

شاکله اقلیمی بوم زاد: تدوین چارچوب استخراج پروتوتایپ اقلیمی از معماری بومی با روش خوشه‌بندی K-means و K-prototypes (نمونه موردی: خانه‌های چهارصفه زواره)

هدی کنعانی مقدم^۱، سید مجید مفیدی شمیرانی^{۲*}، فرح حبیب^۳

۱. دانشجوی دکتری معماری، گروه معماری، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲. استادیار دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

۳. استاد گروه معماری، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

(این مقاله برگرفته از پژوهش رساله دکتری هدی کنعانی مقدم در گروه معماری، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران است.)

چکیده

در رویکرد طراحی شاکله محور معاصر، سعی بر آن است تا با استفاده از علم داده و ابزارهای نوین، مؤلفه‌های کیفی، عملکردی و هندسی هم‌زمان در شاکله بنا تلفیق گردد. یکی از مؤلفه‌های بنیادین این رویکرد، شاکله اقلیمی است. در این میان شاکله محوری در معماری بومی به دلیل آزموده شدن در طول زمان در بستر تاریخی، اقلیمی و فرهنگی و همگرایی ابعاد مختلف زیست انسان در هندسه و فرم بنا، محقق شده است؛ امری که در معماری مدرن به دلیل گسست از ریشه تاریخی و نگرش‌های تک‌بعدی، فرصت تحقق نیافته است. اما عصر داده و روش‌های نوین یادگیری ماشینی این امکان را فراهم می‌کند که الگوهای پنهان و پروتوتایپ‌ها در معماری بومی کشف شوند و در معماری معاصر بکار گرفته شوند. معماری بومی در ایران مورد مطالعات توصیفی-تحلیلی و گونه‌شناسی قرار گرفته است، اما نبود نظام‌های تحلیلی داده‌محور برای مستندسازی و استخراج پروتوتایپ‌های بومی که قابل انتقال، آزمون و بازطراحی باشند، یکی از شکاف‌های جدی در ادبیات نظری و کاربردی این حوزه به شمار می‌رود. در این مقاله سعی شده است با رویکرد اقلیمی، چارچوبی روشمند برای برقراری پیوند میان علم داده و معماری بومی و طراحی شاکله محور فراهم آورد. این پژوهش از نوع طراحی-پژوهی است و با روش مقایسه تطبیقی انجام شده است. در این پژوهش با رویکرد شاکله محور، به گونه‌شناسی اقلیمی چهارصفه‌های زواره از طریق خوشه‌بندی داده‌محور پرداخته شده است. در این راستا باهدف استخراج پروتوتایپ اقلیمی، مجموع تعداد بیش از ۴۰۰ ویژگی مرتبط با اقلیم متعلق به ۸ خانه چهارصفه دارای زیرزمین در شهر زواره که برای اولین بار با دقت نسبت به اجزای اقلیمی برداشت و مستندسازی شده‌اند؛ با روش K-means، K-prototype در ۸ گروه داده‌های عددی و داده‌های اسمی خوشه‌بندی شده‌اند.

تاریخ دریافت:

۲۰ آبان ۱۴۰۴

تاریخ پذیرش:

۱۰ تیر ۱۴۰۵

کلیدواژه‌ها:

شاکله اقلیمی،

پروتوتایپ،

چهارصفه،

خوشه‌بندی k-means،

k-prototypes

doi : 10.22034/ahdc.2026.23954.1894

E-ISSN: 2645-372X /© 2023. Published by Yazd University This is an open access article under the CC BY 4.0 License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



۱- مقدمه

رویکرد این مقاله ابتدا با اشاره به پارادایم معماری شاکله‌محور به‌عنوان یک رویکرد معاصر کل‌نگر و داده‌محور و سپس رویکرد اقلیمی به‌عنوان یکی از ابعاد بنیادین پایداری و شاکله‌ساز معماری است. در همین راستا معماری بومی به‌عنوان منبعی زایا و آزموده شده در بستر تاریخی-اقلیمی-فرهنگی برای استخراج شاکله‌های اقلیمی معرفی می‌گردد. در بخش پیشینه با مرور ادبیات در حوزه معماری شاکله‌محور و پروتوتایپ‌سازی، ضرورت استخراج پروتوتایپ‌های اقلیمی از معماری بومی به‌مثابه پرکننده شکاف طراحی مفهومی و تحلیل‌های انرژی تبیین می‌گردد. سپس با مرور پیشینه مطالعات معماری بومی ایرانی با رویکرد اقلیمی نبود نظام‌های تحلیلی روشمند برای استخراج این الگوها، به‌عنوان شکافی جدی در ادبیات نظری و کاربردی مشخص می‌شود. در نهایت یک چارچوب جهت استخراج پروتوتایپ اقلیمی از معماری بومی ارائه می‌دهد. چارچوب نظری مقاله در تصویر ۱ آورده شده است.

در این میان، "خانه‌های چهارصفه‌ی زواره" به‌عنوان الگویی هم‌هویت‌مند و ریشه‌دار در تاریخ معماری ایران، و هم‌اقلیم پاسخ که توانسته طی قرون متمادی سکونت‌پذیری پایدار را در اقلیم گرم و خشک حاشیه‌ی کویر ممکن کند؛ به‌عنوان نمونه مورد مطالعه انتخاب شده است. این پژوهش باهدف پیوند میان معماری بومی، علم داده و معماری شاکله‌محور، چارچوبی برای استخراج پروتوتایپ‌های اقلیمی باهدف قراردادن ۸ خانه چهارصفه زواره دارای زیرزمین ارائه می‌دهد. در روش پیشنهادی با استفاده از خوشه‌بندی K-means و K-prototypes پروتوتایپ‌های اقلیمی چهارصفه‌ها که قابل کاربرد در طراحی مفهومی، شبیه‌سازی انرژی و سیاست‌گذاری اقلیمی هستند، استخراج شده‌اند.

پرسش‌های پژوهش عبارت‌اند از (۱) آیا می‌توان معماری بومی را به‌گونه‌ای کاربردی مورد گونه‌شناسی قرار داد؟ (۲) چگونه می‌توان از خوشه‌بندی برای استخراج پروتوتایپ اقلیمی استفاده نمود؟ (۳) با استفاده از این روش چه پروتوتایپ‌های اقلیمی در خانه‌های چهارصفه زواره می‌تواند شناسایی شود؟

روش تحقیق از نوع مطالعه کاربردی نمونه‌موردی است که در آن ۸ خانه چهارصفه زواره دارای زیرزمین برای اولین بار با اجزای اقلیمی برداشت شده و تعداد بیش از ۵۰ ویژگی مرتبط با اقلیم هر یک مستندسازی شده و با روش K-means، K-prototype خوشه‌بندی شده‌اند. انتخاب خانه‌ها به روش نمونه‌برداری هدفمند صورت گرفته است. روش تحقیق ترکیب مقایسه تطبیقی و تحلیل آماری با استفاده از الگوریتم K است.

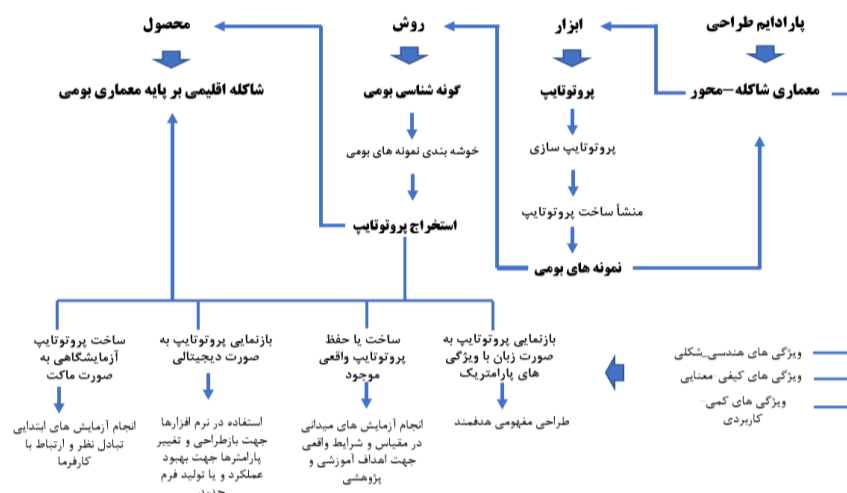
نوآوری پژوهش در سه بعد قابل توجه است: نخست، بهره‌گیری از معماری بومی برای ساخت پروتوتایپ؛ دوم، تلفیق روش K-means با زبان شکل؛ و سوم، تمرکز ویژه بر مقطع و اجزای اقلیمی در کنار پلان.

۲- پیشینه و مرور ادبیات

معماری شاکله‌محور ۱ یکی از رویکردهای نوین قرن بیست‌ویکم است که باهدف تلفیق فرم، عملکرد و معنا در طراحی معماری مطرح شده و در حال تبدیل‌شدن به یکی از محورهای اصلی گفتمان معاصر است (Kolarevic, 2004). این رویکرد که شاکله را ساختاری روایی، ریشه‌دار و قابل بازآفرینی با کمک فناوری می‌داند، نخستین بار توسط تام میور (۱۹۷۰) برای پر کردن شکاف میان طراحی مفهومی و تحلیل دیجیتال پیشنهاد شد. او و دیگر پژوهشگرانی مانند فلمینگ و مهدوی، بر اهمیت ارزیابی شاکله در مراحل اولیه طراحی تأکید داشتند (Kolarevic, 2004, pp. 44-48). در سال‌های اخیر، توجه به شاکله‌محوری در طراحی معماری، تحت تأثیر دغدغه‌های پایداری، تحولات نظری در معماری، و ظهور فناوری‌های نوین و علم داده افزایش یافته است و به‌مثابه‌ی یک "فراروایت" جهانی در طراحی معماری شناخته می‌شود (Kolarevic, 2004, pp. 44-45).

شاکله اقلیمی یکی از مهم‌ترین ابعاد کلیدی معماری شاکله‌محور است. اما در معماری مدرن سازوکارهای سنتی انسان برای سازگاری با اقلیم که ضامن بقا، سلامت، آسایش و حتی لذت او بوده، نادیده گرفته شده‌اند (Dahl, 2010, p. 6). آموس راپاپورت در مقاله‌ی "طراحی بومی به‌عنوان یک نظام الگومند" بررسی با دقت تجربه‌ها و نظریه‌های پنهان در پس

معماری سنتی برای استخراج اصول استفاده در طراحی امروز تأکید می‌کند (Dahl, 2010, P:7). «محیط‌های بومی به‌مثابه یک آزمایشگاه بی‌بدیل، مجموعه‌ای گسترده از واکنش‌های انسانی را نسبت به عوامل فرهنگی، فناوری، منابع (از جمله مصالح)، مکان، اقلیم، شیوه‌های معیشت و مانند آن فراهم می‌آورند.» (Rapoport, 2006, p. 181).



تصویر ۱: چارچوب نظری مقاله

علم داده می‌تواند فرایند آزمون، تطبیق و بازطراحی را که پیش‌تر در گذر زمان محقق می‌شد، از طریق شبیه‌سازی و تحلیل تسریع کند. در این میان، پروتوتایپ‌ها به‌عنوان الگوهای شکلی-پارامتریک نقشی محوری در طراحی شاگله اقلیمی دارند و پلی میان طراحی مفهومی و ارزیابی عملکردی برقرار می‌سازند (Camburn & Viswanathan, 2017). از طرفی گونه و گونه‌شناسی در معماری پیشینه‌ای طولانی دارد و به‌عنوان پایه‌ای برای توسعه سبک در نظر گرفته می‌شود؛ اما برخلاف سبک که با زمان و آیین دگرگون می‌شود، گونه پایداری بیشتری دارد و در بطن اثر باقی می‌ماند. دوران متأخر گونه‌شناسی با دوره پارادایم چهارم علم یعنی دوره علم داده‌محور، متناظر است. در سال‌های اخیر برخی پژوهشگران بر این باورند که گونه‌شناسی معماری باید فراتر از ابعاد هندسی عمل کند و عوامل غیرهندسی را نیز در نظر بگیرد و پروتوتایپ‌سازی را کاربردی‌تر از گونه‌شناسی دانسته‌اند. "برخلاف تیپولوژی، پروتوتایپ مدلی اصیل از یک چیز است که سایر شکل‌ها می‌توانند از آن توسعه یابند یا از آن نسخه‌برداری شوند. پروتوتایپ‌سازی ساختمانی گامی مهم در تکوین تیپولوژی معماری به شمار می‌آید." (Ma et al., 2022, p.2) "پروتوتایپ" (Prototype) به معنای «نمونه‌ی اولیه» یا "پیش‌الگو" است. پروتوتایپ‌سازی به معنای ساخت پیش‌نمونه (پروتوتایپ) تقریباً با تمامی فرایندهای توسعه‌ی محصول، خدمات و سامانه‌ها درهم‌تنیده است. پروتوتایپ‌سازی بخشی جدانشدنی و تاریخی از روند طراحی است. پروتوتایپ بازنمایی‌ای پیش‌تولیدی از بخشی از یک ایده یا طرح نهایی است، که به‌صورت موقت و آزمایشی ساخته می‌شود. (Camburn & Viswanathan, 2017). سونای و همکاران در مقاله "مفهوم پروتوتایپ در معماری و مقایسه تطبیقی طراحی قیاسی و طراحی تقلیدی" تفاوت مفهومی و عملکردی میان آرکی تایپ ۲، پروتوتایپ ۳ و استریوتایپ ۴ در معماری را این‌چنین روشن می‌کند: آرکی تایپ: اولین نمونه ملموس و اجدادی، پروتوتایپ: اولین مدل طراحی‌شده برای تولید یا حل مسئله در طراحی، استریوتایپ: بازنمایی سطحی و تکراری بدون اصالت. به‌طور خلاصه، آرکی تایپ بیشتر جنبه تاریخی و پایه‌ای دارد، درحالی‌که پروتوتایپ کاربردی‌تر و به تولید و طراحی معاصر مرتبط است (Sonay, 2016).

در این دوره، تحلیل کلان‌داده‌ها، استفاده از داده‌های باز، و بهره‌گیری از زیرساخت‌های تعاملی، کشف علمی را دگرگون ساخته و زمینه‌ای جدید برای گونه‌شناسی و پروتوتایپ‌سازی قانونمند ایجاد کرده است. داده‌ها خود شروع به تولید تیپ می‌کنند؛ بدون آنکه از ابتدا فرم یا عملکردی فرض شده باشد. پروتوتایپ واجد ویژگی‌هایی چندلایه و میان‌ساختی است. از یک‌سو دارای مختصات شکلی-هندسی است که در قالب سازمان فضایی، تناسبات و ریخت‌شناسی تجلی می‌یابد، و

از سوی دیگر شامل ویژگی‌های پارامتریک است که امکان بازتولید، تنظیم‌پذیری و انطباق آن با شرایط متغیر را فراهم می‌آورد. در نهایت تحول گونه‌شناسی از فرم‌های ایستا به شبکه‌های پویا، از حافظه تاریخی به سازوکارهای اکولوژیک، و نهایتاً به تیپ‌سازی داده‌محور، نشان می‌دهد که پروتوتایپ‌ها امروز در نقطه تلاقی معماری، داده و تحلیل زیست‌محیطی قرار گرفته‌اند.

خوشه‌بندی یکی از مهم‌ترین روش‌های پروتوتایپ‌سازی است. در دنیای امروز "علم داده پس از علم تجربی، نظری و محاسباتی، نقش کلیدی در کشف و تولید الگوهای پیچیده بر عهده دارد" (Tony Hey et al., 2011, p. xxx). در معماری، به‌ویژه در زمینه معماری بومی و اقلیمی، علم داده ابزار قدرتمندی است که از طریق روش‌هایی مانند خوشه‌بندی، و یادگیری ماشین، می‌تواند داده‌هایی نظیر دما، رطوبت، فرم بنا، مصالح و رفتار کاربران را ساختارمند کرده و الگوهای نهفته در معماری سنتی را آشکار سازد. این رویکرد پلی مؤثر میان دانش سنتی معماری و ابزارهای نوین فناوری است.

پژوهش‌های مختلفی از خوشه‌بندی برای تشخیص الگوهای شکلی مشابه و متفاوت استفاده کرده‌اند. برای مثال در یک پژوهش داده‌محور، عثمان علی و همکاران (۲۰۱۹) روش جامعی را برای توسعه آرک‌تایپ‌های ساختمانی در چهار مقیاس جغرافیایی (ملی، شهری، ناحیه‌ای، منطقه‌ای) در ایرلند ارائه کردند. آن‌ها با استفاده از خوشه‌بندی با الگوریتم K-means، ویژگی‌های فیزیکی ساختمان‌ها را دسته‌بندی و کمی‌سازی کردند (Ali et al., 2019). در انگلستان در یک مطالعه ملی، الرشید و مورشید با استفاده از الگوریتم K-prototypes به تیپ‌بندی واحد مسکونی بر اساس بانک داده ساختمانی پرداختند (Alrasheed & Mourshed, 2024). در مقاله‌ی "مطالعه‌ای جامع درباره‌ی خوشه‌بندی یک دسته از اشکال دوبعدی" نوشته‌ی کالیشفسکا و سیگا (۲۰۲۲)، روش‌هایی نوین برای خوشه‌بندی مقاطع دوبعدی اشیای سه‌بعدی دوران‌پذیر، به‌ویژه سفالینه‌های باستانی، مورد بررسی قرار گرفته است. در این پژوهش، خوشه‌بندی به‌عنوان ابزاری برای تولید تیپولوژی‌های خودکار از سفال‌های باستانی به کار گرفته شده است؛ فرایندی که به طور سنتی مبتنی بر تشخیص ذهنی و تجربه‌ی کارشناسان بود. استفاده از این روش‌ها، امکان تشخیص الگوهای شکلی مشابه یا متفاوت در قطعات سفال را به‌صورت عینی و قابل بازتولید فراهم می‌سازد و در نتیجه، می‌تواند به مطالعات تطبیقی و تحلیل‌های کمی در باستان‌شناسی یاری رساند. آن‌ها در این مقاله نشان دادند چگونه با خوشه‌بندی مقاطع سفالینه‌های باستانی می‌توان دوره و زمان اشیای باستانی جدید یافت شده را بادقت بالایی تخمین زد (Kaliszewska and Syga, 2022, pp.95-97). در یک پژوهش با رویکرد کمی-کیفی، قنبری و همکاران (2022) باهدف گونه‌شناسی فرم خانه‌های روستایی جلگه‌ای تالش، ۱۵۰ خانه‌ی روستایی را مطالعه کرده و پلان‌های آن‌ها را با استفاده از AutoCAD ترسیم کردند. سپس داده‌های پلان‌ها به ماتریس صفر و یک تبدیل شده و در محیط پایتون با استفاده از الگوریتم شباهت کسینوسی، میزان شباهت میان آن‌ها تحلیل شد. ۴۸ پلان پرتکرار استخراج و در نهایت دو تیپ اصلی (خانه‌های یک‌طبقه و تالاری) و هشت زیرگونه بر پایه مکان ایوان شناسایی شد. یافته‌ها نشان داد که بیش از ۷۵٪ پلان‌ها دارای بیش از ۷۰٪ شباهت‌اند و عناصر مشترکی همچون ایوان، سقف شیب‌دار، تهویه طبیعی و فرم خطی دارند. این پژوهش با بهره‌گیری از روش‌های نوین الگوریتمی، الگویی برای گونه‌شناسی مبتنی بر تحلیل داده‌محور در معماری بومی ارائه می‌دهد & Ghanbari, Yeganeh, (Bemanian, 2022, pp.10-13)

نمونه‌های بومی می‌توانند به‌عنوان پروتوتایپ‌های اولیه عمل کنند. استفاده از نمونه‌های بومی همواره یکی از روش‌های پروتوتایپ‌سازی بوده است. حسن فتحی، معمار مصری، از پیشگامان معماری بومی و اقلیمی در قرن ۲۰ مشهور به استفاده از مصالح محلی (مانند خشت خام) و احیای شیوه‌های سنتی ساخت در روستاهای مصر است. او در پروژه‌هایی مانند دهکده "دهکده گورنای نوین" نشان داد که چگونه می‌توان با احیای دانش سنتی، پروتوتایپ‌هایی اقلیمی و اجتماعی ساخت. پروژه‌های آموزشی آنا هرینگر معمار آلمانی، در بنگلادش، با استفاده از مصالح بومی خاک و بامبو ساخته شده‌اند و نمونه‌ای از پروتوتایپ‌های آموزشی و زیستی بومی در عصر معاصر هستند. رویکرد او را می‌توان "معماری اجتماعی-بومی" دانست، که بر طراحی مشارکتی و توسعه پایدار تأکید دارد.

در حوزه مطالعات معماری بومی ایرانی با رویکرد اقلیمی، مطالعات زیادی انجام شده است. برای مثال پیرنیا (۱۳۹۵) نقش گنبدها را در مکش گرما و سایه‌اندازی توضیح داده است. غفاری (۱۳۷۹) به عملکرد مکش هوای گرم از سقف میان‌خانه و ارتباط زیرزمین و میان‌خانه در چهارصفه‌های زواره اشاره کرده است. توسلی (۱۳۹۱) نیز خانه‌های زواره را به عنوان الگوی معماری گرم و خشک با شیوه تهویه طبیعی معرفی کرده است. بهادری (۱۹۷۸) چهار سامانه خنک‌کننده طبیعی شامل بادگیر، سقف‌های منحنی، آب‌انبارهای گنبددار و یخچال‌های سنتی را شرح داده است (Bahadori, 1978, p.150). ایزدپناهی و همکاران (۲۰۲۱) به مطالعه نقش کلیدی ارتفاع و هندسه فضای حیاط در سایه‌اندازی، پایداری دما در فضاهای زیرزمینی پرداخته‌اند (Izadpanahi, et al., 2021, pp. 3-4, 11, 13-14, 18). سفلاهی و همکاران (۲۰۱۶) نقش حیاط مرکزی را به عنوان راهبردی برای سرمایه‌های غیرفعال با مدل‌سازی تحلیل کرده و الگوی طراحی فیزیکی - اقلیمی برای آن ارائه داده‌اند. (Soflaei, et al., 2016a, 2016b, pp. 324, 328-330). افشاری بصیر و همکاران (۲۰۱۷) نقش آب، گیاه و نور را در ایجاد ریزاقلیم مطلوب در خانه‌های بومی یزد نشان داده‌اند. (Afshari, et al., 2017) سانج (۱۳۹۶) نیز تهویه طبیعی خانه‌های چهارصفه یزد را بررسی کرده است.

در حوزه گونه‌شناسی معماری ایرانی با رویکرد اقلیمی، ایمانی چات‌قیه و همکاران (۱۴۰۵) به تیپولوژی انرژی محور ۳۱۰ ابنیه تاریخی شهر تهران پرداخته و به این نتیجه رسیده‌اند که ساختمان‌های کوشکی دوطبقه و بیشتر دوره پهلوی به عنوان تیپ غالب، بیشترین ظرفیت را برای مدیریت و کاهش مصرف انرژی در شهر تهران دارند و بانکیه‌بر ویژگی‌های مشترک کالبدی بناها، امکان تعریف سناریوهای مداخلات انرژی هدفمند، قابل‌بازگشت و کم‌خطر از منظر میراثی فراهم می‌شود. حبیب، خدابخشیان و مفیدی‌شمیرانی (۱۳۹۱) به شناسایی و طبقه‌بندی گونه‌های مختلف معماری زمین‌پناه در ایران پرداختند. (Habib, et al, 2012, pp.5-10). محمودی و مفیدی‌شمیرانی (۱۳۸۷) گونه‌شناسی بادگیرها را انجام داده و با استفاده از نرم افزار فلوئنت عملکرد هریک را در برقراری جریان هوا مورد سنجش و مقایسه قرار داده‌اند. (محمودی، ۱۳۸۷، ص ۲۷) در حوزه شبیه‌سازی، بهادری (۱۹۸۵) در مقاله‌ای با عنوان "طرحی بهبود یافته برای بادگیرها به منظور تهویه طبیعی و سرمایه‌های غیرفعال"، با انجام تحلیل‌های جرم و انرژی، طرحی نو ارائه می‌کند که قادر است جریان هوای بیشتری را به داخل ساختمان هدایت کند. (Bahadori, 1985, p.119). مسعودی‌نژاد، طاهباز و مفیدی‌شمیرانی (۱۳۹۷) رفتار حرارتی شوادان‌ها را در خانه‌های دزفول به روش اندازه‌گیری میدانی و شبیه‌سازی CFD بررسی کرده‌اند. (مسعودی‌نژاد و همکاران ۱۳۹۷، صص. ۴۹-۵۰). حسینی و همکاران (۱۴۰۳) در مقاله رمزگشایی عناصر معماری به کمک دستور زبان شکل، ۶۴ خانه تاریخی از کاشان، یزد و اصفهان را با روش زبان الگوی شکل گونه‌بندی نموده است.

در حوزه آسایش اقلیمی در معماری بومی ایرانی، روحی و مهدی‌نژاد (۲۰۲۵) بر اساس پیمایش آسایش حرارتی، دمای خنثی و دامنه آسایش برای ساکنان خانه‌های حیاط‌دار سنتی در اقلیم گرم و خشک ایران شناسایی کردند (روحی و مهدی‌نژاد، ۱۴۰۴، ص. ۱۱-۱۲). فروزان‌مهر (۲۰۱۷) در یک پژوهش کیفی-کمی شامل اندازه‌گیری مصاحبه و محاسبات درباره خانه‌های یزد دمای خنثی را شناسایی و بازه آسایش را پیشنهاد دادند (Foruzanmehr, 2017, p.131).

در خصوص پیشینه مطالعاتی چهارصفه‌ها برخی از پژوهش‌ها درباره الگوی چهارصفه، به ریشه‌یابی طرح مایه آن پرداخته‌اند و بعضی از آنها ریشه طرح مایه چهارصفه‌ها را در نقوش باستانی می‌دانند. برای مثال ذوالفقاری معتقد است، بسیاری از طرح‌های معماری پیش از آنکه طرح مایه شکل‌گیری بنا باشند، در آثار هنری تجربه شده‌اند (ذوالفقاری، ۱۳۹۳، ص ۶۵). جودکی عزیزی و همکاران (۱۳۹۳) با ریشه‌یابی الگوی چهارصفه در کهن‌الگوهای ایرانی، جایگاه تاریخی آن را نشان داده‌اند. دسته دیگر شامل پژوهش‌هایی است که بر الگوی چهارصفه و دگردیسی آن در سایر الگوهای معماری تمرکز دارند. رهروی پوده و همکاران (۱۳۹۸) نفوذ ویژگی‌های شکلی خانه‌های چهارصفه را در الگوهای معماری درون‌گرای اصفهان ردیابی کرده و حضور آن را در حیاط مرکزی، تالار، حوض‌خانه و سایر فضاها نشان داده‌اند. غلامی و کاویان (۱۳۹۶) جایگاه چهارصفه را در سازمان فضایی معماری مسکونی مناطق گرم و خشک ایران بررسی کرده و سه عامل فضای معتدل مرکزی، سادگی و سهولت اجرا، و مساحت کم را از عوامل رواج آن دانسته‌اند. دسته سوم به پژوهش‌های

مربوط به معماری خانه‌های چهارصفه اختصاص دارد. معماریان (۱۳۸۷) خانه‌های چهارصفه را گونه‌ای درون‌گرا می‌داند که الزاماً حیاط مرکزی ندارند و سازمان فضایی آنها پیرامون صفه‌ها شکل می‌گیرد. پیرنیا (۱۳۹۵) با رویکرد سبک شناسانه الگوی چهارگیری را با فضای میانی گنبددار و صفه‌های طاق‌پوش معرفی کرده است. طباطبایی زواره و همکاران (۱۳۹۷) نسبت‌ها و هندسه خانه چهارصفه زواره را با گونه حوض‌خانه‌ای مقایسه کرده‌اند. جدیدی (۱۳۹۸) در یک پژوهش کیفی، کمی و مصاحبه مردم شناسانه به بررسی تغییر الگوی مسکن زواره از گذشته تا امروز پرداخته و به این نتیجه رسیده است الگوی خانه و شیوه زندگی تأثیر متقابل دارند.

مرور این پیشینه نشان می‌دهد که تمرکز اغلب پژوهش‌ها از سویی بر راهکارهای خنک‌سازی و یا تحلیل یکی از عناصر معماری اقلیمی بوده است. در نتیجه کمبود مطالعات با رویکرد شاکله محور و یا در جهت استخراج پروتوتایپ مشخص می‌گردد. از سویی تمرکز بیشتر مطالعات معماری ایرانی در حوزه اقلیم بر شهرهای یزد، کاشان و اصفهان و عناصری مانند بادگیر و حیاط بوده است. درحالی‌که گونه خانه چهارصفه شهر زواره، کمتر موردپژوهش قرار گرفته است. این شکاف، ضرورت پرداختن به شاکله اقلیمی چهارصفه‌ها را روشن می‌نماید؛ بنابراین در این پژوهش با رویکرد شاکله محور، به گونه‌شناسی اقلیمی چهارصفه‌های زواره از طریق خوشه‌بندی داده‌محور پرداخته شده است.

۳- مواد و روش‌ها

۳-۱- روش خوشه‌بندی با الگوریتم‌های K

انتخاب الگوریتم مناسب برای خوشه‌بندی، تصمیمی کلیدی است که بر اساس اهداف پژوهش و ماهیت داده‌ها تعیین می‌شود. الگوریتم K-means یکی از ساده‌ترین و پرکاربردترین روش‌های خوشه‌بندی است که اولین بار در سال ۱۹۵۵ معرفی شد و علی‌رغم گذشت بیش از ۵۰ سال و توسعه هزاران الگوریتم دیگر، همچنان پرکاربرد است. سادگی، سرعت اجرا، موفقیت تجربی و پیاده‌سازی آسان از مهم‌ترین دلایل محبوبیت آن هستند. از نظر ریاضی، K-means با کمینه‌سازی مجموع مربعات فاصله بین نقاط داده و مرکز خوشه^۵ کار می‌کند (Jain, 2010). در سال‌های اخیر، الگوریتم‌های خانواده K به‌ویژه K-means برای خوشه‌بندی در بسیاری از پژوهش‌های معماری و شهری به‌ویژه مدل‌سازی انرژی شهری^۶ و سیاست‌گذاری انرژی شهری کاربرد یافته است. یکی از دلایل محبوبیت یافتن الگوریتم k برای خوشه‌بندی ساختمان‌ها، قابلیت آن برای استخراج پروتوتایپ و شناخت و توسعه تیپ‌های ساختمانی است. اما K-means برای مواردی که داده‌ها هم عددی و هم اسمی هستند طراحی نشده است. در این میان K-prototypes می‌تواند به طور هم‌زمان داده‌های فراوان اسمی و عددی را مدیریت کند، و اگرچه به‌عنوان یکی از کارآمدترین روش‌ها برای داده‌های ناهمگون مانند داده‌های ساختمانی شناخته می‌شود، کاربرد آن در توسعه تیپ‌های ساختمانی همچنان تا حد زیادی مغفول مانده است. (الرشید، ۲۰۲۴، ص ۲۰، بند۶). باتوجه به ماهیت ترکیبی داده‌های معماری شامل متغیرهای عددی (مانند مساحت، ارتفاع، تعداد اتاق) و اسمی (مانند نوع دیوار، نوع سقف، و دوره ساخت) با بهره‌گیری از روش خوشه‌بندی k-means برای داده‌های پارامتریک عددی، k-prototypes برای داده عددی - اسمی خوشه‌بندی انجام شده و پروتوتایپ واقعی هر خوشه و همچنین پروتوتایپ میانگین هر خوشه استخراج شده است.

الگوریتم K-means به‌صورت پلاگین در برخی نرم‌افزارها مانند اکسل، اورنج^۷ و ریپدماینر^۸ وجود دارد؛ اما دسترسی به آن دشوار یا هزینه بر است و پیچیدگی دارد. از طرف دیگر نرم‌افزار الگوریتم k-prototypes در دسترس نمی‌باشد. به همین دلایل به طور اختصاصی برای این پژوهش در نرم‌افزار Rstudio دو اپلیکیشن خوشه‌بندی k-prototypes و k-means ساخته شد. ورودی اپلیکیشن k-means ساخته شده جداول اکسل داده‌های پارامتریک پلان و مقطع هر خانه است مانند ابعاد پلان و مقطع. ورودی اپلیکیشن k-prototypes ساخته شده جداول اکسل داده‌های عددی - اسمی هر خانه است مانند نوع پنجره، نوع زیرزمین، نوع و تعداد بادگیر، نوع سقف و ... خروجی‌های هر کدام شامل پروتوتایپ‌های واقعی، پروتوتایپ‌های میانگین و نمودارهای خوشه‌بندی هستند. در این اپلیکیشن کاربر می‌تواند به‌سادگی فایل Excel بارگذاری

کند، تعداد خوشه‌ها را دستی، یا با روش Elbow، تعیین کند و در نهایت خروجی‌هایی مانند جدول خوشه‌بندی، مراکز، پروتوتایپ، هیت‌مپ، نمودار خوشه‌بندی و PCA را مشاهده و دانلود کند.

۳-۲- نمونه‌گیری و داده‌ها

باتوجه به ماهیت ترکیبی داده‌های معماری شامل متغیرهای عددی (مانند مساحت چهارصفه، ارتفاع میان خانه، عمق و عرض صفه‌ها و ...) و اسمی (مانند نوع دیوار، نوع سقف، نوع زیرزمین، تعداد و نوع اجزای اقلیمی و ...) در این پژوهش و باتوجه به اینکه یکی از اهداف معرفی این روش از خوشه‌بندی و اعمال آن است جامعه آماری کوچک از ۸ بنای مسکونی چهارصفه در شهر زواره در نظر گرفته شده است که حدود بیش از ۵۰ داده برای هر یک مستندسازی شده است و در مجموع حدود بیش از ۴۰۰ داده برای خوشه‌بندی استفاده شده است. این جامعه آماری بخشی از نمونه چهارصفه‌های دارای زیرزمین و داده‌های آن‌ها هستند که برای اولین بار برای یک پژوهش گسترده‌تر^۹ با دقت نسبت به اجزای اقلیمی برداشت و مستند شده و مورد خوشه‌بندی قرار گرفته است. در نهایت با بهره‌گیری از سه روش خوشه‌بندی k-means برای داده‌های پارامتریک عددی، k-prototypes برای داده عددی - اسمی خوشه‌بندی انجام شده، پروتوتایپ واقعی هر خوشه و همچنین پروتوتایپ میانگین هر خوشه استخراج و با زبان الگوی شکل بازنمایی شده است.

- مقیاس مورد مطالعه: شهری، شهر زواره
- مجموعه مورد مطالعه: همه خانه‌های مورد بررسی در زواره
- مبنای قطعه‌بندی (segmentation): ویژگی «الگوی فضایی» یا «تیب سازمان فضایی»
- قطعه مور مطالعه برای خوشه‌بندی: چهارصفه
- تعداد نمونه (sample): ۳۵ خانه با الگوی چهارصفه
- زیر قطعه مورد مطالعه: ۸ خانه چهارصفه دارای زیرزمین

در این راستا باهدف استخراج پروتوتایپ اقلیمی، تعداد بیش از ۵۰ ویژگی مرتبط با اقلیم در ۸ خانه چهارصفه زواره با روش K-means، K-prototype در ۸ گروه داده‌های عددی و اسمی داده خوشه‌بندی شده‌اند. در جدول ۱ دسته‌بندی ویژگی‌های اقلیمی چهارصفه‌های زواره به صورت داده‌های عددی و اسمی طبقه‌بندی شده تا بتوان آن‌ها به صورت جداول وارد نرم‌افزارهای خوشه‌بندی نمود.

جدول ۱: دسته‌بندی داده‌های عددی و اسمی

داده‌های عددی:	داده‌های اسمی-عددی:
مشخصات، ابعاد و اندازه‌های پلان (۱۰ ویژگی) مشخصات و ابعاد و اندازه مقطع (عویژگی) حجم فضاها (هویژگی) تناسبات درپلان، مقطع، حجم و ... (۸ ویژگی) نما (زاویه خورشیدی نمای اصلی، تعداد سطوح نما، ابعاد، تعداد بازشوها و...) (۱۰ ویژگی)	اجزای اقلیمی و مشخصات آن‌ها (۹ ویژگی) نوع زیرزمین، اجزا و مشخصات آن (۹ ویژگی) جدول جامع ترکیب این داده‌ها

۴- نتایج و بحث

در معماری بومی، تدابیر، اجزا و ویژگی‌هایی به کاررفته که بیانگر آگاهی و حساسیت معمار نسبت به شرایط محیطی و نیروهای طبیعی است. بر پایه‌ی برداشت‌های میدانی و تحلیل‌های انجام‌شده، به نظر می‌رسد عملکرد اقلیمی خانه‌های چهارصفه، به‌ویژه در زواره، به طور مستقیم با شکل، اجزا، ساختار و جزئیاتی مرتبط است که در مقطع این بناها نمود یافته‌اند. باوجود این ظرفیت چندلایه، مقطع بنا، به‌رغم نقش کلیدی‌اش در تعریف لفاف حجمی و تهویه طبیعی، نسبت به پلان کمتر موردتوجه مطالعات طراحی اقلیمی قرار گرفته است. سامانه سرمایشی و تهویه طبیعی غیرفعال در خانه‌های چهارصفه،

بیش از هر چیز بر پدیده‌ی اثر دودکشی تکیه دارد؛ پدیده‌ای که در راستای عمودی یا به عبارت دیگر در مقطع بنا عمل می‌کند. مقطع اقلیمی چهارصفه دارای زیرزمین زواره در ۸ عنصر در مقطع قابل تحلیل و بررسی است: ۱. چاهک ناکش، ۲. زیرزمین، ۳. میانخانه، ۴. سقف میانخانه، ۵. بادگیر، ۶. مسیرهای هوا، ۷. پنجره‌ها، ۸. بالاخانه. همچنین در پلان عناصر قابل بررسی عبارت‌اند از ۱. حیاط، ۲. ایوان، ۳. میانخانه، ۴. اتاق، ۵. زیرزمین و... باتوجه به هدف کاربردی نمودن داده‌ها برای تمامی مراحل طراحی از جمله طراحی مفهومی اولیه، پلان، مقطع، نما و اجزای اقلیمی خانه‌ها به صورت زبان شکل بازنمایی شده‌اند. این بازنمایی در تصویر ۲ دیگرگرام پلان و مقطع خانه‌های چهارصفه زواره بر اساس اجزای اقلیمی آورده شده است.

Direction	Chaharsofeh facades	plan layout	basement shape	Shape grammar of Chaharsofeh Climatic section	basement typology	Basement location in Chaharsofeh layout	House name	No.
جهت گیری	نما	سازمان پلان	شکل زیرزمین	شاکله مقطع	گونه زیرزمین	جایگاه زیرزمین در پلان چهارصفه	نام چهارصفه	ردیف
320					زیرزمین تک هسته سقف چهارطاقی single cored basement Chahrtaghi roof		خانه حسین علیایی (زادگی) Talaye	۱
45					زیرزمین چند هسته سقف چهارطاقی Multi cored basement Chahrtaghi roof		خانه ناصر خان نوری Tanehkan Nayeri	۲
228					زیرزمین تک هسته یک چاهک سقف گنبدی single cored basement Dome roof		خانه حاج درویشی Derafshi	۳
45					زیرزمین چند هسته دو ورودی هوا به چهارصفه سقف گنبدی Multi cored basement Dome roof		خانه شفیعی Shafiei	۴
40					زیرزمین گسترده سه بادگیر extended basement three windcatchers		خانه حاجی نسب Hashemi - Nasab	۵
85					زیرزمین تک هسته یک مجرای افقی بلند یک مجرای عمودی سقف چهارطاقی single cored basement Chahrtaghi roof		روانی خدایی Rohani	۶
140					زیرزمین گسترده دو بادگیر سقف چهارطاقی extended basement Chahrtaghi roof		خانه حسین علوی (زاده کوکبی) Ameri	۷
230					زیرزمین تک هسته دو بادگیر single cored basement two windcatchers		ایزدی Izadi	۸

تصویر ۲: دیگرگرام پلان و مقطع خانه‌های چهارصفه زواره بر اساس اجزای اقلیمی

شاکله اقلیمی بوم زاد: تدوین چارچوب استخراج پروتوتایپ اقلیمی از معماری بومی با روش خوشه‌بندی K-means و K-
prototypes (نمونه موردی: خانه‌های چهارصفه زواره)

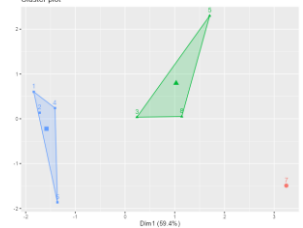
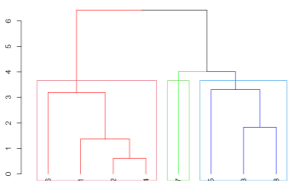
۴-۱- خوشه‌بندی داده‌های عددی با k-means

در اینجا ورودی خوشه‌بندی k-means داده‌های عددی در جداول ابعاد و اندازه‌های پلان، مقطع، تناسب، نما و ویژگی‌های حجمی است و سه خروجی دارد: ۱) نمودارهای خوشه‌بندی، ۲) پروتوتایپ‌ها و ۳) میانگین ویژگی‌ها. نتایج خوشه‌بندی ویژگی‌های عددی با k-means در جدول ۲ خوشه‌بندی بر اساس پلان با k-means، جدول ۳ خوشه‌بندی بر اساس مقطع با k-means، جدول ۴ خوشه‌بندی بر اساس تناسب با k-means، جدول ۵ خوشه‌بندی بر اساس حجم با k-means، جدول ۶ خوشه‌بندی بر اساس نما با k-means آورده شده است.

جدول ۲: خوشه‌بندی بر اساس پلان با k-means

PCA نمودار ۱		Dendrogram نمودار درختی		پروتوتایپ پلان																																																								
				پروتوتایپ‌های واقعی پلان ۱. هاشمی‌نسب: درفشی، شفیی، روحانی طباطبایی، عامری (ننه کوکب) (قرمز pca) ۲. طلایی (سبز pca) ۳. طاهرخان نیری: ایزدی (آبی pca)																																																								
<table><tr><td></td><td>عرض</td><td>عمق</td><td>صفه</td><td>صفه</td><td>صفه</td><td>صفه</td><td>مساحت زیرزمین (مترمربع)</td><td>عرض</td><td>عمق</td><td>مساحت چهارصفه</td></tr><tr><td>case</td><td>میانخانه</td><td>میانخانه</td><td>باغچه</td><td>پشتی</td><td>۳</td><td>۲</td><td></td><td>زیرزمین</td><td>زیرزمین</td><td></td></tr><tr><td>هاشمی نسب</td><td>3</td><td>3</td><td>5.3</td><td>4.4</td><td>3.6</td><td>3.2</td><td>33.280</td><td>3.2</td><td>10.4</td><td>131.34</td></tr><tr><td>طلایی</td><td>3.2</td><td>2.6</td><td>5.3</td><td>6</td><td>4.6</td><td>3.4</td><td>12.500</td><td>2.5</td><td>5</td><td>157.64</td></tr><tr><td>طاهر خان نیری</td><td>3.6</td><td>3.6</td><td>5</td><td>5</td><td>5</td><td>5</td><td>24.900</td><td>3</td><td>8.3</td><td>197.92</td></tr></table>			عرض	عمق	صفه	صفه	صفه	صفه	مساحت زیرزمین (مترمربع)	عرض	عمق	مساحت چهارصفه	case	میانخانه	میانخانه	باغچه	پشتی	۳	۲		زیرزمین	زیرزمین		هاشمی نسب	3	3	5.3	4.4	3.6	3.2	33.280	3.2	10.4	131.34	طلایی	3.2	2.6	5.3	6	4.6	3.4	12.500	2.5	5	157.64	طاهر خان نیری	3.6	3.6	5	5	5	5	24.900	3	8.3	197.92				
	عرض	عمق	صفه	صفه	صفه	صفه	مساحت زیرزمین (مترمربع)	عرض	عمق	مساحت چهارصفه																																																		
case	میانخانه	میانخانه	باغچه	پشتی	۳	۲		زیرزمین	زیرزمین																																																			
هاشمی نسب	3	3	5.3	4.4	3.6	3.2	33.280	3.2	10.4	131.34																																																		
طلایی	3.2	2.6	5.3	6	4.6	3.4	12.500	2.5	5	157.64																																																		
طاهر خان نیری	3.6	3.6	5	5	5	5	24.900	3	8.3	197.92																																																		
<table><tr><td></td><td>عرض</td><td>عمق</td><td>صفه</td><td>صفه</td><td>صفه</td><td>صفه</td><td>مساحت زیرزمین</td><td>عرض</td><td>عمق</td><td>مساحت چهارصفه</td></tr><tr><td>خوشه</td><td>میانخانه</td><td>میانخانه</td><td>باغچه</td><td>پشتی</td><td>صفه ۳</td><td>صفه ۲</td><td></td><td>زیرزمین</td><td>زیرزمین</td><td></td></tr><tr><td>1</td><td>3.06</td><td>3.08</td><td>4.84</td><td>4.04</td><td>3.44</td><td>3.56</td><td>27.81</td><td>2.98</td><td>9.18</td><td>130.26</td></tr><tr><td>2</td><td>3.20</td><td>2.60</td><td>5.30</td><td>6.00</td><td>4.60</td><td>3.40</td><td>12.50</td><td>2.50</td><td>5.00</td><td>157.64</td></tr><tr><td>3</td><td>3.90</td><td>3.45</td><td>5.40</td><td>4.80</td><td>3.90</td><td>4.85</td><td>20.85</td><td>3.60</td><td>6.15</td><td>191.55</td></tr></table>			عرض	عمق	صفه	صفه	صفه	صفه	مساحت زیرزمین	عرض	عمق	مساحت چهارصفه	خوشه	میانخانه	میانخانه	باغچه	پشتی	صفه ۳	صفه ۲		زیرزمین	زیرزمین		1	3.06	3.08	4.84	4.04	3.44	3.56	27.81	2.98	9.18	130.26	2	3.20	2.60	5.30	6.00	4.60	3.40	12.50	2.50	5.00	157.64	3	3.90	3.45	5.40	4.80	3.90	4.85	20.85	3.60	6.15	191.55			پروتوتایپ میانگین پلان	
	عرض	عمق	صفه	صفه	صفه	صفه	مساحت زیرزمین	عرض	عمق	مساحت چهارصفه																																																		
خوشه	میانخانه	میانخانه	باغچه	پشتی	صفه ۳	صفه ۲		زیرزمین	زیرزمین																																																			
1	3.06	3.08	4.84	4.04	3.44	3.56	27.81	2.98	9.18	130.26																																																		
2	3.20	2.60	5.30	6.00	4.60	3.40	12.50	2.50	5.00	157.64																																																		
3	3.90	3.45	5.40	4.80	3.90	4.85	20.85	3.60	6.15	191.55																																																		

جدول ۳: خوشه‌بندی بر اساس مقطع با k-means

PCA نمودار		Dendrogram نمودار درختی		پروتوتایپ مقطع	
				پروتوتایپ‌های واقعی مقطع ۱. عامری (ننه کوکب) ۲. ایزدی: درفشی، هاشمی‌نسب ۳. شفیی: طاهرخان نیری، طلایی، روحانی طباطبایی	
تعداد	ارتفاع زیرزمین(کف تا	ارتفاع	زیر سقف میانخانه تا	ارتفاع دیوار	ارتفاع میانخانه: کف تا
بادگیر	زیر سقف)	سقف	کف زیرزمین	میانخانه(ارتفاع صفه ها)	زیر سقف میانخانه
2	2.9	2.4	11.9	5.6	8.6
2	2.5	1.6	9.3	4.9	7.5
0	2.5	1.6	8.2	3.4	5.4
تعداد	ارتفاع زیرزمین(کف تا	ارتفاع	زیر سقف میانخانه تا	ارتفاع دیوار	ارتفاع میانخانه: کف تا
بادگیر	زیر سقف)	سقف	کف زیرزمین	میانخانه(ارتفاع صفه ها)	زیر سقف میانخانه
2.00	2.90	2.40	11.90	5.60	8.60
1.67	2.83	1.30	9.37	4.97	6.50
0.00	2.25	1.73	8.40	3.60	4.92

جدول ۴: خوشه‌بندی بر اساس تناسبات با k-means

PCA نمودار

نمودار درختی Dendrogram

پروتوتایپ تناسبات

پروتوتایپ‌های واقعی

تناسبات

۱. عامری (ننه کوکب)

۲. طاهرخان نیری: شفیی، هاشمی نسب

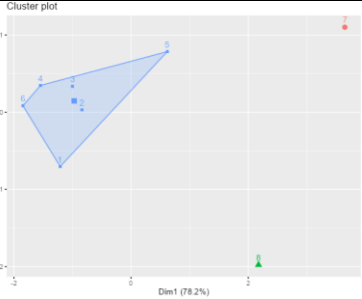
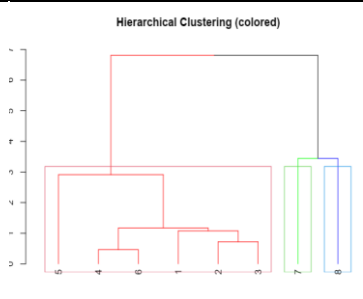
۳. درفش: ایزدی، طلایی، روحانی طباطبایی

	نسبت ارتفاع مرکز			ارتفاع به		ضریب		سطح	
	تناسب	تناسب	پلان تا کف	به	ضریب	ضریب	چهارصفه به	سطح	
cases	پلان/عرض به (عمق)	مقطع رو به حیاط	زیرزمین به/ ارتفاع صفه ها	حجم	سطح اشغال	فشرده گی	زیرزمین به حجم (کل)	چهارصفه به حیاط	
عامری(ننه کوکب)	75	48	213	5	3	23	12	125	
طاهر خان نیری	100	20	283	4	1	43	10	45	
درفشی	82	41	188	5	3	39	8	101	

	نسبت ارتفاع مرکز			ارتفاع به		ضریب		ضریب	
	تناسب	تناسب	پلان تا کف	به	فشرده گی(نسبت سطح اشغال بنا به حجم داخلی)	زیرزمین(حجم کل)	زیرزمین به حجم	سطح	
	پلان/عرض به (عمق)	مقطع رو به حیاط	زیرزمین به/ ارتفاع صفه ها	به حجم	خارجی بنا به حجم	خارجی بنا به حجم	زیرزمین به حجم	چهارصفه به حیاط	
خوشه 1	79.96	46.07	200.25	3.61	3.19	25.91	14.07	121.18	
2	93.18	25.05	262.25	2.69	1.81	38.69	9.65	59.97	
3	78.32	38.09	199.96	4.32	2.54	37.87	5.93	94.10	

پروتوتایپ‌های میانگین تناسبات

جدول ۵: خوشه‌بندی بر اساس حجم با k-means

PCA نمودار		Dendrogram نمودار درختی		پروتوتایپ حجم	
				پروتوتایپ‌های واقعی حجم ۱. عامری (ننه کوکب) ۲. ایزدی ۳. طاهرخان نیری: طلایی، درفشی، شفيعی، هاشمی نسب، روحانی طباطبایی	
cases	حجم کل میانخانه (متر مکعب)	حجم اتاق‌ها (متر مکعب)	حجم زیرزمین (متر مکعب)	حجم کل بدون احتساب زیرزمین	حجم کل با احتساب زیرزمین
عامری (ننه کوکب)	754.096	328.16	133.98	1082.26	1216.24
ایزدی	543.846	436.198	42	980.04	1022.04
طاهر خان نیری	314.88	300	59.76	614.88	674.64

جدول ۶: خوشه‌بندی بر اساس نما با k-means

نمودار PCA

نمودار درختی Dendrogram

پروتوتایپ‌های نما

پروتوتایپ‌های واقعی

نما

۱. هاشمی‌نسب

۲. شفیع‌نروخانی

طباطبایی، درفشی، طاهرخان

نیری، طلائی

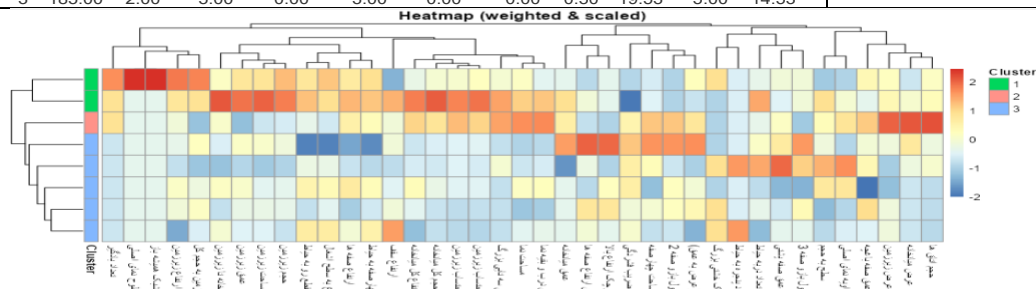
۳. عامری (ننه کوک):

ایزدی

cases	زاویه نمای اصلی	تعداد سطوح اصلی	تعداد دربه	تعداد مشبک	تعداد مشبک خشتی سه تایی	تعداد پنجره به حیاط	تعداد خورشیدی بیرون	تعداد پنجره کوچک ارتفاع بالا	مساحت پخش	مساحت پخش مشبک همیشه باز	مساحت پخش درب و بقیه نما
هاشمی‌نسب	40	3	3	1	1	0	0	1	15	7.5	7.5
شفعی	45	2	3	1	0	0	0	3	10.2	5	5.2
عامری (ننه کوک)	140	2	7	0	3	0	0	1	18.48	5	13.48

پروتوتایپ‌های میانگین نما

خوشه	زاویه نمای اصلی	تعداد سطوح اصلی	تعداد دربه	تعداد مشبک	تعداد مشبک خشتی سه تایی	تعداد پنجره به حیاط	تعداد خورشیدی بیرون	تعداد پنجره کوچک ارتفاع بالا	مساحت پخش	مساحت پخش مشبک همیشه باز	مساحت پخش درب و بقیه نما
1	40.00	3.00	3.00	1.00	0.00	0.00	1.00	15.00	7.50	7.50	7.50
2	144.60	2.00	3.40	0.60	0.20	0.80	0.00	2.20	12.15	5.00	7.15
3	185.00	2.00	5.00	0.00	3.00	0.00	0.00	0.50	19.53	5.00	14.53



این نمودار حرارتی^{۱۱} که برای مجموعه ویژگی‌های عددی استخراج شده است؛ نشان می‌دهد هر یک از نمونه‌ها در کدام یک از معیارها بالاتر از میانگین و در کدام یک پایین‌تر میانگین هستند. در هیت‌مپ‌های عددی، رنگ‌ها نشان می‌دهند که مقدار هر ویژگی برای هر نمونه چقدر از میانگین آن ویژگی بیشتر یا کمتر است. این نمودار حرارتی ردیف عمودی نمونه‌ها و ردیف افقی ویژگی‌ها را نشان می‌دهد. رنگ‌های گرم‌تر بیانگر مقادیر بالاتر از میانگین و رنگ‌های سردتر نشان‌دهنده مقادیر پایین‌تر از میانگین هستند. بر اساس این نمودار ضریب فشردگی، تناسبات، حجم کل، عمق صفا باغچه از معیارهایی هستند که بیشترین تعداد خانه‌های رنگ میانگین را دارند؛ به این معنا که این ویژگی‌ها دارای واریانس پایین یا پراکندگی کمتر و بیشترین تراکم نمونه‌ها در نزدیکی میانگین، هستند؛ یعنی بیشتر نمونه‌ها در این ویژگی‌ها، مقادیر مشابه دارند. از نظر آماری، این ویژگی‌ها می‌توانند شاخص‌های پایه یا "ثابت‌های تیپولوژیک" در داده تلقی شوند. از این رو می‌توان آن‌ها را به عنوان معیارهای ساختاری یا شاخص‌های اصلی در گونه‌شناسی اقلیمی در نظر گرفت. در مقابل ویژگی‌هایی مانند عمق صفا پستی، تعداد پنجره کوچک در ارتفاع و سطح چهارصفا به حیاط دارای پراکندگی بالا یا واریانس زیاد هستند، و در طراحی می‌توان از آن‌ها به عنوان عوامل تمایزدهنده استفاده کرد.

۴-۲- خوشه‌بندی داده‌های ترکیبی با k-prototypes

ورودی خوشه‌بندی k-prototypes داده‌های ترکیبی اسمی-عددی در جداول ویژگی‌های پایه، مشخصات اجزای اقلیمی و ویژگی‌های زیرزمین است و خروجی آن نمودار خوشه‌بندی، سیلوئت، بیشترین شاخصه مشترک و کمترین

شخصه‌های دارای تفاوت و میانگین ویژگی‌ها است. در جدول ۷: خوشه‌بندی بر اساس اجزای اقلیمی با k-prototypes و در جدول ۸: خوشه‌بندی بر اساس زیرزمین با k-prototypes آورده شده است.

جدول ۷: خوشه‌بندی بر اساس اجزای اقلیمی با k-prototypes

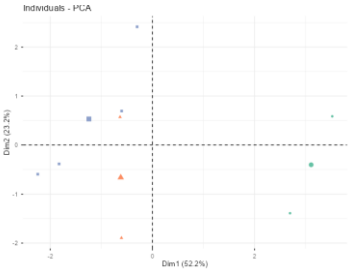
PCA نمودار		تفسیر		پروتوتایپ‌های اجزای اقلیمی																																									
		خوشه ۱: در ۶۰٪ نمونه‌ها، "سقف گنبدی" برای میان‌خانه رایج بوده است. در ۶۰٪ نمونه‌ها، زیرزمین "تک هسته" رایج بوده است. خوشه ۲: در ۱۰۰٪ نمونه‌ها، "سقف گنبدی" برای میان‌خانه رایج بوده است. در ۱۰۰٪ نمونه‌ها، زیرزمین گسترده رایج بوده است. خوشه ۳: در ۱۰۰٪ نمونه‌ها، "سقف چهارطاقی" برای میان‌خانه رایج بوده است. در ۵۰٪ نمونه‌ها، «زیرزمین تک هسته» رایج بوده است.		۱.روحانی طباطبایی: طلایی، طاهر خان نیری، درفشی، شفیع ۲.هاشمی نسب ۳.ایزدی: عامری																																									
<table><tr><th>cases</th><th>ارتفاع زیرزمین</th><th>ارتفاع میانخانه</th><th>سقف میانخانه</th><th>تیب زیرزمین</th><th>تعداد حواره خشتی افقی</th><th>تعداد حواره خشتی عمودی</th><th>تعداد روزن</th><th>تعداد بادگیر</th><th>تعداد سطوح نمای اصلی</th></tr><tr><td>روحانی طباطبایی</td><td>1.9</td><td>4.2</td><td>تک هسته</td><td>زیرزمین</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>2</td></tr><tr><td>هاشمی نسب</td><td>3.4</td><td>5.6</td><td>گنبدی</td><td>گسترده</td><td>0</td><td>2</td><td>0</td><td>3</td><td>3</td></tr><tr><td>ایزدی</td><td>2.5</td><td>7.5</td><td>چهارطاقی</td><td>تک هسته</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td><td>2</td></tr></table>		cases	ارتفاع زیرزمین	ارتفاع میانخانه	سقف میانخانه	تیب زیرزمین	تعداد حواره خشتی افقی	تعداد حواره خشتی عمودی	تعداد روزن	تعداد بادگیر	تعداد سطوح نمای اصلی	روحانی طباطبایی	1.9	4.2	تک هسته	زیرزمین	1	1	0	0	2	هاشمی نسب	3.4	5.6	گنبدی	گسترده	0	2	0	3	3	ایزدی	2.5	7.5	چهارطاقی	تک هسته	0	0	1	2	2				
cases	ارتفاع زیرزمین	ارتفاع میانخانه	سقف میانخانه	تیب زیرزمین	تعداد حواره خشتی افقی	تعداد حواره خشتی عمودی	تعداد روزن	تعداد بادگیر	تعداد سطوح نمای اصلی																																				
روحانی طباطبایی	1.9	4.2	تک هسته	زیرزمین	1	1	0	0	2																																				
هاشمی نسب	3.4	5.6	گنبدی	گسترده	0	2	0	3	3																																				
ایزدی	2.5	7.5	چهارطاقی	تک هسته	0	0	1	2	2																																				
<table><tr><th>خوشه</th><th>ارتفاع زیرزمین</th><th>ارتفاع میانخانه</th><th>سقف میانخانه</th><th>تیب زیرزمین</th><th>تعداد حواره خشتی افقی</th><th>تعداد حواره خشتی عمودی</th><th>تعداد روزن</th><th>تعداد بادگیر</th><th>تعداد سطوح نمای اصلی</th></tr><tr><td>۱</td><td>2.32</td><td>5.22</td><td>گنبدی</td><td>تک هسته</td><td>0.8</td><td>1.2</td><td>0.4</td><td>0</td><td>2</td></tr><tr><td>۲</td><td>3.40</td><td>5.60</td><td>گنبدی</td><td>گسترده</td><td>0.0</td><td>2.0</td><td>0.0</td><td>3</td><td>3</td></tr><tr><td>۳</td><td>2.70</td><td>8.05</td><td>چهارطاقی</td><td>تک هسته</td><td>0.0</td><td>0.0</td><td>1.0</td><td>2</td><td>2</td></tr></table>		خوشه	ارتفاع زیرزمین	ارتفاع میانخانه	سقف میانخانه	تیب زیرزمین	تعداد حواره خشتی افقی	تعداد حواره خشتی عمودی	تعداد روزن	تعداد بادگیر	تعداد سطوح نمای اصلی	۱	2.32	5.22	گنبدی	تک هسته	0.8	1.2	0.4	0	2	۲	3.40	5.60	گنبدی	گسترده	0.0	2.0	0.0	3	3	۳	2.70	8.05	چهارطاقی	تک هسته	0.0	0.0	1.0	2	2			پروتوتایپ‌های میانگین اجزای اقلیمی	
خوشه	ارتفاع زیرزمین	ارتفاع میانخانه	سقف میانخانه	تیب زیرزمین	تعداد حواره خشتی افقی	تعداد حواره خشتی عمودی	تعداد روزن	تعداد بادگیر	تعداد سطوح نمای اصلی																																				
۱	2.32	5.22	گنبدی	تک هسته	0.8	1.2	0.4	0	2																																				
۲	3.40	5.60	گنبدی	گسترده	0.0	2.0	0.0	3	3																																				
۳	2.70	8.05	چهارطاقی	تک هسته	0.0	0.0	1.0	2	2																																				

جدول ۸: خوشه‌بندی بر اساس زیرزمین با k-prototypes

پروتوتایپ‌های زیرزمین										تفسیر	PCA نمودار
۱. عامری: هاشمی نسب ۲. طاهرخان نیری: شفیعی ۳. ایزدی: روحانی طباطبایی، درفش، طلایی										خوشه ۱: در ۱۰۰٪ نمونه‌ها، نوع "گسترده" برای تیپ زیرزمین «رایج بوده است. در خوشه ۲: در ۱۰۰٪ نمونه‌ها، نوع "چند هسته" برای تیپ زیرزمین رایج بوده است.. در خوشه ۳: در ۱۰۰٪ نمونه‌ها، نوع "تک هسته" برای تیپ زیرزمین رایج بوده است..	
حجم زیرزمین تعداد بادگیر تعداد روزن عمودی تعداد خشتی تعداد حواری تیپ زیرزمین ارتفاع عمق عرض مساحت زیرزمین (مترمربع) عامری (ننه) کوکب طاهر خان نیری ایزدی										تعداد حواری تیپ زیرزمین ارتفاع عمق عرض مساحت زیرزمین (مترمربع) عامری (ننه) کوکب طاهر خان نیری ایزدی	حجم زیرزمین تعداد بادگیر تعداد روزن عمودی تعداد خشتی تعداد حواری تیپ زیرزمین ارتفاع عمق عرض مساحت زیرزمین (مترمربع) عامری (ننه) کوکب طاهر خان نیری ایزدی
حجم زیرزمین تعداد بادگیر تعداد روزن عمودی تعداد خشتی تعداد حواری تیپ زیرزمین ارتفاع عمق عرض مساحت زیرزمین (مترمربع) عامری (ننه) کوکب طاهر خان نیری ایزدی										حجم زیرزمین تعداد بادگیر تعداد روزن عمودی تعداد خشتی تعداد حواری تیپ زیرزمین ارتفاع عمق عرض مساحت زیرزمین (مترمربع) عامری (ننه) کوکب طاهر خان نیری ایزدی	حجم زیرزمین تعداد بادگیر تعداد روزن عمودی تعداد خشتی تعداد حواری تیپ زیرزمین ارتفاع عمق عرض مساحت زیرزمین (مترمربع) عامری (ننه) کوکب طاهر خان نیری ایزدی

شاکله اقلیمی بوم زاد: تدوین چارچوب استخراج پروتوتایپ اقلیمی از معماری بومی با روش خوشه‌بندی K-means و K-prototypes (نمونه موردی: خانه‌های چهارصفه زواره)

جدول ۹: خوشه‌بندی بر اساس ویژگی‌های پایه با k-prototypes

PCA نمودار	Dendrogram نمودار درختی	پروتوتایپ‌های ویژگی‌های پایه
	خوشه ۱: در ۱۰۰٪ نمونه‌ها، زیرزمین از نوع "تک هسته" بوده است. در ۶۷٪ نمونه‌ها، جهت حیاط، "SW" بوده است. در ۶۷٪ نمونه‌ها، سقف از نوع "چهارطاقی" بوده است. در خوشه ۲: در ۷۵٪ نمونه‌ها، جهت حیاط، "NE" بوده است. در ۷۵٪ نمونه‌ها، سقف از نوع "گنبدی" بوده است. در ۵۰٪ نمونه‌ها، نوع زیرزمین "از نوع" چندهسته" بوده است. در خوشه ۳: در ۱۰۰٪ نمونه‌ها، جهت حیاط، "SE" بوده است. در ۱۰۰٪ نمونه‌ها، زیرزمین از نوع "گسترده" بوده است. در ۱۰۰٪ نمونه‌ها، سقف از نوع "چهارطاقی" بوده است. زاویه حیاط به طور میانگین ۱۴۰ است.	۱. ایزدی: طلایی، درفشی ۲. شفیعی: روحانی طباطبایی، هاشمی نسب، طاهرخان نیری ۳. عامری پروتوتایپ‌های واقعی ویژگی‌های پای
*برای میانگین ویژگی‌های پایه به جداول قبلی مراجعه شود.		

۵- نتیجه‌گیری

در جهت تبیین تحلیل داده‌ها، نکات زیادی از خوشه‌بندی بیش از ۴۰۰ داده از ۸ خانه مورد مطالعه چهارصفه دارای زیرزمین شهر زواره در این مقاله قابل استنتاج است. در اینجا برخی از مهم‌ترین نکات که در طراحی معماری کاربرد دارد بیان می‌گردد:

- در مساحت پلان در پروتوتایپ‌های واقعی سه نوع ۱۳۰، ۱۵۰ و ۱۹۰ مترمربع هستند.
- پروتوتایپ‌های واقعی از نظر عرض میانخانه مشابه و حدود ۳.۲ و ۳.۶ متر هستند.
- پروتوتایپ‌های واقعی از نظر عمق صفه باغچه مشابه و حدود ۵ متر هستند. در عمق (طول) بازوهای صفه ۲ و ۳ هم متفاوت هستند.
- در پروتوتایپ‌های واقعی عمق میانخانه با تفاوت بیشتر ۳ و ۳.۶ و ۲.۶ هستند. در پروتوتایپ‌های میانگین عمق میانخانه‌ها در خوشه‌ها ۳۰.۸ متر، ۲۶ متر، ۳۰.۴۵ متر است.
- عرض زیرزمین در پروتوتایپ‌های واقعی ۳.۲ و ۳.۵ و ۳، و عمق ۱۰.۴ و ۵ و ۸.۳ است.
- در پروتوتایپ‌های واقعی ارتفاع مقطع متفاوت و ۱۱.۹ و ۹.۳ و ۸.۲ هستند.
- از لحاظ تناسبات ضریب فشردگی ماهونی (سطح خارجی به حجم داخلی) در پروتوتایپ‌های واقعی ۳۹ و ۴۳ و ۲۳ پروتوتایپ‌های میانگین ۲۵.۹ و ۳۸.۶۹ و ۳۷.۸۷ هستند.
- از لحاظ حجم کل بدون احتساب زیرزمین در پروتوتایپ‌های واقعی ۱۰۸۲.۲۶ و ۹۸۰.۰۴ و ۶۱۴.۸۸ هستند.
- از لحاظ نسبت حجم فضای نیمه‌باز کل میانخانه به کل حجم بنا با احتساب زیرزمین ۶۲٪ و ۵۳٪ و ۴۶٪ در پروتوتایپ‌های واقعی هستند.

- بر اساس اجزای اقلیمی سه نوع پروتوتایپ واقعی سقف گنبدی با زیرزمین تک هسته، سقف گنبدی با زیرزمین گسترده و سقف چهارطاقی با زیرزمین تک هسته قابل شناسایی است.

جدول ۱ پروتوتایپ‌ها و اعضا و زمینه‌های مورد نمایندگی هر یک را نشان می‌دهد. این جدول نشان می‌دهد خانه عامری، ایزدی و طاهر خان نیری حداقل در ۵۰٪ معیارها (به ترتیب ۴، ۵، ۶ معیار) پروتوتایپ هستند. اما خانه عامری حداکثر ۲ عضو آن هم در زمینه نما و زیرزمین را نمایندگی می‌کند. این نشان می‌دهد چهارصفه عامری پروتوتایپ خاص است. چهارصفه ایزدی بیشترین اعضا را نمایندگی می‌کند و از آنجائی که طبق گفته‌های محلی و استناد شفاهی از مالک نسلی خانه-بدون مطالعات باستان‌شناسی- این چهارصفه از چهار نسل پیش‌تر در مالکیت یک خانواده بوده است و قدمت آن به دوران صفوی می‌رسد و یکی از قدیمی‌ترین نمونه‌های مورد مطالعه در این مقاله است. براین اساس شاید بتوان این فرضیه را مطرح نمود که قدمت بنا بر پروتوتایپ شدن و همچنین تعداد اعضای که آن بنا، نمایندگی می‌کند؛ مؤثر است. این فرضیه می‌توان روش و مبنایی برای دستیابی به معیارها و ریشه‌های بناهای تاریخی باشد.

طاهرخان نیری و شفیی نیز دو چهارصفه دیگر هستند که تعداد اعضای بیشتری را نمایندگی می‌کنند اما از قدمت آن‌ها اطلاعاتی در دست نیست. بنابراین در میان چهارصفه‌های دارای زیرزمین در جامعه آماری مورد مطالعه این مقاله بر اساس تمامی معیارهای پلان، مقطع، تناسبات، حجم، نما، اجزای اقلیمی، زیرزمین و ویژگی‌های پایه، می‌توان خانه‌های عامری و طلایی پروتوتایپ خاص، خانه ایزدی، طاهرخان نیری و شفیی پروتوتایپ‌های رایج و خانه درفشی و روحانی طباطبایی پروتوتایپ‌های تک معیار معرفی نمود.

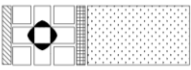
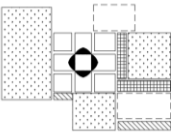
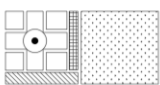
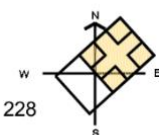
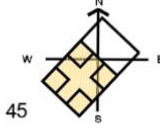
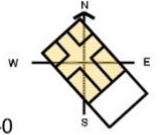
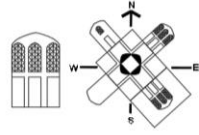
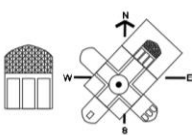
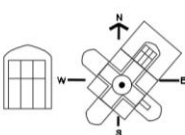
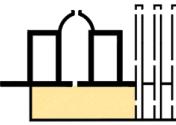
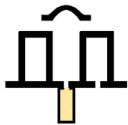
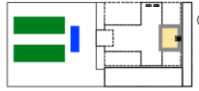
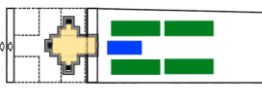
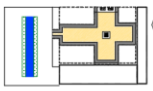
جدول ۱: پروتوتایپ‌ها و اعضا و زمینه‌های مورد نمایندگی هر یک

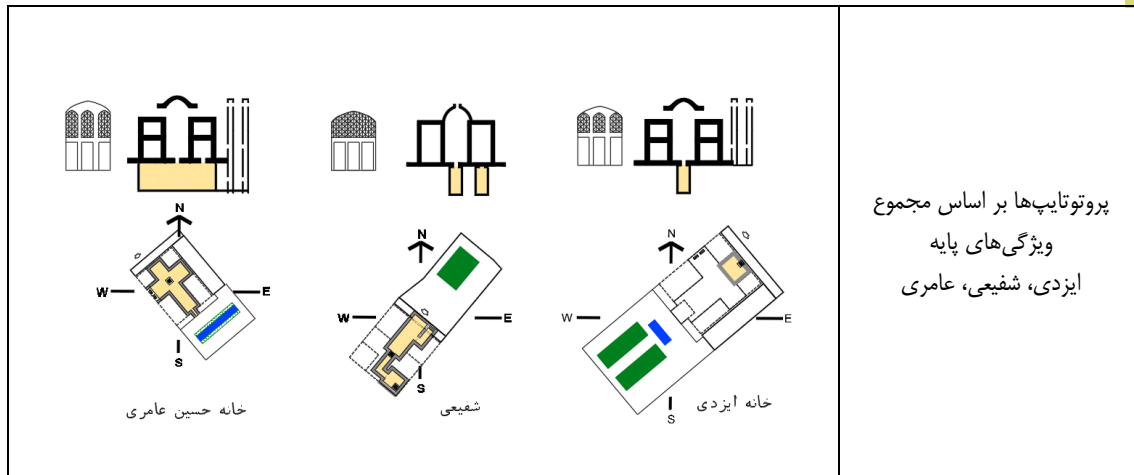
	خانه	تعداد پروتوتایپ شدن	تعداد اعضای که نمایندگی می‌کنند با احتساب خود نمونه	تعداد اعضا در مجموع معیارها
۱	عامری	۶	مقطع (۱ عضو)، تناسبات (۱ عضو)، حجم (۱ عضو)، نما (۲ عضو)، زیرزمین (۲ عضو)، مجموع ویژگی‌های پایه (۱ عضو)	۸
۲	ایزدی	۵	مقطع (۴ عضو)، حجم (۱ عضو)، اجزای اقلیمی (۲ عضو)، زیرزمین (۴ عضو)، مجموع ویژگی‌های پایه (۳ عضو)	۱۳
۳	طاهر خان نیری	۴	پلان (۲ عضو)، تناسبات (۳ عضو)، حجم (۶ عضو)، زیرزمین (۲ عضو)	۱۳
۴	شفیی	۳	مقطع (۴ عضو)، نما (۶ عضو)، مجموع ویژگی‌های پایه (۴ عضو)	۱۳
۵	هاشمی نسب	۳	پلان (۵ عضو)، نما (۱ عضو)، اجزای اقلیمی (۱ عضو)	۷
۶	درفشی	۱	تناسبات (۴ عضو)	۴
۷	روحانی طباطبایی	۱	اجزای اقلیمی (۵ عضو)	۵
۸	طلایی	۱	پلان (۱ عضو)	۱

نتیجه تعمیم‌پذیر اینکه چهار نوع پروتوتایپ می‌تواند وجود داشته باشد:

- پروتوتایپ خاص: پروتوتایپ‌هایی که تعداد کمی از اعضا را نمایندگی می‌کنند. مانند چهارصفه عامری و چهارصفه طلایی
- پروتوتایپ رایج: پروتوتایپی که تعداد زیادی از نمونه‌ها را نمایندگی می‌کند و می‌تواند به عنوان تیپ رایج و عمومی شناخته شود. مانند چهارصفه ایزدی، چهارصفه طاهرخان نیری، چهارصفه شفیی
- پروتوتایپ محدود: پروتوتایپی که در زمینه‌های خاصی تعداد محدودی را نمایندگی می‌کند. مانند چهارصفه درفشی، چهارصفه روحانی طباطبایی
- پروتوتایپ میانگین: پروتوتایپی که میانگین ویژگی‌های هر خوشه را دارد.

جدول ۱۱: بازنمایی پروتوتایپ‌ها به صورت زبان شکل

 طاهر خان نیری	 سید حسین طلایی	 هاشمی نسب	پروتوتایپ‌ها بر اساس پلان هاشمی نسب، طلایی، طاهر خان نیری
 شفیعی	 خانه ایزدی	 خانه حسین عامری	پروتوتایپ‌ها بر اساس مقطع عامری، ایزدی، شفیی
 228 درفشی	 45 طاهر خان نیری	 140 خانه حسین عامری	پروتوتایپ‌ها بر اساس تناسبات عامری، طاهر خان نیری، درفشی
 طاهر خان نیری	 خانه ایزدی	 خانه حسین عامری	پروتوتایپ‌ها بر اساس حجم عامری، ایزدی، طاهر خان نیری
 خانه حسین عامری	 شفیعی	 هاشمی نسب	پروتوتایپ‌ها بر اساس نما هاشمی نسب، شفیی، عامری
 خانه ایزدی	 هاشمی نسب	 روحانی طباطبایی	پروتوتایپ‌ها بر اساس اجزای اقلیمی روحانی طباطبایی، هاشمی نسب، ایزدی
 خانه ایزدی	 طاهر خان نیری	 خانه حسین عامری	پروتوتایپ‌ها بر اساس زیرزمین عامری، طاهر خان نیری، ایزدی



پروتوتایپ‌ها بر اساس مجموع ویژگی‌های پایه ایزدی، شفیی، عامری

پیشنهاد پژوهش‌های آینده

این پژوهش در عمق و در سطح می‌تواند توسعه یابد. برای مثال برای توسعه عمقی می‌تواند برای نمونه‌های بیشتر انجام شود و یا تعداد داده‌ها بیشتر شود. پیشنهاد می‌شود یک پروتوتایپ در محیط مجازی شبیه‌سازی شده و عملکرد اقلیمی آن‌ها هم‌زمان در نرم‌افزار و در خود بنا مورد پایش، ارزیابی و مقایسه گردد. در پژوهشی دیگر می‌توان عملکرد اقلیمی پروتوتایپ‌ها را در محیط‌های شبیه‌سازی پیشرفته مانند EnergyPlus، DesignBuilder و ANSYS Fluent ارزیابی و مقایسه نمود. پروتوتایپ‌ها می‌توانند در این نرم‌افزارها بازطراحی، بهینه‌سازی و منطبق با نیازهای روز شوند. در توسعه پژوهش به صورت حوزه‌ای می‌توان برای دیگر الگوها و سبک‌های خانه و یا دیگر کاربری‌ها از این روش استفاده نمود. همچنین این روش و چارچوب نه تنها برای ویژگی‌های اقلیمی بلکه برای سایر مؤلفه‌های معماری همچون ابعاد فرهنگی، رفتاری و زیباشناسانه نیز قابل بسط است.

۷- جمع‌بندی

مقاله حاضر در حوزه معماری ایرانی و با رویکرد اقلیمی، تلاشی برای ایجاد پیوند میان علم داده، طراحی مفهومی و معماری بومی است. در این مسیر، خانه‌های چهارصفه زواره، با تمرکز بر مقطع اقلیمی به عنوان مهم‌ترین مؤلفه مؤثر بر طراحی حجمی مورد مطالعه قرار گرفت. تحلیل‌های عددی با خوشه‌بندی K-means و عددی-اسمی با روش خوشه‌بندی K-prototypes انجام شد و پروتوتایپ‌های هر گروه استخراج و مقایسه گردید.

در پاسخ به پرسش ۱ در بخش مقدمه، نتایج پژوهش نشان می‌دهد که با گذار از گونه‌شناسی توصیفی به گونه‌شناسی داده‌محور، امکان تبدیل معماری بومی به نظامی تحلیلی و کاربردی فراهم می‌شود. در این رویکرد، ویژگی‌های کیفی، عملکردی و هندسی به شاخص‌های قابل اندازه‌گیری تبدیل شده و از طریق تحلیل داده‌ها، الگوهای تکرار شونده و ساختارهای پنهان شناسایی می‌گردند؛ بنابراین گونه‌شناسی معماری بومی می‌تواند از سطح توصیف تاریخی فراتر رفته و به ابزاری برای استخراج الگوهای قابل انتقال و قابل استفاده در طراحی معاصر تبدیل شود.

در پاسخ به پرسش ۲ در مقدمه می‌توان گفت در این پژوهش، بیش از ۵۰ شاخص اقلیمی برای هر خانه در قالب داده‌های عددی و اسمی استخراج و با استفاده از الگوریتم‌های K-means و K-prototype خوشه‌بندی شدند. هر خوشه در واقع نماینده یک «پروتوتایپ اقلیمی» است که ترکیب مشخصی از ویژگی‌های فضایی، هندسی و عملکردی را در پاسخ به اقلیم نشان می‌دهد. بدین ترتیب خوشه‌بندی به ابزاری برای کشف الگوهای پنهان و تبدیل داده‌های پراکنده به پروتوتایپ‌های قابل بازتولید تبدیل می‌شود.

در پاسخ پرسش شماره ۳ می‌توان گفت در نهایت، چهار نوع پروتوتایپ واقعی رایج، واقعی محدود و پروتوتایپ محاسبه شده میانگین شناسایی شدند. پروتوتایپ رایج در واقع تپیی را نمایندگی می‌کند که از لحاظ اقتصادی و

سازه‌ای و غیره بیش از دیگر پروتوتایپ‌ها قابل ساخت و در دسترس بوده است. این نتایج در بند ۵ معرفی و تحلیل شده است.

مهم‌ترین دلالت نظری این پژوهش، آن است که با ارائه چارچوبی داده‌محور در تحلیل معماری بومی، به توسعه ادبیات نظری در حوزه معماری بومی از گونه‌شناسی یا تحلیل تک عناصر به سمت معماری شاکله‌محور کمک می‌کند. همچنین به تبدیل معماری بومی از سطح الگوهای ثابت به سطح پروتوتایپ‌های قابل استخراج، تحلیل پذیر و بازتولیدپذیر کمک می‌کند. این پژوهش نشان می‌دهد که به کارگیری روش‌های یادگیری ماشینی مانند K-means و K-prototype می‌تواند به عنوان یک رویکرد نوین در خوانش و تفسیر ساختارهای پنهان معماری بومی عمل کرده و پیوند میان دانش معماری سنتی و رویکردهای محاسباتی معاصر را تقویت کند. در نهایت، گسترش این روش می‌تواند به بازتعریف "شاکله بومی" به عنوان ساختاری چندلایه با ابعاد فرهنگی، کالبدی، اقلیمی و عملکردی منجر شود.

از نظر دلالت کاربردی، شناسایی پروتوتایپ‌های اقلیمی معماری بومی کمک می‌کند ویژگی‌های ابعادی و فرمی معماری تاب‌آور شناسایی شده در طرح‌های نوین بکار گرفته شوند. بسط داده‌ها می‌تواند به دستیابی به ویژگی‌های پایه معماری شاکله‌محور کمک کند و همچنین پلی میان طراحی مفهومی و شبیه‌سازی‌های کامپیوتری برقرار سازد. پروتوتایپ‌های حاصل می‌توانند به عنوان ابزار طراحی برای معماران، مدل اولیه برای شبیه‌سازی در نرم‌افزارهای انرژی و معیاری برای ارزیابی طرح‌ها توسط مدیران شهری در اقلیم‌های مشابه به کار روند. همچنین، شناسایی پروتوتایپ‌های اقلیمی در مناطق مختلف ایران می‌تواند مبنایی برای مرمت اقلیمی، آموزش دانشگاهی و تبادل علمی بین‌المللی فراهم آورد. نتایج حاصل از خوشه‌بندی داده‌های اقلیمی خانه‌های چهارصفه زواره، امکان شناسایی پروتوتایپ‌های اقلیمی قابل بازطراحی را فراهم می‌کند و می‌تواند به معماران در طراحی ساختمان‌های سازگار با اقلیم کمک کند. همچنین این رویکرد قابلیت استفاده در توسعه ابزارهای طراحی دیجیتال، آموزش معماری بومی، و سیاست‌گذاری در حوزه حفاظت و بازآفرینی الگوهای معماری سنتی را دارد.

سپاسگزاری

از مالکان و ساکنان چهارصفه‌های ایزدی، تفویضی، توحیدی، حاج حسن کچویی، حکیمی، درفشی، رشتی، روحانی طباطبایی، شاهمرادی، شفیعی، طاهر خان نیری، طلایی، عامری (ننه کوکب)، گنجی زاده، نجارحسینی، هادیان طبایی، هاشمی‌نسب، به دلیل اذن ورود و بازدید و برداشت معماری و تصویربرداری از چهارصفه‌ها تشکر و قدردانی می‌شود. از خانم بهشاد مدیریت محترم اداره میراث فرهنگی اردستان، آقای میرانی مدیریت محترم پایگاه میراث فرهنگی زواره، شهرداری، معاونت محترم شهرسازی زواره به خاطر در اختیار گذاشتن اسناد موردنیاز تشکر و قدردانی می‌شود. از آقای عبدالحسین حلاج زواره دبیر محترم و باتجربه مدارس زواره برای همکاری در پژوهش میدانی از گروه مخاطب کهن سال که بسیار پرزحمت است و به انجام رساندن دقیق پرسش‌نامه تشکر و قدردانی می‌شود. از آقای منصور صادقی از اهالی محترم و معتمد شهر زواره برای هماهنگی جهت بازدید و برداشت خانه‌های چهارصفه زواره تشکر و قدردانی می‌شود. از آقای مهندس مهدی کریمیان برای همکاری در برداشت و ترسیم نقشه خانه‌های برداشت شده تشکر و قدردانی می‌شود.

پی‌نوشت

¹ Performative architecture

² Archetype

³ Prototype

⁴ Stereotype

⁵ Centroid

⁶ Urban Building Energy Modeling, UBE M

⁷ Orange

⁸ rapidminer

^۹ این مقاله برگرفته از رساله دکتری است.

^{۱۰} نمودار PCA (Principal Component Analysis) یک ابزار تصویری نمایش در علم داده و تحلیل آماری است که برای کاهش ابعاد داده‌ها و نمایش روابط بین متغیرها و نمونه‌ها استفاده می‌شود. وقتی داده‌ها چندین ویژگی دارند (دما، رطوبت، ضخامت سقف و ...)، درک روابط میان آن‌ها سخت است. PCA کمک می‌کند این داده‌های چند بعدی را به ۲ یا ۳ بعد اصلی کاهش دهیم تا بتوان آن‌ها را روی نمودار نمایش داد. نمودار PCA ابزاری برای دیدن الگوهای پنهان در داده‌هاست. برای نمونه می‌توان فهمید که گروهی از خانه‌ها با ویژگی‌های مشترک اقلیمی در یک بخش نمودار جمع شده‌اند، در حالی که گروه دیگر تفاوت‌هایی دارند (مثل داشتن زیرزمین یا نوع سقف متفاوت). در این نمودار هر نقطه نشان دهنده یک نمونه، رنگ نشان دهنده خوشه و فواصل نشان دهنده میزان شباهت و تفاوت‌ها هستند.

^{۱۱} Heatmap

منابع

- ایمانی چات قیبه، فاطمه، طاهباز، منصوره و حیدری، شاهین. (۱۴۰۳). تیپولوژی انرژی محور ابنیه تاریخی شهر تهران: مبنایی برای تحلیل و سناریوهای اقدامات بهره‌وری انرژی. معماری اقلیم گرم و خشک، ۱۲(۲۰)، ۱۶۹-۱۸۸. doi: 10.22034/ahdc.2026.24026.1898
- توسلی، محمود. (۱۳۹۱)، ساخت شهر و معماری در اقلیم گرم و خشک ایران، انتشارات پیام: پیوند نو، تهران.
- جدیدی، مریم. (۱۳۹۸). الگوی مسکن شهر زواره با توجه به شیوه زندگی در گذر زمان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و صنعت ایران.
- جودکی عزیزی، اسدالله و سیدرسول موسوی حاجی و رضا مهرآفرین. (۱۳۹۳). «گونه شناسی الگوی چهارصفه در معماری ایرانی و سیر تحول آن». در پژوهش‌های معماری اسلامی، ش ۵، ص ۶۴-۸۶.
- حسینی، سید امیر، فتحی، شهاب الدین، بمانیان، محمدرضا، مهدوی نژاد، محمدجواد (۱۴۰۳)، رمزگشایی عناصر معماری به کمک دستور زبان شکل (گونه شناسی فضاهای ۶۴ خانه تاریخی از کاشان، یزد و اصفهان)، باغ نظر، ش. ۱۴۱، ص- ص: ۵-۱۴
- ذوالفقاری. (۱۳۹۳). گونه‌شناسی الگوی چهارصفه در معماری ایرانی و سیر تحول آن. پژوهش‌های معماری اسلامی، ۵.
- روحی، صفورا، و مهدی نژاد، جمال‌الدین. (۱۴۰۴). بررسی کارایی سیستم‌های سرمایش غیرفعال بومی در خانه‌های سنتی ایران. فصلنامه مطالعات توسعه پایدار شهری و منطقه‌ای، ۶(۲)، ۱-۲۲.
- طباطبایی زواره، س.، ولی بیگ، ن.، و عظیمی، م. (۱۳۹۷). مقایسه کالبد خانه‌های چهارصفه و حوضخانه‌ای زواره. نشریه معماری اقلیم گرم و خشک، ۶(۲)، ۱۰۱-۱۲۵.
- غفاری، ع. (۱۳۷۹). زواره، نمادی از اسطوره کویر. تهران: دفتر پژوهش‌های فرهنگی.
- محمودی، مهناز؛ مفیدی شمیرانی، سیدمجید. (بدون تاریخ). تحلیل بر گونه‌شناسی معماری بادگیرهای یزد. هنرهای زیبا، ۳۶.
- مسعودی نژاد، مصطفی، طاهباز، منصوره، و مفیدی شمیرانی، سیدمجید. (۱۴۰۰). بررسی رفتار حرارتی شوادان. مطالعات معماری ایران، ۷(۱۳)، ۴۹-۷۰.

- معماریان، غ. (۱۳۸۷). معماری مسکونی ایرانی، گونه درونگرا. تهران: سروش دانش.

- Afshari Basir, N., Habib, F., & Mofidi Shemirani, S. M. (2017). Vernacular houses in Yazd: Natural elements. *International Journal of Architecture and Urban Development*, 7(2), 19–26.
- Ali, Usman, Mohammad Haris Shamsi, Cathal Hoare, Eleni Mangina, and James O'Donnell. 2019a. "A Data-Driven Approach for Multi-Scale Building Archetypes Development." *Energy and Buildings* 202:109364. doi:10.1016/j.enbuild.2019.109364.
- Alrasheed, Mousa, and Monjur Mourshed. 2024a. "Building Stock Modelling Using K-Prototype: A Framework for Representative Archetype Development." *Energy and Buildings* 311:114111. doi:10.1016/j.enbuild.2024.114111
- Bahadori, M. N. (1978). Passive cooling systems in Iranian architecture. *Scientific American*, 238(2), 144–155.
- Bahadori, M. N. (1985). An improved design of wind towers for natural ventilation and passive cooling. *Solar Energy*, 35(2), 119–129. [https://doi.org/10.1016/0038-092X\(85\)90002-7](https://doi.org/10.1016/0038-092X(85)90002-7)
- Camburn, B., Viswanathan, V., Linsey, J., Anderson, D., Jensen, D., Crawford, R., Otto, K., & Wood, K. (2017). Design Prototyping Methods: State of the Art in Strategies, Techniques, and Guidelines. *Design Science*, 3. doi:10.1017/dsj.2017.10
- Dahl, T. (2010). Architectural Space and the Environment: Towards a New Architectural Ecological Understanding. The Royal Danish Academy of Fine Arts, School of Architecture.
- Dahl, T. (2010). Climate and Architecture. Routledge.
- Foruzanmehr, Ahmadreza. 2017a. Thermal Comfort in Hot Dry Climates: Traditional Dwellings in Iran. 1st ed. Routledge.
- Ghanbari, S., Yeganeh, M., & Bemanian, M. R. (2022). Architecture Typology of Rural Plain Houses Based on Formal Features, Case Study: (Talesh, Iran). *Frontiers in Built Environment*, 8. doi:10.3389/fbuil.2022.856567
- Habib, Farah, and Seyed-Majid Mofidi-Shemirani. 2012. Typology of Earth-Shelter Architecture in Iran. <http://forum>.
- Hey, T., Tansley, S., & Tolle, K. (Eds.). (2009). The Fourth Paradigm: Data-Intensive Scientific Discovery. Microsoft Research. https://www.microsoft.com/en-us/research/wp-content/uploads/2009/10/Fourth_Paradigm.pdf
- Izadpanahi, P., Mahmoudi Farahani, L., & Nikpey, R. (2021). Lessons from Sustainable and Vernacular Passive Cooling Strategies Used in Traditional Iranian Houses. *Journal of Sustainability Research*, 3(3), e210014. <https://doi.org/10.20900/jsr20210014>
- Jain, Anil K. 2010a. "Data Clustering: 50 Years beyond K-Means." *Pattern Recognition Letters* 31(8):651–66. doi:10.1016/j.patrec.2009.09.011.
- Kolarevic, Branko, 2004, Back to the Future: Performative Architecture, *International Journal of Architectural Computing*, DOI:10.1260/1478077041220205
- Ma, Yuanli, Wu Deng, Jing Xie, Tim Heath, Yeyu Xiang, and Yuanda Hong. 2022a. "Generating Prototypical Residential Building Geometry Models Using a New Hybrid Approach." *Building Simulation* 15(1):17–28. doi:10.1007/s12273-021-0779-6.
- Rapoport. (2006). Vernacular design as a model system. In L. A. and M. Vellinga (Ed.), *Vernacular Architecture in the Twenty-First Century* (pp. 179–198). Taylor & Francis.
- Soflaei, Farzaneh, Mehdi Shokouhian, and Seyed Majid Mofidi Shemirani. 2016a. "Investigation of Iranian Traditional Courtyard as Passive Cooling Strategy (a Field Study on BS Climate)." *International Journal of Sustainable Built Environment* 5(1):99–113. doi:10.1016/j.ijsbe.2015.12.001.

- Soflaei, Farzaneh, Mehdi Shokouhian, and Seyed Majid Mofidi Shemirani. 2016b. "Traditional Iranian Courtyards as Microclimate Modifiers by Considering Orientation, Dimensions, and Proportions." *Frontiers of Architectural Research* 5(2):225–38. doi:10.1016/j.foar. 2016.02.002.
- Sonay, A. (2016). Prototype Concept in Architecture and Comparative Analysis of Analogical Designs and Imitated Buildings. 17(3).
- Kaliszewska, Agnieszka, and Monika Syga. 2022. "A Comprehensive Study of Clustering a Class of 2D Shapes." *International Journal of Applied Mathematics and Computer Science* 32(1). doi:10.34768/amcs-2022-0008.

Original Research Article

Vernacular Climatic Configuration:

Developing a Framework for Extracting Climatic Prototypes from Vernacular Architecture
Using K-means and K-prototypes Clustering Methods
(Case Study: Chaharsafheh Houses of Zavareh)

Hoda Kanani Moghadam¹, Seyed Majid Mofidi Shemirani^{2*}, Farah Habib³

1. Department of Architecture, SR.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran
2. professor, Faculty of Architecture and Urban Planning, Iran University of Science & Technology, Tehran, Iran
3. professor, Department of Architecture, SR.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran

 [10.22034/ahdc.2026.23954.1894](https://doi.org/10.22034/ahdc.2026.23954.1894)

Received:
November 11, 2025

Accepted:
July 08, 2026

Keywords:
climatic
configuration,
prototype,
Chaharsafheh
House, k-means
clustering, k-
prototypes

Abstract

In the contemporary performative architecture approach, the aim is to integrate qualitative, functional, and geometric components simultaneously within the building's form through the use of data science and emerging tools. One of the fundamental components of this approach is the climatic performance. In vernacular architecture, a form-oriented logic has already been realized, as it has been tested over time within historical, climatic, and cultural contexts and has achieved a convergence of multiple dimensions of human life within architectural geometry and form. This is a state that modern architecture has often failed to achieve due to its disconnection from historical roots and its predominantly one-dimensional perspectives. However, the era of data and contemporary machine-learning methods now enables the discovery of hidden patterns and prototypes in vernacular architecture and their application in contemporary design. Accordingly, vernacular prototyping-due to its capacity for redesign and reproduction-can replace vernacular typology and patterning. Although vernacular architecture in Iran has been studied through descriptive-analytical and typological approaches, the lack of data-driven analytical systems for documenting and extracting vernacular prototypes that are transferable, testable, and redesignable represents a major gap in both theoretical and applied literature. This article therefore seeks, through a climatic perspective, to establish a systematic framework that links data science, vernacular architecture, and performative design. The research follows a design-research approach and is conducted using a comparative method. Within this framework, a climate-oriented typology of the Chaharsafheh houses of Zavareh is developed through data-driven clustering. In this regard, with the aim of extracting climatic prototypes, more than 400 climate-related features belonging to eight Chaharsafheh houses with basements in the city of Zavareh-documented and measured with detailed attention to climatic components for the first time-were clustered into eight groups of numerical and categorical data using the K-means and K-prototypes methods.

