

## تحلیل رفتار هیدرودینامیکی بادگیرها در میانگین دمای داخلی سکونتگاه های اقلیم نیمه گرم و خشک کاشان با هدف کارآیی بیشتر\*

مهندس محمدعلی کرباسفروشها\*\*، دکتر فرشته حبیب\*\*\*، دکتر حسین ذبیحی\*\*\*\*

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۱۱/۱۲ تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۰/۰۲/۰۸

### مکیده

یکی از راهها جهت دستیابی به ساختمان با کارایی بالاتر در مصرف انرژی و نیل به یک سامانه کارآمد، بهره گیری از تجربیات معماری بومی میباشد. در این بین بادگیر یکی از المانهایی است که در گذشته به منظور ایجاد آسایش در اقلیم های گرم و خشک کاشان استفاده می شدند. این مطالعه رفتار هیدرودینامیکی باد در این المان را تحت تاثیر سطوح نم دار، دارای حوضچه و دارای فواره آب در میانگین دمای داخلی سکونتگاههای این اقلیم با هدف کارآیی بیشتر این عنصر توسط نرم افزار سی اف دی، انرژی پلاس و اپن استودیو با روش توصیفی-تحلیلی مورد بررسی قرار داده و سپس نتایج حاصله را مورد تحلیل قرار داده است. و در نهایت مشخص میکند که بیشترین افت دما در بادگیرهای دارای فواره آب می باشد و از عوامل اصلی افت دما در این بادگیرها، متناسب بودن ابعاد - دریچه ورود هوا به بادگیر، دمای آب، ابعاد و ارتفاع ستون بادگیر می باشد.

### واژه های کلیدی

بادگیر، رفتار هیدرودینامیکی، میانگین دمای داخلی، اقلیم نیمه گرم و خشک، کاشان.

\* این مقاله برگرفته از رساله دکتری نویسنده اول با عنوان: « بهره گیری از انرژی های تجدید پذیر و تکنولوژی ساختمان های سبز در طراحی های معماری بومی اقلیم نیمه گرم و خشک مورد پژوهشی کاشان» است که با راهنمایی دکتر فرشته حبیب و مشاوره دکتر حسین ذبیحی در دانشگاه آزاد اسلامی واحد پردیس در حال انجام است.

Email: M.karbasfroushha@gmail.com

\*\* دانشجوی دکتری، گروه معماری، واحد پردیس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

Email: fereshteh.habib@gmail.com

\*\*\* استادیار، گروه معماری، واحد پردیس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. (مسئول مکاتبات)

Email: h.zabih@srbiau.ac.ir

\*\*\*\* دانشیار، گروه شهرسازی، واحد علوم تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

## مقدمه

دی<sup>۱</sup>، سرعت جریان هوا در آن‌ها بصورت دویبعدی در ده مدل بررسی شده است. پس از آن با اضافه نمودن سیستم ایجاد رطوبت مجدداً مدل‌سازی و تحلیل صورت گرفته و نسبت به قیاس این مدل‌ها و تعیین مدل با عملکرد برتر اقدام می‌گردد.

## پیشینه پژوهش

تاکنون مطالعات گسترده‌ای بر روی بادگیرها صورت گرفته است. آیت‌اللهی و پوراحمدی مروری جامع بر انواع بادگیرها و رابطه فضایی با بخش‌های داخلی بنا و راهکارهای اصلاحی آن داشته‌اند، (پوراحمدی و آیت‌اللهی، ۱۳۹۰). سوزان روف<sup>۲</sup> محقق انگلیسی که رساله دکترای خود را با عنوان «بادگیرهای یزد» در سال ۱۹۸۸ میلادی به انجام رسانیده است، در مقالات خود به ویژگی‌های منحصر به فرد بادگیرهای یزد اشاره نموده و آنها را تکنولوژی‌های سنتی می‌داند که در به دام انداختن باد و هدایت جریان هوای بیرون به داخل ساختمان، به منظور برقراری جریان طبیعی هوا در ساختمان کاربرد داشته است، (محمودی و مفیدی، ۱۳۸۷). مهدی بهادری نژاد تاکنون مطالعات زیادی در زمینه بادگیر انجام داده اند (بهادری نژاد و صفرزاده، ۱۳۸۱). ایشان همچنین تلاش‌هایی در جهت طراحی دو نمونه جدید بادگیرهای دانشگاه یزد نیز انجام داده‌اند که نتایج تحقیقاتشان در مجلات علمی مختلف منتشر گردیده است (بهادری نژاد و دهقانی، ۱۳۹۲، ف ۸). کلاتر اندازه‌گیری میدانی و تجربی کوتاه‌مدت بر روی بادگیر باغ دولت‌آباد انجام داده و نتایج اندازه‌گیری‌های خود را به منظور اعتبارسنجی مدل‌سازی عددی مورد استفاده قرار داده است. همچنین عملکرد سرمایه‌ی تبخیری طبیعی بادگیرها توسط ایشان مورد بررسی قرار گرفته است (کلاتر، ۱۳۸۸). مطالعاتی که تاکنون توسط محققان در مورد کارکرد بادگیرهای ایران صورت گرفته است اکثراً بر اساس اطلاعات اقلیمی بوده و کمتر می‌توان مطالعاتی در خصوص اضافه کردن سیستم‌های نوین به تجربیات بومی یافت. این پژوهش در راستاء مطالعات پیشین درصدد است تا با الحاق تکنولوژی روز در جهت کارایی بهتر عملکرد تجربیات بومی و اقلیمی گام بردارد.

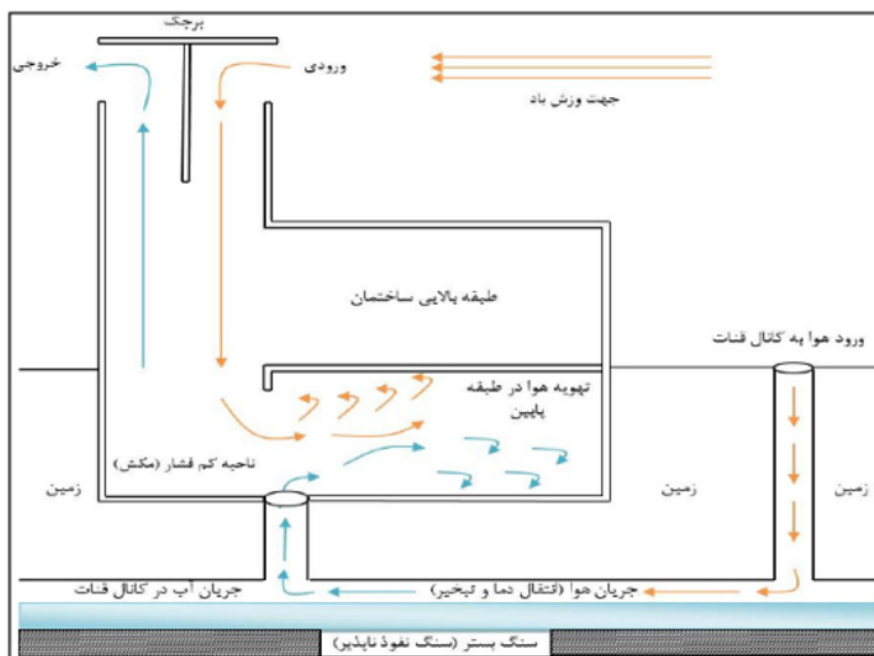
## ساختار بادگیر

ساختار بادگیرها به این صورت است که باد از منافذ بادگیر به آن وارد شده و سپس به روی حوضی مملو از آب هدایت می‌گشته، این برخورد سبب ایجاد عمل تبخیر آب گشته و ضمن کاهش دمای باد باعث افزایش رطوبت آن در اقلیم گرم و خشک می‌شده است (شکل ۱) در نهایت باد خنک و دارای رطوبت وارد اتاق‌های تابستانی شده و باعث خنک شدن هوای فضای درونی می‌شده است (جهانگیری و

معماری بومی ایران، معماری سرشار از تجربیات و تکنیک‌هایی است که در تعامل با محیط پیرامون و بستر اقلیم شکل گرفته است این تکنیک‌ها عموماً با توجه به منابع انرژی فسیلی در راستاء کاهش مصرف و استفاده هرچه بیشتر از انرژی تجدیدپذیر آن اقلیم بوده است و در طول زمان با بهره‌گیری از تجارب کاربران و طراحان در راستاء استفاده هرچه بیشتر از منابع طبیعی اقلیمی، فضای مناسب‌تری را جهت فعالیت و آسایش حرارتی ساکنین فراهم آورده است. در حال حاضر نیز همچنان با توجه به نیاز تمامی جوامع به توجه به مصرف انرژی، معماری همساز با اقلیم درصدد پاسخ به این نیاز می‌باشد. این معماری در شرایط محیطی متفاوت با بهره‌گیری از تجارب گذشته و تکنولوژی روز میزان مصرف انرژی فسیلی را در ساختمان کاهش و محیط مناسب‌تری را برای انسان‌ها فراهم می‌آورد. یکی از عناصری که در معماری بومی به عنوان روشی در جهت آسایش در اقلیم گرم و خشک کاشان مورد توجه بوده و با تجربه طراحان آن به کارایی مناسبی دست یافته بود، بادگیر است. در واقع بادگیر با انتقال باد خارجی ساختمان به فضای داخل و مکش هوای داخل بنا به سمت خارج نقش مؤثری در خنک کردن نسبی هوای داخل بنا داشته است. تحقیقات ثابت کرده است این عملکرد نقش مؤثری در تهویه طبیعی فضای داخلی بنا جهت ایجاد آسایش حرارتی برای ساکنین داشته است اما لازم به ذکر است این عنصر باتوجه به امکانات در دسترس معماران بومی و با بهره‌گیری از تجربیات مکرر آنها در طراحی و ساخت، در زمان خود نقش مؤثری داشته است و امروزه با توجه به روند رو به رشد استفاده از انرژی در شهرهای امروزی ضمن تلفیق با تکنولوژی روز نیازمند تطابق با شرایط امروزی است. این پژوهش درصدد آن است علاوه بر شناخت و مطالعه ساختار این تکنیک و بهره‌گیری از تجربه استفاده از این عنصر پیشنهادهای مؤثری در راستاء افزایش کارایی این عنصر جهت کاهش میانگین دمای داخلی سکونتگاه‌ها ارائه دهد.

## روش پژوهش

همانطور که عنوان شد هدف از انجام این پژوهش، بررسی میزان عملکرد بادگیر در کاهش میانگین دمای داخلی سکونتگاه اقلیم گرم و خشک در راستاء افزایش کارایی این عنصر با اضافه نمودن سیستم ایجاد رطوبت می‌باشد؛ فلذا باتوجه به ماهیت کالبدی این پژوهش در گام نخست با فرض در نظر گرفتن قسمت تابستان نشین سکونتگاه این اقلیم و شرایط یکسان در اقلیم گرم و خشک کاشان با فرض دمای هوای بیرون  $31.3K$  (۴۰ سانتی‌گراد). سپس با بهره‌گیری از مدل‌سازی و تحلیل با استفاده از نرم‌افزار محاسباتی سی اف



شکل ۱. نحوه عملکرد بادگیر (جهانگیری و زارع، ۱۳۹۳)

زارع، ۱۳۹۳).

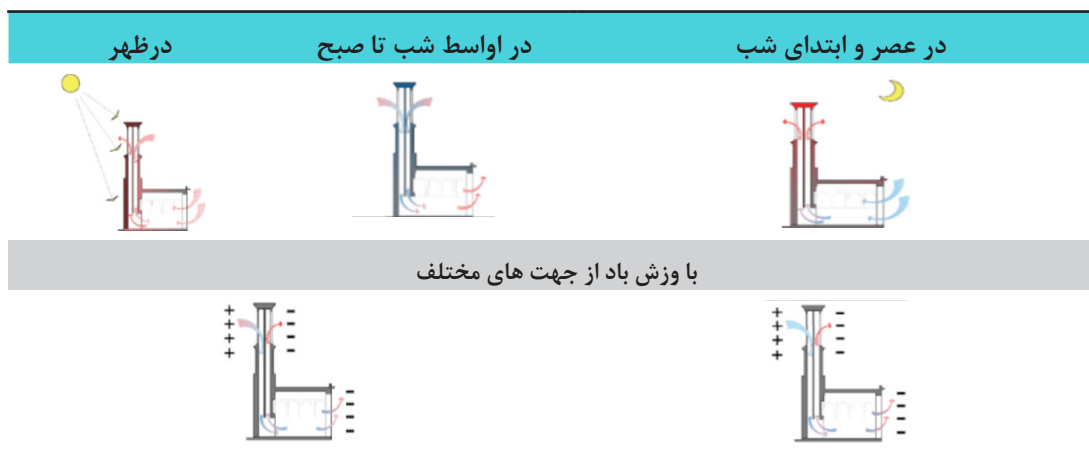
فشاری منفی در داخل بادگیر ایجاد شده و در نتیجه هوای داخل خانه به سمت بالا حرکت کرده و هوای تازه از پنجره جایگزین آن می‌گردد (Ghadiri, 2010). به طور کلی هر قدر ارتفاع بادگیر بیشتر باشد، در واقع فاصله از محل ورودی هوا تا محل خروجی هوا بیشتر، و در نتیجه فشار نیز بیشتر می‌گردد (Yaghoubi et al., 1998). بادگیرهایی که دارای چند کانال مجزا هستند، باد مطلوب از یک جهت وارد و در جهت پشت به باد به دلیل ایجاد فشار منفی و مکش هوای گرم داخلی خارج می‌گردد (مهدوی نژاد و جوانرودی، ۱۳۹۰). لازم به ذکر است که این گردش ناشی از اختلاف فشار در اثر باد، بسته به شکل قرارگیری بادگیر نسبت به ساختمان و اجزای اصلی آن، ممکن است برعکس عمل کند و هوا از در و پنجره وارد و از بادگیر خارج شود؛ در این حالت بادگیر نقشی مشابه هواکش خواهد داشت. در واقع هوا از دریچه های با فشار مثبت وارد بادگیر شده و از دریچه ها و یا در و پنجره با ضرایب فشار منفی خارج می‌شود (عطروش، ۱۳۹۳).

### مماسبات سرعت جریان هوا در بادگیرهای سنتی

در این بخش، ۱۰ مدل بادگیر سنتی (فاقد سطوح نمودار) طراحی و فرض شده که با استفاده از نرم افزار (محاسبات سی اف دی) سرعت جریان هوا در آن ها بصورت دوبعدی بررسی گردید. در تمامی حالت ها، دمای هوای بیرون ۴۰ درجه سانتی گراد، دمای دیوارهای داخلی اتاق ۳۵ درجه سانتی گراد، ضخامت دیوارهای اتاق ۸۰ سانتی متر و سرعت

جهت جریان باد در روز و شب و در صورتی که سرعت باد در بیرون صفر باشد، متفاوت خواهد بود. در ابتدای شب به دلیل ظرفیت حرارتی مصالح دیواره بادگیر و گرم ماندن آن در اثر تابش آفتاب روز، چگالی هوای موجود در داخل بادگیر، نسبت به چگالی هوای خارج کمتر شده و بخاطر این اختلاف، بادگیر مانند یک هواکش عمل می‌کند و هوا از داخل آن به سمت خارج مکیده می‌شود؛ فلذا هوا بعد از دریافت حرارت از دیوارهای گرم ساختمان و بادگیر، از بادگیر خارج می‌شود، در نهایت مادامی که دمای دیواره بادگیر بیش از دمای خارج است جریان هوای خنک از حیاط به داخل ساختمان حرکت می‌کند. این عمل در طول شب باعث خنک شدن دیواره ساختمان و بادگیر می‌گردد (جدول ۱). زمانی که دمای دیواره بادگیر به دلیل تبادل حرارتی، با محیط هم‌دم شد یعنی دمای دیواره کمتر از دمای محیط داخل اتاق شد، بادگیر در خلاف جهت دودکش ها عمل می‌کند، هوای داخل بادگیر سنگین تر از دمای داخل اتاق می‌شود و در اثر نیروی شناوری به سمت پایین می‌آید؛ در نتیجه فشار هوای داخل بادگیر کم شده و هوا از روزن بادگیر وارد آن می‌گردد، سپس هوای گرم داخل خانه از پنجره ها خارج می‌شود، این عملکرد در صبح نیز ادامه پیدا خواهد کرد (بهادری نژاد و دهقانی، ۱۳۹۲، ۱۵). هنگامی که تابش خورشید در ظهر باعث گرم شدن ضلع جنوبی بادگیر و دمای هوای داخل بادگیر گرم تر از اتاق شود هوا به سمت بالا حرکت کرده و از بادگیر خارج خواهد شد، در واقع

جدول ۱. بدون وزش باد (ایجاد جریان هوا با توجه به تفاوت دما)



سرعت جریان هوا در هر دو ستون بادگیر بیش از سرعت ورودی است که می‌تواند با طراحی هوشمندانه برای به حرکت درآوردن فن یا توربین‌ها بصورت طبیعی مورد استفاده قرار گیرد. همچنین، حداکثر سرعت باد در مکان‌هایی که مسیر حرکت باد دارای تغییر زاویه ۹۰ درجه است، رخ می‌دهد. در مدل ۲؛ با ایجاد یک دیوار پارتیشن بین دریچه‌های ورود و خروج هوای اتاق، جریان هوا تا حدودی از خروجی دور شده که در نتیجه آن نیمی از اتاق تحت‌تأثیر جریان هوای ورودی قرار می‌گیرد. در این حالت، بیشینه سرعت حدوداً دو برابر سرعت محیط است که در محدوده پارتیشن دریچه ورودی به سمت مرکز اتاق رخ می‌دهد. اما همچنان نیمه دوم اتاق دارای هوای ساکن (۰-،  $0/3 \text{ m/s}$ ) می‌باشد. با ۴۵ درجه کردن تیغه پارتیشن در مدل ۳، حوزه تحت‌تأثیر باد کوچک‌تر شده و به محدوده خروجی نزدیک‌تر می‌شود. همچنین، گوشه بالای دریچه ورودی نسبت به حالت قبل از سهم جریان هوای بیشتری برخوردار می‌گردد. با بررسی سه حالت فوق می‌توان نتیجه گرفت که مجاورت دریچه ورودی و خروجی بادگیر در اتاق، عملکرد مناسبی را برای جریان هوا در اتاق فراهم نمی‌کند. از این رو، برای برقراری بهتر جریان در سراسر فضای اتاق، می‌توان آنها را با فاصله از هم قرار داد. بدین منظور، ستون‌های ورود و خروج هوا در حداکثر فاصله از یکدیگر قرار گرفته و بادگیرهای یکطرفه طراحی

هوای ورودی  $3/455 \text{ m/s}$  (میانگین سرعت باد در شش ماه اول شهر کاشان) می‌باشد. دمای هوا در داخل ساختمان  $39/8$  درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شده است و انتقال حرارت همرفت بین دیوارهای داخلی و هوای مجاور آن برقرار است. ابعاد اتاق براساس طول و ارتفاع قسمت تابستان‌نشین سکونتگاه اقلیم گرم و خشک کاشان می‌باشد که دارای ارتفاع  $3/75$  و طول  $7/60$  متر است و جهت باد مطلوب از چپ به راست می‌باشد (جدول ۲). عرض ستون بادگیر به‌جز (مدل ۱۰) و دریچه ورود و خروج‌ها به‌جز مدل‌های ۸ و ۱۰ (جدول ۲) برابر ۵۰ سانتی‌متر می‌باشند.

### بمات پیرامون نتایج شبیه‌سازی بادگیرهای سنتی

مدل‌های ۱ تا ۳ (جدول ۲)، بادگیر دوطرفه می‌باشند که از نظر ساختار معماری، ساده و تقریباً کوچک بوده و عمدتاً در مسیر بادهای شناخته‌شده بنا می‌شوند. در مدل ۱؛ دریچه رو به باد در بالای ستون بادگیر، ورودی و دریچه پشت به باد، خروجی جریان هوا می‌باشند. همانطور که در کانتورهای این مدل مشاهده می‌شود، به دلیل نزدیک بودن دریچه خروجی اتاق به ورودی آن، تقریباً تمام جریان هوا بلافاصله پس از ورود به اتاق توسط نیروی مکشی ستون خروجی به خارج کشیده شده و عملاً اتاق تحت‌تأثیر جریان هوا قرار نمی‌گیرد.

جدول ۲. شرایط محیطی یکسان جهت مدلسازی حالات مختلف بادگیر

دمای هوای بیرون	۴۰	ضخامت دیوار	۸۰ سانتی متر	سرعت باد	۳/۴۵۵ متر بر ثانیه
	۳۵				
دمای دیوار داخل	۳۹/۸	ابعاد اتاق	۳/۷۵ متر	جهت باد	چپ به راست
دمای هوای داخل ساختمان					

جدول ۳. بررسی سرعت باد در بادگیرهای سنتی (CFD)

نوع	مدل (برش طولی از اتاق)	مدل (برش طولی از اتاق)	(سرعت)	(سرعت)	
۱					
۲					
۳					
۴					
۵					
۶					
۷					
۸					
۹					

میانگین اتاق  $0.27-1/1$  m/s و در بخش بالای اتاق تقریباً هوای ساکن و بدون جریان ( $0.27-0$  m/s) ایجاد می‌شود. سرعت جریان باد از پایین به بالا (دور شدن از دریچه های ورودی و خروجی) در اتاق کاهش می‌یابد. در مدل ۵؛ با قرار دادن دریچه خروجی اتاق در نزدیکی سقف (کوتاه کردن ستون خروجی و استفاده از گردش طبیعی هوای درون اتاق)، جریان هوای حاصله بین دو ستون بادگیر تقریباً بخش

شدند. در مدل ۴؛ هر دو ستون بادگیر، بلند و دارای ارتفاع یکسان می‌باشند. به دلیل قرارگیری روبه‌روی هم دریچه های ورودی و خروجی، جریان بادی در مجاورت کف اتاق تا ارتفاع کمی بیش از نیمه (محدوده استفاده کاربران فضا) پدید می‌آید که در مجاورت دریچه ورودی  $m/s$   $5/5-2/2$  (وسیع‌ترین منطقه ای که بیشینه جریان رخ می‌دهد)، در لایه های پایین مجاور کف اتاق در حدود  $m/s$   $2/2-1/1$ ، لایه‌های

در ستون خروجی رخ داده و نیز سطح رو به باد درون ستون ورودی دارای سرعتی بیش از سرعت جریان محیط است که این مکان‌ها می‌توانند برای نصب فن‌ها و توربین‌های کوچک مورد توجه طراحان قرار گیرند

### بررسی اثر تعبیه موضعی در بادگیر

فضای زیر بادگیر یکی از شاخص‌ترین فضاهای معماری بومی در زمینه تهویه طبیعی می‌باشد و در سازوکار برخی بادگیرهای سنتی (اقلیم گرم و خشک) تدابیری اندیشیده شده است که باعث افزایش رطوبت در هوا می‌شود. یکی از این تدابیر تعبیه حوضچه‌هایی در محل ورود جریان هوا از بادگیر به داخل سکونتگاه برای خنک شدن جریان هوای ورودی است.

برای محاسبه دمای هوای عبوری از بادگیر با تعبیه حوضچه، مدل اتاق و بادگیر (خشکی) در نرم افزار این استودیو ساخته شده و دمای سطوح برای روز دوم ام جولای<sup>۴</sup> ساعت ۴ بعدازظهر شهر کاشان با بیشینه دمای هوای محیط، حدوداً ۴۰/۲ درجه سانتی گراد و جریان باد با سرعت ۳ متر بر ثانیه به دست آمده است. (شکل ۲)

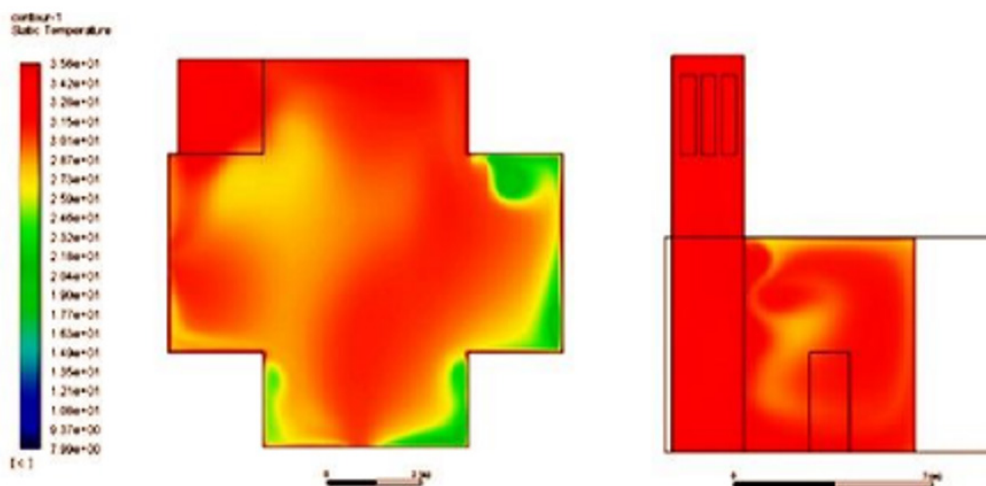
جریان هوا پس از عبور از دهانه‌های بادگیر و برخورد با سطح آب موجود در حوضچه وارد سکونتگاه می‌شود، این برخورد با آب حوضچه سبب تبادل حرارت با آب موجود در حوضچه و افزایش رطوبت نسبی هوا شده و متعاقباً موجب سرمایش فضای داخلی می‌شود. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد کاهش دمای جریان هوای ورودی با چرخش در محیط دمای کل اتاق را کاهش می‌دهد. شکل ۲ دمای اتاق را در دو مقطع عمودی و افقی نشان می‌دهد. بر این اساس مشخص است که دمای اتاق به مقدار میانگین ۳۲ درجه سانتی‌گراد در مرکز اتاق رسیده است که کاهش حدود ۸ درجه‌ای دما را در سکونتگاه نشان می‌دهد.

### بررسی اثر تعبیه فواره در بادگیر

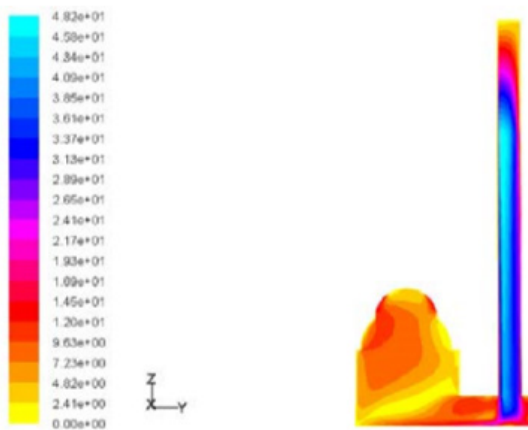
یکی دیگر از انواع راهکارها جهت کاهش دمای جریان ورودی هوا، تعبیه فواره و پاشش آب در ستون هوای ورودی بادگیر است که سرمایش تبخیری فضا را میسر می‌سازد. قرار گرفتن فواره آب در ارتفاع بالای ستون بادگیر سبب استفاده از نیروی شناوری نیز می‌شود. می‌دانیم که تبادل حرارت و کاهش دمای هوا در واقع به میزان گرمایی است که به واسطه تبخیر آب از هوا گرفته می‌شود در ادامه تعبیه فواره آب در بادگیر (مدل ترکیبی)<sup>۵</sup>، و همچنین تغییرات میزان گرمایی که قطرات آب در تبادل با جریان هوا جهت کاهش دمای جریان باد ورودی دریافت می‌کنند برای مدل‌های (جدول ۳) مدل‌سازی شده (شکل ۳) و (شکل ۴) و در جدول ۴ نتایج حاصل از

عمده‌ای از اتاق را تحت تأثیر قرار داده و تنها دو گوشه از اتاق دارای سرعت  $0 - 0.28 \text{ m/s}$  می‌باشند. سرعت باد در محدوده کاربران فضا در حدود  $0.28 - 0.84 \text{ m/s}$ ، در نزدیکی دریچه‌ها  $0.84 - 4$  و در ستون‌های بادگیر به بیشینه خود می‌رسد. در مدل ۶، با کوتاه کردن ستون ورودی و قرار دادن دریچه ورودی هوا در نزدیکی سقف معکوس (مدل ۴)، دو گوشه پایین اتاق فاقد جریان هوا، کف و قسمت‌های میانی اتاق دارای سرعتی در حدود  $0.28 - 0.56 \text{ m/s}$ ، محدوده دریچه‌ها  $0.56 - 3.8$  و درون ستون‌ها بیشینه سرعت  $(3.8 - 5.6) \text{ m/s}$  رخ می‌دهد. در مدل ۷، با طراحی دو دریچه ورودی، تقریباً تمام فضای اتاق تحت تأثیر جریان‌های هوا با سرعت‌های متفاوت قرار می‌گیرند. بخش عمده اتاق دارای جریان‌های با سرعت‌های  $0.27 - 0.55$  و  $0.55 - 0.83$  می‌باشد. از طرفی جریان ورودی از دریچه‌ها به اتاق دارای سرعتی در محدوده  $4 - 0.83 \text{ m/s}$  می‌باشد. در مدل ۸، ارتفاع دریچه ورودی از کف زمین اندکی بالاتر رفته و عرض دریچه‌ها  $0.7 \text{ m}$  طراحی شده است. در تمامی حالت‌ها کانتورهای سرعت نشان می‌دهند که غالباً گوشه‌ها فاقد سرعت بوده که از محل‌های پر استفاده توسط کاربران فضا نمی‌باشند. در نتیجه، تمامی گوشه‌ها در این مدل منحنی شده‌اند. همچنین این اتاق به دلیل فرم آئرونامیکی نسبت به حالت‌های پیشین بهترین عملکرد را در محیط خود دارد. در مدل ۹؛ چهار ستون ورودی با ارتفاع‌های متفاوت و یک ستون خروجی روی سقف فرض شده است. بیشینه سرعت در ستون خروجی پدید می‌آید که می‌تواند به‌عنوان محلی برای نصب توربین‌های تولید برق مورد استفاده قرار گیرد. بخش عمده اتاق دارای جریان‌هایی با سرعت  $0 - 1.3 \text{ m/s}$  می‌باشد. به‌طور کلی، ستون‌های با ارتفاع کوتاه بر روی سقف توان ایجاد جریان‌هایی با سرعت بالا را ندارند. همچنین، سرعت‌های بالاتر از سرعت محیط در مکان‌هایی که جریان ورودی دارای تغییر جهت ۹۰ درجه‌ای باشد، به وقوع می‌پیوندد. سرعت باد در ستون خروجی این مدل به حداکثر میزان خود در بین تمامی مدل‌های جدول ۵ -  $28 (25/9) \text{ m/s}$  می‌باشد. در مدل ۱۰؛ دارای دو مسیر خروجی - ستون بادگیر و پنجره - و یک ستون ورودی بزرگ می‌باشد. دهانه ستون ورودی  $2 \text{ m}$ ، عرض آن  $1/4 \text{ m}$  و ارتفاع آن از سطح زمین  $9 \text{ m}$  متر می‌باشد. تقریباً تمام اتاق تحت تأثیر جریان‌های هوا (با سرعت‌های متفاوت) قرار دارد که بخش اصلی و عمده آن دارای جریانی با سرعت  $1/27 - 1/91 \text{ m/s}$  می‌باشد. سرعت باد در مجاورت دریچه‌های ورودی اتاق  $1/91 - 5$  است. در صورت باز بودن پنجره خروجی (قرار گرفته در سطح پشت به باد اتاق) جریانی با سرعت  $1/91 - 2/55$  از آن خارج می‌شود که تنها هوای مجاور سطح پنجره را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد. جریان باد با سرعت بیشینه

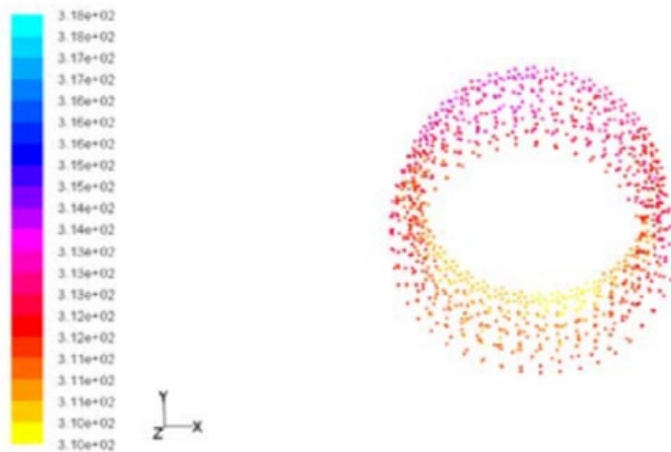




شکل ۲. بررسی دمای اتاق در بادگیرهای سنتی دارای سطوح نمدار



شکل ۳. دمای هوا در بادگیر دارای فواره آب در ستون ورودی بادگیر



شکل ۴. تغییرات دمای قطرات فواره آب داخل بادگیر

جدول ۴. نتایج حاصل از تغییر دبی جرمی آب اسپری شده، خروجی از نرم افزار انرژی پلاس<sup>۶</sup>

سرعت ورودی ۳ متر بر ثانیه	
دبی اسپری kg/s	دمای متوسط سانتی گراد
۰	۴۴/۸۵
۰/۹	۴۳/۲۵
۱/۸	۴۲/۹۵
۲/۷	۴۲/۶۴
۳/۶	۴۲/۲۲
۴/۵	۴۱/۸۰
۵/۴	۴۱/۴۳

جداره‌های خشکی اتاق در ساعت ۴ بعدظهر روز ۲۰ ام ماه جولای ۴، هوای ورودی به اتاق از طریق بادگیر دارای افزایش دما نسبت به حالت درون ستون بادگیر است. عمده قسمت های اتاق دارای دمای ۲۵ درجه سانتی گراد است که در بازه آسایش حرارتی شهر کاشان ۲۰/۴ - ۲۷ درجه سانتی گراد قرار می گیرد. از عوامل اصلی در این افت دما، متناسب بودن ابعاد - دریچه ورود هوا به بادگیر، دما و دبی آب، ابعاد و ارتفاع ستون بادگیر و غیره می باشد. در صورت استفاده از مدل های بادگیر با دهانه بزرگ و دارای فواره آب، بیشتر حجم ستون بادگیر تحت تأثیر هوای گرم بیرون است که به دلیل بزرگ بودن دریچه ورودی هوا به بادگیر است. در پایین ترین نقطه بادگیر شاهد کاهش ۴ درجه دما هستیم. نیمه کمتر و مجاور کف اتاق دارای دمایی در حدود کلونین ۳۰۶ - ۳۰۷ ( ۳۲/۸۵ - ۳۳/۸۵ سانتی گراد) و نیمه رو به بالای اتاق دارای دمای کلونین ۳۰۰ - ۳۰۱ ( ۲۶/۸۵ - ۲۷/۸۵ سانتی گراد) است. هوای ورودی پس از خنک شدن توسط آب فشان ها به سمت پایین ستون بادگیر متمایل می شود که با رسیدن به اولین دریچه ورودی به اتاق، بخش عمده آنها وارد اتاق می شود. در نتیجه، نیمه بالایی اتاق دارای دمای کمتری است که پس از گذشت مدت زمان اندکی این هوای سنگین تر به سمت پایین اتاق رفته و شاهد گردش جریان هوای سرد در درون اتاق هستیم. این مدل دارای افت دمایی در حدود ۱۲ درجه درون اتاق است

#### نتیجه گیری

با مقایسه تحلیل های فوق می توان نتیجه گرفت، بادگیرهای سنتی کاهش دمای محسوسی نداشته و صرفاً سرعت جریان باد ورودی در فضاهای داخلی باعث تهویه می گردد که با مقایسه نتایج حالت های مختلف در استفاده از بادگیرهای سنتی در زمان طراحی موارد زیر

تعبیه فواره آب در بادگیر نمایش داده شده است.

#### بمط پیرامون نتایج شبیه سازی بادگیرها با تعبیه فواره

نتایج جدول ۴ نشان می دهد که تغییرات دما تقریباً خطی بوده و با افزایش دبی فواره ها، رطوبت هوا افزایش و دما کاهش یافته است. در مدل بادگیرهای با تعبیه حوضچه، دمای هوای ورودی از بادگیر دارای افت دمایی در حدود ۳ درجه در ستون ورودی است. هوای ورودی به اتاق از بادگیر، خود دارای افت دمای حدود ۳ تا ۴ درجه ای می باشد که در اثر مجاورت با سطوح اتاق با دماهای متفاوت (دمای سطوح از نرم افزار انرژی پلاس بدست آمده است) به وجود می آید. بیشتر حجم هوای اتاق حدود ۶ تا ۸ درجه کاهش دما داشته که این دما معادل ۳۲ درجه سانتی گراد است. در صورت استفاده از مدل بادگیرهای با دهانه ورودی بزرگ و با تعبیه حوضچه، دمای هوای اتاق دارای افت دمایی در حدود ۲/۵ درجه می گردد. عمده ترین علت کم بودن کاهش دما در این مدل، بزرگ بودن دهانه ورودی ستون بادگیر است که سبب ورود حجم بسیار زیادی از هوا با دمای بیش از ۴۰ درجه به درون اتاق می شود. در مدل بادگیرهای دارای فواره آب، دمای هوا در ستون بادگیر کمتر از دمای اتاق است. میزان افت دما تنها در ستون بادگیر در حدود ۱۸ درجه می باشد. قرار داشتن اسپری در بالاترین ارتفاع بادگیر، سبب ایجاد نیروی شناوری شده و نیز هوای گرم ورودی به بادگیر سریعاً تحت تأثیر آب با دمای ۲۰ درجه سانتی گراد قرار گرفته، سرد شده و در اثر افزایش چگالی میل به نزول در ستون بادگیر پیدا کرده و سبب ایجاد جریانی مجزا از سرعت باد محیط می شود که در ساعاتی که سرعت باد محیط کم است می تواند بسیار مفید باشد. به دلیل افزایش حجم هوای اتاق نسبت به بادگیر و نیز دمای



جدول ۵. میزان افت دمای هوای اتاق، ورودی از بادگیرهای سنتی و نوین

بادگیرهای نوین		بادگیر سنتی	مدل بادگیر
با تعبیه فواره	با تعبیه حوضچه آب	سطوح	مدل ۱
(۱۵- تا ۱۸-) درجه	(۸- تا ۶-) درجه	(۱-) درجه	

### پینوشته‌ها

1. Ansys Workbench(CFD)
2. Susan Roaf
3. Computational fluid dynamics
4. July
5. Mixture
6. Energy plus

### فهرست مراجع

۱. بهادری نژاد، مهدی؛ و دهقانی، علیرضا. (۱۳۹۲). *بادگیر شاهکار مهندسی ایران*. (ویرایش ۲). تهران: انتشارات یزدا.
۲. بهادری نژاد، مهدی؛ و صفرزاده، حبیب اله. (۱۳۸۱). طراحی یک ساختمان بی‌نیاز از انرژی های فسیلی در تهران (ساختمان سبز)، مجموعه مقالات دومین همایش بهینه سازی مصرف سوخت. اسفند ۶-۷، (ص ۱۴۵۰-۱۴۷۲). تهران. <https://civilica.com/doc/2337>
۳. پور احمدی، محبوبه؛ و آیت اللهی، سید محمد حسین. (۱۳۹۰). دسته بندی انواع بادگیرها و رابطه فضایی با بخش تابستان نشین و راهکارهایی اصلاحی (یزد). *نشریه شهر و معماری بومی*، (۱۱)، ۷-۱۸. <https://civilica.com/doc/126628>
۴. جهانگیری، میلاد؛ و زارع، عبدالرضا. (۱۳۹۳). مطالعه سازه های بادگیر و بهینه سازی مقطع بادگیر تحت اثر انرژی تجدیدپذیر باد به عنوان یک سیستم تهویه مطبوع در معماری قدیمی ایرانی. *دوفصلنامه مباحث برگزیده در انرژی*، (۱۱). <https://civilica.com/doc/529789>
۵. عطروش، علی (۱۳۹۳). *راهکارهای معماری سنتی ایران در اقلیم گرم و خشک با توجه به تهویه طبیعی و استفاده از ایده های آن در معماری امروز*. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، تهران. <https://ut.ac.ir/fa/thesis>
۶. کلانتر، ولی. (۱۳۸۸). شبیه سازی تهویه و تامین سرمایه خودبه خودی ساختمان با استفاده از ترکیب بادگیر و دودکش خورشیدی (حالت سه بعدی با دیدگاه دیفرانسیلی)، *ولین کنفرانس بین المللی گرمایش، سرمایش و تهویه مطبوع*. خرداد ماه. تهران. <https://civilica.com/doc/66698>

پیشنهاد می گردد، اول: مجاورت دریچه ورودی و خروجی بادگیر در اتاق، عملکرد مناسبی را برای جریان هوا در اتاق فراهم نمی کند؛ از این رو، برای برقراری بهتر جریان در سراسر فضای اتاق، می بایست آنها را با فاصله از هم قرار داد؛ دوم: ستون های با ارتفاع کوتاه بر روی سقف توان ایجاد جریان هایی با سرعت بالا را ندارند و سرعت های بالاتر از سرعت محیط در مکان هایی که جریان ورودی دارای تغییر جهت ۹۰ درجه ای باشد، به وقوع می پیوندد؛ سوم: افزایش ستون های ورودی باد با ارتفاع های متفاوت و یک ستون خروجی روی سقف باعث پدید آمدن بیشینه سرعت در ستون خروجی می گردد که می تواند به عنوان محلی برای نصب توربین های تولید برق مورد استفاده قرار گیرد و استفاده از یک ستون ورودی بزرگ تمام اتاق را تحت تأثیر جریان های هوا قرار می دهد و سطح رو به باد درون ستون ورودی می توانند برای نصب فن ها و توربین های کوچک مورد توجه طراحان قرار گیرند. برای افزایش کارایی بادگیر سنتی و کاهش دمای هوای ورودی، با تعبیه حوضچه در پایین ترین تراز یک بادگیر، تنها شاهد کاهش ۶ تا ۸ درجه ای دمای هوا در اتاق هستیم. در نتیجه، استفاده از فواره در بادگیر، باعث کاهش میزان قابل قبول دمای هوای ورودی و دمای اتاق می شود که نشان دهنده الویت استفاده از بادگیر با فواره بیش از بادگیرهای دارای حوضچه و سنتی است، به خصوص مدل ۱ به دلیل قرار داشتن اسپری در بالاترین ارتفاع بادگیر، سبب ایجاد نیروی شناوری شده و نیز هوای گرم ورودی به بادگیر سریعاً تحت تأثیر آب با دمای کم قرار گرفته، سرد شده و در اثر افزایش چگالی میل به نزول در ستون بادگیر پیدا کرده و سبب ایجاد جریانی مجزا از سرعت باد محیط می شود که در ساعاتی که سرعت باد محیط کم است می تواند بسیار مفید باشد بادگیرهای دارای فواره آب که در آن عمده قسمت های اتاق دارای دمای ۲۵ درجه سانتی گراد است و در بازه آسایش حرارتی شهر کاشان ۲۰/۴-۲۷ درجه سانتی گراد قرار می گیرد (جدول ۵). علاوه بر این براساس نتایج مزبور می توان متغیرهای اصلی در افت دما و در بادگیر را، متناسب بودن ابعاد دریچه ورود هوا به بادگیر، دمای آب، ابعاد و ارتفاع ستون بادگیر مشخص نمود. میزان افت دما در بادگیرهای مختلف در اثر سرمایش تبخیری در جدول زیر ارائه شده است که نشان دهنده تفاوت بسیار زیاد بین افت دما در بادگیرهای سنتی و نوین می باشد.

- Model, *Iranian journal of science and Technology*, 22(2) , 81-97. <https://www.jstor.org/stable/43749918>
10. Ghadiri, H. & Lukman, N. (2010). Wind Catcher, a Natural Evaporating Cooling System. *Science and Humanities (IGCESH). 3rd International Graduate Conference on Engineering*. November 2-4. School of Graduate Studies University Teknologi Malaysia. <https://www.researchgate.net/publication/281774043>
۷. مهدوی نژاد، محمدجواد؛ و جوانرودی، کاوان. (۱۳۹۰). مقایسه تطبیقی اثر جریان هوا بر دو گونه بادگیر یزدی و کرمانی. *نشریه هنرهای زیبا*. ۳(۴)، ۶۹-۸۰. [https://jfaup.ut.ac.ir/article\\_29678.html](https://jfaup.ut.ac.ir/article_29678.html)
۸. محمودی، مهناز؛ و مفیدی شمیرانی، سیدمجید. (۱۳۸۷). هویت ایرانی بادگیر و پیشینه‌یابی آن در معماری ایران. *نشریه هویت شهر*. ۲(۲)، ۲۵-۳۳. <https://www.sid.ir/fa/Journal/ViewPaper.aspx?ID=104663>
9. Yaghoubi, M.A. & Zamankhan,P. & Sabzevari,A. (1998). Two-dimensional Numerical Simulation of Wind Flow and Ventilation in a Single Building Using the k-e Turbulent

# Analysis of Hydrodynamic Behavior of Windbreaks in the Average Internal Temperature of Semi-Warm and Arid Climates in Kashan with the Aim of Greater Efficiency

*Mohammadali Karbsfuroosha\**, Ph.D. Candidate, Department of Architecture, Pardis Branch, Islamic Azad University, Pardis, Iran.

*Fereshteh Habib*, Assistant Professor, Department of Architecture, Pardis Branch, Islamic Azad University, Pardis, Iran.

*Hossein Zabihi*, Associate Professor, Department of Urban Planning, Sciences and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

## Abstract

One of the ways to achieve a building with higher energy efficiency and an efficient system is to use local architectural experiences. In the meantime, a windbreak is one of the elements used in the past to create comfort in Kashan's hot and dry climates. The interior of these settlements in this climate aims to greater efficiency of this element by CFD software, Energy Plus, and Open Studio with a descriptive-analytical method and then analyzed the results. It has water spray, and one of the leading causes of temperature drop in these wind deflectors is the proportionality of the dimensions-the air inlet valve to the wind deflector, water temperature, dimensions, and height of the wind deflector column. Iranian indigenous architecture's interaction with the climate is a deep and ancient interaction that has long been using its experiences and techniques to create an architecture with maximum energy savings in Iran's climatic areas. The process of formation of these techniques in the length of time and in order to adapt to the climate while utilizing the natural force in the environment has created a suitable natural space for users. Innovative technology reduces the long-standing concern of architects in saving and optimizing energy consumption in buildings. In the meantime, the windbreak is one of the elements used in the past to create comfort in Kashan's hot and dry climates. They were used to move and cool the air in the building. The primary function of the wind deflectors was to direct the outside air into the building, relative cooling by establishing a flow at work and people living in different cities and places. Research has proven that the wind deflector is a suitable device for natural ventilation of the indoor air to reduce the internal temperature of the building and create thermal comfort for the residents. Traditional windbreaks are correctly designed according to the day's needs and have been widely used in hot and dry areas of Iran. What is certain is that the use of this element in today's world requires its adaptation to today's life. Today's cities and buildings have different faces, and windbreaks are limited. And analyze how it operates in terms of form and function. Comparison of the results of the analysis of wind speed in wind turbines and how the wind is oriented in the interior shows. Due to the low thermal mass of the windbreak walls compared to the room, the temperature fluctuation is always higher than the room. To reduce the room temperature further, the priority is to use a spray windshield over windshield wipers. Especially, windshields with water spray in which most of the room has a temperature of 298 K are approximately equal to 25 degrees Celsius and are in Kashan city's thermal comfort range. One of the main factors in this Temperature drop proportionality of dimensions- air inlet valve to the windshield, water temperature, measurements, and height of the windshield column.

**Keywords:** Windbreak, Hydrodynamic behavior, Average indoor temperature, Semi-warm and arid climate, Kashan.

\* Corresponding Author Email: [M.karbasforoushha@gmail.com](mailto:M.karbasforoushha@gmail.com)