

## Efficiency of the Khavun-Chini of Historical Houses in Shushtar in Shading the Building

### Abstract

The ancient city of Shushtar, with its 243 hectares of historical fabric, is a living and successful example of architectural experience in the hot and semi-humid climate of Iran; a type of architecture that is in harmony with the climate, in which the use of brick and brick facades has played a fundamental role. "Khavun-chini" is the art of Shushtari architects; a type of prominent brickwork decoration executed in a checkered pattern that, in addition to being beautiful, also has a thermal function. The main issue in this research is to investigate the effectiveness of Shushtar Khavun-chinis in shading the southern facade of the building and its thermal capability. This research, using a quantitative approach and descriptive-analytical method, has investigated the shading ability of 66 patterns from the brick facades of historical buildings in Shushtar (decorations of the main entrances of houses and courtyard walls), which mostly date back to the late Qajar and the first Pahlavi period. Information on various motifs was mostly obtained through field surveys. After drawing the Khavun-chinis map, in order to determine the most optimal angle of the building, the shading of three examples of brick facades was studied in the field by constructing a 1:1 model. The study showed that the largest area of shadows produced by these motifs during different hours of the day occurs when the Khavuns is rotated 10 degrees (northeast to southwest) against the sunlight, and the smallest shading occurs when the Khavun-chinis is rotated 40 degrees. After finding the optimal angle, simulation of the selected samples was performed using EcoTect software. By comparing field and simulation results, the validity of this software for research in the Shushtar climate was confirmed and the shading of the entire Khavuns was simulated. A comparison of Shushtar brick facades in terms of shading showed that pattern number 42, with a value of 6.86, has the highest efficiency, and pattern number 39, with a value of 3.34, has the lowest efficiency in shading the southern facade of the building. Comparing the degree of protrusion of Shushtar Khavun-chini motifs with their efficiency shows that although the shadow is produced by the protruding part of these motifs, the main factor in the difference between the efficiency of these motifs in shading is not the variable of protrusion of the

**Citation:** Zangeneh, Ali; Masoudinejad, Mostafa, & Ahadi, Aminollah. (2026). Efficiency of the khavun-chini of historical houses in Shushtar in shading the building. *Journal of Fine Arts: Architecture and Urban Planning*, 31(1), 23-46. (in Persian)



© Authors retain the copyright and the full publishing.

Publisher: University of Tehran Press.

"This article is derived from the first author's doctoral dissertation, entitled "The impact of brick facade geometry and configuration on the thermal behavior of building envelopes: A case study of the hot and semi-humid climate of Shushtar", under the supervision of the second author and with consultation from the third author at Islamic Azad University.

Received: 28 Nov 2025

Received in revised form: 02 Jan 2026

Accepted: 24 Feb 2026

**Ali Zangeneh<sup>1</sup>** [iD](#)

PhD Student of Architecture, Department of Architecture, Faculty of Basic Science, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.  
E-mail: al.zangeneh@iau.ac.ir

**Mostafa Masoudinejad<sup>2</sup>** [iD](#) (Corresponding Author)

Assistant Professor, Department of Architecture, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

E-mail: Mostafa.masoudinejad@iau.ac.ir

**Aminollah Ahadi<sup>3</sup>** [iD](#)

Assistant Professor, Department of Architecture, Faculty of Technology and Engineering, Parand Branch, Islamic Azad University, Parand, Iran.  
E-mail: aa.ahadi@iau.ac.ir

<https://doi.org/10.22059/jfaup.2026.407150.673145>

motif. As a result of this research, the effectiveness of brick facades in shading the southern facade of the building was identified, and through field and software analysis, the best angle for the building's placement in the city of Shushtar to produce maximum shade by the sunshades was determined. Considering the study conducted on the effect of the amount (area) of protrusion of patterns on the shading efficiency of Khavun-chinis and the lack of scientific evidence based on a direct relationship between this variable and shading efficiency; It seems that investigating the effect of the variables "dispersion" and "orientation" of the role on the shading efficiency of Shushtar bloodsuckers could be a suitable field for future research.

**Keywords:** brick facade, heat transfer, Khavun-chini, shadow, Shushtar

## کارایی خون‌چینی خانه‌های تاریخی شوشتر در سایه‌اندازی بر ساختمان\*

### چکیده

«خون چینی» به‌عنوان یکی از شاخص‌ترین آرایه‌های معماری بومی شوشتر، نقشی دوگانه در زیبایی‌شناسی و تنظیم شرایط محیطی ایفا می‌کند؛ نوعی تزئینات برجسته‌آجرکاری که در زمینه‌ای شطرنجی اجرا می‌شود. این پژوهش با هدف ارزیابی کارایی حرارتی این نقوش، به تحلیل میزان سایه‌اندازی ۶۶ الگوی آجری در جبهه جنوبی ساختمان‌های این اقلیم گرم و نیمه‌مرطوب می‌پردازد. روش پژوهش توصیفی-تحلیلی و مبتنی بر مطالعات میدانی، مدل‌سازی فیزیکی و

شبیه‌سازی دیجیتال است. اطلاعات مربوط به نقوش مختلف، غالباً از طریق برداشت‌های میدانی به‌دست آمده است. پس از رسم نقشه‌ی خون‌ها، جهت تعیین بهینه‌ترین زاویه‌ی استقرار بنا، سایه‌اندازی سه نمونه از نماهای آجری از طریق ساخت ماکت ۱:۱ مورد مطالعه قرار گرفت. سپس شبیه‌سازی نمونه‌های منتخب، به‌وسیله‌ی نرم‌افزار اکوتکت انجام شد و با مقایسه‌ی نتایج میدانی و شبیه‌سازی، اعتبار نرم‌افزار تأیید و سایه‌اندازی کلیه‌ی خون‌ها شبیه‌سازی گردید. در نتیجه‌ی این پژوهش، شناسایی کارایی نماهای آجری در سایه‌اندازی بر جبهه‌ی جنوبی ساختمان صورت گرفت و از طریق تحلیل کارهای میدانی و نرم‌افزاری نیز مشخص شد که بهترین حالت استقرار بنا در شهر شوشتر برای تولید حداکثر سایه به‌وسیله‌ی خون‌چینی‌ها، زاویه‌ی ۱۰ درجه‌ی شمال شرقی به جنوب غربی است.

واژه‌های کلیدی: انتقال حرارت، خون‌چینی، سایه، شوشتر، نمای آجری

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۴/۰۹/۰۷

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۱۰/۱۲

تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۴/۱۲/۰۵

علی زنگنه<sup>۱</sup>: دانشجوی دکتری معماری، گروه معماری، دانشکده علوم پایه، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

E-mail: al.zangeneh@iau.ac.ir

مصطفی مسعودی نژاد<sup>۲</sup> (نویسنده مسئول): استادیار گروه معماری، دانشکده علوم پایه، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

E-mail: mostafa.masoudinejad@iau.ac.ir

امین‌اله احدی<sup>۳</sup>: استادیار گروه معماری، دانشکده فنی و مهندسی، واحد پرند، دانشگاه آزاد اسلامی، پرند، ایران.

E-mail: aa.ahadi@iau.ac.ir

<https://doi.org/10.22059/jfaup.2026.407150.673145>

استناد: زنگنه، علی؛ مسعودی نژاد، مصطفی و احدی، امین‌اله. (۱۴۰۵). کارایی خون‌چینی خانه‌های تاریخی شوشتر در سایه‌اندازی بر ساختمان. نشریه هنرهای زیبا: معماری و شهرسازی، ۳۱(۱)، ۲۳-۴۶.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نگارندگان، حق تکثیر و امتیاز کامل انتشار مقاله خود را حفظ می‌کنند.



\* مقاله حاضر برگرفته از رساله دکتری نگارنده اول با عنوان «بررسی تأثیر هندسه و چیدمان نماهای آجری بر رفتار حرارتی جداره‌های خارجی ساختمان؛ نمونه موردی منطقه گرم و نیمه‌مرطوب، شوشتر» می‌باشد که با راهنمایی نگارنده دوم و مشاوره نگارنده سوم در دانشگاه آزاد اسلامی ارائه شده است.

## مقدمه

امروزه تغییرات اقلیمی، حفظ انرژی و ایجاد شرایط مناسب برای آسایش حرارتی ساکنین، چالش‌هایی اساسی را در فرایند طراحی، پیش روی معماران و شهرسازان قرار داده است. کف، سقف، بازوها و دیوارها به‌عنوان عناصر اصلی تشکیل‌دهنده یک ساختمان، هرکدام به‌نوبه خود نقشی در کاهش حرارتی بنا دارند؛ اما «جداره‌های خارجی ساختمان» اصلی‌ترین مؤلفه در این مورد به‌حساب آمده و تمرکز بر یافتن راه‌حلی همیشگی برای جلوگیری از تبادل حرارت این دیوارها از اهمیت شایانی برخوردار است.

ساکنین مناطق گرمسیری تمایل زیادی به استفاده از آجر به‌عنوان عنصر اصلی ساخت دیوار و نمای خارجی ساختمان دارند و برآورد مصالح نیز نشان می‌دهد، از لحاظ اقتصادی در مقایسه با سایر مصالح نوین نیز، استفاده از آجر به‌صرفه‌تر است. بر اساس مطالعات صورت گرفته (تابان و همکاران، ۱۳۹۱؛ دهار و همکاران، ۱۳۹۸؛ رحیمیه و ربوبی، ۱۳۵۳؛ زرگرزاده دزفولی، ۱۳۹۵) نمای آجری به‌عنوان همگن‌ترین پوسته بنا در این اقلیم محسوب می‌شود و با وجود چنین گستره و ظرفیتی، هر اقدام علمی که بتواند تأثیری هر چند اندک بر بهبود رفتار حرارتی جداره‌های آجری داشته باشد از اهمیت زیادی برخوردار است. در این میان، بافت تاریخی شهر شوشتر با ۲۴۳ هکتار وسعت، منبعی غنی از ساختمان‌ها با جداره‌هایی پوشیده از «خون‌چینی» است که می‌تواند در راستای تحقیقات معماری مورد استفاده قرار گیرد. این شهر که در شمال استان خوزستان قرار گرفته، دارای اقلیمی گرم و نیمه مرطوب بوده و رودخانه کارون از میان آن می‌گذرد.

«خون» نوعی تزئینات برجسته آجرکاری است که در زمینه‌ای شطرنجی و با آجرهایی که دارای ضخامت یکسان می‌باشند تولید می‌شود. به‌وسیله این تکنیک خلاقانه نماهای خارجی ساختمان‌های زیادی توسط معماران سنتی خصوصاً در اواخر دوره قاجار و اوایل دوره پهلوی در شهرهای شوشتر و دزفول ساخته شده است. تحلیل‌های فیزیکی (دهار و همکاران، ۱۳۹۸) نشان داده است که این برجستگی‌ها با ایجاد خودسایه‌اندازی بر روی سطح دیوار و افزایش ضریب تخلخل ظاهری نما، در بهبود عملکرد حرارتی جداره و کاهش بارهای سرمایشی ساختمان تأثیر گذارند.

پرسش‌های این پژوهش نیز به شرح ذیل می‌باشند؛

۱. جهت‌گیری بهینه بنا در شوشتر برای سایه‌اندازی هر چه بیشتر خون‌چینی بر روی جداره‌های خارجی در جبهه جنوبی ساختمان با چه زاویه‌ای اتفاق می‌افتد؟
۲. سایه‌اندازی هر یک از خون‌چینی‌های شوشتر در جبهه جنوبی ساختمان، در ساعات مختلف روز و در فصل تابستان به چه میزان است؟

## روش پژوهش

این پژوهش با مطالعات کتابخانه‌ای و پیمایش بافت تاریخی آغاز گردیده، سپس تصاویر و کروکی‌های به‌دست‌آمده تبدیل به نقشه شده است. به خاطر کثرت نمونه‌ها، شبیه‌سازی میدانی و محاسبه دستی میزان سایه‌اندازی این خون‌ها منطقی نبوده و به همین دلیل استفاده از نرم‌افزار شبیه‌ساز سایه (اکوتکت) در دستور کار قرار گرفته است؛ ولیکن ابتدا با ساخت سه نمونه ماکت از خون‌ها، برای یافتن جهت‌گیری بهینه نقوش و

اعتبارسنجی اکوتکت اقدام شده است.

در راستای مستندنگاری، پژوهشگران سعی نمودند با استفاده از تمام ابزارهای تحقیق به جمع‌آوری نقوش خون‌چینی شوشتر اقدام نمایند که در نتیجه، ۶۶ نمای آجری به‌عنوان نمونه پژوهشی از خانه‌های موجود در بافت تاریخی شوشتر استخراج شد. ابزارها و مواد مورد استفاده در این پژوهش شامل «قطب‌نما» (جهت تنظیم ردن زاویه ماکت‌های ساخته شده) و «متر فلزی معمولی» بوده و در بحث مواد، از صفحات یونولیت با ضخامت ۳ سانتی‌متر، مقوا و تخته نئوپان معمولی و صیقلی، برای ساخت ماکت‌ها و شاسی استفاده شده است. برداشت‌های میدانی با گام زدن در بافت تاریخی شوشتر و با انجام تصویربرداری، تهیه کروکی و انجام رولوه صورت گرفته و پس از آن، با ساخت ماکت از سه خون‌منتخب، در روز نهم مردادماه ۱۴۰۲ عملیات تصویربرداری (عکس‌برداری) از نمونه‌ها در پشت‌بام خانه‌ای در شهر شوشتر انجام شده است.

در طی فرایند این پژوهش، از سه نرم‌افزار اتوکد (Auto-CAD 2022)، اکوتکت ۲۰۱۰ (Ecotect Analysis 2010) و ای‌میج‌جی (Imagez) استفاده شده است. اکوتکت قدیمی‌ترین شبیه‌ساز در حوزه آنالیز حرارتی، روشنایی و آسایش حرارتی می‌باشد و در این پژوهش، جهت شبیه‌سازی سایه‌اندازی نقوش خون‌چینی بر روی دیوارهای خارجی ساختمان از آن استفاده شده است. نرم‌افزار ای‌میج‌جی نیز، یک ابزار قدرتمند و بسیار با کیفیت برای آنالیز تصاویر میکروسکوپی و مقایسه آن‌ها با یکدیگر است؛ از این نرم‌افزار برای تبدیل داده‌های تصویری به داده‌های کمی استفاده می‌شود. در این تحقیق جهت اندازه‌گیری مساحت سایه در تصاویر شبیه‌سازی شده به‌وسیله نرم‌افزار اکوتکت، از نرم‌افزار ای‌میج‌جی استفاده شده است.

همان‌گونه که پیش‌تر گفته شد، برای یافتن میزان سایه‌اندازی خون‌ها در جبهه جنوبی، از نرم‌افزار شبیه‌ساز سایه (اکوتکت) استفاده شده، ولیکن پیش از آن، محققین می‌بایست پاسخ دو مسئله را پیگیری می‌کردند. اول اینکه جهت‌گیری بهینه جداره‌ها برای تولید حداکثر سایه، چه زاویه‌ای است و دوم اینکه آیا نرم‌افزار شبیه‌ساز اکوتکت برای چنین تحقیقی در جغرافیای شوشتر اعتبار دارد؟ برای یافتن پاسخ اولین سؤال، سه خون که از لحاظ هندسه، مساحت و پراکندگی نقش با یکدیگر متفاوت بودند انتخاب و پس از آن، به‌وسیله یونولیت و مقوا، ماکت نمونه‌ها با مقیاس ۱:۱ ساخته و بر روی تخته نئوپان نصب شد؛ سپس در آخر نیز، ماکت‌ها برای انجام مطالعات میدانی و اندازه‌گیری میزان واقعی سایه‌اندازی نقوش، به محیطی باز منتقل شدند.

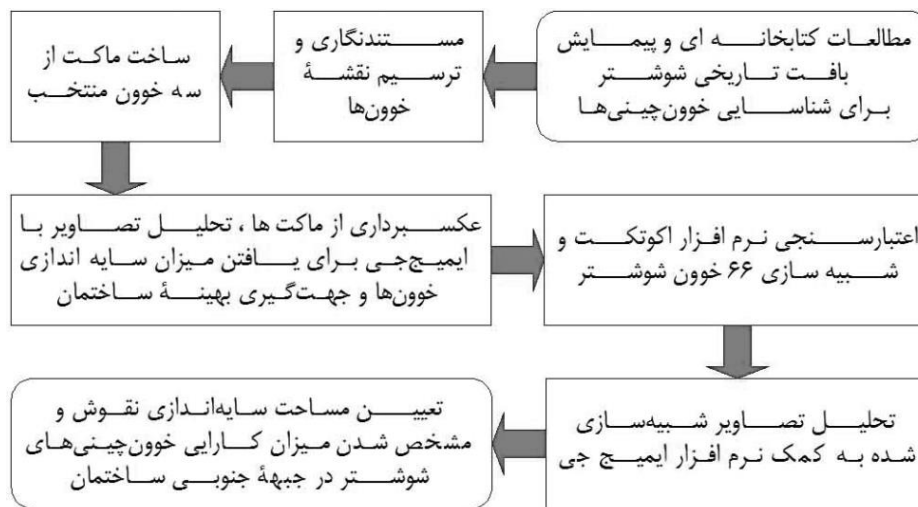
به کمک قطب‌نما، درجه‌های ۰، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ بر روی یک تخته چوبی صیقلی ترسیم شد (تصویر ۱) تا به‌عنوان شاسی کار از آن استفاده شود؛ سپس ماکت خون‌ها بر روی آن سوار شده تا امکان چرخش سریع و دقیق ماکت‌ها بر روی شاسی مدرج، فراهم گردد.

برای تعیین زاویه‌ای که بتواند حداکثر سایه را برای خون‌ها به همراه داشته باشد، ماکت‌ها باید در ساعات مختلف روز و در جاتی مشخص نسبت به جنوب، مورد بررسی قرار می‌گرفتند. بر اساس چرخش خورشید و زمان تابش آن بر روی دیوارهای خون‌چینی شده، ساعات ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵ و ۱۶ از خون‌ها تصویربرداری صورت گرفت. زمان عکس‌برداری در هر ساعت مقرر، حدود ۲ دقیقه به طول می‌انجامید؛ نهایتاً از هر خون، ۳۰

تصویر ۱. شیوه درجه‌بندی شاسی و چگونگی نصب ماکت خون بر روی پایه و شاسی مدرج



تصویر ۲. مسیر کلی حرکت پژوهش تا رسیدن به هدف



روبوی (۱۳۵۳) پس از بررسی اقلیم و شکل شهرهای شوشتر و دزفول، در بخش «آرایش ساختمان (خون)» به تحلیل و بررسی تعدادی از پلان‌های ساختمانی با کاربری‌های مختلف پرداخته و نهایتاً با باز ترسیم برخی خون‌چینی‌های بافت قدیم شوشتر و دزفول، نسبت به مستندنگاری آن‌ها اقدام نموده‌اند. برداشت‌های میدانی نعیم (۱۳۶۷) در بحبوحه جنگ تحمیلی و در بافت تاریخی شهر دزفول، به انتشار کتابی با عنوان دزفول؛ شهر آجر منجر شد که در این کتاب، به بررسی نماهای آجری، اجزای تشکیل‌دهنده و شیوه ساخت آن‌ها در این شهر پرداخته و شناسنامه‌ای مستند از این آثار را ارائه نموده است. وی در جلد دوم کتاب خود (۱۳۹۹)، با معرفی ۲۸۲ نقش خون از شهر دزفول و ارائه نقشه‌های دقیق‌تر از آن‌ها، سعی در تکمیل تحقیقات پیشین نموده است. تابان و همکارانش (۱۳۹۱) در مقاله «تأثیر اقلیم بر شکل تزئینات معماری با تکیه بر تحلیل میزان سایه‌اندازی خون‌چینی‌های آجری بافت تاریخی دزفول» پس از بررسی چهار نقش منتخب از خون‌چینی‌های دزفول در سه زاویه متفاوت در مقابل نور خورشید، مشخص نمودند که سیر تکاملی تزئینات آجری در جهت افزایش سایه‌اندازی بر جداره‌ها تا ۴/۵ برابر و توجه به کشیدگی ساختمان‌ها در جهت ۱۵ درجه شمال شرقی/جنوب غربی به‌عنوان جهت‌گیری مطلوب اقلیمی در این شهر است.

زرگرزاده دزفولی و همکارانش (۱۳۹۵) در مقاله خود با استناد به ۶۵ نقش تزئینی آجر با خون‌چینی متمرکز، به گونه‌شناسی نقش‌های

تصویر در ساعات و زوایای مختلف در جبهه جنوبی ثبت گردید. با تحلیل محتوای این تصاویر به‌وسیله نرم‌افزار ایمیج‌جی مساحت سایه تولیدشده توسط هر خون مشخص شد.

در راستای اعتبارسنجی نرم‌افزار شبیه‌ساز سایه (اکوتکت) نیز، پس از حل اولین مسئله (تعیین بهترین زاویه جهت‌گیری جداره‌ها برای تولید حداکثر سایه‌اندازی نقوش بر روی دیوار) فایل سه‌بعدی هر سه خون به‌وسیله اتوکد ترسیم و در نرم‌افزار شبیه‌ساز، بارگیری و مورد مطالعه قرار گرفت؛ خروجی نرم‌افزار با نتایج میدانی مقایسه گردید و درستی عملکرد نرم‌افزار اکوتکت مشخص شد. با تعیین زاویه بهینه و اعتبارسنجی اکوتکت، راه برای ادامه پژوهش باز شد و سایه‌اندازی کلیه نمونه‌های انتخابی به‌وسیله نرم‌افزار شبیه‌ساز صورت گرفت. تصاویر خروجی اکوتکت به‌وسیله ایمیج‌جی مورد تحلیل قرار گرفت و میزان سایه‌اندازی هر یک از نقوش آجری شوشتر در ساعات مختلف جبهه جنوبی ساختمان مشخص گردید. مسیر کلی حرکت پژوهش تا رسیدن به هدف نیز در تصویر ۲ نشان داده شده است.

### پیشینه پژوهش

مقاله محمدعلی امام شوشتری (۱۳۴۷)، به نقل از تابان و همکاران، (۱۳۹۱) را می‌توان نخستین مکتوب علمی در باب خون‌چینی به حساب آورد که در آن کارکرد، شیوه اجرا، هندسه و جایگاه این تزئینات آجری در معماری سنتی شوشتر و دزفول بررسی شده است. رحیمیه و

تأثیر گذار باشند. در مقاله‌ای برگرفته از رساله دکترای علی زنگنه (۱۴۰۲) نقوش خون چینی شوشتر، هندسه و چیدمان آن‌ها مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. در این پژوهش تعداد ۷۰ نقش در بافت تاریخی، شناسایی و اجزای تشکیل دهنده خون‌ها شامل آجرهای اصلی و فرعی معرفی گردیده؛ میزان استفاده از هر یک از آجرها برای هر نقش مشخص و مستندنگاری دقیقی از خون چینی‌های شوشتر ارائه شده است. جدول ۱، خلاصه پیشینه موضوع در پژوهش‌های داخلی را نشان می‌دهد.

بررسی تحقیقات خارجی پیرامون موضوع مقاله نیز صورت گرفت و پژوهش‌های مرتبط استخراج گردید. مقاله‌ای با عنوان «تأثیر نماهای متحرک در بهره‌وری انرژی در ساختمان‌های اداری اقلیم‌های گرم و خشک» توسط شریف بن باچا و فاتحه بوربیا (Ben Bacha & Bourbia, 2016) به چاپ رسید که در آن نتایج اولیه یک تحقیق درباره بهینه‌سازی طراحی نمای‌های سایه‌بان دینامیک با استفاده از طراحی پارامتریک و با بهره‌گیری از شبیه‌سازی ارائه شد. نتایج شبیه‌سازی ارائه شده نشان داد که پوشش پیشنهادی، دوره‌های نفوذ تابش خورشید و تابش خیره کننده بالقوه به فضای داخلی ساختمان اداری را به تأخیر انداخته و سطح آسایش حرارتی و روشنایی قابل قبولی را به دست آورده است. خالد طریبه و همکارانش (Tarabieh et al, 2017) در مقاله خود، انواع مختلف چیدمان‌های آجری (رائینگ، انگلیسی و فلامیش) با چهار حالت بیرون زدگی (۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درصد نما) را مورد مطالعه قرار داده و تأثیر آن‌ها بر انرژی ساختمان با استفاده از یک الگوریتم خاص در نمای جنوبی ساختمان را به دست آوردند. نتایج این تحقیق نشان داد که بهینه‌ترین حالت مصرف انرژی در ساختمان با چیدمان نمای آجری فلامیش و با بیرون زدگی ۳۰٪ مساحت دیوار با استفاده از نیم آجر و یا با ۶۰٪ بیرون زدگی ولی با استفاده از آجر کلوخ است.

مقاله‌ای با عنوان «تأثیر استراتژی سایه‌اندازی خارجی بر عملکرد انرژی ساختمان هتل چند طبقه در اقلیم گرم و مرطوب» توسط ولید خالد الحویل و همکارانش (Alhuwayil et al., 2018) منتشر گردید که در آن پتانسیل صرفه‌جویی انرژی و صرفه اقتصادی گنجاندن دستگاه‌های سایه‌سازی خارجی با پوشش خودسایه‌انداز برای یک ساختمان هتل چند طبقه در اقلیم گرم و مرطوب عربستان بررسی شده است. در این پژوهش از شبیه‌سازی‌های انرژی با استفاده از نرم‌افزار دیزاین بیلدر استفاده شد و نتایج نشان داد که سایه‌سازی می‌تواند مصرف انرژی سالانه ساختمان را نسبت به حالت پایه ۲۰/۵٪ کاهش دهد. شنگ لیو و همکارانش (Liua et al., 2019) مقاله‌ای را به چاپ رساندند که در آن با استفاده از پانل‌های سایه‌بان با استفاده از شبیه‌سازی بر روی نماهای غیرشفاف بررسی و پتانسیل‌های صرفه‌جویی انرژی آن‌ها تحت شرایط تابستانی ارزیابی شده بود. نتایج این تحقیق نشان داد که پتانسیل صرفه‌جویی انرژی تا ۸٪ نسبت به زمانی که پانل‌های سایه‌بان بر روی واحدهای مسکونی با نماهای رو به غرب اعمال شوند، وجود دارد ولیکن هیچ اندازه‌گیری میدانی برای اعتبارسنجی نتایج این مقاله ارائه نشده است. مقاله‌ای با عنوان «تأثیر استراتژی خودسایه‌اندازی دیوارهای مایل بر جذب حرارت و عملکرد انرژی ساختمان‌های اداری در اقلیم گرم و مرطوب مالزی» توسط محدزین کندر و همکارانش (Kandar et al., 2019) به چاپ رسید که در آن ابتدا اندازه‌گیری میدانی متغیرهای محیطی مانند دمای محیط، رطوبت نسبی و غیره. در یک ساختمان اداری

آجری بر اساس تعداد اجزای تکرار شده آن پرداخته‌اند. این تحقیق نشان داد که وحدت و انسجام بین نقوش به نحوی است که تمام کتیبه، یک کل واحد را تشکیل داده و تفکیک اجزای آن غیرممکن است. عطاریان و عزیز حاجی (۱۳۹۸) در مقاله‌ای با عنوان «بررسی نقوش آجری در تزئینات کتیبه سردر ورودی خانه‌های تاریخی دزفول» سردر ساختمان‌های مسکونی شهر دزفول را مورد مطالعه قرار داده و مشخص نمودند که اولاً ۴۰ درصد از نقوش مورد مطالعه، با تنوع سه جز، آجر ساخته شده‌اند و ثانیاً کمترین نقش نیز با تنوع یک جز، ساخته شده است و ثالثاً یکی از اجزای همه خون‌های متمرکز حتماً یک صافه است.

تابان و همکاران (۱۳۹۸) در مقاله‌ای، با تمرکز بر محیط فیزیکی و کالبدی بافت تاریخی شهر دزفول، نحوه کنترل تابش و عوامل مختلف در زمینه ایجاد سایه در سطح ساختمان‌ها و فضاهای داخلی از سویی و محیط شهری از سوی دیگر را مورد شناسایی قرار داده‌اند. ده‌ها (۱۳۹۸) در رساله دکترای خود با عنوان «بررسی اثر خون چینی بر انتقال حرارت از نمای جنوبی در تابستان، در اقلیم بسیار گرم و نیمه‌خشک خوزستان» نشان داد که در گرم‌ترین ساعت‌های شبانه‌روز، دمای متوسط سطح داخلی دیوار جنوبی و دمای داخلی اتاقک دارای خون چینی، نسبت به اتاقک بدون تزئینات آجری برجسته، به‌طور میانگین و به ترتیب ۱ و ۰/۸ درجه سلسیوس کاهش یافتند. مقاله‌ای با عنوان «بازشناسی مطلوبیت تصویری خون چینی سردر خانه‌های تاریخی دزفول» به چاپ رسیده که در آن، مطلوبیت تصویری تزئینات خون چینی با تکیه بر روش‌های میدانی، شامل پرسشنامه (بر اساس طیف خبرگان) و برداشت میدانی این تزئینات، توسط بهزاد وثیق و همکارانش (۱۳۹۹) مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج این تحقیق نشان داد از میان اصول گشتالتی، به عللی مانند تکرار مرتب یک وجه هندسی و یا نقش خون در نقوشی مانند دو زنجیری، سه تخمه رومی، پنج‌دانه تک و پنج‌دانه زنجیل، مؤلفه‌هایی مانند شکل و زمینه و مشابهت، بیشترین حضور را داشته‌اند. محققین به این نتیجه نیز رسیده‌اند که می‌توان به‌جز خانواده نقوش موسوم به وریس، سایر نقوش خون در سردر خانه‌های تاریخی مورد مطالعه را حاوی تمامی مؤلفه‌های گشتالتی دانست. پژوهش دیگری نیز تحت عنوان «بررسی آرایه‌های آجری خانه‌های تاریخی بهبهان در دوره پهلوی» توسط زینب مشهور (۱۴۰۰) به چاپ رسیده که در آن برداشت‌های میدانی و باروش توصیفی تحلیلی، الگوهای تزئینی، دسته‌بندی شده و انواع آجر مصرفی، انواع نقوش، شیوه‌های اجرا، محل کاربرد و سبک تزئینات آجری در شهر بهبهان تحلیل و بررسی شده است. نیلوفر هاشمی و همکارانش (۱۴۰۱) تأثیر سایبان‌های ثابت خارجی بر عملکردهای ساختمانی را با کمک برداشت‌های میدانی از یک مدل واقعی و شبیه‌سازی و اعتبارسنجی آن و سپس تولید یک سایبان پارامتریک خلاقانه بر روی مدل و تولید ۱۳۶۰۰ نمونه سایبانی متنوع و با بهره‌گیری از هوش مصنوعی و بهینه‌سازی، تأثیر سایه‌اندازی بر روی عملکردهای بار حرارتی، نور روز و سازگاری حرارتی مورد بررسی و مطالعه قرار داده‌اند. رهایی و رضایی‌زاده (۱۴۰۱) به مقایسه سه مدل خون چینی در بافت قدیم شهر دزفول و ارائه سه مدل پیشنهادی مستخرج از این الگوها در مقاله خود پرداختند. با شبیه‌سازی سه مدل خون چینی که در بافت قدیم دزفول به وفور به چشم می‌آید مشخص شد این الگوها علاوه بر آنکه جنبه زیبایی دارند، می‌توانند با تبدیل به دیوارهای دوجداره در رفتار حرارتی جداره‌ها

## جدول ۱. خلاصه پیشینه موضوع در پژوهش‌های داخلی

ردیف	عنوان پژوهش	نویسنده/نویسندگان	انتشار	خلاصه پژوهش
۱	مقاله: کاربرد تزئینی آجر(خون و فریز)	محمدعلی امام شوشتری	۱۳۴۷	معرفی و تبیین کاربرد، شیوه اجرا، هندسه و جایگاه خون چینی در معماری شوشتر و دزفول
۲	کتاب: شناخت شهر و مسکن بومی ایران در شرایط آب و هوایی گرم و نیمه مرطوب؛ دزفول - شوشتر	فرنگیس رحیمیه و غلامرضا ربویی	۱۳۵۳	بررسی اقلیم و شکل شهرهای شوشتر و دزفول، تحلیل تعدادی از پلان‌های ساختمانی و بازترسیم تزئینات آجری و خون‌هایی از بافت تاریخی
۳	کتاب دوجلدی: دزفول شهر آجر	غلامرضا نعیمیا	۱۳۷۶ و ۱۳۹۹	شناسایی و مستندنگاری نماهای آجری خون چینی به همراه معرفی اجزای تشکیل‌دهنده و شیوه ساخت آن‌ها در شهر دزفول
۴	مقاله: تأثیر اقلیم بر شکل تزئینات معماری با تکیه بر تحلیل میزان سایه‌اندازی خون چینی‌های آجری بافت تاریخی دزفول	محسن تابان، محمدرضا پورجعفر، محمدرضا بهمانیان و شاهین حیدری	۱۳۹۱	بررسی خون چینی‌های دزفول در سه زاویه متفاوت؛ مشخص گردید که سیر تکاملی تزئینات آجری در جهت افزایش سایه‌اندازی بر جداره‌ها تا ۴/۵ برابر و توجه به کشیدگی ساختمان‌ها در جهت ۱۵ درجه شمال شرقی/جنوب غرب به‌عنوان جهت‌گیری مطلوب اقلیمی است
۵	مقاله: خون چینی، تکامل و تناسب ابعاد آجر در ناسازی‌های آثار معماری دزفول	مجتبی زرگرزاده دزفولی، سید کیانوش لاری‌بقال، نجمه سالاری‌نسب و مهناز بابایی‌مراد	۱۳۹۵	گونه‌شناسی نقش‌های آجری بر اساس تعداد اجزای تکرار شونده؛ مشخص گردید که وحدت و انسجام بین نقوش به نحوی است که تمام کتیبه، یک کل واحد را تشکیل داده و تفکیک اجزای آن غیرممکن است
۶	مقاله: بررسی نقوش آجری در تزئینات کتیبه سردر ورودی خانه‌های تاریخی دزفول	کوروش عطاریان و عصمت عزیزحاجی	۱۳۹۸	چهل درصد از نقوش مورد مطالعه با تنوع سه جز، آجر ساخته شده‌اند؛ کمترین نقش نیز با تنوع یک جز، ساخته شده است؛ یکی از اجزای همه خون‌های متمرکز، حتماً یک صافه است
۷	مقاله: شناخت عناصر سایه‌انداز در مسکن سنتی دزفول	محسن تابان، محمد مهرکی‌زاده و سارا نجاران	۱۳۹۸	اجزای سایه‌انداز به سایه‌اندازهای معماری و شهری تقسیم می‌شوند؛ استفاده از این سایه‌اندازها در ساختمان با نیاز سرمایشی بالا، سبب دفع حرارتی بیشتر سطوح و کاهش مصرف انرژی و ایجاد شرایط آسایش اقلیمی خواهد شد
۸	مقاله: بررسی اثر خون چینی بر انتقال حرارت از نمای جنوبی در تابستان، در اقلیم بسیار گرم و نیمه‌خشک خوزستان	علی دهار، منصوره طاهباز و محسن تابان	۱۳۹۸	مطالعه حرارتی بر روی اتاقکی با نقش خون و اتاقکی با ابعاد و جزئیات و نقش آجری مشابه و البته بدون بیرون‌زدگی در شهر آبادان؛ دمای متوسط سطح داخلی دیوار جنوبی، یک درجه و دمای داخلی اتاقک دارای خون چینی ۰/۸- نسبت به اتاقک بدون تزئینات کمتر است
۹	مقاله: بازشناسی مطلوبیت تصویری خون چینی سردر خانه‌های تاریخی دزفول	بهزاد وثیق، حسین ناصری و صادقی بختیاری	۱۳۹۹	بررسی مطلوبیت تصویری تزئینات آجری با مطالعه ۶۱ خانه در دزفول بر اساس قواعد گسنتالی؛ می‌توان مطلوبیت بصری خون چینی‌ها را حاصل تعادل و تقارن هندسی، فراپوشاندگی و مشابهت بین اجزای خون دانست
۱۰	مقاله: بررسی آرایه‌های آجری خانه‌های تاریخی بهبهان در دوره پهلوی	زینب مشهور	۱۴۰۰	تزئینات آجری در جداره‌های داخلی حیاط به‌کاررفته و جداره‌های خارجی به جز سردر، فاقد تزئینات است؛ نقوش آجری به شیوه‌های خون چینی و... و اجرای شکل‌های متنوعی از آجر تراش در ترکیب با نقوش دیگر اجرا شده
۱۱	مقاله: سازگاری حرارتی به‌عنوان شاخص نهایی سنجش کیفیت سایه‌اندازی سایبان‌های خارجی؛ نمونه مورد مطالعه: ساختمان مسکونی در شیراز	نیلوفر هاشمی، شاهین حیدری و مرتضی رهبر	۱۴۰۱	با کمک برداشت‌های میدانی از یک مدل واقعی و شبیه‌سازی آن و سپس تولید یک سایبان پارامتریک خلاقانه بر روی مدل و تولید ۱۳۶۰۰ نمونه سایبان متنوع؛ با هوش مصنوعی و بهینه‌سازی، تأثیر سایه‌اندازی بر روی عملکردهای بار حرارتی، نور روز و سازگاری حرارتی مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت؛ سایه‌اندازی بهینه می‌تواند میزان کسب تابش در دوره گرم را حدود ۶۴٪ تا ۸۰٪ و در دوره سرد سال نیز حدود ۶۲٪ تا ۸۲٪ کاهش دهد
۱۲	مقاله: بررسی رفتار حرارتی نقوش هندسی سنتی (خون چینی) در جداره‌های مجوف خارجی دیوارهای دوجداره دزفول در راستای احیای هویت فرهنگی	امید رهایی و آیه رضایی‌زاده	۱۴۰۱	مقایسه سه مدل خون چینی در دزفول و ارائه سه مدل پیشنهادی مستخرج از این الگوها؛ با شبیه‌سازی سه مدل خون چینی مشخص شد که این الگوها علاوه بر آنکه جنبه زیبایی دارند، می‌توانند با تبدیل به دیوارهای دوجداره در رفتار حرارتی جداره‌ها تأثیرگذار باشند
۱۳	مقاله: شناسایی نقوش و بررسی عناصر تشکیل‌دهنده خون چینی‌های شوشتر	علی زنگنه، مصطفی مسعودی‌نژاد و امین‌اله احدی	۱۴۰۲	نقوش خون چینی، هندسه و چیدمان آن‌ها مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت؛ تعداد ۷۰ نقش، شناسایی و اجزای تشکیل‌دهنده خون‌های شوشتر (اصلی و فرعی) معرفی گردید

مرهان شهدا (Shahda, 2020) مقاله‌ای با عنوان «بهبود عملکرد اقلیمی ساختمان‌های کویری با استفاده از دیوارهای خودسایه‌انداز» را منتشر نمود که در آن با استفاده از تحلیل اصل سایه‌اندازی خودکار در طبیعت، ارائه ایده‌ای برای دستیابی به سایه‌اندازی خودکار دیوارها با کمترین هزینه و نیز ارائه راه کارهای جایگزین برای دیوارهای سایه‌اندازی خودکار با استفاده از

با دیوار مایل خودسایه‌انداز واقع در شهر پوتراجایا (مالزی) انجام شد و سپس با استفاده از یک نرم‌افزار شبیه‌سازی، مشخص گردید که زاویه بهینه جهت گیری دیوار برای خودسایه‌اندازی به‌منظور کاهش مؤثر حرارت، ۴۵ درجه می‌باشد و این راهکار منجر به کاهش جذب حرارت شده و مصرف انرژی برای خنک‌سازی ساختمان را کاهش می‌دهد.

آزمایشی) با بافت‌های خارجی و جهت‌گیری‌های مختلف، تحت اقلیم منطقه قسنطنیه (الجزایر) در دوره تابستان انجام شده و نتایج نشان‌دهنده وابستگی قابل توجه بین هندسه بافت خارجی، درصد سایه ایجادشده و دمای سطح خارجی بوده است. جدول ۲، خلاصه پیشینه موضوع در پژوهش‌های خارجی را نشان می‌دهد.

با بررسی پیشینه موضوع در منابع داخلی و خارجی می‌توان تحقیقات صورت گرفته را به سه دسته تقسیم کرد؛ دسته اول شامل پژوهش‌هایی است که سعی در شناخت ساختار، اجزای تشکیل‌دهنده و هندسه نقوش خون چینی‌ها داشته‌اند. دسته دوم، تحقیقاتی است که بر مباحث بصری و کشف جنبه‌های زیبایی‌شناسانه نماهای آجری تمرکز نموده است. سومین

آجر و نیز ارزیابی این راه‌کارها با استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی انجام شده است. در این مقاله، سه الگوی تیغه‌های عمودی بیرون‌زده، تیغه‌های افقی بیرون‌زده و نیز الگوی قالب‌های آجری بیرون‌زده به صورت نامنظم مورد مطالعه قرار گرفت و نتایج آن نشان داد که بهترین حالت جهت تولید سایه، تیغه‌های افقی بیرون‌زده است. مقاله‌ای با عنوان «مطالعه تجربی بر روی رفتار حرارتی بافت‌های پوشش خارجی ساختمان در اقلیم گرم و خشک» توسط اسلام بوخلخال و فاتحه بوریا (Boukhelkhal & Bourbia, 2021) به چاپ رسید که در آن، تأثیر بافت و هندسه پوشش خارجی بر عملکرد انرژی، مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است. برای این هدف، آزمایش و بررسی دماهای سطحی در محل بر روی چهار نمونه (جعبه‌های

جدول ۲. خلاصه پیشینه موضوع در پژوهش‌های خارجی

ردیف	عنوان پژوهش	نویسنده/نویسندگان	انتشار	خلاصه پژوهش
۱	مقاله: تأثیر نماهای متحرک در بهره‌وری انرژی در ساختمان‌های اداری اقلیم‌های گرم و خشک Effect of kinetic facades on energy efficiency in office buildings – hot dry climates	شریف بن‌باچا و فاتحه بوریا	۲۰۱۶	نتایج اولیه یک تحقیق درباره بهینه‌سازی طراحی نماهای سایبان دینامیک با استفاده از طراحی پارامتریک و با بهره‌گیری از شبیه‌سازی ارائه شد؛ نتایج شبیه‌سازی نشان داد که پوشش پیشنهادی، دوره‌های نفوذ تابش خورشید و تابش خیره‌کننده بالقوه به فضای داخلی ساختمان اداری را به تأخیر انداخته و سطح راحتی حرارتی و روشنایی قابل قبولی را به دست آورده است.
۲	مقاله: تحقیق پارامتریک عملکرد حرارتی سه نوع چیدمان آجری در منطقه اقلیمی گرم و خشک Parametric Investigation of Three Types of Brick Bonds for Thermal Performance in a Hot Arid Climate Zone	خالد طریبه، شریف عبدالمحسن، یومنا العازی، رانا الدبعمه، اسماء حسن و مریم عام	۲۰۱۷	تأثیر انواع مختلف چیدمان‌های آجری و چهار حالت بیرون‌زدگی (۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درصد نما) بر انرژی ساختمان با استفاده از یک الگوریتم سفارشی در نمای جنوبی مورد بررسی قرار گرفت؛ بهینه‌ترین حالت مصرف انرژی در ساختمان با چیدمان فلامیش و بیرون‌زدگی در ۸٪ مساحت دیوار با استفاده از نیم‌آجر و یا با ۶۰٪ بیرون‌زدگی با استفاده از آجر کلوخ بوده است.
۳	مقاله: تأثیر استراتژی سایه‌اندازی خارجی بر عملکرد انرژی ساختمان هتل چند طبقه در اقلیم گرم و مرطوب Impact of External Shading Strategy on Energy Performance of Multi-Story Hotel Building in Hot-humid Climate	ولید خالد الحویل، عبد مجیبو و علی محمد الگارنی	۲۰۱۸	بررسی پتانسیل صرفه‌جویی انرژی و صرفه اقتصادی گنجاندن دستگاه‌های سایه‌سازی خارجی با پوشش خودسایه‌انداز برای یک ساختمان هتل چند طبقه در عربستان؛ شبیه‌سازی‌های انرژی با استفاده از نرم‌افزار DesignBuilder انجام شده و نتایج نشان داد که سایه‌سازی می‌تواند مصرف انرژی سالانه را نسبت به حالت پایه، ۲۵/۵٪ کاهش دهد.
۴	مقاله: بررسی پتانسیل صرفه‌جویی انرژی ناشی از استفاده از پانل‌های سایه‌بان بر روی نماهای غیرشفاف؛ مطالعه موردی: ساختمان‌های مسکونی در هنگ‌کنگ Investigating the energy saving potential of applying shading panels on opaque façades: A case study for residential buildings in Hong Kong	شنگ لیو، یو تینگ کوک، کوین کالان لو، پاک وای چان و ادوارد ان جی	۲۰۱۹	با استفاده از پانل‌های سایه‌بان، شبیه‌سازی بر روی نماهای غیرشفاف بررسی شد و پتانسیل‌های صرفه‌جویی انرژی آن‌ها تحت شرایط تابستانی ارزیابی گردید؛ پتانسیل صرفه‌جویی انرژی تا ۸٪ نسبت به زمانی که پانل‌ها بر روی واحدهای مسکونی با نماهای رو به غرب اعمال شوند، وجود دارد؛ این تحقیق فاقد اندازه‌گیری میدانی و اعتبارسنجی است.
۵	مقاله: تأثیر استراتژی خودسایه‌اندازی دیوارهای مایل بر جذب حرارت و عملکرد انرژی ساختمان‌های اداری در اقلیم گرم و مرطوب مالزی Influence of inclined wall self-shading strategy on office building heat gain and energy performance in hot humid climate of Malaysia	محمد زین کندر، پونتیب نیملیات، محمد عبداللهی و یاکوبو امینو دودو	۲۰۱۹	اندازه‌گیری میدانی متغیرهای محیطی مانند دمای محیط، رطوبت نسبی و... در یک ساختمان اداری با دیوار مایل خودسایه‌انداز انجام شد؛ نتایج نرم‌افزار شبیه‌سازی ApacheSim نشان داد که زاویه بهینه جهت‌گیری دیوار برای خودسایه‌اندازی، ۴۵ درجه می‌باشد و این ترفند منجر به کاهش جذب حرارت و مصرف انرژی برای خنک‌سازی ساختمان می‌شود.
۶	مقاله: بهبود عملکرد اقلیمی ساختمان‌های کویری با استفاده از دیوارهای خودسایه‌انداز Self-Shading Walls to Improve Environmental Performance in Desert Buildings	مرهان شهدا	۲۰۲۰	با تحلیل اصل خودسایه‌اندازی در طبیعت، ارائه ایده‌ای برای دستیابی به سایه‌اندازی خودکار دیوارها با استفاده از آجر و ارزیابی این راهکارها با استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی انجام شد؛ سه الگوی تیغه‌های عمودی، تیغه‌های افقی و نیز قالب‌های نامنظم، مورد مطالعه قرار گرفت؛ بهترین حالت جهت تولید سایه، تیغه‌های افقی بیرون‌زده است.
۷	مقاله: مطالعه تجربی بر روی رفتار حرارتی بافت‌های پوشش خارجی ساختمان در اقلیم گرم و خشک Experimental Study on the Thermal Behavior of Exterior Coating Textures of Building in Hot and Arid Climates	اسلام بوخلخال و فاتحه بوریا	۲۰۲۱	تأثیر بافت و هندسه پوشش خارجی بر عملکرد انرژی بررسی و ارزیابی شده است؛ آزمایش و بررسی دماهای سطحی در محل بر روی چهار نمونه با بافت‌های خارجی و جهت‌گیری‌های مختلف، تحت اقلیم قسنطنیه (الجزایر) در دوره تابستان انجام شده و نتایج نشان‌دهنده وابستگی قابل توجه بین هندسه بافت خارجی، درصد سایه ایجاد شده و دمای سطح خارجی بوده است.

مطالعات میدانی، ابعاد آجرهای خون در شوشتر، بستگی تامی به طول کتیبه‌ای داشته که نقش خون برای آن طراحی شده است.

برای جا دادن نقش در درون قاب، معمولاً ابعاد آجر کلوخ را بین ۳ تا ۴ سانتی‌متر (۳×۳ تا ۴×۴ سانتی‌متر) و بند ملات را نیز حدود یک سانتی‌متر در نظر می‌گیرند. با بررسی خون‌ها در این شهر پی می‌بریم که قطعات فرعی نیز از خرد کردن آجرهای اصلی، تولید می‌شوند و از هر آجر اصلی، سه گونه آجر فرعی به دست می‌آید. در طراحی خون، آجر کلوخ اندازه ثابتی نداشته و به واسطه قاب دیوار نماکاری، می‌تواند بین ۳×۳ تا ۴×۴ سانتی‌متر متغیر باشد. نباید فراموش کرد که نقشه خون‌ها بر پایه طراحی مدولار استوار شده و شکل آجر کلوخ همواره مربعی می‌باشد. بر مبنای همین منطق، اگر در طراحی خون، طول آجر مینا (کلوخ) را ۴ سانتی‌متر در نظر بگیریم، طول آجر دوصافه به اندازه دو آجر کلوخ به علاوه بند ملات مابین آن‌ها (۴+۱+۴) یعنی ۹ سانتی‌متر، طول آجر سه صافه به اندازه ۳ آجر کلوخ و بندهای ملات مابین آن‌ها (۴+۱+۴+۱+۴) یعنی ۱۴ سانتی‌متر، طول آجر ۴ صافه ۱۹ سانتی‌متر و طول آجر ۵ صافه ۲۴ سانتی‌متر خواهد بود (زنگنه و همکاران، ۱۴۰۲). تصویر ۳ قطعات مختلف آجر اصلی و فرعی را نشان می‌دهد که در خون چینی‌های شوشتر مورد استفاده قرار گرفته است.

### یافته‌های پژوهش

۱. مطالعات میدانی: مطالعه میدانی بر روی سه ماکت ساخته شده با مقیاس ۱:۱ در روز نهم مردادماه انجام شد و با روشی که پیش‌تر توضیح داده شد، با قرار دادن ماکت خون‌ها بر روی شاسی مدرج و چرخش آن‌ها (موافق با جهت حرکت عقربه‌های ساعت) نسبت به جهت جنوب در ساعات ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵ و ۱۶ (تصویر ۴)، ۹۰ عکس گرفته شد. مساحت سایه تولید شده توسط خون‌های شماره ۱، ۱۰ و ۲۷ (تصویر ۵) در مطالعات میدانی به صورت تفکیکی در جداول ۳، ۴ و ۵ آمده است. جدول ۶ نیز، مجموع عملکرد سایه‌اندازی خون‌ها در جهت جنوبی را نشان می‌دهد. مطالعه میدانی بر روی ماکت خون‌های شماره ۱، ۱۰ و ۲۷ نشان

دسته نیز، حاصل تحقیقات پژوهشگرانی است که با بررسی نمونه‌هایی منتخب از خون چینی‌ها و یا سایر عناصر سایه‌انداز بر جداره خارجی ساختمان، به بررسی و اثبات جنبه‌های حرارتی و اقلیمی نماهای آجری و نمونه‌های مورد مطالعه پرداخته‌اند. مقاله حاضر سعی دارد تا با بهره‌گیری از تجربیات پژوهشگران، نسبت به مستندنگاری خون چینی‌های شوشتر اقدام نموده و در ادامه، جنبه‌های حرارتی و اقلیمی این نماهای آجری را مورد مطالعه قرار دهد.

### شناخت خون چینی و اجزای تشکیل دهنده آن

خون چینی کاربرد تزئینی آجر است که از ضخامت آن در ایجاد انواع گره‌های تزئینی‌نما استفاده می‌شود. به عبارتی بهتر، خون چینی آرایش ساختمان به صورت آمود است. در واقع واژه «خون» یک نامگذاری در معماری ایرانی است و به نگاره‌های تزئینی موزاییکمانندی گفته می‌شده است که بر پیشانی بنا می‌ساختند (امام شوشتری، ۱۳۴۷؛ به نقل از تابان و همکاران، ۱۳۹۱). بعضی آجرها که زمینه را می‌سازند (گرسنه) عقب‌تر از دیگر آجرها که گره‌ها را می‌سازند (سیر) قرار می‌گیرند، اساس اجرای این نقوش بر نگاره چلیپا (صلیبی) و... بر روی یک شبکه شطرنجی مدولار استوار است. در مرحله‌ای که عملیات استحکامی (ساختاری) بنا تکمیل می‌شود و جرزهای اصلی و طاق‌ها زده می‌شود، قسمت‌هایی ارزشمند از ساختمان مانند سردر ورودی و نماهای داخلی حیاط، به خصوص قسمت‌های ایوان اصلی و در بعضی موارد دیوارهای بیرونی خانه، تزئین می‌شود (زرگرزاده دزفولی و همکاران، ۱۳۹۵).

هر گروه از خون چینی‌ها، طوماری از نقش‌های مختلف را در بردارند که با سلیقه و هماهنگی خاصی به کار می‌رفتند. کلیه نقوش دارای نامی بودند که با شکل خون ارتباط کامل داشته است. بعضی از این نام‌ها دارگل، بازوبند، مداخل، کلیدی، خفته وریس، بند رومی و تفاع‌اند. به این نکته نیز باید توجه داشت که آجر در این منطقه دارای ابعاد و اندازه‌هایی بوده و در طول زمان تکامل ابعاد داشته که در نهایت به ابعاد ۱۸/۵×۱۸/۵ و ضخامت ۳/۵ سانتی‌متر رسیده است (رحیمیه و ربوبی، ۱۳۵۳). البته همیشه و برای همه نقوش، چنین ابعاد و ضخامتی ثابت نبوده و بر اساس

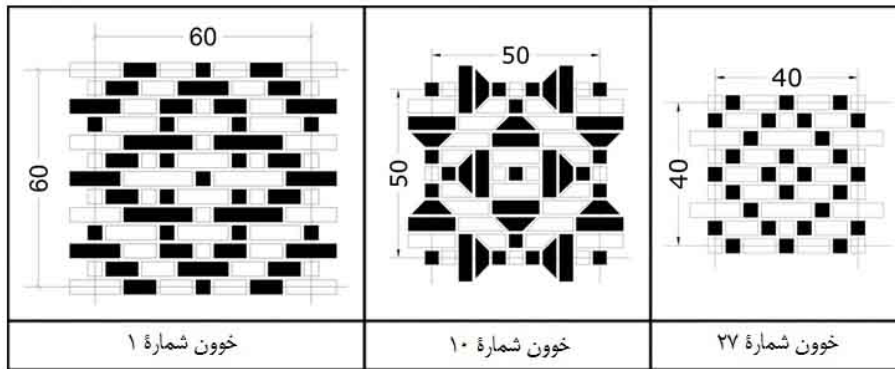
تصویر ۳. ابعاد قطعات اصلی و فرعی آجر در خون چینی‌های شوشتر (زنگنه، مسعودی‌نژاد و احدی، ۱۴۰۲)

نام قطعه اجزای فرعی (ج)	شکل قطعه اجزای فرعی (ب)	نام قطعه اجزای فرعی (ا)	شکل قطعه اجزای فرعی (الف)	نام قطعه اجزای اصلی	شکل قطعه اجزای اصلی	نام قطعه اجزای اصلی
کلوخ دو سرشقی موزایی		قیاس		کلوخ		کلوخ
۲ صافه ۲ سرشقی موزایی		دوصافه دو سرشقی		دوصافه یک سرشقی		دوصافه
۳ صافه ۲ سرشقی موزایی		سه صافه دو سرشقی		سه صافه یک سرشقی		سه صافه
۴ صافه ۲ سرشقی موزایی		چهار صافه دو سرشقی		چهار صافه یک سرشقی		چهار صافه
۵ صافه ۲ سرشقی موزایی		پنج صافه دو سرشقی		پنج صافه یک سرشقی		پنج صافه

تصویر ۴. چگونگی چرخش خون بر روی شاسی مدرج در زوایای مختلف



تصویر ۵. خون‌های منتخب برای مطالعات میدانی



جدول ۳. سایه تولیدشده توسط ماکت خون شماره یک در مطالعه میدانی در جبهه جنوبی (واحد مساحت:  $CM^2$ )

مجموع مساحت سایه‌اندازی خون در جبهه جنوبی	مساحت سایه در ۱۶ ساعت	مساحت سایه در ۱۵ ساعت	مساحت سایه در ۱۴ ساعت	مساحت سایه در ۱۳ ساعت	مساحت سایه در ۱۲ ساعت	مساحت سایه در ۱۱ ساعت	زاویه چرخش خون نسبت به جنوب
۱۶۵۸۸	فاقد تابش	۶۳۵۹	۳۳۹۸	۲۴۴۹	۲۱۵۱	۲۲۳۱	۰ درجه
۱۸۴۷۵	۵۳۹۸	۳۰۷۸	۲۵۰۹	۲۲۳۱	۲۳۹۴	۲۸۶۵	۱۰ درجه
۱۸۴۰۸	۲۴۱۲	۲۳۷۸	۲۲۱۱	۲۴۳۷	۳۴۲۹	۵۵۴۱	۲۰ درجه
۱۸۴۶۷	۱۷۶۱	۱۷۱۲	۱۸۹۷	۲۶۹۹	۴۴۶۳	۵۸۳۵	۳۰ درجه
۱۱۹۳۷	۱۱۵۶	۱۰۲۱	۱۵۱۴	۲۷۴۵	۵۵۰۱	فاقد تابش	۴۰ درجه

جدول ۴. مساحت سایه تولیدشده توسط ماکت خون شماره ۱۰ در مطالعه میدانی در جبهه جنوبی (واحد  $CM^2$ )

مجموع مساحت سایه‌اندازی در جبهه جنوبی	مساحت سایه در ۱۶ ساعت	مساحت سایه در ۱۵ ساعت	مساحت سایه در ۱۴ ساعت	مساحت سایه در ۱۳ ساعت	مساحت سایه در ۱۲ ساعت	مساحت سایه در ۱۱ ساعت	زاویه چرخش خون نسبت به جنوب
۱۱۰۲۰	فاقد تابش	۳۵۲۰	۲۱۳۰	۱۸۲۱	۱۶۹۴	۱۸۵۵	۰ درجه
۱۳۴۸۸	۳۸۸۴	۲۱۱۸	۱۸۲۹	۱۶۲۱	۱۷۱۳	۲۳۲۳	۱۰ درجه
۱۱۸۶۲	۲۹۹۰	۱۲۸۵	۱۴۶۰	۱۵۶۹	۱۷۷۵	۲۷۸۳	۲۰ درجه
۱۲۲۲۷	۲۰۴۱	۸۷۲	۱۱۹۶	۱۴۹۳	۱۸۲۶	۴۷۹۹	۳۰ درجه
۵۹۶۲	۹۶۴	۶۷۳	۱۰۰۹	۱۴۴۱	۱۸۷۵	فاقد تابش	۴۰ درجه

جدول ۵. مساحت سایه تولیدشده توسط ماکت خون شماره ۲۷ در مطالعات میدانی در جبهه جنوبی (واحد  $CM^2$ )

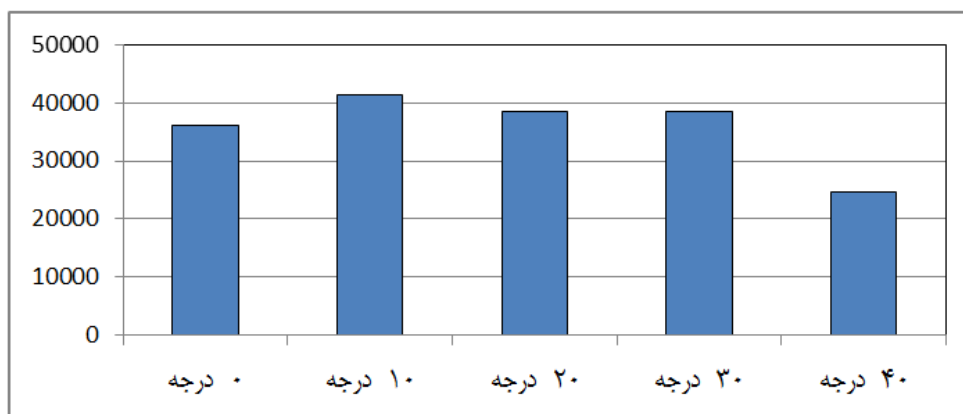
مجموع مساحت سایه‌اندازی خون در جبهه جنوبی	مساحت سایه در ۱۶ ساعت	مساحت سایه در ۱۵ ساعت	مساحت سایه در ۱۴ ساعت	مساحت سایه در ۱۳ ساعت	مساحت سایه در ۱۲ ساعت	مساحت سایه در ۱۱ ساعت	زاویه چرخش خون نسبت به جنوب
۸۴۶۲	فاقد تابش	۳۱۵۰	۱۴۳۲	۱۲۰۲	۱۳۱۸	۱۳۶۰	۰ درجه
۹۳۵۲	۲۵۰۰	۱۵۶۷	۱۳۴۶	۱۱۶۶	۱۳۴۲	۱۴۳۱	۱۰ درجه
۸۱۹۱	۱۴۹۰	۱۴۱۱	۱۲۸۱	۱۱۴۲	۱۳۶۵	۱۵۰۲	۲۰ درجه
۸۰۰۹	۱۲۸۷	۱۲۷۵	۱۲۴۷	۱۱۳۱	۱۳۹۸	۱۶۷۱	۳۰ درجه
۶۷۶۶	۱۲۱۸	۱۱۴۹	۱۲۲۳	۱۱۱۹	۲۰۵۷	فاقد تابش	۴۰ درجه

بهینه برای حداکثر سایه‌اندازی خون‌ها بر جداره‌های خارجی جبهه جنوبی ساختمان‌های شهر شوشتر، ۱۰ درجه شمال شرقی به جنوب غربی می‌باشد. نامناسب‌ترین حالت استقرار بنا نیز در زمانی اتفاق می‌افتد که جداره، با زاویه‌ای ۴۰ درجه بر روی محور شمال شرقی به جنوب غربی قرار گرفته باشد (جدول ۶). بر اساس این یافته‌ها، برتری جهت‌گیری با زاویه ۱۰ درجه نسبت به سایر درجات در جبهه جنوبی عبارت است از:

می‌دهد؛ بیشترین مساحت سایه‌های تولیدشده توسط این نقوش در طول ساعات مختلف روز در حالتی اتفاق می‌افتد که این خون‌چینی‌ها با چرخشی ۱۰ درجه‌ای (شمال شرقی به جنوب غربی) در مقابل نور خورشید قرار گرفته و کمترین حالت سایه‌اندازی نیز در حالت چرخش ۴۰ درجه‌ای رخ داده است (جدول ۳-۵). بررسی نتایج مطالعات میدانی بر روی همه نمونه‌ها نشان داد که زاویه

جدول ۶. مجموع مساحت سایه‌اندازی خون‌های شماره یک، ۱۰ و ۲۷ در مطالعات میدانی در جبهه جنوبی (واحد  $CM^2$ )

مجموع عملکرد خون‌ها در زوایای مختلف در جبهه جنوبی ( $CM^2$ )	مجموع سایه‌اندازی خون شماره ۲۷ ( $CM^2$ )	مجموع سایه‌اندازی خون شماره ۱۰ ( $CM^2$ )	مجموع سایه‌اندازی خون شماره ۱ ( $CM^2$ )	زوایای چرخش خون نسبت به جنوب
۳۶۰۷۰	۸۴۶۲	۱۱۰۲۰	۱۶۵۸۸	۰ درجه
۴۱۳۱۵	۹۳۵۲	۱۳۴۸۸	۱۸۴۷۵	۱۰ درجه
۳۸۴۶۱	۸۱۹۱	۱۱۸۶۲	۱۸۴۰۸	۲۰ درجه
۳۸۶۰۳	۸۰۰۹	۱۲۲۲۷	۱۸۳۶۷	۳۰ درجه
۲۴۶۶۵	۶۷۶۶	۵۹۶۲	۱۱۹۳۷	۴۰ درجه

نمودار ۱. مقایسه مساحت سایه تولیدشده توسط خون‌های ۱، ۱۰ و ۲۷ در زوایای مختلف در جبهه جنوبی (شاخص  $CM^2$ )

۲. مطالعات شبیه‌سازی: در راستای انتخاب نرم‌افزاری معتبر برای شبیه‌سازی، نقشه سه‌بعدی شده از سه خونی که پیش‌تر به صورت میدانی میزان سایه‌اندازی آن‌ها مورد مطالعه قرار گرفته بود، تهیه گردید و با استفاده از نرم‌افزار اکوتکت، تمام تصاویری که در ساعات مختلف روز و در زاویه ۱۰ درجه شمال شرقی به جنوب غربی به صورت میدانی تهیه شده بود، شبیه‌سازی شد (جدول ۷)؛ سپس میزان مساحت سایه‌های تولیدشده در تصاویر شبیه‌سازی شده به کمک نرم‌افزار ایمپجی محاسبه گردید.

جداول ۸ تا ۱۰ نشان‌دهنده اختلاف نتایج مطالعات میدانی و شبیه‌سازی است؛ میانگین این اختلاف برای خون شماره یک ۲/۴۱٪، برای خون شماره ده ۴/۷۳٪ و برای خون شماره ۲۷ نیز ۱/۵۸٪ می‌باشد.

جدول ۸. مقایسه مساحت سایه‌اندازی خون شماره یک در مطالعات میدانی و شبیه‌سازی

میزان اختلاف	نتایج میدانی ( $CM^2$ )	نتایج شبیه‌سازی ( $CM^2$ )	ساعت
۱/۹۱٪	۲۸۶۵	۲۸۱۰	۱۱
۳/۱۳٪	۲۳۹۴	۲۴۶۹	۱۲
۱/۷۴٪	۲۲۳۱	۲۲۷۰	۱۳
۰/۹۱٪	۲۵۰۹	۲۵۳۲	۱۴
۲/۹۸٪	۳۰۷۸	۳۱۷۰	۱۵
۳/۷۹٪	۵۳۹۸	۵۶۰۱	۱۶
۲/۴۱٪	میانگین اختلاف سایه‌اندازی در مطالعات میدانی و شبیه‌سازی		

۲۵/۵٪ نسبت به صفر درجه، ۶/۹٪ نسبت به ۲۰ درجه، ۶/۶٪ نسبت به ۳۰ درجه و ۴۰/۳٪ نسبت به زاویه ۴۰ درجه.

نمودار یک که اطلاعات خود را از جدول ۶ گرفته است، به‌طور شماتیک نشان می‌دهد که بر اساس مطالعات میدانی، مجموع عملکرد سایه‌اندازی نقوش خون چینی شوشتر در زوایای مختلف به چه میزان با یکدیگر اختلاف داشته است.

جدول ۷. مقایسه تصویر خون‌های منتخب در مطالعات میدانی و شبیه‌سازی در ساعت ۱۱

شماره خون	مدل میدانی (ماکت)	مدل شبیه‌سازی در اکوتکت
۱		
۱۰		
۲۷		

مقایسه میان مساحت سایه‌های تولیدشده به صورت میدانی و شبیه‌سازی، نشان داد که تصاویر شبیه‌سازی شده توسط نرم‌افزار اکوتکت بامیانگین خطای ۲/۸۲٪ نسبت به وضعیت واقعی، خروجی را در اختیار ما قرار می‌دهد و بدین‌وسیله اعتبار نرم‌افزار اکوتکت برای مطالعات اقلیمی شوشتر تأیید شد. پس از اعتبارسنجی نرم‌افزار اکوتکت، نقش ۶۶ خون چینی شوشتر در نرم‌افزار اتوکد به صورت سه‌بعدی ترسیم گردید. سپس این احجام به نرم‌افزار اکوتکت منتقل و در ساعات ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵ و ۱۶ در روز نهم مردادماه، سایه‌اندازی آن‌ها شبیه‌سازی شد؛ در نهایت، به کمک نرم‌افزار ایمپجی مساحت دقیق سایه‌های تولیدشده، از طریق تحلیل تصاویر شبیه‌سازی به دست آمد (جدول ۱۱).

جدول ۱۱ نشان می‌دهد که بزرگ‌ترین نمونه مورد مطالعه، خون شماره ۳ با مساحت ۲/۳۷ مترمربع و کوچک‌ترین آن‌ها، خون‌های شماره ۲۸، ۳۷، ۴۲ و ۵۲ با مساحت ۰/۰۹ مترمربع است. نمودار ۲ که داده‌های خود را از جدول ۱۱ گرفته، نشان‌دهنده مساحت سایه‌اندازی خون‌های شوشتر در ساعات مختلف روز در جبهه جنوبی ساختمان می‌باشد. اصطلاح BP در شماره گذاری خون‌ها، مخفف کلمه Brick Pattern به معنای «نقش آجری» است.

### تحلیل یافته‌های پژوهش

بررسی‌ها نشان داد که به دلیل یکسان نبودن مساحت نقوش، نمودار ۲ نمی‌تواند ملاکی برای مقایسه توانایی سایه‌اندازی خون‌ها با یکدیگر باشد؛ زیرا بدیهی است، خونی که مساحت نقش و میزان بیرون‌زدگی بیشتری

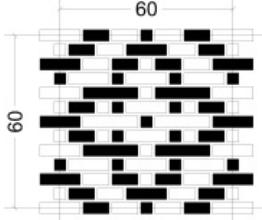
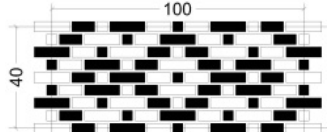
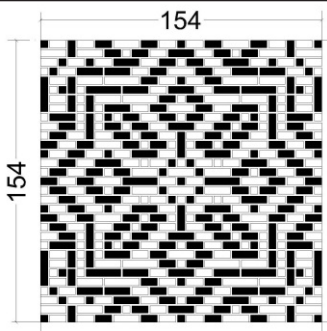
جدول ۹. مقایسه مساحت سایه‌اندازی خون شماره ۱۰ در مطالعات میدانی و شبیه‌سازی

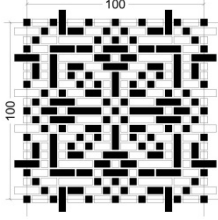
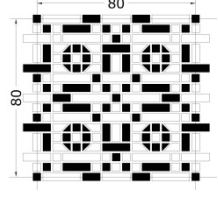
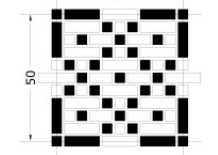
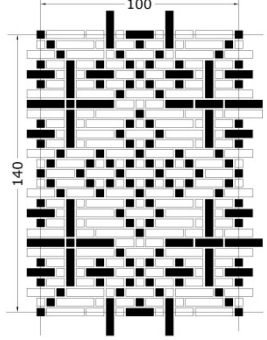
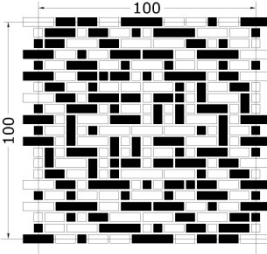
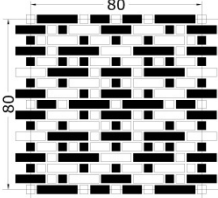
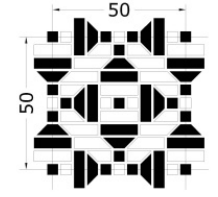
ساعت	نتایج شبیه‌سازی (CM <sup>2</sup> )	نتایج میدانی (CM <sup>2</sup> )	میزان اختلاف
۱۱	۲۲۲۴	۲۳۲۳	۴/۲۶
۱۲	۱۷۳۰	۱۷۱۳	۰/۹۹
۱۳	۱۵۷۴	۱۶۲۱	۲/۸۹
۱۴	۱۸۴۸	۱۸۲۹	۱/۰۳
۱۵	۲۱۸۲	۲۱۱۸	۳/۰۲
۱۶	۴۰۶۸	۳۸۸۴	۴/۷۳
میانگین اختلاف سایه‌اندازی در مطالعات میدانی و شبیه‌سازی		۲/۸۲٪	

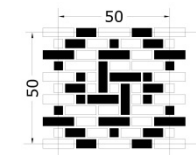
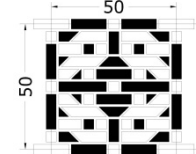
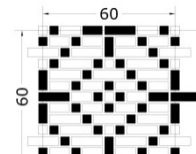
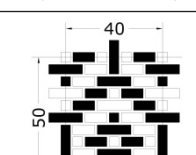
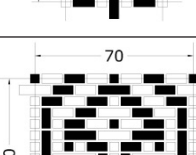
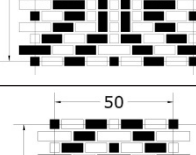
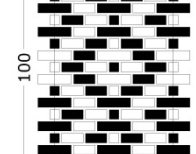
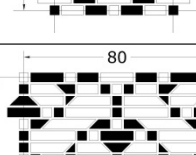
جدول ۱۰. مقایسه مساحت سایه‌اندازی خون شماره ۲۷ در مطالعات میدانی و شبیه‌سازی

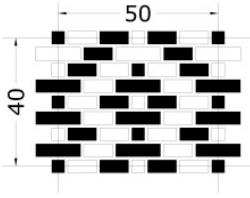
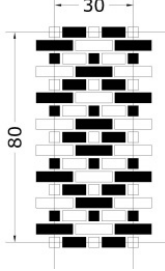
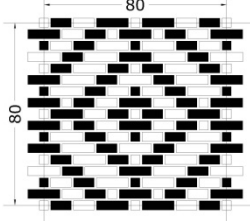
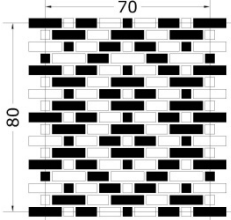
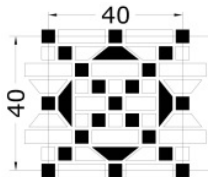
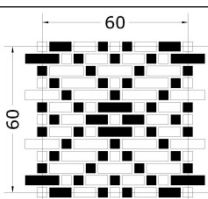
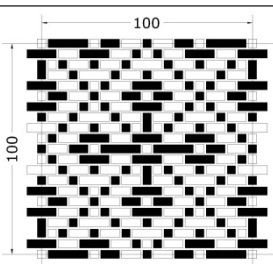
ساعت	نتایج شبیه‌سازی (CM <sup>2</sup> )	نتایج میدانی (CM <sup>2</sup> )	میزان اختلاف
۱۱	۱۴۱۵	۱۴۳۱	٪۱/۱۱
۱۲	۱۳۲۸	۱۳۴۲	٪۱/۰۴
۱۳	۱۱۶۶	۱۱۷۱	٪۰/۴۲
۱۴	۱۳۴۶	۱۳۳۲	٪۱/۰۵
۱۵	۱۵۶۷	۱۵۴۹	٪۱/۱۶
۱۶	۲۶۲۸	۲۵۰۹	٪۴/۷۴
میانگین اختلاف سایه‌اندازی در مطالعات میدانی و شبیه‌سازی		٪۱/۵۸	

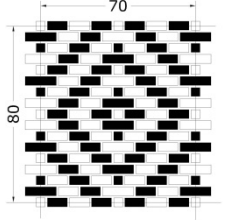
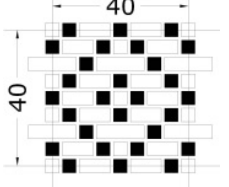
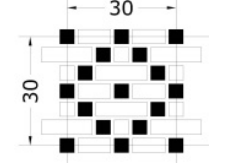
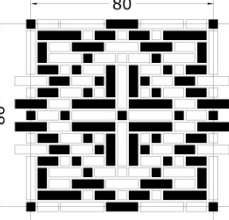
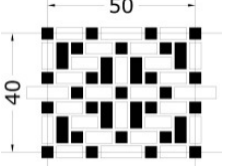
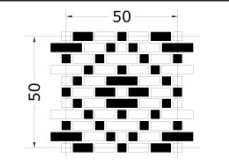
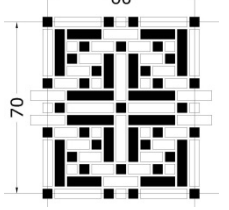
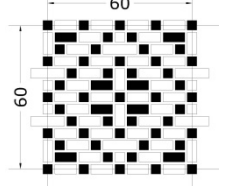
جدول ۱۱. مساحت سایه‌اندازی خون چینی‌های شوشتر در جبهه جنوبی با زاویه قرارگیری ۱۰ درجه شمال شرقی به جنوب غربی

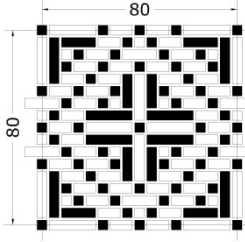
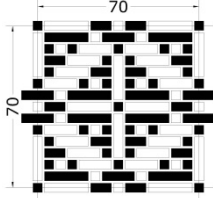
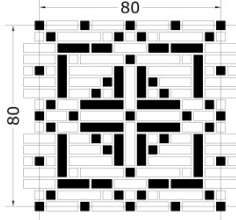
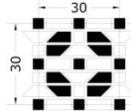
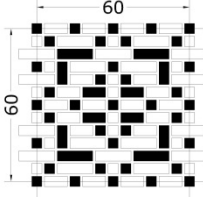
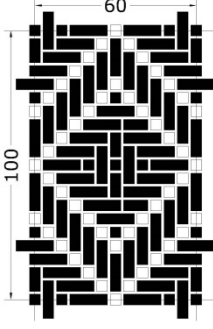
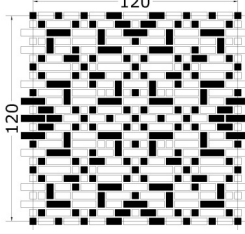
مجموع مساحت سایه (CM <sup>2</sup> )	مساحت سایه تولیدشده در ساعات مختلف روز در جبهه جنوبی (CM <sup>2</sup> )						مساحت خون (CM <sup>2</sup> )	نقشه خون (CM <sup>2</sup> )	شماره خون.
	۱۶	۱۵	۱۴	۱۳	۱۲	۱۱			
۱۸۸۵۲	۵۶۰۱	۳۱۷۰	۲۵۳۲	۲۲۷۰	۲۴۶۹	۲۸۱۰	۳۶۰۰		۱
۲۳۱۲۱	۶۲۴۷	۳۵۷۲	۳۴۲۲	۳۱۸۵	۳۲۵۸	۳۴۳۷	۴۰۰۰		۲
۹۲۶۰۴	۲۲۰۰۹	۱۵۷۱۲	۱۴۹۰۲	۱۳۳۷۷	۱۲۰۵۳	۱۴۶۵۱	۲۳۷۱۶		۳

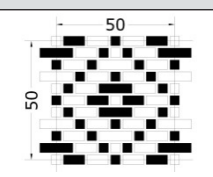
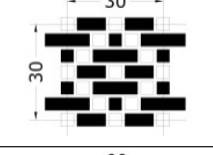
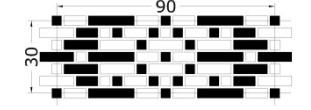
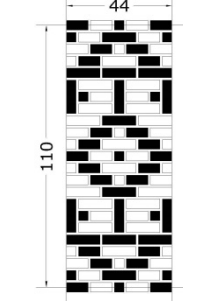
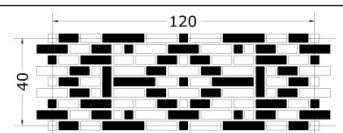
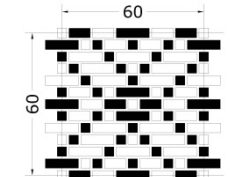
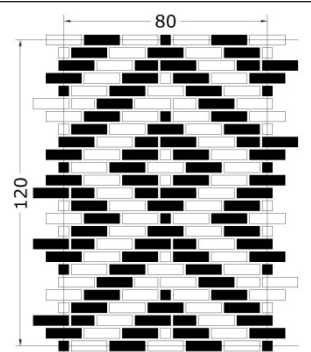
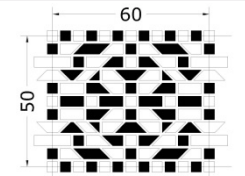
مجموع مساحت سایه (CM <sup>2</sup> )	مساحت سایه تولیدشده در ساعات مختلف روز در جبهه جنوبی (CM <sup>2</sup> )						مساحت خوون (CM <sup>2</sup> )	نقشه خوون (CM <sup>2</sup> )	شماره خوون
	۱۶	۱۵	۱۴	۱۳	۱۲	۱۱			
۴۵۴۲۳	۱۱۱۷۱	۷۴۶۶	۶۶۶۲	۵۴۰۲	۶۷۳۸	۷۹۸۴	۱۰۰۰۰		۴
۳۰۵۲۶	۷۹۴۴	۵۹۹۴	۴۳۱۴	۳۱۰۱	۳۶۶۰	۵۵۱۳	۶۴۰۰		۵
۱۶۰۹۲	۴۸۳۵	۲۹۰۷	۲۰۵۰	۱۷۸۵	۲۰۲۶	۲۴۹۹	۲۵۰۰		۶
۵۷۸۸۸	۱۴۹۱۶	۱۰۷۳۱	۷۴۹۸	۶۸۸۵	۷۸۸۴	۹۹۷۴	۱۴۰۰۰		۷
۴۱۴۱۴	۱۰۷۲۲	۶۵۴۷	۵۶۷۷	۴۹۴۴	۵۹۶۲	۷۵۶۲	۱۰۰۰۰		۸
۳۰۳۹۸	۷۷۷۰	۵۲۲۲	۴۴۵۲	۳۶۴۶	۴۲۶۲	۵۰۴۶	۶۴۰۰		۹
۱۳۶۲۶	۴۰۶۸	۲۱۸۲	۱۸۴۸	۱۵۷۴	۱۷۳۰	۲۲۲۴	۲۵۰۰		۱۰

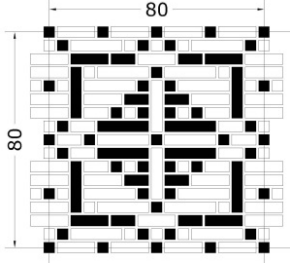
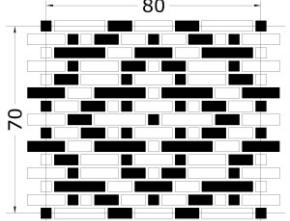
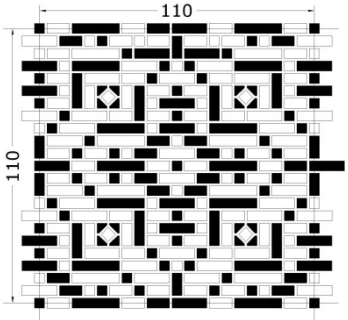
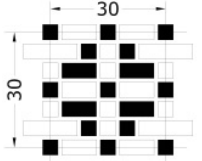
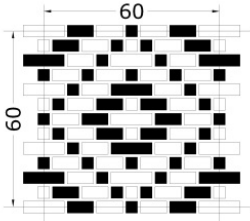
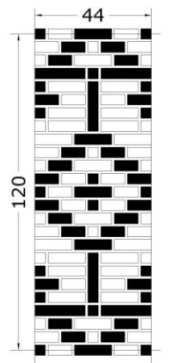
مجموع مساحت سایه (CM <sup>2</sup> )	مساحت سایه تولیدشده در ساعات مختلف روز در جبهه جنوبی (CM <sup>2</sup> )						مساحت خون (CM <sup>2</sup> )	نقشه خون (CM <sup>2</sup> )	شماره خون
	۱۶	۱۵	۱۴	۱۳	۱۲	۱۱			
۱۳۱۲۳	۳۸۰۶	۲۰۷۴	۱۷۷۲	۱۵۷۹	۱۷۰۲	۲۱۹۰	۲۵۰۰		۱۱
۱۴۳۴۳	۳۹۸۳	۲۴۳۰	۲۰۲۳	۱۸۱۹	۱۹۵۳	۲۱۳۵	۲۵۰۰		۱۲
۱۹۹۹۶	۵۲۳۵	۳۴۳۶	۲۸۶۶	۲۵۵۸	۲۶۹۷	۳۲۰۴	۳۶۰۰		۱۳
۱۱۸۷۶	۳۷۵۸	۱۸۵۷	۱۴۹۶	۱۳۷۰	۱۴۷۹	۱۹۱۶	۲۰۰۰		۱۴
۲۱۶۱۹	۶۳۷۰	۳۷۶۴	۲۹۵۱	۲۱۸۴	۲۴۹۹	۳۸۵۱	۴۹۰۰		۱۵
۲۳۲۹۵	۶۳۹۷	۳۸۷۲	۳۲۰۷	۲۸۷۸	۳۱۴۸	۳۷۹۳	۵۰۰۰		۱۶
۳۴۴۷۲	۹۷۷۸	۵۶۹۱	۴۷۱۴	۴۰۱۱	۴۵۴۱	۵۷۳۸	۶۴۰۰		۱۷
۱۴۳۵۹	۴۲۳۴	۲۳۲۷	۱۸۵۱	۱۶۹۲	۱۸۳۸	۲۴۱۷	۲۵۰۰		۱۸

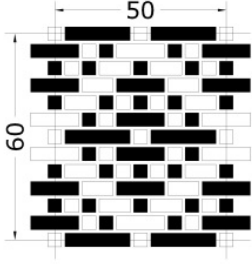
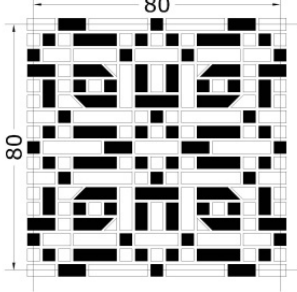
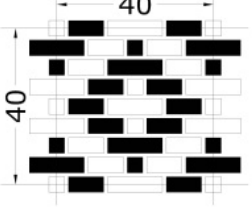
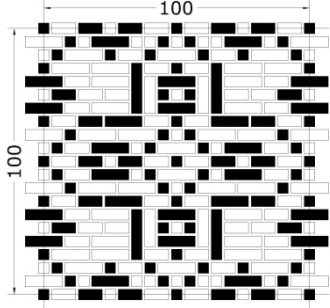
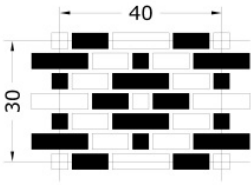
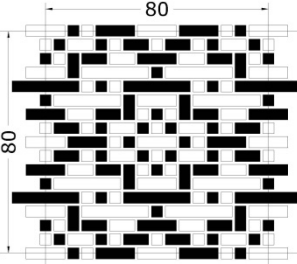
مجموع مساحت سایه (CM <sup>2</sup> )	مساحت سایه تولیدشده در ساعات مختلف روز در جبهه جنوبی (CM <sup>2</sup> )						مساحت خوون (CM <sup>2</sup> )	نقشه خوون (CM <sup>2</sup> )	شماره خوون
	۱۶	۱۵	۱۴	۱۳	۱۲	۱۱			
۱۱۴۶۷	۳۴۶۰	۱۹۴۲	۱۴۹۳	۱۳۵۱	۱۴۶۵	۱۷۵۶	۲۰۰۰		۱۹
۱۳۱۸۰	۳۸۴۰	۲۱۱۵	۱۷۶۶	۱۵۵۳	۱۷۲۳	۲۱۸۳	۲۴۰۰		۲۰
۲۹۵۷۵	۷۴۷۱	۵۱۷۲	۴۱۰۰	۳۶۹۱	۴۳۲۷	۴۸۱۴	۶۴۰۰		۲۱
۲۴۷۷۸	۶۷۶۷	۳۹۹۴	۳۳۷۲	۳۱۸۴	۳۶۰۵	۳۸۵۶	۵۶۰۰		۲۲
۹۵۹۷	۲۸۳۴	۱۶۷۶	۱۳۳۸	۱۱۵۶	۱۲۸۲	۱۳۱۱	۱۶۰۰		۲۳
۱۹۴۸۷	۵۳۸۷	۳۳۰۷	۲۸۰۲	۲۲۲۳	۲۷۳۲	۳۰۳۶	۳۶۰۰		۲۴
۴۸۱۳۳	۱۱۷۳۱	۸۱۰۰	۷۲۰۰	۶۵۱۴	۷۰۸۵	۷۵۰۳	۱۰۰۰۰		۲۵

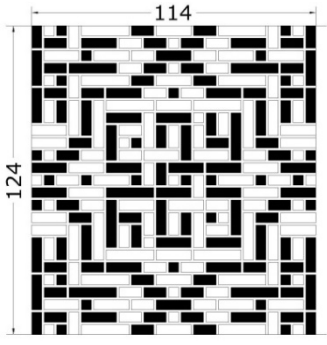
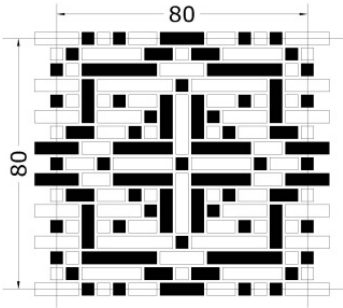
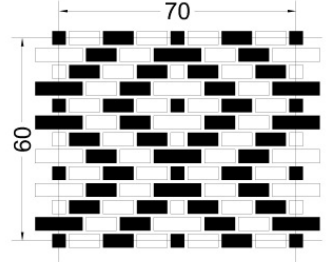
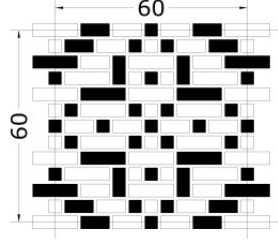
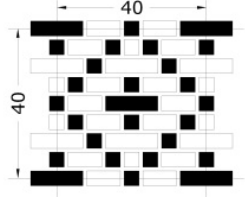
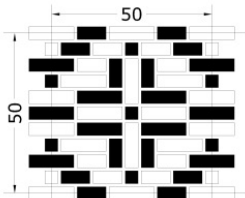
مجموع مساحت سایه (CM <sup>2</sup> )	مساحت سایه تولیدشده در ساعات مختلف روز در جبهه جنوبی (CM <sup>2</sup> )						مساحت خون (CM <sup>2</sup> )	نقشه خون (CM <sup>2</sup> )	شماره خون
	۱۶	۱۵	۱۴	۱۳	۱۲	۱۱			
۲۶۰۲۲	۶۳۹۴	۴۳۰۹	۳۸۵۴	۳۶۵۰	۳۷۸۵	۴۰۳۰	۵۶۰۰		۲۶
۹۴۵۰	۲۶۲۸	۱۵۶۷	۱۳۴۶	۱۱۶۶	۱۳۲۸	۱۴۱۵	۱۶۰۰		۲۷
۵۷۴۹	۱۷۵۴	۹۵۵	۷۷۱	۶۶۵	۷۵۵	۸۴۹	۹۰۰		۲۸
۲۹۶۴۳	۸۱۹۶	۵۰۴۲	۴۱۶۳	۳۶۲۸	۴۰۰۵	۴۶۰۹	۶۴۰۰		۲۹
۱۱۵۴۹	۳۳۳۹	۱۹۲۲	۱۵۹۱	۱۴۰۷	۱۵۶۱	۱۷۲۹	۲۰۰۰		۳۰
۱۳۸۱۱	۳۷۰۱	۲۳۲۱	۱۹۹۰	۱۷۷۹	۱۹۵۱	۲۱۳۹	۲۵۰۰		۳۱
۱۹۸۸۳	۵۴۷۲	۳۳۳۲	۲۸۱۲	۲۵۰۰	۲۷۳۹	۳۰۲۸	۴۲۰۰		۳۲
۱۸۹۱۹	۵۰۰۱	۳۱۳۷	۲۷۶۰	۲۴۵۶	۲۷۲۲	۲۸۴۳	۳۶۰۰		۳۳

مجموع مساحت سایه (CM <sup>2</sup> )	مساحت سایه تولیدشده در ساعات مختلف روز در جبهه جنوبی (CM <sup>2</sup> )						مساحت خون (CM <sup>2</sup> )	نقشه خون (CM <sup>2</sup> )	شماره محور
	۱۶	۱۵	۱۴	۱۳	۱۲	۱۱			
۳۰۵۳۹	۷۷۷۱	۵۱۲۴	۴۵۲۸	۴۰۰۹	۴۴۱۶	۴۶۹۱	۶۴۰۰		۳۴
۲۳۹۸۵	۶۸۱۹	۴۰۹۱	۳۲۹۳	۲۸۶۳	۳۱۶۹	۳۷۵۰	۴۹۰۰		۳۵
۲۸۰۲۷	۷۷۶۰	۴۸۵۷	۳۹۱۶	۳۳۲۴	۳۷۶۲	۴۴۰۸	۶۴۰۰		۳۶
۵۶۹۵	۱۷۷۰	۹۲۷	۷۵۶	۶۷۱	۷۳۷	۸۳۴	۹۰۰		۳۷
۱۸۵۹۲	۵۳۷۵	۳۰۶۶	۲۵۸۳	۲۲۸۳	۲۵۳۳	۲۷۵۲	۳۶۰۰		۳۸
۲۰۰۴۷	۶۲۵۵	۳۳۷۲	۲۶۳۲	۲۲۳۵	۲۴۸۵	۳۰۶۸	۶۰۰۰		۳۹
۶۱۳۱۱	۱۵۳۳۰	۱۰۷۲۲	۸۹۲۰	۷۸۰۱	۸۸۲۹	۹۷۰۹	۱۴۴۰۰		۴۰

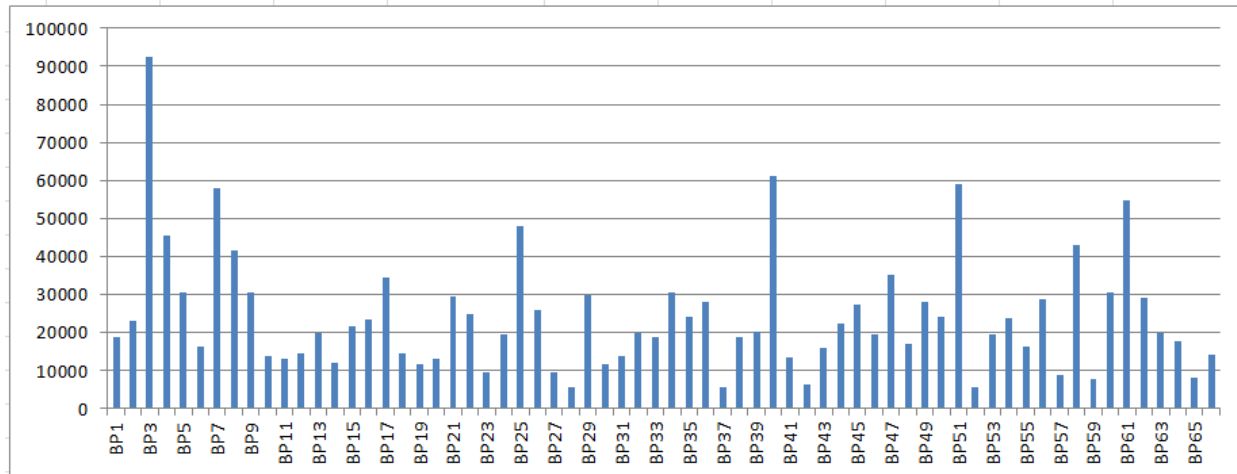
مجموع مساحت سایه (CM <sup>2</sup> )	مساحت سایه تولیدشده در ساعات مختلف روز در جبهه جنوبی (CM <sup>2</sup> )						مساحت خون (CM <sup>2</sup> )	نقشه خون (CM <sup>2</sup> )	شماره خون
	۱۶	۱۵	۱۴	۱۳	۱۲	۱۱			
۱۳۵۲۵	۳۵۷۳	۲۳۳۹	۱۸۳۱	۱۶۵۶	۱۹۷۹	۲۱۴۷	۲۵۰۰		۴۱
۶۱۷۴	۱۷۹۵	۱۰۶۲	۸۳۷	۷۱۵	۷۹۶	۹۶۹	۹۰۰		۴۲
۱۵۹۵۰	۴۵۵۱	۲۴۳۴	۲۲۸۰	۲۱۰۴	۲۰۹۶	۲۴۸۵	۲۷۰۰		۴۳
۲۲۳۳۹	۶۴۶۹	۳۵۲۷	۳۱۱۴	۲۷۴۰	۲۹۸۹	۳۵۰۰	۴۸۴۰		۴۴
۲۷۱۷۱	۷۱۹۸	۴۶۳۳	۳۹۴۰	۳۶۱۹	۳۸۲۶	۳۹۵۵	۴۸۰۰		۴۵
۱۹۶۱۸	۵۵۰۹	۳۰۷۵	۲۷۸۸	۲۴۵۰	۲۶۸۳	۳۱۱۳	۳۶۰۰		۴۶
۳۵۳۲۰	۹۴۰۱	۶۰۰۴	۴۹۷۶	۴۴۸۰	۴۷۹۱	۵۶۶۸	۹۶۰۰		۴۷
۱۶۸۲۱	۴۴۴۷	۲۷۳۰	۲۴۳۰	۲۲۵۰	۲۳۵۳	۲۶۱۱	۳۰۰۰		۴۸

مجموع مساحت سایه (CM <sup>2</sup> )	مساحت سایه تولیدشده در ساعات مختلف روز در جبهه جنوبی (CM <sup>2</sup> )						مساحت خوون (CM <sup>2</sup> )	نقشه خوون (CM <sup>2</sup> )	شماره خوون
	۱۶	۱۵	۱۴	۱۳	۱۲	۱۱			
۲۸۰۲۷	۷۷۶۰	۴۸۵۷	۳۹۱۶	۳۳۲۴	۳۷۶۲	۴۴۰۸	۶۴۰۰		۴۹
۲۴۰۴۶	۶۲۳۴	۴۰۷۴	۳۴۵۵	۳۱۱۷	۳۳۳۳	۳۸۳۳	۵۶۰۰		۵۰
۵۹۱۳۳	۱۴۷۵۵	۱۰۳۱۸	۸۵۸۹	۷۴۶۱	۸۳۷۶	۹۷۲۴	۱۲۱۰۰		۵۱
۵۶۲۱	۱۸۰۷	۸۶۰	۷۴۹	۶۳۲	۷۳۳	۸۴۰	۹۰۰		۵۲
۱۹۵۰۱	۴۹۸۹	۳۲۴۴	۲۸۴۷	۲۵۶۵	۲۷۹۶	۳۰۶۰	۳۶۰۰		۵۳
۲۳۶۱۱	۶۹۸۵	۴۰۳۵	۳۱۷۶	۲۷۰۶	۳۰۳۲	۳۶۷۷	۵۲۸۰		۵۴

مجموع مساحت سایه (CM <sup>2</sup> )	مساحت سایه تولیدشده در ساعات مختلف روز در جبهه جنوبی (CM <sup>2</sup> )						مساحت خون (CM <sup>2</sup> )	نقشه خون (CM <sup>2</sup> )	شماره خون
	۱۶	۱۵	۱۴	۱۳	۱۲	۱۱			
۱۶۳۹۱	۴۴۵۰	۲۷۴۸	۲۳۳۶	۲۰۹۳	۲۲۴۹	۲۵۱۵	۳۰۰۰		۵۵
۲۸۸۵۹	۸۰۴۴	۲۷۴۰	۴۱۵۵	۳۴۰۰	۳۶۰۸	۴۹۱۲	۶۴۰۰		۵۶
۸۸۵۹	۲۴۹۵	۱۴۷۴	۱۲۱۹	۱۱۱۰	۱۱۸۴	۱۳۷۷	۱۶۰۰		۵۷
۴۲۹۸۳	۱۱۲۱۶	۷۴۷۵	۶۲۹۹	۵۴۰۸	۶۱۵۵	۶۴۳۰	۱۰۰۰۰		۵۸
۷۸۰۸	۲۲۹۲	۱۳۲۶	۱۰۶۰	۹۲۴	۱۰۰۳	۱۲۰۱	۱۲۰۰		۵۹
۳۰۶۶۳	۸۱۷۹	۵۳۳۰	۴۳۱۲	۳۶۷۱	۴۱۸۹	۴۹۸۲	۶۴۰۰		۶۰

مجموع مساحت سایه (CM <sup>2</sup> )	مساحت سایه تولیدشده در ساعات مختلف روز در جبهه جنوبی (CM <sup>2</sup> )						مساحت خوون (CM <sup>2</sup> )	نقشه خوون (CM <sup>2</sup> )	شماره خوون
	۱۶	۱۵	۱۴	۱۳	۱۲	۱۱			
۵۴۵۶۵	۱۵۱۹۱	۹۶۷۷	۷۵۹۸	۵۹۸۰	۷۰۵۰	۹۰۶۹	۱۴۱۳۰		۶۱
۲۸۹۲۱	۷۷۲۹	۴۹۸۲	۴۱۱۱	۳۴۹۰	۳۹۳۰	۴۶۷۹	۶۴۰۰		۶۲
۱۹۹۲۱	۵۵۲۹	۳۲۸۶	۲۷۶۴	۲۵۵۵	۲۷۰۷	۳۰۸۰	۴۲۰۰		۶۳
۱۷۵۹۲	۴۶۶۶	۲۹۵۷	۲۵۲۱	۲۲۳۸	۲۴۶۶	۲۷۴۴	۳۶۰۰		۶۴
۸۶۳۰	۱۸۳۵	۱۵۷۶	۱۳۱۷	۱۱۵۵	۱۲۸۸	۱۴۵۹	۱۶۰۰		۶۵
۱۴۲۳۳	۳۹۳۵	۲۳۹۶	۱۹۹۷	۱۷۳۷	۱۹۱۸	۲۲۵۰	۲۵۰۰		۶۶

نمودار ۲. مقایسه مساحت سایه تولیدشده توسط خون‌های شوشتر در جبهه جنوبی ساختمان (شاخص CM)



شماره خون	مساحت خون (مترمربع)	میزان بیرون‌زدگی نقش (درصد)	مجموع مساحت سایه تولیدشده (مترمربع)	کارایی سایه‌اندازی (R)
۱۳	۰/۳۶	۲۳/۸۸	۱/۹۹۹۶	۵/۵۵۴۴
۱۴	۰/۲	۴۲/۰۰	۱/۱۸۷۶	۵/۹۳۸۰
۱۵	۰/۴۹	۴۰/۲۰	۲/۱۶۱۹	۴/۴۱۲۰
۱۶	۰/۵	۴۰/۸۰	۲/۳۲۹۵	۴/۶۵۹۰
۱۷	۰/۶۴	۳۴/۳۷	۳/۴۴۷۳	۵/۳۸۶۴
۱۸	۰/۲۵	۴۲/۸۰	۱/۴۳۵۹	۵/۷۴۳۶
۱۹	۰/۲	۴۱/۵۰	۱/۱۴۶۷	۵/۷۳۳۵
۲۰	۰/۲۴	۴۰/۰۰	۱/۳۱۸۰	۵/۴۹۱۶
۲۱	۰/۶۴	۴۰/۶۲	۲/۹۵۷۵	۴/۶۲۱۰
۲۲	۰/۵۶	۳۷/۱۴	۲/۴۷۷۸	۴/۴۲۴۶
۲۳	۰/۱۶	۲۵/۶۲	۰/۹۵۹۷	۵/۹۹۸۱
۲۴	۰/۳۶	۲۵/۵۵	۱/۹۴۸۷	۵/۴۱۳۰
۲۵	۱	۳۴/۲۰	۴/۸۱۳۳	۴/۸۱۳۳
۲۶	۰/۵۶	۴۰/۰۰	۲/۶۰۲۲	۴/۶۴۶۷
۲۷	۰/۱۶	۲۱/۸۷	۰/۹۴۵۰	۵/۹۰۶۲
۲۸	۰/۰۹	۲۱/۳۳	۰/۵۷۴۹	۶/۳۸۷۷
۲۹	۰/۶۴	۳۸/۷۵	۲/۹۶۴۳	۴/۶۳۱۷
۳۰	۰/۲	۳۰/۰۰	۱/۱۵۴۹	۵/۷۷۴۵
۳۱	۰/۲۵	۳۰/۴۰	۱/۳۸۸۱	۵/۵۵۲۴
۳۲	۰/۴۲	۳۷/۱۴	۱/۹۸۸۳	۴/۷۳۴۰
۳۳	۰/۳۶	۲۶/۶۷	۱/۸۹۱۹	۵/۲۵۵۲
۳۴	۰/۶۴	۳۱/۸۷	۳/۰۵۳۹	۴/۷۷۱۷
۳۵	۰/۴۹	۳۹/۱۸	۲/۳۹۸۵	۴/۸۹۴۸
۳۶	۰/۶۴	۳۸/۰۰	۲/۸۰۲۷	۴/۳۷۹۲

دارد، سایه بزرگ‌تری را نسبت به خون‌های کوچک‌تر تولید می‌کند. پژوهشگران با تقسیم مساحت سایه تولیدشده بر مساحت خون، عددی به دست آوردند که نشان داد هر نقش می‌تواند سایه‌ای معادل چند برابر مساحت خود را تولید کند. عدد به‌دست‌آمده را کارایی یا همان «راندمان» سایه‌اندازی خون نامیده و آن را با حرف R نشان می‌دهیم که اساساً فاقد واحد اندازه‌گیری است. برای دستیابی به تحلیلی علمی از نتیجه محاسبات کارایی خون‌ها و دست‌یابی به علل اختلاف در سایه‌اندازی نقش مختلف، نگارندگان از مقاله پیشین خود با عنوان «شناسایی نقش و بررسی عناصر تشکیل‌دهنده خون چینی‌های شوشتر» (زنگنه، مسعودی‌نژاد و احدی، ۱۴۰۲) بهره گرفته و متغیر «میزان بیرون‌زدگی نقش» که در آن پژوهش محاسبه و اعلام شده بود را با اعداد کارایی به‌دست‌آمده، مورد مقایسه و بررسی قرار دادند.

جدول ۱۲. کارایی خون چینی‌های شوشتر در سایه‌اندازی بر جبهه جنوبی ساختمان

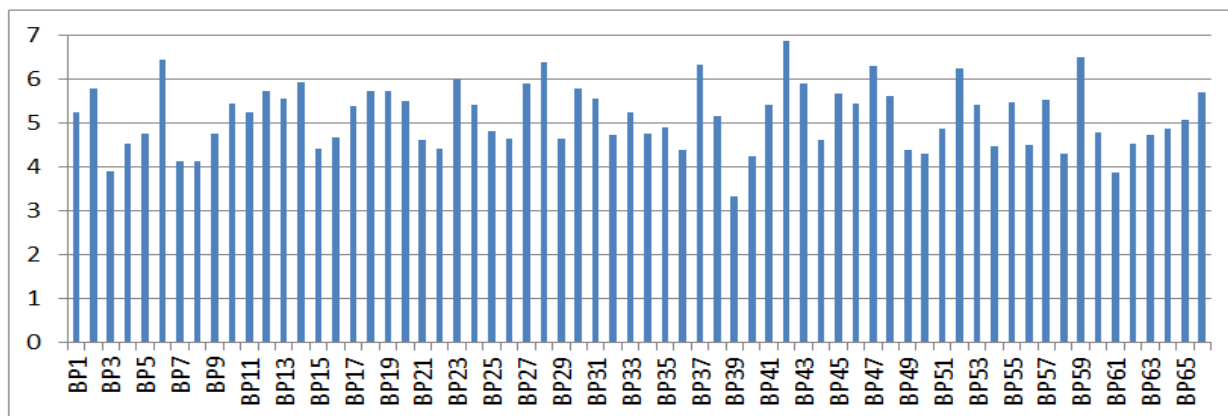
شماره خون	مساحت خون (مترمربع)	میزان بیرون‌زدگی نقش (درصد)	مجموع مساحت سایه تولیدشده (مترمربع)	کارایی سایه‌اندازی (R)
۱	۰/۳۶	۳۹/۴۴	۱/۸۸۵۲	۵/۲۳۶۶
۲	۰/۴	۴۰/۰۰	۲/۳۱۳۲	۵/۷۸۰۲
۳	۲/۳۷	۳۶/۱۶	۹/۲۶۰۴	۳/۹۰۵۶
۴	۱	۳۴/۴۰	۴/۵۴۲۳	۴/۲۳/۵۴
۵	۰/۶۴	۳۲/۸۱	۳/۰۵۲۶	۴/۷۶۹۶
۶	۰/۲۵	۲۶/۲۴	۱/۶۰۹۲	۶/۴۳۶۸
۷	۱/۴	۲۳/۵۸	۵/۷۸۸۸	۴/۱۳۴۸
۸	۱	۴۹/۳۰	۴/۱۴۱۴	۴/۱۴۱۴
۹	۰/۶۴	۴۰/۰۰	۳/۰۳۹۸	۴/۷۶۹۶
۱۰	۰/۲۵	۴۰/۰۰	۱/۳۶۲۶	۵/۴۵۰۴
۱۱	۰/۲۵	۳۸/۴۰	۱/۳۱۲۳	۵/۲۴۹۲
۱۲	۰/۲۵	۳۷/۶۰	۱/۴۳۴۳	۵/۷۳۷۲

شماره خون	مساحت خون (مترمربع)	میزان بیرون زدگی نقش (درصد)	مجموع مساحت سایه تولید شده (مترمربع)	کارایی سایه اندازی (R)
۵۴	۰/۵۲۸	۳۴/۴۶	۲/۳۶۱۱	۴/۴۷۱۷
۵۵	۰/۳	۴۱/۳۳	۱/۶۳۹۱	۵/۴۶۳۶
۵۶	۰/۶۴	۳۶/۸۷	۲/۸۸۵۹	۴/۵۰۹۲
۵۷	۰/۱۶	۴۰/۰۰	۰/۸۸۵۹	۵/۵۳۶۸
۵۸	۱	۲۸/۹۶	۴/۲۹۸۳	۴/۲۹۸۳
۵۹	۰/۱۲	۴۰/۰۰	۰/۷۸۰۸	۶/۵۰۶۶
۶۰	۰/۶۴	۳۷/۹۶	۳/۰۶۶۳	۴/۷۹۱۰
۶۱	۱/۴۱۳	۳۹/۲۹	۵/۴۵۶۵	۳/۸۶۱۶
۶۲	۰/۶۴	۳۴/۳۷	۲/۸۹۲۱	۴/۵۱۸۹
۶۳	۰/۴۲	۴۰/۰۰	۱/۹۹۲۱	۴/۷۴۳۰
۶۴	۰/۳۶	۳۰/۰۰	۱/۷۵۹۲	۴/۸۸۶۶
۶۵	۰/۱۶	۳۵/۶۲	۰/۸۱۱۲	۵/۰۷۰۰
۶۶	۰/۲۵	۳۵/۲۰	۱/۴۲۳۳	۵/۶۹۳۲

مقایسه خون چینی‌های شوشتر از لحاظ سایه‌اندازی نشان داد که نقش شماره ۴۲ با داشتن عدد ۶/۸۶، دارای بالاترین میزان کارایی و نقش شماره ۳۹ نیز با عدد ۳/۳۴ دارای کمترین میزان کارایی در سایه‌اندازی بر جبهه جنوبی ساختمان می‌باشند. نمودار ۳، اختلاف کارایی سایه‌اندازی این نقوش را با یکدیگر نشان می‌دهد.

شماره خون	مساحت خون (مترمربع)	میزان بیرون زدگی نقش (درصد)	مجموع مساحت سایه تولید شده (مترمربع)	کارایی سایه اندازی (R)
۳۷	۰/۰۹	۳۵/۵۵	۰/۵۶۹۵	۶/۳۲۷۷
۳۸	۰/۳۶	۲۷/۵۰	۱/۸۵۹۲	۵/۱۶۴۴
۳۹	۰/۶	۷۳/۱۶	۲/۰۰۴۷	۳/۳۴۱۱
۴۰	۱/۴۴	۲۶/۱۸	۶/۱۳۱۱	۴/۲۵۷۷
۴۱	۰/۲۵	۳۰/۴۰	۱/۳۵۲۵	۵/۴۱۰۰
۴۲	۰/۰۹	۵۰/۳۳	۰/۶۱۷۴	۶/۸۶۰۰
۴۳	۰/۲۷	۳۸/۸۸	۱/۵۹۵۰	۵/۹۰۷۴
۴۴	۰/۴۸۴	۴۰/۹۰	۲/۲۳۳۹	۴/۶۱۵۴
۴۵	۰/۴۸	۳۹/۹۱	۲/۷۱۷۱	۵/۶۶۰۶
۴۶	۰/۳۶	۲۹/۱۶	۱/۹۶۱۸	۵/۴۴۹۴
۴۷	۰/۵۶	۴۵/۸۹	۳/۵۳۲۰	۶/۳۰۷۱
۴۸	۰/۳	۳۶/۰۰	۱/۶۸۲۱	۵/۶۰۷۰
۴۹	۰/۶۴	۲۸/۰۰	۲/۸۰۲۷	۴/۰۳۷۹
۵۰	۰/۵۶	۳۷/۶۷	۲/۴۰۴۶	۴/۲۹۳۹
۵۱	۱/۲۱	۳۱/۱۵	۵/۹۱۲۳	۴/۸۸۶۱
۵۲	۰/۰۹	۳۱/۱۱	۰/۵۶۲۱	۶/۲۴۵۵
۵۳	۰/۳۶	۳۱/۹۴	۱/۹۵۰۱	۵/۴۱۶۹

نمودار ۳. مقایسه کارایی خون چینی‌های شوشتر در سایه‌اندازی بر جبهه جنوبی ساختمان

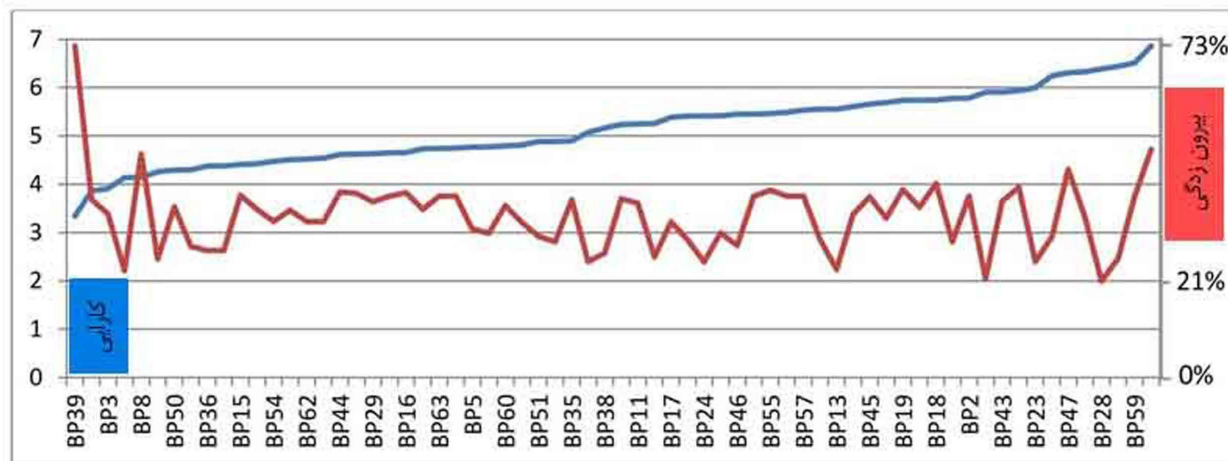


کارایی سایه‌اندازی خون‌ها ترسیم شده و مسیر خود را از کمترین به بیشترین عدد طی نموده و شاخص سمت چپ، ناظر بر حرکت آن است؛ خط قرمز نیز، وابسته به نمودار آبی و با استناد به درصد بیرون زدگی خون‌ها رسم شده و انطباق آن‌ها بر یکدیگر ثابت می‌کند، ارتباط معناداری میان حرکت صعودی خط آبی (کارایی) و مسیر طی شده توسط خط قرمز (بیرون زدگی) وجود ندارد. این نمودار نشان می‌دهد، در حالی که کمترین میزان کارایی متعلق به خون شماره ۳۹ می‌باشد، بیشترین درصد بیرون زدگی را نیز این نقش به خود اختصاص داده است تا بدین وسیله، فرضیه عدم وجود رابطه مستقیم میان کارایی سایه‌اندازی و بیرون زدگی نقش قوت گیرد.

مقایسه میزان بیرون زدگی نقوش خون چینی شوشتر با میزان کارایی آن‌ها نشان می‌دهد که هر چند، سایه به وسیله بخش بیرون زده این نقوش تولید می‌شود ولیکن عامل اصلی اختلاف مابین کارایی این نقوش در سایه‌اندازی، متغیر بیرون زدگی نقش نمی‌باشد؛ به بیان ساده‌تر، صرفاً با کاهش یا افزایش میزان بیرون زدگی، نمی‌توان کاهش یا افزایش سایه‌اندازی خون چینی را انتظار داشت و درصد بیرون زدگی بیشتر در یک نقش، نشان‌دهنده توانایی بیشتر آن نقش در سایه‌اندازی نیست. نمودار ۴ که با استفاده از داده‌های جدول ۱۲ ترسیم شده، مؤید این موضوع است.

این نمودار جهت بررسی میزان تطبیق عدد کارایی سایه‌اندازی با درصد بیرون زدگی خون‌ها تهیه شده است؛ خط آبی با استناد به اعداد مرتب شده

نمودار ۴. مقایسه میزان کارایی سایه‌اندازی نقوش با میزان بیرون زدگی نقوش



تحلیل و مساحت سایه‌اندازی هر خون در ساعات ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵ و ۱۶ به دست آمد. مطالعات نشان داد که بیشترین میزان سایه‌اندازی خون‌های شوشتر در ساعت ۱۶ و کم‌ترین آن‌ها در ساعت ۱۳ بوده و راندمان نقوش (نسبت مساحت کل سایه تولیدشده به مساحت کل نقش) بین ۳/۳۴ تا ۶/۸۶ است. یکی از دستاوردهای مهم این تحقیق، عدم وجود رابطه مستقیم و معنادار میان «مساحت بیرون‌زدگی نقوش» و «راندمان سایه‌اندازی» است؛ به عبارتی، صرف افزایش حجم تزئینات آجری و مساحت بیرون‌زدگی، منجر به بهبود عملکرد حرارتی نمی‌شود و به نظر می‌رسد بررسی تأثیر متغیرهای «پراکندگی» و «جهت‌گیری» نقش بر کارایی سایه‌اندازی خون چینی‌های شوشتر می‌تواند زمینه‌های مناسب برای پژوهش‌های آینده باشد.

### نتیجه‌گیری

پژوهشگران پس از پیمایش بافت تاریخی شوشتر، ۶۶ نقش خون چینی را استخراج و نسبت به مستندنگاری آن‌ها اقدام نمودند. از لحاظ مساحت، خون شماره ۳ با ۲/۳۷ مترمربع به‌عنوان بزرگ‌ترین و خون‌های شماره ۲۸، ۳۷، ۴۲ و ۵۲ با مساحت ۰/۰۹ مترمربع به‌عنوان کوچک‌ترین نقش شناسایی شدند. تحقیقات میدانی در بحرانی‌ترین بازه زمانی بر روی ۳ خون منتخب نشان داد که موقعیت بهینه قرارگیری ساختمان برای تولید حداکثر سایه به‌وسیله نقوش خون چینی بر روی جداره جنوبی، با چرخش ۱۰ درجه‌ای شمال شرقی به جنوب غربی اتفاق می‌افتد. پس از ترسیم نقوش به‌وسیله اتوکد، سایه‌اندازی کلیه نمونه‌ها به‌وسیله نرم‌افزار شبیه‌ساز اکوتکت انجام شد و تصاویر به‌دست‌آمده در نرم‌افزار ایمج‌جی،

### References

- Attarian, K., & Azizhaji, E. (2019). Investigation of brick carvings in the inscription of the entrance of Dezful historic houses [Barresiye noghushe ajori dar tazyinate katibehye sardare vorudie khanehaye tarikhiye Dezfol]. *Proceedings of the 3rd International Congress on Contemporary Civil Engineering, Architecture and Urban Development* (pp. 1–10). University of Tehran, Iran. (in Persian)
- Alhuwayil, W.K., Abdul-Mujeebu, M., & M. Algarny, A.M. (2018). Impact of external shading strategy on energy performance of multi-story hotel building in hot-humid climate. *Energy*, 169(C), pp. 1166-1174. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544218324356>
- Ben-Bacha, C., & Bourbia, F. (2016). *Effect of kinetic facades on energy efficiency in office buildings - hot dry climates*. Proceedings of the 11th Conference on Advanced Building Skins (pp. 458–468).
- Boukhelkhal, I., & Bourbia, F. (2021). Experimental study on the thermal behavior of exterior coating textures of building in hot and arid climates. *Sustainability Journal*, 13(8), 4175. <https://doi.org/10.3390/su13084175>
- Dahar, A., Tahbaz, M., & Taban, M. (2020). Studying the effect of khavunchini on heat transfer from South facade in summer, in very hot and semi-arid climate of Khuzestan [Barresiye asare khovon - chiniy bar enteghale harat az namaye jenobi dar tabastan, dar eghlime besyar garam va nimeh khoshke Khuzestan]. *Journal of Architecture in Hot and Dry Climate*, (10), 119-140. <https://doi.org/10.29252/ahdc.2020.13060.1302> (in Persian)
- Hashemi, N., Heidari, S., & Rahbar, M. (2022). Adaptive thermal comfort as the final metric for evaluating the quality of the exterior shading on building envelopes; The case study: A residential building in Shiraz, Iran [Sazgariye hararti be onvane shakhese nehaeye sanjesh keifiyate sayeh-andaziye sayehbanhaye kharji, nemonehye mourde motaleeh: sakhtemane maskuni dar Shiraz]. *Journal of Fine Arts: Architecture and urban planning*, 27 (3), 5-17. <https://jfaup.ut.ac.ir/article/88578.html> (in Persian)
- Kandar, M.Z., Nimlyat, P.S., Abdullahi, M.G., & Dodo, Y.A. (2019). Influence of inclined wall self-shading strategy on office building heat gain and energy performance in hot humid climate of Malaysia. *Helvion journal*, 5(7). e02077. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844019357378>
- Liua, S., Kwok, Y.T., Lau, K.K.L., Chan, P.W., & Ng, E. (2019). Investigating the energy saving potential of applying shading panels on opaque facades: A case study for residential buildings in Hong Kong. *Energy & Buildings journal*, 193, 78-91. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778818330147>
- Mashhoor, Z. (2022). Investigation of brick arrays of historical houses in the city of Behbahan in the Pahlavi Period [Barresiye arayehhaye ajoriye khanehaye Behbahan dar dorhye Pahlavi]. *Journal of Ira-*

- nian Architecture Studies, 20, 27-48. [https://jias.kashanu.ac.ir/article\\_111910.html](https://jias.kashanu.ac.ir/article_111910.html) (in Persian)
- Naeima, Gh. (1997). *Dezful; the city of bricks* [Dezful; shahr-e ajor]. Publications of the National Cultural Heritage Organization. (in Persian)
- Naeima, Gh. (2020). *Dezful; the city of bricks* [Dezful; shahr-e ajor] [(The second volume). Publications of Soroush Danesh. (in Persian)
- Rahimiyeh, F., & Robubi, GH. (1974). *Understanding the city and native Iranian housing in warm and semi-humid climate conditions; Dezful-Shushtar* [Shenakhte shahr va maskane boumiye Iran dar sharyete ab va havaeiye garm va nimeh martoo; Dezful-Shushtar]. Publications of the Tehran University Students Association. (in Persian)
- Rahaei, O., & Rezaeizadeh, A. (2022). Investigation of thermal behavior of traditional geometric patterns (Khavun-chini) in the external hollow walls of Dezful double-walled walls in order to revive cultural [Barresiye raftare hararatiye noghooshe hendesiye sonata (Khavun-chini) dar jedarehaye mojavafe kharejiye divarhaye do-jedarhaye Dezful dar rastaye ehysye hoviya-te farhangi]. *Journal of Researches in Islamic Architecture*, 4, 150-166. <https://jria.iust.ac.ir/article-1-1520-fa.html> (in Persian)
- Shahda, M.M. (2020). Self-shading walls to improve environmental performance in desert buildings. *Architecture Research journal*, 10(1), 1-14. <http://article.sapub.org/10.5923.j.arch.20201001.01.html>
- Taban, M., Pourjafar, M., Bemanian, M., & Heidari, SH. (2012). Climate Impact on Architectural Ornament Analyzing the Shadow of Khavoons in Dezful Historical Context with the Use of Image Processing [Tasire eghlim bar shekle tazeinate mamari ba takiyeh bar tahlile mizane sayeh-andaziye Khavun-chinihaye ajoeiye bafte tarikhiye Dezful]. *The Journal of Naqshejahan*, 2 (2), 79-90. [https://bsnt.modares.ac.ir/article\\_697.html](https://bsnt.modares.ac.ir/article_697.html) (in Persian)
- Taban, M., Mehrakizadeh, M., & Najjaran, S. (2019). Recognition of the shading elements in traditional houses of Dezful [Shenakhte anasore sayehandaz dar maskane sonatiye Dezful]. *The Journal of Armanshahr*, 27, 25-41. [https://www.armanshahrjournal.com/article\\_92444.html](https://www.armanshahrjournal.com/article_92444.html) (in Persian)
- Tarabieh, K., Abdelmohsen, S., Elghazi, Y., El-Dabaa, R., Hassan, A., & Amer, M. (2017). Parametric investigation of three types of brick bonds for thermal performance in a hot arid climate zone. *Passive Low Energy Architecture - Design to Thrive*, 3699-3706.
- Vasigh, B., Naseri, H., & Bakhteari, S. (2021). Recognizing the pleasantness of the image in khovon -chiniye at the entrance of the historical houses of Dezful [Bazeshenasiye matlubiyate tasviriyeh khovon-chiniye sardare khanehaye tarikhiye Dezful]. *Journal of Negarineh Islamic Art*, 7 (20), 57-67. [https://niamag.birjand.ac.ir/article\\_1663.html](https://niamag.birjand.ac.ir/article_1663.html) (in Persian)
- Zargarzadeh-dezfulli, M., Larry-Baghal, K., Salari-nasab, N., & Babaeimorad, M. (2016). The khovon decorative brickwork technique in architecture of Dezful [Khovon -chiniye, takamole abad va tanasob ajor dar namasazihaye asare memariye Dezful]. *Journal of Iranian Architecture Studies*, 9, 47-66. [https://jias.kashanu.ac.ir/article\\_111758.html](https://jias.kashanu.ac.ir/article_111758.html) (in Persian)
- Zangeneh, A., Masoudi-nezhad, M., & Ahadi, A.A. (2023). Patterns and constituent elements of the khavun-chinis of Shushtar [Shenasaye nogoosh va anasore tashkil dahandehye khovon -chinihaye Shushtar]. *Journal of Iranian Architecture Studies*, 23, 135-156. [https://jias.kashanu.ac.ir/article\\_114098.html](https://jias.kashanu.ac.ir/article_114098.html) (in Persian)
- تابان، محسن؛ پورجعفر، محمدرضا؛ بمانیان، محمدرضا و حیدری، شاهین. (۱۳۹۱). تأثیر اقلیم بر شکل تزئینات معماری با تکیه بر تحلیل میزان سایه‌اندازی خون چینی‌های آجری بافت تاریخی دزفول. *نشریه نقش جهان*، ۲(۳)، ۷۹-۹۰. [https://bsnt.mo-dares.ac.ir/article\\_697.html](https://bsnt.mo-dares.ac.ir/article_697.html)
- تابان، محسن؛ مهرکی زاده، محمد و نجاران، سارا. (۱۳۹۸). شناخت عناصر سایه‌انداز در مسکن سنتی دزفول. *فصلنامه معماری و شهرسازی آرمانشهر*، ۲۷، ۲۵-۴۱. [https://www.armanshahrjournal.com/article\\_92444.html](https://www.armanshahrjournal.com/article_92444.html)
- دهار، علی؛ طاهباز، منصوره و تابان، محسن. (۱۳۹۸). بررسی اثر خون چینی بر انتقال حرارت از نمای جنوبی در تابستان، در اقلیم بسیار گرم و نیمه‌خشک خوزستان. *نشریه معماری اقلیم گرم و خشک*، ۱۰، ۱۱۹-۱۴۰. <https://doi.org/10.29252/ahdc.2020.13060.1302>
- رحیمیه، فرنگیس و ربوبی، غلامرضا. (۱۳۵۳). شناخت شهر و مسکن بومی ایران در شرایط آب و هوایی گرم و نیمه مرطوب: دزفول - شوشتر. *انتشارات انجمن دانشجویان دانشگاه تهران*.
- رهایی، امید و رضایی‌زاده، آیه. (۱۴۰۱). بررسی رفتار حرارتی نقوش هندسی سنتی (خون چینی) در جداره‌های مجوف خارجی دیوارهای دوجداره دزفول در راستای احیای هویت فرهنگی. *فصلنامه پژوهش‌های معماری اسلامی*، ۴، ۱۵۰-۱۶۶. <https://jria.iust.ac.ir/article-11520-fa.html>
- زرگرزاده دزفولی، مجتبی؛ لاری بقال، سید کیانوش؛ سالاری نسب، نجمه و بابایی‌مراد، مهناز. (۱۳۹۵). خون چینی تکامل و تناسب ابعاد آجر در نماسازی‌های آثار معماری دزفول. *دوفصلنامه مطالعات معماری ایران*، ۹، ۴۷-۶۶. [https://jias.kashanu.ac.ir/article\\_111758.html](https://jias.kashanu.ac.ir/article_111758.html)
- زنگنه، علی؛ مسعودی‌نژاد، مصطفی و احدی، امین‌اله. (۱۴۰۲). شناسایی نقوش و اجزای تشکیل‌دهنده خون چینی‌های شوشتر. *دوفصلنامه مطالعات معماری ایران*، ۲۳، ۱۳۵-۱۵۶. [https://jias.kashanu.ac.ir/article\\_114098.html](https://jias.kashanu.ac.ir/article_114098.html)
- مشهور، زینب. (۱۴۰۰). بررسی آرایه‌های آجری خانه‌های تاریخی بهمان در دوره پهلوی. *دوفصلنامه مطالعات معماری ایران*، ۲۰، ۲۷-۴۸. [https://jias.kashanu.ac.ir/article\\_111910.html](https://jias.kashanu.ac.ir/article_111910.html)
- نعیما، غلامرضا. (۱۳۷۶). *دزفول شهر آجر*. انتشارات سازمان میراث فرهنگی کشور.
- نعیما، غلامرضا. (۱۳۹۹). *دزفول شهر آجر (جلد دوم)*. انتشارات سروش دانش.
- وثیق، بهزاد؛ ناصری، حسین و بختیاری، صادق. (۱۳۹۹). بازشناسی مطلوبیت تصویری خون چینی سردر خانه‌های تاریخی دزفول. *دوفصلنامه علمی نگارینه هنر اسلامی*، ۷(۲۰)، ۵۷-۶۷. [https://niamag.birjand.ac.ir/article\\_1663.html](https://niamag.birjand.ac.ir/article_1663.html)
- عطاریان، کوروش و عزیزحاجی، عصمت. (۱۳۹۸). بررسی نقوش آجری در تزئینات کتیبه سردر ورودی خانه‌های تاریخی دزفول. *سومین کنگره بین‌المللی عمران، معماری و شهرسازی معاصر، دانشگاه تهران، ایران*.
- هاشمی، نیلوفر؛ حیدری، شاهین و رهبر، مرتضی. (۱۴۰۱). سازگاری حرارتی به‌عنوان شاخص نهایی سنجش کیفیت سایه‌اندازی سایبان‌های خارجی نمونه مورد مطالعه: ساختمان مسکونی در شیراز. *نشریه هنرهای زیبا: معماری و شهرسازی*، ۲۷(۳)، ۱۷-۵. [https://jfaup.ut.ac.ir/article\\_88578.html](https://jfaup.ut.ac.ir/article_88578.html)