DOI: 10.30495/HOVIATSHAHR.2022.65818.12175

صفحات ۵۸-۴۹

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: ۱۴۰۰/۱۱/۱۲ تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۰/۰۲/۰۸

چکیده

یکی از راهها جهت دستیابی به ساختمان با کارایی بالاتر در مصرف انرژی و نیل به یک سامانه کارآمد، بهره گیری ازتجربیات معماری بومی میباشد.در این بین بادگیر یکی از المانهایی است که درگذشته به منظور ایجاد آسایش در اقلیم های گرم و خشک کاشان استفاده می شدند. این مطالعه رفتار هیدرودینامیکی باد دراین 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.ودرنهایت مشخص میکندکه 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 .

واژه‌های 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.

** دانشجوی دکتری، گروه معماری، واحد پردیس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. Email: M.karbasforoushha@gmail.com

*** استادیار، گروه معماری، واحد پردیس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. (مسئول مکاتبات) Email: fereshteh.habib@gmail.com

**** دانشیار، گروه شهرسازی، واحد علوم تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. Email: h.zabihi@srbiau.ac.ir

مقاله پژوهشی- کاربردی

© 2022 IAU

ISSN 17359562

مقدمه

معماری بومی ایران، معماری سرشار از تجربیات و تکنیک هایی 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 حراتی 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 شرایط‌های 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 موردتوجه 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

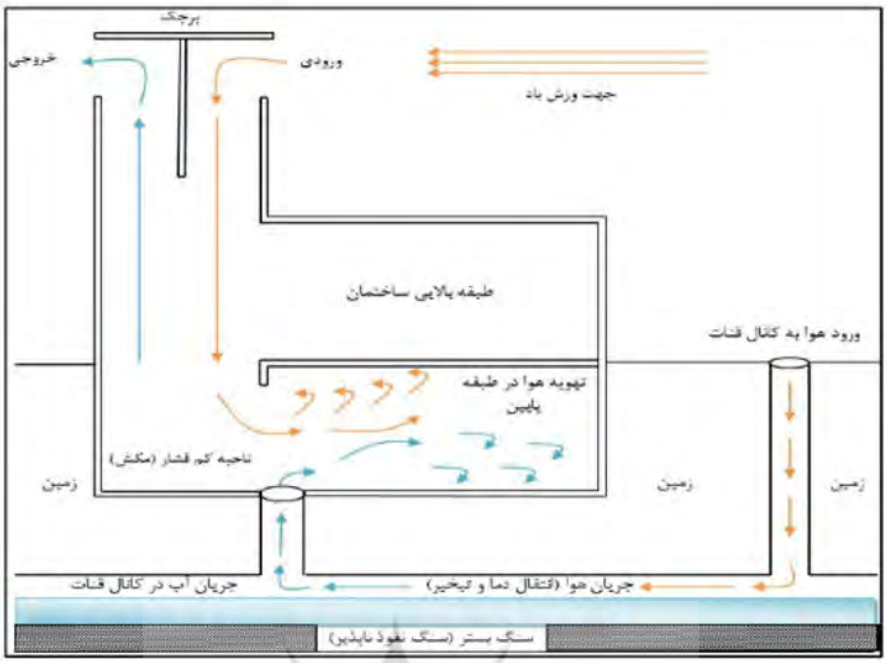
همانطور که عنوان شد هدف از انجام این پژوهش، بررسی میزان عملکرد بادگیر در کاهش میانگین دمای داخلی سکونتگاه اقلیم گرم و خشک در راستاء افزایش کارایی این عنصر با اضافه نمودن سیستم ایجاد رطوبت می‌باشد؛ فلذا باتوجه به ماهیت کالبدی این پژوهش در گام نخست با فرض درنظر گرفتن قسمت تابستان نشین سکونتگاه این اقلیم و شرایط یکسان در اقلیم گرم و خشک کاشان با فرض دمای هوای بیرون ۳۱۳K (۴۰ سانتی گراد). سپس با بهره گیری از مدل‌سازی و تحلیل با استفاده از نرم‌افزارمحاسباتی سی اف دی[1]، سرعت جریان هوا در آن ها بصورت دوبعدی 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[2] محقق انگلیسی که رساله دکترای خود را با عنوان« بادگیرهای یزد» در سال ۱۹۸۸ میلادی به انجام رسانیده است، در مقالات خود به ویژگی‌های منحصربه‌فرد 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 گردیده‌است (بهادری نژاد و دهقانی، ۱۳۹۲، ف۸). کلانتر 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 سرمایشی تبخیری طبیعی بادگیرها توسط ایشان موردبررسی قرار گرفته است(کلانتر، 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 (شکل۱) در نهایت باد خنک و دارای رطوبت وارد اتاق‌های تابستانی شده و باعث خنک شدن هوای فضای درونی می‌شده است (جهانگیری و



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

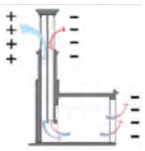
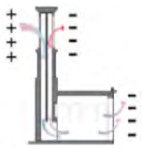
زارع، ۱۳۹۳).

جهت جریان باد در روز و شـــب و در صورتی که سرعت باد در بیرون صفر باشد، متفاوت خواهد بود. در ابتدای شب به دلیل ظرفیت حرارتی مصالـــح 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 بخاطـــر 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 ســـاختمان حرکت می‌کند. این عمل در طول شـــب باعث خنک شدن دیواره ساختمان و بادگیر می‌گردد(جدول ۱). زمانی که دمای دیواره بادگیر به دلیل تبادل حرارتی، با محیط هم‌دما شد یعنی دمای دیواره کمتر از دمای محیط داخل اتاق شد، بادگیر در خلاف جهت دودکش ها عمل می‌کند، هوای داخل بادگیر ســـنگین‌تر از دمای داخل اتاق می‌شـــود و در اثر نیروی شـــناوری به سمت پایین می‌آیـــد؛ در نتیجه فشـــار هوای داخل بادگیر کم شـــده و هوا از روزن بادگیر وارد آن می‌گردد، سپس هوای گرم داخل خانه از پنجره‌ها خارج می‌شـــود، این عملکرد در صبح نیز ادامه پیدا خواهدکرد (بهادری نژاد و دهقانی، ۱۳۹۲، ۱۵). هنگامی که تابش خورشید در ظهر باعث گرم شـــدن ضلع جنوبی بادگیر و دمای هوای داخـــل بادگیر گرم‌تر از اتاق شود هوا به سمت بالا حرکت کرده و از بادگیر خارج خواهدشد، درواقع 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 طورکلی هرقدر ارتفاع بادگیر بیشـــتر 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 چندکانال 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 (مهـــدوی نژاد و جوانرودی، ۱۳۹۰). لازم به ذکر اســـت که این گردشِ ناشـــی از اختلاف فشار در اثر باد، بسته به شکل قرارگیری بادگیر نســـبت به ســـاختمان 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 خواهدداشت. در واقع هوا از دریچه های با فشـــار مثبت وارد بادگیر شده و از دریچه ها و یا در و پنجره با ضرایب فشار منفی خارج می‌شود (عطروش، ۱۳۹۳).

محاسبات سرعت جریان هوا در بادگیرهای سنتی

در این بخش، ۱۰ مدل بادگیر ســـنتی (فاقد سطوح نم‌دار) طراحی و فرض شـــده که با استفاده از نرم افزار(محاسبات سی اف دی)[1] سرعت جریان هوا در آن ها بصورت دوبعدی بررسی گردید. در تمامی حالت‌ها، دمای هوای بیرون ۴۰ درجه ســـانتی‌گراد، دمای دیوارهای داخلی اتاق ۳۵درجه سانتی‌گراد ،ضخامت دیوارهای اتاق ۸۰ سانتی متر و سرعت

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

در عصر و ابتدای شب	در اواسط شب تا صبح	درظهر
با وزش باد از جهت های مختلف		
		

هوای ورودی ۳/۴۵۵ m/s (میانگین سرعت باد در شش ماه اول شهر کاشان) می‌باشد. دمای هوا در داخل ساختمان ۳۹/۸ درجه سانتی‌گراد در نظرگرفته شده است و انتقال حرارت همرفت بین دیوارهای داخلی و هوای مجاور آن برقرار است. ابعاد اتاق براساس طول و ارتفاعِ قسمت تابستان‌نشین سکونتگاه اقلیم گرم و خشک کاشان می‌باشد که دارای ارتفاع ۳/۷۵ و طول ۷/۶۰ متر است و جهت باد مطلوب از چپ به راست می باشد (جدول ۲). عرض ستون بادگیر به‌جز (مدل ۱۰) و دریچه ورود و خروج ها به‌جز مدل های ۸ و ۱۰ (جدول ۳) برابر ۵۰ سانتی‌متر می‌باشند.

بحث پیرامون نتایج شبیه‌سازی بادگیرهای سنتی

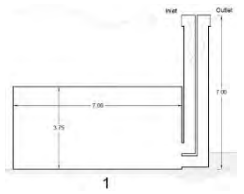
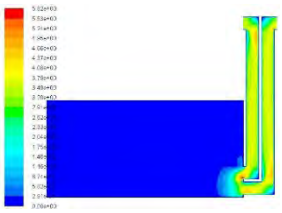
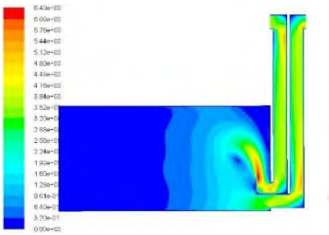
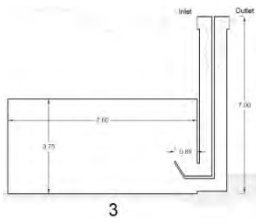
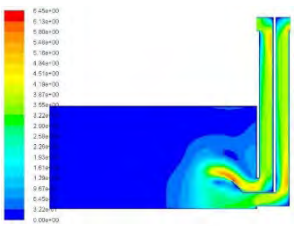
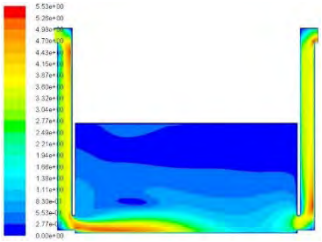
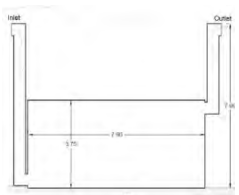
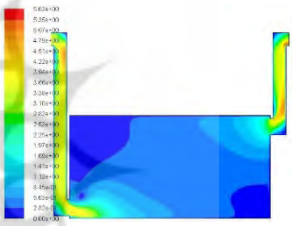
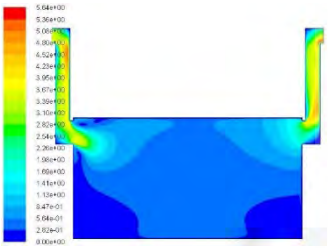
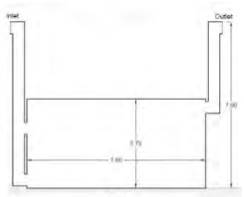
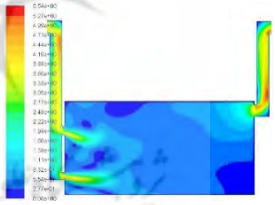
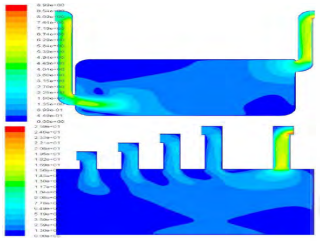
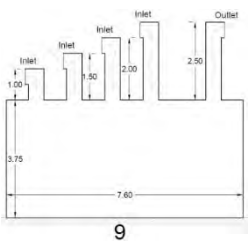
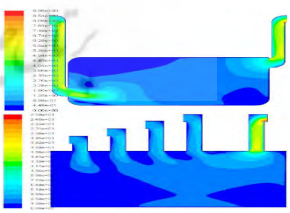
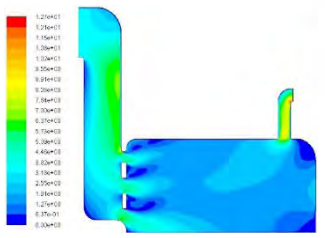
مدل‌های ۱تا ۳ (جدول۳)، بادگیر دوطرفه می‌باشند که از نظر ساختارِ معماری، ساده و تقریباً کوچک بوده و عمدتاً در مسیر بادهای شناخته‌شده بنا می‌شوند. در مدل ۱؛ دریچه رو به باد در بالای ستون بادگیر، ورودی و دریچه پشت به باد، خروجیِ جریان هوا می‌باشند. همانطور که در کانتورهای این مدل مشاهده می‌شود ، به‌دلیل نزدیک بودن دریچه خروجیِ اتاق به ورودیِ آن، تقریباً تمام جریان هوا بلافاصله پس از ورود به اتاق توسط نیروی مکشی ستون خروجی به خارج کشیده شده و عملاً اتاق تحت تاثیر جریان هوا قرار نمی‌گیرد.

سرعت جریان هوا در هر دو ستون بادگیر بیش از سرعت ورودی است که می‌تواند با طراحی هوشمندانه برای به حرکت درآوردن فن یا توربین ها بصورت طبیعی مورد استفاده قرار گیرد. همچنین، حداکثر سرعت باد در مکان هایی که مسیر حرکت باد دارای تغییر زاویهٔ ۹۰ درجه است، رخ می‌دهد. در مدل ۲؛ با ایجاد یک دیوار پارتیشن بین دریچه های ورود و خروج هوای اتاق ،جریان هوا تا حدودی از خروجی دور شده که در نتیجهٔ آن نیمی از اتاق تحت‌تأثیر جریان هوای ورودی قرار می‌گیرد. در این حالت، بیشینه سرعت حدوداً دو برابر سرعت محیط است که در محدودهٔ پارتیشنِ دریچه ورودی به سمت مرکز اتاق رخ می‌دهد. اما همچنان نیمه دوم اتاق دارای هوای ساکن (۰-۰/۳ m/s) می باشد. 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. ازاین‌رو، برای برقراری بهتر جریان در سراسر فضای اتاق، می‌توان آنها را با فاصله از هم قرار داد. بدین منظور، ستون های ورود وخروج هوا در حداکثر فاصله از یکدیگر قرار گرفته و بادگیرهای یکطرفه طراحی

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
دمای دیوار داخل	۳۵				
دمای هوای داخل ساختمان	۳۹/۸	ابعاد اتاق	۳/۷۵ متر	جهت باد	چپ به راست
			۷/۶ متر	عرض ستون بادگیر	۵۰ سانتی متر

جدول ۳. بررسی سرعت باد در بادگیرهای سنتی (CFD[۲])

نوع	مدل (برش طولی از اتاق)	(سرعت)	مدل(برش طولی از اتاق)	(سرعت)
۱			۲	
۳			۴	
۵			۶	
۷			۸	
۹			۱۰	

شدند. در مدل ۴؛ هر دو ستون بادگیر، بلند و دارای ارتفاع یکسان می باشند. به دلیل قرارگیری روبه‌روی هم دریچه های ورودی و خروجی، جریانِ بادی در مجاورت کف اتاق تا ارتفاع کمی بیش از نیمه (محدوده استفادهء کاربران فضا) پدید می‌آید که در مجاورت دریچه ورودی m/s ۲/۲-۵/۵ (وسیع‌ترین منطقه ای که بیشینه جریان رخ می دهد)، در لایه های پایینِ مجاور کف اتاق در حدود m/s ۱/۱-۲/۲، لایه‌های میانیِ اتاق m/s ۱/۱-۰/۲۷ و در بخش بالای اتاق تقریبا هوای ساکن و بدون جریان (m/s ۰ -۰/۲۷) ایجاد می‌شود. سرعت جریانِ باد از پایین به بالا (دور شدن از دریچه های ورودی و خروجی) در اتاق کاهش می یابد. در مدل ۵؛ با قرار دادن دریچه خروجیِ 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

عمده‌ای از اتاق را تحت‌تأثیر قرار داده و تنها دو گوشـــه از اتاق دارای سرعت m/s ۰ – ۰/۲۸ می‌باشند. سرعت باد در محدوده کاربران فضا در حدود m/s ۰/۲۸ – ۰/۸۴، در نزدیکی دریچه‌ها m/s ۰/۸۴ – ۴ و در ستون‌های بادگیر به بیشینه خود می‌رسد. در مدل ۶، با کوتاه کردن ستونِ ورودی و قرار دادن دریچه ورودیِ هوا در نزدیکیِ سقف معکوس (مدل۴)، دو گوشه پایینِ اتاق فاقد جریان هوا،کف و قسمت‌های میانی اتاق دارای سرعتی در حدود m/s ۰/۲۸-۰/۵۶، محدوده دریچه‌ها m/s ۰/۵۶-۳/۸ و درون ســـتون‌ها بیشینه ســـرعت (m/s ۳/۸-۵/۶) رخ می‌دهد. در مدل ۷، بـــا طراحی دو دریچه ورودی، تقریباً تمام فضای اتاق تحت‌تأثیر جریان‌های هوا با ســـرعت‌های متفاوت قرار می‌گیرند. بخش عمده اتاق دارای جریان‌های با ســـرعت‌های m/s ۰/۲۷ – ۰/۵۵ و ۰/۵۵ – ۰/۸۳ می‌باشـــد. از طرفی جریـــان ورودی از دریچه ها به اتاق دارای ســـرعتی در محدوده m/s ۴ – ۰/۸۳ می‌باشد. در مدل ۸، ارتفـــاع دریچه ورودی از کف زمین اندکی بالاتر رفته و عرض دریچه‌ها m ۰/۷ طراحی شده است. در تمامی حالت‌ها کانتورهای سرعت نشان می‌دهند که غالباً گوشه‌ها فاقد سرعت بوده که از محل‌های پراستفاده توســـط کاربران فضا نمی‌باشند. درنتیجه، تمامی گوشه‌ها در این مدل منحنی شده‌اند. همچنین این اتاق به دلیل فرم آئرودینامیکی نسبت به حالت‌های پیشـــین بهترین عملکرد را در محیط خود دارد. در مدل ۹؛ چهار ســـتون ورودی با ارتفاع های متفاوت و یک ستون خروجی روی ســـقف فرض شده‌است. بیشینه سرعت در ستون خروجی پدید می‌آید کـــه می‌تواند به‌عنوان محلی برای نصـــب توربین‌های تولید برق مورد اســـتفاده قرار گیرد. بخش عمده اتاق دارای جریان هوایی با ســـرعت m/s ۰ – ۱/۳ می‌باشـــد. به‌طور کلی، ســـتون‌های بـــا ارتفاع کوتاه بر روی ســـقف توان ایجاد جریان‌هایی با سرعت بالا را ندارند. همچنین، ســـرعت‌های بالاتر از ســـرعت محیط در مکان‌هایی که جریان ورودی دارای تغییر جهت ۹۰ درجه‌ای باشـــد، به وقوع می‌پیوندد. سرعت باد در ســـتون خروجیِ ایـــن مدل به حداکثر میزان خـــود در بین تمامی مدل‌های جدول ۵ – ۲۸ (m/s ۲۵/۹) می‌باشـــد. در مدل ۱۰؛ دارای دو مسیر خروجی –ستون بادگیر و پنجره- و یک ستونِ ورودیِ بزرگ می‌باشد. دهانه ســـتون ورودی m ۲، عرض آن m ۱/۴ و ارتفاع آن از سطح زمین m ۹ متر می‌باشد. تقریباً تمام اتاق تحت‌تأثیر جریان‌های هوا (با ســـرعت‌های متفـــاوت) قرار دارد که بخـــش اصلی و عمدهٔ آن دارای جریانی با ســـرعت m/s ۱/۲۷ – ۱/۹۱ می‌باشد. سرعت باد در مجاورت دریچه‌های ورودی اتاق m/s ۱/۹۱ – ۵ است. در صورت باز بودن پنجره خروجی (قرار گرفته در سطح پشت به بادِ اتاق) جریانی با ســـرعت m/s ۱/۹۱ – ۲/۵۵ از آن خارج می‌شود که تنها هوای مجاور سطح پنجره را تحت‌تأثیر خود قرار می‌دهد.جریان باد با سرعت بیشینه در ســـتون خروجی رخ داده و نیز سطح رو به باد درونِ ستون ورودی دارای ســـرعتی بیش از سرعت جریان محیط اســـت که این مکان‌ها می‌توانند برای نصب فن‌هـــا و توربین‌های کوچک موردتوجه طراحان قرار گیرند

بررسی اثر تعبیه حوضچه در بادگیر

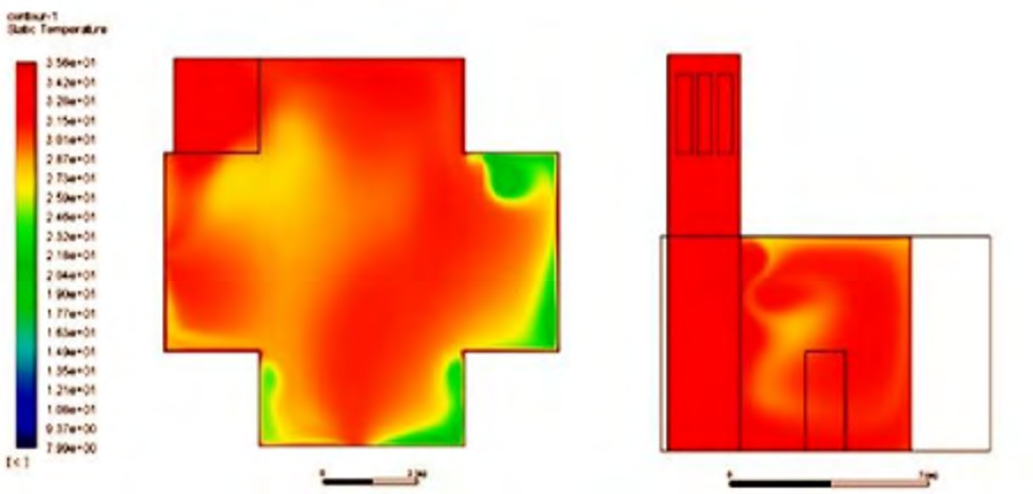
فضای زیر بادگیر یکی از شـــاخص‌ترین فضاهـــای معماری بومی در زمینه تهویه طبیعی می‌باشد و در ســـازوکار برخی بادگیرهای سنتی (اقلیم گرم و خشـــک) تدابیری اندیشیده شده است که باعث افزایش رطوبت در هوا می‌شود. یکی از این تدابیر تعبیه حوضچه هایی در محل ورود جریان هوا از بادگیر به داخل سکونتگاه برای خنک شدن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

برای محاســـبهٔ دمای هوای عبـــوری از بادگیر با تعبیهٔ حوضچه، مدل اتاق و بادگیر (خشـــتی) در نرم افزار اپن استودیو ساخته شده و دمای ســـطوح برای روز دوم ام جولای[۴] ســـاعت ۴ بعدازظهر شهر کاشان با بیشـــینه دمای هوای محیط، حدوداً ۴۰/۲ درجه سانتی گراد و جریان باد با سرعت ۳ متر بر ثانیه به‌دست آمده است. (شکل۲)

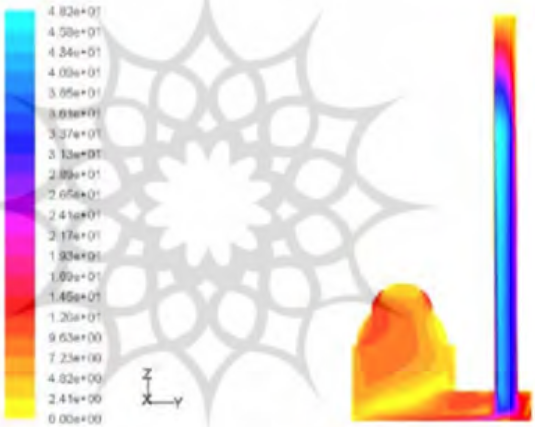
جریـــان هوا پس از عبور از دهانه‌های بادگیر و برخورد با ســـطح آب موجود در حوضچه وارد سکونتگاه می‌شود، این برخورد با آب حوضچه سبب تبادل حرارت با آب موجود در حوضچه و افزایش رطوبت نسبی هوا شـــده و متعاقباً موجب ســـرمایش فضای داخلی می‌شـــود. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد کاهش دمای جریان هوای ورودی با چرخش در محیط دمای کل اتاق را کاهش می‌دهد. شکل ۲ دمای اتاق را در دو مقطع عمودی و افقی نشـــان 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

یکـــی دیگر از انواع راهکارها جهـــت کاهش دمای جریان ورودی هوا، تعبیه فواره و پاشـــش آب در ســـتون هوای ورودی بادگیر اســـت که ســـرمایش تبخیری فضا را میسر می‌ســـازد. قرار گرفتن فواره آب در ارتفاع بالای ستون بادگیر سبب استفاده از نیروی شناوری نیز می‌شود. می‌دانیم کـــه تبـــادل حرارت و کاهـــش دمای هوا در واقـــع بـــه میـــزان گرمـــایی اســـت که به واسطه تبخیـــر آب از هـــوا گرفتـــه مـــی‌شود در ادامـــه تعبیه فواره آب در بادگیر (مدل ترکیبی)[۵]، و همچنین تغییرات میـــزان گرمایی که قطرات آب در تبادل بـــا جریان هوا جهت کاهش دمای جریان باد ورودی دریافـــت می‌کنند برای مدل های (جدول۳) مدلســـازی شده (شکل ۳) و (شـــکل۴) و در جدول ۴ نتایج حاصل از



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 اسپری‌شده، خروجی از نرم‌افزار انرژی پلاس[۶]

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

تعبیه فواره آب دربادگیر نمایش داده شده است.

بحث پیرامون نتایج شبیه‌سازی بادگیرها با تعبیه فواره

نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد که تغییرات دما تقریبا خطی بوده و با افزایش دبی فواره‌ها، 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 درجه‌ای می‌باشد که در اثر مجاورت با سطوح اتاق با دماهای متفاوت (دمای سطوح از نرم‌افزار انرژی پلاس بدست آمده است) به‌وجود می‌آید. بیشتر حجم هوای اتاق حدود ۶ تا ۸ درجه کاهش دما داشته که این دما معادل ۳۲ درجه سانتی‌گراد 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 می‌گردد. عمده‌ترین 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 می‌شود. 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 می‌باشد. قرار داشتن اسپری در بالاترین ارتفاع بادگیر، سبب ایجاد نیروی شناوری شده و نیز هوای گرم ورودی به بادگیر سریعاً تحت تاثیر 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 می‌شود که در ساعاتی که سرعت باد محیط کم است می‌تواند بسیار مفید باشد. به‌دلیل افزایش حجم هوای اتاق نسبت به بادگیر و نیز دمای جداره‌های خشتی اتاق در ساعت ۴ بعدظهر روز ۲۰ ام ماه جولای۴، 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 بازهٔ آسایش حرارتی شهر کاشان۲۰/۴ – ۲۷ درجه سانتی‌گراد 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 می‌باشد. درصورت استفاده از مدل های بادگیر با دهانه بزرگ و دارای فواره آب، بیشتر حجم ستون بادگیر تحت‌تأثیر هوای گرم بیرون است که به‌دلیل بزرگ بودن دریچهٔ ورودی هوا به بادگیر است. در پایین‌ترین نقطه بادگیر شاهد کاهش ۴ درجه‌ای دما هستیم. نیمهٔ کمتر و مجاور کف اتاق دارای دمایی در حدود کلوین ۳۰۶ – ۳۰۷ (۳۲/۸۵ – ۳۳/۸۵ سانتی گراد) و نیمهٔ رو به بالای اتاق دارای دمای کلوین ۳۰۰ – ۳۰۱ (۲۶/۸۵ – ۲۷/۸۵ سانتی گراد) است. هوای ورودی پس از خنک شدن توسط آب‌فشان‌ها به سمت پایین ستون بادگیر متمایل می‌شود که با رسیدن به اولین دریچهٔ ورودی به اتاق، بخش عمدهٔ آنها وارد اتاق می‌شود. درنتیجه، نیمه بالایی اتاق دارای دمای کمتری است که پس از گذشت مدت زمان اندکی این هوای سنگین‌تر به‌سمت 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

نتیجه‌گیری

با مقایسه تحلیل‌های فوق می‌توان نتیجه گرفت، بادگیرهای سنتی کاهش دمای محسوسی نداشته و صرفاً سرعت جریان باد ورودی در فضاهای داخلی باعث تهویه می‌گردد که با مقایسه نتایج حالت‌های مختلف در استفاده از بادگیرهای سنتی در زمان طراحی موارد زیر

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

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

پیشـــنهاد می‌گردد، اول: مجاورت دریچه ورودی و خروجی بادگیر در اتـــاق، عملکرد مناســـبی را برای جریان هوا در اتـــاق فراهم نمی‌کند؛ ازاین‌رو، برای برقراری بهتر جریان در سراســـر فضای اتاق، می‌بایست آنها را با فاصله از هم قرار داد؛ دوم: ســـتون‌های با ارتفاع کوتاه بر روی سقف توان ایجاد جریان‌هایی با سرعت بالا را ندارند و سرعت‌های بالاتر از ســـرعت محیط در مکان‌هایی که جریان ورودی دارای تغییر جهت ۹۰ درجه‌ای باشد، به وقوع می‌پیوندد؛ سوم: افزایش ستون‌های ورودی باد با ارتفاع‌های متفاوت و یک ســـتون خروجی روی سقف باعث پدید آمدن بیشینه سرعت در ستون خروجی می‌گردد که می‌تواند به‌عنوان محلی بـــرای نصب توربین‌های تولید برق مورد اســـتفاده قرار گیرد و استفاده از یک ستونِ ورودیِ بزرگ تمام اتاق را تحت‌تأثیر جریان‌های هوا قرار می‌دهد و ســـطح رو به باد درونِ ستون ورودی می‌توانند برای نصب فن‌ها و توربین‌های کوچک مورد توجه طراحان قرار گیرند. برای افزایش کارایی بادگیر ســـنتی و کاهش دمـــای هوای ورودی، با تعبیه حوضچه در پایین‌ترین 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 می‌شـــود که نشان‌دهنده الویت استفاده از بادگیر با فواره بیش از بادگیرهای دارای حوضچه و سنتی است، به‌خصوص مدل ۱به دلیل قرار داشتن اسپری در بالاترین ارتفاع بادگیر، سبب ایجاد نیروی شناوری شده و نیز هوای گرم ورودی به بادگیر سریعاً تحت‌تأثیر آب با دمای کم قرار گرفته، سرد شـــده و در اثر افزایش چگالی میل به نزول در ستون بادگیر پیدا کرده و سبب ایجاد جریانی مجزا از سرعت باد محیط می‌شود که در ساعاتی که سرعت باد محیط کم اســـت می‌تواند بسیار مفید باشد بادگیرهای دارای فواره آب که در آن عمده قسمت‌های اتاق دارای دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد اســـت و در بازه آسایش حرارتی شـــهر کاشان۲۰/۴– ۲۷ درجه ســـانتی‌گراد قرار می‌گیرد (جدول ۵). علاوه‌بر این براساس نتایج مزبـــور می‌توان متغیرهای اصلی در افت دما و در بادگیر را، متناســـب بودن ابعاد دریچه ورود هوا به بادگیر، دمای آب، ابعاد و ارتفاع ســـتون بادگیر مشـــخص نمود. میزان افت دمـــا در بادگیرهای مختلف در اثر ســـرمایش تبخیری در جدول زیر ارائه شـــده اســـت که نشان‌دهنده تفاوت بســـیار زیاد بین افت دما در بادگیرهای سنتی و نوین می‌باشد.

پی‌نوشت‌ها

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. بهـــادری نژاد، مهـــدی؛ و صفـــرزاده، حبیب الـــه. (۱۳۸۱). طراحی یک ســـاختمان 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، ســـید محمد حسین. (۱۳۹۰). دسته بندی انواع بادگیرهـــا و رابطه فضایی با بخش تابستان‌نشـــین و راهکارهایی اصلاحی (یزد). *نشریه شهر و معماری بومی*، ۱(۱) ، 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 به‌عنوان یک سیستم تهویه مطبوع درمعماری قدیمی ایرانی. *دوفصلنامه مباحث برگزیده در انرژی*، ۱(۱). https://civilica.com/doc/529789/

۵. عطـــروش ،علی (۱۳۹۳). *راهکارهای معماری ســـنتی ایران در اقلیم گرم و خشـــک با توجه به تهویه طبیعی و اســـتفاده از ایده‌هـــای آن در معماری امروز*، پایان‌نامه کارشناسی ارشـــد، دانشگاه تهران، تهران. https://ut.ac.ir/fa/thesis

۶. کلانتر، ولی. (۱۳۸۸). شـــبیه سازی تهویه و تامین سرمایش خودبه‌خودی ساختمان با استفاده از ترکیب بادگیر و دودکش خورشیدی (حالت سه‌بعدی با دیدگاه دیفرانسیلی)، *اولین کنفرانس بین‌المللی گرمایش، سرمایش و تهویه مطبوع*. خرداد ماه. تهران. https://civilica.com/doc/66698/

۷. مهدوی نژاد، محمدجواد؛ و جوانرودی، کاوان. (۱۳۹۰). مقایسه تطبیقی اثرجریان هوا بر دو گونه بادگیر یزدی وکرمانی. *نشریه هنرهای زیبا*، ۳(۴)، ۸۰-۶۹. https://jfaup.ut.ac.ir/article_29678.html

۸. محمودی، مهناز؛ و مفیدی شمیرانی، سیدمجید. (۱۳۸۷). هویت ایرانی بادگیر و پیشینه‌یابی آن درمعماری 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 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

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

ISSN 17359562 DOI: 10.30495/HOVIATSHAHR.2022.65818.12175 © 2022 IAU

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 Karbasforoushha, 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 Zabiha,** 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