فصلنامه تحقیقات مکانیک کاربردی
تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۵/۱۷- تاریخ پذیرش:۱۳۹۶/۷/۱۰
دوره۹. شماره ۳. زمستان ۱۳۹۶

تبیین روش‌های طراحی معماری و مکانیکی برای خلق شرایط آسایش انسان در فضای معماری

میثم شفیعی*[۱]، سید غلامرضا اسلامی[۲]
۱- دانش آموخته دوره دکتری معماری ، دانشگاه آزاد اسلامی ، واحد علوم و تحقیقات ، تهران ، ایران (مسئول مکاتبات)
۲- استاد دانشکده معماری، پردیس هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، ایران
m.shafiei@tiau.ac.ir

چکیده:
از عوامل اساسی که بر ذهن و سیستم دستگاه حسی انسان در خلق فضای پیرامون آن موثر واقع می‌شود، تـامین آسایش حرارتی در فضاهای انسان ساخت است. این مهم، یکی از عمده ترین اهـداف در طراحی معماری بـه‌شمار می‌رود زیرا در چنین شرایطی است که افراد ساکن در محیط مصنوع می‌توانند با حداکثر کارایی و توان فکری و جسمی، فعالیت یا استراحت نمایند. در شرایطی انرژی مصرفی برای شیوه کارکرد و نوع تهویه مطبوع به کارگرفته شده در صنعت ساختمان کشور، بیشترین سهم مصرف انرژی در این بخش را به خود اختصاص می‌دهد که بسیاری از اینگونه سیستم ها شرایط آسایش مورد انتظار را ایجاد نمی‌کنند و در ضمن آن ، مسائلی همچون طول عمر کوتاه و هزینه تعمیر و نگهداری قابل توجه، ضرورت اتخاذ تدابیر مناسب در فاز طراحی را ایجاب می‌نماید. در این راستا هم اندیشی مهندسان معمار و طراحان سیستم‌های تاسیسات و تامین انرژی ساختما ، بستری برای ایجاد طرح های پیشرو در این زمینه را فراهم می‌آورد. این تحقیق به منظور دستیابی به منظری مشترک در رابطه با ایجاد شرایط آسایش محیطی انسان، میان رویکردهای اکولوژیکی و تکنولوژیکی در زمینه طراحی سیستم‌های تهویه مطبوع برای فضاهای معماری و سکونتگاه‌های شهری، صورت پذیرفته است.

کلید واژگان: آسایش حرارتی، تهویه مطبوع ، تهویه طبیعی، تهویه مکانیکی ، تهویه هیبریدی

Explaining architectural and mechanical design methods for creating human comfort in the architectural space

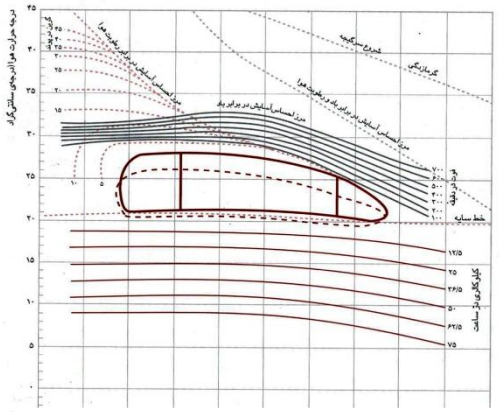
Maisam Shafiei*[1],Seyed Gholamreza Islami[2]
1- Maisam Shafiei , Ph.D. Candidate, faculty Of Art & Architecture, Science and Research Branch Islamic Azad University. (Corresponding Author)
2- Seyed Gholamreza Islami, Associate professor, Department of Architecture, University College of Fine Arts, University of Tehran, Tehran, Iran
†Corresponding Author Email: m.shafiei@tiau.ac.ir

Abstract:
Thermal comfort is one of the most important factors affecting the human mind and body in creating the surrounding environment. This is one of the main goals of architectural design because in this situation, people who are in a habitable environment are able to maximize their effectiveness in physical and intellectual activities. While the largest share of energy consumption in the construction industry determines the type and function of the air conditioning system, many of these systems are not able to provide the expected comfort conditions for residents. Issues such as life expectancy and significant maintenance costs require the adoption of appropriate measures in the design phase of air conditioning systems. In this regard, the participation of architects and engineers in the fields of facilities and energy supply will provide the building for the establishment of leading projects in the air conditioning. This research has been carried out to support the ecological and technological approaches to designing for air conditioning systems in architectural spaces and urban settlements in order to achieve a common perspective on creating human environ mental conditions.

Keywords: *Thermal comfort, air conditioning, natural ventilation, mechanical ventilation, hybrid ventilation*

مقدمه

از عوامل اساسی که بر ذهن و سیستم حسی انسان در خلق فضای پیرامون آن موثر واقع می‌شود تامین آسایش حرارتی افراد در فضاهای انسان ساخت است که یکی از عمده-ترین اهداف در طراحـی معماری به شمار می‌رود زیرا در چنین شرایطی است که افراد ساکن در فضا می‌توانند با حداکثر کارایی و توان فکری و جسمی فعالیت یا استراحت نمایند. (کسمایی، ۱۳۸۹،۲۳)



تصویر-۱. نمودار زیست - اقلیمی (سایکومتریک) (مأخذ: کسمایی، ۱۳۸۹، ۳۲)

ایجاد تعادل حرارتی بین بدن و محیط اطراف، از جمله نیازهای اولیه برای تامین سلامتی و آسایش انسان است.

برای برقراری این تعادل، علی رغم تغییرات زیاد درجه حرارت هوای اطراف بدن، دمای پوست باید ثابت بماند یا فقط به میزان بسیار کمی تغییر کند. ایجاد چنین تعادلی به ترکیب عوامل مختلفی بستگی دارد که پرکاربردترین سنجه مورد استفاده در این زمینه نمودار زیست اقلیمی است (تصویر-۱). بعضی از این عوامل ویژگی‌های متابولیکی شخص، فعالیت فیزیکی، نوع لباس و عادت وی به هوای محیط اطراف است و عوامل دیگر آن عبارتند از : درجه حرارت هوا، تابش آفتاب ، رطوبت و جریان هوا که در کل "عناصر اقلیمی" نامیده می-شوند. آسایش دمایی حالتی است که فرد برای تغییر شرایط دمایی محیط هیچ اقدام رفتاری را انجام ندهد. در تعریف استاندارد اشری آسایش دمایی شرایطی ذهنی است که احساس رضایت از شرایط دمایی محیط را بیان می‌کند. (واتسون ،۴۰،۱۳۸۸-۵۳).

تاثیر مکانیزم تهویه هوای محیط در ایجاد شرایط مطلوب محیطی و آسایش حرارتی انسانی

تهویه با عنوان انگلیسی venture که ریشه در لغت Ventilation دارد، در فرهنگ لغت علامه دهخدا به معنای هوا دادن و عوض کردن هوای اطاق و محوطه اشاره می‌کند و به معنای حرکت هوا یا تغییر مکان هوا می‌باشد. در طی فرایند تهویه هوای داخل ساختمان بوسیله هوای تازه بیرون (به روش جابه جایی و رسوبی) جایگزین می‌شود. عملکرد تهویه برای سلامت این است که اکسیژن مورد نیاز برای تنفس ساکنین و سوخت وسایل داخل ساختمان را تامین کند و از انباشته شدن دی اکسید کربن، همچنین ایجاد بو در داخل فضا جلوگیری نماید (روشن بین ،۱۲،۱۳۷۱-۴۷).

به طور کلی تهویه طبیعی در ساختمان دارای سه عملکرد مختلف است که به ترتیب عبارتند از :

۱) تامین هوای قابل تنفس در داخل ساختمان از طریق جانشین سازی هوای تازه خارجی با هوای آلوده و مصرف شده داخلی. این عملکرد را تحت عنوان " تهویه برای سلامت " مورد بررسی قرار می‌دهیم .

۲) ایجاد آسایش فیزیکی از طریق بالا بردن میزان کاهش دمای اضافی بدن با تبخیر عرق ایجاد شده بر روی پوست. همچنین از طریق برطرف کردن ناراحتی ناشی از خیس شدن بدن از عرق. این عملکرد را نیز تحت عنوان "تهویه برای آسایش"بررسی می‌کنند. سرعت مطلوب جریان هوا برای ایجاد آسایش در داخل ساختمان، به دمای آن هوا بستگی دارد. هرچه هوا گرمتر باشد، این سرعت باید بیشتر باشد . البته این رابطه تا زمانی برقرار است که دمای پوست بدن انسان (۳۵ درجه سانتیگراد) با دمای هوای اطراف یکسان شود. وقتی هوا از ۳۵ درجه سانتی گراد بیشتر باشد، افزایش سرعت هوا باعث افزایش حرارت جذب شده بدن از طریق جابه جایی می شود. ولی اثر نهایی سرعت باد بر بدن، به رطوبت هوای در حال جریان، نوع پوشش و قدرت متابولیکی بدن بستگی دارد .

۳) ایجاد آسایش فیزیکی در داخل ساختمان از طریق خنک سازی توده مصالح ساختمان، هنگامیکه هوای داخل گرمتر از هوای خارج است. این عملکرد را تحت عنوان " تهویه برای خنک سازی ساختمان " مورد بررسی قرار می‌دهند . (Kleiven,2010,107-144).

اساس راهکارها و نگرش های مهندسی در رابطه با مکانیزم تهویه در ساختمان

خیس شدن بدن از عرق. این عملکرد را نیز تحت عنوان "تهویه برای آسایش" بررسی می‌کنند. سرعت مطلوب جریان هوا برای ایجاد آسایش در داخل ساختمان، به دمای آن هوا

بستگی دارد. هرچه هوا گرمتر باشد، این سرعت باید بیشتر باشد. البته این رابطه تا زمانی برقرار است که دمای پوست بدن انسان (۳۵ درجه سانتیگراد) با دمای هوای اطراف یکسان شود. وقتی هوا از ۳۵ درجه سانتیگراد بیشتر باشد، افزایش سرعت هوا باعث افزایش حرارت جذب شده بدن از طریق جابه جایی می‌شود. ولی اثر نهایی سرعت باد بر بدن، به رطوبت هوای در حال جریان، نوع پوشش و قدرت متابولیکی بدن بستگی دارد .

اساس راهکارها و نگرش های مهندسی در رابطه با مکانیزم

در این رابطه ۳ رویکرد قابل طرح می‌باشد:

۱) نگرش تکنولوژیکی: به عقیده این گروه هر مشکلی دارای یک پاسخ و راه حل تکنولوژیکی است. لذا تمرکز مهندسان در این رویکرد بر استفاده و ایجاد جذابیت در تجهیزات الکترونیکی و صنعتی نوین تهویه مطبوع برای مصرف کنندگان است. چالش‌های روزافزون در مقوله انرژی در سطح جهان و پروتکل های ارائه شده برای دستیابی به توسعه پایدار اساسی ترین تعارض و تقابل با شیوه‌های این نوع نگرش می‌باشد . همچنین موارد زیر هم از عمده ترین اشکالات مرتبط با این رویکرد قابل ذکر هستند :

الف- پیچیدگی سیستم‌های تکنولوژیکی تهویه مطبوع علاوه بر اشغال فضا و انرژی و ایجاد مزاحمت صوتی نیازمند مهارت در استفاده از آنها می‌باشد که موجب ایجاد هزینه تعمیر و نگهداری قابل توجه به غیر از سرمایه گذاری اولیه می‌باشد.

ب- سیستم‌های تکنولوژیکی تهویه، دارای عمر خدمت کوتاهی نسبت به ساختار ساختمان می‌باشد. از طرفی بازسازی یا نوسازی سیستم تهویه مکانیکی به دلیل وجود داکت‌هایی که با سازه ساختمان در گیر هستند، مدت عمر ساختمان را کاهش می‌دهد. در نتیجه سیستم تهویه مکانیکی بخش بزرگی از هزینه‌های ساختمان را شامل می‌شود(شفیعی،۱۳۸۴).

ج- بسیاری از اینگونه سیستم‌ها هوای مطلوب مورد نظر را ایجاد نمی‌کنند که این موضوع در تحقیقات، به نام سندروم ساختمان بیمارمعروف شده است.

۲) نگرش اکولوژیکی: حامیان این نوع نگرش معتقد به برهورد با مسائل به صورت اساسی و از ریشه می‌باشند. توسعه پایدار که در جوامع بشری از آن یاد می‌شود، به عنوان یکی از اهدافش پایداری محیطی را مطرح نموده و روی چرخه انرژی پاک یا انرژی تجدید پذیر متمرکز می‌شود. تهویه طبیعی در ساختمان‌های سنتی می‌تواند به کمک معماری شتافته و بدینوسیله می‌تواند پایداری را در معماری با بهره از ظواهر معماری سنتی که مطابق با اصول توسعه پایدار در مقوله انرژی است، بدست آورد. تهویه طبیعی مثل استفاده از انرژی باد و اجتناب از به کارگیری انرژی های آلاینده، استخوانبندی و شاکله معماری را با طبیعت در هم آمیخته است. که از یکسو انرژی پاک و بازیافتی را تهیه کرده و از سوی دیگر در تامین سلامتی انسان نقش دارد . (شفیعی،۱۳۸۴).

۳) نگرش هیبریدی یا ترکیبی: این نگرش حلقه واصل بین دو دیدگاه قبلی است که تکنولوژی را نفی نمی‌کند بلکه آن را جزیی از طبیعت می‌داند که باید در هماهنگی با آن عمل نماید. لذا سعی در استفاده مفید از امکانات و حذف موانع در هر دو سیستم تکنولوژیکی و اکولوژیکی از اهداف پیشروان آن می‌باشد (شفیعی ،۱۳۸۴). ظهور و تجلی ترین ساختمانهای انرژی صفر در این شهر، ساختمان آژانس بین‌المللی انرژی‌های تجدیدپذیر (IRENA) است که به "ساختمانی نمادین" در عمارت‌های سازگار با آب و هوا و محیط زیست در این منطقه تبدیل شده است .(تصویر-۳) (http://www.masdar-city.com/thread400.html).

تصویر -۲ . سلولهای خورشیدی چتری در شهر مصدر

تصویر-۳. ملاحظات ساختمان آژانس بین‌المللی انرژی‌های تجدیدپذیر شهر مصدر (مأخذ: نگارندگان)

آرمان‌های این نوع نگرش را به عنوان نمونه می توان در طراحی و ساخت پروژه بلند پروازانه شهر "مصدر" در امارات متحده عربی می‌توان مشاهده نمود. با وجود قرارگیری در موقعیت بیابانی در این شهر بیش از ۷۵۰۰۰۰، پانل‌خورشیدی با استفاده از آخرین دستاوردهای تکنولوژیکی به کار گرفته شده است. تامین تمامی انرژی مورد نیاز این شهر در بخش مسکن و حمل و نقل از منابع تجدید پذیر می‌باشد. (تصویر-۳) به منظور تهویه موثر و کارآمد کل این شهر رو به شمال شرقی است تا جریان بادهای خنک شب بیشترین مقدار باشد و قرار گرفتن آن در معرض بادهای گرم روز کاهش یابد. همچنین در اطراف آن دیواری برای محافظت بیشتر در مقابل بادهای شدید منطقه بیابانی لحاظ شده است.

ساختار کالبدی تهویه مکانیکی

از منظر طراحان و مهندسان مکانیک و تاسیسات با تکید بیشتر بر ابعاد تکنولوژیکی، کلیه تجهیزاتی برودتی و حرارتی که وظیفه ایجاد شرایط رفاه برای انسان شود تهویه مطبوع نامیده می‌شود. این وسایل سه عامل مهم رطوبت و دما و سرعت جریان هوا را به کنترل در می‌آورند. تهویه مطبوع‌ها جدای این سه عامل گرد و غبار را از بین می‌برند، هوای محیط را پاکیزه و میکروب‌های آن را نیز حذف می‌کنند. این سیستم-ها خود به انواع گوناگونی تقسیم بندی می‌شوند که هرکدام با توجه به شرایط محیطی و آب و هوایی مورد استفاده قرار می-گیرد.

اما به طور کل در ساختار تاسیسات تهویه مکانیکی بخش-های عمده ذیل قابل ذکر هستند :

۱- سیال ناقل حرارت (هوا ،آب و ...)، اواپراتور یا دستگاه تبخیر کننده که با دریافت حرارت سیالی را از فاز مایع به فاز گاز تبدیل می‌نماید.

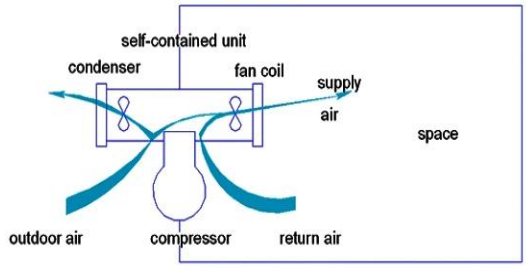
۲- کندانسور که وظیفه خنک‌سازی سیال عامل و عمدتاً تبدیل بخار به مایع را بر عهده دارد.

۳- کمپرسور یا دستگاه متراکم کننده که برای فشرده کردن گازها استفاده می‌شود. در حقیقت کمپرسورها وسایلی هستند که با صرف انرژی مکانیکی، سیال را با سرعت به درون خود مکیده و سپس آن را فشرده می‌سازند. در اثر این عملیات، دمای گازی که فشرده می‌شود نیز افزایش می‌یابد. معمولاً گاز پر فشار خروجی از کمپرسورها را از یک سیستم خنک‌کننده عبور می‌دهند تا دمای گاز دوباره به حد معمولی بازگردد.

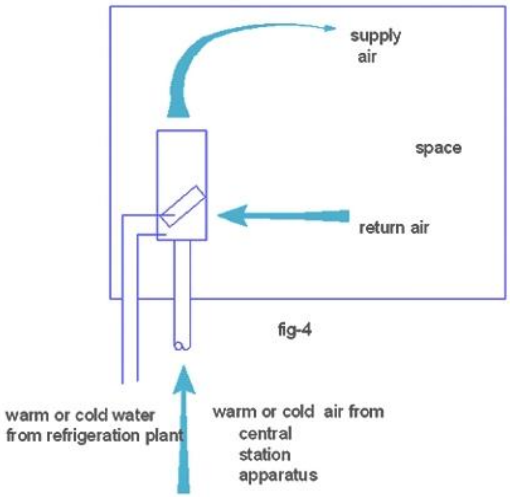
۴- فن کویل که معمولاً به دو صورت مورد استفاده قرار

می‌گیرند. در حالت اول فن کویل فقط حرارت و برودت مورد نیاز را تأمین می‌کند و هوای تازه توسط هوارسان مرکزی و بوسیله کانال‌های توزیع هوا در سطح محل منتشر می‌گردد تا تهویه مناسب در محل مورد نظرانجام گیرد. در این حالت میزان بار سرمایی وگرمایی توسط ترموستات بکار رفته در فن کویل و با خاموش و روشن شدن فن تنظیم می‌گردد. در حالت دوم علاوه بر تأمین حرارت و برودت مورد نیاز، وظیفه تأمین هوای تازه را نیز بعهده دارد. بدین صورت که فن دستگاه، هوای تازه را از طریق دریچه تعبیه شده در پشت فن کویل گرفته و در محل پخش می‌کند. در تصویر-۴ به صورت شماتیک عملکرد یک سیستم تهویه مطبوع مکانیکی از نوع انبساط مستقیم نشان داده شده است. این سیستم‌ها شامل یک واحد تهویه کننده خود کفاست که می تواند در داخل فضای مورد تهویه یا در مجاورت آن نصب شود. مایع مبرّد مستقیماً در داخل کویل‌های این واحد تبخیر گردیده هوای عبوری از روی کویل ها و در نتیجه فضای اتاق را خنک می‌کند.گرمایش فضای مورد تهویه می تواند توسط همین واحد و یا به طور جداگانه صورت پذیرد.

در گونه‌ای دیگر(تصویر-۵) با عنوان سیستم‌های تهویه مطبوع هوا- آب که بسیار کاربردی هم هست، آب گرم و یا آب سرد تهیه شده در دستگاه‌هایی که دور از فضای مورد تهویه قرار دارند، به داخل مبدّل حرارتی اتاق ارسال گردیده بخش اعظم بار حرارتی اتاق را جبران می‌کنند. از طرف دیگر مقداری هوای گرم یا سرد که آن نیز در یک دستگاه هواساز مرکزی تهیه شده، به اتاق فرستاده می‌شود که وظیفه تأمین تنها اندکی از بار حرارتی اتاق را بر دوش دارد ولی در عوض نیاز اتاق را به هوای تازه بر آورده می کند. (قدیری مقدم،۱۲،۱۳۸۵-۸۹).



تصویر- ۴ . طرح شماتیک سیستم تهویه مطبوع انبساط مستقیم(مأخذ: نگارندگان)



تصویر-۵ طرح شماتیک سیستم تهویه مطبوع هوا-آب(مأخذ: نگارندگان)

ساختار کالبدی تهویه طبیعی

در نگرش معماران با تمرکز بیشتر بر ابعاد اکولوژیکی، وضعیت تهویه طبیعی یا میزان تعویض هوای داخل یک ساختمان، از جمله عوامل اولیه و تعیین کننده سلامت و آسایش انسان است. تهویه طبیعی به دو صورت مستقیم و غیر مستقیم بر انسان تاثیر می‌گذارد. از یک سو پاکی و سرعت جریان هوا در داخل ساختمان به طور مستقیم بر انسان تاثیر می‌گذارد و از سوی دیگر ، وضعیت تهویه از طریق تاثیر بر دما و رطوبت هوا و سطوح داخلی ساختمان به طور غیر مستقیم انسان را تحت تاثیر قرار می‌دهد (کسمایی،۱۳۶۹،۳۱). آنچه تحت عنوان " تاثیر باد بر ساختمان " مورد مطالعه قرار می-گیرد، عبارت است از تاثیر وزش باد بر تهویه طبیعی ساختمان. به طور کلی، ایجاد تهویه طبیعی در ساختمان به اختلاف فشاری که وزش باد در جداره های خارجی آن به وجود می-آورد بستگی دارد و جریان هوای ایجاد شده در اثر اختلاف دمای سطوح مختلف یک ساختمان در فضای داخلی آن قابل اغماض است و فقط وزش باد در چگونگی تهویه طبیعی و دمای هوای داخلی یک ساختمان و در نتیجه ، آسایش ساکنین آن تاثیر می‌گذارد. (واتسون،۱۳۸۸،۲۱۹). تهویه طبیعی بر اساس شیوه عملکرد از سه منظر قابل تعریف است :

۱) نیروهای طبیعی: شامل نیروهای محرک و اثر دودکشی

۲) اصول تهویه: تهویه یکطرفه ، تهویه عمودی یا دودکشی

۳) عناصر تهویه کننده: بادگیر، برج باد،دودکش ها،نمای دوجداره، آتریوم و دریچه‌های هواکش و... (جدول-۱-۵) (Alandji. L.R & Bilgen,2014,34)

راهکارهای تهویه طبیعی بر اساس شیوه عمل

الف- راهکارها با استفاده از روش‌های طراحی فضا و عناصر ارتباط دهنده فضاها

در رابطه با طراحی ساختمان برای بهره گیری از تهویه طبیعی سه عامل اساسی مورد توجه هستند:

الف- شکل حجم ساختمان: شامل فرم هندسی ، تو رفتگی و بیرون زدگی‌ها و تعداد طبقات، حیاط‌های مرکزی یا پیرامونی.
ب- جهت گیری ساختمان: به منظور بهره برداری حداکثری از جریان باد مطلوب با توجه به عواملی چون همسایگی‌ها ، پوشش گیاهی منطقه، عوارض توپوگرافی زمین و ... (تصویر-۵) (واتسون،۳۰۲،۱۳۸۸-۳۲۵) ج- نوع، نحوه بازشدن، ارتفاع محل نصب بازشوهای ساختمان به محیط بیرون و ارتباط آنها با یکدیگر در محیط درون تاثیر فراوانی در شکل و سرعت هوا در داخل اتاق دارد (تصویر-۷). به منظور بررسی و مطالعه ارتباط چگونگی حرکت هوا در داخل اتاق و ارتفاع پنجره-های ورود و خروج باد و تاثیر سایه بانها آزمایش‌هایی در مرکز تحقیقات دانشگاه پرینستون انجام شده است که نتایج آن به صورت نمودارهایی در تصویر- ۷ نشان داده شده است. در این آزمایش نمونه هایی با ابعاد و حجم مشابه انتخاب شده و با تغییر پنجره های رو به باد و پشت به باد ، حالات مختلف حرکت هوا در داخل آن مورد بررسی قرار گرفته است. همان-طور که در مشاهده می‌شود، اگر پنجره رو به باد در وسط دیوار و پنجره پشت به باد در قسمت فوقانی دیوار قرار داشته باشد ، هوا پس از ورود به طرف بالا (سقف) هدایت شده از پنجره پشت به باد خارج می‌شود .

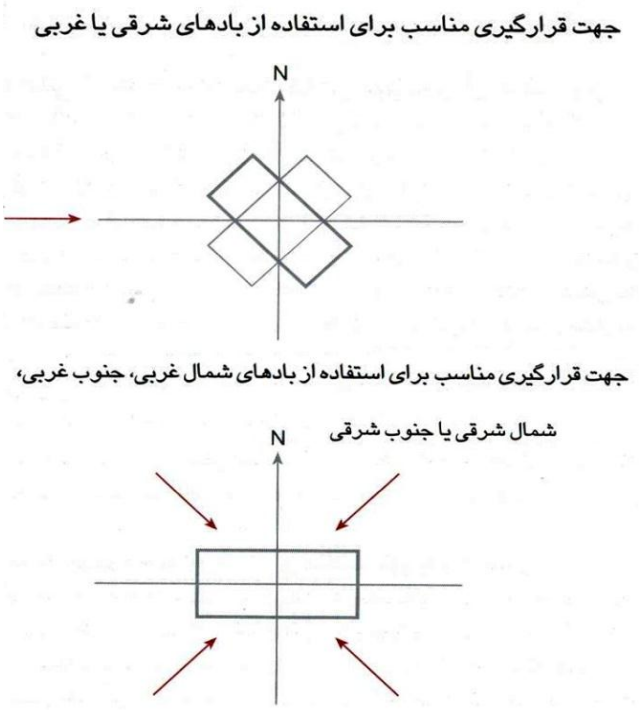
دسته بندی	ملاک دسته بندی	
نیروی ارشمیدس	نیروهای محرک طبیعی	
باد		
یک طرفه	اصول تهویه	
عبوری (دو طرفه)		
دودکشی		
بادگیر	سنتی	عناصر شاخص تهویه
خیشخان		
حیاط مرکزی		
حوضخانه		
شبستان		
ساباط		
دودکش	مدرن	
هواکش		
نمای دو پوسته		
آتریوم		
حفره تهویه		
داکت		
بازشوهای تهویه در نما		

جدول-۱ . ساختار کالبدی تهویه طبیعی(مأخذ: نگارندگان)

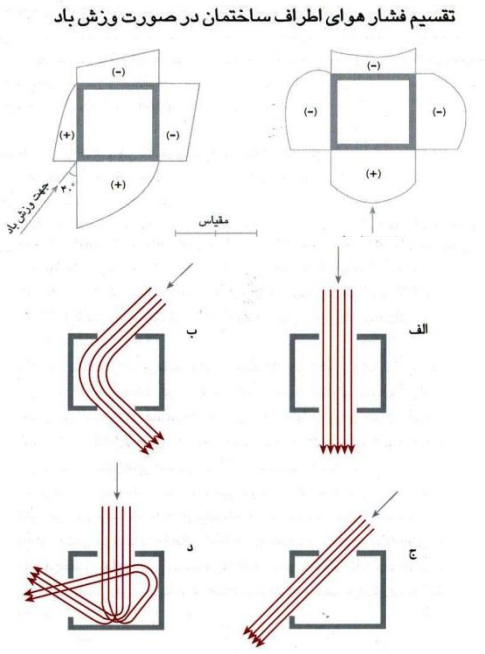
در نتیجه جریان هوا در منطقه‌ای که ساکنین حضور ولی تاثیری نخواهد داشت ولی اگر در این حالت در قسمت فوقانی یک سایه بان تعبیه شود به دلیل ایجاد منطقه پرفشارتری در بالای پنجره، جریان هوا به طرف قسمت فوقانی یک سایه بان تعبیه شود به دلیل ایجاد منطقه پرفشارتری در بالای پنجره، جریان هوا به طرف پایین (کف اتاق) رانده می‌شود. حال اگر در قسمت فوقانی پنجره یک نقاب افقی رو به پایین نصب شود دوباره جریان هوا به طرف سقف منحرف می‌شود. با حفظ این شرایط اگر پنجره خروج هوا را از بالا به پایین تغییر مکان دهیم، هوا پس از برخورد به سقف از قسمت انتهایی اتاق به پایین هدایت خواهد شد و از پنجره خروجی خارج می‌شود یعنی تغییری در شکل حرکت هوا در اتاق ایجاد نمی‌شود. حال اگر سایه بان و نقاب پنجره را برداریم و پنجره رو به باد را به طرف پایین انتقال دهیم یعنی همان حالت اول به استثنای ارتفاع کف پنجره، آنگاه جریان هوا به طرف کف اتاق و سپس به طرف پنجره خروجی هدایت می-شود. این اختلاف در نحوه حرکت به این دلیل است که در حالت اخیر، فشار هوا در قسمت فوقانی دیوار رو به باد بیشتر از فشار هوا در پایین پنجره است و در نتیجه، باد به طرف پایین منحرف می‌شود . اگر با حفظ این شرایط، درست در قسمت فوقانی پنجره یک سایه بان تعبیه کنیم، هوا دوباره به طرف سقف تغییر مسیر می‌دهد. البته در این حالت نیز با استفاده از شبکه‌های کرکره‌ای کرکره ای جلوی پنجره یا با ایجاد شکاف در محل اتصال سایه بان به دیوار می توان جریان هوا را دوباره به طرف پایین هدایت کرد . ولی اگر این شبکه‌های کرکره ای حذف شود ، بدون انکه محل خروجی باد تاثیری داشته باشد جریان هوا دوباره به طرف سقف منحرف می شود. یعنی در این حالت نیز محل پنجره تاثیری در شکل جریان هوا در داخل اتاق ندارد.

نوع بازشوی پنجره ها نیز در چگونگی حرکت هوا در داخل اتاق تاثیر می‌گذارد. وقتی بازشوی پنجره‌ای لولایی و یا ریلی باشد و در سطح افقی باز شود این بازشو تاثیری در شکل حرکت هوا نخواهد داشت. ولی پنجره‌هایی که حول یک محور افقی باز می‌شوند هوا را به طرف بالا هدایت می‌کنند مگر انکه آنها کاملا به طور افقی قرار گیرند. بنابراین مناسب ترین محل نصب این پنجره ها قسمت های پایین تر از مکانی است که ایجاد جریان هوا در آن مورد نیاز است. با استفاده از پنجره‌هایی که حول یک محور افقی به طرف بالا یا پایین باز می‌شوند، جریان باد را می توان به طرف بالا یا پایین هدایت کرد. اگر این پنجره‌ها درست در وسط دیوار قرار داده شوند و بتوانند تا

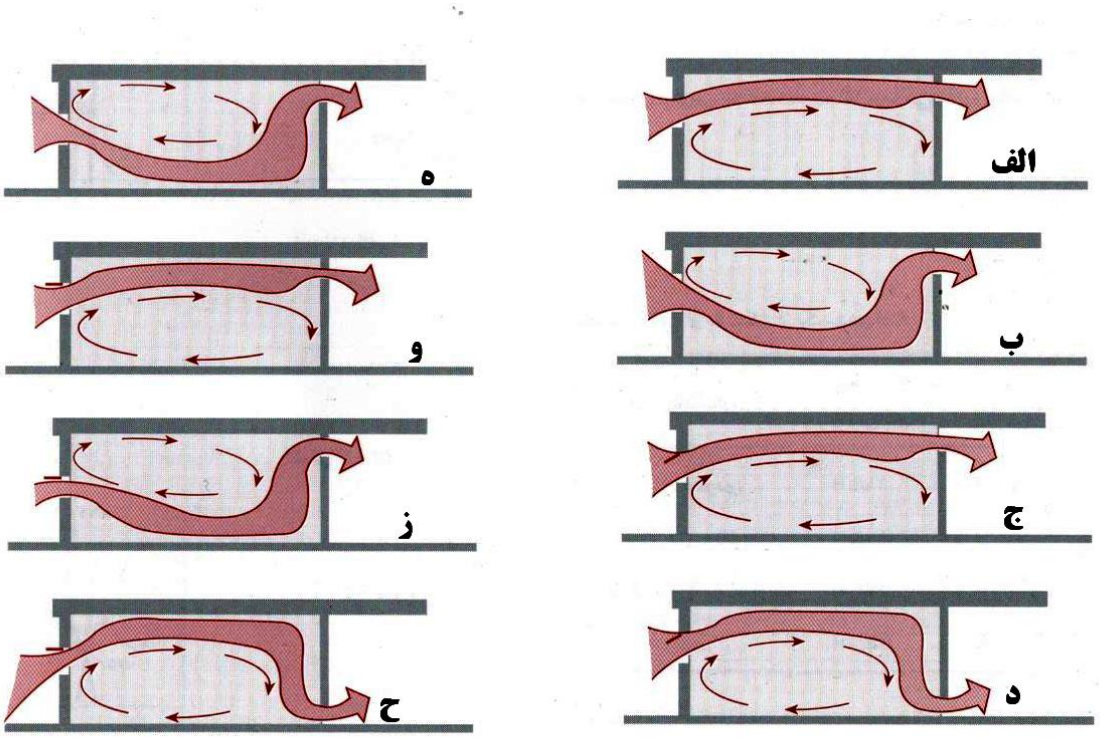
حدود ۱۰ درجه از خط افق در قسمت پایین و به سمت داخل باز شوند . مناسب ترین نوع پنجره از نظر هدایت جریان هوا به سمت ارتفاع های مورد نظر خواهند بود. به طور کل شالوده این شیوه کار شامل تولید و گردش هوا در ساختمان با ایجاد دو حفره یکی در جهت باد و دیگری در خلاف جهت باد، فشار هوای ایجاد شده در این حالت بر روی سطوح به ابعاد حفره ها بستگی دارد. حرکت هوا در فضای داخلی ساختمان ناشی از اختلاف فشار هوا در سطح خارجی آن است.این اختلاف فشار ممکن است نتیجه دو عامل اختلاف دمای هوای داخل و خارج ساختمان و وزش باد باشد. فشاری که در اثر اختلاف دما به وجود می‌آید، معمولا در تمام خالات بسیار کم است . بنابراین وزش باد عامل موثر و تعیین کننده حرکت هوا در داخل ساختمان محسوب می‌شود. هنگامیکه باد به صورت عمودی به ساختمانی مستطیل شکل می‌ورزد دیوارهای مقابل باد تحت فشار و دیوارهای پشت به باد تحت مکش یا فشار منفی قرار می‌گیرند.اگر باد به صورت مایل به ساختمان بوزد دو سطح مقابل باد تحت فشار و دو سطح دیگر آن تحت مکش قرار خواهند گرفت . بام ساختمان‌ها همیشه در منطقه مکش قرار می‌گیرد. از اختلاف فشاری که بدین صورت در سطوح ساختمان‌ها به وجود می‌آید برای ایجاد تهویه طبیعی و کوران در داخل آن استفاده می‌شود . (کسمایی،۱۳۶۹،۸۴-۹۳).



تصویر-۶. جهت گیری بهینه ساختمان (مأخذ: کسمایی، ۱۳۸۹)



تصویر-۷.. تاثیر فشار هوا بر جداره و موقعیت پنجره در تهویه طبیعی (مأخذ: کسمایی، ۱۳۸۹)

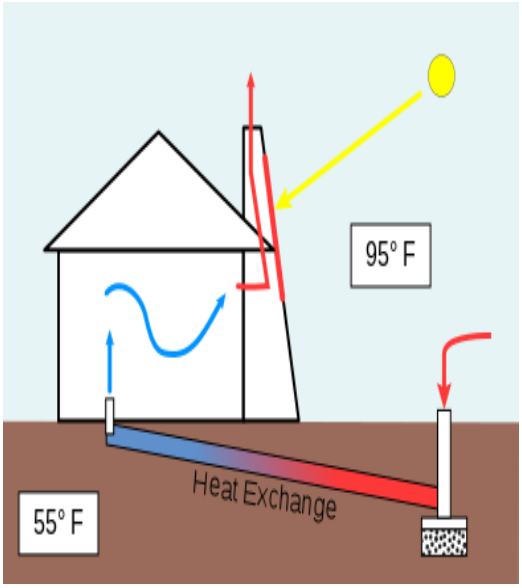


تصویر-۸. ارتباط جریان تهویه با موقعیت بازشوها (مأخذ: کسمایی، ۱۳۸۹)

ب- راهکارها با استفاده از به کارگیری عناصر الحاقی همچون بادگیرها و برج های تهویه خورشیدی

اساس نظری این شیوه تهویه در به کارگیری اصل اساسی کشندگی و مکندگی جریان سیالات می‌باشد. به گرایش برای بالارفتن هوا یا گازهای دیگر که به سبب پایین بودن چگالی هوای گرم نسبت به هوای اطراف خود رخ می‌دهد و در درون دودکش‌ها یا گذرگاه‌های عمودی دیگر دیده می‌شود اثر دودکش می‌گویند. هوا بر اثر تفاوت در دما و فشار جا به جا می‌شود و هرچه اختلاف دما بیشتر باشد سرعت این جابجایی بیشتر خواهد بود. هوای گرم تمایل دارد رو به بالا حرکت کند و از راه خروجی سامانه‌های تهویه و روزنه‌های دیگر خارج شود و جای خود را به هوای سردی که از سطوح پایین‌تر می‌آید می‌دهد. این موضوع در زمستان‌ها شدیدتر از تابستان‌ها است و می‌تواند از آن در جهت تهویه طبیعی هوا کمک گرفت .(بابک، ۱۳۸۹،۱۴۵).

استفاده از این اصل طبیعی و همچنین تحلیل تاثیر وزش باد موجب شکل گیری المانها و عناصری در معماری ساختمانها گردید که برای کشاندن هوای خوش به درون ساختمان و از عکس العمل نیروی آن یعنی مکش برای راندن هوای گرم و آلوده استفاده می‌شود. برج تهویه خورشیدی و بادگیرها از جمله این عناصر معمارانه هستند



تصویر-۹. دودکش خورشیدی (مأخذ: www.wikipedia.org ، ۱۳۹۵)

(Alandji.R & Bilgen,2014,14)

برج تهویه خورشیدی

برج تهویه خورشیدی یا دودکش خورشیدی از سه عنصر اصلی ساخته شده است:

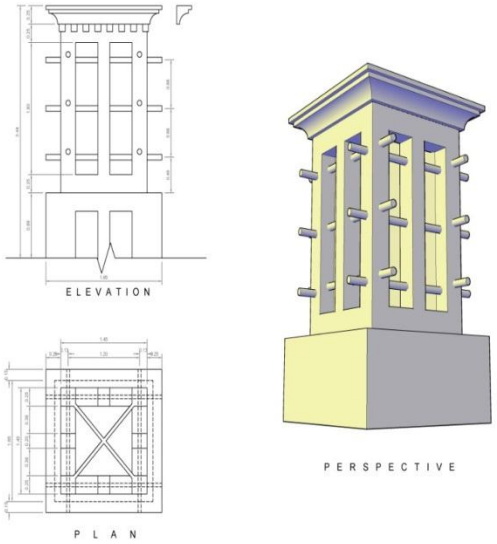
- جمع‌کننده هوا
- برج یا همان دودکش

- توربین‌های باد این دستگاه

این عنصر معمارانه سازه‌ای است که با استفاده از اثر دودکش دودکش به تهویه هوا کمک می‌کند. یک دودکش خورشیدی ساده می‌تواند از یک لوله سیاه‌رنگ (برای جذب بیشتر انرژی خورشیدی (با قطر مناسب تشکیل شده باشد که به اندازه چند متر از سقف خانه بالاتر است. در درون این دودکش‌ها ممکن است یک جرم حرارتی استفاده شود که به حفظ حرارت تا مدتی پس از غروب خورشید کمک می‌کند. به غیر از نصب بر روی بام، چنین دودکشی را می‌توان در دیواری از خانه که به سمت جنوب است، یا روی سطحی جداگانه که از بام ساختمان که بلندتر است نصب کرد. آزمایش‌ها نشان می‌دهد که شیب بهینه برای یک دودکش خورشیدی در عرض جغرافیایی کشور ، بین ۳۵° تا ۶۵° است که همان زاویه مناسب برای یک کلکتور خورشیدی است؛ این زاویه در طول روز تغییر می‌کند. با وجود تحقیقات بسیار، هنوز توافقی بر روی شکل و مشخصات دودکش خورشیدی مناسب حاصل نشده است؛ اما روشن است که هرچه پهنا و بلندای دودکش بیشتر باشد، بازدهی آن بالاتر است. برای جلوگیری از خارج‌شدن هوای گرم در زمستان و کمک به تهویه در تابستان می‌توان از یک فن قابل تغییر جهت دور در داخل دودکش بهره جست. همچنین روشی برای ورود هوای جایگزین باید در نظر گرفته شود. در مناطق بسیار گرم که آفتاب در مدت زیادی از روز می‌تابد، ممکن است از دو دودکش خورشیدی یکی در غرب (تهویه در بعد از ظهر) و دیگری در شرق ساختمان (برای تهویه در صبح هنگام) استفاده شود (تصویر-۹) (Alandji . R & Bilgen,2014,321-375).

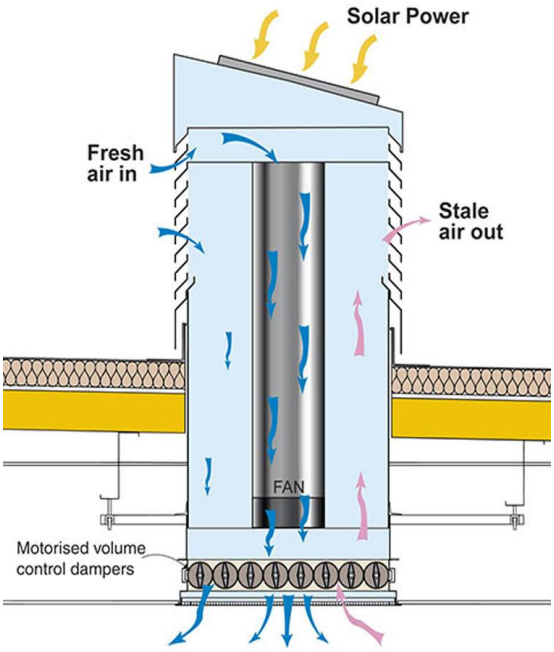
بادگیر

استفاده از بادگیر از سال‌های بسیار قدیم در ایران متداول بوده است. بادگیرها با اشکال مختلف در شهرهای مرکزی و جنوب ایران ساخته شده که هر کدام بر حسب ارتفاع و جهت باد مطلوب طراحی و اجرا شده‌اند. بادگیر برج‌هایی هستند که برای تهویه بر بام خانه‌ها ساخته می‌شود. عملکرد بادگیرها بر اساس اصل کشش دهانه‌های رو به باد و مکش دهانه‌های پشت به باد و همچنین تاثیر دمای هوا زیرزمین‌ها فرستاده می‌شود. به این ترتیب، باد مطلوب وارد بخش‌های مختلف ساختمان می‌گردد و باعث تهویه و خنکی آن می‌شود. بعضی از بادگیرها هم از طریق جابجایی هوا و هم از طریق تبخیر این عمل را انجام می‌دهند. سیستم برودتی بادگیر باغ دولت‌آباد از طریق روش دوم است؛ بدین صورت که جریان هوا پس از ورود به داخل ساختمان از روی یک حوض سنگی کوچک و فواره رد می‌شود و سپس از آنجا به سایر اتاق‌ها هدایت می‌گردد اتاق زیر بادگیر که حوض و فواره در آن قرار دارد به صورت هشتی (هشت ضلعی) است و درهای متعددی در آن وجود دارد. در هر زمان که نیاز به خنک نمودن اتاق خاصی باشد، در بین آن اتاق و اتاق هشتی زیر بادگیر را باز می‌نمایند. بادگیر از عناصر و سمبل‌های معماری ایرانی هستند ولی امروزه در بسیاری از کشورها استفاده می شود به ویژه آنکه با تلفیق شیوه عمل این عنصر با تکنولوژی‌های نوین در بهره برداری از انرژی، تاسیسات و تجهیزاتی خلاقانه ساخته می شود که ملاحظات زیست محیطی و تکنولوژیکی را همزمان در خود دارند.(تصویر-۱۱). (Abouei.R,2005,36)



تصویر-۱۰. مناظر و ساختار کالبدی بادگیرها
(مأخذ:نگارندگان)

تصویر-۱۱. سیستم تهویه هیبریدی –انرژی باد و خورشیدی
(ماخذ: http://www.carboun.com)



تصویر- ۱۱. سیستم تهویه هیبردی- انرژی باد و خورشیدی (ماخذ: http://www.carboun.com

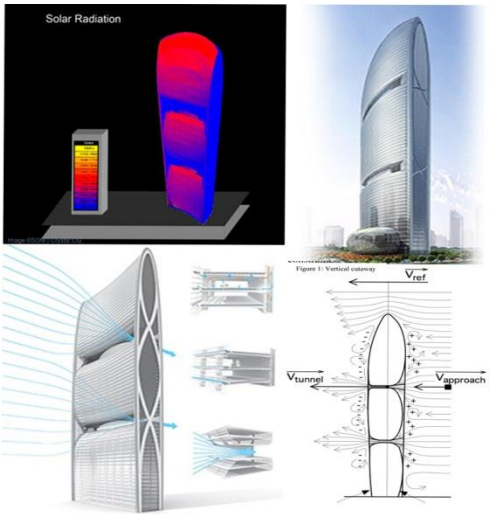
راهکارهای تهویه در مقیاس کلان شهرها

آیا در مقیاس شهر، امکان تهویه طبیعی خورشیدی وجود دارد؟

همانطور که در یک استخر بزرگ با داشتن یک دریچه کوچک می توان آب آن را تخلیه کرد در یک اتمسفر شهری نیز می‌توان با استفاده از نیروی بیکران خورشیدی، سامانه‌هایی را طراحی کرد که با استفاده از اصول اولیه دینامیک سیالات بتواند منطقه پرفشار و کم فشار ایجاد کند و با مکش هوا در مقیاس بزرگ دست به تهویه هوا بزند و ذرات معلقی که روزگاری جزیی از گنجینه‌های طبیعت بوده‌اند با بی توجهی مردمان در جایی قرار گرفته‌اند که نباید باشند را بازیافت نمایند و چرخه کربن را ساماندهی نماید. "پایداری هوا" وقتی رخ می دهد که ما جریان هوا نداشته باشیم . منطقه پر فشار و کم فشاری که عوارض جغرافیایی به صورت طبیعی برای یک منطقه ایجاد می کنند در شرایطی که زمین سرد باشد و ارتفاعات نیز سرد باشند کارایی چندانی ندارند، و حتی عوارض جغرافیایی در این مواقع به عنوان مانع جریان هوا عمل می‌کنند ، این پدیده در عین تهدید بودن می‌تواند یک فرصت باشد، چرا که تنها در این شرایط است که می‌توان ذرات معلق را با استفاده از دودکش‌های عظیم جثه‌ای که در ارتفاعات ساخته‌ایم با استفاده از خاصیت گلخانه به دام بیاندازیم و با مکش طبیعی که با استفاده از خورشید صورت می‌گیرد انرژی قدرتمند دایمی داشته باشیم که بتواند هوای یک منطقه را تصفیه نماید.

لذا در کنار تمهیدات جزءگرا و خرد مسکن‌ها، در جهت پوشش تمام راه‌حل‌های ممکن جهت تهویه خورشیدی یک شهر سه راه حل قابل ارائه است (تصویر-۱۲). در روش اول استفاده مشارکتی از توان ساختمان سازی شهری است که با ایجاد برجهایی با رویکرد تصفیه و تهویه در مقیاس شهری می‌باشد و در روش دوم برج های اختصاصی است که به صورت گسترش ماتریسی در شهر می‌تواند حضور داشته باشد و سومین روش استفاده از عوارض جغرافیایی شهری است که تونل‌های خورشیدی چند منظوره را در اطراف شهر رقم بزنند.

تصویر-۱۳.مدلسازی نرم افزاری برج فانوس دریایی دبی



تصویر-۱۴. بهره وری از جریان تهویه در پروژه برج پرل (ماخذ: Arcspace.com)

۱) برج‌های مسکونی تهویه محور

نمونه‌های فراوانی در کشورهای پیشرفته دنیا که صنعت آسمان خراش سازی دارند ساخته شده‌اند که با ایجاد ساختمان‌های بلند تهویه طبیعی را هم در شهر رقم می‌زنند. اصولا در قوانین سیالات، بادها وقتی به مانعی برخورد می-کنند، متوقف نمی‌شوند و آن را دور می‌زنند. هر ساختمان بلندی با ایجاد سایه در اطراف خود منطقه پرفشار ایجاد می-کند و منجر به پدیده ای میشود که بدان سایه باد می‌گویند.

در معماری امروز برج‌ها به سمت میان تهی شدن پیش می‌روند که می‌تواند تهویه طبیعی را در کلیه واحدها رقم بزند و همچنین با تشدید خاصیت گلخانه و مکش هوا از میان ساختمان می‌توان جریان مستمر هوا را در کنار یک برج ایجاد کرد که به عنوان یک نظام مکمل در کنار دیگر روش‌های ایجاد هوا در مقیاس شهر عمل نماید. از مصادیق بارز این شیوه طراحی می‌توان به برج رودخانه پرل در چین و پروژه بلند پروازانه برج فانوس دریایی دبی اشاره نمود (تصویر-۱۳و۱۴) که متخصصان امر با به کارگیری پیشرفته ترین نرم افزارهای کامپیوتری برای طراحی و مدلسازی رفتار انرژیکی ساختمان اقدام نموده‌اند. .

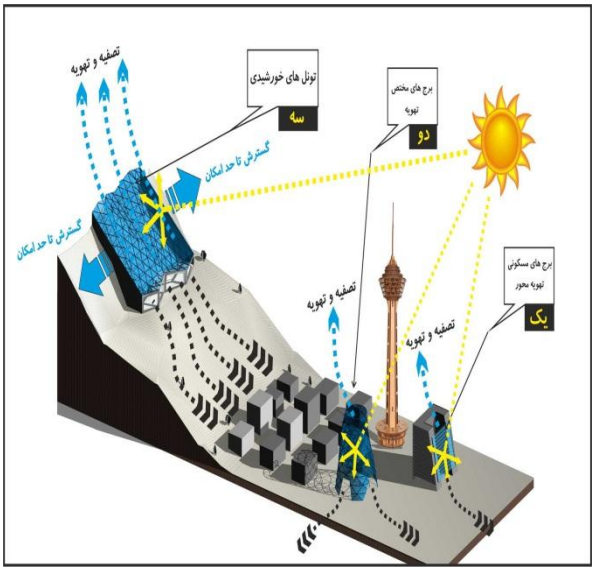
۲) برج هایی مختص تهویه(باد خان شهری)

در دنیای امروز توجه به "ریز اقلیم" ها در مقیاس شهری بسیار مورد توجه است، در طراحی‌های شهری امکان ایجاد جریان هوا به صورت مصنوعی جهت تهویه و خنک سازی نمونه‌هایی دارد. به عنوان مثال برج خنک کننده در شهر مصدر(تصویر-۱۵) واقع در ابوظبی از این قبیل موارد است که در مقیاس شهری عمل نموده و می‌تواند هوای مطبوعی را در اطراف خود رقم بزند. در این برج در "اقلیم گرم و خشک" به همت متخصصین دانشگاه MIT طراحی شده است با الگو برداری از ساز کار بادگیرهای ایرانی هوای گرم منطقه را دریافت نموده و با دمنده‌های بخار سرد، آن را خنک نموده و هوای سرد سنگین شده را در مجموعه پخش می‌کند. استراتژی طراحی در "اقلیم های سرد و خشک" مانند تهران می‌تواند بر اساس خاصیت گلخانه و خاصیت دودکش عمل نماید . در این برج-های با گرم شدن هوای داخلی که بوسیله امواج با طول موج کوتاه خورشیدی انجام می‌شود هوا سبک شده و به سمت بالا رفته و هوای سرد را به درون خود مکش می‌نماید. حتی می-توان در مدخل خروجی آن از توربین های بادی جهت تولید برق نیز استفاده کرد و برق معابر عمومی را از طریق آن تامین نمود. از محاسن این روش پخش ماتریسی در شهرهای بزرگ است که می‌تواند جریان هوای دایمی و کنترل پذیر را در مقیاس شهری رقم بزند و همچنین جهت عملکرد بهتر آن در درون فضای آن از گلها و درختان جهت جذب امواج خورشیدی و بازتاب انرژی آن با طول موج های بزرگتر جهت تکمیل فرایند خاصیت گلخانه، نام برد که منجر به چند منظوره کردن آن و خوشایند کردن فضای شهری می شود.

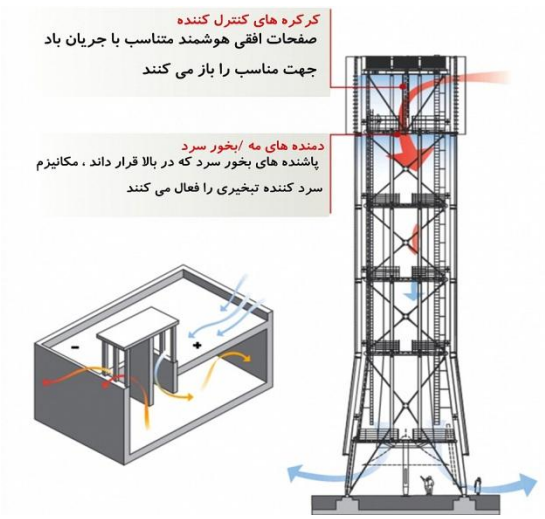
در شهرهای بزرگ به علت استفاده از انرژی‌های فسیلی ما شاهد آزاد شدن کربن در محیط هستیم که منجر به گرم شدن کره زمین هم می‌شود در برج‌های مکنده هوا می‌توان هوای خروجی را از جهت ذرات معلق و کربن تصفیه نمود.

۳) تونل‌های خورشیدی

عوارض جغرافیای اطراف شهر ها امکان ایجاد ساز کاری مشابه را می‌دهد که بتوان تونل‌های خورشیدی با مقیاس‌های بزرگ ایجاد کرد تا جریان‌های عظیم هوایی داشته باشیم تا هم هوای شهر راکد نماند و هم از گردش هوای مصنوعی ایجاد شده، توربین‌های بادی جهت تولید برق هم داشته باشیم.



تصویر-۱۲ . سه راهکار پیشنهادی برای تهویه در مقیاس کلان



تصویر-۱۵. بادخان شهری (برج تهویه) در شهر مصدر کشور امارات عربی (مأخذ: نگارندگان)

نتیجه گیری

افزایش روز افزون مصرف انرژی در جهان و طبعات مخرب زیست محیطی توجهات زیادی را به موضوع کاهش مصرف انرژی بخصوص منابع فسیلی بخود جلب کرده است. ایران نیز علاوه بر اثرات نامطلوب زیست محیطی، از نقطه نظر اقتصادی ملزم به کاهش مصرف انرژی است. بخش‌های مختلفی در ساختمان مصرف کننده انرژی هستند که از آن میان انرژی مصرفی سیستم تهویه مطبوع و سیستم روشنایی بیشترین سهم مصرف انرژی ساختمان‌ها را بخود اختصاص داده‌اند. از سوی دیگر سیستم تهویه و روشنایی تحت تاثیر مستقیم از تصمیمات طراحی معماری ساختمان است. مقایسه عملکرد میان تهوبه طبیعی و مکانیکی بخشی از نتایج آن در جدول-۲ ارائه گردیده است بیانگر اهمیت موضوع است لذا اتخاذ تدابیر مناسب در فاز طراحی می‌تواند به کاهش مصرف انرژی ساختمان منجر شود. به همین منظور می‌توان با مدلسازی مصرف ساختمان با استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌ساز انرژی پارامترهای تاثیرگذار در طراحی معماری از جمله هندسه و حجم، جهت‌گیری، سطوح شفاف و سایه اندازها و عایق‌کاری حرارتی را بهینه‌سازی نمود. لذا ضروری است تا با استفاده از مدلسازی انرژی ساختمان در فاز طراحی و بهینه سازی پارامتریک اجزا، ساختمان‌هایی را طراحی نمود که نیاز کمتری به انرژی‌های مختلف بخصوص در سیستم تهویه و روشنایی داشته و در نتیجه میزان کل مصرف انرژی سالانه تحت تاثیر طراحی معماری آن بصورت حاصل جمع انرژی مصرفی سیستم سرمایش، گرمایش و روشنایی به حداقل ممکن کاهش یابد. باید توجه داشت که در روش‌های تهویه، با رویکرد استفاده از نیروهای محرک طبیعی، آنچه رخ می‌دهد حاکی است که سیستم‌های مذکور همیشه قادر به ایجاد جریان هوا با سرعت و کیفیت مورد انتظار نیست به عنوان مثال در روز-هایی از تابستان که باد نمی‌وزد. بنابر این به نظر می رسد می-بایست هم سو با بازگشت به تکنولوژی تهویه طبیعی ، سیستم‌های تهویه ترکیبی را توسعه داد تا مکمل شیوه‌های طبیعت محور باشند. این نوع مکانیزم‌ها به عنوان سیستم‌های فراهم کننده محیط آسایش، هم از تهویه طبیعی و هم از سیستم‌های مکانیکی استفاده می‌کنند اما در زمان‌های مختلف روز یا در فصل‌های مختلف سال بهره مندی از شکل‌های متفاوت عملکرد سیستم ، به صورت هوشمندانه برای انتقال خودکار بین حالت مکانیکی و طبیعی برنامه ریزی می شود تا از این طریق مقدار کمینه و موثر مصرف انرژی محقق گردد .

فهرست مراجع

۱. روشن بین، فیروز.(۱۳۷۱). آسایش حرارتی در ساختمان های گرمسیری. کرمان: انتشارات بم

۲. بابک، داریوش. (۱۳۸۹) .انسان طبیعت معماری. تهران: انتشارات علم ودانش.

۳. شفیعی، میثم.(۱۳۸۴). طراحی پایدار در عرصه‌های معماری و شهرسازی. اولین همایش عمران، معماری و شهر - سازی کرمان.

۴. غریبی ، علی.(۱۳۸۱). توسعه پایدار و مفاهیم آن در معماری مسکونی.تهران: انتشارات بینا.

۵. قدیری مقدم، اصغر.(۱۳۸۵). تاسیسات حرارتی و برودتی در ساختمان .تهران: انتشارات صدا.

۶.کسمایی، مرتضی .(۱۳۶۹). راهنمای طراحی اقلیمی ساختمان. تهران: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، چاپ اول.

۷. کسمایی، مرتضی.(۱۳۸۹).اقلیم و معماری.تهران: نشر خاک، چاپ ششم

۸.گرجی،یوسف.(۱۳۸۹). نقد معماری پایدار و نقد آن در حوزه محیط زیست ، مجله محیط زیست دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات ،۶(۸)،۵۷-۸۹.

۹. واتسون، دونالد .(۱۳۸۸). طراحی اقلیمی اصول نظری و اجرایی کاربرد انرژی در ساختمان .(محمد فیض مهدوی و وحید قبادیان ،مترجمین).تهران: انتشارات دانشگاه تهران.

10.Abouei.R . (2005). Conservation of Badgirs and Qanats in Yazd. ECO-logy Studies Comps Papers. Iran :Art University of Isfahan, Isfahan

11.Alandji.L.R & Bilgen.E. (2014). Numerical study of solar-wind tower systems for ventilation

of dwellings. Ecole Polytechnique Journal, 19 (191),20-39.
12.Kleiven, T. (2010). Natural Ventilation in Buildings. Norwegian University of Science and Technology.
13.Mahmoudi Zarandi, M. (2013). Natural ventilation as a solution towards sustainability in architecture. Trends in climate Science Journal, 3 (5),83-98
14.Vikram .S.(2008).Applying Computational Fluid Dynamics to Analyze Natural Ventilation & Human Comfort In Buildings , New York : Oxford University Press.
15.www.masdar-city.com /thread400.html

اصول	توضیحات	بادگیر (تهویه طبیعی)		کولر آبی (تهویه مکانیکی)	
		کم	زیاد	کم	زیاد
سیاست های اصولی توسعه پایدار	به حداقل رساندن منابع طبیعی تجدید ناپذیر		*	*	
	پایدار ساختن مصرف منابع تجدید پذیر		*	*	
	نگه داشتن حد تولید ضایعات در حد جذب در محل		*	*	
	تامین نیازهای پایه انسانی و اجتماعی(حق معیشت ، انتخاب ، مشارکت در سرنوشت اجتماعی، دسترسی به محیط سالم و خدمات پایه)		*	*	
رعایت اصول معماری سبز	ذخیره انرژی های غیر قابل تجدید		*	*	
	همسازی با اقلیم		*	*	
	بازیافت ساختمان ها ومصالح ساختمانی		*	*	
	محترم شمردن افراد دخیل در طرح		*		*
	احترام به بستر طرح		*	*	
	بکارگیری همزمان همه اصول با یکدیگر		*	*	
آسایش کاربران	حرارتی	*			*
	روانی	*			*
جریان یکنواخت هوا در کل بنا	–	*			*
بهره از **زمین، آب و خورشید**	–		*	*	
تنوع فرم و در کل بهره زیباشناسانه	–		*		*
عدم ظهور نشانه های ساختمان بیمار **SBS**	–		*	*	
هماهنگی با منظر شهری	–		*	*	
مجموع امتیازات مثبت		١٤		٥	

جدول ۲. مقایسه عملکرد بادگیرها به عنوان نمونه مکانیزم تهویه طبیعی با کولرهای آبی به عنوان نمونه مکانیزم تهویه مکانیکی (مأخذ:نگارندگان)