

# بررسی پایداری رشد هندسه فراکتال در بناهای مذهبی ایران و غرب در دو نمونه موردی گنبد مسجد شیخ لطف الله در ایران و معبد نیلوفر آبی در هند

فاطمه ترابی، مدیر گروه کارشناسی پیوسته و ناپیوسته معماری دانش پژوهان پیشرو

*fatemeh.torabi@yahoo.com*

مریم جمشیدیان قلعه سفیدی<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی پیوسته معماری، موسسه آموزش عالی دانش  
پژوهان پیشرو، *goolebarfi98@gmail.com*  
زهرا کارگری<sup>۲</sup> دانشجوی کارشناسی پیوسته معماری، موسسه آموزش عالی دانش پژوهان پیشرو

چکیده

یکی از فرم‌هایی است که در ساخت آن از فرم‌های موجود در طبیعت الهام گرفته شده است، هندسه معبد نیلوفر آبی یک فرم فرکتالی با قاعده کوچکی است که از تکرار طبقات و دوران آنها حول محور اصلی شکل گرفته است. هرچه به مرکز بنا نزدیک می‌شویم قاعده کوچک‌تر می‌شود. در پژوهش حاضر سعی بر آن است تا چگونگی ارتباط دو نمونه موردی در ایران و غرب با هندسه فراکتال مورد مطالعه و تحلیل قرار گیرد. فرکتال یا برخال، شکل‌های هندسی نا اقلیدسی نامتعارف، نامنظم و در عین نظم هستند که مهمترین ویژگی آن‌ها خود متشابهی آن‌هاست. این ویژگی‌های فراکتال بدون علت نشأت نگرفته‌اند بلکه از طبیعت الهام گرفته‌اند. در این پژوهش فراکتال در آرایه داخلی گنبد مسجد شیخ لطف الله که حاصل هنر معماران اسلامی - ایرانی است، به خوبی بررسی و قابل تفهیم گردیده است. قابل ذکر است فراکتال در بنایی خارج از ایران بررسی شده و به واکاوی پرداخته ایم. در این پژوهش دو بنای مذهبی مورد بررسی قرار گرفته‌اند چراکه فراکتال در یک نقطه اوج و وحدت در مذاهب است.

واژگان کلیدی

هندسه، فراکتال، معبد، مسجد، نیلوفر آبی، شیخ لطف الله

«استفاده از نقوش هندسی در مفهوم نمادین و فلسفی آن به منظور تاثیرگذاری روانی بر نیایش گر و تقویت حس وحدانیت در فضای مسجد است. شکل های پیچاپیچ هندسی با تکرار تناسبات وابسته به یک نقش، نوعی احساس نظم و هماهنگی آفریده و در اغلب موارد کمک زیادی به ایستایی بنا می نمایند» (بورکھات، ۱۳۷۶؛ ۲۱).



تصویر ۱ فرکتال از نمای دور ۱

#### روش تحقیق

برای پاسخ گویی به پرسش اصلی تحقیق و دست یابی به هدف عمده این مقاله، جمع آوری داده ها به روش توصیفی و پدیدارشناسانه با بهره گیری از منابع انجام پذیرفت. هم چنین، برای تحلیل داده ها و یافته های ناشی از مطالعات، از روش تحلیلی- تطبیقی- قیاسی در رابطه با ساختار هندسه گنبد اورچین با هندسه فرکتال بهره گرفته شد.

امروزه با صحبت از خلق فضاهایی با کاربری پیچیده و سازه هایی انعطاف پذیر، بلافاصله معماری معاصر غرب و مبانی نظری رایج در دنیای مدرن تداعی می شوند. اعتقاد عموم متخصصان بر این است که فقط با معماری برگرفته از مکاتب غرب که هندسه فضایی خاص دارند، قادر به خلق فضاهای پیچیده با قابلیت گسترش در ابعاد مختلف فضایی خواهیم بود. در حالی که «معماری اسلامی در ذات خود معماری هندسه گراست» (فلامکی، ۱۳۸۱، ۲۱۰) عشق مسلمانان به ریاضیات، خاصه هندسه و عدد، مستقیماً به اصل پیام اسلام مربوط می شود، که همانا عقیده به توحید است. در جهان بینی اسلامی، ویژگی تقدس ریاضیات در هیچ جا بیشتر از هنر ظاهر نشده است. در هنر، ماده به کمک هندسه و حساب شرافت یافته و فضایی قدسی آفریده که در آن حضور همه جایی خداوند مستقیماً انعکاس یافته است. نقش های هندسی بی نهایت گسترش پذیر، نمادی از بعد باطنی اسلام است و این مفهوم صوفیانه « کثرث پایان ناپذیر خلقت، فیض وجود است که از احد صادر می شود: کثرث در وحدت» (نصر، ۱۳۶۶؛ ۱۴۳۹).

بنابراین هندسه در فضا سازی معماری اسلامی نقش به سزایی دارد و از آن جا که در معماری، فضا با سطوح تعریف می شود و سطوح در اغلب موارد با تزئین های همراه است، ارتباطی درونی در معماری اسلامی بین هندسه و تزئین های وجود دارد.

## معنی لغوی و اصطلاح هندسه

هندسه به معنی اندازه و شکل باشد. (برهان). از اصول علوم ریاضی است و علمی است که در آن از احوال مقدارها و اندازه ها بحث شود. (از کشاف اصطلاحات الفنون). دانستن اندازه ها است و چندی یک از دیگر و خاصیت صورتها و شکلها که اندر جسم موجود است. (التفهیم ابوریحان بیرونی ص ۳). هندسه آن رشته از ریاضیات است که مطالعه در فضا و اشکال و اجسام قابل تصور در این فضا می نماید.

فردوسی می فرماید:

ستاره شمر نیست از ما کسی

که از هندسه بهره دارد بسی .

## هندسه در معماری

در خودآگاهی بشر توانایی بی همتایی برای درک بی پرده فاصله ی موجود میان روابط ثابت مطلق که در اشکال تخیلی و طبیعی یک نظام هندسی و صور گذرا و متغیر زندگی واقعی ما وجود دارد، تعبیه شده است. محتوای تجربه ما از یک معماری هندسی انتزاعی و غیر مادی نشأت می گیرد که از امواج هماهنگ انرژی و نسبت مندی و صور خوش آهنگی که از منبع لایزال تناسب هنری سر ریز می کند، تشکیل یافته است (لولر، ۱۳۶۸).

## ریشه کلمه فراکتال

فراکتال از کلمه ی لاتین فراکتوس به معنی سنگی نامنظم شکسته و خرد شده است، گرفته شده است. اولین بار فراکتال را دکتر ماندلبروت طی نظریه ای که برای مسائل جهان هستی ارائه کرد و در این نظریه عنوان کرد که جهان هستی بعدی مابین ۱/۲۳-۱۱/۳۴ دارد و تمامی پدیده های طبیعی به نوعی فراکتالهایی می باشند در جهان هستی که برای ما ناشناخته اند. (قبادیان، ۱۳۸۸)

## تعریف فراکتال

هندسه ی اقلیدسی - احجام کامل کره ها و هرم ها و مکعب ها و استوانه ها- بهترین راه نشان دادن عناصر طبیعی نیستند. ابرها و کوه ها و خط ساحلی و تنه ی درختان همه با احجام اقلیدسی در تضاد هستند و نه صاف بلکه ناهموار هستند و این بی نظمی را در مقیاس های کوچک نیز به ارمغان می آورند که یکی از مهمترین خصوصیات فراکتال ها همین است .  
این بدین معناست که هندسه ی فراکتال بر خلاف هندسه ی اقلیدسی روش بهتری را برای توضیح و ایجاد پدیده هایی همانند طبیعت است. زبانی که این هندسه به وسیله ی آن بیان می شود الگوریتم نام دارد که با اشیا مرکب می توانند به فرمولها و قوانین ساده تری ترجمه و خلاصه شوند.

## فراکتال از دیدگاه هندسی

اشکال اقلیدسی با استفاده از توابع ایستا تولید می شوند ولی اشکال فراکتال با فرآیندهای پویا تولید می گردند. فرآیندهای پویا، فرآیندهایی هستند که دارای حافظه می باشند و رفتار

معانی ویژه ای هستند. اگر کل ساختار با یک مقیاس دچار تغییر شود، خود متشابه می باشد. شکل به وجود آمده ممکن است کوچک تر، بزرگ تر، دوران یافته یا تبدیل شده باشد؛ اما همچنان شبیه شکل اولیه باقی بماند. خود تشابهی به این معنی است که تناسبات نسبی بین وجوه شکل و زوایای داخلی ثابت باقی بماند. اگر یک شیء به طور نامساوی در یک یا چند بعد تغییر یابد آن گاه تغییر، خود وابسته خواهد بود. در یک تغییر خود وابسته ممکن است زوایای داخلی شکل یا تناسبات نسبی وجوه اشکال عین هم نباشد. طول، سطح یا حجم یک ساختار فراکتال در روند دگرگونی خود شبیه آن افزایش می یابد. تناسبات طلایی به عنوان مثالی از مقیاس خود شبیه از دیرباز ابزار مناسبی برای معماران بوده است.

تناسب طلایی، فرم یک شکل مارپیچ گونه از مستطیل خود شبیه را خلق می کند. (دشتی شفیع، آذرباد، ۱۳۹۵)

(ب) آرایش تکرار شونده فراکتالها اغلب با مراحل تکراری ایجاد میشوند. برای ساخت فراکتال یک شکل هندسی مثل یک خط یا مثلث را در نظر بگیرید و روی شکل مورد نظر عملیاتی انجام دهید، حال شکلی پیچیده تر از شکل اولیه دارید. همان عملیات را روی شکل جدید انجام دهید این بار شکلی پیچیده تر از قبل دارید که تا بینهایت ادامه پیدا میکند.

(ج) خرد مقیاسی:

اجسام فرکتالی در تمامی ابعاد، از دور یا نزدیک، نامنظم اند و به معنی متعارف، منظم نیستند و در واقع بیانگر نظم در بی نظمی هستند.

آنها به گذشته بستگی دارد. شکل فرکتال، دارای خاصیت خود همانندی می باشد. طول این اشیا، بی نهایت است که در فضای محدود، محصور شده اند. مجموعه های فرکتالی، از زیر مجموعه هایی تشکیل شده اند که این زیر مجموعه ها، شبیه مجموعه های بزرگتر هستند. مجموعه های فرکتال قابلیت توصیف ریاضی بسیاری از اشکال پیچیده و به ظاهر نامنظم در طبیعت را دارند و به همین جهت، می توان هندسه فرکتال را بیان ریاضی از معماری طبیعت دانست.

هر فرآیند تکراری و پویا باعث ایجاد ساختارهای پیچیده فرکتال نمی شود. مکانیزم تولید چنین ساختارهای پویایی و آشوب است.

در حقیقت فرکتال تصویری ریاضی از آشوب است (محمدی، ۱۳۹۳).

وقتی که به یک جسم فراکتال نزدیک می شویم، می بینیم که تکه های کوچکی از آن که از دور همچون دانه ها بی شکل به نظر می رسید، بصورت جسم مشخص در می آید که شکلش کم و بیش مثل همان شکلی است که از دور دیده می شود. فرکتال از دید هندسی به شیئی گویند که دارای سه ویژگی باشد:

- ۱- دارای خاصیت خود مانائی باشد. (خود متشابهی - Self Similarity)
- ۲- در مقیاس خرد، بسیار پیچیده باشد. (خرد مقیاسی)
- ۳- بعد آن، یک عدد صحیح نباشد. مثل  $5/1$  بعد اعشاری (نیکوس اسالینگاروس، ۱۳۸۳)
- ۴- تکرار شوندگی و تعادل

(الف) خود مانائی (خود متشابهی):

در طبیعت، از درختان تا کهکشان ها، اشکال زیادی وجود دارد که جریانی از اشکال خود متشابه را به نمایش می گذارند. در علم ریاضیات، اصطلاحاتی مثل خود شبیه بودن دارای

## رابطه فرکتال و طبیعت

نحوه تاثیر و تاثیر عوامل طبیعی در شکل گیری صور موجود در جهان هستی، بازگو کننده نظم دقیق و حیرت انگیزی است که بر این عالم حاکم است. فرم های طبیعی، دارای ساختار سازمان دهنده هستند و هندسه ی فرکتال، شیوه ای واضح برای درک و توضیح این ساختار است. (قیمشی، زهرا، طبیعی، زهرا، 1393). هندسه اقلیدسی (احجام کامل، کره ها و هرم ها و مکعب ها و استوانه) بهترین راه نشان دادن عناصر طبیعی نیست و بسیاری از احجام طبیعی، با احجام اقلیدسی در تضاد هستند و نه صاف، بلکه ناهموار می باشند و این بی نظمی را در مقیاس های کوچک نیز به ارمغان می آورند که این ویژگی، از مهم ترین خصوصیات فراکتال ها می باشد. در طبیعت، نمونه های فراوانی از فرکتال ها دیده می شود. مندل بروت در سال 1975 اعلام کرد که ابرها به صورت کره نیستند؛ کوه ها به همانند مخروط نمی باشند؛ سواحل دریا دایره شکل نیست؛ پوست درخت صاف نیست و صاعقه به صورت خط مستقیم حرکت نمی کند. بخش کوچکی از یک درخت که شاخه آن باشد، شباهت به کل درخت دارد. هر قسمت از گل کلم، متشابه با کل آن می باشد.

### فراکتال در طبیعت

شاید بتوان طبیعت را بهترین الگوی انسان در تمام تاریخ معماری دانست. در عین اینکه بشر هرگز نتوانسته است گوشه ای از طبیعت را همان طور که هست به تصویر بکشد، الگوهای آن برگرفته که هیچ تخیل نیرومند بشری قادر به خلق چنین الگوهای نبوده است.

فراکتال ها در طبیعت به صورت الگوهای هندسی نمود می یابند که به صورت مقیاس های جمع و کوچک شده تکرار میشوند (شکل ۳). به عنوان مثال میتوان سرخس ها، سیستم های تنفسی جانداران یا تشکیل سنگهای آذرین را نام برد. در فرآیند تشکیل این نوع سنگها، بعد از هر باران فوران

### ۵) تعادل:

یکی از ساده ترین اشکال تعادل، تقارن می باشد که در آن یک وجه ترکیب، عین وجه دیگر است. زمانی تعادل به ریتم می رسد که شیء در امتداد یک خط تکرار شود یا حول یک نقطه دوران یابد. بسیاری از فرم ها در طبیعت مانند بدن و همچنین ریتمهای تکرار شونده مانند انگشتان انسان و حتی ساختارهای ذهنی ما مانند خوبی و بدی، بالا و پایین و داخل و خارج، دارای تقارن می باشند (فلاح، ۱۳۸۵).

هندسه فراکتال بر خلاف هندسه اقلیدسی، روش بهتری برای توضیح و ایجاد پدیده هایی طبیعی است. زبانی که این هندسه به وسیله آن بیان می شود الگوریتم نام دارد که به وسیله آن، اشیاء مرکب می توانند به فرمول ها و قوانین ساده تری ترجمه و خلاصه شوند.

بهترین راه برای تعریف یک فراکتال توجه به صفت ها و نشانه های آن است یک فراکتال «نامنظم» است. این بدان معنی است که در آن هیچ قسمتی صاف نیست. فراکتال «خود مشابه» است و این بدین معنی است که اجزاء، شبیه کل هستند.

فراکتال ها به وسیله «تکرار» توسعه می یابند که به این معنی است که تغییر شکل مکرراً ایجاد شده و وابسته به موقعیت شروع است. خصوصیت دیگر آن این است که فراکتال «مرکب» است. اما با این حال می توان آن را به وسیله الگوریتم های ساده نشان داد و همچنین بدین معنی نیز هست که در پس عناصر نامرتب طبیعی یک رشته قوانین منظم موجود است.

انسان از آغاز تمدن بشری، در طبیعت می زیست و رشد می کرد. این امر موجب می گشت که طبیعت در ریشه افکار آدمی، نقشی اساسی پیدا کند و در نتیجه، معماریشان متأثر از نظم طبیعت (نظم فرکتالی) گردد. معماری بناهای یادبود و مذهبی آسیای جنوب شرقی، نمونه ای بارز از ساختار فرکتالی است. در این بناها، برج های اصلی با مجموعه ای از برج ها احاطه می شود و هر یک از برج ها با برج های کوچکتر احاطه می شوند و این روند تا هشت مرحله یا بیشتر ادامه پیدا می کند. آنها این بناها را با افزایش ارتفاعشان که نمادی از تعادل می باشد، بسط می دادند و همزمان، بنای مقدسی را در عمق آن جاسازی می نمودند (قیمشی، طبیعی، ۱۳۹۳)

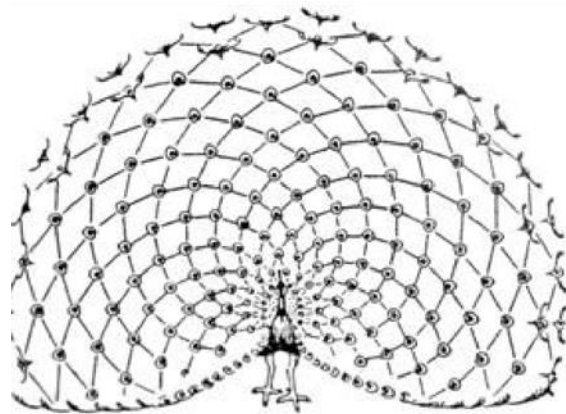


تصویر ۳ معبد هندو در اندونزی ۱

هندسه فراکتال در آرایه داخلی گنبد مسجد شیخ لطف الله

مسجد شیخ لطف الله برای شیخ لطف الله، یکی از دانشمندان زمان شاه عباس به وسیله معمار بزرگ محمد رضا اصفهانی<sup>۲۱</sup> در بین سال های ۱۰۱۲-۱۰۲۸ هجری ساخته شد (شکل ۴ و ۵)... گنبد مسجد بر روی یک ک ارنبندی ساده و یک اربانه ساخته شده است... نگراره های زیر گنبد، ترنج کنگری و ترنج در هم هستند (پیرنیا، ۱۳۸۷، ۲۸۸). بر اساس کتیبه داخل مسجد تاریخ تزئین ۱۰۲۵ هـ ذکر شده است (یاوری و باوفا، ۱۳۹۰).

آشفشان از انجماد و شکل گیری گدازه ها بلورهایی حاصل میشود که همگی شبیه هم هستند و پس از شکل گیری سنگهای آذرین به وجود می آورند. رشد آنها به یک شیوه خاص تا زمانی که به مانعی برخورد کنند ادامه می یابد و تنها نیروی وارده از موانع طبیعی دیگر جهت رشد آنها را تغییر میدهد (بماین، ۱۳۸۹)



تصویر ۲ فراکتال در پر طاووس ۱

## معماری و فرکتال

معماری، سازماندهی فضاست و هندسه یکی از دانش هایی است که از دیرباز برای ساماندهی به اشکال و کالبد فضا و نیز انتظام حرکت نیروهای سازه ای در ساختمان مورد استفاده قرار گرفته است. هندسه فراکتال شاخه ای از علم ریاضیات است که شکل فیزیکی طبیعت و شیوه دگرگونی آن در طول زمان، فرکتال است. خصوصیت فرکتالی یک ترکیب معماری در تسلسل جالب جزئیات است. این تسلسل برای حفظ جذابیت معماری لازم است. هنگامی که شخص به یک ساختمان نزدیک و سپس به آن وارد می شود همیشه باید مقیاس کوچکتر دیگری همراه با جزئیات جذاب وجود داشته باشد تا معنای کلی ترکیب را بیان کند که این یک ایده فراکتال است.

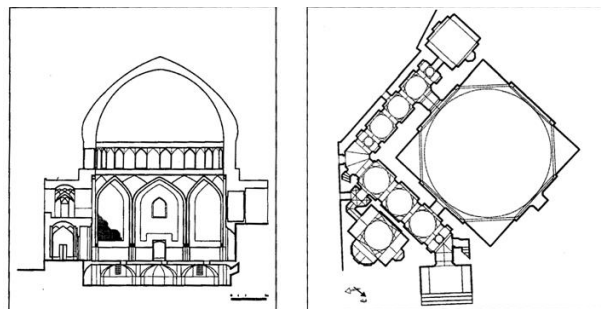
فرکتال در معماری؛ از گذشته تا حال حاضر

الهام معمار سالک از طبیعت از نقش پنهان ۱۱۲ آن است که هندسه وجدانی خود را پس از تکررات و تنوعاتش پیش چشمشان شهود ی قرار میدهد» ( ندیمی، ۱۳۷۸، ۳۷۹، برگرفته از نقره کار، ۱۳۸۹، ۲۳۱).

شکل های مورد استفاد ه در معماری به خصوص در مساجد که نمود بارز معماری سنتی هستند، از مفهوم سنتی ریاضیات، بهخصوص هندسه و اشکال هندسی جدایی پذیر نیستند. از مباحث جالب در معماری دوران اسلامی، انتخاب نوع هندسه های است که معماران آن را در طرح های خود به کار گرفته اند. با بررسی آرایه داخلی گنبد مسجد و همچنین شباهت آن به اشکال طبیعی د ارای هندسه فراکتال این فرضیه به ذهن خطور می کند که معمار آن در طراحی آن با الهام از الگوهای طبیعی و هندسه فراکتال به چنین طرح اعجاب آوری رسیده است.

در این مورد عناصر طبیعی که احتمال الهام گرفتن طرح از آنها وجود دارد، گل زردک و همچنین گل آفتابگردان است. در شکل های ۶، ۷ و ۸ شباهت طرح این آرایه را به این عناصر مشاهده میکنیم. در هر دو مورد نیز هندسه متشکله اجزاء هندسه فراکتال است (شکل ۹) نظر بر این است که طراح یا انتخاب این عناصر، سعی در رسیدن به هدف خویش که همانا القای حس عرفانی گذر از کثرت و رسیدن به حس وحدت بوده داشته است (سیف، ۱۳۸۸). اما موضوع دیگری که در هندسه مورد استفاده در این گنبد به چشم می آید، موضوع منظره در هندسه فراکتالی، خصوصاً در این گنبد است. اگرچه در هر نوع معماری و در هر مقیاسی و با هر ویژگی مفهوم منظره به شرط رویارویی یک انسان با ابژه<sup>۲۶</sup> معماری متجلی است، اما در یک معماری فراکتال با ابعادی برتر از ابعاد یک هندسه اقلیدسی این مفهوم خود را بسیار قوی تر معرفی می کند.

در معماری فراکتال تغییر موقعیت ناظر و تغییر موقعیت معماری، هر دو را با هم خواهیم دید. به همین دلیل است که این نوع معماری، یک معماری پویا است (بمانیان و دیگران، ۱۳۸۹، ۴۸). در هندسه این گنبد شاهد خواهیم بود که با تغییر موقعیت ناظر نسبت به گنبد، در اکثر موارد شاهد تغییر



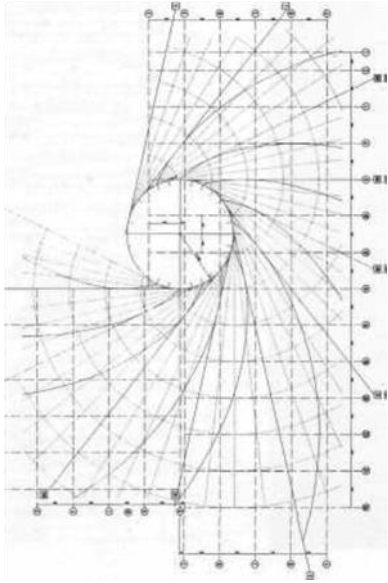
تصویر ۴: مقطع و پلان مسجد شیخ لطف الله ۱

آرتور پوپ<sup>۲</sup> گنبد این مسجد را اینگونه توصیف می نماید: «گنبد کوتاه تک پوشه آن به قطر ۱۲ متر، بارفراوانش که روی دیوارهای قطور (به قطر ۱۷۰ سانتی متر) قرار گرفته، به بنا استحکامی آرام می بخشد. اسلیمی های آبی و سفید باوقار به گرد زمینهای به رنگ شیر و قهوه، پیچ و تاب می خورد و یک سردر مقرنس درخشان در میان آن باشکوه نمایان است. خود اطاق نشانه کمال نهایی نقشه گنبد روی اطاق چهارگوش است که اینک با پالایش افزایشده زمان ساده و ملایم شده بود.» (پوپ، ۱۳۹۰، ۲۶۱-۲). نمای داخلی این گنبد را می توانیم بهترین نمونه نبوغ ایران اسلامی بشناسیم (یاوری و باوفا، ۱۳۹۰).

«گاهی عمق مفهوم و زیبایی های صوری این هندسه آنچنان است که ناچار باید اعتراف کرد که جز با شهود، دستیابی به این حد از توانایی هندسی، امکان نداشته است» (نقرهکار، ۱۳۸۹، ۲۰۳). ندیمی با تأکید بر اینکه معماران سنتی، معماری را در هماهنگی و مکمل طبیعت می دانستند، می افزاید: «طبیعت محسوس و هندسه پنهان و شگفتانگیز آن که رمزگشای صورت مثالی است، منبع الهام معمار مسلمان بوده است. وی با شهود این رمزها و برگرفتن آن با عمق جان و پرگشودن در فضای خیال، نقش پرد از حقیقت می گردد.



موقعیت معماری، در عین ثابت بودن ایژه، و سوق دادن چشمبه مرکزیت گنبد خواهیم بود (شکل ۱۰).



تصویر ۵ گل زردک وحشی ۱

بازتعریف هندسه آرایه داخلی مسجد بر اساس اصول معماری پارامتریک- استخراج هندسه الگوواره آرایه در فرآیند بازتعریف هندسه این آرایه، ابتدا باید داده های اولیه الگوریتم آن تولید می شد. بدین منظور گام اول، استخراج هندسه الگوواره های مورد استفاده در آن است. به طور خلاصه، مراحل زیر در استخراج این هندسه طی شد:

۱. تشخیص موج سینوسی در هندسه الگوواره

۲. یافتن مرکز و شعاع دایره ها

۳. یافتن تعداد تقسیمات دایره ها (به تعداد ۱۲

قسمت)

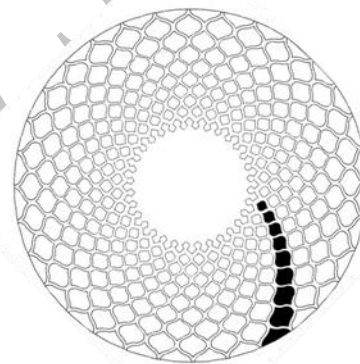
۴. یافتن قطاع مورد نظر از تقسیمات دایره

۵. انجام دو مرحله تقارن محوری نسبت به محورهای

X و Y

۶. تطابق با شکل اصلی به منظور ارزیابی درستی

مراحل



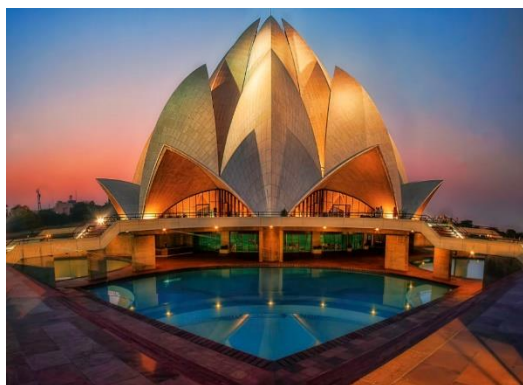
تصویر ۶ گل زردک وحشی ۱



تصویر ۷ گل آفتاب گردان ۱



دسامبر ۱۹۸۶ به اتمام رسیده است. در طی بیش از ۲۰ سالی که از عمر این بنا می‌گذرد بیش از ۵۰ میلیون نفر از آن دیدن کرده‌اند و گاه در هنگام تعطیلات مملکتی هند، تعداد بازدیدکنندگان به یکصد هزار نفر در یک روز بالغ شده است. هندوستان با جمعیتی بین ۱۰۷ تا ۲۰۲ میلیون نفر بهایی بزرگترین جمعیت پیروان این آیین در جهان به‌شمار می‌آید. در این بنا به ندرت مناسکی ویژه بهائیان انجام می‌شود و همه می‌توانند با هر اعتقادی با سکوت به تفکر و مناجات پردازند. انجام مراسم مذهبی و سخنرانی در سالن اصلی ممنوع است و اغلب مردم هندوستان از هر مذهب و طایفه‌ای آنرا محترم می‌شمارند.



تصویر ۹: معبد نیلوفر آبی (لوتوس) ۱

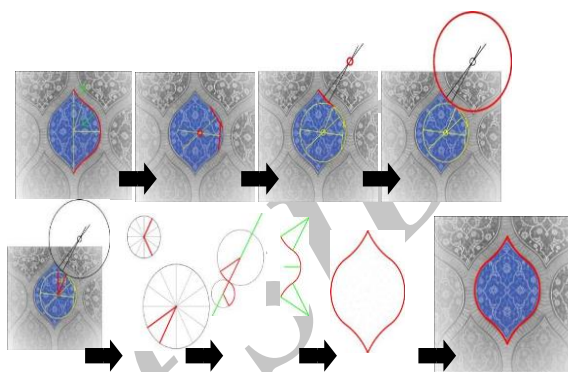


تصویر ۱۰: معبد نیلوفر آبی (لوتوس) ۱

### معماری معبد نیلوفر آبی

این ساختمان شامل ۲۷ گلبرگ است که از بتن سفید ساخته شده و با سنگ مرمر سفید پوشیده شده این سنگ‌ها از

پس از طی مراحل فوق و استخراج هندسه آن، داده‌های عددی مربوط به این هندسه نیز باید استخراج می‌شود. بدین منظور با احتساب شعاع دایره اصلی گنبد، رابطه بین مرکز دایره و محور تقارن شکل و همچنین لحاظ نمودن بند های آجری، داده‌های شعاع دایره محیطی، دایره کوچک و بزرگ استخراج گردید.



مرالستخراالگووا

تصویر ۸ لوتوس ۱

### معبد نیلوفر آبی (لوتوس)

لوتوس تمپل یا معبد نیلوفر آبی (Bahá'í Houses

of Worship) یا (Lotus Temple) معبد آیین بهائی یا

مشرق‌الاذکار بهائیان در شهر دهلی نو پایتخت هندوستان است که از معروفترین بناهای مدرن هند به‌شمار می‌آید و به عنوان مادر معابد شبه قاره هند شناخته شده است. به معماری این بنا که به شکل گل لوتوس است جوایز معتبر بین‌المللی بسیاری تعلق گرفته و مقالات بی‌شماری در نشریات معتبر جهانی در باره آن نوشته‌اند. معمار این ساختمان یک ایرانی بهائی به نام فریبرز صهبا است که در طرح معماری این بنا از گل نیلوفر آبی الهام گرفته است. این گل زیبا در هندوستان نشانه پاک‌ی و روحانیتی است که همواره با عبادت و دیانت توأم بوده است.

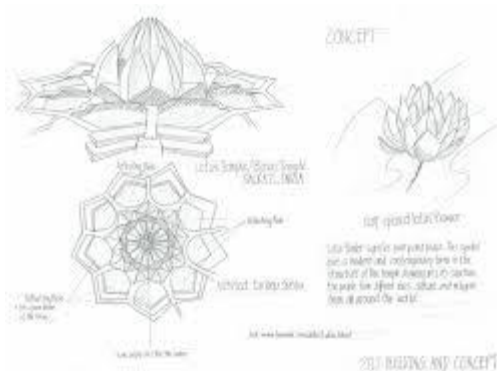
این بنای عظیم جدیدترین مشرق‌الاذکار بهائیان است

که در جهان ساخته شده زمین آن در سال ۱۹۵۳ خریداری

شده و ساخت آن در سال ۱۹۸۰ شروع و پس از ۶ سال، در ۲۴



تصویر ۱۱ نمای بالا از معبد نیلوفر آبی ۱



تصویر ۱۲ ساختار هندسی معبد و روابط هندسی ۱

ویژگی اصلی معبد نیلوفر آبی مضرس بودن آن است، به نحوی که در هر بخش از بنا، نقشه های قاعده اصلی تکرار می شوند، اما در هر بخش، ابعاد نقشه کمتر از قاعده در بخش پایین تر است. بخش ها از لحاظ ساختار فضایی، شکل پلان و ارتباط هندسی میان درون و بیرون بنا بر یک نوع، قسمت هایی که قاعده شان کوکی است. (اقتداری، ۱۳۷۵)

بخش هایی با قاعده کوکی یا ستاره ای شکل

در این نوع گنبد ارتباط فضایی بسیار دقیق و معمارانه ای میان پلان بیرونی و داخلی آن می باشد به گونه ای که منشا اصلی شکل گیری ساختار کوکی بیرونی گنبد تحت تاثیر ارتباط هندسی میان اضلاع درونی گنبد با یکدیگر می باشد،

یونان خریداری و در ایتالیا برش داده شده‌اند. هر یک از نه طرف ساختمان سه گلبرگ دارد و نه در بزرگ به تالار مرکزی به ظرفیت ۱۳۰۰ نفر باز می‌شود. ارتفاع بنا از کف تا بالای ساختمان ۳۴/۲۷ متر و قطر ساختمان ۷۰ متر است و در زمینی به مساحت ۱۰/۶۴ هکتار در نزدیکی کاخ ریاست جمهوری هندوستان نشسته‌است. دلیل انتخاب گل نیلوفر، نیلوفر، از دو جز تشکیل شده. بخش نخست نیل/ نیلو: "نهر-آب- رود" می‌باشد. وجه نخست باز نسبت بارز این گل با آب را نشان می‌دهد. بخش دوم: فر که شکوه و بزرگی می‌باشد جنبه ای مقدس به این واژه می‌دهد. بنابراین نیلوفر را میتوان گل مقدس آبی یا گل مقدسی که در آب روئیده معنی کرد. همچنین ما رنگ نیلی را برای آب بکار می‌بریم گل نیلوفر در باور آریایی (شامل ایرانیان و هندوان) نماد تجلی و ظهور می‌باشد و گلبرگ های آن نشان دهنده ی طبقات عالم است. گل نیلوفر در اندیشه و معماری ایرانی همواره جایگاهی مقدس دارد. در تخت جمشید نیز گل نیلوفر را در دست شاهنشاه هخامنشی و جانشینش می‌بینیم. همچنین در بیشتر دیواره ها و زیر پا و بالا سر سربازان گارد جاویدان هخامنشی شاهد این گل هستیم. گرچه نخستین بار مصریان گل نیلوفر را در معماری سدها سال پیش از هخامنشیان بکار بردند ولی اندیشه ایرانیان پیرامون نیلوفر به هیچ وجه متأثر از باور های مصری نمی باشد.

طبیعت تعادل وجود دارد، اشکال گنبد‌های اورچین مانند فرکتال‌ها دارای تعادل هستند.

این رابطه هندسی سبب شده است که قاعده گنبد از بیرون کوکبی شکل و از درون به شکل چند ضلعی منتظم است.

مرحله سوم: شکل‌گیری پلان بیرونی نهایی به صورت کوکبی	مرحله دوم: امتداد اضلاع چند ضلعی منتظم قاعده درونی	قاعده داخلی پلان کوکبی به صورت چند ضلعی منتظم
		

شکل‌گیری قاعده پلان

۱۱۸ جستجو در طبیعت و کشف فرم‌ها و ایده‌های بخش اول جدید از آن، ما را به غنی‌ترین گنجینه الهامات جهان متصل می‌نماید. موضوعی که در معماری سنتی ایرانی به بهترین شکل از آن در ناب‌ترین آثار معماری بهره‌گرفته شده است. محمدیان منصور در پژوهش خود گره دوپنج را بر ساختار سیلیکونی تطبیق داد و بر این مدعا که معماران سنتی ایران از ساختار هندسی عناصر طبیعت آگاهی داشته‌اند تأکید کرد.

بخش سوم و بالاتر	بخش دوم	بخش اول
		

شکل‌گیری قاعده‌های بعدی

همچنین با پیشرفت علوم و ورود رایانه به فرآیند طراحی معماری، معماری پارامتریک روز به روز با استقبال بیشتری از سوی جامعه طراحان روبه‌رو است. بروز این جریان جدید در معماری، امکانات ویژه‌ای را به طراح و معمار خواهد داد. امکاناتی از جمله:

- محدود نبودن طراح به استفاده از هندسه اقلیدسی
- ایجاد تکاپویی در معماری برای جستجوی فرم‌های جدید که در آن از هندسه‌های پیچیده استفاده شده است
- امکان ایجاد تغییر در پارامترها و مشاهده تغییرات اعمال شده در کوتاه‌ترین زمان
- افزایش سرعت در روند طراحی در رسیدن به فرم

مد نظر

### فرکتال در آرایه‌ی خارجی معبد نیلوفر آبی

معبد نیلوفر آبی دارای ویژگی‌های تقارن، دوران، تناسب، نوزایی، مرکزگرایی، چند لایه‌ای (فولد)، مفهوم گرایی و نمادگرایی می‌باشد. فرکتال‌ها دارای اشکال هندسه نااقلیدسی، هندسه غیر خطی، بی‌نظمی، اشکال غیرمتعارف، قوانین خاص، بی‌انتهایی و اشکال پیچ در پیچ هستند. هر دو دارای ویژگی‌های مشترک خود متشابهی، خرد مقیاسی، بعد اعشار و تکرار شونده‌گی هستند. طبیعت، دستاورد بهترین معمار یعنی خدا و بهترین سرچشمه الهام انسان است. گنبد‌های اورچین و فرکتال‌ها از اشکال موجود در طبیعت بهره‌مند و از آن الگو گرفته‌اند (هر دو منشأ طبیعی دارند). از آن جایی که در

• حذف شدن کارهای تکراری که به رایانه محول میشود

پژوهش پیش رو با بررسی هندسه فراکتال در معماری پارامتریک و عناصر طبیعی، بر این موضوع تأکید دارد که حتی پیچیده ترین هندسه ها نیز امروزه با ورود رایانه ها و بروز معماری پارامتریک، به راحتی قابل برداشت و الهام است.

در این تحقیق به عنوان یک نمونه، آرایه داخلی گنبد مسجد شیخ لطف الله که هندسه مورد استفاده در آن از نوع هندسه فراکتالی است مورد بررسی قرار گرفت. هندسه این آرایه استخراج گشت. در این هندسه از یک الگوواره به عنوان شکل پایه استفاده شده و شکل های مینا بر اساس هندسه فراکتالی و در زمینه گنبد طراحی و اجرا شده اند. این اصول همان اصولی است که در هندسه فراکتال مورد استفاده قرار می گیرد. این هندسه در قالب معماری پارامتریک و زبان الگوریتم ترجمه شد و مشاهده شد که این آرایه در نرم افزار قابل ترسیم است.

بازخوانی آثار اصیل سنتی ایرانی و ترجمه آن به زبان معماری روز (از جمله معماری پارامتریک) فرصتی را برای معماری ایران ایجاد میکند تا بتوان در جهت باززندسازی اصول معماری ایران، علاوه بر عملکرد های پیشین این آثار، عملکرد هایی جدید بر آن افزود یا حتی با تلفیق با ایده هایی نو، آن را تکامل بخشید و در آثار جدید معماری مورد استفاده قرار داد. آنچه که تعریف الگوریتمی هندسه این آثار را از تعاریف قبل متمایز می سازد، تعریف بر اساس پارامترهای قابل تغییر است. بدین صورت میتوان برای هر زمینهای پارامترها را تغییر داد، و اثری با متناسب با زمینه اجرای آن محل طراحی نمود.

همانطور که گفته شد، موضوع جالبی که در خلال این پژوهش به دست آمد، این بود که هندسه فراکتال در سال ۱۹۷۷ میلادی برای اولین بار بهطور رسمی به عنوان شاخه های

مجزا توسط مند لبرت معرفی شد، در حالیکه تاریخ ساخت این تزئین به حدود چهارصدسال پیش یعنی سال ۱۰۲۵ ه.ق) ۱۶۰۴ میلادی (باز می گردد.

مخاطبان این پژوهش جامعه معماران، طراحان داخلی، کارشناسان مرمت آثار تاریخی و طراحان اماکن مذهبی هستند. نکته ای که در این میان به ذهن خطور میکند این است که چگونه آرایه فوق با این هندسه پیچیده در آن زمان و با امکانات محدود در زمینه گنبد اجرا شده است. که این موضوع خود می تواند پرسش و زمینه ای برای پژوهش های آتی فراهم آورد.

معبد نیلوفر آبی دارای ویژگی های تقارن، دوران، تناسب، نوزایی، مرکزگرایی، چند لایه ای (فولد)، مفهوم گرایی و نمادگرایی می باشد. فرکتالها دارای اشکال هندسه ناقلیدسی، هندسه غیر خطی، بی نظمی، اشکال غیر متعارف، قوانین خاص، بی انتهای و اشکال پیچ در پیچ هستند. هر دو دارای ویژگی های مشترک خود متشابهی، خرد مقیاسی، بعد اعشار و تکرار شونده گی هستند. طبیعت، دستاورد بهترین معمار یعنی خدا و بهترین سرچشمه الهام انسان است. گنبد های اورچین و فرکتالها از اشکال موجود در طبیعت بهره و از آن الگو گرفته اند (هر دو منشأ طبیعی دارند). از آن جایی که در طبیعت تعادل وجود دارد، اشکال گنبد های اورچین مانند فرکتال ها دارای تعادل هستند.

۱. هنرمندان به مفهوم هندسه ای که از فرم های طبیعی گرفته شده بود، واقف بوده اند. این هندسه بعدها به نام هندسه فرکتال شناخته شد.

۲. اجزای تشکیل دهنده هندسه آرایه ی خارجی معبد نیلوفر آبی، ویژگی های هندسه فرکتال ها را دارند؛ از جمله: خود متشابهی، خرد مقیاسی، بعد اعشار و تکرار شونده گی، تعادل.

۳. هندسه معبد نیلوفرآبی علاوه بر ویژگی های فرکتالی، دارای ویژگی های دیگری مانند تقارن، دوران، مرکزگرایی، تناسب، چندلایگی و نوزایی هستند.

۴. طبیعت، دستاورد بهترین معمار یعنی خدا و بهترین سرچشمه الهام انسان است. هندسه معبد نیلوفرآبی و فرکتال ها از اشکال موجود در طبیعت بهره و از آن الگو گرفته اند. هر دو منشأ طبیعی دارند. هر دو ویژگی های مشترکی دارند که هم در «طبیعت» یافت می شوند و هم از اشکال موجود در طبیعت بهره گرفته اند. در طبیعت تعادل وجود دارد و هندسه این معبد نیز مانند فرکتال ها دارای تعادل هستند.

در پس اشکال بدیع و پیچیده هندسه معبد نیلوفر آبی علاوه بر ویژگی های نام برده شده، مفاهیم و ویژگی های دیگری مانند « مفهوم گرایی » و «نمادگرایی» و «فولد یا چندلایه ای» نیز وجود دارد که نیازمند بررسی بیش تری است.

## منابع

-اقتداری، احمد " آثار و ذبناهای تاریخی خوزستان " ، جلد 2، تهران؛ نشر اشاره، 1375.

-بمانیان، محمدرضا؛ لیلیان، محمدرضا و امیرخانی، آرین(1389) «هندسه فراکتال در ساختارهای هنر و معماری»، فصلنامه جلوه نقش، تابستان، 3، صص. 42-50

-پوپ، آرتور) ۱۳۹۰ معماری ایران، ترجمه غلامحسین صدری افشار، نشر دات، تهران.

-پیرنیا، محمدکریم) ۱۳۸۷) سبکشناسی معماری ایران، تدوین غلامحسین معماریان، چاپ هشتم، انتشارات سروش دانش، تهران.

-دشتی شفیعی، علی و همکاران، 1394، فراکتال ها و نقش آنان در معماری، سومین کنفرانس علمی پژوهشی افق

های نوین در علوم جغرافیا، معماری و شهرسازی ایران، انجمن توسعه و ترویج علوم و فنون بنیادی

-سیف، هادی) ۱۳۸۸) ک اشیکاری داخلی گنبد مسجد شیخ لطف الله، روایت عارفانه حدیث هنری گذر از کثرت و رسیدن به وحدت، انتشارات کانون پرورش فکری کودکان و نوجوانان، تهران.

-فلامکی، منصور)، ۱۳۸۱)، ریشه ها و گرایش های نظری معماری، نشر فضا، مؤسسه علمی و فرهنگی فضا، تهران.

-قیمشی، زهرا و همکاران، 1393، نقش هندسه فراکتال در معماری و توسعه پایدار، دومین کنفرانس بین المللی عمران، معماری و توسعه شهری

-وحید قبادیان، "مبانی و مفاهیم در معماری معاصر غرب" چاپ سوم، تهران، دفتر پژوهش های فرهنگی، 1382

-محمدی، مرتضی، 1393، هندسه فراکتال در معماری، نشر در سبک های معماری

-نیکوس اسالینگاروس، مترجم یاسر زارعی، 1383، معماری، الگوها و ریاضیات، فصلنامه آبادی، سال چهاردهم، شماره 8-9) پیاپی 44

-نیکوس اسالینگاروس، مترجم نسیم چیت سازان و نسیم ایران منش، 1383، فرکتال در معماری جدید، فصلنامه مبانی نظری، هنر و معماری خانه

-یاوری، حسین؛ باوفا، رقیه) ۱۳۹۰) اصفهان، باغ آسمان. سیری در حکمت معماری اسلامی و تزئینات وابسته به آن در دوره صفویه، نشر سیمای دانش، تهران.