



تأثیر الگوهای خoon چینی بر روی انتقال حرارت جداره‌های پیرامونی بناهای اقلیم گرم و خشک

سوشیانت عابدی¹، هستی بیک‌پور² و یوسف گرجی مهربانی^{3*}

تاریخ دریافت: 1402/12/23

تاریخ پذیرش: 1403/08/17

(صفحات 139-152)

چکیده

مقدمه: یکی از روش‌های کاهش مصرف انرژی در اقلیم‌های گرم استفاده از راهکارهای سرمایش غیر فعال است تا بار سرمایشی ساختمان را کاهش دهد. استفاده از فرم و تزئینات ساختمان برای سایه‌اندازی از راهکارهای سنتی در معماری ایران بوده است. یکی از انواع این تزئینات، "خون چینی" است که در معماری بومی خوزستان رایج بوده است. این پژوهش به بررسی تأثیر الگوهای مختلف خون چینی بر انتقال حرارت و میزان تفاوت دمای سطح خارجی و داخلی جداره پیرامونی ساختمان نسبت به حالت بدون تزئینات می‌پردازد.

روش تحقیق: در این پژوهش، 65 نوع الگوی چینش خون چینی بر اساس پژوهش‌های پیشین در نظر گرفته شده و با استفاده از نرم‌افزار راینو-گرس‌هاپر مدل‌سازی آنها انجام شده است. به منظور شبیه‌سازی تأثیر این الگوها بر دمای سطح داخلی و خارجی دیوارها در طول یک سال در شهر اهواز، از پلاگین هانی‌بی استفاده شده است سپس نتایج به‌دست آمده به کمک زبان برنامه نویسی پایتون پردازش شده و نمودارهای مقایسه‌ای استخراج و تحلیل شده است.

نتایج و بحث: نتایج شبیه‌سازی نشان داد که تمامی الگوهای خون چینی تأثیر مثبتی بر کاهش دمای سطح داخلی و خارجی دیوارها دارند، اما برخی از الگوها عملکرد بهتری نسبت به دیگر الگوها داشته و بهترین الگو می‌تواند به طور میانگین در طول سال دمای سطح خارجی دیوار را به میزان 3 درجه سانتی‌گراد و دمای سطح داخلی دیوار را به میزان 1.7 درجه سانتی‌گراد نسبت به دیوار بدون خون چینی کاهش دهد.

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج این تحقیق، الگوهای خون چینی به عنوان یک راهکار غیر فعال می‌توانند در طراحی نماهای ساختمان‌ها در اقلیم‌های گرم و خشک به کاهش بار سرمایشی کمک کنند. این الگوها نه تنها در بهبود عملکرد انرژی ساختمان‌ها مؤثرند، بلکه از جنبه زیبایی‌شناسی نیز نمایانگر هویت معماری سنتی ایران است.

واژگان کلیدی: خون چینی، آجر چینی، انتقال حرارت، طراحی اقلیمی، رفتار حرارتی.

¹ کارشناسی ارشد معماری و انرژی، دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.

² کارشناسی ارشد معماری و انرژی، دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.

³ استاد معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران. (نویسنده مسئول) Gorji@arc.ikiu.ac.ir

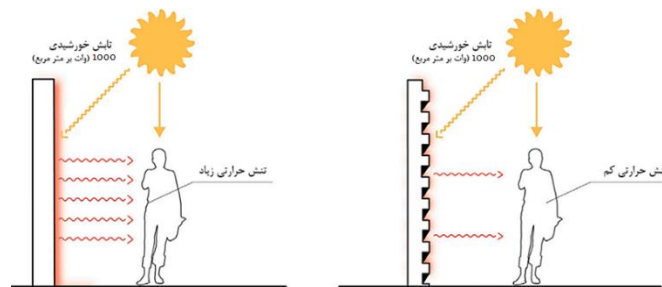
1- مقدمه

با توجه به تغییرات اقلیمی و بحران‌های زیست‌محیطی، طراحی‌های معماری و روش‌های غیر فعال که می‌تواند به کاهش مصرف انرژی کمک کنند اهمیت ویژه‌ای پیدا کرده است (Nguyen et al., 2019). نماها از عوامل مؤثر در مصرف انرژی ساختمان‌هاست و نقش مهمی در تبادل حرارتی میان فضای داخلی و محیط خارجی دارند به‌طوری‌که گرما با همرفت و رسانایی از محیط به دیوارها منتقل و خورشید از طریق تابشی باعث افزایش دمای نمای ساختمان می‌شود (Lam & Goodsall, 1994; Li & Lok, 2000; Planas et al., 2018). معماری ایران با سابقه طولانی و تنوع اقلیمی خود، همواره در تلاش برای پاسخ‌گویی به نیازهای اقلیمی با راهکارهای بومی بوده و از روش‌های سایه‌اندازی برای کنترل تابش خورشید و کاهش مصرف انرژی (تا 15 درصد) استفاده کرده است (Alibaba & Minangi, 2019; Masoudinejad et al., 2021; Yaglou, 1972). تجارب انسانی در فضاهای داخلی، حاصل ترکیب عوامل حسی، شناختی و هیجانی است که بر کیفیت تعامل و راحتی کاربران در محیط‌های ساخته شده تأثیر می‌گذارد (Payedar Ardekani et al., 2024). از روش‌های سایه‌اندازی می‌توان به کالبد و بدنه ساختمان مانند حیاط مرکزی، در عناصر الحاقی چون شناسیل و تزئیناتی همانند شباک اشاره کرد. یکی دیگر از این روش‌ها "خوون‌چینی" است که به ویژه در مناطق گرم‌وخشک به کار می‌رود و علاوه بر جنبه‌های هنری و زیبایی‌شناختی، دارای تأثیرات اقلیمی نیز است و دمای سطح دیوارها را کاهش داده و به بهینه‌سازی شرایط حرارتی در ساختمان کمک می‌کند (Taban et al., 2012; Dehar et al., 2019). با این حال، پژوهش‌های محدودی به بررسی جامع و دقیق تأثیر انواع الگوهای خوون‌چینی بر بهبود عملکرد حرارتی دیوارها در اقلیم‌های گرم‌وخشک و مقایسه آنها پرداخته است. با توجه به شکاف پژوهشی موجود، هدف اصلی پژوهش حاضر بررسی تأثیر انواع الگوهای خوون‌چینی بر دمای داخلی و خارجی سطح دیوار و مقایسه عملکرد آنها با یکدیگر و شناسایی کارآمدترین الگوها جهت کاهش دماست.

1-1- مروری بر پیشینه پژوهشی

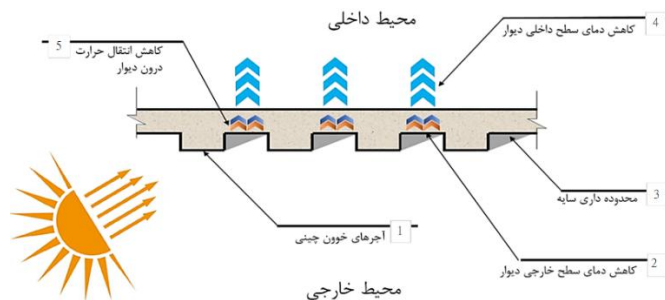
تحقیقات موجود در زمینه تزئینات آجری برجسته مانند "خوون‌چینی" بیشتر بر جنبه‌های هنری و زیبایی‌شناسی متمرکز بود و تأثیرات آنها در بهبود شرایط حرارتی و کاهش مصرف انرژی کمتر بررسی شده است. در حالی که این تکنیک در معماری سنتی ایران به ویژه در اقلیم‌های گرم‌وخشک برای کنترل تابش خورشید به کار رفته است، تاکنون تنها چهار پژوهش فارسی به بررسی تزئینات آجری برجسته نما به روش خوون‌چینی از نقطه نظر حرارتی پرداخته‌اند. تابان و همکاران (1391)، در پژوهشی به بررسی تأثیر الگوهای خوون‌چینی در بافت قدیم دزفول بر تعدیل شرایط اقلیمی پرداختند. آنها با مطالعه جهت‌گیری معابر و انتخاب زوایای مختلف (15، 35 و 55 درجه)، میزان سایه ایجاد شده توسط خوون‌چینی را ارزیابی کرده‌اند. نتایج نشان داد که در دیوارهای با خوون‌چینی، میزان سایه تا 4.5 برابر بیشتر از سطوح بدون خوون‌چینی است، که به نقش اقلیمی این الگوها در کنار جنبه‌های زیباشناختی آنها اشاره دارد. در پژوهش ده‌ار و همکاران (1398)، اثر خوون‌چینی بر انتقال حرارت از نمای جنوبی در تابستان در اقلیم خوزستان بررسی شد. از این رو، دو اتاقک مشابه با دیوارهای آجری با جهت‌گیری جنوبی ساخته شدند که در یکی از اتاقک‌ها خوون‌چینی برجسته و در دیگری بدون برجستگی اجرا شد. نتایج نشان داد که خوون‌چینی برجسته موجب کاهش 0.8 درجه سانتی‌گراد دمای روزانه اتاقک آزمایشی نسبت به اتاقک بدون خوون‌چینی شد. ده‌ار و همکاران (1400)، دمای دیوار با نمای خوون‌چینی را در فصل زمستان نیز مورد بررسی قرار دادند. هدف پژوهش، مقایسه تغییرات دمای سطح داخلی دیوار با و بدون تزئینات خوون‌چینی در تابستان و زمستان بود. نتایج نشان داد که خوون‌چینی در هر دو فصل موجب تعدیل و کاهش نوسان دمای سطح داخلی دیوار می‌شود. اتفاقی که در نمای جنوبی آن از خوون‌چینی استفاده شده، در تابستان خنک‌تر و در زمستان گرم‌تر بود. این تأثیرات به دلیل سایه‌اندازی بیشتر خوون‌چینی در تابستان و کاهش تابش معکوس

تابش خورشیدی را جذب و ذخیره کرده و دوباره تابش می‌دهند (شکل 1). نتایج آن‌ها نشان داد که این مدل موجب کاهش جذب خورشیدی و بهبود شرایط حرارتی برای عابران پیاده در خیابان‌های شهری می‌شود. در پژوهشی دیگر شهدا² (2020)، در جهت بهبود عملکرد محیطی در ساختمان‌های کویری، به بررسی تأثیر نمای خود سایه‌انداز بر کاهش بار سرمایشی ساختمان در هر چهار جهت پرداخته است (شکل 2). این پژوهش ابتدا به تجزیه و تحلیل اصول سایه‌اندازی در طبیعت و مبنای انتقال حرارتی پرداخته و سپس ایده‌ای برای خودسایه‌سازی دیوارها با کمترین هزینه و مواد مقرون به صرفه در کشورهای در حال توسعه ارائه داده است. سه الگوی متفاوت (ردیف‌های بیرون‌زده عمودی، افقی و شطرنجی) برای دیوارهای خود سایه‌انداز معرفی شدند (جدول 1). نتایج نشان داد که تمام الگوها تابش خورشیدی را نسبت به دیوار صاف کاهش دادند و الگوی ردیف‌های افقی در تمامی جهات جنوبی، شرقی و غربی بهترین عملکرد را داشت.



شکل 1- سطوح صاف دیوارهای شهری که مستقیماً در معرض نور خورشید هستند، تمایل به تابش گرما دارند و در نتیجه تنش حرارتی را برای ساکنان شهر ایجاد می‌کنند. کاهش قرار گرفتن چنین نماهایی در معرض تشعشعات خورشیدی به عنوان مثال، از طریق اثرات خودسایه اندازی، می‌تواند به کاهش گرما و در نتیجه بهبود آب و هوای محیط برای ساکنان کمک کند (Fleckenstein et al., 2022)

Fig. 1-Smooth surfaces of urban walls directly exposed to sunlight tend to radiate heat, consequently creating thermal stress for city residents. Reducing the exposure of such facades to solar radiation, for instance, through self-shading effects, can contribute to heat mitigation and, as a result, improve the ambient climate for inhabitants (Fleckenstein et al., 2022)



شکل 2- نحوه عملکرد و سایه‌اندازی خوون‌چینی (Shahda, 2022)

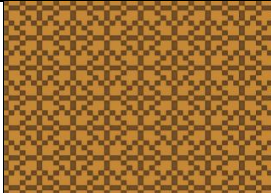
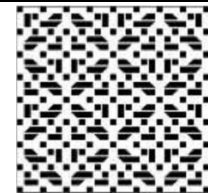
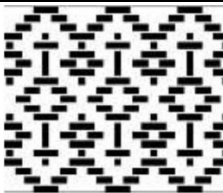
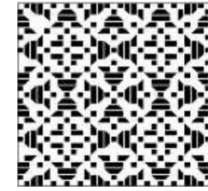
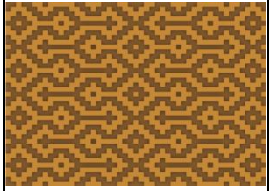
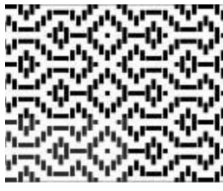
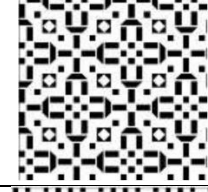
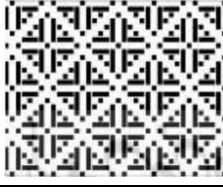
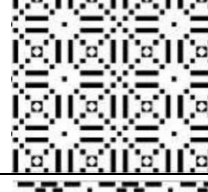
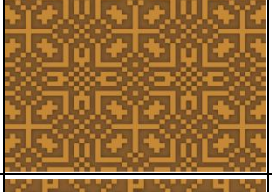
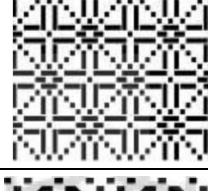
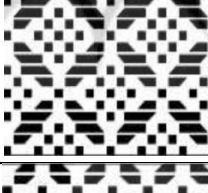
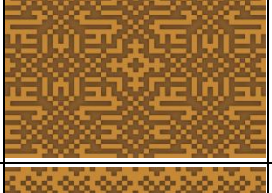
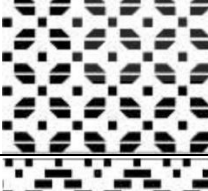
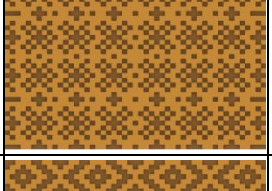
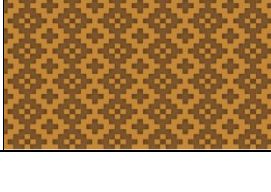
Fig. 2-The function and shading mechanism of Khoon-Chini (Shahda, 2022)

در شب‌های زمستان است که نوسانات دمایی دیوار و فضای داخلی را کاهش می‌دهد.

رهایی و همکاران (1401)، به بررسی رفتار حرارتی نقوش خوون‌چینی در جداره خارجی دیوار پرداخته‌اند. در این مطالعه، ابتدا الگوهای بومی شناسایی و دسته‌بندی شده و سپس عملکرد حرارتی آنها در کاهش دمای داخلی با استفاده از نرم‌افزار انرژی پلاس و روش تحلیل انتقال حرارت CTF مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج پژوهش نشان داده است که این نقوش تأثیر به‌سزایی در کاهش دمای داخلی بنا تا 6 درجه دارند و الگوهای چلیپایی بهترین عملکرد را در این زمینه ارائه داده‌اند. همچنین در دو پژوهش بین‌المللی نیز مدل‌هایی مشابه به خوون‌چینی در نظر گرفته شده است.

در پژوهش فلیکنشتاین¹ و همکاران (2022)، به بررسی استراتژی‌های معماری برای بهبود آسایش حرارتی در فضای باز شهری با استفاده از مونتاژهای رباتیک در دیواری آجری مشابه خوون‌چینی در مونیخ آلمان پرداخته‌اند. این پژوهش با شبیه‌سازی یک نمونه واقعی با ارتفاع 2 متر و طول 3 متر نشان داد که این دیوارها

جدول 1- تقوش خوون چینی با اجزا کامل برگرفته از پژوهش زرگرزاده دزفولی در مقایسه با مدل‌های شبیه‌سازی شده در پژوهش حاضر
Tab. 1-Khoon-Chini patterns with complete components in comparison with the simulated models in the present research

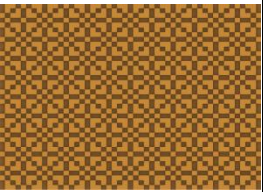
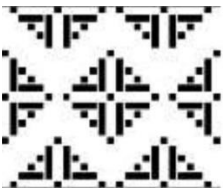
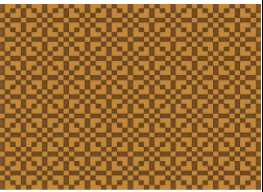
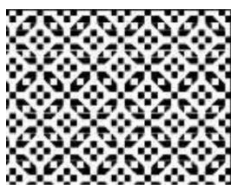
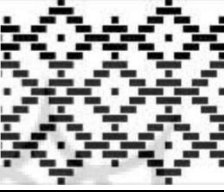
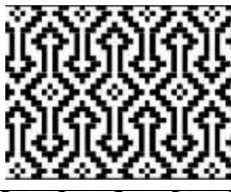
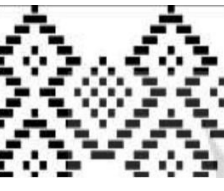
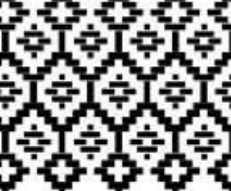
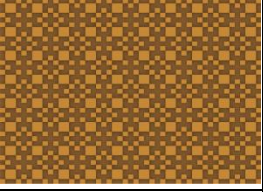
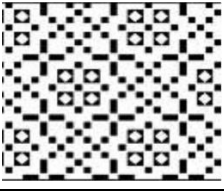
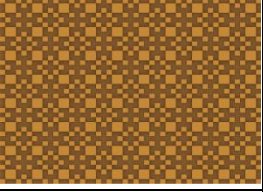
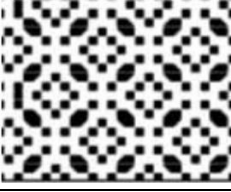
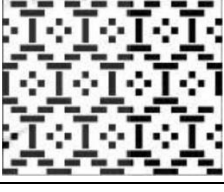
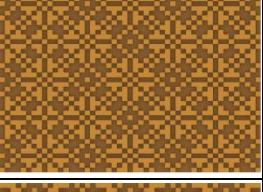
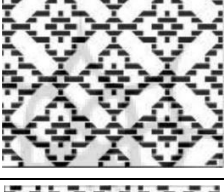
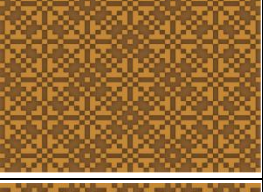
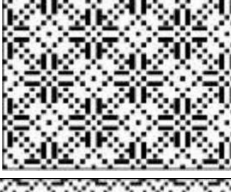
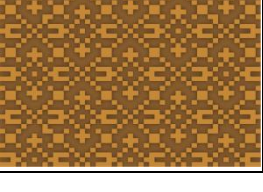
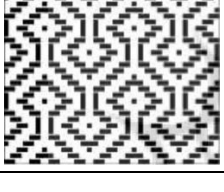
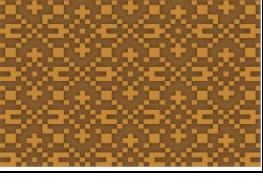
مورد	شبیه‌سازی	الگو	مورد	شبیه‌سازی	الگو
1			33		
2			34		
3			35		
4			36		
5			37		
6			38		
7			39		
8			41		



مورد	شبیه سازی	الگو	مورد	شبیه سازی	الگو
9			42		
10			43		
11			45		
12			46		
13			47		
14			48		
15			49		
16			50		



مورد	شبیه سازی	الگو	مورد	شبیه سازی	الگو
17			51		
18			52		
19			53		
20			54		
21			55		
22			56		
23			57		
24			58		

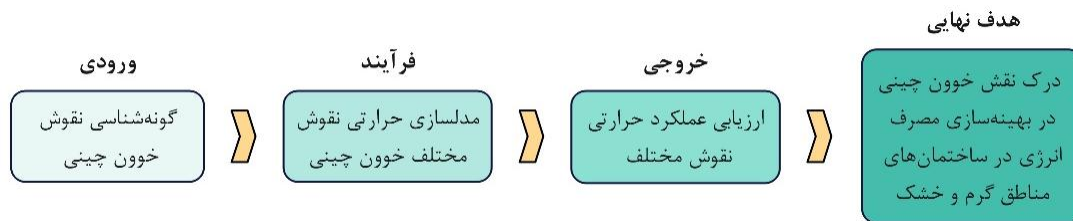
مورد	شبیه سازی	الگو	مورد	شبیه سازی	الگو
25			59		
27			60		
28			61		
29			62		
30			63		
31			64		
32			65		

2-1- مبانی نظری

1-2-1- تعریف و ساختار اجزای خوون چینی

خوون چینی یکی از تزئینات آجری در معماری ایرانی است که در پیشانی بناها به کار می‌رفته و علاوه بر زیبایی، نقش باران‌گریزی نیز داشته است. (Rafieezadeh et al., 2004; Na'ima, 1997)

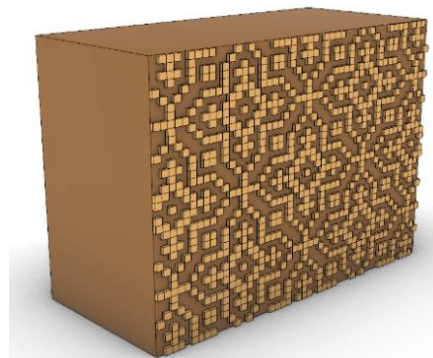
قدیم دزفول و شوشتر و مناطقی از اهواز دیده می‌شوند، از قطعات خرد شده آجرهای سنتی با ابعاد مشخص (شکل 3) ساخته می‌شوند. این تزئینات، از قطعات خرد شده آجرهای سنتی با ابعاد 18.5 در 18.5 سانتی‌متر و ضخامت 3.5 سانتی‌متر ساخته می‌شوند. کوچک‌ترین جزء این تزئینات کلوخ نام دارد و در ترکیب‌های مختلف،



شکل 4- نمودار ارتباط بین مفاهیم
Fig. 4-Diagram illustrating the relationship between concepts

2-روش تحقیق

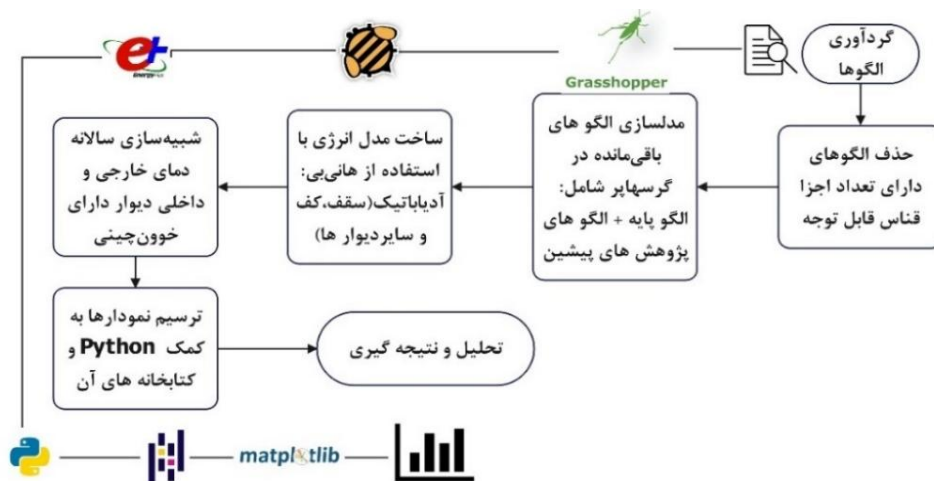
در این پژوهش به کمک شبیه‌سازی دمای جداره داخلی و خارجی دیوارهای دارای عناصر خون چینی را بررسی شده است. به این منظور خون چینی‌ها به عنوان متغیر مستقل، و رفتار حرارتی دیوار به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شدند. در ادامه انواع الگوهای خون چینی در محیط نرم‌افزار راینو ورژن 8 و گرس‌هاپر مدل‌سازی شده (شکل 2) و سپس با استفاده از افزونه هانی‌بی ورژن 1.8.1 دمای دیوار به کمک موتور شبیه‌سازی انرژی پلاس در طول یک سال محاسبه شده است که اعتبارسنجی این ابزار برای محاسبه دمای دیوارهای دارای عناصر سایه‌انداز مانند خون چینی توسط ده‌ار انجام شده است (Dehar et al., 2021).



شکل 5- خون چینی نمونه شبیه‌سازی سه‌بعدی الگوها
Fig. 5-3D simulation example of Khoon-Chini patterns

به این منظور، یک اتاقک به ارتفاع 160 سانتی‌متر، عرض 225 سانتی‌متر و عمق 100 سانتی‌متر در نرم‌افزار راینو ترسیم شد. با توجه به اینکه هدف اصلی این پژوهش تنها

بررسی عملکرد حرارتی جداره ساختمان با الگوهای خون چینی است و می‌توان نتایج آن را به ابعاد ساختمان‌های مسکونی مرسوم تعمیم داد، این ابعاد بر اساس اندازه بزرگترین واحد الگو (بدون تکرار) از میان خون چینی‌های انتخاب شده، تعیین شد. باقی الگوهای خون چینی بر اساس آن به گونه‌ای تکرار می‌شوند، که دست کم یک بار تمام آن بر روی دیوار ترسیم شده باشد. تمامی دیوارها به جز دیواره جنوبی (دارای خون چینی)، آدیاباتیک در نظر گرفته شده‌اند تا تنها تأثیر جداره دارای این عناصر بر دمای جدار داخلی بررسی شود. در مدل‌سازی الگوهای خون چینی، فاصله ملات‌خور (1 تا 1.5 سانتی‌متر) و آجرهای قناس حذف شده و به جای آن‌ها آجر کلوخ استفاده شده است. برای حفظ تناسبات الگوها، این فاصله به ابعاد آجرها افزوده شده است. تقسیم‌بندی آجرها به صورت کلوخ (4.5 سانتی‌متر)، دوصافه (9 سانتی‌متر)، سه‌صافه (13.5 سانتی‌متر) و چهارصافه (18 سانتی‌متر) انجام شده و ارتفاع تمامی آجرها 4 سانتی‌متر و میزان بیرون‌زدگی 2 سانتی‌متر در نظر گرفته شده است. همچنین، سه الگو (26، 40، 44) به دلیل تعداد زیاد آجرهای قناس که جایگزینی آن‌ها با کلوخ موجب تغییر کلی طرح می‌شد، از تحلیل حذف شدند. در نهایت، 62 الگو از پژوهش زرگرزاده دزفولی و 3 الگو از پژوهش شهدا (با شماره‌های 66، 67 و 68) برای پژوهش انتخاب و به شیوه بیان شده باز ترسیم شدند که می‌توان نتایج آن‌ها را در (جدول 2) مشاهده کرد. همچنین روند پژوهش در (شکل 6) به تفصیل آمده است.

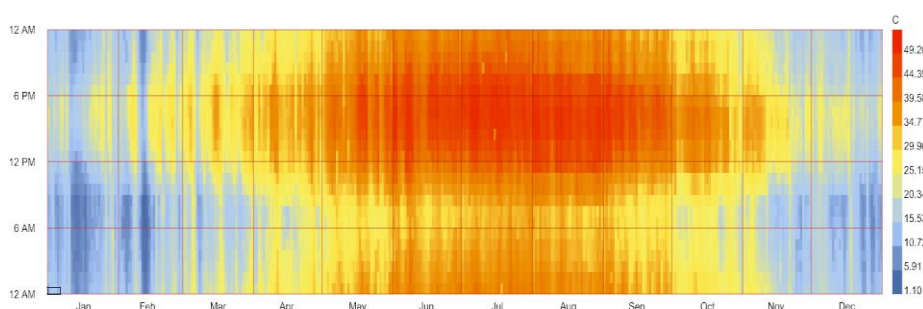


شکل 6- فرآیند انجام تحقیق
Fig. 6-Research methodology flowchart

2-1- مشخصات اقلیمی اهواز

شهر اهواز در موقعیتی بین 31 درجه و 30 دقیقه عرض شمالی و 48 درجه و 65 دقیقه طول شرقی قرار گرفته است. بر اساس گزارش اداره کل هواشناسی استان خوزستان، شهر اهواز دارای آب‌وهوای گرم‌وخشک و درجه حرارت تابستانی آن بالاتر از 46 درجه سانتی‌گراد است. (شکل 7) تغییرات دمای هوای خشک در طول سال در این شهر را نمایش می‌دهد. شبیه‌سازی بر اساس فایل آب‌وهوایی شهر اهواز، به‌عنوان نزدیک‌ترین مرکز اقلیمی

به دزفول و شوشتر، انجام شد. این شبیه‌سازی برای 8760 ساعت در طول یک سال اجرا شده است تا تأثیر کلی الگوها نه تنها در تابستان، بلکه در تمامی فصول بررسی شود. با توجه به حجم بالای داده‌های شبیه‌سازی (1,138,800 مقدار دمای برای سطح داخلی و خارجی 65 نوع دیوار در طول یک سال)، پردازش و مدیریت داده‌ها با استفاده از زبان برنامه‌نویسی پایتون ورژن 3.10 و کتابخانه پانداس³ و ترسیم نمودارها به کمک کتابخانه متپلات لیب⁴ انجام شده است.



شکل 7-دمای سالانه هوای خشک در شهرستان اهواز
Fig.7-Annual dry-bulb temperature in Ahvaz County

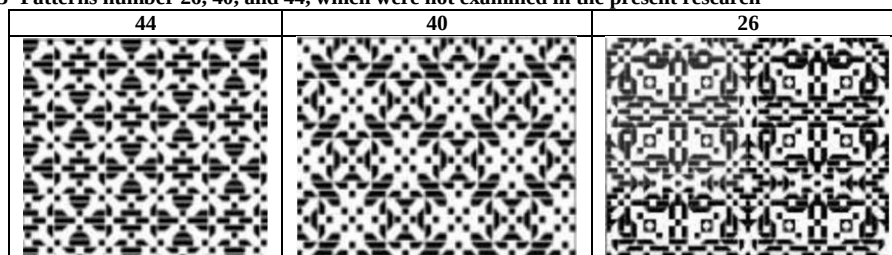
جدول شماره 2- الگوهای شماره 66، 67 و 68 برگرفته از پژوهش (Shahda, 2022)

Tab.2-Patterns number 66, 67, and 68 adapted from the research by (Shahda, 2022)

68	67	66

جدول شماره 3- الگوهای شماره 26، 40، و 44 که در پژوهش حاضر مورد بررسی قرار نگرفتند (Zargarzadeh Dezfuli et al., 2017)

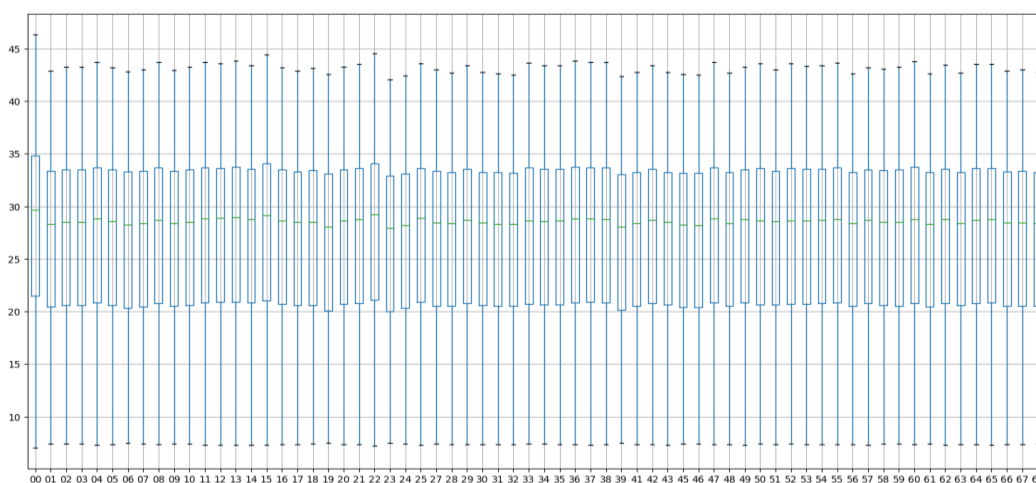
Tab. 3- Patterns number 26, 40, and 44, which were not examined in the present research (Zargar Zadeh Dezfuli et al., 2017)



3- نتایج و بحث

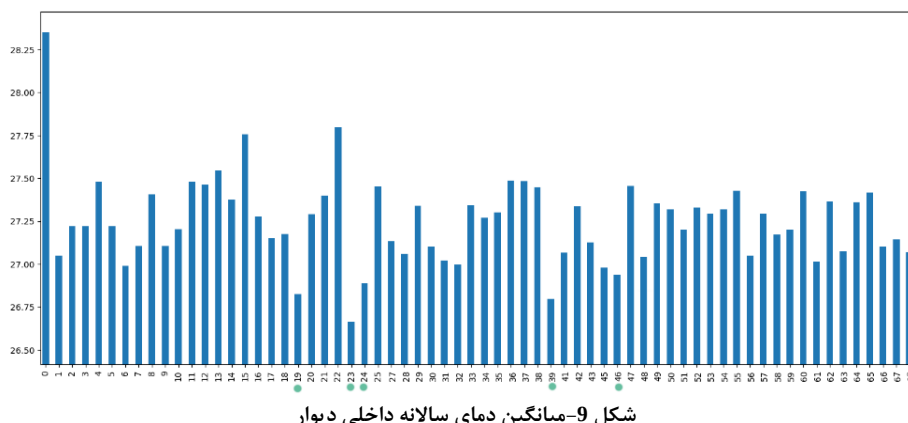
میانگین سالانه 1.69 درجه از حالت پایه سردتر است. در شکل 10 دمای خارجی دیوار جنوبی اتاق که دارای نمای خورون چینی بوده، برای هر یک از 65 الگوی مورد بررسی برای 8760 ساعت سال ترسیم شده و در حالت پایه دمای میانگین سالانه 30.62 و حداکثر دمای سالانه به 57.92 درجه سلسیوس رسیده است. اختلاف دمای تمام الگوها نسبت به حالات پایه قابل توجه بود به صورتی که دمای دیوارهای دارای خورون چینی به صورت میانگین گرم‌ترین دمای ثبت شده در حدود 50 درجه سلسیوس است. 5 الگو با کمترین دما خارجی دیوار نیز مشابه دمای داخلی بوده که به ترتیب الگوهای 23، 39، 19، 24 و 46 است. دمای سطح خارجی دیوار در الگوی 23 در بالاترین حالت به 4715 درجه سلسیوس می‌رسد که 10.77 درجه سلسیوس کمتر از حالت پایه است و به صورت میانگین سالانه نیز به 27.68 درجه سلسیوس می‌رسد که در حدود 3 درجه با حالت پایه اختلاف دارد.

در شکل 8 حداکثر، حداقل و میانه برای تمام 8760 ساعات سال برای دمای داخلی دیوار جنوبی اتاق و در شکل 9 میانگین دمای سالانه جداره داخلی دیوار که دارای نمای خورون چینی بوده است، به ازای هر یک از 65 الگوی مورد بررسی ترسیم شده است. الگوی شماره 00 دیوار بدون خورون چینی بوده و به عنوان حالت پایه در نظر گرفته شده است. در حالت پایه دما در بیشترین حالت خود به 46.35 درجه سلسیوس و به صورت میانگین 28.35 درجه سلسیوس در طول سال می‌رسد و این در حالی است که در تمام الگوهای خورون چینی دما در بازه گرم سال کمتر بوده و در بازه سرد سال تأثیر منفی نداشته است. در میان الگوهای مورد بررسی 5 الگو با کمترین مقدار میانگین سالانه به ترتیب الگوهای 23، 39، 19، 14 و 46 هستند که الگوی شماره 23 با میانگین دمای جداره داخلی 26.66 درجه سلسیوس، به صورت

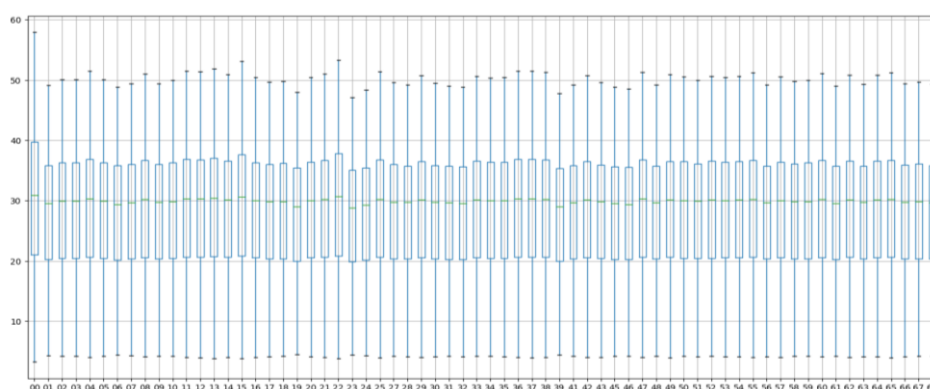


شکل 8- دمای سالانه داخل دیوار (نمودار جعبه‌ای نشان‌دهنده دمای حداکثر، حداقل و میانگین تمام ساعات سال)

Fig. 8- Annual internal wall temperature (box plot showing the maximum, minimum, and average temperatures across all hours of the year)



شکل 9- میانگین دمای سالانه داخلی دیوار
Fig. 9-Average annual internal wall temperature



شکل 10- دمای سالانه خارج دیوار
Fig. 10-Annual external wall temperature

4- نتیجه‌گیری

خوون‌چینی یکی از انواع گره‌چینی معماری ایرانی که در شهرهای دزفول و شوشتر تنوع بسیاری دارد می‌تواند به عنوان روشی غیر فعال برای کاهش بار سرمایشی در طراحی نما مورد استفاده قرار بگیرد. با توجه به نتایج به دست آمده در این پژوهش با در نظر گرفتن 65 نوع از خوون‌چینی علاوه بر تأثیر مثبت از نظر کاهش دمای دیوار، داری جنبه زیبایی‌شناسانه بود که منحصر به معماری سنتی ایران است. استفاده از هر کدام از الگوهای بررسی شده می‌تواند تأثیر مثبتی بر روی دمای دیوار داشته باشد.

بهترین الگوها (جدول 4) این امکان را به وجود می‌آورند که در طول سال به طور میانگین 3 درجه کاهش دمای سطح خارجی دیوار و 1.7 درجه کاهش در سطح داخلی رخ دهد. هرچند که انتقال حرارت به فضای داخلی با استفاده از عایق می‌تواند تأثیر بیشتری داشته باشد. برای

دمای سطح خارجی دیوار میزان افت دما که بیشتر از دما داخلی بود و تا 10 درجه سلسیوس نیز می‌رسد، می‌تواند بر روی آسایش حرارتی افراد در پیاده‌روها تأثیر قابل توجه داشته باشد. همچنین پیشنهاد می‌شود برای پژوهش‌های آینده تأثیر خوون‌چینی بر روی دیوارهای شرقی و غربی نیز مورد بررسی قرار گیرد. با توجه به یافته‌های این پژوهش، بررسی دقیق‌تر نقش خوون‌چینی در بهبود عملکرد حرارتی ساختمان‌ها می‌تواند در تحقیقات آینده ادامه یابد. یکی از زمینه‌های پیشنهادی، بررسی تأثیر این تزئینات بر دیوارهای شرقی و غربی است، چراکه تغییر زاویه تابش خورشید در این جهات ممکن است میزان سایه‌اندازی و عملکرد حرارتی آن‌ها را تحت تأثیر قرار دهد. همچنین، مطالعه تأثیر خوون‌چینی بر آسایش حرارتی محیط داخلی و خارجی ساختمان، به‌ویژه در فضاهای عمومی و پیاده‌روها، می‌تواند به ارائه راهکارهای طراحی اقلیمی کارآمدتر منجر شود. در این



Masoudinejad, M., Tahbaz, M., & Mofidi Shemirani, S. M. (2021). Investigating the thermal behavior of Shovadan, a case study: Suzangar House in Dezful. *Iranian Architectural Studies*, 7(13), 49-70. [in Persian]. https://jias.kashanu.ac.ir/article_111800.html?lang=en

Minangi, F., & Alibaba, H. (2019). Effect of shading on thermal performance of Dormitory Building on Hot Climate, 610-621. <https://www.researchpublish.com/upload/book/Effct%20of%20shading-6909.pdf>

Na'ima, G. R. (1997). *Dezful shahr-e ājor* [Dezful, the city of brick] (C. Karbasi, Trans.; H. Ansari, Ed.). Sāzmān-e Mīrās-e Farhangī-ye Kishvar (Pazhūheshgāh). [in Persian]. <https://www.gisoom.com/book/11669015>

Nguyen, A. T., Truong, N. S. H., Rockwood, D., & Tran Le, A. D. (2019). Studies on sustainable features of vernacular architecture in different regions across the world: A comprehensive synthesis and evaluation. *Frontiers of Architectural Research*, 8(4), 535-548. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095263519300603>

Payedar Ardekani, P., Gorji Mahlabani, Y., & Ghanbaran, A. (2024). Methods and criteria for assessing architectural experience in daylight studies. *Sustainable Architecture and Urban Development*, 12(1). [in Persian]. https://jsaud.sru.ac.ir/article_1930.html?lang=en

Planas, C., Cuerva, E., & Alavedra, P. (2018). Effects of the type of facade on the energy performance of office buildings representative of the city of Barcelona. *Ain Shams Engineering Journal*, 9(4), 3325-3334. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2090447917301259>

Rafieezadeh, N., Rafiei Sarshaki, B., & Ranjbar Kermani, A. M. (2002). *Farhang-e Mehrazi (Memari) Iran* [Culture of Iranian Architecture]. Tehran: Building and Housing Research Center. [in Persian]. <https://www.gisoom.com/book/1300674>

Rahimieh, F. (1974). *Shenakht-e Shahr o Maskan-e Bomi-ye Iran dar Sharayet-e Ab o Havai-ye Garm o Nime-Martub; Dezful va Shushtar* [Understanding the Indigenous City and Housing of Iran in Hot and Semi-Humid Climates; Dezful and Shushtar]. University of Tehran. [in Persian]. <https://sohalibrary.com/item/view/1602536>

راستا، تحلیل نحوه عملکرد این تزئینات در بهینه‌سازی شرایط حرارتی محیط‌های باز شهری می‌تواند به کاهش اثرات جزایر حرارتی در مناطق گرم‌و‌خشک کمک کند. این مطالعات می‌تواند به تعمیم‌پذیری نتایج و توسعه دستورالعمل‌های بهینه برای طراحی نماهای اقلیمی در بافت‌های سنتی و معاصر کمک کند.

پی‌نوشت

¹ Fleckenstein

² Shahda

³ Pandas

⁴ Matplotlib

References

Dehar, A., Tahbaz, M., & Taban, M. (2019). Investigating the effect of Khoon-Chini on heat transfer from the southern facade in summer, in the very hot and semi-arid climate of Khuzestan. *Architecture of Hot and Dry Climate*, 7(10), 119-139. [in Persian]. https://smb.yazd.ac.ir/article_1774.html?lang=en

Dehar, A., Tahbaz, M., & Taban, M. (2021). Investigating the internal surface temperature of the southern wall with Khoon-Chini facade in very hot and semi-arid-temperate climates (summer and winter). *Iranian Architectural Studies*, 10(19), 215-230. [in Persian]. <https://www.magiran.com/p2380206>

Fleckenstein, J., Molter, P., Chokhachian, A., & Dörfler, K. (2022). Climate-Resilient Robotic Facades: Architectural strategies to improve thermal comfort in outdoor urban environments using robotic assembly. *Frontiers in Built Environment*, 8, 856871. <https://www.arc.ed.tum.de/fileadmin/w00cgv/df/pdf/fbuil-08-856871.pdf>

Lam, J. C., & Goodsall, C. J. (1994). A survey of building envelope designs for commercial buildings in Hong Kong. *Building Research and Information*, 22(2), 79-86. <https://colab.ws/articles/10.1080%2F09613219408727355>

Li, D., & Lok, C. (2000). Measurements of solar radiation and illuminance on vertical surfaces and daylighting implications. *Renewable Energy*, 20(4), 389-404. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148199001263>



Yaglou, C. P. (1972). The comfort zone for man. *Journal of Industrial Hygiene*, 9, 251. <https://cir.nii.ac.jp/crid/1571417124073696384>

Zargarzadeh Dezfuli, M., Lari Baghal, K., Salari Nasab, N., & Babaei Morad, M. (2017). Khoon-Chini, evolution and proportion of brick dimensions in facade design of Dezful architectural works. *Iranian Architectural Studies*, 5(9), 47-65. [in Persian]. https://jias.kashanu.ac.ir/article_111758.html?lang=en

Shahda, M. M. (2020). Self-shading walls to improve environmental performance in desert buildings. *Architecture Research*, 10(1), 1-14. <http://article.sapub.org/10.5923.j.arch.20201001.01.html>

Taban, M., Pourjafar, M. R., Bemanian, M. R., & Heydari, S. (2012). The effect of climate on the form of architectural ornaments with emphasis on the analysis of shading (brick Khoon-Chinis of the historical texture of Dezful). *Naqsh-e Jahan*, 2(3), 79-90. [in Persian]. <https://bsnt.modares.ac.ir/article-2-404-en.html>