دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۸/۱۱

پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۲/۱۹

نوع مقاله: پژوهشی

صفحه ۴۶-۳۵

ارزیابی فرم بهینه سقف جهت به‌کارگیری بادخان در شهر اصفهان

الهه محمدرضایی *[۱]، مقدی خدابخشیان[۲]

چکیده

سلسله مراتب طراحی اقلیمی در یک منطقه نقش زیادی در شرایط آسایش محیطی 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 بوده‌است. این موضوع در مناطقی با اقلیم خاص از اهمیت بیشتری برخوردار است. توجه به اهداف عمده طراحی اقلیمی در هر منطقه و پیش‌بینی مواردی در جهت تحقق بخشیدن به این اهداف موجب سازگاری و هماهنگی ساختمان‌ها با شرایط اقلیمی و موجب صرفه‌جویی در مصرف انرژی در هر اقلیم خواهد شد که سابقه چند هزارساله بخصوص در ایران دارد. در ایران، یکی از اقلیم‌هایی که توجه به شرایط زیست‌محیطی به منظور ایجاد آسایش حرارتی و رسیدن به معماری همساز با اقلیم در آن نقش حیاتی دارد، اقلیم گرم و خشک است که همواره دمای بالایی دارد. این اقلیم به منظور تهویه و سرمایش غیرطبیعی نیاز به مصرف انرژی دارد. این پژوهش درصدد است که با توجه به مباحث مربوط به طراحی اقلیمی، فرم مناسب سقف جهت استفاده بهینه از تهویه طبیعی در شهر اصفهان که با مشکلات ناشی از گرما مواجه می‌باشد، را ارزیابی نماید. از آنجا که در ساختمان‌های فشرده و متراکم که جریان هوای زیادی به بدنه ساختمان برخورد نمی‌کند، سقف در سازوکار تهویه نقش اساسی دارد در این مقاله با مدل‌سازی سه نوع سقف منحنی، شیب‌دار و مسطح راهکارهای کالبدی به منظور رسیدن به سازوکار بهینه تهویه طبیعی در ساختمان‌های شهر اصفهان بررسی شده است و درنهایت فرم بهینه سقف در ارتباط با تهویه طبیعی مورد ارزیابی قرار گرفته است. روش تحقیق توصیفی تحلیلی است و اطلاعات با استفاده از داده‌های پایگاه هواشناسی و منابع اسنادی معتبر جمع‌آوری شده است. همچنین از مدل‌سازی رایانه‌ای در نرم‌افزار (Flow Design Autodesk) به منظور راهکارهای معماری و سنجش استفاده شده است.

واژه‌های کلیدی

تهویه طبیعی، بادخان، بادخور، فرم سقف.

۱- کارشناسی ارشد، گروه معماری، مؤسسه آموزش عالی دانش‌پژوهان پیشرو، اصفهان، ایران.

۲- استادیار، گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران.

*- نویسنده مسئول: e_mohamadrezaei@yahoo.com

مقدمه

بحران محیط‌زیست در جهان، امروزه به یکی از اصلی‌ترین نگرانی‌های جنبش‌های توسعه پایدار تبدیل شده است. افزایش رو به رشد میزان آلاینده‌ها، کاهش روزافزون سوخت‌های فسیلی و بحران‌های محیطی ناشی از آن تهدیدی جدی برای آینده حیات انسان محسوب می‌گردد و این در حالی است که ساختمان‌ها بیش از نیمی از مصرف انرژی جهان را به خود اختصاص داده‌اند. بهره‌گیری از انرژی باد در جهت تهویه طبیعی در اقلیم گرم و خشک از سابقه‌ای طولانی برخوردار می‌باشد. ویژگی اقلیمی این منطقه دمای بالای هوا، شدت تابش خورشید و تابستان طاقت‌فرسا است. در چنین اقلیم‌هایی تهویه طبیعی به منظور کنترل شرایط اقلیمی دارای نقش حیاتی است. ایجاد تهویه طبیعی در این اقلیم تنها از طریق استفاده از جریان هوای بیرون در داخل و نیز در پوسته ساختمان امکان‌پذیر است. این در حالی است که معماری امروز جهان، هر روز راهکارهای تازه‌تری در جهت استفاده از تهویه طبیعی در کاهش میزان مصرف انرژی در ساختمان‌های معاصر ارائه می‌نماید. شناسایی وضعیت اقلیمی یک محل و تحلیل نیازهای اقلیمی از نظر آسایش انسان و کاربرد مصالح ساختمانی یکی از مقدمات طراحی همساز با اقلیم است.

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 خنک کردن فضا و تأمین آسایش حرارتی انجام می‌شود (احدی و علیرضایی ۱۳۹۳). وضعیت تهویه‌ی طبیعی یا میزان تعویض هوای داخل ساختمان، از جمله عوامل اولیه‌ی تعیین‌کننده‌ی سلامت و آسایش انسان است. از یک‌سو، پاکی و سرعت جریان هوای داخل ساختمان به طور مستقیم بر انسان تأثیر می‌گذارد و از سوی دیگر وضعیت تهویه از طریق تأثیر بر دما و رطوبت هوای سطوح داخلی ساختمان به طور غیرمستقیم انسان را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

به‌طورکلی، تهویه‌ی طبیعی در ساختمان دارای سه عملکرد مختلف است:

۱- تأمین‌کننده هوای قابل‌تنفس در داخل ساختمان از طریق جانشین ساختن هوای تازه خارجی با هوای مصرف‌شده‌ی داخلی است.

۲- آسایش فیزیکی را از طریق بالا بردن میزان تبخیر عرق ایجادشده بر روی پوست و به دنبال آن کاهش دمای بدن فراهم می‌کند.

۳- خنک‌سازی توده‌ی مصالح ساختمان، هنگامی‌که هوای داخل گرم‌تر از هوای خارج است (رازجویان ۱۳۸۶).

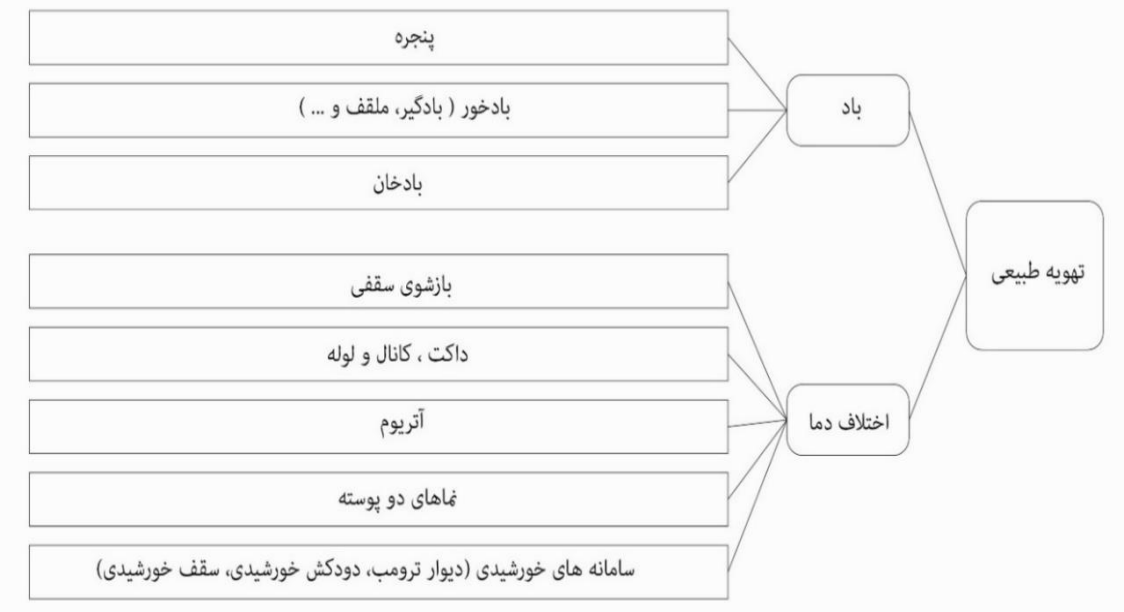
امروزه توجه به استفاده از تهویه طبیعی در طراحی‌های ساختمان به‌طور فزاینده‌ای رو به افزایش است و طراحان به این طریق ضمن افزایش شرایط آسایش کاربران، سعی در کاهش هزینه‌های انرژی ساختمان دارند. نیروی محرکه‌ی تهویه طبیعی باد است. شکل، ارتفاع و مورفولوژی محیط، چگونگی تهویه طبیعی ساختمان را مشخص می‌کند که به سه حالت: تهویه یک‌طرفه[1]، تهویه دوطرفه[2] و تهویه دودکشی[3]، می‌تواند اتفاق بیفتد و باعث ارتباط هوای داخل با جریان هوای خارج بنا می‌شود. سه پدیده اقلیمی سرعت باد، جهت باد و اختلاف دما بر تهویه طبیعی تأثیرگذار است (احمدی‌نژاد ۱۳۸۹).

جریان باد در برخورد با ساختمان باعث ایجاد یک میدان فشار می‌شود. که در رابطه با تهویه هواکشی تنها زمانی مؤثر است که سرعت باد بیش از ۲/۵ متر بر ثانیه (۹ کیلومتر بر ساعت) باشد (احمدی نژاد ۱۳۸۹). اساسی‌ترین عامل تعیین‌کننده نحوه عبور هوا از یک ساختمان، جهت وزش باد است. هنگامی‌که باد از روی ساختمان حرکت می‌کند، باعث ایجاد یک میدان فشار متغیر مثبت یا منفی می‌شود. که به دنبال آن هوا از نواحی دارای فشار مثبت به نواحی دارای فشار منفی به جریان در می‌آید.

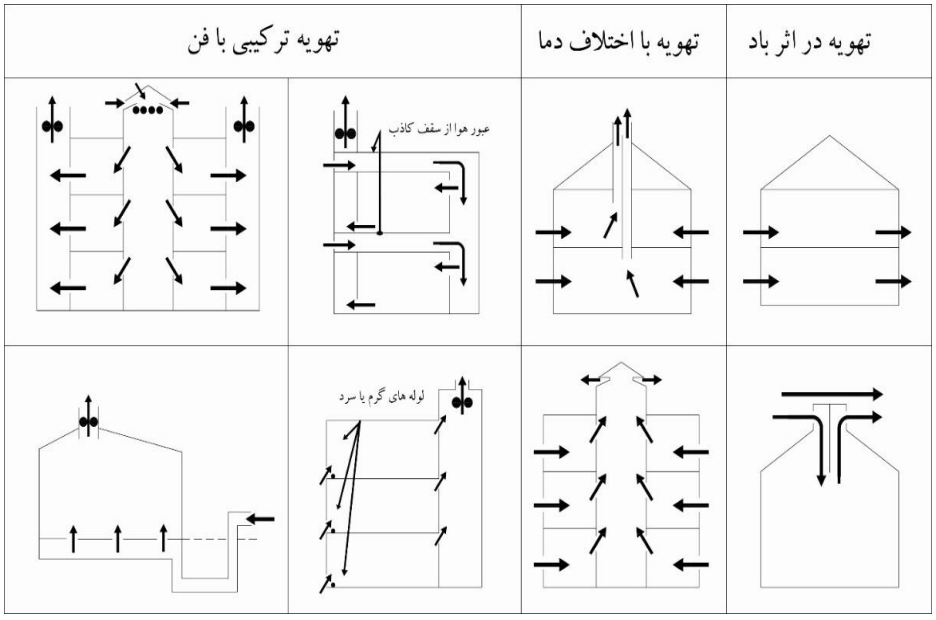
با افزایش دما، چگالی هوا کاهش می‌یابد و هوا به سمت بالا حرکت می‌کند و هوای خنک‌تر جایگزین آن می‌گردد و این پدیده با عنوان «اثر دودکشی» شناخته می‌شود.

اختلاف دمای بین داخل و خارج ساختمان و بین نواحی مختلف آن باعث ایجاد اختلاف فشار و به دنبال آن جابجایی هوا می‌شود.

عوامل تعیین‌کننده تهویه طبیعی در ساختمان ناشی از باد یا اختلاف دما در شکل (۱) آمده است و چگونگی جریان هوا در سامانه های تهویه‌یی در شکل (۲) ارائه شده است.



شکل (۱). سامانه‌های مختلف تهویه‌ی طبیعی
منبع: (قیابکلو ۱۳۹۲)



شکل (۲). جریان هوا در سامانه‌های تهویه‌ای
منبع: (قیابکلو ۱۳۹۲)

تهویه طبیعی و آسایش حرارتی

شرایط آسایش حرارتی به محدوده‌ای از دما و رطوبت گفته می‌شود که در آن سازوکار تنظیم حرارت بدن در حداقل فعالیت خود باشد (Givoni 1976). عوامل دمای هوا، رطوبت نسبی، سرعت جریان هوا، متوسط دمای تابشی، سرعت سوخت‌وساز بدن و میزان پوشش بدن در تعیین محدوده آسایش حرارتی مؤثر می‌باشند (Fanger 1970).

تفاوت در الگوهای رفتاری انسان‌ها تا حد زیادی به تأثیر شرایط اقلیمی نسبت داده می‌شود. احساس آسایش در محیط‌زیست انسان بدون شک بر کیفیت رفتار و فعالیت وی مؤثر است، ازاین‌رو، توجه به منطقه آسایش افراد در طراحی فضاهای مختلف شهری، در سلامت جسم و روح آن‌ها تأثیر بسزایی دارد. بالاترین میزان انعطاف‌پذیری فضاهای داخلی بنا زمانی تأمین می‌شود که بتوان به طور طبیعی شرایط محیطی آن را از نظر تهویه و نور تنظیم نمود. از طرفی، گستره‌ی فعالیت‌ها و دامنه‌ی انعطاف‌پذیری آن در یک مکان بیرونی تا حدودی به شرایط خرد اقلیم آن منطقه، به‌ویژه وضعیت تابش خورشید و سرعت باد بستگی دارد (بهزادفر ۱۳۸۲).

بنابراین، ارائه‌ی راهکارهای مناسب برای ایجاد آسایش محیطی در فعالیت‌های انسانی و پیرو آن در توسعه‌ی اقتصادی مؤثر خواهد بود. همچنین، توجه به پتانسیل‌های اقلیمی و استفاده‌ی بهینه از آن‌ها تا حد زیادی موجب صرفه‌جویی در مصرف انرژی‌های غیرطبیعی می‌گردد و همین عامل، گامی به‌سوی توسعه‌ی پایدار شهری خواهد بود. شهر و اقلیم، دو سیستم انسان ساخت و طبیعی هستند که تأثیرگذاری تنگاتنگی بر یکدیگر دارند.

اقلیم تا آنجا که با آسایش انسان رابطه برقرار می‌کند، نتیجه عواملی، چون تابش آفتاب، دما و رطوبت هوا، وزش باد و میزان بارندگی است. از آنجا که تهویه طبیعی باعث تعدیل رطوبت و دما می‌شود می‌توان نتیجه گرفت که یکی از مؤثرترین عوامل در ایجاد آسایش حرارتی، تهویه است (رازجویان ۱۳۸۶).

بررسی داده‌های هواشناسی ایستگاه اصفهان نشان می‌دهد که هوای شهر اصفهان در اکثر ماه‌های سال خارج از منطقه‌ی آسایش قرار دارد و اصول طراحی معماری باید به‌گونه‌ای لحاظ گردد تا در ماه‌های گرم سال با کاهش درجه‌ی حرارت و در ماه‌های سرد سال با افزایش درجه‌ی حرارت فضای داخلی، این محیط‌ها را به آستانه‌ی آسایش نزدیک‌تر نمود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از تهویه طبیعی در ماه‌های گرم سال می‌تواند در تعدیل شرایط حرارتی بسیار مؤثر باشد.

راهکارهای کالبدی به منظور تهویه طبیعی

راهکارهای کالبدی ایجاد تهویه طبیعی را از نظر مکان استفاده می‌توان به چهار نوع تمهیدات کالبدی در سقف، نما و بدنه ساختمان و ترکیبی از آن‌ها تقسیم کرد (Cibse 2005). براساس سه سازوکار کلی تهویه (تهویه یک‌طرفه و دوطرفه، تهویه دودکشی)، راهکارهای معماری مؤثری هم در معماری سنتی و هم در معماری مدرن شکل گرفته است که غالباً به صورت ترکیبی از این سه روش می‌باشد. این راهکارها عبارت‌اند از: بادخورها[۴]، باد خان‌ها[۵]، بادگیرها[۶] (ترکیبی از بادخور و بادخان)، دودکش‌های خورشیدی[۷]، نماهای دوپوسته[۸]، آتریوم‌ها[۹]، حفره‌های تهویه[۱۰]، داکت‌های تهویه[۱۱] و پنجره‌های تهویه در نما[۱۲] (Allard and Ghiaus 2005) (مراجعه به جدول (۱)).

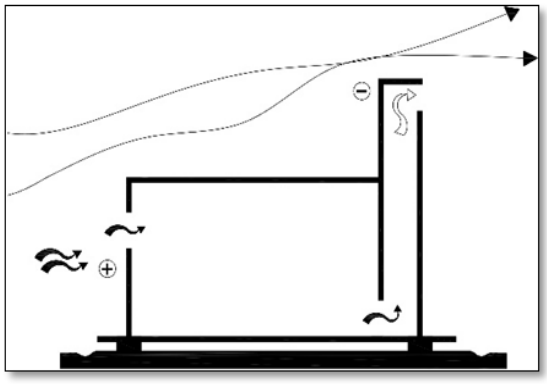
در تهویه طبیعی، سقف دارای اهمیت زیادی است زیرا هوای گرم به علت سبک بودن تمایل به حرکت به سمت بالا دارد. علاوه بر آن جریان‌های هوایی که از سطح بام عبور می‌کند قوی‌تر و پایدارتر هستند. همچنین تهویه طبیعی از سقف برای بناهای کم ارتفاع و محصور که جریان هوا در اطراف آن کم است و نیز بناهایی که در اطراف آن سروصدا و آلودگی هوا زیاد است، مناسب می‌باشد (Christopher 1999). با توجه به اینکه خانه‌های سنتی مسکونی شهر اصفهان اغلب دارای پلان‌های متراکم و درون‌گرا بوده و رو به حیاط مرکزی داشته‌اند، تهویه از طریق سقف برای آن مناسب بوده است. در ادامه به راهکارهای کالبدی تهویه از طریق سقف اشاره می‌شود.

جدول (۱). جمع‌بندی روش‌های تهویه
منبع: (نگارندگان)

راهکار معماری	روش تهویه	مکانیسم عمل
بادخور	تهویه دوطرفه	دمیدن هوا به داخل
بادخان	تهویه یک‌طرفه و اثر دودکشی	مکش هوا از داخل
بادگیر	تهویه دوطرفه و اثر دودکشی	مکش و دمیدن هوا به داخل
دودکش خورشیدی	اثر دودکشی	مکش هوا
نمای دوپوسته	تهویه دوطرفه و اثر دود کشی	دمیدن و مکش هوا
آتریوم	اثر دودکشی	مکش هوای داخل
کانال‌ها و حفره‌های تهویه	تهویه دوطرفه و اثر دودکشی	دمیدن و مکش هوا با هم
پنجره‌های تهویه در نما	تهویه یک‌طرفه، دوطرفه و اثر دودکشی	دمیدن و مکش هوا با هم

بادخان

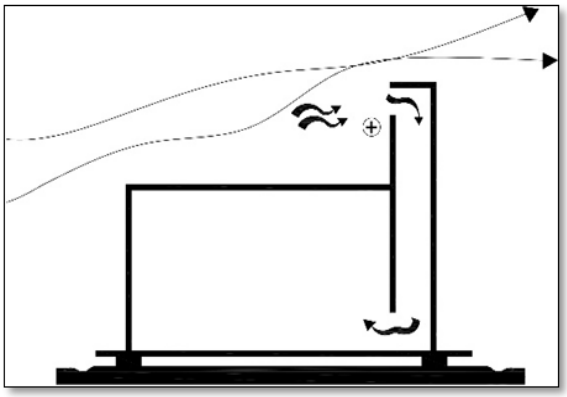
بادخان‌ها که اغلب به شکل مربع یا مستطیل و با دو یا چند دهانه هستند از سالیان دور به منظور تهویه طبیعی به عنوان عنصر معماری مستقل و یا بخشی از پوشش سقف به کار گرفته می‌شدند. اساس کار بادخان‌ها ترکیبی از عملکرد تهویه دودکشی و تهویه یک‌طرفه باد است. بهترین مکان برای قرار گرفتن بادخان، مکانی است که بیشترین فشار منفی (مکش) وجود دارد. این مکان وابسته به شکل سقف است (احمدی‌نژاد ۱۳۸۹). شکل (۳) دیاگرام عملکرد بادخان را نشان می‌دهد.



شکل (۳). دیاگرام عملکرد بادخان
منبع: (نگارندگان)

بادخور

بادخورها، برج‌های بلندی هستند که در ابتدا در نواحی کویری ایران که به منظور گرفتن باد و کشاندن هوای تازه به داخل بنا استفاده شدند. کارکرد آن‌ها مبتنی برآوردن جریان هوای خارج به داخل، به منظور 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 به جهت باد غالب باشد. هنگامی که باد جریان ندارد، این برج‌ها عملکرد تهویه‌ای دودکشی دارند (Ettouney 2008). برای آنکه وجود یک بادخور مؤثر باشد، باید همه‌سویه باشد و با چرخش، به‌موازات جهت باد قرار گیرد. اگر بادخور ثابت باشد، ولی سر آن با مسیر حرکت موازی نباشد، کارایی خود را از دست می‌دهد و حتی ممکن است برعکس عمل کند (احمدی‌نژاد ۱۳۸۹). شکل (۴) دیاگرام عملکرد بادخور را نشان می‌دهد.

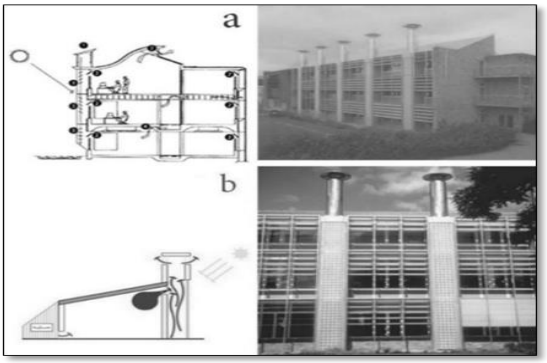


شکل (٤). دیاگرام عملکرد بادخور منبع: (نگارندگان)

دودکش‌ها

در این روش گرمای حاصل از گرمای خورشید، هوا را وادار به جریان می‌کند. به این ترتیب هوای گرم بالا می‌رود و هوای تازه و خنک جای آن را می‌گیرد. جداره خارجی دودکش خورشیدی از جنس فلز و یا شیشه (برای جذب گرما) و جداره داخلی عایق حرارت (برای جلوگیری از گرم شدن داخل فضا) می‌باشد (Holger Koch 2007). یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تهویه دودکشی، اختلاف دمای داخل و خارج است. با استفاده از دودکش خورشیدی، اختلاف دمای کافی با به حداکثر رساندن جذب خورشیدی به وجود می‌آید (Khanal and Lei 2011). شکل (۵) نمونه‌ای از این روش به همراه دیاگرام عملکرد آن را نشان می‌دهد.

قسمت a کاربرد این روش در یک ساختمان مدرن (اداره محیط‌زیست بی آر ای[۱۳] در واتفورد انگلستان، ۱۹۹۹) را نشان می‌دهد که جداره خارجی دودکش‌ها از بلوک شیشه‌ای پوشیده شده است و قسمت b چگونگی عملکرد این روش را نشان می‌دهد.



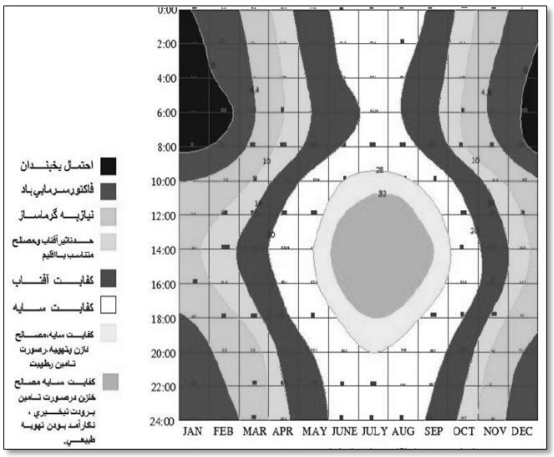
شکل (۵). تهویه طبیعی به‌وسیله دودکش خورشیدی
منبع: (Baird 2004)

روش پژوهش

روش جمع‌آوری اطلاعات در این مقاله با استفاده از مطالعه منابع اسنادی و کتابخانه‌ای بوده است. اطلاعات اقلیمی ۲۰ ساله اخیر شهر اصفهان از ایستگاه سینوپتیک هواشناسی شهر اصفهان جمع‌آوری گردیده است. روش تحقیق توصیفی تحلیلی و نیز استفاده از مدل‌سازی رایانه‌ای و شبیه‌سازی عددی بوده است.

مطالعات اقلیمی شهر اصفهان

به لحاظ اقلیمی، نواحی فلات مرکزی که مناطق بیابانی و نیمه بیابانی هم بخشی از آن است جزء نواحی گرم و خشک محسوب می‌شود. ویژگی‌های اقلیمی این منطقه، بارندگی بسیار اندک سالیانه، رطوبت بسیار ناچیز، نوسان درجه حرارت زیاد در طول شبانه‌روز به دلیل عدم وجود رطوبت و کم بودن پوشش گیاهی می‌باشد (کسمایی ۱۳۸۱). موقعیت جغرافیایی شهر اصفهان بین ۳۰ درجه و ۴۳ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۷ دقیقه عرض شمالی خط استوا و ۴۹ درجه ۳۶ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۳۱ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار دارد. بر اساس داده‌های ۱۰ ساله ایستگاه سینوپتیک، متوسط درجه حرارت سالانه شهرستان اصفهان ۱۵/۶ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (سازمان هواشناسی کشور ۱۳۹۵). معمول‌ترین شاخص بیان‌کننده‌ی رطوبت، درصد رطوبت نسبی است. میانگین سالانه‌ی رطوبت نسبی در شهر اصفهان حدود ۴۰ درصد است، حداکثر رطوبت مربوط به ماه‌های دی و آذر (۸۰ درصد) و پس از آن بهمن می‌باشد، حداقل رطوبت نسبی مربوط به خرداد-تیر (۱۵ درصد) است. در رابطه با سرعت و جهت باد که نقش تعیین‌کننده‌ای در تهویه طبیعی دارد، متوسط سالیانه باد در اصفهان ۳/۶ متر بر ثانیه است و حداکثر سرعت باد نیز ۸/۱ متر بر ثانیه بوده است. با توجه به حداقل سرعت باد مؤثر در تهویه طبیعی (۳/۶ متر بر ثانیه)، سرعت باد به منظور تهویه طبیعی در اصفهان مناسب می‌باشد، به‌خصوص که سرعت باد در ماه‌های گرم سال بیش از حد متوسط (۴ متر بر ثانیه) می‌باشد. در رابطه با جهت وزش باد در اصفهان نتایج نشان می‌دهد که به غیر از ماه‌های تیر، مرداد و شهریور که جهت باد غالب، شرقی و آبان که جهت باد غالب، جنوب غربی است. در سایر ماه‌های سال جهت باد غالب از غرب است. در این بین، متلاطم‌ترین ماه سال، فروردین و آرام‌ترین ماه سال، آذرماه است. شکل (۶) تقویم نیاز اقلیمی شهر اصفهان را نشان می‌دهد.



شکل (٦). تقویم نیاز اقلیمی شهر اصفهان.
منبع: (گل‌افشان ۱۳۹۲)

مسکن اصفهان و تهویه طبیعی در آن

خانه‌های سنتی اصفهان اغلب به‌صورت پیوسته قرار گرفته‌اند و دارای بام‌های مسطحی هستند که امکان حرکت روی آن‌ها وجود دارد و امکان استفاده از بام به عنوان مهتابی میسر می‌گردد. در این بام‌های مسطح فرورفتگی‌هایی به صورت مربع یا مستطیل شکل دیده می‌شود که در واقع همان حیاط‌های مرکزی‌اند. ارتفاع خانه‌ها به ندرت به دوطبقه می‌رسد. استفاده از طاق‌ها و سقف‌های گنبدی برای پوشش فضاهای مهم خانه همچون تالار اصلی نیازمند مهارت زیاد سازندگان است (قاسمی سیچانی ۱۳۹۱). در گذشته ساکنان این خانه‌ها در شب‌های گرم و طاقت‌فرسای تابستان در پشت‌بام‌ها می‌خوابیدند تا از خنکی نیمه‌شب و نسیم بهره گیرند. امروزه این شیوه و ارتباط زیستی با طبیعت به دلیل سبک بین‌المللی در شهرها و وجود دستگاه‌های تهویه مکانیکی از بین رفته و شیوه‌ی زندگی دگرگون شده است. در ساخت خانه‌های قدیمی به صورت گسترده از مصالحی مانند آجر، خشت و گل استفاده می‌کردند که خود بهترین تنظیم‌کننده‌ی تهویه طبیعی است، اما امروزه از ایزولاسیون‌ها و قیرهای شیمیایی برای بام خانه استفاده می‌شود که رفتار حرارتی مناسبی مانند مصالح سنتی را دارا نیستند. به دلیل استفاده از مصالح نامناسب مانند سنگ در نماها در اقلیم گرم و خشک هنگامی که نما داغ می‌شود، حرارت را به خود گرفته و به تیرآهن یا سیمان منتقل می‌کند به این ترتیب در طول روز با وجود روشن بودن انواع وسایل سرمایشی باز هم هوای خانه مطبوع نمی‌شود (وبلاگ تخصصی عمران و معماری ۱۳۹۵).

در کل می‌توان گفت خانه‌های جدید ساخت در اصفهان بر پایه استفاده از تجهیزات مکانیکی و الکتریکی به منظور تهویه و سرمایش ساخته می‌شوند و شرایط اقلیمی در اغلب آن‌ها رعایت نمی‌شود.

فرم مناسب سقف جهت تهویه طبیعی در ساختمان‌های اصفهان

با توجه به مطالب بیان شده، می‌توان نتیجه گرفت که در شش ماه گرم سال (اوایل فروردین تا اوایل مهرماه) خانه‌های شهر اصفهان نیاز به تهویه طبیعی دارند و جهت بادهای مطلوب در این مدت بین غرب و شرق متغیر است. به همین دلیل جهت دریچه‌های تهویه هوا باید در این محدوده قرار گیرد. از طرفی نوع تهویه مناسب برای شهر اصفهان به دلیل شکل محصور و بافت متراکم شهری، تهویه از طریق سقف و بدنه می‌باشد. از آنجا که فرم فشرده در اصفهان امکان استفاده بهینه از بدنه را نمی‌دهد تهویه سقفی می‌تواند مناسب باشد. با در نظر گرفتن اهمیت سقف در تهویه طبیعی، به بررسی و مدل‌سازی پوشش‌های رایج بام در رابطه با تهویه طبیعی پرداخته می‌شود. به منظور ارزیابی راهکارهای طراحی جهت استفاده از تهویه طبیعی، با ابزار شبیه‌سازی رایانه‌ای در نرم‌افزار اتودسک فلو دیزاین[14] متغیرهای مورد نظر جهت ارزیابی تأثیر فرم خارجی سقف ساختمان بر عملکرد تهویه‌ای بنا، مورد ارزیابی قرار گرفته است. نرم‌افزار فلودیزاین جهت شبیه‌سازی تونل باد و به منظور کاهش پیچیدگی‌های استفاده از نرم‌افزارهای تحلیل CFD، طراحی شده است. مقایسه نتایج این نرم‌افزار با خروجی تونل باد و همچنین نتایج نرم‌افزار فلوئنت[15] نشان می‌دهد که این نتایج تا حد بسیار بالایی مشابه یکدیگر می‌باشند (Autodesk 2014).

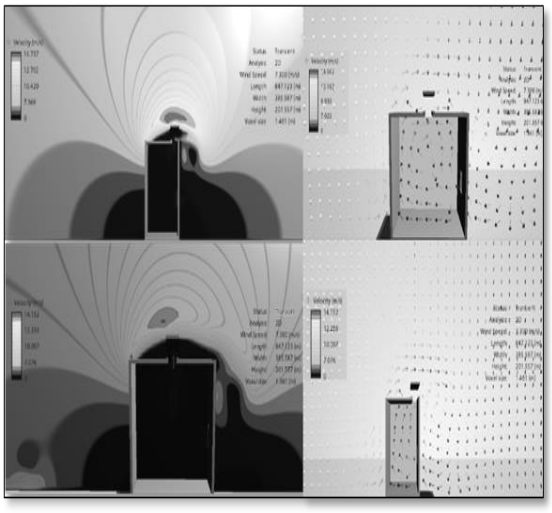
با در نظر گرفتن سرعت و جهت باد، متغیرهایی جهت دستیابی به فرم بهینه سقف بنا موردبررسی قرار گرفته است که در ادامه ارائه می‌گردد:

جهت ارزیابی فرم سقف و زاویه شیب مناسب برای به‌کارگیری بادخان دو نوع سقف شیب‌دار (یک‌طرفه و دوطرفه) و منحنی مورد تحلیل قرار می‌گیرد و زاویه‌ی مناسب سقف شیب‌دار با افزایش ۱۰ درجه‌ای از ۰ تا ۶۰ درجه مورد تحلیل قرار می‌گیرد.

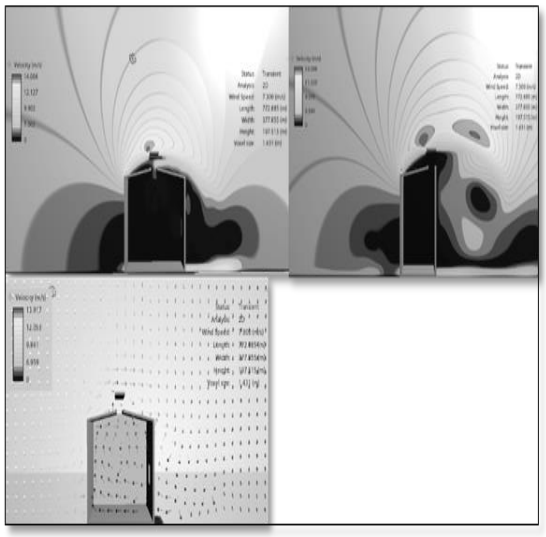
استفاده از بادخان و بادخور از راهکارهای اصلی تهویه طبیعی در اقلیم گرم و خشک محسوب می‌شود، ولی تحلیل اقلیمی نشان می‌دهد که در اصفهان بادهای غربی سرد بوده و نمی‌توان برای تهویه طبیعی استفاده شوند. با توجه به اینکه بادهای شرقی در فصل گرم می‌وزد و در هنگام روز دمای این بادها بیشتر از دمای آسایش می‌باشد، لذا نبایستی به داخل فضاها کشانده شود. در چنین شرایطی استفاده از نیروی مکش باد یا همان بادخان راهکار تهویه مورد نظر در این شهر می‌باشد و در این پژوهش فرم مناسب سقف جهت به‌کارگیری بادخان مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در این رابطه دو نوع سقف گنبدی و شیب‌دار (یک‌طرفه و دوطرفه) در نظر گرفته شده و با تغییر متغیرهای شکل‌دهنده سقف (میزان شیب سقف شیب‌دار با تغییر ۱۰ درجه‌ای و خیز سقف گنبدی) تأثیر این تغییرات بر سرعت باد در دهانه بادخور یا بادخان و نیز عملکرد تهویه‌ای آن در فضای متصل به بادخان و بادخور بررسی شده است. شکل (۷) تا (۱۷) نتایج بررسی مربوط به سقف‌های شیب‌دار، تخت و قوسی را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که در طرح‌های ارائه شده در این مقاله، ابعاد و اندازه بهینه مورد تحلیل قرار نگرفته است و نیاز به پژوهش جداگانه‌ای در این زمینه دارد.

نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که سرعت باد در دهانه بادخور متصل به سقف مسطح کمتر از ۷ متر بر ثانیه (کمتر از سرعت باد غالب) می‌باشد و با قرار دادن دریچه ورودی هوا در ارتفاع کار (ارتفاعی که فعالیت متداول در فضا انجام می‌شود) تهویه طبیعی در اتاق برقرار می‌گردد.

شکل (۷) و (۸) نشان می‌دهند، تهویه در بام با شیب ۱۰ درجه تا حدودی بیشتر از سقف مسطح می‌باشد و همچنین سرعت جریان هوا در داخل اتاق بیشتر است.

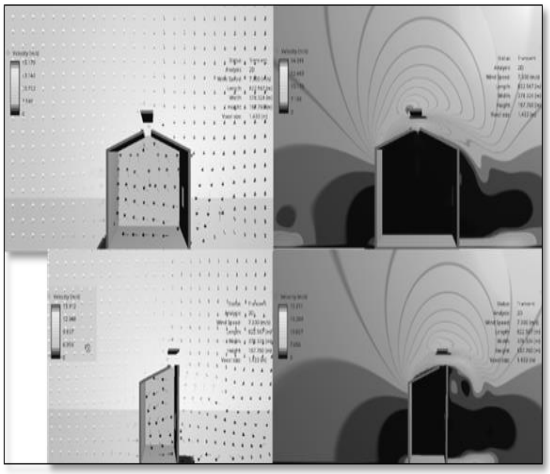


شکل (۷). بررسی سرعت باد و عملکرد تهویه‌ای اتاقی با سقف بدون شیب با توجه به‌سرعت باد غالب در اصفهان
منبع: (نگارندگان)

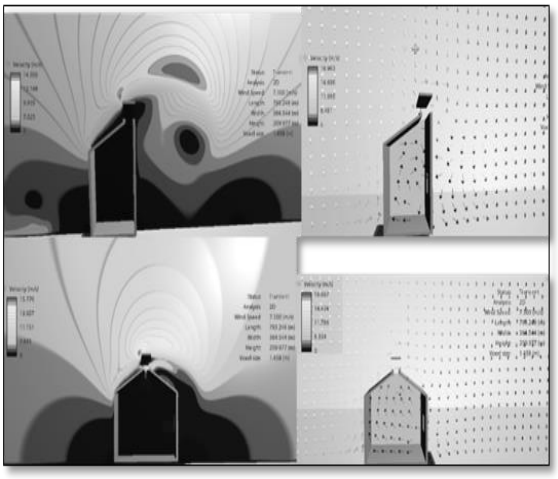


شکل (۸). بررسی سرعت باد و عملکرد تهویه‌ای اتاقی با سقف با شیب ۱۰ درجه با توجه به‌سرعت باد غالب در اصفهان
منبع: (نگارندگان)

سرعت باد در دهانه بادخور متصل به سقف با شیب ۲۰ درجه حدود ۷ تا ۱۰ متر بر ثانیه (بهتر از دو نمونه قبلی) می‌باشد. همچنین سرعت جریان هوا در داخل اتاق با سقف شیب‌دار دوطرفه بیشتر از یک‌طرفه می‌باشد و جریان آن آشفتگی کمتری دارد شکل (۹) و با شیب ۳۰ درجه حدود ۷ تا ۱۰ متر بر ثانیه (تقریباً مشابه با سقف ۲۰ درجه) می‌باشد (شکل (۱۰)).

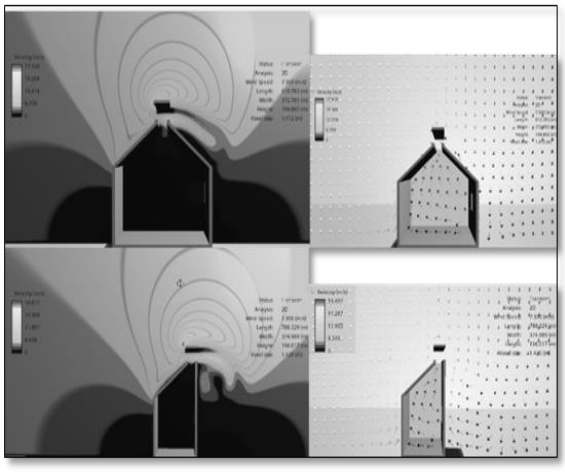


شکل (۹). بررسی سرعت باد و عملکرد تهویه‌ای اتاقی با سقف با شیب ۲۰ درجه با توجه به‌سرعت باد غالب در اصفهان
منبع: (نگارندگان)

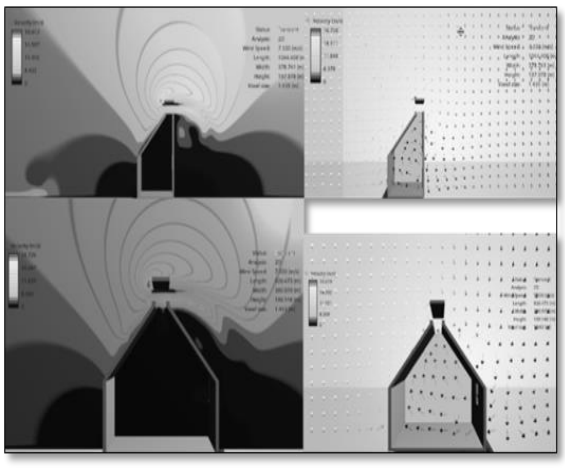


شکل (۱۰). بررسی سرعت باد و عملکرد تهویه‌ای اتاقی با سقف با شیب ۳۰ درجه با توجه به‌سرعت باد غالب در اصفهان
منبع: (نگارندگان)

سرعت باد در دهانه بادخور متصل به سقف با شیب ۴۰ درجه حدود ۸ تا ۱۲ متر بر ثانیه (بهتر از نمونه‌های قبلی) می‌باشد. همچنین گردش هوا در فضای داخلی با سرعت بیشتر و آشفتگی کمتر می‌باشد شکل (۱۱)؛ و با شیب ۵۰ درجه حدود ۸ تا ۱۲ متر بر ثانیه (تقریباً مشابه با سقف ۴۰ درجه) می‌باشد (شکل (۱۲)).

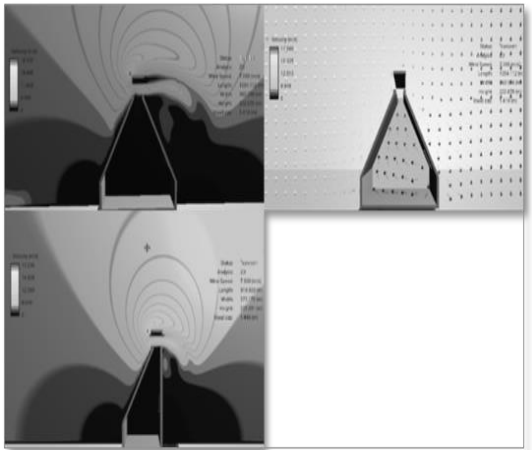


شکل (۱۱). بررسی سرعت باد و عملکرد تهویه‌ای اتاقی با سقف با شیب ٤٠ درجه با توجه به سرعت باد غالب در اصفهان
منبع: (نگارندگان)

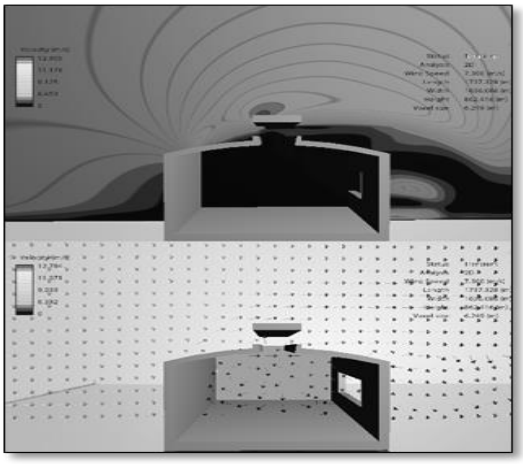


شکل (۱۲). بررسی سرعت باد و عملکرد تهویه‌ای اتاقی با سقف با شیب ۵۰ درجه با توجه به‌سرعت باد غالب در اصفهان
منبع: (نگارندگان)

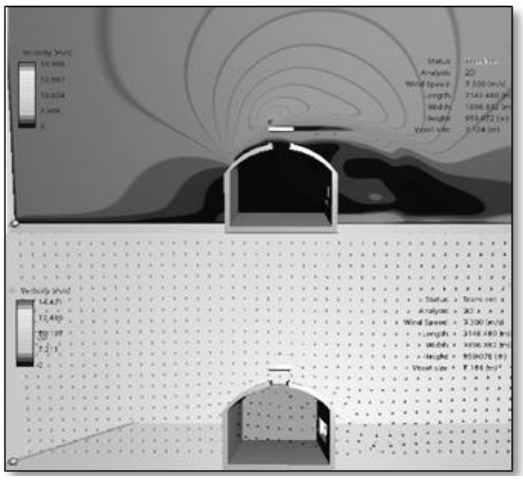
سرعت باد در دهانه بادخور متصل به سقف با شیب ۶۰ درجه حدود ۸ تا ۱۱ متر بر ثانیه (کمتر از سقف با شیب ۴۰ و ۵۰ درجه) می‌باشد شکل (۱۳)؛ و در سقف گنبدی با نسبت خیز به دهانه ۱ به ۱۰ کمتر از ۶ متر بر ثانیه می‌باشد. همچنین جریان هوای داخل اتاق دارای آشفتگی است شکل (۱۴)؛ و با نسبت خیز به دهانه ۱ به ۴ بین ۱۰ تا ۷ متر بر ثانیه می‌باشد. همچنین جریان هوای داخل اتاق فاقد آشفتگی است (شکل (۱۵)).



شکل (۱۳). بررسی سرعت باد و عملکرد تهویه‌ای اتاقی با سقف با شیب ٦٠ درجه با توجه به‌سرعت باد غالب در اصفهان
منبع: (نگارندگان)

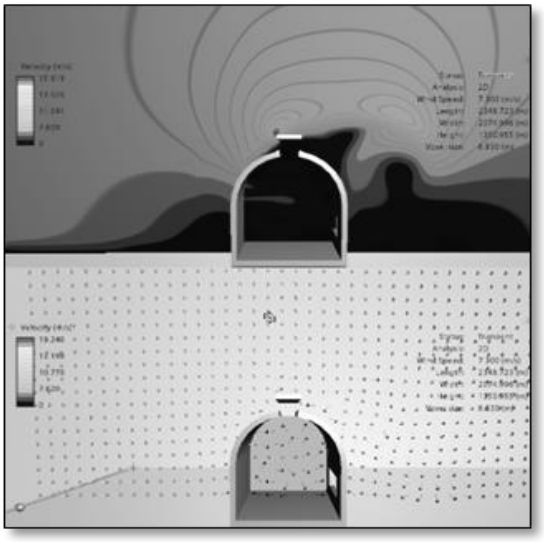


شکل (١٤). بررسی سرعت باد و عملکرد تهویه‌ای اتاقی با سقف گنبدی با نسبت خیز به دهانه ۱ به ۱۰، با توجه به‌سرعت باد غالب در اصفهان
منبع: (نگارندگان)

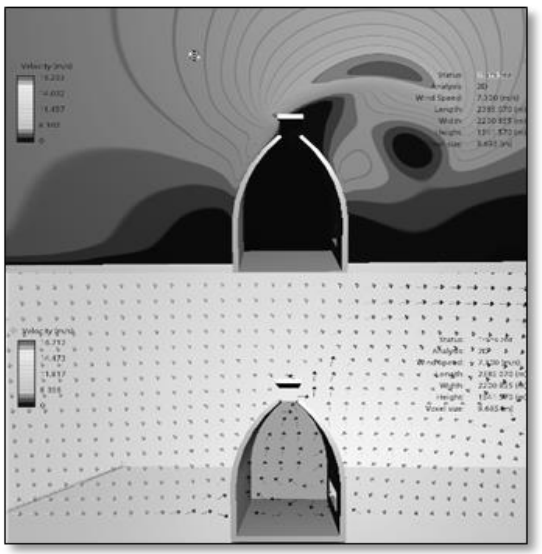


شکل (۱۵). بررسی سرعت باد و عملکرد تهویه‌ای اتاقی با سقف گنبدی با نسبت خیز به دهانه ۱ به ٤، با توجه به‌سرعت باد غالب در اصفهان
منبع: (نگارندگان)

سرعت باد در دهانه بادخور متصل به سقف گنبدی با نسبت خیز به دهانه ۱ به ۲ کمتر از ۷ متر بر ثانیه می‌باشد. همچنین جریان هوای داخل اتاق دارای آشفتگی است شکل (۱۶)؛ و در انتها سرعت باد در دهانه بادخور متصل به سقف گنبدی با نسبت خیز به دهانه ۱ به ۱ کمتر از ۷ متر بر ثانیه می‌باشد (شکل (۱۷)).



شکل (١٦). بررسی سرعت باد و عملکرد تهویه‌ای اتاقی با سقف گنبدی با نسبت خیز به دهانه ۱ به ۲، با توجه به‌سرعت باد غالب در اصفهان
منبع: (نگارندگان)



شکل (۱۷). بررسی سرعت باد و عملکرد تهویه‌ای اتاقی با سقف گنبدی با نسبت خیز به دهانه ۱ به ۱، با توجه به‌سرعت باد غالب در اصفهان
منبع: (نگارندگان)

نتیجه‌گیری

بررسی شرایط آسایش حرارتی و داده‌های هواشناسی و تقویم نیاز اقلیمی شهر اصفهان، نشان می‌دهد، سرمای زمستان و گرمای تابستان، در این شهر هردو نیاز به کنترل داشته و در شش ماه گرم سال (اوایل فروردین تا اوایل مهرماه) خانه‌های شهر اصفهان نیاز به تهویه طبیعی دارند. در این مدت متوسط سالیانه باد در اصفهان ۳/۶ متر بر ثانیه است و حداکثر سرعت باد نیز ۸/۱ متر بر ثانیه بوده است و جهت بادهای مطلوب در این مدت شرقی- غربی متغیر است، به همین دلیل کشیدگی ساختمان‌ها برای تهویه بیشتر باید در این محدوده قرار گیرد. در این مقاله سه نوع سقف تخت، شیب‌دار و منحنی مورد بررسی و مدل‌سازی در نرم‌افزار شبیه سازی و تحلیل تونل باد[۱۶] قرار گرفت. نتایج شبیه‌سازی سقف‌های موردبررسی نشان می‌دهد که عملکرد سقف شیب‌دار دوطرفه با شیب بین ۴۰ تا ۵۰ درجه از سایر سقف‌ها مناسب‌تر می‌باشد همچنین در بین سقف‌های گنبدی، عملکرد تهویه طبیعی سقف با نسبت خیز به دهانه ۱ به ۴ مناسب‌تر از سایر سقف‌هاست که خلاصه جمع‌بندی بررسی‌ها در شکل (۱۸) ارائه شده است.

ردیف	شکل	میزان شیب یا خیز	سرعت نمونه	سرعت باد مجاز	توضیحات
۱		بدون شیب	کمتر از ۷ متر برثانیه	۷.۳	با قرار دادن دریچه ورودی هوادر ارتفاع کار تهویه طبیعی در اتاق برقرار می گردد
۲	10° 10°	شیب ۱۰ درجه	بیشتر از سقف مسطح	۷.۳	سرعت جریان هوا در داخل اتاق بیشتر از سقف مسطح
۳	20° 20°	شیب ۲۰ درجه	حدود ۷ تا ۱۰ متر بر ثانیه	۷.۳	سرعت جریان هوا سقف شیب دار دو طرفه بیشتر از یک طرفه و جریان آن آشفتگی کمتری دارد
۴	30° 30°	شیب ۳۰ درجه	حدود ۷ تا ۱۰ متر بر ثانیه	۷.۳	تقریبا مشابه با سقف ۲۰ درجه
۵	40° 40°	شیب ۴۰ درجه	حدود ۸ تا ۱۲ متر بر ثانیه	۷.۳	گردش هوا در فضای داخلی با سرعت بیشتر و آشفتگی کمتر
۶	50° 50°	شیب ۵۰ درجه	حدود ۸ تا ۱۲ متر بر ثانیه	۷.۳	تقریبا مشابه با سقف ۴۰ درجه
۷	60° 60°	شیب ۶۰ درجه	حدود ۸ تا ۱۱ متر بر ثانیه	۷.۳	کمتر از سقف با شیب۴۰ و ۵۰ درجه
۸	10	نسبت خیز به دهانه ۱ به ۱۰	کمتر از ۶ متر برثانیه	۷.۳	جریان هوای داخل اتاق دارای آشفتگی
۹		نسبت خیز به دهانه ۱ به ۴	بین ۱۰ تا ۷ متر بر ثانیه	۷.۳	جریان هوای داخل اتاق فاقد آشفتگی
۱۰		نسبت خیز به دهانه ۱ به ۲	کمتر از ۷ متر برثانیه	۷.۳	جریان هوای داخل اتاق دارای آشفتگی
۱۱		نسبت خیز به دهانه ۱ به ۱	کمتر از ۷ متر برثانیه	۷.۳	
نتیجه گیری	نتایج شبیه سازی سقف های مورد بررسی نشان می دهد که عملکرد سقف شیب دار دوطرفه با شیب بین ۴۰ تا ۵۰ درجه از سایر سقف ها مناسب تر می باشد همچنین در بین سقف های گنبدی، عملکرد تهویه طبیعی سقف با نسبت خیز به دهانه ۱ به ۴ مناسب تر از سایر سقف هاست.				

شکل(۱۸). عملکرد تهویه طبیعی سقف‌های مسطح، شیب‌دار و قوسی
منبع: (نگارندگان)

پی نوشت‌ها

1- Air One-way
2- Air Two-way
3- Ventilation Chimney
4- Wind Scoop
5- Wind Tower
6- Wind Catcher
7- Solar Chimneys
8- Double Skin Facade
9- Atrium
10- Ventilation Chamber
11- Embedded Duct
12- Ventilation Opening in the Facade
13- BRE building
14- Flow Design Autodesk
15- Flouent
16- Flow Design Autodesk

منابع

احدی، امین‌اله، و علیرضایی ورنوسفادرانی. ۱۳۹۳. بررسی فرم مناسب سقف و سودمندی استفاده از بادخور و بادگیر در تهویه طبیعی مسکن چابهار. مجله مسکن و محیط روستا شماره ۱۴۸: ۳۳-۴۴.

بنتلی، ای ین و همکاران. ۱۳۸۲. محیط‌های پاسخده. ترجمه مصطفی بهزادفر. تهران: انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران.

دیبا، داراب، فیلیپ ریوالت، و سرژ سانتلی. ۱۳۹۱. خانه‌های اصفهان. ترجمه مریم قاسمی سیچانی، پروانه خیابانی، و محمد مسعود. اصفهان: دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان.

رازجویان، محمود. ۱۳۸۶. آسایش در پناه باد. تهران: دانشگاه شهید بهشتی.

کسمایی، مرتضی. ۱۳۸۱. اقلیم و معماری. اصفهان: نشر خاک.

گل افشان، سها. ۱۳۹۲. طراحی پایدار سیستم یکپارچه سرمایش و گرمایش طبیعی در شهر اصفهان، دومین همایش ملی اقلیم، ساختمان و بهینه سازی مصرف انرژی (بارویکرد توسعه پایدار)، اصفهان.

مهندسین مشاور بتل مک کارتی. ۱۳۸۹، بادخان (ملاحظات کالبدی باد در ساختمان). ترجمه محمد احمدی‌نژاد. اصفهان: نشر خاک.

Allard, Francis, and Cristian Ghiaus. 2005. Natural Ventilation in the Urban Environment: Assessment and Design. Uk; earthscan.

Autodesk. 2014. Flow Design Preliminary Validation Brief. Available at: http://download.autodesk.com/us/flow_design/Flow_Design_Preliminary_Validation_Brief_01072014.

Baird, George. 2004. The Architectural Expression of Environmental Control Systems. Taylor and Francis press.

Christopher, Battle McCarthy Consulting Engineers. 1999. Wind Towers, Jon Wiley and Sons Ltd. London.

CIBSE (Chartered Institution of Building Services Engineers). 2005. Natural ventilation in non-domestic buildings. London: CIBSE.

Ettouney, Mohammed M. 2008. Building Integration Solutions. US: AEI (Architectural Enginering Institute).

Fanger, Povl Ole. 1970. Thermal comfort, analysis and application in environment engineering. Copenhagen, Denmark: Danish Technical Press.

Givoni, Baruch. 1976. Man, Climate and Architecture. New York: Elsevier press.

Holger Koch, Nielsen. 2007. Stay Cool: A Design Guide for the Built Enviroment in Hot Climate. New York: Earthscan.

Khanal. Rakesh, and Chengwang Lei. 2011. Solar chimney_A passive strategy for natural ventilation, Energy and Buildings 43: 1811-1819.

سازمان هواشناسی کشور. ۱۳۹۵ . http://irimo.ir (دسترسی در ۱۳۹۵/۶/۳۰)

وبلاگ تخصصی عمران و معماری. ۱۳۹۵. Omrankadeh.persianblog.ir (دسترسی در ۱۳۹۵/۵/۱۸)