ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

زمان پذیرش نهایی: ۱۳۹۸/۳/۱ شماره مجوز مجله: ۸۰۴۰۰

بررسی الگوگیری از عناصر تهویه سنتی در معماری امروز (اقلیم مورد مطالعه: گرم و خشک)

فاطمه پناهی[۱]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی معماری دانشگاه غیرانتفاعی شهاب دانش قم

چکیده:

امروزه در ساختمان ها انرژی زیادی صرف تهویه میشود که علت اصلی آن را میتوان استفاده نکردن از الگوهای بومی و سازگار با محیط زیست دانست. برخلاف معماری سنتی که در تطابق با شرایط اقلیمی و کاهش مصرف انرژی شکل گرفته و توانسته است حداکثر استفاده را از تهویه طبیعی انجام دهد اما متاسفانه این عناصر و سیستم های سنتی به دست فراموشی سپرده شده اند و باز زنده سازی آنها در معماری امروز از اهمیت بالایی برخوردار است. امروزه استفاده از عناصر تهویه سنتی به صورت گذشته امکان پذیر نیست اما با بررسی عملکرد آنها می توان به اصول و المان هایی دست یافت که به نظر می رسد اهداف معماری پایدار را برآورده می سازد. هدف اصلی پژوهش شناختن الگوها و اصول ارزشمند تهویه طبیعی در معماری سنتی اقلیم گرم و خشک و چگونگی بهره وری از این الگوها در ساختمان های امروزی جهت تامین تهویه غیر مکانیکی می باشد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان میدهد عناصر تهویه سنتی در خانه های قدیمی اقلیم گرم وخشک میتواند الگوی مناسبی برای صرفه جویی در انرژی و بهبود پایداری برای معماری امروز باشد.

کلمات کلیدی: تهویه طبیعی، عناصر تهویه سنتی، اقلیم گرم و خشک، معماری امروز

۱- مقدمه

"معماری پایدار گونه ای از معماری است که در تطابق با شرایط اقلیمی و کاهش مصرف انرژی شکل گرفته است." (قبادیان ، ۱۳۷۷ص۴۶) در معماری گذشته ایران استفاده از منابع تجدید پذیر مثل انرژی باد یا خورشید و در نتیجه صرفه جویی در انرژی مطابق با معماری پایدار بوده است. انقلاب صنعتی و تیپ سازی در شهرها سبب شد تا معماری بدون توجه به اقلیم و فرهنگ صورت گیرد، تخریب محیط زیست را به دنبال داشته باشد و در اخر به نابودی منابع انرژی تجدید پذیر منجر شود. در عصر حاضر سیستم های مکانیکی تهویه منجر به افزایش روز افزون مصرف انرژی می شود که آلودگی محیط زیست را به دنبال دارد. اینگونه به نظر می رسد که سامانه های تهویه طبیعی سنتی در طی سالیان توانسته اند به اصولی دست یابند که با اصول معماری پایدار در مقوله انرژی در تطابق است. اصول معماری پایدار طراحی همساز با اقلیم ، طراحی با استفاده از مصالح قابل بازیافت، طراحی کاهش دهنده مصرف انرژی و طراحی ساختمان با مصرف انرژی کم یا صفر است پس بنابراین تهویه طبیعی اهدف معماری پایدار را برآورده می سازد.(کرمی راد وهمکاران، ۱۳۹۵: ۱۰) یکی از چهار اقلیم ایران اقلیم گرم و خشک است که دارای شرایط اقلیمی خاصی در طراحی می باشد. اینگونه به نظر می رسد که عناصر تهویه در معماری سنتی این اقلیم توانسته نیاز تهویه طبیعی مربوط به اقلیم خود را به خوبی پاسخ دهد.از نمونه های این عناصر می توان به بادگیر، خویشخان، حوضخانه و ...اشاره کرد که با استفاده از انرژی تجدید پذیر باد ، خاصیت جابه جایی و برودت تبخیری باعث آسایش می شوند. پس بنا بر مطالب ذکر شده، در این پژوهش به بررسی معماری سنتی اقلیم گرم و خشک به علت خاص بودن و شرایط حاد آب و هوایی پرداخته میشود. هدف اصلی پژوهش شناختن الگوها و اصول ارزشمند تهویه طبیعی در معماری سنتی اقلیم گرم و خشک و چگونگی بهره وری از این الگوها در ساختمان های امروزی جهت تامین تهویه غیر مکانیکی می باشد. در این راستا ابتدا به بررسی اصول معماری پایدار پرداخته و پس از آن با مطالعه تهویه طبیعی به عنوان یکی از اصول معماری پایدار ،شناختی از عناصر و سیستم های تهویه طبیعی در معماری سنتی اقلیم گرم و خشک حاصل می شود. بعد از شناختن این عناصر، اصول و الگوهایی یافت می شود که قابلیت تطبیق با معماری روز را دارا است و میتوان از آنها در جهت تامین تهویه طبیعی استفاده کرد.

۲- اصول پایداری و ضرورت آن در معماری امروز:

۲-۱-پایداری در معماری:

"پایداری، استفاده موثر و بهینه از منابع شامل طبیعت،انسان وفناوری است. مفهوم پایداری توجه به شرایط اقلیمی و کاهش مصرف انرژی های فسیلی با استفاده از انرژی های تجدیدپذیر می باشد.(محمودی و نیوی، ۱۳۹۰: ۳۶)

۲-۲-معماری بومی ایران:

شاهدی و شبانی در مقاله "خانه های بومی کاشان الگویی برای ارائه راهکار اقلیمی برای معماری معاصر" اعتقاد دارند که پرداختن به نکته معماری پایدار ، بدون شناخت معماری گذشته میسر نیست. معماری سنتی ایران آسایش فضاهای داخلی را بدون استفاده از دستگاه های انرژی امکان پذیر می سازد. امروزه با توجه به مسئله بحران انرژی صرفه جویی در مصرف آن به یک ضرورت تبدیل شده است . معماری بومی ایران چه در بخش مسکونی و چه دربخش غیر مسکونی دارای ویژگی منحصر به فرد است که ضمن توجه به مسائل محیط زیست پاسخگوی نیازهای اقلیمی هر منطقه بوده وبسیاری از مفاهیم پایداری را درخود دارد. شهرهای بیابانی ایران به علت شرایط سخت اقلیمی، یکی از مناسب ترین نوع ارتباط انسان و طبیعت را نشان داده اند. بنابراین محدوده مورد مطالعه این پژوهش معماری سنتی اقلیم گرم و خشک می باشد. بنا بر

مطالب ذکرشده و همچنین طبق نظر آیوازیان در مقاله "بهره گیری از روش های سنتی در صرفه جویی انرژی" میتوان با بهره گیری از تجربیات گذشتگان ساختمان هایی ساخت که از انرژی های طبیعی باد و خورشید و... استفاده کنند تا حداقل بهره گیری از انرژی های تجدید ناپذیر و حداکثر بهره برداری از سایر انرژی های تجدیدپذیر معمول گردد.

۳-۲- رابطه بین تهویه طبیعی و پایداری:

اینگونه به نظر می رسد که سامانه های تهویه طبیعی سنتی در طی سال توانسته است به اصولی دست یابد که با اصول معماری پایدار در مقوله انرژی درتطابق است. تهویه طبیعی در ساختمانهای سنتی می تواند به کمک معماری مدرن بشتابد و بدین وسیله پایداری را در معماری امروز حاصل کند. (زاهدیان و جمشیدی،۱۳۹۵: ۳) تهویه طبیعی استخوان بندی و شکل معماری را با طبیعت در هم آمیخته است که از یک سو انرژی پاک را تهیه میکند و از سوی دیگر در تامین سلامتی انسان نقش دارد. بر عکس آن کاربرد سیستم های تهویه مکانیکی باعث افزایش مصرف سوخت های فسیلی و آلودگی هوا می شود بنابراین راه مناسبی برای شهرهای مناطق گرم و خشک نمی باشد.

۳-انسان،اقلیم و معماری:

۳-۱-اقلیم معماری:

اصول ساخت و ساز مسکن (معماری)به میزان بسیاری به وضعیت محیط زیست انسان وابسته است. در واقع اقلیم، علمی بشمار می رود که مسکن بر اساس آن ساخته می شود. بنابراین میتوان گفت انسان با ایجاد معماری میکوشد محیط طبیعی را اصلاح کند و با آن اقلیم جدیدی خلق کند که می توان آن را "اقلیم معماری" نامید.(پوردیهیمی،۱۳۹۰: ۹۹)

۳-۲-طراحی اقلیمی:

امروزه یکی از بهترین راهکارها برای صرفه جویی در مصرف انرژی، طراحی اقلیمی ابنیه است. گذشتگان ما برای تطابق با شرایط سخت اقلیمی به گونه ای عمل میکردند که بهترین شرایط را برای آسایش و آرامش انسان فراهم آید. در طراحی اقلیمی توجه به صرفه جویی در مصرف انرژی و آسایش انسان به بهترین صورت فراهم می شود. بنابراین دراین مقاله هدف از این نوع معماری استفاده ازسیستم های تهویه طبیعی است که در معماری سنتی اقلیم گرم و خشک رایج بود .

۳-۳-ویژگی های معماری بومی مناطق گرم و خشک در رابطه با نحوه تهویه طبیعی :

- بافت شهر : متراکم و فشرده است زیرا بافت فشرده و کوچه های باریک باعث ایجاد سایه، کوران طبیعی باد و در نتیجه تهویه و خنکسازی می شود.

- سقف: تاق و گنبدکه هوای گرم به علت سبکی سریع تر زیر گنبد جمع و از طریق بادگیرها خارج می شد و به این صورت تهویه انجام می گرفت.

- بازشوها: تعداد و مساحت پنجره ها به حداقل میزان کاهش یافته است .در این مناطق سعی شده از ایجاد کوران و ورود هوای خارج به داخل از طریق پنجره ها جلوگیری شود. تدابیر دیگری از جمله ایجاد بادگیر برای تهویه وخنک سازی هوای داخلی به صورت طبیعی به کار گرفته شده است.

- استفاده از حیاط مرکزی درختکاری شده: شامل درخت و حوض و سطح گیاه کاری شده است که یکی از موثرترین عوامل ایجاد رطوبت محسوب می شود و همچنین به علت اختلاف دمایی که در آن بوجود می آید باعث ایجاد جریان باد می شود و تهویه طبیعی را سهولت می بخشد.

- جهتگیری: جنوب تا جنوب شرقی است که برای به حداقل رساندن نفوذ حرارت ناشی از آفتاب و بهره گیری از باد مطلوب شرق مناسب می باشد.

- طراحی معماری فضاها: ساختن فضاهای مرتفع و بلند (تابستان نشین)به سبب سهولت در تهویه، قراردادن فضاهای اصلی مانند نشیمن و اتاق خواب در جنوب خانه، قرار دادن پیش فضاها در فضای ورودی خانه.

۴-تهویه طبیعی، سیستمی بهینه:

"تهویه طبیعی یکی ازموثرترین روش های تامین آسایش غیر فعال محسوب میشود".(سلطاندوست، ۱۳۹۲ص۱۱۵) همچنین تهویه طبیعی یا میزان تعویض هوای داخل ساختمان از جمله عوامل اولیه تعیین کننده آسایش انسان است.

۴-۱-اهداف تهویه طبیعی:

- تهویه برای سلامت : تامین هوای قابل تنفس در داخل ساختمان به وسیله جانشین ساختن هوای تازه خارجی به جای هوای کثیف و مصرف شده داخلی.
- تهویه برای آسایش: بالابردن میزان کاهش دمای اضافی بدن از طریق تبخیر نمودن عرق ایجاد شده بر روی پوست و همچنین از طریق برطرف نمودن ناراحتی که در اثر خیس شدن سطح بدن از عرق بوجود می آید.
- تهویه برای خنک کردن ساختمان: ایجاد آسایش فیزیکی در داخل ساختمان به وسیله خنک نمودن جسم ساختمان هنگامی که هوای داخلی گرم تر از هوای خارجی است.

۴-۲-وظیفه تهویه طبیعی:

مهمترین وظیفه تهویه، خنک سازی ساختمان است بویژه در اقلیم گرم و خشک که بایستی هوای وارد شده به اتاق و هوای داخل اتاق تبادل حرارتی صورت گیرد که در نتیجه باعث کاهش یا ثابت ماندن دمای داخل اتاق میشود. پس در مناطق گرم یا در ماه هایی که هوا گرم است وظیفه اصلی تهویه این است که با به جریان انداختن هوا در اطراف بدن، عرق جمع شده بر روی پوست به سرعت تبخیر شود و بدین طریق باعث کاهش دمای موثر شده و شرایط آسایش را فراهم می سازد.

۴-۳-ایراد های وارد بر سیستم تهویه مکانیکی و غیر طبیعی:

سیستم های مکانیکی به علت نیاز به فضا، کاهش عمر مفید سازه و استفاده از انرژی های تجدید ناپذیر به سیستم های پیچیده ای تبدیل شده اند و بسیاری از آنها نمی توانند هوای داخل منزل را به حد شرایط مطلوب برسانند به همین دلیل تهویه طبیعی در ساختمان مجددا به عنوان راه حل تاکید بر صرف انرژی کم تر مورد توجه قرارگرفت.(قلعه نویی،۱۳۹۳: ۳)در مجموع همه این موارد تمرکز بیشتر به ساختمان هایی با مصرف پایین انرژی توجه شده است و می توان به این نتیجه رسید که استفاده از منابع طبیعی برای ایجاد تهویه ای مناسب که بدون ضرر و با مصرف انرژی و هزینه کمتر می باشد مدبرانه تر است.

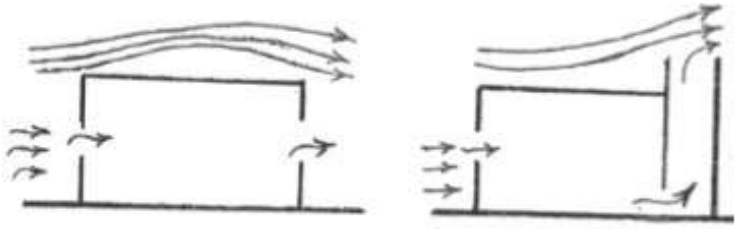
۵-عملکرد تهویه طبیعی و نیاز به آن در ساختمان:

تهویه طبیعی قابلیت به کارگیری در ساختمان های بزرگ و پیچیده را دارا می باشد و در همه اقلیم ها بنا به دلیل قابل استفاده است. تهویه طبیعی پاکی و سرعت هوا در داخل ساختمان را به طور مستقیم و تاثیر دما، رطوبت و سطوح داخلی را به صورت غیر مستقیم تحت تاثیر قرار میدهد بنابراین این نوع تهویه به سلامت، ایجاد آسایش و خنک سازی مصالح کمک میکند.

۶-انواع تهویه طبیعی در ساختمان:

تهویه طبیعی در ساختمان ها ممکن است به دو صورت افقی (عبوری)و عمودی(دودکشی و مکشی)صورت گیرد. تهویه عمودی تابع اثر دودکش است که در آن هوای بیرون از سطوح زیرین وارد ساختمان شده و به دلیل اختلاف دما و چگالی به سمت بالا صعودکرده و از عناصر بالایی پیش بینی شده خارج میشود. اما در روش افقی هوا از معبری وارد شده و به دلیل

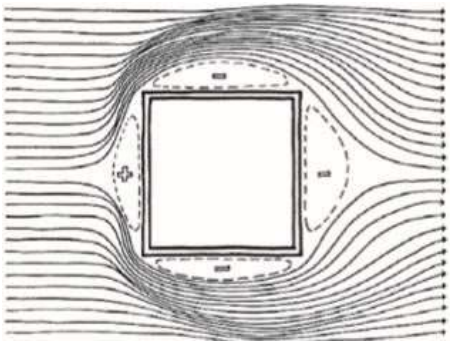
اختلاف فشار مثبت و منفی در دوسمت از سوی دیگر خارج می شود.(احمدی چگینی و ربیعی، ۱۳۹۴) پس تهویه عمودی یا اثر دودکشی تحت تاثیر اختلاف دما و تهویه افقی تحت تاثیر اختلاف فشار است. در تهویه عمودی عناصر سقفی و در تهویه عبوری پنجره ها و یا بازشوها معبر اصلی جریان هوا محسوب میشوند.(شکل۱)



شکل شماره(۱): نحوه ایجاد تهویه طبیعی در ساختمان

۷-عوامل موثر بر تهویه طبیعی:

از جمله نیروهای محرک تهویه طبیعی می توان به باد،اختلاف چگالی،خاصی دودکشی و ترکیب باد واختلاف چگالی اشاره کرد. سرعت و جهت بادر ایجاد اختلاف فشار موثر است ودر برخورد به ساختمان دو منطقه فشاری را بوجود می آورد. سطوحی که در مقابل وزیدن باد قرارمیگیرند در معرض فشار و سطوح پشت به باد در معرض مکش قرار دارند. (شکل۲) سطح بام نیز همواره در معرض نیروی مکش قرار دارد.



شکل شماره(۲): ایجاد مناطق پرفشار(مثبت)و کم فشار(منفی)در اطراف ساختمان(طاهباز و جلیلیان، ۱۳۹۰)

در مقاله " تاثیر دریچه های ورودی و خروجی هوا در تهویه" نوشته خراسانی زاده، شیخ زاده و اسراردل تعریف کامل تری از علل تهویه طبیعی بیان کرده است:

۱-دمای بالا در داخل اما کاهش دما در خارج (اختلاف دما)

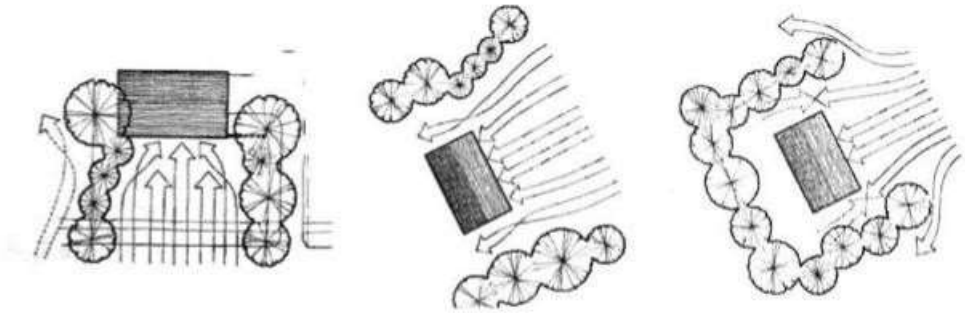
۲-حرکت رو به بالای هوای گرم درون بنا (ختلاف چگالی و اثر دودکشی)

۳-جایگزین شدن هوای سرد درون ساختمان از سوراخ ریز و منافذ همکف به علت فشار منفی در ارتفاعات پایینی ساختمان (حرکت و جابه جایی هوا)

علاوه بر عوامل بالا،عوامل دیگری نیز در تعیین حد مطلوب میزان تهویه هوا موثرند این عوامل عبارتند از: تعداد افراد حاضر در محیط ، نوع فعالیتی که در محیط صورت می گیرد ، نوع مصالح بکار رفته در جداره های داخلی و خارجی بنا ،کاربرد یا عدم کاربرد عایق حرارتی، بازشوها و دیواره های آنها(شکل۳) استفاده یا عدم استفاده از سایبان،استفاده از بادشکن های طبیعی و مصنوعی،جهتگیری ساختمان و ارتفاع سقف اتاق ها. همچنین فتوحی در مقاله" ارائه راهبردهای تهویه طبیعی در طراحی ساختمان غیرفعال اقلیم گرم و خشک"به طور مفصل درباره تاثیر بازشوها و عوامل پیرامونی سایت صحبت کرده و اعتقاد دارد

در طراحی بازشوها به عنوان محل ورود هوا می توان از وجود کرکره و سایبان های منفذ دار استفاده کرد. این عامل موجب می گردد تا هوا در ساختمان بهتر جریان پیدا کند. بادشکن های طبیعی و مصنوعی مانند درختان و پوشش گیاهی نقش مهمی در تهویه طبیعی داشته و برای مناطق گرم و خشک تاکید شده تا با استفاده از گیاهان و درختان باد مطلوب برای ایجاد تهویه هدایت شود.(شکل۴)

شکل شماره(۳): تاثیر دیواره های بازشوها و نحوه قرار گیری آنها نسبت به یکدیگر در حرکت جریان هوا



شکل شماره(۴): تاثیر کاشت درختان و محوطه سازی بر جریان هوا در اطراف ساختمان

۸-تهویه مورد نیاز اقلیم گرم و خشک:

۱-در اقلیم گرم و خشک باید میزان تهویه طبیعی را هنگام روز به حداقل ممکن رساند زیرا در اثر ورود هوای گرم خارج به داخل، دمای هوا و سطوح داخلی نیز افزایش می یابد. هنگام عصر وشب به دلیل پایین بودن دمای هوای خارج نسبت به داخل تهویه طبیعی امکان سریع خنک شدن هوای داخلی را بوجود می آورد پس وجود بازشوهارا ضروری میسازد.(کسمایی، ۱۳۸۹: ۸۹)

۲-استفاده از عناصر پیرامونی بیرونی و نحوه استقرار ساختمان نسبت به آنها تا هوا پیش از ورود خنک و غبارگیری شود.

۳-استفاده از وسایل و سازه های انگیخته ای تهویه طبیعی مانند بادگیر برای افزایش تهویه طبیعی.

۴-بازشوهای تهویه بایستی به گونه ای طراحی شوند که بنا به شرایط، کارکردشان منعطف باشد. می توان آنها را در ارتفاعات مختلف قرار داد تا از اثر دودکشی بهره جویند و همچنین می توان در اندازه های مختلف تولیدشان کرد تا اثر مکش وفشار بیشتر شود.

۵ -استفاده از سرمایش تبخیری جهت تهویه و خنک سازی: استفاده از برودت تبخیری را میتوان در خانه های مجهز به بادگیر و حوضخانه یا سرداب شهرهای کویری مشاهده کرد.این روش به دوشکل ساده و مرکب عمل می شود که روش ساده همان عبور هوا از روی سطوح آب و گیاه است. اما در شیوه مرکب از برودت تبخیری و هدایت حرارت همزمان استفاده میشود. (مانند آب پاشی کردن سطح بام به هنگام گرما که بدین وسیله بام خنک میشود و برودت آن از طریق حرارت به لایه های زیرین سقف و از آنجا به داخل اتاق ها منتقل میشود.)

۹-بررسی عناصر تهویه طبیعی در معماری سنتی اقلیم گرم و خشک:

"استفاده از سیستم های سنتی تهویه هوا در معماری امروز باعث می گردد در حدود ۵۰ تا ۶۰ درصد در مصرف سوخت های فسیلی صرفه جویی گردد."(بابایی فر وکاظم زاده،۱۳۹۳ص۶۹) به همین علت در معماری سنتی ایران با توجه به شرایط اقلیمی کویری و در تناسب با آن، سامانه های تهویه طبیعی شکل گرفته است. ازجمله خصوصیات اقلیمی شاخص

دشت های کویری، آب و هوای خشک در تابستان و سرد و خشک در زمستان، بارندگی بسیار اندک، رطوبت بسیار کم، پوشش گیاهی بسیار کم و اختلاف زیاد درجه حرارت بین شب و روز میباشد. پس طبق این ویژگی های ذکر شده استفاده از تهویه طبیعی جهت تامین هوای تازه و مطلوب در این اقلیم ضروری می شود. در ادامه به معرفی عناصر تهویه طبیعی در معماری سنتی اقلیم کویری پرداخته می شود.

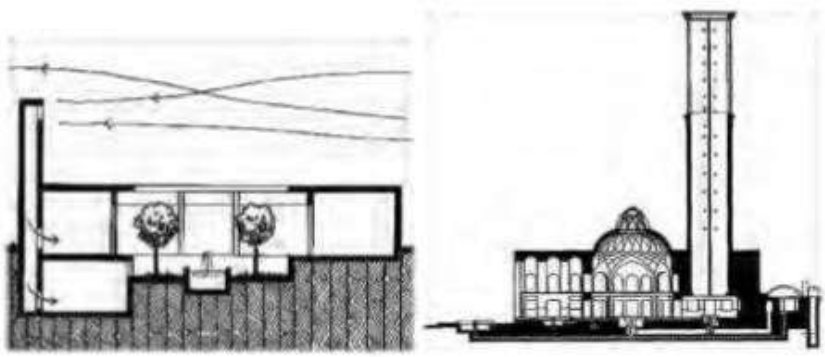
۱-۹-بادگیر:

درکشور ما در طی قرون متمادی تمام ساختمان ها با توجه به اقلیم و شرایط محیطی ساخته می شده است، بارزترین روش تهویه طبیعی بادگیر بوده است.در بادگیر از انرژی تجدید پذیرباد استفاده میشود که عملکرد آن بسیار شبیه به کولرهای آبی امروزی می باشد. وفا مهر و پورجوهری در مقاله "بادگیر دستاوردی از معماری سنتی ایران" اینگونه بیان کرده اند که بادگیر به عنوان بارزترین نمونه تهویه طبیعی ساختمان در معماری سنتی ایران محسوب می شود و سبب نفس کشیدن شهرها و روستاهای کویری گردیده است. همچنین بادگیرها بدون صرف هیچگونه انرژی و صرفا با طراحی مناسب سیستم هدایت هوا،شرایط مطلوب را با تفاوت دمای حدود ۳۰درجه سانتی گراد فراهم میکند.

عملکردهای اصلی بادگیر:

۱-تهویه و مکش:در بادگیر از یک جهت باد مطبوع وارد و در جهت پشت به باد به علت ایجاد فشار منفی و مکش هوای گرم داخلی خارج می شود.

۲-خنک کنندگی(سرمایش تبخیری)که به دو ر وش عبور هوا از روی یک حوضچه و یا قراردادن حصیر سفال و یا بوته های خار بر روی دهانه آن حاصل میشود.(شکل ۵)

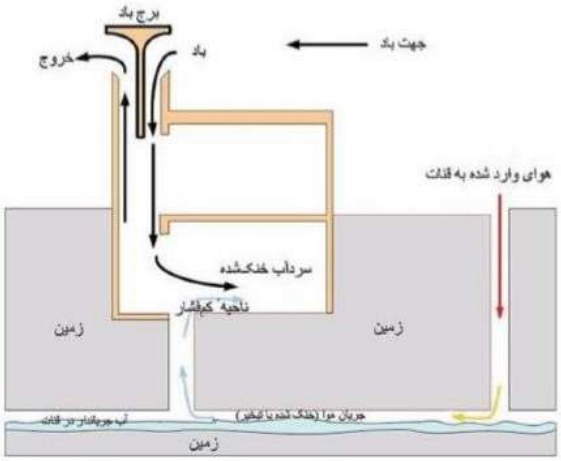


شکل شماره(۵):دمقطع بادگیر دولت آباد یزد،عبور دادن هوا از روی حوضچه آب(غلامعلی ومهدوی، ۱۳۹۳)

۲-۹-سرداب:

سرداب های متصل به بادگیر پاسخگوی نیاز ساکنان خانه از نظر تهویه و وزش مطبوع هوای خنک بوده است. در نواحی گرم و خشک ایران استفاده از سرداب بسیار متداول است. این سرداب ها گاهی تمامی سطح زیر طبقه همکف را در بر

میگرفتند و سقف آن حدود یک متر از سطح حیاط بالاتر بوده است. (بهادری نژاد و یعقوبی، ۱۳۸۵) بدین ترتیب روشنایی و تهویه آن از طریق پنجره های رو به حیاط تامین می شده است. با ایجاد سرداب همراه با حوض آب میتوان هوای بیرون را به زیر زمین هدایت کرد و بعد از خنک سازی از طریق کانال ها این هوای خنک را به داخل فضاها انتقال داد.(شکل ۶)



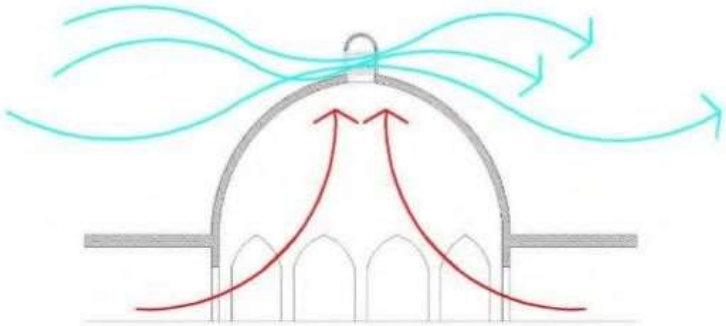
شکل شماره(۶): عملکرد بادگیر و سرداب(تقوایی و افشاری، ۱۳۸۹)

۳-۹-ایوان:

ایوان از عناصر تاریخی و ابداعی در معماری بومی تلقی می شود وتهویه مطبوع را با بهره گیری از انرژی تجدید پذیر باد فراهم می آورد. در مناطق گرم ایران ایوان فضایی پر سایه است که با استفاده از تهویه مستقیم و ایجاد کوران، به دلیل ایجاد مناطق با فشارهای هوایی متفاوت به واسطه فضاهای پر و خالی (ایوان و فضاهای مجاورش) سبب کاهش دما میشود. همچنین ارغان و مشایخی در مقاله "بررسی عملکرد اقلیمی فضاهای نیمه باز در کیفیت بخشی فضاهای داخلی بنا" درباره عملکرد ایوان در تهویه طبیعی اینگونه توصیف میکنندکه جریان هوا از طریق فضاهای باز (حیاط) و نیمه باز (ایوان)دریافت و به درون فضای مرکزی هدایت می شود و تهویه عرضی و عبوری صورت می گیرد. فضاهای نیمه باز توسط عقب نشینی در نما و ایجاد سایه باعث تعدیل دمای داخلی می شود.

۴-۹-خویشخان:

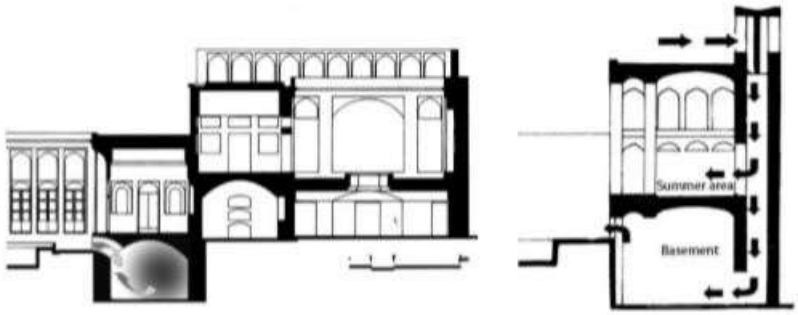
"کلبه یا دارآفرین بوده است که پیرامون آن را با حصیر یا سفال یا بوته خار دور می پوشاندند و بر آن آب می پاشیدند تا بر اثر باد هوای خنک را به درون بکشد."(پیرنیا، ۱۳۷۱) خویشخان ها به عنوان المانی از معماری سنتی ایران عملکردی مانند بادگیر دارد و نقش خنک سازی و تهویه را برعهده داشته است. معمولا بر روی حوضخانه و در قسمت جنوبی بنا ساخته می شوند و وظیفه آن مکش هوا است. با اوج گرفتن هوای گرم وخروج آن بوسیله خویشخان هوای خنک جایگزین آن میشود و تهویه مکشی صورت میگیرد.(شکل۷)



شکل شماره(۷): عملکرد مکشی خویشخان

۵-۹-حوضخانه:

در تعامل با بادگیر هماهنگی لازم با اقلیم را بدست آورده است و به عنوان سامانه ای پایدار در عناصر اقلیمی معماری سنتی ایران و استفاده از انرژی تجدید پذیر باد به نیازهای کاربران پاسخ میدهد. حوضخانه فضایی است که هم سطح حیاط، زیرزمین یا بالای آن شکل می گیرد که در برخی موارد در سرداب قرارگرفته و آب قنات داخل آن وجود دارد. بدین وسیله با استفاده از کانال هایی هوای خنک حوضخانه را به فضاهای دیگر منتقل کرده اند.(شکل۸)



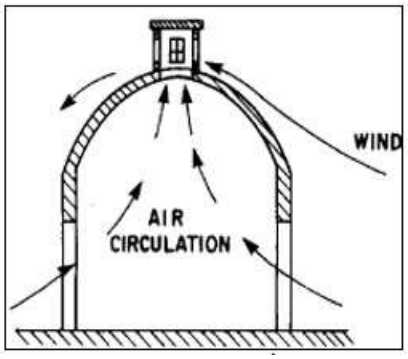
شکل شماره(۸): عملکرد سرمایش تبخیری حوضخانه و بادگیر(ملازاده یزدانی، ۱۳۹۴)

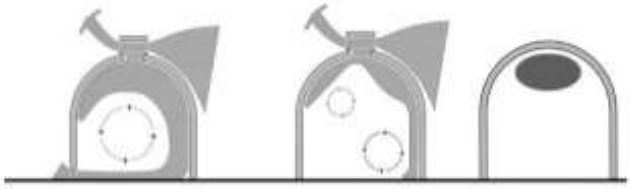
۶-۹-حیاط مرکزی:

خانه هایی با حیاط مرکزی و اتاق های ارسی از اصلی ترین گروه های خانه های سنتی در اقلیم گرم و خشک هستند. حیاط در اقلیم گرم و خشک با جهت گیری به سمت جنوب، دو قسمت تابستان نشین و زمستان نشین را ایجاد میکند. این حیاط ها هنگام صبح و بعداز ظهر کاملا در سایه هستند و به عنوان تله سرمایی عمل کرده و سرما را درخود نگه میدارد همچنین تهویه طبیعی را با جابه جایی هوا ایجاد میکند. درواقع حیاط مرکزی یک حیاط محصور می باشد و هوا را به جریان انداخته باعث ایجاد تهویه عبوری و دودکشی می شود.

۷-۹-سقف گنبدی:

پوشش سقف در این اقلیم گنبد پوش و طاق پوش است. این سقف ها شرایط مناسبی را برای تهویه طبیعی و سرمایش غیر فعال ایجاد می کند. شکل گنبدی و طاقی سقف باعث تهویه طبیعی و افزایش سطح سایه می شود. همچنین احدی و علیرضایی در مقاله "بررسی فرم مناسب سقف و سودمندی استفاده از بادخور در تهویه طبیعی" با استفاده از نتایج مدلسازی انواع سقف های منحنی شکل به این نتیجه رسیده اند که حجم و سرعت تهویه در سقف گنبدی دارای دریچه ورودی هوا بیشتر و عملکرد تهویه بهتر است. (تصاویر۹و۱۰)



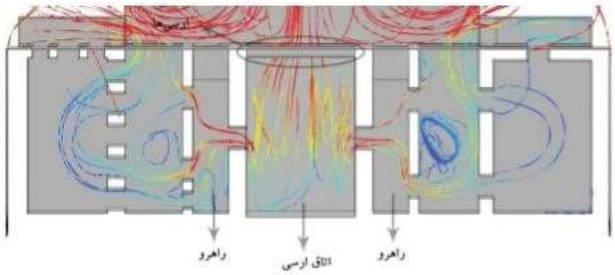


شکل شماره(۹): الگوی جریان هوا در سقف گنبدی

شکل شماره(۱۰): نتایج مدلسازی سقفهای منحنی(احدی و علیرضایی، ۱۳۹۳)

۸-۹-ارسی ها:

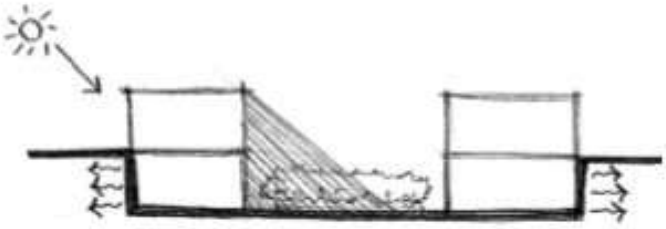
ترکیب حیاط مرکزی با تهویه عرضی(پنجره ها و ارسی ها) نقش قابل توجهی در خنک کردن و تهویه فضای داخلی و در نتیجه کاهش مصرف انرژی دارد. باز بودن کامل ارسی ها سبب می شود تا جریان قابل توجهی در دو ارتفاع متفاوت از اتاق شکل بگیرد .بنابراین علاوه بر استفاده از جریان هوا برای تهویه، یکی از عوامل افزایش آسایش حرارتی در اتاق میباشد به نحوی که ارتفاع پایین اتاق که محل استفاده ساکنین بوده در مسیر جریان قابل توجهی قرار می گیرد.(شکل۱۱)



شکل شماره(۱۱): پلان هندسه جریان هوا در حالت باز بودن کامل ارسی ها(عطروش و فیاض، ۱۳۹۴)

۹-۹-گودال باغچه:

در واقع گودال باغچه فضایی است که در اطراف آن اتاق های زیرزمین جای گرفته و این چنین ترکیبی فضاهای خنک را در اتاق های زیرزمین بوجود می آورد و موجب می شود تا از جریان هوا برای تهویه و خنک سازی استفاده شود. در فصل تابستان که اختلاف درجه حرارت قابل توجهی بین حیاط گودال باغچه و حیاط بالا وجود دارد، گودال باغچه به خودی خود به عنوان یک منبع تولید کننده هوای تازه و خنک برای فضاهای حیاط بالا عمل می کند.(شکل۱۲)



شکل شماره(۱۲): سایه اندازی و ایجاد تهویه عبوری و دودکشی

۱۰-۹-پنجره مشبک چوبی یا آجری:

راه حل دیگری که درمورد پنجره ها در معماری مسکونی سنتی ایران تجربه شده است دو جداره کردن آن است. این پنجره ها به گونه ای طراحی شده اند که پنجره اصلی شیشه خور در داخل قرار می گیرد و از طرف بیرون با ایجاد مشبک های چوبی بر روی پنجره اصلی بسته می شوند. (شکل ۱۳) این گونه طراحی علاوه بر سایه اندازی در فضاهای داخلی از طریق تهویه عرضی باعث سرمایش می شوند.

شکل شماره(۱۳): تهویه عبوری و سایه اندازی پنجره های مشبک چوبی

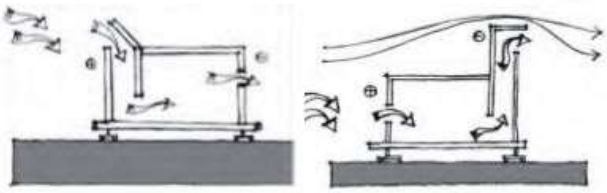
از بررسی عناصر تهویه طبیعی در معماری سنتی می توان اینگونه جمع بندی کرد که دراقلیم گرم و خشک ،تهویه طبیعی شبانه ساختمان موجب خنک سازی مصالح می شود. در طول روز نیز، تهویه فضاهای داخلی با هوای خنک شده از طریق سیستم های تبخیری انجام می شود. استفاده از برودت تبخیری و تهویه طبیعی را می توان در خانه های مجهز به بادگیر، حیاط مرکزی و حوضخانه یا سرداب مشاهده کرد. از آنجا که هوای خنک از هوای گرم سنگین تر است هوای خنک به زیر هوای گرم کشیده میشود و منجر به ایجاد جریان هوا در داخل حیاط می شود. در واقع حیاط و اجزای آن(گیاه وآب) نقش یک فضای محصور را جهت حفظ هوای خنک و مرطوب مورد نیاز تهویه ایفا میکند.همین هوای خنک و مرطوب از طریق ایوان ها و ارسی ها به فضاهای داخلی راه پیدا کرده و در آخر طبق اثر دودکشی و مکشی از بادگیر خارج میشود. نمونه پیچیده تر استفاده از برودت تبخیری و تهویه طبیعی این است که هوای واردشده از دهانه بادگیر را از روی حوض یا سرداب گذر داده می شود تا گرمای آن در اثر تبخیر گرفته شود و هوای خنک از طریق کانال هایی به فضای داخلی راه پیدا کند. متاسفانه از چندین دهه قبل استفاده از روش های سنتی تهویه طبیعی به دلائل نامعقول متوقف شده است اما هنوز مردم بسیاری از نقاط کشور تجربه زندگی در این نوع خانه ها را فراموش نکرده اند و از برتری روش سنتی تهویه طبیعی نسبت به تهویه مکانیکی صحبت می کنند.

۱۰-الگوگیری از عناصر تهویه سنتی در معماری امروز:

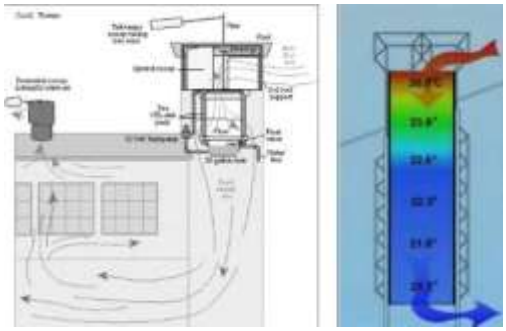
با ورود معماری مدرن و به ویژه استفاده از تاسیسات مکانیکی به تدریج نقش اقلیم در ساختمان ها کم رنگ شد اما از نیمه دوم قرن گذشته که اقلیم و صرفه جویی در انرژی مورد توجه قرار گرفت ،استفاده از فناوری های معماری گذشته که برپایه استفاده از انرژی های تجدیدپذیر بود اهمیت زیادی یافتند. یکی از معمارانی که تلاش فوق العاده ای برای تلفیق معماری سنتی و تکنولوژی روز انجام داده است حسن فتحی می باشد. برای مثال در داخل بادگیر از یک پمپ آب استفاده می کرد تا با ایجاد فواره از میزان گرما و گرد و غبار کاسته شود.پس بنابراین میتوان از معماری سنتی خودمان و این استادان بزرگ به عنوان منبع الهام و الگوگیری استفاده کرد. درهمین راستا تعدادی از الگوگیری های عناصر تهویه سنتی که در معماری امروز استفاده میشود، به اختصار بیان شده است.

۱-۱۰-برج های بادی(بادخان ها و بادخورها)و برج های خنک کننده:

درواقع چنانچه عمل تهویه هوا را به دم و بازدم تشبیه کنیم، بادخان معادل بازدم و بادخور معادل دم میشود. بادخان ها و بادخورها عناصری هستند که در ساختمان های امروزی جای بادگیرهای سنتی را پر می کنند.تهویه طبیعی بوسیله آنها در مقایسه با تهویه عبوری از قابلیت اعتماد و کنترل بیشتری برخوردار است .در شرایط گرمای زیاد ، هوای سرد توسط تهویه مکانیکی به صورت جابه جایی در سطح پایین تولید می شود و هوای مازاد از طریق بادخوان ها خارج می شود. ترکیب بادخوان ها و بادخورها به شکل طبیعی شرایط دریافت و بیرون راندن هوا را موجب می شود. همچنین بابایی فر و کاظم زاده در مقاله "ایجاد تهویه مطبوع و بهره وری از انرژی بوسیله احداث بادگیرهای جدید" درباره مزیت این برج های بادی نسبت به کولر اعتقاد دارند که در هیچ نقطه داخل ساختمان فشار مثبت ایجاد نمی کنند، آلودگی صوتی ندارند وبعلت استفاده از انرژی طبیعی هزینه مصرف انرژی بسیار کمی را دارا می باشند. نمونه دیگری از الگوگیری از بادگیرهای سنتی، برج های خنک کننده هستند که می تواند باعث کاهش ۲۵تا۳۰ درصد مصرف انرژی شود. این برج های خنک کننده علاوه بر اینکه دمای هوا را کاهش میدهد مقدار رطوبت هوا رانیز افزایش میدهد.(استفاده از سرامیک متخلخل در داخل آن) در شکل زیر مدلسازی عددی انجام شده از برج های خنک کننده را نشان میدهد که هوای ورودی به برج ۳۶ درجه سانتی گراد و هوای انتهایی آن حدود ۲۱ درجه سانتی گراد است که دمای مناسبی جهت تهویه و خنک سازی فضای داخلی ساختمان می باشد.(شکل۱۵)(کریمی دمنه ورسول زاده،۱۳۹۱: ۵)



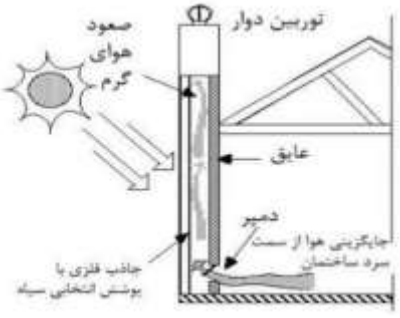
شکل شماره(۱۴): بادخوان و بادخور



شکل شماره(۱۵):تغییر دمای هوا در بادگیر(کریمی ورسول زاده،۱۳۹۱)

۲-۱۰-دودکش های خورشیدی:

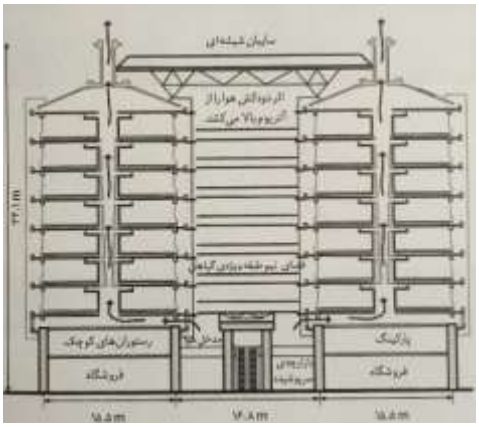
یکی از روش های تهویه طبیعی استفاده از دودکش خورشیدی است که با کمک انرژی تجدید پذیر خورشید و با بکارگیری اثر مکشی و دودکشی در یک کانال هوا، تهویه مورد نیاز فضاهای مجاور خود را فراهم میسازد. (شکل۱۶) این دودکش ها از عملکرد مکشی بادگیر و خویشخان الهام گرفته است. همانطور که قبلا ذکر شد یکی از عملکردهای بادگیر سنتی در جهت تهویه خاصیت مکشی آن است که شکل جدید آنها در معماری امروز دودکش ها هستند و کارایی بالایی در تهویه ساختمان های چند طبقه دارند. فخاری و حیدری در مقاله "بهینه سازی دودکش خورشیدی و بررسی اثر آن بر تهویه ساختمان" اینگونه دودکش را توصیف نموده اند که عملکرد آن خارج شدن هوای گرم از بالا و جایگزین شدن هوای سرد از پایین به جای آن است. عملکرد آنها مستقل از جریان باد است ولی دهانه خروجی آنها نباید در جایی باشد که فشار هوا مثبت است.پس میتوان نتیجه گرفت که برج های بادی و برج های خنک کننده و دودکش ها از تجهیزات تهویه بامی هستند و از آمیزش و ترکیب آنها می توان برای پاسخگویی به شرایط متغیر اقلیمی استفاده کرد.(شکل۱۶)



شکل شماره(۱۶): طرز کار دودکش خورشیدی

۳-۱۰-آتریوم:

فضایی با سقف شفاف است که الگویی متداول در مرکز ساختمان هایی دارای پلان عمیق است و نور و دید مناسب برای فضاهای محصور ساختمان را تامین می کند. رانش حرارتی و باد هردو میتوانند مهمترین عامل تهویه طبیعی در آتریوم محسوب شوند. استفاده از هواکش ها یا برج های بادی در سقف آتریوم سبب افزایش سرعت تهویه عمودی می شود. پس بنابراین می توان خاصیت دودکشی بادگیرهای سنتی را در آتریوم بکار برد و هوای گرم و کثیف داخلی را تهویه نمود.(شکل۱۷)



شکل شماره(۱۷): عملکرد ترکیبی آتریوم و دودکش های خورشیدی(هالگرکخ،۱۳۸۵)

۴-۱۰-پنجره های دو جداره :

در منطقه گرم و خشک دو ضابطه برای طراحی بازشوها باید در نظر گرفت:

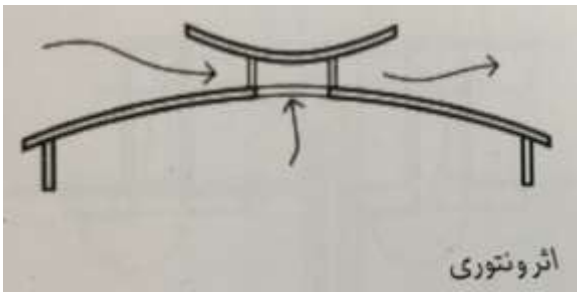
۱-در طول روز انتقال حرارت به داخل را به حداقل برساند.

۲-در شب بازشوها باید به اندازه کافی باز باشند تا تهویه ای مطلوب برای دفع حرارت از دیوارها و سقف انجام گیرد.

استفاده از پنجره های دوجداره که در گذشته نیز کاربرد داشته (ارسی با شبکه های چوبی) سبب دفع حرارت داخلی و تهویه اتاق ها در شب میشود. اما در روز که پنجره بسته میباشد جریان هوای گرم و سرد و انتقال آن را به داخل به تعویق می اندازد. همچنین از نفوذ حشرات و گرد و غبار نیز جلوگیری میکند.

۵-۱۰-بام های گنبدی و قوسی:

هوای گرم به علت سبکی به زیر سقف گنبدی صعود میکند و باعث آمدن هوای خنک تر به سمت پایین اتاق می شود و از طرفی دیگر نیز به علت ایجاد سایه در قسمتی از بخش بیرونی سقف (اختلاف دما)جریان هوا ایجاد شده و امر خنک سازی و تهویه را دوچندان میگرداند. اگر دو بام گنبدی و مسطح را که از لحاظ طول و عرض با هم مساوی هستند در نظر بگیریم و پرتوهای موازی آفتاب بر آنها همزمان بتابد، بام گنبدی انرژی تابشی را در سطح بیشتری توزیع خواهد کرد و در نتیجه کاهش بار حرارتی را در فضاهای مسکونی بدنبال خواهد داشت. هالگر کخ در کتاب"تهویه طبیعی"از ترکیب بام قوسی و عناصر ونتوری سخن میگوید که فرم قوسی شکل باعث اجتماع هوای گرم در زیر سقف می شود بدین ترتیب سرعت مکش توسط عنصر تهویه بامی(عناصر ونتوری)افزایش می یابد.پس میتوان گفت که ترکیب سقف گنبدی و خویشخان ها در گذشته الگوی بام های قوسی و عناصر ونتوری در معماری امروز می باشد که تهویه عمودی را میسر می سازد.(شکل۱۸)



شکل شماره(۱۸): ترکیب عناصر ونتوری و سقف قوسی

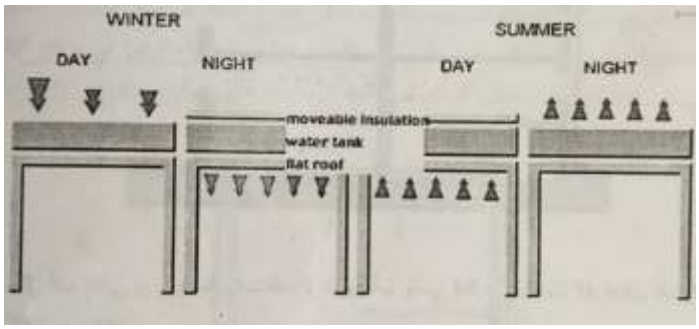
۶-۱۰-پنجره های سقفی:

پنجره های سقفی نه تنها نوردهی طبیعی را تامین می کنند بلکه می توانند جابه جایی هوا را بهبود بخشند.چون هوای گرم رو به بالا حرکت میکند پنجره سقفی قادر است به عنوان مجرا هوای گرم را جمع آوری کند. در واقع عملکرد این پنجره های سقفی مانند پنجره های زیرسقفی در معماری سنتی اقلیم گرم و خشک می باشد. پنجره هایی که زیر طاق نماها و در فضاهایی با ارتفاع بلند سقف جهت تهویه،تعبیه می شوند.(شکل۱۹)

شکل شماره(۱۹): نقش پنجره های سقفی در تهویه(براتی، ۱۳۹۳)

۷-۱۰-حوضچه های سقفی:

به منظور ایجاد خرد اقلیم و برای حفظ کردن گرمای ساختمان در زمستان و تهویه طبیعی در تابستان از آن استفاده می شود. پوشش های مرطوب بام باعث جذب کمتر حرارت ناشی از آفتاب می شود که این امر کمک بسزایی در هدایت هوای خنک به داخل ساختمان دارد.در شب هوای گرم فضای داخل توسط بام مجهز به حوضچه های آبی بام جذب شده و باعث خنکسازی می شود.(شکل۲۰) این حوضچه های سقفی نیز از سیستم برودت تبخیری بام در گذشته الگو گرفته شده است زیرا همانطور که در مباحث قبل ذکر شد در گذشته سطح بام را آب پاشی میکردند تا قطرات آب ضمن تبخیر، گرمای لازم را از هوای اطراف خود و سقف دریافت و آنها را خنک می سازد. در نتیجه برودت لایه های رویی سقف از طریق هدایت به لایه ای زیرین و از آنجا به داخل اتاق ها منتقل می شود.

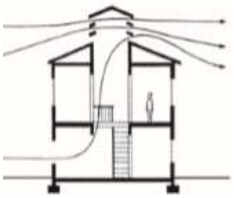
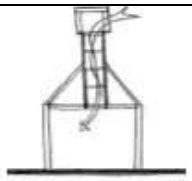
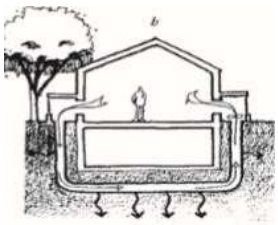
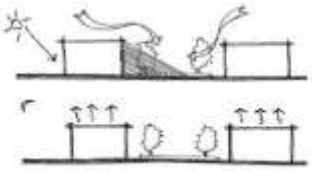
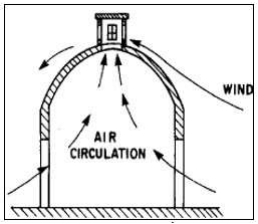


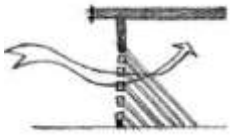
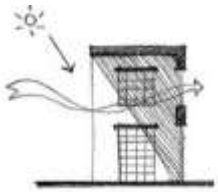
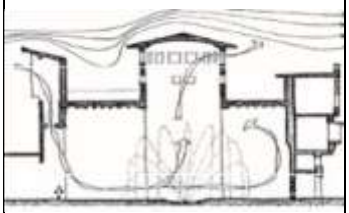
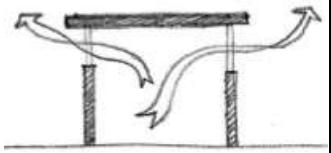
شکل شماره(۲۰): عملکرد حوضچه های سقفی در تابستان و زمستان(مرادی، ۱۳۹۲)

۱۱-جمع بندی و نتیجه گیری مباحث:

با توجه به مباحث گفته شده یکی از اهداف طراحی پایدار ساختمان های مسکونی مبتنی بر معماری سنتی اقلیم گرم و خشک استفاده از تهویه طبیعی است. در ضمن تحقیق مشخص شد که تهویه طبیعی در معماری سنتی دارای عناصر شاخصی است که به صورت مدرن می تواند در ساختمانها به کار رود. با توجه به اقلیم ایران و نیاز به برودت و حرارت، این عناصر می توانند به صور مختلفی به کار روند. برای الگو گیری از این عناصر ملزم به شناختن این عناصر و نحوه عملکرد و کاربرد آنها در ابعاد مسکن امروزی می باشیم. همچنین با استفاده و رعایت تهویه طبیعی سنتی در مساکن امروزی می توان روز به روز عناصر تهویه طبیعی جدیدی را الگوگیری و ابداع کرد. با اینکه در مباحث پیشین گفته شد استفاده از سیستم های سنتی تهویه هوا باعث می گردد در حدود ۵۰ تا ۶۰ درصد در مصرف سوخت های فسیلی صرفه جویی گردد اما مرجان قلعه نویی در مقاله"بهره گیری از عناصر شاخص تهویه طبیعی در ابنیه مسکونی پایدار مدرن"اعتقاد دارد که سیستم های متکی به تهویه طبیعی سنتی قادر به انتقال یک جریان هوا درون بنا با سرعت مطلوب در تمام زمان ها نمی باشد. با این حال میشود این سیستم ها را با تکنولوژی روز تلفیق کرد تا اندک معایب آن رفع گردد و پایداری را به ارمغان آورد. لازم به ذکر است که الگوگیری از عناصر تهویه سنتی در طراحی ساختمان های امروزی باید همخوانی و هماهنگی کامل را با طرح معماری داشته باشد تا سبب ایجاد معماری بهینه و برآورده ساختن اهداف معماری پایدار شود. یافته های این گزارش در جدول شماره(۱) ارائه شده است که در آن عناصر و سیستم های تهویه سنتی و علل الگوگیری از آنها در معماری امروز به اختصار بیان شده است. استفاده از عناصر و راهکارهایی که در عین سادگی، منابع تجدید پذیر را کم تر مصرف می کند و زندگی را راحت تر و عمر زمین را طولانی تر می کند.

جدول شماره(۱): یافته های گزارش،الگوگیری از عناصر وسیستم های تهویه سنتی

سیستم های تهویه سنتی	نمونه الگوگیری آن در معماری امروز	علل استفاده از آن	تصویر
بادگیر(سرمایش تبخیری) بادگیر (اثر دودکشی)	برج های بادی و خنک شونده دودکش خورشیدی آتریوم	خروج وگردش هوا،کشاندن هوای تازه خروج و تعویض هوا، ایجاد سرعت در تهویه	
خویشخوان	عناصر ونتوری	خروج و تعویض هوا،تهویه مکشی	
سرداب	زیرزمین	استفاده از برودت زمین و خنک نگه داشتن گردش هوای ورودی(تهویه عبوری و تهویه دودکشی)	
حیاط مرکزی و گودال باغچه	پادیاو	استفاده از سطح گیاهکاری شده سطوح مرطوب جهت کاهش بار حرارتی جریان باد عبوری(تهویه عبوری و تهویه دودکشی)	
سقف گنبدی	سقف های قوسی و گنبدی	ایجاد سرعت در تهویه مکشی	

ارسی ها	پنجره های دو جداره با شبکه های چوبی	جلوگیری از نفوذ گرد و غبار و حشرات موذی،تهویه عبوری ، تعویض هوا	
ایوان	تراس-بهارخواب	تقویت جریان هوا جهت عملکرد بهتر تهویه عبوری، ایجاد جریان طبیعی باد بوسیله سایه اندازی و اختلاف دما	
حوضخانه	حوضچه های سقفی	برودت تبخیری، ایجاد باد مطلوب و خنک برای ورود به برج های بادی، جذب گرمای	
پنجره های زیر سقفی	پنجره ها و بازشوهای سقف	تهویه عبوری و تهویه دودکشی (خروج و تعویض هوا) جابه جایی هوا	

مراجع

۱. ارغان، عباس و همکاران، بررسی عملکرد اقلیمی فضاهای نیمه باز در کیفیت بخشی فضاهای داخلی بنا: نمونه موردی شهر اصفهان، همایش ملی معماری-عمران و توسعه نوین شهری، ۱۳۹۳

۲. آیوازیان، سیمون، بهره گیری از روش های معماری سنتی در صرفه جویی انرژی، فصلنامه هنرهای زیبا، شماره۳، ص۸۴-۸۸، ۱۳۸۹

۳. احدی، امین اله و همکاران، بررسی فرم مناسب سقف و سودمندی استفاده از بادخور و بادگیر در تهویه طبیعی مسکن چابهار ، نشریه مسکن و محیط روستا، شماره۱۴۸،ص۳۳-۴۴، ۱۳۹۳

۴. احمدی چگینی، همایون و همکاران، تهویه طبیعی در ساختمان، پایان نامه کارشناسی ارشد، جلد اول، بخش اول و دوم و سوم، ۱۳۹۴

۵. بابایی فر، زهرا و همکاران، ایجاد تهویه مطبوع و بهره وری از انرژی به وسیله احداث بادگیرهای جدید در اقلیم گرم و خشک، اولین کنفرانس سراسری توسعه محوری مهندسی عمران،معماری ،برق و مکانیک ایران، ۱۳۹۳

۶. بهادری نژاد، مهدی و همکاران، تهویه و سرمایش طبیعی در ساختمان های سنتی ایران، تهران: انتشارات مرکز نشر دانشگاهی، ۱۳۸۵

۷. براتی، غلامرضا، نقش ویژگی های اقلیمی ساختمان های مسکونی در تامین بهینه گرمایش وسرمایش با تاکید بر قلمرو گرم و خشک ایران مرکزی، سومین همایش بهینه سازی مصرف سوخت در ساختمان، ۱۳۹۳

۸. پوردیهیمی، شهرام، زبان اقلیمی در طراحی محیطی پایدار(کاربرد اقلیم شناسی در برنامه ریزی و طراحی معماری، جلد۲، تهران: انتشارات دانشگاه شهید بهشتی، ۱۳۹۰

۹. پیرنیا ، محمدکریم، آشنایی با معماری اسلامی، تهران: انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۷۱

۱۰. تقوایی، علی اکبر و همکاران، بهره وری از سیستم های تهویه سنتی در معماری مدرن،با رویکردی به صرفه جویی در مصرف انرژی بر اساس اصول معماری پایدار، فصلنامه معاونت مهندسی ناجا، ص۹۹-۱۰۸، ۱۳۸۹

۱۱. خراسانی زاده، حسین و همکاران، مطالعه و مدلسازی عددی میدان جریان و توزیع دما در فضاهای تهویه شونده ،اولین کنفرانس بین المللی گرمایش و سرمایش و تهویه مطبوع، مرکز تحقیقات سازمان ساختمان و مسکن، ۱۳۸۸

۱۲. زاهدیان تجنکی، محمد و همکاران، بررسی تطبیقی عناصر تهویه طبیعی معماری سنتی اقلیم گرم و خشک ایران و اصول کاهنده مصرف انرژی در معماری پایدار، چهارمین کنفرانس ملی پژوهش های کاربردی در مهندسی عمران، معماری مدیریت شهری، ۱۳۹۵

۱۳. سلطاندوست، محمدرضا، اقلیم، معماری، تهویه مطبوع، تهران: انتشارات یزدا، ۱۳۹۲

۱۴. شاهدی، بهرام و همکاران، خانه های بومی کاشان،الگویی برای ارائه راهکار اقلیمی برای معماری معاصر در اقلیم گرم و خشک(مطالعه موردی :سرداب و بادگیر)، چهارمین کنگره بین المللی عمران، معماری و توسعه شهری تهران، ۱۳۹۵

۱۵. طاهباز، منصوره و همکاران، نقش طراحی معماری در کاهش مصرف انرژی ساختمان(انرژی باد در معماری)، مرکز آموزش علمی-کاربردی گروه بین المللی ره شهر، شماره۱۲۹، ص۶-۲۱، ۱۳۹۰

۱۶. عطروش، علی و همکاران ، تاثیر ارسی ها بر جریان هوا در فضای داخلی مطالعه موردی:خانه زینت الملک شیراز، نشریه علمی – پژوهشی انجمن علمی معماری و شهرسازی ایران، شماره۹، ص۱۹-۲۶، ۱۳۹۴

۱۷. غلامعلی، زهرا و همکاران، نقش انرژی باد در تهویه طبیعی از منظر معماری سنتی و تطابق آن با معماری امروزی ، همایش ملی معماری، عمران و توسعه نوین شهری، ۱۳۹۳

۱۸. فتوحی، فرهاد، ارائه راهبردهای تهویه طبیعی در طراحی ساختمان های غیرفعال اقلیم گرم و خشک، همایش ملی معماری و شهرسازی و توسعه پایدار با محوریت از معماری بومی تا شهر پایدار، ۱۳۹۲

۱۹. فخاری، مریم و همکاران، بهینه سازی دودکش خورشیدی و بررسی اثر آن بر تهویه ساختمان، نشریه هنرهای زیبا، معماری و شهرسازی، شماره ۲، ص۸۳-۸۸، ۱۳۹۲

۲۰. قبادیان، وحید، بررسی اقلیمی ابنیه سنتی ایران، تهران: انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۷۷

۲۱. قلعه نویی، افسانه، بهره گیری از عناصر شاخص تهویه طبیعی در ابنیه مسکونی پایدار مدرن، کنفرانس ملی بهینه سازی مصرف انرژی در علوم مهندسی، ۱۳۹۳

۲۲. کرمی راد، سینا و همکاران، مطالعه نمونه های عملی از تکنیک های غیرفعال تهویه طبیعی جهت کاهش مصرف انرژی ساختمان های مسکونی، سومین کنفرانس بین المللی نوآوری های اخیر در مهندسی عمران، معماری و شهرسازی، ۱۳۹۵

۲۳. کسمایی، مرتضی، اقلیم و معماری، تهران: انتشارات نشر خاک،۱۳۸۹

۲۴. کریمی دمنه، مرتضی و همکاران، الگوهای مناسب تهویه مطبوع در معماری سنتی ایرانی جهت بکارگیری در ساختمان های مسکونی معاصر، همایش ملی معماری و شهرسازی ایرانی-اسلامی، ۱۳۹۱

۲۵. ملازاده یزدانی، مریم، بررسی الگوهای پایدار تکرار پذیر در معماری مسکونی اقلیم گرم و خشک ایران و ارائه راهکارهای نوین ، سومین کنفرانس بین المللی معماری و شهرسازی پایدار، ۱۳۹۴

۲۶. محمودی، محمد مهدی و همکاران، روند توسعه فناوری اقلیمی با رویکرد توسعه پایدار، نشریه نقش جهان،ص۳۵تا۴۵ ، ۱۳۹۰

۲۷. مرادی، ساسان، تنظیم شرایط محیطی، تهران: انتشارات آرمان شهر، ۱۳۹۲

۲۸. وفامهر، محسن و همکاران، بادگیر دستاوردی از معماری سنتی ایران، ماهنامه بین المللی راه و ساختمان، شماره ۹۷، ص ۲۰-۲۷، ۱۳۹۳

۲۹. هالگرکخ، نیلسن، تهویه طبیعی راهنمای طراحی اقلیمی مناطق گرم، ترجمه احمدی نژاد، تهران: انتشارات خاک، ۱۳۸۵