نشریه هنرهای زیبا • شماره ۳۶ • زمستان ۱۳۸۷

تحلیلی برگونه شناسی معماری بادگیرهای یزد و یافتن گونه بهینه کارکردی*

دکتر مهناز محمودی**[۱]، دکتر سید مجید مفیدی[۲]
[۱] استادیار گروه معماری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین، قزوین، ایران.
[۲] استادیار گروه معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران.
(تاریخ دریافت مقاله: ۸۷/۲/۱، تاریخ پذیرش نهایی: ۸۷/۵/۵)

چکیده:

بادگیر بعنوان یک سیستم سرمایشی، تهویه مطبوع را با استفاده از انرژی تجدید پذیر باد فراهم می کند. این عنصر معمارانه در معماری بومی اقلیم های گرم ایران دیده می شود. در این تحقیق شهر یزد بعنوان نمونه مورد مطالعه از اقلیم گرم و خشک برگزیده شده است. در این تحقیق، برای اولین بار گونه شناسی بادگیرها و شناخت روابط حاکم بر معماری آنها ارائه گردیده است. نتایج ارائه شده برآمده از بررسی مشخصات کالبدی ۵۳ بادگیر است که حاصل برداشت های میدانی بوده است. روش تحقیق توصیفی- تحلیلی است و روش انتخاب نمونه ها خوشه ای تصادفی متناسب می باشد. گونه شناسی با تحلیل ساختاری و یافتن الگوها و درون مایه های مشترک بادگیرها صورت پذیرفته است. در ضمن گونه شناسی، تناسبات معماری حاکم بر بادگیرها نیز بیان شده است. چگونگی تأثیرگذاری معماری بادگیرها بر عملکردشان با تحلیل رفتار حرارتی سرنمون های بادگیرهای منتخب تبیین شده است. در این تحقیق از علم دینامیک سیالات محاسباتی[۱] و نرم افزار فلوئنت[۲] و تحلیل عددی بعنوان دقیق ترین روش تحلیلی بهره گرفته شده است. نتایج حاصله از این تحلیل ها مشخصات کالبدی بادگیر با کارکرد بهینه را معلوم ساخته است و شناخت مدل بهینه، راه را برای استفاده مجدد از بادگیرهای یزد با کارکرد بهتر فراهم می کند.

واژه های کلیدی:

بادگیر، معماری ایران، گونه شناسی، نرم فزار فلوئنت.

* این مقاله برگرفته از بخشی از رساله دکتری مهناز محمودی به راهنمایی جناب آقای دکتر مجید مفیدی تحت عنوان "شناخت تاثیر مشخصات کالبدی بادگیرها بر رفتار حرارتی" است.

** نویسنده مسئول: تلفکس: ۰۲۸۱-۳۶۷۰۰۵۸، **E-mail**: Mahnaz_Mahmoody@yahoo.com.

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

بادگیر همانگونه که از نام آن پیداست جزیی از کالبد ساختمان‌های مناطق گرم و خشک و یا گرم و مرطوب ایران به شمار می رود که با هدایت جریان باد و بهره گیری از انرژی پاک طبیعت در تعدیل دما و رسانیدن دمای فضای سکونتی به دمای در حد آسایش انسان نقش مؤثری داشته است. تحقیق انجام شده بر اقلیم گرم و خشک تاکید دارد و شهر یزد نیز بعنوان نمونه موردی مورد بررسی قرار گرفته است.

بادگیرها از اجزاء مختلفی تشکیل شده اند که برخی از آنها جنبه زیبایی شناسانه دارد و برخی به شدت در عملکرد بادگیر نقش دارند. شناخت این اجزاء به فهم بهتر ساختار بادگیرها کمک شایان توجهی خواهد نمود. در این نوشتار از اجزایی کالبدی تحت عناوین قفسه، ساقه و تیغه های اصلی و فرعی و منافذ باز و بسته سخن به میان آمده است که به تشریح آنها اشاره می شود.

قفسه: قفسه قسمت رأس بادگیر است که شامل مجاری عبوردهنده جریان هوا می باشد.

ساقه: آن بخش از بدنه بادگیر که حد فاصل قفسه و بام قرار گرفته است.

تیغه: تیغه ها عناصری متشکل از خشت و آجر می باشند که کانال بادگیر را به چند کانال کوچک تر تقسیم می کنند.

تیغه اصلی: دیواره هایی که تا مرکز برج ادامه می یابند و کانال بادگیر را به کانال های کوچک تر تقسیم می کنند.

تیغه فرعی: دیواره هایی که تا مرکز برج ادامه نمی یابند و فقط تا عرض دیوارهای خارجی پیش می روند. تیغه های فرعی در نمای بادگیرها همچون پره های کانال کولر نمایان می شوند.

منافذ باز و بسته: در نمای بادگیرها به هر فضایی که ما بین دو تیغه (چه تیغه اصلی باشد و چه فرعی) قرار گیرد؛ منفذ گفته می شود و چنانچه باز باشد و هوا بتواند از میان آن عبور کند منفذ باز و در غیر اینصورت منفذ بسته نامیده می شود(محمودی، ۱۳۸۲، ۲۴۳).

روش تحقیق

متدلوژی تحقیق تحلیلی - محاسباتی است. نوع تحقیق در بخش‌های معماری کیفی و در بخش های تحلیل رفتار حرارتی کمی است. روشی که در روند تحقیق به کار می رود:

مشاهده ← مقایسه ← تحلیل ← استنتاج ← کشف و شهود

روش جمع آوری اطلاعات: مطالعه کتابخانه ای و برداشت میدانی

نحوه تحلیل اطلاعات: استدلال استقرایی و تحلیل عددی با نرم افزار

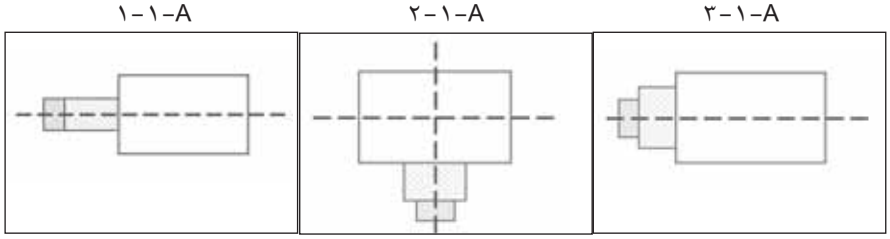
۱- گونه شناسی بادگیرها

۱-۱- گونه شناسی A: گونه شناسی بر مبنای استقرار در پلان

نحوه قرارگیری بادگیرها در منازل به یک شکل نمی باشد و این عامل خود تأثیر زیادی در کارکرد اقلیمی آنها گذارده است. بادگیرها همواره در بخش تابستان نشین خانه مورد استفاده قرار می گرفتند که بخش جنوبی حیاط را شامل می گردید. تالار اصلی ترین فضای بخش تابستان نشین است و تناسب تالار عموماً ۳ به ۵ است (ابوضیاء، ۶۴، ۵۷). چگونگی ارتباط میان تالار و بادگیر و حیاط، تعریف کننده استقرار بادگیر در خانه است.

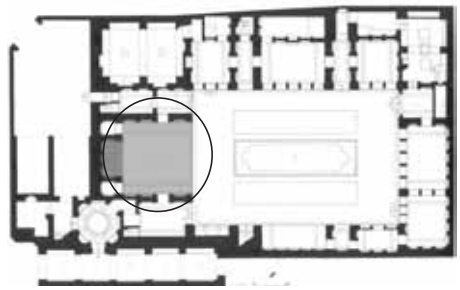
تالار معمولاً به طور مستقیم با بادگیر در ارتباط است، اما گاهی این ارتباط با واسطه فضایی دیگر صورت می گیرد. به لحاظ نحوه قرارگیری بادگیرها در منازل و ارتباط آن با فضاهای اصلی بخش تابستان نشین می توان آنها را به سه گونه تقسیم بندی نمود.

۱-۱-۱- گونه (A-۱) قرار گیری بادگیر در پشت تالار و در محور تقارن آن. در این گونه، محور تقارن بادگیر و تالار و حیاط در امتداد یکدیگر می باشند. گونه (A-۱) را می توان بر اساس رابطه حیاط، تالار و بادگیر به سه زیر گروه تقسیم بندی کرد (تصویر ۱ و ۲).

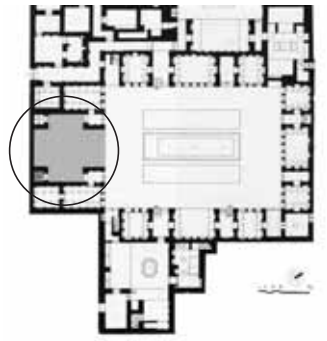


تصویر ۱- انواع رابطه تالار، حیاط و بادگیر در گونه A - ۱.
(ماخذ: نگارنده)

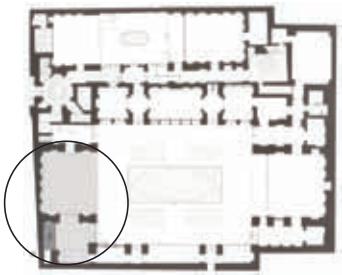
Archive of SID
www.SID.ir



تصویر ۳- خانه علیرضاعرب ، تیپ A - ۱.
ماخذ: (گنجنامه یزد، ۴۲)



تصویر ۳- خانه محمودی ، تیپ A - ۲.
ماخذ: (گنجنامه یزد، ۱۱۰)



تصویر ۴- خانه رسولیان، تیپ A - ۳.
ماخذ: (گنجنامه یزد، ۹۳)

۱-۱-۲- گونه (A-۲) قرارگیری بادگیر در یکی ازگوشه های شمالی تالار. در این نوع ساماندهی تالار با فرم صلیبی شکل در امتداد آکس طولی یا عرضی حیاط قرار دارد و بادگیر دیگر در محور تقارن تالار واقع نشده است (تصویر ۳).

۱-۱-۳- گونه (A-۳) قرارگیری بادگیر در گوشه حیاط. در این گونه، بادگیر با واسطه فضای حوضخانه به تالار متصل می شود و در ارتباط مستقیم با آن نیست (تصویر ۴).

۱-۲- گونه شناسی B: گونه شناسی پلان

فرم پلان بادگیرها نقش مهمی در شکل گیری بادگیرها دارد. تنوع پلان بادگیرها در شهر یزد در خاورمیانه بی نظیر است که نشان از نبوغ و خلاقیت معماران یزدی دارد. به طور کل در ایران بادگیر با پلان دایره، شش ضلعی، هشت ضلعی، مربع، مستطیل دیده شده است. با فرم مثلث بادگیر در هیچ کجای خاورمیانه شناخته شده نیست. بادگیر با پلان دایره ای شکل، نوع بسیار نادر آن در ایران است. در شهر یزد بادگیر با پلان دایره ای وجود ندارد. تنها یک نمونه در اطراف یزد دیده شده است. بجز فرم کلی پلان بادگیرها، بادگیرها در فرم تیغه های داخلی نیز متفاوتند. دسته بندی بادگیرها به توجه به پلان به طور خلاصه در تصویر زیر آورده شده است. تیغه های داخلی با فرم های X, K, I, H, + شکل دیده شده اند.

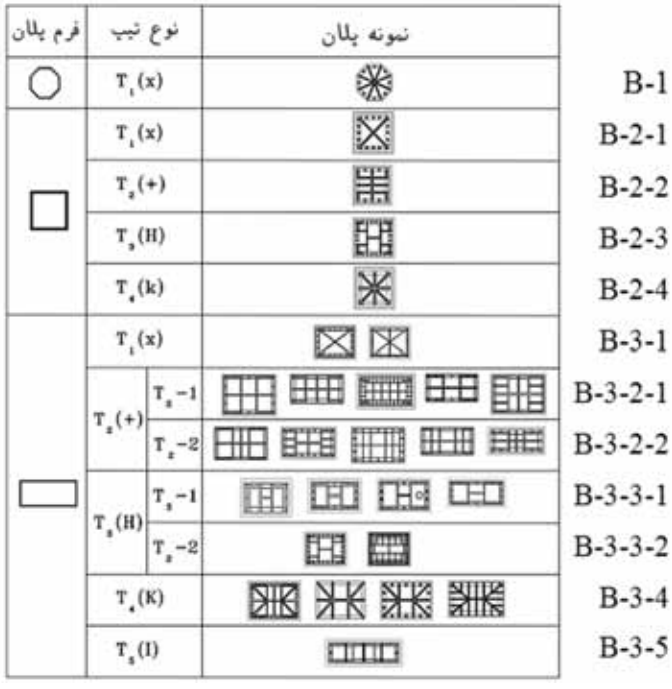
با توجه به فرم هندسی پلان و نحوه قرارگیری تیغه ها می توان بادگیر را به ۳ دسته کلی و ۱۰ دسته فرعی دسته بندی کرد که دو دسته از این ۱۰ دسته نیز خود هر کدام به دو شاخه فرعی تقسیم می شوند. با توجه به برداشت های میدانی پلان مستطیل شکل ۸۸/۶ درصد بادگیرهای یزد را شامل می شود، بنابراین تحلیل های کالبدی بر روی ۵ گونه اصلی با فرم پلان مستطیل شکل انجام شده است (تصویر ۵).

گونه B-3-1: تنها دو بادگیر از ۵۳ بادگیر مورد مطالعه با پلان مستطیل و تیغه × دیده شده اند. مکانیابی این نوع بادگیرها در پلان به صورت گروه A-۲ در گوشه تالار است. در این گونه در همواره در جبهه عرضی منافذ بسته وجود ندارد. تناسب غالب طول به عرض ۱ به ۱/۴ می باشد.

گونه B-3-2: بادگیر با تیغه های عمود بر هم، + شکل رایج ترین گونه بادگیر در یزد می باشد و با تناسبات متفاوت و متنوعی دیده شده اند. در این گونه منفذ بسته در جبهه عرضی بادگیر دیده نمی‌شود و تمام منافذ جبهه عرضی باز می باشند. عمق منافذ در جبهه طولی تا ۱/۲ عمق عرضی بادگیر می باشد و عمق منافذ در جبهه عرضی بسته به طول بادگیر و تعداد و فرم تیغه های تفکیک کننده از ۱/۳ تا ۱/۶ عمق طولی بادگیر متغیر است (تصویر ۷).

گونه B-3-2-1: در این گونه تیغه ها به فاصله های مساوی در پلان قرار گرفته اند و در نتیجه کانال های کوچک به وجود آمده همگی برابر هستند. این نوع از بادگیر رایج ترین نوع پلان بادگیر در یزد است. تناسبات پلان (طول به عرض) در این نوع از ۱ به ۱/۴ تا ۱ به ۲/۲۵ متغیر است. نتایج حاصل از برداشت های میدانی را می توان در موارد زیر خلاصه کرد:

تناسبات پلان بادگیرهای این گونه بین ۱/۴ تا ۲/۲۵ متغیر است. ارتفاع بادگیرها از ۶/۵ متر تا ۱۹/۷۴ متر متفاوت می باشد. با توجه به چهار طرفه بودن و لزوم دریافت باد از هر چهار جهت، کانال بادگیر با تیغه های اصلی که این تیغه ها از دیوار تا دیوار بادگیر ادامه می یابند، تفکیک شده است. تعداد تیغه هایی که به موازات عرض بادگیر کانال را تقسیم بندی می کنند؛ ۲، ۳ و یا ۴ تیغه می باشد. وجود تیغه های فرعی و اصلی؛ باعث بوجود آمدن منافذ



تصویر ۵- گونه شناسی بادگیرهای یزد در پلان.
(ماخذ: نگارنده)

Archive of SID
www.SID.ir

بسته و باز در دهانه بادگیر شده اند تعداد این منافذ بسته و باز در قفسه از روابطی پیروی می کند که به شرح زیر می باشد.

نمای اصلی:

اگر تعداد تیغه های اصلی عرض بادگیر ۲ باشد، در نتیجه تعداد منافذ بسته ۲ و یا ۳ برابر تعداد منافذ باز در نظر گرفته می شده است.

اگر تعداد تیغه های اصلی عرض بادگیر ۳ باشد در نتیجه تعداد منافذ باز و بسته در این جبهه یکی است.

اگر تعداد تیغه های اصلی عرض بادگیر ۴ باشد، در نتیجه تعداد منافذ باز ۱/۵ برابر تعداد منافذ بسته می باشد.

نمای جانبی :

در تمامی موارد تعداد منافذ باز نمای جانبی برابر تعداد منافذ بسته نمای اصلی است و تعداد منافذ بسته ۰ می باشد.

گونه B-3-2-2: کشیدگی پلان در این گونه بیشتر به چشم می خورد. تناسبات پلان طبق رلوه های انجام شده از ۱ به ۱/۵۸ تا ۱ به ۲/۹۲ متغیر است. ارتفاع بادگیرها از ۶/۶۲ متر تا ۱۱/۷ متر متفاوت بوده است. تعداد تیغه های اصلی موازی با عرض بادگیر ۲، ۳ و یا ۴ تیغه می باشد. منافذ ایجاد شده با تیغه های اصلی و فرعی از روابطی پیروی می کند که به شرح زیر است:

نمای اصلی :

- تعداد منافذ باز این جبهه یا برابر تعداد منافذ بسته آن است و یا ۲ برابر آن می باشد.

نمای جانبی :

- منافذ باز جبهه عرضی یا برابر تعداد منافذ بسته جبهه طولی است و یا ۲ برابر آن در نظر گرفته می شده است.
- منافذ بسته جبهه عرضی در تمامی موارد ۰ می باشد.

گونه B-3-3: در این گونه بادگیر با تیغه های H شکل دیده می شود. پلان بادگیر به گونه ای طراحی شده که تیغه اصلی بادگیر که از عرض، کانال بادگیر را تفکیک می کند، تنها در مرکز کانال وجود دارد و به دیواره های عرضی بادگیر نمی رسد. این گونه بر مبنای تعداد تیغه های فرعی در عرض بادگیر که تعداد کانال های فرعی عرض بادگیر را تغییر می دهد، به دو زیر شاخه تقسیم شده است (تصویر ۸).

گونه B-3-3-1: بادگیر با تیغه H شکل با یک مجرای اصلی در عرض. در این گونه نیز سطح مقطع کانال هایی که در جبهه عرضی قرار دارند بزرگ تر از کانال هایی است که از جبهه طولی باد را دریافت می‌کنند. این طرح بادگیر قابلیت دریافت بیشتر باد را از جبهه عرضی میسر می سازد و لذا در این موارد نیز قرارگیری این نوع پلان متأثر از طرح خانه و تالار و کشیدگی آنها نسبت به شمال و جنوب است. در مواردی که در طراحی چاره ای جز قرارگیری بادگیر با کشیدگی برخلاف جهت باد مطلوب وجود نداشته است؛ ذهن خلاق معمار ایرانی با تغییر در پلان بادگیر حداکثر بهره وری از آن را فراهم آورده است. این گونه بسیار کم است و تنها ۴ بادگیر از ۵۳ بادگیر مورد مطالعه از این نوع بوده اند.

گونه B-3-3-2: بادگیر با تیغه H شکل با بیش از یک مجرای اصلی در عرض. این گونه طراحی بادگیر این امکان را بوجود آورده که حداکثر بهره وری از جبهه طولی رو به باد انجام گیرد و حداکثر منافذ باز بادگیر در جبهه طولی را می توان در این گونه پلان بادگیر مشاهده کرد. تناسبات پلان این گونه به مربع نزدیک می شود و پلان با فرم مستطیل کشیده دیده نمی شود. تناسبات پلان ۱ به ۱/۳ و کمتر است. جبهه طولی عموماً منفذ بسته ندارد. در اینگونه طراحی حداکثر استفاده از باد در جبهه طولی با حداکثر قرار دادن منافذ بازدر این جبهه ایجاد شده است.

گونه B-3-4: در این نمونه ها بادگیر با تیغه های K شکل طراحی شده است. این گونه پلان در واقع ترکیبی از پلان با تیغه ضربدری و + شکل است. از ویژگی های اینگونه طراحی پلان اینست که از هر چهار طرف قابلیت دریافت باد وجود دارد بی آنکه منفذ بسته ای در جبهه طولی یا عرضی وجود داشته باشد نتایج تحلیل های کالبدی نمونه های برداشت شده بیانگر موارد زیر می باشد: متوسط تناسب پلان در این گونه ۱ به ۱/۵ است. در جبهه طولی و عرضی منفذ بسته وجود ندارد. این گونه تنها گونه بادگیر چهارطرفه است که منفذ بسته ندارد. تعداد منافذ بسته در جبهه طولی ۳/۲ (سه دوم) تعداد منافذ در جبهه عرضی است (تصویر ۶).

گونه B-3-5: بادگیر با تیغه های I شکل در این گونه طراحی شده است. تیغه اصلی در عرض بادگیر دیده نمی شود و در مقابل هر منفذ باز در جبهه طولی، یک منفذ بسته در ضلع مقابل وجود دارد تا مانع فرار باد شود. چرا که در غیراینصورت باد با عبور از یک منفذ از سمت مقابل خارج می شد. عمق منافذ در جبهه طولی، دیوار به دیوار بادگیر است. این بادگیر کشیده ترین پلان مستطیل شکل در یزد است که

تصویر ۶- بادگیر گونه B-3-4.
(ماخذ: نگارنده)

تصویر ۷- بادگیر گونه B-3-2.
(ماخذ: نگارنده)

تصویر ۸- بادگیر گونه B-3-3.
(ماخذ: نگارنده)

Archive of SID
www.SID.ir

تناسب پلان آن ۱ به ۳/۷۵ می باشد.

۱-۳- گونه شناسی C: گونه شناسی بادگیرها در مقطع

بادگیرهای یزد نسبت به سایر شهرهای مناطق گرم ایران که بادگیر در معماری بومی آنها دیده می شود بلندتر می باشند. بادگیرهای یزد به طور معمول ۵ متر بر فراز بام ارتفاع می گیرند و بلندترین آنها ۳۳/۵ متر از کف حیاط ارتفاع گرفته است (بهادری نژاد، ۱۳۸۲، ۶۰). بادگیرهای یزد در مقطع بر مبنای وجود و یا عدم وجود زیرزمین و کلاه فرنگی دسته بندی شده اند. در بادگیرهایی که حوضچه آب جهت سرمایش تبخیری پیش بینی شده است، در بالای حوضچه روزنه ای به قطر بین ۱ تا ۱/۵ متر و ارتفاع حدود ۱/۵ متر وجود دارد که کلاه فرنگی نامیده شده اند.

با توجه به تفاوت های مقطع می توان بادگیرها را به چهار دسته زیر دسته بندی کرد (تصویر ۹).

C -۱- بادگیرهای ساده بدون کلاه فرنگی و بدون سرویس دهی به زیرزمین

C-۲- بادگیرهای ساده که به زیر زمین نیز می رسند

C-۳- بادگیرهای با کلاه فرنگی که به دو طبقه (همکف و زیرزمین) هوای تازه می فرستند.

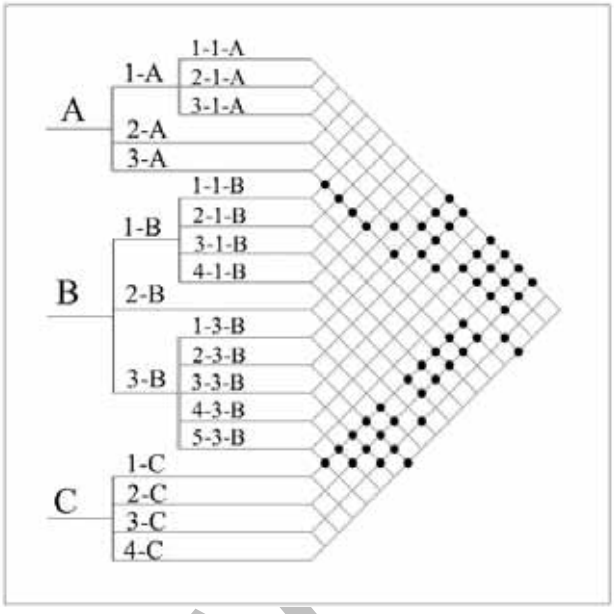
C-۴- بادگیرهای با کلاه فرنگی که تا همکف پایین می آیند.

۲- معیارهای انتخاب سرنمون برای تحلیل فلوئنت

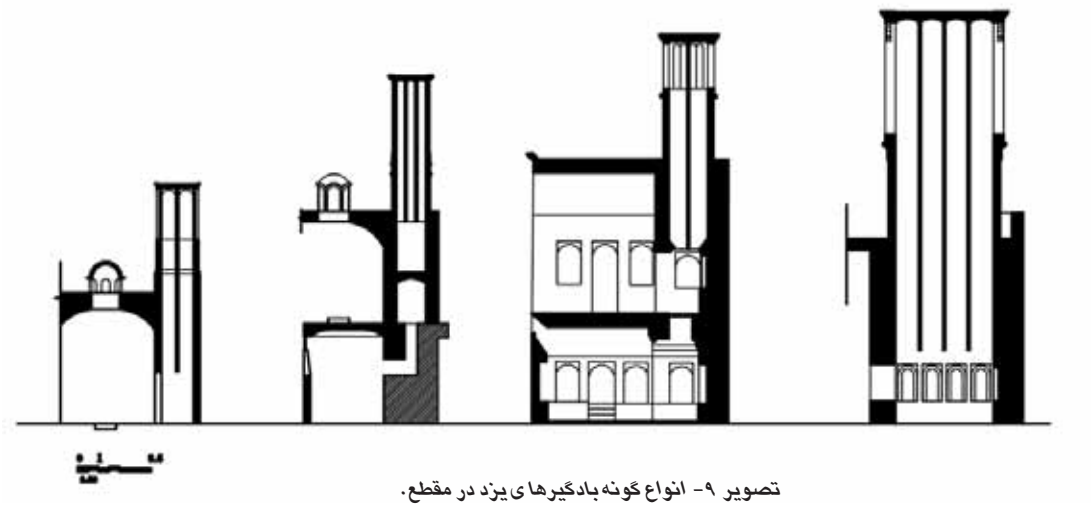
یکی از اهداف انجام تحقیق دستیابی به چگونگی جریان هوای عبوری از بادگیرها در گونه های مختلف بوده است. برای انجام کار از نرم افزار فلوئنت که اوج هنر برنامه نویسی رایانه ای برای مدل کردن جریان سیال و انتقال حرارت در هندسه های پیچیده است، استفاده گردید. با توجه به محدودیت تعداد بادگیرهایی که برای تحلیل جریان می بایست مدلسازی شوند، بر مبنای تعیین معیارهایی خاص تعدادی بادگیر انتخاب گردید.

از آنجا که دیده شده است که یک گونه خاص در پلان گاهی تنها در یک نوع ساماندهی و استقرار در پلان دیده شده است و یا تنها با یک نمونه مقطع خاص طراحی می شده است، بنابراین ماتریکس هم پوشانی گونه های بادگیر در سه نوع یاد شده تهیه گردید؛ تا با توجه به آن و نتایج ماتریکس سرنمون ها انتخاب گردند. ماتریکس مربوطه در ادامه آورده شده است (تصویر ۱۰).

از آنجا که این امکان وجود نداشته است تا تمامی بادگیرهای موجود در موارد همپوشانی ماتریکس با نرم افزار تحلیل رفتار حرارتی شوند، بنابراین تنها تعداد انگشت شماری از بادگیرها می بایست انتخاب می گردید. انتخاب نمونه‌ها از میان موارد موجود با توجه به غالب بودن آن نمونه در میان بادگیرهای یزد انجام گرفته است.



تصویر ۱۰- ماتریکس همپوشانی گونه های مختلف.
(ماخذ: نگارنده)



تصویر ۹- انواع گونه بادگیرهای یزد در مقطع.
(ماخذ: نگارنده)

Archive of SID
www.SID.ir

با توجه به اهمیت نحوه استقرار بادگیر در پلان ، لذا از هر سه گونه اصلی گروه A یک خانه بعنوان مبنای تحلیل های فلوئنت انتخاب گردیده که معیار انتخاب آنها عبارتند از: خانه هایی با ارزش تاریخی- معماری که در گنجنامه آورده شده باشند و بادگیر این منازل در برداشت های میدانی این تحقیق رلوه شده باشد. پس از انتخاب مدل ها که در جدول ۱ آمده است؛ ابتدا خانه های مورد نظر و سپس بادگیرها در نرم افزار گامبیت مدل سازی گردیدند.

جدول ۱- مشخصات کالبدی مدل های منتخب برای تحلیل نرم افزاری.

نام مدل	گونه خانه مدلسازی شده	گونه مقطع مدلسازی شده	گونه پلان بادگیر	پلان بادگیر
مدل ۱	خانه رسولیان 3-A	با کلاه فرنگی 4-C	B-3-2-1	
مدل ۲	خانه رسولیان 3-A	با کلاه فرنگی 4-C	B-3-3-1	
مدل ۳	خانه رسولیان 3-A	با کلاه فرنگی 4-C	B-3-2-2	
مدل ٤	خانه روحانیون 1-A	ساده 1-C	B-2-4	
مدل ٥	خانه محمودی 2-A	با زیرزمین 2-C	B-3-2-1	

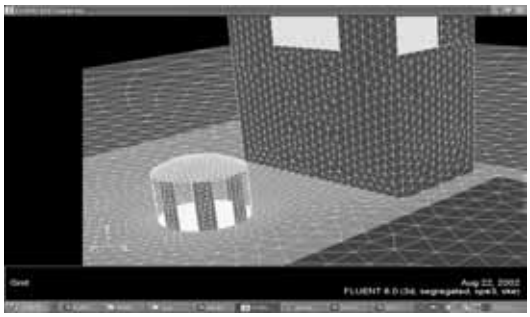
(ماخذ: نگارنده)

۳- شبیه سازی مدل ها و روند تحلیل رفتار حرارتی مدل ها

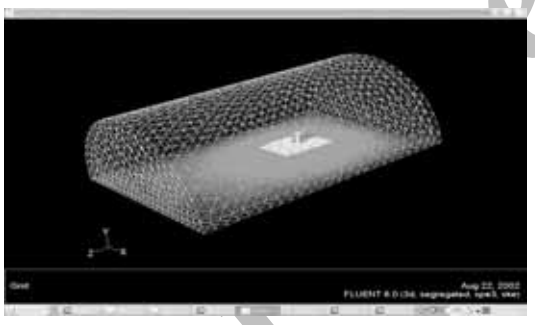
سه روش برای حل مسائل مرتبط با مکانیک سیالات وجود دارد که عبارتند از روش های تجربی، تحلیلی و عددی. پیشرفت روش های عددی در علوم گوناگون طی چند قرن گذشته، قابل توجه بوده است؛ اگرچه در ایران این روش ها عمر زیادی ندارند و عمر آنها از دو یا سه دهه تجاوز نمی کند. با توجه به بالا بودن هزینه روش های تجربی و ضعف روش های تحلیلی در حل مسائل مهندسی، امروزه اغلب محققین به استفاده از روش های عددی روی آورده اند. این پژوهش اولین تحلیل رفتار حرارتی بادگیرها با روش عددی است[۳].

جهت دستیابی به رفتار جریان هوای عبوری از بادگیرها، هندسه بادگیر و ساختمان دربرگیرنده با استفاده از نقشه های موجود که از اسناد قابل دسترس و یا با بازدید از سایت جمع آوری شده بود، در نرم افزار گامبیت[۴] ایجاد گردید و سپس این هندسه سه بعدی به نرم افزار فلوئنت، منتقل شد. این نرم افزار اوج هنر برنامه نویسی رایانه‌ای برای مدل کردن و تحلیل جریان سیال و انتقال حرارت در هندسه های پیچیده است (سلطانی،۱۳۸۲، ۵).

برای شبکه بندی کل دامنهٔ حل، با توجه به هندسه موجود از شبکه‌های بی سازمان چهار وجهی استفاده شده است. قابل ذکر است که بعد از شبکه بندی مدل در نرم افزار گامبیت، و اجرای نرم افزار فلوئنت، برای بهبود نتایج نیاز به سازگاری شبکه ها یعنی افزایش تراکم شبکه ها در نقاط حساس به ویژه جاهایی که گرادیان شدید یک متغیر فیزیکی از قبیل فشار، سرعت و دما است می باشد. تعداد شبکه‌های اعمال شده در این تحلیل ها حدود ۱،۰۰۰،۰۰۰ شبکه می‌باشند (تصویر ۱۱).



تصویر ۱۱- نمایی از هندسه و مش بادگیر و کلاه فرنگی مدل ۱.
(ماخذ: نگارنده)



تصویر ۱۲- نمایی از هندسه خانه رسولیان در محدوده جریان.
(ماخذ: نگارنده)

برای اعمال شرایط مرزی در تحلیل میدان جریان موجود برای مرز ورودی شرایط مرزی 'سرعت ورودی' و برای مرز خروجی شرایط مرزی 'فشار خروجی' انتخاب شده است. با توجه به وضعیت پراکندگی ساختمان های موجود و با استفاده از کد طراحی UBC[۵] و نیز داده های مربوط به شرایط آب و هوایی منطقه یزد (از قبیل دما، رطوبت نسبی و سرعت باد) شرایط مرزی مناسب استفاده شده است. همچنین مرزهای ورودی و خروجی به اندازه کافی دور از ساختمان در نظر گرفته شده اند تا اثرات یکنواختی جریان حفظ گردد (تصویر ۱۲).

شرایط تلاطم جریان نیز براساس میزان شدت آشفتگی و نیز نسبت ویسکوزیته توربولانی استفاده شده است. در مرز خارجی از فشار استاتیک خروجی استفاده شده است. برای بقیه سطوح شرایط

www.SID.ir

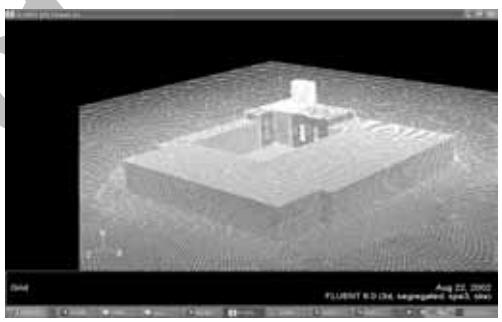
مرزی دیواره با مد نظر قرار دادن دمای محیط برای این دیواره ها اعمال گردیده است. فیزیک حاکم بر جریان نیازمند یک تحلیل جریان چندفازی می باشد. با توجه بر رفتار فیزیکی جریان در این پروژه و با نگرش به اینکه کسر حجمی ذرات فاز گسسته (قطره های آب) نسبت به فاز پیوسته بسیار کم می باشد، از دیدگاه اولرین- لاگرانژین[۶] استفاده می شود. این دیدگاه استفاده از مدل فاز گسسته را برای تحلیل جریان های دوفازی در نرم افزار فلوئنت موجب می شود.

با توجه به اینکه فیزیک حاکم بر جریان یک جریان دائم را طلب می کند تحلیل جریان انجام شده به صورت دائم انجام شده است. با توجه به میزان دبی هوای ورودی (و در نتیجه سرعت هوای ورودی) جریان یک جریان غیرقابل تراکم بوده که این شرایط با اعمال شرایط غیر قابل تراکم برای مقدار دانسیته هوا اعمال گردیده است. بنابراین برای حل معادلات از روش تحلیل گسسته استفاده شده است. معادلات حاکم برای تحلیل مسئله معادلات پیوستگی، ممنتم، انرژی می باشند. درضمن با توجه به نوع سیال فاز پیوسته (هوا) و فاز گسسته (آب)، معادلات اجزاء شیمیایی برای کسر حجمی بخارآب و هوا نیز به معادلات حاکم افزوده می شوند.

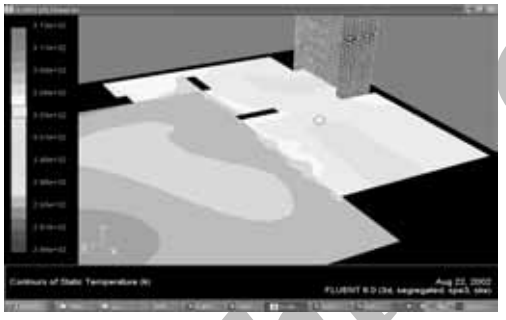
برای مد نظر قرار دادن تأثیر فاز گسسته بر روی میدان جریان فاز پیوسته نخست با محاسبه خط مسیر ذره، انتقال حرارت، جرم و ممنتم بدست آمده یا تلف شده توسط جریان ذره ای که از خط مسیر پیروی می کند، بدست می آید. این مقادیر بایستی در محاسبات بعدی (متعاقب) فاز پیوسته شرکت کنند. بنابراین مادامی که فاز پیوسته در برخورد با فاز گسسته باشد می توان اثرات فاز گسسته را در فاز پیوسته شرکت داد. این تعامل دو طرفه به وسیله حل جایگزین معادلات فاز پیوسته و گسسته تا زمانی که تحلیل ها در هر دو فاز به یک حالت بدون تغییر نایل شوند، انجام می گردد.

در تصاویر زیر تحلیل عددی رفتار حرارتی بادگیر مدل ۱ نشان داده شده است (تصاویر ۱۳و۱۴و۱۵و۱۶). نتایج حاصل از نرم افزار برای ۵ مدل مذکور بصورت خلاصه در جدول ۲ ارائه شده است.

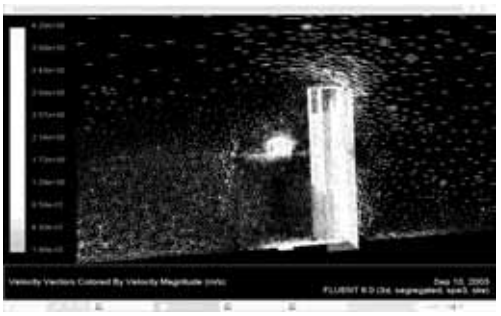
نتایج تحلیل بیانگر چگونگی تاثیر گذاری عوامل دمای هوای خروجی از بادگیر، نرخ جریان جرمی هوا، سرعت باد، هندسه و سطح مقطع بادگیر، ضخامت و هندسه سطح مرطوب بر عملکرد بادگیر می باشند.



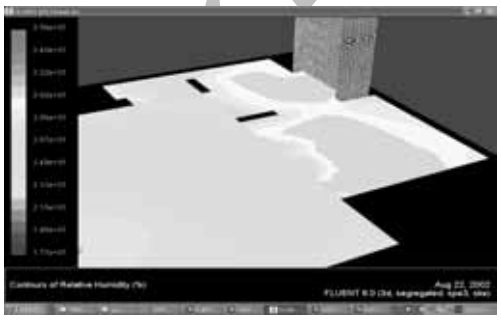
تصویر ۱۳- مدلسازی خانه رسولیان در نرم افزار .
(ماخذ: نگارنده)



تصویر ۱۴-کانتور نتایج دما در مدل ۱ .
(ماخذ: نگارنده)



تصویر ۱۵- کانتور سرعت در مدل ۱.
(ماخذ: نگارنده)



تصویر ۱۶- کانتور رطوبت در مدل ۱ .
(ماخذ: نگارنده)

جدول ۲- نتایج تحلیل نرم افزاری ۵ مدل یزد در کاهش دما و افزایش رطوبت.

پارامترهای مؤثر بر شرایط آسایش	مدل۱	مدل۲	مدل۳	مدل٤	مدل٥
افت دما از ۴۰ درجه	۲۹/۳	۳۰/۸	۳۲/۲	۳۳/۱	۲۹
افزایش رطوبت از ٪۱۷	٪۳۶/۷	٪۳۴/۱۵	٪۳۲/۹	٪۳۱/۵	٪۴۴/۷

(ماخذ: نگارنده)

www.SID.ir

اثر نرخ جریان جرمی هوا: در یک بادگیر، نرخ جریان جرمی هوا در طول روز متغیر می باشد. بیشترین تأثیر از میزان جریان جرمی هوا زمانی حاصل می شود که این نرخ تبخیر بیشتری را باعث شود، یعنی حجم بیشتری از رطوبت موجود در سطح مرطوب تبخیر گردد که این عمل ضمن افزایش راندمان تبخیر، دمای هوا را به میزان بیشتری کاهش می دهد.

اثر سرعت باد: تهویه عمودی تنها زمانی موثر است که سرعت باد بیش از ۲/۵ متر بر ثانیه باشد(بتل مک کارتی، ۱۳۸۱، ۲۴). سرعت باد متناسب با نرخ جریان جرمی هوا است. افزایش سرعت هوا یا دبی جریان هوا باعث می شود تا زمان کمتری برای تبخیر بهینه وجود داشته باشد که عملاً این مسأله باعث کاهش راندمان تبخیر می گردد. اما به نظر می رسد همیشه این مسأله درست نباشد یعنی در سرعت های مختلف از نظر فیزیکی تأثیر متفاوتی بر روی بازده تبخیر مشاهده گردد. یعنی وجود سرعت بیشتر، دبی بیشتری را از هوا باعث می شود و این حجم هوای سرد شده مطمئناً کمک بیشتری به سرمایش ساختمان می کند. بنابراین بایستی گفت راندمان تبخیر متناسب با حجم بیشتر هوا در یک سرعت ثابت است. یعنی هرچه سطح مقطع ورودی بادگیر بیشتر باشد؛ حجم بیشتری از هوا با یک سرعت مناسب وارد ساختمان شده و راندمان تبخیر بهبود می یابد.

اثر هندسه و سطح مقطع بادگیر: دو عامل تأثیرگذار در راندمان تبخیر بادگیرها یا عملکرد بادگیرها میزان جریان جرمی ورودی به داخل ساختمان و نیز سیستم مرطوب می باشد. مطمئناً هر چه میزان تبخیر بیشتر باشد راندمان بهتری وجود خواهد داشت. میزان تبخیر نیز مستلزم حجم هوای بیشتر است. با توجه به این موارد به نظر می رسد که چنانچه حجم هوای ورودی بیشتر باشد و البته با یک سرعت مناسب به سطح مرطوب برسد که فرصت کافی برای تبخیر وجود داشته باشد آنگاه راندمان مطلوبی را باید از بادگیر انتظار داشت. آنچه این مهم را میسر می سازد، چگونگی هندسه مقطع بادگیر است که باید به گونه ای باشد که بیشترین حجم هوای موجود را در یک سرعت ثابت و مناسب را هدایت کند.

اثر ضخامت و هندسه سطح مرطوب: مساحت سطح مرطوب متناسب با میزان تبخیر می باشد؛ یعنی هر چه مساحت سطح مرطوب بیشتر باشد میزان تبخیر بیشتر بوده و عملکرد بهتری را از سیستم سرمایش تبخیری بادگیر شاهد خواهیم بود. چنانچه خنک سازی و تبخیر هوا در رأس بادگیر انجام گیرد؛ هوا در بدو ورود به کانال سرد و سنگین شود، آنگاه بواسطه نیروی گرانش سریعتر به پایین نزول می کند.

نتیجه

سه عامل را می توان برای تفاوت های معماری بادگیرهای یزد برشمرد که به آنها اشاره می شود.

۱- خلاقیت معماران در طراحی معماری بادگیرهای یزد به گونه ای است که در این شهر دو بادگیر که دقیقاً معماری یکسانی داشته باشند وجود ندارد و این عامل باعث گردیده تا هر بادگیر هویت خاص خود را داشته باشد و به نوعی هویت دهنده به خانه و محله نیز باشد.

۲- در برخی موارد طراحی معماری کل خانه و طراحی تالار عاملی بود که معماری و بویژه پلان بادگیرها را تحت تأثیر قرار می داده است. بعنوان مثال در مواردی که تالار خانه صلیبی شکل طراحی می شده است؛ با توجه به هندسه پلان، بادگیر در یکی از گوشه های تالار قرار می گیرد و فرم مربع پلان بادگیر، فرمی است که بواسطه طراحی معماری پلان بخش تابستان نشین به معمار دیکته می شده است.

از موارد دیگر پلان با تیغه داخلی H شکل بوده است که این نوع پلان همواره در ساماندهی خانه با گونه ۳-A دیده شده که در آن بادگیر با واسطه حوضخانه و با زاویه ۹۰ درجه درجه نسبت به تالار؛ در خانه استقرار می یافته است. آنچه در نمای این بادگیرها توجه را برمی انگیزد، تعداد منافذ باز و بسته جبهه طولی نماست.

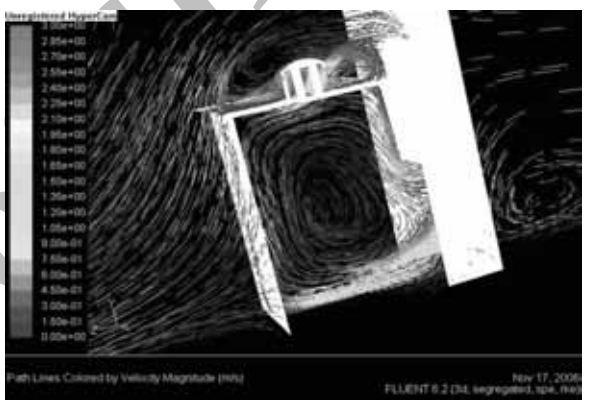
در بادگیر با پلان H شکل تعداد منافذ بسته جبهه طولی بسیار بیش از منافذ باز است و همواره این سؤال مطرح بوده که چرا معمار برای منفذ دهی به جبهه های عرضی بادگیر، منافذ جبهه عرضی را کم عمق درنظر نمی گرفته تا منافذ باز بیشتری در جبهه طولی داشته باشد؛ اما با بررسی معلوم گردید که این گونه بادگیرها از عرض مواجه با باد غالب هستند و کشیدگی آنها شمال غربی- جنوب شرقی است. پلان H شکل نیز با منافذ عمیق خود در عرض اجازه می دهد تا باد غالب بیشتری به داخل آن کشیده شود. از سوی دیگر هندسه پلان نیز اجازه نمی داده است تا کشیدگی کانال به موازات کشیدگی تالار باشد تا از جبهه طولی مواجه با باد غالب باشد، در نتیجه معمار با H شکل ساختن فرم تیغه داخلی این مشکل را مرتفع ساخته است.

عملکرد بادگیر و چگونگی رفتار حرارتی آن عامل مؤثر دیگر در جهت چگونگی فرم دادن و معماری بادگیرهاست. در تمامی مواردی که حوض آب در مجاور بادگیر وجود دارد؛ این حوض در

Archive of SID
www.SID.ir

اتاقی متصل به تالار تعبیه می شده است. هیچگاه در تالار حوض آب وجود نداشته است.

نکته با اهمیت در مورد بادگیرهای با استقرار گونه A-۳ اینست که محل قرارگیری بادگیر که محل ورود باد است و در ورودی تالار به حوضخانه، که محل ورود جریان باد از حوضخانه به تالار است، به گونه ای است که جریان باد با گذر از روی حوض با زاویه ۹۰ درجه به تالار وارد خواهد شد. روبروی بادگیر در حوضخانه هیچ در بازی وجود ندارد و این مسأله به همراه وجود کلاه فرنگی در سقف موجب می شود تا طبق تحلیل های مکانیک سیالات، گردابه جریانی بوجود آید که این گردابه باعث می شود تا تبخیر بیشتر و مؤثرتر صورت گیرد؛ در غیر اینصورت بازدهی تبخیری بسیار پایین می آمد (تصویر ۱۷).



تصویر ۱۷-کانتور چرخش هوا و ایجاد گردابه جریان در بالای حوض در مدل ۱.
(ماخذ: نگارنده)

در مورد زیرزمین نیز این مسأله صادق است و از آنجا که زیرزمین تنها منفذ نواری کوچکی رو به حیاط دارد؛ لذا خروجی جریان هوا بزرگ نیست و در مواردی که در زیرزمین حوض آب وجود دارد، جریان باد پس از برخورد با دیواره های زیرزمین در بالای سطح حوض گردابه ای ایجاد می کند که به تبخیر بیشتر و مؤثرتر می انجامد.

بخش شناخت معماری تحقیق با گونه شناسی ختم شده است و بنا به محدودیت های مدلسازی و تحلیل رفتار حرارتی، سرنمون های گونه شناسی با معیارهایی که در بخش۳ آمده است، انتخاب شد و رفتار حرارتی آنها با نرم افزار مورد بررسی قرار گرفت. در ۳ مدل اول، سه بادگیر متفاوت در خانه رسولیان مورد بررسی قرار گرفتند و علی رغم یکسان بودن پلان خانه و نحوه استقرار در خانه و یکسان بودن مقطع و ارتفاع و سطح مقطع؛ دیده شد که نتایج متفاوتی حاصل آمد. بنابراین این نتیجه می تواند بدست آید که معماری و فرم تیغه بادگیرها در رفتار حرارتی آن نقش دارد و از میان ۳ مدل، بادگیربا تیغه H شکل بهترین جواب را خواهد داد. در یزد بادگیر با پلان + شکل که نحوه استقرار آن در محور حیاط باشد(مدل۵)، نتیجه بهتری را خواهد داد. نکته جالب توجه اینست که این نوع بادگیر نمونه غالب در یزد می باشد و احتمالاً مردم و معماران به صورت تجربی کارکرد بهتر این مدل را دریافته بودند.

نتایج حاصل از شبیه سازی و تحلیل عددی با نتایج تحقیقات تجربی سوزان روف مورد مقایسه قرار گرفت و با توجه به تشابه نتایج، اعتبار علمی شبیه سازی نیز مشخص گردید.[۷]

پی نوشت ها:

۱ CFD: Computational Fluid Dynamic.

۲ Fluent.

۳ آقای دکتر بهادری نژاد پژوهش هایی در مورد بادگیرها را با روش تحلیلی انجام داده اند. برای مطالعه بیشتر رجوع کنید به:

Bahadori, M.N (1985) "An Improved Design of Wind Towers for Natural Ventilation and Passive Cooling"; Solar Energy; vol 35; No.2

Bahadori, M.N(1994) "Viability of wind towers in achieving summer comfort in hot arid regions of the middle east"; Third World Renewable Energy Congress, United Kingdom

Bahadori, M.N (1981) "Pressure coefficients to Evaluate Air Flow Patterns in Wind Towers"; International Passive and Hybrid Cooling Conferences; Miami Beach; Florida

۴ Gambit.

۵ UNIFORM BUILDING CODE.

۶ Lagrin.

۷ رجوع کنید به:

Roaf. S (1988) The Wind catcher of Yazd; Ph.D thesis; Department of Architecture; oxford polytechnic

Archive of SID
www.SID.ir

فهرست منابع:

ابوضیاء، فرهاد و قزلباش، محمدرضا (۱۳۶۴)، الفبای کالبد خانه سنتی یزد، انتشارات برنامه و بودجه، تهران.
بتل مک کارتی (۱۳۸۱)، بادخان، ترجمه: محمد احمدی نژاد، نشر خاک، اصفهان.
بهادری نژاد، مهدی (۱۳۸۲)، کارایی برودتی بادگیرها، ماهنامه تهویه مطبوع، شماره۸، تهران.
حاجی قاسمی، کامبیز (۱۳۸۳)، گنجنامه خانه های یزد، انتشارات دانشگاه شهید بهشتی و روزنه، تهران.
سلطانی، مجید و رحیمی الاصل، روح الله (۱۳۸۲)، دینامیک سیالات محاسباتی به کمک نرم افزار فلوئنت، نشر طرح، تهران.
محمودی، مهناز و مفیدی، مجید (۱۳۸۲)، تأثیر اقلیم بر کالبد بادگیرهای یزد و بندرلنگه، مجموعه مقالات سومین همایش بهینه سازی مصرف سوخت، جلد اول.

Archive of SID

www.SID.ir