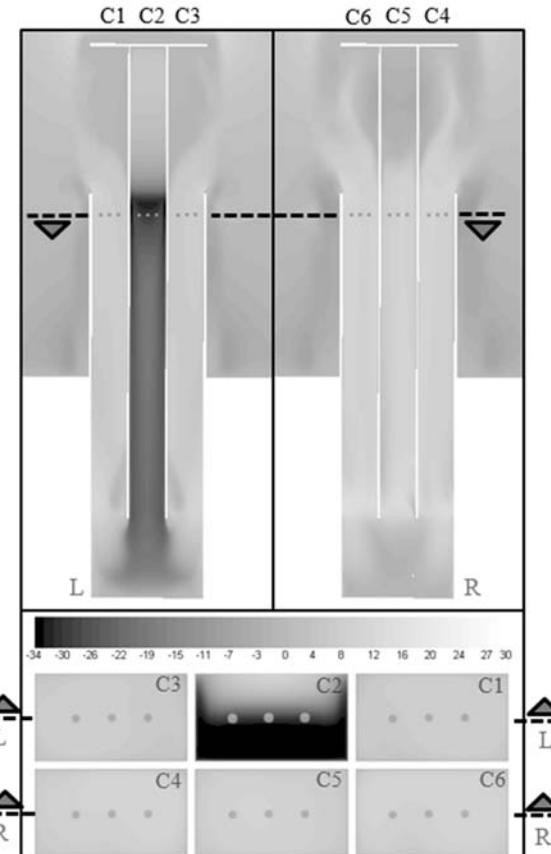


Fig. 11 Contour of z velocity (m/s) in cross sections of windcatcher at zero wind incident angel

شکل 11 کانتور سرعت (m/s) در راستای محور قائم در مقاطع طولی بادگیر برای زاویه حمله صفر

"شکل 11" نشان‌دهنده کانتورهای سرعت در راستای محور قائم برای مقاطع عمودی و افقی بادگیر در زاویه حمله صفر است که جزئیات جریان در داخل بادگیر، عملکرد مکشی یا دمشی بودن کanal‌ها و همچنین نقاط اندازه‌گیری سرعت در آزمایش تجربی را در محل ارائه کانتورها (بهصورت نقاط کمرنگ) نشان می‌دهد. در قسمت بالای "شکل 11" دو برش عمودی و در قسمت

در این دو زاویه سه کانال به صورت دمشی و سه کانال به صورت مکشی عمل می‌کنند. در این زوایا جریان دو وجه F1 و F2 را تحت فشار مثبت قرار می‌دهد، سپس از دو یال E2 و E4 جدا شده و دو وجه F3 و F4 را تحت مکش قرار می‌دهد. لذا کانال‌های C1، C5، C6 به صورت دمشی و کانال‌های C2، C3، C4 به صورت مکشی عمل می‌کنند (شکل 10).

زوایای 120 و 135 درجه از نظر شکل جریان در اطراف بادگیر به ترتیب قرینه زوایای 60 و 45 درجه هستند. با مقایسه نظری به نظری این زوایا در "شکل 10" مشخص می‌شود تفاوت آشکار در این جا افزایش دبی کانال‌های خروجی و کاهش دبی کانال‌های ورودی بادگیر است که به علت اعمال فشار مثبت بر دهانه تالار رخ می‌دهد. لذا مشخص می‌شود که ضریب فشار سطوح و بازشوهای بنا در هنگام برخورد باد تا چه اندازه در عملکرد بادگیر و همچنین جهت جریان از بادگیر به بنا و بالعکس مؤثر است [1]. در این دو زاویه بادگیر در حالت برآیند در نقش مکشی عمل می‌کند.

5- زوایای 150، 165 و 180 درجه

در این زوایا نسبت به دو زاویه قبل، تغییری عمده صورت می‌گیرد و آن تغییر جهت جریان در کانال‌های C1 و C6 است که از حالت دمشی به مکشی تغییر می‌کنند (شکل 10). علت این امر تغییر مکان جدایش جریان از یال E2 به E1 و در نتیجه تحت مکش قرار گرفتن وجه F2 است. جریان در این زوایا وجه F1 را تحت فشار مثبت قرار می‌دهد، سپس از دو یال E1 و E4 جدا شده و سه وجه دیگر بادگیر را تحت فشار منفی قرار می‌دهد. بنابراین تنها کانال ورودی کانال C5 است و بقیه کانال‌ها به صورت خروجی عمل می‌کنند (شکل 13). در واقع این سه زاویه قرینه زوایای 0 تا 30 درجه هستند، با این تفاوت که با اعمال فشار مثبت به دهانه تالار در بازه 150 تا 180 درجه عملکرد بادگیر به کلی دگرگون می‌شود. دهانه تالار در جداره رو به باد حیاط قرار می‌گیرد و جریان مستقیماً وارد تالار می‌شود. با افزایش فشار بر دهانه تالار و متعاقب آن افزایش فشار بر بازشوی اتفاق بادگیر، اختلاف فشار در دو سوی کانال ورودی C5 کاهش می‌یابد و باعث کاهش دبی این کانال می‌شود. در مقابل در دو سوی کانال‌های مکشی اختلاف فشار فزونی می‌یابد و باعث افزایش چشمگیر دبی این کانال‌ها می‌شود (شکل 10). با کاهش دبی ورودی و افزایش دبی خروجی در این زوایا نسبت مکش به دمش بادگیر به عدد 4 نزدیک می‌شود. در این سه زاویه، درنتیجه اعمال فشار مثبت به دهانه تالار پدیده "مسیر میان‌بر" رخ می‌دهد. لذا هیچ جریانی از سمت بادگیر به بنا وارد نمی‌شود و جریان کانال C5 نیز به محض ورود از کانال‌های دیگر خارج می‌شود، بنابراین جهت کلی جریان از سمت حیاط به تالار و بادگیر است.

6- جمع‌بندی

برای ارزیابی عملکرد مکشی - دمشی بادگیر چهارچهته در هر یک از زوایای حمله لازم است میزان مکش و دمش بادگیر در حالت برآیند محاسبه شود. در "شکل 14" هر یک از نقاط روی منحنی با مقادیر مثبت نشانگر مجموع دبی کانال‌های مکشی و نقاط منحنی دارای مقادیر منفی نشانگر مجموع دبی کانال‌های دمشی برای هر زاویه حمله (محور افقی) هستند. با محاسبه نسبت مکش به دمش بادگیر برای هر زاویه می‌توان عملکرد بادگیر را در دسته‌بندی زیر خلاصه کرد:

الف) در زوایای صفر، 15 و 30 درجه نسبت دبی مکش به دمش هوا توسط بادگیر به ترتیب 1.81، 1.66 و 2.42 است که می‌توان در این زوایا بادگیر را در حالت برآیند، دارای کارکرد مکشی دانست.

آن‌ها در زاویه بسته نسبت به راستای جریان، تنها دارای چرخش گردابی‌ای در دهانه ورودی کانال هستند و دبی آن‌ها تقریباً صفر است (شکل 10). در زاویه 90 درجه بادگیر با وجه کم عرض خود (وجه F2) در معرض جریان قرار می‌گیرد. جریان از یال E1 و E2 جدا شده و دو وجه F1 و F3 را تحت مکش قرار می‌دهد. در جریان از یال F4 پشت به جریان قرار می‌گیرد. در این زاویه در حالت مکشی عمل می‌کند (شکل 10).

از نظر شکل جریان در اطراف بادگیر، زوایای 105 و 75 درجه قرینه و مشابه یکدیگرند. تفاوت این دو زاویه در این است که در زاویه 75 و 105 درجه تالار به ترتیب تحت فشار منفی و مثبت است. این مهم باعث می‌شود در زاویه 105 درجه دبی خروجی کانال‌های C2، C3، C4 نسبت به زاویه قبل افزایش یابد (شکل 10). در زوایای 75 و 90 درجه، بر دهانه تالار فشار مثبتی اعمال نمی‌شود، لذا تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر میزان دبی کانال‌های خروجی نمی‌گذارد.

5- زوایای 120 و 135 درجه

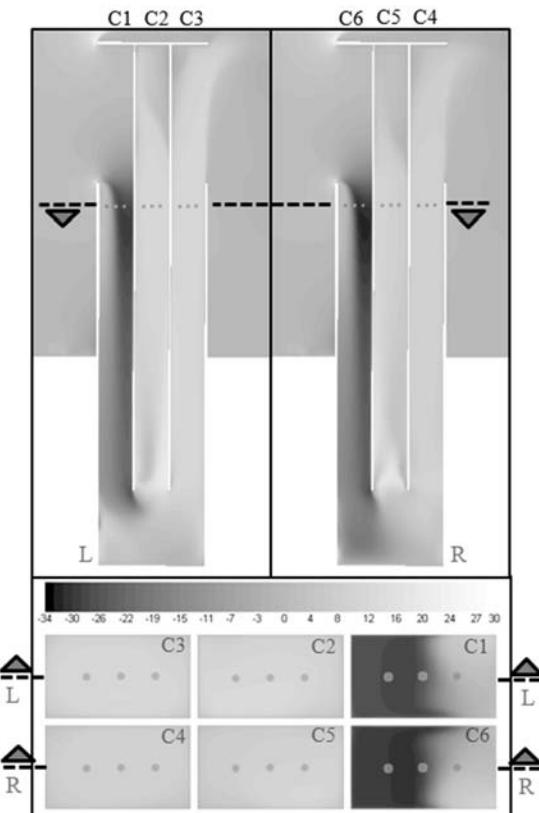


Fig. 12 Contour of z velocity (m/s) in cross sections of windcatcher at 90° wind incident angle

شکل 12 کانتور سرعت (m/s) در راستای محور قائم در مقاطع طولی بادگیر برای زاویه حمله 90 درجه

(د) در زوایای 120 و 135 درجه نسبت دبی مکش به دمش هوا توسط بادگیر به ترتیب 1.20 و 2.00 است که می‌توان در این زوایا بادگیر را در حالت برآیند، دارای کارکرد مکشی دانست. تأثیر فشار مثبت تالار بر افزایش مکش کانال‌های بادگیر از زاویه 120 درجه به بعد مشهود است.

(ه) در زوایای 150، 165 و 180 درجه بادگیر علاوه بر مکش، از جانب تالار تحت فشار مثبت قرار گرفته به طوری که جریانی از بادگیر وارد بنا نمی‌شود. نسبت دبی مکش به دمش هوا توسط بادگیر در این زوایا به ترتیب 3.92 و 4.07 و 3.90 است که می‌توان در این زوایا بادگیر را در حالت برآیند، دارای کارکرد مکشی دانست.

7- نتیجه‌گیری

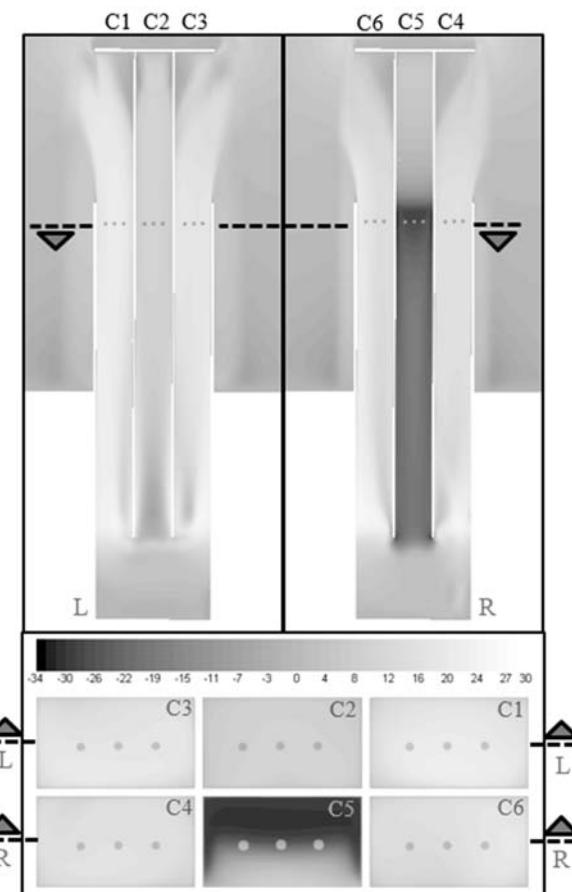
در این مطالعه رفتار بادگیر چهارچهته متصل به تالار و حیاط مرکزی در یک بنای موجود و در حال استفاده در کویر مرکزی ایران در قالب تحلیل عددی با متغیر زاویه حمله مورد بررسی قرار گرفته است. هدف آن شناخت رفتار بادگیرهای چهارچهته از نظر میزان مکش و دمش هوا و نحوه استفاده از آن‌ها به عنوان راهکار پاسخ‌ده بومی در زمینه سرمایش طبیعی ساختمان است تا در کاربرد نوین راهنمای مهندسان باشد. به‌منظور سهولت در انجام شبیه‌سازی و همچنین حصول نتایج دقیق‌تر از مدلی با مقیاس 1:25 استفاده شده و جهت مشابه‌سازی در مرتبا عدد رینولدز سرعت ثابت 25.5 متر بر ثانیه در نظر گرفته شده است. شبکه مورد استفاده از نوع ساختارمند است و برای حل معادلات از مجموعه انسیس با حلگر فلوقنت استفاده شده است. اعتبارسنجی نتایج مدل‌سازی عددی توسط آزمایش تجربی انجام شده بر روی همین مدل با مقیاس یکسان، صورت گرفته و توافق نزدیک میان آن‌ها مشاهده شده است. جهت ارزیابی عملکرد بادگیر، دبی و جهت جریان در هر کانال در زوایای مختلف حمله از نرم‌افزار استخراج شده است. نتایج مطالعه حاضر را می‌توان در موارد زیر خلاصه کرد:

1- این مطالعه نشان می‌دهد در یک خانه متشکل از بادگیر چهارچهته، تالار و حیاط مرکزی، نسبت دبی جریان خارج شده از ساختمان توسط بادگیر به دبی جریان وارد شده به آن در 61.5 درصد زوایای حمله (8 زاویه از 13 زاویه) بیشتر از یک و در بقیه موارد تقریباً یک است، بدان مفهوم که بادگیر بیشتر به صورت مکنده هوا و در مرتبا بعد به عنوان تعویض‌کننده هوا عمل می‌کند.

2- در حالت برآیند، از زاویه 0 تا 30 درجه بادگیر بیشتر مکش می‌کند، از زاویه 45 تا 105 درجه بادگیر با نسبت تقریباً برابر دفع به جذب باد در نقش تعویض‌کننده هوا عمل می‌کند و از زاویه 120 تا 180 درجه بادگیر علاوه بر مکش، از سوی حیاط و تالار تحت فشار مثبت قرار گرفته به طوری که جریانی از آن وارد بنا نمی‌شود. بر این اساس می‌توان خارج از بحث پدیده شناوری، استفاده از بادگیرهای چهارچهته در کویر ایران را بیشتر برای دفع حرارت ساختمان و کمتر برای جذب هوا خنک محیط دانست.

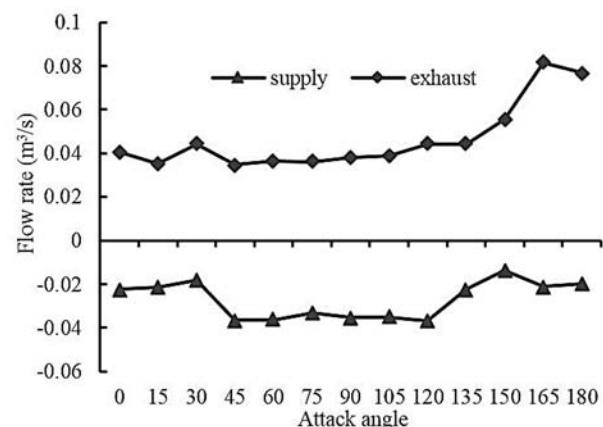
3- نسبت دبی مکش به دمش بادگیر در زاویه 45 و 150 درجه به ترتیب کمینه و بیشینه است، بدین مفهوم که بادگیر در زاویه 45 و 150 درجه به ترتیب از لحاظ دمش و مکش کلراتر است.

4- نتایج نشان می‌دهد ضریب فشار سطوح بنا و بازشوها در عملکرد بادگیر تأثیر بسزایی دارد. بر این اساس این مطالعه بر لزوم بررسی عملکرد بادگیر در ارتباط با ویژگی‌های ساختار و زمینه‌ای که از آن بهره‌برداری می‌شود مانند بافت شهری، فرم ساختمان، وجود حیاط مرکزی، تالار و بازشوها و جهت‌گیری بنا تأکید دارد، لذا از دیدگاه تحقیق حاضر در مطالعه عددی بادگیر اعمال شرط مزی خروجی فشار برای بازشوها که در برخی از مطالعات



شکل 13 کانتور سرعت (m/s) در راستای محور قائم در مقاطع طولی بادگیر برای

زاویه حمله 180 درجه



شکل 14 مقایسه دبی کلی خروجی و ورودی بادگیر در تمام زوایای حمله باد

زاویه 45 و 60 درجه نسبت دبی مکش به دمش هوا توسط بادگیر به

تعویض‌کننده هوا قلمداد کرد.

ج) در زوایای 75، 90 و 105 درجه نسبت دبی مکش به دمش هوا توسط بادگیر به ترتیب 0.94 و 1.00 است که می‌توان در این زوایا بادگیر یک عنصر را دارای نقش تعویض‌کننده هوا دانست.

صنعتی امیرکبیر، آقای مهندس علیرضا موحدی دانشجوی دکتری مکانیک دانشگاه یزد از بابت همکاری در مطالعه تجربی و خانم مرضیه زینلی فهادان به خاطر مساعدت در برداشت جزئیات مدل، تشکر و امتنان به عمل آید.

10- مراجع

- [1] C. Karakatsanis, M. N. Bahadori, B. J. Vickery, Evaluation of pressure coefficients and estimation of air flow rates in buildings employing wind towers, *Solar Energy*, Vol. 37, No. 5, pp. 363-374, 1986.
- [2] M. N. Bahadori, A. Dehghani-sanj, A. Sayigh, *Wind Towers: Architecture, Climate and Sustainability*, pp. 1-17, Switzerland; London: Springer International Publishing, 2014.
- [3] B. R. Hughes, H. N. Chaudhry, S. A. Ghani, A review of sustainable cooling technologies in buildings, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 15, No. 6, pp. 3112-3120, 2011.
- [4] M. Kolokotroni, A. Ayiomamitis, Y. Ge, The suitability of wind driven natural ventilation towers for modern offices in the UK: a case-study, *World Renewable Energy Congress VII (WREC)*, 2002.
- [5] A. A. Elmualim, Verification of design calculations of a wind catcher/tower natural ventilation system with performance testing in a real building, *International Journal of Ventilation*, Vol. 4, No. 4, pp. 393-404, 2006.
- [6] J. K. Calautit, B. R. Hughes, Wind tunnel and CFD study of the natural ventilation performance of a commercial multi-directional wind tower, *Building and Environment*, Vol. 80, No. 0, pp. 71-83, 2014.
- [7] J. K. Calautit, B. R. Hughes, Measurement and prediction of the indoor airflow in a room ventilated with a commercial wind tower, *Energy and Buildings*, Vol. 84, No. 0, pp. 367-377, 2014.
- [8] M. V. Cruz-Salas, J. A. Castillo, G. Huelsz, Experimental study on natural ventilation of a room with a windward window and different windexchangers, *Energy and Buildings*, Vol. 84, No. 0, pp. 458-465, 2014.
- [9] A. A. Dehghan, M. K. Esfeh, M. D. Manshadi, Natural ventilation characteristics of one-sided wind catchers: experimental and analytical evaluation, *Energy and Buildings*, Vol. 61, No. 0, pp. 366-377, 2013.
- [10] M. K. Esfeh, A. A. Dehghan, M. D. Manshadi, Experimental investigation of upstream structure on the ventilation performance of one-sided wind-catchers, *Tarbiat Modares Mechanical Engineering*, Vol. 13, No. 1, pp. 49-60, 2013. (in persian)
- [11] H. Montazeri, F. Montazeri, R. Azizian, S. Mostafavi, Two-sided wind catcher performance evaluation using experimental, numerical and analytical modeling, *Renewable Energy*, Vol. 35, No. 7, pp. 1424-1435, 2010.
- [12] H. Montazeri, Experimental and numerical study on natural ventilation performance of various multi-opening wind catchers, *Building and Environment*, Vol. 46, No. 2, pp. 370-378, 2011.
- [13] Y. Su, S. B. Riffat, Y.-L. Lin, N. Khan, Experimental and CFD study of ventilation flow rate of a Monodraught™ windcatcher, *Energy and Buildings*, Vol. 40, No. 6, pp. 1110-1116, 2008.
- [14] A. A. Elmualim, H. B. Awbi, Wind Tunnel and CFD Investigation of the Performance of "Windcatcher" Ventilation Systems, *International Journal of Ventilation*, Vol. 1, No. 1, pp. 53-64, 2002.
- [15] F. Inc. FLUENT 6.3 User's Guide, Accessed on 14 may 2016; <https://www.sharcnet.ca/Software/Fluent6/pdf/ug/flug.pdf>.
- [16] H. Montazeri, R. Azizian, Experimental study on natural ventilation performance of one-sided wind catcher, *Building and Environment*, Vol. 43, No. 12, pp. 2193-2202, 2008.

صورت گرفته، نتایجی متفاوت از آنچه در واقعیت رخ می‌دهد را به دست می‌دهد.

5- این مطالعه با اشاره به نقش مکشی بادگیر بر لزوم شناخت دقیق رفتار بادگیر پیش از ترکیب آن با تجهیزات سرمایشی تأکید دارد، چراکه در شرایطی که بادگیر دارای عملکرد مکشی است استفاده از تجهیزات سرمایشی در کانال‌ها تنها به اتلاف انرژی منجر می‌شود. از سوی دیگر مطالعه حاضر تلاش دارد تا توجه طراحان را به ابداع سامانه‌های تهویه طبیعی مبتنی بر مکش هوای داخل بنا به بیرون و جایگزینی هوای مطبوع بهمنظور کنترل بیشتر تهویه و همچنین کاهش آلودگی معطوف سازد.

6- نتایج همچنین نشان می‌دهد در ساختارهایی که بادگیر به تالار و حیاط مرکزی متصل است، زاویه برخورد جریان نقش تعیین‌کننده‌ای در رفتار هیدرودینامیکی بادگیر دارد.

8- فهرست عالائم

شتاب گرانشی (ms^{-2})	g
ارتفاع (m)	H
شدت آشفتگی	I
جهت‌های مختلف مختصاتی	i, j
انرژی جنبشی آشفتگی	k
طول (m)	L
فشار (kgm $^{-1}s^{-2}$)	P
فشار کل (kgm $^{-1}s^{-2}$)	P_t
فشار استاتیک (kgm $^{-1}s^{-2}$)	P_s
عدد رینولدز	Re
بردار سرعت (ms^{-1})	u
اندازه سرعت (ms^{-1})	V
عرض (m)	W
عالائم یونانی	
ضریب پخش	Γ
ضریب پخش مؤثر	Γ_k
ضریب پخش مؤثر	Γ_ω
لزجت دینامیکی ($kgm^{-1}s^{-1}$)	μ
چگالی (kgm^{-3})	ρ
تاسور تنش‌های آشفتگی	τ_t
فرکانس آشفتگی	ω
زیرنویس‌ها	
ضریب فشار	C_p

9- تشکر و قدردانی

در این مجال لازم است از زحمات آقای دکتر محمود مانی در جهت فراهم‌سازی امکانات آزمایشگاه ایروودینامیک دانشکده هوافضای دانشگاه