

## بررسی چگونگی تاثیر گذاری پلان معماری بادگیرها در کاهش دمای محیط

مهناز محمودی<sup>۱</sup> \*

سید مجید مفیدی<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۸۷/۲/۱۵

تاریخ پذیرش: ۸۷/۴/۳۰

بادگیرها از عناصر تاریخی معماری ایران می باشند که ابداعی مهم در معماری بومی تلقی می شوند. این عناصر که با رویکرد اقلیمی طراحی گردیده اند، به عنوان یک سیستم سرمایش ایستا شناخته شده اند و تهویه مطبوع را با بهره گیری از انرژی تجدیدپذیر باد فراهم می آورند.

این تحقیق با هدف بررسی بادگیرهای اقلیم گرم و خشک انجام گرفته و شهر یزد به عنوان شهر مطالعه موردی برگزیده شده است. بادگیرهای یزد با فرم های متفاوتی دیده شده اند و این تحقیق نشان می دهد که ویژگی های شکلی آن ها نقش مهمی در عملکرد شان ایفا می کند.

مطالعه با بررسی های میدانی انجام گرفته و نمونه های انتخابی که ۵۴ نمونه بوده، به صورت تصادفی در ۵ محله شهر یزد انتخاب شده است. روش تحقیق توصیفی-تحلیلی است. ارتباط میان معماری و عملکرد بادگیرها برای اولین بار انجام گرفته است و در ابتدا بادگیرهای یزد گونه شناسی گردیده و سپس سرنمون ها برای تحلیل عددی و محاسبه رفتار حرارتی انتخاب شده اند.

این تحقیق با بهره گیری از علم دینامیک سیالات محاسباتی و استفاده از نرم افزار فلونت و تحلیل عددی انجام گرفته است. خانه رسولیان به عنوان نمونه موردی در نرم افزار مدل سازی گردیده و سپس سه نمونه پلان بادگیر در این خانه مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج حاصل حاکی از تفاوت نتایج دما و رطوبت در این سه مدل بود. پس از انجام محاسبات پلان برتر به لحاظ کارکرد رفتار حرارتی و تاثیرگذاری بر آسایش حرارتی مشخص گردیده است.

واژه های کلیدی: بادگیر، اقلیم گرم و خشک، تهویه طبیعی، نرم افزار فلونت.

۱- استادیار گروه معماری، دانشکده عمران و معماری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین (مسئول مکاتبات).

۲- استادیار گروه معماری و شهرسازی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران.

## مقدمه

بادگیر همان گونه که از نام آن پیداست جزئی از کالبد ساختمان های 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. در این مقاله سعی شده تا با بررسی معماری بادگیرها و شناخت کالبدی آن ها چگونگی تأثیر کالبد بر عملکرد آن ها معلوم گردد. شهر یزد به عنوان یکی از شهرهای اقلیم گرم و خشک ایران که بیشترین تعداد بادگیر را داشته و به عنوان شهر بادگیرها معروف است، به عنوان شهر مورد مطالعه انتخاب گردیده است.

بادگیرهای شهر یزد بسیار متنوع می باشند و هیچ دو بادگیری وجود ندارد که دقیقاً مانند هم طراحی شده باشند. بادگیرهایی که توسط یک معمار ساخته می شوند نیز تنها در تزئینات دهانه های ورودی باد یکسان بودند که این تزئینات به نوعی امضاء معمار محسوب می شده اند. هر ساختمان مسکونی در یزد با توجه به پلان معماری بنا، موقعیت آن و همچنین جهت قرار گیری نسبت به جهت باد غالب شهر بادگیری متفاوت دارد. ایده معمار نیز در طرح بادگیرها موثر بوده و تفاوتی را موجب می شده است. با توجه به تفاوت و تنوع بادگیرهای یزد گونه شناسی متفاوت بادگیرها در پلان و دسته بندی آن ها اولین گام در عرصه شناخت است و پس از آن با استفاده از نرم افزار فلوننت و علم CFD (Computational fluid dynamics) سرنمون ها تحلیل رفتار حرارتی گردیده و مشخص می گردد که کدام بادگیرها با چه مشخصات و ویژگی های معماری در پلان بهترین نتیجه را جهت کاهش دمای هوا به دست می داده اند.

## روش تحقیق

در بخشی که گونه شناسی بادگیرها به انجام رسیده روش کار توصیفی است. قسمتی که به بررسی رفتار حرارتی

بادگیر بر مبنای تناسب کالبدی آن ها با استفاده از نرم افزار فلوننت می پردازد؛ روش تحلیلی است. روشی که در روند تحقیق بکار می رود:

مشاهده ⇨ مقایسه ⇨ تحلیل ⇨ استنتاج ⇨ کشف

روش کسب اطلاعات بر مبنای مطالعات کتابخانه ای و برداشت های میدانی می باشد. روش نمونه گیری، خوشه ای تصادفی متناسب است که از هر محله یزد با توجه به تعداد بادگیر آن محله درصدی از تعداد کل مورد بررسی دقیق قرار می گیرد و نمونه ها کاملاً تصادفی انتخاب شده است.

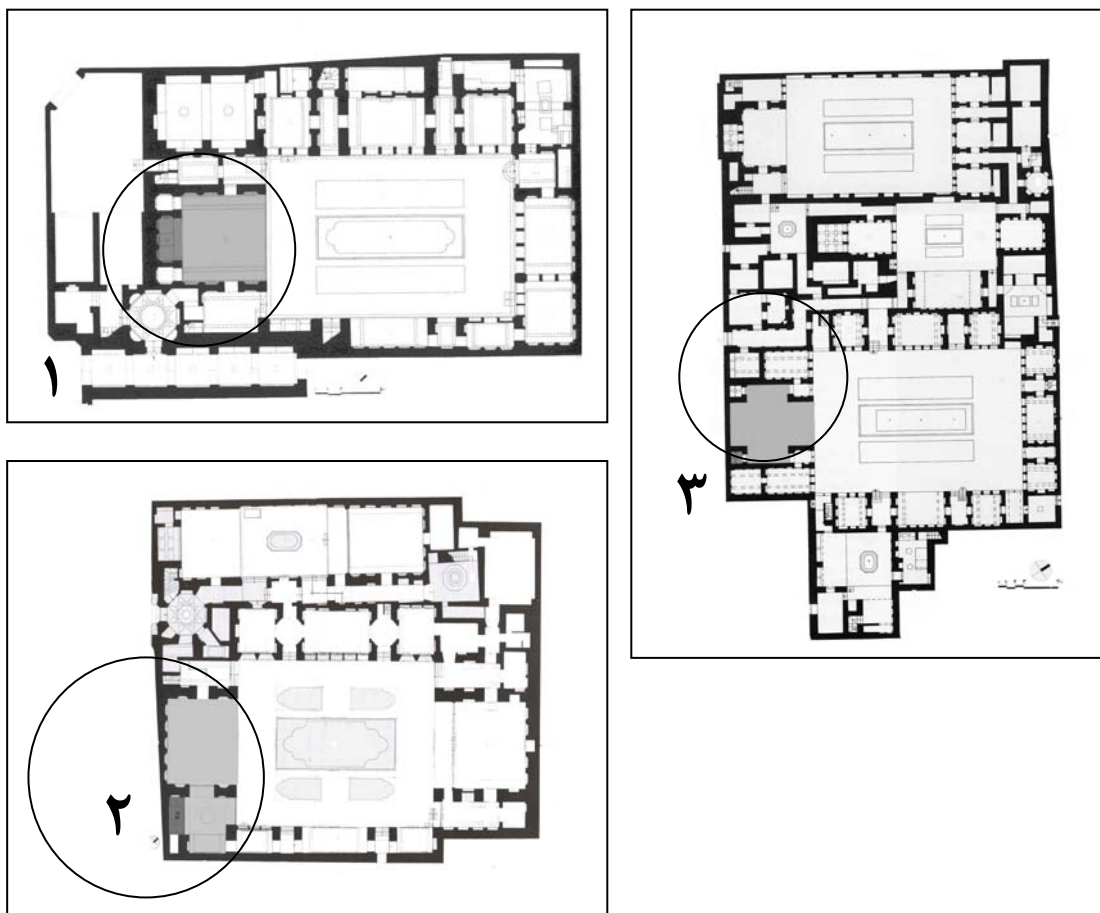
## گونه شناسی بادگیرهای یزد

• گونه شناسی بادگیرهای یزد بر مبنای استقرار در

## پلان

تفاوت نحوه استقرار بادگیرها در پلان خانه به طراحی پلان مربوط می شده است. اما احتمالاً تأثیراتی نیز بر عملکرد سرمایه بادگیر دارد. اجزای اصلی خانه ایرانی که مرتبط با بادگیر است، عبارتند از حیاط مرکزی و تالار تالار معمولاً به طور مستقیم با بادگیر در ارتباط است، اما گاهی این ارتباط با واسطه فضایی دیگر صورت می گیرد. به لحاظ موقعیت قرارگیری بادگیرها در منازل و ارتباط آن با فضاهای اصلی بخش تابستان نشین و حیاط می توان آن ها را به سه گونه تقسیم بندی نمود (۱) (تصویر ۱)

۱. قرارگیری بادگیر در پشت تالار و در محور تقارن آن. در این گونه، محور تقارن بادگیر و تالار و حیاط در امتداد یکدیگر می باشند.
۲. 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.
۳. قرارگیری بادگیر در یکی از گوشه های شمالی تالار.



تصویر ۱- نمونه پلان هایی از خانه های یزد (ماخذ: گنجنامه خانه های یزد)

### گونه شناسی بادگیرها در پلان

تقسیم بندی کرد، تیغه های اصلی و تیغه های فرعی. تیغه های اصلی از ارتفاع ۲/۲۰ - ۱/۵ متری کف طبقه همکف شروع شده و تا سقف بادگیر ادامه می یابند و کانال بادگیر را به کانال های کوچک تر تقسیم می کنند (۳).

تیغه های اصلی بیشتر نقش کارکردی داشته و در عملکرد بادگیر تأثیرگذارند. اما تیغه های فرعی در دهانه ورودی بادگیر قرار می گیرند و نقش کارکردی جزئی بر آن ها مترتب است. و همانند پره های دریچه های کولر امروزی هستند. این تیغه ها بیشتر نقش زیبایی شناختی دارند. تیغه های اصلی در نمای بیرونی خود را نشان نمی دهند اما تیغه های فرعی در نمای بادگیر و سیما و منظر شهری تأثیرگذارند.

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 (۲). 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.

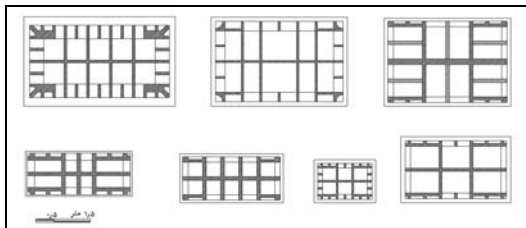
به جز فرم کلی پلان بادگیرها، بادگیرها در فرم تیغه های داخلی نیز متفاوتند. تیغه ها عناصری متشکل از خشت و آجر می باشند که کانال بادگیر را به چند کانال کوچک تر تقسیم می کنند. این تیغه ها را می توان به دو دسته

**ب: بادگیر با تیغه های + شکل**

بادگیر با تیغه های عمود بر هم + شکل، این گونه رایج ترین گونه بادگیر در یزد می باشد و با تناسب متفاوت و متنوعی دیده شده است. عمق کانال در جبهه طولی تا  $\frac{1}{3}$  عمق عرضی بادگیر می باشد و عمق کانال در جبهه عرضی بسته به طول بادگیر و تعداد و فرم تیغه های تفکیک کننده از  $\frac{1}{3}$  تا  $\frac{1}{6}$  عمق طولی بادگیر متغیر است. این گونه را می توان به دو زیر مجموعه دیگر تفکیک کرد.

**ب-۱: بادگیرهای با کانال های مساوی**

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 (تصویر ۳). این نوع از بادگیر رایج ترین نوع پلان بادگیر در یزد است. تناسب پلان (طول به عرض) در این نوع از ۱ به  $\frac{1}{4}$  تا ۱ به  $\frac{2}{25}$  متغیر است.



تصویر ۳- نمونه پلان های با تیغه های + شکل و با

کانال های متفاوت (ماخذ: نگارنده)

**ب-۲: بادگیرهای با کانال های متفاوت**

کشیدگی پلان در این گونه بیشتر به چشم می خورد. تناسب پلان طبق بررسی های میدانی از ۱ به  $\frac{1}{58}$  تا ۱ به  $\frac{2}{92}$  متغیر است. در نمونه هایی که کانال های جبهه عرضی بادگیر بزرگ ترند، عرض پلان مستطیل در مواجهه با بادهای غالب است. در این نمونه ها به خاطر فرم پلان خانه معمار نمی توانسته است بادگیر را از جبهه طولی در معرض باد غالب شمال غربی قرار دهد و لذا معمار با تغییر فرم پلان بادگیر دریافت باد

تیغه های داخلی تا ارتفاع  $\frac{1}{5}$  تا  $\frac{2}{5}$  متری بالاتر از کف اتاق نشیمن پایین می آیند. معماران محلی تا اندازه ای این تیغه ها را پایین می آورند تا فضای زیر آن قابل استفاده باشد. برای آب انبارها معماران محلی پیشنهاد می دهند که تیغه ها تا ۱ متر زیر منفذها بیشتر پایین نیابند تیغه ها با کاهش دادن سطح مقطع های عبوری جریان هوا، سرعت آن را افزایش می دهند (۴).

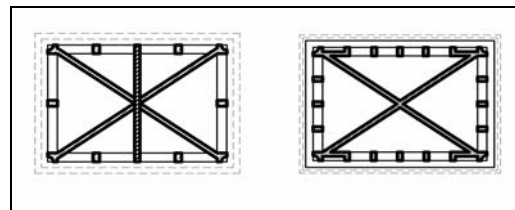
با توجه به فرم هندسی پلان و نحوه قرارگیری تیغه ها می توان بادگیرها را گونه شناسی کرد. در این مقاله با توجه به هدف نهایی که بررسی معماری پلان بادگیرها بر رفتار حرارتی می باشد، به گونه شناسی بادگیرهای با پلان مستطیل شکل اشاره می شود که رایج ترین نوع پلان بادگیر در شهر یزد می باشد و  $\frac{88}{6}\%$  آن را شامل می شود.

**گونه شناسی بادگیرهای با پلان مستطیل**

این گونه رایج ترین گونه بادگیر می باشد و از میان ۵۳ بادگیر مورد بررسی ۴۷ بادگیر با پلان مستطیل شکل ساخته شده بودند. تنوع تیغه های اصلی تشکیل دهنده بادگیر نیز پلان با فرم مستطیل گونه های متفاوتی را به وجود آورده است.

**الف: بادگیر با تیغه های X شکل**

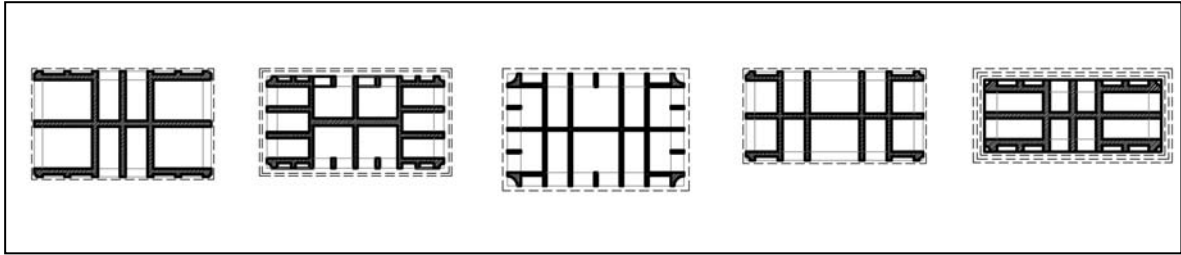
این گونه به تعداد بسیار کم و شاید انگشت شمار در یزد وجود دارد. طول بادگیر در این نوع تقریباً  $\frac{1}{5}$  برابر عرض آن می باشد. تنها دو خانه از ۵۳ خانه مورد مطالعه بادگیر با پلان مستطیل و تیغه X دیده شده است (تصویر ۲).



تصویر ۲- نمونه پلان هایی از بادگیرهای با تیغه

ضربدری (ماخذ: نگارنده)

بیشتری را از جبهه عرضی نسبت به جبهه طولی فراهم آورده است (تصویر ۴).

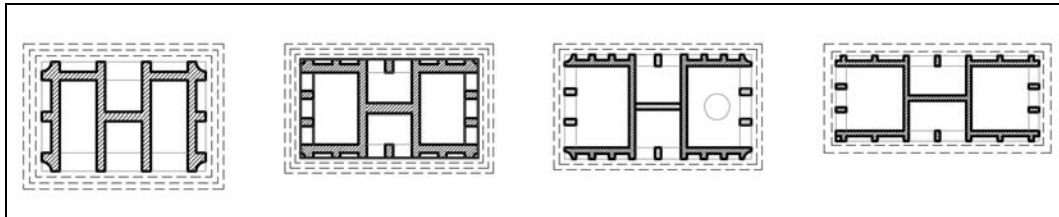


تصویر ۴- نمونه پلان های با تیغه های + شکل و با کانال های متفاوت (ماخذ: نگارنده)

### ج: بادگیر با تیغه های H شکل

این گونه نیز کمتر در یزد دیده شده است و چهار بادگیر از بادگیرهای بررسی شده، با این فرم پلان مشاهده شده اند. 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 می کنند (تصویر ۵).

در این گونه بادگیرها 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. تناسب پلان این گونه به مربع نزدیک می شود و پلان با مستطیل کشیده دیده نمی شود. تناسب پلان ۱ به ۱/۳ و کمتر است.

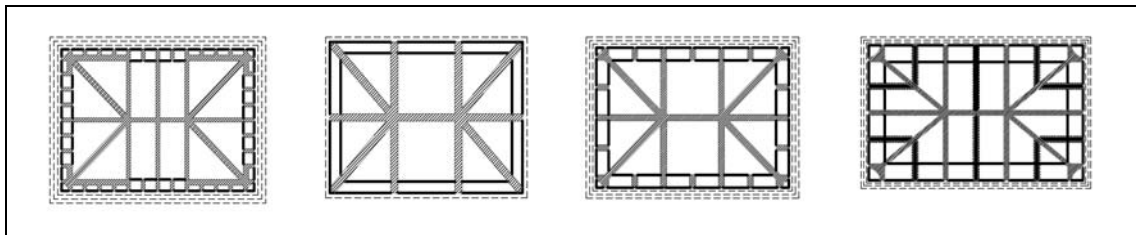


تصویر ۵- نمونه پلان های با تیغه H شکل (ماخذ: نگارنده)

### د: بادگیر با تیغه های K شکل

مسکونی دیده شده است. نمونه پلان های برداشت شده از این گونه در تصویر ارائه شده است.

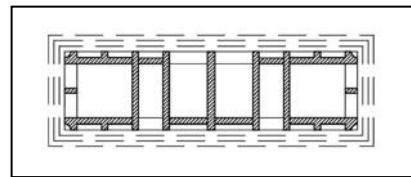
این گونه طراحی پلان در واقع ترکیبی از پلان با تیغه ضربدری و + شکل است. این نمونه نیز کمتر در معماری



تصویر ۶- نمونه پلان های با تیغه K شکل (ماخذ: نگارنده)

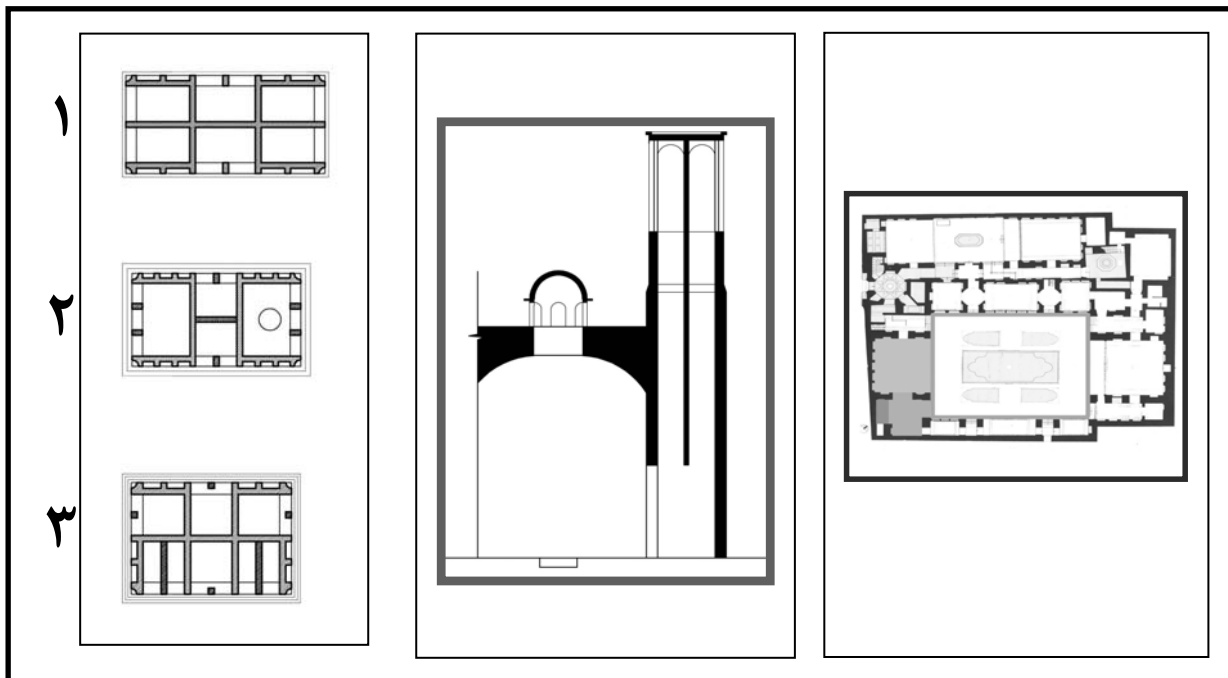
#### ه : بادگیر با تیغه های I شکل

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 غیر این صورت باد با عبور از یک منفذ از سمت مقابل خارج می شود (۵). این بادگیر کشیده ترین پلان مستطیل شکل در یزد است که تناسب پلان آن ۱ به ۳/۷۵ می باشد. تنها یک نمونه از ۵۳ نمونه موردی به این صورت طراحی شده است (تصویر ۷).



تصویر ۷- نمونه پلان با تیغه I شکل (ماخذ: نگارنده)

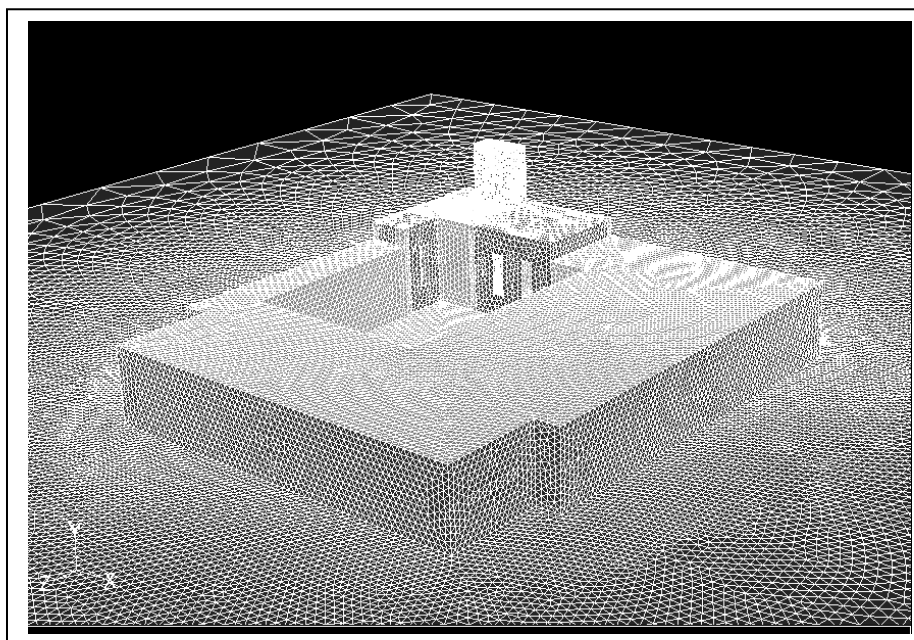
معیارهای انتخاب نمونه ها برای تحلیل رفتار حرارتی با توجه به اهمیت نحوه استقرار بادگیر در پلان، از بین سه گونه، نمونه خانه تیپ ۱ که تنها گونه ای بوده که در زیر بادگیر حوض آب وجود داشته و سرمایه تبخیری انجام می گرفته است، انتخاب گردید و خانه رسولیان به عنوان نمونه موردی برگزیده شد که خانه ای با ارزش تاریخی- معماری است و بادگیر این خانه در برداشت های میدانی این تحقیق رلوه شده بود. با توجه به انواع مختلف فرم تیغه های داخلی بادگیرهای با فرم پلان مستطیل، سه نمونه غالب پلان با ابعاد یکسان که فقط در فرم تیغه های داخلی متفاوت بودند مدل سازی رایانه ای گردیده و رفتار حرارتی آن ها مورد بررسی قرار گرفت (تصویر ۸).



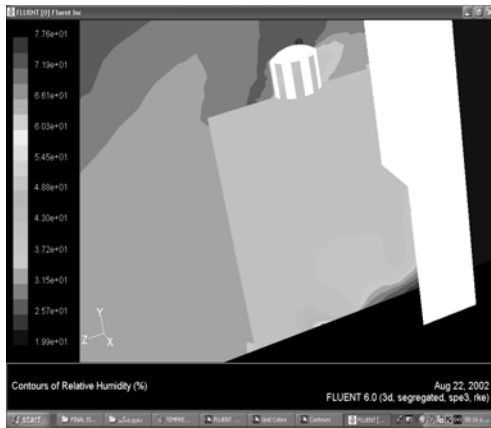
تصویر ۸- نمونه های انتخابی برای تحلیل فلوئنت (ماخذ: نگارنده)

موجود در نرم افزار گامبیت مدل سازی گردید. در شکل ۹ ایزومتریک مدل ارائه شده است.

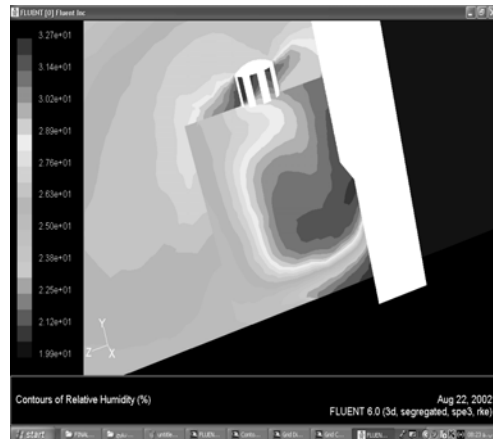
جهت دست یابی به رفتار جریان هوای عبوری از بادگیرها، هندسه بادگیر و ساختمان با استفاده از نقشه های



تصویر ۹- مدل سازی خانه رسولیان در نرم افزار



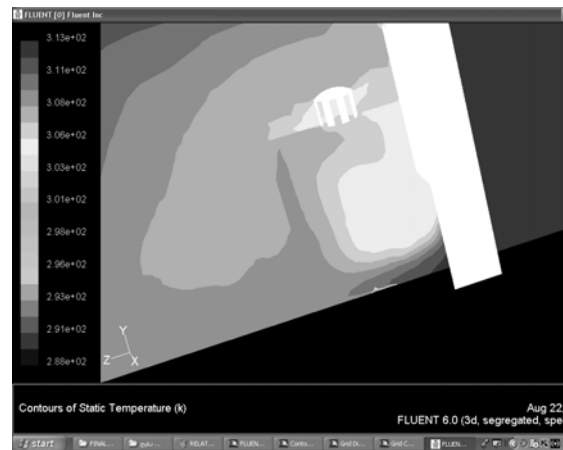
تصویر ۱۲- کانتور رطوبت نسبی در مقطع، مدل ۲  
(ماخذ: نگارنده)



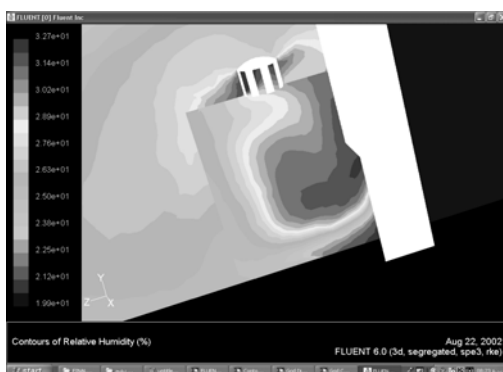
تصویر ۱۰- کانتور رطوبت نسبی در مقطع، مدل ۱  
(ماخذ: نگارنده)



تصویر ۱۳- کانتور دمای استاتیک در مقطع، مدل ۲  
(ماخذ: نگارنده)



تصویر ۱۱- کانتور دمای استاتیک در مقطع، مدل ۱  
(ماخذ: نگارنده)



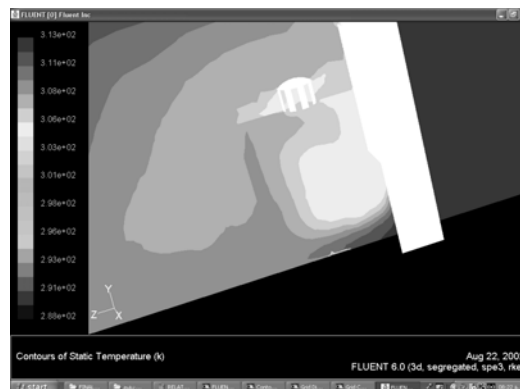
تصویر ۱۴- کانتور رطوبت نسبی در مقطع، مدل ۳  
(ماخذ: نگارنده)

برای تحلیل میدان جریان نیاز به اعمال شرایط مرزی در نرم افزار بوده است و شرایط مرزی اعم از سرعت جریان ورودی و فشار خروجی با توجه به عوامل زیر انتخاب شده است: وضعیت پراکندگی ساختمان های موجود، که طراحی UBC (Uniform building code) شرایط آب و هوایی منطقه یزد (از قبیل دما، رطوبت نسبی و سرعت باد).  
مرزهای ورودی و خروجی به اندازه کافی دور از ساختمانی در نظر گرفته شده اند تا اثرات یکنواختی جریان حفظ گردد.



سطح مقطع کوچک تر باشد سرعت جریان بیشتر می شود، لذا تفاوت در تیغه ها تفاوت در سرعت جریان را به دنبال خواهد داشت و از میان ۳ مدل، بادگیر با تیغه + شکل بهترین جواب را خواهد داد.

مدل ۳	مدل ۲	مدل ۱	پارامترهای موثر بر شرایط آسایش
۳۲/۲	۳۰/۸	۲۹/۳	افت دما از ۴۰ درجه
%۳۲/۹	%۳۴/۱۵	%۳۶/۷	افزایش رطوبت از ۱۷٪



تصویر ۱۵- کانتور دمای استاتیک در مقطع، مدل ۳  
(ماخذ: نگارنده)

### نتیجه گیری

در ۳ مدل منتخب، 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. در این سه مدل تنها تیغه های اصلی بادگیر ها متفاوت می باشد و بنابراین این نتیجه می تواند به دست آید که معماری و فرم تیغه بادگیرها در رفتار حرارتی آن نقش دارد. چون تیغه های اصلی تا مرکز برج ادامه می یابند و کانال بادگیر را به کانال های کوچک تر تقسیم می کنند، لذا در هنگام وزش باد، کانالی که رو به سمت وزش باد دارد و دریافت کننده باد است، اصطلاحاً بادخور نامیده می شود و کانال های دیگری که باد به سمت آن ها نمی وزد نقش بادخان را خواهند داشت و طبق اثر دودکشی (جا به جایی هوا در اثر همرفت) هوای گرم پایین را به بالای آن منتقل می کنند. با توجه به اثر برنولی که سرعت سیال با گذر از مقاطع جریان های مختلف، متفاوت عمل می کند و هر چه

### منابع

۱. محمودی، م. ۱۳۸۶. «بادگیر جذابیت سیما و منظر شهر یزد». فصلنامه باغ نظر. شماره ۵. ص ص ۹۷-۹۸.
2. Mahyari, A. 1996. "The wind catcher". Ph.D thises. Sydney University. Australia. P 57.
۳. محمودی، م. مفیدی، م. ۱۳۸۱. «تاثیر اقلیم بر کالبد بادگیرهای یزد و بندر لنگه»، مجموعه مقالات سومین همایش بهینه سازی مصرف سوخت. تهران. ص ۲۳۸.
4. Roaf, S. 1988. "The wind catcher of Yazd". Ph.D thesis, Department of architecture, Oxford polytechnic.
۵. محمودی، م. ۱۳۸۶. «شناخت تاثیر مشخصات کالبدی بادگیرها بر رفتار حرارتی». رساله دکتری معماری. دانشگاه علوم و تحقیقات. تهران. ص ۲۰۰.