بررسی تجربی کارآیی دو طرح جدید بادگیر و مقایسه آنها با بادگیرهای سنتی

علیرضادهقانی، سیروس آقانجفی
دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

چکیده

بادگیرهای سنتی، بناهای برجی باریک و بلند چهار، شش و یا هشت پهلو بوده که بر فراز بام ساختمان‌ها و در کنارسقف گنبدی آب انبارها در مناطق کویری ایران احداث می‌شده‌اند، که در عین زیبایی و زینت بخشیدن به ساختمان‌ها، برای تهویه طبیعی فضای درونی آنها مورد استفاده قرار می‌گرفته‌اند. برای احیا و برطرف نمودن معایب بادگیرهای سنتی می‌توان طرح‌های جدیدی را برای تهویه طبیعی و خنک‌سازی هوا با کمترین استفاده از انرژی الکتریکی ارائه نمود. استفاده از دو نوع بادگیر که یکی دارای ستون خیس شونده و دیگری دارای سطوح خیس شونده (پوشال و پد) است، ابعاد وسیعی از معایب بادگیرهای سنتی را بر طرف می‌نماید. در این مقاله پارامترهای دما، دبی جرمی و میزان برودت تولید شده برای دو طرح ارائه شده مورد اندازه‌گیری قرار گرفته است. با توجه به نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌های تجربی و تحلیل عددی مشاهده گردید که برای مناطق بادخیز، بادگیر با ستون خیس‌شونده دارای عملکرد بهتری نسبت به نمونه‌های دیگر می‌باشد و در مناطقی که سرعت باد کم است بادگیر با سطوح خیس‌شونده پد دارای کارآیی بهتری می‌باشد. بطور کلی با توجه به نتایج حاصله و همچنین مقایسه نمودن آنها با کولرهای آبی، این نتیجه حاصل می‌شود که بادگیر با سطوح خیس‌شونده پوشال دارای عملکرد نسبتاً خوبی بوده و کم هزینه‌ترین نمونه می‌باشد که می‌توان از آن در ساختمان‌های جدید برای مناطق کویری استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: بادگیر سنتی، بادگیر با ستون خیس‌شونده، بادگیر با سطوح خیس‌شونده

مقدمه

شهرها، روستاها و مناطقی که در حاشیه کویر قرار دارند دارای ساختار معماری مخصوص به خود می‌باشند. از شرایط اقلیمی حاکم بر آنجا می‌توان از آفتاب سوزان در طول روز، خنکی هوا در شب، بارش اندک نزولات آسمانی همراه با تبخیر بسیار سریع آن، هوای خشک با رطوبت نسبی کم، بادهای شدید، طوفان‌های شن، تفاوت دمای محسوس بین آفتاب و سایه و همچنین معضل کم آبی را نام برد[۱]. مردمی که در این نواحی زندگی می‌کنند تدابیر خاصی برای مقابله با این شرایط اقلیمی اندیشیده‌اند که می‌توان از متمرکز بودن بناها در یکجا، حفر قناتهای طولانی برای انتقال آب از مناطق کوهستانی به نقاط کویری به طول چند ده کیلومتر، ساخت آب انبارها جهت تأمین آب آشامیدنی، ایجاد خانه‌هایی با دیوارهای بلند و ضخیم خشتی و یا آجری که این چنین دیوارهایی هم عایق گرما و هم ذخیره‌کننده گرما می‌باشند تا در طول ساعات گرم روز از انتقال گرما از محیط بیرون به فضای درون جلوگیری کرده و در طول ساعات شب از گرمای ذخیره شده در دیوارها، فضای درونی گرم شده و بقیه آن به محیط بیرون منتشر می‌شود، نتیجه آن منحنی صاف نوسان درجه حرارت درون ساختمان می‌باشد [۲] و همچنین سقف‌های گنبدی این خانه‌ها باعث کاهش انتقال حرارت به درون ساختمان شده، به دلیل آن که هوای گرم اتاق به علت جرم مخصوص کمتر در زیرگنبد جمع می‌شود، انتقال حرارت از سقف اتاق به درون آن به خاطر آن که هوای گرم در نزدیکی سقف می‌باشد، کاهش می‌یابد. با توجه به جمع‌شدن هوای گرم در زیرگنبد به دلیل ارتفاع موجود بین سقف گنبدی و کف اتاق، محیط مناسب‌تر و راحتی در آن فضا ایجاد می‌گردد[۳] و کوچه‌های نسبتاً باریک و گاهاً سرپوشیده باتاق‌های قوسی را نام برد.

از ویژگی‌های دیگر مناطق کویری می‌توان به استفاده از خشت خام و گل به عنوان مصالح اصلی ساختمان‌های قدیمی که احتمالاً به قدمت تمدن پارسی می‌باشد و کمبود مصالحی مانند سنگ ،چوب و غیره و همچنین هزینه‌های کم و عملکرد حرارتی مناسب،از مهمترین عوامل کاربردوسیع آنها محسوب می‌شده است، اشاره نمود[٤].

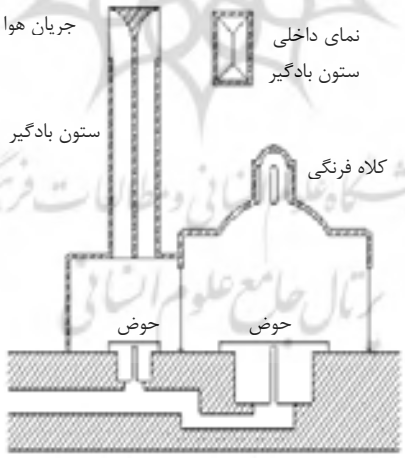
بادگیرهای سنتی پدیده‌های زیبا و ساده در معماری اصیل ایرانی می‌باشند که در عین زیبایی و زینت بخشیدن به ساختمان،نقش بسیار مؤثر و ارزنده‌ای در تهویه فضای درونی ساختمان‌ها و آب انبارها به صورت طبیعی و بدون صرف انرژی دارند[٥].

۱ـ بادگیرهای سنتی

بادگیرهای سنتی، بناهای برجی باریک و بلند چهار،شش ویا هشت پهلو بوده که بر فراز بام ساختمان‌ها و در کنار سقف گنبدی آب انبارها قرار می‌گیرند و در مناطق کویری ایران برای تهویه آب انبارها، فضای داخلی ساختمان‌ها و همچنین زیرزمین‌ها بکار می‌روند (شکل۱).

شکل ۱ـ بادگیر باغ دولت‌آباد ـ یزد

چون مناطق کویری ایران دارای انواع بادهای ثابت فصلی و روزانه هستند، بادگیرها رادر جهتی که این بادها مطبوع[۱] و دارای بیشترین سرعت وزش می‌باشند، می‌سازند. قسمت سر بادگیر را در یک، چهار، شش و یا هشت سمت گشاده و باز می‌گذارند به طوری که بالای دهانه‌ها رو به آسمان بسته می‌باشد ولی پایین آن به طرف ستون بادگیر تا درون ساختمان و یا آب انبار باز است. داخل ستون بادگیر را به وسیله تیغه‌ها و پره‌های آجری مورب (به جز بادگیرهای یک‌طرفه) به چهار، شش و یا هشت قسمت تقسیم می‌کنند به طوری که باد از هر سویی بوزد از دهانه و کانال همان سو وارد ستون بادگیر می‌شود و به قرینه کانال‌های ورودی، جریان هوا از کانال‌های دیگر خارج می‌شود. این فرآیند باعث جابه‌جا گشتن جریان هوا در فضای درونی ساختمان و آب انبار می‌شود (شکل۲).



شکل ۲ـ بادگیر سنتی

۱ـ برای مثال، استان یزد دارای بادهای مطبوع و نامطبوعی می‌باشد. یکی از بادهای مطبوع این استان با وزشی از طرف شمال‌غربی به نام باد اصفهانی معروف است. به دلیل خنک بودن باد اصفهانی، بادگیرها را در این جهت می‌سازند[٦].

۱-۱- نحوه عملکرد بادگیرهای سنتی

با عبور جریان هوا از اطراف بادگیر، قسمتی از آن از طریق دهانه‌ها و بعد کانال‌های ورودی به اتاق زیر بادگیر یا حوض خانه انتقال داده می‌شود. بخشی از جریان هوای وارد شده به قرینه کانال‌های ورودی از کانال‌های دیگر خارج می‌شود که این فرآیند مکش جریان هوا به محیط بیرون در اثر وجود اختلاف فشار بین دو وجهی از بادگیر که یکی در مقابل و دیگری در خلاف جهت جریان هوای بیرون قرار دارد ایجاد می‌گردد. با توجه به سرعت جریان هوا، بخشی دیگر از جریان هوای وارد شده به اتاق زیر بادگیر یا حوض خانه پس از برخورد به سطح آب وارد فضاهای دیگر ساختمان می‌شود که در این حالت بادگیر باعث دمش جریان هوا به محیط داخلی ساختمان می‌شود. نوع دیگر عملکرد بادگیر بدین صورت است که جریان هوا از طریق در و پنجره‌ها وارد محیط داخلی ساختمان و سپس اتاق زیر بادگیر یا حوض خانه شده و با کل جریان هوای وارد شده از طریق کانال‌های ورودی به قرینه، از کانال‌های دیگر خارج می‌شود که در این صورت بادگیر به مانند دودکش فقط جریان هوا را از محیط داخلی ساختمان به فضای خارج مکش می‌نماید. اگر در شب هیچگونه جریان هوایی نداشته باشیم، چون بادگیر در طول روز انرژی گرمایی را در خود ذخیره نموده است به تبادل حرارتی با محیط پیرامون خود می‌پردازد که در نتیجه هوای اطراف آن گرم شده و به طرف بالا حرکت می‌نماید. به دلیل اختلاف فشاری که ایجاد می‌شود هوای محیط داخلی ساختمان از طریق بادگیر به فضای بیرون مکش می‌شود بنابراین باعث ایجاد تهویه و چرخش جریان هوا در محیط داخلی ساختمان می‌شود. همچنین در صبحگاه اگر هیچگونه جریان هوایی نداشته باشیم چون بادگیر در طول شب به تبادل حرارتی با محیط اطراف خود پرداخته است مقداری انرژی سرمایی در جرم ساختمان داخلی بادگیر ذخیره می‌گردد و در اثر نیروی شناوری مقداری هوای خنک وارد فضای داخلی ساختمان می‌شود.

۲-۱- معایب بادگیرهای سنتی

بادگیرهای سنتی که در قرن‌های گذشته و با تکنولوژی آن زمان مورد استفاده قرار می‌گرفته‌اند دارای معایب زیر هستند که تکنولوژی امروزی می‌تواند آنها را بر طرف نماید[۷،۸]:

۱- گرد و غبار، حشرات و در بعضی اوقات پرندگان کوچک وارد ساختمان می‌شوند.

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

۳- مقدارانرژی سرمایی که در جرم ساختمان بادگیر می‌توان ذخیره کرد، مقدارمحدودی است زیرا جرم و گرمای ویژه مصالح ساختمانی بکار گرفته شده 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 ممکن است برای مقادیر بالای انتقال حرارت ناکافی باشد.

٤- حتی در ساختمان‌هایی که از زیرزمین استفاده می‌کنند، با این که هوا را از روی سطوح نمدار عبور می‌دهند، سرمایش تبخیری بالقوه هوا کاملاً مورد استفاده قرار نمی‌گیرد. در مناطق گرم و خشک سرمایش تبخیری، یک فرآیند بسیار مؤثر در فراهم کردن آسایش حرارتی است.

۵ـ بادگیر برای مناطقی که باد دارای سرعت کمی است، کاربردی ندارد.

برای رفع معایب و محدودیت‌های فوق‌الذکر می‌توان طرح‌های جدیدی را که به نام‌های بادگیر با ستون خیس‌شونده و بادگیر با سطوح خیس‌شونده خوانده می‌شوند، ارائه نمود[۱۰و۷،۹].

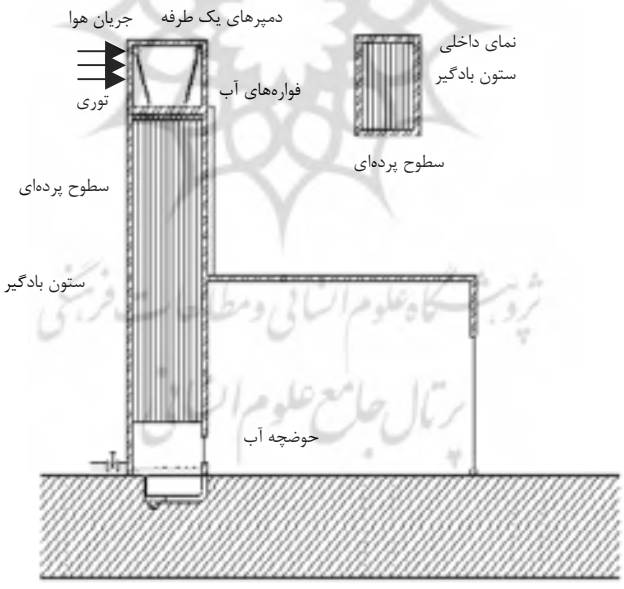
۲- بادگیر با ستون خیس شونده

در بادگیری که از ستون خیس‌شونده استفاده می‌شود، آب از بالای بادگیر توسط یک سری فواره‌های آب بر روی یک شبکه سفالی یا سطوح پرده‌ای که در داخل ستون بادگیر نصب شده است، پاشیده می‌شود. این آب در انتها در حوضچه‌ای جمع‌آوری می‌گردد و توسط یک پمپ آب سیرکولاسیون می‌شود. شکل شماره (۳) مقطع یک بادگیر با ستون خیس‌شونده را نشان می‌دهد. در این طرح کلی در سه بخش، پیشرفت قابل توجه‌ای به دست آمده است که عبارتند از[۷]:

۱ـ سر بادگیر، که می‌تواند از هر جهتی باد را به طرف داخل ستون بادگیر هدایت نموده و مانع از آن می‌شود که هوا از طریق دهانه‌های دیگربه خارج هدایت شود.

۲ـ ازدیاد سطح انتقال حرارت، از یک شبکه سفالی یا سطوح پرده‌ای در داخل ستون بادگیراستفاده شده است که باعث افزایش سطح انتقال حرارت بین هوا و بادگیر می‌شود و همچنین از این شبکه سفالی یا سطوح پرده‌ای برای ایجاد سطوح مرطوب استفاده می‌شود.

۳ـ از پتانسیل برودتی هوا بطور بسیار مناسبی استفاده می‌شود.



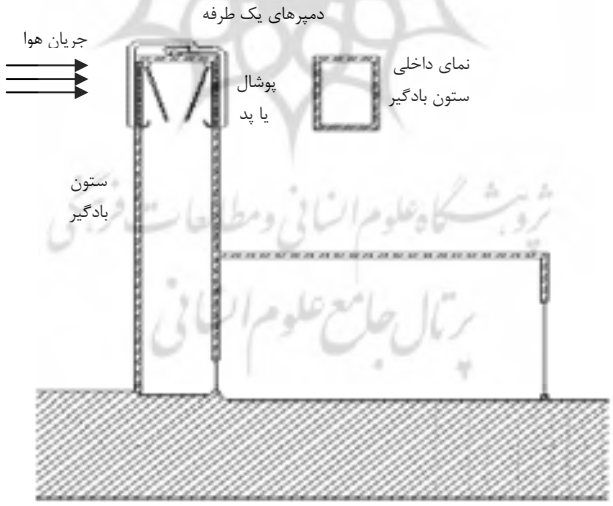
شکل ۳ـ بادگیر با ستون خیس‌شونده

۳ـ بادگیر با سطوح خیس شونده

ساختمان این بادگیرها 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 خیس‌شونده دیگر که به نام پد معروف هستند، نصب شده است. پوشال‌ها و یا پدها توسط یک پمپ آب و چندین فواره خیس می‌شوند. شکل شماره (٤) مقطع یک بادگیر با سطوح خیس‌شونده را نشان می‌دهد. وقتی که باد نمی‌وزد هوا در حین عبور از این پوشال‌ها یا پدها به صورت تبخیری خنک‌شده و جرم مخصوص آن افزایش می‌یابد. در اثر اختلاف جرم مخصوص هوای داخل ستون بادگیر و هوای محیط و به علت به وجود آمدن نیروی شناوری ($\Delta\rho gh$) یک جریان هوا در داخل ستون بادگیر به طرف پایین آن و سپس به داخل ساختمان مجاور بادگیر ایجاد می‌گردد.

در پشت پوشال‌ها یا پدها، داخل ستون بادگیر، دمپرهای یکطرفه‌ای به فاصله چندین سانتیمتر تا پوشال یاپد نصب شده‌اند. وقتی ضریب فشار باد «C_p» در یک دهانه بادگیر مقدار مثبتی باشد دمپرها در این دهانه باز شده و اجازه می‌دهند که باد بعد از عبور از پوشال وارد ستون بادگیر شود که در این هنگام دمپرها در دهانه‌های دیگر که پشت پوشال‌ها یا پدها نصب شده‌اند به دلیل ضریب فشار باد منفی بسته می‌شوند و مانع خروج هوا از بادگیر می‌شوند. در موقعی که هیچگونه جریان هوایی نداشته باشیم به دلیل فاصله چندین سانتیمتری دمپرها تا پوشال یا پد، کلیه دهانه‌ها باز می‌شوند و هوا می‌تواند وارد ستون بادگیر شود.

از این نوع بادگیرها می‌توان انتظار داشت که در مکان‌هایی که سرعت باد کم بوده و یا اکثر ساعات شبانه روز هوای محیط ساکن است، کارآیی خوبی داشته باشند[۱۳و۱۲،۱۱].



شکل ۴ـ بادگیر با سطوح خیس‌شونده

۴ـ معرفی بادگیر مورد آزمایش

بادگیر مورد آزمایش دارای ارتفاع ۱۲متر، طول ۳/٦ متر و عرض ۱/٤ متر می‌باشد که دارای سه مجرا یا کانال ورودی هوا است که دو مجرا یا کانال کناری هر کدام دارای سه دهانه و دریچه بوده و مجرا یا کانال وسط دارای دو دهانه و دریچه می‌باشد (شکل ٥). سطح مقطع هر کانال مربعی بوده و طول هر ضلع آن ۱متر می‌باشد. سطح داخلی هر کانال باملات ماسه و سیمان اندود شده که به علت زبری سطح باعث کاهش سرعت جریان و افت فشار می‌شود. دریچه‌های خروجی هر کانال دارای ابعاد ۰/٦×۱متر بوده و به یک سالن ورزشی وصل می‌باشند.

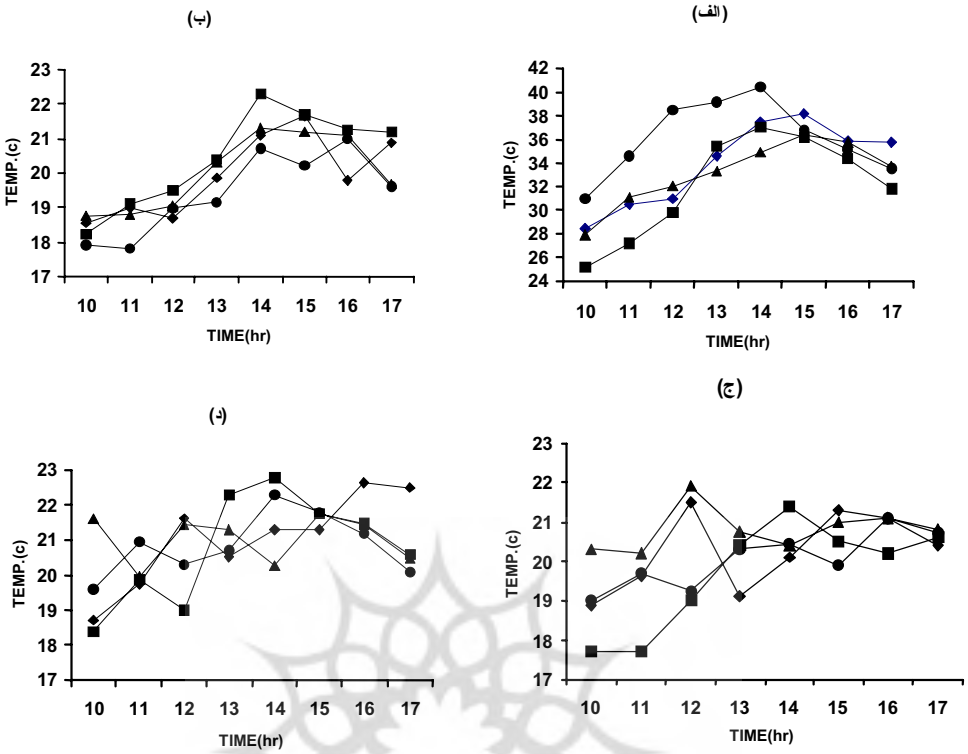
شکل ٥ ـ نمایی از بادگیر مورد آزمایش ـ شهریار تهران

بحث و نتیجه‌گیری

سه پارامتردما، دبی جرمی ومیزان برودت تولید شده براساس نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌های تجربی به طور نمونه برای چهار روز متوالی، که برای دو نوع بادگیر، ستون خیس‌شونده و سطوح خیس‌شونده (پوشال و پد) که ستون خیس‌شونده و سطوح خیس‌شونده پوشال در دو ستون کناری و سطوح خیس‌شونده پد در ستون وسط، به دست آمده است، مورد بحث قرار می‌گیرد.

۱ـ۵ـ بررسی پارامتر دما

با توجه به نمودارهای شکل شماره (٦) و جدول شماره (۱)، عملکرد بادگیر با ستون خیس‌شونده در تعدیل دما بهتر از نمونه‌های دیگر بوده است. ولی نکاتی را که باید به آن اشاره نمود این است که اختلاف دمایی زیاد بین محیط بیرون و دهانه خروجی هر کدام از بادگیرها در گرم‌ترین ساعات روز، همچنین در طول مدت روز نشان‌دهنده عملکرد خوب هر سه نمونه در تعدیل دما است. همچنین اختلاف دما در دهانه خروجی هر سه نمونه چندان زیاد نیست به طوری که حداکثر تغییرات در حدود $2\ ^{\circ}C$ می‌باشد.



شکل ۶ ـ نمودارهای تغییرات دما

(الف) محیط بیرون (ب) ستون خیس‌شونده (ج) سطوح خیس‌شونده پد (د) سطوح خیس‌شونده پوشال

♦ ٦/١٩ ■ ٦/٢٠ ● ٦/٢١ ▲ ٦/٢٢

جدول ۱ـ متوسط دما در ساعات اندازه‌گیری

T_3	T_2	T_1	T_{sur}	
٢١/٠٤	٢٠/١٠	١٩/٩٤	٣٣/٩٨	٨٠/٦/١٩
٢٠/٠٥	١٩/٦٥	٢٠/٤٣	٣٢/١٣	٨٠/٦/٢٠
٢٠/٨٧	٢٠/٠٥	١٩/٤٢	٣٦/١٢	٨٠/٦/٢١
٢٠/٠١	٢٠/٨١	٢٠/٢٠	٣٣/١٥	٨٠/٦/٢٢

T_{sur} متوسط دمای محیط

T_1 متوسط دمای سطوح خیس‌شونده

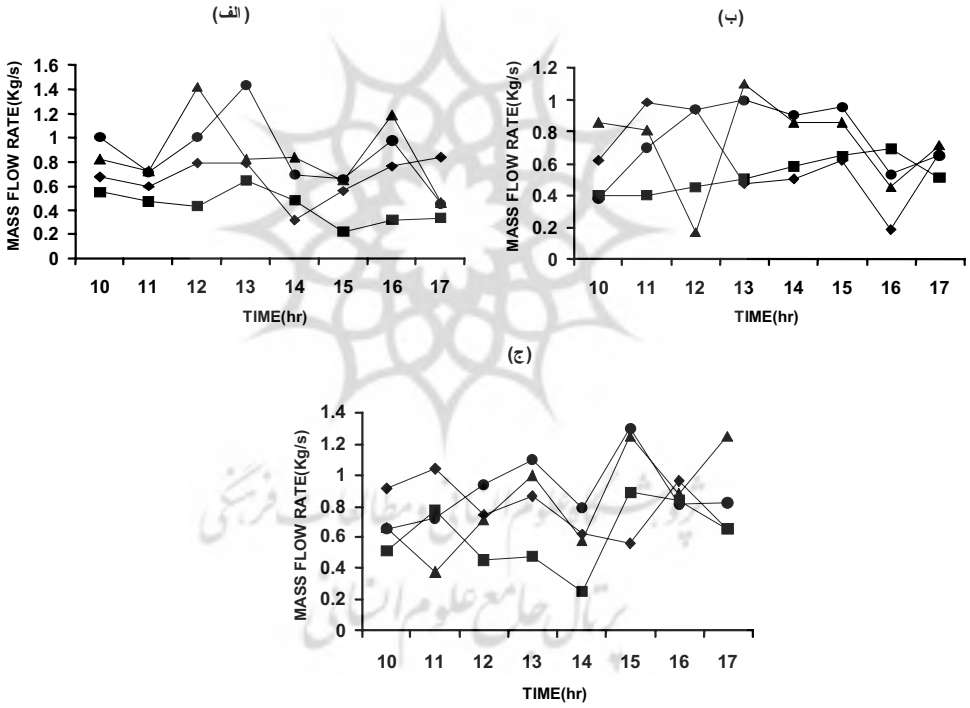
T_2 متوسط دمای ستون خیس‌شونده پد

T_3 متوسط دمای ستون خیس‌شونده پوشال

۲ـ۵ـ بررسی پارامتر دبی جرمی

با اندازه‌گیری سرعت جریان هوا در دهانه خروجی هر سه نمونه و با توجه به آن که مساحت هردهانه خروجی $۰/۶m^2$ و چگالی هوا $۱/۲Kg/m^3$ می‌باشد دبی جرمی ($\dot{m}=\rho AV$) برای هر سه نمونه محاسبه شده است.

نتایج به دست آمده از شکل شماره (۷) و جدول شماره (۲) به دلایلی که اشاره خواهد شد، دارای مقداری خطا می‌باشد. (۱) چون جهت باد در طول روز متغیر است و با توجه به قرارگرفتن بادگیرها، جهت باد با توجه به زاویه وزش برای همه بادگیرها یکسان نمی‌باشد. (۲) با توجه به تغییرات لحظه‌ای جریان هوا، اندازه‌گیری‌ها برای این سه نمونه در یک زمان انجام نگرفته است. (۳) وجود ناودانک‌ها در بادگیر با ستون خیس‌شونده که بر روی سطوح پرده‌ای نصب شده‌اند مانعی برای ورود جریان هوا به داخل ستون بادگیر هستند. با توجه به وجود این مشکلات این نتیجه را می‌توان گرفت که در شرایط یکسان وقتی سرعت باد زیاد است بادگیر با ستون خیس‌شونده دارای دبی جرمی بیشتری می‌باشد.



شکل ۷ ـ نمودارهای تغییرات دبی جرمی

(الف) ستون خیس‌شونده (ب) سطوح خیس‌شونده پد (ج) سطوح خیس‌شونده پوشال

♦ ۶/۱۹ ■ ۶/۲۰ ● ۶/۲۱ ▲ ۶/۲۲

جدول ۲ـ متوسط دبی جرمی در ساعات اندازه‌گیری

	$\dot{m}_1$	$\dot{m}_2$	$\dot{m}_3$
۸۰/۶/۱۹	۰/۶۷	۰/۶۲	۰/۸۰
۸۰/۶/۲۰	۰/٤٤	۰/٥۳	۰/٦۳
۸۰/۶/۲۱	۰/۸۷	۰/۷۱	۰/۸۹
۸۰/۶/۲۲	۰/۸٦	۰/۷۲	۰/۸٤

$\dot{m}_1$ متوسط دبی جرمی سطوح خیس‌شونده
$\dot{m}_2$ متوسط دبی جرمی ستون خیس‌شونده پد
$\dot{m}_3$ متوسط دبی جرمی ستون خیس‌شونده پوشال

۳ـ۵ـ بررسی پارامتر میزان برودت تولید شده

برای بررسی میزان برودت تولیدشده توسط این سه نمونه بادگیر، ابتدا عملکرد کولرهای آبی (برای نمونه کولرآبی ٦٥۰۰) را برای شرایط اقلیمی استان تهران مورد بررسی قرار می‌دهیم.

شرایط طرح خارج در تابستان

T_{db}=37.78˚C (100 ˚F)
T_{wb}=19.44˚C (67 ˚F)
ϕ=17%

با توجه به شرایط فوق، اختلاف درجه حرارت ابتدایی 18.34 ˚ C (33 ˚F) است. اگر بازده کولر 85% باشد مقدار تنزل دما برابر 0.85×18.34 =15.58°C (28°F) است، بنابراین درجه حرارت حباب خشک هوای خروجی از کولر تبخیری برابراست با:

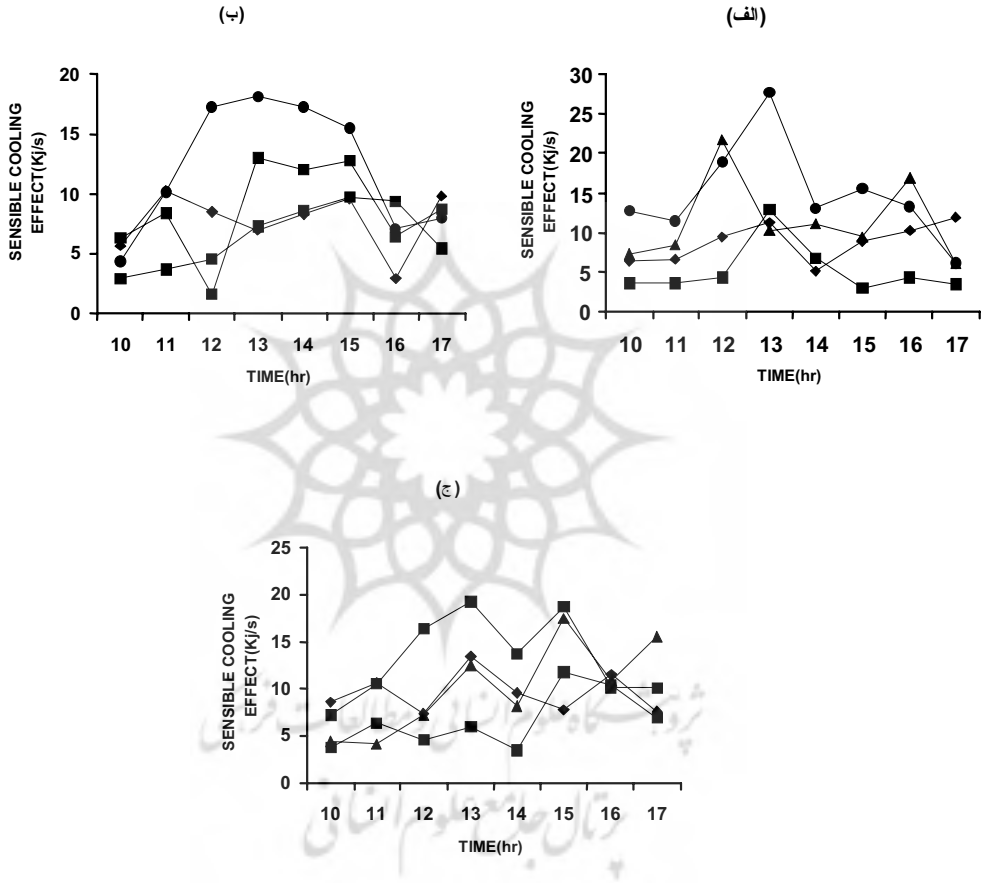
T_{db}= 37.78-15.58= 22.2 ˚C (72 ˚F)

در کولر تبخیری آدیاباتیک فرض می‌شود فقط بخشی از آب در گردش تبخیر می‌گردد و درجه حرارت تعادل باقیمانده آن تقریباً برابر با درجه حرارت حباب‌تر هوای ورودی می‌باشد.

شرایط هوای خروجی از کولر

T_{db}= 22.2˚C(72 ˚F)
T_{wb}=19.44˚C (67 ˚F)
ϕ=76%
$\dot{Q}$˚ =ρC $\dot{V}$˚ ΔT
ρ =1.2 Kg/m^3 (0.0749 lb/ft^3)
C= 0.31143 KJ/Kg˚ C (0.241 Btu/lb˚ F)
$\dot{V}$˚ =184.06m^3/min=3.0676m^3/s(6500 ft^3/min)
ΔT=T_i- T_o =37.78-22.2= 15.58 ˚C (28 ˚F)
$\dot{Q}$ ˚= 1.2×0.31143×3.0676×15.58 = 17.83 KJ/s

با توجه به نمودارهای شکل شماره (۸) و جدول شماره (۳)، می‌توان این نتایج را گرفت که بادگیر با ستون خیس‌شونده در موقعی که سرعت جریان هوا زیاد باشد میزان برودت تولید شده آن از دو نمونه دیگر بیشتر و در مقایسه با کولر آبی ٦٥٠٠ تقریباً برابر با آن می‌باشد. در مواقعی که سرعت جریان هوا کم (کمتر از ۳ m/s) باشد عملکرد برودتی این سه نمونه بادگیر پایین است و در مقایسه با کولر آبی ٦٥٠٠، تا یک سوم می‌باشد. در مواقعی که هیچگونه جریان هوایی نداشته باشیم و یا سرعت آن کم باشد عملکرد بادگیر با سطوح خیس‌شونده پد از دو نوع دیگر بهتر می‌باشد.



شکل ۸ ـ نمودارهای تغییرات میزان برودت تولید شده

(الف) ستون خیس‌شونده (ب) سطوح خیس‌شونده پد (ج) سطوح خیس‌شونده پوشال

♦ ٦/١٩ ■ ٦/٢٠ ● ٦/٢١ ▲ ٦/٢٢

جدول ۳ـ متوسط برودت تولیدشده در ساعات اندازه‌گیری

	Q°_1	Q°_2	Q°_3
۸۰/٦/۱۹	۹/۰۱	۸/۲۸	۹/۸٤
۸۰/٦/۲۰	٤/۸۷	٦/۲۹	٦/۹۹
۸۰/٦/۲۱	۱٤/۰	۹/٤٥	۱۳/۱۱
۸۰/٦/۲۲	۱۰/۹۲	۸/٥٤	۱۰/٤۲

Q°_1 متوسط برودت تولید شده سطوح خیس‌شونده
Q°_2 متوسط برودت تولید شده ستون خیس‌شونده پد
Q°_3 متوسط برودت تولید شده ستون خیس‌شونده پوشال

۴ـ۵ـ بررسی بادگیرها از نظر اقتصادی

هزینه ساخت اولیه برای بادگیرهای سنتی، ستون خیس‌شونده و سطوح خیس‌شونده یکسان است. در بادگیرهای سنتی، هزینه دیگری وجود ندارد. برای بادگیر با ستون خیس‌شونده هزینه تهیه شبکه سفالی یا سطوح پرده‌ای که در داخل ستون بادگیر نصب می‌شوند، بالا است. پدها در بادگیر با سطوح خیس‌شونده پد قیمت بالایی دارند. در بادگیر با سطوح خیس‌شونده پوشال، هزینه خرید پوشال‌ها کم بوده و به مراتب ارزان‌تر از دو نمونه دیگر می‌باشد.

نتیجه‌گیری کلی و پیشنهادات

بادگیرهای سنتی به عنوان سیستم‌هایی که بدون صرف انرژی الکتریکی هوای ساختمان را تهویه و خنک می‌کنند در نواحی کویری ایران مورد استفاده قرار می‌گیرند. با توجه به نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌های تجربی و تحلیل عددی [۱۰]، برای مناطق بادخیز (حداقل سرعت باد$3m/s$) بادگیر با ستون خیس‌شونده دارای عملکرد بهتری نسبت به نمونه‌های دیگر می‌باشد. در مناطقی که سرعت باد کم است بادگیر با سطوح خیس‌شونده به ویژه پد دارای کارآیی بهتری می‌باشد. ولی به طور کلی با توجه به بررسی پارامترهای مختلف برای انواع بادگیرها و همچنین مقایسه نمودن آنها با کولرهای آبی، به این نتیجه می‌رسیم که بادگیر با سطوح خیس‌شونده پوشال، دارای عملکرد نسبتاً خوبی بوده و کم هزینه‌ترین نمونه می‌باشد، که می‌توان از آن در ساختمان‌های جدید برای مناطق کویری استفاده نمود.

برای بهبود کارآیی بادگیرهای سنتی و جدید، پیشنهاداتی ارائه می‌شود:

۱ـ در بادگیرهای سنتی اگر سطوح داخلی ستون آنها را با مواد و مصالح مناسب اندود نماییم تا در اثر تماس داشتن با آب مستحکم باشند و رطوبت را به خوبی در خود نگهدارند، می‌تواند راه کاری برای بهبود بخشیدن به عملکرد آنها باشد.

۲ـ در بادگیرهای مرتفع با سطوح خیس‌شونده، دمای تعدیل‌شده جریان هوا به علت ارتفاع زیاد بادگیر، افزایش می‌یابد. برای جلوگیری کردن از این افزایش دما می‌توان از سطوح پرده‌ای که به فاصله اندکی از دیواره‌های ستون بادگیر نصب می‌شوند، استفاده نمود. این سطوح پرده‌ای خیس مانع از تأثیر دمای دیواره‌های ستون بادگیر به جریان هوای تعدیل شده می‌باشند.

۳ـ چون برای پمپ‌های آب مقداری انرژی الکتریکی مورد نیاز است، می‌توان از کلکتورهای خورشیدی در دیواره‌ها و سقف ستون بادگیر استفاده نمود تا از انرژی خورشیدی برای تولید انرژی الکتریکی مورد نیاز استفاده شود.

منابع

۱ـ علیرضا دهقانی، و محسن مزیدی، "تعیین جریان کلی هوا در بادگیرها به عنوان عامل‌های تهویه مطبوع سنتی در ساختمان‌های قدیمی"، نامه مکانیک شریف، شماره ۸، صفحه ۵۸ تا ٦٥ ,۱۳۷۹.

2- Bahadori, M. N, "Passive Cooling Systems in Iranian Architecture", Scientific American,Vol.283, No.2, PP.144- 145, 1978.

۳ـ علیرضا دهقانی،"بررسی تجربی نحوه عملکرد بادگیرها، سقف‌های گنبدی و کلاه فرنگی‌ها، همچنین نگهداری و خنک‌سازی آب در آب انبارها"، تهویه و تبرید، شماره ۱ صفحه ٣٦ تا ٤١،١٣٨٣.

4- Bahadori, M. N, "Thermal Performance of Adobe Structures with Domed Roofs and Moist Internal Surface", Solar Energy, Vol. 36, No. 4, PP. 365- 375 , 1986.

۵ـ محمدتقی طباطبایی، "بادگیرها پدیده‌هایی سهل، ممتنع و زیبا در معماری اصیل ایران"، یزدنامه، تهران: جداگانه، جلد اول، ۱۳۷۱.

٦ـ غلامحسین معماریان، سیری در معماری آب انبارهای یزد، تهران: علم و صنعت، ۱۳۷۲.

7- Bahadori, M. N, "An Improved Design of Wind Towers for Natural Ventilation and Passive Cooling ", Solar Energy, Vol. 36, No.2, PP. 119- 129, 1985.

8- Bahadori, M. N, "Natural Cooling in Hot Arid Regions", in Solar Energy Application in Buildings,edited by A. A. M.Sayigh, Academic Press Inc, New york, PP.195-225, 1977.

9- Bahadori, M. N,"A Passive Cooling / Heating System for Hot", Arid Regions, 13th National Passive Solar Conference, MIT, Cambridge, Massachusetts, June 20-24 , PP.364-367, 1988.

10- Bahadori, M. N. And Pakzad A. R., "Performance Evaluation of New Designs of Wind Towers", Paper No. FEDSM 2002-31247, Proceedings of ASME FEDSM02, ASME 2002 Fuids Engineering Division Summer Meeting, Montreal, Quebec, July 14-18, 2002.

11- Bahadori, M. N, "Viability of Wind Towers in Achieving Summer Comfort in the Hot Arid Regions of the Middle East", Third World Renewable Energy Congress, September 11-16,1994, Reading, United Kingdom, PP.879-892.

12- Cunningham, W. A. And Thompson,"Passive Cooling With Natural Draft Cooling Towers in Combination With Solar Chimney", Proceedings of the Passive and low Energy Architecture, Ungraian Ministry, PP.23-34, 1986.

13- Givoni B.,"Semiemperical Model of a Building with a Passive Evaporative, Cool Tower", Solar Energy, Vol. 50, No.5, PP. 425-434, 1993.