

ترجمه انگلیسی این مقاله نیز با عنوان:
Explanation of the Historical Dynamic Analysis Model of
Business Trips with a Focus on Safavid Era Caravanserais
در همین شماره مجله به چاپ رسیده است.

مقاله پژوهشی

تبیین مدل تحلیل پویایی تاریخی سفرهای تجاری با تمرکز بر
کاروان سراهای دوره صفویه*

زهرا حسینی^۱، رضا افهمی^{۱*}، ژاله صابرنژاد^۲

۱. گروه معماری، واحد بین‌المللی کیش، دانشگاه آزاد اسلامی، جزیره کیش، ایران.

۲. گروه پژوهش هنر، دانشکده هنر، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

۳. گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۱/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۰۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۲۴

چکیده

بیان مسئله: کاروان سراهای یکی از مهم‌ترین گونه‌های معماری تاریخی هستند که نقش عمده‌ای در تجارت ایفا کرده‌اند. از جمله اصلی‌ترین کاربردهای کاروان سراهای می‌توان به برقراری امنیت در سفرهای بین‌شهری، اسکان موقت برای رهگذران، انبار کالا برای تاجرین و نگهداری از چهارپایان در طول مسیر تجاری اشاره کرد. محققان بسیاری به ساختار کاروان سراهای پرداخته‌اند اما تا قبل از گستردگی علوم اجتماعی-محاسباتی در تحلیل‌های تاریخی، این امکان وجود نداشت که با کمک تحلیل ساختاری و فضایی این بناها، بتوان در مورد نسبت میان کالبد این بناها و رفتار اجتماعی مرتبط با آنها اطلاعاتی کسب کرد و از این رو این پژوهش درصدد پاسخ به این مسئله است که چگونه می‌توان به مدلی برای رابطه سفرهای تجاری و معماری کاروان سراهای دوره صفویه دست یافت؟

هدف پژوهش: این پژوهش درصدد تبیین یک مدل ریاضی بین وقایع پویای اجتماعی و تاریخی، با تمرکز بر رابطه سفرهای تجاری و معماری کاروان سراهای دوره صفویه است.

روش پژوهش: این پژوهش، با روش توصیفی و تحلیلی و با بهره‌گیری از مطالعات کتابخانه‌ای انجام شده است. همچنین، در مطالعه موردی از شبیه‌سازی‌های سه‌بعدی در نرم‌افزار تری‌دی‌مکس و تحلیل‌های حجمی در نرم‌افزار راینو بهره گرفته شد. در این راستا، از مدل آهنگ رسانش سفر استفاده شد که در ۱۶ کاروان‌سرای موردی و ۱۴ سفر شبیه‌سازی شده آزمایش شده است.

نتیجه‌گیری: یافته‌ها حاکی از آن است که شهر اصفهان در دوره صفویه، به‌عنوان مقصد بالقوه برای سفرهای تجاری بوده و شهر کرمان به‌عنوان مبدأ مناسب برای سفرهای تجاری با مقصد اصفهان بوده است. از سوی دیگر، با توجه به مسیر تجاری ابریشم، حلقه تجارت از سمت کشور پاکستان کنونی به سمت شهر اصفهان جاری بوده و از این شهر به سمت شمال غرب، شمال شرق و جنوب کشور امتداد داشته است.

واژگان کلیدی: گونه‌شناسی، کلیودینامیک، کاروان‌سرا، سفرهای تجاری.

مقدمه

تا دیدگاه جامع‌تری از تحولات آنها را نشان دهد و از آن جمله می‌توان به تحولات معماری ناشی از وضعیت جامعه و عوامل مختلف تجاری، مذهبی و سیاسی و ... اشاره کرد (کاوین و غلامی، ۱۳۹۵). در این پژوهش، مفهوم گونه‌شناسی معماری در معنای تکاملی آن آمده که مبحثی برگرفته از علم زیست‌شناسی و مرتبط با تاریخ است. گونه‌شناسی معماری تاریخی-تکاملی، شیوه‌ای رایج در بسیاری از پژوهش‌های معماری به‌ویژه، نگرش

نمی‌توان آثار معماری را بدون رجوع به زمینه‌های مؤثر بر آن، مطالعه کرد (جانسون، ۱۳۸۴). بررسی بستر سازنده گونه‌های معماری در طول تاریخ، قادر است

* این مقاله برگرفته از رساله دکتری «زهرا حسینی» با عنوان «تبیین مدل تحلیل پویایی تاریخی گونه‌های معماری با تمرکز بر کاروان‌سراهای برون‌شهری» است که به راهنمایی دکتر «رضا افهمی» و مشاوره دکتر «ژاله صابرنژاد» در گروه معماری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بین‌المللی کیش در حال انجام است.
** نویسنده مسئول: ۰۹۱۲۶۷۵۳۸۰۰، afhami@modares.ac.ir

میان گونه‌شناسی تاریخی- تکاملی معماری و زمینه تاریخی آن استفاده شود، زیرا همانند گونه‌شناسی که درصدد تبیین الگویی برای تغییرات تاریخی گونه‌های معماری و زمینه‌های مؤثر است، کلیودینامیک نیز درصدد تبیین پدیده‌ها با کمک بررسی تأثیر هم‌زمان چندین متغیر و تبیین الگویی پویا و دینامیک برای تغییرات پدیده‌هاست.

کاروان‌سراها که از زمان‌های دور به دلایل امنیتی، نظامی، اقتصادی و جغرافیایی احداث شده‌اند، از ارزشمندترین میراث فرهنگ و تمدن ایران هستند. با توسعه تجارت بین شرق و غرب در دوران پارتی و شکل‌گیری بنیان اولیه جاده ابریشم (فاضلی، ۱۳۹۰)، نیاز به وجود استراحتگاه‌هایی برای سکونت موقت در مسیرهای طولانی و حفظ امنیت کاروان‌ها محسوس‌تر شد. این بناها، براساس موقعیت و اهداف خود، تغییرات بسیاری را در طول تاریخ تجربه کرده‌اند و دوران صفویه، هم‌زمان با توسعه انسجام حاکمیت مرکزی و توسعه تجارت، دوران طلایی ساخت کاروان‌سرا در ایران شناخته می‌شود که در آن بر تعداد و وسعت کاروان‌سراها افزوده شد و آنها نقش مهمی در ترسیم مسیرهای تجاری و عبوری داشتند. علاوه بر مستندسازی سیاحان، پژوهشگرانی همچون ماکسیم سیرو^۴ (دانیل و تاجدار، ۱۴۰۰)، آرتور پوپ^۵ (۱۳۹۹)، آندره گدار^۶ (تاجدار و همکاران، ۱۳۹۵)، رابرت هیلان براند^۷ (۱۳۹۴) و محمد کریم پیرنیا (پیرنیا و معماریان، ۱۳۹۵) ابعاد گوناگونی از این گونه معماری در ایران را تحلیل کرده‌اند. این تحقیقات نشان می‌دهد که نیازهای کارکردی، امنیتی و حفاظتی که منجر به تسریع و تقویت مسیر عبوری کاروان‌ها می‌شد، بر کالبد و عملکرد کاروان‌سراها از جمله فرم هندسی پلان، قرارگیری فضاها نسبت به هم و تعریف مسیر ورودی کاروان به مکان‌یابی در مسیرهای تجاری با محوریت بازارهای ایرانی و ساختار کاروان‌سراها، تأثیر گذاشته و نقش مثبتی در رونق کاروان‌ها و مسیرها و تحول تجاری داشته‌اند (کوهستانی و همکاران، ۱۳۹۶). در این دوران، بناهایی مانند کاربات، رباط، ساباط و خان‌های قبلی را زیرسامانه عملکردی کاروان‌سراها آورده و به عملکرد اقتصادی کاروان‌سراها را بیشتر از سایر عملکردها توجه می‌کردند و سایر عوامل همچون جغرافیا و اقلیم را بر موقعیت کاروان‌سراها مؤثر دانستند (فرشچی و حاجی زمانی، ۱۳۹۸، ۴). کاروان‌سراها، به دلیل تفاوت در مکان‌یابی اولیه و شاخصه‌های کالبدی، به دو گونه درون و برون‌شهری تقسیم می‌شوند. لذا، بررسی تفاوت‌های کالبدی بین دو گونه درون‌شهری و برون‌شهری می‌تواند در شکل‌دادن به نقشه راه این پژوهش مهم تلقی شود و از آنجاکه صفویه دوران شکوفایی و تعدد کاروان‌سراها به شمار می‌رود، می‌تواند بازه زمانی مناسبی برای بررسی باشد. زیرا در دوره صفوی، به دلیل

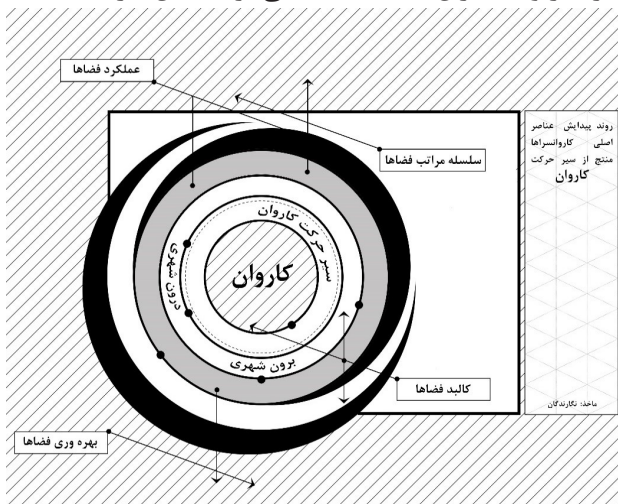
موراتوری^۱ ایتالیایی به تاریخ هنر است. در واقع، پرداختن به گونه‌شناسی تاریخی- تکاملی و باهدف بازسازی زنجیره تاریخی یک اثر و الگوهای پایه، با اتکا به شناخت و مطالعه ریشه‌های تاریخی معماری سرزمین‌هاست. در ایران، علی‌رغم وجود میراث عظیم و سابقه طولانی در معماری، کاربرد این روش به دلیل عدم وجود روش‌شناسی متمرکز بر تاریخ معماری مدنظر این دیدگاه، چندان توسعه نیافته است (معماریان، ۱۳۹۳). مانند سایر روش‌ها، به روش گونه‌شناسی تاریخی- تکاملی موراتوری نیز، علی‌رغم بهره‌مندی از تاریخ - باهدف توصیف تغییرات گونه‌ها- به علت عدم جامعیت گونه‌شناسی، فقدان برخی شاخص‌های تأثیرگذار بر تکامل فرم و همچنین به دلیل اینکه مانند سایر روش‌های گونه‌شناسی موجود، برگرفته از رویکرد ساده‌گرایانه اندیشه‌های دکارتی است، نقدهایی وارد است. این رویکرد انتقادی علم امروز به گذشته، به دلیل گرایش پژوهشگران معاصر به حرکت از رویکرد تحویلی و ساده‌گرایانه به سمت اندیشه پیچیده است (مورن، ۱۳۹۴). اندیشه‌ای که در آن، به جای تفکیک متغیرها، ترکیب و سنجش هم‌زمان آنها و به جای استفاده از معادلات خطی برای تشریح فرایندهای علمی، معادلات پویای ترمودینامیکی، قصد دارند تا با پیوند و هم‌بافتی اطلاعات به جای تجزیه و جداسازی آنها، تأکید بر عدم قطعیت و درکی متفاوت از رفتار سازمانی- شناختی جامع از یک موضوع را ارائه کنند (همان). در زمینه تحلیل تاریخی، این روش «کلیودینامیک»^۲ نام دارد و پیترو تورچین^۳ در سال ۲۰۰۳ آن را باهدف ساختن ابزاری ریاضی برای سنجش‌های تاریخی و تبدیل یافته‌های تاریخی به الگوهای علمی، از ترکیب دو علم تاریخ‌نگاری طولانی تحلیلی و دانش مکانیک پدید آورد (Turchin, 2003) و در مقاله او در سال ۲۰۰۸ در مجله Nature این واژه رسمیت علمی یافت (Turchin, 2008). او با استناد به ایده‌های ابن خلدون، مورخ مسلمان قرن چهاردهم، در مورد وجود الگوهای تکرارشونده تاریخی و تجارب برخی از محققان پیشین همچون جک گلدستون (Goldstone, 2003)، رندال کالینز (Collins, 1999)، جان کمپلوس (Komlos, 2009)، سرگی نفدوف (Turchin & Nefedov, 2009) و آندری کاراتایف (Korotayev & Malkov, 2012) کلیودینامیک را به‌عنوان یک مبحث میان‌رشته‌ای و ابزار نگارش الگوهای تاریخ طولانی پیشنهاد داد تا با تکیه بر داده‌های تاریخی و ابزارهای کمی مناسب وابسته به علوم کامپیوتر و ریاضیات، به بررسی روندهای پویا در بسترهای زمانی طولانی‌مدت و با متغیرهای زیاد بپردازد و به‌عنوان یک الگوی تاریخی تکرارپذیر قادر باشد حتی آینده را پیش‌بینی کند. از این‌رو، کلیودینامیک قادر است تا به‌عنوان ابزاری برای برقراری پیوند

آمده است. نقش این لایه‌بندی‌ها در این پژوهش گونه‌شناسی مهم تلقی می‌شود و به‌منظور مطالعات زمینه‌ای، توجه به بستر و سیر تجارت بین نقاط مبدأ و مقصد در بازه زمانی پروتوق تجاری حکومت صفویه، این امکان را به وجود خواهد آورد تا نوعی مدل ریاضی دینامیک برای ارتباط میان کالبد کاروان‌سراها و مطالعات تاریخی مرتبط تبیین شود.

پیشینه پژوهش

رشد و دسترسی به کلان‌داده‌ها تأثیرات عمیقی در علوم اجتماعی به همراه آورده و نویدبخش نوعی انقلاب جدید در اندازه‌گیری، مدل‌سازی و شبیه‌سازی رفتار انسان است (شعبانی، ۱۳۹۸، ۴). نمونه آن را می‌توان در ارائه معادله دینامیک تغییرات جاده ابریشم دید (Malkov, 2014) که با هدف سنجش فرضیه جرمی بنتلی^۸ پیرامون متغیرهای گوناگون حاکم بر تغییرات جاده ابریشم، توسعه و سقوط امپراتوری‌های بزرگ در سراسر اوراسیا و تغییرات صنعت حمل و نقل را مطرح می‌کند. پژوهشی دیگر نیز پویایی جمعیت و چرخه‌های ظهور و انقراض موجودات زنده را تابع مدلی ریاضی معرفی می‌کند که حاصل تغییرات زیستی است. نتایج این پژوهش‌ها نشان می‌دهد که هر پدیده اجتماعی، دارای ماهیتی دینامیک است که نوسان‌های آن را می‌توان در قالب یک مدل ریاضی استوار و نهادینه کرد و حداقل می‌توان نظم نوسان‌های آن را در قالب یک قانون کلی در آورد (Turchin, 2003). بررسی گونه‌شناسی از منظر اجتماعی نیز در مطالعه مشهدی و امین‌پور (۱۳۹۶)، درباره بناهای تاریخی اراک، به عوامل مؤثر بر گونه‌ها می‌پردازد و نشان می‌دهد که شاخص‌ها بر آن تأثیر ندارند و زیرمجموعه یک گونه خاص، رفتارهای متفاوتی را از نظر ویژگی‌های معماری نشان می‌دهند. در پژوهش نقره‌کار و همکاران (۱۳۹۷)، تلاشی برای مدل‌سازی شناخت

نبردهای میان آنها و عثمانی و از یک‌ها و با هدف تأمین امنیت راه‌ها، به مکان‌یابی و معماری کاروان‌سراها توجه بیشتری می‌شد (طیسی و ناصری ازغندی، ۱۳۹۹، ۳۱۸). بر خلاف دوره پیشین که تمرکز بر ساخت کاروان‌سراها در داخل شهر بود، مقایسه گونه‌های برون و درون‌شهری صفویه، از منظر مطالعات تاریخ نظامی و امنیتی حائز اهمیت است (کوهستانی و همکاران، ۱۳۹۶، ۶۸) و بدون شک، اهمیت تجارت در نقاط مختلف ایران را می‌توان از جمله مسائل تأثیرگذار بر شکل‌گیری فرم و پلان فضای کاروان‌سراها دانست که در گذر زمان، آنها را دچار تحول و تکامل کرده است (قبادیان، ۱۳۹۲، ۴۸). بررسی مشخصات کالبدی اندام‌های معماری کاروان‌سراها در محاسبات مرتبط به رفتارهای اجتماعی در دوره‌های متمادی ضروری و غیرقابل‌اجتناب است. اندام‌های کالبدی کاروان‌سراها شامل اتاق‌های مسافران و شاه‌نشین است که مهم‌ترین مفهوم این مکان را می‌سازد (میرزاعلی و رزمی، ۱۳۹۵، ۴) و تأثیر بسیار زیادی بر این کالبد معماری دارد. بنابراین، بررسی مشخصات کالبدی و ابعاد عملکردی اتاق‌ها و شاه‌نشین‌ها در گونه‌شناسی معماری کاروان‌سراها حائز اهمیت بوده و این اندام‌ها به‌عنوان یکی از لایه‌های اصلی در کاروان‌سراها تعریف می‌شود. اهمیت حفظ و نگهداری چهارپایان، منجر به ساختار طولیله یا ستورگاه شده بود که عموماً در پشت حجره‌ها جانمایی می‌شد و بسته به ابعاد کاروان‌سرا تعداد آنها به چهار اصطبل مجزا نیز می‌رسید و فضایی برای نگهداری از چهارپایان در طول سفر محسوب می‌شد (رحیم‌پور، ۱۳۹۴، ۳۲). از سوی دیگر، به دلیل ارجحیت بالای سفر تجاری در مسیرهایی مثل جاده ابریشم و راه‌های تجاری دیگر، سازمان فضایی و معماری اصطبل‌ها معنا پیدا می‌کرد (شیانی و عرب‌پور، ۱۳۹۴، ۸). قرارگیری در پشت حجره‌ها به سبب استفاده بهینه از فضاهای معماری کاروان‌سراها و ویژگی‌های فیزیولوژیکی چهارپایان بود (بی‌مکر و باوندیان، ۱۳۹۸، ۹). به همین دلیل، بررسی مشخصات کالبدی اصطبل‌ها، به دلیل ارتباط با مسائل اقلیمی و عوامل اجتماعی و اقتصادی در کاروان‌سراها مهم تلقی می‌شود. حیاط کاروان‌سراها برای کارکردهای اقتصادی و توسعه تجارت، ایجاد درآمد برای خزان و افراد و امور خیریه ضروری بود. کارکردهای دیگر فرهنگی و خدماتی مثل خدمات انبارداری، بدرقه و استقبال و مناسبت‌های مذهبی با اهداف سیاسی، امنیتی، نظامی و آموزشی نیز هر کدام نسبت به موقعیت خود از سرای اصلی یا حیاط اصلی کاروان‌سراها منتفع می‌شدند (باصولی و درخش، ۱۴۰۰، ۳۵). تصویر ۱ روند پیدایش عناصر اصلی کاروان‌سراها را نشان می‌دهد که براساس تأمین نیازهای اصلی کاروان‌ها پدید



تصویر ۱. روند پیدایش عناصر کالبدی کاروان‌سراها. مأخذ: نگارندگان.

که قابلیت تفسیر نمونه‌های جدید اجتماعی و تکاملی را فراهم می‌کند (مشهدی و امین‌پور، ۱۳۹۶، ۱۷۷). در گونه‌شناسی تکاملی معماری، بسترهای کالبدی، عملکردی و زیست‌محیطی به‌عنوان کنش‌های منطقی و بسترهای اجتماعی، اقتصادی و سیاسی به‌عنوان کنش‌های اجباری در کالبد اصلی معماری تأثیرگذار است و نشانگر بهره‌مندی معماران از مفاهیم الگو است و با وجود تأثیرات مؤلفه‌های سیاسی، اقتصادی و اجتماعی، گونه‌بندی معماری فضاها از یک الگوی ریشه‌دار تبعیت می‌کند (معماربان و دهقانی تفتی، ۱۳۹۷، ۲۷). بر مبنای این رویکرد نظری، مدل مفهومی این پژوهش (تصویر ۲) مبتنی بر بررسی روابط، میان اجزای مختلف یک گونه معماری یعنی کاروان‌سراها و تحولات آن در سیر زمانی و رابطه آن با فعالیت‌های اجتماعی و تاریخی سفرهای تجاری در دوره صفویه است. در این پژوهش، نسبت و موقعیت اجزای کالبدی تحلیل شده و از آنها به‌مثابه باز نمود نیازهای تجاری استفاده می‌شود تا از طریق ایجاد رابطه میان این شاخص‌ها و شاخص‌های مرتبط با محیط و جغرافیای سفر و مراکز تجاری، به مدلی محاسباتی برای رابطه منطقی میان آنها دست‌یافته شود.

روش پژوهش و نمونه‌ها

روش این پژوهش از نوع توصیفی-تحلیلی و با رویکرد مدل‌سازی است و اطلاعات مورد نیاز آن با انتخاب نمونه‌های موردی و از طریق مطالعات کتابخانه‌ای گردآوری شده است.

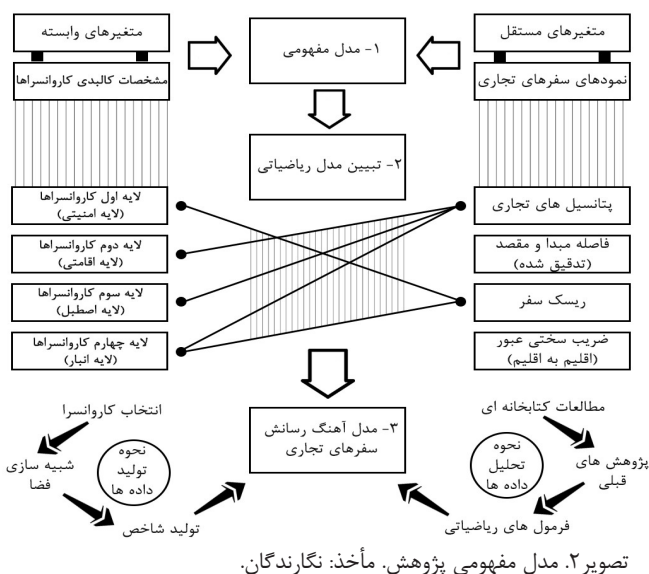
• مرحله اول: انتخاب نمونه‌ها

باتوجه به اینکه این پژوهش، با رویکرد نظری گونه‌شناسی تکاملی در بناهای معماری، به دنبال یافتن مؤلفه‌های مؤثر اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی است، لذا انتخاب نمونه‌های

تاریخ معماری ایران انجام شده که وجوه کالبدی گونه‌ها را محصل رفتارهای اجتماعی معرفی می‌کند. در مطالعات مربوط به کاروان‌سراها، در نظر گرفتن دلایل ارتباطی، اقتصادی، نظامی و جغرافیایی، این امر را نشان داد که مقوله امنیت، به‌عنوان مهم‌ترین شاخص رونق تجارت در حکومت صفویه است که متکی به یک گونه خاص معماری است (کوهستانی و همکاران، ۱۳۹۶، ۶۸). پورمحمد (۱۳۹۲) در مقاله خود به بررسی پاسخگویی به نیازهای اجتماعی باتوجه به کالبد کاروان‌سراها می‌پردازد و نشان می‌دهد که پلان، حجم، نما و تزئینات خاص کاروان‌سراها، نتیجه تحولات اجتماعی است. فرشچی و حاجی زمانی (۱۳۹۸) در پژوهش خود تحت عنوان «بررسی کاروان‌سراهای ایران و بناهای وابسته به آن» به تدوین چگونگی اساس و احداث کاروان‌سراها و رباط‌ها در ایران می‌پردازد و شاخص‌های تاریخی و فرهنگی مؤثر بر سیستم ارتباط کاروان‌سراها و شکل‌یابی و توسعه آنها را شناسایی کرده و در نهایت، الگوهای غالب کاروان‌سراها در مناطق مختلف اقلیمی را تفکیک می‌کند. باصولی و درخش (۱۴۰۰) نیز پتانسیل‌های تاریخ را با رویکرد منظرین بررسی می‌کند. مطالعات پیشین، علیرغم تفکیک و طبقه‌بندی گونه‌های مختلف کاروان‌سراها، به تأثیرگذاری ابعاد اجتماعی در بازه زمانی بیش از ۱۰۰ سال و تبیین الگوی اجتماعی و یا مدل ریاضیاتی مختص این گونه معماری نپرداخته است.

رویکرد نظری

گونه‌شناسی، معادل واژه انگلیسی تیپولوژی^۱ (حیاتی، رحمت‌نیا و کاوری‌زاده، ۱۳۹۷، ۶۸) است و هدف اصلی آن دسته‌بندی و طبقه‌بندی نمونه‌ها براساس ویژگی‌های عملکردی، کالبدی، اجتماعی و زیست‌محیطی (میرسجادی و فرکیش، ۱۳۹۵، ۷۲)، به‌عنوان زمینه‌ای برای کشف و شناخت عمیق‌تر از بستر مورد مطالعه (صدرنجی، ۱۳۹۶، ۵) (امیدواری و باصولی، ۱۴۰۰، ۳۸). در این مطالعات، علاوه بر کشف روابط ریزمؤلفه‌ها با مؤلفه‌ها، پیوند میان گذشته و آینده آشکار می‌گردد (شاه‌تیموری، مظاہریان و حناچی، ۱۳۹۰، ۴۳) و به مسائل چندوجهی تاریخی-جغرافیایی پاسخ می‌دهد (نقره‌کار و همکاران، ۱۳۹۷، ۱۹). گونه‌شناسی معماری، اهمیت گونه در تداوم رویدادهای مرتبط با تکامل (مشهدی و امین‌پور، ۱۳۹۶، ۱۷۶) و بنیان‌ها، مؤلفه‌ها و مبانی نظری و الگوی پایه (محمدیان منصور و فرامرزی، ۱۳۹۰، ۹۷) را نشان می‌دهد. معانی جدیدی که از مفاهیم گونه‌ها استخراج می‌شود، نشانگر وجود تضادهای فراوان در تعریف ماهیت و جنس یک نمونه موردی است (میرسجادی و فرکیش، ۱۳۹۵، ۷۵)





تصویر ۴. تدقیق مسیر جاده ابریشم با نقشه حکمرانی دوره صفویه. مأخذ: نگارندگان.

موقعیت این کاروان‌سراها بر روی نقشه اقلیمی منطبق بر مرزهای صفوی، نشانگر آن است که محدوده مطالعاتی در برگرفته پنج تنوع اقلیمی است. بنابراین، انتخاب نمونه‌ها براساس رویکرد نظری گونه‌شناسی تکاملی معماری و سایر متغیرها یک نمونه موردی مناسب و فاقد ابهام است.

• مرحله دوم: تولید شاخص‌ها

کاروان‌سراها از چهار لایه مجزای دارای کاربری‌های مختلف و مکمل تشکیل شده‌اند.

لایه اول، امنیتی و شامل دیوار خارجی، سردر ورودی، نگهبانی و برج‌های نگهبانی (در بعضی کاروان‌سراها) است و شاخص مناسبی برای محاسبه ریسک سفر در مسیرهای تجاری و مقابله با تهدید راهزن‌ها، حیوانات وحشی و جنگ‌های قومی به حساب می‌آیند و حجم لایه اول نشانگر میزان توجه به این تهدیدات از سوی حکام محلی و کشوری بوده است.

لایه دوم، شامل اتاق‌های استراحت کاروانیان و مسافران است که حجم لایه دوم ارتباط مستقیم با رونق اقتصادی، و تراکم مسافرت تجار و بازرگانان بزرگ و مشهور و حجم کالاهای تجاری دارد. شاخص حجم این لایه، نشانگر حجم کاروان عبوری و رونق مسیر تجاری در یک بازه زمانی معین است.

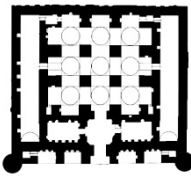
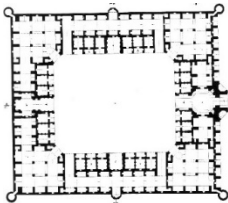
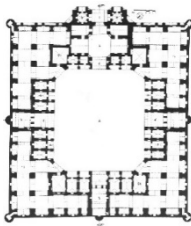
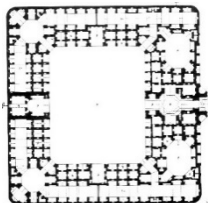
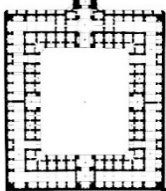
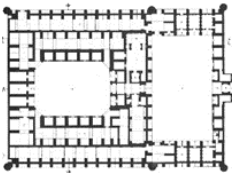
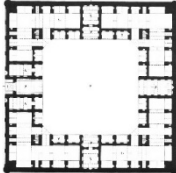
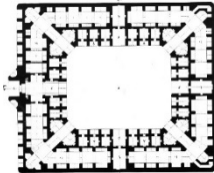
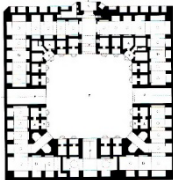

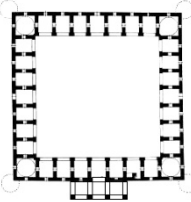
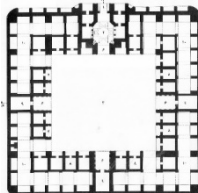
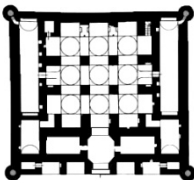
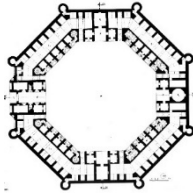
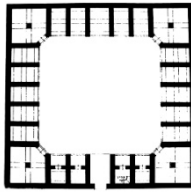
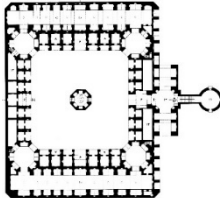
لایه سوم کاروان‌سراها طویله است. راهداران، پاداش نگهداری از بار کاروان را براساس ارزش حیوان بارکش (به ترتیب شتر، قاطر، اسب و الاغ) می‌سنجیدند. تعدد چارپایان به معنای اهمیت تجار و کاروان و حجم لایه سوم ارتباط معنادار و مستقیمی با میزان مالیات، طول سفر، سختی حرکت بین مبدأ و مقصد و جغرافیای مسیر دارد. حجم لایه سوم با اقلیم و مسیر و تفاوت میان شرایط آب‌وهوایی ملایم و زمین مسطح با جغرافیای کوهستانی و سرعت حرکت کاروان‌ها ارتباط دارد و از آنجاکه سود

مورد مطالعه از چند بعد حائز اهمیت است. بعد اول، انتخاب بازه زمانی که تجارت رونق داشته و مکان‌یابی و قرارگیری کاروان‌سراها در خط سیر تجاری مورد توجه تجار و مسافران باشد. (یوسف‌نیا، ۱۳۹۳، ۱۴۲). بعد دوم، توجه به گوناگونی اقلیمی مسیر که بر ساختار کالبدی کاروان‌سراها تأثیر دارد (Shahamipour, 2013, 634). و بعد دیگر، گونه‌شناسی بناهای دارای کاربرد یکسان که امکان ارزیابی بررسی تکاملی را فراهم می‌سازند (نقره‌کار و همکاران، ۱۳۹۷، ۷۴). وجود این ویژگی در نمونه‌ها و توجه به اینکه مطالعات مربوط به علوم اجتماعی- محاسباتی حداقل نیازمند بازه‌های بررسی دوپست ساله است (Turchin, 2003, 64)، می‌تواند کمترین میزان خطا را به همراه داشته باشد. برای حصول اطمینان سنجی، بخشی از جاده ابریشم و راه‌های پیرامونی، به‌عنوان پررونق‌ترین مسیر تجاری جهت مکان‌یابی نمونه‌های موردی انتخاب شده است. از سوی دیگر، وزن‌دهی به متغیر تجارت و امنیت، به‌عنوان عوامل اقتصادی و اجتماعی مدنظر بوده است (تصویر ۳).

باتوجه به اهمیت سیاست در برقراری ثبات تجاری، انتخاب یک دوره دارای ثبات سیاسی طولانی‌تر و متعهد به توسعه تجاری، مانند دوران ۲۳۵ ساله صفویه و سرزمین‌های تحت حکمرانی آنها از قرن ۱۰ تا ۱۳ هجری قمری^۱، به معنای انتخاب دورانی مناسب برای بررسی این متغیر تأثیرگذار است. تصویر ۴، این پهنه مطالعاتی و بخشی از مسیر تجاری ابریشم و مسیرهای پیرامونی آن را نشان می‌دهد. ایران در دوره صفوی، به‌دلیل موقعیت خاص آن در جاده ابریشم و توسعه محدود کشتی‌رانی تجاری در غرب، مورد توجه تجار و بازرگانان داخلی و خارجی بود و همین امر منجر به ساخت پل‌ها و کاروان‌سراها و توسعه‌های شهری متعددی در دوره شاه‌عباس اول شد (یوسف‌نیا، ۱۳۹۳، ۱۴۴). در این بین، گونه یکسان قابل بررسی، کاروان‌سراهای این دوره است که امکان گونه‌شناسی را برای ما فراهم می‌کنند. بنابراین، ۱۶ کاروان‌سرای این دوره، باتوجه به اسناد مکتوب انتخاب شده‌اند. تصویر ۵ نام و نقشه معماری این بناها (حاجی‌قاسمی و همکاران، ۱۳۸۳) را نشان می‌دهد. تدقیق



تصویر ۳. مسیرهای تجاری جاده ابریشم بین شرق و غرب. مأخذ: Tucker, 2015, 43.

			
خانه سرخ کرمان	مورچه خورت اصفهان	کوه پایه اصفهان	شیخ علی خان اصفهان
			
بیستون کرمانشاه	صدرآباد قم	پاسنگان قم	شاه عباسی نطنز
			
شاه عباسی کرج	دودهک دلیجان	قلعه پهلوی لار	ماهی دشت کرمانشاه
			
سنگ توی کرمان	امین آباد شهرضا	بادنی سه بندرعباس	شاه عباسی میبد

تصویر ۵. نقشه پلان کاروان سراهای مطالعه شده. مأخذ: حاجی قاسمی و همکاران، ۱۳۸۳.

نتایج بررسی مربوط به حجم نسبی شاخص‌ها را می‌توان در **جدول ۱** مشاهده کرد. **جدول ۱**، تعداد ۶۴ مقدار به‌دست آمده برای چهار شاخص و ۱۶ کاروان سرای بررسی شده را نشان می‌دهد. در مقادیر مزبور اعداد به سمت بالا گرد شده است.

• مرحله سوم: طراحی مدل

از دیدگاه ترمودینامیک، انتقال حرارت به‌عنوان فرایند انتقال از یک حالت تعادل به حالت تعادل دیگر، فارغ از زمان و باتوجه به سرعت است. انتقال حرارت، وابسته به اختلاف دما بین دو نقطه و آهنگ رسانش حرارتی است. از این‌رو، در این مدل، هر کاروان به‌مثابه انرژی حرارتی در حال انتقال از مبدأ به مقصد دارای اختلاف پتانسیل تجاری است. T_1 پتانسیل‌های تجاری مبدأ و T_2 پتانسیل‌های تجاری مقصد، x_1 مختصات مبدأ و x_2 مختصات مقصد و میزان ریسک سفر با ضریب k

تجارت با سفر بین مبدأ و مقصد در کوتاه‌ترین زمان نسبت مستقیم دارد، بنابراین حجم لایه سوم با زمان سفر رابطه معکوس خواهد داشت.

لایه چهارم کاروان سراهای به حیاط و سرای کاروان سراهای اختصاص می‌یابد. این لایه، از نظر انبار کردن کالا در مقابل چشم کاروانیان در زمان استراحت و کمین‌گاه نیروهای جنگی و نظامی بسیار مهم است و حجم این لایه با تراکم کالای مبادلاتی و حساسیت مسیر تجاری از لحاظ امنیتی در ارتباط است.

در این پژوهش، به‌منظور قابل سنجش کردن شاخص‌های مزبور و به دست آوردن نسبت آنها با شاخص حجم کلی با نادیده گرفتن ضخامت دیوارها و با رعایت مقیاس، از نرم‌افزار شبیه‌ساز تری‌دی‌مکس^{۱۱}، برای محاسبه شاخص حجم از دستور تحلیل حجم^{۱۲} نرم‌افزار راینو^{۱۳} و برای نمایش داده‌ها از نرم‌افزار گرافیکی فوتوشاپ^{۱۴} استفاده شده است (تصویر ۶).

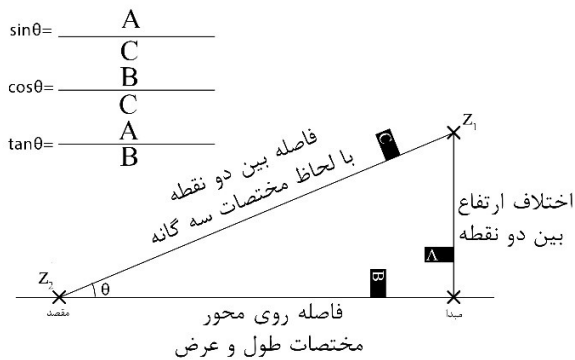


تصویر ۶. شاخص‌های حجم چهار لایه اصلی کاروان‌سراهای موردی. مأخذ: نگارندگان.

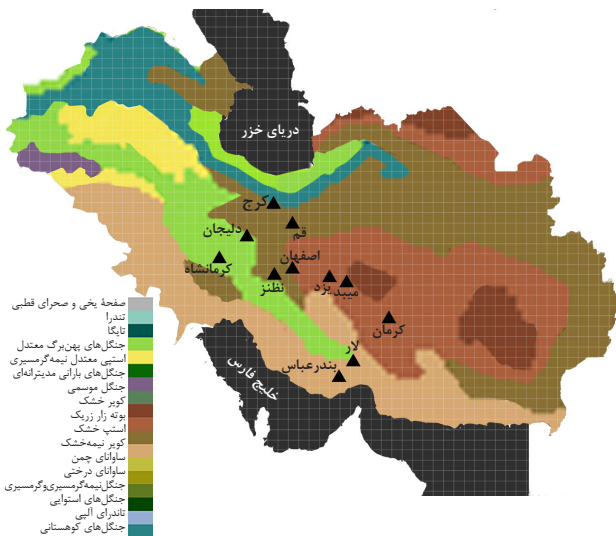
جغرافیایی نیز بر سرعت عبور و میزان ریسک و به تبع آن سود تجاری مؤثر است (تصویر ۹). هدایت حرارتی یا همان آهنگ رسانش سفر کاروان در شرایط متعادل آب‌وهوایی قابل محاسبه، سریع و مشابه شرایط هدایت گرمایی در خلأ است که با واقعیت سفرهای برون‌شهری، به‌ویژه سرعت کند کاروان‌ها در جاده ابریشم هماهنگ نیست. از این‌رو، در نظر گرفتن تفاوت‌های اقلیمی، به‌عنوان نوعی ضریب هدایت حرارتی ضروری است (تصویر ۷). برای محاسبه ریسک سفر، از تفاوت شاخص‌های لایه اول (امنیت) و چهارم (حیاط) کاروان‌سراها بهره برده می‌شود که ارتباط مستقیمی با ریسک سفر دارند و تفاوت مثبت و منفی شاخص حجم لایه اول و چهارم کاروان‌سرای مبدأ و مقصد نشانگر پایین یا بالا بودن ریسک سفر از

مشخص می‌شود. با فرض تخت بودن سطح، مقدار A مساحت آن و مختصات x_1 (مبدأ) و x_2 (مقصد) روی صفحه میزان جریان هدایت کالای بین دو نقطه را قابل محاسبه می‌سازد. اما نظر به اختلاف ارتفاع مختصات مزبور و تأثیر آن بر سرعت کاروان و ریسک سفر و تجارت و میزان نیاز به بهره‌مندی از کاروان‌سراها، در ابتدا و به‌منظور تدقیق اختلاف ارتفاع، این میزان به روش زیر محاسبه شده است. با فرض ارتفاع از سطح دریا به میزان Z_1 در نقطه مبدأ x_1 و Z_2 در نقطه مقصد x_2 ، فاصله واقعی تقریبی از طریق روابط مثلثاتی سینوس قابل محاسبه است (تصاویر ۷ و ۸).

نکته مهم دیگر برای محاسبه جریان هدایت کالا، تغییر و تنوع‌های اقلیمی در مسیر مبدأ و مقصد است. شرایط



تصویر ۸. مثلث محاسباتی اختلاف ارتفاع. مأخذ: نگارندگان.



تصویر ۹. نقشه گونه‌های اقلیمی مختلف ایران منطبق با نقشه حکمرانی دوره صفویه. مأخذ: نگارندگان برگرفته از محمدی و همکاران، ۱۳۹۶ و سحاب، ۱۳۸۳.

مبدأ به مقصد است. بنابراین، ریسک سفر (k) را می‌توان به صورت زیر محاسبه کرد (فرمول ۱):

$$k = \text{Coefficient}_k = C_{kl1} - C_{kl4} = (\text{مبدأ})_{C_{kc}} + C_{kc}(\text{مقصد}) - (C_{kc}(\text{مقصد}) + C_{kc}(\text{مبدأ}))$$

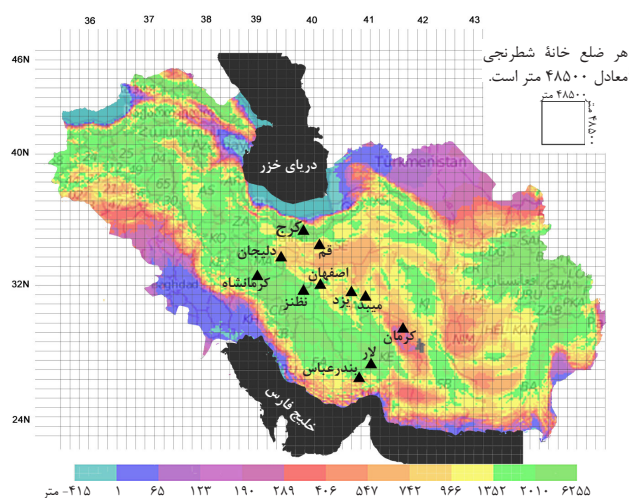
در رابطه بالا، C_{kl1} و C_{kl4} ، به ترتیب شاخص‌های مرتبط با لایه اول و چهارم و ناشی از اختلاف میان کاروان‌سراها مقصد و مبدأ است.

لایه دوم کاروان‌سراها (فضای اقامت) و لایه سوم (طویله) و هم‌زمان لایه چهارم (حیاط به‌عنوان انبار موقت کالا)، به‌عنوان معیار رونق تجارت به حساب می‌آید و تفاوت مثبت و منفی شاخص حجم لایه دوم کاروان‌سرای مبدأ و مقصد نشانگر بالا یا پایین بودن پتانسیل تجارت مقصد نسبت به مبدأ است. بنابراین، برای محاسبه پتانسیل تجاری (ΔT) می‌توان از رابطه زیر استفاده کرد (فرمول ۲):

$$\Delta T = f(T_2) - f(T_1) = \left(\sum_{\text{مقصد}} [L_2 + L_3 + L_4] \right) - \left(\sum_{\text{مبدأ}} [L_2 + L_3 + L_4] \right)$$

جدول ۱. شاخص حجم لایه‌های کاروان‌سراها مطالعه شده. مأخذ: نگارندگان.

ردیف	کاروان‌سرا	شاخص حجم لایه یک	شاخص حجم لایه دو	شاخص حجم لایه سه	شاخص حجم لایه چهار
۱	امین‌آباد	۱۱	۴۸	۸۱	۴۲
۲	بیستون	۳	۸	۱۲	۱۰
۳	خانه‌سرخ	۴	۴/۵	۱۰	۴/۵
۴	پاسنگان	۱۱	۱۹	۶۴	۴۰
۵	دودهک	۲۵	۱۲	۲۷	۲۰
۶	شاه‌عباسی کرج	۲	۶	۱۲	۶
۷	قلعه پهلوی	۱۶	۳/۵	۲۶	۳/۵
۸	شاه‌عباسی میبد	۱۰	۱۶	۲۶	۱۸
۹	شاه‌عباسی نطنز	۱۵	۲۲	۵۷	۲۷
۱۰	شیخ‌علی‌خان	۱۴	۱۳	۴۰	۲۲
۱۱	بادنی‌سه	۳	۱۶	۱۸	۳۰
۱۲	صدرآباد	۶	۱۳	۱۷	۱۴
۱۳	سنگ‌تو	۷	۳/۵	۳	۳/۵
۱۴	کوهپایه	۲۲	۱۹	۲۶	۵۳
۱۵	ماهیدشت	۱۴	۳۲	۲۰	۲۰
۱۶	مورچه‌خورت	۱۶	۴۲	۱۶	۲۸



تصویر ۷. نقشه اختلاف ارتفاع از سطح دریای ایران منطبق بر نقشه حکمرانی دوره صفویه مأخذ: نگارندگان برگرفته از سحاب، ۱۳۸۳.

سطح و سپس رابطه مثلثاتی محاسبه می‌شود. در نهایت، با در نظر گرفتن اینکه سفر شبیه‌سازی شده، در طول سفر تغییر اقلیم می‌دهد یا خیر، ضریب لازم اعمال می‌شود. این ضریب بین سه متغیر ۰/۱، ۰/۵ و ۱ است. **جدول ۲** شامل مشخصات تمام شاخص‌های مستخرج از داده‌های تولید شده است. **جدول ۳** نیز همگرایی مولفه‌های پژوهش را بررسی می‌کند. شاخص‌های تولید شده از هر کاروان‌سرا و سفرهای شبیه‌سازی شده، میزان کمی سفرها (M)، شاخص‌های چهارگانه کاروان‌سراها (L)، فاصله مثلثاتی محاسبه شده واقعی (ΔX) و نوع اراضی در **جدول ۲** عنوان و در نهایت، آهنگ رسانش سفرهای شبیه‌سازی شده (Q_M)، براساس فرمول ۳ تبیین و در **جدول ۴** درج شده است. در این فرمول، آهنگ رسانش مساوی با میزان ریسک سفر ضرب در ضریب سختی و ضرب در نتیجه تقسیم میزان پتانسیل تجاری بر فاصله واقعی میان مبدأ و مقصد است که در این فرمول، ارتباط میان ویژگی‌های کاروان‌سرا و سفر برای تحلیل پویایی تاریخی دیده می‌شود.

$$Q_{March} = kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad \text{فرمول ۳}$$

در محاسبه آهنگ رسانش سفرهای شبیه‌سازی شده، اعداد با سه رقم اعشار و به صورت حقیقی محاسبه شده است. عنوان Q_M، در واقع مخفف میزان انتقال کالا در قالب یک سفر تجاری است. اکنون باید نتایج به دست آمده از این فرمول را بررسی کرد تا توان تبیین آن برای تحلیل پویایی تاریخی مشخص شود.

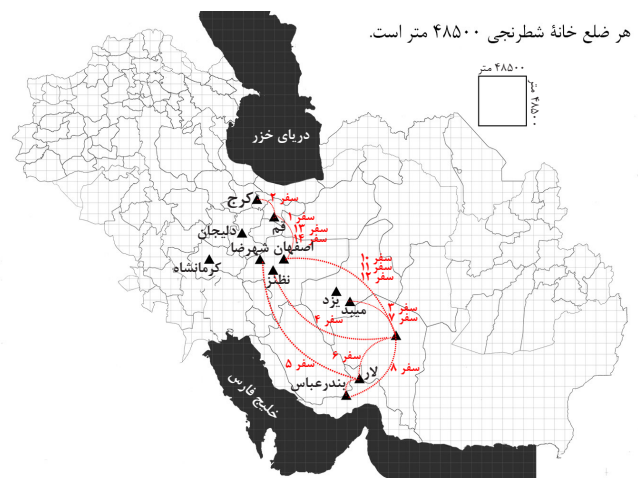
بحث و بررسی

از بین ۱۶ کاروان‌سرای مطالعه شده در دوره صفویه، سه کاروان‌سرای خانه سرخ کرمان، قلعه پهلوی لار و سنگ توی کرمان در دولایه کالبدی مشترک بودند و این اشتراک از حیث قرارگیری در اقلیم کویری نیمه خشک و استپ نیمه خشک بوده است. همه کاروان‌سراها دارای پلان حیاط مرکزی مربع یا مستطیل شکل بود و فقط کاروان‌سرای امین‌آباد دارای پلان هشت‌ضلعی بوده که نشانه کیفی دیگری مبنی بر اهمیت امنیت و رؤیت‌پذیری است. در کاروان‌سراهای سنگ‌تو و خانه سرخ کرمان، لایه دوم و چهارم یکسان بوده و نسبت به دیگر کاروان‌سراها مطالعه شده، مقیاس کوچک‌تری دارند. کاروان‌سرای صدرآباد قم نیز دارای دولایه دوم است که نشانگر حجم بالای سفرهای تجاری است. ده مورد از نمونه‌های مطالعه شده (سنگ‌تو، امین‌آباد، شاه‌عباسی، دودک، قلعه پهلوی، صدرآباد، پاسبان، خانه سرخ، مورچه خورت و کوه پایه) در درون لایه اول خود دارای برج

در رابطه بالا، $f(T_1)$ و $f(T_2)$ به ترتیب، مجموع شاخص‌های حجمی لایه‌های دوم، سوم و چهارم کاروان‌سرای مبدأ و مقصد است. ΔT نیز اختلاف این دو عدد یعنی تفاوت پتانسیل تجاری کاروان‌سرای مبدأ و مقصد خواهد بود. علاوه بر این متغیرهای درونی، آرگومان A به عنوان شرایط مسیر عبوری، معرف شرایط آب‌وهوایی و به صورت یک میزان ثابت (اقلیم مبدأ و مقصد یکسان معادل ۰/۱، تغییر اقلیمی مجاور معادل ۰/۵ و تغییر اقلیمی چندگانه معادل ۱) تعریف می‌شود. این سه سطح قادرند تا به عنوان شاخص تنوع اقلیمی در آهنگ رسانش سفر کاروان لحاظ شوند. در نهایت، با توجه به تعریف صورت گرفته از سیر کاروان به عنوان جریان هدایت حرارتی بین دو نقطه و با لحاظ شاخص‌های استخراج شده، فرمولی مشابه فرمول هدایت حرارتی به عنوان مدل تحلیل پویایی تاریخی برای این پژوهش تبیین می‌شود.

• مرحله چهارم: جمع‌بندی یافته‌ها

برای جمع‌بندی یافته‌ها که از شاخص‌های تولید شده به دست می‌آید، باید آهنگ رسانش سفر بین کاروان‌سرای مبدأ و کاروان‌سرای مقصد را محاسبه کرد. به همین منظور، ۱۴ سفر فرضی بین ۱۶ کاروان‌سرای موردی شبیه‌سازی شده است. **تصویر ۱۰**، سفرهای شبیه‌سازی شده بین کاروان‌سراهای موردی را نمایش می‌دهد. در محاسبه آهنگ رسانش سفر بین کاروان‌سراهای موردی، ابتدا شاخص‌های استخراج شده از مرحله دوم (مرحله تولید) استفاده می‌شود. این شاخص‌ها، برای محاسبه پتانسیل‌های تجاری سفر و ریسک سفر در مدل تبیین شده، استفاده خواهد شد. سپس فاصله تدقیق شده با احتساب اختلاف ارتفاع بین شهر مبدأ و شهر مقصد، براساس فاصله روی بردار



تصویر ۱۰. سفرهای شبیه‌سازی شده روی پهنه مطالعاتی. مأخذ: نگارندگان برگرفته از سبحان، ۱۳۸۳.

جدول ۲. مشخصات سفرهای شبیه‌سازی شده. مأخذ: نگارندگان.

سفر (M)	مبدا	مقصد	شاخص لایه‌های کاروان‌سرای مبدأ				شاخص لایه‌های کاروان‌سرای مقصد				فاصله مسطح (Km)	اختلاف ارتفاع (m)	زاویه °	فاصله واقعی (Km)	ضریب سختی	نوع اراضی	
			L4	L3	L2	L1	L4	L3	L2	L1							
۱	شیخ علی خان، اصفهان	پاسنگان، قم	۱۴	۱۳	۴۰	۲۲	۱۱	۱۹	۶۴	۴۰	۳۰۰	-۶۳۹	۶۵	۷۹۸	۰/۵	استپ خشک	تایگا
۲	صدرآباد، قم	شاه عباسی، کرج	۶	۱۳	۱۷	۱۴	۲	۶	۱۲	۷	۱۶۵	۳۷۶	۶۵	۴۷۰	۰/۱	تایگا	تایگا
۳	خانه سرخ، کرمان	شاه عباسی، میبد	۴	۹	۱۰	۹/۲	۱۰	۱۶	۲۸	۱۸	۴۱۳	-۶۹۰	۵۹	۱۱۵۰	۰/۱	خشک بیابانی	خشک بیابانی
۴	شاه عباسی، نطنز	سنگ‌تو، کرمان	۱۵	۲۲	۵۷	۱۷	۷	۷	۳	۷/۲	۶۹۴	۱۰۸	۸	۱۲۰	۰/۱	خشک بیابانی	خشک بیابانی
۵	امین‌آباد، شهرضا	قلعه پهلوی، لار	۱۱	۴۸	۸۱	۴۲	۱۶	۷	۲۶	۷/۲	۸۴۶	-۱۸۱۶	۶۵	۲۲۷۰	۱	استپ خشک	بیابان نیمه‌خشک
۶	قلعه پهلوی، لار	خانه سرخ، کرمان	۱۶	۳۵	۲۶	۳۵	۴	۹	۱۰	۹/۲	۴۸۹	۱۸۱۶	۷۴	۱۸۵۳	۰/۵	بیابان نیمه‌خشک	خشک بیابانی
۷	شاه عباسی، میبد	سنگ‌تو، کرمان	۱۰	۱۶	۲۶	۱۸	۷	۷	۳	۷/۲	۴۱۳	۶۹۰	۵۸	۶۹۶	۰/۱	خشک بیابانی	خشک بیابانی
۸	بادنی سه، بندرعباس	خانه سرخ، کرمان	۳	۱۶	۱۸	۳۰	۴	۹	۱۰	۹/۲	۴۸۹	۱۷۴۷	۷۴	۱۷۸۲	۰/۵	بیابان نیمه‌خشک	خشک بیابانی
۹	سنگ‌تو، کرمان	بادنی سه، بندرعباس	۷	۷	۳	۷/۲	۳	۱۶	۸	۳۰	۵۵۲	-۹۵۷	۶۰	۳۱۹۰	۰/۵	خشک بیابانی	بیابان نیمه‌خشک
۱۰	سنگ‌تو، کرمان	شیخ‌علی خان، اصفهان	۷	۷	۳	۷/۲	۱۴	۱۳	۴۰	۷۵	۶۷۱	-۱۸۹	۱۵	۲۹۰	۱	خشک بیابانی	استپ خشک
۱۱	کوهپایه، اصفهان	خانه سرخ، کرمان	۲۲	۱۹	۲۶	۵۳	۴	۹	۱۰	۹/۲	۶۷۱	۱۸۹	۱۵	۲۹۰	۰/۵	استپ خشک	خشک بیابانی
۱۲	سنگ‌تو، کرمان	کوهپایه، اصفهان	۷	۷	۳	۷/۲	۲۲	۱۹	۲۶	۵۳	۶۷۱	-۱۸۹	۱۵	۲۹۰	۰/۵	خشک بیابانی	استپ خشک
۱۳	مورچه‌خورت، اصفهان	صدرآباد، قم	۱۶	۴۲	۱۶	۲۸	۶	۱۳	۱۷	۱۴	۳۰۰	-۶۳۹	۶۶	۳۱۹۵۰	۱	استپ خشک	تایگا
۱۴	مورچه‌خورت، اصفهان	پاسنگان، قم	۱۶	۴۲	۱۶	۲۸	۱۱	۱۹	۶۴	۴۰	۳۰۰	-۶۳۹	۶۶	۳۱۹۵۰	۱	استپ خشک	تایگا

جدول ۳. میانگین و انحراف معیار شاخص‌های حجم لایه‌های مورد مطالعه. مأخذ: نگارندگان.

آماره‌های عددی	شاخص حجم لایه یک	شاخص حجم لایه دو	شاخص حجم لایه سه	شاخص حجم لایه چهار
میانگین	۱۱/۱۸۷۵	۱۷/۳۴۳۸	۲۸/۴۳۷۵	۲۱/۳۴۳۸
انحراف معیار	۶/۸۳	۱۳/۲۳	۲۱/۵۹	۱۴/۷۹
کمینه	۲	۳/۵	۳	۳/۵
بیشینه	۲۵	۴۸	۸۱	۵۳

جدول ۴. مشخصات کمی سفرهای شبیه‌سازی شده. مأخذ: نگارندگان.

سفر (M)	پتانسیل تجاری (AT)	فاصله واقعی (AX)	ضریب سختی (A)	ریسک سفر (k)	آهنگ رسانش (Q)
۱	۴۸	۷۹۸	۰/۵	۳	۰/۰۴۵۱
۲	-۱۹	۴۷۰	۰/۱	۴	-۰/۴۴۴
۳	۴۳	۱۱۵۰	۰/۱	۶	۰/۷۲۹
۴	-۸۶	۱۲۰	۰/۱	۸	-۱۲/۸۹
۵	-۱۳۸	۲۲۷۰	۱	۵	-۳/۶۴۷
۶	-۴۲	۱۸۳۵	۰/۵	۱۲	-۰/۲۸۳
۷	-۵۰	۶۹۶	۰/۱	۳	-۱/۲۵۷
۸	-۴۵	۴۷۸۲	۰/۵	۱	-۰/۳۰۹
۹	۴۴	۳۱۹۰	۰/۵	۴	۰/۱۵۵
۱۰	۶۳	۲۹۰	۱	۷	۱۱/۴۳
۱۱	-۷۹	۲۹۰	۰/۵	۱۸	-۹/۰۵۷
۱۲	۸۸	۲۹۰	۰/۵	۱۵	۸/۴۵۱
۱۳	-۴۲	۳۱۹۵۰	۱	۱۰	-۰/۰۶۳
۱۴	۳۷	۳۱۹۵۰	۱	۵	۰/۰۱۶

جدول ۵. همگرایی مؤلفه‌های مدل سفرهای شبیه‌سازی شده. مأخذ: نگارندگان.

مؤلفه‌ها	پتانسیل تجاری (AT)	فاصله واقعی (AX)	ضریب سختی (A)	L1	L2	L3	L4
پتانسیل تجاری (AT)	۱	-	-	-	-	-	-
فاصله واقعی (AX)	۰/۹۲۸	۱	-	-	-	-	-
ضریب سختی (A)	۰/۰۳۱	۰/۴۷۱	۱	-	-	-	-
L1	۰/۸۲۹	-۰/۱۴۶	۰/۰۲۳	۱	-	-	-
L2	۰/۵۴۳	۰/۱۴۲	۰/۱۸۸	۰/۳۴۶	۱	-	-
L3	-۰/۰۸۶	۰/۱۵۷	۰/۳۲۹	۰/۳۲۴	۰/۷۰۹	۱	-
L4	۰/۸۲۹	-۰/۱۸۶	۰/۰۲۳	۰/۵۳۳	۰/۶۴۰	۰/۷۹۰	۱

کالبدی است و رابطه مثبت و معنادار میان حیات، فضای سکونت و طولیله را نشان می‌دهد. روابط همگرایی نشانگر آن است که مدل توانسته بین متغیرهای درونی و برونی ارتباط برقرار کند. آهنگ رسانش سفر در سفرهای شبیه‌سازی شده در محدوده ۱۲- الی ۱۲+ قرار می‌گیرد. (سفر با مبدأ کاروان‌سرای شاه عباسی نطنز به مقصد کاروان‌سرای سنگ‌توی کرمان) (سفر با مبدأ کاروان‌سرای کوه‌پایه اصفهان به مقصد کاروان‌سرای خانه سرخ کرمان) رسانش منفی بالایی دارند و برعکس، (سفر با مبدأ کاروان‌سرای سنگ‌توی کرمان به مقصد کاروان‌سرای شیخ‌علی‌خان اصفهان) (سفر با مبدأ کاروان‌سرای سنگ‌توی کرمان به مقصد کاروان‌سرای کوه‌پایه اصفهان) بالاترین رسانش را دارند و این بر روی مسیرهای تاریخی این دوره منطبق است که دو مسیر مشخص شده، دارای اهمیت بیشتری در دوره صفوی بوده‌اند (تصویر ۱۱). این بررسی به این معناست که مدل حاضر قادر است تا تبیینی از ساختار کاروان‌سراها و ارتباط آنها با روابط تجاری و محیطی آن دوره را ارائه کند. علاوه بر تبیین معادله مزبور، نتایج نشان می‌دهد که شهر اصفهان به‌عنوان مقصد بالقوه برای سفرهای تجاری از حیث جنس و کالای تجاری، عرصه اقلیمی پیمایشی و فاصله جابه‌جایی در سفرها بوده و شهر

دیده‌بانی هستند. شاخص حجم لایه اول کاروان‌سراها با انحراف معیار بسیار کمی یکسان است و تنها در دو مورد کاروان‌سرای دودک دلجان و کوه‌پایه اصفهان افزایش یافته که نشانگر نقاط نیازمند امنیت به دلیل عوامل بیرونی است. شاخص حجم لایه دوم، بیانگر رونق تجارت و امنیت پایدار بوده است. کاروان‌سراهای امین‌آباد، ماهی‌دشت و مورچه‌خورت بالاترین میزان شاخص را دارند و نشان‌دهنده اهمیت تجاری راه‌های منتهی به آنها است. شاخص لایه سوم یا طولیله، یک شاخص دارای نوسان زیاد است و نشان می‌دهد که علاوه بر متغیر تجارت، متغیرهایی مانند اقلیم نیز بر آن مؤثر است. کاروان‌سرای امین‌آباد و پاسنگان قم بیشترین حجم این لایه را دارند. لایه چهارم هم‌زمان تحت‌تأثیر اقلیم و تجارت است و بیشترین میزان آن در سه کاروان‌سرای امین‌آباد، کوه‌پایه و پاسنگان دیده می‌شود. اما در مورد یافته‌های کمی شبیه‌سازی شده توسط مدل که براساس اولویت مسیرهای پرتردد انجام شده، جدول ۵، همگرایی میان مؤلفه‌های مدل را نشان می‌دهد. پتانسیل تجاری با فاصله تجاری رابطه منفی و معنادار دارد، در حالی که پتانسیل تجاری با لایه امنیت و با بزرگی لایه حیات ارتباط مثبت و معنی‌دار دارد و در بین لایه‌های کاروان‌سرا نیز روابطی وجود دارد که نشانگر ساختار

است. این مدل ریاضیاتی، با انطباق مؤلفه‌های حاکم بر سختی سفر و معیارهای حاکم بر طراحی کالبدی کاروان‌سراها با شبیه‌سازی مجموعه‌ای از سفرها بین ۱۶ کاروان‌سرای موردی دوره صفویه، بررسی شده است. ارزیابی‌های صورت گرفته در مراحل پژوهش، با فرمول ریاضیاتی زیر انجام گرفته است که ویژگی‌های اصلی سفرهای تجاری از جمله ریسک سفر، فاصله مبدأ و مقصد، ناهمواری‌های اقلیمی در سفر، اختلاف ارتفاع بین مبدأ و مقصد سفر، پتانسیل‌های تجاری بین مبدأ و مقصد سفر، با لحاظ ویژگی‌های کالبدی کاروان‌سراها در قالب لایه‌بندی‌های چهار گانه (لایه اول: لایه امنیتی، لایه دوم: لایه اقامتی، لایه سوم: اصطیل‌ها و لایه چهارم: محل انبار کالا) مورد توجه بوده و استخراج تمام داده‌ها جهت بررسی با فرمول، از شاخص‌های عددی مربوط به این چهار لایه در کاروان‌سراها است.

$$Q_M = kA \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

روش مطالعه مشابه پژوهش، روش ریاضی بررسی جاده ابریشم (Malkov, 2014) است که فرضیه ریاضی خود در مورد معادله جریان هدایت کالا در مسیر جاده ابریشم از شرق تا غرب آسیا را طراحی و برای سنجش اطمینان، مدل آن را با بررسی سفرهای مارکوپولو تبیین کرده است. در حالی که این پژوهش به بررسی آهنگ رسانش سفرها در محدوده جغرافیایی حکومت صفویه می‌پردازد و برای صحت‌سنجی نیز از مشخصات کالبدی کاروان‌سراها بهره می‌گیرد. در طول مراحل مطالعاتی این پژوهش، شروطی برای افزایش همه شمولی، کیفیت سنجی، دقت‌سنجی و صحت‌سنجی به اجرا گذاشته شد که این شروط برقرار شد. با این وجود، تأثیر فضاهای کالبدی در کاربرد مطالعات حوزه علوم اجتماعی- محاسباتی در زمینه‌های مطالعاتی حول محور کاروان‌سراها برون‌شهری، نیازمند توسعه این پژوهش است تا بتواند مدل‌های تبیینی بهتر و راهکارهای اجرایی‌تری را پدید آورد و این امر از طریق توسعه پژوهش‌های آتی ممکن خواهد شد.



تصویر ۱۱. نمودار شبیه‌سازی از ۱۴ سفر فرضی بین کاروان‌سراها. مأخذ: نگارندگان.

کرمان مبدأ مناسب برای سفرهای تجاری با مقصد اصفهان بوده است. سفرهای شبیه‌سازی شده به سمت شهرهای جنوبی و حاشیه خلیج فارس نشان می‌دهد که شهرهای مرکز ایران و شهرهای حاشیه خلیج فارس، مسیرهایی بالقوه برای تجار بوده‌اند که این مسئله به دلیل توسعه جاده ابریشم دریایی در محدوده خلیج فارس و آب‌های آزاد جنوب ایران بوده است که در اواخر دوره حکمرانی صفویه رواج پیدا کرده بود و در کنار مسیرهای قدیمی‌تر از سمت کرمان در این دوره ایجاد شده است. مسیرهای بعدی به سمت شهرهای شمال غربی و شمال شرقی پهنه مطالعاتی بوده است. بررسی حجم لایه‌های دوم و چهارم (لایه‌های معرف پتانسیل تجاری سفر) کاروان‌سراهای شهر اصفهان و سایر شهرها که مبدأ تجاری برای اصفهان بوده‌اند، پتانسیل بالای شهر اصفهان برای سفرهای تجاری را نشان می‌دهند و آهنگ رسانش بسیار بالایی دارند که نشانگر رونق بالای تجاری شهر اصفهان در دوره صفوی است و پژوهش‌های داخلی و خارجی نیز بر این مسئله صحت می‌گذارند. چراکه اصفهان آبادترین روزگار را در دوران حکومت صفویه داشته است.

نتیجه‌گیری

باتوجه به هدف پژوهش که در صدد ارائه مدلی برای تبیین رابطه میان ساختار کالبدی و مؤلفه‌های مختلف حاکم بر رونق و سیر تجاری است، یک معادله پویا، برگرفته از دانش ترمودینامیک در مورد آهنگ رسانش حرارتی، ارائه شده

پی‌نوشت‌ها

۱. Moratoria
۲. Cliodynamic
۳. PeterTurchin
۴. Maxime Siroux
۵. Arthur Upham Pope
۶. Andre Godard
۷. Robert Hillenbrand
۸. Jermy Bently
۹. Typology

فهرست منابع

۱۰. این محدوده شامل مرزهای دولت آق‌قویونلو پیش از تجزیه و انقراض، مرزهای تقریبی خانان عمده در اوایل قرن دهم هجری قمری، سرزمین‌های تحت نفوذ شیوخ اردبیل از دهه ۹۸۰ هجری قمری، فتوحات صفویه در سال‌های ۹۱۰، ۹۱۶ و ۱۰۰۸ هجری قمری، فتوحات صفویه در سال ۹۶۳ هجری قمری در مرز غربی و سرزمین‌هایی است که بعد از ۱۰۵۹ هجری قمری به تصرف صفویه درآمده است.
۱۱. 3d Max 2021V.3
۱۲. Volume analysis
۱۳. Rhinoceros V.7
۱۴. Photoshop V.2021

- امیدواری، سمیه و باصولی، مهدی. (۱۴۰۰). تحلیلی بر گونه‌شناسی شکلی حیاط‌های گودال باغچه در فلات مرکزی ایران؛ مطالعه موردی: خانه‌های سنتی یزد. *مطالعات شهر ایرانی/اسلامی*، ۱۲(۴۴)، ۲۹-۴۶.
- باصولی، مهدی و درخش، سعیده. (۱۴۰۰). بررسی کارکردهای کاروان‌سراهای ایرانی با رویکردی منظرین. *منظر*، ۱۳(۵۴)، ۲۸-۳۷. <https://doi.org/10.22034/MANZAR.2020.228329.2062>
- بی‌مکر، فرزانه و باوندیان، علیرضا. (۱۳۹۸، ۳۰ مرداد). *تحلیل نقش رسانه‌ای کاروان‌سرا از منظر آرا مارشال مک لوهان*. دومین کنفرانس بین‌المللی عمران، معماری و مدیریت توسعه شهری در ایران، تهران.
- پوپ، آرتور آپهام. (۱۳۹۹). *شاهکارهای هنر ایران* (ترجمه پرویز ناتل خانلری). علمی و فرهنگی.
- پورمحمد، شهراد. (۱۳۹۲، آذر). *بررسی تأثیر شناختی علل و عوامل متفاوت در شکل‌گیری و ساماندهی کاروان‌سراهای ایران*. همایش ملی معماری و شهرسازی انسان‌گرا، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین، ایران.
- پیرنیا، محمدکریم و معماریان، غلامحسین. (۱۳۹۵). *سبک‌شناسی معماری ایرانی* (ویرایش علی‌محمد رنجبر کرمانی؛ ویرایش دوم). غلامحسین معماریان.
- تاجدار، گلنار، سروشینی، سهراب، شافعی، بیژن و دانیل، ویکتور. (۱۳۹۵). *معماری آندره گدار: مجموعه معماری دوران تحول در ایران* (ترجمه سهیلا قاسمی). ویکتور دانیل.
- جانسون، پل آلن. (۱۳۸۴). *نسبت نظریه معماری با تاریخ* (ترجمه حمیدرضا خوئی)، گلستان هنر. (۱)، ۶۹-۷۳.
- حاجی‌قاسمی، کامبیز؛ فرجو، غزال؛ شهنواز، آرش؛ خرم، بابک؛ صابونیان‌یزد، مهدی؛ موسوی‌روضاتی، مریم‌دخت؛ رسولی، جلیل؛ نوربخش، هدیه؛ جلیلیان، شهلا و زرینی، حسین. (۱۳۸۳). *گنجنامه: فرهنگ آثار معماری اسلامی ایران: کاروان‌سراها* (جلد ۱۷). دانشگاه شهید بهشتی؛ روزنه.
- حیاتی، حامد؛ رحمت‌نیا، علیرضا و کاوری‌زاده، حسین. (۱۳۹۸). *گونه‌شناسی معماری مدارس سنتی با تأکید بر تأثیر سیاست‌های آموزشی مطالعه موردی: دوره صفویه*. *باغ نظر*، ۱۶(۸۱)، ۶۳-۸۴. <https://doi.org/10.22034/bagh.2019.141198.3691>
- دانیل، ویکتور و تاجدار، گلنار. (۱۴۰۰). *معماری ماکسیم سیرو. رهسپاران*.
- رحیم‌پور، شهذخت. (۱۳۹۴). *بررسی جایگاه اسب از اسطوره تا تداوم نقش آن بر فرش*. *نگارینه هنر اسلامی*، ۲(۶)، ۲۱-۳۶. <https://doi.org/10.22077/nia.2015.564>
- سحاب، عباس (ویراستار). (۱۳۸۳). *مجموعه نقشه‌های تاریخی ایران*. سحاب.

- شاه تیموری، یلدا؛ مظاہریان، حامد و حناچی، پیروز. (۱۳۹۰). *ساختارهای جدید واسطه پیوند میان گذشته و آینده*. (طراحی در مجاورت آب انبار سردار و حمام راه ری در شهر قزوین). *هفت شهر*، ۳(۳۷ و ۳۸)، ۴۰-۵۵.
- شعبانی، یحیی. (۱۳۹۸). *درآمدی بر علوم اجتماعی محاسباتی*. پژوهشگاه مرکز ملی فضای مجازی؛ گروه مطالعات فرهنگی و اجتماعی.
- شیبانی، ملیحه و عرب‌پور، الهام. (۱۳۹۴). *گردشگری، سفر خاطره‌انگیز و ابعاد نظام شخصیت*. *پژوهش‌های جامعه‌شناسی معاصر*، ۴(۷)، ۱-۲۷.
- صدبرنجی، شینا. (۱۳۹۶). *گونه‌شناسی فضاهای باز عمومی مدینه در دو شهر فاس و مکناس*. *هنر و تمدن شرق*، ۵(۱۷)، ۳-۱۴.
- طبسی، محسن و ناصری ازغندی، حسن. (۱۳۹۹). *مطالعه تحلیلی شاخصه‌های کلیدی دفاع غیرعامل در معماری کاروان‌سراهای عصر صفوی*. *معماری اقلیم گرم و خشک*، ۸(۱۱)، ۳۰۵-۳۲۹.
- فاضلی، محمدتقی. (۱۳۹۰). *جاده ابریشم و نقش ایران به عنوان عامل ارتباط غرب و شرق در دوران باستان*. *پژوهش‌نامه تاریخ*، ۷(۲۵)، ۱-۱۶.
- فرشچی، حمیدرضا و حاجی زمانی، مهدی. (۱۳۹۸). *بررسی کاروان‌سراهای ایران و بناهای وابسته به آن*. *معماری شناسی*، ۲(۷)، ۱۱-۲۳.
- قبادیان، وحید. (۱۳۹۲). *تحلیل اقلیمی ساختمان‌های پایدار سنتی در ایران*. دانشگاه تهران.
- کاویان، مجتبی؛ غلامی، غلامحسین. (۱۳۹۵). *بررسی سیر تحول معماری کاروان‌سراهای حیاط دار مرکز ایران*. *اثر*، ۲۷(۷۵)، ۴۹-۶۶.
- کوهستانی، حسین، ملکی، هومن، موفق، محمدحسین و ناصر قرایی، محسن. (۱۳۹۶). *ساختار امنیتی کاروان‌سراهای دوره صفویه*. *مطالعات تاریخ انتظامی*، ۴(۱۲)، ۶۷-۸۲.
- محمدی، بختیار؛ محمدخانی، پروین و قلی‌زاده، محمدحسین. (۱۳۹۶). *تهیه نقشه زیست اقلیم ایران با استفاده از شاخص میانگین رای پیش‌بینی شده*. *تحقیقات جغرافیایی*، ۲(۳۲)، ۲۱-۳۹. <https://doi.org/10.18869/acadpub.geores.32.2.21>
- محمدیان منصور، صاحب و فرامرزی، سینا. (۱۳۹۰). *گونه‌شناسی و تدوین ساختار هندسی کاربردی در معماری ایران*. *هنرهای زیبا*، ۳(۴)، ۸۱-۹۶.
- مشهدی، علی و امین پور، احمد. (۱۳۹۶). *تدوین فرایند و شاخص‌های مؤثر بر گونه‌شناسی معماری با معیار ویژگی‌های ترکیب‌بندی (نمونه موردی: بناهای تاریخی شهر اراک)*. *مدیریت شهری*، ۱۶(۴۸)، ۱۷۳-۱۸۶.
- معماریان، غلامحسین و دهقانی تفتی، محسن. (۱۳۹۷). *در*

Mahoney & D. Rueschemeyer (Eds.), *Comparative Historical Analysis in the Social Sciences*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511803963.003>

- Komlos, J. (2009). *How useful is anthropometric history?* [Munich Discussion Paper No. 2009/6], Department of Economics, University of Munich. <https://doi.org/10.5282/ubm/epub.10587>
- Korotayev, A., & Malkov, S. (2012). *A Compact Mathematical Model of the World System Economic and Demographic Growth, 1 CE – 1973 CE*. arXiv. <https://arxiv.org/abs/1206.0496>
- Malkov, Artemy S. (2014). The Silk Roads: a Mathematical Model. *Cliodynamics*, 5(1), 4-22. <https://doi.org/10.21237/C7CLIO5125309>
- Shahamipour, A. (2013). The role of climate in shaping Iranian markets proportions comparison of Tabriz and Esfahan Bazaar. *Life Science Journal*, 10(5s).
- Tucker, J. (2015). *The Silk Road: Central Asia, Afghanistan and Iran: A Travel Companion*. Bloomsbury Academic. <https://doi.org/10.5040/9780755652389>
- Turchin, P. B. (2003). *Complex population dynamics: A Theoretical, Empirical synthesis*. Princeton University Press. <https://doi.org/10.1515/9781400847280>.
- Turchin, P., & Nefedov, S. A. (2009). *Secular cycles*. Princeton University Press.
- Turchin, P. (2008). Arise 'cliodynamics'. *NATURE*, 454(3), 34-35.

- جستجوی معنایی نو برای مفهوم گونه و گونه‌شناسی در معماری (مطالعه موردی: خانه گونه تالاردار شهر تفت). مسکن و محیط روستا، ۳۷(۱۶۲)، ۲۱-۳۸. <https://doi.org/10.22034/37.162.21>
- معماریان، غلامحسین. (۱۳۹۳). مبنای طراحی معماری. نغمه نواندیش.
 - مورن، ادگار. (۱۳۹۴). درآمدی بر اندیشه پیچیده (ترجمه افشین جهاننیده). نی.
 - میرزاعلی، محمد و رزمی، حمیدرضا. (۱۳۹۵). واکاوی مفهوم سکونت در فرهنگ و معماری ایرانی و اسلامی. سومین کنفرانس بین المللی پژوهش در علوم و تکنولوژی، برلین، آلمان.
 - میرسجادی، سیدامیر و فرکیش، هیرو. (۱۳۹۵). ارزیابی الگوها و شناخت فاکتورهای کالبدی تأثیرگذار در معماری خانه‌های تاریخی نیشابور جهت دستیابی به راهکارهای طراحی و الگوی ساخت منازل در بافت مسکونی سنتی. پژوهش‌های معماری اسلامی، ۴(۴)، ۷۲-۹۲.
 - نقره‌کار، سلمنا؛ زارعی حاجی‌آبادی، فاطمه؛ محمد گنجی، فاطمه و دانایی‌نیا، احمد. (۱۳۹۷). خواندن معماری، چیستی، چرایی و چگونگی: در جستجوی مدلی برای آشنایی با تاریخ معماری ایران و نقش آن در سپهر معماری. فرهنگ معماری و شهرسازی اسلامی، ۴(۱)، ۶۹-۸۳. <https://doi.org/10.29252/ciauj.4.1.69>
 - هیلان برند، رابرت. (۱۳۹۴). معماری اسلامی: شکل، کارکرد، معنی (ترجمه باقر آیت‌الله‌زاده شیرازی). روزنه.
 - یوسف‌نیا، زهرا. (۱۳۹۳). بررسی عوامل بالندگی اقتصادی ایران در عصر شاه عباس اول صفوی. *تاریخنامه خوارزمی*، ۲(۶)، ۱۴۱-۱۶۴.
 - Collins, R. (1999). *Macro history: essays in sociology of the long run*. Stanford University Press.
 - Goldstone, J. (2003). Comparative Historical Analysis and Knowledge Accumulation in the Study of Revolutions. In J.

COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the Bagh-e Nazar Journal. This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



نحوه ارجاع به این مقاله:
حسینی، زهرا؛ افهمی، رضا و صابرنژاد، زاله. (۱۴۰۳). تبیین مدل تحلیل پویایی تاریخی سفرهای تجاری با تمرکز بر کاروان‌سراهای دوره صفویه. *باغ نظر*، ۲۱(۱۳۰)، ۵-۱۸.

DOI: 10.22034/BAGH.2023.390051.5351
URL: https://www.bagh-sj.com/article_188116.html

