



دانشگاه شاهرود
پیم نور

مقدمه‌ای بر هندسه فراکتال‌ها (جلد اول)

دکتر حامد سروش

امروزه کتاب‌خوانی و علم‌آموزی، نه تنها یک وظیفه ملی، که یک واجب دینی است.^۱

مقام معظم رهبری

در عصر حاضر یکی از شاخصه‌های ارزیابی رشد، توسعه و پیشرفت فرهنگی هر کشوری میزان تولید کتاب، مطالعه و کتاب‌خوانی مردم آن مرز و بوم است. ایران اسلامی نیز از دیرباز تاکنون با داشتن تمدنی چندهزارساله و مراکز متعدد علمی، فرهنگی، کتابخانه‌های معتبر، علما و دانشمندان بزرگ با آثار ارزشمند تاریخی، سرآمد دولت‌ها و ملت‌های دیگر بوده و در عرصه فرهنگ و تمدن جهانی به‌سان خورشیدی تابناک همچنان می‌درخشد و با فرزندان نیک‌نهاد خویش هنرنمایی می‌کند. چه کسی است که در دنیا با دانشمندان فرزانه و نام‌آور ایرانی همچون ابوعلی سینا، ابوریحان بیرونی، فارابی، خوارزمی و ... همچنین شاعران برجسته‌ای نظیر فردوسی، سعدی، مولوی، حافظ و ... آشنا نباشد و در مقابل عظمت آنها سر تعظیم فرود نیاورد. تمامی این افتخارات ارزشمند، برگرفته از میزان عشق و علاقه فراوان ملت ما به فراگیری علم و دانش از طریق خواندن و مطالعه منابع و کتاب‌های گوناگون است. به شکرانه الهی، تاریخ و گذشته ما، همیشه درخشان و پر بار است. ولی اکنون در این زمینه در چه جایگاهی قرار داریم؟ آمار و ارقام ارائه‌شده از سوی مجامع و سازمان‌های فرهنگی در مورد سرانه مطالعه هر ایرانی، برایمان چندان امیدوارکننده نمی‌باشد.

کتاب، دروازه‌ای به سوی گستره دانش و معرفت است و کتاب خوب، یکی از بهترین ابزارهای کمال بشری است. همه دستاوردهای بشر در سراسر عمر جهان، تا آنجا که قابل کتابت بوده است، در میان دست‌نوشته‌هایی است که انسان‌ها پدید آورده و می‌آورند. در این مجموعه بی‌نظیر، تعالیم الهی، درس‌های پیامبران به بشر، و همچنین علوم مختلفی است که سعادت بشر بدون آگاهی از آنها امکان‌پذیر نیست. کسی که با دنیای زیبا و زندگی‌بخش کتاب ارتباط ندارد بی‌شک از مهم‌ترین دستاورد انسانی و نیز از بیشترین معارف الهی و بشری محروم است. با این دیدگاه، به‌روشنی می‌توان ارزش و مفهوم رمزی عمیق در این حقیقت تاریخی را دریافت که اولین خطاب خداوند متعال به پیامبر گرامی اسلام (ص) این است که «بخوان!» و در اولین

۱. پیام مقام معظم رهبری به مناسبت آغاز هفته کتاب ۷۲/۱۰/۴

سوره‌ای که بر آن فرستاده عظیم‌الشان خداوند، فرود آمده، نام «قلم» به تجلیل یاد شده‌است: «إِقْرَأْ وَ رَبُّكَ الْأَكْرَمُ. الَّذِي عَلَّمَ بِالْقَلَمِ» در اهمیت عنصر کتاب برای تکامل جامعه انسانی، همین بس که تمامی ادیان آسمانی و رجال بزرگ تاریخ بشری، از طریق کتاب جاودانه مانده‌اند.

دانشگاه پیام‌نور با گستره جغرافیایی ایران‌شمول خود با هدف آموزش برای همه، همه‌جا و همه‌وقت، به‌عنوان دانشگاهی کتاب‌محور در نظام آموزش عالی کشورمان، افتخار دارد جایگاه اندیشه‌سازی و خردورزی بخش عظیمی از جوانان جویای علم این مرز و بوم باشد. تلاش فراوانی در ایام طولانی فعالیت این دانشگاه انجام پذیرفته تا با بهره‌گیری از تجربه‌های گرانقدر استادان و صاحب‌نظران برجسته کشورمان، کتاب‌ها و منابع آموزشی درسی شاخص و خودآموز تولید شود. در آینده هم، این مهم با هدف ارتقای سطح علمی، روزآمدی و توجه بیشتر به نیازهای مخاطبان دانشگاه پیام‌نور با جدیت ادامه خواهد داشت. به‌طور قطع استفاده از نظرات استادان، صاحب‌نظران و دانشجویان محترم، ما را در انجام این وظیفه مهم و خطیر یاری‌رسان خواهد بود. پیشاپیش از تمامی عزیزانی که با نقد، تصحیح و پیشنهادهای خود ما را در انجام این وظیفه خطیر یاری می‌رسانند، سپاسگزاری می‌نماییم. لازم است از تمامی اندیشمندانی که تاکنون دانشگاه پیام‌نور را منزلگاه اندیشه‌سازی خود دانسته و ما را در تولید کتاب و محتوای آموزشی درسی یاری نموده‌اند، صمیمانه قدردانی گردد. موفقیت و بهروزی تمامی دانشجویان و دانش‌پژوهان عزیز آرزوی همیشگی ما است.

دانشگاه پیام‌نور

فهرست مطالب

پیشگفتار	هفت
فصل اول. مقدمات	۱
هدف کلی	۱
هدف‌های یادگیری	۱
مقدمه	۲
۱-۱ هندسه اقلیدسی	۳
۲-۱ جهان صاف و صیقلی یا یک جهان زیر و خشن؟	۶
۳-۱ پارادوکس بی‌نهایت کوچک	۹
۴-۱ نظریه آشوب	۱۱
فصل دوم. مبانی فراکتال‌ها	۱۷
هدف کلی	۱۷
هدف‌های یادگیری	۱۷
مقدمه	۱۷
۱-۲ اهمیت موضوع فراکتال‌ها	۱۸
۲-۲ محاسبه طول خط ساحلی	۱۹
۳-۲ ریشه‌های فراکتال	۲۱
۴-۲ اولین فراکتال	۲۳
فصل سوم. معرفی چند فراکتال	۲۵
هدف کلی	۲۵

۲۵	هدف‌های یادگیری
۲۶	مقدمه
۲۷	۱-۳ مجموعه کانتور
۳۲	۲-۳ منحنی فضا پر کن پیانو
۳۴	۳-۳ منحنی کخ
۴۱	۴-۳ مجموعه‌های جولیا
۴۵	۵-۳ درزبند سیرپینسکی
۵۴	۶-۳ مثلث پاسکال
۵۶	۷-۳ بازی آشوب
۶۰	۸-۳ جذابیت عجیب
۶۱	۹-۳ حوضه‌های جذابیت
۶۳	۱۰-۳ معادله منطقی
۶۴	۱۱-۳ بازخورد منفی
۶۵	۱۲-۳ تکرار کننده
۶۷	۱۳-۳ نقاط شکاف
۶۹	فصل چهارم. تکنیک‌های محاسبه اندازه و بعد هاسدورف
۶۹	هدف کلی
۶۹	هدف‌های یادگیری
۷۰	مقدمه
۷۲	۱-۴ اندازه هاوسدورف
۷۵	۲-۴ ویژگی مقیاسی
۷۷	۳-۴ بعد هاوسدورف
۸۱	۴-۴ محاسبه بعد هاوسدورف
۸۵	فصل پنجم. بعد فراکتال‌ها
۸۵	هدف کلی
۸۵	هدف‌های یادگیری
۸۵	مقدمه
۸۶	۱-۵ بعد توپولوژیکی فراکتال
۸۷	۲-۵ خودتشابهی
۸۸	۳-۵ تشابه و بعد فراکتال
۹۱	۴-۵ اندازه‌گیری بعد فراکتال
۹۵	واژه‌نامه
۹۶	منابع

پیشگفتار

از نظر بسیاری نظریه آشوب و فراکتال به بزرگ‌ترین دستاوردهای علوم طبیعی در این قرن تعلق دارد. می‌توان گفت که کمتر پیشرفتی در علوم طبیعی تا این حد علاقه عموم را برانگیخته است. از این طرف و آن طرف خبر تغییر در تصور حقایق یا یک انقلاب در علوم طبیعی را می‌شنویم.

هدف اصلی این کتاب فراهم کردن زمینه‌ای برای آشنایی با هندسه فراکتال و بعد فراکتالی است در حدی که برای خوانندگان این موضوع در ریاضی و دیگر علوم قابل درک باشد.

کتاب حاضر به‌طور کلی به سه قسمت تقسیم شده است: در قسمت اول با مقدمات، نظریه کلی و مبانی فراکتال‌ها آشنا می‌شوید و ویژگی‌های هندسی فراکتال‌ها به شیوه توضیح شکل‌های هندسه اقلیدسی و کلاسیک مانند دایره و بیضی شرح داده می‌شود.

قسمت دوم شامل مثال‌هایی از فراکتال‌هاست که مکمل مطالب قسمت اول بوده و در فهم موضوعات مربوط به فراکتال‌ها و انواع آن‌ها در طبیعت کمک است. موضوعاتی شامل: مجموعه‌های خودمتشابه، نمودارهای توابع، مجموعه‌های ژولیا، منحنی کخ، مجموعه کانتور، فراکتال‌های تصادفی و

در قسمت سوم در خصوص اندازه و بعد هاسدورف صحبت کرده و مثال‌هایی ارائه داد شده است. همچنین بعد فراکتال‌ها و نحوه محاسبه بعد توپولوژیکی فراکتال‌ها توضیح داده شده و چندین مثال نیز برای فهم بیشتر بیان شده است.

از کلیه صاحب نظران و خوانندگان این متن تقاضا دارم تا کاستی ها را به دیده
اغماض نگریسته و نظرات و پیشنهادهای ارزشمند خود را اطلاع دهند تا در
ویرایش های آینده آن ها را منظور کنم.

فصل اول

مقدمات

هدف کلی

هدف کلی این فصل بیان مقدمات و آشنایی با علم فراکتال است.

هدف‌های یادگیری

انتظار می‌رود پس از مطالعه این فصل یادگیرنده بتواند:

۱. تاریخچه‌ای از علم فراکتال را بداند.
۲. وجود بعد به صورت اعداد اعشاری را بداند.
۳. دنیایی که در آن زندگی می‌کنیم به طور طبیعی صاف و صیقلی نیست را بشناسد.
۴. ریشه کلمه فراکتال را بشناسد.
۵. مندلبروت به عنوان دانشمند معرفی کننده علم فراکتال به دنیای علم و دانش را بشناسد.
۶. نظریه مندلبروت در خصوص جهان را بشناسد.
۷. تفاوت هندسه اقلیدسی و هندسه فراکتالی را بداند.
۸. پارادکس بی‌نهایت کوچک را بداند.
۹. مفهوم نظریه آشوب را بداند.
۱۰. رابطه نظریه نسبیت و نظریه آشوب را بشناسد.
۱۱. در خصوص چرایی عدم تشخیص دقیق پیش‌بینی آب‌وهوا بداند.
۱۲. مدل‌های آشوب را بشناسد.

مقدمه

به‌تازگی سؤالات بسیاری در مورد فراکتال‌ها مطرح می‌شود، ازجمله اینکه «فراکتال چیست؟»، «بعد فراکتالی چیست؟»، «چگونه می‌توان بعد یک فراکتال را به‌دست آورد و این بعد که به‌صورت اعشاری است، چه معنی می‌دهد؟» یا «فراکتال‌ها چه کاربردی در ریاضیات دارند؟» در این کتاب سعی بر این است که به برخی این سؤالات پاسخ داده شود و فراهم آوردن زمینه‌ای مرتبط با ریاضیات در خصوص فراکتال‌ها و ابعاد آن‌ها به صورتی که برای خوانندگان این مفهوم در ریاضی و علوم مرتبط دیگر، قابل فهم و درک باشد.

در سال ۱۹۷۵ ریاضی‌دانی به‌نام «مندلبروت»^۲ مفهوم فراکتال را به دنیای علم و دانش معرفی کرد. معمولاً حرکت‌های بزرگ در توسعه علوم وقتی اتفاق افتاده‌اند که بدعت‌هایی در دیدگاه بشر بنا نهاده شده است. مثلاً وقتی دیدگاه نسبیتی با دیدگاه نیوتنی نسبت به عالم، جایگزین گردید، جهشی وسیع در گسترش علوم فیزیک نظری به‌وجود آمد. در قرن گذشته از این بدعت‌ها در ریاضیات نیز بنا نهاده شده‌اند که یکی از این بدعت‌ها، تولد هندسه فراکتال‌ها در ریاضیات است. در گذشته ریاضی‌دانان با مجموعه و اشیائی کار می‌کردند که معمولاً این مجموعه‌ها و اشیا در عالم فیزیکی مصداق واقعی چندانی نداشتند. مثلاً توابع اصولاً پیوسته و مشتق‌پذیر در نظر گرفته می‌شدند. اشکال هندسی همانند دایره، کره و مکعب و غیره و یا حداکثر اجتماعی از اشیا همواره، موردنظر قرار می‌گرفتند. درحالی‌که در جهان خارج از ریاضیات این‌گونه اشیا مصداق‌های چندانی ندارند.

نظر مندلبروت در خصوص جهان: «ابرها شکل کروی ندارند؛ کوه‌ها به‌صورت مخروط نیستند؛ لبه ساحل به‌صورت دایره نیست؛ پوست درخت هموار نیست.» برای مدل‌سازی این‌گونه اشیا و پدیده‌های طبیعی، هندسه فراکتال‌ها بسیار مفید است.

از نظر بسیاری نظریه آشوب به بزرگ‌ترین دستاوردهای علوم طبیعی در این قرن تعلق دارد. می‌توان گفت که کمتر پیشرفتی در علوم طبیعی تا این حد علاقه عموم را برانگیخته است. از این طرف و آن طرف خبر تغییر در تصور حقایق یا یک انقلاب در علوم طبیعی را می‌شنویم.

منتقدان نظریه آشوب این سؤال را می‌پرسند که آیا این محبوبیت احتمالاً ارتباطی با انتخاب هوشمندانه واژگان جذاب یا نیاز انسان است که برای توضیح نظری بی‌نظمی‌ها داشته است. برخی‌ها پیش‌بینی کرده‌اند که دقیقاً همان مرگ سریع و دردناک نظریه فاجعه دوباره برای فراکتال‌ها اتفاق خواهد افتاد که اکثراً توجه زیادی را در پایان دهه ۶۰ جلب کرده و سپس به‌طور ناگهانی از اقبال افتاد. هر چند که ذات ریاضی‌اش را به‌عنوان یکی از زیباترین ساختارها و خلاقیت‌ها در علوم ادامه داد. دلایل این مرگ متفاوت بودند و تنها ریشه‌های علمی نداشتند. به‌طور قطع می‌توان گفت که نظریه فاجعه به‌طور جدی توسط یکسری ادعاها به‌طور جدی آسیب دید.

اما چه دلیلی باعث جذابیت بسیار زیاد نظریه آشوب می‌شود؟ تغییرات فرض شده در تصور واقعیت اشیا شامل چه چیزی‌هایی است؟ این موضوعات باعث علاقه‌مندی دانشمندان در این زمینه شده و آن‌ها را به تلاش برای پاسخ به برخی از سؤالاتی که راجع به فلسفه طبیعت است ترغیب می‌کند. قاعده اصلی علم آن است که می‌تواند رابطه بین علت و معلول را کشف کند. برای مثال در مورد قواعد جاذبه زمین، حوادث نجومی مثل گرفتگی خورشید یا ماه و ستارگان دنباله‌دار می‌تواند هزارها سال جلوتر پیش‌بینی شوند. دیگر پدیده‌های طبیعی، به هر حال پیش‌بینی‌شان سخت است. اگرچه به‌عنوان حرکات جوی، از قوانین فیزیک پیروی می‌کنند درست به همان اندازه که حرکات سیارات از قوانین فیزیک پیروی می‌کنند، پیش‌بینی آب‌وهوا سخت و نسبتاً مشکل‌ساز است.

۱-۱ هندسه اقلیدسی

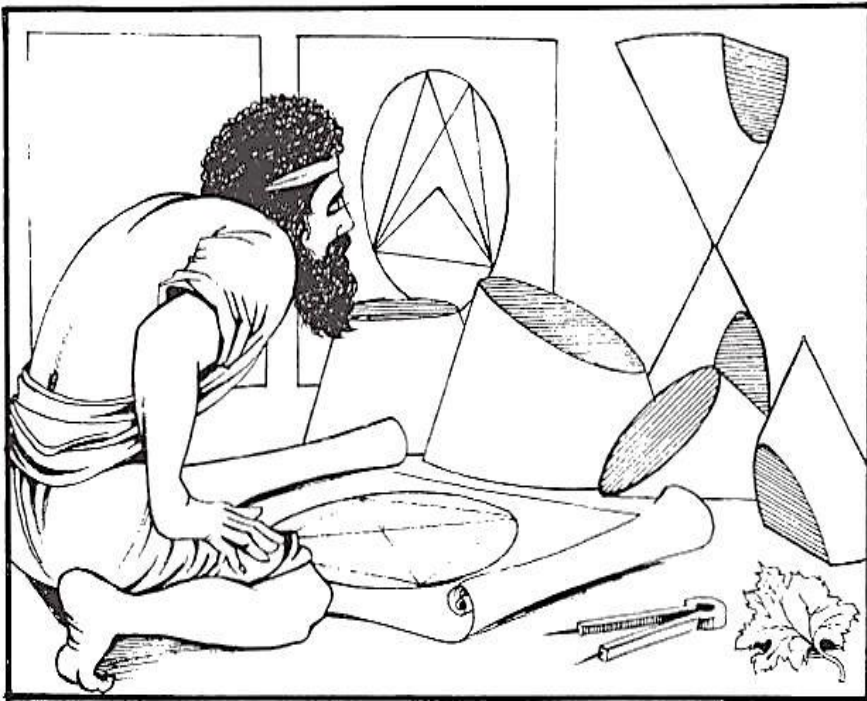
اقلیدس ریاضی‌دانی یونانی بود که در قرن سوم پیش از میلاد در شهر اسکندریه می‌زیست. هندسه اقلیدسی بر چند اصل ساده و بدیهی استوار است و تمام قضایای هندسی از آن‌ها نتیجه گرفته می‌شود؛ به‌گونه‌ای که هر قضیه ثابت‌کننده قضیه پس از خود است. اشکال که اقلیدس مورد مطالعه قرار گرفت (خطوط مستقیم و دایره‌ها) در توصیف جهان که دانشمندان قبلاً در بیان آن‌ها عاجز بودن، بسیار موفق بود است. با شروع قرن نوزدهم و با تحقیقات کارل وایرستراس^۱ (۱۸۱۵-۹۷)، گران کانتور^۲

1. Karl Weierstrass

2. Georg Cantor

(۱۸۴۵-۱۸۱۸) و هنری پوینکاره^۱ (۱۸۴۵-۱۹۱۲)، یک ایده بسیار جالب و زیرپوستی به ایجاد یک نوع هندسه کاملاً جدید منجر شد که این هندسه قابلیت تعریف و بیان جنبه‌های غیرقابل توصیف در زبان اصول اقلیدس را داراست.

هندسه کلاسیک



شکل ۱-۱

یوهان کپلر^۲ (۱۶۳۰-۱۵۷۱) اولین کسی بود که متوجه شد که سیارات به دنبال مدارهای بیضوی هستند، نه به صورت دایره‌ای شکل. ادmond هالی^۳ (۱۶۵۶-۱۷۴۲) حدس زد که مدارهای بیضوی را می‌توان با مقایسه نور، با استفاده از قانون مربع معکوس توضیح داد.

1. Henri Poincaré
2. Johannes Kepler
3. Edmond Halley

ایزاک نیوتن (۱۶۴۲-۱۷۲۷) روش جدیدی از دلیل و برهان بر مبنای ایده مقادیر بسیار کوچک یا بی‌نهایت کوچک، به‌دست آورد تا حرکات پیچیده پرتابه‌ها و سیارات را تحلیل کند و به نظریه مشهور جاذبه جهانی برسد. این محاسبات هم‌زمان توسط نیوتن^۱ و گوتفرید ویلهلم لایبنیز^۲ (۱۶۴۶-۱۷۱۶) صورت گرفت. لایبنیز واضح‌ترین فرمول برای محاسبه را که در حال حاضر ما از آن استفاده می‌شود را ایجاد کرد.



شکل ۱-۲

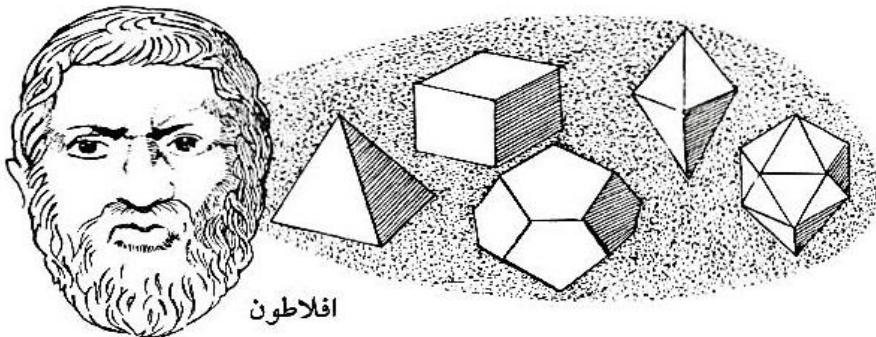
1. Sir Isaac Newton

2. Gottfried Wilhelm Leibniz

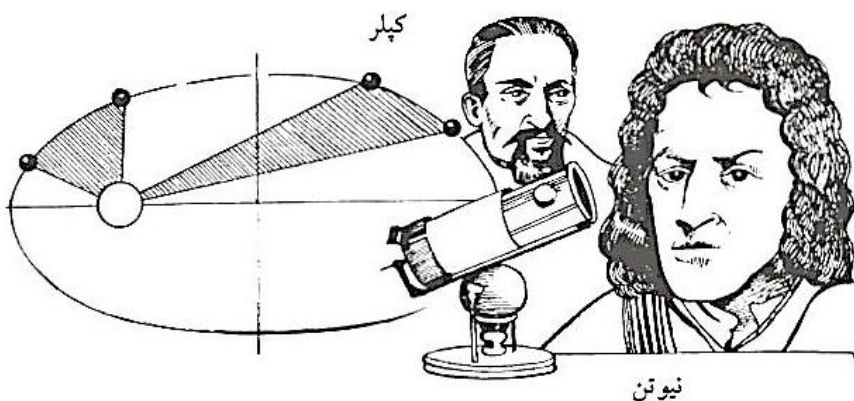
دو ابزار بسیار مفید در علم محاسبات، دیفرانسیل و انتگرال است. دیفرانسیل که توسط مشتق بیان می‌شود با استفاده از تغییر سرعت لحظه‌ای به‌دست می‌آید؛ که تغییر سرعت نقش کلیدی در آن دارد. به‌عنوان مثال، سرعت رشد تغییرات قیمت‌ها را در نظر می‌گیریم. اولین مشتق را با استفاده از میانگین قیمت‌ها به‌دست می‌آید. تغییرات سرعت در طول زمان به موقعیت بستگی دارد. مشتق اول به موقعیت بستگی دارد ولی مشتق دوم در لحظه، میزان تغییرات سرعت را به‌دست می‌آورد که آن شتاب نامیده می‌شود. انتگرال برعکس مشتق عمل می‌کند. ارزش‌های آینده یک متغیر را می‌توان با انتگرال‌گیری یا محاسبه میزان تغییرات در هر لحظه از زمان بیان نمود. سیستم‌های کنترل شده توسط نیروهای طبیعی مانند گرانش می‌توانند با توجه به میزان تغییر آن‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرند. ترکیب این تغییرات، ارتقای سیستم را تعریف می‌کند.

۲-۱ جهان صاف و صیقلی یا یک جهان زبر و خشن؟

افلاطون^۱ به دنبال توضیح طبیعت با پنج شکل منظم و ثابت بود. نیوتن و کپلر دایره افلاطون را به شکل بیضی تبدیل می‌کنند. علوم مدرن و امروزی، اشکال افلاطونی را به ذرات و امواج، تجزیه و منحنی‌های نیوتن و کپلر را به احتمالات وابسته تعمیم دادند بدون اینکه یک لبه زبر و خشن داشته باشند.



شکل ۳-۱



شکل ۴-۱

در حال حاضر، بیش از دو هزار سال پس از افلاطون و نزدیک به سیصد سال پس از نیوتن، بنوآ مندلبروت کشفیات را با قوانین حرکت منظم به وجود آورد. پروفیسور یوجین استنلی^۱، مرکز مطالعات پلیمر در دانشگاه بوستون اعتقاد دارد که دنیایی که در آن زندگی می‌کنیم به‌طور طبیعی صاف نیست.

دنیای واقعی دارای لبه‌های خشن و زبر است. سطوح صاف و صیقلی در طبیعت استثنایی است. با این حال، هندسه‌ای را پذیرفته‌ایم که اشکال را به‌ندرت توصیف می‌کند و در دنیای واقعی کمتر یافت می‌شود. تاکنون هندسه اقلیدس اشکال ایده‌آل مانند بیضی، دایره، مدار، مکعب و مربع را توصیف می‌کند.

در حال حاضر این اشکال در زندگی ما اتفاق می‌افتد، اما اغلب این اشکال توسط انسان ساخته شده و به‌طور طبیعی وجود ندارند.

در طبیعت اشکال به‌صورت غیریکنواخت و به شکل لبه‌های زبر قرار دارند. نگاهی به شکل بدن یک انسان، یک تقارن و تشابه خاصی در مورد آن وجود دارد. این موضوعی است که تاکنون در مجلات علمی کمتر به آن اهمیت داده شده و دانشمندان دنبال راهی برای توصیف اشکال و اشیای دنیای واقعی بوده‌اند.

1. Eugene Stanley



شکل ۱-۵

کلمه «فراکتال» توسط مندلبروت برای توصیف این اشکال مشخص شده است. ریشه لاتین این کلمه از fractus است که به معنی قطعه‌قطعه کردن و متلاشی شدن است.

هندسه فراکتال، هندسه اشکال نامنظم است که در طبیعت پیدا می‌کنیم و به‌طور کلی فراکتال‌ها با جزئیات بی‌نهایت، طول بی‌نهایت و عدم وجود سطوح صاف و صیقلی مشخص می‌شوند.



شکل ۱-۶

۳-۱ پارادوکس بی‌نهایت کوچک

نظریه بی‌نهایت کوچک نیوتن جزء پارادوکس‌های بسیار گیج‌کننده علم است. مسئله بی‌نهایت تقسیم‌پذیر بودن فضا، هزاران سال فیلسوفان و دانشمندان را درگیر خود کرده بود.

در این راستا آگوستین لوئیس کوشی^۱ (۱۷۸۹-۱۸۵۷) و کارل ویپرستراس^۲، شاگرد

1. Augustin Louis Cauchy

2. Karl Weierstrass

او تلاش‌های زیادی برای پیدا کردن راه‌حلی برای مسئله بی‌نهایت کوچک کردند. تا آن زمان این امکان وجود داشت که پایه و بنیان ریاضیات کاربردی بر تناقض متکی باشد.



پرتاب یک پیکان به سمت
یک هدف را در نظر می‌گیریم

این پیکان بایستی قبل از برخورد به
هدف، از نقطه وسط مسیر عبور کند

پیکان قبل از عبور از نقطه وسط مسیر، بایستی از نقطه
وسط نیمه اول مسیر نیز عبور کند

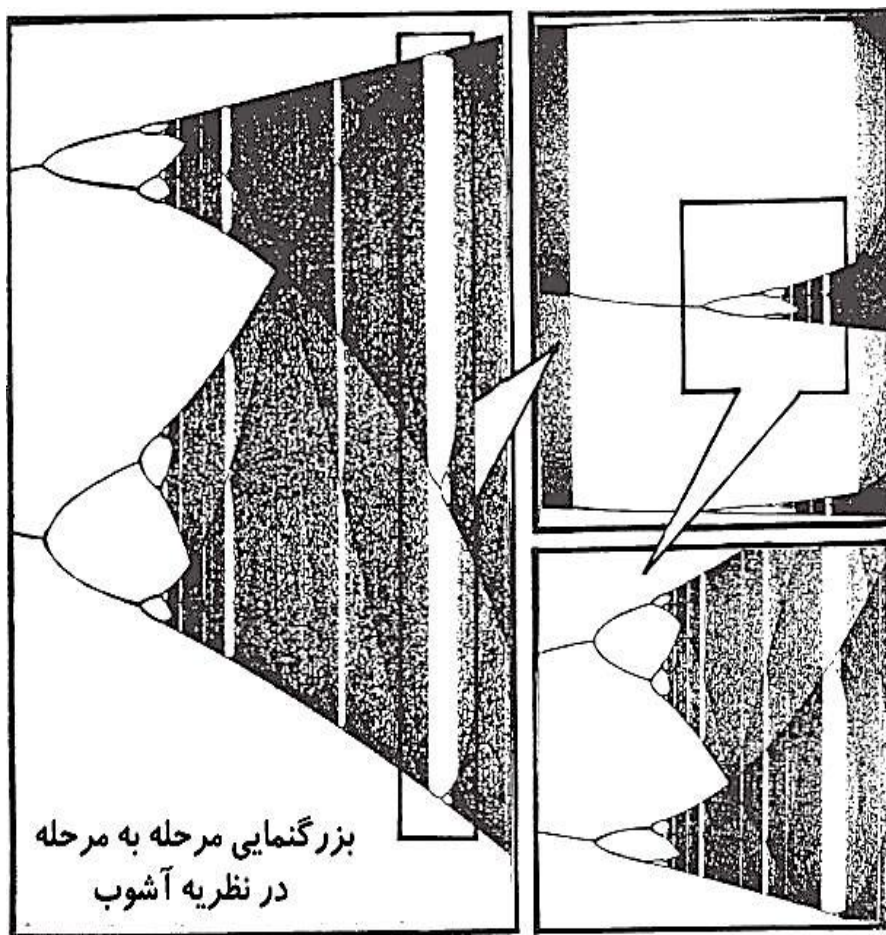
و به همین ترتیب ادامه می‌دهیم ...
و اینکار بی‌نهایت بار ادامه پیدا می‌کند.

به نظر می‌رسد که پیکان هرگز نمی‌تواند از نقطه شروع خود عبور کند!

این ماهیت پارادوکسیکال حرکت را استنباط می‌کند

۴-۱ نظریه آشوب^۱

در مقاله تین یین لی^۲ و جیمز یورک^۳ با عنوان «ایجاد سه دوره آشوب» که در سال ۱۹۷۱ به چاپ رسیده است، برای اولین بار از واژه و مفهوم آشوب در ادبیات علمی استفاده شده است و این مقاله، مقدمه‌ای برای ایجاد یک علم جدید به نام نظریه آشوب شد.



شکل ۸-۱

1. Chaos Theory
2. Tien Yien Li
3. James Yorke's

نتایج که لی و یورک به دست آوردند بسیار حیرت‌انگیز بود. آن‌ها نشان دادند که هر سیستم دینامیکی یک بعدی با دوره به طول سه، شامل تمام دوره‌های دیگر است. الکسی سارکوفسکی^۱ پیشتر این نتیجه اصلی را به شکلی کامل‌تری تر ثابت کرده بود، اما چون آثار او به زبان روسی نوشته شده بود مورد توجه جامعه جهانی قرار نگرفت. در واقع، سارکوفسکی وجود یک دنباله جادویی را اثبات کرد، دنباله‌ای که دارای نظمی شبیه دوره‌های مختلف روی درخت انجیر است.

با در نظر گرفتن نظریه نسبیت^۲، تصور جدیدی از آشوب به وجود آمد. نظریه نسبیت باعث محدود شدن اطلاعات ما از نظریه آشوب می‌گردد. در حقیقت این نظریه در بسیاری از پدیده‌ها بیان می‌کند که چیزهای زیادی وجود دارد که فقط نمی‌توانیم آن‌ها را بشناسیم.

با این حال، این نظریه جنبه‌های مثبت بسیاری دارد؛ یعنی با استفاده از این نظریه و کمترین تلاش، می‌توان تغییرات عظیمی ایجاد کرد. به عنوان یک مثال، فضاپیما را می‌توان در منظومه شمسی تنها با یک اشاره کوچک در جهت درست حرکت داد. یان استیوارت^۳ در مقاله آشوبش می‌نویسد: آیا خدا تاس می‌اندازد؟ دایرةالمعارف سال ۱۹۹۰ برتانیکا در کتاب سال مربوط به علم و آینده، مقایسه جالب زیر را انجام می‌دهد:

دانشمندان می‌توانند جزر و مد را پیش‌بینی کنند اما چرا برای پیش‌بینی آب‌وهوا این همه مشکل دارند؟ جداول دقیق زمان جزر و مد می‌توانند از ماه‌ها قبل یا حتی سال‌ها قبل تهیه شوند، درحالی‌که پیش‌بینی وضعیت آب‌وهوا گاهی در حد چند روز و بعضی اوقات حتی در حد چند ساعت اشتباه می‌شود، مردم با این اختلاف‌ها چنان خو گرفته‌اند که حتی وقتی که یک هوای گرم پیش‌بینی شده به یک کولاک تبدیل می‌شود کوچک‌ترین شگفتی به خود نمی‌دهند. در مقابل اگر جدول جزر و مد اشتباه پیش‌بینی کند مثلاً یک جزری به مد تبدیل شود احتمالاً شورش می‌شود. البته که این دو سیستم کاملاً متفاوت هستند. وضعیت آب‌وهوا بسیار پیچیده است. چراکه به ده‌ها پارامتر وابسته است از جمله میزان دما، فشار هوا، رطوبت، سرعت باد، و پوشش ابری. جزر و

1. Alexei Sarkowski

2. Theory of Relativity

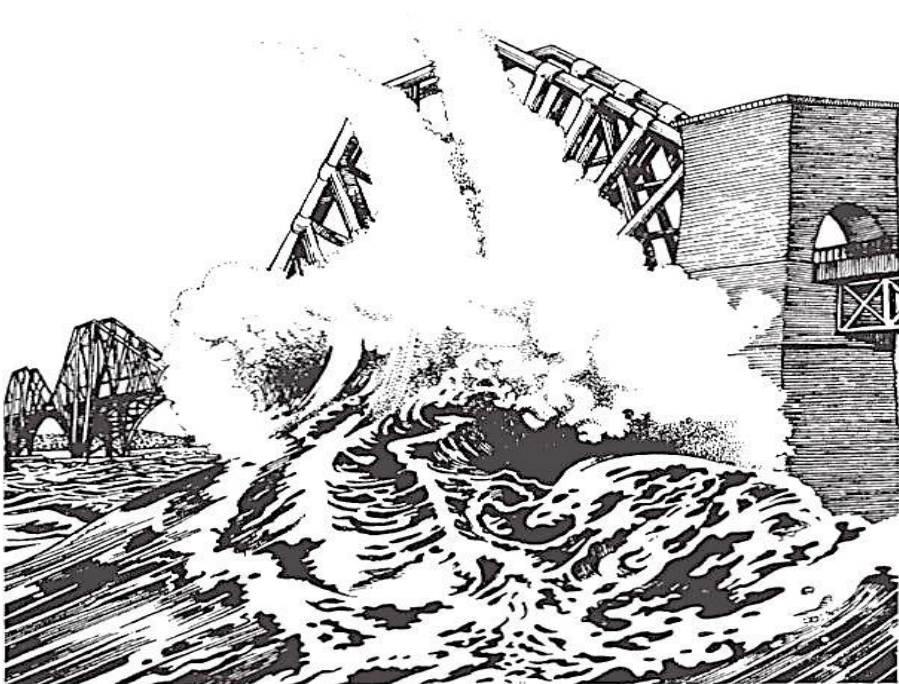
3. Ian Stewart

مدها بسیار ساده‌تر هستند. واقعاً ساده‌ترند؟ ساده‌تر تصور می‌شوند چون که به‌آسانی پیش‌بینی می‌شوند. در واقعیت سیستمی که باعث جذر و مد آب می‌شود درست به همان اندازه متغیر دارد که سیستم دمای هوا دارد. ازجمله شکل نوار ساحلی، دمای دریا، میزان شوری آب، میزان فشار آن، موج‌های روی سطح آب، موقعیت خورشید و ماه و غیره. به هر حال به طریقی، این متغیرها در یک مدل منظم و قابل پیش‌بینی روی هم اثر متقابل دارند. جزر و مد در واقع یک پدیده منظم است؛ اما وضعیت آب‌وهوا در طرف دیگر منظم نیست. در آن متغیرها روی هم اثر نامنظم و غیرقابل پیش‌بینی دارند. وضعیت آب‌وهوا در یک کلمه آشوبناک است.



شکل ۹-۱

وقتی که از جنبه‌های غیرقابل پیش‌بینی وضعیت آب‌وهوا صحبت می‌کنیم درست مثل آن است که از پرتاب یک تاس صحبت کنیم یا اینکه از مسیر نامنظم یک بادکنکی صحبت می‌کنیم که باد آن با فشار خارج می‌شود. چون که هیچ رابطه صریح بین علت و معلول وجود ندارد، گفته می‌شوند که این پدیده‌ها دارای عوامل تصادفی هستند. هنوز دلیل کمی وجود دارد که شک کنیم پیش‌بینی دقیق اساساً امکان‌پذیر است. فرض شده است که تنها کافی است کمیت‌های بیشتری از اطلاعات دقیق‌تر را جمع‌آوری و پردازش کنیم به‌عنوان مثال با استفاده از شبکه‌های مترکم‌تر از ایستگاه‌های وضعیت آب‌وهوا و با کامپیوترهای قدرتمندتر که برای بررسی وضعیت آب‌وهوا ساخته شده‌اند. به‌تازگی برخی از نتایج اولیه نظریه آشوب، این نقطه‌نظر را تغییر داده‌اند. سیستم‌های قطعی ساده با تنها چند عنصر می‌توانند یک رفتار تصادفی تولید کنند، که آن وضعیت تصادفی اساسی است. گردآوری اطلاعات بیشتر باعث از بین رفتن آن حالت تصادفی نمی‌شود. این وضعیت تصادفی اساسی آشوب نامیده می‌شود.



شکل ۱-۱۰