تأثیر ارسی‌ها بر جریان هوا در فضای داخلی

مطالعه موردی: خانه زینت‌الملک شیراز*

علی عطروش[۱]، ریما فیاض[۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۹/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۲/۱۳

چکیده

پژوهش پیش‌رو با هدف بررسی عناصر کنترلی جریان سیال در فضاهای داخلی معماری سنتی ایران و به صورت خاص در شهر شیراز صورت گرفته است. عناصری مانند ارسی‌ها که در این معماری جایگاه ویژه‌ایی دارند، نقش مهمی را در کیفیت هوای داخل و آسایش حرارتی ایجاد می‌کنند. بررسی‌های صورت گرفته با کمک شبیه‌سازی رایانه‌ایی جریان سیال (CFD) در این پژوهش، این ادعا را ثابت می‌کند که گشایش بیشتر ارسی‌ها باعث جریان یافتن هوا در بخش بیشتری از اتاق می‌شود اما لزوماً با افزایش سرعت آن همراه نیست. برای بررسی دقیق‌تر این مورد، خانه زینت‌الملک شیراز را به عنوان نمونه موردی انتخاب و با توجه به جهت‌گیری ساختمان و سرعت و جهت باد غالب شیراز در تیرماه شبیه‌سازی را در شرایط توربیولنت انجام دادیم تا بتوان ارسی‌ها و ارتباط آن با فضاهای ارتباطی را به درستی در کنار دیگر عناصر فضایی موجود، مورد بررسی قرار داد. بررسی‌ها برای سه حالت متفاوت قرارگیری ارسی - باز، نیمه بسته، بسته - صورت پذیرفت و در تمامی آنها درهای اتاق را که منتهی به راهرو می‌شوند کاملاً باز فرض کردیم. سرعت جریان هوا در نقاط پرفشار برای هر سه حالت یکسان است. این در حالیست که هندسه جریان در هر وضعیت بسیار متفاوت است. ارسی‌های باز با هدایت مستقیم جریان از حیاط به بالای اتاق باعث حرکت و چرخش سیال در حجم قابل توجهی از اتاق شده، ارسی‌های نیمه بسته باعث ایجاد جریانی محدود در ارتفاع پایین اتاق اما با حجم جابجایی کمتر هوا نسبت به حالت قبل می‌شود و در حالت بسته حرکت و جابجایی هوا از طریق گوشواره‌های کنار اتاق تنها در بخش میانی اتاق صورت می‌گیرد. لذا با کنترل این عناصر، علاوه بر دستیابی به هندسه‌های متفاوت جریان، می‌توان میزان حجم هوای جابجا شونده در اتاق را نیز تغییر داد.

واژه‌های کلیدی

تهویه طبیعی، پنجره‌های ارسی، معماری سنتی، CFD.

۱. کارشناس ارشد انرژی و معماری، پردیس هنرهای زیبا، دانشگاه تهران

۲. دانشیار دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه هنر تهران

* این مقاله برگرفته از بخشی از پایان‌نامه کارشناسی ارشد انرژی و معماری آقای علی عطروش با عنوان "راهکارهای معماری سنتی ایران در اقلیم گرم و خشک با توجه به تهویه طبیعی" با راهنمایی دکتر شاهین حیدری و دکتر ریما فیاض، در دانشگاه تهران می‌باشد.

۱- مقدمه

آسایش حرارتی عاملی است که از دیرباز، ذهن معماران را به خود مشغول کرده است و هر گروه به روش خود توانسته‌اند پاسخی برای این نیاز بیابند. معماران در اقلیم گرم و خشک نیز از این قاعده مستثنی نبوده‌اند و به دنبال یافتن روشی مطلوب برای رفع این نیاز به راه حل‌های متفاوتی دست یافته‌اند. معمار سنتی با تعبیه حیاط مرکزی، بادگیر، گودال باغچه و دیگر عناصر معماری موفق به غلبه بر شرایط نامطلوب اقلیمی شده است. نبود تجهیزات پیشرفته حرارتی سبب شد تا با کمترین هزینه و مصرف انرژی به این مهم دست یابند. بسته به شرایط اقلیمی و منطقه‌ایی، معمار سنتی از ابزار متفاوتی بهره می‌جست. حیاط مرکزی به عنوان عنصر اصلی و سازمانده فضایی در کنار عناصر دیگری چون بادگیر، حوضخانه، اتاق‌های ارسی و ... ایفای نقش می‌کند. در این مقاله به بررسی جزیی‌تر و دقیق‌تر اتاق‌های ارسی و تاثیر عملکرد ارسی‌ها در هندسه جریان هوا در فضاهای داخلی و به صورت موردی در خانه زینت‌الملک شیراز می‌پردازیم.

افرادی که در فضاهای داخلی قرار می‌گیرند، با وجود در امان ماندن از گرمای انرژی تابشی خورشید، همچنان ممکن است با شرایط آسایش حرارتی فاصله زیادی داشته باشند. یکی از روش‌های نزدیک شدن به شرایط آسایش در اقلیم گرم و خشک، ایجاد تهویه طبیعی از طریق جریانات سیال هوا و باد در داخل فضا می‌باشد. این در حالی است که جریان هوا از یک طرف می‌تواند عاملی برای خنکی و ایجاد آسایش حرارتی باشد و از طرفی دیگر ممکن است عاملی مخربی برای آسایش حرارتی گردد. با توجه به ارزیابی آسایش حرارتی از طریق PMV، محدوده آسایش به عوامل متفاوتی از جمله: نرخ فعالیت، ضریب نارسایی لباس، دمای خشک، دمای متوسط، دمای تشعشعی، فشار بخار آب و سرعت جریان هوا بستگی دارد (Fanger, 1970). از میان این عوامل جریان هوا عاملی است که در ارتباط مستقیم با عناصر معماری و طراحی بنا می‌باشد. کنترل این عامل می‌تواند راهکاری برای نزدیک شدن به شرایط آسایش حرارتی و کاهش نرخ نارضایتی حرارتی باشد.

۲- طرح مسئله

کیفیت جریان هوا و شدت آن در فضاهای داخلی مسئله‌ایی است که علاوه بر شرایط جوی و اقلیمی منطقه به هندسه عناصر معماری و کارکرد آنها نیز بستگی دارد. بازشوهای داخلی، گوشواره‌ها و درهای درون راهروها در کنار بازشوهای خارجی مانند پنجره‌ها و ارسی‌ها مجموعه‌ایی کامل از عناصری را تشکیل می‌دهند که در مدیریت و کنترل هوای داخلی فضاهای معماری سنتی نقش ایفا می‌کنند.

در این بین ارسی‌ها به عنوان یکی از اعضای شاخص معماری گرم و خشک در شیراز، مطمئناً دارای نقش و جایگاه خاصی در این مجموعه هستند. مطالعه ارسی‌ها در خانه زینت‌الملک با این فرض صورت گرفته است که با تغییر در میزان گشودگی درها و بازشوهای درونی راهروها می‌توان سرعت و جریان هوای داخلی را کنترل کرد به نحوی که شرایط آسایش حرارتی در داخل ایجاد شود. با توجه به استاندارد ایزو ۷۷۳۰ یکی از عوامل موثر بر آسایش حرارتی سرعت جریان هوا است. سرعت هوا بر حجم هوای ورودی به اتاق نیز تاثیر خواهد گذاشت چرا که علاوه بر تعداد دفعات تعویض هوا، تغییر سرعت جریان می‌تواند نقش مهمی در رسیدن به شرایط آسایش حرارتی داشته باشد.

۳- مطالعات پیشین

تا امروز مطالعات بسیاری در مورد جریان هوا و تهویه فضاهای داخلی، حیاط‌های مرکزی و دیگر عناصر معماری در اقلیم گرم و خشک صورت گرفته است. بیشتر این پژوهش‌ها با تمرکز بر روی عناصری چون بادگیر و حیاط مرکزی صورت گرفته است. پژوهشگران بسیاری مانند فانتین(Fountain M. E., 1994) ، ژنگ (Zhang, 2005)، آرنز (Arens, 1998) و دیگران در تحقیقات خود به این نتیجه رسیده‌اند که جریان هوا تاثیر قابل توجهی در رسیدن به آسایش حرارتی یا عدم آسایش حرارتی دارد. الحمیدی و السعود (Al-Hemiddi, 2001) ثابت می‌کنند که ترکیب حیاط مرکزی با تهویه عرضی به صورتی که پنجره‌های داخلی و خارجی به صورت متناوب در دوره‌های شبانه و روزانه باز و بسته شوند، نقش قابل توجهی در خنک کردن فضای داخل و در نتیجه‌ی آن کاهش مصرف انرژی خواهند داشت. به علاوه استفاده از استخر، چادرهای با قابلیت باز و بسته شدن و اسپری آب سبب تاثیر خنک کنندگی در تابستان می‌شود. شاشائوبار و همکاران (Shashua-Bar, 2009) برای افزایش آسایش حرارتی در فضای حیاط استفاده از درختان را پیشنهاد می‌دهد. همچنین در ایران، تحقیقات جامعی در زمینه تهویه طبیعی در معماری سنتی گرم و خشک صورت گرفته است (بهادری‌نژاد، ۱۳۸۵)، اما این محققان همچون موارد دیگر به تمرکز بر عملکرد حیاط مرکزی، بادگیرها و سقف‌های گنبدی در معماری سنتی پرداخته‌اند. همچنین مطالعاتی پیرامون محدوده آسایش

حرارتی در اقلیم گرم و خشک با توجه به شدت جریان هوا به صورت میدانی صورت گرفته است (حیدری، ۱۳۹۱)، که دمای ۳۲/۵ درجه سانتیگراد را به عنوان نقطه مرزی قابل قبول در این اقلیم معرفی می‌کند.

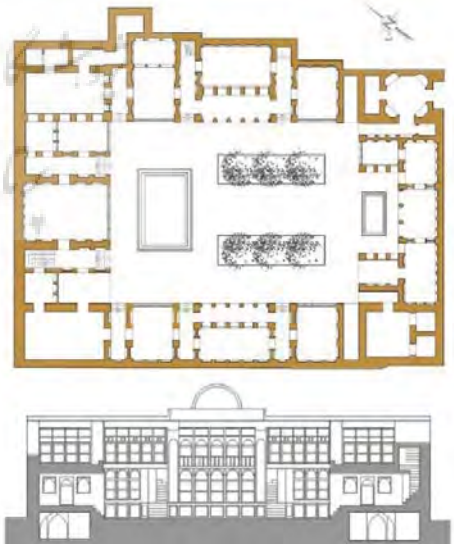
همانطور که پیشتر نیز بیان شد، تمرکز مطالعات صورت گرفته بیشتر بر روی عناصر شاخصی چون بادگیر و حیاط مرکزی است که در گستره جغرافیایی بزرگتری مورد استفاده قرار می‌گرفته‌اند و تاکنون مطالعات خاصی بر روی عناصر کوچک‌تری چون ارسی‌ها صورت نگرفته است.

۴- روش شناسی

در مطالعه حاضر از روش شبیه‌سازی رایانه‌ای جریان سیال توسط نرم‌افزار کامسل[۱] استفاده شده است. این نرم‌افزار به دلیل استفاده از روش المان محدود برای رسیدن به همگرایی، خطای کمتری نسبت به نرم‌افزارهای حجم محدود مانند فلوئنت[۲] دارد. چگونگی برتری روش المان محدود به حجم محدود، نیاز به تفصیل بسیار دارد که با توجه به اهداف این پژوهش از بیان آن پرهیز می‌شود. به صورت کلی این نرم‌افزار علاوه براستفاده از روش المان محدود که خطای آن در رسیدن به ایزوتروپی و پاسخ نهایی کمتر از نرم افزارهای روش حجم محدود می‌باشد؛ برتری‌های دیگری نیز دارد، از جمله مش‌بندی آن که برخلاف دیگر نرم‌افزارهای تحلیلی وابسته به نرم‌افزار مش‌بندی دیگری همچون گمبیت[۳] نیست و نتایج حاصل از مش‌بندی انجام شده توسط خود را تحلیل می‌کند. شرایط مرزی شبیه‌سازی در این پژوهش، لایه‌های توربیولنت هوایی است (Kuzmin, 2007) و برای سایر عوامل شرایط مرزی نیز از پژوهش‌های مشابه مانند (Schijndel, 2012) استفاده شده است. لازم به ذکر است که این نرم‌افزار دارای نتایج اثبات شده می‌باشد و مورد استفاده بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته است (Briggen, 2009).

۵- شبیه‌سازی

از آنجایی که خانه‌های با حیاط مرکزی و اتاق‌های ارسی از اصلی‌ترین گروه‌های خانه‌های سنتی در شیراز هستند (معماریان، ۱۳۸۵)، منزل زینت‌الملک به عنوان نمونه موردی از این گروه انتخاب شده است. خانه زینت‌الملک مربوط به دوره قاجار و در ضلع غربی باغ نارنجستان قوام واقع شده است. همانطور که در شکل ۱ پلان و نمای شمالی این خانه مشاهده می‌شود، حیاط مرکزی دارای دو حوض کوچک و بزرگ است و دو باغچه در طرفین حیاط قرار دارد. اندرونی خانه زینت‌الملک شامل ساختمان‌های شمالی و جنوبی و دو رشته ساختمان قرینه در شرق و غرب می‌باشد. ساختمان اصلی در شمال بنا واقع شده است و دارای یک تالار (شکل ۲)، اتاقی پنج‌دری به همراه درهای ارسی منبت کاری است. بناهای شرقی و غربی قرینه یکدیگر هستند و بنای جنوبی شامل یک ایوان در وسط و دو اتاق در طرفین است.

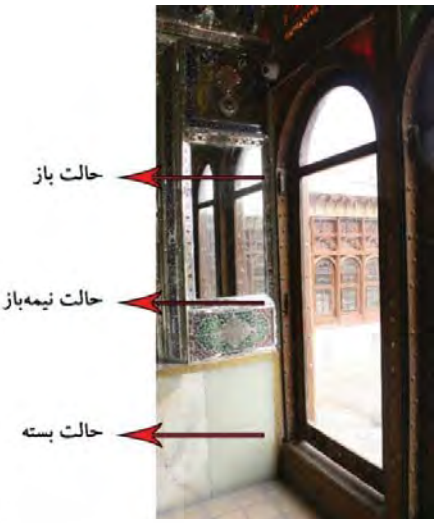


شکل ۱: پلان و نمای شمالی خانه زینت‌الملک

شکل ۲: تصویری از تالار اصلی (اتاق ارسی)

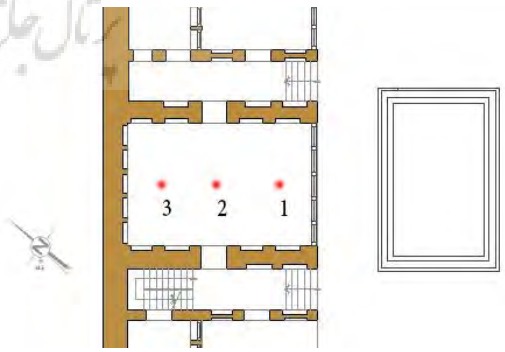
در پژوهش پیش‌رو برای نزدیکی بیشتر به شرایط موجود، کل بنا (عمارت‌های شرقی و غربی و جنوبی)، حیاط مرکزی و درختان به صورت سه‌بعدی شبیه‌سازی شده‌اند. سرعت جریان هوا بر اساس گلباد ایستگاه هواشناسی

سینوپتیک شیراز و به صورت بلند مدت سالانه، برابر با سه و نیم متر بر ثانیه در نظر گرفته شده است. نمونه مورد مطالعه با جهت‌گیری باد غالب شهر شیراز همسو می‌باشد.



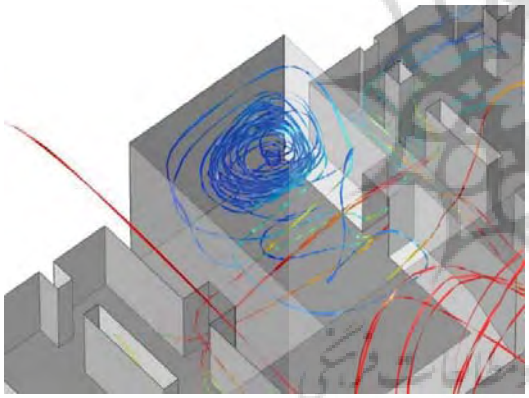
شکل ۳: ارسی و حالات مختلف قرارگیری

همانطور که در تصویر ۳ مشاهده می‌شود، ارسی‌ها در سه حالت باز، نیمه باز و بسته قرار می‌گیرند. وجود دستک‌هایی در نیمه‌ی میانی چهارچوب ارسی، حاکی از آن است که ارسی‌ها در حالت نیمه باز ثابت می‌شدند و به نظر می‌رسد این امر با هدف کنترل جریان هوای داخل اتاق ارسی باشد. برای بررسی بهتر و دقیق‌تر جریان هوا در داخل اتاق، سه نقطه هم ارتفاع در نزدیکی پنجره، میانه اتاق و در انتهای اتاق انتخاب شدند (شکل ۴). تفاوت جریان در این ۳ نقطه به خوبی می‌تواند مبین تفاوت‌های جریان در حالات مختلف جریان باشد.

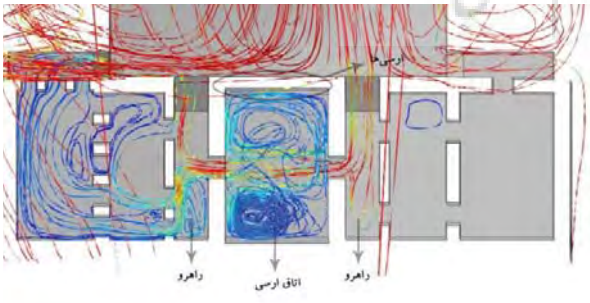


شکل۴: نقاط فرضی در اتاق ارسی

نخست به بررسی شرایطی می‌پردازیم که ارسی‌ها بسته و راه ورود جریان مستقیم به داخل اتاق اصلی مسدود باشد. در این حالت جریان تنها از طریق درهای اتاق که به راهرو متصل هستند وارد تالار می‌شود. تصویر ۵ هندسه جریان را به صورت سه بعدی و تصویر ۶ مسیر حرکت را در پلان نشان می‌دهد. سرعت جریان در این شرایط تمرکز بیشتری در فضای میانی اتاق و بین ورودی‌های اتاق در ارتفاع پایین دارد، اما در کنار جداره‌ها تقریبا جریانی برقرار نیست.مدخل‌های اصلی در دو سمت اتاق موجب تشکیل دو حلقه ضعیف جریان در محور افقی فضا می‌شود. تصویر ۷ که برش طولی اتاق مذکور است به صورت واضح‌تری این موضوع را بیان و اثبات می‌کند. از آنجا که هندسه حرکت سیال مستقل از سرعت آن است و سرعت هر قسمت از سیال ارتباط مستقیمی با سرعت اولیه آن دارد، می‌توان گفت در شرایطی که ارسی‌ها کاملا بسته هستند اگر سرعت باد مناسب باشد، نرخ تهویه مناسبی در اتاق وجود دارد با این مزیت که با کمک جرم حرارتی راهروها و بخش همیشه در سایه ساختمان، که در حکم دالان حرکتی جریان هستند، بخشی از بار حرارتی جریان تلطیف شده و سپس جریان هوا به درون اتاق هدایت می‌شود.



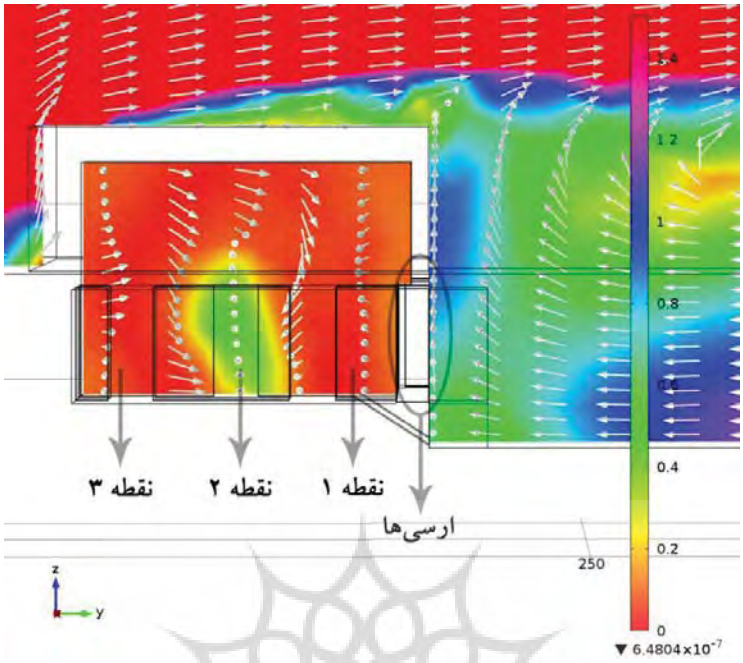
شکل ۵: هندسه جریان هوا به صورت سه بعدی در حالت بسته بودن کامل ارسی‌ها



شکل ۶: پلان هندسه جریان در حالت بسته بودن کامل ارسی‌ها

با بررسی نقاط فرضی در اتاق ارسی می‌توان دریافت دقیق‌تری از جریان سیال داخل اتاق بدست آورد. همانطور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، نقطه یک و سه دارای

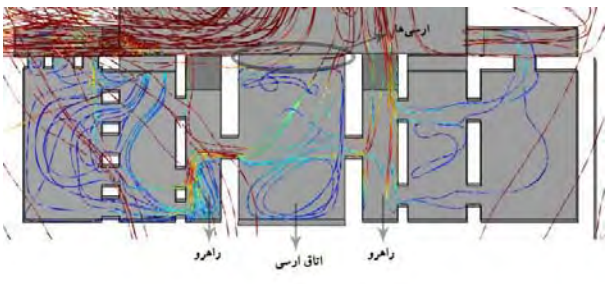
سرعت بسیار کمتری نسبت به نقطه دو هستند. بیشینه سرعت در این حالت در محدوده نقطه‌ی دوم صورت می‌گیرد و مقدار آن در حدود ۰.۵ متر بر ثانیه است.



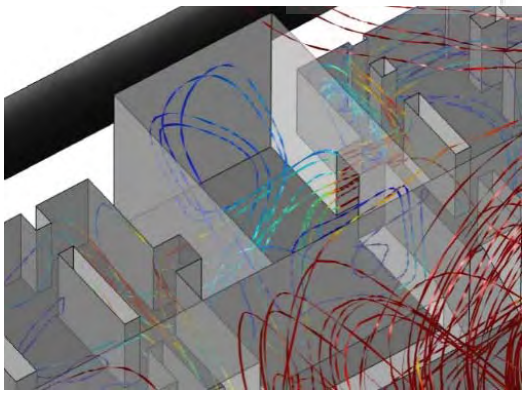
شکل ۷: برش طولی اتاق اصلی درحالتی که ارسی‌ها بسته هستند.

در گام بعدی شبیه‌سازی، حالتی را فرض می‌کنیم که ارسی‌ها به صورت نیمه باز قرار گرفته باشند. در این حالت با گشایش دهانه ورودی هوا به داخل اتاق نسبت به حالات قبلی، انتظار می‌رود جریان هوا در درون اتاق تغییر چشم‌گیری کند. شکل ۸ به صورت سه بعدی این تغییرات را در هندسه جریان نشان می‌دهد. جریان هوا پس از عبور از روی حوض اصلی در حیاط از طریق ارسی‌ها وارد اتاق اصلی می‌شود.

در تصویر ۹ دیده می‌شود بر خلاف حالت نخست که جریان در یک دالان مشخص حرکت می‌کرد، جریان این بار به صورت مستقیم پس از دریافت بار برودتی حوض و فواره وارد اتاق شده و در ارتفاع حدوداً یک متری کف اتاق حرکت می‌کند. سپس از طریق درهای واقع در طرفین تالار از اتاق خارج می‌شود. این امر سبب می‌شود تا هوایی که دارای بار برودتی قابل توجهی است در ارتفاع نشستن ساکنین و در نیمه جنوبی سطح اتاق (قسمت نزدیک به ارسی‌ها) جریان یابد. تصویر ۱۰ هندسه حرکت را به صورت شماتیک نشان می‌دهد.

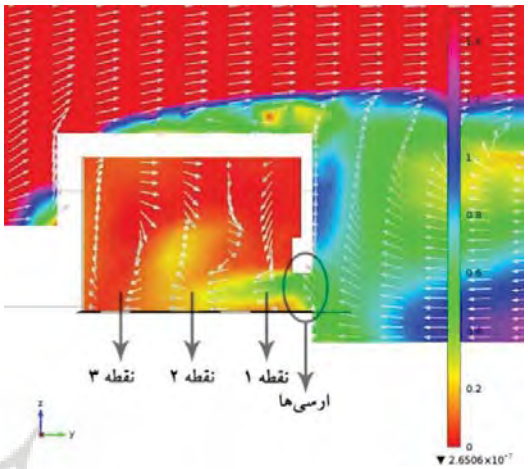


شکل ۹: پلان هندسه جریا ن درحالت نیمه باز ارسی‌ها



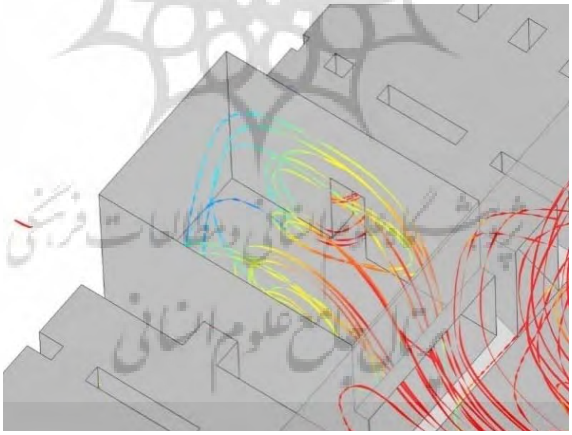
شکل ۸: هندسه جریان هوا به صورت سه بعدی در حالت ارسی‌های نیمه باز

در این حالت بیشینه سرعت در حدود ۰.۵ متر بر ثانیه بوده و در محدوده‌ی نقطه‌ی ۱ اتفاق می‌افتد. هرچه به انتهای اتاق نزدیک شویم از سرعت جریان کاسته شده و در نتیجه نقطه سوم همچنان دارای کمترین نرخ جابجایی هوا خواهد بود.

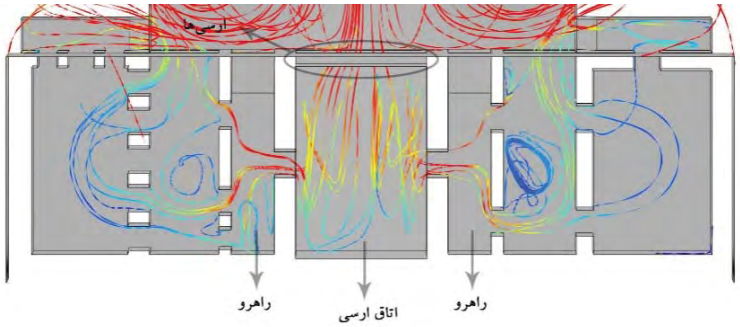


شکل ۱۰: برش طولی اتاق اصلی در حالتی که ارسی‌ها نیمه باز هستند.

در نهایت با باز کردن کامل ارسی‌ها به صورت تقریبی نیمی از جبهه بیرونی اتاق در ارتباط مستقیم با جریان هوای حاکم بر حیاط مرکزی قرار می‌گیرد. در تصویر ۱۱ مشاهده می‌شودکه با باز بودن کامل ارسی‌ها جریان عبور کرده از حیاط وارد اتاق ارسی می‌شود. این جریان به سمت بالای اتاق حرکت کرده و در نزدیکی سقف چرخش کاملی را در کل فضای اتاق تکمیل می‌کند. پس از این چرخش جریان از طریق دو مدخلی که در دو سمت اتاق قرار دارد خارج می‌شود و با عبور از راهروها به اتاق مجاور وارد می‌شود. تصویر ۱۲ این حرکت را در پلان به وضوح نشان می‌دهد. نکته جالب در این حالت ایجاد چرخش کامل هوا در کل فضای داخلی اتاق است. این امر سبب می‌شود هوای عبور کرده از روی حوض که دارای بار برودتی مناسبی است با جداره‌های داخلی اتاق در تماس باشد و پس از آن هوای داخل اتاق را تعویض کند. در تصویر ۱۳ برش طولی اتاق ارسی به همراه هندسه و جهت جریان هوا دیده می‌شود. ضمناً جریان هوای خنک شده توسط حوض پس از ورود اثر بیشتری بر کاهش بار حرارتی کل اتاق دارد. جریانی که در نزدیکی سطح زندگی ساکنین قرار می‌گیرد، با سرعت قابل قبول و بار برودتی کمتر نسبت به جریان سیال در ابتدا، باعث می‌شود شرایط آسایش حرارتی به میزان بیشتری برای ساکنین تأمین شود.

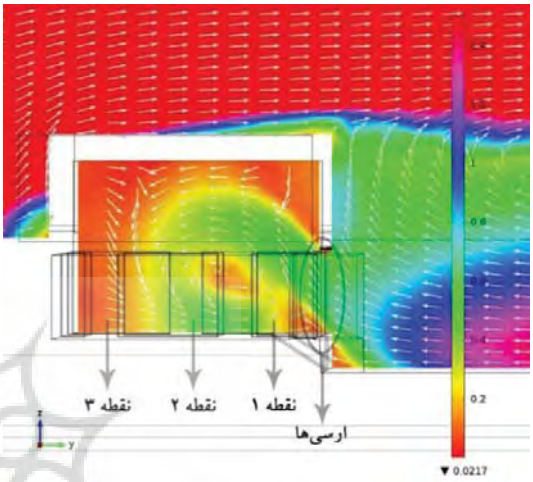


شکل ۱۱: هندسه جریان هوا به صورت سه بعدی در حالت باز بودن کامل ارسی‌ها



شکل ۱۲: پلان هندسه جریان هوا در حالت باز بودن کامل ارسی‌ها

در این حالت سرعت جریان در نقاط مفروض شباهت زیادی به حالت نخست دارد، اما تفاوت اصلی، جریان قابل توجهی است که در بخش میانی اتاق اتفاق میفتد. بیشینه سرعت در این شرایط در محدوده نقطه ۲ و در ارتفاع بالاتری از نقطه‌ی ۱ است و مقدار آن نزدیک به ۰.۵ متر بر ثانیه است. این سرعت بیشینه در بخش بیشتری از اتاق نسبت به حالات قبل دیده می‌شود.



شکل ۱۳: برش طولی اتاق اصلی در حالتی که ارسی‌ها کاملا باز است.

۱۰- نتیجه‌گیری

در این مقاله با هدف بررسی تاثیر عناصر ساختمان بر جریان هوای داخلی و تهویه طبیعی به مطالعه ارسی‌ها (بازشوهای معماری سنتی شیراز) پرداختیم. ارسی‌ها با قرار گرفتن در حالات مختلف می‌توانند جریان هوای داخل اتاق را دچار تغییراتی کنند.معمار سنتی از طریق درک شهودی خود توانسته بود با این ابزار ساده به ساکنین ساختمان این انتخاب را بدهد که با توجه به شرایط جوی و سرعت باد شرایط فضای داخل را تغییر دهند. عملکرد این عنصر در کنار دیگر عناصر معماری مانند حیاط مرکزی، گوشواره‌ها و حوض تکمیل می‌شود. حالات مختلف قرارگیری ارسی‌ها بیشترین تاثیر را بر هندسه جریان و سرعت جریان در نقاط مختلف اتاق اصلی دارند.

از جمله موارد قابل بحث در این نتایج می‌توان به اختلاف دبی ورودی هوا در حالات مختلف اشاره کرد. این امر باعث افزایش تعداد دفعات تعویض هوا در واحد زمان می‌شود و در نتیجه یکی دیگر از عوامل تاثیرگذار بر کیفیت هوای فضای داخل تغییر می‌نماید. در واقع با تغییر هندسه و میزان گشودگی ارسی‌ها، می‌توان با ثابت بودن سرعت بیشینه جریان، به تعداد دفعات متفاوت تعویض هوا در واحد زمان دست یافت.

علاوه بر این با توجه به این مطلب که باز بودن کامل ارسی‌ها سبب می‌شود تا جریان قابل توجهی در دو ارتفاع متفاوت از اتاق شکل بگیرد، می‌توان به این نتیجه رسید که در این شرایط علاوه بر استفاده از جریان هوا برای تهویه و تعویض هوا، از آن به عنوان یکی از عوامل افزایش آسایش حرارتی در اتاق استفاده شده است. به نحوی که ارتفاع پایین اتاق که محل استفاده ساکنین بوده در مسیر جریان قابل توجهی قرار دارد. همچنین تماس این جریان با جداره‌ها و سقف اتاق سبب می‌شود بار برودتی جریان تا حدی به جداره‌ها منتقل شود. این در حالی است که در وضعیت نیمه باز، بیشینه سرعت را در دهانه ارسی‌ها داریم و در کل شاهد جریان با سرعت چشم‌گیری در جای دیگری از فضای اتاق نیستیم. می‌توان از این شرایط برای ایام کمتر گرم سال استفاده کرد، چرا که نسبت به شرایط نخست دبی هوای ورودی به اتاق بسیار کاهش یافته و در نتیجه آن از تعداد دفعات تعویض هوا کاسته شده است. در نهایت با بستن ارسی‌ها سرعت جریان در میانه اتاق با بیشینه سرعت جریان می‌یابد و در ابتدا و انتهای اتاق جریان قابل توجهی پدید نمی‌آید. این جریان که از فیلتر راهروها به جای حوض عبور کرده است دارای بار برودتی متفاوتی نسبت به حالات قبل است. در این شرایط می‌توان تمرکز تهویه طبیعی را بر تعویض هوای داخلی اتاق دانست؛ بر خلاف حالات قبلی که علاوه بر تهویه طبیعی بخش از جریان صرف کاهش بار برودتی جداره‌های داخلی و تماس با ساکنین داخل فضا می‌شد.

از دیگر نتایج به دست آمده از این تحقیق می‌توان به این امر اشاره کرد که با تغییر میزان گشایش ارسی‌ها، تغییری در بیشینه سرعت جریان در فضای داخلی حاصل نمی‌شود اما هندسه جریان در این شرایط دست خوش تغییراتی می‌شود. ثابت بودن بیشینه سرعت در حالات مختلف می‌تواند بیانگر این مطلب باشد که سرعت جریان هوا در تهویه طبیعی از طریق بازشوهای خارجی عاملی مستقل از هندسه و گشودگی این بازشوها می‌باشد.

پی‌نوشت

1. Comsol Multi Physics
2. Fluent
3. Gambit
4.

فهرست منابع

- Al-Hemiddi NA, Al-Saud KAM, (2001), The Effect of a Ventilated Interior Courtyard on the Thermal Performance of a House in Hot-Arid Region, Renewable Energy, Issues 3-4, Vol. 24, pp. 581-595.
- Arens E., Xu T. and Miura K., (1998), A Study of Occupant Cooling by Personally Control Air Movement, Building and Energy, Issue 1, Vol. 27, pp. 45-59.
- Briggen PM, Blocken BJE and Schellen HL, (2009), Wind-Driven Rain on the Façade of a Monumental Tower: Numerical Simulation, Full Scale Validation and Sensitivity Analysis, Building and Environment, Vol. 44, pp. 1675-1690.
- Fanger PO, (1970), Thermal Comfort, Danish Technical Press, Copenhagen.
- Fountain ME, Arens E., de Dear R, Bauman F. and Miura K., (1994), Locally Controlled Air Movement Preferred in Warm Isothermal Environments, Ashrae Transactions, Vol. 100, part 2, pp. 937-952.
- Iso 7730, (2006), Ergonomics of the Thermal Environment Analytical Determination and Interpretation of Thermal Comfort Using Calculation of the PMV and PPD Indices and Local Thermal Comfort Criteria.
- Kuzmin D., Mierka O. and Turek S., (2007), On the Implementation of the k-ε Turbulence Model in Incompressible Flow Solvers Based on Finite Element Discretization, International Journal of Computing Science and Mathematics, Nos. 2-4, Vol. 1, pp. 193-206.
- Schijndel Van, (2012), 3D Modeling of Urban Areas for Built Environment CFD Applications Using Comsol, Eindhoven University of Technology.
- Shashua-Bar L., Pearlmutter D. and Erell E., (2009), Microscale Vegetation Effects on Outdoor Thermal Comfort in a Hot-Arid Environment, The Seventh International Conference on Urban Climate, Yokohama, Japan.
- Zhang H., Arens E. and Abbaszade S., (2007), Air Movement Preferences Observed in Official Buildings, Report of Center for Built Environment, Issue 5, Vol. 51, pp. 349-360.

- بهادری‌نژاد، شاهین؛ یعقوبی، محمود (۱۳۸۵)، تهویه و سرمایش طبیعی در ساختمان‌های سنتی ایران، مرکز نشر دانشگاهی، تهران.
- حیدری، شاهین (۱۳۹۱)، برهم‌کنش جریان هوا، دما و راحتی در فضای باز شهری ، نشریه هنرهای زیبا، معماری و شهرسازی، دوره ۱۷، شماره ۲، تهران.
- معماریان، غلامحسین (۱۳۸۵)، آشنایی با معماری مسکونی ایران – گونه شناسی درون‌گرا، نشر سروش دانش، تهران.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی