

**ITC**

مرکز تربیت مربی  
و پژوهش‌های فنی و حرفه‌ای



سازمان آموزش فنی و حرفه‌ای کشور



**unesco**

عضو شبکه بین‌المللی مراکز آموزش فنی و حرفه‌ای

# فراکتال در هنر



تهیه کننده: مریم علیزاده

مرکز تربیت مربی و پژوهش‌های فنی و حرفه‌ای

مرداد ۱۴۰۱

**ITC**

مرکز تربیت مربی  
و پژوهش‌های فنی و حرفه‌ای



سازمان آموزش فنی و حرفه‌ای کشور



**unesco**

عضو شبکه بین‌المللی مراکز آموزش فنی و حرفه‌ای



# فراکتال در هنر

تهیه کننده: مریم علیزاده

مرکز تربیت مربی و پژوهش‌های فنی و حرفه‌ای

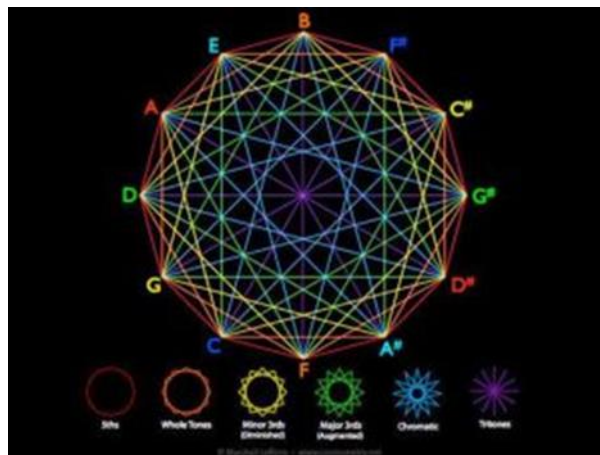
سازمان آموزش فنی و حرفه‌ای کشور

رعایت اصول اخلاقی و مسئولیت صحت و دقت محتوا بر عهده نویسنده / نویسندگان می باشد.

مرداد ۱۴۰۱

## فراکتال در هنر

یکی از نظریه‌های مطرح شده ریاضی که از سال ۱۸۶۱ در هندسه ارائه شد هندسه‌ی بدون اندازه یا فراکتالی (برخالی) گویند. این هندسه شاخه‌ای از ریاضیات با ارائه‌ی مفهوم جدیدی از بعد فیزیکی و مفاهیمی مانند "خود همانندی" و "خود تمایلی" است که در برابر تفسیر و شبیه‌سازی اشکال مختلف طبیعت انعطاف بی‌نظیری نشان داده است. هندسه‌ی فرکتالی کاربردهای وسیعی در علوم انسانی، هنر، گرافیک رایانه‌ای و تحلیل هنری پیدا کرده است. هندسه فرکتالی دانشی در اختیار هنرمند، برای آفرینش طرح‌هایی بس نوین و همسو با روان طبیعت گرای اوست.



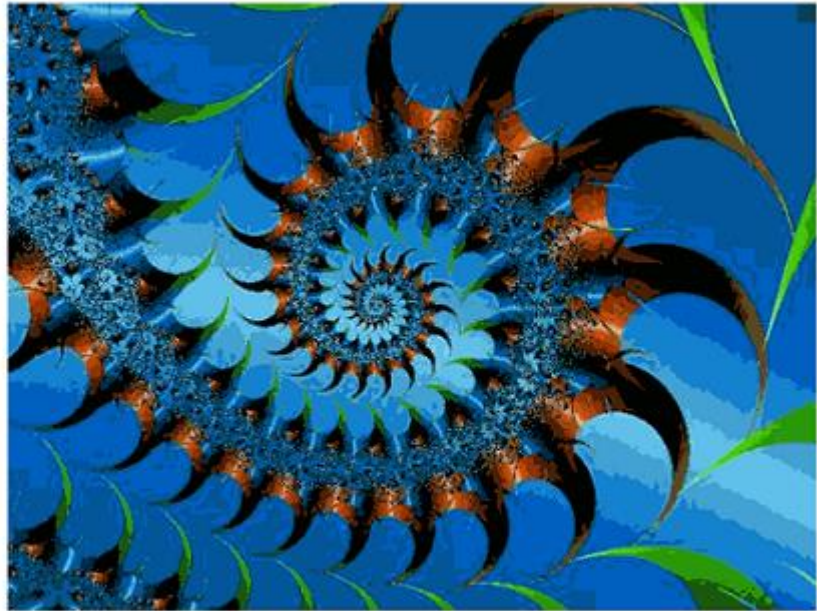
## هندسه فرکتال، توصیف گر جهان طبیعت:

واژه فرکتال که از ریشه‌ی یونانی فرکتوس به معنای "تکه تکه شده" و "شکسته شده" آمده است و به نحوی تعریف ریاضی‌اش را در خود دارد، در اصطلاح به معنای سنگی است که به شکل نامنظم شکسته شده باشد. معادل فارسی برای فرکتال، برخال است. واژه‌ی برخال از "برخ" و "ال" ساخته شده است. برخ واژه‌ی فارسی برای کسر به معنی شکست (Fraction) است و پسوند ال پسوندی به معنای "مرتبط با"، "نسبت و شباهت" است (مانند چنگال: مرتبط یا هم‌شکل با چنگ، کشال یا کشاله‌ی ران: مرتبط با کشیده شدن، پوشال: مربوط به پوشاندن، سنگال و جز این‌ها). واژه‌ی آشنای "برخی" به معنی پاره‌ای، از ریشه‌ی برخ گرفته شده است.

در واقع شکل‌های فرکتالی، شکل‌هایی هستند که بعد صحیح ندارند و دارای این خاصیت‌اند که تا بی‌نهایت قابل بزرگنمایی می‌باشند. شکل‌های فرکتالی با زندگی روزمره‌ی ما گره خورده‌اند. با کمی دقت به اطراف خود، می‌توانیم بسیاری از این شکل‌ها را ببینیم. از گل فرش و قالی و گل کلم گرفته تا شکل کوه‌ها، ابرها، دانه‌ی برف و باران، شکل ریشه، تنه و برگ درختان و شکل سرخس‌ها، سیاهرگ و شش و... همه‌ی این‌ها نمونه‌هایی از شکل‌های فرکتالی‌اند. در تشکیل سنگ‌های آذرین، پس از هر باران فوران آتش‌فشان از انجماد و شکل‌گیری گدازه‌ها بلورهایی حاصل می‌شود که همگی شبیه هم هستند و پس از شکل‌گیری، سنگ‌های آذرین را به وجود می‌آورند. (مستغنی و همکاران، ۱۳۹۵:۱۱۰). شکل‌های موجود در طبیعت یا نظم خاصی دارند مانند شکل یک گل آفتابگردان و یا بی‌نظم به نظر می‌رسند مانند گل کلم.



برگ سرخس



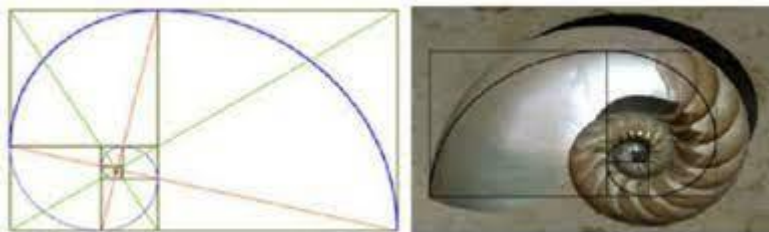
ماریچ

برای شکل‌های فرکتالی ویژگی‌های زیر را می‌توان برشمرد:

۱. بی‌نظمی یا گونه‌ای از آشوب ساختاری
۲. تشابه در جلوه بصری در هر مقیاس
۳. خرد مقیاسی: یکسانی و همگونی عدم یکپارچگی آن در هر مقیاسی. فرکتال‌ها در هر مقیاسی یکسان به نظر می‌رسند.



۴. ایجاب خود همانندی که هر زیر سیستمی از فرکتال معادل کل سیستم باشد و این همان خودمتمشابهی است. خودمتمشابهی از نظر هندسی یعنی یکسانی شکل‌ها در عین متفاوت بودن اندازه‌ها. به بیان ساده، اگر بتوان با بزرگ یا کوچک کردن دو تصویر آن‌ها را همانند کرد، آن دو شکل متمشابه هستند.
۵. عدم تعیین طولی در هر مقیاس.
۶. بعد اعشاری
۷. تشکیل از راه تکرار: اجزاء و عناصر فرکتال در مقیاس‌های مختلف تکرار می‌شوند. فرکتال‌ها ماهیت تکرار دارند؛ یعنی در ساختار آن‌ها می‌توان نظمی از تکرار یک پارامتر خاص را یافت این ریتم تکرار شونده در شکل‌های فرکتالی آن‌ها را به سمت تعادل سوق می‌دهد.
۸. در شکل‌های فرکتالی هیچ خط مستقیمی وجود ندارد. لبه‌ها و وجه‌های داخلی آن‌ها صاف و هموار نیست بلکه منفذ دار یا تاب خورده است.



## چهارراه برای ساخت فرکتال

۱. الگوهای تکاملی برای فرکتال‌های گسترش‌یابنده: افزودن ساختارهای فرعی‌تر به ساختار اصلی در هر مقیاس: این روش ایجاد کننده‌ی یک جسم چین‌خورده، پیچ و خم‌دار و بافت‌دار است که هیچ بخشی از آن هموار نیست. این ناهموازی در همه‌ی لبه‌های فرکتال رخ می‌دهد مانند درختان و گیاهان.
۲. الگوهای فرسایشی برای فرکتال‌های تحلیل‌رونده: برداشتن زیر ساختارها از ساختار اصلی مانند کوه‌ها.
۳. ایجاد روزه‌هایی که مقیاسشان به تدریج کوچک و کوچک‌تر شده و یک دیواره‌ی سوراخ‌دار را به وجود می‌آورند.
۴. تصادف و اتفاق با سکه انداختن، طاس یا اعداد اتفاقی معرفی می‌شود که در روند تولید فرکتال‌ها می‌تواند استفاده گردد؛ مانند منحنی کخ؛ در هر مرحله یک مثلث در مرکز از هر پاره خط افزوده

می‌شود. با هر بار انداختن سکه می‌توان به شیوه‌ی تصادفی تعیین کرد که افزوده شدن منحنی بایستی در بالا یا پایین باشد (بویل، ۹۳:۱۳۹۲).



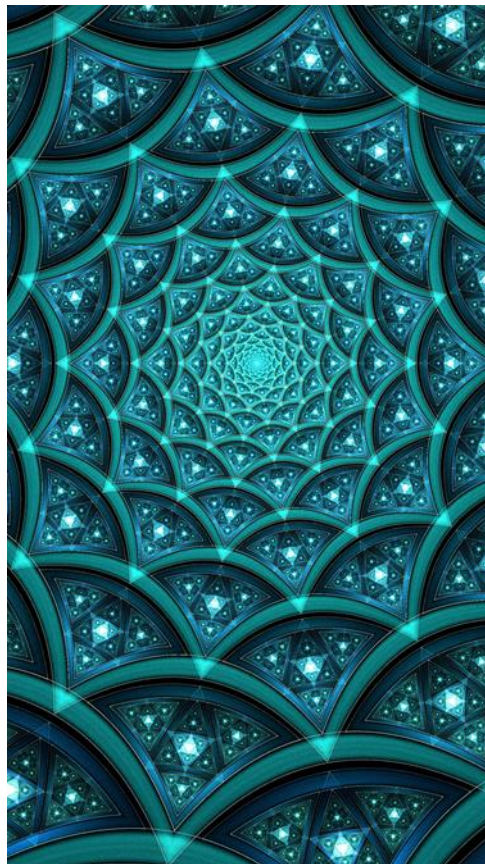
## پیوند هنر و فرکتال

آشکارترین و بیشترین کاربرد فرکتال در هنر، مربوط به معماری و طراحی شهری و نیز تصاویر هنری رایانه‌ای است. بخش بعدی که از نظر خواهد گذشت شامل بررسی فرکتال در بخش‌هایی از دستاوردهای بشری است که مستقیم یا غیرمستقیم با هنر در ارتباط‌اند.



## فراکتال در هنر و معماری ایرانی - اسلامی

استفاده از نگرشی هم‌خوان با نگرش فرکتالی چندین سده پیش از مطرح شدن دانش هندسه‌ی فرکتال در نقوش اسلامی قابل ردیابی است. شباهت‌هایی که تکثیر فرکتالی با تکثیر در هندسه‌ی نقوش‌های اسلامی (به دلیل واگیره پذیر بودن این نقوش‌ها) دارد و نیز فرم‌های حلزونی (اسپیرال) که در معادلات فرکتالی به دست می‌آید و شالوده‌ی اصلی نقوش گردان اسلامی را تشکیل می‌دهد و از طرفی زیر الگوهای ثابتی که در هنرهای ترسیمی اسلامی دیده می‌شود و رابطه‌ی فلسفی آن با هندسه‌ی فرکتال که آن را علمی قابل انطباق با نظریه‌ی وحدت در عین کثرت و کثرت در عین وحدت می‌دانند از جمله‌ی این هم‌خوانی‌ها است. هندسه‌ی هنرهای تزئینی کشورهای مسلمان فراتر از هندسه‌ی اقلیدسی است و فقط شامل شکل‌های اقلیدسی نمی‌شود. یکی از پرکاربردترین نقوش‌ها در هنر این سرزمین‌ها گره تزئینی است. گره‌ها همان خط‌های تزئینی و نقوش‌های هندسی و انتزاعی هستند و به نحو بارزی وحدت در کثرت و کثرت در وحدت را نمایش می‌دهند.





گره خاصیت زایش دارد و از هر گره، گره‌های دیگری به وجود می‌آید. این خاصیت باعث تنوع در انواع گره می‌شود. گره‌ها دارای ویژگی‌های تنوع، کثرت، پیچیدگی، آهنگ، نظم، توازن و استفاده از انواع شکل‌های هندسی می‌باشند و هنرمندان اسلامی علاوه بر برخورداری از دانش ریاضی، همواره از طبیعت به‌عنوان منبع اصلی الهام بهره گرفته‌اند. خود همانندی که از اصول شکل فرکتالی است آشکارا در این هنر دیده می‌شود. همچنین گفته شد که شکل فرکتالی شکلی است که در طبیعت دیده می‌شود و در قالب شکل اقلیدسی نمی‌گنجد؛ بنابراین ریشه داشتن در طبیعت در گره و فرکتال مشترک است. الگوی تزئین‌های هندسی ایران از یک اصل جایگزین استفاده می‌کند که در آن شکل‌های خود همانند به‌صورت بازگشتی به کپی‌های کوچک‌تر متناسبی از خود تجزیه می‌شوند. این طرح‌ها که به نام الگوهای گره شناخته می‌شوند، نشان‌دهنده‌ی تناسب موزونی میان عالم صغیر و کبیر و دارای قدرت تفکر فراوانی هستند. معماران سنتی ایرانی همواره یکی از مهم‌ترین منابع الهام خویش را طبیعت قرار می‌داده‌اند. آثار اصیل این معماری حکایت از آن دارد که آنان به‌خوبی از هندسه‌ای پیچیده و قومی که در ساختار عناصر طبیعی به کار می‌رفته است، آگاه بوده‌اند. برداشت معماران ایرانی برداشتی به‌طور صرف، ظاهری از پدیده‌های طبیعی نبوده است، بلکه رجوع و وقوف معماران سنتی به‌قدر و هندسه و اصولی است که مبنای شکل‌گیری مخلوقات عالم نیز هست. با بررسی هندسه‌ی آرایه‌ی داخلی گنبد مسجد شیخ لطف اله می‌توان نشان داد که این آرایه هم از هندسه‌ی فرکتال موجود در عناصر طبیعی استفاده نموده است (مستغنی و همکاران، ۱۳۹۵: ۱۰۵). بسیاری از ویژگی‌های فرکتالی در طراحی این مسجد دیده می‌شود: شهود و الهام از طبیعت، نقش‌های هندسی لیمویی و ترنج کنگره‌ای و ترنج درهم و اسلیمی و شمسه و شاخه‌ها و برگ‌ها. از جمله عناصر طبیعی که از آن‌ها الهام گرفته شده گل زردک و گل آفتابگردان است. در هر دو، اجزا از هندسه‌ی فرکتال تشکیل شده‌اند و هدف طراح القای حس عرفانی گذر از کثرت و رسیدن به حس وحدت بوده است.



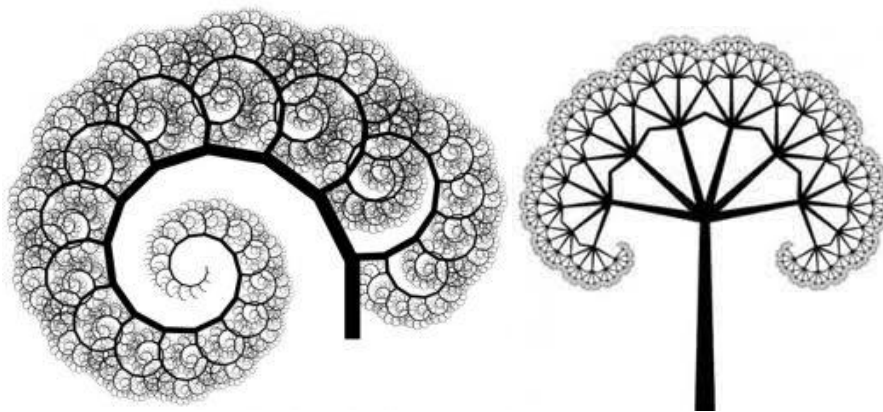
## فرکتال آرت

این شاخه، عرصه‌ی نوینی از کامپیوتر آرت و هنرهای الگوریتمی زائیده‌ی کامپیوتر است که دنیای نوین تصویرسازی‌های هنرمندانه و ریاضی را آفریده است. مهارت در آن، هم نیازمند زیبایی‌شناسی هنرمندانه و هم مستلزم بهره‌مندی از مقادیر فراوانی ریاضیات و هندسه‌ی مدرن فرکتالی است. هندسه‌ی فرکتال هم اندیشه‌های نوینی را در ریاضیات گسترش داد و نیز الگوریتم‌ها و برنامه‌های کامپیوتری را برای چاپ و نمایش‌های گرافیکی ارتقا و توسعه داد. استفاده‌های حرفه‌ای و به‌طور کامل هنرمندانه از الگوریتم‌های کامپیوتری در تصویرسازی فرکتالی، به‌عنوان یک‌گونه‌ی مستقل هنری تحت عنوان رسمی فرکتال آرت به آغاز دهه‌ی ۱۹۹۰ و شکل‌گیری نرم‌افزارهای انحصاری خلق و تولید تصاویر فرکتالی باز می‌گردد. این شاخه‌ی هنری از دوباره‌سازی اصول تشکیل دهنده‌ی فرکتال و نمایش دوباره‌ی نتایج محاسبات و وقایع عددی در قالب تصویر ثابت، انیمیشن، موسیقی و یا دیگر مدیوم‌ها و رسانه‌ها خلق می‌شود.



این هنر برای اجرای محاسبات طولانی و ارزیابی و نمایش محصول و اثر ایجاد شده از رایانه بهره می‌گیرد. در واقع فرم اصلی یک اثر فرکتالی، تصویری ذخیره شده در یک رایانه است که از یک لحاظ به دلیل نحوه‌ی تولید به هنر فرمولی شباهت دارد و از جهتی نسلی از آثار الگوریتمیک هدمند محسوب می‌شود. این هنر برخوردار از دقت و صراحت منطقی ریاضی و نیز شگفتی ناشی از سیستم‌های آشوبناک و اشتیاق منجر به بیان زیبایی‌شناسی هنری است. وقایع و فعالیت‌های بصری به نمایش در آمده در یک اثر فرکتالی بر مبنای ریاضیات پیشرفته است. فرکتال آرت شاخه‌ای از هنرهای دو بعدی است و پیشینه‌ی ورود آن به هنر و نحوه‌ی پذیرش آن به‌عنوان هنر بسیار به عکاسی شباهت دارد. تمایز فرکتال آرت از دیگر فرم‌های دیجیتال هنر آرت، نقش بسیار مهم و گسترده‌ی ریاضیات در آن می‌باشد که از طریق زبان‌های برنامه‌نویسی کامپیوتری، هزاران

فرمول محاسباتی با صدها پارامتر را در اختیار هنرمند قرار می‌دهد و هر پارامتر خود از تعداد بی‌کرانی ارزش‌های ممکن عددی و غیر عددی برخوردار است. یک تصویر ساده‌ی فرکتالی ممکن است در بر دارنده‌ی تریلیون‌ها بار محاسبات ریاضی تکرار شونده باشد که فقط کامپیوتر از پس آن برمی‌آید. البته کامپیوتر در اینجا فقط نقش ابزاری دارد مانند لنز دوربین یا قلم و رنگ نقاشی. زیبایی‌شناسی و مدیریت محاسبه‌ی جزئیات و انتخاب فرم‌ها و رنگ‌ها و ... همه توسط ذهن خالق هنرمند انجام می‌شود. (گروسی، ۲۹:۱۳۸۷). یک بخش اسرارآمیز تصویرهای فرکتالی جزئیات نامحدود و بی‌انتهای آن‌هاست چنان‌که اگر قسمت کوچکی از یک تصویر را انتخاب و بزرگ کنیم دوباره تصویری با جزئیات نامحدود خواهیم داشت. این همان بعد اکتشافی فرکتال آرت است که وقتی به یک تصویر نگاه می‌کنیم می‌دانیم ممکن است تنها فردی باشیم که تاکنون آن را مشاهده کرده است.



ریتم‌های فرکتالی در طراحی و نقاشی در هنر تمثیلی و در موسیقی نیز ردپای فرکتال قابل پیگیری است. برای ریشه نمونه می‌توان از "موندریان" نام برد. پیچیدگی‌های طرح‌های موندریان در شکل‌های ارگانیک و طبیعی است؛ هنر تمثیلی به دلیل این‌که طبیعت را به روش‌های گوناگون دوباره تولید می‌کند، مدلی از جریان جزئیات فرکتال را نمایش می‌دهد چرا که طبیعت خود جریانی از جزئیات فرکتال می‌باشد. پیت موندریان نمونه‌ی خوبی در این باره است. در نقاشی‌های اولیه‌ی او از صحنه‌های طبیعی مانند تابلوی "درختان نزدیک آل"، ریتم فرکتالی واضحی میان درختان جنگل وجود دارد. بعدها در طول دهه‌ی ۱۹۲۰ زمانی که به اکسپرسیونیسم انتزاعی گرایش پیدا کرد، نقاشی‌های او به صورت شکل‌های اقلیدسی در طبیعت درآمدند. در این آثار او، تعادل پویای نقاشی‌های انتزاعی‌اش به چشم می‌خورد، اما جریانی از جزئیات جذاب زندگی و طبیعت اطراف ما نیز وجود دارد (بویل، ۱۶۷:۱۳۹۲).



درکی از ریتم فرکتال برای معماران و طراحانی که به دنبال درک بیان پیچیده از طبیعت باشند می‌تواند منبع نامتناهی از ایده‌های طراحی به شمار آید. شبکه‌های پلانی در هماهنگی طرح زمینه‌ی یک ساختمان، یک نقاشی یا یک طراحی گرافیکی مفید هستند و رسم آن‌ها به شکل سنتی اقلیدسی می‌باشند.

و در آخر این‌که هنرمندان همواره و در هر دوره‌ای فن‌آوری زمانه‌ی خود را به‌عنوان وسیله‌ای جهت آفرینندگی نوین و تازه‌تر به کار برده‌اند. دانش نوین فرکتال نیز به هنر نوین راه یافت؛ در طراحی‌های شهرهای نوین و معماری‌های امروزی (معماران پست مدرن و ساختارشکن)، در نقاشی و موسیقی و سرانجام در شاخه‌ی تازه‌تر هنرهای رایانه‌ای. سودمندی‌های دانش فرکتال و به دنبال آن معماری پارامتریک برای معماری نوین شامل استفاده از هندسه‌ای به‌جز هندسه‌ی اقلیدسی، جستجوی فرم‌های جدید و پیچیده، امکان بهره‌مندی از ابزار رایانه و آفرینش طرح‌های تازه‌تر، در همان حال که رایانه باعث حذف کارهای تکراری می‌شود.





## منابع:

\* بویل، کارل، هندسه‌ی فرکتال در معماری و طراحی. ترجمه‌ی محمدعلی اشرف گنجوئی، حسین فالج، چاپ دوم، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۱۳۹۲

\* روح الامین، احسان، بررسی تطبیقی هندسه‌ی فرکتال و هندسه‌ی نقوش اسلامی. پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی هنر اسلامی دانشگاه هنر اصفهان، ۱۳۹۲

\* گروسی، مهرداد. فراکتال آرت. آینه‌ی خیال، تهران، ۱۳۸۷

\* مستغنی، علیرضا و علی مرادی، محسن، واکاوی کاربرد هندسه‌ی طبیعت و فراکتال در معماری پارامتریک با بررسی آرایه‌ی داخلی مسجد شیخ لطف اله. نامه‌ی معماری و شهرسازی، ۱۳۹۵

\* مبینی، مهتاب، بررسی جایگاه هندسه فرکتال در هنر و چگونگی ظهور آن در هنرهای تجسمی، فصل‌نامه دانشکده هنر؛ دانشگاه شهید چمران اهواز شماره ششم- پائیز و زمستان ۹۳

\* <https://sinapress.ir>

\* <https://fourseason.blogsky.com>

\* <https://lilit.ir>

\* <https://ensani.ir>

\* <https://aaj.semnan.ac.ir>

**ITC**

مرکز تربیت مربی  
و پژوهش‌های فنی و حرفه‌ای



سازمان آموزش فنی و حرفه‌ای کشور



**unesco**

عضو شبکه بین‌المللی مراکز آموزش فنی و حرفه‌ای

**ITC**

مرکز تربیت مربی  
و پژوهش‌های فنی و حرفه‌ای

تابستان ۱۴۰۱