فصلنامه علمی مرمت و معماری ایران
سال دوازدهم، شماره سی و یکم، پاییز ۱۴۰۱

نوع مقاله: پژوهشی
دریافت مقاله: ۰۳۱۳۹۹/۱۶
پذیرش مقاله: ۰۹۱۴۰۰/۰۳
صفحات: ۱۷-۱
10.29252/mmi.997.14000903

ارزیابی نقش تحولات عملکردی و کالبدی بر کیفیت روابط فضایی در خانه‌های دوره قاجار (نمونه پژوهشی: تبریز)

علی‌اکبر حیدری* مریم کیایی**

چکیده

خانه از جمله کاربری‌هایی است که پیکره‌بندی آن در دوره قاجار دستخوش تغییرات زیادی شده است. لذا نظر به تغییر در نظام کالبدی خانه، چنین به نظر می‌رسد که روابط عملکردی آن نیز باید شاهد تغییرات زیادی باشند که این امر زمینه پرداختن به موضوع را در پژوهش حاضر فراهم آورده است. از این‌رو، هدف این پژوهش، بررسی تحولات انجام‌گرفته در ساختار کالبدی- فضایی معماری خانه در طول دوره قاجار و ارزیابی این تغییرات بر نظام عملکردی فضاهای مختلف خانه در این دوران است. بر همین اساس، ۹ خانه در تبریز متعلق به دوره قاجار به‌عنوان نمونه‌های پژوهشی به منظور بررسی انتخاب شدند. تحلیل ساختار فضایی- عملکردی خانه‌ها با استفاده از تکنیک نحو فضا انجام گرفته که در این ارتباط، از روابط ریاضی نحوی و همچنین نرم‌افزارهای دپث‌مپ و پلاگین سینتکتیک در گرس‌هاپر به منظور تحلیل داده‌ها استفاده شده است. نتایج تحقیق حاکی از آن بودند که با گذشت زمان و تغییر در نظام کالبدی خانه در طول دوره قاجار، علی‌رغم تغییر شکلی و مکانی در برخی عناصر و کاربری‌های موجود در خانه، در نظام عملکردی آن تغییرات چندانی حادث نشده‌اند. به‌عبارتی‌دیگر، "روابط فضایی" به‌عنوان زیرمجموعه روابط عملکردی، با تحولات کالبدی فضا، تغییرات چندانی را به خود نمی‌بینند.

کلیدواژه‌ها: روابط فضایی، خانه، دوره قاجار، نحو فضا، تبریز

* استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه یاسوج. Aliakbarheidari.iust@gmail.com
** دکتری معماری، مدرس مدعو گروه معماری و شهرسازی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین. maryam_20k@yahoo.com

مقدمه

سکونتگاه‌های انسانی در طول تاریخ و بسته به شرایط اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی ساکنین آنها همواره دستخوش تغییر و دگرگونی‌های فراوانی بوده‌اند. این تحولات هم در سطوح خرد و هم در سطوح کلان، ساختار فضایی- کالبدی خانه‌ها را دچار تغییر می‌نمودند و عموماً در جهتی سازمان‌دهی می‌شدند که بیشترین هماهنگی را با نیازهای انسانی اعم از فعالیت‌های روزمره و نیازهای معنوی و زیبایی‌شناختی آنها داشته باشند. یکی از مهم‌ترین اثرات این تحولات، تغییراتی است که بر روابط فضایی میان عناصر و اجزای خانه به‌وجود آمده‌اند. این تغییرات، نظام فعالیتی افراد در فضاهای مختلف خانه را نیز دچار تغییر نموده‌اند؛ به‌نحوی که با عوض شدن میزان فعالیت اختصاص‌یافته به فضا و همچنین حذف و یا اضافه شدن برخی از این فعالیت‌ها، کیفیت ارتباطات فضایی میان سایر اجزای خانه نیز تحت تأثیر قرار می‌گرفت. این موضوع بر عملکرد کلی خانه مؤثر بوده و در برخی موارد، به ایجاد روابط عملکردی جدیدی منجر می‌شد.

سلسله قاجار، یکی از ادوار تاریخی حاکمیت سیاسی ایران است که طی سال‌های ۱۱۷۴ تا ۱۳۰۴ بر ایران حکومت داشت. مهم‌ترین خصیصه این سلسله، گسترش دامنه ارتباطات کشور با دنیای خارج از جمله غرب بود که به موجب آن، ابعاد فرهنگی و اجتماعی زندگی غربی در سطح وسیعی وارد کشور شدند. این امر، زمینه شکل‌گیری تحولات گسترده‌ای در سطوح مختلف اجتماعی، اقتصادی و سیاسی حاکم بر ایران آن دوران را فراهم آورد؛ به صورتی که حتی معماری و شهرسازی نیز از این تحولات بی‌نصیب نمانده و این تأثیرپذیری تا جایی پیش رفت که در مجامع علمی، از شکل‌گیری مفهومی با عنوان سبک التقاطی به منظور معرفی معماری و شهرسازی یاد شد (قبادیان، ۱۳۹۳: ۹۵-۹۲). در مقاله حاضر، تاریخ معماری در طول حاکمیت سلسله قاجار بر ایران در سه دوره بررسی شده که شامل؛ اوایل دوره قاجار، اواسط قاجار و اواخر قاجار است. اوایل قاجار از زمان شروع حکومت قاجار تا دوران ناصری است که در این دوران، نظام فضایی معماری کماکان تابع اصول سنتی معماری ایرانی- اسلامی روزگار پیش از خود بود. اواسط قاجار، مقارن با حکومت ناصرالدین‌شاه بود که در آن، تأثیرگذاری غرب بر معماری ایرانی آغاز شده و به موجب آن، ابعاد اولیه تجددخواهی در معماری ایرانی ظهور یافتند. در نهایت، دوران اواخر قاجار (دوره محمدشاه و احمدشاه در حدود بیست سال آخر دوره قاجار) است که در این دوران، تجددخواهی در ابعاد مختلف زندگی شهری به‌ویژه معماری آن روزگار به صورت کامل نمود یافت و شکل معماری با آنچه پیش از آن بود، تفاوت‌های چشمگیری پیدا کرد. در این سه دوره و به موجب نفوذ این گرایش (تجددخواهی)، ساختار کالبدی- فضایی معماری به‌ویژه خانه‌های ساخته‌شده در آن دوران دچار تغییرات اساسی و محسوسی شد؛ به‌نحوی که شرایط جدید، بر "نظام عملکردی" خانه‌ها نیز اعمال شده و تحولاتی را نیز در آن به وجود آوردند. به همین علت، پژوهش حاضر در پی بررسی این تحولات و تأثیر آنها بر ابعاد کالبدی- عملکردی خانه در طول تغییرات صورت‌گرفته برآمده است. لذا هدف این پژوهش، بررسی تحولات کالبدی خانه در دوره قاجار و ارزیابی تأثیر این تحولات بر کیفیت "روابط فضایی" در سطح خانه‌های ساخته‌شده در شهر تبریز است. علت انتخاب شهر تبریز به‌عنوان بستر مکانی تحقیق، اهمیت این شهر در نظام سیاسی دوره قاجار به‌عنوان شهر ولیعهدنشین و دومین شهر بعد از پایتخت است که بیشترین تحولات را از تغییرات صورت‌گرفته در آن دوران بعد از پایتخت به خود دیده است. با این اوصاف، سؤال تحقیق حاضر به این صورت قابل ذکر است که در طول ادوار مختلف حکومت قاجار، کیفیات کالبدی و به موجب آنها روابط میان فضاهای مختلف خانه چگونه تغییر نموده‌اند؟

ادبیات و مبانی نظری پژوهش

در بخش حاضر، ابتدا تحولات مسکن و دلایل بروز این تحولات در خانه‌های قاجاری به صورت کلی مورد بررسی قرار می‌گیرند و سپس در ادامه به‌طور خاص، به موضوع مسکن در شهر تبریز پرداخته خواهد شد.

عوامل مؤثر بر تحولات مسکن در دوره قاجار

سکونتگاه‌های انسانی در طول زمان همواره دچار تغییرات انکارناپذیری شده‌اند که این موضوع خود تحت تأثیر عوامل و شرایط گوناگونی به‌وجود آمده است. تأثیر عوامل کالبدی- عملکردی در کنار فاکتورهایی نظیر اقلیم، فن‌آوری ساختمان، مصالح بومی و ... بر شکل‌دهی به ساختار فضایی خانه، موضوعی غیرقابل انکار است و در برخی مواقع به‌طور کلی چیدمان انواع اندام‌های خانه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. خانه به‌عنوان اولین ساخته دست بشر است که به موجب خلق و در ادامه آن، بناهایی نظیر؛ مسجد، مدرسه، معبد، قصر و نظایر آن نیز به‌وجود آمده‌اند و این موضوع، اهمیت پرداختن به آن را بیش از پیش نمایان می‌سازد (Mustafa, 1983; Pollock, 2004). زمانی که به واسطه روابط جدید در خانه‌ها، عنصر جدیدی اضافه و یا از آن کم می‌شود، روابط جدیدی میان

اجزای موجود در آن شکل می‌گیرند که این امر منجر به تکامل، تغییر و یا حذف برخی فعالیت‌های مرتبط با تعدادی از فضاهای دیگر می‌شود (Mustafa, 2014: 64). این تغییرات گاه به صورت ناخودآگاه و تصادفی (مانند برخی از تغییرات که به صورت تدریجی و در طول زمان به وقوع پیوسته و بعضاً دلیل موجهی برای ایجاد آنها در خانه‌ها وجود ندارد و به نظر می‌رسد که احتمالاً وجود آنها به‌گونه‌ای تصادفی باشد؛ مانند ارتفاع زیاد پله‌ها در خانه‌های سنتی) و گاه نیز به صورت خودآگاه و از پیش طراحی‌شده به‌وجود می‌آیند. تحولات ناخودآگاه به صورت تدریجی و در طول زمانی نسبتاً طولانی شکل می‌گیرند و به دلیل تکامل تدریجی آنها با سرعت کم، معمولاً با مقاومت مردم حتی در جوامع سنتی نیز مواجه نمی‌شوند. این موضوع در نهایت، به سازگاری مردم با این نوع تحولات ختم می‌شود. در مقابل، تغییرات خودآگاه معمولاً به صورت ناگهانی رخ می‌نمایند و این موضوع گاهی با موضع‌گیری‌هایی از سوی بخش‌هایی از مردم (به‌ویژه در جوامع سنتی) همراه است که این امر در نهایت، به شکل تقابل با تغییرات صورت‌گرفته نمود می‌یابد (Al-Haiali & Al-Tayib, 2006) (تصویر ۱).

در دوره قاجار، تغییراتی در اوضاع اجتماعی و فرهنگی شهرهایی از جمله تهران و تبریز به‌ویژه پس از اولین سفر ناصرالدین‌شاه به اروپا شکل گرفتند. این سفر که به تشویق میرزا حسین خان مشیرالدوله (صدر اعظم ناصرالدین‌شاه قاجار) صورت گرفت، منجر به شکل‌گیری تغییراتی در برخی آداب و رفتار افراد دربار و آشنایی مختصر آنها با شیوه‌های زندگی غربی شد. ورود ماشین و تراموا و ساختن کاخ‌ها و آمفی‌تئاتر به سبک و اسلوب غربی و تغییر لباس مردان و زنان، از جمله تغییرات یادشده بود که بعدها در سطح جامعه نیز نمود یافتند (نجمی، ۱۳۷۵: ۳۴۱ و ۳۴۲). در عین حال در همان دوران و مقارن با این گرایش‌ها، نقدهایی نیز در رابطه با افراطی‌گری در گرایش به فرهنگ غربی صورت می‌گرفتند که از جمله آنها می‌توان به دست‌نوشته عین‌السلطنه در این خصوص اشاره نمود:

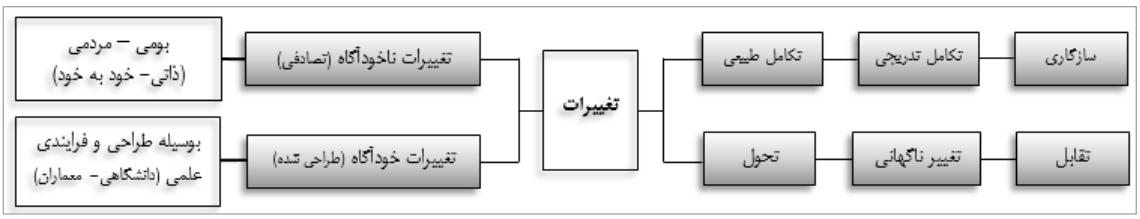
[«هر چه افعال بی‌معنی فرنگی‌ها بوده آموخته‌ایم، هر چه صنایع و قانون‌های خو داشته‌اند کنار گذاشته ابداً ملاحظه نکرده‌ایم. از گرایشات به فرهنگ غرب می‌توان به عصا دست گرفتن، عینک گذاشتن، پیراهن و دستمال‌گردن پوشیدن و بستن، سیگار کشیدن، تند تند حرف زدن، سر و دست در وقت تکلم جنباندن را یاد گرفته‌ایم. دیگر آن چیزهای خوب را یاد نگرفته‌ایم و در حقیقت همین کارها کفایت می‌کند. دو مدرسه داریم، سی سال است همان شاگردهای روز اول هنوز درس می‌خوانند و دو نفرشان صاحب کمال نشده‌اند...» (عین‌السلطنه، ۱۳۷۴: ۵۵۱ و ۵۵۲).]

تأثیر این تحولات فرهنگی بر ساختار معماری در قالب تغییراتی در ساختار فضایی معماری خانه‌های آن دوران پدیدار شد که در ادامه مورد بررسی قرار می‌گیرد.

بررسی تحولات مسکن تبریز در دوره قاجار

در میان آثار به‌جای‌مانده از دوره قاجار، مسکن به‌جامانده از آن دوران، کمتر از دیگر آثار مورد نقد قرار گرفته است؛ این در حالی است که خانه‌های قاجاری ساخته‌شده در شهرهای کاشان، یزد و ... همواره به‌عنوان نمونه‌های خوب از معماری خانه مورد اشاره قرار گرفته‌اند (پیرنیا، ۱۳۸۴: ۱۶۷). از سویی دیگر، میراث قاجاری تبریز در ارتباط با معماری خانه در این شهر، موضوعی است که به نسبت کمتر در محافل دانشگاهی ایران مطرح شده و همچنین به دلایلی، بیشتر در معرض تغییر و تحولات بوده است. لذا در این نوشتار، خانه‌های قاجاری تبریز به‌عنوان نمونه پژوهشی انتخاب شده و مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

مطالعات انجام‌شده پیرامون ساختار کلی فضای خانه در دوره قاجار از متقدم تا متأخر نشـــان می‌دهند که ساختار شکلی و فضایی آنها در طول دوره‌های مختلف این حکومت، چارچوبی کاملاً متکی به سنت نداشته و با گذشت زمان، دچار تغییراتی بنیادین شده است. علت اصلی این تغییرات نیز چیزی جز نفوذ و رخنه روزافزون عناصر فرهنگ بیگانه در زندگی ایرانی‌ها در کنار پیشرفت‌های تکنیکی و ساختاری و فن ساخت نبوده است (کاتب، ۱۳۸۴: ۱۹۴). این در حالی است که در پژوهش‌های انجام‌شده، این موضوع کمتر در نســـبت با زندگی روزمره و مسکن عادی مردم مطرح شده



تصویر ۱. فرآیند تحولات ساختاری مسکن در طول زمان (Al-Haiali & Al-Tayib, 2006: 5)

و بیشتر به جنبه‌های شکلی و مسائل درون‌نهادی معماری در آن دوران پرداخته شده است.

تغییرات به‌وجودآمده در ساختار معماری خانه‌ها در دوران قاجار، در سه دوره قابل بررسی هستند که شامل "اوایل"، "اواسط" و "اواخر" قاجار است (ارمغان و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۲) و به شرح زیر معرفی می‌شوند:

• اوایل قاجار: در این دوره، خانه‌ها به صورت حیاط مرکزی ساخته می‌شدند. جهت‌گیری ساختمان رو به جنوب بود و به این ترتیب جبهه اصلی بنا، جبهه شمالی آن بود. در این جبهه، فضاهای اصلی از جمله؛ طنبی[1]، کله‌ای[2]، حوض‌خانه[3] و نشیمن قرار می‌گرفتند که به موجب آنها از نور مساعد جنوب در فصول مختلف بهره گرفته می‌شد. اکثر خانه‌ها دارای سه جبهه بودند و معمولاً تنها از یک جبهه به معبر محدود می‌شدند (خانه سلماسی) (کی‌نژاد و شیرازی، ۱۳۸۴: ۱۶۵). در این دوره، ورودی‌ها معمولاً در محور اصلی قرار نمی‌گرفتند، بلکه در طرفین آنها سازمان‌دهی می‌شدند و این پدیده، افزایش میزان محرمیت خانه را موجب می‌شد. حوض‌خانه در این خانه‌ها جزء فضاهای اصلی به‌شمار می‌رفت و در امتداد محور اصلی بنا و در جبهه شمالی واقع می‌شد. ایوان نیز یکی از اصلی‌ترین و مهم‌ترین فضاها در این دوره بود که در نحوه سازمان‌دهی فضاهای دیگر نقش مهمی داشت. پله این دوره، عنصری کم‌اهمیت در بنا بود و صرفاً ارتباط میان طبقات را برقرار می‌ساخت. این پله‌ها معمولاً به صورت مخفی و در کنجی خارج از دید عموم ساخته می‌شدند و ارتفاع و اندازه آنها نیز به‌گونه‌ای بود که استفاده از آنها راحت به نظر نمی‌رسید (کی‌نژاد و شیرازی، ۱۳۸۹: ۲۷-۲۴).

• اواسط قاجار: در این دوره نیز همانند دوران اوایل قاجار، معماری خانه به فرم حیاط مرکزی ساخته می‌شد و جبهه اصلی بنا کماکان جبهه شمالی بود. فضاهای اصلی در این دوره، طنبی، حوض‌خانه، کله‌ای و ایوان هستند که در محور اصلی بنا قرار دارند. ایوان در این دوره به صورت سرتاسری و با کشیدگی طولی در راستای محور اصلی بنا قرار داشت و به‌جز سه‌دری‌ها، فضای مهمی در راستای محورهای فرعی قرار نمی‌گرفت. فضاهای ورودی در این دوره اغلب هندسی و به صورت متقارن ساخته می‌شدند و به سبب اهمیت محرمیت فضاهای داخلی، در طرفین محور اصلی و فرعی قرار می‌گرفتند. پله‌ها نیز در این دوره همچنان از اهمیت چندانی برخوردار نبودند و در مکان‌هایی خارج از محورهای اصلی بنا ساخته می‌شدند (همان: ۲۹ و ۳۰). در این دوره، نظام فضایی خانه‌ها بیشترین تغییر را در بخش سلسله مراتب ورودی تا حیاط به خود می‌بینند؛ به‌طوری که در برخی موارد "حیاط" در مرتبه بالاتری به نسبت دوره اوایل قاجار قرار گرفته است.

• اواخر قاجار: در این دوره، بیشترین تغییرات در ساختار فضایی خانه نسبت به دوره‌های قبل به‌وجود آمده است؛ چرا که در این دوره بیشترین تعامل با دنیای غرب شکل گرفت و به موجب آن، عناصر کالبدی و فضایی غیرایرانی، حضوری پررنگ در معماری خانه‌های این دوره داشته‌اند (خانه‌های امیر نظام، کلانتری و ساوجبلاغی). مهم‌ترین تغییر شکل‌گرفته در این دوران، تبدیل خانه‌ها از ساختار حیاط مرکزی و درون‌گرا به شکل کلاه فرنگی و برون‌گرا است. در اواخر این دوره، نقش هشتی کم‌رنگ می‌شود و به‌عنوان فضای اصلی کاربرد خود را از دست می‌دهد و به موجب آن، اتصال با فضای خارج از طریق دروازه انجام می‌گیرد. طنبی در این برهه زمانی کماکان مرکزیت خویش را حفظ کرده و همچنان در راستای محور اصلی بنا قرار داشت (ناری قمی و عباس‌زاده، ۱۳۹۳: ۹۹) و با حضور پررنگ‌تر پله‌ها و سرسرا در خانه‌های این دوره، گاه طنبی به طبقه اول نیز منتقل می‌شد. در این دوره، کله‌ای به‌کلی از کالبد بنا حذف شد و به همین جهت طنبی‌ها عموماً در یک طبقه ساخته می‌شدند. شکل طنبی به صورت مستطیل بوده و تزئینات آن تا حد زیادی حذف شدند. پله در این دوره به‌عنوان یکی از عناصر اصلی بنا به‌شمار می‌رفت و با استقرار در محور اصلی بنا، دسترسی به ایوان را مهیا می‌ساخت؛ در این حالت، فرد پس از گذر از یک پله دو طرفه و عبور از پاگرد مشترک، به ایوان می‌رسید (کی‌نژاد و شیرازی، ۱۳۸۹: ۳۳-۳۱).

در راستای بررسی تحولات کالبدی مسکن در خانه‌های تبریز در دوره قاجار، ۹ خانه (سه خانه از هر دوره) به‌عنوان نمونه پژوهشی انتخاب شدند که شماتیک گرافیکی آنها از منظر شکل و نسبت فضای بسته به باز در تصویر ۲ به نمایش درآمده است. طی اوایل دوره قاجار، نمونه‌های حیاط مرکزی دو و سه طرفه، و در اواسط آن، نمونه چهار طرفه (در یک مورد)، گونه قالب فضاسازیِ خانه‌ها بودند. در اواخر دوره قاجار، گونه یک طرفه و کوشکی هم به انواع خانه‌ها اضافه شد. در بخش معرفی نمونه‌های پژوهشی، مشخصات مربوط به هر کدام ارائه می‌شوند.

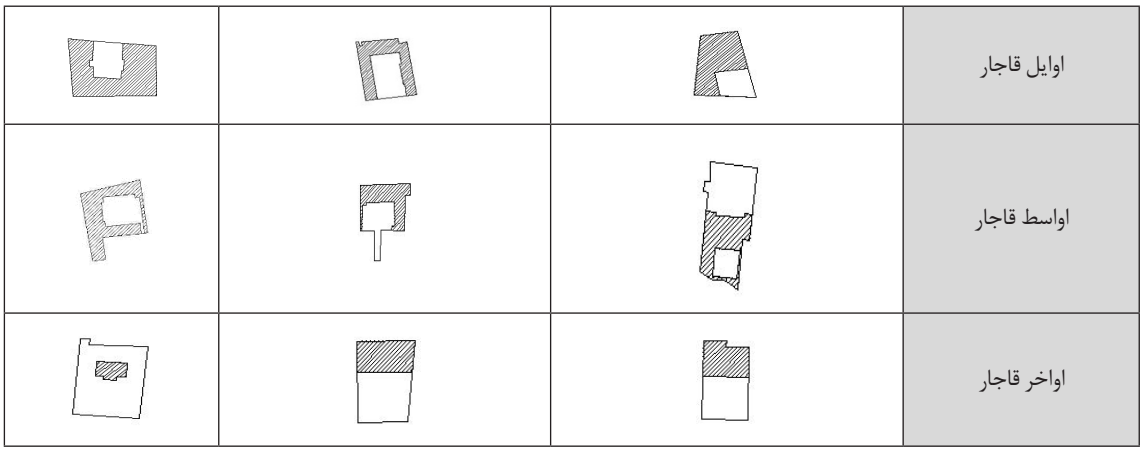
روش پژوهش

روش تحقیق در این پژوهش با توجه به ماهیت تحقیقات مربوط به بررسی «کیفیت کالبدی فضا»، به صورت توصیفی-تحلیلی و متشکل از دو راهبرد کمی (روابط ریاضی نحو فضا و اطلاعات مستخرج از نمودارهای توجیهی) و کیفی (توصیف

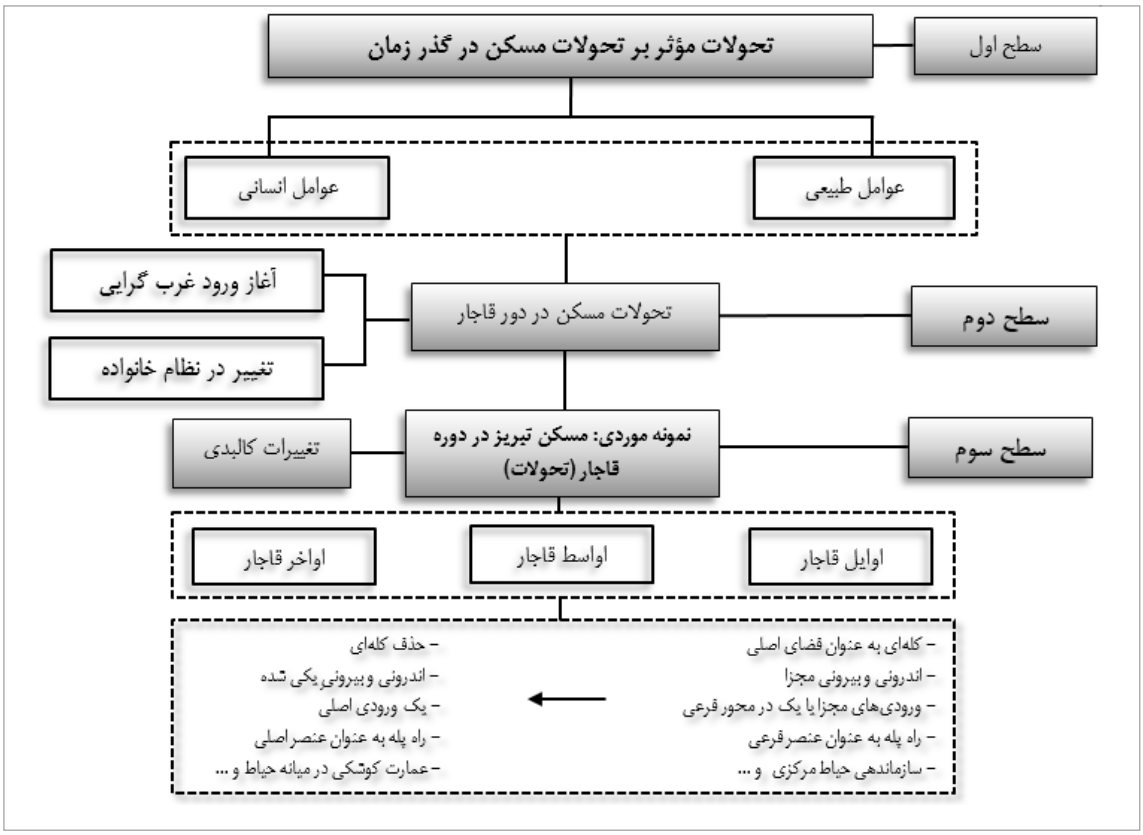
ویژگی‌های نمودارها جهت نمودپذیری بر مفاهیم معماری) است. شیوه گردآوری اطلاعات به صورت کتابخانه‌ای، اینترنتی و با مراجعه به منابع مکتوب و معتبر در این زمینه است و ابزارهای تحلیل نیز شامل استفاده از نرم‌افزارهای تخصصی نحو فضا (نظیر گراس‌هاپر و دپث‌مپ) و همچنین روابط ریاضی نحو فضا هستند. با توجه به اینکه هدف پژوهش حاضر بررسی تحولات کالبدی مسکن در گذر زمان با استفاده از تکنیک نحو فضا است، در ادامه علاوه بر معرفی این تکنیک و ابزارهای مورد استفاده در آن، مفاهیم نظری که به موجب آنها تحولات مد نظر مورد تحلیل قرار می‌گیرند نیز معرفی می‌شوند (تصویر ۳).

معرفی ابزار بررسی تحولات کالبدی مسکن

یکی از روش‌هایی که پیکره‌بندی فضا را هم به صورت کمی و هم به صورت کیفی مورد تحلیل قرار می‌دهد، تکنیک نحو فضا است. در تجزیه و تحلیل بنا با استفاده از این روش،



تصویر ۲. بررسی تحولات نسبت میان «فضا و توده» در برخی از خانه‌های قاجاری تبریز طی دوره قاجار (نگارندگان)

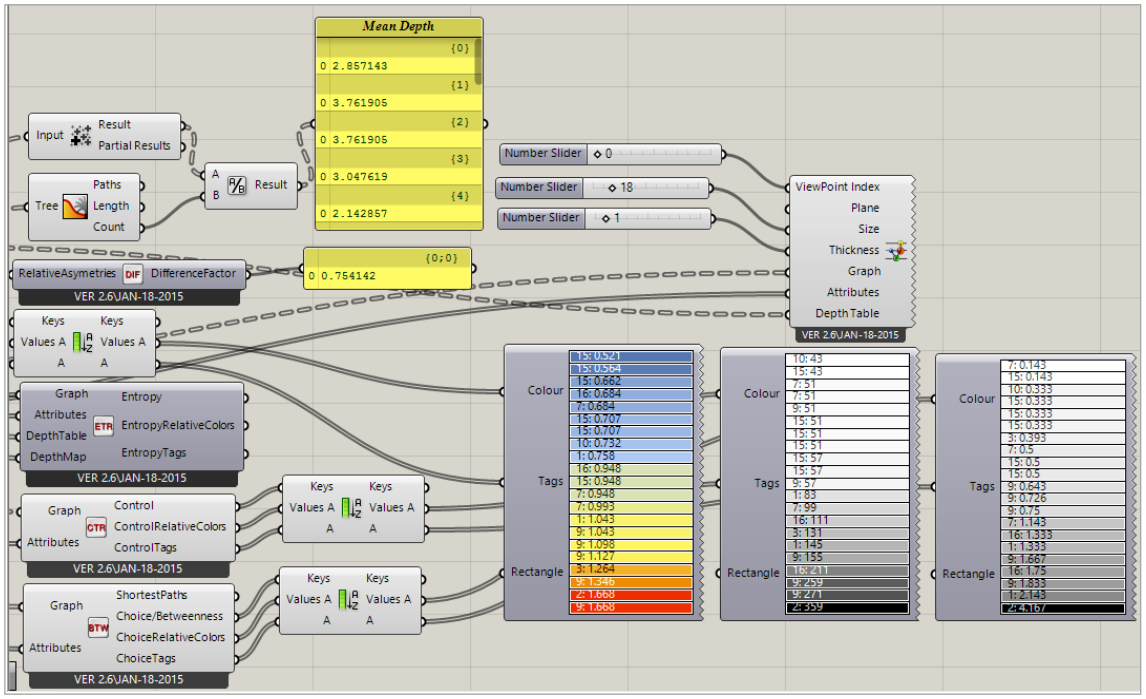


تصویر ۳. نمودار تحولات مسکن در گذر زمان (نگارندگان)

به دو راهکار می‌توان میزان کیفیت فضا و روابط میان آن را ارزیابی نمود: ۱. با استفاده از نمودارهای توجیهی، ۲. به وسیله نرم‌افزار[۴] (Hillier, 2007: 36 & 161; Turner & Penn, 1999; Turner et al, 2001). هر یک از این دو روش دارای ویژگی‌هایی هستند که به منظور بررسی و تحلیل فضا می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. با این حال، در این پژوهش با توجه به ماهیت شاخص‌های کالبدی مطرح‌شده، از هر دو روش به منظور تحلیل ساختار فضا در خانه‌های مورد نظر استفاده می‌شود.

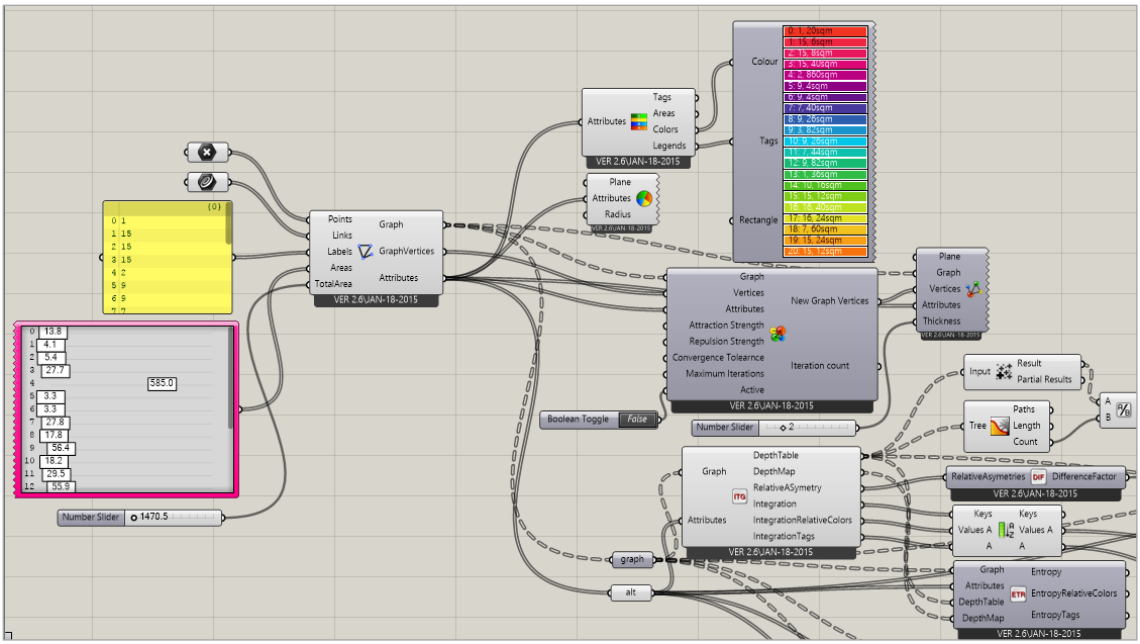
نمودارهای توجیهی، اولین ابزاری هستند که پدیدآورندگان و متخصصین حوزه نحو فضا از آنها به منظور تحلیل یک پیکره‌بندی فضایی استفاده نمودند. در این ابزار که برگرفته از تئوری گراف‌ها در ریاضیات است، هر فضا با یک دایره و هر ارتباط با یک خط نشان داده می‌شود. به این ترتیب، ساختار فضاها و روابط میان آنها در یک بنا، فارغ از ویژگی‌های شکلی هر کدام از آن فضاها، قابلیت کمی شدن در نتیجه تحلیل را دارا می‌شود. نتایج حاصل از این روش، بیان‌کننده کیفیت روابط مابین فضاها بوده و ساختار فضا و ارتباط آن با عملکرد رفتاری- انسانی آن را تبیین می‌نمایند. با این حال، این ابزار دارای محدودیت‌هایی نیز است که از جمله آنها می‌توان به عدم توجه به مساحت فضاها و فاصله متریک آنها از یکدیگر اشاره نمود. این امر می‌تواند تا حدودی نتایج تحلیل را با اشکالاتی مواجه نماید. بر همین اساس، اخیراً پلاگینی[۵] تحت نرم‌افزار گرس‌هاپر با عنوان سینتکتیک[۶] طراحی شده است که با استفاده از آن می‌توان تا حدی بر این اشکالات فائق آمد (Nourian et al, 2013; Nourian, 2016). در این نرم‌افزار، ساختار پیکره‌بندی یک بنا در قالب یک الگوریتم تعریف می‌شود و سپس با ارائه اطلاعات اولیه نظیر تعداد و ارتباطات میان فضاها، مقادیر عددی شاخص‌هایی چون؛ هم‌پیوندی، انتخاب، کنترل و ... استخراج می‌شوند. در اینجا دو نمونه الگوریتم از دو خانه سنتی در شهر تبریز که با استفاده از نرم‌افزار مدل‌سازی شده‌اند ارائه شده است (تصاویر ۴ و ۵).

نرم‌افزار دیگری که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته، نرم‌افزار تخصصی نحو فضا یا همان Depthmap است. از این نرم‌افزار به منظور تحلیل شاخص‌هایی که به وسیله نمودارهای توجیهی با دقت مناسبی قابل بررسی نیستند (نظیر دسترسی بصری)، استفاده می‌شود (Van der Hoeven & Van Nes, 2014: 71; Oswald, 2011). لازم به ذکر است که به منظور ارزیابی شاخص‌های مورد نظر تحقیق شامل نفوذپذیری، محدوده دسترسی‌ها اعم از بصری و فیزیکی و همچنین میزان انعطاف‌پذیری، از مفاهیمی چون؛ "میانگین عمق نسبی فیزیکی"، "عدم تقارن نسبی"، " عمق متریک"، "میانگین عمق نسبی بصری"، "عمق گامی" و "کنترل" استفاده شد که در ادامه به تفسیر آنها پرداخته می‌شود.



تصویر ۴. الگوریتم اطلاعات خروجی شامل؛ میانگین عمق نسبی، هم‌پیوندی و کنترل به منظور تحلیل فضایی، نمونه پژوهشی: خانه لاله‌ای (نگارندگان)

• عمق: عمق به معنی مرحله هر فضا است که آن بخش از فضا نسبت به بخش‌های دیگر دارد(Hanson, 2003: 82). اگر ورودی را به‌عنوان عمق صفر در نظر بگیریم؛ به‌طور مثال، فضاهایی که در عمق کم قرار دارند، فضاهای خدمات‌دهنده و عموماً مربوط به حوزه فعالیت مردان هستند (مهمانان مرد) و فضاهای خصوصی که مختص فعالیت‌های بخش اندرونی خانه است، در قسمت‌های عمیق‌تر قرار گرفته‌اند. این بخش‌ها نیز به‌طور عمده در اطراف حیاط اندرونی خانه جانمایی شده‌اند و فضاهای آنها مربوط به فعالیت زنان (مهمانان زن) هستند. در پژوهش پیش رو، عمق در چهار بخش مورد ارزیابی قرار می‌گیرد: ۱. میانگین عمق نسبی فیزیکی که به وسیله نمودارهای توجیهی و "روابط ریاضی نحو فضا" بررسی می‌شود (Jeong & Ban, 2014: 93). اگر در نمودارهای توجیهی، ورودی به‌عنوان فضای ریشه در نظر گرفته شود، میانگین عمق نسبی فیزیکی از رابطه مجموع فضاهای هر عمق ضرب در مرحله عمق آن فضاها در بنای مورد نظر نسبت به فضای ریشه، تقسیم بر تعداد کل فضاهای موجود در بنا منهای یک به‌دست می‌آید. این فرمول بر مبنای تحقیقات هیلیر و همکاران او در پی بررسی منطق اجتماعی و فرهنگی فضا در مقایسه تعدادی خانه و بر اساس روابط لگاریتمی- احتمالی ابداع شد و در نظریه نحو فضا به‌کار گرفته شد (Hillier et al, 1986). هر چه عدد حاصل از رابطه به "صفر" نزدیک‌تر باشد (حداکثر ادغام یا یکپارچگی: هیچ عمقی وجود ندارد)، به این معنی است که فضا یکپارچه‌تر و شرایط نفوذپذیری مناسب‌تری دارد و هر چه مقادیر به‌دست‌آمده "دورتر از صفر" باشند، به معنی حداکثر تفکیک و کاهش میزان نفوذپذیری است (Ibid: 368-371). به واقع، میانگین عمق نسبی به منظور مقایسه میانگین عمق کلی فضاهای یک خانه با میانگین عمق نسبی در سایر خانه‌ها کاربرد دارد. این مفهوم می‌تواند به میزان عمیق بودن یا نبودن کلی فضاها به منظور بررسی کیفیت فضا و ارتباط آن با رفتارها و فعالیت‌ها بپردازد. به‌تازگی قابلیتی به پلاگین گرس‌هاپر اضافه شده است که به موجب آن با ارائه اطلاعات مربوط به میزان ارتباطات و عمق هر فضا، فرآیند فوق به‌طور هوشمند انجام می‌پذیرد. ۲. عمق متریک به وسیله نرم‌افزار نحو فضا (دپث‌مپ) مورد اندازه‌گیری قرار می‌گیرد. با استفاده از این عامل، مواردی چون کوتاه‌ترین مسیر به دورترین نقطه، فاصله و زاویه دو نقطه در فضا و مواردی از این دست قابل اندازه‌گیری هستند. ۳. میانگین عمق نسبی بصری نیز به وسیله نرم‌افزار نحو فضا قابل سنجش است. این بخش از نرم‌افزار دپث‌مپ با استفاده از ارزیابی میزان عمق دیداری در هر مرحله نسبت به نقطه مبدأ، اطلاعاتی را جهت آنالیز محدوده دید در بنا ارائه می‌نماید. ۴. عمق گامی یا مرحله‌ای -که برای هر فضا به‌طور جداگانه یک عمق در نظر گفته می‌شود و بر اساس عمق صفرِ ورودی لحاظ می‌شود- نیز به وسیله نرم‌افزار دپث‌مپ مورد سنجش قرار می‌گیرد.



تصویر ۵. الگوریتم اطلاعات ورودی به نرم‌افزار گرس‌هاپر (پلاگین SYNTACTIC) به منظور ارائه اطلاعات نحوی، نمونه پژوهشی: خانه لاله‌ای (نگارندگان)

• درجه یکپارچگی نسبی (هم‌پیوندی): این شاخص مقارن با مفهومی به‌عنوان عدم تقارن نسبی واقعی است که تحلیل آن با استفاده از روابط ریاضی نحو فضا انجام می‌پذیرد. این رابطه از دو برابر میانگین عمق نسبی فیزیکی منهای یک تقسیم بر تعداد کل فضاهای موجود در بنا منهای دو به‌دست می‌آید (Hillier, 1993: 14). این شاخص نیز همانند میانگین عمق نسبی، به وسیله قابلیت‌های نرم‌افزار گرس‌هاپر به‌طور هوشمند اطلاعات مورد نظر را جهت تحلیل ارائه می‌نماید. به‌عبارتی، فضایی هم‌پیوند خوانده می‌شود که در عمق نسبی کم قرار داشته و با فضاهای نسبتاً زیادی در ارتباط باشد (Hillier et al, 1986: 364).

• کنترل: این فاکتور بر اساس میزان ارتباطات فضایی مورد بررسی قرار می‌گیرد؛ به این معنی که هر چه میزان دسترسی به یک فضا کمتر باشد و در عمق بیشتری قرار داشته باشد، آن بخش از بنا دارای درجه کنترل بالاتری خواهد بود (Hillier & Hanson, 1984: 90-97). این شاخص نیز به وسیله خروجی اطلاعات پلاگین اسپس سینتکس که در پلاگین نرم‌افزار گرس‌هاپر مندرج است، تجزیه و تحلیل می‌شود.

در مجموع، به نظر می‌رسد که هر یک از ابزارهای معرفی‌شده در فوق دارای ویژگی‌هایی هستند که می‌توان از آنها به منظور ارزیابی برخی از مفاهیم معماری و تجزیه و تحلیل کیفیت فضا بهره گرفت. در ادامه با تبیین ارتباط میان مفاهیم نحوی و مبانی معماری، چارچوب نظری تحقیق تدوین می‌شود.

چارچوب نظری پژوهش

در این پژوهش به منظور استخراج چارچوب نظری، از سه بخش تبعیت می‌شود؛ بخش اول شامل جمع‌بندی مطالعات مربوط به تحولات کالبدی مسکن در گذر زمان است. بر این اساس، عواملی که به‌طور کلی بر تغییرات فیزیکی و عملکردی مسکن مؤثر هستند، شناسایی و تشریح می‌شوند. با توجه به هدف پژوهش حاضر که بررسی کالبد مسکن با تأکید بر تحولات برخی از مفاهیم معماری در آنها است، نیاز به ابزاری است که با استفاده از قابلیت‌های آن بتوان به بررسی و توصیف فضا پرداخت. لذا با مطالعه روش‌های مختلف بررسی کالبدی- عملکردی بنا، در بخش دوم تکنیک نحو فضا یا اسپس سینتکس به‌عنوان مبنای تحلیل و دو نرم‌افزار این تکنیک یعنی Depthmap و پلاگین SYNTACTIC در نرم‌افزار گرس‌هاپر به‌عنوان ابزارهای تحلیل انتخاب شدند. در این ارتباط، از نتایج حاصل از نمودارهای توجیهی به منظور استفاده در روابط ریاضی نحو فضا نیز بهره گرفته شد. در بخش سوم نیز با توجه به قابلیت‌های روش نحو فضا و ویژگی فاکتورهای نحوی یادشده، متناظر با شاخص‌های نحوی یادشده، شاخص‌های مورد نظر جهت تحلیل فضا انتخاب شدند که با توجه به هدف مقاله که "تحلیل کیفیت روابط فضایی" در خانه‌های سنتی تعریف شده است، در این پژوهش چهار مفهوم معماری شامل؛ "نفوذپذیری"، "دسترسی بصری"، "دسترسی فیزیکی" و "انعطاف‌پذیری" به‌عنوان مبانی تحلیل مطرح شدند. از آنجایی که اساساً تکنیک نحو فضا و ابزارهای آن بر پایه تحلیل روابط مابین فضاها پدید آمده است، شاخص‌های نحوی به منظور کارکرد بهتر و درک بیشتر و مرتبط بودن با امر تحلیل روابط فضا، با یک سری مفاهیم معماری مربوط شدند. هر کدام از این مفاهیم به‌گونه‌ای با کیفیت ارتباطات میان فضاها در ارتباط بوده و با استفاده از شاخص‌های نحوی نیز قابل تحلیل و ارزیابی است که در ادامه به تشریح آنها و ارائه مدل نهایی تحقیق پرداخته می‌شود.

- نفوذپذیری: به‌طور کلی ساختار متصل و یک‌دست فضا منجر به توزیع یکپارچه فضا و نفوذپذیری مناسب به کل فضا می‌شود که این امر زمینه در دسترس قرار گرفتن کل مجموعه برای کاربران را فراهم می‌کند. در این حالت ادغام فضاها، به تنظیم میزان تعاملات میان ساکنان (بین ساکنین خانه) و بازدیدکنندگان (میهمانان) می‌انجامد (Dawson, 2002). این مسئله می‌تواند با فاکتور هم‌پیوندی در نحو فضا متناظر باشد؛ زیرا هم‌پیوند بودن فضاها به معنی یکپارچگی آنها است و در نتیجه می‌تواند به نفوذپذیر بودن فضاها کمک نماید.
- محدوده دسترسی‌های بصری و فیزیکی: دسترسی بصری به معنی میزان فضایی است که به وسیله قوه بینایی قابل درک است و دسترسی فیزیکی به معنی بررسیِ بخشی از محیط است که به وسیله حرکت در فضا برایِ افراد، قابل پیمایش و دید است. با توجه به قابلیت‌های فاکتورهای نحوی، این مفهوم معماری می‌تواند به وسیله عمق مورد بررسی قرار بگیرد. عمق فضا تعیین‌کننده کیفیت فضایی انواع دسترسی‌های بصری و فیزیکی است. عمق و پیمایش کمتر، منجر به ایجاد عملکردی خاص در رابطه با دسترسی به بخش‌های مختلف شده و افزایش آن، سبب ایجاد کیفیت متفاوت در نوع دسترسی‌ها می‌شود. همچنین نوع و میزان دسترسی‌ها بر میزان و قابلیت کنترل فضاها نیز اثرگذار است. از این‌رو، از این فاکتور نحوی نیز در بررسی دسترسی‌ها استفاده شد.
- انعطاف‌پذیری: به معنی چند عملکردی بودن (تغییرپذیری) و تنوع[۷] و همچنین تطبیق‌پذیری فضا است و به‌طور

بالقوه، دست‌یابی به طیف عظیمی از عملکردها را به جای یک عملکرد فراهم می‌سازد (عینی‌فر، ۱۳۸۲: ۷۰). عملکرد انعطاف‌پذیر فضا در مقیاس خرد هنگامی مطلوب است که دارای میزان عمق کم، دسترسی مناسب (عمق متریک مطلوب) و ارتفاع کم (متناسب با فضا) باشد (بنتلی و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۶۲). بنابراین تعداد نقاط دسترسی می‌تواند یکی از عوامل کلیدی در جهت سازمان‌دهی، سهولت تطبیق و تنوع کاربری‌ها در یک ساختمان باشد (Hillier, 2007: 247). لذا با توجه به عملکردگرا بودن خانه ایرانی، این فاکتور می‌تواند با عمق نسبی فضا در ارتباط باشد.

با توجه به توضیحات فوق، به منظور بررسی مفاهیم معماری جهت تحلیل تحولات کالبدی مسکن قاجاری، تناظر بین شاخص‌های نحوی و مفاهیم معماری در این پژوهش در تصویر ۶ قابل ارائه است.

معرفی نمونه‌های پژوهشی

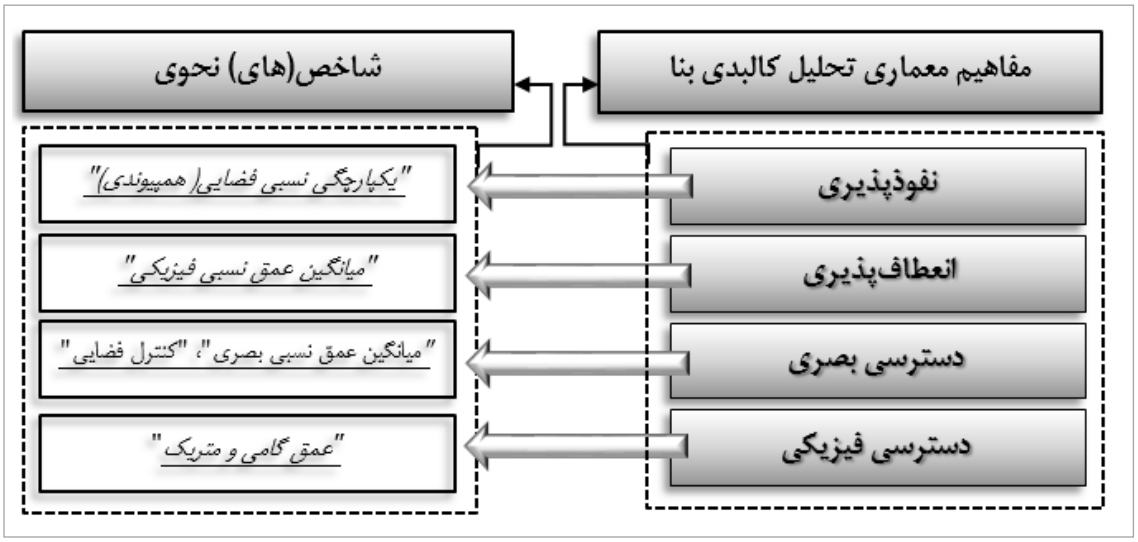
با توجه به موضوع تحقیق پیش رو که در رابطه با بررسی تحولات کالبدی سکونتگاه‌های انسانی در طول زمان است، نیاز به انتخاب خانه‌هایی بود که در عصرهای متفاوتی مورد استفاده کاربران خود قرار داشتند. از سویی دیگر، به منظور بررسی تطبیقی و توصیف شاخص‌های کالبدی راندمان و اشتراک و افتراق میان آنها و همچنین همه‌جانبه بودن تحلیل‌های این خانه‌ها، لازم بود که نمونه‌های پژوهشی از میان شهرهای مختلف انتخاب نشوند؛ چرا که ساکنین شهرهای مختلف، ویژگی‌های فرهنگی، اجتماعی و جغرافیایی خاص خود را داشته و همین امر ممکن است صحت نتایج را تحت‌الشعاع قرار دهد. به همین منظور از میان دوره‌های مختلف زمانی، دوره قاجار (با توجه به اهمیت این دوره در تغییر ساختار معماری) و میان شهرهای مختلف، شهر تبریز انتخاب شد. بر همین اساس، تعداد ۹ خانه مربوط به اوایل قاجار، اواسط و اواخر آن به‌عنوان نمونه موردی انتخاب شدند که در ادامه، پلان و ساختار فضایی مربوط به موارد مورد نظر ارائه می‌شود (تصاویر ۷ و ۸).

تجزیه و تحلیل داده‌ها و بحث

پس از انتخاب نمونه‌های پژوهشی، الگوریتم مربوط به هر یک در محیط نرم‌افزار گرس‌هاپر تهیه شده و به واسطه آن، نمودارهای توجیهی[۸] مربوط به هر کدام از نمونه‌ها استخراج شدند که در تصویر ۹ نمایش داده شده است.

با توجه به اینکه بخشی از اطلاعات مورد نیاز جهت تحلیل شاخص‌های مورد نظر، در محیط نرم‌افزار دپث‌مپ قابل حصول است، لذا پلان‌های مد نظر در نرم‌افزار مذکور فراخوانی شده و تحلیل‌های مربوط بر روی آنها انجام گرفتند که نتایج آن در جدول ۱ [۹] نشان داده شده‌اند.

پس از انجام تحلیل‌های مورد نیاز در هر کدام از نرم‌افزارهای مربوطه، داده‌های خروجی از این دو نرم‌افزار در ارتباط با هر پلان به صورت مجزا تنظیم شدند که در جدول ۲ نمایش داده شده است. لازم به ذکر است به منظور تجزیه و تحلیل فضایی و همچنین بررسی تحولات کیفیت ارتباطات فضایی، باید چند فضای خاص انتخاب می‌شد که هم در همه پلان‌های مورد بررسی موجود باشند و هم تحولات آنها در طول زمان مشهود باشند. بر این اساس در بررسی با استفاده از نمودارهای توجیهی، سه فضای



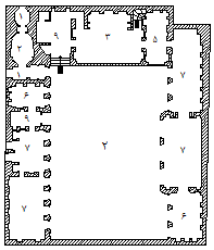
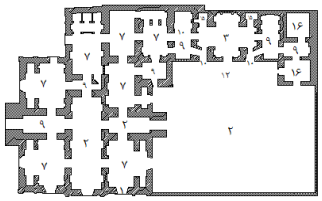
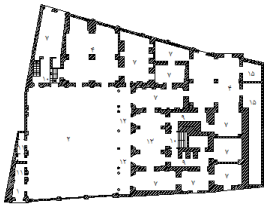
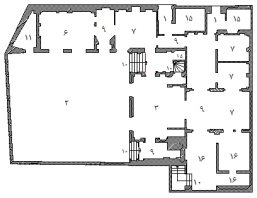
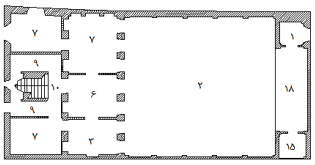
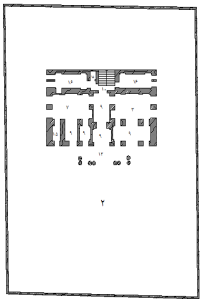
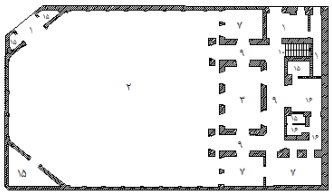
تصویر ۶. نمودار تناظر مفاهیم معماری با شاخص‌های نحوی (نگارندگان)

"مهمان‌خانه (فضای شماره ۳)"، "حیاط (فضای شماره ۲)" و "راه‌پله (فضای شماره ۱۰)"[۱۰] به منظور انجام تحلیل‌های مربوطه انتخاب شدند.

با توجه به یافته‌های عددی به‌دست‌آمده در جدول ۲ و همچنین تحلیل شکلی گراف‌ها بر مبنای مساحت فضاها، تحلیل تحولات کالبدی خانه‌های قاجاری طی سه دوره اوایل، اواسط و اواخر قاجار، به شرح زیر تبیین می‌شود:

کیفیت نفوذپذیری

همان‌گونه که یاد شد، به منظور بررسی کیفیت نفوذپذیری خانه‌های قاجاری تبریز در گذر زمان، از شاخص نحوی "یکپارچگی نسبی فضایی" یا همان هم‌پیوندی (تصویر ۱۰) استفاده شد. بر این اساس در ادامه، نتایجِ کیفی حاصل از اعداد به‌دست‌آمده از فاکتور هم‌پیوندی در تصویر ۱۱ که به صورت نمودار در تصویر ۱۲ به نمایش درآمده و همچنین تحلیل تشریحی اعداد

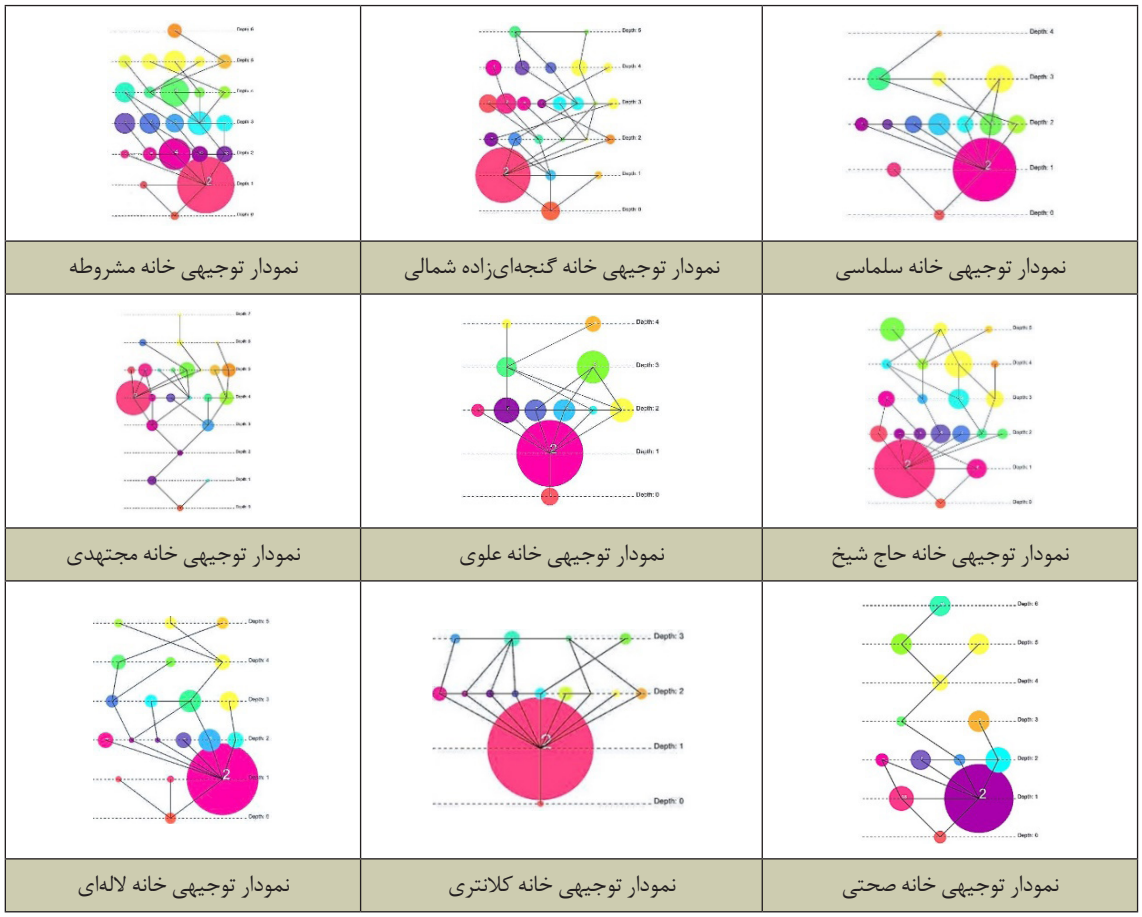
خانه‌های اوایل قاجار			
	خانه سلماسی. ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۵	خانه گنجه‌ای‌زاده شمالی. ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۵	خانه مشروطه. ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۵
خانه‌های اواسط قاجار			
	خانه حاج شیخ. ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۵	خانه علوی. ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۵	خانه مجتهدی. ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۵
خانه‌های اواخر قاجار			
	خانه صحتی. ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۵	خانه کلانتری. ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۵	خانه لاله‌ای. ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۵

تصویر ۷. پلان خانه‌های تبریز در دوره قاجار به منظور نمونه‌پژوهی (نگارندگان)

اوایل قاجار	اواسط قاجار	اواخر قاجار

تصویر ۸. تحولات الگوی مسکن قاجاری (نگارندگان)

مستخرج از پلاگین سینتکتیک، تبیین می‌شوند. در خانه‌های دوره قاجار همواره فضای حیاط بیشترین میزان هم‌پیوندی با سایر فضاهای خانه (به‌طور مثال، مهمان‌خانه به‌عنوان یکی از هم‌پیوندترین فضاها) را دارد. این در حالی است که این فضا با گذشت زمان، از منظر شکلی تغییرات عمده‌ای را تجربه کرده است؛ به این ترتیب که در اوایل دوره قاجار تا اواسط آن، حیاط در مرکز بنا قرار داشت و فضاهای مختلف خانه اطراف آن شکل گرفته بودند. در دوره‌های انتهایی قاجاری و پس از



تصویر ۹. نمودارهای توجیهی خانه‌های مورد نظر (خروجی پلاگین سینتکتیک) به منظور نمونه‌پژوهی (نگارندگان)

	سلماسی	گنجه‌ای‌زاده	مشروطه	حاج شیخ	علوی	مجتهدی	صحتی	کلانتری	لاله‌ای
میانگین عمق نسبی بصری									
عمق متریک									
عمق گامی									

جدول ۱. خروجی نرم‌افزار دپث‌مپ به منظور ارزیابی شاخص‌های «میانگین عمق نسبی بصری»، «عمق متریک» و « عمق گامی (نگارندگان)

آن، حیاط به اطراف بنا منتقل شد و عمارت به صورت کوشک در مرکز و یا انتهای آن قرار گرفت. نتایج به‌دست‌آمده از این تحلیل (شاخص هم‌پیوندی تصویر ۱۰) نشان می‌دهند که با وجود شکل‌گیری چنین تغییر عمده‌ای در پیکره‌بندی خانه‌ها، در میزان هم‌پیوندی یا به‌عبارتی یکپارچگی فضا تغییر چندانی به‌وجود نیامده است و همچنان فضاهایی که در لبه بیرونی خانه‌ها قرار دارند، حداکثر ارتباط خود را با فضای حیاط حفظ کرده‌اند (تصویر ۱۱). لذا میزان نفوذپذیری به فضاهای خانه از طریق حیاط با وجود چنین تغییراتی، تفاوت چندانی را به خود نمی‌بینند. نکته دیگری که در رابطه با خانه‌های قاجاری مطرح است این است که میزان هم‌پیوندی فضای مهمان‌خانه یا طنبی، متناسب با میزان هم‌پیوندی حیاط، کاهش و یا افزایش یافته است؛ به این معنی که با مقایسه وضعیت یکپارچگی مهمان‌خانه و حیاط در خانه‌های مورد نظر، این نکته مشخص می‌شود که با کاهش و یا افزایش میزان هم‌پیوندی حیاط، تقریباً به همان نسبت میزان هم‌پیوندی مهمان‌خانه نیز کاهش و یا افزایش داشته است. به‌عبارتی‌دیگر، با توجه به رابطه مستقیم میان میزان اتصالات فضایی و هم‌پیوندی، با کاهش و یا افزایش میزان هم‌پیوندی و در نتیجه میزان ارتباطات فضایی حیاط، کیفیت هم‌پیوندی و اتصال مهمان‌خانه نیز کاهش و یا افزایش داشته است.

در خانه‌های قاجاری تبریز، پله از جمله بخش‌هایی به‌شمار می‌رود که در انتهای این دوره -برخلاف دوره‌های قبل از آن- به صورت نمادین و در بخش بیرونی فضا قرار گرفته است. نتایج مستخرج از یافته‌های نحوی نشان می‌دهند که فضای «پله» (به‌جز در یک نمونه؛ خانه مجتهدی) در دوره‌های ابتدا تا اواسط قاجار، دارای میزان هم‌پیوندی بیشتری به نسبت خانه‌های پس از آن است (تصویر ۱۲). این پدیده نشان می‌دهد که قرار گرفتن پله به صورت عنصری نمادین در لبه بیرونی فضا، از میزان یکپارچگی پله با سایر فضاها در این دوره کاسته است. از سویی دیگر، پله به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین فضاهای ارتباطی، نقشی تعیین‌کننده در کیفیت نفوذپذیری به سایر بخش‌های خانه (ارتباط میان طبقات) دارد. لذا کاهش میزان یکپارچگی فضایی پله‌ها در این دوره، منجر به کاهش میزان نفوذپذیری پله نسبت به برخی از فضاهای خانه در مقایسه با خانه‌های دوره‌های قبل شده است.

جدول ۲. تدوین مشخصات عددی فاکتورهای نحوی مطرح‌شده در پژوهش به وسیله خروجی‌های دپث‌مپ و سینتکتیک

	اطلاعات مستخرج از پلاگین سینتکتیک									اطلاعات مستخرج از نرم‌افزار دپث‌مپ			
	هم‌پیوندی			میانگین عمق نسبی (فیزیکی)			کنترل			میانگین عمق نسبی (بصری)		عمق متریک	عمق گامی
	مهمان‌خانه	حیاط	راه‌پله	مهمان‌خانه	حیاط	راه‌پله	مهمان‌خانه	حیاط	راه‌پله	min	max	کمترین فاصله به دورترین نقطه	تعداد مراحل
سلماسی	۱,۰۹	۳,۴۶	۱,۰۷	۲,۲۸	۱,۳۵	۳,۱۴	۱,۲	۳,۵۰	۱,۳۳	۶	۱۳۴۰	۲۸,۳۶	۴
گنجه‌ای‌زاده	۰,۸۲	۱,۵۷	۱,۲۲	۲,۷۶	۲,۳۸	۳,۶۴	۰,۷۵	۲	۱	۶	۱۵۳۸	۳۵,۲۹	۴
مشروطه	۰,۷۱	۱,۵۶	۱,۰۳	۲,۳۶	۲,۶۶	۳,۰۴	۰,۲۵	۳,۱۶	۰,۳۹	۱	۹۷۵	۴۵,۵۳	۶
حاج شیخ	۱,۰۷	۱,۹۸	۱,۰۹	۲,۸۰	۱,۹۵	۳,۰۸	۱	۳,۲۵	۱,۱۱	۱۰	۱۰۲۶	۲۶,۶۳	۴
علوی	۱,۱۱	۲,۶۱	۱,۰۴	۲,۰۳	۱,۴۱	۳,۶۶	۰,۸۳	۲,۹۱	۰,۵۹	۲	۹۳۳	۲۵,۸۱	۴
مجتهدی	۰,۹۰	۱,۲۹	۰,۴۹	۳,۳۳	۲,۶۲	۳,۳۷	۱,۳۱	۳,۱۱	۰,۳۳	۱۷	۹۲۰	۲۸,۲۰	۴
صحتی	۱,۰۷	۱,۲۸	۰,۹۰	۲,۲۳	۲,۰۳	۲,۴۶	۱,۴۱	۲,۴۱	۲	۲۹	۱۲۲۹	۲۵,۴۷	۳
کلانتری	۱,۹۰	۲,۸۸	۰,۳۸	۲,۶۶	۱,۲۰	۲,۰۶	۰,۳۳	۵,۰۳	۰,۵۲	۳	۱۲۵۶	۴۹,۵۲	۳
لاله‌ای	۱,۲۶	۱,۶۶	۰,۷۳	۲,۵۲	۲,۱۴	۲,۶۶	۰,۳۹	۴,۱۶	۰,۶۳	۹	۱۸۳۵	۴۱,۹	۳

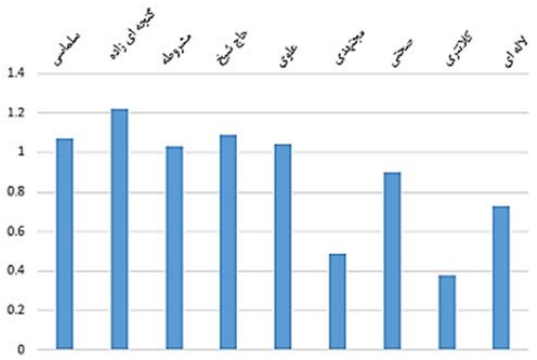
(نگارندگان)

کیفیت انعطاف‌پذیری

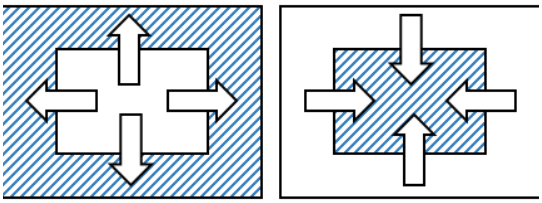
همان‌گونه که پیش‌تر ذکر شد، این مفهوم معماری به وسیله شاخص "میانگین عمق نسبی فیزیکی" قابل بررسی است. با نگاهی به اعداد به‌دست‌آمده از جدول تدوین‌شده در تصویر ۱۱، این نکته آشکار می‌شود که با وجود تغییر در شکل هندسی حیاط و تحولات عمده شکلی در صورت فضاها، همچنان فضای حیاط دارای کمترین میانگین عمق نسبی به نسبت فضاهایی نظیر بخش‌های ارتباطی و اتاق‌ها است؛ زیرا فضای حیاط همچنان بیشترین مساحت را نسبت به سایر فضاها دارد و همچنین بیشترین میزان ارتباطات فضایی را نیز به خود اختصاص داده است (تصویر ۹). از سویی دیگر، میانگین عمق نسبی فضای مهمان‌خانه نیز طی دوره قاجار در نمونه‌های مورد بررسی با وجود تغییر شکل کالبدی خانه به‌جز در یک مورد (خانه مجتهدی)، دارای میانگین عمق نسبی متفاوت و چشمگیری نسبت به یکدیگر نیست (میانگین عمق نسبی در محدوده ۲-۲٫۸). اما در این میان، جایگاه فضای پله در رابطه با شاخص میانگین عمق نسبی، کیفیت متفاوتی را به خود می‌بیند. ایجاد چنین تحولی در کالبد خانه‌ها در رابطه با این شاخص به این سبب روی داده که فضای پله از بخش‌های عمق و داخلی خانه جدا و به ابتدای ورودی منتقل شده که این پدیده در نهایت، منجر به کاهش میانگین عمق در فضای پله شده است. در مجموع با در نظر گرفتن این نکته که عمق بیشتر منجر به احتمال بیشترِ خلق فضاهای چند عملکردی یا به‌عبارتی انعطاف‌پذیری مناسب‌تر فضا می‌شود، به نظر می‌رسد که به‌جز فضای پله، کاهش و یا افزایش چشمگیری در رابطه با شاخص عمق در فضاهای اصلی خانه به چشم نمی‌خورد. لذا کیفیت و یا میزان انعطاف‌پذیری فضاها نیز در بررسی‌های انجام‌شده در این مقاله با تأکید بر روش مورد استفاده (روش کمی)، با وجود تغییرات چشمگیر در شکل کلی خانه، تفاوت چندانی نسبت به یکدیگر نداشته‌اند.

تحولات دسترسی بصری

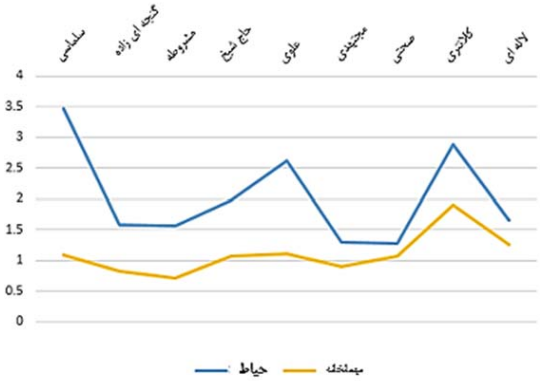
شاخص دسترسی بصری در پژوهش حاضر با توجه به ویژگی هر یک از مؤلفه‌های نحوی، به وسیله دو فاکتور "کنترل" و "میانگین عمق نسبی بصری" مورد بررسی قرار می‌گیرد. با در نظر گرفتن اعداد مندرج در جدول ۲ که در نمودار تصویر ۱۳ مشخص شده است؛ در رابطه با شاخص کنترل (هر چه عدد به‌دست‌آمده از شاخص کنترل مقدار کمتری داشته باشد، فضای مورد نظر از میزان کنترل بالاتری برخوردار است)، این نکته پیدا است که در کلیه خانه‌های مذکور، فضای حیاط دارای کمترین میزان کنترل فضایی به نسبت فضاهایی نظیر راه‌پله و مهمان‌خانه است. این در حالی است که هندسه و کالبد فضایی حیاط در این خانه‌ها اشکال گوناگونی دارد و پیکره‌بندی خانه نیز از فرم U و L شکل به صورت مستطیل و کوشکی درآمده است. این پدیده نشان‌دهنده این است که تحولات کالبدی، در رابطه با شاخص کنترل حیاط تأثیر چندانی نداشته‌اند؛ زیرا همچنان بیشترین میزان دسترسی بصری در تمام خانه‌ها به فضای حیاط اختصاص دارد و لذا تغییرات چندانی در میزان کنترل فضایی حیاط صورت نگرفته‌اند. همچنین با بررسی نمودارهای توجیهی پیدا است که در خانه‌های لاله‌ای و کلانتری (خانه‌های دوره متأخر)، حیاط دارای مساحت بیشتری به نسبت سایر فضاها در مقایسه با دیگر خانه‌های مورد نظر است و لذا با افزایش



تصویر ۱۰. نمودار مقایسه هم‌پیوندی فضاهای "حیاط" و "مهمان‌خانه" در خانه‌های قاجاری تبریز (نگارندگان)



تصویر ۱۱. تحولات کالبدی خانه و تغییر شکل هندسی حیاط (نگارندگان)



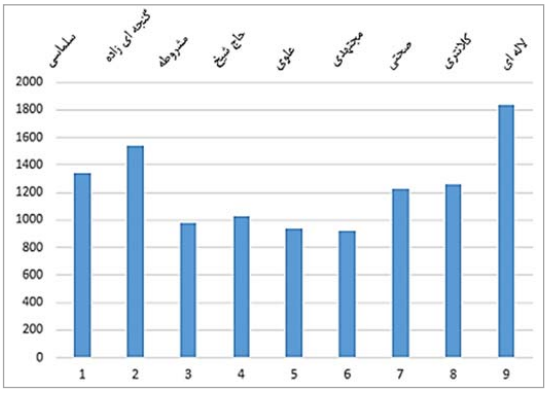
تصویر ۱۲. نمودار مقایسه تحولات هم‌پیوندی فضای پله در خانه‌های دوره قاجاری تبریز (نگارندگان)

مساحت، محدوده دسترسی بصری به فضاهای بیشتری وجود داشته که در نتیجه، از میزان کنترل فضای حیاط کاسته شده است. در رابطه با شاخص میانگین عمق نسبی بصری نیز این ویژگی مبرهن است که خانه مجتهدی دارای کمترین "بیشینه و کمینه عمق بصری نسبی" به نسبت سایر نمونه‌های یادشده است (تصویر ۱۴). به نظر می‌رسد علت این پدیده، به سبب عمیق بودن فضای حیاط و در نتیجه کاهش یکپارچگی آن با سایر فضاها در این خانه است (طبق بررسی نمودارهای توجیهی، حیاط در خانه مجتهدی در عمق ۴ قرار دارد). بر این اساس، محدوده دسترسی بصری نیز در این خانه به نسبت سایر نمونه‌ها از میزان کمتری برخوردار است.

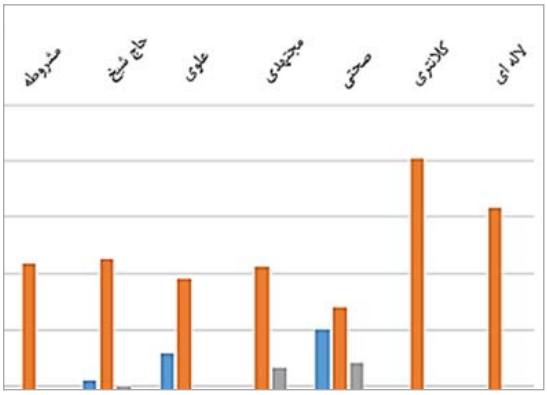
تحولات دسترسی فیزیکی

این شاخص نیز به وسیله دو فاکتور عمق گامی و متریک و همچنین کنترل در نمونه‌های ذکرشده مورد بررسی قرار گرفته است[۱۱]. نتایج جدول مربوط به اعداد مستخرج از تحلیل‌های نرم‌افزاری نشان می‌دهند که بیشترین میزان عمق متریک، متعلق به خانه کلانتری (دوره متأخر -کوشکی = ۴۹,۵۲) و کمترین میزان، متعلق به خانه علوی (اواسط قاجار- L شکل- ۲۸,۸۱) است. این شاخص رابطه مستقیمی با میزان مساحت کل بنا دارد و با توجه به این موضوع که مساحت کل بنا در خانه کلانتری تفاوت قابل‌توجهی به نسبت سایر خانه‌ها دارد، این پدیده موجب افزایش عمق متریک یا به‌عبارتی کوتاه‌ترین فاصله به دورترین نقطه و در نتیجه دسترسی فیزیکی فراگیرتر به کل بنا شده است. همچنین در رابطه با شاخص عمق گامی این پدیده قابل ذکر است که خانه‌های متقدم دارای عمق گامی بیشتری (یک مرحله به‌جز یک خانه) به نسبت خانه‌های متأخر هستند که به نظر می‌رسد این مسئله به دلیل تحولات کالبدی یادشده در خانه‌های اواخر قاجار رخ داده باشد. چنین اتفاقی به جهت کوشکی شدن خانه‌ها و همچنین کم شدن تعداد فضاها به سبب برخی از تحولات ایجادشده در سطح اجتماع و خانواده (غرب‌گرایی و تحولات نقش زن در خانواده) به وقوع پیوسته است.

از سویی دیگر در الگوی حیاط مرکزی، بر اساس چینش فضاها پیرامون حیاط، میزان کنترل زیادی از اتاق‌ها به حیاط به‌عنوان یک عرصه عمومی وجود دارد؛ این در حالی است که در الگوی کوشکی (به‌طور مثال منزل اردبادی)، در جبهه رو به حیاط، حداکثر دو یا سه فضا قرار دارند و سایر فضاها در عمق بیشتر نسبت به حیاط قرار گرفته‌اند. همین امر باعث کاهش تعداد بازشوها به حیاط شده و در نتیجه، میزان کنترل حیاط از سوی اتاق‌ها کاهش یافت. این موضوع از یک‌سو، ارتباط بصری با فضای باز و طبیعت موجود در آن را محدود کرده و از سویی دیگر با استقرار اتاق‌ها در عمق بیشتر، دید از حیاط اصلی به آنها را نیز محدود کرده است. در حالت اول، کارکرد زیبایی‌شناسانه حیاط به‌عنوان محل حضور طبیعت در خانه محدودتر شده و در حالت دوم، محرمیت بیشتری را برای اتاق‌ها به همراه آورده است. ذکر این نکته ضروری است که وجود فضاهای دارای مانع در دید مستقیم به بخش یا بخش‌هایی از فضا نیز به عدم اشرافیت‌ها کمک شایانی نموده است. به‌عبارتی‌دیگر، محدود نمودن ارتباطات بصری در یک فضا نیز از جمله راهکارهای ایجاد محرمیت در خانه‌ها علاوه بر عواملی نظیر محدودیت در دسترسی فیزیکی و عمیق نمودن فضاها محسوب می‌شد. در حالی که در اواخر دوره قاجار با اضافه شدن فرم کوشکی برون‌گرا به خانه‌ها و با حذف تدریجی راهروها به‌عنوان فضای واسط، از میزان کنترل فضایی بر اتاق‌ها کاسته شد؛ به‌طوری که در خانه کلانتری با فرم برون‌گرا، میزان کنترل اتاق (۰,۳۳) در سطح پایین‌تری نسبت به سایر گونه‌ها به‌دست‌آمده است.



تصویر ۱۳. نمودار مقایسه کنترل فضایی مهمان‌خانه، حیاط و راه‌پله در خانه‌های تبریز (نگارندگان)



تصویر ۱۴. نمودار مقایسه میانگین عمق نسبی بصری فضایی مهمان‌خانه، حیاط و راه‌پله در خانه‌های تبریز (نگارندگان)

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر در پی ارزیابی نقش تحولات کالبدی بر روابط عملکردی مابین فضاها با تأکید بر مؤلفه‌های معماری "نفوذپذیری"، "دسترسی بصری"، " دسترسی فیزیکی" و "انعطاف‌پذیری" در خانه‌های قاجاری تبریز است. بر این اساس، تعدادی خانه با الگوهای مختلف و به‌طور تصادفی از میان مسکن در سه دوره اوایل، اواسط و اواخر قاجار برگزیده شدند و به‌طور خلاصه می‌توان گفت که با وجود تغییراتِ اساسی در ساختار فضا، روابط فضایی و عملکرد فضا در بسیاری از موارد با ایجاد تمهیداتی حفظ شده است. بر مبنای اطلاعات نحوی مستخرج از این خانه‌ها، یافته‌هایی حاصل شدند که جمع‌بندی و نتایج کلی به‌دست‌آمده از تجزیه و تحلیل‌های یادشده به شرح زیر تبیین می‌شوند:

- تحولات کالبدی مسکن در دوره قاجار در شهر تبریز با وجود تغییرات عمده در شکل ظاهری، در برخی موارد روابط میان فضاها را به صورت چشمگیر تحت تأثیر قرار نداده‌اند. به‌طور مثال، عمیق واقع شدن فضای حیاط یا به‌عبارتی "میزان عمق فضایی" که به جدا افتادگی (عدم یکپارچگی) فضایی منجر می‌شود، تأثیر بیشتری را به نسبت تحولات کالبدی- شکلی در کیفیت روابط مابین فضاها دارد.
- با وجود تغییرات اساسی کالبدی، همچنان حیاط، هم‌پیوندترین فضا (دارای اتصالات زیاد و در عمق نسبتاً کم به‌جز خانه مجتهدی) است.
- میزان دسترسی بصری و فیزیکی نیز با توجه به این تحولات همچنان تغییرات چشمگیری ندارد؛ زیرا با وجود عوض شدن جایگاه فضاها، همچنان ساختار عملکردی حفظ شده و در نتیجه، میزان دسترسی‌ها تغییرات محسوسی را به خود نمی‌بینند.
- از جمله تغییرات کالبدی که روابط فضا را متأثر نموده، تغییر جایگاه پله است. با خروج فضای "پله(ها)" از قلب خانه به جلوی ورودی‌ها به دلایل مختلف عملکردی-کالبدی، از میزان یکپارچگی فضا کم شده است. لذا این تغییر کالبدی در روابط فضایی و کیفیت ارتباطی میان آنها تغییر ایجاد نموده است.

در مجموع به نظر می‌رسد که شکل‌گیری عملکرد فضا و روابط کالبدی- انسانی در خانه، به دو عامل "گذر زمان" و "ثباتِ کالبد" بستگی دارد؛ به این معنی که در صورت سکونت فرد یا افرادی در یک کالبد ثابت در بازه زمانی نسبتاً طولانی، کیفیتی به نام روابط فضایی منطبق بر کارکرد به‌وجود می‌آید و در غیر این‌صورت ایجاد آن ممکن نیست یا به‌سختی ممکن است. کیفیت یادشده بر اساس متغیرهای گوناگونی به‌وجود می‌آید که در متن پژوهش با عنوان مؤلفه‌های معماری از آن نام برده و از آنها بهره گرفته شد.

حال اگر بدون در نظر گرفتن فاکتور گذر زمان، ثبات کالبدِ از بین رفته و سازمان‌دهی فضایی در بازه زمانی بسیار کوتاهی تغییر کند، در حالی که هنوز شیوه یا شیوه‌های جدید زندگی پایه‌های خود را مستحکم ننموده باشد و به‌عنوان "انتخاب طبیعی" مورد گزینش واقع نشده باشد و با فضای جدید در تطبیق فضایی- رفتاری نباشد، آنگاه به نظر می‌رسد که عملکرد فضا دچار مشکلاتی شود که کارایی فضا یا فضاها را دچار خدشه نماید؛ اتفاقی که احتمالاً در خانه‌های کوشکی افتاده و عملکرد سابق فضا با همان کیفیت قبلی را در مواردی ندارد.

در انتها ذکر این نکته ضروری است که خانه‌های مورد نظر پژوهش حاضر همگی یک حیاطه بوده و در صورت وجود حیاط‌های بیشتر در بنا ممکن است نتایجی غیر از موارد یادشده به‌دست آیند که خود نیازمند بررسی در پژوهش‌های دیگر است. این مسئله در رابطه با ارزیابی شاخص‌هایی چون انواع دسترسی‌های بصری و فیزیکی نیز صدق می‌کند که می‌تواند در پژوهش‌های آتی به وسیله مؤلفه‌های نحوی- کالبدی دیگر نظیر ایزوویست و مخروط دید در خانه‌ها و یا کاربری‌های دیگر در دوره‌های زمانی گوناگون مورد بررسی قرار گیرد.

پی‌نوشت

۱. مهمان‌خانه یا فضایی که به منظور پذیرایی از مهمان در خانه‌ها در نظر گرفته می‌شد.
۲. کله‌ای به علت ارتفاع زیاد در طنبی در دو سوی آن و در طبقه فوقانی قرار می‌گیرد. این فضا بیشتر مربوط به دوره متقدم بوده و در دوره متأخر قابل مشاهده نیست. محل قرارگیری کله‌ای، دو سوی امتداد محور اصلی ساختمان در جبهه شمالی و در طبقه اول است (کی‌نژاد و شیرازی، ۱۳۸۹: ۱۷).

۳. حوض‌خانه در خانه‌های سنتی، فضای اصلی و مهم بوده که در امتداد محور اصلی بنا و در جبهه شمالی واقع می‌شد. این فضا -همان‌گونه که از نام آن پیدا است- محل استقرار حوض بوده و از آن به‌عنوان یک فضای تک جهت نشستن و استراحت و همچنین فضایی جهت نگهداری گوشت و غلات استفاده می‌شد. محل استقرار حوض‌خانه معمولاً در زیر طنبی بوده است (خانه سلماسی، حاج شیخ، علوی، مجتهدی جنوبی و قدکی) (کی‌نژاد و شیرازی، ۱۳۸۹: ۱۷).

۴. نرم‌افزار اصلی مدل نحو فضا، Depthmap است. این ابزار رایانه‌ای، از جمله نرم‌افزارهایی است که به منظور تحلیل فضاهای مختلف از فضاهای شهری تا فضاهای معماری، مورد استفاده قرار می‌گیرد. با استفاده از این نرم‌افزار، شاخص‌هایی همچون؛ عمق فضا (زاویه دید)، میزان دید و درجه ادغام بررسی می‌شوند.

۵. پلاگین، قابلیتی است که به نرم‌افزار پایه جهت اضافه نمودن و یا ارتقای قابلیت‌های ابزارهای رایانه‌ای به آنها افزوده می‌شود.

6. Grasshopper-SYNTACTIC

7. Multi Functionality and Diversity

۸. رنگ در این نمودارها معنی خاصی ندارد و عموماً برای تفاوت گذاشتن میان فضاها در عمق‌های مختلف انتخاب شده است. اندازه دوایر هم به نسبت مساحت میان آنها مرتبط است؛ به‌طور مثال، دایره بزرگ‌تر نشان‌دهنده مساحت بیشتر است و اتصال میان دوایر، به معنی ارتباط میان فضاها است.

۹. در نرم‌افزار دپث‌مپ، رنگ‌های قرمز، نارنجی، زرد، سبز و آبی به ترتیب نشان‌دهنده اعداد از زیاد به کم هستند.

۱۰. فضای راه‌پله به این دلیل برگزیده شد که این فضا در خانه‌ها در طول دوره قاجار، دارای جایگاه متفاوتی بوده و در تمامی نمونه‌های مورد نظر به‌کار برده شده است. ذکر این نکته ضروری است که در برخی خانه‌ها چند راه‌پله وجود داشت که یکی از آنها به‌طور تصادفی انتخاب شد.

۱۱. در این تحلیل، فضای ورودی اصلی (منتهی به هشتی) به‌عنوان فضای ریشه انتخاب شد.

منابع و مآخذ

- ارمغان، مریم؛ سلطان‌زاده، حسن و بهبهانی، هما (۱۳۹۴). بازتعریف نقش زن در خانواده و تأثیر آن بر تزئینات نقاشی و ساختار خانه‌های اعیانی تهران در دوره قاجار. *باغ نظر*، سال دوازدهم (۳۴)، ۲۴-۱۱.
- بنتلی، ای ین؛ الکک، آلن؛ مورین، پال؛ مک گلین، سو و اسمیت، گراهام (۱۳۹۰). **محیط‌های پاسخ‌ده (کتاب راهنمای طراحان)**. ترجمه مصطفی بهزادفر، چاپ ششم، تهران: دانشگاه علم و صنعت.
- پیرنیا، محمد کریم (۱۳۸۴). **آشنایی با معماری اسلامی ایران**. تدوین غلامحسین معماریان، چاپ دهم، تهران: سروش دانش.
- عین‌السلطنه، قهرمان میرزا (۱۳۷۴). **روزنامه خاطرات عین‌السلطنه**. به کوشش مسعود سالور و ایرج افشار، جلد اول، چاپ اول، تهران: اساطیر.
- عینی‌فر، علیرضا (۱۳۸۲). الگویی برای تحلیل انعطاف‌پذیری در مسکن سنتی ایران. *هنرهای زیبا*، سال سیزدهم (۱۳)، ۷۷-۶۵.
- قبادیان، وحید (۱۳۹۳). **سبک‌شناسی و مبانی نظری در معماری معاصر ایران**. چاپ دوم، تهران: علم معمار.
- کاتب، فاطمه (۱۳۸۴). **معماری خانه‌های ایرانی، وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی**. چاپ اول، تهران: سازمان چاپ و انتشارات.
- کی‌نژاد، محمد علی و شیرازی، محمد علی (۱۳۸۴). تحلیل کالبدی خانه‌های قدیمی تبریز. **مجموع مقالات سومین کنگره تاریخ معماری و شهرسازی ایران**. تهران: رسانه‌پرداز. ۱۷۵-۱۶۰.
- کی‌نژاد، محمد علی و شیرازی، محمد علی (۱۳۸۹). **خانه‌های قدیمی تبریز**. جلد اول، چاپ اول، تهران: شادرنگ.
- ناری قمی، مسعود و عباس‌زاده، محمد جواد (۱۳۹۳). مهمان در خانه: یک بررسی تطبیقی میان ایران و غرب در آستانه دوران مدرن (نمونه موردی: مسکن دوره قاجاری تبریز). *فصلنامه پژوهش‌های معماری اسلامی*، سال اول (۳)، ۱۰۸-۹۳.
- نجمی، ناصر (۱۳۷۵). **دارالخلافه تهران در یک‌صد سال پیش**. چاپ دوم، تهران: ارغوان.

- Al-Haiali, H. & Al-Tayib, A. (2006). "*Change of architectural elements and its effect on Mosul architecture*". M.Sc. thesis. Mosul, Iraq: Mosul University.
- Dawson, P.C. (2002). Space syntax analysis of Central Inuit snow houses. *Journal of Anthropological Archaeology*, 21 (4), 464-480.

- Hanson, J. (2003). **Decoding of Homes and Houses**. 1st Edn. Cambridge: Cambridge University Press.
- Hillier, B. (1993). Specifically Architectural Theory: A Partial Account of the Ascent from Building as Cultural Transmission to Architecture as Theoretical Concretion. *Harvard Architectural Review*, 1 (9), 8-27.
- Hillier, B. (2007). **Space is the Machine**. Cambridge: Cambridge University Press.
- Hillier, B. & Hanson, J. (1984). **The social logic of space**. Cambridge: Cambridge University press.
- Hillier, B.; Hanson, J. & Graham, H. (1986). Ideas are in things: an application of the space syntax methods to discovering house genotypes. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 14 (1), 363-385.
- Jeong, S.Y. & Ban, Y.U. (2014). The spatial configurations in South Korean apartments built between 1972 and 2000. *Habitat International*, 42, 90-102.
- Mustafa, F. (1983). **Arab House in Iraq in Islamic Era, General Foundation of Archeology and Heritage**. Baghdad, Iraq: Dar Al-Hurriya Press.
- Mustafa, F. (2014). **Spatial Configuration and Functional Efficiency of House Layouts**. Saarland, Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing.
- Nourian, P. (2016). "*Configraphics Graph Theoretical Methods for Design and Analysis of Spatial Configurations"*. PhD theses. Delft University.
- Nourian, P.; Rezvani, S. & Sevil, S. (2013). A syntactic architectural design methodology: Integrating real-time space syntax analysis in a configurative architectural design process. **9th International Space Syntax Symposium**. Seoul: Sejong University.
- Oswald, M.J. (2011). A Justified Plan Graph Analysis of the Early Houses (1975-1985) of Glem Murcutt. *Nexus Network Journal [e-journal], 13 (3),* 737-762.
- Pollock, S. (2004). **Ancient Mesopotamia** (5th ed.). Cambridge: Cambridge University Press.
- Turner, A. & Penn, A. (1999). Making isovists syntactic: isovist integration analysis. **Proceedings of the 2nd International Space Syntax Symposium**. Brasilia, Brazil: Universidade de Brasília.
- Turner, A.; Doxa, M.; O'Sallivan, D. & Penn, A. (2001). From isovist to visibility graph: A metodology for the analysis of Architectural Space. *Environment and Planning B: Palnning and Design, 1 (28), 103-121.*
- Van der Hoeven, F. & Van Nes, A. (2014). Improving the design of urban underground space in metro stations using the space syntax methodology. *Tunnelling and Underground Space Technology*, (40), 64-74.