اصول سامانه های سرمایش ایستا در عناصر معماری سنتی ایران

دکتر رزا وکیلی نژاد[۱]، دکترفاطمه مهدیزاده سراج[۲]، دکتر سیدمجید مفیدی شمیرانی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۰/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۶/۲۱

چکیده:

امروزه تلاش برای حل معضلات مهمی چون کاهش ذخایر سوخت فسیلی و آلودگی های ناشی از مصرف آنها، تخریب محیط زیست و... توجه طراحان را به ساخت بناهایی معطوف ساخته است که در آنها راهکارهای مختلف جهت استفاده از دیگر منابع انرژی در ایجاد آسایش حرارتی مدنظر قرار می گیرد. سامانه های ایستا از کارامدترین روش هایی است که تامین نیازهای حرارتی ساختمان را بدون استفاده از انرژی فسیلی و نیروی مکانیکی و با بهره مندی از منابع انرژی تجدید پذیر، خورشید، باد و... مدنظر قرار می دهد. از مهمترین مزایای این سامانه ها، سازگاری با محیط و استفاده از پتانسیلهای منطقه، کاهش مصرف انرژیهای فسیلی و اثرات مخرب زیست محیطی ناشی از آن است. این مقاله پس از معرفی روشهای مختلف کنترل حرارتی ساختمان به تشریح انواع سامانه های ایستا می پردازد. با توجه به اهمیت ایجاد سرمایش در اقلیم گـرم، استفاده از سامانه های ایستای سرمایشی در معماری ایران سابقه ای دیرینه دارد. در این راستا در ساختمانهای سنتی ایران از عناصر مختلف معماری استفاده شده است. اصول بکار رفته در این عناصر که برپایه فیزیک دما و حرارت استوار است، در دوره معاصر در قالب فرمهای متفاوت در دو گروه سامانه های گرمایشی و سرمایشی ایستا مورد استفاده قرار می گیرد. این مقاله با بررسی نحوه عملکرد عناصر معماری به کار رفته در معماری سنتی ایران، جهت ایجاد آسایش حرارتی، به تشریح اصول سامانه سرمایشی ایستای مرتبط با هریک از این عناصر پرداخته و عناصر سنتی را که از نظر فرم و کالبد معماری در تناظر با عناصر امروزی قرار می گیرند، معرفی می نماید.

واژه های کلیدی:

آسایش حرارتی، سرمایش ایستا، معماری سنتی ایران.

۱. استادیار دانشگاه شیراز. rvakilinezhad@iust.ac.ir

۲. دانشیار، دانشگاه علم وصنعت ایران.

۳. استادیار، دانشگاه علم وصنعت ایران.

۱. مقدمه

یکی از انواع روشهای مورد استفاده جهت تامین آسایش حرارتی ساختمان، کاربرد سامانه های ایستاست. استفاده از سامانه های ایستا قدمتی بسیار داشته و این سامانه ها همواره در طراحی ساختمانها مورد استفاده بوده است. در سالهای اخیر گسترش مشکلات تامین سوخت و آلودگی های زیست محیطی اهمیت این سامانه ها را دو چندان کرده است.

در راستای استفاده از سامانه های ایستا جهت سرمایش و گرمایش بنا، شکل گیری عناصری در کالبد معماری ساختمان ضروری است. عناصر سامانه های ایستا در ارتباط کامل با تصمیمات اولیه و اصلی طراحی توسط معمار بوده و پس از آن در مرحله دوم طراحی و ساماندهی فرم و شاکله بنا تاثیر گذارند.[۱] لازم به ذکر است که بدون رعایت اصول اولیه طراحی اقلیمی، صرف کاربرد این عناصر کارایی مطلوبی به دنبال نخواهد داشت. استفاده از سامانه های ایستا در صورت طراحی منطبق با نیازهای زیستی و سازگار با شرایط اقلیمی، علاوه بر مصرف انرژی فسیلی کمتر و نتیجتا کاهش هزینه های گرمایش، سرمایش و روشنایی بنا، پتانسیلهایی دارد که بسته به توانمندی معمار می تواند در قالب طرح معماری به خلق فضاهایی جذاب و زیبا کمک نماید.

در سرزمین ایران که بخش گسترده آن در اقلیم گرم قرار گرفته است، نیاز به سرمایش فضا اهمیت بسیار یافته و از مهمترین اهداف معماران گشته است. با نگاهی کوتاه به معماری گذشته ایران, عناصری شاخص در کالبد معماری بناها قابل تشخیص است که کاربرد عمده آنها، رفع نیازهای حرارتی است. اهمیت این عناصر در ترکیب با شاکله اصلی ساختمان کاملا نمود پیدا می کند. هرچند عناصری که در معماری سنتی جهت ایجاد سرمایش بکار رفته اند در معماری معاصر چندان مورد استفاده نیستند اما از آنجا که اصول فیزیک حرارت مورد استفاده در آنها با اصول طراحی سامانه های ایستای امروزی یکسان است، در برخی موارد مشابهت های کالبدی میان عناصر سنتی و امروزی سیستمهای ایستا مشاهده می شود.

در این مقاله عناصر سرمایشی ایستا تنها در مقیاس ساختمان مدنظر بوده است، هرچند در مقیاس شهری نیز راهکارهای مختلف طراحی و اجزای متنوع جهت ایجاد آسایش حرارتی مورد استفاده قرار گرفته که از جمله مهمترین آنها می توان کوچه های باریک و نامنظم، ساباط و فضاهای سرپوشیده با طاق و بافت ساختمانی فشرده را نام برد.[۲]

۲. روشهای ایجاد آسایش حرارتی

شرایط محیطی درون بنا باید به گونه ای متعادل شود که بتواند آسایش کالبدی و روانی را برای ساکنین فراهم کند. منظور از آسایش کالبدی تامین شرایط آسایش حرارتی (گرمایش و سرمایش) و آسایش بصری (تامین نور و روشنایی) است که مستلزم مصرف انرژی می باشد. با توجه به نوع انرژی مصرفی جهت تامین شرایط آسایش در بنا از چهار روش کلی مطابق جدول۱ می توان بهره برد.[۳]

در میان این روشها سامانه های ایستا، از عناصر معماری ساختمان، به عنوان راهکارهای طراحی، برای تغییر اقلیم استفاده می کنند.[۴] در سامانه های ایستای خورشیدی، گرمایش، سرمایش و روشنایی مورد نیاز برای ایجاد آسایش کالبدی در بنا از منابع طبیعی و تجدید-پذیر انرژی تامین شده و تنها برای انتقال انرژی گرد آوری شده به میزان بسیار کم از وسایل مکانیکی استفاده می شود. پس از طراحی اولیه ساختمان، طراحی این سیستمها به طور مستقیم در ارتباط با تصمیمات معمار در همخوانی با سایر عوامل طرح معماری شکل خواهد گرفت.

جدول ۱. روشهای ایجاد آسایش حرارتی

روش ایجاد آسایش	منابع انرژی مورد استفاده		نمونه	نقش معمار
	تامین انرژی	انتقال انرژی		
فوق پویا (EXTRA ACTIVE)	انرژی تجدید ناپذیر		شوفاژ، فن کویل و کولر آبی	جانمایی تجهیزات و مسیر عبور اجزای سامانه
پویا (ACTIVE)	قسمت عمده انرژی تجدید پذیر	مقدار کمی انرژی تجدید ناپذیر	کلکتورهای آب گرم خورشیدی، سیستمهای فتوولتاییک	نقش معمار در جانمایی هماهنگ سامانه و الحاق آن به کالبد ساختمان
ایستا (PASSIVE)	قسمت عمده انرژی تجدید پذیر	مقدار کمی انرژی تجدید ناپذیر	دیوار ترومب، بام آبی، فضای گلخانه ای	نقش مهم معمار در طراحی هماهنگ سامانه و عناصر معماری ساختمان
فوق ایستا (EXTRA PASSIVE)	انرژی تجدید پذیر		جهت گیری، تناسبات، فرم، اندازه پنجره ها، سایبانها	نقش ویژه تصمیمات معمار در ویژگیها و راهکارهای معماری

۳. تاریخچه سامانه های ایستا

استفاده از سامانه های ایستا برای گرمایش و سرمایش ساختمانها راهکاری جدید نیست و طی قرنهای متمادی بشر از آنها استفاده کرده است. جذب مستقیم نور خورشید از طریق یک پنجره معمولی با جهتگیری جنوبی ساده ترین نوع این سامانه هاست. با این توصیف تاریخچه استفاده از سامانه های ایستا به دوران خانه سازیهای اولیه باز میگردد. البته با رواج شیشه در ساختمانها روشهای استفاده از این سیستمها دامنه بیشتری یافت تا جایی که قرن هجدهم میلادی به "عصر گلخانه" مشهور گشت. اما ایده استفاده از گرمایش خورشیدی برای عموم تا دهه ۱۹۲۰ در اروپا آغاز نشد.[۵] در سال ۱۹۵۳ برادران اولگی واژه "رویکرد بیوکلیماتیک در منطقه گرایی معماری" را پیشنهاد دادند. در اواسط دهه ۱۹۷۰ واژه "طراحی خورشیدی ایستا" برای تعریف کاربردهای انرژی خورشیدی استفاده شد.[۶]

از اواخر دهه ۱۹۵۰ تا اواسط دهه ۱۹۷۰ اعتقاد بر این بود که سامانه های خورشیدی پویا بیشترین پتانسیل را برای مهار انرژی خورشید دارند. اما با تحولات این دوره و تحریم نفتی اپک در سال ۱۹۷۳ سامانه های ایستا بیشتر مورد توجه قرار گرفت. هزینه اولیه سامانه های ایستا در مقایسه با پویا بسیار کمتر بوده و علاوه بر نیاز کمتر به نگهداری، قابل اطمینان تر هستند.[۷]

نربرت لکنر در کتاب «گرمایش، سرمایش و روشنایی»، تمهیدات بکار رفته برای تامین آسایش در ساختمان را به سه مرحله «طراحی اولیه ساختمان، سیستمهای ایستا، سیستمهای مکانیکی» تقسیم-بندی کرده است.[۸]

به اعتقاد وی این سه مرحله به صورت آگاهانه و یا ناآگاهانه همواره در طراحی یک ساختمان وجود دارند. لازم به ذکر است که استفاده از سامانه های ایستا با پیش فرض طراحی مناسب ساختمان در مرحله اول و رعایت اصول اولیه طراحی اقلیمی می تواند موثر واقع شود.[۹]

۳-۱. انواع سامانه های ایستا

سامانه حرارتی ایستا سیستمی است که در آن عناصر اصلی بنا انرژی خورشید را جمع آوری، ذخیره و دوباره توزیع می کنند. گرمایش ایستا بر پایه استفاده از انرژی حرارتی خورشید و سرمایش ایستا بر پایه استفاده از کاهنده های گرمایی مختلف استوار هستند.[۱۰]

در یک تقسیم بندی کلی می توان انواع سیستمهای خورشیدی ایستا را به صورت زیر دسته بندی کرد:

جدول ۲. انواع سامانه های ایستا

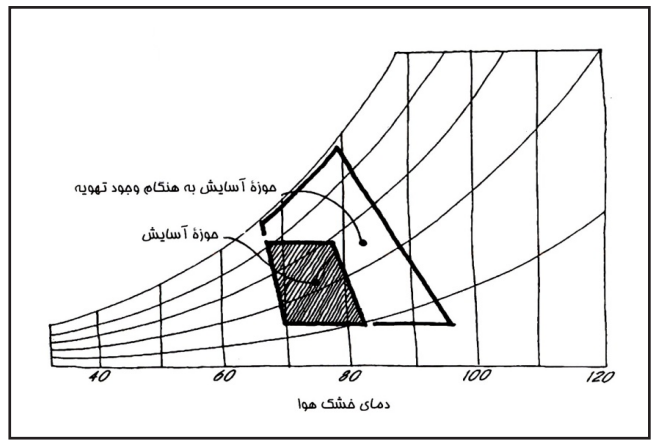
گرمایش ایستا	سرمایش ایستا
جذب مستقیم	سرمایش از طریق تهویه (تهویه با نیروی باد و اثر دودکشی و تهویه شبانه و کلاهک تهویه باد و بام دوجداره)
دیوار ذخیره ساز حرارتی (دیوار ترومب و دیوار آبی)	سرمایش تبخیری (تبخیر مستقیم و غیر مستقیم)
فضای خورشیدی (گلخانه و آتریوم)	سرمایش تابشی (مستقیم وغیر مستقیم)
چرخه جابجایی هوا (بستر سنگی و سیستم دوجداره)	سرمایش از طریق اثر جرم (اتصال مستقیم و اتصال غیر مستقیم)
	سرمایش از طریق رطوبت زدایی

۳-۲. سامانه های سرمایشی ایستا

در جدول فوق چهار روش جهت ایجاد سرمایش به صورت ایستا مطرح شده است که در ادامه به توصیف هر یک پرداخته می شود.

۳-۲-۱. سرمایش از طریق تهویه

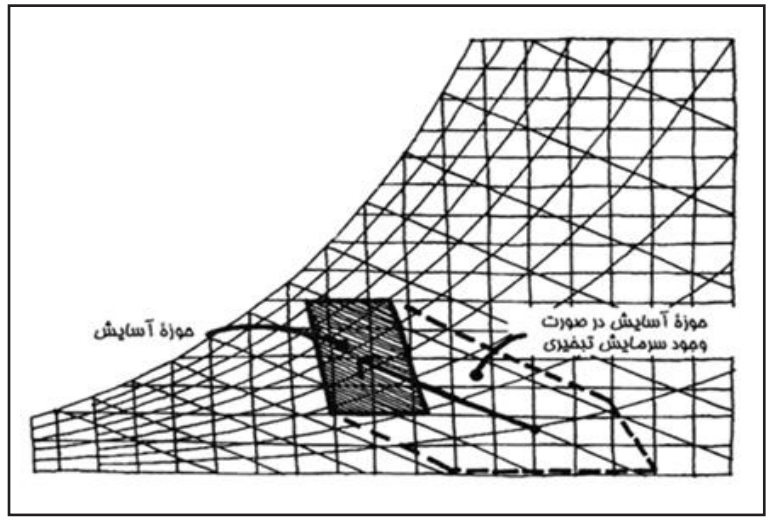
اساس سرمایش ایستا، جابجایی هواست که با افزایش قدرت تبخیر باعث ایجاد سرما می شود (تصویر۱). در کاربردهای ایستا، حرکت هوا یا بوسیله باد و یا با استفاده از اثر دودکشی تامین شده و در سامانه های ترکیبی از پنکه برای کمک به جریان هوا استفاده می شود. تهویه با تخلیه هوای گرم داخل و تعویض آن با هوای خنکتر خارج و نیز هدایت جریان هوا به سمت ساکنان با ترکیبی از جابجایی و تبخیر، سبب ایجاد سرمایش می شود.[۱۱] این روش شامل تهویه با نیروی باد، تهویه با اثر دودکشی، کلاهک تهویه باد و روش بام دوجداره است.



تصویر۱. فاکتور تهویه در محدوده آسایش[۱۲]

۳-۲-۲. سرمایش تبخیری

تبادل گرمای هوا، با گرمای نهان قطرات آب در سطوح مرطوب، سبب ایجاد سرمایش تبخیری می گردد. در این روش می توان از تبخیر از سطوح مرطوب، برای سرمایش هوای ساختمان، به صورت مستقیم و غیر مستقیم استفاده کرد. از سرمایش تبخیری در رطوبت کمتر از ۷۰ درصد (مناطق گرم و خشک)، در هوای با ظرفیت تبخیر بالا، استفاده می شود. در تصویر ۲، حوزه آسایش با هاشور مشخص شده و نشان دهنده شرایطی است که با استفاده از سرمایش تبخیری مستقیم می تواند به شرایط آسایش تبدیل شود. (تصویر۲)[۱۳]



تصویر۲. تاثیر سرمایش تبخیری در افزایش محدوده آسایش[۱۴]

۳-۲-۳. سرمایش تابشی

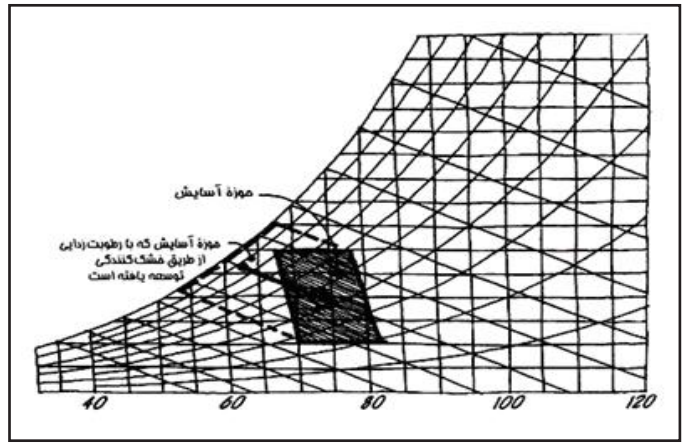
تشعشع شبانه از دیوارها و مصالح متراکم ساختمانی، که به صافی آسمان بستگی دارد، منجر به ایجاد سرمایش تابشی می شود. سرمایش تابشی نوعی انتقال گرما از یک سطح گرمتر به سطوح خنک اطراف است. در هوای خشکتر سطوح زمین می توانند گرمای بیشتری را به فضای خارجی تابش کنند.

۳-۲-۴. سرمایش با اثر جرم

زمین یک منبع گرمایی نا محدود با ظرفیت ذخیره حرارتی بالاست که از آن برای ذخیره سازی فصلی گرما می توان استفاده کرد. دمای خاک در عمق پایینتر از ۶ متر، تقریباً پایدار و دو یا سه درجه بیشتر از میانگین سالانه دمای سطح است.[۱۵] با افزایش عمق، نوسانات سالانه دمای خاک کاهش یافته و تاخیر زمانی در دماها ایجاد خواهد شد. به این ترتیب می توان از دمای ثابت زمین برای خنک ساختن بنا استفاده کرد. استفاده از تماس با خاک جهت سرمایش به دو روش تماس مستقیم و غیرمستقیم انجام می شود. در تماس مستقیم، جداره ساختمان کاملاً در زیر زمین مدفون می-شده و در تماس غیر مستقیم ساختمان با کانالهای حرارتی مدفون در زمین (تونلهای هوا) خنک می شود[۱۶]. سرمایش با استفاده از مصالح حرارتی در دیوارها نیز نمونه ای از چرخه روزانه سرمایش از طریق اثر جرم می باشد.

۳-۲-۵. سرمایش از طریق رطوبت زدایی

دریافت رطوبت از بخار آب هوا، رطوبت زدایی است. از این روش در رطوبت بالاتر از۷۰ تا ۸۰ درصد استفاده می شود. در رطوبت زدایی از سه روش رقیق ساختن با استفاده از هوای خشک، تقطیر و خشک کنندگی، برای خارج ساختن بخارآب از هوای اتاق استفاده می شود.[۱۷](تصویر ۳)



تصویر۳. تاثیر رطوبت زدایی در افزایش محدوده آسایش[۱۸]

۴. عناصر معماری سنتی جهت سرمایش ایستا

با توجه به اینکه قسمت وسیعی از کشور ایران در اقلیم گرم واقع شده، در معماری سنتی این سرزمین سرمایش فضا از اهمیت بیشتری برخوردار بوده است. معماران سنتی از راهکارها و عناصر معماری متعدد برای ایجاد آسایش به صورت ایستا بهره برده اند(مهدیزاده،۱۳۸۷). در ادامه مهمترین این عناصر و سامانه سرمایشی ایستای مورد استفاده در هریک، از منظر اصول عملکردی مطرح شده است.

۳-۳-۱. بادگیر

در بسیاری از مناطق کویری ایران، دریافت هوای خنک عبوری از روی بام با استفاده از بادگیرها و منطبق با تغییر جهت بادهای محلی انجام می شده است(Mehdizadeh Seradj, 2008). بادگیر در ایران و دیگر کشورهای حوزه خلیج فارس هم به صورت بادخور و هم به صورت خروجی عمل می کند. در صورتی که هوای گرم در اثر اختلاف فشار از وجه پشت، به داخل کشیده شود، بادگیر به صورت دودکش عمل کرده است. در سرعتهای کم باد، تهویه ساختمان، تنها به واسطه اثر دودکشی ادامه می یابد.[۱۹] در این حالت می توان بادگیر را به عنوان نوعی دودکش خورشیدی درنظر گرفت.

۳-۳-۲. حیاط مرکزی

ایجاد خانه های حیاط مرکزی با دیوارهای بلند، به منظور حبس هوای خنک یکی از راهکارهای قدیمی ایجاد سرمایش است. حیاط با جهت گیری به سمت جنوب دو قسمت تابستان نشین و زمستان نشین ایجاد می کند. این حیاطها هنگام صبح و بعدازظهر کاملاً در سایه هستند و همواره بخشی از بنا بر کف حیاط و دیوارهای مقابل سایه اندازی میکند. حیاطهای مرکزی با استفاده از سرمایش تابشی شبانه سبب کاهش دما می شوند. علاوه بر سرمایش تابشی شبانه، سایه اندازی حفاظتی در طول روز و تبخیر از سطح زمین، گیاهان و سطوح آب موجود در حیاط مهمترین عوامل در کارکرد حرارتی حیاط هستند.[۲۰] حیاطها به عنوان تله سرمایی عمل کرده و سرما را در خود حفظ می کنند. در طول روز حیاط به دلیل سایه اندازی، سرمایش تبخیری و حفظ هوای خنک شب، معتدل تر از فضاهای کاملاً باز خارجی است.[۲۱] علاوه بر فرآیند های سرمایش تابشی، جابجایی و تبخیری در حیاط مرکزی نباید اثر آن را در ایجاد خرداقلیم نادیده گرفت. "رینولدز" در سال ۱۹۸۳ با تحلیل حیاطهای مرکزی در شهر کولیمای مکزیک تصورات ذهنی از سرمایش را در این ساختمانها بسیار فراتر از تاثیرات قابل اندازه گیری می داند.[۲۲]

۳-۳-۳. گودال باغچه

در برخی خانه های حیاط مرکزی، احداث گودال باغچه در سطح پایین در ترکیب با درختان و حوض فضایی خنک ایجاد می کند. در تابستان، درختان مانع از تابش خورشید به فضاهای پایین شده و در زمستان در نتیجه ریزش برگ درختان از تابش خورشید استفاده می شود. در فصل تابستان اختلاف درجه حرارت قابل توجهی بین حیاط گودال باغچه و حیاط بالا وجود دارد. گودال باغچه به خودی خود به عنوان یک تولید کننده هوای تازه و خنک، برای فضاهای حیاط بالا عمل می کند.[۲۳] در این فضا از اثر جرم زمین جهت گرمایش زمستان و سرمایش در تابستان استفاده شده است.

۳-۳-۴. حوضخانه

حوضخانه فضایی است که همسطح حیاط، زیرزمین یا بالای

آن در مجاورت با بدنه ای از آب شکل می گیرد. در برخی موارد بدنه آب حوض و فواره ای در فضای داخلی و در برخی موارد آب قنات است. در صورت وجود قنات، عمق حوضخانه یا سرداب به تراز جریان یافتن آب قنات وابسته بوده است. عبور آب خنک از این فضا، باعث مرطوب شدن و کاهش دمای هوای آن میشود. در برخی موارد هوای خنک حوضخانه را با استفاده از کانالهایی به فضاهای دیگر منتقل کرده اند.

۳-۳-۵. شبستان و شوادان

شوادان فضایی زیرزمینی است که در عمقی پایینتر از زیرزمینهای معمول (بیش از ۷ متر) احداث شده است. احداث شوادان به دلیل خصوصیات ویژه بستر خاک تنها در برخی مناطق میسر بوده است. در این فضا، از سرمایش به وسیله اثر جرم زمین، تهویه عبوری و تهویه دودکشی استفاده شده است.[۲۴] دریافت هوای تازه و ایجاد تهویه عبوری با استفاده از کانالهای افقی متصل به فضای خارج صورت گرفته است. در سرمایش فضای شبستان یا زیرزمین نیز از کاهش دما توسط اثر جرم زمین استفاده می شود هرچند این فضا نسبت به شوادان در عمق کمتر زمین قرار دارد.[۲۵]

یکی از اجزای شوادان، کوره یا کانالهای زیرزمینی است که جهت ایجاد کوران هوا و تهویه، به صورت افقی میان شوادانهای دو خانه مجاور ایجاد شده است. از دیگر اجزای شوادان، کانالهای عمودی به نام سی سراست که علاوه بر تامین نور و روشنایی، با ایجاد تهویه دودکشی در سرمایش شوادان موثر بوده است. در سرمایش از طریق تماس با خاک، دمای عمق زمین را می توان با استفاده از دیواره ای از هواکش های عمودی که هوای سرد زمستان وارد آن میشود کاهش داد. این راهکار که در سال ۱۹۸۰ توسط گیونی پیشنهاد شد مشابه عملکرد کانالهای عمودی تهویه هوا (سی سرا) در ساختمان شوادانهاست. به این ترتیب سرمایش در فضای شوادان از طریق ترکیبی از راهکارهای سرمایش ایستا شامل تهویه عبوری و دودکشی و جرم حرارتی زمین صورت می گیرد.

۳-۳-۶. ایوان

هدف از احداث ایوانها ایجاد فضایی پرسایه است که با توجه به عمق و ارتفاعهای مختلف می تواند متناوبا جهت سرمایش و گرمایش در فصل گرم و سرد و یا تنها جهت سرمایش در تمام فصول بکار رود. در مناطق گرم ایوان فضایی پرسایه است که با استفاده از تهویه مستقیم و ایجاد کوران، به دلیل ایجاد مناطق با فشارهای هوایی متفاوت به واسطه فضاهای خالی و پر (ایوان و فضاهای مجاورش) سبب کاهش دما می شود. علاوه بر این در ایوانهای مرتفع، تهویه دودکشی نیز در سرمایش فضا موثر است.

۳-۳-۷. شناشیل

شناشیل، پنجره ای بیرون آمده و مشبک در جداره ساختمان است که در جلو بازشوهای نمای خارجی قرار می گیرد. در خانه-های کنار ساحل (در ایران، بوشهر)، شناشیل مکانی برای استفاده از نسیم و باد مطبوع دریاست. که در یک یا دو طرف جبهه بیرونی و یک تا چهار طرف جبهه داخلی قرار گرفته است.[۲۶]

شناشیل علاوه بر ایجاد تهویه با استفاده از نسیم در تابستان، برای ایجاد سرمایش بیشتر و پرهیز از نور خورشید، سایه اندازی شده است. در ایران شناشیلها از جنس چوب یا حصیر بوده و به دو صورت مسقف و بی سقف ساخته شده است. استفاده از جداره های چوبی مشبک، علاوه بر میسر ساختن امکان تهویه و سایه اندازی، حفاظ بصری مناسبی در مقابل دید از خارج بوده و محرمیت فضا را فراهم کرده است.[۲۷]

در کشورهای عربی خاورمیانه فضاهایی مشابه شناشیل و به نام «مشربیه» وجود دارد. قرار دادن کوزه های سفالی آب در این فضاها علاوه بر خنک ساختن آب آشامیدنی، با ایجاد سرمایش تبخیری سبب کاهش دما می شود.[۲۸]

راهکارهای ایجاد سرمایش ایستا در شناشیل و مشربیه، سایه اندازی، تهویه مستقیم و سرمایش تبخیری است(Vakilinezhad, 2013 ,Mofidi & Mehdizadeh).

۳-۳-۸. خیشخان

امروزه برجهای خنک کننده تبخیری بدون استفاده از فن و یا باد، هوای خنک را به داخل ساختمان وارد می کنند. برجهای خنک کننده، هوای خنک و مرطوب را از دریچه های که در بالا قرار گرفته و دهانه آن با لایه مرطوبی پوشیده شده است، وارد بنا می سازند. قطرات آب با استفاده از پمپهای آبی الکتریکی کوچک، بر روی لایه واقع در دهانه برج می ریزد.[۲۹] اساس کار برجها استفاده از سرمایش تبخیری و سرمایش از طریق تهویه است. در میان سامانه های سرمایشی ایستا، عملکرد خیشخان در اقلیمهای گرم و خشک برای ورود هوای خنک و مرطوب به داخل مشابه با عملکرد برج خنک کننده تبخیری است. استفاده از خیشخان در جنوب شرقی ایران (سیستان) رایج بوده و به آن خارخانه نیز می گویند.

۳-۳-۹. مصالح با ظرفیت حرارتی زیاد

استفاده از مصالح حرارتی، برای ذخیره گرمای روزانه و تخلیه شبانه آن با استفاده از تهویه شبانه سبب کاهش دما می گردد. سرمایش بنا با تهویه شبانه نیز مستلزم استفاده از مصالح با ظرفیت حرارتی زیاد است. در روز، با ذخیره حرارت در مصالح ساختمانی در طول روز و کاهش دمای هوای بیرون در شب، جریان تهویه هوا

از خارج به داخل بنا ایجاد شده و گرمای آزاد شده از مصالح را به خارج هدایت می کند. بدین ترتیب مصالح خنک شده و قابلیت جذب گرمای روز بعد را پیدا می کنند.[۳۰] از طرفی در صورتیکه در شب دمای هوای داخل ساختمان کمتر از هوای خارج باشد، گرمای ذخیره شده در مصالح در طول روز وارد فضای داخلی ساختمان شده و این چرخه سرمایش و گرمایش مصالح، هر روز تکرار می شود.

بنابراین استفاده از مصالح با جرم حرارتی زیاد موجب ایجاد یکنواختی حرارتی و کاهش نوسانات روزانه در ساختمان می شود.[۳۱] علاوه بر کاهش نوسانات دما، در ساختمانهای حجیم سنتی، وجود مصالح با جرم زیاد در جداره ساختمان، مشابه عملکرد دیوارهای ترومب در سامانه های ایستا، تاخیر زمانی عمده ای در انتقال دمای هوای خارج به داخل وجود دارد. اگر مصالح داخل ساختمان مصالحی با جرم زیاد باشند، سرمایش از طریق تهویه در طول شب می تواند گرمای جذب شده در طول روز را در داخل ساختمان به جریان بیندازد.[۳۲] گرچه تهویه در این مورد نقش اندکی داشته و انتقال انرژی از مصالح به فضای داخلی اهمیت بیشتری دارد.

۳-۳-۱۰. پنجره های زیر سقفی

استفاده از پنجره های زیر سقفی در برخی فضاها با ارتفاع زیاد متداول بوده است. هوای داخل پس از گرم شدن به سمت بالا حرکت کرده و از منافذ بالایی در مجاورت سقف خارج می شود. در اینجا حرکت هوا با استفاده از تهویه دودکشی و جایگزینی آن توسط هوای خنکتر مبنای ایجاد سرمایش است.

۳-۳-۱۱. بدنه آب (آبنما و حوض) در مجاورت ساختمان

در اقلیمهای گرم و خشک استفاده از تبخیر آب، علاوه بر کاهش دمای هوا باعث افزایش رطوبت ولطافت هوا می شود. میزان برودت ایجاد شده، به مساحت بدنه آب و دمای آن، سرعت باد و رطوبت نسبی هوا بستگی دارد. در شرایط معتدل از نظر دما، رطوبت و باد، ۱ متر مربع از آب، در نتیجه تبادل گرما، بین هوا و لایه بسیار نازکی از سطح خارجی آب، می تواند به اندازه ۲۰۰ وات سرمایش ایجاد کند.[۳۳] در حیاطهای مرکزی استفاده از آبنما و حوض، در مقابل قسمت اصلی تابستان نشین در راستای استفاده از سرمایش تبخیری و خنک کردن هوای ورودی به ساختمان صورت گرفته است. در همین راستا افشاندن آب با فواره، آبپاشی سطح زمین و استفاده از پوشش گیاهی نیز برای افزایش مساحت بدنه آب و استفاده از سرمایش تبخیری ایجاد شده توسط قطرات ریز آب بوده است.

۳-۳-۱۲. اجزای ساختمانی دو پوسته

سامانه پوسته دو جداره، راهکاری قابل اجراء برای کاهش بار سرمایش ساختمان است که از انتقال گرما به داخل جلوگیری می-کند. در صورتی که امکان تهویه فضای بین دو پوسته وجود داشته باشد، عملکرد این سامانه، با کاهش بیشتر در انتقال گرما از طریق هدایت همراه خواهد بود.[۳۴] در بسیاری از ساختمانهای سنتی، از دو سطح متفاوت جهت پوشش فضاها با ایجاد لایه ای از هوا بین دو سطح استفاده شده است که نمونه بارز آن در گنبدهای دو و سه پوسته مشاهده می شود. معمولا در این فضاها با تعبیه منافذی کوچک امکان تهویه فراهم شده است. لازم به ذکر است علاوه بر سرمایش، اهداف متفاوتی از جمله ایجاد تناسب فضایی بین محیط معماری داخل ساختمان و محیط خارجی مقیاس شهری، نمود بصری، جهت یابی و شاخصه شهری در کاربرد فضاهای دوپوسته موثر بوده است.

۳-۳-۱۳. گره بندیهای چوبی و گچی پنجره ها

یکی از مهمترین راهکارهای سرمایشی ایجاد سایه و ممانعت از تابش خورشید به فضای داخلی در تابستان است. تاثیر سایبان پنجره-ها و تهویه طبیعی در تعیین دمای هوای داخلی یک ساختمان، بسیار بیشتر از تاثیر جهت پنجره هاست.[۳۵] در جهات جنوب، جنوب شرقی و غربی، سایبان های افقی موثرتر از سایبان های عمودی اند اما سایبانهای قابی شکل، متشکل از سایبان های عمودی و افقی موثرترین نوع سایبان در این جهات می باشند.[۳۶] در دو جهت شرق و غرب نیز با استفاده از سایبان های قابی شکل در اطراف پنجره می-توان سایه مناسب بر روی پنجره ایجاد نمود. گره بندیهای چوبی و گچی در ارسی های ساختمان را می توان نوعی از سایه اندازهای قابی شکل به صورت ترکیبی از عناصر افقی و قائم درنظر گرفت. این سایبانهای متخلخل با سایه اندازی بر شیشه، علاوه بر پخش یکنواخت نور، سبب کاهش میزان خیرگی و آزار بصری می شوند. علاوه بر این با توجه به قابلیت جابجایی و حرکت می توان عملکرد آنها را متناظر با سایبان های فصلی قابل تنظیم با قابلیت جذب مستقیم در زمستان به شمار آورد. علاوه بر عناصر معماری فوق، راهکارهای مختلفی نیز در جهت ایجاد آسایش صورت می گرفته که بسیاری از آنها به عنوان جزئی از فرهنگ و آداب زندگی مردم گردیده است. از جمله این موارد می توان به آبپاشی محیط حیاط و بام و... در راستای استفاده از برودت تبخیری اشاده کرد. زیرا دفع گرما از طریق مرطوب سازی سطوح، می تواند از طریق تبخیر موجب خنک شدن آنها شود.[۳۷]

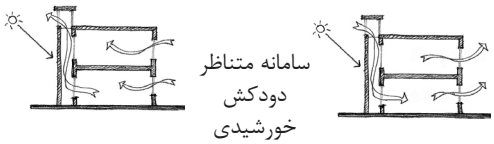
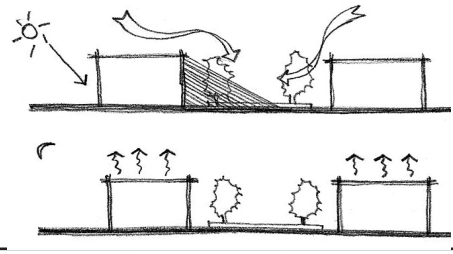
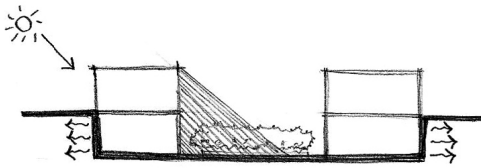
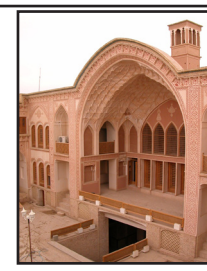
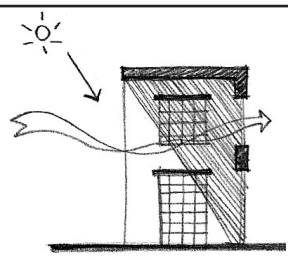
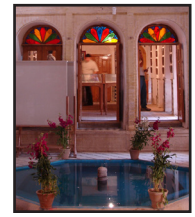
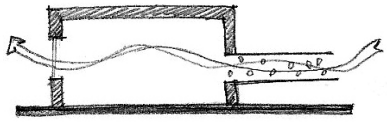
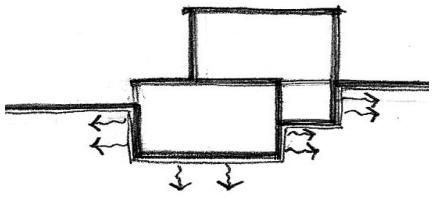
۵. اصول سرمایشی ایستا در عناصر معماری

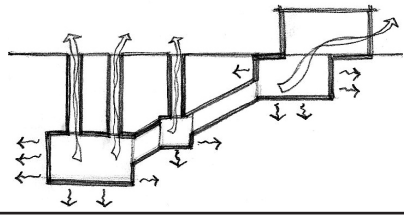
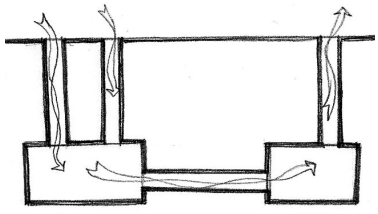
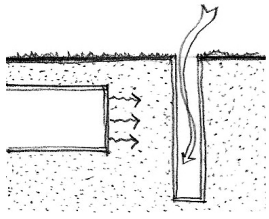
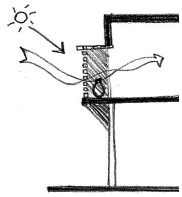
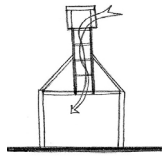
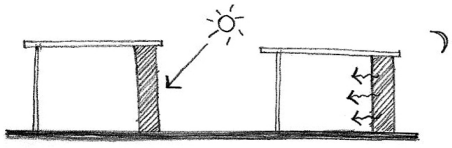
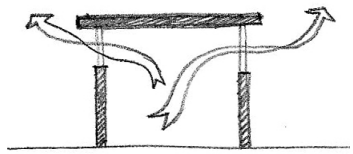
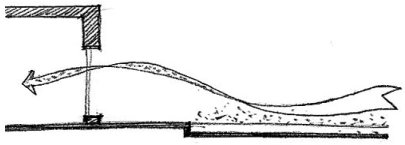
در جدول زیر عناصر معماری که جهت ایجاد سرمایش به صورت ایستا در ساختمانهای سنتی ایران به کار برده شده و اصول سرمایشی

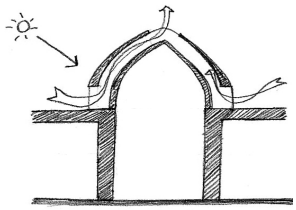
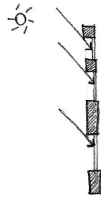
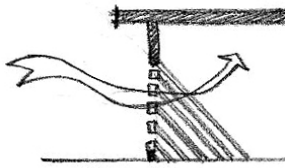
سامانه ایستای متناظر هریک تهیه شده است. همانگونه که ذکر شد برخی از این عناصر سنتی از نظر عملکرد و فرم معماری، متناظر برخی سامانه های ایستای امروزی هستند.

نکته حائز اهمیت اینکه در هر منطقه انتخاب سیستم ایستای سرمایشی و عنصر معماری متناظر آن، با توجه به مجموع شرایط اقلیمی و اولویت عوامل جهت ایجاد آسایش (سرمایش- تهویه- سایه اندازی و...) صورت گرفته و متناسب با شرایط تغییراتی در آنها صورت گرفته است. چنانچه در اقلیم گرم و مرطوب ایران تنها در برخی نواحی مانند شوشتر و دزفول با توجه به ویژگیهای زمین، از فضاهای زیرزمینی شوادان استفاده شده است. احداث گودال باغچه نیز با توجه به ویژگیهای خاک بستر تنها در مناطقی چون یزد میسر بوده است.

جدول ۳. اصول سرمایش ایستا در عناصر معماری سنتی

عنصر معماری	تصویر	اصول طراحی سرمایش ایستا	توضیحات
بادگیر		سرمایش از طریق تهویه (تهویه عبوری و تهویه دودکشی)	 سامانه متناظر دودکش خورشیدی
حیاط مرکزی		سرمایش تبخیری (مستقیم)- سرمایش تابشی سرمایش از طریق تهویه (تهویه عبوری و تهویه دودکشی) سرمایش از طریق تهویه شبانه- تابش شبانه سرمایش تبخیری (مستقیم و غیر مستقیم) در ترکیب با بدنه های آب مجاور سایه اندازی- تله سرمایی	
گودال باغچه		سرمایش تبخیری (مستقیم)- سرمایش تابشی سرمایش از طریق تهویه (تهویه عبوری و تهویه دودکشی) سرمایش از طریق تهویه شبانه- تابش شبانه سرمایش تبخیری (مستقیم و غیر مستقیم) در ترکیب با بدنه های آب مجاور سایه اندازی- تله سرمایی سرمایش با اثر جرم (تماس مستقیم)	
ایوان		سرمایش از طریق تهویه (تهویه عبوری و تهویه دودکشی) سرمایش تبخیری (مستقیم و غیر مستقیم) در ترکیب با بدنه های آب مجاور- سایه اندازی	
حوضخانه		سرمایش از طریق تهویه (تهویه دودکشی) سرمایش تبخیری (مستقیم و غیر مستقیم)	 سامانه متناظر کولرهای تبخیری (سیستم حلقه باز)
شبستان		سرمایش با اثر جرم (تماس مستقیم) سرمایش از طریق تهویه (تهویه عبوری و تهویه دودکشی) ذخیره سازی فصلی حرارت	

عنصر معماری	تصویر	اصول طراحی سرمایش ایستا	توضیحات
شوادان		سرمایش با اثر جرم (تماس مستقیم) سرمایش از طریق تهویه (تهویه عبوری و تهویه دودکشی) ذخیره سازی فصلی حرارت	
کانالهای افقی بین شوادانها (کوره)		سرمایش با اثر جرم (تماس غیر مستقیم) سرمایش از طریق تهویه (تهویه عبوری) سرمایش تبخیری (غیر مستقیم)	
کانالهای عمودی شوادان (سیسرا)		سرمایش با اثر جرم (تماس غیر مستقیم) سرمایش از طریق تهویه (تهویه عبوری و تهویه دودکشی)	سامانه متناظر کانالهای پیشنهادی گیونی 
شناشیل		سرمایش از طریق تهویه (تهویه عبوری) سرمایش تبخیری (مستقیم)- سایه اندازی	
خیشخان		سرمایش تبخیری (مستقیم) سرمایش از طریق تهویه (تهویه عبوری)	 سامانه متناظر برج خنک کننده تبخیری
مصالح با ظرفیت حرارتی زیاد		سرمایش با تهویه شبانه تاخیر در زمان حرارت کاربرد در گرمایش به صورت جذب مستقیم و دیوار ذخیره ساز حرارتی	 سامانه متناظر دیوار ترومب
پنجره های زیر سقفی		سرمایش از طریق تهویه (تهویه عبوری و تهویه دودکشی)	
بدنه های آب مجاور ساختمان		سرمایش تبخیری (مستقیم و غیرمستقیم)	

عنصر معماری	تصویر	اصول طراحی سرمایش ایستا	توضیحات
اجزای ساختمانی دو پوسته		سرمایش از طریق تهویه (تهویه عبوری) سایه اندازی کاربرد در سرمایش و گرمایش	سامانه متناظر دیوارهای دو پوسته مدرن 
گره بندی چوبی و گچی پنجره		سایه اندازی	سامانه متناظر سایبانهای قابی شکل سایبان های عمودی و افقی 
پنجره مشبک آجری یا کاشی (فخرمدین		سرمایش از طریق تهویه (تهویه عبوری) سرمایش تبخیری (مستقیم و غیر مستقیم) در ترکیب با بدنه های آب مجاور- سایه اندازی	

۶. نتیجه گیری

تامین آسایش حرارتی در ساختمان از مهمترین اهداف طراحی اقلیمی است. از میان سایر روشهای ایجاد آسایش حرارتی، روشهای ایستا (Passive) و فوق ایستا (Extra Passive) با توجه به استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر و عدم ایجاد آلودگی برای محیط زیست و نیز صرفه جویی اقتصادی، مناسبترین روشها هستند.

سامانه های حرارتی ایستا در دوره های مختلف معماری در قالب اجزا و راهکارهای مختلف کاربرد داشته اند. در بسیاری از ساختمانهای سنتی ایران اقدامات بسیاری در جهت طراحی فوق ایستا و ایستا صورت گرفته است. تامین شرایط مطلوب حرارتی در این ساختمانها دلیلی بر این مدعاست. لذا شناخت و مداقه در روشهای بکار رفته در معماری سنتی یک سرزمین می تواند در طراحی شرایط آسایشی مطلوب در ساختمانهای معاصر بدون استفاده از انرژیهای فسیلی، در جهت طراحی مطلوب راهگشا باشد.

در این مقاله نحوه عملکرد هریک از عناصر معماری سرمایش ایستا در معماری سنتی ایران با توجه به اصول کلی مورد استفاده در ایجاد سرمایش، تحلیل شده است. کاربرد اصول یکسان در سامانه های ایستای امروزی و عناصر معماری سنتی، سبب ایجاد شباهتهای کالبدی و فرمی میان برخی از این عناصر است. چنانچه عملکرد بادگیر در برخی موارد مشابه دودکش خورشیدی و عملکرد خیشخان مشابه عملکرد برجهای خنک کننده تبخیری است.

لازم به ذکر است که اگرچه در جدول انتهایی اصول مورد استفاده در هر عنصر به صورت جداگانه مشخص شده است اما معمولا آسایش حرارتی در یک ساختمان سنتی ناشی از ترکیب چندین عامل (تهویه، تبخیر، سایه اندازی، انعکاس و ذخیره سازی سرما و...) و عملکرد هماهنگ چندین عنصر ساختمانی با یکدیگر است. علاوه بر این در یک ساختمان سنتی عوامل مختلفی در هماهنگی با عناصر معماری در عملکرد حرارتی بهتر ساختمان موثر بوده اند. برای مثال استفاده از گیاهان و فضای سبز در حیاطهای مرکزی کارآیی حیاط را افزایش می دهد زیرا گیاهان از طریق سایه اندازی و تبخیر، هوا را خنک می کنند.

با بکار گیری اصول سامانه های ایستا، عناصر سنتی مطرح شده می توانند منبع الهام طراحان در ساختمانهای امروزی واقع شوند. بدیهی است مدنظر قرار دادن این اصول از ابتدای فرآیند طراحی، در همخوانی و هماهنگی کامل طرح معماری با عناصر لازم جهت ایجاد آسایش حرارتی موثر خواهد بود. ضمن آنکه برای ایجاد معماری مطلوب لازم است طراحی ساختمان در مراحل اولیه با رعایت اصول طراحی فوق ایستا صورت گرفته و در مرحله بعد طراحی سامانه های ایستای مورد نیاز همزمان با طراحی عناصر و جزئیات طرح معماری پیش برده شود.

پی نوشت:

۱. لکنر.ن، ۱۳۸۵

2. Brown ،G.Z & Dekay M، 2001

۳. واتسون، د. و لب، ک.، ۱۳۷۸

۴. صابری، ا. و صانعی، پ.، ۱۳۸۵

۵. لکنر، ن.، ۱۳۸۵

۶. مور، ف.، ۱۳۸۲

۷. لکنر، ن.، ۱۳۸۵

۸. همان

۹. لکنر، ن.، ۱۳۸۵

10. Brown, M., Dekay, G.Z, 2001

۱۱. فولر، م.، ۱۳۸۲

۱۲. فولر، م.، ۱۳۸۲

۱۳. همان

۱۴. همان

۱۵. لکنر، ن.، ۱۳۸۵

۱۶. فولر، م.، ۱۳۸۲

۱۷. همان

۱۸. همان

۱۹. مک کارتی، ب.، ۱۳۸۱

۲۰. صابری، ا. و صانعی، پ.، ۱۳۸۵

21. Herzog, T., 1996

۲۲. صابری، ا. و صانعی، پ.، ۱۳۸۵

۲۳. مور، ف.، ۱۳۸۲

24. Rezaee, R.,Vakilinezhad, R., Shahzadeh,M., 2008

۲۵. لازم به ذکر است که لفظ شبستان به فضاهای واقع در سطح همکف نیز اطلاق می شود اما در اینجا منظور از شبستان، فضایی واقع در زیر زمین و معادل سرداب است.

۲۶. مور، ف.، ۱۳۸۲

۲۷. معماریان، غ.، ۱۳۷۵

۲۸. لکنر، ن.، ۱۳۸۵

۲۹. همان

30. Brown, M., Dekay, G.Z, 2001

31. Givoni, B., 1988

۳۲. مور، ف.، ۱۳۸۲

۳۳. همان

34. Herzog, T., 1996

۳۵. فولر، م.، ۱۳۸۲

۳۶. لکنر، ن.، ۱۳۸۵
۳۷. لکنر، ن.، ۱۳۸۵
۳۸. فولر، م.، ۱۳۸۲

فهرست منابع:

- صابری، ا. و صانعی، پ.،(۱۳۸۱)، معماری با حداقل انرژی، شرکت نگاه شرقی سبز.
- لکنر.ن،(۱۳۸۵)، گرمایش، سرمایش، روشنایی رویکردهای طراحی برای معماران، ترجمه کی نژاد.م و آذری.ر، دانشگاه هنر اسلامی تبریز.
- مک کارتی، ب.،(۱۳۸۱)، بادخان (ملاحظات کالبدی باد در ساختمان)، ترجمه احمدی نژاد، م.، نشر خاک.
- معماریان، غ.،(۱۳۷۵)، آشنایی با معماری مسکونی ایرانی گونه شناسی درونگرا، دانشگاه علم و صنعت ایران.
- مور.ف،(۱۳۸۲)، سیستمهای کنترل محیط زیست تنظیم شرایط محیطی در ساختمان، ترجمه کی نژاد.م و آذری.ر، دانشگاه هنر اسلامی تبریز.
- مهدیزاده سراج، ف. (۱۳۸۷)، استفاده بهینه و موثر از انرژیهای پاک تنها راه حل حفظ محیط زیست، در همایش ملی "سوخت، انرژی و محیط زیست"، تهران.
- واتسون، د. و لب، ک.،(۱۳۷۸)، طراحی اقلیمی، ترجمه قبادیان، و. و فیض مهدوی، م.، دانشگاه تهران.

- Brown ،G.Z & Dekay M.،(2001), Sun ،Wind and Light architectural design strateges، America.
- Herzog، Thomas،(1996), First Edition، Solar Energy in Architecture and Urban Planning، Munich،London، new York.
- Givoni، Baruch،(1988), Copyright، by Van NostrandReinhold، Climate Consideration in Building and Urban Design، Printed in United States of America.
- Mehdizadeh Seradj, F. (2008), "Using Natural Resources for Ventilation: Teh Applicaticn of Bodgirs in preservation", APT Bulletin, Vol. 4, NO. 4, : 39-46.
- Rezaee, R., Vakilinezhad, R.,(2008) “Shavadun” as an ecological solution of architecture in hot climate, Proc. of the 2nd Int. Conf. On Harmonisation between Architecture and Nature, Eco-Architecture, eds. WIT: Algarve, Portugal.
- Vakilinezhad,R. , Mofidi, M.& Mehdizade Seradj, F. (2013)"Shanashil", a sustainable element to balance light, view and thermal comfort, in the international Journal of Environmental, cultural, Economic and social sustainability, Vol. , 8: 101-110.

Principles of passive cooling systems in vernacular architectural elements of Iran

Roza Vakilinezhad(Ph.D.), Fatemeh Mehdizadeh Seradj(Ph.D.), Seyed Majid Mofidi Shemirani(Ph.D.)

Global crises in terms of energy, environment and health are among the major challenges which human being is facing nowadays. According to these problems, architects and building designers are making major attempt to minimize non-renewable energy consumption in buildings. They seek various ways to reduce negative impacts of building on environment while providing comfort and health for building occupants. Therefore designers are making attention to use renewable energy resources in buildings. Passive systems of energy are among the most effective methods in providing thermal comfort requirements of building occupants. Taking advantages of the local climate and site potentials, such systems make use of renewable sources of energy. Environmental sustainability could be considered as the main advantage of such systems which could be classified in the two groups as passive heating and passive cooling systems. In Iranian architecture passive cooling systems had been used for many years according to the hot climate. Therefor various architectural elements have been used in vernacular buildings of Iran. This article describes the principles of each passive cooling system, introducing various methods to control building thermal behavior. Based on the same basics, these principles have been used in contemporary elements with new forms. Describing each vernacular element, the contemporary corresponding system or element has been introduced.

Key words:
thermal comfort, passive cooling systems, Iranian vernacular architecture.