

# بررسی فرم مناسب سقف و سودمندی استفاده از بادخور و بادگیر در تهویه طبیعی مسکن چابهار

امین‌اله احدی\*، بابک علیرضایی و ونوسفادرائی\*\*

۱۳۹۲/۰۱/۰۹

تاریخ دریافت مقاله:

۱۳۹۳/۰۲/۱۳

تاریخ پذیرش مقاله:

## چکیده

طراحی اقلیمی و توجه به مباحث مربوط به معماری پایدار از مهمترین جریان‌های معماری معاصر به حساب می‌آیند که سابقه چند هزارساله به‌خصوص در ایران دارد. در دوران معاصر طراحی اقلیمی عکس‌العمل منطقی به بحران‌های ناشی از کمبود منابع تولید انرژی و افزایش آلودگی‌های محیطی ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی بوده است. در ایران، یکی از اقلیم‌هایی که توجه به شرایط زیست محیطی به‌منظور ایجاد آسایش حرارتی و رسیدن به معماری همساز با اقلیم در آن نقش حیاتی دارد، اقلیم گرم و مرطوب است که با رطوبت و گرمای بالا مواجه است و به‌منظور تهویه رطوبتی و سرمایش از راه‌های غیر طبیعی نیاز به صرف انرژی و هزینه زیاد دارد. این نوشته درصدد است که با توجه به مباحث مربوط به طراحی اقلیمی در اقلیم گرم و مرطوب ایران، فرم مناسب سقف را جهت استفاده بهینه از تهویه طبیعی در خانه‌های مسکونی شهر چابهار که در اقلیم گرم و مرطوب واقع شده و با مشکلات ناشی از گرما و رطوبت مواجه می‌باشد، بررسی کند و سودمند بودن استفاده از بادخان و بادخور را در این منطقه مورد سنجش قرار دهد. روش تحقیق مورد استفاده در این مقاله با استفاده از داده‌های پایگاه‌های هواشناسی و منابع اسنادی و کتابخانه‌ای معتبر به‌منظور جمع‌آوری اطلاعات، توصیفی تحلیلی و نیز استفاده از مدل‌سازی رایانه‌ای در نرم افزار Vasari Autodesk (نرم افزار شبیه‌ساز تونل باد) به‌منظور ارزیابی راهکارهای کالبدی و سنجش درستی آن می‌باشد. نتایج این نرم افزار با نرم افزار Ansys cfx version 13 (نرم افزار مطرح در زمینه محاسبات دینامیک سیالات) مورد تأیید قرار خواهد گرفت. در ساختمان‌های کم ارتفاع و محصور (نظیر خانه‌های شهر چابهار) که جریان هوای زیادی به بدنه ساختمان برخورد نمی‌کند، سقف در سازوکار تهویه نقش اساسی دارد، علاوه بر این جریان هوای عبوری از سقف پایدارتر و قوی‌تر است. در این مقاله با مطالعه و مدل‌سازی سه نوع سقف منحنی، شیب‌دار و مسطح و همچنین بادخان و بادخور مناسب آن، راهکارهای کالبدی به‌منظور رسیدن به سازوکار بهینه تهویه طبیعی در ساختمان‌های یک طبقه و چند طبقه در شهر چابهار بررسی شده است و در نهایت، فرم بهینه شکل سقف (در ارتباط با تهویه طبیعی) و مؤثر بودن استفاده از بادخان و بادخور به‌منظور تهویه طبیعی در مسکن چابهار مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

واژگان کلیدی: چابهار، تهویه طبیعی، بادخان، بادخور، شکل سقف.

\* دانشجوی کارشناسی ارشد معماری دانشگاه علم و صنعت ایران. Ahadi6688@yahoo.com

\*\* دانشجوی کارشناسی ارشد معماری دانشگاه پیام نور تهران.

## مقدمه

در دوران معاصر، طراحی اقلیمی عکس العمل منطقی به بحران‌های ناشی از کمبود منابع انرژی و افزایش آلودگی محیطی ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی است. توجه به اقلیم به خصوص در اقلیم‌هایی که دارای شرایط حاد برای زندگی انسان هستند اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. یکی از این اقلیم‌ها اقلیم گرم و مرطوب است که در ایران شامل نواحی شمالی خلیج فارس و دریای عمان می‌شود. ویژگی اقلیمی این منطقه رطوبت نسبی بالا، دمای بالای هوا، شدت تابش خورشید و تابستان گرم و شرجی و زمستان معتدل است. در چنین اقلیم‌هایی تهویه طبیعی به منظور کنترل رطوبت و ایجاد فضاهایی با آسایش حرارتی، دارای نقش حیاتی است. ایجاد تهویه طبیعی در این اقلیم تنها از طریق استفاده از جریان هوا بیرون در داخل و نیز در پوسته ساختمان امکان‌پذیر است. در معماری سنتی و هم در طرح‌های جدید معماری در مناطق گرم و مرطوب، استفاده از بادگیر، خالی گذاشتن طبقه همکف برای عبور جریان هوا و سقف‌های دارای تهویه (که موضوع مورد بحث این مقاله است) دیده می‌شود. طراحی این نوع سیستم تهویه (سیستم غیر فعال) علاوه بر کاهش مصرف انرژی و در نتیجه کاهش هزینه‌های ساختمان، گامی در جهت پاک نگهداشتن محیط طبیعی از طریق کاهش تولید گرمای حاصل از وسایل سرمایشی الکتریکی و افزایش آسایش اقلیمی افراد از طریق تهویه مناسب و همیشگی می‌باشد. شهر چابهار که سازو کار تهویه طبیعی مناسب در آن مورد مطالعه این نوشته است نیز در این اقلیم (گرم و مرطوب) واقع است.

## پرسش‌های پژوهش، روش تحقیق و جمع‌آوری اطلاعات

این پژوهش در صدد است تا با توجه به مباحث مربوط به تهویه طبیعی و نقش آن در آسایش حرارتی و نیز

معماری پایدار به پرسش‌های زیر پاسخ دهد:

- در چه زمان‌هایی از سال به منظور آسایش حرارتی، بناهای مسکونی شهر چابهار نیاز به تهویه دارد؟
- با توجه به شرایط اقلیمی شهر چابهار، به منظور تهویه طبیعی، از چه روش‌هایی می‌توان استفاده کرد؟
- راه کارهای کالبدی و کاربردی استفاده از تهویه طبیعی در بناهای شهر چابهار چگونه است؟

روش جمع‌آوری اطلاعات در این مقاله با استفاده از مطالعه منابع معتبر اسنادی و کتابخانه‌ای بوده است. همچنین داده‌های هواشناسی مورد نیاز در رابطه با شرایط اقلیمی شهر چابهار از جمله سرعت باد، جهت باد، متوسط درجه حرارت هوا، رطوبت هوا و درجه حرارت روز از داده‌های پایگاه هواشناسی سازمان بنادر و دریا نوردی ایران در چابهار در بازه‌های زمانی ده ساله جمع‌آوری شده و به صورت حداکثر و حداقل و متوسط عددی در موارد مورد نیاز استفاده شده است. روش تحقیق توصیفی تحلیلی و نیز استفاده از مدل‌سازی رایانه‌ای و شبیه‌سازی عددی بوده است.

## تهویه طبیعی

تهویه طبیعی، چگونگی عملکرد و عوامل مؤثر در آن تهویه هوا به عمل جانشین کردن و یا جابجا کردن هوا در یک فضا گفته می‌شود که به منظور تأمین هوای تازه، خارج کردن هوای گرم و مرطوب و خنک کردن فضا و تأمین آسایش حرارتی انسان انجام می‌شود. در روش تهویه طبیعی عمل جابجایی هوا از طریق اثر دودکش که مبتنی بر حرکت هوای گرم به بالا و ورود هوای سرد از پایین به جای آن است و یا از طریق کوران هوا که جابجایی هوا از طریق فشار مثبت و منفی باد انجام می‌شود (قبادیان، ۱۳۷۸، ۶۴-۷۱). امروزه توجه به استفاده از تهویه طبیعی در طراحی‌های ساختمان به‌طور

تر جایگزین آن می‌شود. این پدیده با عنوان " اثر دودکشی " شناخته می‌شود. اختلاف دمای بین داخل و خارج ساختمان و بین نواحی مختلف آن باعث ایجاد اختلاف فشار و به دنبال آن جابجایی هوا می‌شود.

### تهویه طبیعی و آسایش حرارتی

شرایط آسایش حرارتی به محدوده‌ای از دما و رطوبت گفته می‌شود که در آن ساز و کار تنظیم حرارت بدن در حداقل فعالیت خود باشد (Givoni, 1976, 287). عوامل دما هوا، رطوبت نسبی، سرعت جریان هوا، متوسط دمای تابشی، سرعت سوخت و ساز بدن و میزان پوشش بدن در تعیین محدوده آسایش حرارتی مؤثر می‌باشند (Fanger, 1970). از آن جا که تهویه طبیعی باعث تعدیل رطوبت و دما می‌شود می‌توان نتیجه گرفت که یکی از مؤثرترین عوامل در ایجاد آسایش حرارتی، تهویه است (رازجویان، ۱۳۶۷). طبق استاندارد آسایش حرارتی اولگی محدوده آسایش از نظر دمایی بین ۲۱ تا ۲۷.۷ درجه سانتیگراد و از نظر رطوبت بین ۳۰ تا ۶۵ درصد می‌باشد (Olgyay, 1973). براساس استاندارد ایالات متحده آمریکا این محدوده از نظر دمایی بین ۲۲.۲ تا ۲۵.۶ درجه سانتی گراد و از نظر رطوبت بین ۲۰ تا ۸۰ درصد می‌باشد (ASHRAE, 1985).

با بررسی داده‌های هواشناسی ایستگاه چابهار در فاصله زمانی اوایل فروردین تا اوایل مهر در اکثر روزها، شرایط آب و هوایی چابهار در محدوده بالای استاندارد آسایش حرارتی قرار می‌گیرد، تا آن جا که در برخی از روزها رطوبت بیش از ۸۰ درصد و دمای بیش از ۳۰ درجه سانتیگراد هم ثبت شده است (ایستگاه هواشناسی چابهار سازمان بنادر و دریانوردی ایران). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از تهویه طبیعی در ماه‌های گرم سال می‌تواند در تعدیل شرایط حرارتی بسیار مؤثر باشد.

فزاینده‌ای رو به افزایش است و طراحان به این طریق سعی در افزایش رضایت‌مندی کاربران فضاها و نیز کاهش هزینه‌های ساخت و نگهداری و کاهش مصرف انرژی دارند.

نیروهایی که باعث تهویه طبیعی می‌شوند در دو عامل کلی خلاصه می‌شود (CIBSE, 2005, 10): نیروهای باد و خاصیت شناوری<sup>۱</sup>. این نیروها مکانیزم‌های مربوط به تهویه طبیعی را مشخص می‌کنند. شکل و مکان ساختمان (برای نمونه قرار داشتن در محیط باز یا متراکم و یا مرتفع بودن یا کم ارتفاع بودن) چگونگی تهویه طبیعی ساختمان را مشخص می‌کند. بر این اساس سه حالت برای تهویه طبیعی می‌توان در نظر گرفت: تهویه یک طرفه، تهویه دو طرفه و تهویه دودکشی، هر کدام از این حالات نشان می‌دهد که هوای داخل بنا که نیاز به تهویه دارد، چگونه با جریان هوای خارج مرتبط می‌شود (Andersen, 2002). تهویه طبیعی بر سه پدیده اقلیمی سرعت باد، جهت باد و اختلاف دمایی مبتنی است (مک کارتی، ۱۳۸۱، ۲۳).

سرعت باد: جریان باد در برخورد با ساختمان باعث ایجاد یک میدان فشار در اطراف ساختمان می‌شود. این میزان این میدان فشار مبتنی بر سرعت باد است. در این رابطه تهویه هواکشی تنها زمانی مؤثر است که سرعت باد بیش از ۲.۵ متر بر ثانیه (۹ کیلومتر بر ساعت) باشد.

جهت باد: اساسی‌تری عامل تعیین کننده نحوه عبور هوا از یک ساختمان، جهت وزش باد است. هنگامی که باد از روی ساختمان حرکت می‌کند، باعث ایجاد یک میدان فشار متغیر مثبت یا منفی می‌شود. سپس هوا از نواحی دارای فشار مثبت به نواحی دارای فشار منفی به جریان در می‌آید.

اختلاف‌های دمایی: با افزایش دما، چگالی هوا کاهش می‌یابد و هوا به سمت بالا حرکت می‌کند و هوای خنک

## راهکارهای کالبدی ایجاد تهویه طبیعی

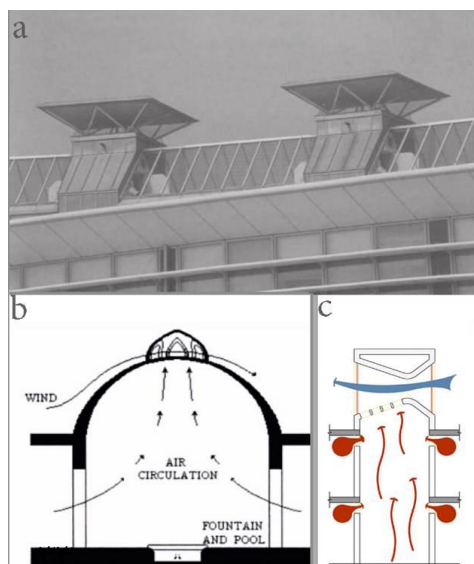
راهکارهای کالبدی ایجاد تهویه طبیعی را از نظر مکان استفاده می‌توان به سه نوع تقسیم کرد: تمهیدات کالبدی در سقف، تمهیدات کالبدی در نما و بدنه ساختمان و ترکیبی از آن دو (CIBSE, 2005, 15-20). به‌منظور استفاده از تهویه طبیعی از راهکارهای مختلفی استفاده می‌شود. بادخور<sup>۲</sup>، بادخان<sup>۳</sup>، دودکش‌های خورشیدی<sup>۴</sup>، پنجره‌های تهویه‌دار در یک طرف یا به‌صورت دو طرفه، نماهای دو پوسته<sup>۵</sup> و استفاده از آتریوم بر پایه اثر دودکشی، از جمله راهکارهای متداول برای تهویه طبیعی هستند (Allard & Ghiaus, 2005: 28-36).

در تهویه طبیعی، سقف دارای اهمیت زیادی است زیرا هوای گرم به‌علت سبک بودن تمایل به حرکت به سمت بالا دارد. علاوه بر آن جریان‌های هوایی که از سطح بام عبور می‌کند قوی‌تر و پایدارتر هستند. همچنین تهویه طبیعی از سقف برای بناهای کم ارتفاع و محصور، که جریان هوا در اطراف آن کم است و نیز بناهایی که در اطراف آن سر و صدا و آلودگی هوا زیاد است، مناسب می‌باشد (McCarthy, 1999).

با توجه به اینکه خانه‌های مسکونی شهر چابهار اغلب کم ارتفاع و محصور هستند، تهویه از طریق سقف برای آن مناسب‌تر می‌باشد. در ادامه به راهکارهای کالبدی تهویه از طریق سقف اشاره می‌شود:

بادخان: بادخان‌ها که اغلب به شکل مربع یا مستطیل و با دو یا چند دهانه هستند، از سالیان دور به‌منظور تهویه طبیعی به‌عنوان عنصر معماری مستقل و یا بخشی از پوشش سقف به‌کار گرفته می‌شدند. اساس کار بادخان‌ها ترکیبی از عملکرد تهویه دودکشی (بالا رفتن هوای گرم و جایگزینی هوای سرد) و تهویه یک طرفه باد (منتقل کردن هوای گرم از دهانه برج به وسیله باد) است (McCarthy, 1999). در واقع چنان‌چه عمل تهویه

هوا را به دم و باز دم تشبیه کنیم بادخان معادل باز دم و بادخور معادل عمل دم می‌شود (مک کارتی، ۱۳۸۱).

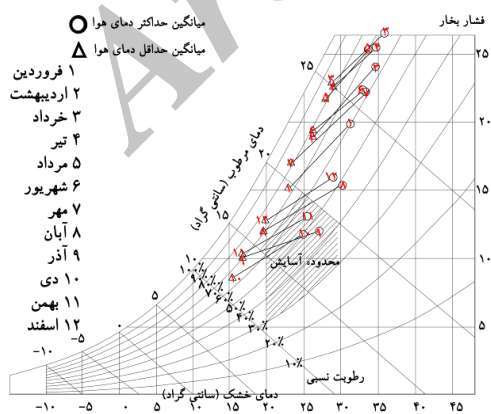


ت ۱. تهویه طبیعی به وسیله بادخان. قسمت a کاربرد این روش در یک ساختمان مدرن (ساختمان اداره مرکزی یونیکا ساخته شده در سال ۱۹۹۴) را نشان می‌دهد (Baird, 2004, 43). قسمت b کارکرد سستی این روش را نشان می‌دهد (Allard, 2002, 240). و قسمت c چگونگی عملکرد این روش را نشان می‌دهد (مأخذ: نگارندگان).

بادخور: بادخورها اجزای معماری هستند که به‌منظور گرفتن باد و کشاندن هوای تازه به داخل بنا استفاده می‌شوند. اساس کار بادخورها بر پایه کوران هوا است و مانند بادخان بر روی سقف بنا یا به‌عنوان بخش مستقل از بنا کار می‌کنند (مک کارتی، ۱۳۸۱).

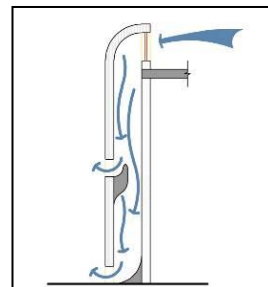
این برج‌های بلند در ابتدا در نواحی کویری ایران به‌کار برده شدند و کارکرد آن‌ها مبتنی بر آوردن جریان هوای خارج به داخل، به‌منظور کاهش دما و برقراری شرایط آسایش حرارتی می‌باشد، فشار مثبت باد در جهت وزش و فشار منفی در خلاف جهت وزش این شرایط را فراهم می‌کند. به این منظور باید دهانه‌های ورودی بادخور رو

**شرایط اقلیمی چابهار و داده‌های مرتبط با جریان هوا**  
 به لحاظ اقلیمی، نواحی شمالی خلیج فارس و دریای عمان که چابهار هم بخشی از آن است جزء نواحی گرم و مرطوب محسوب می‌شود. ویژگی‌های اقلیمی این منطقه، رطوبت نسبی بالا، دمای بالای هوا، شدت تابش خورشید و تابستان‌های گرم و شرجی و زمستان‌های معتدل است. همچنین میزان ریزش باران سالیانه بسیار اندک است و اغلب بارندگی در فصول پاییز و خصوصاً زمستان است. از دیگر ویژگی‌های این منطقه اختلاف کم درجه حرارت بین شب و روز، پوشش بسیار کم گیاهی و میزان تبخیر بسیار زیاد آب می‌باشد (کسمایی، ۱۳۸۱، ۸۳). موقعیت جغرافیایی شهر چابهار در عرض جغرافیایی ۲۵.۲ درجه و طول جغرافیایی ۶۰.۲ درجه و عمق نصب ۲۵ متر می‌باشد. طبق داده‌های ایستگاه هواشناسی سازمان بنادر و دریانوردی ایران در چابهار، متوسط ده ساله دمای هوا ۲۶ درجه سانتیگراد و حداکثر و حداقل دمای هوا ۳۳ و ۱۴ درجه سانتیگراد بوده است. در ماه‌های گرم سال دمای هوا در اکثر روزها نزدیک ۳۰ درجه سانتیگراد بوده است. متوسط سالیانه رطوبت نسبی هوا ۶۱ درصد می‌باشد که در ماه‌های گرم سال تا بیش از ۸۰ درصد هم گزارش شده است (ایستگاه هواشناسی چابهار سازمان بنادر و دریانوردی ایران). نمودار ۱ سایکرومتریک چابهار را نشان می‌دهد.

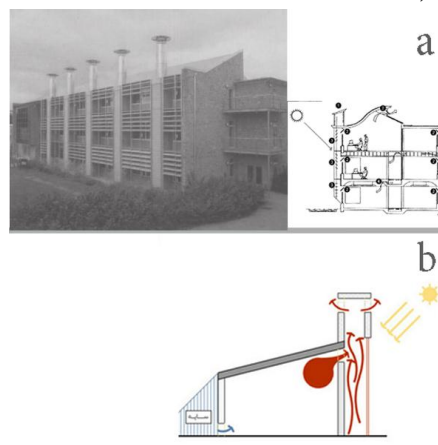


نمودار ۱. سایکرومتریک چابهار (برگرفته از کسمایی، ۱۳۸۸).

به جهت باد غالب باشد. هنگامی که باد جریان ندارد، این برج‌ها عملکرد تهویه‌ای دودکشی دارند (Ettouney, 2008, 247-249).



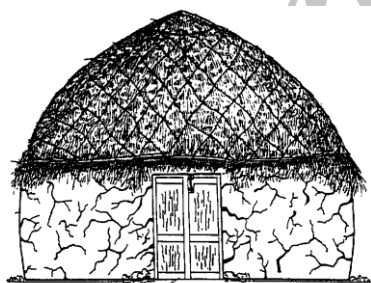
۲. چگونگی عملکرد بادخورها (مأخذ: نگارندگان).  
 دودکش‌ها: یکی دیگر از اشکال رایج تهویه سقفی دودکش هاست که اغلب استوانه‌ای شکل می‌باشد. اساس کار دودکش‌ها بر پایه خارج شدن هوای گرم از بالا و جایگزین شدن هوای سرد از پایین به جای آن است. عملکرد دودکش‌ها مستقل از جریان باد است ولی دهانه خروجی آن‌ها نباید در جایی باشد که فشار هوا مثبت است. آزمایشات متعدد کارایی بالای این سیستم تهویه را به خصوص در ساختمان‌های چند طبقه نشان داده است (Allard, 2002).



۳. تهویه طبیعی به وسیله دودکش خورشیدی. قسمت a کاربرد این روش در یک ساختمان مدرن (اداره محیط زیست بی آر آی در واتفورد انگلستان ساخته شده در سال ۱۹۹۹) را نشان می‌دهد (Baird, 2004: 47). قسمت b چگونگی عملکرد این روش را نشان می‌دهد (مأخذ: نگارندگان).

### مسکن سنتی چابهار و تهویه طبیعی در آن

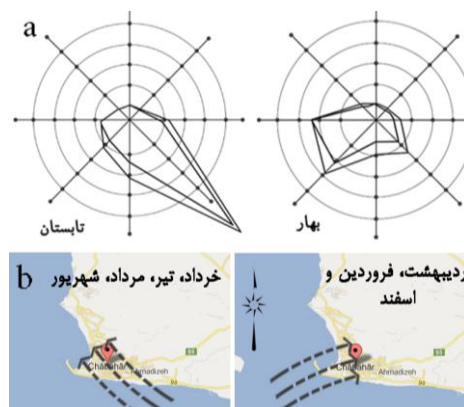
خانه‌های سنتی چابهار اکثراً با دیوارهای کاه گلی و یک طبقه هستند که سقف آن‌ها با الوار، نی و ساقه خرما و کاه اندود شده است. پوشش گیاهی کم و نبود چوب کافی در شکل‌گیری چنین مسکن‌هایی مؤثر بوده است. به لحاظ تهویه طبیعی این خانه‌های با مشکل روبرو هستند و جریان هوا علاوه بر خانه به دلیل محصوریت در محوطه نیز جریان پیدا نمی‌کند، که باعث به وجود آمدن شرایط نامساعد آسایشی می‌شود (جاناب الهی، ۱۳۷۵). مزیت این خانه‌ها در استفاده از مصالح بومی و با ظرفیت حرارتی پایین مصالح آن بوده هرچند که به علت مقاومت کم مصالح، نیاز به تعمیرات مکرر سالانه داشته است. چنین خانه‌هایی تا حدودی می‌توانسته است نیازهای زندگی روستایی را برطرف کند ولی با شهرنشینی و افزایش تراکم ساختمانی در چابهار چنین خانه‌هایی نا کارآمد می‌باشد (توسلی، ۱۳۷۱). گونه دیگر سکونت‌های سنتی در این ناحیه کپرهاست که با توجه به استفاده از مصالح با ظرفیت حرارتی کم مثل نی و برگ و ساقه خرما در بدنه و سقف گنبدی آن با شرایط اقلیمی منطقه سازگاری زیادی دارد (جاناب الهی، ۱۳۷۵) (ت ۵).



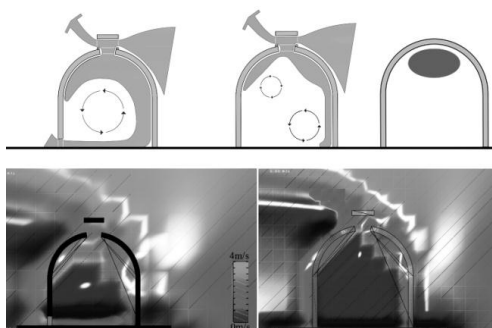
ت ۵. ترسیمی از کپره‌های چابهار (جاناب الهی، ۱۳۷۵).

خانه‌های جدید ساخت در چابهار بر پایه استفاده از تجهیزات مکانیکی و الکتریکی به منظور تهویه و سرمایش ساخته می‌شود و شرایط اقلیمی در اغلب آن‌ها رعایت نمی‌شود.

با توجه به تصویر ۴ در هفت ماه از سال، دمای هوا خارج از محدوده آسایش می‌باشد، در این هفت ماه رطوبت هوا بالای ۶۵ درصد و در برخی موارد بالای ۸۰ درصد می‌باشد. بنابراین در ماه‌های فروردین تا مهر نیاز به تهویه طبیعی برای تعدیل شرایط محیطی است. در رابطه با سرعت و جهت باد که نقش تعیین‌کننده‌ای در تهویه طبیعی دارد، متوسط سرعت سالیانه باد در چابهار ۴ متر در ثانیه گزارش شده و حداکثر سرعت باد نیز ۱۱.۸ متر بر ثانیه بوده است (ایستگاه هواشناسی چابهار سازمان بنادر و دریانوردی ایران). با توجه به حداقل سرعت باد مؤثر در تهویه طبیعی که در بخش ۱ بیان شد (۲.۵ متر بر ثانیه)، سرعت باد به منظور تهویه طبیعی در چابهار مناسب می‌باشد به خصوص که سرعت باد در ماه‌های گرم سال بیش از حد متوسط (۴ متر بر ثانیه) می‌باشد. در رابطه با جهت باد، وزش باد در چابهار از جهات مختلفی می‌باشد، در فصول گرم سال باد غالب از سمت جنوب شرقی می‌وزد جهت وزش باد غالب شهر در این فصول ۱۳۵ تا ۲۳۰ درجه (جنوب شرق تا جنوب غرب) متغیر است (ایستگاه هواشناسی چابهار سازمان بنادر و دریانوردی ایران؛ کسمائی، ۱۳۸۸)، (ت ۴).



ت ۴. جهت وزش بادهای غالب شهر چابهار در فصول گرم سال. قسمت a گلباد شهر چابهار در تابستان و بهار را نشان می‌دهد (برگرفته از کسمائی، ۱۳۸۸). قسمت b حاصل پردازش‌های مقاله براساس داده‌های ایستگاه هواشناسی چابهار می‌باشد (مأخذ: نگارندگان).



ت ۶. نتایج مدل‌سازی سقف منحنی شکل در دو حالت، یکی وجود دریچه ورودی هوا (سمت چپ) و دیگری بدون دریچه ورودی هوا (سمت راست)، به همراه بادخان آن در نرم افزار شبیه‌ساز باد Autodesk Vasari (حاصل پردازش‌های مقاله براساس داده‌های مربوط به شهر چابهار). حجم و سرعت تهویه در مدل دارای دریچه ورودی هوا بیشتر و عملکرد تهویه بهتر است (سرعت باد در قسمت‌های به رنگ آبی (رنگ تیره در تصاویر سیاه و سفید) صفر است و در قسمت زرد رنگ (سفید در تصاویر سیاه و سفید) حداکثر است.

#### سقف‌های شبیدار

این نوع سقف بیشتر در حاشیه ساحلی دیده می‌شود. تصویر ۷ نتایج مدل‌سازی این نوع سقف و محل جمع شدن هوای گرم و نیز بادخان مناسب برای آنرا در دو حالت، یکی وجود دریچه ورودی هوا و دیگری بدون دریچه ورودی هوا، در نرم افزار شبیه‌ساز باد نشان می‌دهد.

#### سقف‌های مسطح

بیشتر خانه‌های نو ساخت و همچنین خانه‌های سنتی در چابهار دارای سقف‌های مسطح هستند. در سقف‌های مسطح به دلیل پراکنده بودن هوای نامطبوع در فضای زیر سقف، تهویه با مشکل روبرو می‌شود. به منظور ایجاد حرکت شناوری در هوای داخل ساختمان، ابتدا سقف به قسمت‌های کوچکتر تقسیم می‌شود. این کار به این دلیل انجام می‌شود که بتوان با ارتفاع سقف کمتر، سقف مسطح را به سقف منحنی و یا شبیدار تبدیل کرد و این کار را می‌توان با سقف‌های کاذب، گچبری‌ها و یا عناصر دکوراتیو

## بررسی فرم مناسب سقف جهت تهویه طبیعی در ساختمان‌های چابهار

با توجه به مطالب بیان شده، می‌توان نتیجه گرفت که در شش ماه گرم سال (اوایل فروردین تا اوایل مهر ماه) خانه‌های شهر چابهار نیاز به تهویه طبیعی دارد و جهت بادهای مطلوب در این مدت بین جنوب شرق تا جنوب غرب متغیر است (ایستگاه هواشناسی چابهار سازمان بنادر و دریانوردی ایران؛ کسمائی، ۱۳۸۸). به همین دلیل جهت دریچه‌های تهویه هوا باید در این محدوده قرار گیرد. از طرفی نوع تهویه مناسب برای شهر چابهار به دلیل شکل محصور و کم ارتفاع خانه‌ها و نیز بافت نیمه متراکم شهری، تهویه از طریق سقف می‌باشد، با در نظر گرفتن اهمیت سقف در تهویه طبیعی که در بخش ۱ و ۲ به آن اشاره شد، به بررسی و مدل‌سازی پوشش‌های رایج بام در رابطه با تهویه طبیعی می‌پردازیم. در کلیه مدل‌سازی‌ها، سرعت باد در قسمت‌های به رنگ آبی (یا تیره رنگ در تصاویر سیاه و سفید)، صفر است و هرچه به رنگ زرد (رنگ روشن)، تمایل پیدا می‌کند، سرعت باد و میزان تهویه بیشتر می‌شود شرح مدل‌سازی در نرم افزار Vasari Autodesk<sup>۷</sup> در پیوست ۱ موجود می‌باشد. نتایج حاصل از این نرم‌افزار با نرم‌افزار<sup>۸</sup> Ansys cfx version 13 مورد تأیید قرار خواهد گرفت.

#### سقف‌های گنبدی و منحنی شکل

فرم سقف کپرها در این منطقه به صورت منحنی است و با توجه به زاویه تابش خورشید در شهر چابهار که در فصل تابستان نزدیک به قائم می‌باشد، با این اقلیم متناسب است. در ادامه نتایج مدل‌سازی این نوع سقف و بادخان مناسب برای آن در دو حالت، یکی وجود دریچه ورودی هوا و دیگری بدون دریچه ورودی هوا، در نرم افزار شبیه‌ساز باد نشان داده شده است (ت ۶).

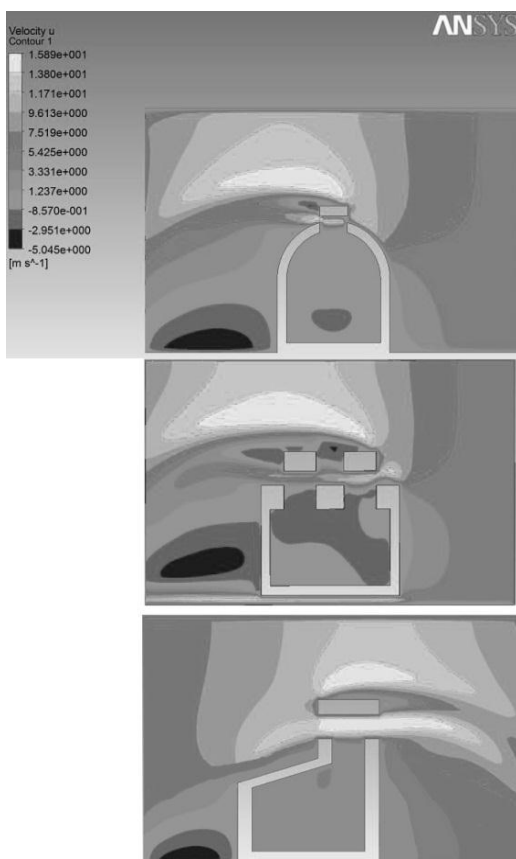
سنجش نتایج نرم افزار Vasari Autodesk در

نرم افزار Ansys cfx

به منظور بررسی درستی خروجی های نرم افزار Vasari

Autodesk یک نمونه از هر سقف در نرم افزار Ansys

cfx مورد ارزیابی مجدد قرار گرفت است (ت ۹).



ت ۹. سنجش یک نمونه از خروجی های نرم افزار

Autodesk Vasari در نرم افزار Ansys cfx (حاصل

پروژه های مقاله براساس داده های مربوط به شهر چابهار).

خروجی های این نرم افزار با تقریب قابل قبولی نتایج نرم افزار Autodesk Vasari را تأیید می کند. در این نتایج نیز

عملکرد سقف شیب دار در تهویه طبیعی مناسب تر می باشد

در قسمت قرمز رنگ (سفید در تصاویر سیاه و سفید)

حداکثر جریان و در قسمت آبی تیره (سیاه در تصاویر سیاه

و سفید) حداقل جریان برقرار است.

نیز انجام داد که به صورت متداول به منظور تزئین در

ساختمان ها به کار می روند. سپس به منظور متمرکز کردن

هوای گرم و مرطوب، قسمت های کوچکتر به سقف منحنی

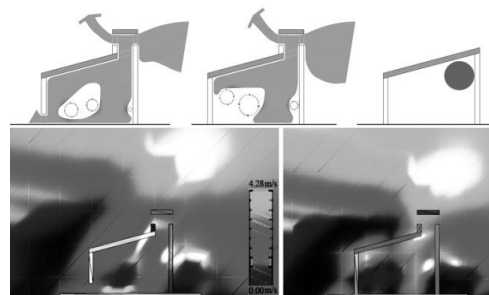
و یا شیب دار تبدیل می شود، با استفاده از اصول ذکر شده

برای این نوع سقف ها، عملکرد تهویه بهتر می شود (ت

۸). استفاده از دریچه های تهویه سقفی تا حدودی در ایجاد

جریان هوا در داخل مؤثر بوده است ولی نسبت به سقف

شیب دار و منحنی، میزان تهویه و جریان هوا کمتر است.



ت ۷. نتایج مدل سازی سقف شیب دار بدون دریچه ورود

هوا (در سمت راست) و با دریچه ورود هوا (سمت چپ)

در نرم افزار شبیه ساز باد Autodesk Vasari (حاصل

پروژه های مقاله براساس داده های مربوط به شهر چابهار).

سرعت باد در قسمت های به رنگ آبی (رنگ تیره در

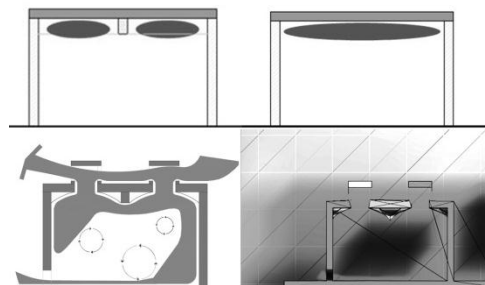
تصاویر سیاه و سفید) صفر است و در قسمت زرد

رنگ (سفید در تصاویر سیاه و سفید) حداکثر است. در

مقایسه با تصویر ۶ (سقف منحنی) عملکرد تهویه بهتر می

باشد. همچنین تعبیه دریچه ورودی هوا حجم و سرعت

تهویه را افزایش داده است.



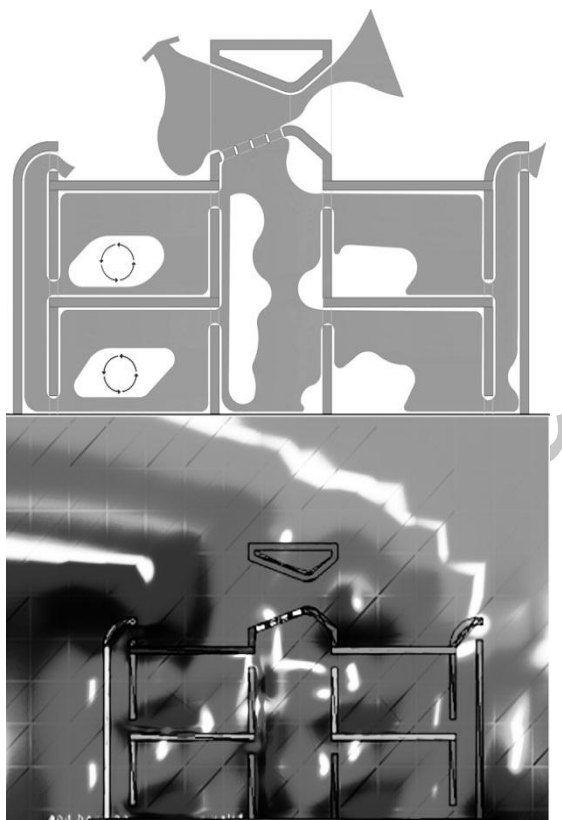
ت ۸. روش تهویه در سقف مسطح و نتایج مدل سازی آن

در نرم افزار شبیه ساز باد Autodesk Vasari (حاصل

پروژه های مقاله براساس داده های مربوط به شهر چابهار).



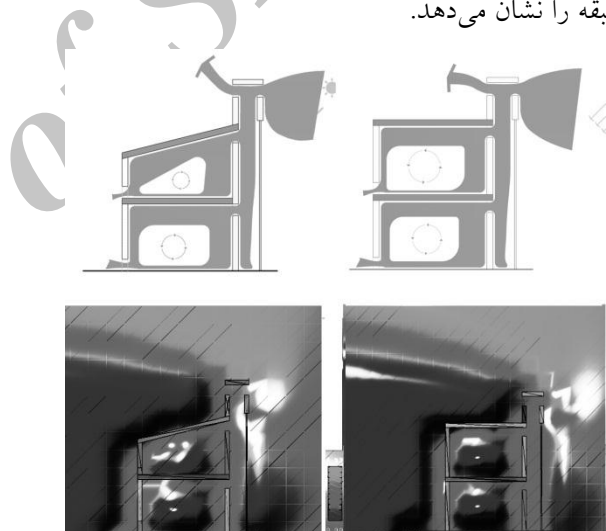
همچنین عملکرد استفاده بادخان و بادخور مورد بررسی قرار گرفته است که در تصویر ۱۱ نشان داده شده است. در این روش به منظور ساماندهی و مکش بهتر هوای خنک و مطبوع، با قرار دادن بادخوری در جهت باد غالب، از باد مناسب‌تر و بیشتری استفاده می‌شود. برای جلوگیری از ورود هوای نامطبوع خارج شده از بادخان به بادخور می‌بایست بادخان و بادخور در یک راستا نباشند.



ت ۱۱. روش تهویه به کمک بادخان و بادخور نتایج مدل‌سازی آن در نرم‌افزار Autodesk Vasari (حاصل پردازش‌های مقاله براساس داده‌های مربوط به شهر چابهار). برقرار جریان هوا در ساختمان نشان دهنده اثر بخش بودن این روش می‌باشد. سرعت باد در قسمت‌های به رنگ آبی (رنگ تیره در تصاویر سیاه و سفید) صفر است و در قسمت زرد رنگ (سفید در تصاویر سیاه و سفید) حداکثر است.

## بررسی عملکرد بادخان و بادخور در تهویه طبیعی ساختمان‌های شهر چابهار

با توجه به مطالب بیان شده در بخش ۲، بادخان، بادخور از سیستم‌های کارآمد تهویه طبیعی هستند که به صورت بخشی از سقف و یا عنصری مستقل، عمل تهویه را انجام می‌دهند. در ساختمان‌های چند طبقه، تهویه از طریق سقف بیشتر در طبقات انتهایی تأثیرگذار است، بنابراین در نظر گرفتن بادخان و بادخور به عنوان عنصری مستقل و در ارتباط با تمام طبقات در این نوع از بناها در عملکرد تهویه مؤثرتر است. تصویر ۱۰ سازوکار تهویه طبیعی به وسیله بادخان در ساختمان‌های دو و چند طبقه را نشان می‌دهد.

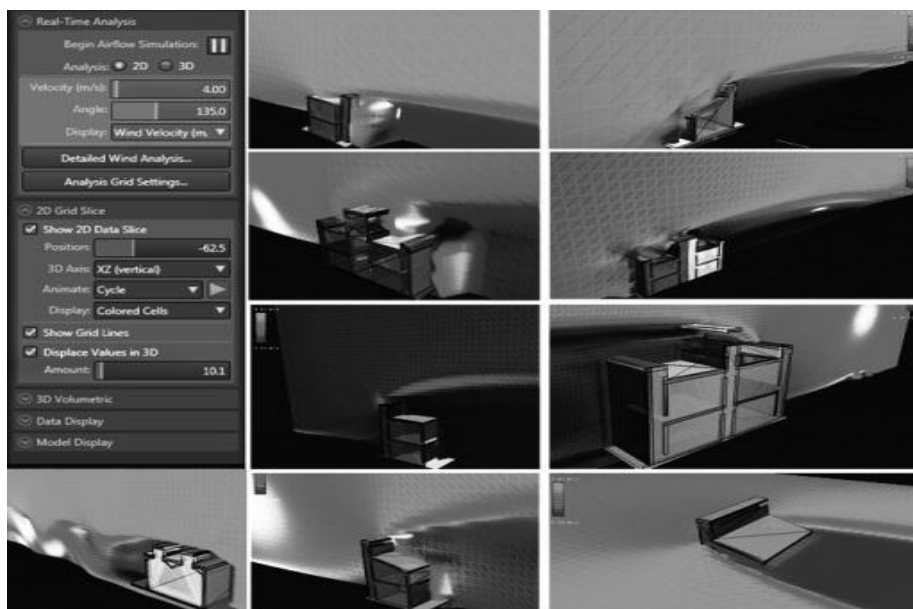


ت ۱۰. روش‌های تهویه به کمک بادخان برجی در ساختمان‌های دو یا چند طبقه با سقف تخت و شیب‌دار و نتایج حاصل از مدل‌سازی آن در نرم‌افزار Autodesk Vasari (حاصل پردازش‌های مقاله براساس داده‌های مربوط به شهر چابهار). به طور کلی با این روش تهویه طبیعی در ساختمان برقرار شده است. سرعت و میزان تهویه هوا در مدل با سقف شیب‌دار فقط در طبقه انتهایی بیشتر است. سرعت باد در قسمت‌های به رنگ آبی (رنگ تیره در تصاویر سیاه و سفید) صفر است و در قسمت زرد رنگ (سفید در تصاویر سیاه و سفید) حداکثر است.

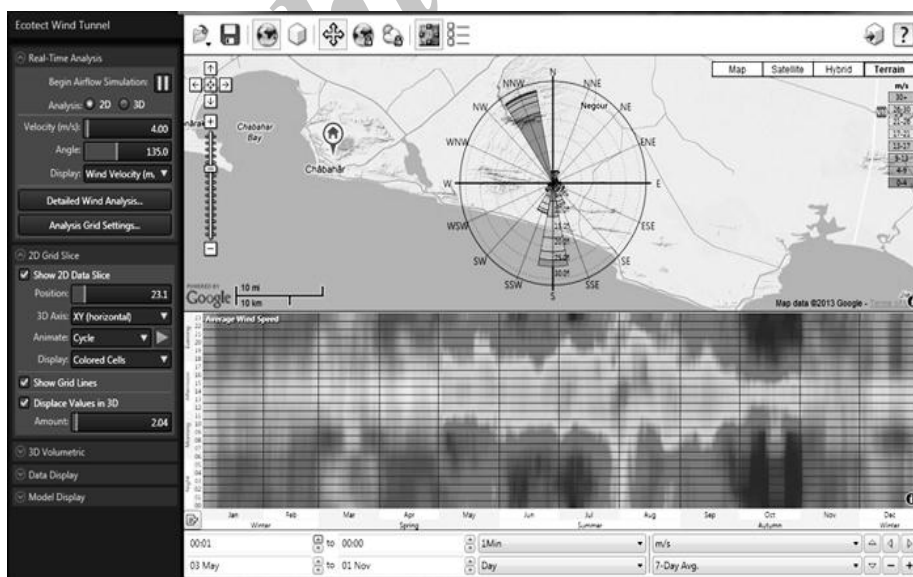
## مدل سازی و محاسبات نرم افزار Vasari autodesk

مدل ساخته شده در شرایط وزش باد شهر چابهار (که مربوط به شرایط باد در ماه های گرم و مرطوب و نیازمند تهویه در چابهار می باشد) مورد سنجش قرار گرفته است.

به منظور سنجش فرم های پیشنهادی در مقاله به لحاظ سرعت و حجم تهویه طبیعی، ابتدا مدل سه بعدی هر فرم با مقیاس واقعی و بر حسب متر آماده شده است، سپس



ت ۱۲. سنجش مدل های سه بعدی در شرایط وزش باد با سرعت ۴ متر بر ثانیه و ۱۳۵ تا ۲۳۰ درجه (مشخصات باد غالب شهر چابهار در ماه های گرم و مرطوب سال که ساختمان در آن نیاز مند تهویه طبیعی می باشد).



ت ۱۳. گلباد شهر چابهار و محدوده ماه هایی که محاسبات نرم افزار براساس آن انجام شده است.

## پی نوشت

1. Thermal buoyancy
2. Wind scop, Wind catcher
3. Wind tower
4. solar chmney
5. double-skin facades
6. Ionica headquarter building,

۷. نرم افزار Vasari Autodesk محصول سال ۲۰۱۳ شرکت Autodesk به منظور شبیه سازی تأثیر باد بر ساختمان می باشد، به علت اینکه این نرم افزار به تازگی ارائه شده است، تعدادی از نتایج آن در نرم افزار Ansys cfx که مورد استفاده در بسیاری از کارهای تحقیقاتی بوده است، مورد ارزیابی مجدد قرار خواهد گرفت.

۸. Ansys cfx نرم افزاری مطرح در زمینه محاسبات دینامیک سیالات می باشد که در پروژه های اجرایی و کارهای تحقیقاتی بسیاری مورد استفاده قرار گرفته است.

## فهرست منابع

- Allard, F. (2002), Natural Ventilation in Buildings: A Design Handbook. London: james & james.
- Allard, f., ghiaus, c. (2005), Natural Ventilation in the Urban Environment: Assessment and Design. Uk; earthscan.
- Andersen, K. T. (2002), Naturlig ventilation i erhvervsbygninger, By og Byg, Statens Byggeforskningsinstitut, Horsholm. Denmark: Alborg University.
- ASHRAE Handbook. (1985), American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers. Alanta
- Baird, G. (2004), The Architectural Expression of Environmental Control Systems. Taylor & Francis press.
- Christopher; Battle McCarthy Consulting Engineers. (1999), Wind Towers, Jon Wiley & Sons Ltd. London.
- CIBSE (Chartered Institution of Building Services Engineers). (2005), Natural ventilation in non-domestic buildings. London: CIBSE.
- Ettouney, M. (2008), Building Integration Solutions. US: AEI (Architectural Engineering Institute).

با در نظر گرفتن شرایط آسایش حرارتی و داده های هواشناسی شهر چابهار که در بخش ۳ به آن اشاره شد، در شش ماه گرم سال (اوایل فروردین تا اوایل مهر ماه) خانه های شهر چابهار نیاز به تهویه طبیعی دارد. در این مدت، براساس داده های ایستگاه هواشناسی سازمان بنادر و دریانوردی ایران در چابهار متوسط سرعت بادهای شهر ۴ متر بر ثانیه (حداقل سرعت باد جهت تهویه طبیعی ۲.۵ متر بر ثانیه می باشد) و جهت بادهای مطلوب در این مدت بین ۱۳۵ درجه تا ۲۳۰ درجه (جنوب شرق تا جنوب غرب) متغیر است، به همین دلیل کشیدگی ساختمان ها و جهت دریچه های تهویه هوا باید در این محدوده قرار گیرد. از طرفی با توجه به ویژگی های باد مطلوب و نیز ارتفاع و محصوریت بناهای شهر چابهار نوع تهویه مناسب برای این شهر تهویه از طریق سقف می باشد. در این مقاله سه نوع سقف تخت، شیب دار و منحنی به همراه بادخان تهویه هوا در آن مورد بررسی و مدل سازی در نرم افزار Vasari Autodesk و Ansys cfx قرار گرفت. با توجه به نتایج، سقف شیب دار (با در نظر گرفتن جهت شیب مخالف جهت باد) و بعد از آن سقف منحنی کارایی بهتری از نظر سرعت و حجم تهویه نسبت به سقف های مسطح دارد. همچنین استفاده از باد خور و دریچه ورود هوا بر افزایش حجم و سرعت تهویه در هر سه نوع سقف بسیار مؤثر است. از طرفی، استفاده از بادخور و بادخان به منظور تهویه طبیعی در ساختمان های شهر چابهار مورد مدل سازی قرار گرفت که نتایج آن نشان دهنده مفید و مؤثر بودن این روش در برقراری تهویه طبیعی می باشد. لازم به ذکر است که در طرح های ارائه شده در این مقاله، ابعاد و اندازه بهینه مورد نظر نبوده است که نیاز به بررسی و تحقیق جداگانه ای در

- Fanger, P. O. (1970), Thermal comfort, analysis and application in environment engineering. Copenhagen, Denmark: Danish Technical Press.
- Givoni, B. (1976), Man, Climate and Architecture. New York: Elsevier press.
- Mathur, J. Bansal N.K. Mathur S. Meenakshi J. & Anupma. (2006), Experimental investigations on solar chimney for room ventilation. Solar Energy. 80, 927-935
- Olgay, V. (1973), Design with Climate. USA: princeton university press.
- توسلی، محمود، بنیادی، ناصر. (۱۳۷۱)، طراحی فضاهای شهری ۱. تهران: انتشارات مرکز مطالعات و تحقیقات شهرسازی و معماری ایران.
- جانب الهی، محمد سعید. (۱۳۷۵)، مسکن سنتی بلوچ. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. شماره ۴۳.
- داندل، واتسون. (۱۳۸۷)، طراحی اقلیمی. ترجمه وحید قبادیان. تهران: مؤسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران.
- رازجویان، محمود. (۱۳۶۷)، آسایش به وسیله معماری همساز با اقلیم. تهران: دانشگاه شهید بهشتی.
- سایت اینترنتی سازمان بنادر و دریانوردی ایران، پایگاه هواشناسی ایستگاه چابهار. <http://marinedata.pmo.ir>. (دسترسی در ۱۵/۱۰/۱۳۹۱).
- کسمایی، مرتضی. (۱۳۸۱)، اقلیم و معماری. اصفهان: نشر خاک.
- کنسیرگر، ا. ا. ج. و همکاران. (۱۳۸۸)، راهنمای طراحی اقلیمی، ترجمه مرتضی کسمایی، تهران: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.
- مهندسین مشاور بتل مک کارتی. (۱۳۸۱)، بادخان. ترجمه محمد احمدی نژاد. اصفهان: نشر خاک.