ارزیابی جداره‌های خیابان چهارباغ اصفهان و ارائه الگو برای آن با به‌کارگیری هندسه فراکتال*

فروغ مدنی**- آرمین بهرامیان***- محمود قلعه نویی****- مجتبی روشن*****

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۵/۱۲
تاریخ پذیرش نهایی: ۹۳/۰۲/۳۰

چکیده

یکی از دیدگاه‌های مؤثر در علوم معماری و شهرسازی نظریه سیستم‌های پیچیده است که هندسه مربوط به آن، هندسه فراکتال است. تا به امروز تحلیل فراکتال و محاسبه بُعد فراکتال به‌عنوان ابزار تحلیل کاربردی در رشته شهرسازی، در مقیاس‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفته است. آن‌چه که این روش را از دیگر روش‌ها متمایز می‌کند، الگوگیری از زمینه‌های موجود در سایت به‌منظور تحلیل و ارائه الگوها و راهنما برای توسعه‌های جدید در امتداد یک فرآیند پویا است که تأثیر نظریه‌ها و سلیقه‌های متفاوت فردی را تعدیل می‌کند. یکی از مشکلاتی که اکثر شهرهای ایران با آن مواجه است توسعه‌های جدید ناهمخوان در بافت‌های باارزش تاریخی است که چگونگی الگوگیری و طراحی ساخت‌های جدید در کنار بدنه‌ها و عناصر تاریخی مورد اهمیت قرار می‌دهد. آنچه که در این پژوهش مورد نظر است ارائه یک روش تحلیل و طراحی با استفاده از مبانی هندسه فراکتال و اندازه‌گیری بُعد فراکتال که روشی کمی برای اندازه‌گیری و تحلیل پیچیدگی بصری است، می‌باشد که در این پژوهش با توجه به ماهیت و مقیاس نمونه مورد بررسی از روش "شمارش خانه‌ها" برای اندازه‌گیری بُعد فراکتال استفاده می‌شود. بدین منظور با بررسی جداره‌های شهری مطلوب در محدوده مورد نظر به ارائه الگوها و راهنماهایی برای توسعه‌های جدید براساس شاخص‌های زمینه‌ای پرداخته می‌شود. در این مقاله خیابان چهارباغ عباسی، یکی از محورهای اصلی اصفهان به‌عنوان نمونه موردی انتخاب شده و بدین منظور ابتدا جداره‌های باارزش تاریخی در محدوده شناسایی شده و سپس بُعد فراکتال آن با روش شمارش خانه‌ها توسط نرم افزار بنوا ۱/۳[۱] به‌دست آمد. سپس عدد به‌دست آمده به ساختاری هندسی تبدیل شده و به‌عنوان چارچوب و راهنمای طراحی برای ساماندهی و توسعه جدید در این خیابان تاریخی ارائه شده است.

واژگان کلیدی: هندسه فراکتال، جداره‌های شهری، الگو، چهارباغ عباسی، بُعد فراکتال.

* این مقاله برگرفته شده از پایان‌نامه کارشناسی ارشد نویسنده اول با عنوان «طراحی فضای شهری مداخله‌ای در سیستم پیچیده شهر با تأکید بر هندسه فراکتال» به راهنمایی جناب آقای دکتر محمود قلعه‌نویی و جناب آقای آرمین بهرامیان در گروه شهرسازی دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه هنر اصفهان است.

** کارشناس ارشد طراحی شهری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران (نویسنده مسئول).
Email: fo.madani@yahoo.com

*** استادیار معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران.
**** استادیار شهرسازی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران.
***** مربی معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران.

مقدمه

فراکتال، هندسه نوینی است که بشر طی سالیان سال حتی به شکل ناخودآگاه با الگوگیری از طبیعت در ساخت محیط مصنوع خویش به کار برده است. شهرهای تاریخی نیز به علت داشتن ساختاری یکپارچه در مقیاس‌های مختلف و شکل‌گیری ارگانیک خود نیز دارای ساختار فراکتالی هستند (Bemanian et al., 2010, p. 109) و لذا با فهم و بازتولید آن می‌توان خصوصیت طبیعی ارگانیک بودن را با استفاده از روش‌های تحلیلی هندسه فراکتال به‌دست آورد. امروزه شهرهای ارگانیک با نظمی پیچیده دستخوش تغییرات بسیاری در تقابل با صنعتی شدن قرار گرفته و روز به روز ساختار ارزشمند این شهرها دچار فرسودگی و تخریب می‌شوند. در این میان آنچه که اهمیت دارد حفظ و بازتولید این ارزش‌ها در ساخت‌های جدید است.

مسأله‌ای که در این پژوهش بدان پرداخته شده است چگونگی الگوگیری از بافت‌های تاریخی ارزشمند و ایجاد ساختی جدید با حفظ کیفیت‌های موجود مطابق با سلیقه، مصالح و فن‌آوری روز می‌باشد. همانطور که بیان شد ساختار شهرهای تاریخی حاوی کیفیت های زیبایی‌شناختی، عملکردی و زیست‌محیطی بوده که در بستر تاریخی و جغرافیایی خود در طول زمان شکل گرفته‌اند. بدین روی ضرورت توجه به این نمونه‌های باارزش در ساخت وسازهای جدید به‌منظور حفظ یکپارچگی و بازتولید مفاهیم نهفته در آن الزامی است.

یکی از موارد مورد استفاده از هندسه فراکتال، بررسی و تحلیل کمی ساخت و فرم‌های معماری و شهرسازی است (Ostwald et al., 2011). که در این روش با استفاده از معیار کمی بُعد فراکتال تحقیقات و بررسی‌های بسیاری در مقیاس‌های گوناگون معماری و شهرسازی صورت گرفته است (Cooper, 2005; Taylor, 2004; Hager hall, 2004). اما آنچه که در این پژوهش مورد توجه است، ارائه و تکمیل روش "بویل (۱۹۹۶)" در تحلیل و الگوگیری با استفاده از بعد فراکتال جداره‌های شهری است.

پرسشی که در این پژوهش بدان پرداخته شده است، چگونگی به دست آوردن یک ریتم فراکتال از جداره‌های خیابان چهارباغ عباسی به‌عنوان نمونه مورد مطالعه، جهت استفاده در طراحی‌های جداره‌های خیابان، برای رسیدن به ساختار هندسی مطلوب است. همچنین هدفی که در نظر دارد، استفاده از ابزار بُعد فراکتال و روش‌های هندسی برای ارزیابی و ارائه الگو با استفاده از زمینه موجود است. در این راستا ابتدا با بیان مبانی و پیشینه موجود به روش شناسی استفاده شده در پژوهش پرداخته و سپس با استفاده از روش "شمارش‌خانه‌ها" بعد فراکتال نمونه‌ها به دست آمده و در انتها الگو و چارچوبی به عنوان راهنما در طراحی‌های جدید ارائه شده است.

۱. روش تحقیق

در این مقاله از روش تحقیق توصیفی- تحلیلی استفاده شده است. مقاله دارای دو قسمت کلی است: در قسمت اول یعنی مبانی نظری به بررسی و تحلیل منابع موجود در زمینه هندسه فراکتال و کاربرد آن در معماری و شهرسازی پرداخته که در آن با مرور اسناد کتابخانه ای از روش تحلیل محتوا استفاده شده است. در قسمت دوم با بررسی میدانی نمونه مطالعاتی، اطلاعات لازم از طریق تصویربرداری جمع‌آوری شد. سپس از نرم‌افزارهای تخصصی بنوا ۱/۳ که برای تحلیل‌های فراکتالی در مقیاس معماری و شهرسازی توسط پژوهشگران مختلفی مورد استفاده قرار گرفته است (Cooper, 2005 & 2008; Ostwald, 2011) و همچنین نرم‌افزار اتوکد، برای تحلیل‌های هندسی برروی نمونه‌های برداشت شده، استفاده شده است. در ادامه بعد از محاسبه بُعد فراکتال و با استفاده از مبانی معرفی شده و نرم افزار آماری میپل ۱۳[۲]، روشی جهت تبدیل بُعد فراکتال به شبکه‌ای از خطوط هندسی ارائه می‌شود که می‌تواند به‌عنوان چارچوب در طراحی نما مورد استفاده قرار گیرد.

۲. انگاره‌های نظری و پیشینه تحقیق

۲-۱- هندسه فراکتال

هندسه فراکتال، هندسه طبیعت و بیانگر نظم پنهان و پیچیده آن است (Bemanian, 2010, pp. 21-22). هندسه فراکتال در پی ناکارآمدی هندسه اقلیدسی در توضیح و تحلیل ساختارهای طبیعی که آن را بی‌نظم می‌خواند، به‌وجود آمد و بیان داشت که نه تنها این اشکال مانند ابرها، صخره‌ها و دیگر پدیده‌های طبیعی بی‌نظم نیستند؛ بلکه دارای سطح بالاتری از نظم ساده اقلیدسی هستند. این هندسه نه تنها شکل شکسته و نامتقارن پدیده‌های طبیعی را تفسیر نمود بلکه به الگوسازی دستگاه‌های نامنظم یا همان سیستم‌های پیچیده پرداخت.

تعاریف بسیاری برای اجسام فراکتال وجود دارد که ساده‌ترین آن می‌تواند این باشد که فراکتال، یک تصویر بصری از یک شکل مبنا است که در مقیاس‌های مختلف تکرار شده‌اند (Stamps, 2002). در توضیح می‌توان گفت که فراکتال یک شکل پیچیده هندسی است که از تعداد زیادی قطعه کوچک‌تر و مشابه شکل اصلی تشکیل شده است، به‌طوری که می‌توان بر

روی بخشی کوچک از آن تمرکز کرد و پس از چند مرحله بزرگنمایی مشاهده کرد که آن بخش در درون خود جزئیات تمام فراکتال را داراست (Mandelbrot, 1982).

۲-۲- بُعد فراکتال

فراکتال‌ها دارای ابعادی نامنسجم هستند. بدین معنا که بعد این اشکال مانند اشکال اقلیدسی اعداد صحیح یک، دو و سه بعدی نیستند، بلکه با توجه به میزان بی‌نظمی و شکستگی آنها دارای ابعادی با اعداد کسری میان ابعاد صحیح است که با میزان اشغال فضا توسط جسم مطابقت دارد و عددی مابین ابعاد اقلیدسی یک، دو و سه است (Cooper, 2005). در واقع ساختارهایی که بر روی یک خط قرار می‌گیرند مانند مجموعه‌ای از نقاط پراکنده، بعدی مابین صفر و یک، ساختارهای منطبق بر صفحه، بعدی بین یک و دو و ساختارهای حجمی مانند لبه ساحل، بعدی بین دو و سه دارند. هندسه فراکتال به‌منظور تشریح خطوط، سطوح و احجام درهم پیچیده و نامنظم به‌کار می‌رود که دارای بعدی مابین ابعاد صحیح اقلیدسی هستند. بُعد فراکتال نیز به عنوان معیار کمی مقایسه میزان چروکیدگی سطوح، اعوجاج خطوط به کار می‌رود (Mandelbrot, 1982).

۲-۳- کاربرد هندسه فراکتال در معماری و شهرسازی

استفاده از هندسه فراکتال در شناخت و تحلیل ساختارهای شهری در مقیاس‌های گوناگون توسط چندی از محققین تا به‌حال صورت گرفته است که در واقع بیشتر این تحقیقات از بُعد فراکتال به عنوان معیار کمی برای سنجش و ارزیابی ساختارهای شهر از چگونگی رشد و توسعه شهرها و عوامل مؤثر بر آن‌ها گرفته تا رابطه کیفیت‌های محیطی و بُعد فراکتال در فضاهای شهری استفاده نموده‌اند. به بیان دیگر، افراد مختلفی با بررسی این رابطه سعی در کمی کردن کیفیت‌های موجود در فضا نموده‌اند. از این جمله می‌توان به کارهای کوپر (۲۰۰۲، ۲۰۰۵) در طبقه‌بندی انواع خیابان‌ها با توجه به بُعد فراکتال لبه آن‌ها و همچنین بررسی تأثیر بُعد فراکتال چشم‌اندازهای خیابان و مطلوبیت فضایی درک شده توسط افراد در فضا، اشاره نمود. از دیگر افرادی که به بررسی خط آسمان مناظر طبیعی و مصنوع پرداخت، هگر هال (۲۰۰۴) بود که بُعد فراکتال را به‌عنوان وسیله‌ای برای اندازه‌گیری میزان طبیعت‌گرایی در ساختارهای مصنوع معرفی نمود.

افراد بسیاری به تحقیق و بررسی در این زمینه پرداخته و مستقیم و یا غیرمستقیم به وجود و حضور هندسه طبیعت (فراکتال) در بناهای باشکوه تاریخی اشاره نموده‌اند. از جمله این افراد می‌توان به تیلور[۳] (۲۰۰۶)، کرامپتون[۴] (۲۰۰۲)، بویل[۵] (۱۹۹۶)، سالینگروس[۶] (۲۰۰۶) که سهم به‌سزایی در توسعه این نظریه، استفاده، کاربرد و تأثیرات آن داشته‌اند، اشاره نمود. تیلور در پژوهش‌های خود به بررسی تأثیرات مثبت الگوهای فراکتال بر افراد پرداخت و بنابر یافته‌هایش الگوهای فراکتالی با بُعد فراکتال ۱/۳ تا ۱/۵ را پیشنهاد نمود که می‌تواند شرایط فیزیولوژیک استفاده‌کنندگان از محیط را بهبود ببخشد، که این امر با در نظر گرفتن این که هر خط یا سطحی بالاخره بعد فراکتال دارد می‌تواند حدود کلی برای طرح‌های پاسخگوتر را پیشنهاد دهد (Taylor, 2006). کرامپتون (۲۰۰۴) نیز با بررسی ساختمان‌های تاریخی به الگوگیری انسان از طبیعت و انتشار و تکثیر آن در ساخت‌های معماری و شهرسازی اشاره کرده و قاعده یک طراحی خوب را الگوگیری از طبیعت می داند که خود طبیعت فراکتال است. همچنین تا به حال تلاش‌های بسیاری به‌منظور کمی کردن کیفیت‌های فضایی مختلف مانند میزان دلپذیر بودن یک منظره یا ارزیابی یک بدنه شهری، با استفاده از بعد فراکتال به عنوان یک معیار صورت گرفته است (Cooper, 2005; Hager hall, 2004; Taylor, 2004).

از دیگر افرادی که به تحقیق و بررسی در زمینه استفاده از هندسه فراکتال در طراحی نموده‌اند، می‌توان به کارل بویل اشاره داشت که در کتابش به نام «هندسه فراکتال در معماری و طراحی» بر روی ارائه روشی به‌منظور طراحی پروژه بر اساس هندسه فراکتال تمرکز دارد. وی با معرفی کاملی از هندسه فراکتال و مبانی آن با پژوهش در مورد ساختارهای فراکتال، تلاش در پایه‌گذاری روش خود براساس بُعد فراکتال نموده و با استفاده از آن یک ریتم فراکتال از اندازه‌های مختلف از اجزاء را پیشنهاد داده است (Bovil, 1996).

توجه به استفاده از فراکتال در فرآیند تحلیل نیز خود به سطوح و مقیاس‌های مختلفی تقسیم می‌شود. در اصل، بنابر قانون سلسله مراتبی و حضور ساختار مشابه در مقیاس‌های مختلف که در هندسه فراکتال وجود دارد، ساختار یک سیستم پیچیده در مقیاس کلان تا خردترین مقیاس‌ها توسط قوانین این هندسه قابل بررسی و تحلیل است. اما براساس تحقیقاتی که صورت گرفته است می‌توان آن را در سه سطح، ساختار کل شهر- بلوک‌های شهری، فضاهای شهری- منظر شهر، تک بنا- بدنه‌های شهر، تقسیم نمود که در جدول ۱ نظریه‌ها و تحقیقات پژوهشگران مختلف در مقیاس‌های متفاوت دسته‌بندی شده است.

جدول ۱: نظریه‌پردازان مختلف در زمینه تحلیل فراکتالی

مقیاس کلان (ساختار شهر- بلوک‌های شهری)	مندلبرات (۱۹۸۳) - بتی و لانگلی (۱۹۹۴) - فرانک هوسر[۷] (۱۹۹۴) - بتی (۲۰۰۵)
مقیاس میانی (فضاهای شهری- منظر شهر)	اکو[۸] (۱۹۹۰) - میزونو و کاکی[۹] (۱۹۹۰) - رابرتسون[۱۰] (۱۹۹۲،۱۹۹۵) - هیث و دیگران[۱۱] (۲۰۰۰) - رودین و رودینا[۱۲] (۲۰۰۰) - لی[۱۳] (۲۰۰۰) - ریکوتا[۱۴] (۲۰۰۰) - اشمید[۱۵] (۲۰۰۰) - کوپر (۲۰۰۰، ۲۰۰۳) - هگرهال و دیگران[۱۶] (۲۰۰۴) - کوپر (۲۰۰۵، ۲۰۰۷) - هگر هال (۲۰۰۴) - تیلور (۲۰۰۶)
مقیاس خرد (تک بنا- بدنه‌های شهری)	مندلبرات (۱۹۸۳) - کرامپتون (۲۰۰۴) - کارل بویل (۱۹۹۶) - سالینگروس (۲۰۰۶) - کوپر (۲۰۰۵) - هگرهال (۲۰۰۴) - تیلور (۲۰۰۴).

با توجه به پژوهش‌های صورت گرفته پیرامون بررسی ساختارهای معماری و شهرسازی توسط بُعد فراکتال و تعیین محدوده مطلوب آن می‌توان بیان داشت که اگر محیط اطراف بُعد فراکتال نزدیک به یک و یا بُعد فراکتال آن بیشتر از ۱/۵ بود، دارای ارزش فراکتالی نبوده و یا برای انسان خوشایند نیست. بنابراین، محدوده بُعد فراکتال مطلوب ۱/۳ تا ۱/۵ به‌عنوان بعد مطلوب و دلپذیری که از ساختارهای طبیعی برای انسان به دست آمده، بیان می‌شود (Taylor, 2006). همچنین برای ارائه الگویی در توسعه‌های جدید در یک محدوده با استفاده از هندسه فراکتال ابتدا باید با توجه به تحلیل‌های صورت گرفته، بُعد فراکتال مطلوب تعیین شود. این بعد می‌تواند از الگوهای مختلفی مانند پس زمینه مطلوب طبیعی یا بدنه تاریخی ارزشمند موجود در سایت و یا فضاهای ارگانیکی که دارای زمینه‌های اجتماعی و فرهنگی یکسان هستند، به‌دست آید (Bahramian, 2010).

۳. روش شناسی پژوهش

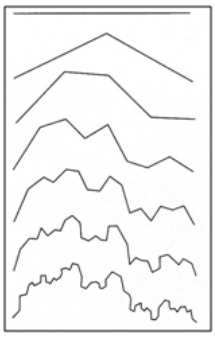
تاکنون روش‌های متعددی توسط منابع داخلی و خارجی در تحلیل منظر شهری و بدنه‌های خیابان ارائه شده است که از جمله می‌توان به مطالعات توسلی (۱۳۷۶، ۱۳۷۹) در تحلیل جداره‌ها با استفاده از ارکان و اجزاء نما اشاره داشت. همچنین هدمن و یازوسکی[۱۷] (۱۳۸۱)، فیلیپ تیل[۱۸] (۱۹۶۱) و جک نصر[۱۹] (۱۹۹۸) هر یک روشی را به‌منظور تحلیل بدنه‌ها و سکانس‌های شهری ارائه داده‌اند. با توجه به پیشینه پژوهش، استفاده از بُعد فراکتال در تحلیل ساختارهای معماری و شهرسازی به‌عنوان یک ابزار جهت کمی کردن کیفیت موجود در زمینه بوده است که می‌تواند مبنای تحلیل نمونه‌های مختلف قرار گیرد. آنچه که این روش را از دیگر روش‌های تحلیل جداره متمایز می‌گرداند، استفاده از مبانی ریاضی کاملاً مشخص و تعیین معیار کمی بُعد فراکتال است که میزان خطا و یا تأثیر نظرات شخصی را به حداقل می‌رساند. در این پژوهش یک فضای شهری پویا و فعال با زمینه و عناصر تاریخی- خیابان چهارباغ عباسی- جهت شرح فرآیند الگوگیری مورد استفاده قرار گرفته است. در این روش ابتدا بُعد فراکتال نمونه‌ها اندازه‌گیری شده و روش‌های متعددی برای به دست آوردن بُعد فراکتال ساختارهای به ظاهر نامنظم و در هم پیچیده وجود دارد که تمامی این روش‌ها به دنبال یافتن ارتباط مابین میزان اندازه (طول، صفحه، حجم) و تغییر مقیاس هستند (Cooper, 2005). معمول‌ترین آن، روش "شمارش‌خانه‌ها" است که توسط بویل (۱۹۹۶،۱۹۹۷) برای تحلیل ساختارهای معماری پیشنهاد شد که در ۲۰ سال اخیر این روش توسط افراد بسیاری برای تحلیل ساختارهای معماری و شهرسازی به‌کار گرفته شده است (Bechoefer & Appleby, 1997; Burkle- Elizondo et al., 2004; Makhzoumi & Pungetti 1999).

این روش بیشتر به‌منظور تحلیل صفحات دوبعدی مانند پلان، نما و یا جداره‌های شهری به‌کار گرفته شده است. از دیگر روش‌ها می‌توان به روش "تقسیم‌کننده ها" که بتی و لانگلی[۲۰] (۱۹۹۴) برای بررسی لبه‌های شهر کاردیف از آن استفاده نمودند و یا روش "خط‌کش" که برای تحلیل لبه‌های خیابان توسط کوپر[۲۱] (۲۰۰۵) مورد استفاده قرار گرفت، اشاره نمود. که در این پژوهش از روش شمارش‌خانه‌ها استفاده شده است. در این روش شبکه‌ای از مربع روی تصویر مورد نظر قرار می‌گیرد که اندازه شبکه با (s) مشخص می‌شود و تعداد خانه‌هایی که بخش‌هایی از تصویر را در خود دارند با n(s) و سپس از فرمول زیر بعد فراکتال آن به دست می‌آید (Bovil, 1996).

$$D_b = \frac{[\log(N(s_2)) - \log(N(s_1))]}{[\log\left(\frac{1}{s_2}\right) - \log\left(\frac{1}{s_1}\right)]}$$

که در اینجا این مراحل توسط نرم افزار تخصصی بنوا ۱/۳ صورت می‌گیرد که در تحقیقات بسیاری از آن به‌منظور دستیابی به بُعد فراکتال استفاده شده است (Cooper, 2008, 2005; Hagerhall, 2004; Ostwald, 2011). در مرحله بعد با به دست آوردن بعد فراکتال مطلوب بویل (۱۹۹۶) با استفاده از روش تغییر مکان‌میانی به یک ساختار هندسی فراکتال دست می‌یابد. سپس به علت این که اغلب ساختارهای ارگانیک دارای ساختار تصادفی هستند با استفاده از احتمال یک و صفر بالا و پایین بردن نقطه میانی تعیین گشته و ساختار تصادفی شکل می‌گیرد (شکل۱) درنهایت با استفاده از تغییرات این نمودار یک شبکه از خطوط به دست آمده که دارای ریتم فراکتالی موجود در نمونه‌ها است[۲۲].

شکل۱: شکل‌گیری ساختار تصادفی



(Bovil, 1996)

روش تجزیه، تحلیل و طراحی که معرفی شد، در اصل کیفیت نهفته در زمینه را کمی کرده و مبنای تحلیل طراحان قرار می‌دهد تا براساس عوامل مختلف به یک روش طراحی مدون دست پیدا کنند. از فواید این روش آن است که ابتدا می‌توان بُعد فراکتال زمینه پروژه را اندازه‌گیری نمود و سپس طراح با بررسی آن تعیین می‌کند که آیا این زمینه دارای ارزش فراکتالی بوده و می‌تواند الگوی ساخت وسازهای جدید در محدوده قرار گیرد یا نه (محدوده بعد فراکتال ۱/۳ تا ۱/۵).

۱-۳- خیابان چهارباغ عباسی در شهر اصفهان

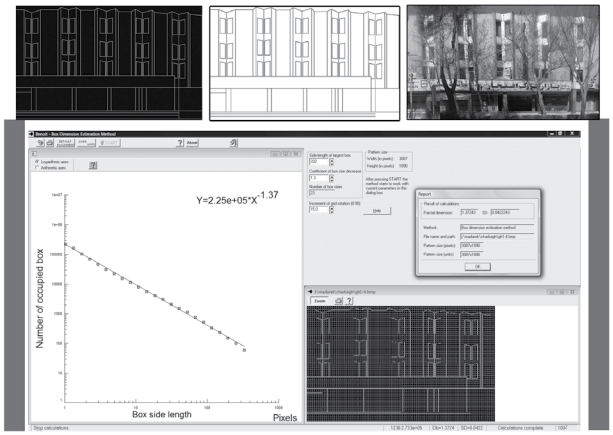
خیابان چهارباغ عباسی به‌عنوان یکی از محورهای ساختاری شهر اصفهان دارای سه عامل جذب جمعیت یعنی وجود بناهای با ارزش تاریخی، وجود فروشگاه‌های تجاری و قرارگیری محل کار در خیابان یا محدوده اطراف آن است. بنابراین مسأله‌ای که باید در طرح‌های شهری این خیابان به آن توجه شود، ارتقاء کیفی فضا برای افزایش فعالیت‌های اجتماعی است که در این میان منظرشهری و ساماندهی بدنه در الویت قرار دارند. به همین خاطر از جمله طرح‌های پیشنهادی و مصوبی که در طرح‌های بالادست سازمان بهسازی و نوسازی شهر اصفهان به مرحله اجرا درآمده است، ساماندهی بدنه شرقی چهارباغ است که قسمت ورودی باغ هشت بهشت اجرا شد و به‌دنبال آن مورد نقدهای بسیاری قرار گرفت[۲۳]. در این پژوهش با توجه به اولویت ساماندهی بدنه‌های این خیابان، قسمت‌هایی از بدنه که در نقشه‌های شناختی افراد به عنوان نشانه قرار داشته (Madani, 2011) و هر کدام مربوط به دوره تاریخی متفاوتیاست، انتخاب شد.

به‌منظور تحلیل بدنه‌های انتخابی، ابتدا از گونه‌های مختلف ساخت بسته به دوره ساخت، کاربری و تراکم ارتفاعی، عکس‌برداری شد. این عکس‌ها از پیاده رو وسط خیابان به‌گونه‌ای که تمامی ارتفاع جداره در دید قرار گیرد، گرفته شد که این فاصله بهینه ۱۵ متری از بدنه بود. عکس نمونه‌ها با کیفیت ۸ مگاپیکسل گرفته شد، زیرا با توجه به فاصله نیاز به جزئیات بیشتری نیست. در مرحله بعد، خطوط اصلی جداره‌ها به‌منظور حذف اطلاعات اضافی مانند عناصر طبیعی و عناصر متحرک، در نرم افزار اتوکد ترسیم شد. آن‌چه که مورد توجه است، میزان جزئیات ترسیم شده بوده که براساس زاویه دید، فاصله مشاهده‌گر و میزان جزئیات قابل درک برای وی از فرمول زیر استفاده شد (Helms, 1980) که حداقل میزان جزئیات قابل درک در فاصله ۱۵ متری با زاویه دید حداقل یعنی ۲ درجه ۵۲ سانتی‌متر به‌دست آمد. بدین معنا که جزئیات دارای اندازه کوچک‌تر مانند کاشی‌کاری‌ها و تزئینات خرد در ادراک مشاهده‌گر در این فاصله مؤثر نبوده و ترسیم نشده است.

$$\text{اندازه قابل درک} = \text{فاصله ناظر} \times \tan \alpha$$

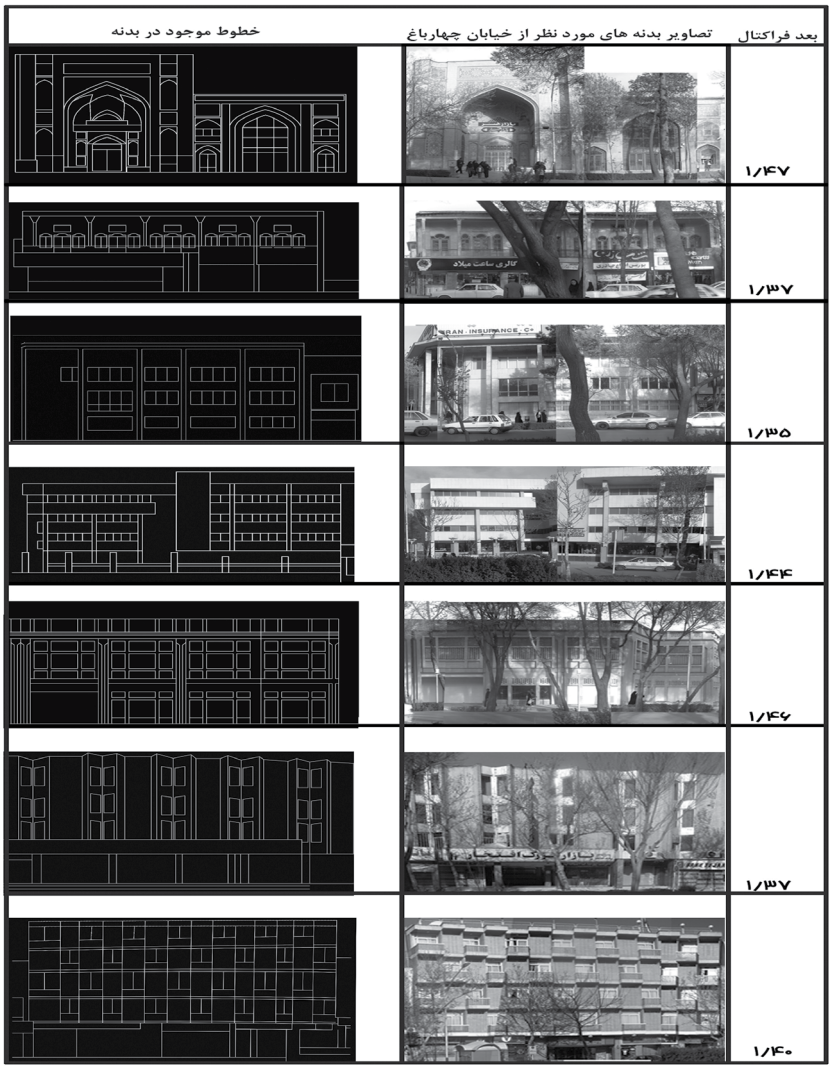
بعد از ترسیم، تصاویر مورد نظر برای اندازه‌گیری بُعد فراکتال بااستفاده از نرم‌افزار بنوا ۱/۳، به‌صورت تصاویر سیاه و سفید وارد نرم افزار شده و بر اساس کوچکترین اندازه قابل درک که ترسیم شده، کوچکترین اندازه خانه، مابقی اطلاعات ورودی نرم افزار مشخص می‌شود. شکل ۲ روند آماده‌سازی تصویر و محاسبه بُعد فراکتال را توسط نرم افزار بنوا نشان می‌دهد.

شکل ۲: روند دستیابی به بعد فراکتال بدنه خیابان



همانطور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، بُعدهای فراکتال به‌دست آمده بین عدد ۱/۳ و ۱/۵ است که بر اساس تحقیقات تیلور (۲۰۰۷) این محدوده به‌عنوان بعد مطلوب و دلپذیر برای انسان معرفی شده است. پس می‌توان از میانگین بعد فراکتال نمونه‌ها به‌عنوان بعد فراکتال زمینه استفاده نمود. بعد از اندازه گیری بُعد فراکتال هر نمونه، میانگین بُعد فراکتال آن‌ها به دست آمده که برابر با عدد ۱/۴۰ شد.

شکل ۳: بُعد فراکتال نمونه‌های انتخابی خیابان چهارباغ عباسی



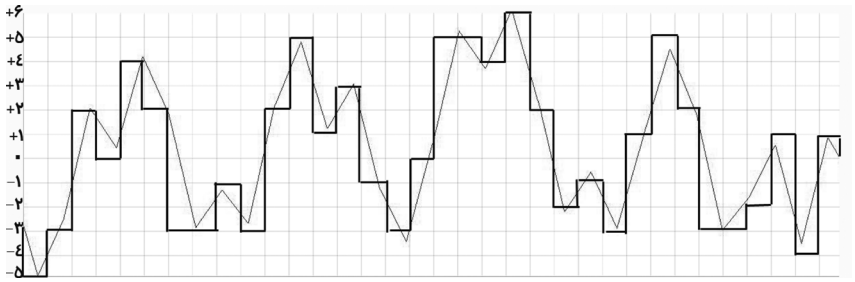
۴. ارائه الگوی طراحی

همانطور که بیان شد به‌منظور ارائه الگو در توسعه‌های جدید محدوده با استفاده از هندسه فراکتال، ابتدا باید با توجه به تحلیل صورت گرفته، بُعد فراکتال مطلوب تعیین شود که در نمونه مطالعاتی موجود از میانگین بعد فراکتال زمینه مصنوع موجود که معادل با عدد ۱/۴ است. این شاخص به‌علت این‌که از زمینه باارزش موجود به‌دست آمده است، می‌تواند مبنای مناسبی برای استخراج ریتم فراکتالی قرار گیرد که چون خصایصی نظیر ساختمان‌های اطراف را از نظر کیفیت‌های زیبایی شناختی خواهد داشت باعث ایجاد پیوستگی بیشتری بین ساخت‌های جدید و بافت موجود خواهد شد.

۴-۱- تبدیل بعد فراکتال به ساختار هندسی

بعد از به دست آوردن بُعد فراکتال در مرحله بعد، تبدیل این بُعد به یک ساختار فراکتال است. برای این کار از روش تغییر مکان نقطه میانی که بویل (۱۹۹۶) پیشنهاد داده است، استفاده می‌شود. به‌منظور تبدیل این عدد به یک ساختار تصادفی با استفاده از یک نرم‌افزار آماری که مجموعه تصادفی از صفر و یک را جهت قرار گرفتن خط عمودی در بالا یا پایین ایجاد می‌کند، به این ساختار دست می‌یابیم که در این پژوهش این‌کار توسط نرم‌افزار میپل ۱۳ صورت گرفته است (شکل ۴). سپس ساختار به‌دست آمده در یک شبکه با واحد اندازه کوچکترین پاره‌خط موجود در نمودار قرار گرفته و بر اساس نقاط بحرانی در آن تبدیل به یک نمودار پلکانی می‌شود. در مرحله بعد باید نمودار به‌دست آمده را ارزش‌گذاری نمود. برای این‌کار یک نقطه را به‌عنوان مبنا صفر در نظر گرفته و سطوح بالاتر با ۱+، ۲+، ... و سطوح پایین‌تر را با ۱-، ۲-، ... ارزش‌گذاری می‌شود. تا به این جا ما دارای یک ریتم تغییرات فراکتالی می‌باشیم (۳-، ۵-، ۳-، ۲، ۰، ۴، ...) (شکل ۴).

شکل ۴: نمودار پلکانی تغییرات ریتم فراکتال



۴-۲- تعیین ریتم فراکتال

بعد از به‌دست آوردن نمودار پلکانی که مشخص‌کننده ریتم تغییرات اندازه‌های موجود در یک بنا است، باید برای این میزان تغییرات یک واحد انتخاب شود که برای این کار از دنباله‌ای از اعداد که توسط ون درلان[۲۴] (۱۹۸۳) براساس قابلیت انسان در مورد تفاوت اندازه قابل درک است، استفاده می‌شود و با عدد به دست آمده از نمودار در تناظر قرار می‌گیرد (جدول۳). در این دنباله اگر ۴ عدد از این دنباله در نظر گرفته شود، عدد چهارم از جمع ۲ عدد اول حاصل می‌شود (Bahramian, 2006).

{1, 1¼, 1¾, 2¼, 3, 4, 5¼, 7}

تعداد اعداد استفاده شده در دنباله با توجه به دامنه تغییرات در نمودار تعیین می شود که با توجه به شکل ۴ که دارای دامنه تغییرات (۶+ تا ۵-) است، ۱۲ عدد از دنباله انتخاب می‌شود. حال به‌منظور به‌دست آوردن اندازه‌های واقعی، لازم است یک اندازه پایه به‌عنوان یک مدول تعیین کنیم. به‌طور مثال این اندازه می‌تواند عرض یک پنجره یا عرض یک ساختمان باشد که تعیین این مقدار پایه هم مبتنی بر مقیاس طراحی است (Bahramian, 2006). تعیین این اندازه پایه با در نظر گرفتن تمام عوامل فیزیکی، عملکردی و فرمال توسط طراح صورت می‌گیرد.

به‌منظور تعیین اندازه پایه در این تحقیق از کوچکترین اندازه قابل درک برای افراد هنگامی که در کمترین فاصله خود از بدنه وقتی در پیاده رو قرار دارند، استفاده شد که این مقادیر براساس فاصله بیننده تا شیء و زاویه دید، مشخص می‌شود. به‌عبارت دیگر جزئیات کوچک با زاویه ۲ درجه برای انسان قابل درک و توجه است، در صورتیکه جزئیات بزرگتر در زوایای ۱۰، ۱۵، و ۲۰ درجه نیز به چشم می‌آیند (Helms, 1980). کمترین فاصله ناظر تا بدنه با توجه به مشاهدات صورت گرفته عرض شانه انسان ۶۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد و سپس این اندازه را در فرمول زیر قرار داده تا کوچک‌ترین اندازه قابل درک یا همان اندازه پایه تعیین شود.

اندازه قابل درک = فاصله ناظر× $\tan \alpha$ $\tan$ ۲ × ۶۰ = ۲ (cm) سانتی‌متر

با توجه به حداقل اندازه قابل درک در نزدیک‌ترین فاصله یعنی ۶۰ سانتی‌متر که ۲ سانتی‌متر است، سه محدوده از فواصل را که حداقل و حداکثر اندازه آن‌ها با هم همپوشانی ندارد به‌عنوان سه مقیاس کلی برای ایجاد ریتم انتخاب شد (جدول ۲).

جدول ۲: سه محدوده اندازه‌های قابل درک

min: max:	tan ۲ ×۶۰ (cm) = ۲ cm tan ۲۰ ×۶۰ (cm) = ۲۰ cm
min: max:	tan ۲ ×۶۰۰ (cm) = ۲۰ cm tan ۲۰ ×۶۰۰ (cm) = ۲۰۰ cm
min: max:	tan ۲ ×۶۰۰۰ (cm) = ۲۰۰ cm tan ۲۰ ×۶۰۰۰ (cm) =۲۰۰۰ cm

جدول ۳: به‌دست آوردن اندازه‌های قابل درک براساس ارزش‌گذاری نمودار

مقیاس کلان			مقیاس میانی			مقیاس خرد		
اندازه‌های قابل درک (cm)	دنباله ون درلان	ارزش‌گذاری نمودار	اندازه‌های قابل درک (cm)	دنباله ون درلان	ارزش‌گذاری نمودار	اندازه‌های قابل درک (cm)	دنباله ون درلان	ارزش‌گذاری نمودار
۲۰۰	۱	-۵	۲۰	۱	-۵	۲	۱	-۵
۲۵۰	۱/۲۵	-۴	۲۵	۱/۲۵	-۴	۲/۵	۱/۲۵	-۴
۳۵۰	۱/۷۵	-۳	۳۵	۱/۷۵	-۳	۳/۵	۱/۷۵	-۳
۴۵۰	۲/۲۵	-۲	۴۵	۲/۲۵	-۲	۴/۵	۲/۲۵	-۲
۶۰۰	۳	-۱	۶۰	۳	-۱	۶	۳	-۱
۸۰۰	۴	۰	۸۰	۴	۰	۸	۴	۰
۱۰۵۰	۵/۲۵	۱	۱۰۵	۵/۲۵	۱	۱۰/۵	۵/۲۵	۱
۱۴۰۰	۷	۲	۱۴۰	۷	۲	۱۴	۷	۲
۱۸۵۰	۹/۲۵	۳	۱۸۵	۹/۲۵	۳	۱۸/۵	۹/۲۵	۳
۲۴۵۰	۱۲/۲۵	۴	۲۴۵	۱۲/۲۵	۴	۲۴/۵	۱۲/۲۵	۴
۳۲۵۰	۱۶/۲۵	۵	۳۲۵	۱۶/۲۵	۵	۳۲/۵	۱۶/۲۵	۵
۴۳۰۰	۲۱/۵۰	۶	۴۳۰	۲۱/۵۰	۶	۴۳	۲۱/۵۰	۶

در مرحله بعد کوچک‌ترین عدد به‌دست آمده در نمودار یعنی ۵- را رد تناظر با عدد اول دنباله ون درلان قرار داده و به ترتیب بقیه اعداد در تناظر با یکدیگر قرار می‌گیرد. سپس اندازه پایه را در تناسب با عدد اول دنباله یعنی عدد ۱ قرار داده و اندازه‌های دیگر در تناسب با ادامه اعداد دنباله در سه مقیاس مختلف با بُعد و اندازه پایه مشخص به‌دست می‌آید (جدول ۳).

به‌صورت نمونه $۲/x = ۱/۱,۲۵ \longrightarrow x = ۲,۵$

سپس باتوجه به تغییرات نمودار پلکانی ترتیب قرارگیری اندازه‌ها و ریتم آنها در مقیاس خرد در جدول ۴ مشخص شده است. قابل ذکر است که ریتم اندازه‌ها در مقیاس‌های میانی و کلان با توجه به جدول ۳ از همین روند به‌دست می‌آید.

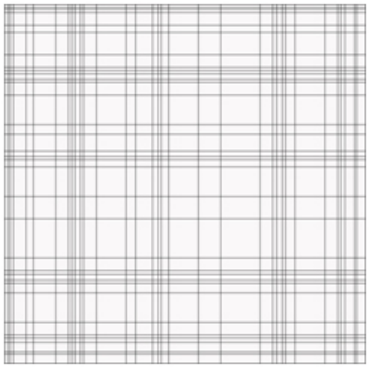
جدول ۴: دستیابی به ریتم اندازه‌ها باتوجه به تغییرات نمودار پلکانی

ریتم نمودار	-۳	-۵	-۳	+۲	۰	+۴	-۳	-۱	-۳	+۲
ریتم اندازه ها در مقیاس خرد cm	۳/۵	۲	۳/۵	۱۴	۸	۲۴/۵	۳/۵	۶	۳/۵	۱۴
ریتم نمودار	+۵	+۱	+۳	-۱	-۳	۰	+۵	+۴	+۶	+۲
ریتم اندازه ها در مقیاس خرد cm	۳۲/۵	۱۰/۵	۱۸/۵	۶	۳/۵	۸	۳۲/۵	۲۴/۵	۴۳	۱۴
ریتم نمودار	-۲	-۱	-۳	+۱	+۵	+۲	-۳	-۲	+۱	-۵
ریتم اندازه ها در مقیاس خرد cm	۴/۵	۶	۳/۵	۱۰/۵	۳۲/۵	۱۴	۳/۵	۴/۵	۱۰/۵	۲

بعد از دستیابی به ریتم اندازه‌ها در مقیاس‌های مختلف می‌توان آن‌ها را با ترسیم خطوط افقی و عمودی در دو محور **y** و **x**- در صورت نیاز محور **z**- به‌صورت یک شبکه از خطوط به‌عنوان زمینه و چارچوبی برای طراحی ارائه داد که در شکل ۵ ریتم به دست آمده برای خطوط افقی و عمودی به‌صورت یک شبکه نشان داده شده است. نکته‌ای که در طراحی مقیاس ۲-۲۰ سانتی‌متری باید مورد نظر قرار داد، محدوده دید ناظر است که این محدوده دید، شامل فواصل افقی وعمودی می‌شود. با این توضیح می‌توان بیان داشت که در یک بدنه، بیشتر طبقه همکف آن دارای این میزان از جزئیات براساس فاصله‌ای که ناظر خواهد داشت، است. بنابراین دامنه تغییرات در مقیاس خرد برای طراحی جزئیات طبقه همکف می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

شبکه به‌دست آمده می‌تواند به‌عنوان چهارچوب طراحی در مقیاس‌های مختلف مورد استفاده قرار گیرد. اما آن‌چه که در این قسمت مطرح می‌شود، تأثیر مسائل عملکردی و زیباشناختی در مقیاس خرد توسط معمار طراحی است. اما برخلاف آن‌چه که به‌نظر می‌رسد که این الگو باعث محدود شدن ایده‌های طراح در یک معماری خواهد شد، این چارچوب و الگو علاوه بر اینکه حامل کیفیت‌های زیباشناختی بوده، دارای انعطاف‌پذیری بسیاری است. این چارچوب می‌تواند به‌صورت زمینه‌ای که طراحی در آن صورت می‌گیرد به‌عنوان خطوط راهنما مورد استفاده قرار گیرد علاوه بر این، چارچوب می‌تواند با تغییر اندازه پایه و همین طور با انتخاب ساختار تصادفی فراکتالی جدید (شکل ۴) به دستیابی به ریتم مورد نظر کمک می‌کند. در واقع این روش طیف وسیعی از ریتم‌های مختلف را به طراح ارائه می‌دهد که همگی واجد کیفیت‌های یکسان هستند. مسأله دیگری که باید در استفاده از این شبکه‌ها در طراحی مورد توجه قرار داد به‌کارگیری آن در مقیاس‌های پیوسته به‌منظور ایجاد انسجام بصری در کل مجموعه است. آنچه که در قالب راهنما و چارچوب بیان شد، می‌تواند برای طراحی‌های جدید در خیابان‌های اصلی شهرهای جدید و یا ساماندهی بدنه‌های خیابان چهارباغ با توجه به مسائل زمینه‌ای مورد استفاده قرار گیرد. بدین صورت که این شبکه خطوط می‌تواند به‌جای شبکه‌های شطرنجی که به‌طور معمول به‌عنوان راهنما در طراحی مورد استفاده بوده قرار گیرد و با حفظ کیفیت‌های ساختار فراکتال می‌توان به نماهای متنوعی دست یافت که در زیر چند نمونه طراحی در مقیاس‌های مختلف با استفاده از این خطوط راهنما آورده شده است.

شکل ۵: ریتم فراکتالی خطوط عمودی و افقی



شکل ۶: نمونه های طراحی در مقیاس های مختلف

نتیجه‌گیری

آن‌چه که این مقاله سعی در بیان آن داشت، معرفی و تکمیل فرآیندهای موجود در تحلیل و طراحی بدنه‌های باارزش با استفاده از هندسه فراکتال بوده است. درنتیجه می‌توان اشاره داشت که در این روش به‌منظور ساماندهی و طراحی‌های جدید، با الگوگیری از فضاها و یا عناصر ارزشمند موجود در سایت، کیفیت‌های بصری موجود در بدنه‌های تاریخی برداشت و باتوجه به نیاز و سلیقه روز در قالبی جدید ارائه می‌شوند. آن‌چه که این روش را از دیگر روش ها متمایز می‌نماید، وجود مبانی کاملاً مشخص ریاضی آن است که با کمی کردن کیفیت‌های بصری به باز تولید فضاهای ارزشمند با فرمی کاملاً جدید می‌پردازد. در این راستا با بررسی‌های صورت گرفته در بدنه‌های ارزشمند خیابان چهارباغ اصفهان بعد فراکتال آن‌ها مشخص گردید، میانگین بعد فراکتالی این بدنه‌ها معادل ۱/۴ بوده که در محدوده بعد فراکتال مطلوب و دلپذیر قرار دارد، لذا بدنه‌های این خیابان دارای ارزش فراکتالی هستند و می‌توان به‌منظور ارائه طراحی‌های جدید از این بدنه‌ها استفاده نمود. در نتیجه با فرمول‌بندی زبان شکلی و هندسی ساختارهای فراکتالی این بدنه‌ها، چارچوبی به‌عنوان راهنما برای طراحی‌های آتی ارائه شد. این چارچوب به‌دلیل اینکه از زمینه فراکتالی بدنه‌های ارزشمند موجود به‌دست آمده، حامل کیفیت‌های زیباشناختی بوده و همچنین دارای انعطاف‌پذیری بسیاری نیز هستند. به گونه‌ای که با تغییر در اندازه پایه و حتی تغییر ساختار فراکتالی می‌توان به ریتم‌های مورد نظر طراح که در ارتباط مستقیم با ساختارهای موجود قرار دارند، دست یافت. شبکه حاصل، ریتمی از اندازه‌های مختلف را شامل می‌شود و می‌تواند در سه مقیاس کلان، میانی و خرد در منظر شهری، به‌کار رود. در واقع روش بیان شده در این پژوهش در ادامه مطالعات کارل بویل صورت گرفته و قابلیت اجرا برای طراحی با استفاده از زمینه موجود در مقیاس شهری را بررسی نموده است. همچنین این پژوهش می‌تواند زمینه بسیاری از تحقیقات و مطالعات شهرسازی و معماری در تحلیل و ارزیابی ساختارهای کالبدی در آینده قرار گیرد.

پی نوشت

1. Benoit 1،3
2. Maple 13
3. Taylor
4. Crompton
5. Bovil
6. Salingros
7. Frank-hauser
8. Oku
9. Mizuno & Kakei
10. Robertson
11. Heath, Smith & Lim
12. Rodin & Rodina
13. Li
14. Ricotta
15. Schmidt
16. Hagerhall, Purcell & Taylor
17.Hedman & Jaszewski
18. Philip Thiel
19. Jack Nasar
20. Batty & Longly
21. Cooper

۲۲. برای مطالعه بیشتر ر.ج. به کتاب هندسه فرکتال در معماری و طراحی/ کارل بویل؛ ترجمه محمدعلی اشرف‌گنجوئی و حسین فلاح.

۲۳. ر.ج به مجله دانش نما شماره ۱۵۰.

24. Van Dar Lan

References

- Bahramian, A. (2010). *Fractal Geometry in Landscape Architecture: The Development of New Conceptual Framework for Urban Park Design*. Ph.D. Thesis, England: University of Sheffield.
- Bechhoefer, W., & Appleby, M. (1997). Fractals, Music and Vernacular Architecture: An Experiment in Contextual Design, in N. AlSayyad (ed.), *Critical Methodologies in the Study of Traditional Environments*, 97. Berkeley: University of California at Berkeley.
- Bemanian, M. R., Amirkhani, A. & Leiulian, M. R. (2010). *Order and Disorder in Architecture*. Tehran: Mahtab Publication.
- Bovill, C. (1996). *Fractal Geometry in Architecture and Design*. Boston: Birkhauser.
- Bovill, C. (1997). Fractal Calculations in Vernacular Design. *Critical Methodologies in the Study of Traditional Environments*, 97. Berkeley: University of California at Berkeley.
- Burkle-Elizondo, G., Sala, N. & Valdez-Cepeda R. D. (2004). Geometric and Complex Analyses of Maya Architecture: Some Examples. In K. Williams and F. Delgado-Cepeda (eds.), *Nexus V: Architecture and Mathematics*. Florence: K. W. Books.
- Cooper, J. (2003). Fractal Assessment of Street-level Skylines: A Possible Means of Assessing and Comparing Character. *Urban Morphology*, 7(2), 73-82.
- Cooper, J. (2005). Assessing Urban Character: The Use of Fractal Analysis of Street Edges. *Urban Morphology*, 9(2).
- Hagerhall, C.M. (2004). *Fractal Dimension as a Tool for Defining and Measuring Naturalness*, http://iaps.scix.net/cgi-bin/works/Show_id=iaps_18_2004_198. accessed on May 2012
- Hedman, R., & Jaszewski, A. (2002). *Fundamental of Urban Design*. Tehran: Iran University of Science and Technology.
- Madani, F. (2011). *Urban Space Design, the Interference in City Complex System with Emphasis on Fractal Geometric Dimension in Cityscape*. Master Thesis. Isfahan: Art University of Isfahan.
- Makhzoumi, J. & Pungetti, G. (1999). *Ecological Landscape Design and Planning: The Mediterranean Context*. London: E & FN Spon.
- Mandelbrot, B. (1982). *The Fractal Geometry of Nature*. San Francisco: WH Freeman and Company.
- Mohajeri, N. (2007). *Fractal City: The Nature Language in Urban Design*. Ph.D. Thesis, Tehran: Science and Research Branch of Islamic Azad University of Tehran.
- Nasar, J.L. (1998). *The Evaluative Image of City*. London: Sage.
- Ostwald, M. J., Josephine V. & Stephan Ch., (2011) Data Flow and Processing in the Computational Fractal Analysis Method. In Christiane M. Herr, Ning. Gu, Stanlislav Roudavsky, Marc Aurel Schnabel (eds.), Circuit Bending, Breaking and Mending: *Proceedings of the 16th International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA 2011)*, Association for Research in Computer-Aided Architectural Research in Asia (CAADRIA), Hong Kong. 2011. pp 493-504. ISBN: 978-988-19026-2-7
- Salingaros, N., Mehaffy M., Mikiten, T., Tejada, D. & Hing-Sing Yu. (2008). *A Theory of Architecture*. Tehran: Center for Architectural and Urban Studies and Research.
- Stamps, I.A.E. (2002). Fractals. Skylines. Nature and Beauty. *Landscape and Urban Planning*, 60.
- Tavassoli, M. (1997). *Urban Space Design Criteria*. Tehran: Center for Architecture and Urban Studies and Research.
- Tavassoli, M. (2000). *Urban Design: Kargar Street*. Tehran: Ministry of Housing and Urban Development.
- Taylor, R.P. (2006). Reduction of Physiological Stress Using Fractal. *Art and Architecture*. Leonardo, 39(3), 245-251.
- Theil, P.(1961). A Sequence-experience Notation for Architectural and Urban Space. *Town Planning Review*, 32, 33-52.