صفحات ۸۳ - ۸۸
نشریه هنرهای زیبا - معماری و شهرسازی ● دوره ۱۸ ● شماره۲ ● تابستان ۱۳۹۲

بهینه سازی دودکش خورشیدی و بررسی اثر آن بر تهویه ساختمان*

مریم فخاری[۱*]، شاهین حیدری[۲]
[۱] کارشناس ارشد انرژی معماری، دانشکده معماری، پردیس هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
[۲] دانشیار دانشکده معماری، پردیس هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
(تاریخ دریافت مقاله: ۹۱/۴/۵، تاریخ پذیرش نهایی: ۹۲/۲/۲۱)

چکیده

از آنجا که ۴۰٪ از مصرف انرژی مربوط به بخش ساختمان است و بخش عمده آن صرف سرمایش و گرمایش می‌شود، راهکارهای طراحی غیرفعال، کمک قابل توجهی به کاهش مصرف انرژی می‌کند. یکی از روش‌های تهویه غیرفعال، استفاده از دودکش خورشیدی است که با کمک انرژی تجدیدپذیر خورشید و با به کارگیری پدیده اثر دودکشی در یک کانال هوا، تهویه مورد نیاز فضاهای مجاور خود را فراهم می‌کند. به دلیل عدم دسترسی به نمونه‌های مختلف اجرا شده، شبیه‌سازی کامپیوتری به عنوان روش جایگزین برای مطالعات میدانی انتخاب شده است. نتایج ارائه شده، برگرفته از شبیه‌سازی مدل‌های مختلف دودکش خورشیدی متصل به یک ساختمان اداری هفت طبقه با کمک نرم‌افزار انرژی پلاس است. مدل‌های مختلف با ابعاد متفاوت دودکش خورشیدی با هم مقایسه شدند. همچنین مدل‌ها در صورتی که همه طبقات به دودکش خورشیدی متصل باشند و در حالت‌هایی که هر طبقه به صورت منفرد به دودکش متصل باشد، شبیه‌سازی شده‌اند. در این تحقیق، تاثیر به کارگیری دودکش خورشیدی بر تهویه فضاهای متصل به آن در اقلیم گرم و خشک شهر اصفهان بررسی شده است. همچنین مساحت فضاهایی که دودکش خورشیدی با ابعاد بهینه، در هر طبقه قادر به تامین تعویض هوای مورد نیاز آن است، مورد توجه قرار گرفته است.

واژه‌های کلیدی

دودکش خورشیدی، تهویه، ابعاد بهینه، شبیه‌سازی انرژی، نرم‌افزار انرژی پلاس.

*این مقاله برگرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد نگارنده اول تحت عنوان "بررسی اثر دودکش خورشیدی در کاهش بار حرارتی ساختمان‌های اداری در شهر اصفهان" است که به راهنمایی نگارنده دوم و سرکار خانم دکتر ریما فیاض در دانشکده معماری دانشگاه تهران به انجام رسیده است.

** نویسنده مسئول: تلفن: ۰۹۱۸۳۱۳۸۳۳۹، نمابر: ۶۶۹۷۲۰۸۳-۰۲۱، E-mail: maryamfakhari@ut.ac.ir.

مقدمه

عوامل بسیاری از جمله مواد و مصالح ساختمانی، مبلمان، فعالیت‌های فیزیولوژیکی افراد و دستگاه‌های حرارت‌زا در داخل ساختمان، منجر به آلودگی هوای داخل می‌شوند که با افزایش روز افزون عایق‌کاری ساختمان و تلاش کاهش امکان نفوذ هوا از درزها و عدم نشت هوا (برای کاهش اتلاف حرارتی)، آلودگی در فضای داخل باقی میماند. از این رو، تهویه در ساختمان امری اجتناب‌ناپذیر است. استفاده از سیستم‌های غیرفعال در تهویه ساختمان، هم این مشکل را برطرف می‌کند و هم گامی مهم در جهت کاهش مصرف انرژی و آلودگی‌های محیط زیست است.

از آنجا که روش‌های غیرفعالی که مردم مناطق گرم و خشک ایران برای به جریان درآوردن هوا به کار می بردند، کارا بوده است، می‌توان با اصلاح نقایص آنها در معماری امروز از این روش‌ها استفاده کرد که از آن جمله ساخت بادگیر است. بادگیر با هدایت جریان باد به فضای داخل، در برقراری جریان هوا تاثیر بسزایی دارد. در غیاب باد و در طول روز، بدنه بادگیر در تبادل حرارت با هوای بیرون و دریافت تابش خورشید کاملاً گرم می‌شود. هوای داخل بادگیر نیز در اثر تبادل حرارتی با بدنه‌ی بادگیر گرم شده و جرم مخصوص آن کاهش می‌یابد و به اصطلاح سبك می‌شود، سپس در اثر پدیده اثر دودکشی، به بالا کشیده می‌شود. بدین ترتیب بادگیر مانند دودکش، مکشی را به وجود می‌آورد که باعث می‌شود هوای بیرون از در و پنجره‌های اتاق وارد بادگیر شود و به سمت بالا جریان یابد. به این ترتیب هر زمان که دمای هوای درون بادگیر بیشتر از هوای بیرون باشد، جریان ملایمی از هوای بیرون و از حیاط به داخل اتاق یا ساختمان و سپس به داخل بادگیر برقرار می‌شود. مقدار جریان هوایی که در اثر پدیده اثر دودکشی، در بادگیرها به وجود می آید بسیار کم است و بادگیرها در غیاب وزش باد کارایی قابل ملاحظه‌ای ندارند (بهادری نژاد، ۱۳۸۷، ۱۵). دودکش خورشیدی عملکرد مشابهی دارد و یکی از سیستم‌های غیرفعال است که با استفاده از انرژی خورشیدی، نقص موجود در عملکرد دودکشی بادگیر را جبران می‌کند و تهویه مورد نیاز ساختمان را فراهم می‌سازد. از آنجا که در مناطق گرم و خشک تعداد ساعات آفتابی در طول سال زیاد است و می‌توان از انرژی خورشیدی به عنوان مهم‌ترین منبع انرژی تجدیدپذیر استفاده کرد، دودکش‌های خورشیدی کارایی مناسبی دارند.

دودکش خورشیدی معمولاً از شیشه، حفره و سطح جاذب تشکیل شده است. هوا در دودکش به وسیله انرژی خورشیدی گرم می‌شود و به دلیل پدیده اثر دودکشی به سمت بالا حرکت می‌کند. در واقع ترکیب تابش و همرفت در دودکش خورشیدی منجر به حرکت هوای قابل توجه به سمت بالا و در نتیجه افزایش تهویه می‌شود. این حرکت به بالا، یک نیروی رانشی ایجاد می‌کند که می‌تواند تهویه طبیعی را در فضاهای مجاور افزایش دهد (Miyazaki et al, 2006).

بررسی عملکرد دودکش خورشیدی در اقلیم گرم و خشک شهر اصفهان و میزان پاسخگویی آن به نیاز تهویه فضاها راه را برای استفاده از آن با کارکرد مناسب در ساختمان‌های اداری فراهم می‌سازد. رسیدن به ابعاد بهینه که قادر به پاسخگویی به تعداد دفعات تعویض هوای مورد نیاز برای فضاهای اصلی است، از مقایسه بین حالت های مختلف دودکش خورشیدی متصل به فضاهای اصلی به دست می آید. از آنجا که امکان اندازه گیری حقیقی(به دلیل رایج نبودن کاربرد دودکش خورشیدی در ساختمان) وجود ندارد، شبیه‌سازی کامپیوتری روش جایگزین مناسبی است که می‌تواند بدون محدودیت زمانی و عددی، مدل‌های فرضی را در هر اقلیمی بررسی کند و رفتار حرارتی ساختمان را به صورت کمی در حالت های مختلف با هم مقایسه کند. شبیه‌سازی توسط نرم‌افزار انرژی پلاس[1] نسخه ۵ انجام شد. ابتدا مدل‌ها در نرم‌افزار اکوتکت[2] شبیه‌سازی شدند. سپس هندسه مدل‌ها به نرم‌افزار انرژی پلاس منتقل شدند.

پیشینه تحقیق

اولین مطالعه بر روی دودکش‌های خورشیدی در سال ۱۹۹۳ توسط بنسال و همکارانش انجام شد. آنها به کمک یک مدل ریاضی، افزایش تهویه را در صورت استفاده از دودکش خورشیدی و طراحی صحیح سیستم، اثبات کردند (Bansal et al, 1994). آفونسو و الیویرا، با مقایسه بین دودکش خورشیدی و دودکش معمولی، تاثیر انرژی خورشید را بر افزایش تهویه تایید کردند و نشان دادند که دودکش خورشیدی به طور موثری تهویه را بهبود می‌بخشد. همچنین ثابت کردند که افزایش جرم حرارتی، تهویه را در طول روز کاهش می‌دهد اما باعث افزایش تهویه در طول شب می‌شود(Afonso & Oliveira, 2000). بوچیر، عرض بهینه حفره هوا را در یک دودکش خورشیدی بررسی کرد و نشان داد که در الجزایر عرض بهینه H/10 است که H ارتفاع دودکش است (buchair,1994). چاروت و همکارانش نشان دادند که با افزودن جرم حرارتی، سرعت هوا و در نتیجه قدرت تهویه، درساعات شب افزایش می‌یابد. همچنین استفاده از دودکش خورشیدی در طول ساعات روز باعث ۲۵ درصد افزایش سرعت هوا می شود (Charvat et al , 2004). فونیاسومپن و همکارانش، عملکرد دودکش خورشیدی را در یک ساختمان چند طبقه در شهر بانکوک به صورت آزمایشی و عددی بررسی کردند. آنها دو مدل کوچک از یک ساختمان سه طبقه را ارائه دادند و دودکش خورشیدی را در حالتی که برای هر طبقه به صورت مجزا عمل کند با حالتی که بین هر سه طبقه به صورت مشترک باشد،

مورد مقایسه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که در صورتی که دودکش خورشیدی به تمام طبقات متصل باشد و برای همه طبقات یک دودکش سراسری در نظر گرفته شود، عملکرد بهتری دارد (Punyasompun et al, 2009).

خداری و همکارانش نیز انواع مختلف دودکش‌های خورشیدی را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که دودکش‌های خورشیدی به طور موثری در تولید جریان هوا موثرند. عملکرد دودکش خورشیدی در ساختمان‌های اداری با تهویه مطبوع نیز توسط آزمایش مورد بررسی قرار گرفت و این نتیجه حاصل شد که مصرف روزانه الکتریسیته دستگاه‌های تهویه با استفاده از دودکش خورشیدی کاهش می‌یابد (Khedari et al, 2000). سوداپورن و بوندیت به صورت آزمایشی تاثیر دودکش خورشیدی را بر افزایش تهویه هوای داخل، در حالتی که فضای اصلی به بام مرطوب متصل باشد و در حالتی که به بام مرطوب متصل نباشد، بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که دودکش خارجی بسته به دمای محیط و میزان تابش خورشیدی، می‌تواند دمای داخل را ۱ تا ۳/۵ درجه کاهش دهد (Sudaporn & Bundit, 2009).

مطالعه موردی

در این مقاله یک ساختمان اداری فرضی هفت طبقه مدل‌سازی شد. تصویر۱، این ساختمان را به صورت شماتیک نشان می‌دهد.

مدل شبیه‌سازی شده، اتاق هایی با ابعاد ۶×۸ متر و با ارتفاع ۲/۷ متر هستند که به یک دودکش خورشیدی به ارتفاع ۲۲ متر متصل هستند. یک ورودی هوا برای هر اتاق به ابعاد ۲×۰/۳ متر در جبهه شمالی ساختمان، در نظر گرفته شده است. ورودی هوا به دودکش از طریق یک دریچه به ارتفاع ۰/۵ متر و به عرض ۱/۵ متر به فاصله ۰/۳ متر از کف در هر طبقه است (انتخاب این ابعاد برای اتاق به دلیل نزدیک بودن به ابعاد متداول برای یک فضای اداری است و ارتفاع دودکش خورشیدی به تناسب ساختمان اداری متصل به آن انتخاب شده است). خروجی هوا از دودکش برای رسیدن به حداکثر کارایی در بالاترین قسمت دودکش در نظر گرفته شده است (تصویر۲).

پوشش کف‌ها بتنی است و بام از بتن و لایه عایق تشکیل شده است. در این تحقیق با تغییراتی در مدل فوق، تاثیر عوامل مختلف بر کارایی سیستم بررسی می‌شود. عرض دودکش در تمامی مدل‌ها ۲ متر و ارتفاع آن ۱ متر بالاتر از سقف آخرین طبقه یعنی ۲۲ متر، فرض شده است. عمق دودکش خورشیدی در مدل‌های مختلف، به ترتیب ۱/۱،۶/۴، ۱/۸، ۲، ۲/۲ و ۲/۴ در نظر گرفته شده است (از آنجا که بوچیر به نسبت بهینه H/10 در الجزایر رسیده است، ابعاد پیشنهاد شده نزدیک به آن در نظر گرفته شده است). دیوار پوسته خارجی از ۱۰ سانتی متر بتن همراه با ۵ سانتیمتر عایق تشکیل شده است و دیوار حد فاصل بین اتاق و دودکش که به عنوان جاذب عمل می‌کند، از ۵ سانتی‌متر عایق و ۱۰ سانتی متر بتن تشکیل شده است که لایه عایق در قسمت داخلی دیوار قرار دارد. این لایه عایق، مانع از انتقال گرما از دودکش خورشیدی به فضای اتاق می‌شود که در نتیجه مانع از گرم شدن فضای اصلی و هدر رفتن گرما می‌شود.

شبیه‌سازی مدل‌ها

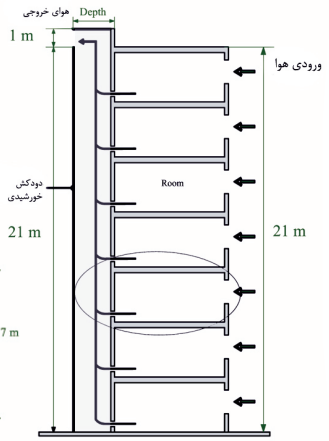
شبیه‌سازی‌ها در یک روز نمونه در فصل گرم (۳۱ تیرماه) انجام شد. بر اساس داده‌های آب و هوایی نرم‌افزار انرژی پلاس برای شهر اصفهان، متوسط دمای هوا در ساعات اداری در این روز ۳۳ درجه سلسیوس، سرعت باد در محیط ۱/۸ متر بر ثانیه و تابش خورشیدی ۶۵۰ وات بر متر مربع است. از آنجا که عمق دودکش خورشیدی یکی از عوامل موثر بر نرخ جریان حجمی هوا و دمای هوای خروجی از دودکش است، مدل‌های فرضی برای رسیدن به عمق بهینه، در ۶ حالت مختلف شبیه‌سازی شدند. در مدل‌های شبیه‌سازی شده، همه ابعاد بجز عمق دودکش خورشیدی یکسان در نظر گرفته شدند. عمق دودکش خورشیدی در مدل‌های ۱ تا ۶ به ترتیب ۱/۴، ۱/۶، ۱/۸، ۲، ۲/۲ و ۲/۴ فرض شده است.

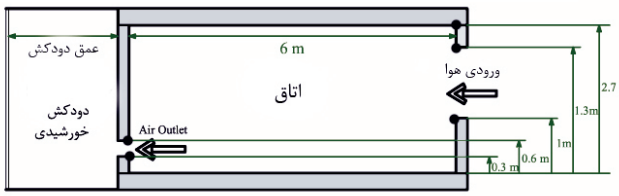
تحلیل رفتار مدل‌ها

نمودارهای ۱، ۲ و ۳، نشان‌دهنده تاثیر افزایش عمق دودکش بر نرخ جریان حجمی هوا در طبقات اول، چهارم و هفتم است.

همانطور که از نمودارها مشخص است، عملکرد دودکش خورشیدی تابعی از عمق آن است. در تمامی طبقات بیشترین نرخ جریان حجمی هوا در ساعات اداری مربوط

تصویر۱- مدل فرضی از یک ساختمان اداری.





تصویر۲- مدل فرضی ساختمان اداری هفت طبقه متصل به دودکش خورشیدی.

به مدل ۴ با عمق ۲ متر است و بیشترین مقدار آن در ساعاتی اتفاق می‌افتد که شدت تابش خورشیدی حداکثر است. نمودار ۴، نشان‌دهنده‌ی دمای هوای خروجی از دودکش خورشیدی در مدل‌های مختلف با عمق متفاوت است.

دمای هوای خروجی از دودکش نیز در ساعات اداری، در مدل ۴ با عمق ۲ متر بیشترین مقدار است و کمترین میزان مربوط به عمق ۲/۲ متر است. بنابراین عمق بهینه دودکش خورشیدی در ساختمان هفت طبقه اداری در شهر اصفهان برابر ۲ متر است. از این رو عملکرد دودکش خورشیدی در طبقات مختلف مدل چهارم با هم مقایسه شده است. نمودار ۵ و ۶ به ترتیب نشان دهنده نرخ جریان حجمی هوا و نرخ جریان جرمی هوا در مدل چهارم در طبقات مختلف است.

با توجه به نمودارهای ۵ و ۶، در طبقات پایین‌تر نرخ جریان هوا کمتر است. بالاتر بودن سرعت باد در طبقات بالا و پایین‌تر بودن افت فشار در طبقات بالا به دلیل نزدیک‌تر بودن به خروجی کمتر است (در طبقات پایین‌تر به دلیل اینکه هوا مسیر طولانی‌تری را طی می‌کند تا به خروجی هوا در بالاترین قسمت دودکش خورشیدی برسد، افت فشار در اثر اصطکاک بین هوا و جداره دودکش خورشیدی، بیشتر است). بنابراین سرعت و نرخ جریان در طبقات بالا بیشتر است. علاوه بر آن پدیده اثر دودکشی که ناشی از اختلاف دانسیته است، در طبقات بالا بیشتر است.

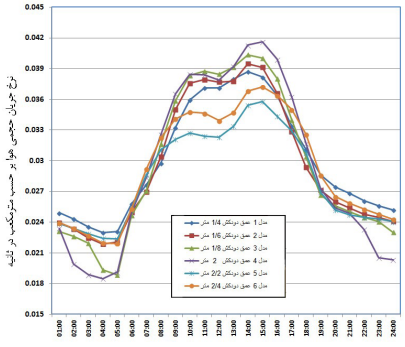
برای مقایسه بین عملکرد دودکش خورشیدی در صورتی که تمام طبقات به دودکش متصل باشند، با حالتی که هر طبقه به صورت منفرد به دودکش متصل باشد و بازشو ورودی هوا در طبقات دیگر بسته باشد، هفت مدل دیگر شبیه‌سازی شدند که در هر یک از این مدل‌ها، همان طور که در تصویر ۳ مشاهده می‌شود، تنها یک طبقه به دودکش خورشیدی متصل است.

نمودارهای ۷، ۸ و ۹، مقایسه بین نرخ جریان حجمی هوا در طبقات اول، چهارم و هفتم در حالتی که طبقات دیگر به دودکش متصل باشند و حالتی که تنها همان طبقه به دودکش متصل باشد را نشان می‌دهد.

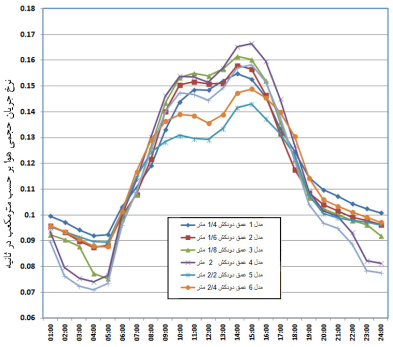
با توجه به نمودارهای ۷، ۸ و ۹، در تمامی طبقات در ساعات اداری، متصل بودن تنها یک طبقه به دودکش برای همان طبقه نسبت به حالتی که دیگر طبقات نیز به دودکش متصل باشند، عملکرد بهتری دارد. اما تفاوت بین این دو حالت در طبقه هفتم چندان زیاد نیست. هر چه به طبقات پایین‌تر نزدیک می‌شویم، تفاوت بین این دو حالت بیشتر می‌شود. علت این امر این است که با افزایش فاصله از خروجی، اثر دودکشی بیشتر می‌شود. از سوی دیگر وقتی تنها یک طبقه به دودکش خورشیدی متصل باشد، نرخ تهویه بیشتر می‌شود که این دو عامل سبب می‌شوند که در طبقات پایین‌تر اختلاف زیادی بین دو حالت فوق بوجود آید.

یکی از مهم‌ترین عوامل موثر 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, Lei, 2011).

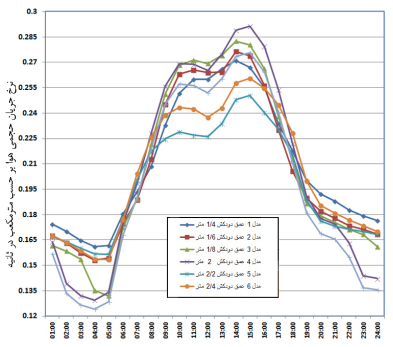
نمودار ۱۰، دمای هوای خروجی از دودکش را در حالتی که همه طبقات به دودکش متصل باشند و حالت‌هایی که هر یک از طبقات به صورت منفرد به دودکش خورشیدی متصل باشند و



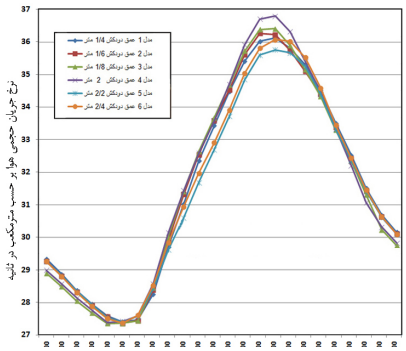
نمودار۱- جریان حجمی هوا در مدل‌های مختلف با عمق متفاوت در طبقه اول.



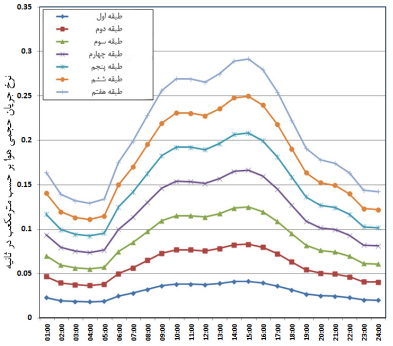
نمودار۲- جریان حجمی هوا در مدل‌های مختلف با عمق متفاوت در طبقه چهارم.



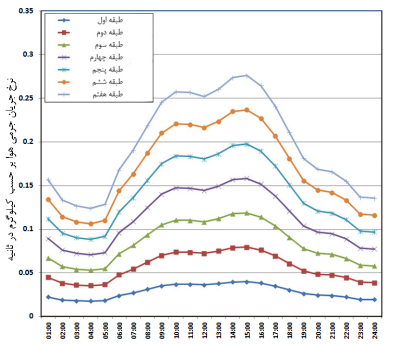
نمودار۳- جریان حجمی هوا در مدل‌های مختلف با عمق متفاوت در طبقه هفتم.



نمودار۴- مقایسه دمای هوای خروجی از دودکش در مدل‌های مختلف با عمق متفاوت.



نمودار۵- جریان حجمی هوا در طبقات مختلف در مدل۴.



نمودار۶- جریان جرمی هوا در طبقات مختلف مدل ۴.

دریچه سایر طبقات به دودکش بسته باشد، نشان می‌دهد.

در حالتی که تنها طبقه هفتم به دودکش خورشیدی متصل باشد، به دلیل نزدیکی به خروجی مسیر حرکت جریان هوا کوتاه است و درنتیجه دما در داخل دودکش خورشیدی فرصت کمی برای افزایش دارد. به همین دلیل دمای هوای خروجی در این حالت از بقیه کمتر است.

با استفاده از رابطه (۱) می‌توان تعداد دفعات تعویض هوا درساعت را براساس حجم فضاهای مدل‌های شبیه‌سازی شده در طبقات مختلف به دست آورد (سلطاندوست، ۱۳۸۸، ۳۱۲).

رابطه (۱): $ACH = \frac{q \times 3600}{V}$

ACH تعداد دفعات تعویض هوا در ساعت (بار در ساعت)

q جریان حجمی هوا (m^3/s)

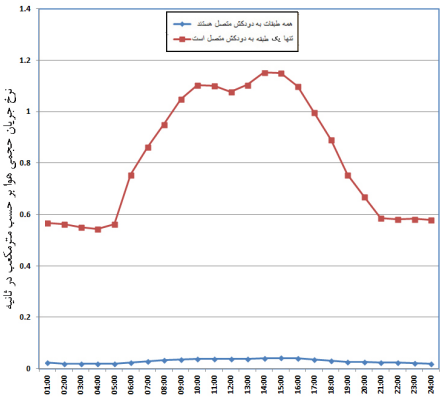
V حجم فضا (m^3)

با به کارگیری فرمول فوق مشاهده می‌شود که در برخی طبقات، تعداد دفعات تعویض هوا با استفاده از دودکش خورشیدی بیش از مقدار مورد نیاز است. از آنجا که طبق استاندارد ASHREA، تعداد دفعات تعویض هوای مورد نیاز در یک ساختمان اداری بین ۳ تا ۶ بار در ساعت است (ASHRAE, 2009)، می‌توان حجم فضایی را که دودکش خورشیدی قادر به تامین تعداد دفعات تعویض هوای مورد نیاز است، محاسبه کرد و با فرض ارتفاع اتاق معادل ۲/۷ متر، مساحتی که دودکش خورشیدی در هر طبقه قادر به تعویض هوای آن به اندازه ۳ بار در ساعت است، مطابق جدول۱ است.

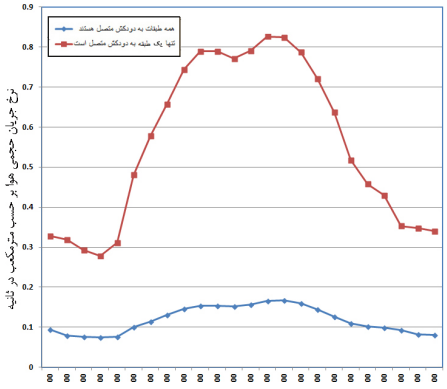
از آنجا که اقلیم منطقه مورد مطالعه گرم و خشک است، کاهش دما و افزایش رطوبت برای رسیدن به آسایش حرارتی امری ضروری است. به همین منظور با قرار دادن سیستم های تبخیری مناسب در مسیرهای ورودی هوا به عنوان مثال با کاشت گیاه و یا استفاده از بادگیر و پاشیدن آب در مسیر حرکت هوا، می‌توان دمای هوای ورودی به فضاها را کاهش داد و با استفاده از دودکش خورشیدی، این هوا را با حجم و سرعت بیشتری در فضاها عبور داد و تاثیر آن را بیشتر کرد به طوری که با پاشیدن آب در بادگیر، به ازای هر ۱۰ گرم بر ثانیه آب، دمای هوا حدود ۲ درجه کاهش می‌یابد (کلانتر، ۱۳۸۸). به عنوان مثال می توان هوا را از زیرزمین عبور داد و از آنجا وارد فضاهای اصلی کرد. بدین ترتیب هوای ورودی دمای مناسب تری خواهد داشت.

جدول۱- مساحتی که دودکش قادر به تامین تعداد دفعات تعویض هوای مورد نیاز آن است.

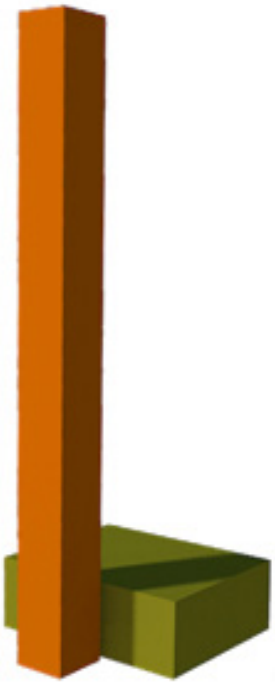
مساحت هرطبقه (m^2)	طبقه
۲۵/۶۲	طبقه ۱
۵۱/۲۴	طبقه ۲
۷۶/۸۶	طبقه ۳
۱۰۲/۴۸	طبقه ۴
۱۲۸/۱	طبقه ۵
۱۵۳/۷۲	طبقه ۶
۱۷۹/۳۴	طبقه ۷



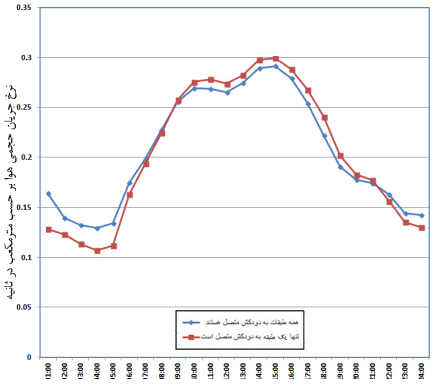
نمودار۷- مقایسه جریان حجمی هوا در طبقه اول در دو حالت متفاوت.



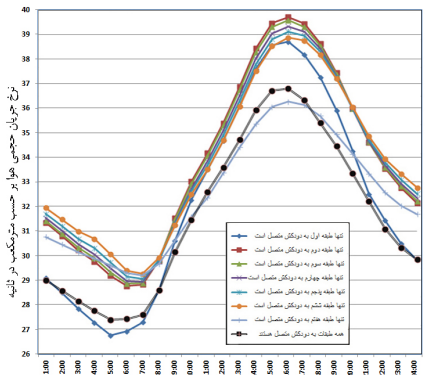
نمودار۸- مقایسه جریان حجمی هوا در طبقه چهارم در دو حالت متفاوت.



تصویر۳- تنها یک طبقه به دودکش خورشیدی متصل است و بازشو سایر طبقات به دودکش خورشیدی بسته است.



نمودار۹- مقایسه جریان حجمی هوا در طبقه هفتم در دو حالت متفاوت.



نمودار۱۰- دمای هوا در طبقات مختلف.

نتیجه

با بررسی نمودارهای نرخ جریان حجمی هوا در هر طبقه و با در نظر گرفتن ۶ مدل با عمق متفاوت، این نتیجه حاصل می‌شود که با افزایش عمق دودکش تا اندازه ۲ متر، نرخ جریان حجمی هوای خروجی در ساعات اداری (۸ صبح تا ۴ بعد از ظهر) افزایش می‌یابد. اما افزایش عمق دودکش بیش از ۲ متر تاثیر معکوس دارد. علاوه بر آن دمای هوای خروجی از دودکش نیز در عمق ۲ متر، از حالت های دیگر بیشتر است. بنابراین عمق ۲ متر در دودکش خورشیدی در شهر اصفهان، حالت بهینه است. بدین ترتیب نسبت که در آن H ارتفاع دودکش است، نسبت بهینه برای عمق دودکش خورشیدی در شهر اصفهان است (پیش‌بینی می‌شود این نسبت بهینه برای ارتفاع متفاوت دودکش خورشیدی، در شهر اصفهان، قابل تعمیم باشد).

نرخ جریان حجمی و نرخ جریان جرمی هوای خروجی، در طبقات مختلف متفاوت است. هر دو مقدار در طبقات بالاتر بیشتر هستند. در طبقات بالا به دلیل نزدیک تر بودن به خروجی، افت فشار کمتر است (در طبقات پایین‌تر به دلیل اینکه هوا مسیر طولانی‌تری را طی می‌کند، افت فشار در اثر اصطکاک بین هوا و جداره دودکش خورشیدی، بیشتر است). بنابراین سرعت و نرخ جریان در طبقات بالا بیشتر است. علاوه بر آن پدیده اثر دودکشی که ناشی از اختلاف دانسیته است، در طبقات بالا بیشتر است.

در مقایسه بین اتصال همه طبقات به دودکش با اتصال هر طبقه به صورت منفرد، این نتیجه حاصل می‌شود که در نرخ جریان حجمی هوای هر طبقه در صورتی که به صورت منفرد به دودکش متصل باشند، بیشتر از زمانی است که دیگر طبقات نیز به دودکش متصل باشند، اما تفاوت بین این دو حالت در طبقه هفتم چندان زیاد نیست. هر چه به طبقات پایین‌تر نزدیک‌تر می‌شویم، تفاوت بین این دو حالت بیشتر می‌شود. علت این امر این است که با افزایش فاصله از خروجی، اثر دودکشی بیشتر می‌شود. از سوی دیگر وقتی تنها یک طبقه به دودکش خورشیدی متصل باشد، نرخ تهویه بیشتر می‌شود. این دو عامل سبب می‌شوند که در طبقات پایین‌تر، اختلاف زیادی بین دو حالت فوق بوجود آید.

دمای هوای خروجی از دودکش در تمام طبقات بجز طبقه هفتم در صورتی که تمام طبقات با هم عمل کنند، کمتر از حالتی است که هر طبقه به صورت منفرد به دودکش متصل باشد. دمای خروجی از دودکش در حالتی که تنها طبقه دوم به دودکش متصل باشد، بیشترین مقدار و در صورتی که تنها طبقه هفتم به دودکش متصل باشد،کمترین مقدار است. حداکثر مساحتی که دودکش خورشیدی قادر به تامین ۳ بار تعویض هوا در ساعت برای آن باشد، در طبقه هفتم بیشترین مقدار را دارد و در طبقات پایین تر به ترتیب از مقدار آن کاسته می‌شود.

پی‌نوشت‌ها

1Energy Plus.

2 Ecotect.

فهرست منابع

بهادری نژاد، مهدی و دهقانی، علیرضا (۱۳۸۸)، *بادگیر، شاهکار مهندسی ایران*، انتشارات یزدا، تهران.

سلطاندوست، محمدرضا(۱۳۸۸)، *دستنامه تاسیسات*، نشر یزدا، تهران.

کلانتر، ولی (۱۳۸۸)، *شبیه‌سازی تهویه خود به خودی ساختمان با استفاده از ترکیب بادگیر و دودکش خورشیدی*، همایش ملی سوخت، انرژی و محیط زیست، تهران.

Afonso.C , Oliveira.A (2000), Solar chimneys: simulation and experiment, *Energy and Buildings*, Vol 32, pp 71_79.

ASHRAE Handbook_Fundamentals (SI) (2009), chapter 16, 16.28.

Bansal, NK & Mathur, R& Bhandari, MS (1994), A study of solar chimney assisted wind tower system for natural ventilation in buildings, *Building and Environment*, Vol 28, No 3, 373 - 377.

Bouchair A. (1994), Solar chimney for promoting cooling ventilation in southern Algeria, *Build Serv Eng Res Technol*, 15:81_93.

Charvat P, Jicah M, Stetina J. (2004), *Solar chimneys for ventilation and passive cooling*, Denver (USA): World Renewable Energy Congress.

Khanal.R, Lei.C (2011), Solar chimney_A passive strategy for natural ventilation, *Energy and Buildings*, Vol 43, 1811_1819.

Khedari, Joseph& Boonsri, Boonlert & Hirunlabh, Jongjit (2000), Ventilation impact of a solar chimney on indoor temperature fluctuation and air change in a school building, *Energy and Building*, Vol 32, pp 89_93.

Miyazaki.T, Akisawa.A, Kashiwagi.T (2006), The effects of solar chimneys on thermal load mitigation of office buildings under the Japanese climate, *Renewable Energy*, Vol 31, pp 987_1010.

Punyasompun.S, Hirunlabh.J, Khedari.J, Zeghmat.B (2009), Investigation on the application of solar chimney for multi-storey buildings، Renewable Energy, Vol 34, pp 2545_2561.

Sudaporn, Chungloo, Bundit, Limmeechokchai (2009), Utilization of cool ceiling with roof solar chimney in Thailand: The experimental and numerical analysis, *Renowable Energy*, 34, pp 623_633.