فصلنامه علمی تخصصی معماری سبز
سال ششم، شماره ۳ (پیاپی: ۲۱)، پاییز ۱۳۹۹، جلد یک
ISSN: 2476-5368

کارایی نورخان در تهویه طبیعی

سیدمحمداسماعیل موسوی تاکامی[۱]،
فاطمه مظفری قادیکلائی[۲]

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۵/۲۰
تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۷/۰۲
کد مقاله: ۳۳۸۸۸

چکـیده

تهویه طبیعی غالبا به عنوان یک رویکرد با مصرف انرژی پایین در تهویه هوای ساختمان‌ها شناخته شده است. دسترسی هم‌زمان به هوای تازه و نور روز یکی از مشکلات اصلی در ساختمان‌های عمیق است که افزایش مصرف انرژی برای روشنایی مصنوعی و تهویه مکانیکی را موجب می‌شود. در این راستا، نورخان[۳]ها سیستم‌های معماری غیرفعالی هستند که به‌طور گسترده در ساختمان‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. نورخان به عنوان یک مکعب روشن بدون سقف و به تعبیری دهلیزی برای تامین نور روز و تهویه هوای فضاهای اطراف، تعریف شده است. اهمیت دادن به ویژگی‌های هندسی و جانمایی نورخان در ساختمان‌ها، برای افزایش تهویه طبیعی، امری ضروری است. عملکرد اقلیمی نورخان، در بهره‌وری انرژی، نرخ تهویه و تنظیم تهویه شناوری نقش قابل‌توجه‌ای دارا است و این رفتار نورخان‌ها در همه اقلیم‌ها یکسان نیست و به ویژگی‌های متعدد کالبدی و محیطی بستگی دارد. پژوهش‌های اخیر موجب توسعه دانش درافزایش کارایی تهویه طبیعی در ساختمان‌ها شده است. لذا در این مقاله نتایج پژوهش‌هایی در مورد تهویه طبیعی در ساختمان‌های دارای نورخان، جمع‌آوری و با دسته‌بندی درکنار یکدیگر قرارگرفته‌اند. این پیشنهادات ارائه شده به ساختمان‌ها کمک خواهد کرد تا طرح‌های بهتری برای افزایش کارایی تهویه طبیعی در ساختمان‌ها، با ارائه یک پیکره‌بندی مناسب به وجود آورد.

پرتال جامع علوم انسانی

واژگـان کلـیدی: بهره وری انرژی، تهویه شناوری[۴]، تهویه طبیعی، نرخ تهویه[۵] نورخان

۱- دانشجو دکتری معماری دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ساری
۲- استادیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ساری

3- Lightwell
4- buoyancy ventilation
5- ventilation rate

۱- مقدمه

اکثریت مردم تقریبا ۸۰٪ از وقت خود را درفضای بسته سکونت صرف می‌کنند. آلودگی در فضای بسته حدود ۲ تا ۵ برابر بیشتر از آلودگی در فضای باز است . کمبود کیفیت هوای خوب در محیط داخلی، به شدت بر روی بیماری سندرم ساختمان[۱] تاثیر می‌گذارد که از علائم اصلی آن غلبه سردرد، بی‌حسی و خشکی در مخاط است. که عمدتا توسط غلظت دی‌اکسیدکربن ایجاد می‌شود. اثرات بیماری سندرم ساختمان با افزایش کنسانتره دی‌اکسیدکربن افزایش می‌یابد. اکثر مردم از احساس ناخوشایند ناشی از عدم گردش هوا در داخل ساختمان خود ناراحت هستند. این وضعیت ناشی از شکست طراحی در سیستم‌های تهویه مطبوع[۲] در برآورده ساختن نیاز متمایز انسان است . از این رو، تهویه طبیعی به عنوان پیش‌شرط در ارائه آسایش به ساکنان قابل تامل می‌باشد[۲].

ضرورت کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای (به ویژه CO2) که ناشی از سوختن سوخت‌های فسیلی است، علاقه‌مندی به طراحی ساختمان‌های کم‌انرژی را ایجاد کرده است[۱]. تهویه طبیعی در ارائه کیفیت بهتری از هوا در محیط داخلی[۳] ساختمان، آسایش حرارتی ساکنین وصرفه‌جویی در مصرف انرژی در ساختمان‌ها نقش مهمی دارد. " تهویه طبیعی" به عنوان تامین هوای تازه و حذف هوای ناسالم از فضای داخلی، به طور طبیعی تعریف می‌شود[۳]. اثبات شده است که تهویه طبیعی موثرترین استراتژی خنک کننده غیرفعال استفاده شده در ساختمان‌ها است[۳]. این نشان‌دهنده وظیفه چالش‌برانگیز برای معماران برای طراحی ساختمان مطلوب است که با کنترل مجدد طبیعت در ساختمان‌ها، محیطی پایدار و سبز ایجاد کنند[۴]. برای به‌حداقل‌رساندن مشکلات کیفیت مطلوب هوا در داخل یک ساختمان ، باید راهکارهای تهویه مناسب طبیعی، درک شود. استفاده از تهویه طبیعی در ساختمان‌ها به آب و هوا، طراحی ساختمان و رفتار انسان بستگی دارد.

در چند دهه گذشته افزایش چشمگیر در استفاده از ابزارهای مکانیکی خنک‌کننده هوا در خاورمیانه برای آسایش حرارتی، استفاده مجدد از نمونه‌های اولیه سنتی را به عنوان یک استراتژی بسیار کارآمد، مورد توجه قرار داده است. با این وجود، بازنگری نامناسب راهبردهای بومی ممکن است سبب مصرف شدید انرژی برای تهویه مطبوع شود که بعدا به کار گرفته خواهند شد[۵]. سه جنبه از این استراتژی‌ها ، از جمله: پذیرش فرهنگی، آسایش حرارتی ساکنین و عملکرد انرژی در ساختمان باید مورد بررسی قرار گیرد[۶].

۲- تهویه طبیعی

تهویه فرایندی برای کنترل دما یا زدودن رطوبت، بو، دود، گرما، گردوغبار و باکتری‌ها توسط تعویض و جابه‌جایی هوای یک محیط است. تهویه شامل تبادل هوا بین خارج و داخل ساختمان و ایجاد گردش هوا در آن و هم‌چنین یکی از عوامل مهم در حفظ کیفیت هوای داخل ساختمان است. تهویه در ساختمان‌ها به دو صورت مکانیکی و طبیعی صورت می‌گیرد. تهویه از سکون هوا در محیط داخل ساختمان جلوگیری می‌کند. مطالعات نشان داده که ایجاد گشودگی در ساختمان‌ها می تواند تهویه طبیعی را بهبود بخشد[۲]. (تصویر ۱)

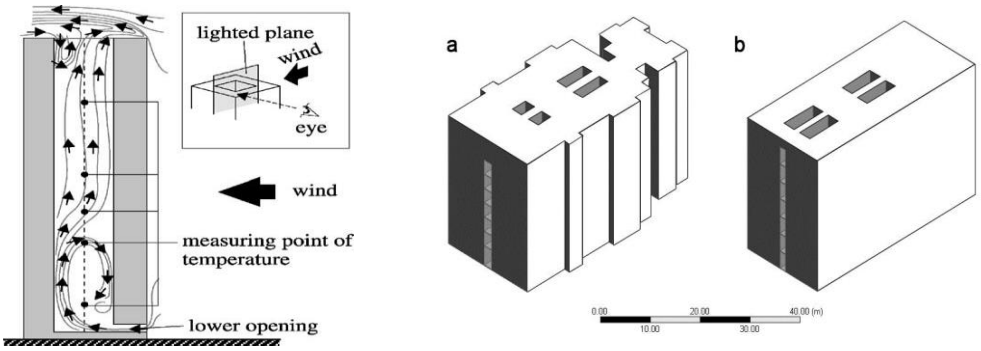
نورگیرهای امروزی نتیجه گسترش دانش و تجارب انسان نسبت به محیط پیرامون و تامین شرایط آسایش در مناطقی با شرایط جوی سخت و نامناسب است[۱۰]. نورخان‌ها، می توانند تهویه طبیعی پیشرفته‌ای که از فشار طبیعی باد و یا نیروی تهویه شناوری که توسط منابع گرمای داخلی یا خارجی تولید می‌شود بهره بگیرند تا جریان هوا را به وجود آورند و بدین‌ترتیب از به کارگیری فن‌ها اجتناب شود. ورود هوای سرد به یک ساختمان (با ترفندهای معمارانه)، و خروج گرمای روزانه که در جرم حرارتی در معرض انباشته می‌شود، حتی می‌تواند ساختمان را به‌طور کامل از نیاز به خنک‌سازی مکانیکی بی‌نیاز کند یا در مکان‌های گرمتر، بار سرمایشی، مصرف انرژی و انتشار دی‌اکسیدکربن مرتبط را کاهش دهد[۱] و زمینه ساز استفاده اقلیمی از فضاهای اقلیمی نظیر نورخان شوند.

---

۱ SBS *(Sick building syndrome)* در یک ساختمان که ساکنین آن نشانه‌هایی از بیماریهایی را دارا هستند که به سپری کردن زمان زیاد در آن ساختمان نسبت داده می‌شود. معمولاً وجود اشکال در گرمایش، تهویه و تهویه‌مطبوع از مهمترین عوامل ایجاد این بیماری می‌باشد.

2 Heating,Ventilating and Conditioning

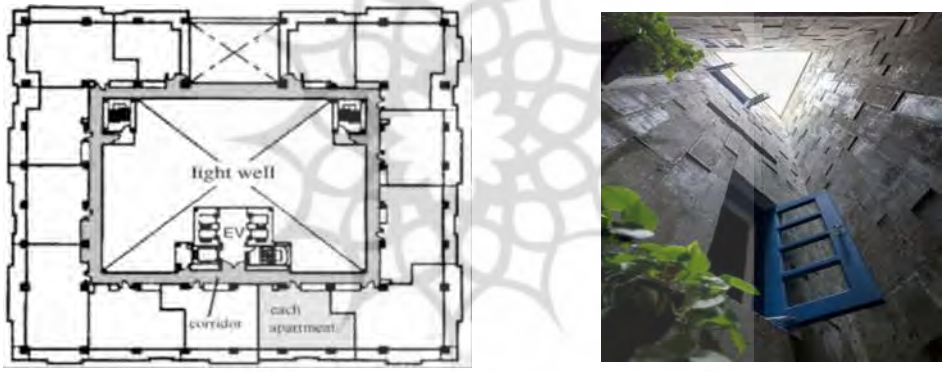
3 IAQ (Indoor air quality)



تصویر ۱- تصویر راست نمونه ای از نورخان در یک آپارتمان [۲] و تصویر چپ جریان هوا در یک نورخان [۸] و [۹]

۳- نورخان

نورخان که "وید "یا ایرول[1] هم به آن گفته شده است معمولا در مرکز ساختمان قرار دارد و یک المان معماری غیرفعال است که برای روشنایی و تهویه طبیعی به کار می‌رود. نورخان فضایی عمودی است که در میان ساختمان‌ها استفاده می‌شود. (تصویر ۲) امروزه نورخان به بخشی جدایی‌ناپذیر از طراحی به خصوص درساختمان‌های چند طبقه یا ساختمان‌های دارای پلان عمیق تبدیل شده‌اند[۷]. نورخان‌ها در ساختمان‌ها، مزایایی را برای جنبه‌های معماری، محیط‌زیستی و ساختاری به ارمغان می‌آورند و با استفاده از پتانسیل‌های محیطی، فضای زیست داخلی را با انرژی مصرفی کم، کنترل می‌کنند. نورخان تهویه طبیعی را تسهیل می‌کند و کیفیت مطلوب هوا را در محیط داخلی کنترل می‌کند و بسته به شرایط محیطی، اتاق‌های مرتبط با نورخان خنک‌تر می‌شوند.

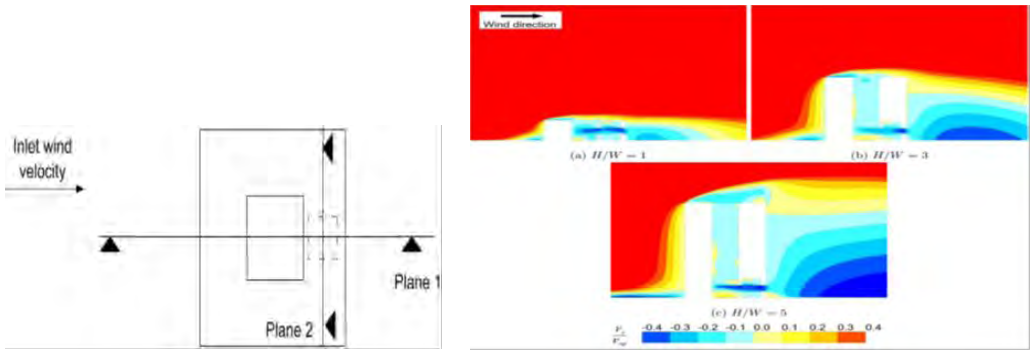


تصویر ۲- تصویر راست نورخان با حجم منشور و تصویر چپ پلانی از یک نورخان (۸)

۳-۱- تاثیر هندسه نورخان بر تهویه طبیعی

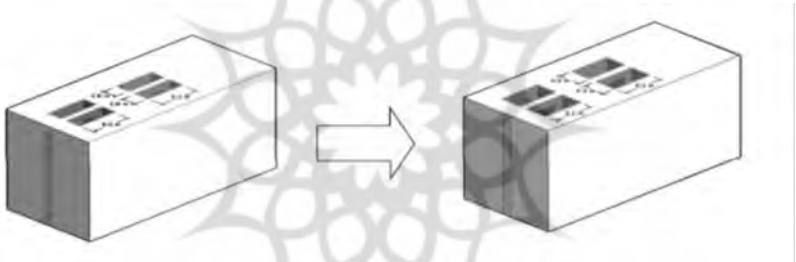
نتایج مقاله ای از دانیل مکلسف[۱۳] که بر ابعاد متفاوتی از نورخان و بنا صورت گرفته است نشان می‌دهد که با افزایش ارتفاع ساختمان میزان تهویه طبیعی در اتاق طبقه همکف افزایش می‌یابد. نتایج دیگر این پژوهش به شرح زیر می‌باشد: ۱- در زمانی که جهت جریان هوا از بیرون ساختمان به سوی نورخان است نرخ جریان هوا در اتاق هم جهت باد، واقع در طبقه همکف ساختمان، بالا است. ۲-نرخ جریان تهویه[2] در همان اتاق، با افزایش ارتفاع نورخان افزایش می‌یابد ۳- میزان کاهش نرخ تهویه در بافت متراکم شهری، برای ساختمان‌های مشابه با تناسبات ارتفاع به عرض نورخان یک و پنج ، بسیار بیشتر از ساختمان‌های مستقر در محیط باز است. نرخ تهویه درنتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش برای مناطق متراکم شهری پایین‌تر از حد استاندارد مورد نیاز است. لذا در مناطق شهری باید تدابیر لازمه دیگری برای تامین نرخ تهویه مناسب اندیشیده شود.

1 air well
2 ventilation flow rates



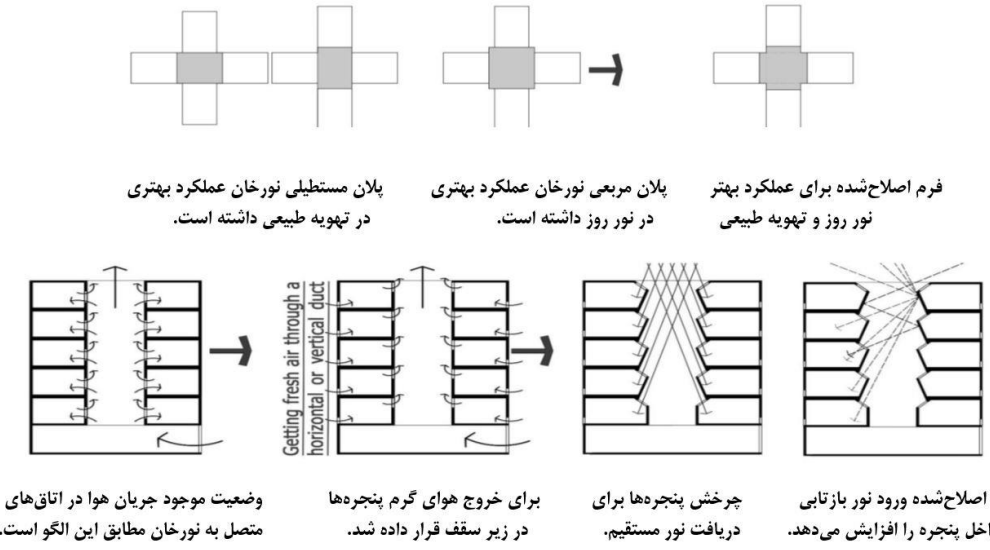
تصویر ۳: تصویر راست سرعت عادی باد در جهت افقی برای موارد H/W=1 و H/W=3 و H/W=5 و ارائه نتایج آنها از مقطع عرضی پلان یک [۱۳] و تصویر چپ پلان مورد نظر [۱۳]

فخریه و همکارانش در پژوهشی[۱۴] در مالزی نشان دادند که با افزایش عرض نورخان (با افزایش تناسب عرض به طول نورخان از ۱: ۳ به تناسب ۱ : ۲)، تاثیر قابل توجهی در بهبود عملکرد تهویه طبیعی در ساختمان چندطبقه‌ای به وجود آورده است (تصویر۴). هم‌چنین هم‌خوانی زاویه باد با راستای طول نورخان باعث افزایش میزان تهویه در تمام فضاهای مرتبط در تمام طبقات با افزایش میانگین نرخ تهویه کل به میزان ۴۰,۰۷٪ شده است. بااین‌حال، با تغییر ۴۵ درجه‌ای زاویه باد نسبت به راستای نورخان، با یک تاثیر جزئی، به بیشترین میزان نرخ تهویه در تمام طبقات (با افزایش میانگین کل به میزان ۳,۴۴٪.) دست یافتند. توصیه می‌شود که سایر تنظیمات نورخان‌ها و زاویه‌های باد در مطالعات آینده برای شناسایی بهترین پیکربندی نورخان‌ها برای افزایش عملکرد تهویه طبیعی در ساختمان‌های چند طبقه، مورد بررسی قرار گیرد.



تصویر ٤: شکل مدل A ساختمان موجود و مدل B با افزایش ۵۰٪ ازمساحت سطح خالی موجود. منبع [١٤]

امین‌ا... احدی و همکاران[۱۵] در مطالعه موردی در تهران مشخص نمودند در نورخان مربع شکل با حداقل ابعاد ۴×۴ متر و نورخان مستطیل شکل ۳×۴ متری می تواند نوردهی کافی سالانه را به اتاق‌های متصل به نورخان تا ۴ طبقه پایین‌تر را تامین کند. نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان داده که این نورخان‌ها می‌توانند در طول سال، میزان تهویه مناسب اتاق‌های متصل را هم فراهم کنند. در سطوح پایین‌تر، میزان تهویه در نورخان مستطیلی ۳×۴ متری بهتر از نورخان ۴×۴ مترمربعی است، درحالی‌که عملکرد نوردهی نورخان ۴×۴ مترمربعی بهتر از نورخان مستطیل شکل است. با توجه به این نتایج، یک نورخان اصلاح شده (تصویر ۵) برای نوردهی بهتر پیشنهاد شده است که در آن عملکرد تهویه طبیعی در فرم‌های پلان و برش بهبود یافته است. در شکل اصلاح شده از نورخان ، طرح نورخان ترکیبی از طرح‌های مستطیلی و مربعی است و محل ورود هوا و خروجی هوا برای یک الگوی جریان هوای بهتر، تغییر کرده است. هم‌چنین، برخی از مجراهای جدید عمودی برای ورود هوای تازه در نظر گرفته شده است. در راستای عرضی نورخان، برای عملکرد بهتر نور روز، با جایگزینی پنجره‌های عمودی با افقی و چرخاندن پنجره‌ها در محور افقی آن، برای دریافت نور مستقیم و نور بازتابی، تغییراتی ایجاد شده است. این تغییرات توانسته، نور روز مناسب را تا ۲ طبقه پایین‌تر بیاورد. دمای متوسط اتاق‌های متصل به نورخان در طرح بازنگری شده به اندازه ۲ درجه سانتیگراد کمتر از هوای بیرون است. این در حالی است که در طرح اولیه مورد بررسی، دمای متوسط در اتاق‌های متصل به نورخان ۴ درجه سانتیگراد بیشتر از دمای هوای بیرون بوده است.

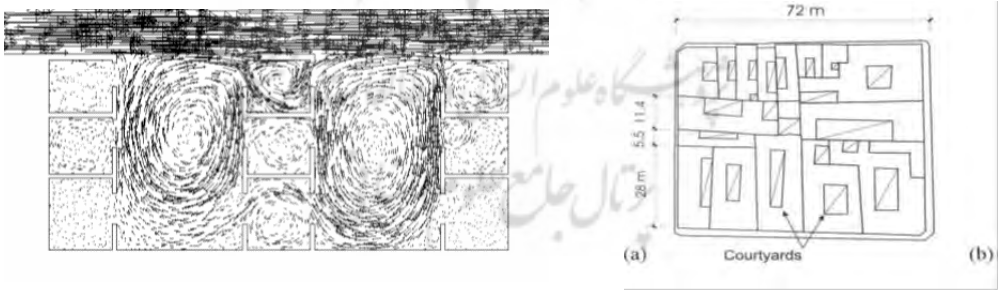


فرم اصلاح‌شده برای عملکرد بهتر نور روز و تهویه طبیعی | پلان مربعی نورخان عملکرد بهتری در نور روز داشته است. | پلان مستطیلی نورخان عملکرد بهتری در تهویه طبیعی داشته است.

فرم اصلاح‌شده ورود نور بازتابی به داخل پنجره را افزایش می‌دهد. | چرخش پنجره‌ها برای دریافت نور مستقیم. | برای خروج هوای گرم پنجره‌ها در زیر سقف قرار داده شد. | وضعیت موجود جریان هوا در اتاق‌های متصل به نورخان مطابق این الگو است.

تصویر ۵: مراحل بازنگری فرم برش و پلان از نورخان برای ارتقا نور روز و عملکرد تهویه طبیعی دودکشی به ترتیب جهت فلش (۱۵)

آبل تبادا و همکارانش[۱۶] در پژوهشی بر روی فضاهای داخلی ساختمان‌های مرکز تاریخی قدیمی هاوانا درکوبا (تصویر ۶)، مشخص کردند اتاق‌های روبه نورخانی که صرفا دارای تهویه طبیعی هستند، نرخ تهویه هوا در درون آنها بسیار پایین است. در همان شرایط در صورت ارتباط همان اتاق‌ها با بیش از یک نورخان (یا معبر) و استفاده از تهویه عبوری[1]، تهویه مناسب‌تری را برای این اتاق‌ها به وجود می‌آورند. این نتایج برای هر کدام ازطبقات ساختمان سه طبقه متفاوت است. مطالعات تبادا نشان داد در باب آسایش حرارتی، خنک شدن اتاق‌های همکف همیشه مستقل از جهت و سرعت جریان هوا در طبقات بالا است و با توجه به شبیه‌سازی حرارتی، در اتاق‌های تهویه‌ای یک‌طرفه، در شرایط محافظت جداره‌های اتاق‌ها از تابش خورشید(سایه‌اندازی) و وجود فضای سبز در نورخان، نقش مهمی در ایجاد دمای آسایش حرارتی در فضاهای داخلی دارد، حتی اگر دمای هوای بیرون بالاتر باشد و در این اتاق‌ها با نرخ جریان هوای بسیار کمتر، به بهبود آسایش حرارتی کمک می‌کند که در صورت دسترسی به تهویه دوطرفه روبه روی هم، با توجه به جریان باد بیشتر، بهبود آسایش حرارتی در اتاق‌های طبقه بالا مشهودتر است.

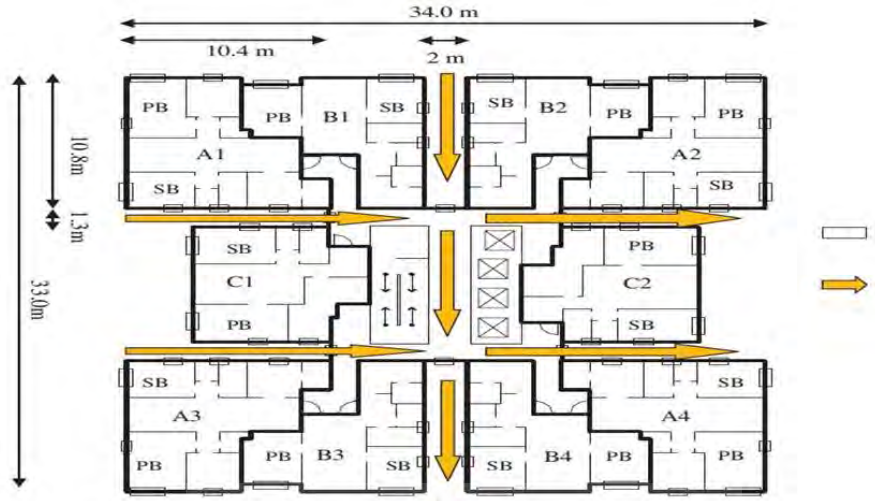


تصویر ٦: a .بلوک شهری معمولی با ساختمان های حیاط دار هاوانا قدیم b.برشی از بناها. جریان هوا در دو حیاط داخلی و اتاق پنجره باز [۱۷] [۱٦]

چاوبین ژوآ و همکارانش[۱۸] در پژوهشی در منطقه چانگ کینگ ۲ چین، یک استراتژی بهینه‌سازی سه مرحله‌ای برای تهویه، شامل هندسه و طرح همسایگی، هندسه و طرح پلان ، هندسه و طرح اتاق، برای بهینه سازی عملکرد تهویه طبیعی ارائه کرده‌اند. با بررسی تاثیر فاصله و جهت‌گیری ساختمان‌ها نسبت به یکدیگر(در مجتمع‌ها)، نتایج نشان داد با ایجاد فاصله میان ساختمان‌ها (ایجاد نورخان) و کاهش زاویه بین ساختمان و جهت باد (تصویر ۷)، پتانسیل تهویه طبیعی افزایش می‌یابد. در نورخان هرساختمان، با ایجاد گشودگی‌هایی در بر نورخان که منجر به یک مسیر باد عمود بر مسیرهای بادهای محیطی شد سرعت تهویه در راهروهای

1- Cross ventilation

داخلی و به‌همین ترتیب در اتاق‌های مجاور به نورخان بهبود یافته است. برای ایجاد مسیرهای باد در فضاها و بهره‌گیری ازتهویه عبوری، اکثر اتاق‌ها دارای دو پنجره بیرونی متعامد (یکی به نورخان و دیگری به گشودگی‌ها) شدند و حداقل یک پنجره بیرونی به طور مستقیم در هوای آزاد در معرض جریان هوا قرار گرفت. در طراحی بهینه شده، زمان تغییر هوا در یک طبقه (مورد مطالعه) کمتر از ۶ دقیقه در ۹۰٪ از اتاق‌ها شده است، درحالی‌که قبل ازآن، ۳۰ دقیقه به میزان ۵۰٪ از اتاق‌ها با طراحی متعارف بود.



تصویر ۷: ایجاد نورخان کشیده در ساختمان عمیق. منبع [۱۸]

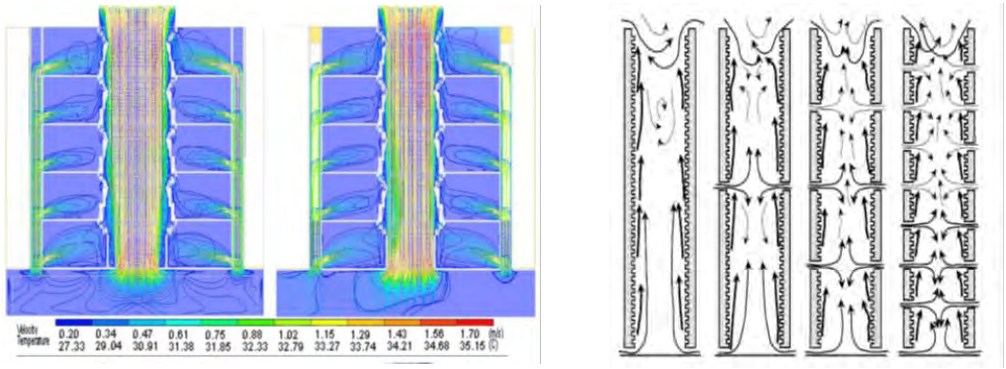
پریا سعادتجو و همکارانش[۱۹] در پژوهشی بر چند ساختمان دو طبقه در ایران مشخص کردند هرگونه تغییر کوچک در پیکربندی فیزیکی نورخان‌ها نظیر تناسبات۱ بر الگوی جریان هوا و راندمان تهویه طبیعی تاثیر خواهد گذاشت. در این پژوهش بنای دارای نورگیر مرکزی ۲ طبقه، با ۵ ابعاد مختلف بررسی شده است. ابعاد فضای بسته و باز در این مدل‌ها، متغیر بود در حالی که مساحت‌شان و نسبت ابعاد۲ ثابت بود. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که تناسبات نورخان، به رغم مساحت ثابت و نسبت ابعاد، به شدت، سرعت جریان هوا در حیاط و در نتیجه سرعت جریان هوای فضای داخلی را تحت تاثیر قرار می‌دهد. در همین مطالعه مشخص شد که یک نورخان مستطیلی با حداقل رعایت کردن جهت باد، عملکرد خوبی با تهویه باد به‌صورت طبیعی حاصل می‌شود (جهت جریان هوا از خارج به سوی داخل نورخان است).

به‌طورکلی می‌توان گفت که نورخان نقش مهمی در بهبود عملکرد تهویه طبیعی در ساختمان‌های طبقاتی، برای آسایش حرارتی دارد. پژوهشی [۲۰] نشان داد که حفره‌های افقی در طبقات میانی و همکف ساختمان، نقش مهمی در بهبود عملکرد تهویه طبیعی در درون فضاهای بسته چند طبقه ایفا می‌کنند. درحالی‌که، پژوهش فخریه و همکارانش [۲] نشان می‌دهد که ترکیبی از هر دو حالت عمودی و افقی در ساختمان چند طبقه می‌تواند بیشتر مورد بررسی قرار گیرد. هم‌چنین، تاکید می‌کند که ارتفاع مختلف ساختمان‌ها نیز ممکن است بر اثرات حفره‌ها تأثیر بگذارد، که نیازمند مطالعات بیشتر است. هم‌چنین، در پژوهش‌های آتی، بررسی پیکربندی‌های متفاوتی از حفره‌ها و زاویه‌های باد توصیه شده است.

۳-۲- سرعت جریان هوا در نورخان

در پژوهش موردی تهران، توسط امین ا... احدی[۱۵]، نتایج CFD نشان داد که سرعت جریان هوا در حفره خالی،(عمودی یا افقی)، به شدت تحت‌تأثیر سرعت جریان هوا در سطوح بالایی نورخان قرار دارد. با اصلاح محل ورود هوا و خروجی هوا برای یک الگوی جریان هوای بهتر، نتایج به‌دست‌آمده مشخص کرد که با پیکربندی پنجره‌های روبه‌روی هم که در دو سطح ارتفاعی متفاوت قرار گرفته‌اند عملکرد نورخان از لحاظ سرعت جریان هوا بهبود می‌یابد و در این صورت کاهش دمای هوا در نورخان پدیدار می‌گردد (تصویر ۸) در این فرم اصلاح‌شده، جهت جریان هوا به سمت بالای نورخان است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که فرم اصلاح‌شده نورخان می‌تواند نیروی شناوری قوی‌تری را برای تهیه هوای کافی تازه به اتاق متصل به این فضا را با سرعت و الگوی جریان هوای مطلوب، فراهم کند.

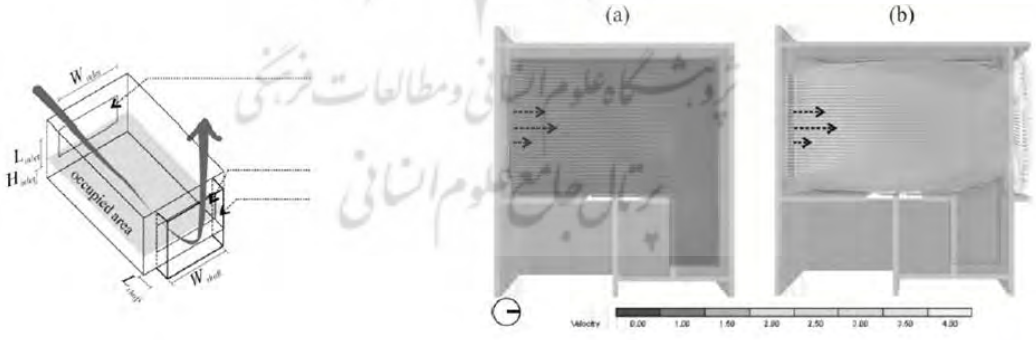
1 proportions
2 aspect ratio



تصویر ۸: تصویر راست خطوط پهنتر به معنی جریان اصلی با سرعت بالا است منبع (۲۲) و تصویر چپ شرایط حرارتی و الگوی جریان هوا داخل نورخان مطلوب هستند و سرعت کم دارند تجدید شده و اتاق های متصل به آن، در ۱ ژوئیه در ساعت ۹ صبح، دمای هوای بیرونی در این زمان ۲۹,۸۰ درجه سانتیگراد بود. منبع [۱۵]

در پژوهش آبل تبادا و همکارانش [۱۶] بر روی مرکز تاریخی هاوانا، اثر مثبت جریان هوا با سرعت بالا در آسایش حرارتی تایید شده است، حتی اگر درجه حرارت هوا چند درجه بالاتر از حد بالای منطقه آسایش باشد. همچنین برای اتاق‌های طبقه همکف، سرعت هوای بالاتر، بهبود شرایط فیزیکی و روحی را در شرایط گرم و مرطوب نشان می‌دهد. بااین‌حال، برای اتاق‌های محافظت شده طبقه بالا (از تابش مستقیم و غیرمستقیم تابش خورشید)، سرعت‌های بالاتر هوا چندان موثر نبود.

شفت تهویه (نورخان بلند) ، نوعی استراتژی است برای به‌حداکثررساندن سرعت هوای داخلی در فضایی بسته، که معمولا به صورت یک‌طرفه تهویه می‌شود. این فضا در سطح مقطع کمی نسبت به ارتفاعش دارد و از این فضا صرفاً برای تهویه استفاده می‌شود. در اتاق مرتبط با شفت تنها یک پنجره خارجی وجود دارد. در پژوهشی درباره شفت[۳۳]، مجموعه‌ای از دالان‌های عمودی در قسمت عقب اتاق، مقابل ورودی واحد ایجاد شد. پیش‌بینی سرعت هوا در اتاق مرجع (اتاق بدون شفت) و اتاق با شفت(تصویر ۹)، تحت شرایط مختلف باد مقایسه شد. نتایج نشان داد که اثربخشی این استراتژی برای افزایش سرعت هوای داخلی، با متوسط سرعت هوای داخلی که ۳–۵٪ از سرعت هوای خارجی[1] در اتاق مرجع بوده، در شرایط خاص باد، به ۶۰–۸۰٪ سرعت هوای خارجی در اتاق آزمایش،افزایش می‌یابد. لذا درصد ساعات آسایش در اتاق مرجع به ترتیب از تابستان و زمستان به ترتیب از ۱۷٪ و ۶۷٪ به ۴۶٪ و ۸۸٪ در اتاق مورد آزمایش افزایش یافت و شفت تهویه پیشنهادی می‌تواند یک استراتژی تهویه موثر طبیعی برای ایجاد حداکثر سرعت هوای داخلی و افزایش آسایش انسان در ساختمان‌ها، در هوای گرم و مرطوب باشد.



تصویر ۹: a .اتاقی که فقط یک پنجره دارد(اتاق مرجع). b.اتاقی با دو پنجره، که یکی از پنجره ها به شفت باز می شود. تصویر سمت چپ تهویه عبوری ازیک اتاق به سوی شفت را نشان می دهد. منبع [۳۳]

۳-۳- تهویه شبانه در نورخان

بهره‌وری از تهویه شبانه با سه پارامتر اصلی مرتبط است، الف – تفاوت نسبی دمای محیط داخلی و فضای باز، ب– سرعت جریان هوا ج– ظرفیت حرارتی ساختمان. استفاده از تهویه شبانه در ساختمان‌هایی که به دلیل شرایط رطوبت محیطی بالا، به ۷۰٪ از رطوبت نسبی می‌رسد می‌تواند درجه حرارت سطح داخلی را تا ۳,۹ درجه سانتیگراد کاهش دهد و آسایش حرارتی بیشتری را

1- Vout

فراهم کند[۳۲]. درشرایط آب‌وهوایی خشک مشخص شده است که تهویه شبانه به‌طورکلی مفید است و درصورتی که ساختمان کاملا در معرض خورشید باشد و تمام چهار طرف و سقف بدون عایق حرارتی داخلی یا خارجی باشند، تهویه طبیعی در طول روز کم‌اثر است، اما تهویه برای تعویض هوا و تغییر شرایط محیطی به عنوان یک پدیده بهداشتی، ضروری است[۲۳].

مطالعات در ساختمان دایاساری[۲۴] در محوطه دانشگاه مالایا (UM) در پایتخت مالزی نشان داد، تهویه‌های روزانه و تمام روز، می‌تواند شرایط محیطی بهتر را به همراه کاهش دما در اتاق های مختلف ایجاد کند. بااین‌حال، تهویه شبانه به دلیل مقادیر میانگین دمای پایین، موثرترین روش شناخته شد. مقادیر دمای ثبت شده کمتر از ۳۰ درجه سانتیگراد و مقادیر رطوبت نسبی بیش از ۷۰ درصد بود. درنتیجه، رتبه‌بندی اثربخشی انواع تهویه در یک ساختمان چندطبقه(در این منطقه)؛ که با حیاط داخلی آرایش یافته است، به ترتیب اثربخشی کارا به کم‌اثر به شرح زیر است: تهویه شبانه، تهویه روزانه، تهویه کامل روزانه و بدون تهویه.(۲۴) تهویه شب همچنین برای خنک کردن جرم حرارتی در معرض باد در شب‌های تابستان مفید است، بنابراین بارمصرفی در سیستم خنک‌کننده مکانیکی در روز، بعد از ماه ژوئن تا اواسط ماه سپتامبر کاهش می‌یابد. حضور چشم‌انداز سبز طبیعی، محیطی بهتر را در نورخان و هم‌چنین در اتاق‌های مشرف به نورخان را فراهم می‌کند.

۳-۴- ترکیب سیستم دودکشی[1] و نورخان در ساختمان

زیاد شدن تعداد بازشوها در نورخان موجب افزایش دما تقریبا در نواحی بالایی و هم چنین کاهش میزان جریان هوای تازه از طریق هر بازشو می‌شود. هم‌چنین بدیهی است که بازشوهایی که در دهانه‌های بالاتر قرار گرفته‌اند، جریان هوای تازه در آن بازشوها کمتر است. می‌توان گفت که دهانه‌های بالاتر برای تهویه در نورخان در معرض خطر هستند[۲۵]. پیش‌بینی سرعت جریان هوا در همه شرایط ممکن نیست. اما ناهماهنگی دمایی در نواحی بازشو نورخان، مشکلی دارد که منتج از سیستم دودکشی نورخان است (البته نورخانی که فاقد حفره افقی خروج هوا باشد). با ایجاد سیستم دودکشی مجزا و مکمل نورخان می‌توان هوای نامطلوب را تخلیه کرد و در نورخان هوای تازه تزریق کرد[۲۲].

تهویه طبیعی پیشرفته[2] در سال‌های اخیر یک راه پیشرو ارائه می‌دهد که بازتاب این نگاه، ساختمان‌های خاص با تهویه دودکشی شده است. یعنی ساختمان‌هایی که در آن از دودکش‌های بلند، نورخان و یا میانسرای سربسته برای استفاده از هوای تازه استفاده می‌شود. از آنجا که جریان شناوری، باعث جریان هوا می‌شود، اگر به درستی طراحی شده باشد، حجم جریان هوا افزایش یا کاهش می‌یابد درحالی‌که افزایش یا کاهش در داخل به درجه حرارت هوا در خارج از هوا بستگی دارد. بنابراین اگر گرمای داخلی افزایش یابد و موجب افزایش دمای فضا شود، جریان هوای تازه به طور طبیعی افزایش می‌یابد (یعنی بدون هیچ مداخله‌ای از طرف کاربران و بدون نیاز به تنظیم کنترل لولر یا تنظیم دمپر[۲۵]. کتابخانه لنچستر[3] در دانشگاه کاونتری پلانی عمیق و حجمی بسته دارد(بدون پنجره درنما) و درعین‌حال با استفاده از نورخان به طور طبیعی تهویه می‌شود و از نور روز استفاده می‌کند و از دودکش‌های محیطی برای تامین هوای تازه برای چهار طبقه کتابخانه و فضای مطالعه بهره می‌برد (تصویر ۱۰). این ساختمان از استراتژی پرهیز از جذب حرارت و تهویه شبانه، بهره می‌برد. به این ترتیب روزهای گرم موجب افزایش حداقلی در دمای داخلی می‌شود. حتی در گرمای طولانی مدت ماه جولای که دمای هوا بیرون تا دمای ۳۵,۴ درجه سانتیگراد بود، دمای داخلی از دمای ۲۶,۴ درجه سانتیگراد فراتر نرفت. انرژی مصرفی این کتابخانه ۵۱ درصد کمتر از یک ساختمان معمولی با تهویه مطبوع است و ۳۵ درصد کمتر از یک ساختمان معمولی تهویه شده به صورت طبیعی است[۲۶].

ساختمان‌های تهویه طبیعی پیشرفته با استفاده ازسیستم و جریان دودکشی می توانند به یک فرم هیبریدی[4] موقتی تبدیل شوند، که به تهویه هوا غیرفعال مجهز باشد. پژوهشی[۲۵] نشان داد چگونه در حالت تهویه طبیعی با نورخان، با عایق‌بندی حرارتی مطلوب و سایه‌اندازی و جرم حرارتی جداره داخلی اکسپوز، همراه با تهویه شبانه می توان دمای خشک[5] داخلی را بیش از دو درجه سانیگراد به زیر دمای هوا محیط آورد، حتی در روزهای گرم متوالی، اتاق‌ها را ،کامل خنک نگه داشت. مدل‌سازی CFD از نیمی از این کتابخانه تایید کرد که تهویه مطلوب در هر دو فضای باز و فضاهای بسته به‌دست می‌آید. با قرار دادن فضاهای بسته در پیرامون ساختمان، می‌توان از پنجره‌های بازشو[6] برای استفاده کمتر از تاسیسات مکانیکی بهره برد. طراحی نهایی کتابخانه با

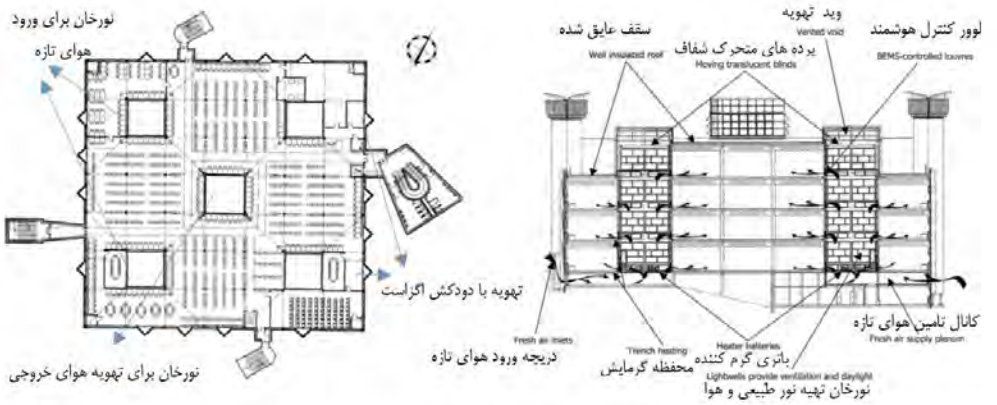
---

1 Stack ventilation
2 ANV advanced natural ventilation
3 Lanchester librery

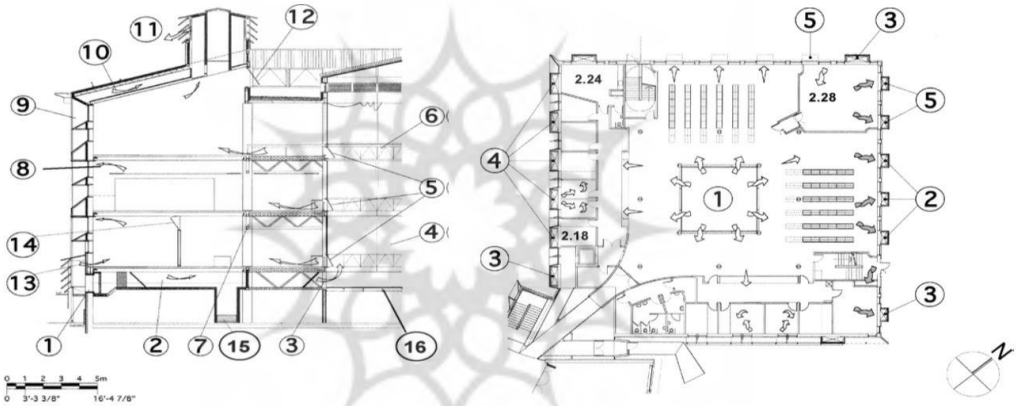
۴ تهویه هیبریدی به عنوان سیستم‌های فراهم‌کننده محیط آسایش داخلی که هم از تهویه طبیعی و هم از سیستم‌های مکانیکی استفاده می‌کنند اما در زمان‌های مختلف روز یا در فصل‌های مختلف سال از شکل‌های متفاوت سیستم بهره‌مند می‌شوند توصیف شده‌اند. تفاوت اصلی بین سیستم‌های تهویه مرسوم و سیستم‌های هیبریدی این است که دومی سیستم کنترل هوشمندی دارد که به صورت خودکار بین حالت مکانیکی و طبیعی به منظور کمینه کردن مصرف انرژی جا به جا شود.

5 DRT dry resultant temperature
6 operable windows

افزایش ارتفاع سقف در طبقه بالایی و پنجره‌های بازشو قابل استفاده برای افزایش جریان هوا با استفاده از سیستم دودکشی (تصویر ۱۱) است. هم‌چنین این ساختمان، دارای یک سیستم مدیریت برای کنترل دامپرها در دودکش‌ها است و بنابراین جریان هوا و عملکرد آن بهتر از آنچه که توسط مدل‌های شبیه‌سازی پیش‌بینی شده است، خواهد بود.



تصویر ۱۰: پلان و برش از ساختمان ترکیبی نورخان و برج دودکشی در ساختمان کتابخانه لنچستر منبع (۲۶)



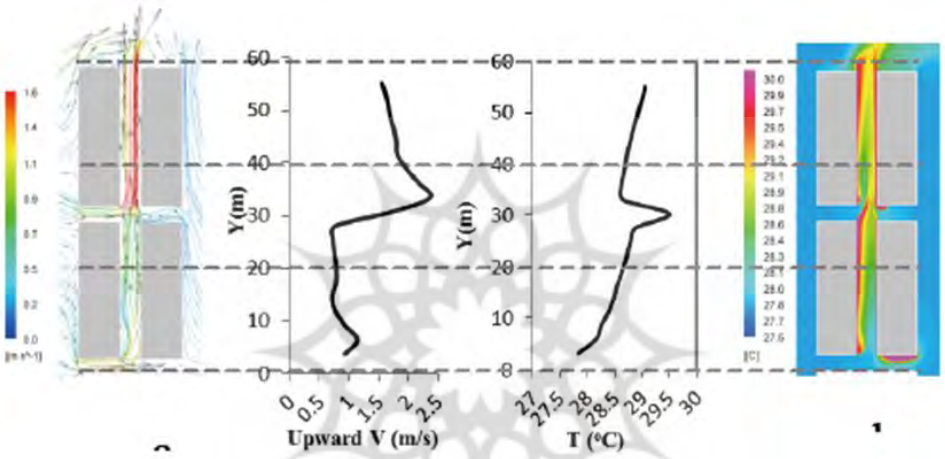
تصویر ۱۱: تصویر راست پلان طبقه ۲ کتابخانه جودسون (1) .تامین هوای نورخان؛ (2) داکت خروج هوا که در نما جانمایی شده است (3) داکت هوای برگشتی از سقف؛ (4) داکت تامین هوای سالن مطالعه از جنوب غربی تا شمال غربی (5)دودکش خروج هوا برای سالن منبع [۲۵] و تصویر چپ برشی که ویژگی های کلیدی طراحی کتابخانه جودسون را نشان می دهد (1)ورود هوا به کانال؛ (2)دسترسی آسان و بدون محدودیت؛ (3)به تمام چهار طرف نورخان باز می شود 4)به عنوان دودکش تهویه هوا عمل می کند؛ (5)ورودی به طبقه با کنترل خوب و دستگاه پیش گرم؛ (6)واشر شفاف، درزبندی برای جلوگیری از نشت هوا؛ (7)تراس باز که جریان هوا را در سراسر سقف ایجاد می کند؛ (8)بالاترین خروجی به دودکش؛ (9)عایق بندی دودکش؛ (10) کانال به آرامی جریان آزاد هوای شناوری گرم را وارد می کند؛ (11)کلاهک برای حفاظت دودکش از باد و باران؛ (12)پنجره های کاربردی قابل استفاده (13)اختصاص داده شده به فضای اطراف اتاق (خارج از شکل پلان)؛ (14)پنجره بازشو یک گزینه، که بهره بردار ورودی هوا را کنترل می کند؛ (15)از اتاق نشیمن تا طبقه اول؛ (16)کف شیشه ای ورورد نور روز از سطح پایین را اجازه می دهد. منبع [۲۵]

۳-۵- ارزیابی اقلیمی نورخان

اندازه گیری‌های شاخص‌های اقلیمی در فضاهای نورخان در ساختمان‌های تهران[۲۸] نشان داد که توزیع دما و رطوبت در طبقات نورخان‌های روباز متفاوت بوده و به میزان جذب حرارت داخلی و خارجی و ابعاد نورخان بستگی دارند. میزان رطوبت نسبی در نورخان‌ها، به طور کلی، در مرز آسایش قرار داشته و با افزایش طبقات از میزان آن کاسته می‌شود. با وجود تاثیر شرایط بیرون بر شاخص‌های دمایی و رطوبتی، طبقات فوقانی و تحتانی نسبت به عملکرد تهویه مطبوع، تاثیر نشان نمی‌دهند. بااین‌حال، در نورخان‌های با ابعاد کوچک، طبقات تحتانی نسبت به وجود ورودی ساختمان و عملکرد سامانه تهویه تاثیر می‌پذیرند. براساس

نمودار زیست‌اقلیمی ساختمانی نورخان‌ها، میزان رطوبت نسبی در پائین مرز آسایش بوده و نیازمند رطوبت‌زنی در تمامی ماه‌ها، به‌ویژه در اواسط روز و استفاده از گیاهان با توانائی تبخیر بالا هستند. این نیاز در نورخان‌ها با حجم هوای کم و بار داخلی بالا، منجر به استفاده از سامانه الکتریکی در ماه خرداد شده است. با توجه به عدم وجود بازشو در جداره نورخان‌ها (بنا به دلایل متعدد ازقبیل این‌که صرفا به عنوان نورگیر مورد استفاده قرار گرفته‌اند یا بهره‌گیری از تهویه و سرمایش مکانیکی، آلودگی صوتی درون نورخان و ...)، تهویه طبیعی درون نورخان‌ها وجود نداشته و ماندگاری هوا تاثیر حرارت را بر محیط داخلی نورخان‌ها تشدید می‌کند. در ساعات ابتدای روز دمای سطوح به دمای هوا نزدیک شده و تابش حرارت بر دمای داخلی نورخان می‌افزاید. ازاین‌رو می‌توان نتیجه گرفت که فضاهای نورخان موجود در ساختمان‌های شهر تهران نه تنها عملکرد اقلیمی قابل قبولی ندارند بلکه باعث اختلال در آسایش انسانی می‌شوند. با این حال به‌کارگیری روش‌های ایستا مانند ایجاد سایه‌اندازی، رطوبت‌زنی، و برقراری تهویه شبانه می‌تواند عملکرد اقلیمی نورخان‌های ساختمان‌ها را تا حد قابل توجهی بهبود بخشد.

مطالعه مقایسه‌ای توسط یانگ[۲۹]، بین ساختمان با طراحی اقلیمی ساختمان بلند یومینو مینارا[1] و ساختمان بلند و فرمال متعارف انجام شد. نتایج نشان داد که مصرف انرژی مورد نیاز برای دست‌یابی به آسایش حرارتی و روشنایی در ساختمان یومینو به‌طور قابل‌توجهی کاهش می‌یابد. مطالعات نشان داد که ساختمان بلند یومینو با بهره‌گیری از نورخان و از طریق باز کردن مجرای هوا در طبقه پیلوت و جلوگیری از گردش چرخان هوا در مقطع عمودی در مداری بسته[2] ، توانسته است در یک ساختمان عمیق، تهویه و نور طبیعی مطلوب را تسهیل و به حداکثر برساند.



تصویر ۱۲: نمایش سرعت هوا به سمت بالا (شکل چپ) و نمودار دما[3] (شکل راست) در برشی از نورخان ساختمان یومینو. منبع[۲۹]

بر اساس فرضیه‌ای از اصل اثر ونتوری، زمانی‌که سیال از طریق یک سطح محدود عبور می‌کند، سرعت سیال افزایش می‌یابد و فشارسیال کاهش می‌یابد[۳۲]. درپژوهشی بر روی آب و هوای گرم و مرطوب مالزی نشان داده شد که کاهش اندازه مساحت نورخان، فشار باد را در ناحیه میانی کاهش می‌دهد که اصل اثر ونتوری آن را تایید می‌کند. با کاهش فشار باد و افرایش سرعت باد در ناحیه میانی، میزان تهویه فضاهای مورد مطالعه افزایش می‌یابد. در نتیجه، سطح آسایش بیشتری را برای ساکنان ساختمان فراهم می‌کند[۳۳].

از جمله مشکلاتی که درمعماری نورخان وجود دارد این است که برای حفظ زیبایی‌شناسی ساختمان، مهندسان معماری همیشه توصیه می‌کنند کندانسورهای اسپلیت را در فضاهایی نظیر نورخان پنهان کنند. افزایش درجه حرارت اطراف کندانسورهای اسپلیت، دمای و فشار خازن AC را افزایش می‌دهد که منجر به مصرف برق بالا و ضریب عملکرد پایین می‌شود. علاوه‌برآن این کار باعث گرمای شدید هوای داخل نورخان می‌شود و پرتاب باد گرم جداره‌ها و شیشه‌های نمای نورخان را گرم می‌کند و امکان تعویض هوای اتاق‌های مرتبط با نورخان را از بین می‌برد. و تهویه طبیعی در معرض خطر قرار می‌گیرد توصیه‌های زیر می‌تواند از این پدیده جلوگیری کند:

الف) کندانسورها صرفا در طبقات بالایی نورخان نصب گردند ب) استفاده از تهویه مکانیکی با به کارگیری کانال خروج هوا و یا تهیه هوای تازه برای نورخان، مشکل گرمای بیش از حد کندانسورهایی که در نورخان نصب شده اند را می تواند حل می کند[۳۴].

1 Menara UMNO
2 inverted double pitched roof wind scoops
3 temperature gradient

در نظرسنجی [۸] که از ارزیابی شرایط محیطی واقعی فضای نورخان انجام شد نتایج نشان داد که اگرچه محیط تقریبا رضایتبخش است. با این حال، معلوم شد که تفاوتی بین ذهنیت (ساکنان) چهار ساختمان مورد بررسی در نوع رضایتمندیشان وجود دارد و به نظر می‌رسد این به دلیل شرایط کالبدی ساختمان‌های آنها است. ایجاد محیطی درخشان (نورانی)، با ابزارهایی که برای به کارگیری نور روز و یا تابش خورشید در داخل نورخان استفاده شده است، افزایش رضایت کاربران را سبب شده است و بدون آن ابزارها و تکنولوژی، نور محیط نامطلوب است. تغییرات ایجاد شده در کیفیت نور، برای ساکنان قسمت بالایی نورخان مهم نیست. در طول شب، محیط تقریبا رضایتبخش است.هوای تازه با کیفیت در هر ساختمان تقریبا در دسترس است. در زمان نبود تهویه کافی، حساسیت بو ایجاد می‌شود و باعث ناراحتی کاربران می‌شود. اما نتایج ارزیابی حرارتی، چهاچوب مشخصی ندارد و به نظر می‌رسد که احساس حرارتی به طور مستقیم به شرایط فیزیکی بستگی دارد و محیط فیزیکی چهار ساختمان با ساخت و محل آنها کاملا متفاوت است. با این وجود ارزیابی های حاصل از نظرسنجی می تواند با استفاده از شبیه سازی ها یا آزمایش های تجربی، قابل درک شود.

به نظر می رسد سروصدای تولید شده در نورخان هم به عنوان یک مشکل باشد. کاربران سر و صدای گفتگو، تردد و بازیگوشی کودکان را به عنوان بیشترین منبع آلودگی صوتی می‌دانند. لذا برای کاهش میزان نویز باید برخی از استراتژی ها را انجام داد. برای مساحت مطلوب محیط نورخان، نیازی به تعیین عددی ثابت نیست، ولی می‌توان با تقریب، حداقل مساحت نورخان در سطح اشغال ساختمانی معین را تعیین کرد. از سوی دیگر، مطالعات بیشتر بر ارتباط نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل فیزیکی برای مشخص کردن وضعیت فیزیکی نورخان متمرکز خواهد شد.

به‌طورکلی می‌توان گفت که عملکرد اقلیمی نورخان متفاوت از شرایط پیرامونی و متاثر از آن بوده و در کاهش نیاز به سرمایش، گرمایش و تهویه مکانیکی نقش قابل‌توجه‌ای دارا است مطالعات اخیر نیز آشکار کرده است که این رفتار نورخان‌ها در همه اقلیم‌ها یکسان نیست و پدید آمدن ریزاقلیم در یک ساختمان به ویژگی‌های متعدد کالبدی و محیطی بستگی دارد. بسیار مهم است که تنظیمات نورخان در ساختمان‌ها برای افزایش تهویه طبیعی، مخصوصا برای بناهای بلندمرتبه، مورد توجه قرار بگیرد. امروزه در اکثر ساختمان‌ها بر عملکرد تهویه طبیعی، برای دست‌یابی به محیط زندگی سالم و راحت، کنترل خوبی وجود ندارد. دشواری کنترل و پیش بینی تهویه‌طبیعی در ساختمان به دلیل پیچیدگی و بی‌ثباتی باد است. با استفاده از نورخان و ترکیب آن با ابزارهای پیشرفته، می‌توان به تهویه و نور مطلوب دست یافت.

نتیجه گیری

نتایج حاصله از مقالات متعدد بر مفید بودن تهویه طبیعی تاکید دارند. استفاده ازنورخان به عنوان یک استراتژی غیرفعال در جهت رسیدن به تهویه مطلوب مطرح شده است. ولی این به تنهایی کفایت نمی‌کند و توجه به سایر پارامترهای اقلیمی و طراحی می‌تواند به کارایی این ایده کمک کند. از جمله این موارد می‌توان به نقش هندسه و ابعاد وتناسبات نورخان یا استفاده از گیاهان سبز، رطوبت زنی در محیط های خشک و ... برکارایی آن اشاره کرد. نسبت ارتفاع به عرض نورخان، موردی دیگر است که در مورد تهویه واحد طبقه همکف بررسی شده است و در نتیجه هر چه تعداد طبقات بیشتر باشد تهویه مطلوبتری در طبقه همکف اتفاق می افتد و عکس آن در طبقات بالایی، جریان هوا از سرعت کمتری برخوردار است و حتی هوای آلوده در نواحی بالاتر تجمع می‌کند. با استفاده از حفره‌های افقی (حفره در طبقه پایین و در طبقات میانی) که به عنوان مکمل حفره‌های عمودی (نورخان) است می‌توان سرعت یکنواخت جریان هوا و دسترسی به هوای تازه را در نورخان ایجاد کرد. نورخان برای مناطق شلوغ و پر و سر و صدا و آلوده شهری ایده مطلوبی است درصورتی‌که مکش و جریان هوا در این فضاها به خوبی انجام شود که درغیرآن‌صورت می‌تواند عواقب بدی برای استفاده‌کننده‌ها داشته باشد در این شرایط یک شیوه مکمل دیگر می‌تواند سیستم دودکشی باشد که با ترکیب نورخان با آن، حتی در روزهایی که سرعت مطلوب هوا وجود ندارد می‌توان به تهویه هوای نورخان و فضاهای مورد استفاده کاربران امیدوار بود. علاوه بر آن تهویه شبانه به‌خوبی می‌تواند در این فضاها انجام گیرد و مفید باشد. حتی در ساختمان‌های با سطح اشغال بالا، با انجام بررسی دقیق و طراحی نورخان، می‌توان به عملکرد مثبت اقلیمی دست یافت زیرا سطح اشغال بالا درسایت طراحی، لزوما به ناراحتی‌های حرارتی منجر نخواهد شد و یا کل ساختمان را از حالت غیرفعال به حالت خنک‌کننده مکانیکی تبدیل نمی‌کند. هم چنین در فضای نورخان از قراردادن دستگاه‌های مکانیکی که ایجاد حرارت و آلودگی و سرو صدا می‌کنند باید پرهیز کرد و در صورت استفاده، تمهیدات لازمه اندیشیده شود. در برخی از یافته‌ها بر تاثیر مثبت کشیدگی نورخان در راستای جهت موافق باد اشاره شده است ولی عملکرد اقلیمی نورخان به‌طورکلی چندان متاثر از جهت باد نیست و پژوهش‌ها فارغ از جهت باد موضوع را بررسی کرده‌اند.

با این وجود حلقه مفقوده بین مقالات زیاد است. عملکرد اقلیمی نورخان، متفاوت از شرایط پیرامونی و متاثر از آن بوده و در کاهش نیاز به سرمایش، گرمایش و تهویه مکانیکی نقش قابل توجه‌ای دارا است مطالعات اخیر نیز آشکار کرده است که این رفتار

نورخان‌ها در همه اقلیم‌ها یکسان نیست و پدید آمدن ریزاقلیم در یک ساختمان بستگی به ویژگی‌های متعدد کالبدی و محیطی دارد. از جمله پارامترهای تاثیرگذار بر کارایی تهویه طبیعی نورخان در شرایط مختلف می‌توان به شکل هندسی بنا و نورخان، سرعت و جهت جریان هوای محیطی، درجه حرارت هوا و میزان اختلاف شبانه‌روزی دمای محیطی، میزان رطوبت محیط، در معرض تابش مستقیم بودن یا نبودن نورخان، بافت کالبدی پیرامونی بنایی که نورخان در آن قرار دارد، کاربری فضاهایی که در بنا وجود دارد و در ارتباط مستقیم با نورخان می‌باشد، عوامل و وسایلی که به طور مستقیم بر کیفیت هوای نورخان تاثیر می‌گذارند و این که آیا از سیستم‌های مکمل نورخان نظیر سیستم دودکشی، فن ها و ... استفاده می‌کنند یا خیر و ... را نام برد.

نتیجتاً این که آیا می‌توان این پژوهش‌ها را به شرایط آب و هوایی متفاوت تعمیم داد و چگونه در هر شرایط اقلیمی می‌توان به کارایی مطلوبی از نورخان رسید سوالی است که می‌تواند در پژوهش‌های آتی جواب داده شود.

منابع

[1] Lomas KJ. 2007. Architectural design of an advanced naturally ventilated building form. Energy and Buildings;39(2):166-81.

[2] Muhsin F, Yusoff WFM, Mohamed MF, Sapian AR. 2017. CFD modeling of natural ventilation in a void connected to the living units of multi-storey housing for thermal comfort. Energy and Buildings;144:1-16.

[3] Cheung JO, Liu C-H. 2011. CFD simulations of natural ventilation behaviour in high-rise buildings in regular and staggered arrangements at various spacings. Energy and Buildings;43(5):1149-58.

[4] Kim M-H, Hwang J-H. 2009. Performance prediction of a hybrid ventilation system in an apartment house. Energy and Buildings;41(6):579-86.

[5] Abdulkareem HA. 2016. Thermal comfort through the microclimates of the courtyard. A critical review of the middle-eastern courtyard house as a climatic response. Procedia-Social and Behavioral Sciences;216:662-74.

[6] Foruzanmehr A, Nicol F. 2008. Towards new approaches for integrating vernacular passive-cooling system into modern building in warm-dry climates of Iran. Air Conditioning and the Low Carbon Cooling Challenge; Windsor: London, UK.

[7] Ahmed BMA, Nassar KM, Asr A. 2014. Parametric Study of Light-Well Design for Day-Lighting Analysis under Clear Skies. International Journal of Engineering and Technology;6(1):81.

[8] Kotani H, Narasaki M, Sato R, Yamanaka T. 2003. Environmental assessment of light well in high-rise apartment building. Building and Environment;38(2):283-9.

[9] Kotani H, Satoh R, Yamanaka T. 2003. Natural ventilation of light well in high-rise apartment building. Energy and Buildings;35(4):427-34.

[10] Bednar MJ. The New Atrium. McGraw-Hill Inc. 1986.

[۱۱]. حسین مدی. ۱۳۸۶. بازنگری در طراحی فضاهای واسط: آتریو مها. معماری و فرهنگ: ۹.

[11] Meder S. 2003. Green Office. University of Hawaii, School of Architecture.

[12] Micallef D, Buhagiar V, Borg SP. 2016. Cross-ventilation of a room in a courtyard building. Energy and Buildings;133:658-69.

[13] Muhsin F, Mohammad Yusoff WF, Mohamed MF, Sapian AR. 2016. The Effects of Void on Natural Ventilation Performance in Multi-Storey Housing. Buildings;6(3):35.

[14] alah Ahadi A, Saghafi MR, Tahbaz M. 2018. The optimization of light-wells with integrating daylight and stack natural ventilation systems in deep-plan residential buildings: A case study of Tehran. Journal of Building Engineering;18:220-44.

[16] Tablada A, Blocken B, Carmeliet J, De Troyer F, Verschure H, editors. 2005. The influence of courtyard geometry on air flow and thermal comfort: CFD and thermal comfort simulations. Proceedings of 22nd conference on passive and low energy architecture.

[17] Tablada A. 2013. DESIGN RECOMMENDATIONS FOR NEW COURTYARD BUILDINGS IN COMPACT HISTORICAL CENTRE OF HAVANA.

[18] Zhou C, Wang Z, Chen Q, Jiang Y, Pei J. 2014. Design optimization and field demonstration of natural ventilation for high-rise residential buildings. Energy and Buildings;82:457-65.

[19] PARIA SAADATJOO MM, 3SHIVA NAJAF KHOSRAVI, 4NADER KAVEH. Oct.-2016. EFFECT OF COURTYARD PROPORTION ON NATURAL VENTILATION EFFICIENCY. International Journal of Advances in Mechanical and Civil Engineering, ISSN: 2394-2827;Volume-3(Issue-5.(

[20] Sapian AR. 2004. Possibilities of Using Void to Improve Natural Cross Ventilation in High-Rise
Low-Cost Residential Building (HRLCRB). Universiti Teknologi Malaysia.

[21 Farea TG, Ossen DR, Alkaff S, Kotani H. 2015. CFD modeling for natural ventilation in a lightwell connected to outdoor through horizontal voids. Energy and Buildings;86:502-13.

[22] Kotani H, Satoh R, Yamanaka T. 1997. Stack effect in light well of high rise apartment building. Proc IIR Int Sym Air Conditioning in High Rise Buildings;97:628-33.
[23] Cherier M, Benouaz T, Bekkouche S, Hamdani M. 2018. Some solar passive concepts in habitat through natural ventilation case study: Dry climate in Algeria Ghardaia. Case Studies in Thermal Engineering;12:1-7.
[24] Jamaludin AA, Hussein H, Ariffin ARM, Keumala N. 2014. A study on different natural ventilation approaches at a residential college building with the internal courtyard arrangement. Energy and Buildings;72:340-52.
[25] Lomas KJ, Cook MJ, Fiala D. 2007. Low energy architecture for a severe US climate: design and evaluation of a hybrid ventilation strategy. Energy and Buildings;39(1):32-44.
[26] Krausse B, Cook M, Lomas K. 2007. Environmental performance of a naturally ventilated city centre library. Energy and Buildings;39(7):792-801.
[27] Haw LC, Saadatian O, Sulaiman M, Mat S, Sopian K. 2012. Empirical study of a wind-induced natural ventilation tower under hot and humid climatic conditions. Energy and Buildings;52:28-38.
[۲۸]. سیدمجید مفیدی، سید باقر حسینی ،حسین مدی. بررسی عملکرد اقلیمی نورگیرهای داخلی ساختمانهای اداری. نشریه علمی- پژوهشی انجمن علمی معمار ی و شهرسازی ایران.۹.
[29] Farea TG, Ossen DR, Isah A. 2012. Common configuration of light-well in high-rise residential buildings in Kuala Lumpur. 4th International Network for Tropical Architecture (iNTA) National University of Singapore:1-8.
[۳۰]. محمدابراهیم زراعی، سید فضل الله میردهقان. ۱۳۹۵. نقش الگوی حیاط مرکزی در تعدیل شرایط سخت اقلیم گرم و خشک منطقه یزد. شهر ایرانی اسلامی.
[31] Gallo Ormazábal I, Garcia Navarro J, Sánchez de la Flor FJ, Salmerón Lissén JM, Sánchez Ramos J, González Díaz MJ. 2014. Cross Ventilation CFD Modeling: Characterization and Study of Different Façade Openings Configurations at the Refurbishment of a Residential Building in Málaga (Spain)
[32] Muhsin F, Yusoff WFM, Mohamed MF, Rasani MRM, Sapian AR. 2006. Potential of voids to enhance natural ventilation in medium cost multi-storey housing (mcmsh) for hot and humid climate.
[33] PIMOLSIRI PRAJONGSAN 1 SS. 2012. The Ventilation Shaft: An alternative passive cooling strategy for high-rise residential buildings in hot-humid climates. PLEA2012 - 28th Conference, Opportunities, Limits & Needs Towards an environmentally responsible architecture Lima.
[34] Nada S, Said M. 2018. Solutions of thermal performance problems of installing AC outdoor units in buildings light wells using mechanical ventilations. Applied Thermal Engineering;131:295-310.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی