CERTIFICATE

پنجمین همایش ملی فناوری های نوین در مهندسی معماری ، عمران و شهرسازی ایران

5th National Conference on New Technologies in Architectural, Civil and Urban Engineering of Iran

گواهی پذیرش مقاله

بدینوسیله گواهی می گردد مقاله با عنوان:

عوامل موثر بر بهبود عملکرد یادگیرها

ارائه شده توسط:

پیام مزیناتی ، فاطمه موسوی تیا

براساس تائید کمیته علمی و هیات محترم داوران مورد پذیرش کامل قرار گرفته و در مجموعه مقالات علمی پژوهشی **پنجمین همایش ملی فناوری های نوین در مهندسی معماری ، عمران و شهرسازی ایران** به چاپ خواهد رسید. امید است نتایج این همایش در بهبود هرچه بیشتر عملکرد ایشان در راستای افزایش بهره وری و تحقیق توسعه پایدار در جهان اسلام موثر واقع گردد.

دکتر مریم ابراهیم پور
دبیر علمی همایش

سامانه احراز اصالت گواهینامه : WWW.VCERT.IR

کد احراز اصالت گواهینامه : btconf5-02800266

عوامل مؤثر بر بهبود عملکرد بادگیرها

1- پیام مزینانی، 2- سیده فاطمه موسوی نیا

1- دانشجو کارشناسی ارشد مهندسی معماری دانشگاه فردوسی مشهد

2- استادیار, گروه معماری, دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه فردوسی مشهد

Emai:paiam.mz@gmail.com
Email: mousavinia@um.ac.ir

چکیده

با توجه به ضرورت کاهش مصرف انرژی‌های تجدید ناپذیر برای دستیابی به پایداری محیطی و نقش صنعت ساختمان که حدود 40 در صد از مصرف انرژی جهانی را به خود اختصاص داده، بنابراین بررسی عوامل مهم در مصرف انرژی در این صنعت بسیار مهم می‌باشد. یکی از عوامل مهم در مصرف انرژی در این میان مبحث تهویه طبیعی و ایجاد آسایش حرارتی است. ازآنجایی‌که سرمایش یکی از تأثیرگذارترین عوامل در تأمین آسایش حرارتی بشمار می‌آید. سیستم‌های خنک‌کننده منفعل برای فضاهای مسکونی می‌توانند به کاهش مصرف منابع غیرقابل‌تجدید کمک کنند. یکی از این سیستم‌های غیرفعال کارا در معماری سنتی ایران بادگیر می‌باشد، ازاین‌رو به شناخت چگونگی عملکرد بادگیرها، گونه شناسی آن‌ها، اجزاء تشکیل‌دهنده بادگیر ، روش ساخت و معایب آن‌ها (ورود گردوخاک به بادگیر، عدم استفاده کامل از برودت تبخیری و ...) پرداخته‌شده است. با توجه به این معایب استفاده از بادگیرهای سنتی جواب‌گوی نیازهای سرمایشی ساختمان نمی‌باشد. ازاین‌رو هدف این پژوهش بررسی راهکارهای افزایش بهره‌وری بادگیرهای سنتی (کاهش افت فشار هوا، افزایش برودت تبخیری و افزایش کارایی بادگیر در فقدان باد به‌منظور تأمین آسایش حرارتی و صرفه‌جویی در مصرف انرژی و کاهش مشکلات زیست‌محیطی) می‌باشد. این پژوهش با بررسی مطالعات پیشین و تجزیه تحلیل داده‌ها به بیان راهکارهای افزایش بهره‌وری بادگیر پرداخته است. نتایج حاصل از این پژوهش به طراحان جهت استفاده از بادگیر و شناخت درست عوامل مؤثر بر آن کمک می‌کند.

واژه‌های کلیدی: معماری پایدار، مصرف انرژی، تهویه طبیعی، بادگیر، عملکرد سرمایشی

1. مقدمه

امروز مبحث پایداری در معماری به امری مهم تبدیل‌شده است. فعل "sustain" از سال 1290 در زبان انگلیسی بکار گرفته‌شده و از ریشه لاتین "sub" و "tenere" به معنی نگه‌داشتن ، نگهداری کردن می‌باشد. در چند دهه اخیر معنی واژه پایداری به معنی امروزی آن یعنی: آنچه که می‌تواند در آینده تداوم یابد، تغییریافته. در فارسی به پایا، دائم، باثبات، باقی ، استوار، جاویدان، بادوام و ... ترجمه می‌شود (دهخدا،ص47،1). تعریفی که بیش از همه برای توسعه پایدار مورداستفاده قرارمی‌گیرد تعریف کمیسیون براند تلند می‌باشد: آن نوع توسعه‌ای که بتواند نیازهای کنونی را بدون از دست دادن توانایی‌های نسل‌های آینده در تأمین نیازهایشان تأمین کند (فرزانه صفلایی، 1382). یکی از اهداف توسعه پایدار حفظ و کاهش مصرف انرژی‌های تجدید ناپذیر است. با توجه به این نکته که صنعت ساختمان مصرف 40 درصدی انرژی را در جهان به خود اختصاص داده و ازاین‌بین 60 درصد این انرژی صرف تهویه طبیعی و تأمین آسایش حرارتی می‌شود (طبیه ولیان و همکاران، 1399). و با توجه به گستردگی کشورمان ایران و قرارگیری بخش اعظم آن در مناطق گرم تهویه طبیعی بسیار اهمیت دارد، ازاین‌رو استفاده از راهکارهای غیرفعال برای این منظور بسیار کمک‌کننده خواهد بود. یکی از این راهکارها که در معماری سنتی ایران بسیار مورداستفاده بوده است، استفاده از بادگیر می‌باشد. باگذشت زمان قابلیت‌ها و کاربردهای بادگیر به دست فراموشی سپرده‌شده و لازم است مطالعاتی به‌منظور آشنایی با ویژگی‌های مثبت بادگیر در جهت حفظ و تداوم و در مواردی باززنده‌سازی آن انجام گیرد. بااینکه استفاده از بادگیر به‌منظور تأمین آسایش حرارتی در معماری سنتی ایران کارا بوده، اما استفاده از بادگیر به همان روش سنتی جوابگوی نیازهای امروز و بار سرمایشی ساختمان نیست، به همین دلیل در این پژوهش، به شناخت عوامل مؤثر بر عملکرد بادگیر، اجزا و نحوهٔ کار آن و همچنین چگونگی افزایش بهره‌وری بادگیر پرداخته‌شده است.

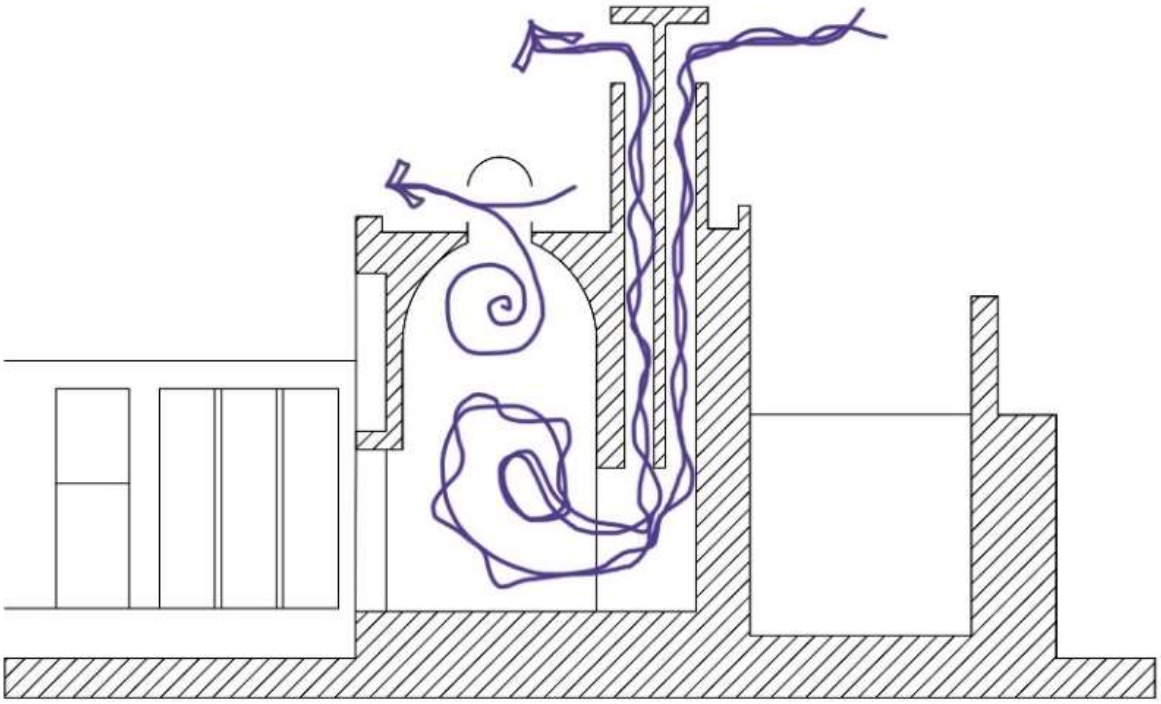
2. مرور ادبیات موضوع

ریشه‌های اصلی معماری پایدار مربوط به قرن 19 می‌باشد. جان راسکین، ویلیام موریس و ریچارد لتابی از پیشگامان معماری پایدار به شمار می‌آیند. راسکین در کتاب هفت چراغ معماری این‌گونه بیان می‌کند، که برای دستیابی به رشد و پیشرفت می‌توان از نظم هارمونیک موجود در طبیعت بهره جست (Edwards, B, 2001). موریس بازگشت به فضای سبز حومه شهر و خودکفایی و احیاء صنایع محلی را توصیه می‌کرد، همه این پیشگامان از واژه «طبیعت» استفاده کرده‌اند و امروزه تنها لغتی که می‌تواند جانشین این کلمه گردد، واژه معماری پایدار است. یکی از عوامل مهم در معماری پایدار مصرف انرژی بشمار می‌آید، ازاین‌رو مبحث تهویه طبیعی هم به لحاظ صرفه‌جویی در مصرف انرژی، هم به لحاظ تأمین آسایش حرارتی انسان به امری مهم تبدیل‌شده. در اواخر دهه 1930 علاقه فراوانی درزمینهٔ مهندسی تهویه طبیعی به وجود آمد (Burgess,1995). مطالعات نشان می‌دهد که در دو دهه گذشته توجه به جریان هوای داخل، در قالب دانشی نوین به‌طور چشمگیری افزایش‌یافته است. فنگر[1](1372)، مکینتایر[2](1980) و گاگ[3](1986) ازجمله پیشتازان مبحث آسایش حرارتی‌اند و آن را در ارتباط با توازن حرارتی بدن انسان در نظر گرفته‌اند. یکی از راهکارهای طراحی غیرفعال برای دستیابی به تهویه طبیعی استفاده از بادگیر می‌باشد. بادگیر همواره به‌عنوان یک سازه سنتی جهت تهویه تعریف می‌شود، که در سراسر خاورمیانه از کشور پاکستان گرفته تا شمال افریقا، بانام‌ها و فرم‌های مختلف قابل‌مشاهده است (محمودی به نقل ازyarshater،1387).

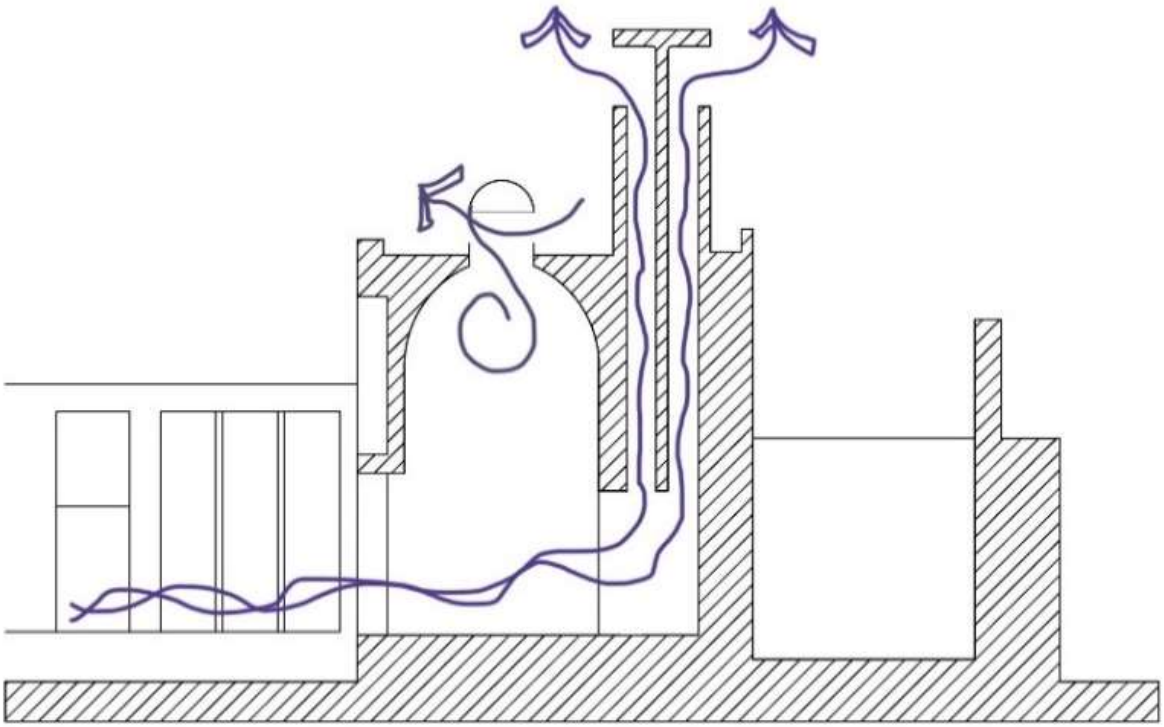
1.Fanger 2.Mcintyr 3.Gagge

1.2. معرفی بادگیر

بادگیر یکی از اجزاء بناهای سنتی ایران در اقلیم گرم و خشک و گرم و مرطوب به‌حساب می‌آید. که از آن به‌عنوان سیستم سرمایشی ایستا برای تأمین آسایش حرارتی بهره می‌بردند (Reyes et al.,2013). بادگیر در هر دو زمان وزش باد و عدم وزش باد کارایی خود را حفظ می‌کند. وزش باد بین دهانه‌های بادگیر و در و پنجره‌های ساختمان، اختلاف فشاری ایجاد می‌کند که موجب برقراری جریان هوا به داخل ساختمان می‌شود. در اغلب بادگیرها این اختلاف فشار به‌گونه‌ای است که هوا از دهانه‌های بالای بادگیر وارد اتاق‌های اصلی ساختمان شده و از در و پنجره ساختمان و دریچه‌های پشت به بادگیر، خارج می‌شود. در برخی موارد می‌توان با تغییر شکل قرارگیری بادگیر نسبت به اجزای اصلی ساختمان و با اختلاف فشار ناشی از اثر باد، هوا را از در و پنجره‌ها به داخل ساختمان کشید و به‌وسیله بادگیر خارج کرد. در این حالت، بادگیر نقش یک دودکش را ایفا می‌کند (Swang, 1991, 17). در غیاب باد و در طول روز، بدنه بادگیر با دریافت تابش خورشید کاملاً گرم شده. و هوای داخل بادگیر نیز با تبادل حرارت با بدنه بادگیر گرم شده و جرم مخصوص آن کاهش می‌یابد. بنابراین به دلیل پدیده اثر دودکش به بالا کشیده می‌شود. بدین ترتیب عملکرد بادگیر مانند یک دودکش خواهد بود که باعث مکش هوای بیرون از بازشوهای ساختمان به داخل بنا می‌شود (حمید کشمیری، سید محسن کرابی، 1393)



شکل1. عملکرد بادگیر در زمان وزش باد (مآخذ: کاظمی محمد، اکبریان مجتبی، 1397، ترسیم: نگارنده)

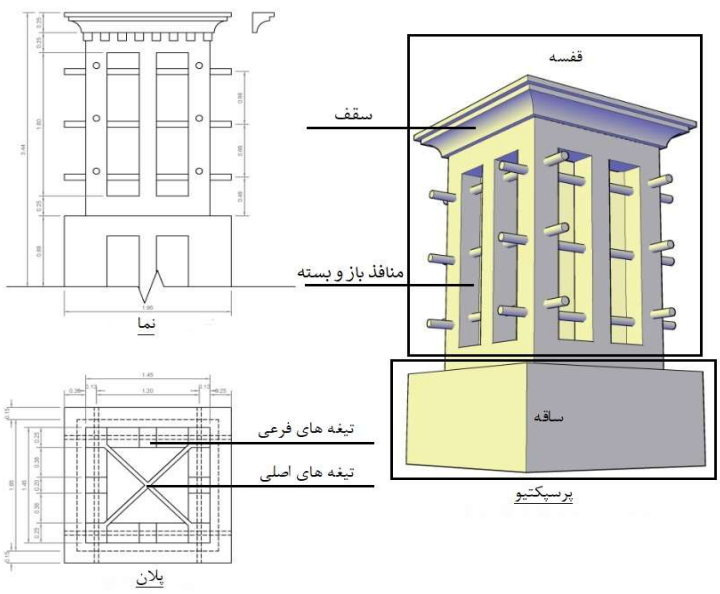


شکل2. عملکرد بادگیر در زمان عدم وزش باد (مآخذ: کاظمی محمد، اکبریان مجتبی، 1397، ترسیم: نگارنده)

بادگیرها از عناصر مختلفی ازجمله قفسه، ساقه، تیغه، تیغه اصلی، تیغه فرعی، منافذ باز و بسته تشکیل‌شده‌اند که برخی از این عناصر جنبه زیبایی شناسانه و برخی کاملاً عملکردی هستند (محمدجواد مهدوی نژاد، کاوان جوانرودی، 1390).

اجزاء بادگیر	تعریف
قفسه	قسمت رأس بادگیر که شامل مجاری عبور دهنده جریان هوا می‌باشد.
ساقه	بخشی از بدنه که حدفاصل قفسه و بام قرار دارد .
تیغه	عناصر اجری،خشتی یا چوبی که کانال بادگیر را به چند کانال کوچک‌تر تقسیم می کنند.
تیغه اصلی	دیواره‌هایی که تا مرکز برج ادامه پیدا می کند و بادگیر را به چند کانال کوچک تقسیم می کند.
تیغه فرعی	دیواره‌هایی که تا مرکز برج ادامه نمی‌یابد و نقش پره‌های بادگیر را دارد.
منافذ بازو بسته	در نمای بادگیر هر فضایی که مابین دو تیغه قرار گیرد منفذ نامیده می‌شود. منفذ باز امکان عبور هوا را می‌دهد و منفذ بسته این امکان را ندارد.

جدول1. اجزاء تشکیل‌دهنده بادگیر (مآخذ: نگارنده)



شکل 3. اجزاء تشکیل‌دهنده بادگیرهای سنتی (ترسیم: نگارنده)

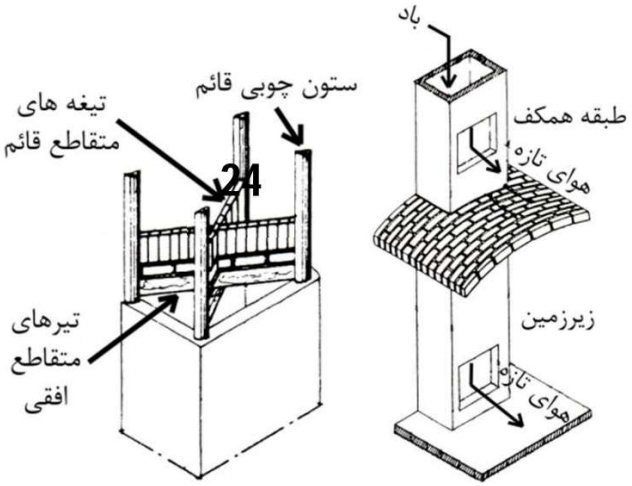
عوامل بسیاری بر عملکرد بادگیرها و میزان بهره‌وری آن‌ها تأثیرگذار هستند. که شناخت و درک آن‌ها می‌تواند در طراحی بهینه بادگیر بسیار کمک‌کننده باشد. بعضی از این عوامل عبارت‌اند از:

عوامل مؤثر بر عملکرد بادگیر	نحوه تأثیرگذاری
ارتفاع	با افزایش ارتفاع اختلاف فشار در بدنه بادگیر افزایش می‌یابد و باعث افزایش بهره‌وری بادگیر می‌شود (حمید کشمیری، سید محسن کرابی، 1393).
جهت‌گیری	جهت‌گیری بادگیر برای دریافت باد مطلوب و عدم دریافت باد نامطلوب با توجه به اقلیم بسیار مهم است.
مصالح	با افزودن جرم حرارتی مصالح،سرعت هوا و درنتیجه قدرت تهویه در ساعات شب و نبود باد افزایش می‌یابد (سید محسن نشاط صفوی، سید رحمان اقبالی، 1401)
تعداد بازشو	تعداد جهت بازشوها در بادگیر بر عملکردان بسیار تأثیرگذار است، که با توجه به اقلیم باید مورد بررسی قرار گیرد.
محل‌قرارگیری‌درجداره‌های اصلی ساختمان	با توجه به اهمیت تابش و جذب انرژی در عملکرد بادگیر و شکل‌گیری جریان‌های هوایی خرد محل قرارگیری بادگیر باید موردبررسی قرار گیرد.
دهانه بادگیر	با افزایش سطح دهانه بادگیر رو به سمت باد مناسب کارایی بادگیر افزایش می‌یابد.
فرم بادگیر	بادگیرها چه ازلحاظ فرم ظاهری و چه ازنظر فرم تیغه‌ها در پلان متفاوت هستند، که در طراحی باید به تأثیر آن‌ها توجه شود.
برودت تبخیری	استفاده از برودت تبخیری در اقلیم‌های مختلف ممکن است جزو مزایا یا معایب بادگیر باشد (علیرضا دهقانی، سیروس اقاجانی، 1383)
ترکیب با سیستم‌های غیرفعال	استفاده از سیستم‌های غیرفعال مانند دودکش خورشیدی می‌تواند به بهبود عملکرد بادگیر کمک کند (حمید کشمیری، سید محسن کرابی، 1393).

جدول2. عوامل مؤثر بر عملکرد بادگیر (مآخذ: نگارنده)

1.1.2. روش ساخت

بادگیر معمولاً از خشت یا آجر ساخته می‌شود. یک بادگیر درواقع یک کانال است که باد را از بالا به پایین هدایت می‌کند. ساخت یک بادگیر شامل سه مرحله است. در مرحله اول، قسمت پایینی از زیرزمین تا تراز سقف ساخته می‌شود. دو بازشو در بادگیر تعبیه می‌گردد. یکی در زیرزمین در تراز کف به‌منظور مرطوب و خنک کردن هوا و دیگری در اتاق نشیمن در تراز کف یا یک‌چهارم تا یک‌سوم ارتفاع اتاق ایجاد می‌شود، در مرحله دوم، قسمت فوقانی بادگیر بر روی سقف ساخته می‌شود. بدین منظور، از دو روش استفاده می‌گردد .درروش اول، چهار دیوار خشتی یا آجری بر روی سقف ساخته می‌شود و توسط یک تیر در بالا کلاف می‌گردد. درروش دوم، ابتدا چهارستون قائم چوبی با مقطع دایره‌ای در چهارگوشه قرار داده می‌شود سپس عناصر چوبی افقی و مایل اضافه می‌گردد تا قاب چوبی را تقویت کند. آنگاه با استفاده از آجر یا خشت به همراه ملات چهار دیوار بادگیر ساخته می‌شود. یک جفت تیر چوبی متقاطع افقی بر روی چهار دیوار قرار می‌گیرد. در انتها، بر روی این‌یک جفت تیر، تیغه‌های نازک متقاطع قائم از جنس آجر یا خشت و یا چوب ساخته می‌شود .در مرحله سوم، بادگیر توسط تخته‌های چوبی و ملات کاه‌گل مسقف می‌گردد و یک ناودان جهت هدایت آب باران اضافه می‌شود (مهرداد حجازی و همکاران، 1396).



شکل 4. روش ساخت و عناصر سازه‌ای (مآخذ: زمرشیدی، 1381)

2.1.2. گونه شناسی بادگیر

انواع مختلفی از بادگیرها در مناطق مختلف کشور ساخته می‌شوند تا با شرایط اقلیمی مناطق مختلف به‌ویژه مناطق کویری سازگار باشند. بادگیرها را می‌توان از دیدگاه‌های متفاوتی نظیر مکان، تعداد جهت‌های دریافت باد، شکل پلان و نما تقسیم‌بندی کرد. گاهی بادگیرها نام خود را از شهری که در آن ساخته می‌شوند می‌گیرند (مهرداد حجازی و همکاران، 1396).

بادگیر اردکانی: از این نوع بادگیر در اردکان استفاده می‌شود. این نوع بادگیر یک‌طرفه است یعنی فقط از یک‌جهت، سمت اصفهان (غرب) با باد تازه و تمیز، باد دریافت می‌کند و از سه طرف دیگر به سمت بادهای ماسه‌ای بسته است. بادگیر اردکانی ساده و اقتصادی می‌باشد و بنابراین می‌تواند برای هر اتاق از منزل مورداستفاده قرار گیرد (همان).

بادگیر کرمانی: بادگیر کرمانی در کرمان استفاده می‌شود. ساده است و توسط خانواده‌های کم‌درآمد مورداستفاده قرار می‌گیرد .معمولاً از خشت ساخته می‌شود و دوطرفه است یعنی از دو جهت مناسب باد دریافت می‌کند. عملکرد این بادگیر بهتر از بادگیر اردکانی است. از این نوع بادگیر برای آب‌انبارها نیز استفاده می‌شود (همان).

بادگیر یزدی: شهر یزد به شهر بادگیرها معروف است و در آن بیش از 180 بادگیر موجود می‌باشد. از بادگیر یزدی معمولاً توسط خانواده‌های پردرآمد استفاده می‌شود، هرچند در روستاهای اطراف نیز مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد. این نوع بادگیر بزرگ‌تر، مرتفع‌تر و پیشرفته تراز سایر انواع بادگیرها است. معمولاً چهار طرفه است، یعنی از چهار جهت مناسب باد دریافت می‌کند و دلیل آن‌هم این است که یزد در بین کوه‌هایی قرارگرفته است که از ورود بادهای ماسه‌ای کویر جلوگیری می‌کنند (همان).

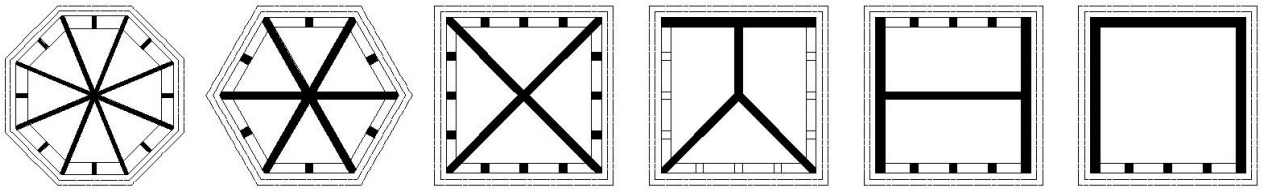
بادگیرها همچنین ازلحاظ تعداد جهد دریافت باد به گونه‌های متفاوتی تقسیم می‌شوند:

بادگیر یک‌طرفه: این نوع بادگیر تنها دارای یک دهانه رو به باد می‌باشد. باد پس از عبور از دهانه بادگیر و عبور از کانال اصلی وارد محیط ساختمان می‌گردد. این بادگیر ساده‌ترین و ابتدایی‌ترین نوع بادگیر است. که بقایای آن در ایران حداقل از دوران صفویه به‌جامانده است. ساخت این بادگیر نسبت به دیگر انواع, دارای هزینه کمتر و اجرای آن آسان‌تر می‌باشد (اسما حجتی و همکاران، 1399).

بادگیر دوطرفه: همان‌طور که از اسم این نوع بادگیر برمی‌آید دهانه‌های ورود آن رو به دو سمت متفاوت بوده و قادر است بادهای دو جهت اصلی را جلب نماید. بدنه اصلی سیستم در این قسم از بادگیرها توسط یک تیغه میانی به دو کانال اصلی تقسیم می‌گردد. هوا پس از ورود از طریق یکی از دهانه‌های بادگیر از سایر بازشوهای ساختمان و به‌ویژه از دهانه طرف مقابل خارج می‌شود (همان).

بادگیر چهار طرفه: در مسیر پیشرفت ساخت بادگیرها، بادگیر چهار طرفه یکی از پیشرفته‌ترین و پرکاربردترین نوع بادگیر قلمداد می‌شود. دهانه‌های بادگیر مذکور رو به چهار جهت عمود بر یکدیگر بوده و عموماً مقطع عرضی بادگیر مستطیل شکل می‌باشد. وجود دهانه‌های رو به هر چهار جهت اصلی باعث می‌شود بادهایی که از هر سو به بادگیر نزدیک می‌گردند به سمت داخل ساختمان هدایت شوند. به‌این‌ترتیب جریان هوا از یک یا دو دهانه وارد بدنه بادگیر شده و هم‌زمان از سایر دهانه‌ها خارج می‌شود. مقطع عرضی بدنه بادگیر در نوع چهار طرفه به چهار کانال اصلی تقسیم می‌گردد و چگونگی این تقسیم‌بندی در بادگیرهای مختلف متفاوت است (همان).

بادگیرهای شش و هشت طرفه: این نوع بادگیرها باد را از جهت‌های مختلف به درون هدایت می‌کنند. از آن‌ها معمولاً در بالای آب‌انبارها به‌منظور خنک کردن آب استفاده می‌شود. بادگیر دولت‌آباد با ارتفاع 8/33 m در یزد یک بادگیر هشت طرفه است (مهرداد حجازی و همکاران، 1396).



شکل5. پلان انواع بادگیر با بازشوهای متفاوت (ترسیم: نگارنده)

برای طراحی بادگیر عامل جهت‌گیری یکی از عوامل مهم است، که با توجه به اقلیم، جهت وزش باد، میزان بار سرمایشی موردنیاز و ... باید موردبررسی قرار گیرد. به‌عنوان‌مثال در پژوهشی که در اصفهان برای یک ساختمان چهار طبقه صورت گرفت، نتایج نشان می‌دهد که بادگیر یک‌طرفه با توجه به متوسط پایین هوای ورودی و منفی بودن جریان هوا در شفت مرکزی کارآمد نیست. بادگیر دوطرفه در ماه‌های گرم دارای سرعت جریان هوای مثبت است، ولیکن در ساختمان چهار طبقه در طبقات اول و دوم نمی‌تواند میزان هوای لازم جهت تهویه را در حالت پنجره بازداشته باشد. بادگیر چهار طرفه در حالت پنجره باز در طبقات دارای توان برودتی بالاتر و کارایی بهینه است زیرا می‌تواند جریان هوا را با سرعت و حجم مناسب برای طبقات اول تا چهارم فراهم کند.

3.1.2. تهویه طبیعی در بادگیر

عامل اصلی حرکت هوا در یک بادگیر، نیروی ثقل است. این فرآیند بدون دخالت هرگونه وسیله‌ی الکترونیکی حاصل می‌شود. به همین دلیل مساحت دهانه‌ی بادگیر باید عریض باشد تا بتواند فشار باد لازم را فراهم نماید. بادگیرهای معمولی غالباً در پشت‌بام قرار دارند و ارتفاع آن‌ها بین 10 الی 15 متر بوده و سطح مقطع آن‌ها بین 0/6 الی یک مترمربع است. ظرفیت هوادهی این بادگیرها بین 1الی 3/8 مترمکعب بر ثانیه می‌باشد. تهویه طبیعی برای آنکه تعادل فشار برقرار گردد بر اساس حرکت هوا و جریان آن در داخل ساختمان ایجاد می‌گردد(swang,1991:17). اختلاف فشار عمدتاً به‌واسطه وزش باد یا نیروی شناوری که ناشی از اختلاف چگالی در طبقات مختلف، به وجود می‌آید. در یک رطوبت یکسان، هوای سرد از هوای گرم سنگین‌تر است لذا جریان هوا با سقوط هوای سنگین شروع می‌شود و نیرویی که پشت هوای سبک است باعث می‌گردد که هوای گرم از مجاری دیگر خارج‌شده و هرچقدر ارتفاع بادگیر بیشتر باشد، یعنی فاصله از محل ورودی هوا تا محل خروجی هوا بیشتر باشد، اختلاف فشار نیز بیشتر می‌شود(yaghoubi,1975:521-3).

4.1.2. معایب بادگیرهای سنتی

1. گردوغبار، حشرات و در بعضی‌اوقات پرندگان کوچک وارد ساختمان می‌شدند.

2. قسمتی از هوا که وارد دهانه بادگیر می‌شود،توسط دهانه‌های دیگر بادگیر خارج می‌شود و هرگز وارد ساختمان نمی‌گردد. البته در بادگیرهایی که فقط از یک دهانه برای ورود هوا استفاده می‌گردد این مشکل وجود ندارد.

3. مقدار انرژی سرمایی که در جرم ساختمان بادگیر می‌توان ذخیره کرد، مقدار محدودی است زیرا جرم و گرمای ویژه مصالح ساختمانی بکار گرفته‌شده در بادگیر نسبتاً کم است و این مقدار انرژی نمی‌تواند نیازهای برودتی یک روز گرم تابستان را فراهم کند و یا سطح در معرض هوا برای مقادیر بالای انتقال حرارت ناکافی باشد.

4. حتی در ساختمان‌هایی که از زیرزمین استفاده می‌کنند، بااینکه هوا را از روی سطوح نمدار عبور می‌دهند، سرمایش تبخیری بالقوه هوا کاملاً مورداستفاده قرار نمی‌گیرد. در مناطق گرم و خشک سرمایش تبخیری، یک فرایند بسیار مؤثر در فراهم کردن آسایش حرارتی است.

5. بادگیر برای مناطقی که باد دارای سرعت کمی است کاربرد چندانی ندارد.

6. برای استفاده از بادگیر در ساختمان‌های امروزی با توجه به افزایش تعداد طبقات و بهره‌گیری طبقات بالایی از بادگیر از کارایی بادگیر برای طبقات پایینی کاسته می‌شود.

2.2. پرسش‌های پژوهش

امروزه از چه راهکارهایی می‌توان برای افزایش بهره‌وری بادگیرها استفاده نمود؟

عملکرد انواع بادگیر با توجه به نیازهای امروز ساختمان چگونه است؟

3. روش تحقیق

بدیهی است هر پژوهش علمی نیاز به یک روش تحقیق متناسب با موضوع خود دارد. انتخاب روش تحقیق مناسب و تداوم آن در تمامی فرآیند و مسیر پژوهش از اصول راهبردی یک تحقیق علمی است .روش مواجهه با مسئله و پژوهش در ارتباط تنگاتنگ و دوسویه با ساختار و ماهیت تحقیق است. از همین رو برای ایجاد شالوده‌ای انسجام بخش به این تحقیق، روش کیفی انتخاب و در طول پروسه پژوهش مورداستفاده قرارگرفته است. برای به دست آوردن نتایج مطلوب در این مقاله و ارائه پاسخ مناسب به سؤال‌های فوق از تحقیق کتابخانه‌ای اعم از کتاب، رساله، مقالات و سایت‌ها استفاده‌شده است.

4. افزایش بهره‌وری بادگیر

با توجه به آنچه بیان شد، بادگیرهای سنتی دارای معایبی هستند که از کارایی آن‌ها برای پاسخ‌گویی به شرایط امروزی ساختمان می‌کاهد، تحقیقات زیادی در مورد افزایش بهره‌وری بادگیر صورت گرفته و نتایج آن کمک شایانی به بهبود عملکرد بادگیرها کرده است، در این نوشتار نیز به‌مرور برخی از روش‌های افزایش بهره‌وری بادگیر پرداخته‌شده است.

1.4. بالا بردن چگالی هوای واردشده به بادگیر از طریق آب

در مناطق گرم و خشک ایران، معمولاً بادگیر را بر روی قسمتی از خانه‌ها بنا می‌کردند که به آن قسمت، حوض‌خانه اطلاق می‌شد. حوض‌خانه اتاقک کوچکی بوده است که در انتهای اتاق‌های تابستانی هر بنا قرار داشته و باد پس از ورود به خانه، با برخورد به آب حوض، از طریق برودت تبخیری باعث خنک‌تر شدن هوا می‌شده. تبخیر عملی است گرماگیر که باعث می‌شود دمای هوایی که از روی آب جریان دارد، کاهش یابد. محققین بسیاری در رابطه با عملکرد تبخیری بادگیر تحقیق کرده‌اند، به‌عنوان نمونه کلانتری با مقایسه بادگیر با سطوح مرطوب و خشک به این نتیجه رسید که بادگیر با سطوح مرطوب، علیرغم هزینه برابر عملکرد بهینه‌تری نسبت به بادگیر با سطوح خشک دارد (kalantari,2009,246-254). او همچنین یک نرم‌افزار کامپیوتری جهت شبیه‌سازی عددی عملکرد سرمایشی تبخیری بادگیر را توسعه داد(kalantari,2009). در رشته مهندسی مکانیک نیز پژوهش‌هایی در رابطه با بادگیر انجام‌شده است؛ بهادری نژاد چندین مقاله علمی در مورد بادگیرها به چاپ رسانده که بر نقش تبخیر بر عملکرد بادگیرها متمرکز است، وی دو طرح اصلاحی برای بهبود عملکرد تبخیری بادگیر شامل پرده‌های مرطوب آویزان در داخل بادگیر و سطوح مرطوب در داخل بادگیر را مورد آزمایش قرارداد (bahadori,2008). با توجه به اهمیت برودت تبخیری در بادگیر می‌توان داخل تیغه‌های مربوط به هر طبقه در نزدیکی ورود هوا به آن‌ها و در نقاط دیگر در طول مسیر از افشانک‌های آب استفاده کرد و دیواره‌های داخلی بادگیر را از مصالح

جذب‌کننده آب مانند الیاف کنفی پوشاند تا آب بیشتری را در خود نگه‌دارند و نیز مخزن کوچکی برای آب سرازیر شده به پائین در نظر گرفته شود تا اینکه با استفاده دوباره از این آب از هدر رفتن آن جلوگیری به عمل اید.

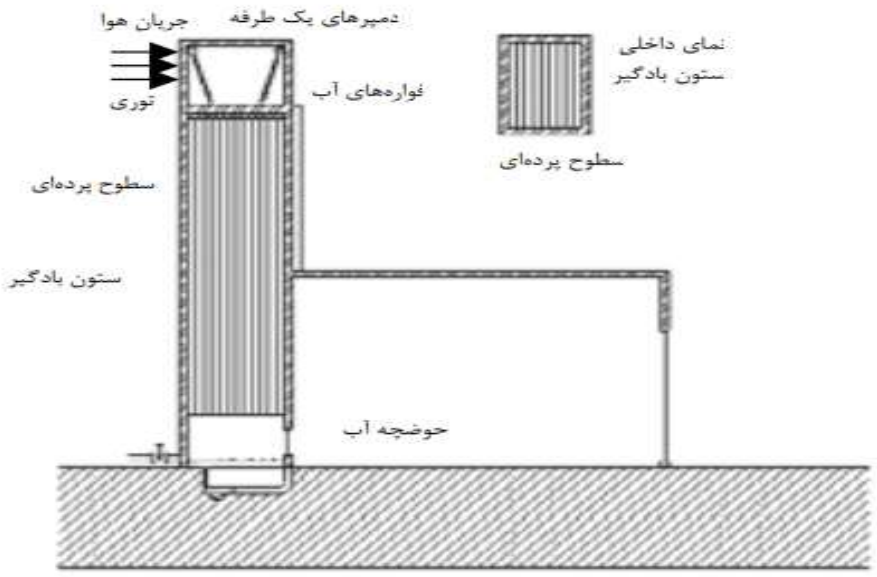
1.1.4. بادگیر با ستون خیس شونده

در بادگیر با ستون خیس شونده آب توسط تعدادی افشانک از بالابر روی یک سری شبکه سفالی یا سطوح پرده‌ای که در بادگیر وجود دارد پاشیده می‌شود. آب در انتها در حوضچه انتهایی بادگیر جمع‌آوری و به‌وسیله پمپ مورداستفاده مجدد قرار می‌گیرد. نکات مثبت این نوع بادگیر عبارت‌اند از:

1. دهانه بادگیر به‌گونه‌ای است که می‌تواند هوا را از تمامی جهات جذب و به داخل بادگیر هدایت کند بدون آنکه هوا از دهانه‌های دیگر خارج شود.

2.افزایش سطح تماس برای برقراری بهینه انتقال حرارت بین بدنه بادگیر و هوا.

3.استفاده بسیار مناسب از پتانسیل برودتی هوا.

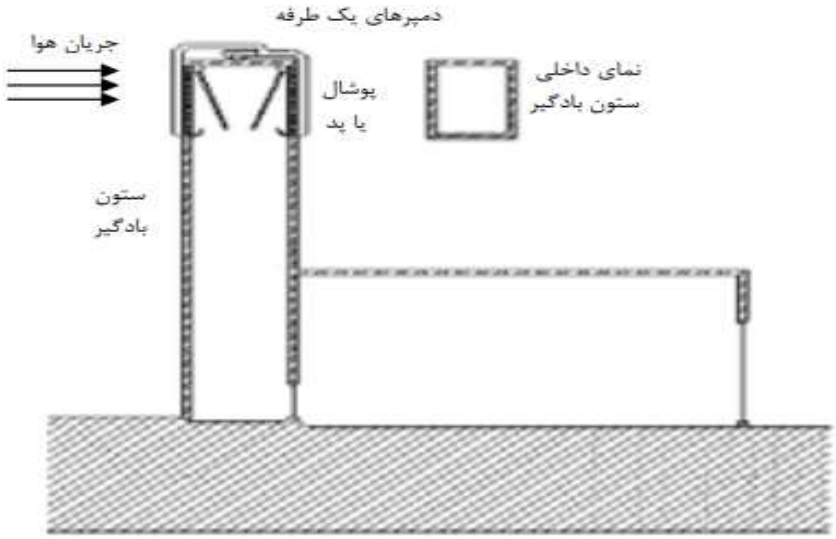


شکل6. بادگیر با ستون خیس شونده (مآخذ: علیرضا دهقانی، سیروس آقاجانی، 1383)

2.1.4. بادگیر با سطوح خیس شونده

ساختمان این بادگیر مانند بادگیرهای سنتی است با این تفاوت که در داخل ستون بادگیر تقسیم‌بندی با تیغه‌های نازک وجود ندارد و همچنین در دهانه‌های بالای بادگیر پوشال و یا سطوح خیس شونده‌ای معروف به پد وجود دارد. پوشال‌ها و یا پدها به‌وسیله یک پمپ آب و چندین فواره خیس می‌شوند. وقتی‌که باد نمی‌وزد هوا در حین عبور از این پوشال‌ها به‌صورت تبخیری خنک شده و جرم مخصوص آن افزایش می‌یابد. در اثر اختلاف جرم هوای ستون بادگیر و هوای موجود در فضا یک جریان هوا از بادگیر به سمت

محیط مجاور آن ایجاد می‌شود. در پشت پوشال‌ها دمپرهای یک‌طرفه‌ای برای جلوگیری از خروج هوا از بادگیر وجود دارد که باعث افزایش کارایی این نوع بادگیر در محیط‌های با وزش باد کم می‌شود.



شکل7. بادگیر با سطوح خیس شونده (مآخذ: علیرضا دهقانی، سیروس آقاجانی، 1383)

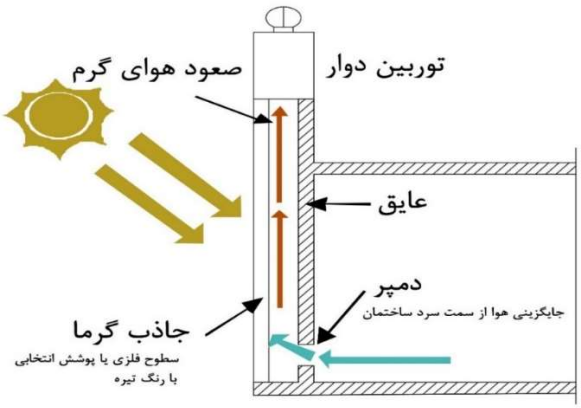
2.4. کاهش دادن افت فشار هوا در کانال‌های بادگیر

یکی از مشکلات که در پاسخگویی بادگیرها برای ساختمان‌های بیش از یک طبقه وجود دارد این است که هوایی که از طریق آن‌ها وارد طبقات می‌شود، برای سرویس‌دهی به همه طبقات کافی نیست، زیرابه علت بهره گرفتن طبقات بالایی از این جریان هوا، در طبقات پائینی افت فشار در جریان هوا زیاد می‌شود. برای برطرف کردن این مشکل نخست بایستی دهانه بادگیرها را تا حد بیشتری در جهت باد غالب و مطلوب توسعه دهیم. در بادگیرهای سنتی همه کانال‌ها نهایتاً به هم راه دارند این امر نیز موجب افزایش درافت فشار هوا در آن‌ها می‌شود، بدین منظور می‌توان کانال‌های داخل بادگیر را برای سرویس‌دهی به هر طبقه به‌طور جداگانه دسته‌بندی کرد تا اینکه همه طبقات بهره‌وری مساوی از جریان هوای داخل بادگیر داشته باشند. در مرحله بعد باید این نکته موردتوجه قرار گیرد که هر چه ارتفاع بادگیر، یعنی از نقطه ورود هوا به درون بادگیر تا نقطه خروج آن از بادگیر بیشتر باشد، به دلیل ایجاد اختلاف فشار بیشتر، سرعت هوا در آن زیادتر می‌شود. با تکیه به این اصل کانال‌های مربوط به طبقات تحتانی از این امر بهره بیشتری می‌برند زیرا ارتفاع تیغه‌های آن‌ها نسبت به طبقات فوقانی بیشتر می‌باشد. اما توجه به این نکته یعنی اصل تداوم، که بقای ماده سیال در طول لوله جریان را بیان می‌کند، بیانگر این است که با کاهش سطح مقطع کانال‌های جریان هوا در بادگیر سرعت هوای درون آن‌ها افزایش می‌یابد بنابراین می‌توان برای افزایش بازدهی بادگیر در طبقات فوقانی سطح مقطع تیغه‌های بادگیر را کاهش داد تا اینکه سرعت هوا در آن‌ها افزایش یابد و با افزایش نسبت ارتفاع کانال‌ها به ابعاد آن‌ها یعنی کاهش ابعاد کانال‌های درونی بادگیر و در عوض بیشتر شدن تعداد آن‌ها، سرعت جریان هوای داخل آن‌ها افزایش‌یافته و بادگیر کارایی مطلوب‌تری را در جهت تهویه هوا در فصول گرم خواهد داشت. محققینی در رابطه با اثر فرم، ابعاد و ارتفاع بادگیر تحقیق به عمل‌آورده‌اند، به‌عنوان‌مثال محمودی اثر شکل مقطع بادگیر بر

عملکرد سرمایشی آن را بررسی کرد و سیستم سرمایشی آن را توضیح داد (محمودی،1384). حجازی نیز با در نظر گرفتن ارتفاع بادگیر، جهت و سرعت باد عملکرد سرمایشی آن را موردمطالعه قرارداد (Hejazi,2012).

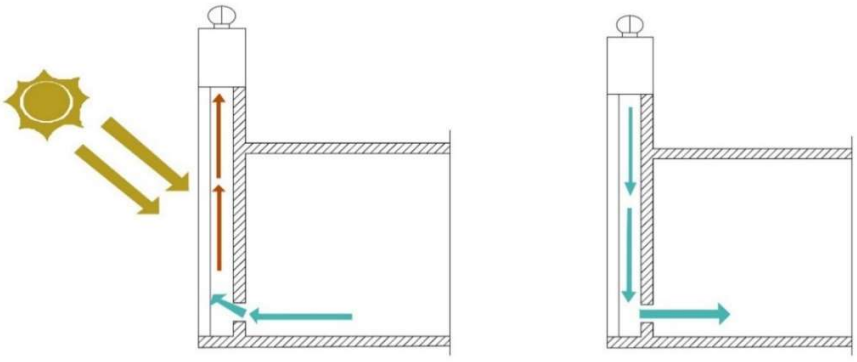
3.4. ترکیب دودکش خورشیدی و بادگیر

یکی از راه‌های افزایش بهره‌وری بادگیر ترکیب آن با عوامل غیرفعال دیگر است، یکی از این عوامل غیرفعال دودکش خورشیدی است. مفهوم دودکش خورشیدی توسط پرفسور شلایل (Professor Scheppy) از اشتوتگارت در اواخر سال 1970 مطرح شد. بانسال و همکارانش، مطالعه‌ای بر روی دودکش خورشیدی انجام دادند، آن‌ها به کمک یک مدل ریاضی، افزایش تهویه را در صورت استفاده از دودکش خورشیدی و طراحی صحیح سیستم، اثبات کردند (Bansap et al.,1994). افونسو و الیویرا، با مقایسه بین دودکش خورشیدی و دودکش معمولی، تأثیر انرژی خورشید را بر تهویه طبیعی تأکید کردند و نشان دادند که دودکش خورشیدی به‌طور مؤثری تهویه را بهبود می‌بخشد (Afonso, Olivera, 2000). چارت و همکارانش نشان دادند که با افزودن جرم حرارتی، سرعت هوا و درنتیجه قدرت تهویه در ساعات شب افزایش می‌یابد. همچنین استفاده از دودکش خورشیدی در طول روز باعث 25 درصد افزایش سرعت هوا می‌شود (Charvat et al., 2004).دودکش خورشیدی سازه‌ای است که با استفاده از اثر دودکش به تهویه هوا کمک می‌کند. یک دودکش خورشیدی ساده می‌تواند از یک لوله سیاه‌رنگ (برای جذب بیشتر انرژی خورشیدی) با قطر مناسب تشکیل‌شده باشد که به‌اندازه 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. به‌غیراز نصب بر روی بام، چنین دودکشی را می‌توان در دیواری از خانه که به سمت خط استوا است، یا روی سطحی جداگانه که از بام ساختمان بلندتر است نصب کرد .باوجود 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 خارج شدن هوای گرم در زمستان و کمک به تهویه در تابستان می‌توان از یک فن قابل‌تغییر 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 بعدازظهر) و دیگری در شرق ساختمان (برای تهویه در صبح هنگام) استفاده‌شده. بررسی جنبه‌های صوتی بخش مهمی از طراحی سامانه‌های تهویه طبیعی هستند، طراحی باید به‌گونه‌ای باشد که ضمن تهویه قسمت‌های مختل ساختمان بتوان حریم خصوصی صوتی اتاق‌های مختلف را محفوظ نگاه داشت.



شکل8. طرز کار یک نوع دودکش خورشیدی (مآخذ: حمید کشمیری، سید محسن کرابی، 1393، ترسیم: نگارنده)

بادگیرهای سنتی را می‌توان به‌عنوان ترکیبی از سیستم‌های بادی و خورشیدی برای تهویه فضاها به شمار آورد. بازشوی بالای برج در جهت باد غالب قرار دارد، بنابراین در اکثر مواقع این بخش از برج در ناحیه فشاری قرار دارد. از خود برج می‌توان علاوه بر نقش اصلی آن در سیستم بادگیر برای جذب نور خورشید و به‌عنوان یک سیستم ذخیره انرژی نیز استفاده کرد. مهمترین مشکل بادگیر عدم کارایی آن درزمانی است که سرعت باد کم است. در این حالت می‌توان با ترکیب بادگیر و دودکش خورشیدی جریان هوا را در فضای داخلی برقرار کرد.



شکل8. عملکرد ترکیب بادگیر و دودکش خورشیدی در زمان وزش و عدم وزش باد (مآخذ: حمید کشمیری، سید محسن کرابی، 1393، ترسیم: نگارنده)

4.4. افزایش ظرفیت حرارتی بادگیر

با توجه به عملکرد بادگیرها در زمان نبود باد و نقش ظرفیت حرارتی مصالح برای تأمین انرژی گرمایی استفاده از مواد تغییر فاز دهنده می‌توان کمک شایانی به بهبود عملکرد بادگیر در این زمینه کند، استفاده از مواد تغییر فاز دهنده(PCM) با درجه ذوب پایین (21-32 درجه) باعث می‌شود که در شرایط وزش باد این مواد در اثر تبدیل‌شدن از جامد به مایع انرژی گرمایی هوا را دریافت کرده و باعث خنک‌تر شدن هوا شوند، و در شرایط نبود باد با تغییر حالت در این مواد از مایع به جامد و گرفتن سرمای هوای اطراف باعث بهبود عملکرد دودکشی بادگیر می‌شود. محققانی در این زمینه پژوهش‌هایی به عمل‌آورده‌اند که تأثیر مواد تغییر فاز دهنده را برافزایش کارایی تهویه طبیعی بررسی می‌کند، به‌عنوان‌مثال هوو هیزلبرگ در سال 2018 به کاربرد مواد تغییر فاز دهنده جهت استفاده از خاصیت حرارتی آن‌ها در تهویه ساختمان پرداخته‌اند (Hu & Heiselberg, 2018). به‌علاوه تحقیقات نشان می‌دهند که استفاده از مواد تغییر فاز دهنده در ساختمان باعث کاهش نوسانات دما و درنتیجه افزایش آسایش حرارتی در ساختمان می‌شود(Gholamibozanjani & Farid, 2020).

5. نتیجه‌گیری

یکی از اصول معماری پایدار کاهش مصرف انرژی است، صنعت ساختمان مصرف 40% درصد انرژی جهان را به خود اختصاص داده و از این میان 60% درصد آن صرف تهویه مطبوع و تأمین آسایش حرارتی می‌شود و با توجه به گستردگی کشور ایران و قرارگیری بخش بزرگی از آن در مناطق گرم استفاده از سیستم‌های غیرفعال مانند بادگیر کمک بسیاری در کاهش مصرف انرژی‌های تجدید ناپذیر می‌کند. بادگیر سازه‌ای برجی شکل است که به دو صورت عمل می‌کند، در شرایط وزش باد دهانه‌های رو به باد هوا را به درون

ساختمان هدایت کرده و با ایجاد فشار منفی در دهانه‌های پشت به باد باعث خروج هوای گرم از ساختمان می‌شود. در شرایط نبود باد با توجه به چگالی هوای گرم و سرد عملکرد بادگیر مشابه یک دودکش خواهد بود. اما بادگیرهای سنتی ایران دارای معایبی مانند: ورود گردوغبار و حشرات ریز به بادگیر، اتلاف انرژی باد توسط اثر دهانه‌های بادگیر بر یکدیگر، ظرفیت حرارتی پایین بدنه بادگیر، عدم استفاده کافی از برودت تبخیری و عدم کارایی مناسب بادگیر در مناطقی که وزش و سرعت باد در آن کم است، بنابراین برای استفاده مجدد از بادگیر در ساختمان‌های امروزی و تأمین نیازهای آن باید راهکارهایی برای افزایش بهره‌وری بادگیر در نظر گرفته شود، ازاین‌رو در این مقاله به بیان راهکارهای افزایش بهره‌وری بادگیر پرداخته‌شده است. این راهکارها درزمینهٔ بالا بردن چگالی هوای واردشده به بادگیر و افزایش برودت تبخیری آن (بادگیر با ستون خیس شونده و بادگیر با سطوح خیس شونده)، کاهش افت فشار در کانال‌های بادگیر (تغییر در تعداد و عرض کانال‌های بادگیر)، افزایش عملکرد دودکشی بادگیر با ترکیب با دودکش خورشیدی و افزایش ظرفیت حرارتی بادگیر (استفاده از مواد تغییر فاز دهنده) می‌باشد. در ادامه سعی بر آن شد که در جدول زیر خلاصه مباحث و راهکارهای افزایش بهره‌وری بادگیر و مزایای هریک از آن‌ها به‌طور خلاصه بیان گردد.

راهکار	نتیجه
بادگیر با ستون خیس شونده	**افزایش توان برودت تبخیری بادگیر و همچنین افزایش رطوبت هوا (مناسب اقلیم گرم و خشک)**
بادگیر با سطوح خیس شونده	**افزایش توان برودت تبخیری بادگیر و همچنین افزایش رطوبت هوا (مناسب اقلیم گرم و خشک)**
تغییر در سطح مقطع بادگیر	**باعث افزایش بهره‌وری بادگیر در ساختمان‌های امروزی و کمک به بهره‌گیری تمامی واحدها، کاهش افت فشار هوا با افزایش ارتفاع و افزایش سرعت باد با کاهش عرض کانال و افزودن تعدادان.**
ترکیب با دودکش خورشیدی	**دودکش خورشیدی باعث افزایش بهره‌وری عملکرد دودکشی بادگیر می‌شود، همچنین با در نظر گرفتن ملاحظات مناسب می‌توان با استفاده از آن به بادگیر عملکرد دوسویه داد.**
مواد تغییر فاز دهنده	**استفاده از این مواد باعث افزایش بهره‌وری بادگیر هم به جهت افزایش ظرفیت حرارتی ان(عملکرد دودکش) هم به‌عنوان راهکاری برای کاهش دمای هوای ورودی به ساختمان می‌شود.**

جدول3. راهکارهای افزایش بهره‌وری بادگیر

مراجع

افشون، ع؛ برزگر، ز (1397)، سنجش عملکرد آسایش حرارتی در تلفیق بادگیر و دودکش خورشیدی، نشریه علمی انرژی معماری، شماره4، 108-89.ص

دهقانی، ع؛ آقانجفی، س (1383)، بررسی تجربی کارایی دو طرح جدید بادگیر و مقایسه آن‌ها با بادگیرهای سنتی، نشریه‌ی انرژی ایران، شماره 21 ،سال نهم، ص 14-27

محمودی، م؛ مفیدی شمیرانی، م (1387)، هویت ایرانی بادگیر و پیشینه یابی آن در معماری ایران، نشریه هویت شهر، شماره 2، 33-25.ص

کشمیری، ح؛ کرابی، م (1393)، تهویه طبیعی ساختمان با روش غیرفعال با استفاده از بادگیر و دودکش خورشیدی، کنفرانس ملی شهرسازی، مدیریت شهری و توسعه پایدار

نشاط صفوی، م؛ اقبالی، ر (1400)، ارزیابی تأثیر استفاده از مواد تغییر فاز دهنده در دیواره بادگیر بر بهبود عملکرد آن، نشریه معماری و شهر پایدار، شماره 1، 53-39.ص

محدوی‌نژاد، م؛ جوانرودی، ک (1390)، مقایسه تطبیقی اثر جریان هوا بر دو گونه‌ی بادگیر یزدی و کرمانی، نشریه هنرهای زیبا- معماری و شهرسازی، شماره 48، 69-79ص

سفلایی، ف (1382)، پایداری عنا صر اقلیمی در معماری سنتی ایران (اقلیم گرم و خ شک)، سومین همایش بهینه سازی م صرف سوخت در ساختمان

حجتی، ا؛ سعدوندی، م؛ دی آنجلس، ا (1399)، تحلیل کارایی سه نوع بادگیر جهت تهویه طبیعی در ساختمان مسکونی معاصر، اقلیم گرم و خشک، اصفهان، فصلنامه علمی-پژوهشی نقش‌جهان

ولیان، ط؛ مفیدی شمیرانی، م؛ محمودی، م(1399)، تبیین ویژگی‌های کالبدی بادگیر در معماری شهر سمنان، نشریه علمی معماری اقلیم گرم و خشک، شماره 12، سال هشتم، 99-125ص

حجازی، م؛ حجازی، ب؛ حجازی، ص (1396)، معماری، عملکرد سرمایشی و رفتار لرزه‌ای بادگیر، نشریه علمی مسکن و محیط روستا، شماره 158، 21-33ص

محمودی، م (1384)، بادگیر، جذابیت سیما و منظر شهر یزد، نشریه علمی باغ نظر، شماره 5 ،ص 98-91

زمرشیدی، ح (1381)، معماری ایران: اجرای ساختمان با مصالح سنتی، چاپ پنجم، انتشارات آزاده، تهران.

Afonso C. and A. Olivera (2000), “Solar Chimneys: Simulation and Experiment”, Energy and Buildings, Vol. 32, pp71-79.

Bahadori, M.N.; Mazidi, M.; Dehghani, A.R. (2008), Experimental investigation of new designs of wind towers, Renewable Energy,Vol. 33, pp. 2273-2281.

Bansap N.K., Mathur R. and M.S. Bhandari (1994) “A Study of Solar Chimney Assisted Wind tower system for Natural Ventilation in the Building”, Building and Environment, Vol. 28, No 3. pp. 373-377.

Burgess W.A. (1995). Recognition of Health Hazards in Industry. New York: Wiley.

Charvat P., Jicah M. and J. Stetina (2004), Solar Chimneys for Ventilation and Passive Cooling, Denver (U S A): World Renewable Energy Congress.

Edwards, B, "Rough Guide to Sustainability: A Design Primer", Royal Institute of British Architects, book,2001

Gholamibozanjani, G., & Farid, M. (2020). A comparison between passive and active PCM systems applied to buildings. Renewable Energy, 162, 112-123 .

Hejazi, M.; Hejazi, B. (2012), Cooling performance of Persian wind towers. Proc. of the 4 th Int. Conf. on Harmonisation between Architecture and Nature (Echo-Architecture 2012), Greece, pp. 197-207.

Hu, Y., & Heiselberg, P. K. (2018). A new ventilated window with PCM heat exchanger— Performance analysis and design optimization. Energy and Buildings, 169, 185-194 .

Kalantar, V. (2009), Numerical simulation of cooling performance of wind tower (Baud-Geer) in hot and arid region, Renewable Energy, Vol. 34, pp. 246-254.

Reyes, V., et al. (2013). A study of air flow and heat transfer in building-wind tower passive cooling systems applied to arid and semi-arid regions of Mexico. Energy and buildings, 66, 211-221.

Swang, N.Y.C (1991), Air flow in and around buildings, Workshop on building energy management, Bangkok, pp. 17.

Yaghoubi, M.A (1975), Two-dimensional numerical simulation of wind flow and ventilation in a single building using the k-e turbulent model, Iranian jornal of science and technology, Vol 20, No 1, Transaction B, pp. 519-529