The Culture of Islamic Architecture & Urbanism

Investigating the Role of Water in the *Howzkhaneh* of Traditional Cold Climate Houses on the Thermal Comfort of the Residents; Case study: Ghadaki House, Tabriz

Zahra KeyNezhad[1], Mohsen Mokhtari Kashavar[2], Aida Maleki[3] , Yaser Shahbazi[4]

[1] M. Sc. Student in Architecture and Energy, Faculty of Architecture and Urbanism, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, Iran

[2] M. Arch, Faculty of Architecture and Urbanism, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, Iran

[3] Assistant Professor, Faculty of Architecture and Urbanism, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, Iran.

[4] Associate professor of smart structures and architectural technology, Faculty of Architecture and Urbanism, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, Iran.

Achieving spaces with high quality and efficiency to ensure the comfort of the human body and mind is one of the most important goals of sustainable architecture. Our country's history of climatic design dates back to several thousand years. By studying the indigenous buildings in each climate, it is clear that they are designed entirely based on climatic principles to maximize using natural energy and deal with unpleasant cold and hot situations. Studies on thermal comfort in traditional houses show that indoor thermal comfort conditions have remained favorable even after all these years. In dry climates, the use of water in architectural spaces is a response to harsh climatic conditions. The use of mechanical systems in today's architecture, although they provide thermal comfort, has created negative environmental and economic consequences. While looking at the experiences of our predecessors in indigenous architecture, their approach to improving the quality of architecture can be seen in creating spaces with the principles of climatic design. One of the climatic design strategies for achieving thermal comfort in summer has been the creation of *howzkhâneh* (pool house) spaces in traditional houses with dry climates. In this research, the effects of the *"howzkhâneh"* of Qadaki house in Tabriz and its relation to the thermal comfort of residents, have been investigated. The case is modeled based on the maps and the existing situation. The EnergyPlus simulation engine was used to estimate the study's results. In the first step, the geometrical model was created in the Grasshopper user interface, a graphical and parametric programming environment in Rhinoceros software. Subsequently, by utilizing plugins like Ladybug Tools, an energy model based on this initial design was generated, and precise specifications of the spaces were applied to this model. Subsequently using Ladybug Tools plugin, an energy model based on this initial geometric model was generated, and precise specifications of the spaces were applied to this model. Many details in the geometry made the simulation and achieving results more difficult and time-consuming, so simplification of the model's integrity was considered. In the modeling process, a simplified volumetric model of the summer residence part of Qadaki House was generated using Rhino software's tools and then converted into an energy model using the Ladybug tools plugin in the Grasshopper environment. The thermal comfort level was determined using temperature and relative humidity during the day, PMV comfort patterns, temperature sensation, PPD, and biological and thermal adaptation of individuals. Two different studies were done in separate simulation models: the presence and absence of water in the *howzkhâneh*. The results of the simulations indicated that the presence of water significantly reduces the temperature and increases the relative humidity, resulting in more biological adaptation of the inhabitants, allowing residents to enjoy better thermal comfort for extended periods. The results obtained indicate that the presence of water in the *howzkhâneh*, in addition to the main *howzkhâneh* area, through the utilization of natural ventilation, has also had an impact on improving the comfort conditions of other adjacent spaces. On the other hand, the presence of this space is noteworthy from an architectural perspective, aesthetic appreciation, and fulfilling psychological and spiritual needs. The presence of water during the heat of summer also has a perceptual and mental impact on the residents' perception and feelings, and it can evoke a sense of mental freshness and coolness.

Keywords: Howzkhâneh, Cold Climate, Traditional Houses, Tabriz, Thermal Comfort.

* Corresponding author. E-mail: a.maleki@tabriziau.ac.ir

مقالهٔ پژوهشی

DOI: 10.52547/ciauj.7.1.371

سال هشتم، شماره اول – بهار و تابستان ۱۴۰۲

بررسی نقش حضور آب در حوض‌خانه‌ی خانه‌های سنتی اقلیم سرد بر آسایش حرارتی ساکنین؛ نمونه‌ی موردی: حوض‌خانه‌ی خانه قدکی تبریز

زهرا کی‌نژاد[۱]، محسن مختاری‌کشاور [۲]، آیدا ملکی *[۳]، یاسر شهبازی [۴]

[۱] دانشجوی کارشناسی‌ارشد انرژی معماری، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران.

[۲] کارشناسی‌ارشد معماری، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران.

[۳] استادیار انرژی معماری، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران.

[۴] دانشیار سازه‌های هوشمند و فناوری معماری، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران.

(تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۳/۲۱، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۷/۰۵)

چکیده

دستیابی به فضاهایی باکیفیت و بازدهی بالا جهت تأمین امنیت و آسایش روح و جسم انسان از مهم‌ترین اهداف معماری پایدار است. با نگاهی بر تجربیات پیشینیان در معماری بومی، رهیافت بهبود کیفیت معماری را می‌توان در ایجاد فضاهایی با اصول طراحی اقلیمی مشاهده نمود. ازجمله طراحی‌های اقلیمی جهت تحقق آسایش حرارتی در فصل تابستان، بهره‌گیری از سرمایش تبخیری با ایجاد فضاهای حوض‌خانه در خانه‌های سنتی اقلیم سرد بوده که در معماری معاصر به فراموشی سپرده شده و با سیستم‌های تبرید تراکمی جایگزین شده است. هدف این تحقیق که به روش توصیفی- تحلیلی انجام گرفته، بررسی نقش حضور آب بر آسایش حرارتی ساکنین فضاهای خانه است. در این راستا حوض‌خانه‌های خانه‌های سنتی به‌عنوان فضاهای تابستان‌نشینی که از حضور آب برای تأمین آسایش محیط حرارتی بهره می‌بردند موردمطالعه و تحلیل قرار گرفتند تا به این پرسش اصلی که حضور آب تا چه میزان می‌تواند در بهبود شرایط محیط حرارتی در تابستان‌های اقلیم سرد و خشک کمک کند پاسخ دهد. برای نمونه موردی حوض‌خانه‌ی خانه قدکی تبریز انتخاب و ساختمان موردنظر براساس نقشه‌های وضع موجود مدل‌سازی و سپس شبیه‌سازی آسایش حرارتی برای تعیین میزان دما و رطوبت‌نسبی در طول شبانه‌روز، نمودارهای آسایش PMV، احساس دمایی، درصد نارضایتی PPD و میزان تطبیق بیولوژیکی حرارتی افراد در فصل تابستان در دو حالت حضور و عدم حضور آب در حوض‌خانه انجام شده است. به‌منظور به دست آمدن نتایج صحیح در شبیه‌سازی از موتور شبیه‌سازی انرژی پلاس استفاده شده است و مدل انرژی فضاها نیز در نرم‌افزار راینو با استفاده از زبان برنامه‌نویسی گرس‌هاپر و کاربرد پلاگین‌های Ladybug Tools ایجاد شده است. نتایج شبیه سازی‌ها حاکی از آن است که حضور آب تأثیر چشمگیری در کاهش دما و افزایش رطوبت‌نسبی، رضایت‌مندی و تطابق بیولوژیکی ساکنین دارد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که حضور آب در حوض‌خانه علاوه بر فضای اصلی حوض‌خانه با بهره‌گیری از کوران هوای طبیعی بر بهبود شرایط آسایش سایر فضاهای مجاور نیز اثرگذاری داشته است. از طرفی وجود این فضا از نظر معماری، حس زیبایی‌شناسی و تأمین نیازهای روحی و روانی نیز قابل توجه است. حضور آب در گرمای تابستان از نظر ادراکی و ذهنی نیز بر روی درک و احساس مخاطب اثرگذار است و می‌تواند حس طراوت و خنکی را به‌صورت ذهنی القا کند.

واژگان کلیدی

حوض‌خانه، اقلیم سرد، خانه‌های تاریخی، تبریز، آسایش حرارتی.

* نویسنده مسئول مکاتبات: a.maleki@tabriziau.ac.ir

مقدمه

سابقه‌ی طراحی اقلیمی در سرزمین ما به چند هزار سال قبل بازمی‌گردد. با آغاز یکجانشینی در ایران، توجه به اقلیم، جزو اصل های مهم در طراحی و اجرای بناها بوده است (Ghobadian 2008). با مطالعه‌ی ساختمان‌های بومی در هر اقلیم، به‌روشنی این نکته حاصل می شود که آنها کاملاً براساس اصول اقلیمی و در جهت استفاده حداکثری از انرژی‌های طبیعی و مقابله با سرما و گرمای آزاردهنده، طراحی شده‌اند. این امر به‌طور کامل با فرهنگ مردم هر منطقه همسو بوده که از آن به معماری بومی و بوم آورد یاد می‌شود (Ghobadian 2008). واژه‌ی «طراحی اقلیمی» به تکنیک‌های ساختمانی خاصی اطلاق می‌شود که هدف آنها تقلیل هزینه‌های گرمایش و سرمایش با استفاده از جریان‌های انرژی طبیعی برای ایجاد آسایش است.

در معماری سنتی ایران ساختمان براساس موقعیت جغرافیایی خود از طرق مختلف، چنان با محیط خارج مقابله می‌کند که بهترین آسایش فضای داخلی را بدون استفاده از دستگاه‌های پیچیده، انرژی بر و آلوده‌کننده امکان‌پذیر می‌سازد. به‌عبارت دیگر، پیشینیان ما به بهترین نحو از قوانین و سیستم‌های غیرفعال خورشیدی آگاهی داشته و پیوسته از آن بهره برده‌اند تا به یک پایداری ابدی در ساختمان برسند (Kasmaei 2005). رویکرد بومی‌گرایی در معماری نیازمند شناخت فرهنگ بومی و شرایط محیطی است. چرا که معماری در بستر بومی حاصل تطابق با فرهنگ و اقلیم است. مکان و فضا عناصر و اجزای اصلی هویت را تأمین می‌کنند. رویکرد خاص گرایی در فرآیند هویت‌سازی معماری با مفهوم بومی‌گرایی همراه است.

مطالعاتی که در رابطه با آسایش حرارتی در خانه‌های سنتی انجام شده است، نشان‌دهنده آن است که شرایط آسایش حرارتی در فضای داخل این خانه‌ها حتی باگذشت سال‌ها، همچنان مطلوب بوده است (Hosseini 2016, Mousli 2015). غفاری و حیدری (Heydari and Ghaffari 2010) با بررسی اقلیم سرد و خشک شهر تبریز، محدوده‌های زمانی آسایش حرارتی و نیاز گرمایش و سرمایشی شهر تبریز را مورد مطالعه قرار داده‌اند. همچنین ولی‌زاده اوغانی و موحدی (Valizadeh Oghani and Movahedi 2019) با بررسی شرایط اقلیمی تبریز و خانه‌های سنتی آن، نحوه استفاده از سامانه‌های گرمایش و سرمایش غیرفعال در جهت ایجاد آسایش حرارتی در این خانه‌ها را امکان سنجی کرده است. براساس نتایج مطالعات پیشین و نمودار گیونی، به کمک سرمایش تبخیری مستقیم و غیرمستقیم ایجاد آسایش حرارتی در تابستان در این اقلیم میسر خواهد شد. در این روش، گرمای هوا از طریق تبخیر آب کاسته می‌شود و درعین‌حال بر رطوبت هوا نیز افزوده می گردد. با تبخیر مستقیم درگذشته در بسیاری از مناطق خشک جهان، تدابیر مختلفی برای حل مسأله گرما اندیشیده شده است (Milne and Liggett 2014). از مثال‌هایی که از استفاده این سیستم می‌توان بدان اشاره کرد، صفحات مرطوب شونده‌ای است که جلو پنجره‌ها نصب می‌کنند که یا از جنس پوشالی است که در کولرهای آبی از آنها استفاده می‌شود و یا از جنس خرده سنگ هایی که توسط دو جداره سیم نوری محافظت می شوند. ازجمله اشکالات این سیستم می‌توان به کاهش سرعت جریان هوا در داخل ساختمان و همچنین مسدود کردن دید از پنجره‌ها اشاره کرد. استفاده از حوض‌خانه‌ها و همین‌طور حیاط‌های مرکزی با گیاهان سرسبز و آبنماها نیز مثال‌های دیگری هستند که مردم کشور ما از دیرباز با آنها آشنایی دارند (Ghiabaklou 2014).

کدخدایی و قربانی (Kadkhodai and Ghorbani 2017) در مقاله‌ای باعنوان بازشناسی نقش آب در خانه‌های سنتی ایران از منظر انسان، طبیعت و معماری با بررسی عنصر حوض‌خانه، جایگاه آب در معماری بومی ایران را تحلیل نموده‌اند. (Ghobadian 2008)، در کتاب بررسی اقلیمی ابنیه سنتی ایران، ویژگی های معماری بومی در اقلیم های مختلف ایران را تحلیل نموده است. تفاوت عمده این پژوهش، تمرکز بر ریزفضای حوض‌خانه و بررسی عوامل اثرگذار بر آسایش حرارتی ساکنین به‌ویژه حضور آب در فضا می‌باشد. (Neghabi 2016)، با مقایسه سه حوض‌خانه در سه اقلیم مختلف ایران، به بررسی تفاوت‌های حوض‌خانه‌ی قدکی با خانه‌های اقلیم‌های دیگر پرداخته است. با بررسی شرایط آب و هوایی هر سه اقلیم، تأثیر عناصر حوض‌خانه مانند تهویه، جرم حرارتی، بازشوها و حوض را در تهویه و

سرمایش طبیعی فضا از طریق مدل‌ها و نمودارهای اقلیمی بررسی نموده است. در مقاله‌ی «بررسی و تحلیل حوض خانه در شکل‌گیری ساختاری خانه‌ها در اقلیم گرم و خشک ایران» (Mehrali Soltanzadeh and Bazrafkan 2021) با شناسایی ویژگی‌های ساختاری حوض‌خانه در ارتباط با سایر فضاهای ساختمان‌های مسکونی، به بررسی و تحلیل چگونگی و میزان تأثیر این فضا در شکل‌گیری ساختار منازل مسکونی در اقلیم گرم و خشک ایران پرداخته‌است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که اگرچه طبق مدل اقلیمی، ساختار فیزیکی اکثر ساختمان‌های مسکونی در اقلیم گرم و خشک ایران دارای یک محور شمالی- جنوبی غالب است، اما موقعیت حوض‌خانه همیشه در امتداد محور غالب خانه است. به‌نحوی‌که در برخی موارد، امتداد اصلی و محور غالب خانه و حوض‌خانه به‌صورت شرقی- غربی تعریف شده است. طباطبایی زواره و همکاران (Tabatabai et al. 2018) با بررسی خانه‌های چهارصفه و حوض خانه‌ای زواره، با در نظر گرفتن شباهت‌ها و تفاوت‌های کالبدی، به چرایی پایدار بودن این بناها درگذر زمان پرداخته‌اند. طبق نتایج به دست آمده، نوع بازشوها با نوع عمومی یا خصوصی بودن فضاها مرتبط بوده است. همچنین با در نظر گرفتن کنترل نور و باد، مشخص شد که میانگین نسبت مجموع مساحت بازوهای فضا به مرکز، حدود دو برابر حالت حوض‌خانه‌ای می‌باشد. با در نظر گرفتن عوامل اقلیمی، حوض‌خانه‌های زواره در راستای پایداری، در طول زمان و در دوره‌های مختلف استفاده شده و همچنان کارایی خود را حفظ کرده‌اند. با نگاهی بر تحقیقات پیشین، می‌توان بیان نمود که تحقیقات موجود در زمینه‌ی حوض‌خانه‌ها بیشتر به معرفی کالبدی آن متمرکز بوده و تحقیقات جامع و کاملی بر رفتار و عملکرد آب در حوض‌خانه‌ها بر آسایش حرارتی ساکنین در فضای حوض‌خانه به‌ویژه در اقلیم سرد صورت نگرفته است.

در این پژوهش، ابتدا بازخوانی فضای حوض‌خانه‌ها در خانه‌های قدیمی تبریز صورت گرفته است. سپس براساس نقشه‌ها و وضعیت موجود، مدل سازی نمونه‌ی موردی انجام شده است. وجود جزییات در هندسه، فرآیند شبیه‌سازی و دستیابی به نتایج را با مشکل روبرو می‌سازد درنتیجه ساده‌سازی‌هایی با رعایت تمامیت مدل در نظر گرفته شده است. با توجه به این مطلب که فضای حوض‌خانه به‌صورت یک سیستم سرمایشی غیرفعال در نرم‌افزارهای شبیه‌ساز انرژی همچون انرژی‌پلاس و یا افزونه و پلاگین‌های رایج مانند هانی‌بی و لیدی‌باگ وجود ندارد، نیاز است که از طریق کدنویسی مشخصات حوض‌خانه برای الحاق به فرآیند شبیه سازی صورت گیرد. در پایان برای بررسی آسایش حرارتی، مؤلفه‌هایی همچون دمای هوا، رطوبت‌نسبی، وجود یا عدم وجود شرایط آسایش و میزان رضایتمندی و نیز تطابق بیولوژیکی ساکنین استخراج و برای دو حالت حضور و عدم حضور آب در حوض‌خانه مقایسه شدند. نتایج این پژوهش ضمن تأیید تأثیر چشمگیر حضور آب در حوض‌خانه بر آسایش حرارتی ساکنین فضای حوض‌خانه، حکایت از آن دارد که مردم قدیم تبریز و معماران سنتی آن اقلیم، از تأثیر چنین طراحی اقلیمی آگاهی لازم داشته‌اند.

۱. ویژگی‌های کالبدی ابنیه در اقلیم سرد

تبریز یکی از بزرگترین شهرهای واقع در اقلیم سرد و خشک ایران به شمار می‌آید و به لحاظ گونه‌بندی جغرافیایی، نیاز انرژی گرمایی- سرمایی سالانه در منطقه‌ی با نیاز گرمایی زیاد قرار گرفته است (National Building Code 2019). معماری بومی این منطقه، در راستای جذب و حفظ حداکثری گرما در زمستان و دوری از جذب مستقیم خورشید در تابستان باعث به‌وجود آمدن پارامترهای بسیاری در شکل‌گیری بناهای سنتی و فضاهای آنها شده است. علاوه بر استفاده از سیستم سرمایش غیرفعال، از ویژگی‌های کالبدی بناهای اقلیم سرد می‌توان به پلان و بافت متراکم برای به حداقل رساندن سطح تماس فضا با سرمای خارج، فضاهای کشیده با نمای جنوبی بزرگتر و نمای شرقی غربی کمتر به‌منظور بهره‌گیری بهینه از تابش توسط نمای جنوبی و کاهش تبادل حرارتی از نمای شرقی و غربی، قرارگیری قسمتی از بنا در زیرزمین برای استفاده از ظرفیت حرارتی خاک، استفاده از مصالح با ظرفیت حرارتی بالا برای حفظ گرما در داخل فضاها اشاره کرد (Ghobadian 2008).

۲. حوض‌خانه

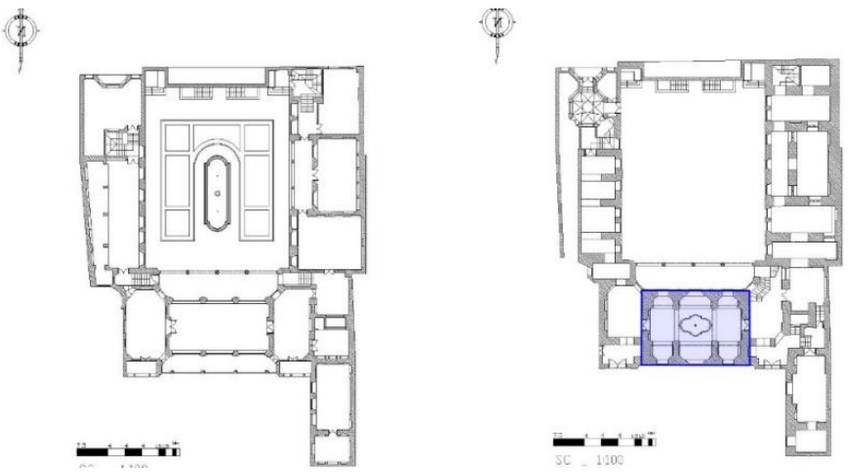
نمونه موردی موردنظر در این پژوهش، فضـــای حوض‌خانه در خانه قدکی از خانه‌های قدیمی تبریز بوده که در حال حاضـــر بخشی از دانشکده‌ی معماری و شهرسازی دانشگاه هنر اسلامی تبریز می‌باشد. این بنا حدود ۱۶۰ سال پیش ساخته شده و مربوط به اواســط دوره قاجاریه اســت. مســاحت اعیانی آن حدود ۸۶۳ مترمربع و مساحت عرصه آن ۱۳۴۰ مترمربع است. دارای اندرونی و بیرونی است: دو قسمت شرقی و غربی بنا، در دو طبقه شکل گرفته که اتاق‌های زیرزمین جناح‌های شـــرقی و غربی با ســـقف طاقی شکل به صورت آب‌انبار، مطبخ و انباری و اتاق‌های فوقانی آن به جهت اتاق‌های خواب و نشیمن بوده است. قسمت شمالی بنا، دارای طنبی بزرگی است که پنجره‌های ارسی و شیشه‌های رنگی آن به سمت شمال و جنوب باز می شود. در جنوب طنبی ایوان ستون‌دار رفیعی واقع است. در طبقه زیرزمین طنبی (شکل ۱) و (شـــکل ۲)، حوض‌خانه‌ای با ســـقف طاقی کاربندی شـــده، ســـکوهای جانبی و حوض ســـنگی وجود دارد. (Kaynejad and Shirazi 2018)

در مناطقی با آب و هوای خشـــک، اســـتفاده از آب در فضـــاهای معماری، پاسخی به شرایط اقلیمی می‌باشد. در اقلیم تبریز، استفاده از آب و حوض، به‌ویژه در فضـــاهای داخلی، علاوه بر جنبه‌ی زیبایی و روانی، باعث تلطیف فضـــا شـــده و به پدیده‌ی تهویه در تابستان، کمک شایانی می‌کند. حوض‌خانه ایوانی کوچک است که در انتهای اتاق‌های تابســـتانی هر عمارت قرار دارد. حوض‌خانه به شکل فضایی رابط میدان حیاط خانه و اتاق‌های تابستانی است. در میان این فضا، حوض کوچکی ساخته می شود که معمولاً شکلی هشـــت‌گوش دارد و دلیل نام‌گذاری آن نیز به علت وجود این حوض در میدان این فضـــاســـت. (Behnejad 2012). ســـیســـتم عملکردی حوض‌خانه به این صورت بوده است که پاشش آب توسط فواره باعث خنک شدن محیط می‌شده است. حوض‌خانه، در خانه‌های تاریخی تبریز کمابیش حضـــور دارد. در امتداد محور اصـــلی بنا و در جبهه شـــمالی آن واقع اســـت. این فضـــا عموماً در زیرزمین و در زیر طنبی بوده و شکل آن یا به‌صورت چلیپایی و یا به شـــکل مســـتطیل می‌باشـــد. حوض‌خانه یک طبقه بوده و از یک جبهه یا از دو جبهه دارای بازشـــو و نورگیر اســـت. گســـتردگی حوض‌خانه‌ها عموماً در جهت عمود بر محور اصـــلی اســـت تا از نور جنوب، بهره بیشتری ببرند (Kaynejad and Shirazi 2018).

۳. آسایش حرارتی، شبیه‌سازی و بررسی اثر آب در حوض‌خانه

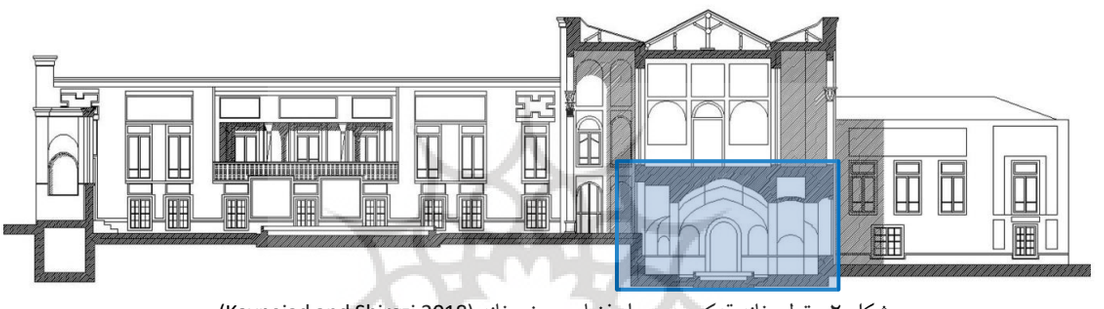
۱-۳. آسایش حرارتی و مدل PMV

طبق استاندارد اشری، (Ashrae Standard 55 2017) آسایش حرارتی شـــرایطی اســـت که در آن ســـاکنین محیط برای تغییر شـــرایط دمایی، هیچ اقدامی انجام ندهند. درواقع، با تأکید بر شرایط ذهنی، احساس رضایت از دمای محیط بیان می شود. عوامل مختلفی ازجمله درجه‌ی حرارت هوا، درجه‌ی حرارت تابشی، سرعت نسبی هوا و رطوبت بر شرایط آسایش حرارتی تأثیر می‌گذارند. در کنار این عوامل اقلیمی، عوامل انســـانی همچون ســـن، میزان ســـوخت‌وســـاز بدن، لباس و پوشـــش مورداســـتفاده و میزان فعالیت ســـاکنین نیز در بحث آســـایش اثر گذارند. از میان این عوامل، داده های دمایی و رطوبت، مهمترین شاخص تشخیص حرارتی هستند (Richard 2007). همچنین جریان هوا با تبادل حرارتی بین بدن و محیط، تأثیر فـــراوانـــی بـــر احســـاس آســـایـــش حـــرارتـــی دارد (Heydari and Ghaffari 2010). آسایش حرارتی با روش‌های گوناگونی قابل بررســـی اســـت. در این مقاله از روش تخمین متوسط رای فانگر و متوسط درصد نارضایتی ساکنین استفاده شده است. در (جدول ۱) بازه‌ی تغییرات آسایش حرارتی در شاخص PMV ارائه شده است. مدل فانگر، مبنای استاندارد بین‌المللی ایزو ۷۷۳۰ در آســـایش حرارتی و از مهم‌ترین شـــاخص‌های فیزیولوژی دما محســـوب می‌شـــود که علاوه بر طراحی معماری فضاهای داخلی، در مطالعات آب و هواشناسی و تعیین مؤلفه‌های خرد اقلیم‌های شهری نیز از آن استفاده می شود (Ashrae Standard 55 2017). در کنار شاخص PMV، شاخص دیگری نیز بنام PPD برای پیش‌بینی درصد نارضایتی افراد از محیط حرارتی تعیین شـــده اســـت. در این شـــاخص، درصـــد افرادی که در بازه‌ی ۱ تا ۱- (که بازه‌ی آســـایش می باشـــد) رای نداده‌اند، به‌صـــورت درصـــد بیان می‌شـــود (Ghiabaklou 2001).



شکل ۱: پلان طبقات قدکی، به همراه حوض‌خانه (سمت راست: پلان همکف، سمت چپ: پلان طبقه اول) (Kaynejad and Shirazi 2018)

Fig. 1: Qadaki house plans – Pool house is highlighted in ground floor (Kaynejad and Shirazi 2018)



شکل ۲: مقطع خانه قدکی به همراه فضای حوض‌خانه (Kaynejad and Shirazi 2018)

Fig. 2: Qadaki house section – pool house is highlighted (Kaynejad and Shirazi 2018)

جدول ۱: بازه‌ی تغییرات آسایش حرارتی در شاخص PMV

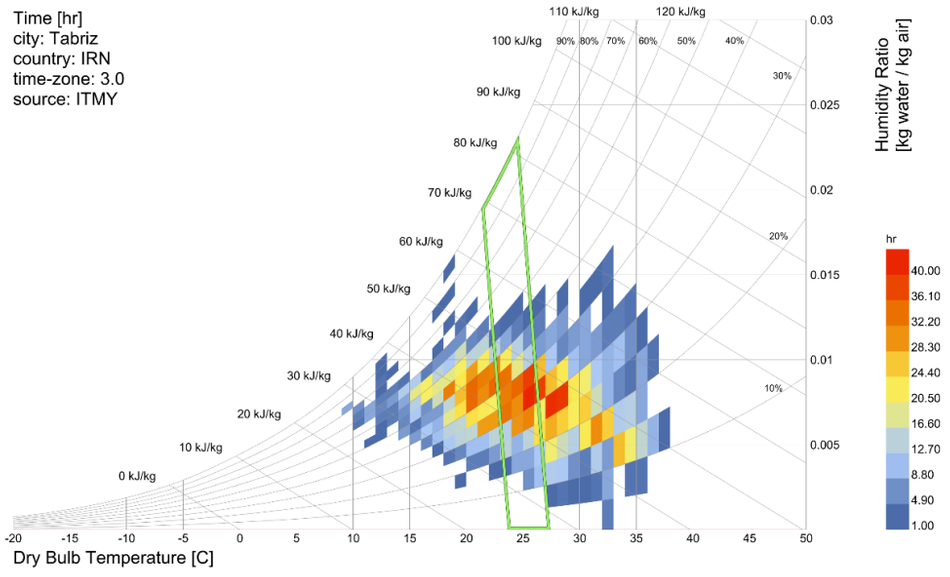
Table 1: Range of thermal comfort changes in PMV index

احساس حرارتی	بسیار گرم	گرم	کمی گرم	معتدل	کمی سرد	سرد	بسیار سرد
بازه تغییرات آسایش حرارتی در شاخص PMV	+۳	+۲	+۱	۰	-۱	-۲	-۳

با توجه به نتایج تحلیل اقلیمی و نمودار سایکرومتریک شهر تبریز برای فصل تابستان که در (شکل ۳) نشان داده شده است می‌توان مشاهده نمود که بدون استفاده از هرگونه سیستم آسایشی فعال یا غیرفعال، ۵٤۲ ساعت در فصل تابستان (حدود ۲٤٪ طول تابستان)، آسایش حرارتی برقرار است (محدوده‌ای که به رنگ سبز نمایش داده شده است). نمودار سایکرومتریک و سایر تحلیل‌های اقلیمی با استفاده از داده‌های فایل آب و هوایی EPW که توسط وب‌سایت onebuilding.org تهیه شده و در پلاگین Ladybug Tools انجام پذیرفته است.

در هنگام استفاده از سیستم سرمایش تبخیری غیرفعال، این عدد به ۱۲۷٦ ساعت (حدود ۵۵,۹٪) در طول تابستان می رسد. همچنین از این نمودار می‌توان نتیجه گرفت که سیستم سرمایش تبخیری، تمام ساعاتی که نیاز به سیستم سرمایشی داریم را پوشش داده و می‌تواند آسایش حرارتی در فصول گرم سال را برقرار سازد. مناطقی که در محدوده ی آسایش حرارتی و یا آسایش حرارتی با استفاده از سرمایش تبخیری نیستند، فصول سرد سال محسوب می شوند و مربوط به بحث استفاده از سیستم‌های گرمایشی می‌باشند که از مباحث این مقاله، خارج است. در (جدول

۲)، داده‌های آماری اقلیمی متوسط ۲۰ ساله تبریز ارائه شده است.



شکل ۳: نمودار سایکرومتریک شهر تبریز بدون استفاده از سیستم‌های سرمایش فعال یا غیرفعال (onebuilding.org)

Fig. 3: Tabriz Psychrometric Chart without using any active or passive cooling systems (onebuilding.org)

جدول ۲: اطلاعات اقلیمی تابستان شهر تبریز (onebuilding.org)

Table 2: Summer Climatic Information of Tabriz (onebuilding.org)

پارامتر	واحد	بیشینه مقدار	متوسط مقدار	کمینه مقدار
دما	درجه سانتی گراد	۳۰/٦٥	۲۳/۸٥	۱۷/۰۷
دمای دماسنج تر	سلسیوس	۳٥,۳۲	۹,٤٤	-۱٥,۰۹
رطوبت‌نسبی	درصد	۱۰۰	۷۹/۸۲	۲۷
سرعت باد	متر بر ثانیه	۲٤/۲	۳/۰۷	صفر
مقدار تابش	Wh/m^2	۷٦۱	۱٦۹/۰۷	صفر

۲-۳. شبیه‌سازی تأثیر حضور آب در حوض‌خانه

به‌منظور برآورد دقیق نتایج در این پژوهش از موتور شبیه سازی انرژی پلاس[1] استفاده گردید. موتور شبیه‌سازی انرژی پلاس برا ساس داده‌های وب سایت ساینس دایرکت در بیش از ٦۹٥۸ پژوهش و کتاب از سال ۱۹۹۱ تا به امروز مورد بررسی و استفاده قرار گرفته ا ست. ازجمله تازه‌ترین تحقیقات در رابطه با عملکرد و دقت شبیه‌سازی انرژی پلاس می‌توان به پژوهش N.R.M.Sakiyama و همکارانش (Sakiyama et al. 2018) در رابطه با بررسی داده‌های انرژی پلاس برای محاسبات و شبیه سازی پتانسیل تهویه طبیعی در ساختمان‌ها اشاره کرد. Aleksandar S.Anđelković و همکارانش (Aleksandar et al. 2016) در پژوهشی به برر سی و اعتبار سنجی موتور شبیه سازی انرژی پلاس با یک مدل آزمایشگاهی پرداخته‌اند. آنها برای اعتبار سنجی یک مدل آزمایشگاهی از یک ساختمان چند طبقه با نمای دوپوسته با تهویه طبیعی را دقیقاً در نرم‌افزار انرژی پلاس مدل سازی کرده‌اند. نتایج تحقیق آنها نشانگر ۹۰ در صد مطابقت بین نتایج واقعی و نتایج ایجاد شده توسط شبیه سازی انرژی پلاس است. خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) در مقایسه داده‌های مدل واقعی با داده‌های شبیه سازی انرژی پلاس در بهترین حالت برابر ۱,٦۲ و در بدترین حالت برابر با ۲,۳۹ بوده است. نتایج مشابهی نیز در مطالعه انجام شده توسط P. Im و همکارانش در سال ۲۰۲۰ و پژوهش I.Calixto-Aguirre و همکارانش (Calixto-Aguirre et al. 2021) در سال ۲۰۲۱ به

دست آمده است. به‌منظور اعتبار سنجی مدل‌سازی حوض‌خانه نیز از مدل استاندارد ارائه شده توسط انرژی پلاس استفاده شده است.

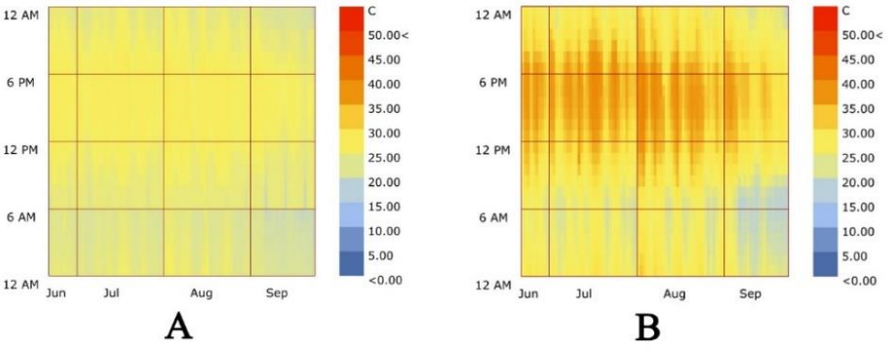
مدل انرژی ابتدا در محیط کاربری گرس هاپر[2] که یک محیط برنامه‌نویسی گرافیکی و پارامتریک در نرم‌افزار راینو می‌باشد، ایجاد شد. در فرآیند مدل‌سازی، مدل حجمی ساده شده از بخش تابستان نشین خانه قدکی با استفاده از ابزارهای خود نرم‌افزار راینو تولیدشده و سپس با استفاده از افزونه‌ی لیدی‌باگ[3] در محیط گرس‌هاپر تبدیل به مدل انرژی گردید. افزونه‌ی لیدی‌باگ مجموعه‌ای از ابزارها برای تحلیل‌های اقلیمی و شبیه‌سازی مرتبط با انرژی و روشنایی با استفاده از موتورهای شبیه سازی معتبر مانند ترم[4]، دیسیم[5]، رادیینس[6]، اوپن استودیو[7] و انرژی پلاس می‌باشد. برای بررسی دقیق اثر حوض‌خانه، مدل‌سازی در دو بخش شامل (۱) مدل باوجود حوض؛ (۲) مدل بدون حضور حوض انجام شده است. نکته‌ای که باید توجه داشت آن است که مدل سازی حوض به صورت مستقیم در داخل پلاگین لیدی باگ امکان‌پذیر نمی‌باشد. در این پژوهش برای مدل‌سازی حوض از کدهای مخصوص موتور شبیه‌سازی انرژی‌پلاس استفاده شده است. همچنین شبیه‌سازی عملکرد سیستم انتقال آب حوض با استفاده از افزونه Ironbug انجام شده است. کدهای نوشته شده مخصوص حوض با فرمت انرژی‌پلاس در محیط گرس‌هاپر مستقیماً به داخل نرم‌افزار انرژی پلاس وارد می‌شوند. شبیه‌سازی انرژی برای سه ماه تابستان از تاریخ ۱۰ ام تیرماه تا ۱۰ ام مهر که عمدتاً زمان استفاده از این بخش بنا است انجام گردید. برای بررسی خروجی‌ها PMV، PPD، وجود یا عدم وجود شرایط آسایش، دمای هوا، رطوبت‌نسبی، دمای تشعشعی سطوح داخلی و نقشه شرایط آسایش حرارتی به‌عنوان خروجی‌ها انتخاب شده‌اند. برای محاسبات شرایط آسایش مقدار ضریب جذب نور خورشید توسط پوشش و پوست افراد برابر ۰,۷ در نظر گرفته شده است و مقدار پوشش افراد برابر با ۱Clo در نظر گرفته شده است که برابر با یک پوشش تابستانی است. مقدار سطح عملکرد متابولیک افراد برابر ۱ که نشانگر حالت افراد به‌صورت نشسته است در نظر گرفته شده است.

٤. نتایج عملکردی حضور آب در حوض‌خانه

در این مقاله صرفاً به تأثیر حضور آب در آسایش حرارتی فضای خود حوض‌خانه پرداخته شده است. همان‌طور که قبلاً هم اشاره شد، بخش‌های مختلف خانه‌ی قدکی در نرم‌افزار منطقه‌بندی شده که در آن حوض‌خانه‌ی موردنظر، منطقه شماره ٤ می‌باشد. ازجمله عوامل مؤثر در بررسی آسایش حرارتی، دمای محیط و رطوبت نسبی می‌باشد. در ادامه به‌ترتیب دما (شکل ٤) و رطوبت‌نسبی (شکل ٥) فضای حوض‌خانه در فصل تابستان، محدوده‌ی ماه‌های تیر تا شهریور، در طول شبانه‌روز برای هر دو حالت حضور و عدم حضور آب و حوض در منطقه‌بندی شماره ٤ حوض‌خانه نشان داده شده است. با توجه به شرایط عدم آسایش در بازه زمانی ساعات ۱۲ تا ۱٦ عصر، در شکل می‌توان مشاهده نمود که دمای حوض‌خانه در حالت بدون آب در محدوده ۳۵ تا ٤٥ درجه‌ی سانتی‌گراد و به ازای حضور آب این دما به محدوده‌ی ۲۰ تا ۳۰ درجه کاهش می‌یابد. همچنین مطابق شکل ٥، رطوبت‌نسبی برای حالت بدون آب در بازه‌ی ۱۰ تا ۳۰ در صد و در شرایط حضور آب در محدوده ۳۰ تا ٦۰ درصد می‌باشد. کاهش دما از یک سوی و افزایش رطوبت‌نسبی از سوی دیگر، نشان از عملکرد مناسب حوض و آب در فضای حوض‌خانه به‌عنوان یک سیستم سرمایشی غیرفعال در تأمین آسایش حرارتی ساکنین است.

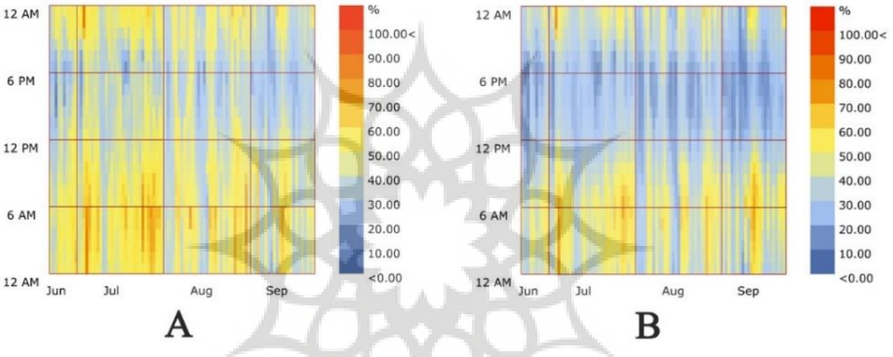
برای بررسی آسایش حرارتی در این مقاله از مدل PMV استفاده شده است همان‌طور که در زیر بخش ٤-۱ تشریح گردید، برحسب فاکتورهای مختلف که بر آسایش افراد تأثیرگذارند، رابطه‌ای جهت تعیین میزان آسایش افراد معرفی گردید که خروجی این رابطه در بازه ۳- تا ۳+ بیانگر احساسات مختلف دمایی افراد نرمال شده است. نتایج شبیه‌سازی برای وجود یا عدم وجود آسایش حرارتی منطبق بر مدل PMV برای فضای حوض‌خانه در دو حالت حضور و عدم حضور آب در (شکل ٦) نشان داده شده است. پروا ضح است که در ساعات موردنظر عصرگاهی، ساکنین در وضعیت عادی از سطح PMV نسبت به‌حالت عدم حضور آب برخوردار خواهند بود. همچنین وجود یا عدم وجود آسایش در این ناحیه به صورت نمودار بولی[8] یا همان نمودار صفر و یک در (شکل ۷) نشان داده شده است. رنگ قرمز با مقدار ۱ بر آسایش و رنگ آبی با مقدار صفر بر عدم آسایش

دلالت دارد. از شـکل می‌توان دریافت که حضـور آب در فضـای حوض‌خانه آسـایش حرارتی بیشـینه‌ای در سـاعات ۱۲ تا ۱۶ در مقایسه با حالت بدون حضور آب عصر فراهم می‌سازد.



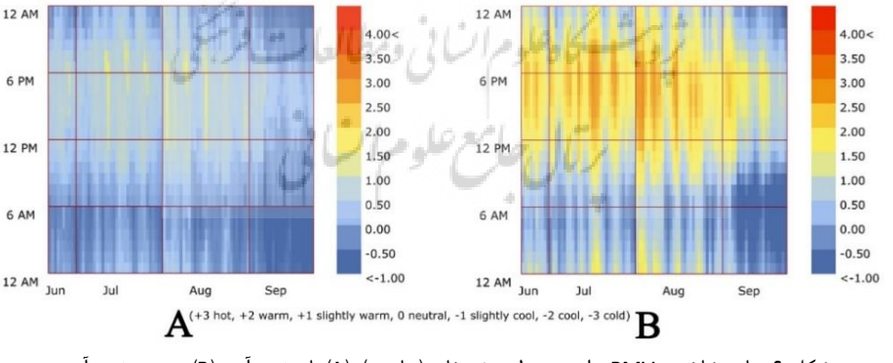
شکل ۴: نمودار دمای محیط حوض‌خانه (ساعتی): (A) با حضور آب؛ (B) بدون حضور آب

Fig. 4: Pool house thermal diagram (hourly): (A) presence of water; (B) absence of water



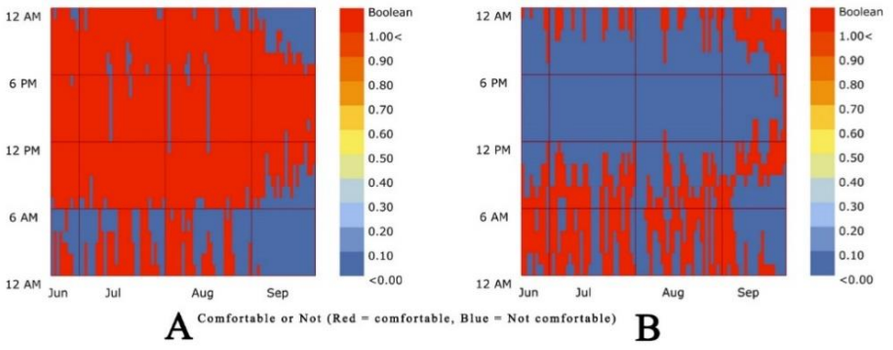
شکل ۵: نمودار رطوبت‌نسبی محیط حوض‌خانه (ساعتی): (A) با حضور آب؛ (B) بدون حضور آب

Fig. 5: Pool house relative humidity diagram (hourly): (A) presence of water; (B) absence of water



شکل ۶: نتایج شاخص PMV برای محیط حوض‌خانه (ساعتی): (A) با حضور آب؛ (B) بدون حضور آب

Fig. 6: Pool house PMV diagram (hourly): (A) presence of water; (B) absence of water

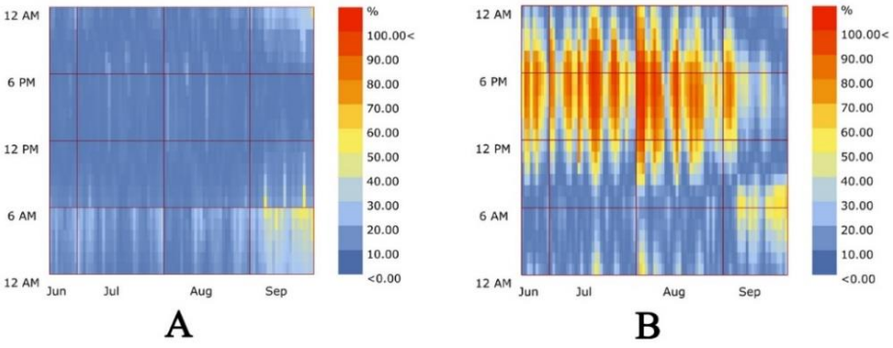


شکل ۷: نمودار بولی صفر و یک از آسایش حرارتی برای محیط حوض‌خانه: (A) با حضور آب؛ (B) بدون حضور آب

Fig. 7: Pool house comfort diagram (hourly): (A) presence of water; (B) absence of water

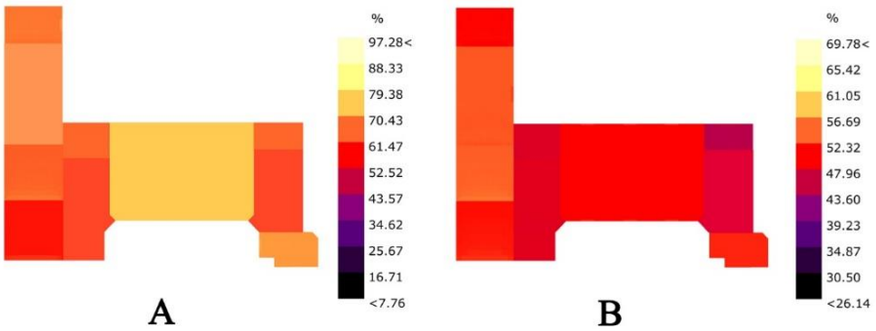
در ادامه به بررسی شاخص PPD یا همان درصد نارضایتی افراد از محیط حرارتی حوض‌خانه در حضور یا عدم حضور آب می‌پردازیم. همان‌طور که قبلاً نیز بیان شد، این شاخص، درصد افرادی که در بازه‌ی ۱+ تا ۱- رای نداده و به‌عبارت بهتر نارضایتی از شرایط آسایش را دارند نمایش می‌دهد. انتظار می‌رود در شرایط آسایش، مقدار درصد PPD ارقام پایینی را نشان دهد. شاخص PPD برای منطقه‌بندی شماره ی ٤ یا همان حوض‌خانه برای هر دو حالت حضور و عدم حضور آب در (شکل ۸) نشان داده شده است. با توجه به شرایط عدم آسایش در بازه‌ی زمانی ساعات ۱۲ تا ۱٦ عصر، در شکل می‌توان مشاهده نمود که شاخص نارضایتی PPD حوض‌خانه در حالت بدون آب در محدوده ۸۰ تا ۱۰۰ درصد و به ازای حضور آب این شاخص به محدوده ی ۱۰ تا ۲۰ درصد کاهش می‌یابد.

آخرین شاخصی از آسایش که در این مقاله بررسی شده است، درصد تطبیق بیولوژیکی حرارتی[۹] (ATCP) افراد برحسب درصد در فصل تابستان است. درواقع با این شاخص می‌توان مشخص نمود که چند درصد از افراد حاضر در یک فضا، توانایی تطبیق بیولوژیکی حرارتی را جهت حس آسایش حرارتی دارند. برخلاف PPD که مقادیر درصد بالا بر نارضایتی افراد از آسایش حرارتی دلالت دارد، هر چه میزان ATCP بیشتر باشد، نشان از توانایی تطبیق بالاتر و دریافت حس آسایش حرارتی بهتر در ساکنین خواهد بود. شاخص ATCP برای ساکنین حوض‌خانه برای هر دو حالت حضور و عدم حضور آب در (شکل ۹) نشان داده شده است. با توجه به شرایط عدم آسایش در بازه‌ی زمانی ساعات ۱۲ تا ۱٦ عصر، در شکل می‌توان مشاهده نمود که شاخص درصد تطبیق بیولوژیکی حرارتی ATCP حوض‌خانه در حالت بدون آب زیر ۵۰ درصد و به ازای حضور آب این شاخص تا میزان ۸۰ درصدی افزایش می‌یابد.



شکل ۸: نتایج شاخص PPD برای محیط حوض‌خانه: (A) با حضور آب؛ (B) بدون حضور آب

Fig. 8: Pool house PPD diagram (hourly): (A) presence of water; (B) absence of water



شکل ۹: نتایج شاخص ATCP برای محیط حوض‌خانه: (A) با حضور آب؛ (B) بدون حضور آب

Fig. 9: Pool house ATCP diagram: (A) presence of water; (B) absence of water

نتیجه‌گیری

در این مقاله به نقش و حضور آب در فضای حوض‌خانه بر آسایش حرارتی ساکنین آن فضا در اقلیم سرد پرداخته شد. فضای حوض‌خانه‌ی خانه سنتی قدکی که در حال حاضر در دانشکده‌ی معماری و شهرسازی دانشگاه هنر اسلامی تبریز در حال بهره‌برداری است، به‌عنوان نمونه موردی انتخاب شده و هندسه و مشخصات آن براساس نقشه‌های موجود در نرم‌افزار راینو و پلاگین گرس‌هاپر مدل‌سازی گردید.

سپس برای مدل‌سازی حوض از کدهای مخصوص موتور شبیه‌سازی انرژی پلاس و برای شبیه‌سازی عملکرد سیستم انتقال آب حوض از افزونه Ironbug استفاده شد. کدهای نوشته شده مخصوص حوض با فرمت انرژی پلاس در محیط گرس‌هاپر مستقیماً به داخل نرم‌افزار انرژی پلاس وارد شده و شبیه سازی انرژی برای دوره‌ی تابستان، زمان استفاده عمده از این بخش بنا، انجام گردید. برای بررسی آسایش حرارتی در فصل تابستان و به‌ویژه در ساعات ۱۲ تا ۱۶ عصر که آسایش حرارتی عمدتاً تحت شعاع قرار می گیرد، میزان دما و رطوبت‌نسبی در طول شبانه‌روز، نمودارهای آسایش PMV، احساس دمایی، درصد نارضایتی PPD و میزان تطبیق بیولوژیکی حرارتی افراد برای هر دو حالت حضور و عدم حضور آب در حوض‌خانه استخراج گردید. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که حضور آب تأثیر بسزایی در تأمین آسایش حرارتی ساکنین در فضای حوض‌خانه دارد (جدول ۳) و (جدول ٤).

جدول ۳: اثر وجود آب در حوض‌خانه بر شاخص‌های آسایش حرارتی (زون حوض‌خانه) به‌صورت میانگین کل ساعات ماه[۱۰]

Table 3: The effects of water in the pool house on thermal comfort indicators as the average of total hours of the month (pool house zone)

		میانگین رطوبت‌نسبی	میانگین دمای فضا	میانگین PPD	میانگین PMV
تیر	Jun (22)	۳۶,۴۹	۲۱,۲	۱۴,۶۱	۰,۴۳
تیر – مرداد	Jul	۴۲,۸۹	۲۲,۱۸	۸,۰۳	۰,۸۲
مرداد – شهریور	Aug	۳۸,۹۹	۲۲,۲۷	۸,۲۳	۰,۸۸
شهریور	Sep (23)	۳۵,۱	۲۰,۴۸	۱۹,۹۱	۰,۳۲

جدول ۴: اثر عدم وجود آب در حوض‌خانه بر شاخص‌های آسایش حرارتی به‌صورت میانگین کل ساعات ماه (زون حوض‌خانه)

Table 4: The lack of water effects in the pool house on thermal comfort indicators as the average of total hours of the month (pool house zone)

		میانگین رطوبت‌نسبی	میانگین دمای فضا	میانگین PPD	میانگین PMV
تیر	Jun (22)	۲۸,۸۴	۲۵,۰۹	۱۹,۴۴	۱,۱۹
تیر – مرداد	Jul	۳۰,۶۸	۲۸,۴۱	۲۲,۱۸	۱,۶۳
مرداد – شهریور	Aug	۲۹,۸۲	۲۷,۹۸	۲۴,۸۸	۱,۸۱
شهریور	Sep (23)	۲۸,۵۹	۲۴,۴۱	۲۳,۹۸	۱,۲۶

پی‌نوشت‌ها

1. EnergyPlus
2. Grasshopper
3. Ladybugtools
4. Therm
5. Daysim
6. Radiance
7. OpenStudio
8. Boolean
9. Adaptive Thermal Comfort (ATC)

۱۰. تقسیم‌بندی و خروجی داده‌ها در نرم‌افزار انرژی پلاس بر مبانی تقویم میلادی می‌باشد که معادل آنها به‌صورت شمسی در تقسیم‌بندی آورده شده است.

فهرست منابع

حیدری، شاهین و غفاری جباری، شهلا. «تعیین محدوده زمانی آسایش حرارتی برای شهر تبریز». مهندسی مکانیک مدرس ۱۰، ٤ (۱۳۹۸): ۳۷-٤٤.

طباطبایی زواره، سیده مریم، نیما ولی بیگ، مریم عظیمی و بهروز شهبازی چگنی. «مقایسه کالبد خانه‌های چهار صفه و حوض‌خانه‌ای سنتی شهر زواره». دوفصلنامه معماری اقلیم گرم و خشک ٦، ۷(۱۳۹۷): ۱۰۱-۱۲۵.

قبادیان، وحید. «بررسی اقلیمی ابنیه سنتی ایران». انتشارات دانشگاه تهران. چاپ پنجم، ۱۳۸۷.

قیابکلو، زهرا. «خنک‌سازی غیرمکانیکی تبخیری». نشریه هنرهای زیبا، ۸.(۱۳۹۳).

قیابکلو، زهرا. «روش‌های تخمین محدوده آسایش حرارتی». هنرهای زیبا ۱۰، ۰ (۱۳۸۰): ٦۸-۷٤.

کدخدایی، معصومه و افشین قربانی. «نقش آب در خانه‌های سنتی ایران از منظر انسان، طبیعت و معماری با بررسی عنصر حوض‌خانه». کنفرانس ملی تحقیق و توسعه در مهندسی عمران، معماری و شهرسازی نوین. ۱۳۹٦.

کسمایی، مرتضی. اقلیم و معماری. تهران: انتشارات خاک، ۱۳۸٤.

کی نژاد، محمدعلی و محمدرضا شیرازی. «خانه‌های قدیمی تبریز». انتشارات دانشگاه هنر اسلامی تبریز. چاپ دوم،۱۳۹۷.

وزارت راه و شهرسازی، معاونت مسکن و ساختمان، مقررات ملی ساختمان، مبحث نوزدهم، ۱۳۹۸.

ولی زاده اوغانی، محمدباقر و ناصر موحدی. «استفاده از سامانه‌های ایستا و غیرفعال خورشیدی جهت ایجاد آسایش حرارتی در طرح معماری خانه‌های سنتی تبریز». دوفصلنامه انرژی‌های تجدید پذیر و نو ٦، ۱(۱۳۹۸).

منابع انگلیسی

Anđelković, Aleksandar, Igor Mujan, and Stojanka Dakić. "Experimental validation of a EnergyPlus model: Application of a multi-storey naturally ventilated double skin façade", Energy and Buildings 118,(2016).

Article 19 of the National Building Code. “The Ministry of Roads and Urban Developmen” 2019. [in Persian]

Ramspeck, Claire B. "Thermal environmental conditions for human occupancy", (2004).

Behnejad, Alireza. “Traditional Components of Iranian Vernacular Architecture in Contemporary Projects”. Folk Architecture – Vernacular Architecture, International Conference, Hungary, (2012).

Calixto-Aguirre, I, G Huelsz, G Barrios, and M.V. Cruz-Salas. “Validation of thermal simulations of a non-air-conditioned office building in different seasonal, occupancy and ventilation conditions”, Journal of Building Engineering 44, (2021).

Ghiabaklou, Zahra. “Evaporative non-mechanical cooling”. Fine Arts, no. 8 (2014). [in Persian]

Ghiabaklou, Zahra. “Methods for estimating thermal comfort range”. Journal of Fine Arts10, (2001): 68-74. [in Persian]

Ghobadian, Vahid. “Climatic study of traditional buildings in Iran”. University of Tehran, Fifth Edition, 2008. [in Persian]

Givoni, B. “Comfort, Climate Analysis and Building Design Guideline”. Energy and Buildings 18, no.1 (1992): 11-23.

Hayter, Richard. “Designing for comfort, Kansas State”. University Manhattan, KS, USA, 2007.

Heydari, Shahin, and Shahla Ghaffari Jabbari, “Determining Thermal Comfort Period for Tabriz”. Modares Mechanical Engineering, 2010. [in Persian]

Holz, R, A Hourigan, R Sloop, P Monkman, and M Krarti. “Effects of standard energy conserving measures on thermal

comfort". Building and Environment 32, (1997): 31–43.
Hosseini, S.H., E Shokry, A.J. Ahmadian Hosseini, G Ahmadi, J.K. Calautit. "Evaluation of airflow and thermal comfort in buildings ventilated with wind catchers: Simulation of conditions in Yazd City, Iran". Energy for Sustainable Development 35,(2016): 7-24.
Im, Piljae, Jaewan Joe, Yeonjin Bae, and Joshua R. New. "Empirical validation of building energy modeling for multi-zones commercial buildings in cooling season". Applied Energy 261, (2020).
Kadkhodai, Masoumeh, and Afshin Ghorbani. "The role of water in traditional Iranian houses from the perspective of man, nature and architecture by examining the element of the pool house". National Conference on Research and Development in Civil Engineering, Architecture and Modern Urbanism, 2017. [in Persian]
Kasmaei, Morteza. "Climate and Architecture". Soil Publications: Tehran, 2005. [in Persian]
Kaynejad, Mohammad Ali, and Mohammad Reza Shirazi. "Old houses of Tabriz". Tabriz Islamic Art University Publications, second edition (2018). [in Persian]
Liggett, R, and M Milne. "Climate Consultant 6".UCLA Energy Design Tools Group, 2014.
Mehrali, Abazar, Hossein Soltanzadeh, and Kaveh Bazrafkan. "Study and Analysis the Effect of Pond House in the Structural Formation of Houses in Hot and Dry Climate in Iran". International Journal of Applied Arts Studies6. no .4 (2021): 31–44.
Mousli, K., and S Giovanni. "Thermal Performances of Traditional Houses in Dry Hot Arid Climate and the Effect of Natural Ventilation on Thermal Comfort: A Case Study in Damascus". Energy Procardia 78, (2015): 2893-2898.
Neghabi, Mahboobeh. "Pool- Houses - The Most Effective Elements of Traditional Passive Cooling". Current World Environment 11, (2016).
Sakiyama, N.R.M, L Mazzaferro, J.C. Carlo, T. Bejat, H. Garrecht. "Dataset of the EnergyPlus model used in the assessment of natural ventilation potential through building simulation", Data in Brief 34, (2021).
Tabatabai Zavareh, Seyedeh Maryam, Nima Wali Beg, Maryam Azimi, and Behrooz Shahbazi Chegni.
"Comparison of traditional four-storey houses and a pool house in Zavareh". Journal of Architecture in Hot and Dry Climateis6, (2018). [in Persian]
Valizadeh Oghani, Mohammad Baqir, and Nasser Movahedi. "Using static and passive solar systems to create thermal comfort in the architectural design of traditional houses in Tabriz". Journal of Renewable and New Energy 6, no.1 (2019). [in Persian]
https://bigladdersoftware.com/epx/docs/8-8/engineering-reference/index.html
https://climate.onebuilding.org/WMO_Region_2_Asia/IRN_Iran/index.html

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی