

Research Article

Courtyard orientation and geometry impact on energy consumption and behavior of light in Traditional desert architecture of Iran (Case study: Toon city)

A. Ghalehnovi ^{1*}, M. Moayedi ²

Introduction

Energy consumption in the building sector has become a critical issue, as indoor spaces account for a substantial portion of total global energy use and are expected to grow further in the near future (Rajan & Sinclair, 2017). Worldwide, increasing attention is being given to energy-efficient design, demand reduction, and passive strategies. Central courtyards, as a passive architectural feature, have historically contributed to thermal comfort and reduced energy consumption in hot-arid climates (Muhaisen & Gadi, 2005; Bagheri Sabzevar et al., 2017). They enhance daylight availability, provide shade, and mitigate excess heat through vegetation and water elements (Muhaisen, 2006; Zamani et al., 2012). Research indicates that courtyard geometry and proportions can reduce cooling energy demand by up to 18% while improving occupant comfort (Diz-Mellado et al., 2023), and passive strategies overall may decrease energy use by as much as 50% in hot climates (Hu et al., 2023). Despite their historical effectiveness, courtyards remain underutilized in contemporary architectural practice. Previous studies have underscored their impact on thermal comfort, daylighting, and shading performance, highlighting the importance of factors such as orientation, dimensions, and width-to-height ratio (Soflaei et al., 2016; Al-Hafith et al., 2017). Traditional Iranian houses embody climate-responsive design principles through courtyard integration and strategic building orientation—such as northeast–southwest (Rone Rasteh), northwest–southeast (Rone Esfahani), and east–west (Rone Kermani) (Salavatian, 2022; Hamze Nejad et al., 2020). Optimizing courtyard configurations can enhance thermal performance by up to 30% and lower indoor temperatures by approximately 3°C, leading to significant energy savings and improved occupant comfort (Gunasekaran & Priya, 2025; Khan et al., 2023). However, few studies have examined the combined effects of courtyard proportions and orientation on both energy consumption and visual comfort. This study aims to address this gap for residential buildings in semi-arid Iranian climates and offer insights for contemporary housing design.

1- Department of Architecture, Khorasan Institute of Higher Education Mashhad, Mashhad, Iran

2- Master of Architecture, Mashhad, Iran.

(* - Corresponding Author Email: a.ghalehnovi@khorasan.ac.ir)

Materials and Methods

This study examines ten historical houses from the Safavid and Qajar periods located in Toon, a representative semi-arid city in South Khorasan, Iran (34.01°N, 58.10°E, 1146 m a.s.l., BSk climate). All selected houses are single-story structures featuring central courtyards, with variations in orientation (from 14° NE to 28° NW) and courtyard proportions (1:1, 1:1.2, 1:1.3, and 1:1.4). Energy performance was evaluated using Energy Use Intensity (EUI), calculated as the annual heating, cooling, and lighting loads per unit floor area (kWh/m²·y). Daylight performance was assessed using spatial Daylight Autonomy (sDA), which represents the percentage of occupied hours receiving at least 300 lux. Direct solar exposure was quantified using the Annual Sunlight Exposure (ASE) index, indicating the likelihood of glare and overheating. Visual comfort was further evaluated through spatial Glare Autonomy (sGA), which measures the percentage of time interior spaces remain free from unacceptable glare. Comprehensive simulations were conducted to investigate the combined influence of courtyard geometry and orientation on both energy consumption and visual comfort.

Discussion and Conclusion

The simulation results show that courtyard geometry and building orientation significantly affect energy consumption, daylight adequacy, and visual comfort. Houses with square courtyards (1:1) and the northeast–southwest orientation (NE–SW) recorded the lowest heating, cooling, and overall energy use. In contrast, elongated courtyards (1:1.4) enhanced daylight performance—achieving more than 92% sDA—yet contributed to higher glare levels. ASE and sGA analyses further indicate that square courtyards reduce direct sunlight exposure and improve visual comfort, whereas elongated courtyards increase the likelihood of discomfort. Orientation also plays a critical role: northeast–southwest houses generally demonstrate better energy efficiency than northwest–southeast houses, although some visual comfort metrics were slightly higher in the latter. Overall, combining optimal courtyard proportions with favorable orientation can substantially reduce energy demand, improve natural lighting, and enhance occupant comfort in hot–arid residential buildings. These findings underscore the value of incorporating traditional courtyard principles into contemporary architectural design to achieve sustainable and comfortable living environments.

Results

The simulations of ten historical houses in Toon demonstrate that courtyard geometry and building orientation significantly influence energy use and visual comfort. Houses featuring square courtyards (1:1) with northeast–southwest orientation achieve the lowest heating, cooling, and overall Energy Use Intensity (EUI). In contrast, elongated courtyards (1:1.4) offer greater daylight adequacy (sDA) but also increase direct solar exposure (ASE). Visual comfort is highest in square courtyards, which exhibit lower glare levels and higher sGA values. Overall, orientation primarily affects energy performance, whereas courtyard proportions have a stronger impact on natural lighting. These findings highlight the combined importance of courtyard geometry and orientation in optimizing sustainable residential design in semi-arid climates.

Acknowledgement

The authors express their gratitude to their colleagues and the reviewers for their valuable insights and constructive feedback. This study received no specific funding from any public, commercial, or non-profit organization.

Keywords: Central courtyard, Thermal comfort, Energy consumption, Visual comfort, Semi-arid climate.

مقاله پژوهشی

تأثیر جهت‌گیری و هندسه حیاط مرکزی بر مصرف انرژی و رفتار نور در معماری سنتی کویری ایران (مطالعه موردی: شهر تون)

افسانه قلعه نوی^۱، مینا مویدی^۲

چکیده

حیاط‌های مرکزی از عناصر کلیدی معماری سنتی کویری به شمار می‌روند و نقش مهمی در بهبود خرداقلیم و ارتقای آسایش حرارتی و بصری ایفا می‌کنند. اگرچه مطالعات فراوانی پیرامون نقش حیاط‌های مرکزی در بهبود آسایش حرارتی یا روشنایی انجام شده است، اما پژوهش‌ها غالباً یکی از این دو بعد را بررسی کرده و به تحلیل هم‌زمان هر دو بعد کمتر پرداخته‌اند. با این زمینه، این پژوهش بررسی می‌کند که چگونه هندسه و جهت‌گیری حیاط مرکزی بر مصرف انرژی و آسایش بصری در ساختمان‌های مسکونی در اقلیم نیمه خشک و کویری اثر می‌گذارد. برای این منظور، شبیه‌سازی ده خانه تاریخی مربوط به دوران صفوی و قاجار در شهر تون انجام شد و دو جهت‌گیری شمال شرقی- جنوب غربی و شمال غربی- جنوب شرقی به همراه نسبت‌های مختلف حیاط (۱:۱، ۱:۱.۲، ۱:۱.۳ و ۱:۱.۴) مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد خانه‌هایی با تناسب مربع (۱:۱) و جهت‌گیری شمال شرقی- جنوب غربی کمترین میزان مصرف انرژی را دارند. در زمینه روشنایی روز، حیاط‌های کشیده‌تر (۱:۱.۴) تا ۹۲ درصد کفایت روشنایی سالانه در سطح ۳۰۰ لوکس را فراهم می‌کنند اما براساس شاخص‌های تابش مستقیم خورشید و خودکفایی کنترل خیرگی، باعث افزایش خیرگی می‌شوند. در مجموع، جهت‌گیری تأثیر بیشتری بر مصرف انرژی دارد تا عملکرد روشنایی، به گونه‌ای که خانه‌های با جهت‌گیری شمال شرقی- جنوب غربی عملکرد بهتری نسبت به جهت‌گیری شمال غربی- جنوب شرقی نشان می‌دهند. این یافته‌ها بر اهمیت بهینه‌سازی تناسبات و جهت‌گیری حیاط مرکزی برای ارتقای بهره‌وری انرژی و آسایش بصری در طراحی مسکن معاصر کویری تأکید می‌کند.

واژه‌های کلیدی: حیاط مرکزی، آسایش حرارتی، مصرف انرژی، آسایش بصری، اقلیم نیمه خشک.

۱- استادیار گروه معماری، مؤسسه آموزش عالی خراسان، مشهد، ایران

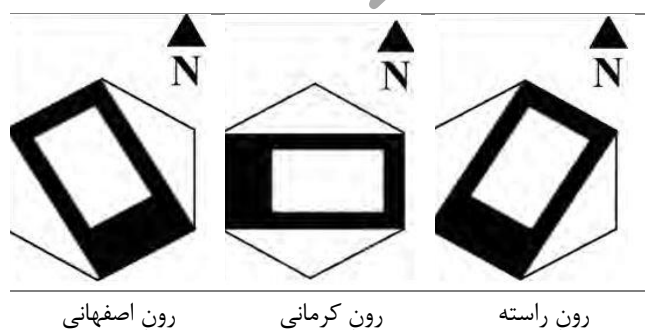
۲- کارشناس ارشد معماری، مشهد، ایران

(*)- نویسنده مسئول: a.ghalehnovi@khorasan.ac.ir (Email:)

مقدمه

مطالعاتی مانند (Rajapaksha et al., 2003) به نقش خنک‌کنندگی حیاط در اقلیم‌های گرم و مرطوب پرداخته‌اند. (Fardeheb, 2007) دمای محیط اطراف حیاط‌های مرکزی و فضاهای خارجی را در اقلیم گرم و خشک (نمونه لس‌آنجلس) مقایسه کرده است. پژوهش‌های دیگری نیز به تحلیل متغیرهای طراحی حیاط از جمله جهت‌گیری، ابعاد و نسبت‌ها پرداخته‌اند (Soflaei et al., 2016b). (Muhaisen & Gadi, 2006) با مدل‌سازی ریاضی، نسبت‌ها و اشکال متفاوت حیاط‌ها را برای بهینه‌سازی عملکرد سایه و نورگیری در اقلیم‌های مختلف بررسی کرده‌اند و نشان دادند که تناسب هندسی و عرض جغرافیایی تأثیر بسزایی بر عملکرد کلی دارند. همچنین پژوهش‌هایی در عراق نشان داده است که نسبت عرض به ارتفاع حیاط مؤثرترین عامل در ایجاد سایه است (Al-Hafith et al., 2017).

تاریخ معماری ایران نمونه‌ای برجسته از هماهنگی میان محیط ساخته‌شده و شرایط اقلیمی است. خانه‌های سنتی حیاط‌دار با بهره‌گیری از انرژی خورشیدی و بادهای غالب، شرایط آسایش حرارتی را برای ساکنان فراهم کرده و اصول طراحی اقلیمی مانند **رون خانه (جهت‌گیری بنا)** را رعایت می‌کردند (Salavatian, 2022). معماران ایرانی در گذشته سه جهت‌گیری اصلی برای خانه‌ها در نظر می‌گرفتند: رونِ راسته (شمال‌شرقی - جنوب‌غربی)، رونِ اصفهانی (شمال‌غربی - جنوب‌شرقی) و رونِ کرمانی (شرق - غرب) (شکل ۱). این جهت‌گیری‌ها بر اساس شرایط اقلیمی، تابش خورشید، بادهای غالب و موقعیت ساختمان‌ها تعیین می‌شد و نمونه‌ای برجسته از معماری سازگار با اقلیم به شمار می‌رود (Hamze, Nejad et al., 2020).



شکل ۱. جهت‌گیری ساختمان‌ها (رون خانه) بر اساس معماری سنتی

ایران (Jafari Sharami, 2023)

مصرف انرژی در صنعت ساختمان امروز به یک مسئله جدی و بحرانی تبدیل شده است. کارایی انرژی در ساختمان‌ها اهمیت زیادی دارد زیرا فضاهای داخلی سهم قابل توجهی از کل مصرف انرژی را به خود اختصاص می‌دهند و پیش‌بینی می‌شود در آینده نزدیک این مصرف افزایش یابد (Rajan & Sinclair, 2017). به همین دلیل، رویکرد جهانی به سمت دستیابی به طراحی‌های کارآمدتر و کاهش تقاضای انرژی در ساختمان و همچنین استفاده از راهکارهای غیرفعال در حال گسترش است. یکی از این رویکردها استفاده از حیاط مرکزی است که نشان داده خانه‌های حیاط‌دار یکی از مؤثرترین پاسخ‌ها به شرایط سخت اقلیمی بوده‌اند و طی سال‌ها با روش آزمون و خطا تکامل یافته‌اند (Muhaisen & Gadi, 2005). (Bagheri Sabzevar et al., 2017).

حیاط‌های مرکزی به‌عنوان یک راهکار طراحی غیرفعال، آسایش حرارتی را در داخل ساختمان‌ها فراهم کرده و نقش چشمگیری در کاهش مصرف انرژی ایفا می‌کنند. علاوه بر افزایش نور طبیعی، این حیاط‌ها می‌توانند از طریق ایجاد سایه، پوشش گیاهی و آب‌نما می‌توانند از جذب گرمای بیش‌ازحد جلوگیری کنند (Muhaisen, 2006; Zamani et al., 2012). مطالعات اخیر نشان می‌دهند که **هندسه و نسبت‌های حیاط** می‌تواند مصرف انرژی سرمایشی را تا ۱۸٪ کاهش دهد و طراحی بهینه آن منجر به بهبود آسایش حرارتی ساکنان می‌شود (Diz-Mellado et al., 2023). همچنین، استفاده از استراتژی‌های طراحی غیرفعال در ساختمان‌های مسکونی اقلیم‌های گرم می‌تواند مصرف انرژی را تا ۵۰٪ کاهش دهد (Hu et al., 2023). خانه‌های حیاط‌دار همواره یکی از کهن‌ترین راهکارهای غیرفعال معماری بوده‌اند. با وجود اهمیت تاریخی آن‌ها در بهبود خرداقلیم، در مباحث معاصر معماری کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. پژوهش‌های متعددی در حوزه عملکرد غیرفعال ساختمان‌ها انجام شده است، اما نقش حیاط به‌عنوان یک استراتژی طراحی غیرفعال به‌طور کامل بررسی نشده است. تحقیقات گذشته نشان می‌دهد که حیاط‌ها به‌طور قابل توجهی بر آسایش حرارتی فضاهای داخلی مجاور تأثیر می‌گذارند (Soflaei et al., 2017; Tabadkani et al., 2022).

هندسه، نسبت طول به عرض، جهت‌گیری و عناصر تکمیلی حیات‌های مرکزی تأثیر قابل توجهی بر عملکرد حرارتی و روشنایی ساختمان‌ها دارند. جدول ۱ مروری بر پژوهش‌های منتخب در این حوزه و نتایج کلیدی آن‌ها ارائه می‌کند.

تحقیقات اخیر تأکید دارند که طراحی بهینه حیاط با در نظر گرفتن ابعاد، نسبت طول به عرض و عناصر سایه‌دار می‌تواند عملکرد حرارتی ساختمان‌ها را تا ۳۰٪ بهبود بخشد و دمای داخلی را تا ۳ درجه سانتی‌گراد کاهش دهد، که منجر به صرفه‌جویی قابل توجه در مصرف انرژی و ارتقای آسایش ساکنان می‌شود (Gunasekaran & Priya, 2025; Khan et al., 2023). مطالعات پیشین نشان می‌دهند که

جدول ۱. تحلیل مطالعات پیشین پیرامون عملکرد حرارتی و روشنایی حیاط های مرکزی

موضوع	روش پژوهش	شاخص ها و متغیرها	نتایج کلیدی	مرجع
عملکرد حرارتی و انرژی حیاط مرکزی	اندازه‌گیری میدانی	دمای محیط، تابش	دمای حیاط‌های مرکزی به‌طور میانگین کمتر از فضاهای بیرونی است.	(Aldawoud, 2008)
تأثیر هندسه بر آسایش حرارتی	شبیه‌سازی و میدانی	نسبت حیاط، جهت‌گیری، آسایش حرارتی	تناسب طول به عرض بر آسایش حرارتی اثر مستقیم دارد.	(Soflaei et al., 2016a)
اثر نسبت‌ها بر نور و سایه	مدل‌سازی ریاضیات/تحلیل هندسی	نسبت‌ها و اشکال حیاط، سایه و نورگیری	نشان داده تناسب هندسی و عرض جغرافیایی بر عملکرد سایه/نورگیری مؤثر است	(Muhaisen, 2006)
تأثیر هندسه بر خرداقلیم	شبیه‌سازی/تحلیل اقلیمی	عملکرد سایه، پارامترهای هندسی حیاط	نسبت‌های خاص موجب بهینه‌تر شدن سایه‌سازی می‌شود	(Muhaisen & Gadi, 2005)
تأثیر حیاط بر آسایش حرارتی	مطالعه موردی / تحلیل انرژی	آسایش حرارتی، مصرف انرژی	خانه‌های حیاط‌دار در کاهش نیاز انرژی مؤثر بوده‌اند	Bagheri Sabzevar et al., 2017)
تأکید بر عناصر تکمیلی حیاط	مدل‌سازی/میدانی	نقش گیاهی و آبنا، جذب حرارت	پوشش گیاهی و آبنا به کاهش دمای محوطه کمک می‌کنند	(Zamani et al., 2012)
عملکرد حرارتی حیاط	مطالعه موردی (گرم و مرطوب)	خنک‌کنندگی حیاط، تغییرات دما	حیاط‌ها اثر خنک‌کنندگی قابل توجهی در اقلیم‌های گرم و مرطوب دارند	Rajapaksha et al., 2003)
عملکرد حرارتی حیاط	مقایسه میدانی/تحلیل دما	دمای محیط اطراف حیاط و فضاهای خارجی	تفاوت دما بین حیاط و فضای باز توضیح داده شد	(Fardeheb, 2007)
تأثیر جهت‌گیری بر عملکرد حرارتی	شبیه‌سازی و تحلیل پارامتریک	جهت‌گیری، ابعاد، نسبت‌ها	جهت‌گیری و ابعاد به‌طور قابل توجهی آسایش حرارتی را تحت تأثیر قرار می‌دهند	(Soflaei et al., 2017)
هندسه و تناسب حیاط	شبیه‌سازی عددی	آسایش حرارتی داخلی، پاسخ به تغییرات هندسی	اثرات هندسی بر آسایش نشان داده شد	Tabadkani et al., 2022)
هندسه و تناسب حیاط	مطالعه میدانی / تحلیلی	نسبت عرض به ارتفاع حیاط، سایه	نسبت عرض/ارتفاع مهم‌ترین عامل در ایجاد سایه است	(Al-Hafith et al., 2017)
مقدارسازی اثر طراحی حیاط بر انرژی	شبیه‌سازی/تحلیل انرژی	مصرف انرژی سرمایشی	تا ۱۸٪ کاهش مصرف سرمایشی مرتبط با طراحی بهینه حیاط‌ها	Diz-Mellado et al., 2023)
اثر راهکارهای غیرفعال	مروار/تحلیل استراتژی‌ها	استراتژی‌های غیرفعال، صرفه‌جویی انرژی	استفاده از راهکارهای غیرفعال می‌تواند تا ~۵۰٪ کاهش مصرف ایجاد کند	(Hu et al., 2023)
تناسبات و هندسه	شبیه‌سازی/تحلیل	تناسبات حیاط و دمای داخلی	گزارش شده بهبود عملکرد تا ۳۰٪ و کاهش دما تا ۳ درجه سانتی‌گراد	(Gunasekaran & Priya, 2025)
تناسبات و هندسه	شبیه‌سازی/تحلیل	اثر هندسه بر آسایش حرارتی	کاهش دمای داخلی و بهبود آسایش گزارش شده	(Khan et al., 2023)

الف) تحلیل تاریخی و توسعه مدل‌ها: خانه‌های سنتی مربوط به دوره‌های صفوی و قاجار در شهر تون بررسی شدند تا عنصر حیاط مرکزی، جهت‌گیری و تناسب هندسی آن‌ها شناسایی شود. بر اساس این تحلیل، مدل‌های هندسی ساختمان‌ها به عنوان بخشی از فرآیند طراحی و بازتولید ایجاد شدند.

(ب) شبیه‌سازی انرژی و روشنایی روز: شبیه‌سازی‌های همزمان مصرف انرژی و عملکرد روشنایی روز با استفاده از ابزارهای معتبر شبیه‌سازی عملکرد ساختمان انجام شد. بارهای حرارتی و سرمایشی و همچنین شاخص‌های روشنایی روز مانند کفایت روشنایی روز و شاخص کنترل خیرگی تحلیل شدند تا تأثیر هندسه و جهت‌گیری حیاط بر آسایش بصری و مصرف انرژی مشخص شود.

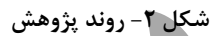
ج) ارزیابی عملکرد: نتایج شبیه‌سازی تحلیل و مقایسه شدند تا اثر تناسبات و جهت‌گیری حیات مرکزی بر مصرف انرژی و شاخص‌های آسایش بصری تعیین شود. شاخص‌های کلیدی عملکرد شامل مصرف انرژی سالانه، خودکفایی نور روز و روشنایی مفید روزانه بودند که تصویر جامع از پتانسیل طراحی غیرفعال حیات مرکزی ارائه می‌دهند. (شکل ۲) مراحل روش‌شناسی را خلاصه کرده است. در بخش‌های بعدی، هر مرحله پژوهش به‌طور مفصل توضیح داده شده و نرم‌افزارها و ابزارهای مورد استفاده در هر مرحله معرفی شده‌اند.

اگرچه پیرامون نقش و کارکرد حیاط‌های مرکزی در بهبود آسایش حرارتی و آسایش بصری، مطالعات فراوانی انجام شده‌است، اما بررسی‌های موجود غالباً یا بر جنبه‌های حرارتی و یا بر جنبه‌های روشنیابی و بصری تمرکز داشته‌اند و کمتر به ارزیابی هر دو بعد پرداخته‌اند. همچنین کمتر پژوهشی به بررسی همزمان جهت‌گیری و نسبت‌های هندسی حیاط‌های مرکزی بر هر دو بعد مصرف انرژی و عملکرد روشنایی در نمونه‌های تاریخی پرداخته‌است.

نواوری این پژوهش دقیقاً در دو جنبه است: (۱) تحلیل هم‌زمان و کمی تأثیر جهت‌گیری‌های سنتی (رون راسته) و (رون اصفهانی) همراه با چند نسبت هندسی حیاط (۱:۱ تا ۱:۱۰۴) بر هر دو خروجی مصرف انرژی و شاخص‌های روشنایی روز، و (۲) کاربرد شبیه‌سازی موردکاوی روی ده خانه تاریخی واقعی در شهر تون که امکان سنجش بازتاب طراحی‌های سنتی در شرایط اقلیم نیمه خشک ایران را فراهم می‌آورد و نتایج آن می‌تواند راهنمایی مستقیم برای بازتعریف تناسبات حیاط و جهت‌گیری در معماری پایدار محلی فراهم آورد.

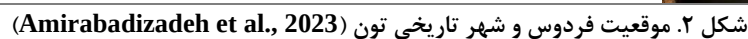
۲-روش تحقیق

این مطالعه از یک روش‌شناسی ساختاریافته پیروی می‌کند تا تأثیر طراحی حیاط مرکزی بر مصرف انرژی و آسایش بصری در ساختمان‌های مسکونی را ارزیابی کند. فرآیند پژوهش شامل سه مرحله اصلی است که از تحلیل تاریخی تا ارزیابی عملکرد را در بر می‌گیرد و امکان بررسی جامع هندسه و جهت‌گیری حیاط را فراهم می‌کند:



٢-١-١ اقليم

شهر تاریخی تون، یکی از نمونه‌های شاخص معماری کویری ایران، در جنوب خراسان شمالی و بخش جنوب غربی شهرستان فردوس واقع شده و با مختصات جغرافیایی ۳۴.۰۱ درجه عرض شمالی و ۵۸.۱۰ درجه طول شرقی در ارتفاع ۱۱۴۶ متری از سطح دریا قرار



شکل ۲. موقعیت فردوس و شهر تاریخی تون (Amirabadizadeh et al., 2023)

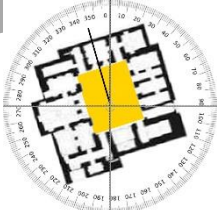
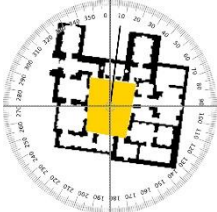
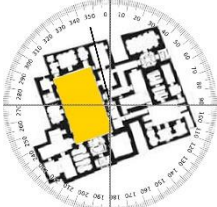
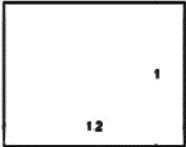
جدول ۲. اطلاعات اقلیمی، (<https://weatherspark.com/>)

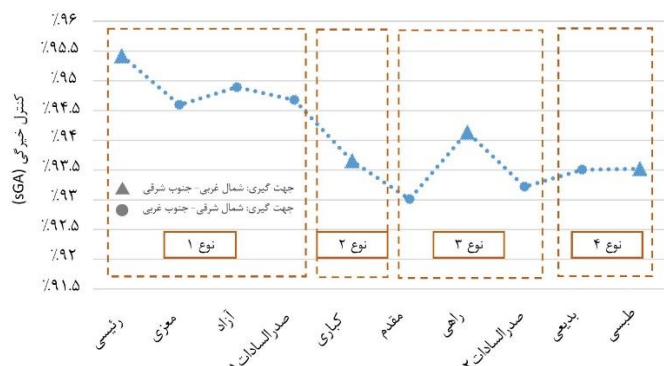
سال	۱۲	۱۱	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	
۳۹.۷	۲۸.۵۴	۱۸.۳۵	۱۴.۲	۱۶.۳۱	۲۲.۴	۳۰.۵	۳۴.۶	۳۹.۹۲	۳۹.۷۶	۳۸.۷۴	۳۴.۶	۳۰.۵	پیشینه مطلق دما (°C)
۱۹	۱۳.۵۸	۶.۷۲	۵.۳	۷.۱۶	۱۱.۴	۱۹.۹	۲۷.۴	۳۰.۸	۳۱.۷۸	۳۰.۳۵	۲۵.۵	۱۹.۷	میانگین پیشینه دما (°C)
۱۶	۱۰.۷۱	۳.۸۷	۲.۵	۴.۳۱	۸.۷	۱۶.۶	۲۳.۸	۲۷.۴۸	۲۸.۹۲	۲۷.۵۱	۲۲.۸	۱۶.۸	میانگین دمای روزانه (°C)
۱۰.۶	۵.۸۱	-۰.۶۹	-۱.۸	-۰.۰۸	۳.۸	۱۰.۵	۱۶.۹	۲۰.۹۳	۲۲.۶۸	۲۱.۵۰	۱۷.۶	۱۱.۶	میانگین کمینه دما (°C)
-۲۲.۴	-۸.۱۶	-۲۲.۴۳	-۱۵.۲	-۱۴.۲۷	-۱۱.۲	۰	۴.۲	۱۲.۶۱	۱۶.۳۱	۱۴.۲۷	۹.۱	-۱.۰	کمینه مطلق دما (°C)
۴۱.۷	۹۷.۳۷	۸۷.۵۳	۴۲.۲	۱۸.۹۳	۲۸.۷	۲۱.۱	۰.۷	۱.۲۱	۱.۳۲	۱۲.۷۹	۹۷.۴	۹۱.۳	میانگین بارش (mm)
۶.۲	۱۳.۵۳	۱۰.۰۱	۶.۳	۳.۲۴	۵.۰۱	۴.۵	۰.۲	۰.۴۷	۰.۳۷	۳.۲۴	۱۲.۷	۱۴.۲	میانگین روزهای بارندگی
۳۷.۶	۵۰.۶۸	۵۹.۱۷	۵۷.۱	۴۹.۱۸	۴۶.۹	۳۱.۹	۲۲.۴	۲۰.۴۶	۱۹.۰۶	۲۱.۰۶	۳۳.۰	۴۲.۰	میانگین رطوبت نسبی (%)
۱۱.۵	۱۱.۰۱	۸.۴۴	۸.۴	۸.۵۶	۹.۰	۱۱.۴	۱۲.۲	۱۴.۲۵	۱۴.۴۲	۱۴.۵۵	۱۴.۱	۱۲.۹	میانگین ساعات آفتابی ماهانه

درجه شمال غربی متغیر بود و بر اساس تناسبات هندسی حیات، چهار نوع تناسب شامل ۱:۱، ۱:۱.۲، ۱:۱.۳ و ۱:۱.۴ شناسایی شد (جدول های ۲ و ۳).

در این پژوهش، ۱۰ خانه تاریخی متعلق به دوران صفوی و قاجار بررسی شد. معیارهای انتخاب شامل در دسترس بودن نقشه‌ها و تشابه زمینه فرهنگی بود. همه خانه‌ها یک طبقه و دارای یک حیاط مرکزی بودند. جهت‌گیری بناها بین ۱۴ درجه شمال شرقی تا ۲۸

جدول ۳. انواع حیاط‌های مرکزی بر اساس تناسبات (دوره صفوی)

دوره	شماره	نوع	نام خانه	پلان	جهت گیری	تناسبات
صفوی	۱	۱ ع.ع	رئیزی		شمال غربی - جنوب شرقی زاویه: ۱۵ درجه تناسبات: ۱:۱	
	۲		معزی		شمال شرقی - جنوب غربی زاویه: ۸ درجه تناسبات: ۱:۱	
	۳	۲ ع.ع	کباری		شمال غربی - جنوب شرقی زاویه: ۱۴ درجه تناسبات: ۱:۱.۲	



شکل ۷. مقایسه شاخص کنترل خیرگی (sGA) میان خانه‌ها

۴- نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

این پژوهش با شبیه‌سازی ده خانه تاریخی از دوره‌های صفوی و قاجار در شهر تاریخی تون، تأثیر جهت‌گیری بنا و تناسب حیاط مرکزی را بر شدت مصرف انرژی و شاخص‌های آسایش بصری بررسی کرد. چهار نوع تناسب هندسی (۱:۱، ۱:۱.۲، ۱:۱.۳ و ۱:۱.۴) و دو جهت‌گیری اصلی رَوَن (شمال‌شرقی-جنوب‌غربی) و رَوَن اصفهانی (شمال‌غربی-جنوب‌شرقی) مورد تحلیل قرار گرفتند.

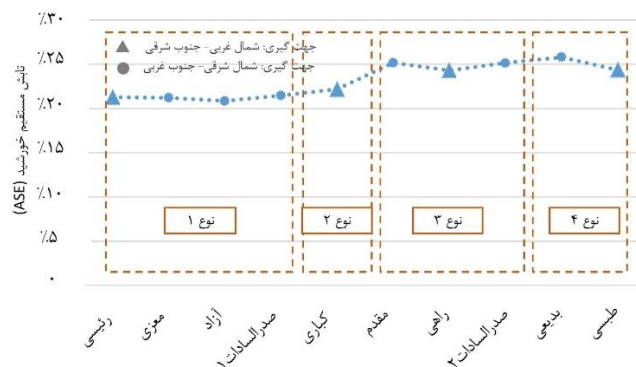
نتایج نشان داد که:

- خانه‌های با حیاط مربع (۱:۱) و جهت‌گیری رَوَن راسته، کمترین میزان مصرف انرژی گرمایش و سرمایش را دارند و شدت مصرف انرژی (EUI) در آن‌ها پایین‌تر از سایر انواع است.
- خانه‌های با حیاط کشیده‌تر (۱:۱.۴) از نظر تأمین روشنایی طبیعی عملکرد بهتری دارند و بیشترین درصد کفایت روشنایی (sDA) را فراهم می‌کنند، اگرچه این وضعیت باعث افزایش تابش مستقیم خورشید (ASE) و احتمال خیرگی بیشتر می‌شود.
- از نظر آسایش بصری، خانه‌های با حیاط مربع (۱:۱) شرایط مطلوب‌تری دارند زیرا میزان خیرگی در آن‌ها کمتر بوده و شاخص کنترل خیرگی (sGA) مقادیر بالاتری را نشان می‌دهد.

داخلی است و از این رو شرایط مطلوب‌تری از نظر آسایش بصری دارند. با افزایش کشیدگی حیاط، درصد سطوحی که بیش از ۱۰۰۰ لوکس تابش مستقیم برای بیش از ۲۵۰ ساعت در سال دریافت می‌کنند، افزایش می‌یابد، به‌طوری‌که در خانه‌های نوع چهارم این شاخص به حدود ۲۵٪ می‌رسد. بنابراین افزایش کشیدگی حیاط، اگرچه روشنایی بیشتری فراهم می‌کند، اما احتمال خیرگی را نیز افزایش می‌دهد.

همچنین خانه‌های با جهت‌گیری رَوَن راسته عملکرد بهتری در کاهش خیرگی نسبت به رَوَن اصفهانی داشتند (شکل ۷). نتایج مربوط به شاخص کنترل خیرگی (sGA) نشان داد که خانه‌های با حیاط مربع (۱:۱)، بدلیل تناسبات فشرده‌تر و سایه‌اندازی متقابل جداره‌ها، بیشترین درصد زمان را در طول سال بدون تجربه خیرگی گذرانده‌اند و از این رو شرایط بصری مطلوب‌تری را برای ساکنان فراهم کردند. در مقابل، حیاط‌های کشیده‌تر خیرگی بیشتری ایجاد کردند. از منظر جهت‌گیری نیز، خانه‌های رَوَن اصفهانی (شمال‌غربی-جنوب‌شرقی) در شاخص کنترل خیرگی عملکرد بهتری نسبت به رَوَن راسته نشان دادند (شکل ۸).

به‌طورکلی، یافته‌ها نشان می‌دهد که نسبت هندسی حیاط تأثیر مستقیم بر شاخص‌های بصری دارد و جهت‌گیری بنا تأثیر مستقیم در بهینه‌سازی انرژی حرارتی دارند.



شکل ۸. مقایسه شاخص تابش مستقیم خورشید (ASE) در خانه‌ها

منابع

1. Acosta, I., Campano, M. Á., Domínguez, S., & Fernández-Agüera, J. (2019). Minimum Daylight Autonomy: A New Concept to Link Daylight Dynamic Metrics with Daylight Factors. *LEUKOS - Journal of Illuminating Engineering Society of North America*, 15(4). <https://doi.org/10.1080/15502724.2018.1564673>
2. Adapting buildings and cities for climate change: a 21st century survival guide. (2005). *Choice Reviews Online*, 43(01). <https://doi.org/10.5860/choice.43-0117>
3. Aldawoud, A. (2008). Thermal performance of courtyard buildings. *Energy and Buildings*, 40(5). <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.07.007>
4. Al-Hafith, O., Satish, B. K., Bradbury, S., & De Wilde, P. (2017). The Impact of Courtyard parameters on its shading level An experimental study in Baghdad, Iraq. *Energy Procedia*, 134. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.539>
5. Amirabadizadeh, M., Puyafar, M., & Yaghoobzadeh, M. (2023). Climatic Zoning of South Khorasan Province in the Future Using General Circulation Models. *Water Harvesting Research*, 6(2), 157–171. <https://doi.org/10.22077/JWHR.2023.6872.1112>
6. Bagheri Sabzevar, H., Masoumi, M., & Tarzafan, S. (2017). Dormitory Courtyard Proportion and Orientation in Yazd / Iran on Energy Consumption TT -. *Iust*, 27(2).
7. Borisuit, A., & Suriyothin, P. (2023). Investigating Annual Sunlight Exposure (ASE) as an Indicator for Overheating in a free-running building: a case of thermal comfort improvement in a child development centre in Thailand. *Journal of Physics: Conference Series*, 2600(11). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2600/11/112012>

- در مجموع، جهت‌گیری بنا تأثیر بیشتری بر مصرف انرژی دارد در حالی‌که تناسبات حیات نقش پررنگ‌تری در تأمین نور طبیعی دارند.

این نتایج بیانگر آن است که انتخاب درست و بهینه جهت گیری و تناسبات هندسی حیات مرکزی می تواند به طور قابل توجهی کارایی انرژی و کیفیت روشنایی طبیعی و آسایش بصری فضاهای داخلی را بهبود بخشد. یافته های این پژوهش می تواند به عنوان راهنمای طراحی در ساخت مسکن معاصر در اقلیم های نیمه خشک مورد استفاده قرار گیرد.

محدودیت‌ها و پیشنهادات

لازم به ذکر است که این پژوهش محدود به اقلیم نیمه خشک بوده و نتایج آن قابل تعمیم به سایر اقلیم‌ها نیست. همچنین، تمرکز پژوهش صرفاً بر تناسب هندسی و جهت‌گیری حیاط‌ها بوده و عواملی همچون پوشش گیاهی، آب‌نماها و هندسه نامنظم حیاط‌ها بررسی نشده‌اند. پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده اثر این عوامل و همچنین تحلیل مقایسه‌ای در سایر اقلیم‌ها مورد بررسی قرار گیرد.

منافع متقابل

نویسندگان اعلام می‌کنند که هیچ‌گونه تضاد منافی در این پژوهش وجود ندارد.

حمايت مالي

این پژوهش هیچ‌گونه حمایت مالی دریافت نکرده است.

دسترسى به داده‌ها

تمامی داده‌های مورد استفاده در این پژوهش بنا به درخواست، از نویسندگان مسئول قابل دسترس هستند.

- systematic review. In *Urban Climate* (Vol. 49). <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2023.101466>
15. IES. (2012). Approved Method: IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE). *Illuminating Engineering Society of North America*.
 16. Jafari Sharami, H. (2023). Investigation of Pirnia's orientation theory (Roon) in Yazd Qajar houses. *Frontiers of Architectural Research*, 12(5). <https://doi.org/10.1016/j.foar.2023.06.002>
 17. Jones, N. L., & Reinhart, C. F. (2019). Effects of real-time simulation feedback on design for visual comfort. *Journal of Building Performance Simulation*, 12(3). <https://doi.org/10.1080/19401493.2018.1449889>
 18. Khan, H. M., Lane-Serff, G. F., & Dewsbury, J. (2023). Optimizing the design of courtyard houses for passive cooling in hot, dry regions. *Journal of Building Performance Simulation*, 16(2). <https://doi.org/10.1080/19401493.2022.2134460>
 19. Konis, K., Gamas, A., & Kensek, K. (2016). Passive performance and building form: An optimization framework for early-stage design support. *Solar Energy*, 125. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2015.12.020>
 20. Mardaljevic, J., Andersen, M., Roy, N., Christoffersen, J., Mardaljevic, J., A., Marilyne, R., & Nicolas, C. J. (2011). Daylighting metrics for residential buildings. *Proceedings of the 27th Session of the CIE* (2011).
 21. Muhaisen, A. S. (2006). Shading simulation of the courtyard form in different climatic regions. *Building and Environment*, 41(12). <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.07.016>
 22. Muhaisen, A. S., & Gadi, M. B. (2005). Mathematical model for calculating the shaded and sunlit areas in a circular courtyard geometry. *Building and Environment*, 40(12). <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2004.12.018>
 23. Muhaisen, A. S., & Gadi, M. B. (2006). Shading performance of polygonal courtyard forms.
 8. Diz-Mellado, E., López-Cabeza, V. P., Rivera-Gómez, C., Galán-Marín, C., & Nikolopoulou, M. (2023). Assessing seasonal fluctuations of thermal comfort in social housing courtyards. *Building Simulation Conference Proceedings*, 18. <https://doi.org/10.26868/25222708.2023.1373>
 9. Fardeheb, F. (2007). Passive cooling ability of a courtyard house in a hot and arid climate: A real case study. *ISES Solar World Congress 2007, ISES 2007*, 4. https://doi.org/10.1007/978-3-540-75997-3_509
 10. Gunasekaran, R., & Priya, R. S. (2025). Simulating the Thermal Efficiency of Courtyard Houses: New Architectural Insights from the Warm and Humid Climate of Tiruchirappalli City, India. *Architecture*, 5(2). <https://doi.org/10.3390/architecture5020021>
 11. Hakimazari, M., Baghoolizadeh, M., Sajadi, S. M., Kheiri, P., Moghaddam, M. Y., Rostamzadeh-Renani, M., Rostamzadeh-Renani, R., & Hamooleh, M. B. (2024). Multi-objective optimization of daylight illuminance indicators and energy usage intensity for office space in Tehran by genetic algorithm. *Energy Reports*, 11. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2024.03.011>
 12. Hamze Nejad, M., Fadaee, F., & Ildarabadi, P. (2020). Evaluation of comfort and thermal comfort (PMV and PPD) according to daylight and home orientation in Yazd traditional houses (Case study: Malekzade home in Yazd city). *Journal of Architecture in Hot and Dry Climate*, 8(11), 151–182. <https://doi.org/10.29252/ahdc.2020.1984>
 13. Hoseinzadeh, P., Khalaji Assadi, M., Heidari, S., Khalatbari, M., Saidur, R., Haghighat nejad, K., & Sangin, H. (2021). Energy performance of building integrated photovoltaic high-rise building: Case study, Tehran, Iran. *Energy and Buildings*, 235. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110707>
 14. Hu, M., Zhang, K., Nguyen, Q., & Tasdizen, T. (2023). The effects of passive design on indoor thermal comfort and energy savings for residential buildings in hot climates: A

- costs for residential households: Comparative analysis and deep-learning predictive model. *Frontiers of Architectural Research*, 11(5). <https://doi.org/10.1016/j.foar.2022.02.006>
32. Tabadkani, A., Nikkhah Dehnavi, A., Mostafavi, F., & Naeini, H. G. (2023). Targeting modular adaptive façade personalization in a shared office space using fuzzy logic and genetic optimization. *Journal of Building Engineering*, 69. <https://doi.org/10.1016/j.job.2023.106118>
33. Talaei, M., Mahdavinejad, M., Azari, R., Prieto, A., & Sangin, H. (2021). Multi-objective optimization of building-integrated microalgae photobioreactors for energy and daylighting performance. *Journal of Building Engineering*, 42. <https://doi.org/10.1016/j.job.2021.102832>
34. Zamani, Z., Taleghani, M., & Hoseini, S. B. (2012). Courtyards as solutions in green architecture to reduce environmental pollution. *Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research*, 30(1).
- Building and Environment, 41(8). <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.04.027>
24. Rajan, S., & Sinclair, B. (2017). *Real estate, residency, design and sustainability: Reconsidering innovation and efficacy in development*. <https://doi.org/10.1201/9781315226255-31>
25. Rajapaksha, I., Nagai, H., & Okumiya, M. (2003). A ventilated courtyard as a passive cooling strategy in the warm humid tropics. *Renewable Energy*, 28(11). [https://doi.org/10.1016/S0960-1481\(03\)00012-0](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(03)00012-0)
26. Reinhart, C. F., Mardaljevic, J., & Rogers, Z. (2006). Dynamic daylight performance metrics for sustainable building design. *LEUKOS - Journal of Illuminating Engineering Society of North America*, 3(1). <https://doi.org/10.1582/LEUKOS.2006.03.01.0011>
27. Salavatian, S. (2022). *The Role of Natural Factors in Courtyard Houses of Hot-Arid Climate of Iran*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-68556-0_9
28. Soflaei, F., Shokouhian, M., Abraveshdar, H., & Alipour, A. (2017). The impact of courtyard design variants on shading performance in hot-arid climates of Iran. *Energy and Buildings*, 143. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.03.027>
29. Soflaei, F., Shokouhian, M., & Mofidi Shemirani, S. M. (2016a). Investigation of Iranian traditional courtyard as passive cooling strategy (a field study on BS climate). *International Journal of Sustainable Built Environment*, 5(1). <https://doi.org/10.1016/j.ijsbe.2015.12.001>
30. Soflaei, F., Shokouhian, M., & Mofidi Shemirani, S. M. (2016b). Traditional Iranian courtyards as microclimate modifiers by considering orientation, dimensions, and proportions. *Frontiers of Architectural Research*, 5(2). <https://doi.org/10.1016/j.foar.2016.02.002>
31. Tabadkani, A., Aghasizadeh, S., Banihashemi, S., & Hajirasouli, A. (2022). Courtyard design impact on indoor thermal comfort and utility