ISSN: 2008-5079 / EISSN: 2538-2365
DOI: 10.22034/AAUD.2019.97357

مقایسه تطبیقی راندمان عملکردی پیکره‌بندی فضاها در سه نظام خانه با پیمون بزرگ، پیمون کوچک و خرده پیمون با استفاده از روش چیدمان فضا

علی اکبر حیدری[1*]- الهه اکبری[2]- آرمان اکبری[3]

۱. استادیار گروه معماری، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران (نویسنده مسئول).
۲. کارشناس ارشد معماری، دانشکده فنی و مهندسی، واحد یاسوج، دانشگاه آزاد اسلامی، یاسوج، ایران.
۳. کارشناس ارشد معماری، دانشکده فنی و مهندسی، واحد یاسوج، دانشگاه آزاد اسلامی، یاسوج، ایران.

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۱/۱۴ تاریخ اصلاحات: ۹۵/۰۲/۲۰ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۵/۰۳/۲۹ تاریخ انتشار: ۹۸/۰۹/۳۰

چکیده

از میان فضاهایی که انسان در آن حضور می‌یابد، خانه مکانی است که آدمی به طور روزمره از آن تأثیر می‌گیرد و برآن تأثیر می‌گذارد. هرکدام از فضاهای مختلف خانه دارای ویژگی‌های منحصر به فردی هستند که عوامل مختلفی از قبیل عوامل اقلیمی، فرهنگی، اجتماعی و غیره در شکل‌دهی به آن‌ها نقش دارند. استقرار این فضاها در کنار یکدیگر، نظام‌های فضایی متفاوتی را ایجاد می‌کند که منجر به شکل‌گیری گونه‌های مختلف در این نوع معماری می‌شود و علاوه بر تفاوت‌های شکلی، الگوهای مختلف استفاده از آن را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. هدف از انجام این پژوهش، بررسی و مقایسه میزان راندمان عملکردی خانه در سه الگوی خانه با نظام‌های پیمون بزرگ، کوچک و خرده پیمون با استفاده از روابط ریاضی نحوفضا می‌باشد. به همین منظور نه خانه سنتی در سه نظام فضایی مذکور از سه شهر کاشان، اصفهان و یزد به عنوان موردهای مطالعاتی انتخاب شد. روش تحقیق در این پژوهش توصیفی_ تحلیلی است و نوع استدلال به کار گرفته شده به‌صورت استنتاجی و از نوع قیاسی است. داده‌های اولیه از طریق ترسیم گراف‌های مربوط به هرکدام از پلان‌های خانه‌های مورد مطالعه استخراج و سپس این داده‌ها در روابط ریاضی چیدمان فضایی به کار گرفته شد. از این طریق بر اساس شاخص‌های «ارزش فضایی»، «عمق میانگین فضا» و «ادغام نسبی»، راندمان عملکردی هر یک از الگوهای مذکور استخراج شد. نتایج تحقیق حاکی از آن بود که خانه با پیمون بزرگ دارای بیشترین ارزش فضایی، بیشترین میزان عمق و بیشترین میزان ادغام نسبی است که در نهایت منجر به افزایش راندمان عملکردی این الگوی خانه نسبت به دو الگوی پیمون کوچک و خرده پیمون شده است. همچنین بررسی عامل تفاوت فضا در نه الگوی مورد بررسی نشان از وجود شباهت در پیکره‌بندی و سازمان فضایی خانه‌های کاشان و اصفهان و تفاوت این‌دو نسبت به خانه‌های یزد دارد.

واژگان کلیدی: راندمان عملکردی، خانه، پیمون بزرگ، پیمون کوچک، خرده پیمون.

* E_mail: Aliakbar_heidari@iust.ac.ir

۱. مقدمه

خانه‌ها مکانی برای زیستن هستند نه برای نگریستن؛ بنابراین کاربردشان مهم‌تر از شکل ظاهریشان است مگر آن‌که هر دو مفهوم در آن جمع شده باشد. از میان فضاهای پیرامون انسان، خانه بلافصل‌ترین فضای مرتبط با آدمی است که به طور روزمره از آن تأثیر می‌گیرد و بر او تأثیر می‌گذارد. خانه اولین فضایی است که آدمی احساس تعلق فضایی را در آن تجربه می‌کند و تنها مکانی است که اولین تجربه‌های بی‌واسطه با فضا در خلوت و جمع در آن صورت می‌گیرد (Ando, 2016).

در کنار این موضوع، در نظریه‌ای که به‌وسیله بیل هیلیر (۲۰۰۷) بیان نموده، نشان داده شده است که علاوه بر مشخصات ظاهری فضا مانند فرم، شکل، رنگ، بافت و غیره، آنچه بر نحوه تجربه یک فضا توسط کاربران آن تأثیرگذار می‌باشد، نحوه ارتباط بین ریز فضاهای آن با یکدیگر است که از آن به عنوان پیکره‌بندی فضایی یاد می‌شود. وی در ادامه چنین توضیح می‌دهد که این نحوه نگرش به فضا، شناخت رفتارهای اجتماعی را که معمولاً به صورت کیفی هستند، در قالب مقادیر کمی امکان پذیر می‌نماید. وی همچنین بیان می‌دارد که پیکره‌بندی فضاها در یک بنا و یا یک شهر را می‌توان با استفاده از ابزار گراف مورد بررسی قرار داد و از این طریق برای شناخت آن از تحلیل‌های ریاضی استفاده نمود. وی از این علم تحت عنوان نحو فضا[1] یاد می‌کند (Hillier, 2007).

از جمله مفاهیمی که در حوزه نحو فضا قابل بررسی است، مفهوم راندمان عملکردی می‌باشد. این مفهوم که در علوم مختلف کاربرد فراوان دارد، در علوم محیطی تحت عنوان قابلیت محیط در رفع سطوح مختلف نیازهای انسان تبیین شده است. در همین ارتباط در علم روانشناسی محیط، مفهوم راندمان عملکردی یک محیط، توانایی آن محیط در پاسخگویی به نیازهای مختلف جسمی و روانی استفاده‌کنندگان از آن تعریف شده است که از جمله این نیازها می‌توان به مواردی چون امنیت، آرامش، سرزندگی، تعلق خاطر و مواردی از این قبیل اشاره نمود (Altman, 1976; Newman, 1972; Lang, 1987) . در حوزه انرژی و زیست محیطی نیز مفهوم راندمان عملکردی یک فضا در میزان تأمین شرایط آسایشی افراد استفاده کننده از آن فضا از جمله شرایط مربوط به گرمایش، سرمایش، تأمین نور، تهویه و مواردی از این قبیل تعریف شده است (Fanger, 1972; Humphreys & Nicol, 1998; De Dear, 1998). با این حال در علم نحو فضا، مفهوم راندمان عملکردی در میزان استفاده‌پذیری یک فضا توسط کاربران آن معرفی شده است. در این ارتباط شاخص‌هایی چون موقعیت استقرار فضای مورد نظر در ساختار کلی بنا، میزان پیوند و ارتباط آن با فضاهای مجاور خود، میزان دسترسی به فضای مذکور و مواردی از این دست در میزان راندمان فضای مورد نظر تأثیرگذار هستند (Mostafa & Hassan, 2013).

در ادبیات معماری سنتی ایران به ویژه در حوزه خانه، مهم‌ترین دسته‌بندی از منظر پیکره‌بندی فضایی توسط پیرنیا (۱۳۸۷) انجام گرفته است که در آن خانه‌های مختلف بر اساس سطح زیربنا و نیز عناصر سازنده به سه نظام پیمون بزرگ، کوچک و خرده پیمون تقسیم نموده است (Pirnia, 2008, p. 181). بر این اساس پژوهش حاضر قصد بر آن دارد که با تکیه بر روش‌های کمی نحو فضا، به بررسی و مقایسه ساختار فضایی خانه‌ها در سه نظام خرده پیمون، پیمون کوچک و پیمون بزرگ بپردازد. لذا پژوهش حاضر در پی پاسخ به پرسش‌های زیر است:

۱- چگونه می‌توان با استفاده از روابط ریاضی چیدمان فضا و نیز با استناد به مجموعه اطلاعاتی که از پیکره‌بندی فضاها حاصل می‌آید، به ارزش فضایی و راندمان عملکردی فضاها دست یافت؟

۲- آیا می‌توان با در اختیار داشتن اطلاعات کمی فضایی، به شناخت الگوهای اجتماعی- فرهنگی حاکم در خانه پی برد؟

۳- از میان سه نظام خرده پیمون، پیمون کوچک و پیمون بزرگ، کدامیک از منظر راندمان عملکردی و ارزش فضایی در بالاترین سطح قرار دارد؟

۲. ادبیات تحقیق

در این بخش به تحلیل نقش پیکره‌بندی خانه در تبیین الگوهای فرهنگی- اجتماعی حاکم بر آن‌ها و نیز نقش این موضوع بر تحلیل راندمان عملکردی خانه‌ها پرداخته می‌شود.

۲-۱- تحلیل پیکره‌بندی فضایی در راستای تبیین الگوهای فرهنگی- اجتماعی

این نظریه توسط هیلیر و هانسون در سال ۱۹۸۴ میلادی در لندن پایه ریزی شد و اساس آن بر تحقیق در نحوه ارتباط بین فرم‌های اجتماعی و فضایی بنا شده است. این نظریه بر این باور است که فضا هسته اولیه و اصلی در چگونگی رخدادهای اجتماعی و فرهنگی می‌باشد. اگرچه فضا خود نیز در خلال فرآیندهای اجتماعی، فرهنگی و اقتصادی شکل می‌گیرد، معمولاً به عنوان بستری برای فعالیت‌های اجتماعی و فرهنگی به شمار می‌رود (Makrí & Folkesson, 2000). در همین راستا اصلی‌ترین ایده‌ای که این نظریه به آن پرداخته است، مفهوم پیکره‌بندی فضایی است که در آن، ارتباط هر عنصر با دیگر عناصر کل سیستم اهمیت پیدا می‌کند. در همین ارتباط هیلیر بر این اعتقاد است که فرم‌های فضایی و اجتماعی از چنان رابطه تنگاتنگی تبعیت می‌کنند که پیکره‌بندی فضایی به تنهایی می‌تواند بسیاری از الگوهای اجتماعی را تعریف کند. به این ترتیب در تحلیل فضا و رفتار مخاطبین در آن، مهم‌ترین نکته درنظر گرفتن ارتباط بین فضاها در یک سیستم کلان

است که در این مقاله از آن به عنوان پیکره‌بندی فضایی یاد می‌شود. بدین صورت از دیدگاه این نظریه ارتباط بین فعالیت و فضا بیش از آن‌که در خصیصه‌های فضا به صورت انفرادی قابل تعریف باشد در ارتباطات موجود بین فضاها یا همان پیکره‌بندی فضایی و نیز ارتباطات بین مخاطبین قابل درک و تعریف می‌باشد (Hillier, 2007).

۲-۲- تفسیر میزان ارزش فضایی و راندمان عملکردی فضا در روش چیدمان فضایی

«روش چیدمان فضا»، یک رویکرد توسعه یافته در تجزیه و تحلیل ساختار فضایی محیط‌های انسان ساخت است. هدف از این روش، توصیف مدل‌های فضایی و نمایش این مدل‌ها در قالب شکل‌های عددی و گرافیکی و در نتیجه تسهیل نمودن تفسیرهای علمی در رابطه با فضاهای مورد نظر است (Mostafa & Hassan, 2013, p. 445). یکی از این روش‌ها، بررسی ساختار چیدمان فضایی یا نحو فضا است که با بررسی ارتباطات میان فضای کالبدی و ساختار فضایی موجود در آن، نتایج را به صورت داده‌های گرافیکی و ریاضی ارائه می‌نماید. با استفاده از تحلیل این داده‌ها می‌توان ارتباط متقابل رفتار مردم و کالبد محیط را بررسی کرده و تأثیر و یا تغییر آن‌ها در گذر زمان را پیش‌بینی نمود. یکی از اهداف استفاده از روش نحو فضا، درک روابط اجتماعی در فضا مانند ایجاد حریم و درجه عمومی و خصوصی بودن فضاها است (Memarian, 2005, p. 339). به عنوان مثال در خانه‌های سنتی ایرانی، با افزایش میزان عمق فضایی، میزان دسترسی فضایی کاهش می‌یابد که این امر در نهایت منجر به افزایش میزان محرمیت فضایی می‌گردد. این موضوع به ویژه در استقرار بخش اندرونی خانه در دورترین فاصله و دسترسی نسبت به فضای ورودی نمود یافته است (Memarian & Sadoughi, 2011).

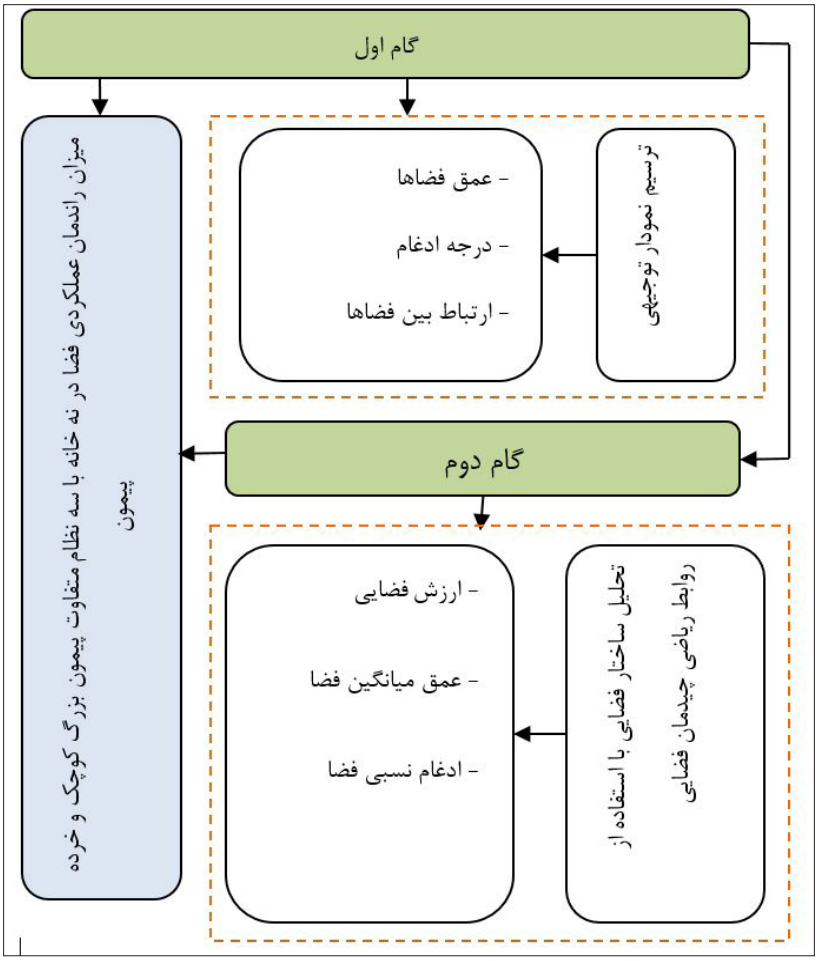
از نظر هیلیر«کارامدی فضا» شامل توانایی یک مجموعه برای تطبیق عملکردهای متناسب با هر ریزفضا در کل مجموعه است (Hillier, 2007, P. 247). عوامل کارآمدی فضاها شامل مواردی چون ارتباط میان فضا و فعالیت‌های موجود در آن‌ها، وجود محورهای مناسب حرکتی در فضا، انعطاف‌پذیری فضایی، تناسبات فضایی و امنیت موجود در فضا هستند که کلیه این موارد از جمله مسائل اساسی در طراحی یک محیط به شمار می‌روند. این عوامل کاملاً با فعالیت‌های افراد ساکن در ارتباط هستند و نقش مهمی در موفقیت یک محیط ایفا می‌کنند. لذا چنین به نظر می‌رسد که پیکربندی نادرست، کارآمدی بنا را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد. یک بنا زمانی کارآمد محسوب می‌شود که استفاده‌کنندگان از آن بتوانند بدون هیچ مشکلی در فعالیت‌های گوناگون موجود در آن شرکت کنند (Lang, 1987).

در نظریه‌ای که به‌وسیله بیل هیلیر ۱۹۸۶ مطرح شد، برای اولین بار با استناد به«عامل تفاوت فضا»، به بررسی ارزش‌های مختلف فضایی در یک پلان با استفاده از روش‌های کمی (روابط ریاضی نحو فضا) پرداخته شد. این در حالی است که تا پیش از این، در نظریه‌های راپاپورت[۲]، تشخیص ارزش فضایی تنها با استفاده از روش‌های کیفی انجام می‌گرفت. هیلیر در ادامه با بررسی ۱۷ تیپ از خانه‌های روستایی در فرانسه و با در نظر گرفتن الگوهای فضایی آن خانه‌ها، این موضوع را مطرح نمود که شاید بتوان با مشاهده الگوی خانه‌ها، آن‌ها را به نوعی دسته‌بندی نمود به نحوی که نظم حاکم بر ساختار فضایی آن‌ها قابل مشاهده باشد (Hillier, 2007).

۳. روش تحقیق

همانطور که پیش از این مطرح شد، هدف اصلی از پژوهش حاضر بررسی میزان راندمان عملکردی فضایی در نه الگو خانه با نظام فضایی پیمون خرده،کوچک و بزرگ است. بر این اساس از روش روابط ریاضی چیدمان فضایی استفاده می‌شود. به منظور استخراج داده‌های لازم جهت استفاده در روابط ریاضی چیدمان فضا، از سیستم گراف استفاده می‌شود. به این ترتیب که در گام نخست پژوهش، گراف‌های مربوط به هر کدام از موردهای مطالعاتی به صورت جداگانه و از بخش ورودی اصلی بنا ترسیم و درگام دوم اطلاعات به‌دست آمده از گام نخست، به‌عنوان داده‌های مورد نیازدر روابط ریاضی چیدمان فضای استفاده می‌شود. در این گام از سه شاخص برای سنجش راندمان عملکردی خانه‌ها استفاده شده‌است که شامل ۱. محاسبه عامل ارزش فضایی؛ ۲. شاخص محاسبه میزان عمق فضایی و ۳. شاخص ادغام نسبی است که در ادامه به تفصیل در مورد هر کدام توضیحات مربوطه ارائه خواهد شد.

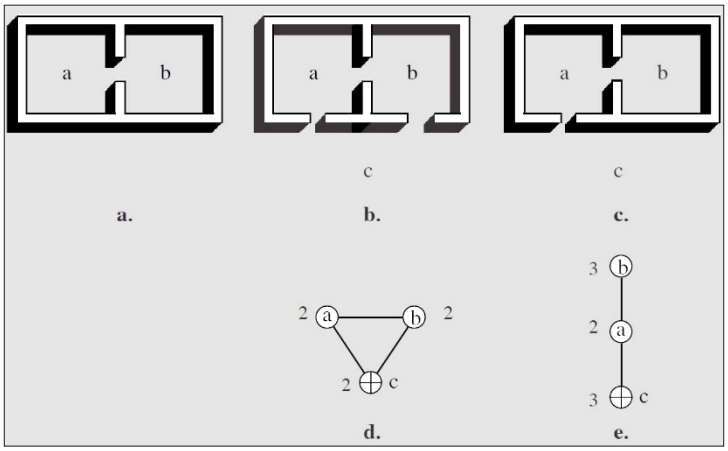
شکل ۱: دیاگرام فرآیند تحقیق



۳-۱- گام اول: استخراج پیکره‌بندی فضایی با استفاده از ترسیم گراف

گراف‌ها یا نمودارهای توجیهی، شامل دیاگرام‌هایی هستند که به منظور نمایش فضاها و نیز نحوه ارتباطات میان آن‌ها استفاده می‌شوند. از تجزیه و تحلیل این نمودارها اطلاعاتی همچون ساختار چیدمان فضاها، میزان عمق فضاها، درجه ادغام آن‌ها و همچنین نحوه ارتباط میان آن‌ها قابل استخراج است. نتایج به‌دست آمده در این گام، اطلاعات لازم جهت استفاده در گام دوم را فراهم می‌نماید.

شکل ۲: مفاهیم پایه‌ای گراف



(Hillier, 2007)

۳-۲- گام دوم: تحلیل راندمان عملکردی با استفاده از روابط ریاضی چیدمان فضایی

همانگونه که پیش از این نیز مطرح شد، در این بخش به منظور بررسی میزان راندمان عملکردی فضاها در سه الگوی مورد نظر، از سه شاخص شامل عامل «ارزش فضا»، شاخص محاسبه میزان «عمق فضایی» و شاخص محاسبه میزان «ادغام نسبی» استفاده می‌شود که در ذیل به توضیح هرکدام پرداخته می‌شود:

۳-۲-۱- محاسبه ارزش فضایی

به منظور محاسبه ارزش فضایی ابتدا باید عامل تفاوت فضایی مورد بررسی قرار گیرد. بررسی عامل تفاوت فضا با استفاده از درجه یا میزان پیوند هر فضا نسبت به فضاهای دیگر مشخص می‌شود. درجه پیوند (تعداد پیوند) یک فضا با توجه به نمودار توجیهی آن، عمق نسبی فضا در رابطه با سایر فضاها را در هر ساختار فضایی نشان می‌دهد و نشان‌دهنده میزان نفوذپذیری در پیکربندی از لحاظ کمی است. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که مقادیر پیوند، تاحدود بسیار زیادی پیش‌بینی کننده میزان استفاده از فضا هستند؛ به این معنی که پیوند کمتر احتمال استفاده کمتر و پیوند بیشتر احتمال استفاده بیشتر از فضا را نشان می‌دهد. نقطه قوت یا ضعف این نابرابری بین مقادیر پیوند، بیان کننده درجات اهمیت فرهنگی مقرر شده در ادغام (پیوند) یا تفکیک و جداسازی است؛ به این معنی که قوت آن (مقادیر پایین) بیانگر حداکثر ادغام و ضعف آن (مقادیر بالا) نشان‌دهنده حداکثر تفکیک است (Hillier, Hanson, & Peponis,1987, p. 365). در رابطه زیر عامل تفاوت فضا مورد بررسی قرار می‌گیرد:

$$H = -\sum [\frac{a}{t} In (\frac{a}{t})] + [\frac{b}{t} In (\frac{b}{t})] + [\frac{c}{t} In (\frac{b}{t})] + \cdots \quad (۱)$$

در رابطه فوق مقدار H عامل تفاوت فضا به صورت نسبی برای فضاهای c,b,a و غیره است. مقادیرc,b,a غیره خود معرف تعداد پیوندهای مرتبط با هر کدام از فضاهای c ,b ,a و غیره است وt مجموع کلیه پیوندهای فضاهای مورد نظر است که عبارت است از:

$$t = \Sigma (a + b + c) \quad (۲)$$

پس از محاسبه عامل تفاوت فضایی، میزان ارزش فضایی باید مورد محاسبه قرار گیرد. به منظور محاسبه ارزش فضایی از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$H^* = \frac{H - In\ 2}{In\ 3 - In\ 2} \quad (۳)$$

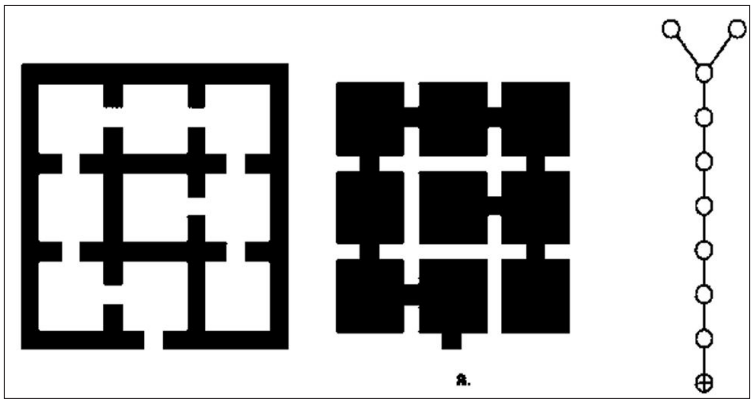
در رابطه فوق، H^* بیانگر میزان ارزش فضایی است که هرچه این مقدار بالاتر باشد، نشان‌دهنده حداکثر تفکیک و در نتیجه کمترین میزان ارزش فضایی است و هر چه این مقدار پایین‌تر باشد، نشان‌دهنده حداکثر ادغام و در نتیجه بیشترین ارزش فضایی است. به بیان دیگر هر چه قدر مقدار H^* کمتر باشد، آنگاه میزان ارزش فضایی بیشتر شده و در نتیجه مقدار راندمان عملکردی افزایش می‌یابد و در مقابل آن هر چه این مقدار بیشتر باشد، آنگاه میزان ارزش فضایی کمتر شده و در نتیجه راندمان عملکردی فضا کاهش می‌یابد.

در رابطه فوق، مقدار H عامل تفاوت فضایی است که از رابطه شماره (۱) قابل استخراج است. مقادیر(۳)ln و (۲) ln ln به ترتیب مقادیر کمینه و بیشینه عامل تفاوت فضا (H) هستند که در رابطه فوق به عنوان مقادیر ثابت در نظر گرفته شده است (Hillier, Hanson, & Graham,1986, p. 365).

۳-۲-۲- محاسبه عمق فضا

منظور از عمق، میزان فاصله‌ای است که یک فضا نسبت به فضای ورودی (فضای پایه‌ای یا ریشه‌ای) دارد. در این خصوص مفهوم عمق میانگین فضا از فضای ریشه‌ای، تعداد مراحلی است که برای رسیدن به هر فضا، از فضای ریشه‌ای باید طی شود. در یک ساختار فضایی، بیشترین میزان عمق زمانی به وجود می‌آید که تمامی فضاها در یک توالی خطی در امتداد محور ورودی قرار گیرد.

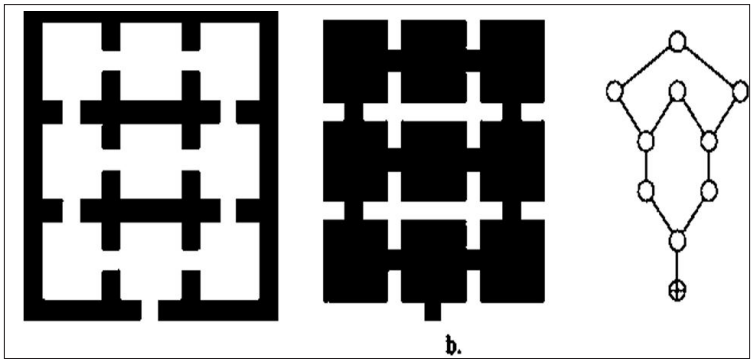
شکل ۳: بیشترین میزان عمق در اثر خطی بودن فضا



(Hillier, 2007, p. 20)

این در حالی است که چنانچه در یک ساختار فضایی، فضاهای مختلف به گونه‌ای حول فضای پایه‌ای (ورودی) سازماندهی شوند که توزیع‌شدگی یکنواختی را در ساختار کالبدی فضا به وجود آورند، آنگاه در چنین حالتی کمترین میزان عمق در ساختار فضایی به وجود می‌آید.

شکل ۴: کمترین میزان عمق در اثر توزیع یکنواخت فضا حول فضای پایه



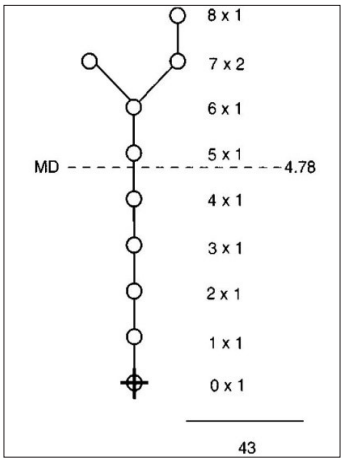
(Hillier, 2007, p. 20)

به منظور محاسبه عمق میانگین فضا، می‌توان از رابطه زیر استفاده نمود:

$$MD = \frac{\sum D}{K - 1} \quad (۴)$$

در رابطه فوق M.D، معرف عمق میانگین فضا از فضای ریشه‌ی، $\sum D$ قدرمطلق کل عمق برای همه فضاها از فضای ریشه‌ای و K تعداد کل فضاهای موجود در گراف است.

شکل ۵: محاسبه مقدار عمق میانگین فضا



(Hillier, 2007)

لازم به ذکر است که هر چه میزان عمق میانگین فضا در یک ساختار فضایی بیشتر شود، راندمان عملکردی در آن فضا کاهش می‌یابد در مقابل هر چه میزان عمق میانگین کاهش یابد، راندمان عملکردی در فضای مذکور افزایش می‌یابد (Hillier, 2007, p. 22).

۳-۲-۳- محاسبه شاخص ادغام نسبی فضا

منظور از ادغام نسبی فضا، میزان پیوند نسبی فضا است که میزان نفوذپذیری ساختار فضایی یک بنا را توصیف می‌کند. مقادیر پایین این شاخص، بیانگر حداکثر ادغام و یکپارچگی فضایی و در مقابل مقادیر بالای آن، بیانگر حداکثر تفکیک فضاها از یکدیگر است. هرچه میزان یکپارچگی فضا بیشتر باشد (مقادیر پایین ادغام نسبی فضا)، میزان راندمان عملکردی در فضا افزایش می‌یابد و در مقابل و هر چه فضاها از یکدیگر منفک‌تر و کم ارتباط‌تر باشند (مقادیر بالای ادغام نسبی فضا)، میزان راندمان عملکردی آن کاهش می‌یابد (Manum, 2009, p. 04).

به منظور محاسبه میزان ادغام نسبی فضا از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$R.R.A = \frac{R.A}{DK} \quad (۵)$$

در رابطه فوق R.R.A نشان‌دهنده میزان ادغام نسبی فضا است. R.A میزان تقارن نسبی فضا بوده و DK تعداد فضاهای به وجود آمده در بزرگترین حلقه موجود در گراف مستخرج از فضای مورد نظر است (Hillier, Hanson, & Graham, 1986, p. 227).

- تقارن نسبی فضا با (R.A) نشان داده شده است. منظور از تقارن نسبی فضا، عمق بصری فضاهای مختلف در یک ساختار فضایی از فضای اصلی (به‌عنوان مثال، دروازه یا

ورودی اصلی) است. اگر میزان عمق یک فضا در یک بنا کمتر از عمق همان فضا در بنایی دیگر باشد، در این حالت آن فضا متقارن نامیده می‌شود. در این حالت تفکیک و جداسازی فضایی افزایش یافته و زمانی که تعداد مراحل بصری بین فضاهای موجود افزایش می‌یابد، منجر به تضعیف ارتباط عملکردی (راندمان و کارایی) می‌شود. بنابراین در طرح‌هایی که عمق فضایی در آن‌ها به حداکثر می‌رسد، از نظر عملکردی برای انواع الگوها در مقایسه با طرح‌هایی که عمق کمتری دارند، نامناسب‌تر هستند (Hillier & Hanson, 1988, p. 147).

به منظور محاسبه میزان تقارن نسبی فضا از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$R.A = \frac{2\,(M.D-1)}{K-2} \qquad (۶)$$

در رابطه فوق، M.D عمق میانگین فضا است که مقدار آن از طریق رابطه شماره (۴) قابل محاسبه است و K تعداد کل فضاهای موجود در گراف است. لازم به ذکر است که مقدار R.A بین صفر و یک متفاوت است. صفر نشان‌دهنده حداکثر ادغام است؛ یعنی هیچ عمقی وجود ندارد (بازده عملکردی بالا) و یک نشان‌دهنده حداکثر تفکیک و جداسازی بوده، یعنی حداکثر عمق (بازده عملکردی پایین).

۴. بررسی موردهای مطالعاتی

بر اساس دیدگاه پیرنیا (۱۳۸۷)، خانه‌های سنتی ایران در سه نظام پیکره‌بندی تحت عنوان سه نظام پیمون بزرگ، پیمون کوچک و خرده پیمون طراحی و ساخته شده‌اند. بر این اساس کلیه فضاهای خانه شامل اندرونی، بیرونی، باربند، حیاط، باغچه، انواع اتاق‌ها (سه دری و پنج دری)، تالار تهرانی، مهمان خانه، راهروها و دیگر فضاها در هر کدام از نظام‌های فوق با یک مقیاس خاص به اجرا در می‌آمدند و در هر پیمون، مقیاس و نحوه ارتباط میان این فضاها با یکدیگر از الگوی خاص آن پیمون تبعیت می‌نماید. پیمون وسیله‌ای برای سهولت در کار و جهت دادن به تمامی اندازه‌ها در نیارش است که سبب می‌شود تا یک معمار از یک اندازه و مقیاس خاص در ساخت بنا استفاده کند. پیمون به این صورت در معماری تنوع ایجاد کرده و به همین دلیل است که در هیچکدام از بناهای سنتی، اثری از تقلید مشاهده نمی‌شود (Pirnia, 2008, p. 180).

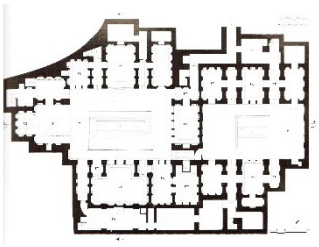
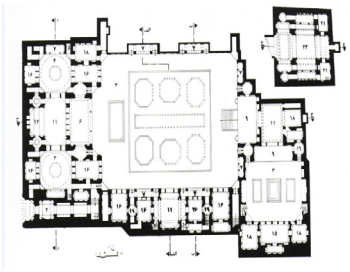
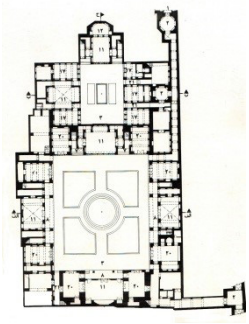
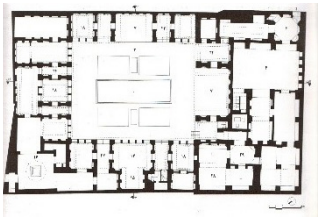
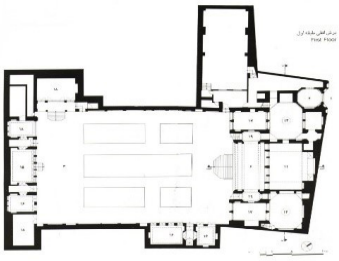
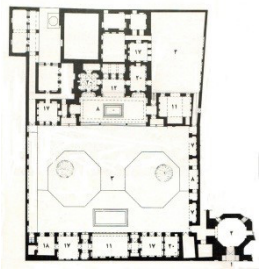
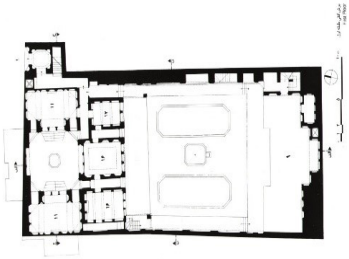
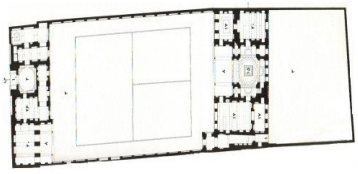
- در خانه با «پیمون بزرگ» ترکیب فضاها به این صورت است که خانه از دو بخش اندرونی و بیرونی تشکیل شده است. فضاها عبارت‌اند از: فضای بیرونی، سفره خانه، اتاق مهمان، فضای اندرونی، تهرانی، تالار و تزر، حمام و آشپزخانه. ابعاد خانه در پیمون بزرگ ۴۸*۴۸ متر است و شکل حیاط در خانه با پیمون بزرگ از تناسب طلایی به‌دست آمده است.

- خانه در «پیمودن کوچک» خانه‌ای ارزان و راحت است. ترکیب آن چیزی شبیه به خانه با پیمون بزرگ می‌باشد که در فضای اندرونی آن دواتاق سه دری، یک اتاق پنج دری، تالار و آشپزخانه قرار گرفته است و اتاق مهمان در بخش بیرونی خانه می‌باشد. ابعاد این خانه ۳۲*۳۲ متر است و حیاط آن نیز با تناسبات طلایی به‌دست آمده است.

- در نظام «خرده پیمون»، خانه کوچک و درویشانه بوده و از دو تا سه اتاق تشکیل شده است و در عین حال دارای اندرونی و بیرونی نیز می‌باشد. در این خانه‌ها سه دری‌ها به پنج دری تبدیل شده و دارای تالارو تهرانی نیز می‌باشد. در فضای بیرونی خانه، تالار و مهمان خانه واقع شده است و در فضای اندرونی پنج دری یا شکم دریده، تالار و آشپزخانه قرار دارد. این خانه‌ها زیباتر از خانه‌های با پیمون بزرگ هستند و در آن‌ها حداکثر استفاده از سانت به سانت زمین شده است (Pirnia, 2008).

در این پژوهش نه عدد خانه با پیکره‌بندی متفاوت به‌عنوان موردهای مطالعاتی، مورد بررسی قرار گرفت که سه خانه واقع در شهر یزد، سه خانه در شهر کاشان و سه خانه در شهر اصفهان واقع شده‌اند. پیکره‌بندی‌های مختلف بر اساس نوع پیمون خانه‌ها انتخاب شده‌اند؛ به این ترتیب که از مجموع این نه خانه، سه الگوی اول در پیمون بزرگ، سه الگوی دوم در پیمون کوچک و سه الگوی سوم در نظام فضایی خرده پیمون انتخاب شده‌اند. هرکدام از این خانه‌ها دارای فضاهایی نظیر ورودی، حیاط بیرونی، حیاط اندرونی، فضاهای نیمه باز و فضاهای سرپوشیده متعدد و متنوع می‌باشد. به منظور دستیابی به اهداف پژوهش از میان فضاهای مختلف موجود در پیکره‌بندی خانه‌ها، باید فضاهایی انتخاب می‌شد که اولاً در تمام نمونه‌های ذکر شده وجود داشته باشند؛ ثانیاً به لحاظ عملکردی، نقش مهمی در شکل‌گیری پیکره‌بندی خانه داشته باشند؛ به‌طوری که اگر مکان آن در ساختار خانه تغییر کند منجر به تغییر روابط میان تمامی فضای وابسته به آن فضا شود و بر ساختار فضایی کل خانه تأثیر گذارد. با توجه به مطالب بیان شده سه فضای «حیاط بیرونی»، «حیاط اندرونی» و «مهمان‌خانه» به‌عنوان فضاهای نمونه درنظر گرفته شد.

جدول ۱: موردهای مطالعاتی در سه نظام پیمون بزرگ، پیمون کوچک و خرده پیمون

	خانه‌های یزد	خانه‌های کاشان	خانه‌های اصفهان
پیمون بزرگ			
	الگوی ۱- خانه گرامی (Hajighasemi, 2009, p. 154)	الگوی ۲- خانه طباطبایی Soltanzadeh & Mosavi) Rezvati, 1996)	الگوی ۳- خانه عکاف زاده و شریف (Mola Asadallah, 1998)
پیمون کوچک			
	الگوی ۴- خانه مشکیان (Hajighasemi, 2009, p. 202)	الگوی ۵- خانه خیریه Soltanzadeh & Mosavi) Rezvati, 1996)	الگوی ۶- خانه شیخ الاسلام (Mola Asadallah, 1998)
خرده پیمون			
	الگوی ۷- خانه عرب (بی بی رقیه) (Hajighasemi, 2009, p. 84)	الگوی ۸- خانه باکوچی Soltanzadeh & Mosavi) Rezvati, 1996)	الگوی ۹- خانه سوکیاسیان (Mola Asadallah, 1998)

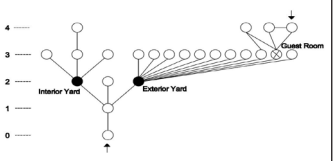
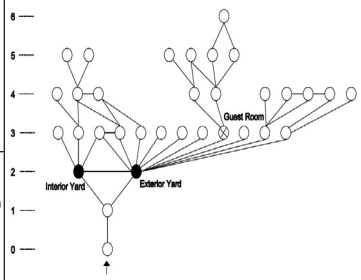
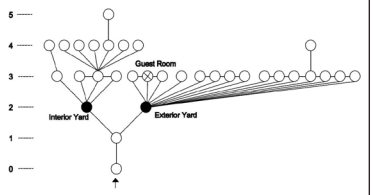
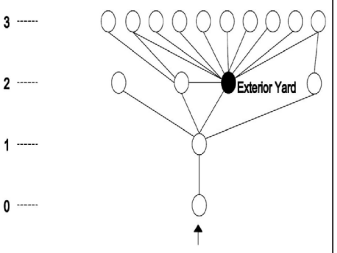
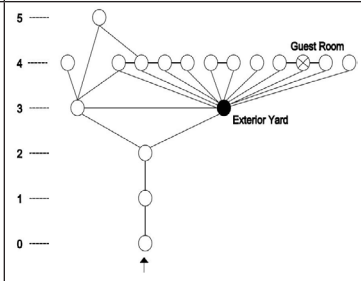
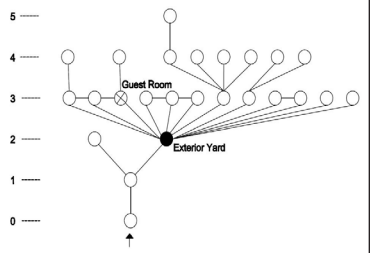
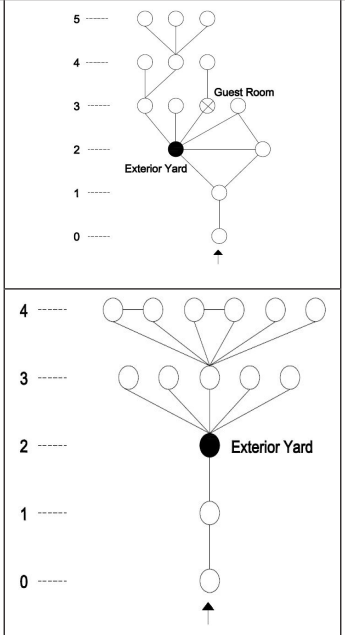
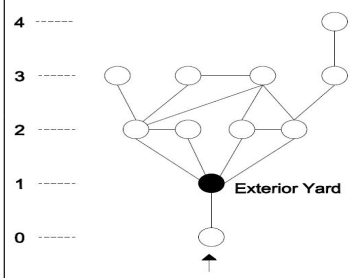
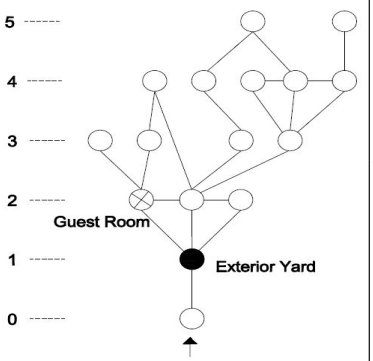
۵. بحث و تحلیل

در این قسمت، ساختار پژوهش بر اساس گام های تعریف شده در بخش روش تحقیق انجام می‌گیرد.

الف- گام اول، استخراج پیکره‌بندی فضایی با استفاده از ترسیم گراف:

در این گام ارتباطات فضایی هر یک از خانه‌های مورد نظر در قالب گراف استخراج می‌شود. در ترسیم گراف‌ها، فضای ورودی به عنوان فضای پایه در نظر گرفته شده است.

جدول ۲: گراف موردهای مطالعاتی در سه نظام پیمون بزرگ، پیمون کوچک و خرده پیمون

	خانه‌های یزد	خانه‌های کاشان	خانه‌های اصفهان
پیمون بزرگ			
	نمودار توجیهی مربوط به الگوی ۱	نمودار توجیهی مربوط به الگوی ۲	نمودار توجیهی مربوط به الگوی ۳
پیمون کوچک			
	نمودار توجیهی مربوط به الگوی ۴	نمودار توجیهی مربوط به الگوی ۵	نمودار توجیهی مربوط به الگوی ۶
خرده پیمون			
	نمودار توجیهی مربوط به الگوی ۷	نمودار توجیهی مربوط به الگوی ۸	نمودار توجیهی مربوط به الگوی ۹

ب- گام دوم، تحلیل راندمان عملکردی با استفاده از روابط ریاضی چیدمان فضایی

همانگونه که پیش از این مطرح شد، در این بخش با استفاده از روابط ریاضی، میزان راندمان عملکردی فضاهای خانه استخراج می‌شود. برای این منظور سه مفهوم «ارزش فضایی»، «میزان عمق» و «ادغام نسبی فضا» به ترتیب مورد محاسبه قرار می‌گیرد.

ج- محاسبه ارزش فضایی

به منظور استخراج میزان ارزش فضایی هر کدام از موردهای مطالعاتی، برای سه فضای حیاط اندرونی، حیاط بیرونی و میهمان خانه از روابط ریاضی (۱) و (۲) استفاده می‌شود که نتایج در قالب جدول ذیل ارائه شده است:

جدول ۳: بررسی ارزش فضایی در سه نظام مختلف خانه

		H^a (میهمان خانه)	H^b (حیاط بیرونی)	H^c (حیاط اندرونی)	H^*	نسبت H
پیمون بزرگ	الگوی ۱	۰,۱۹	۰,۳۳	۰,۲۵	۰,۲۱	$H^a < H^c < H^b$
	الگوی ۲	۰,۲۸	۰,۲۹	۰,۳۲	۰,۳۲	$H^a < H^b < H^c$
	الگوی ۳	۰,۲۳	۰,۳۱	۰,۳۶	۰,۵۲	$H^a < H^b < H^c$
پیمون کوچک	الگوی ۴	۰,۲	۰,۳۴	۰,۲۷	۰,۳۹	$H^a < H^c < H^b$
	الگوی ۵	۰,۳۱	۰,۳۶	۰,۳۷	۰,۸۷	$H^a < H^b < H^c$
	الگوی ۶	۰,۲۷	۰,۳۲	۰,۳۷	۰,۶۷	$H^a < H^b < H^c$
خرده پیمون	الگوی ۷	۰,۲۲	۰,۳۶	۰,۳۲	۰,۴۶	$H^a < H^c < H^b$
	الگوی ۸	۰,۳۴	۰,۳۷	۰,۳۹	۰,۹۵	$H^a < H^b < H^c$
	الگوی ۹	۰,۳۰	۰,۳۳	۰,۳۵	۰,۷۲	$H^a < H^b < H^c$

با توجه به نتایج جدول فوق، موارد زیر قابل ذکر است:

د- با بررسی روابط میان سه شاخص(H^a و H^b و H^c)، چنین مشاهده می‌شود که در هر سه خانه مورد نظر در شهر یزد (الگوی ۱، الگوی ۴ و الگوی ۷)، مقدار H^b از همه بزرگتر و پس از آن H^c و در نهایت H^a از همه کوچکتر است. در حالی که مقادیر این سه شاخص در هر سه خانه مورد نظر در شهر کاشان، (الگوی ۲، الگوی ۵ و الگوی ۸) و همچنین در هر سه خانه مورد نظر در شهر اصفهان (الگوی ۳، الگوی ۶ و الگوی ۹)، متفاوت از خانه‌های یزد به دست آمده است؛ به طوری که مقدار H^c در هر شش خانه، از همه بزرگ‌تر و پس از آن H^b و در نهایت H^a از همه کوچک‌تر به‌دست آمده است. با وجود چنین ریتم قابل توجهی در مقادیر تفاوت فضایی در نه مورد مطالعاتی بررسی، می‌توان به وجود یک الگوی خاص فرهنگی- اجتماعی در شکل گیری ساختار فضایی سه فضای مورد نظر در خانه‌های مذکور اشاره نمود که این امر نشان از تفاوت فرهنگی- اجتماعی خاص در میان خانه‌های کاشان و اصفهان با خانه‌های یزد دارد؛ به این معنی که الگوی فرهنگی- اجتماعی که در شکل‌گیری پیکره‌بندی خانه‌های یزد تأثیرگذار بوده است، متفاوت از الگویی است که در ساخت خانه‌های کاشان و اصفهان به کار گرفته شده است. در حالی که وجود یک الگوی یکسان میان خانه‌های کاشان و اصفهان، نشان از وجود یک شباهت فرهنگی- اجتماعی خاص در میان ساکنان این خانه‌ها دارد. این امر با مشاهده شکل ظاهری الگوهای پلانی این سه شهر نیز قابل درک است (جدول ۳).

ر- با توجه مطالب طرح شده در بخش نظری تحقیق، هرچه مقدار عددی به‌دست آمده از شاخص H^* بیشتر باشد، میزان ارزش فضایی در آن فضا کاهش می‌یابد و در نتیجه راندمان عملکردی آن فضا نیز کاهش می‌یابد و برعکس هرچه مقدار شاخص مذکور کمتر شود، ارزش فضایی فضای مورد نظر افزایش می‌یابد که این امر موجب افزایش راندمان عملکردی در فضا می‌شود (Hillier et al., 2007, p. 365). لذا با مقایسه داده‌های به‌دست آمده از مقادیر H^* در هر نه خانه مورد نظر، مشاهده می‌شود که در هر سه شهر یزد ،کاشان و اصفهان، بالاترین مقادیر ارزش فضایی (H^*)، مربوط به خانه‌های با پیمون خرده است، در مقابل پایین‌ترین این مقادیر در خانه‌های با پیمون بزرگ به دست آمده است[۳]. همان‌گونه که در ادبیات توضیح داده شد، این امر حاکی از آن است که خانه‌های با پیمون بزرگ دارای بیشترین راندمان عملکردی فضایی می‌باشند و در مقابل، خانه‌های خرده پیمود دارای کمترین راندمان عملکردی هستند.

ز- بر اساس آنچه که پیش از این عنوان شد، مقادیر بالا در تفاوت فضایی، نشان‌دهنده راندمان عملکردی کمتر و در مقابل مقادیر پایین در تفاوت فضایی، نشان‌دهنده راندمان عملکردی بالاتر است؛ لذا از این مطالب چنین به نظر می‌رسد که راندمان عملکردی در هر کدام از فضاهای حیاط اندرونی، حیاط بیرونی و میهمان خانه به تفکیک در خانه‌های با پیمون بزرگ در بیشترین مقدار عملکرد

و در خانه‌های خرده پیمون در کمترین مقدار عملکرد قرار دارد. از طرفی تعداد پیوندهای هر کدام از این سه فضا در گراف‌های مربوطه مبین این موضوع است که در خانه‌ها با پیمون بزرگ، مقدار پیوندها در سه فضای مذکور در بیشترین حالت ممکن قرار داشته و در خرده پیمون مقدار پیوندها در سه فضای حیاط اندرونی، حیاط بیرونی و میهمان خانه با فضاهای مجاورشان در کمترین میزان ممکن قرار دارد.

و- محاسبه میانگین عمق فضا و ادغام نسبی

در این بخش با استفاده روابط ریاضی شماره (۳) و (۴) به محاسبه عمق و ادغام نسبی در هر کدام از نه مورد مطالعاتی پرداخته می‌شود که داده‌های به‌دست آمده در قالب جدول زیرارائه شده است:

جدول ۴: بررسی شاخص عمق و شاخص ادغام نسبی

		MD	R.R.A
پیمون بزرگ	الگوی ۱	۳,۲۹	۰,۰۳
	الگوی ۲	۳,۷۲	۰,۰۲۱
	الگوی ۳	۳,۸۱	۰,۰۲۲
پیمون کوچک	الگوی ۴	۳,۰۲	۰,۰۴
	الگوی ۵	۳,۶۵	۰,۰۵۳
	الگوی ۶	۳,۲۹	۰,۰۴۲
خرده پیمون	الگوی ۷	۲,۶	۰,۰۹
	الگوی ۸	۲,۵	۰,۰۶۶
	الگوی ۹	۳,۲۵	۰,۰۴۸

نتایج حاصل از جدول فوق به قرار زیر است:

ه- در رابطه با شاخص عمق (MD) همانطور که در بخش روش تحقیق عنوان شد، مقادیر پایین نشان‌دهنده کمترین عمق و در مقابل مقادیر بالا نشان‌دهنده بیشترین عمق می‌باشد. هرچه میزان عمق کمتر باشد دسترسی به آن فضا راحت صورت می‌گیرد و در نتیجه راندمان عملکردی افزایش می‌یابد (Hillier, 2007, p. 22). با مقایسه داده‌های به‌دست آمده از مقادیر شاخص عمق برای نه الگوی مورد بررسی، مشاهده می‌شود که خانه‌ها با پیمون بزرگ، بیشترین عمق را دارا هستند که این نشان از کمترین راندمان عملکردی می‌باشد و در مقابل کمترین عمق و بیشترین راندمان عملکردی به خانه‌ها خرده پیمون تعلق دارد.

ی- در رابطه با شاخص ادغام نسبی (R.R.A)، همان طور که ذکر شد هرچه میزان ادغام نسبی کمتر باشد بازده عملکردی بالا می‌رود و فضا دارای حداثر ادغام می‌باشد (Manum, 2009, p. 4). بنابراین خانه‌های با پیمون بزرگ دارای بیشترین ادغام و بالاترین بازده عملکردی می‌باشند و در مقابل خانه‌های خرده پیمون دارای حداکثر تفکیک و کمترین بازه عملکردی هستند[۴].

۶. نتیجه‌گیری

هدف اصلی در پژوهش حاضر، بررسی میزان راندمان عملکردی فضا در نه الگو خانه با نظام فضایی پیمون خرده،کوچک و بزرگ در سه شهر یزد ،کاشان و اصفهان است. برای رسیدن به این هدف از روش روابط ریاضی چیدمان فضایی استفاده شد. گام اول پژوهش شامل استخراج پیکره‌بندی فضایی با استفاده از ترسیم گراف مربوط به هر کدام از موردهای مطالعاتی بررسی می‌باشد. در گام دوم، تحلیل راندمان عملکردی با استفاده از روابط ریاضی چیدمان فضایی و نیز با تکیه بر نتایج بدست آمده از گراف‌ها، سه شاخص «ارزش فضایی»، «عمق میانگین فضا» و «ادغام نسبی فضا» برای هر کدام از نمونه‌های ذکر شده به صورت مجزا محاسبه شد. لازم به ذکر است که هر کدام از ابزارهای تحلیل شامل گراف و روابط ریاضی چیدمان فضایی دارای قابلیت‌هایی هستند که می‌توان از آن‌ها در راستای اثبات میزان راندمان عملکردی استفاده نمود. بر این اساس در پاسخ به پرسش‌های مطرح شده در بخش بیان مسئله می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

۱- مفهوم راندمان در علم نحو فضا به معنی میزان استفاده‌پذیری یک فضا توسط کاربران آن می‌باشد. این مفهوم ارتباط مستقیمی با مفهوم ارزش فضایی دارد. به این معنی که با افزایش میزان ارزش فضایی از منظر کاربران یک فضا، میزان استفاده‌پذیری از آن نیز افزایش می‌یابد. در این ارتباط شاخص‌هایی چون موقعیت استقرار فضای مورد نظر در ساختار کلی بنا، میزان پیوند و ارتباط آن با فضاهای مجاور خود، میزان دسترسی به فضای مذکور و مواردی از این دست در میزان ارزش فضایی و در نتیجه میزان راندمان فضای مورد نظر تأثیرگذار است.

از سویی دیگر، استفاده از ابزارهایی همچون نمودارهای توجیهی و نیز روابط ریاضی به منظور تحلیل کمی مفاهیم مرتبط با چیدمان فضا، از جمله ابزارهایی هستند که در روش نحو فضا کاربرد دارند. با استفاده از این ابزارها، مفاهیم کیفی و توصیفی مرتبط با فضا، به‌صورت مدل‌های عددی و گرافیکی ارائه می‌شوند که در نهایت منجر به ارائه تفسیرهای علمی در رابطه با فضاهای مورد نظر می‌شود. در همین راستا با استخراج شاخص‌هایی همچون «عمق فضاها»، «درجه ادغام» و «میزان ارتباط بین فضاها» که از تحلیل نمودارهای توجیهی به دست می‌آید، می‌توان مفاهیمی چون «میزان عمق میانگین فضا»، «میزان ادغام نسبی فضا» و در نتیجه «میزان ارزش فضایی» را با استفاده از روابط ریاضی استخراج نمود. این امر در نهایت میزان راندمان عملکردی فضای مورد نظر را تبیین می‌کند.

۲- در این پژوهش منظور از الگوهای فرهنگی_ اجتماعی فضا، مشابهت در شیوه ساخت و نحوه استفاده از فضا است. یکی از اهداف پژوهش حاضر، استخراج این مشابهت‌ها در نظام فضایی سه فضای حیاط اندرونی، حیاط بیرونی و میهمان خانه در میان ساکنین خانه‌های کاشان، اصفهان و یزد می‌باشد. بر این اساس یافته‌های پژوهش نشان داد که وجود ریتم مشخص در مقادیر تفاوت فضایی در خانه‌های مورد بررسی در هر شهر، نشان از وجود یک الگوی خاص فرهنگی- اجتماعی در شکل‌گیری پیکره‌بندی سه فضای مذکور در نظام خانه‌های هر کدام از شهرهای مورد نظر می‌باشد. با این حال وجود تشابه در مقادیر به‌دست آمده برای سه فضای مذکور در دو شهر اصفهان و یزد و تفاوت این اعداد با مقادیر به دست آمده برای شهر کاشان، نشان از وجود تشابه در تیپولوژی ساخت و نیز الگوی استفاده از فضا در دو شهر اصفهان و یزد دارد، لذا بر این اساس می‌توان چنین بیان نمود که با استفاده از مقادیر کمی چیدمان فضایی، می‌توان به تشابهات فرهنگی اجتماعی ساکنین یک مجموعه شهری در الگوی ساخت و استفاده از فضا پی برد.

۳- در ارزیابی میزان راندمان عملکردی و ارزش فضایی سه فضای حیاط اندرونی، حیاط بیرونی و میهمان خانه در سه الگوی خانه با نظام پیمون بزرگ، پیمون کوچک و خرده پیمون، یافته‌های تحقیق نشان داد که:

- خانه‌های خرده پیمون دارای کمترین ارزش فضایی نسبت به دو الگوی دیگر می‌باشند که این امر بیانگر وجود تفکیک بیشتر در بین فضاهای خانه است که در نهایت منجر به کاهش راندمان عملکردی در خانه خرده پیمون شده است و در مقابل، خانه‌ها با پیمون بزرگ دارای بیشترین ارزش فضایی هستند که این امر نشان‌دهنده بالاترین راندمان عملکردی در این نوع خانه است.

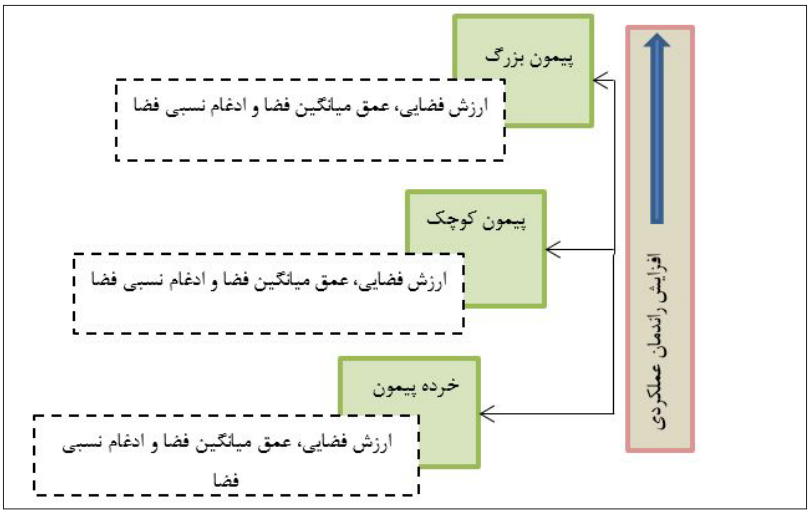
- عامل تفاوت فضا در خانه با پیمون بزرگ برای فضاهای حیاط اندرونی، حیاط بیرونی و میهمان خانه، در کمترین میزان است و در مقابل این مقادیر در خانه خرده پیمون در بیشترین میزان قرار دارد. همانگونه که پیش از این نیز عنوان شد، مقادیر بالا در تفاوت فضایی، نشان‌دهنده راندمان عملکردی کمتر و مقادیر پایین نشان‌دهنده راندمان عملکردی بیشتر است؛ لذا می‌توان چنین برداشت نمود که راندمان عملکردی سه فضای مذکور، در خانه با پیمون بزرگ در بالاترین میزان و در خانه‌های خرده پیمون در پایین‌ترین میزان می‌باشند.

- خانه‌های با پیمون بزرگ به دلیل توالی فضاها و ازدیاد آن‌ها، دارای عمق بیشتری نسبت به خانه‌های خرده پیمون هستند ولی به دلیل ارتباطات فضایی بیشتر با سایر فضاها، در مجموع راندمان عملکردی بهتری نسبت به سایر الگوهای خانه دارد.

- در خانه‌های با پیمون بزرگ به دلیل تعدد فضاها و همچنین وجود فضاهایی که به طور مکرر پشت سر هم قرار گرفته‌اند، عمق بیشتری نسبت به سایر نمونه‌های مورد بررسی به دست آمده است. به دلیل وجود ارتباطات فضایی مناسب و تشکیل حلقه‌های فضایی متعدد در این سبک از خانه‌ها، سطح ارتباط فضاها با یکدیگر افزایش یافته و در نتیجه انعطاف‌پذیری و نفوذپذیری بیشتری در فضا به وجود می‌آید که این امر در نهایت منجر به تسهیل عملکردی فضاهای مختلف در این گونه از خانه‌ها می‌شود و در نهایت منجر به شکل‌گیری بیشترین میزان راندمان عملکردی برای این گونه از خانه‌ها نسبت به دو الگوی دیگر شده است.

لازم به ذکر است که اگر چه در پژوهش حاضر مقدار راندمان عملکردی به‌دست آمده در نظام پیمون بزرگ بیشتر از دو الگوی دیگر است، با این حال چنین به نظر می‌رسد که این امر به واسطه وجود حداکثری زیربنا و وجود تعدد در فضاها در نظام ساخت این الگوی خانه می‌باشد. این در حالی است که دو نظام پیمون کوچک و خرده پیمون نیز با توجه به زیربنا و تعداد فضاها در آن‌ها، در نوع خود دارای میزان راندمان مناسبی می‌باشند. با این حال آنچه در این پژوهش مورد نظر بوده است مقایسه میزان راندمان سه فضای حیاط اندرونی، حیاط بیرونی و میهمان خانه است که در هر سه الگو مشترک می‌باشند. لذا یافته‌های پژوهش در این خصوص نشان داد که مقادیر راندمان به‌دست آمده برای این سه فضا از میان سه پیمون مورد نظر، در پیمون بزرگ بیش از دو الگوی دیگر است که این موضوع خود بر گرفته از میانگین میزان فاصله سه فضا از فضای ریشه (عمق میانگین فضا)، میزان ارتباطات فضای مذکور با فضاهای مجاور آن (ادعام نسبی فضا) و در نهایت میزان ارزش فضای مورد نظر می‌باشد.

شکل ۶: دیاگرام تحلیلی راندمان عملکردی در سه الگوی خانه با پیمون بزرگ، متوسط و خرده



در نهایت آنچه که در پژوهش حاضر به عنوان مهم‌ترین یافته قابل ذکر است، کاهش میزان راندمان عملکردی فضا به واسطه افزایش عمق فضای مورد نظر نسبت به فضای ریشه و همچنین تفکیک آن فضا از فضاهای همجوار خود می‌باشد. لذا چنین به نظر می‌رسد که افزایش ارتباطات فضایی مناسب (فیزیکی/ بصری) و امکان تشکیل حلقه‌های فضایی متعدد در الگوی چیدمان فضای خانه می‌تواند منجر به افزایش میزان انعطاف پذیری فضایی شود که این امر در نهایت منجر به ارتقا راندمان عملکردی فضاهای مختلف می‌شود. به بیانی دیگر در خانه‌های معاصر، به دلیل محدود بودن سطح زیربنا، طراحی فضاها باید به گونه‌ای باشد که میزان انعطاف‌پذیری و نفوذپذیری در فضاها افزایش یابد که این مهم به واسطه ایجاد حلقه و کاهش عمق فضایی و افزایش ارتباط فضاها با یکدیگر امکان‌پذیر می‌شود. در نهایت به واسطه این عوامل، میزان راندمان عملکردی خانه افزایش می‌یابد.

پی‌نوشت

1. Space Syntax
2. Rapaport

۳. لازم به ذکر است که در خصوص مقایسه مقادیر H^*، باید هر کدام از نمونه‌ها را با توجه به شهر آن در نظر گرفت. به این معنی که مقدار ارزش فضایی (H^*) در خانه الگوی ۱ که متعلق به شهر یزد می‌باشد؛ با مقادیر الگوهای ۴ و ۷ مقایسه شود و به همین ترتیب، مقادیر H^* الگوهای ۲ باید با الگوهای ۵ و ۸ که متعلق به شهر کاشان و الگوهای ۳ باید با الگوهای ۶ و ۹ که متعلق به شهر اصفهان، مورد مقایسه قرار گیرند.

۴. در خصوص مقایسه مقادیر MD و R.R.A، باید هر کدام از نمونه‌ها را با توجه به شهر آن در نظر گرفت. به این معنی که این مقادیر در خانه الگوی ۱ که متعلق به شهر یزد می‌باشد؛ باید با مقادیر الگوهای ۴ و ۷ مقایسه شود و به همین ترتیب، این مقادیر در الگوهای ۲ باید با الگوهای ۵ و ۸ که متعلق به شهر کاشان و الگوهای ۳ باید با الگوهای ۶ و ۹ که متعلق به شهر اصفهان، مورد مقایسه قرار گیرند.

REFERENCES

- Altman, I. (1976). The Environment and Social Behavior: Privacy, Personal Space, Territory, Crowding, (A. Namazian, Trans.). Tehran: Shahidbeheshti University.
- Ando, T. (2016). Space Poetry, (M.R. Shirazi, Trans.). Tehran: Ketab Fekr No Publication.
- De Dear, R.J. (1998). *A Global Database of Thermal Comfort Field Experiments*. ASHRAE Trans; 104, 41–52. https://www.researchgate.net/profile/Richard_De_Dear/publication/279888093_Global_database_of_thermal_comfort_field_experiments/links/567a499608ae361c2f689910/Global-database-of-thermal-comfort-field-experiments.pdf
- Fanger, P.O. (1972). Thermal Comfort: Analysis and Applications in Environmental Engineering, New York: Mcgraw-Hill.
- Hillier, B., Hanson, J., & Peponis, J. (1987). *Syntactic Analysis of Settlements, Architecture and Behavior.* 3(3), 217–231.https://www.epfl.ch/labs/lasur/wp-content/uploads/2018/05/HILLIER_HANSON_PEPONIS.pdf
- Hillier, B., & Hanson, J. (1988). The Social Logic of Space, Cambridge: Cambridge University Press.
- Hillier, B. (2007). *Space is the Machine: A Configurational Theory of Architecture*, Space Syntax Laboratory, 7th International Space Syntax Symposium, Stockholm, Sweden, 070, 1–9. https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/3881/1/SITM.pdf
- Hillier, B., Hanson, J., & Graham, H. (1986). *Ideas are in Things: The Application of the Space Syntax Method to Discovering House Genotypes*, Environment and Planning B: Planning and Design,
- Humphreys, M.A., & Nicol, J.F. (1998). *Understanding the Adaptive Approach to Thermal Comfort*, ASHRAE Trans. 104, 991–1004. https://www.researchgate.net/publication/279888246_Understanding_the_adaptive_approach_to_thermal_comfort
- Lang, J. (1987). Creating Architectural Theory: The Role of the Behavioral Sciences in Environmental Design, (A.R. Einifar, Trans.). Tehran: Tehran University.
- Makri, M., & Folkesson, C. (1999). Accessibility Measures for Analyses of Land Use and Traveling with Geographical Information Systems, Proceedings of 2nd KFB-Research Conference, Lund Institute of Technology, Lund. http://www.tft.lth.se/kfbkonf/4makrifolkesson.pdf
- Manum. B, (2009). A-Graph Complementary Software for Axial-Line Analysis. In:Proceeding
- Memarian, G.H. (2005). A Survey on the Theoretical Foundations of Architecture, Tehran: Soroosh Danesh.
- Memarian. G.H., & Sadoughi , A. (2011). Application of Access Graphs and Home Culture: Examining Factors Relative to Climate and Privacy in Iranian Houses. *Scientific Research and Essays*, 6(30), 6350-6363. https://www.researchgate.net/publication/268348713_Application_of_access_graphs_and_home_culture_Examining_factors_relative_to_climate_and_privacy_in_Iranian_houses
- Mostafa, A., & Hassan, F. (2013). Mosque Layout Design: An Analytical Study of Mosque Layouts in the Early Ottoman Period. *Frontiers of Architectural Research* 2, 445–456. https://www.researchgate.net/publication/259169917_Mosque_layout_design_An_analytical_study_of_mosque_layouts_in_the_early_Ottoman_period
- Mola Asadallah, B. (1998). Isfahan House Treasures, Tehran, Shahid beheshti University.
- Newman, O. (1972). Creating Defensible Space,(F. ravaghi., & K. Saber, Trans.). Tehran; Tahan.
- Pirnia, S.K. (2008). Islamic Architecture of Iran, Tehran; Soroosh Danesh.
- Soltanzadeh, H., & Mosavi Rezvati, M. (1996). Kashan House Treasures, Tehran, Shahid Beheshti University.

نحوه ارجاع به این مقاله

حیدری، علی‌اکبر؛ اکبری، الهه و اکبری، آرمان. (۱۳۹۸). مقایسه تطبیقی راندمان عملکردی پیکره‌بندی فضاها در سه نظام خانه با پیمون بزرگ، پیمون کوچک و خرده پیمون با استفاده از روش چیدمان فضا . نشریه معماری و شهرسازی آرمان‌شهر، ۱۲(۲۸)، ۳۵-۴۸.

DOI:10.22034/AAUD.2019.97357

URL: http://www.armanshahrjournal.com/article_97357.html

ISSN: 2008-5079 / EISSN: 2538-2365
DOI: 10.22034/AAUD.2019.97357

A Comparative Study of Spatial Configuration Functional Efficiency in Three House Systems with Large, Small and Micro-Modules Using Space Syntax Method

Ali Akbar Heidari[a*]- Elaheh Akbari[b]- Arman Akbari[c]

[a] Assistant Professor of Architecture, Department of Architecture, Faculty of Technical and Engineering, Yasouj University, Yasouj, Iran (Corresponding Author).

[b] M.A. of Architecture, Faculty of Technical and Engineering, Islamic Azad University, Yasouj Branch, Yasouj, Iran.

[c] M.A. of Architecture, Faculty of Technical and Engineering, Islamic Azad University, Yasouj Branch, Yasouj, Iran.

Received 03 February 2016; Revised 09 May 2016; Accepted 18 June 2016; Available Online 21 December 2019

ABSTRACT

Amongst the spaces in which human beings attend, the house is the place where one affects and is affected by it on a daily basis. Each of the various spaces of the house possesses unique characteristics and various factors such as climate, culture, society, and others contribute in the formation of them. The establishment of these spaces at the side of one another gives rise to different spatial systems that lead to the formation of various types in this kind of architecture and influences the shape of the various patterns of using them in addition to bringing about shape differences. The present study aims at investigating and comparing the functional efficiency of the houses in three house patterns with large, small and micro modules using space-related mathematical relations. To do so, nine traditional houses have been selected for the aforementioned three spatial systems in the cities of Kashan, Isfahan, and Yazd as the case studies. The study method in this research is descriptive-analytical and the type of the inference applied herein is deductive of the comparative type. The initial data were extracted through drawing graphs related to the plans of each of the studied houses; then, these data were inserted into the mathematical relations of spatial syntax. This way, based on the indices "spatial value", "mean depth of the space" and "relative integration", the functional efficiency of each of the aforementioned patterns was extracted. The results signified that the houses with a large module have the highest spatial value, highest depth amount and highest relative integration rate that altogether eventually result in the increase in the functional efficiency of such a pattern of the house in contrast to the small- and micro-module house patterns. Moreover, the investigation of the spatial difference in the nine studied patterns indicated the existence of similarities in the configuration and spatial organization of the houses in Kashan and Isfahan and their differences from the houses in Yazd in this regard.

Keywords: Functional Efficiency, House, Large Module, Small Module, Micro-Module.

* E_mail: Aliakbar_heidari@iust.ac.ir

1. INTRODUCTION

Houses are places for living not for watching; thus, their function are more important than their appearance unless both of the aforesaid concepts are summed up in them. Amongst the spaces in the periphery of human beings, the house is the most immediate space related to mankind who is influenced and influences it on a daily basis. House is the first space wherein the human beings feel and experience spatial belonging and it is the only place wherein the first immediate experiences of the space come about in solitude and among crowd (Ando, 2016).

Besides this issue, it has been shown in the theory proposed by Bill Hillier (2007) that, along with the apparent characteristics of space like form, shape, color, texture, and others, the thing that influences the users' experiencing of a space is the relationship between its micro-spaces that is generally termed as spatial configuration. He keeps on explaining that this style of attitudes towards space makes feasible the recognition of social behaviors that are usually in the qualitative form within the format of quantitative values. He also expresses that the spatial configuration of a building or a city can be explored using graphical instruments thereby to apply mathematical analysis for recognition. He calls this science as space syntax (Hillier, 2007).

Amongst the concepts that can be examined in the area of space syntax is the functional efficiency that is a concept widely applied in various scientific fields. In environmental sciences, it has been elaborated under the title of the environment's capability for satisfying various needs of human beings. In this regard, functional efficiency of an environment in the environmental psychology domain is the environment's ability for responding to the various physical and psychological needs of the users thereof; amongst these needs, security, comfort, vitality, sense of belonging and other cases of the like can be pointed out (Altman, 1976; Newman, 1972; Lang, 1987). In the energy and bioenvironmental area, as well, functional efficiency of a space has been defined as the extent to which the place supplies the individuals with their comfort conditions, including heating, cooling, lighting, ventilation and other cases of the like (Fanger, 1972; Humphreys & Nicol, 1998; De Dear, 1998). However, in space syntax science, functional efficiency has been introduced as the degree to which space is utilized by its users. In this regard, indices like establishment position of the intended space in the overall structure of the building, its bond and relationship with its adjacent spaces, the amount of access to the aforesaid spaces and others of the like influence the efficiency of the intended space (Mostafa & Hasan, 2013).

In the literature of Iran's traditional architecture, especially in the area of housing, the most important classification has been carried out by Pirnia (2008) in terms of spatial configuration; in this classification, various houses have been divided based on their floor area and the constituent elements into three systems, namely large module, small module and micro-module (Pirnia, 2008, p. 181). Based thereon, the current study intends to rely on the quantitative methods of space syntax in investigating and comparing the spatial structure of the houses in three systems of large, small and micro modules. Thus, the current research seeks to answer the following questions:

1) How can the spatial value and functional efficiency of the spaces be achieved using the spatial syntax's mathematical relations as well as based on the set of information obtained from the spatial configuration?

2) Can having quantitative spatial information enable the recognition of sociocultural patterns governing the house?

3) Amongst the three large-, small- and micro-module systems, which one is at the highest level in terms of the functional efficiency and spatial value?

2. STUDY LITERATURE

In this section, the role of the houses' configuration is analyzed in explaining the cultural-social patterns governing them as well as in examining the houses' functional efficiency.

2.1. Analyzing the Spatial Configuration in Line with the Explanation of the Socio-Cultural Patterns

This theory was founded in 1984 by Hillier and Hanson in London and it is based on research about the way the social and spatial forms are related. The theory is of the belief that space is the initial and primary core in the quality of social and cultural incidents. Although space is per se formed within the social, cultural and economic processes, it is usually recounted as a ground for social and cultural activities (Makrí & Folkesson, 2000). In line with this, the most original idea with which this theory has dealt is the spatial configuration wherein the relationships between the elements in the whole system are given high importance. In this regard, Hillier is of the belief that the spatial and social forms are so closely interlaced that the spatial configuration alone can define many of the social patterns. This way, the most important point in analyzing space and behavior of the addressees therein is the consideration of the relationship between the spaces in a macro system which is recalled in this article as the spatial configuration. So, from the perspective of this theory, the relationship between the activity and space, more than being definable in the characteristics of the space in individual form, can be discerned and defined in the relationships existent between the spaces or the very spatial configuration as well as the addressees' interrelationships (Hillier, 2007).

2.2. Interpretation of the Spatial Value and Functional Efficiency of Space in Space Syntax Method

"Space Syntax Method" is a developed approach in analyzing the spatial structure of the manmade environment. The goal of this method is describing the spatial models and displaying them within the format of numerical and graphical forms hence facilitating the scientific interpretations about the intended spaces (Mostafa & Hasan, 2013, p. 445). One of these methods investigates the structure of the spatial arrangement or the space syntax and gives the results in the form of graphical or mathematical data via exploring the relationships between the physical space and the spatial structure existent therein. Using the analysis of these data, the mutual relationship between the people's behavior and the environment's body can be investigated and their effects and/or changes can be predicted in the course of time. One of the goals in using the space syntax method is the perception of the social relations in space like privacy and the degree to which the spaces are private or public (Me'emarian, 2005, p. 339).

For example, in Iran's traditional houses, the increase in the amount of spatial depth causes a reduction in spatial access which per se leads to the increase in spatial privacy. This issue has been manifested particularly in the establishment of the house's interior part in the most distant point as well as in the access to the entrance spaces (Me'emarian & Sadoughi, 2011).

From Hillier's perspective, "the efficiency of space" includes the ability of a complex for adapting the functions and performances in proportion to each of the subspaces in the whole complex (Hillier, 2007, p. 247). Effective spatial factors include cases like the relationship between the space and its accommodated activities, existence of appropriate movement axes in the space, spatial flexibility, spatial proportions and security provided by the space and all of these cases are amongst the essential issues in designing an environment. These factors are completely related to the activities of the residing individuals and play a very important role in the success of an environment. Thus, it seems that the incorrect configuration severely influences the building's effectiveness. A building is considered to be effective when the users can take part in various activities feasible therein without any problem (Lang, 1987).

In a theory that was posited by Bill Hillier in 1986, various spatial values in a plan were for the first time evaluated based on the "spatial differences" through using quantitative methods (mathematical relations of space syntax). This is while the spatial value was recognized in Rapaport's theory only by taking advantage of the qualitative methods in the past. Next, Hillier investigated 17 types of rural houses in France by considering the spatial patterns of them and proposed that it might be possible to somehow classify the houses by observing their patterns in such a way that the order governing their spatial structure can be discerned (Hillier, 2007).

3. STUDY METHOD

As it was mentioned before, the present study's main goal is the investigation of the spaces' functional efficiency in nine house patterns with micro-, small- and large-modules. Based thereon, the spatial syntax's mathematical relations were used. In order to extract the required data for using in the mathematical relations of spatial arrangement, graphical system was used in such a way that the graphs related to each of the case studies will be drawn in separate in the first step from the building's main entrance section and the obtained information are utilized in a second step in the spatial arrangement's mathematical relations. In this step, three indices are employed for assessing the functional efficiency of the houses, including A) calculation of the spatial value; B) calculation of the index related to spatial depth and C) the relative integration index each of which will be explained in details in the forthcoming parts.

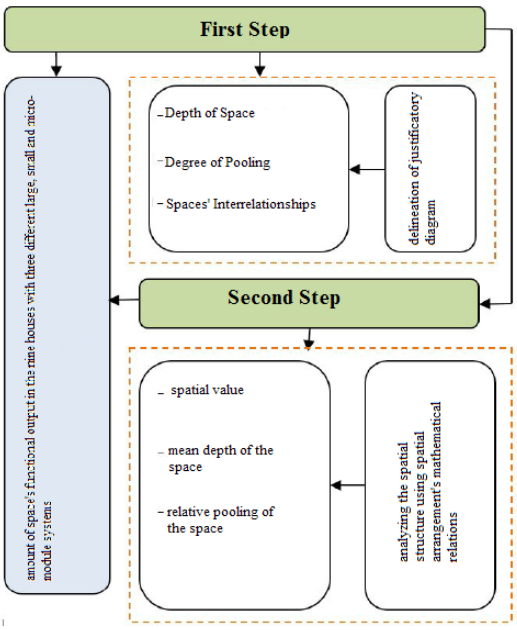


Fig. 1. Study Process

3.1. Step One: Extracting the Spatial Configuration Using Drawing Graph

Graphs or justificatory charts include charts that are drawn for showing the spaces as well as their interrelationships. The analysis of these charts enables extraction of information for the spaces' syntax structure, spaces' depth rate, the degree of their integration as well as their interrelationships. The results obtained in this step offer the information required for use in the second step.

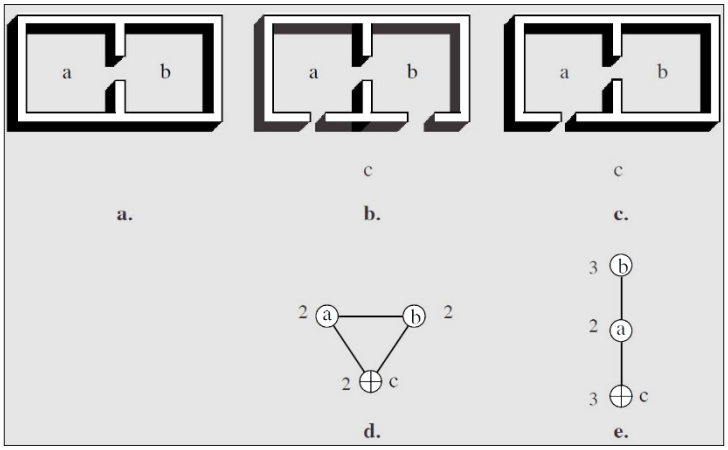


Fig. 2. Basic Concepts of Graph
(Hillier, 2007)

3.2. Step Two: Analyzing Functional Efficiency Using the Space Syntax's Mathematical Relations

As it was mentioned before, this section uses three indices, named "spatial value" factor, "spatial depth" and "relative integration" calculation indices, for investigating the spaces' functional efficiency. The following section explains each of them.

3.2.1. Calculation of Spatial Value

In order to calculate the spatial value, the spatial difference should be firstly investigated. The spatial difference is examined using the degree or the extent to which each space is related to other spaces. Space's degree of the bond (number of bonds) demonstrates the relative depth of space in relation to the other spaces in every spatial structure according to its justificatory diagram and also indicates the configuration's rate of permeability in quantitative terms. The investigations show that the values of bond predict the frequency of space's use to a large extent meaning that the lower bond designates the lower likelihood of use and higher bond shows the higher likelihood of use. The strong or weak point of this inequality between the bond rates expresses the degrees of the cultural importance set in the integration (bond) or separation and isolation meaning that its strong point (low values) reflects the maximum integration and its weak point (high values) indicate maximum separation (Hillier, Hanson, & Peponis, 1987, p. 365). In the following relation, spatial differences have been investigated:

$$(1)\quad H = -\sum \left[\frac{a}{t} \ln\left(\frac{a}{t}\right)\right] + \left[\frac{b}{t} \ln\left(\frac{b}{t}\right)\right] + \left[\frac{c}{t} \ln\left(\frac{b}{t}\right)\right] + \cdots$$

Where, H is the relative spatial differences for a, b and c and other spaces. The values of a, b and c and others are per se indicative of the number of bonds related to each of the spaces a, b and c and others and t designates the total sum of all the bonds in the intended spaces and it can be calculated as shown below:

$$(2)\quad t = \Sigma\,(a + b + c)$$

After calculating the spatial difference, the spatial value should be calculated. In order to calculate the spatial value, use is made of the following relation:

$$(3)\quad H^* = \frac{H - \ln 2}{\ln 3 - \ln 2}$$

In the above relation, H*[1] expresses the amount of spatial value; the higher the value of this factor, the more it is indicative of the separation hence the lowest spatial value. The lower the value of this factor, the more it is indicative of the maximum integration hence the highest spatial value. In other words, the lower the amount of H*, the higher the spatial value hence the higher the functional efficiency. However, the higher this amount, the lower the spatial value hence the functional efficiency of the space will be decreased.

In the above relation, H is the factor of spatial difference that can be extracted from relation (1). The values of ln (3) and ln (2) respectively show the minimum and maximum spatial differences of H that are fixed in the above relation (Hillier, Hanson, & Graham, 1986, p. 365).

3.2.2. Calculation of Spatial Depth

By depth, the distance from space to the entrance (basic or root space) is intended. In this regard, the

mean spatial depth to the root space is the number of stages taken for reaching each space from the root space. In a spatial structure, the highest amount of depth is obtained when all of the spaces are placed in a linear sequence along the entry axis.

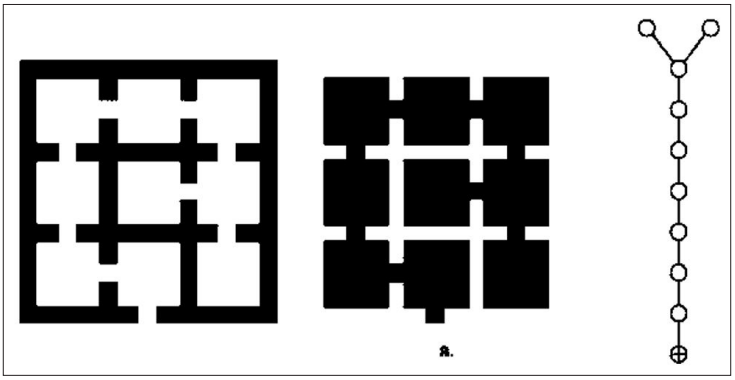


Fig. 3. The Highest Rate of Depth as a Result of Space's Linearity
(Hillier, 2007, p. 20)

This is while if the spatial structure is organized in a way around the basic space (entrance) that creates a uniform distribution in space's physical structure, therefore, the value of depth rate is created in the spatial structure.

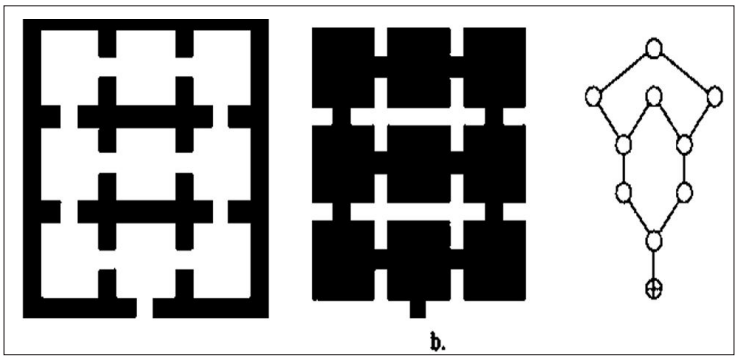


Fig. 4. The Lowest Amount of Depth as a Result of the Uniform Distribution of Space About the Basic Space
(Hillier, 2007, p. 20)

In order to compute the mean depth of the space, the following relation is used:

(4) $$MD = \frac{\sum D}{K-1}$$

In the above relation, M.D.[2] indicates the mean depth of the space to the root space, ΣD is the total modulus of depth for all of the spaces to the root space and K is the total number of all the spaces existent in a graph.

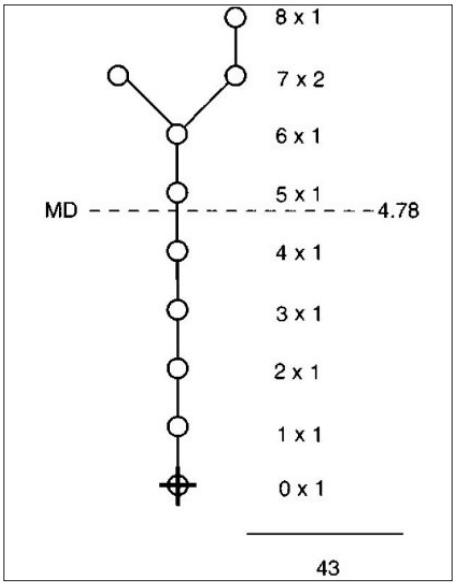


Fig. 5. Calculation of Space's Mean Depth
(Hillier, 2007)

It is worth mentioning that the more the mean depth of space in a spatial structure is increased, the more the functional efficiency in that space is decreased. On the contrary, the more the mean depth is reduced, the more the functional efficiency is increased in the intended space (Hillier, 2007, p. 22).

3.2.3. Calculation of Space's Relative Integration Index

By the relative integration of space, space's relative connection that describes the permeability of a building's spatial structure is intended. Lower values of this index indicate the maximum spatial integration and accretion; on the contrary, the higher values indicate the maximum separation of the spaces from one another. The higher the integration of a space (lower relative integration rates of the space), the more the functional efficiency of the space will be increased and, on the contrary, the more the spaces are separate and less connected to and from one another, the functional efficiency is more reduced (Manum, 2009, p. 4).

In order to compute the space's relative integration rate, the following relation is used:

$$(5)\quad R.R.A = \frac{R.A}{DK}$$

In the above relation, $R.R.A^2$ denotes the space's relative integration rate. R.A is the relative symmetry of the space and DK shows the number of spaces created in the largest loop existent in the graph extracted from the intended space (Hillier, Hanson, & Graham, 1986, p. 227).

- Space's relative symmetry is indicated by R.A. Space's relative symmetry means the visual depth of the various spaces in a spatial structure of the main space (for instance, the gate or the main entrance). If the depth of space in a building is lower than the depth of the same space in another building, space is called symmetrical. In this state, separation and isolation of space are increased and the increase in the visual stages between the existent spaces leads to the weakening of the functional relationship (output and efficiency). Therefore, plans wherein the spatial depth is maximized are functionally more inappropriate for various patterns in comparison to the plans with lower depth (Hillier & Hanson, 1988, p. 147).

In order to calculate the space's relative symmetry, the following relation is used:

$$(6)\quad R.A = \frac{2(M.D-1)}{K-2}$$

In the above relation, M.D is the mean depth of the space the amount of which can be computed according to relation (4) and K is the total number of the spaces existent in the graph. It is worth mentioning that the amount of R.A. ranges between zero and one, unity with the former indicating maximum integration meaning that there is no depth (high functional output) and one indicating maximum separation and isolation meaning maximum depth (low functional output).

4. INVESTIGATION OF THE STUDY CASES

Based on the viewpoints of Pirnia (2008), Iran's traditional houses have been designed and constructed in three configuration systems called large module, small module, and micro module. Accordingly, all of the spaces of a house, including the interior, exterior, rack, yard, garden, various kinds of rooms (three- or five-door or windowed rooms), Tehrani hall, guest room, corridors and other spaces in each of the above systems were implemented in each of the abovementioned spaces with a special scale with the scales and the interrelationship of these spaces following the specific pattern of that module which is a means for easing the work and directing the entire sizes in designing process that causes an architect to use a special size and scale in the construction of the building. It has been in this way that module brought about diversity in the architecture and this is why no trace of imitation is seen in any of the traditional buildings (Pirnia, 2008, p. 180).

-In houses with a "large module", the combination of the spaces was in such a way that the house consisted of two interior and exterior parts. The spaces include exterior space, dining room, guest room, interior space, Tehrani, hall, and summer stay, bathroom and kitchen. The dimensions of the house in the large module are 48×48 and the yard is obtained in the house with a large module based on golden proportion.

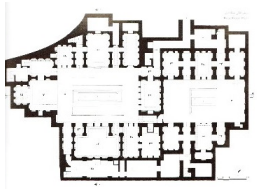
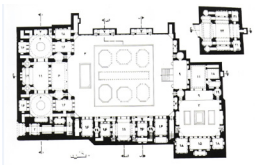
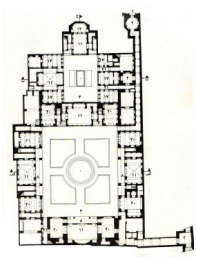
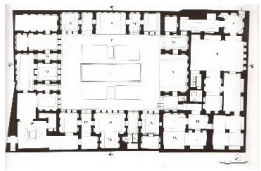
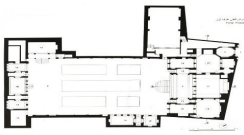
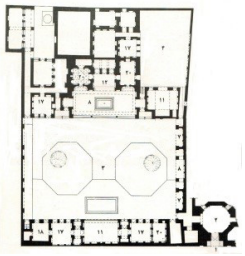
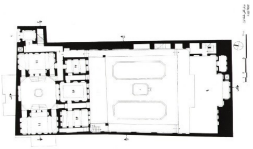
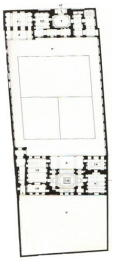
-In "small module", the house is cheap and comfortable. Its composition is something like the house with a large module with two three-door rooms, one five-door room, hall and kitchen being in its interior space with the guest room being in the exterior part of the house. The dimensions of this house are 32×32 and the yard is, as well, obtained based on the golden proportions.

-In the micro-module, the house is small and simple and comprised of two to three rooms and, in the meanwhile, containing interior and exterior parts, as well. In these houses, the three-door rooms have been transformed into five-door rooms and they also have hall and Tehrani, as well. In the exterior space of the house, hall and guest house are located and the five-door or Shekam-Darideh room, hall and kitchen are situated in the interior space. These houses are more beautiful than houses with a large module, and every inch of the house is put into maximum use (Pirnia, 2008).

In this study, nine houses with different configuration have been investigated as case studies with three of the houses being in Yazd, three houses in Kashan and three other houses in Isfahan. Various configurations have been selected based on the type of module in the houses in such a way that, out of these nine houses, the first three patterns have been selected with a large module,

the second three houses with a small module and the third three patterns with a micro-module spatial system. Each of these houses has spaces like entrance, exterior yard, an interior yard and numerous and diverse semi-open spaces and covered spaces. In order to achieve the study goals, amongst the various spaces existent in the houses' configuration, spaces should be selected that are firstly present in all of the aforementioned samples; secondly, they should play a functionally significant role in the formation of the house's configuration in such a way that the change in their places in the house's structure results in the change in the relations between all of the spaces dependent on that space and influences the spatial structure of the entire house. According to the above-presented materials, three spaces, namely "exterior yard", "interior yard" and "guest house" have been considered as the sample spaces.

Table 1. Study Cases in Three Large Module, Small Module, and Micro-module Systems

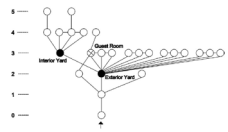
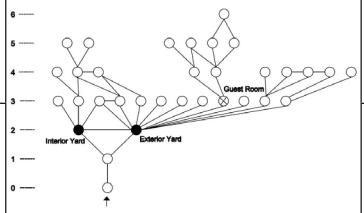
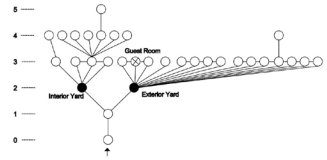
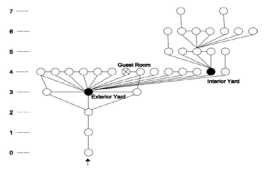
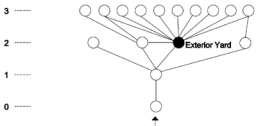
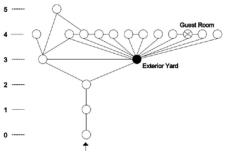
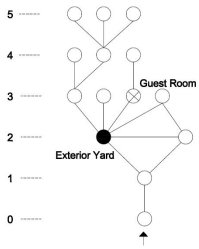
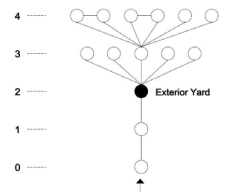
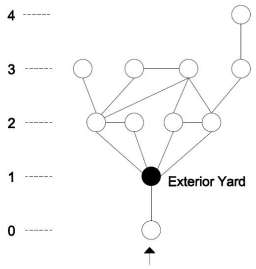
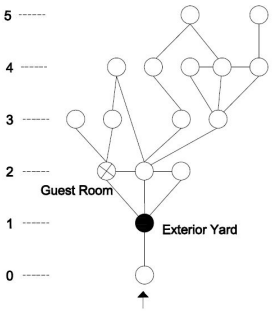
	Yazd's Houses	Kashan's Houses	Isfahan's Houses
Large module			
	Pattern 1: Gerami House (Hajighasemi, 2009, p. 154)	Pattern 2: Tabataba'ei House (Soltanzadeh & Mosavi Rezvati, 1996)	Pattern 3: Akkafzadeh & sharif House (Mola Asadallah, 1998)
Small module			
	Pattern 4: Meshkiyan House (Hajighasemi, 2009, p. 202)	Pattern 5: Khayriyeh House (Soltanzadeh & Mosavi Rezvati, 1996)	Pattern 6: Sheikh Al-Islam House (Mola Asadallah, 1998)
Micro-module			
	Pattern 7: Arab House (Bibi Roqayyeh) (Hajighasemi, 2009, p. 84)	Pattern 8: Bakuchi House (Soltanzadeh & Mosavi Rezvati, 1996)	Pattern 9: Sukiasiyan House (Mola Asadallah, 1998)

5. DISCUSSION AND ANALYSIS

In this section, the study structure is designed based on the steps defined in the section on the "study method".
A) Step One: Extraction of the spatial configuration using graph drawing:

In this step, the spatial relationships of each of the intended houses are extracted within the format of the graph. In drawing the graphs, the entrance spaces are considered as the base space.

Table 2. Graphs of the Study Cases in Three Systems of Large, Small and Micro Modules

	Yazd's Houses	Kashan's Houses	Isfahan's Houses
Large module			 
	Justificatory chart related to pattern 1	Justificatory chart related to pattern 2	Justificatory chart related to pattern 3
Small module			
	Justificatory charts related to pattern 4	Justificatory charts related to pattern 5	Justificatory charts related to pattern 6
Micro-module	 		
	Justificatory charts related to pattern 7	Justificatory charts related to pattern 8	Justificatory charts related to pattern 9

B) Step Two: Analyzing the functional efficiency using the spatial syntax's mathematical relations:

As it was mentioned before, use is made in this section of the mathematical relations for extracting the functional efficiency of the house's spaces. To do so, three concepts of "spatial value", "depth rate" and "space's relative integration" are respectively calculated.

C) Calculation of the Spatial Value: In order to extract the spatial value for the three spaces, namely interior yard, exterior yard, and guest room, in each of the case studies, mathematical relations (1) and (2) are used. The results have been offered in Table (3).

Table 3. Investigation of the Spatial Value in the Three Various House Systems

		H^a (Guest Room)	H^b (Exterior Yard)	H^c (Interior Yard)	H*	H Ratio
Large module	Pattern 1	0.19	0.33	0.35	0.31	$H^a<H^c<H^b$
	Pattern 2	0.38	0.29	0.32	0.32	$H^a<H^b<H^c$
	Pattern 3	0.23	0.31	0.36	0.52	$H^a<H^b<H^c$

Small module	Pattern 4	0.2	0.34	0.27	0.39	$H^a<H^c<H^b$
	Pattern 5	0.31	0.36	0.37	0.87	$H^a<H^b<H^c$
	Pattern 6	0.27	0.32	0.37	0.67	$H^a<H^b<H^c$
Micro-module	Pattern 7	0.22	0.36	0.32	0.46	$H^a<H^c<H^b$
	Pattern 8	0.34	0.37	0.39	0.95	$H^a<H^b<H^c$
	Pattern 9	0.30	0.33	0.35	0.72	$H^a<H^b<H^c$

According to the results given in the above table, the following points can be made:

D) It is observed in an investigation of the three indices (H^a, H^b and H^c) that the amount of H^b is larger in all the three houses in the city of Yazd (pattern 1, pattern 4 and pattern 7) followed by Hc and then Ha which has acquired the lowest rate whereas the values of these three indices have been obtained different in all three intended houses in the city of Kashan (pattern 2, pattern 5 and pattern 8) as well as in all three intended houses in the city of Isfahan (pattern 3, pattern 6 and pattern 9) in such a way that the amount of Hc is the largest in all three houses followed by Hb and finally Ha for which the lowest value has been attained. Considering such a notable rhythm in the values of spatial difference in the nine studied cases, the existence of a special sociocultural pattern can be discerned in the formation of the spatial structure of the intended three spaces in the aforementioned houses meaning that the socio-cultural pattern that has been influential in the formation of the configuration in Yazd's houses is different from the pattern applied in the construction of the houses in Kashan and Isfahan while the existence of an identical pattern in the houses in Kashan and Isfahan indicates the existence of a special sociocultural similarity amongst the residents of these houses. This can be perceived with the observation of the apparent shape of the plan pattern of these three cities (Table 3).

E) According to the materials presented in the study's theoretical section, the more the obtained numerical value exceeds the index H*, the more the spatial value is reduced therein hence the functional output of that space is decreased; conversely, the lower the aforementioned index, the more the spatial value of the intended space is increased hence the functional output of the space is augmented (Hillier et al., 2007, p. 365). Thus, it is observed in a comparison of the data obtained from H* values in all nine intended houses that the highest amount of spatial value (H*) goes to the houses with micro-module in all the three cities of Yazd, Kashan, and Isfahan. On the contrary, the lowest value has been obtained for houses with a large module. As has been explained in the literature, this finding signifies that the houses with the large module have the highest spatial functional efficiency and, contrarily, the houses with micro-module have the lowest functional efficiency.

F) Based on what was mentioned before, the high values in spatial difference show the lower functional efficiency and, contrarily, the low values in the spatial difference show higher functional efficiency; thus, it can be understood accordingly that the functional efficiency of each of the spaces, namely interior yard, exterior yard and guest room, is in the separate highest for the houses with the large module and lowest for the houses with the micro-module. On the other hand, the number of the bonds in each of these three spaces in the corresponding graphs is reflective of the idea that the number of bonds in the three aforesaid spaces is the highest in the houses with large module and that the number of bonds in the three spaces, namely interior yard, exterior yard and guest house, with their adjacent spaces is in the lowest possible rate.

G) Calculation of the Mean Depth and Relative Integration of the Space:

In this section, use is made of mathematical relations (3) and (4) for calculating the depth and relative integration of each of the nine study cases. The obtained data have been summarized in the following table.

Table 4. Investigation of the Depth and Relative Integration Indices

		MD	RRA
Large module	Pattern 1	3.29	0.03
	Pattern 2	3.72	0.021
	Pattern 3	3.81	0.022
Small module	Pattern 4	3.02	0.04
	Pattern 5	3.65	0.053
	Pattern 6	3.29	0.042
Micro-module	Pattern 7	2.6	0.09
	Pattern 8	2.5	0.066
	Pattern 9	3.25	0.048

The results obtained from the above table are as explained below:

H) In regard of the depth index (MD), as was mentioned in the section of "study method", the low values indicate the lowest depth and, contrarily, the high values indicate the highest depth. The lower the amount of depth, the easier the access to space hence the higher the functional efficiency (Hillier, 2007, p. 22). It is observed in a comparison of the data obtained from the depth index values for the nine studied patterns that the houses with large module have the highest depth which is reflective of the lowest functional efficiency of them and, contrarily, the lowest depth and the highest functional efficiency belongs to the houses with micro-module.

I) As for the relative pooling index (R.R.A), as it was mentioned above, the lower the amount of relative integration, the higher the functional efficiency as a result of which the space would have maximum integration (Manum, 2009, p. 4). Therefore, the houses with large module have the highest integration and the highest functional efficiency and, contrarily, the houses with micro-module have the maximum separation and the lowest functional efficiency.

6. CONCLUSION

The primary goal of the present study is the investigation of space's functional efficiency in the nine house patterns with the spatial system of micro-, small and large modules in three cities of Yazd, Kashan and Isfahan. In order to achieve this goal, spatial syntax's mathematical relations were used. The first study step included the extraction of the spatial configuration by drawing the graph corresponding to each of the studied cases. In the second step, the functional efficiency analysis was conducted using spatial syntax's mathematical relations and relying on the results obtained from the graphs; three indices of "spatial value", "mean depth of the space" and "relative integration of the space" were calculated in separate for each of the aforementioned samples. It is worth mentioning that each of the analysis instruments, including graphs and mathematical relations of the spatial syntax, has capabilities that can be utilized in line with proving the functional efficiency's rate. Based thereon, the followings can be pointed out in response to the questions raised in the section on the "Statement of the Problem":

1) In the science of syntax, efficiency means the frequency in which space is used by the users. This concept is directly associated with the spatial value meaning that the increase in the spatial value from the perspective of the space users leads to an increase in the usability thereof. In this regard, indices like the establishment position of the intended space in the overall building structure, the amount of their connection and relationship with their adjacent spaces, the amount of access to the aforesaid spaces and other cases of the like are influential in the amount of spatial value hence the efficiency of the intended spaces. On the other hand, instruments like justificatory charts as well as the mathematical relations that are used for quantitative analysis of the concepts related to space's syntax are amongst the tools that are also employed in the space syntax method. Application of these instruments enables the offering of the qualitative and descriptive concepts related to space in the form of numerical and graphical models that eventually lead to the offering of the scientific interpretations regarding the intended spaces. In line with this, the extraction of indices like "depth of spaces", "degree of space's mean depth", "relative integration of the space" hence "spatial value rate" is carried out using mathematical relations that eventually make the elucidation of the intended space's functional efficiency possible.

2) In this study, cultural-social patterns of space mean similarities in the construction and use of the space. One of the present study's goals is the extraction of the similarities in the spatial system of the three spaces of the interior yard, exterior yard and guest room as viewed by the residents of the houses in Kashan, Isfahan and Yazd. Based thereon, the study findings indicated that the existence of a certain rhythm in the amounts of the spatial difference in the houses studied in each of the aforesaid cities is reflective of the existence of a specific sociocultural pattern in the formation of the configuration in all the three aforesaid spaces in the system of the houses from each of the intended cities. However, the existence of similarity in the values obtained for the three foresaid spaces in the two cities of Isfahan and Yazd and the differences between these numbers and the values obtained for the city of Kashan are suggestive of the similarities in the construction typology as well as the pattern of using the spaces in the two cities of Isfahan and Yazd. Thus, it can be accordingly stated that the use of quantitative values of the spatial arrangement enables the discernment of the socio-cultural similarities in the residents of an urban system in terms of the construction pattern and space-using styles.

3) In the evaluation of the functional efficiency rates and spatial values of the three spaces, namely interior yard, exterior yard and guest room, in the three house patterns with large, small and micro-module systems, the study findings indicated the followings:

-Houses with micro-module have the least spatial value in comparison to the other two patterns and this is reflective of the existence of more separation between the spaces of the house that eventually leads to the reduction in the functional efficiency of the house with micro-module. On the contrary, the houses with the large module have the highest spatial value and this is reflective of the highest functional output in this type of house.

-The factor "spatial difference" is lowest in the houses with a large module or the spaces of the interior yard,

exterior yard and guest room and, contrarily, it is highest in the houses with micro-module. As it was mentioned before, the high values of spatial difference show the lower functional efficiency and the low values indicate the higher functional output; thus, it can be perceived that the functional efficiency is in its highest amount in the houses with a large module and in its lowest amount in the houses with micro-module.

-Houses with large modules have larger depths in contrast to the houses with micro-module for such a reason as the sequence and numerosity of the spaces but they generally have better functional efficiency in contrast to the other patterns of houses due to their higher spatial connection to the other spaces.

-In houses with a large module, larger depth has been obtained as compared to the other studied samples due to the numerosity of the spaces as well as due to the existence of spaces that are sited one behind the other in a consecutive manner. Due to the existence of appropriate spatial connection and formation of numerous spatial loops in this style of houses, the level of the spaces' connection with one another is increased hence more flexibility and permeability is created in the space and this eventually leads to the functional facilitation of various spaces in such types of houses hence formation of the highest amount of functional efficiency for this type of houses in contrast to the other two patterns.

It is worth mentioning that although the amount of the functional efficiency obtained for the large module system is higher than that obtained for the other two patterns, it appears that this issue is due to the maximal existence of substructure and existence of numerosity in the spaces in the construction system of this house pattern. This is while the two small and micro-module systems, as well, have in themselves a proper efficiency rate due to the substructure and number of spaces in them. However, the thing intended in the current research paper is the comparison of the outputs of the three spaces, interior yard, exterior yard and guest room shared by all three patterns. Thus, the study findings show in this regard that, out of the three intended modules, the amounts of outputs obtained for these three spaces are larger in the large module than the other two patterns and this issue is per se caused by the mean distance of the three spaces to the root space (mean depth of space), the amount to which the aforementioned spaces are connected to their peripheral spaces (relative pooling of the space) and finally the value rates of the intended space.

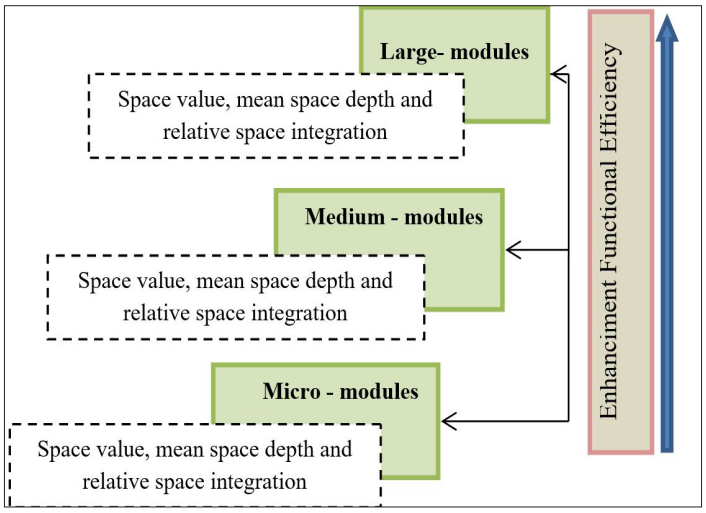


Fig. 6. Analytical Diagram of Functional Efficiency in Three House Patterns with Large, Medium and Micro-modules

It is worth mentioning that although the amount of the functional efficiency obtained for the large module system is higher than that obtained for the other two patterns, it appears that this issue is due to the maximal existence of substructure and existence of numerosity in the spaces in the construction system of this house pattern. This is while the two small and micro-module systems, as well, have in themselves a proper efficiency rate due to the substructure and number of spaces in them. However, the thing intended in the current research paper is the comparison of the outputs of the three spaces, interior yard, exterior yard and guest room shared by all three patterns. Thus, the study findings show in this regard that, out of the three intended modules, the amounts of outputs obtained for these three spaces are larger in the large module than the other two patterns and this issue is per se caused by the mean distance of the three spaces to the root space (mean depth of space), the amount to which the aforementioned spaces are connected to their peripheral spaces (relative pooling of the space) and finally the value rates of the intended space.

END NOTE

1. It should be noted that in comparing H* values, each sample should be considered with respect to its city. That is, the space value (H)* in the pattern house 1 belongs to the city of Yazd; should be compared with values of patterns 4 and 7, and in this way, the values of * H in pattern 2 should be compared with patterns 5 and 8 which belong to Kashan, and pattern 3 should be compared with pattern 6 and 9 which belong to the city of Isfahan.
2. When comparing MD and R.R.A values, each sample should be considered according to its city. It means this That is, these values in Pattern house 1 belong to the city of Yazd, and should be compared with the values of Patterns 4 and 7. In the same way, the values in Pattern 2 should be compared with patterns 5 and 8 that belong to the city of Kashan, and pattern 3 should be compared with patterns 6 and 9 that belong to the city of Isfahan.

REFERENCES

- Altman, I. (1976). The Environment and Social Behavior: Privacy, Personal Space, Territory, Crowding, (A. Namazian, Trans.). Tehran: Shahidbeheshti University.
- Ando, T. (2016). Space Poetry, (M.R. Shirazi, Trans.). Tehran: Ketab Fekr No Publication.
- De Dear, R.J. (1998). *A Global Database of Thermal Comfort Field Experiments*. ASHRAE Trans; 104, 41–52. https://www.researchgate.net/profile/Richard_De_Dear/publication/279888093_Global_database_of_thermal_comfort_field_experiments/links/567a499608ae361c2f689910/Global-database-of-thermal-comfort-field-experiments.pdf
- Fanger, P.O. (1972). Thermal Comfort: Analysis and Applications in Environmental Engineering, New York: Mcgraw-Hill.
- Hillier, B., Hanson, J., & Peponis, J. (1987). *Syntactic Analysis of Settlements, Architecture and Behavior.* 3(3), 217–231.https://www.epfl.ch/labs/lasur/wp-content/uploads/2018/05/HILLIER_HANSON_PEPONIS.pdf
- Hillier, B., & Hanson, J. (1988). The Social Logic of Space, Cambridge: Cambridge University Press.
- Hillier, B. (2007). *Space is the Machine: A Configurational Theory of Architecture*, Space Syntax Laboratory, 7th International Space Syntax Symposium, Stockholm, Sweden, 070, 1–9. https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/3881/1/SITM.pdf
- Hillier, B., Hanson, J., & Graham, H. (1986). *Ideas are in Things: The Application of the Space Syntax Method to Discovering House Genotypes*, Environment and Planning B: Planning and Design,
- Humphreys, M.A., & Nicol, J.F. (1998). *Understanding the Adaptive Approach to Thermal Comfort*, ASHRAE Trans. 104, 991–1004. https://www.researchgate.net/publication/279888246_Understanding_the_adaptive_approach_to_thermal_comfort
- Lang, J. (1987). Creating Architectural Theory: The Role of the Behavioral Sciences in Environmental Design, (A.R. Einifar, Trans.). Tehran: Tehran University.
- Makri, M., & Folkesson, C. (1999). Accessibility Measures for Analyses of Land Use and Traveling with Geographical Information Systems, Proceedings of 2nd KFB-Research Conference, Lund Institute of Technology, Lund. http://www.tft.lth.se/kfbkonf/4makrifolkesson.pdf
- Manum. B, (2009). A-Graph Complementary Software for Axial-Line Analysis. In:Proceeding
- Memarian, G.H. (2005). A Survey on the Theoretical Foundations of Architecture, Tehran: Soroosh Danesh.
- Memarian. G.H., & Sadoughi , A. (2011). Application of Access Graphs and Home Culture: Examining Factors Relative to Climate and Privacy in Iranian Houses. *Scientific Research and Essays*, 6(30), 6350-6363. https://www.researchgate.net/publication/268348713_Application_of_access_graphs_and_home_culture_Examining_factors_relative_to_climate_and_privacy_in_Iranian_houses
- Mostafa, A., & Hassan, F. (2013). Mosque Layout Design: An Analytical Study of Mosque Layouts in the Early Ottoman Period. *Frontiers of Architectural Research* 2, 445–456. https://www.researchgate.net/publication/259169917_Mosque_layout_design_An_analytical_study_of_mosque_layouts_in_the_early_Ottoman_period
- Mola Asadallah, B. (1998). Isfahan House Treasures, Tehran, Shahid beheshti University.
- Newman, O. (1972). Creating Defensible Space,(F. ravaghi., & K. Saber, Trans.). Tehran; Tahan.
- Pirnia, S.K. (2008). Islamic Architecture of Iran, Tehran; Soroosh Danesh.
- Soltanzadeh, H., & Mosavi Rezvati, M. (1996). Kashan House Treasures, Tehran, Shahid Beheshti University.

HOW TO CITE THIS ARTICLE

Heidari, A.A., Akbari, E., & Akbari , A. (2019). A Comparative Study of Spatial Configuration Functional Efficiency in Three House Systems with Large, Small and Micro-Modules Using Space Syntax Method. *Armanshahr Architecture & Urban Development Journal*. 12(28), 35-47.

DOI:10.22034/AAUD.2019.97357

URL: http://www.armanshahrjournal.com/article_97357.html