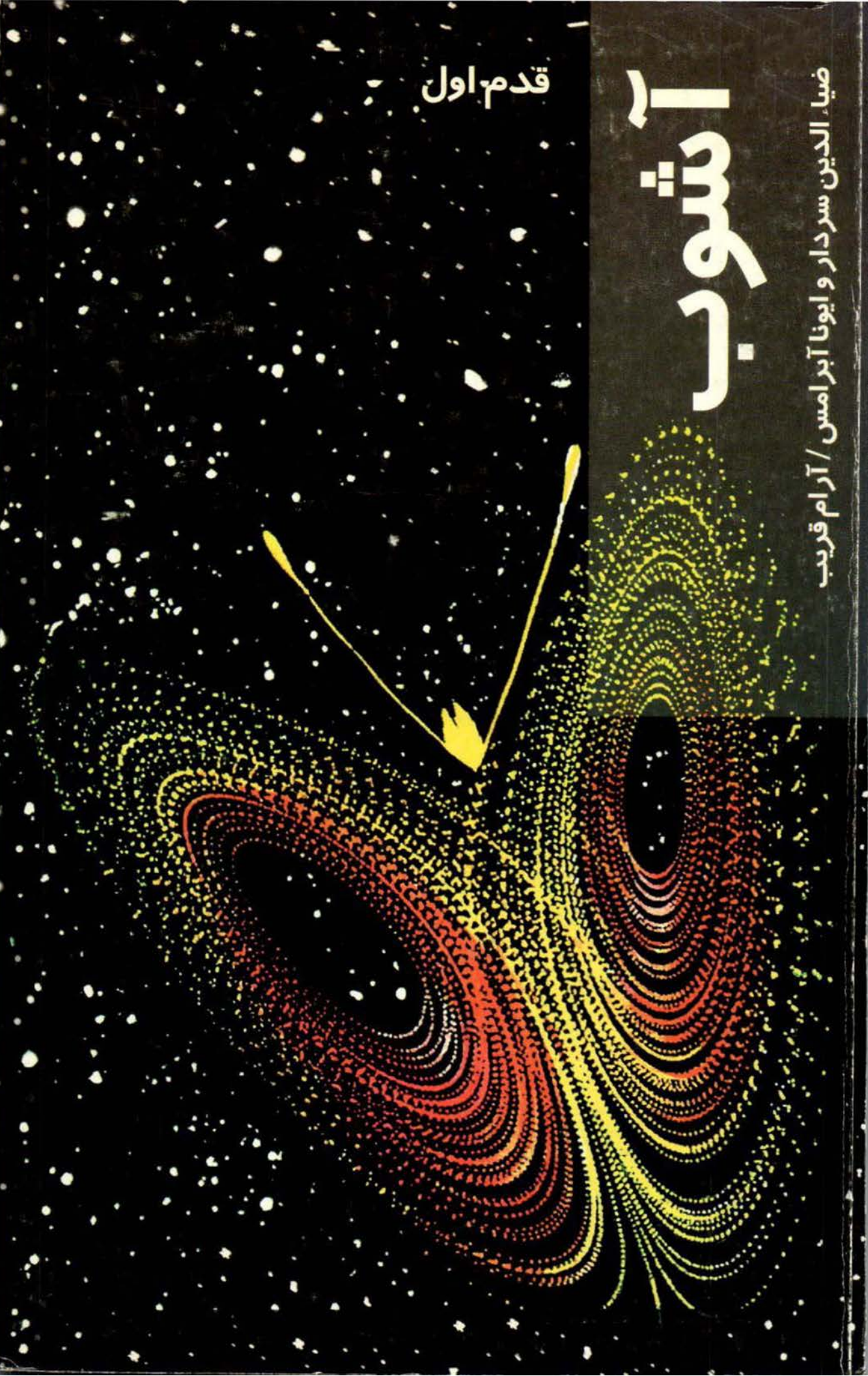
آشوب

ضیاء الدین سردار و ایونا آبرامس / آرام قریب

قدم اول



آشوب

قدم اول

این کتاب ترجمه‌ای است از:

Introducing Chaos

Ziauddin Sardar and

Iwona Abrams

Published by Icon Books Uk and Totem Books USA.

سردار، ضیاءالدین Sardar, Ziauddin

آشوب (قدم اول) / ضیاءالدین سردار؛ نقاش ایونا آبرامز؛ مترجم آرام فریب. ـ تهران: نشر و پژوهش شیرازه، ۱۳۷۹.

۱۷۴ ص. : مصور؛ ۱۴/۵×۲۱/۵ س‌م. ۱۲۰۰۰ ریال ISBN 964-6578-60-8:

فهرستنویسی براساس اطلاعات فیپا.

عنوان اصلی: Introducing chaos.

۱. رفتار آشوبناک در سیستمها. الف. آبرامز، ایونا، Abrams, Iwona، تصویرگر. ب. فریب، آرام، ۱۳۳۸ ـ ، مترجم. ج. عنوان.

۴ س ۷ ر / ۵ / Q ۱۷۲ ۵۳۰/۱۲

۱۳۸۰

کتابخانه ملی ایران

محل نگهداری:

۷۹ - ۲۲۲۷۰ م

آشوب

قدم اول

نویسنده: سردار، ضیاءالدین

نقاش: ایونا آبرامز

مترجم: آرام فریب

طراح جلد: ایما نقشینه

حروفچینی و صفحه‌آرایی: مؤسسهٔ جهان کتاب

لینوگرافی: کوثر

چاپ متن و صحافی: فاروس

چاپ جلد: نفیس

چاپ اول: ۱۳۷۹

تعداد: ۲۲۰۰

حق چاپ و نشر محفوظ است.

تهران. صندوق‌پستی: ۱۱۳۸ / ۱۹۳۹۵

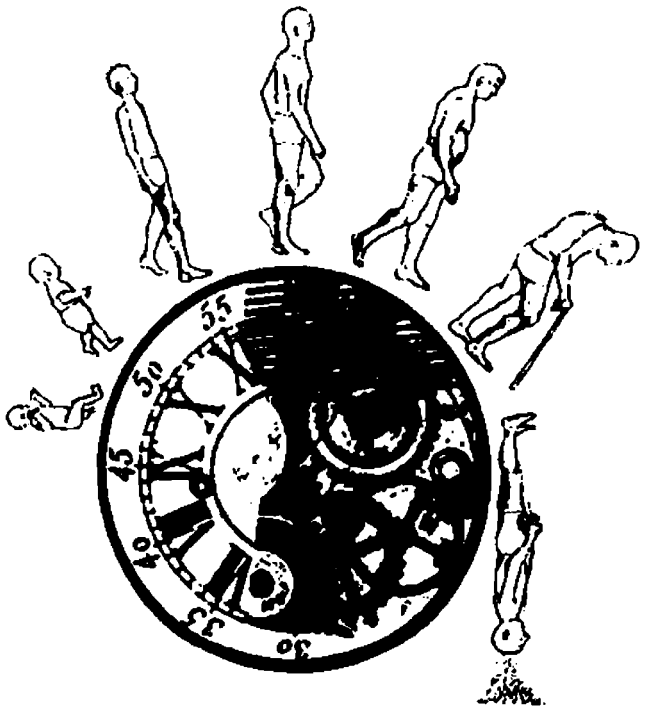
تلفن: ۲۵۶۰۹۸۳

ISBN 964 - 6578 - 60 - 8 ۹۶۴ - ۶۵۷۸ - ۶۰ - ۸

آشوب

قدم اول

نویسنده: ضیاءالدین سردار ـ نقاش: ایونا آبرامز
مترجم: آرام قریب



یین، یانگ و آشوب

در اندیشهٔ چین باستان، وجود ارتباط میان نظم و آشوب امری پذیرفته بود. در اسطوره‌های چینی، اژدها نمایندهٔ رکن نظم، یانگ (yang)، است که از خودِ آشوب سربرمی‌آورد. در برخی از داستان‌های چینی دربارهٔ آفرینش، شعاعی از نور، یین (yin)، از آشوب سربرمی‌آورد و آسمان را می‌سازد. یین و یانگ، ارکان نر و ماده، اقدام به آفرینش جهان می‌کنند. اما یین و یانگ، حتی پس از آن که از آشوب سربرآوردند نیز، کیفیات آن را حفظ می‌کنند. افزونی هریک نسبت به دیگری، آشوب را بازمی‌گرداند.

آشوب در عهد باستان

هزیود (Hesiod)، شاعر یونانی قرن هشتم پیش از میلاد، منظومهٔ پیدایش خدایان (Theogony) را سرود. این اثر، منظومه‌ای با محتوای کیهان‌شناختی است که می‌گوید «نخست آشوب به‌وجود آمد»؛ و سپس زمین و هرآنچه پایدار است. به‌نظر می‌رسد یونیان باستان پذیرفته بودند که آشوب مقدم بر نظم بوده است و، به بیان دیگر، نظم از بی‌نظمی می‌آید.

نظریهٔ آشوب

نظریهٔ آشوب حوزه نو و هیجان‌انگیزی در عالم تحقیق علمی است.

پدیدهٔ آشوب، کشف حیرت‌انگیز و بحث‌برانگیزی است که تا همین یک دههٔ قبل نیز ممکن بود غالب دانشمندانِ معتبر آن را به‌عنوان یک خیال‌پردازی، پَس بزنند.

چرا آشوب هیجان‌انگیز است؟

آشوب به تمام این دلایل هیجان‌انگیز است...

آشوب، با آشکارکردن رابطهٔ میان سادگی و پیچیدگی و همچنین رابطهٔ میان منظم‌بودن و تصادفی‌بودن، میان تجربهٔ هر روزهٔ ما و قوانین طبیعت پیوند برقرار می‌کند.

آشوب، جهانی را می‌نمایاند که، در عین تعیُّن‌پذیر (deterministic) بودن و پیروی از قوانین اساسی فیزیک، ممکن است بی‌نظم، پیچیده و غیرقابل پیش‌بینی نیز باشد.

آشوب نشان می‌دهد که قابل پیش‌بینی‌بودن، (predictability) پدیدهٔ نادری است که تنها در محدودهٔ قیودی که علم از دل چندگانگی پربار جهان پیچیدهٔ ما بیرون کشیده است، عمل می‌کند.

آشوب امکان ساده‌کردن پدیده‌های پیچیده را فراهم می‌آورد.

آشوب، ریاضیات خلاق را با قدرت پردازش حیرت‌آور رایانه‌های جدید تلفیق می‌کند.

آشوب در روال‌های سنتی الگوسازی علم شک می‌کند.

آشوب نشان می‌دهد که برای درک ما از آینده و پیش‌بینی آن، در همهٔ سطوح و در کلیهٔ درجات پیچیدگی، محدودیت‌هایی ذاتی وجود دارد.

آشوب به‌طرز چشمگیری زیباست! شکسپیر به‌درستی از قول هملت می‌گوید (پردهٔ اول، صحنهٔ پنجم)...

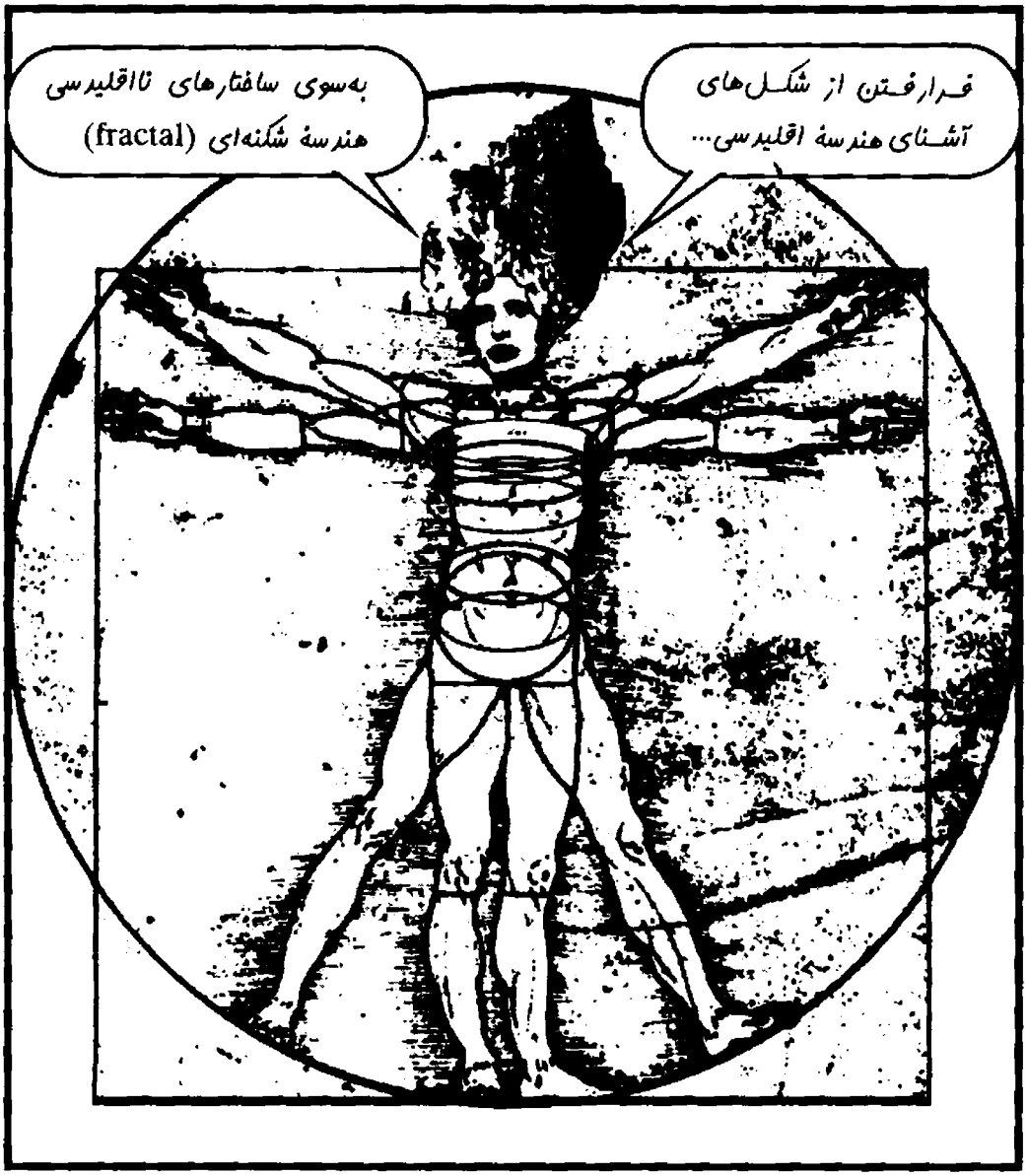
آشوب از کجا می آید؟

آنچه باعث شد واژهٔ آشوب وارد زبان روزمره شود، سه تحول اصلی در سال‌های اخیر است.

۱. قدرت محاسبهٔ مبهوت‌کنندهٔ رایانه‌ها که پژوهشگران را قادر ساخته است که میلیون‌ها محاسبهٔ پیچیده را در چند ثانیه انجام دهند.

۲. همراه با افزایش قدرت محاسبه، توجه علمی به پدیده‌های نامنظم نیز رشد یافته است. پدیده‌هایی چون...

۳. نظریهٔ آشوب هنگامی زاده شد که این تحولات با پیدایش شیوهٔ جدیدی از ریاضیات هندسی تلفیق گردید...



این تحولات تقریباً در همهٔ حوزه‌های فعالیت بشر اثری از خود برجای گذاشته‌اند. نظریهٔ آشوب مانند دریایی است که تقریباً از هر موضوع و رشته‌ای رودها و انشعاب‌هایی به آن می‌ریزد؛ از ریاضیات، فیزیک، ستاره‌شناسی، هواشناسی، زیست‌شناسی، شیمی و پزشکی گرفته تا اقتصاد و مهندسی؛ از مطالعهٔ سیالات و مدارهای برقی گرفته تا مطالعهٔ بازار سهام و تمدن‌ها.

تعریف آشوب

آشوب را به گونه‌های مختلفی تعریف کرده‌اند. این‌ها چند مثال از این تعاریف‌اند:

«نوعی نظم بدون تناوب»

«رفتار به‌ظاهر تصادفی و تکراری در یک سیستم ساده و تعین‌پذیر (مانند ساعت)»

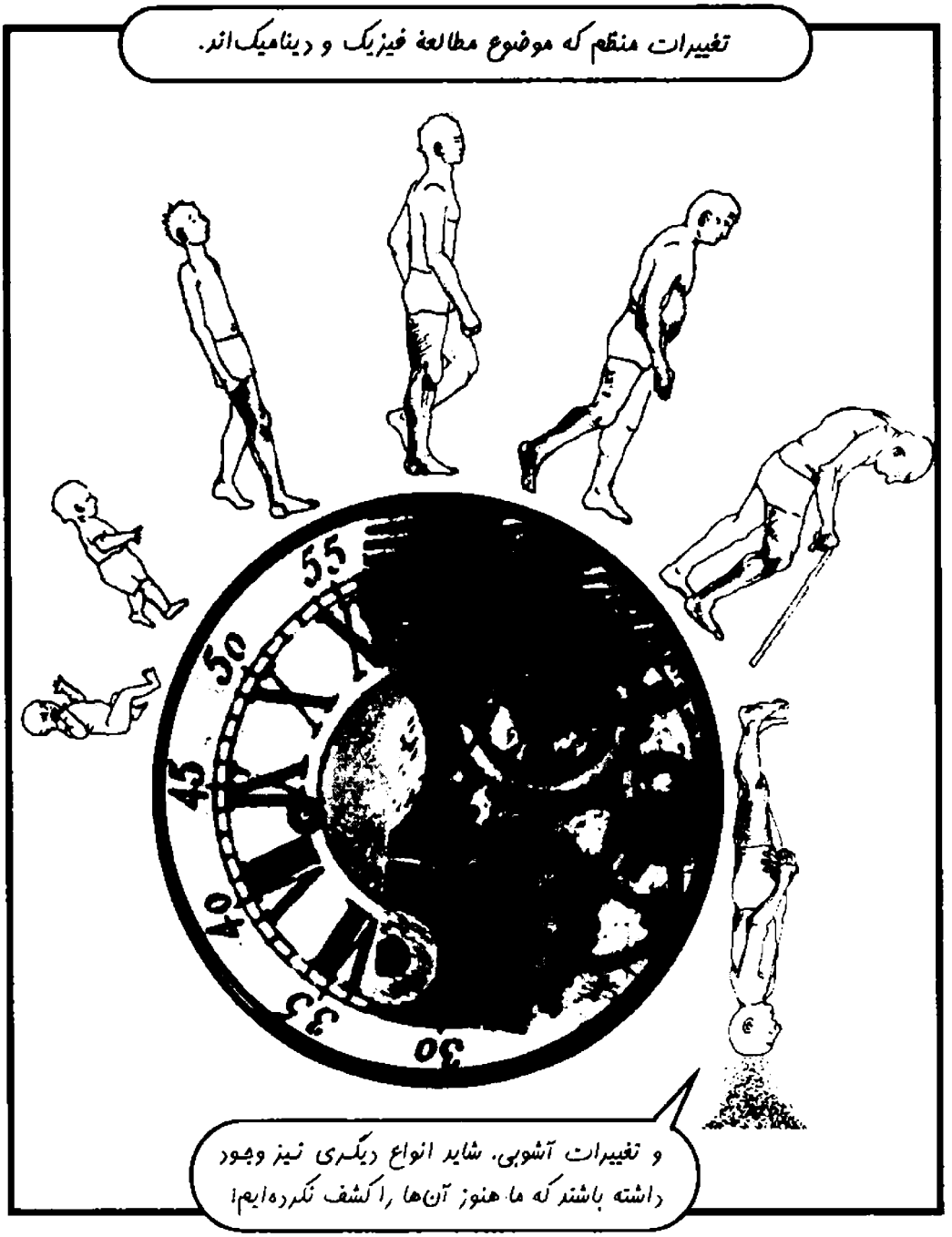
«مطالعهٔ کیفی رفتار ناپایدار غیرتناوبی، در سیستم‌های دینامیک غیرخطی تعین‌پذیر»

و اکنون تعریف دیگری از یان استیوارت، ریاضی‌دانی که در این حوزه مطالعه می‌کند.

فهمیدن تعریف‌های تخصصی آشوب آسان نیست. پس بگذارید از آشنایی با واژگان این نظریه آغاز کنیم.

پویایی (دینامیک)، تغییر و متغیر

آشوب پدیده‌ای پویا (دینامیک) است. آشوب وقتی رخ می‌دهد که چیزی تغییر می‌کند. در اساس، دو نوع تغییر وجود دارد.



متغیر آن چیزی است که در یک وضعیت مفروض، قابل تغییر باشد.

سیستم‌ها

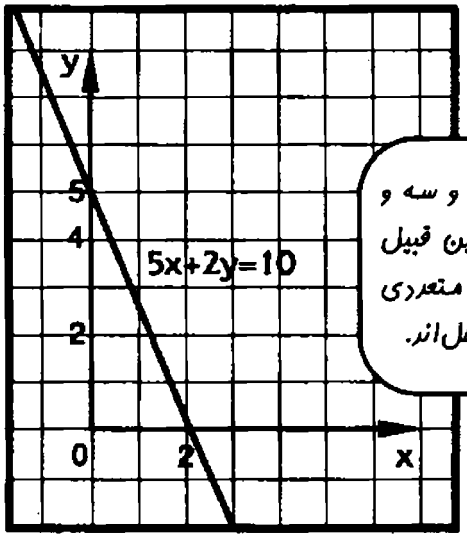
هر موجودیتی که در طول زمان تغییر کند را یک سیستم می‌نامند. بنابراین، سیستم‌ها دارای متغیرهایی هستند. نمونه‌هایی از سیستم‌ها از این قرارند:

تعریف سیستم‌ها

یک سیستم تعین‌پذیر سیستمی است قابل پیش‌بینی، پایدار و کاملاً قابل شناخت. نمونهٔ کلاسیک یک سیستم تعین‌پذیر، ساعت قدیمی پدربزرگ است. روی یک میز بیلیارد، توپ‌ها درون محدودهٔ یک سیستم تعین‌پذیر عمل می‌کنند.

در **سیستم‌های خطی**، متغیرها با هم ارتباطی مستقیم و ساده دارند. به‌زبان ریاضی، یک رابطهٔ خطی به شکل یک معادلهٔ ساده بیان می‌شود که متغیرهای آن فقط به توان یک ظاهر می‌شوند (و هیچ دو متغییری هم در یکدیگر ضرب نمی‌شوند):

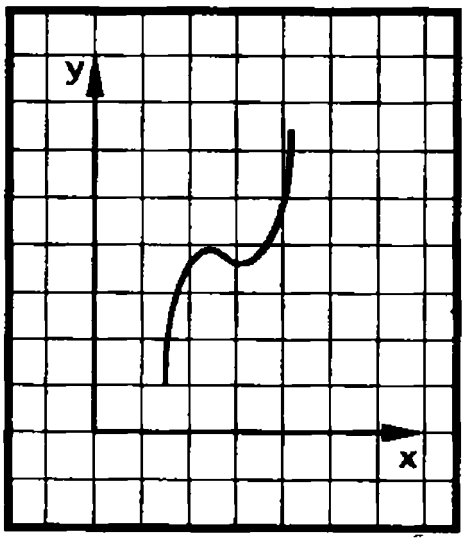
$$x = ۲y + z$$



در این معادله‌ها از توان دو و سه و چهار و غیره اثری نیست. این قبیل معادله‌ها، حتی اگر متغیرهای متعددی داشته باشند، به‌آسانی قابل حل‌اند.

رابطه‌های غیرخطی، حاوی توان‌های غیر از یک متغییر هستند. این نمونه‌ای از یک معادلهٔ غیرخطی است:

$$A = ۳B^{۲} + ۴C^{۳}$$



تجزیه و تحلیل چنین معادله‌هایی به‌مراتب دشوارتر است و غالباً برای فهمیدن آن‌ها نیازمند کمک‌رایانه هستیم.

معادله‌های تناوبی و غیرتناوبی

یک دورهٔ تناوب، فاصلهٔ زمانی‌ای است که با بروز شرایط یا رخدادی خاصّ مشخص می‌گردد. در یک **سیستم تناوبی**، یک متغیر، پس از سپری‌شدن یک فاصلهٔ زمانی ثابت، رفتار گذشتهٔ خود را عیناً تکرار می‌کند؛ یک آونگ در حال نوسان را مجسم کنید.

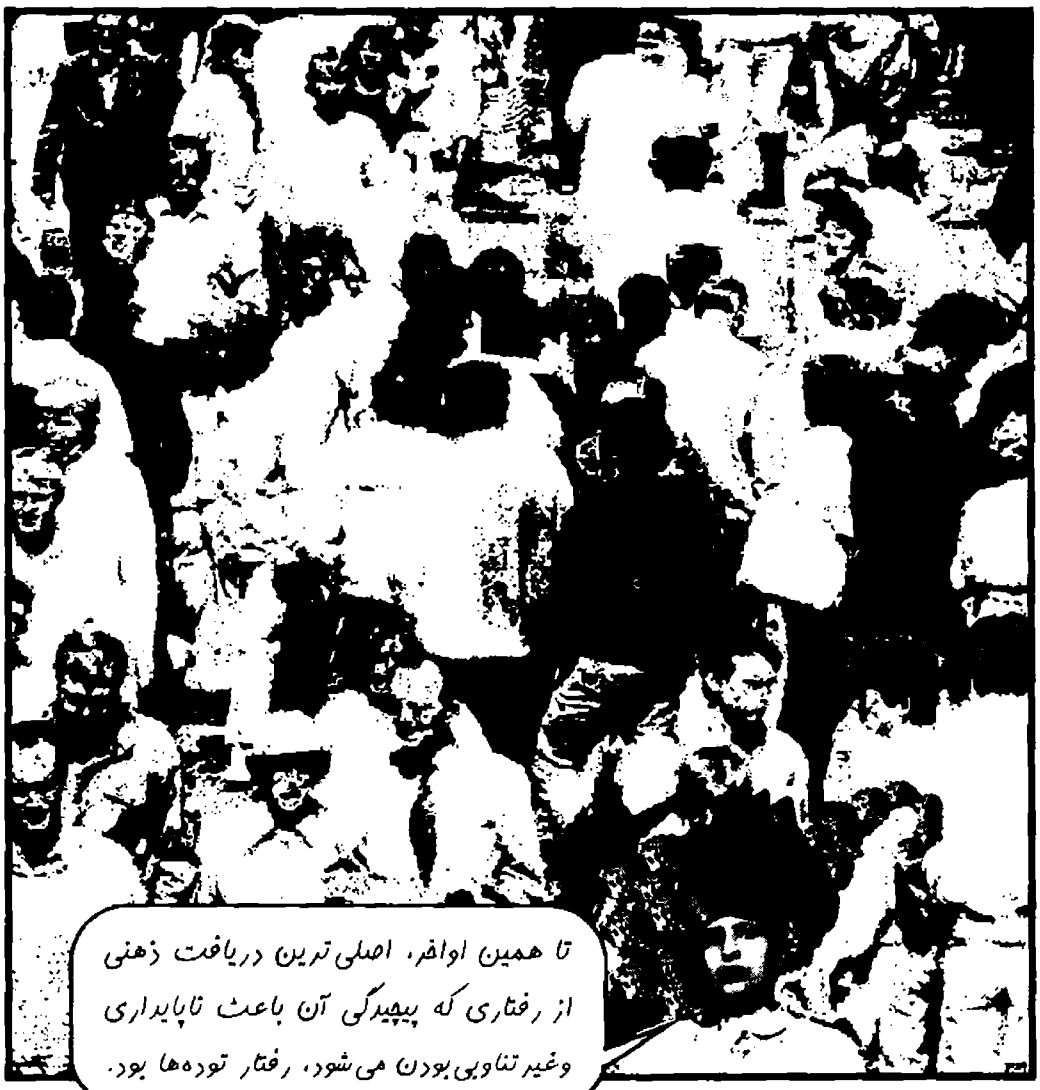
رفتار **غیرتناوبی** هنگامی بروز می‌کند که مقدار هیچ‌یک از متغیرهایی که بر وضعیت سیستم اثر می‌گذارند، به‌طور منظم تکرار نمی‌شود؛ پایین‌رفتن آب در یک دستشویی را درنظر آورید.

رفتار **غیرتناوبی ناپایدار** فوق‌العاده پیچیده است. چنین رفتاری هرگز خود را تکرار نمی‌کند و اثر هر اختلال کوچک سیستم در آن نمایان می‌شود. چنین رفتاری پیش‌بینی‌های دقیق را ناممکن می‌سازد و باعث می‌شود که مقادیر اندازه‌گیری‌شده تصادفی به‌نظر آیند.

در اثر وجود چنین رفتاری است که به‌رغم مشاهدات ماهواره‌ای و الگوهای رایانه‌ای، هنوز پیش‌بینی دقیق وضع هوا ناممکن است.

رفتار غیرتناوبی ناپایدار چیست؟

تصور رفتاری که در عین ناپایداری تناوبی باشد، دشوار است و درواقع چنین چیزی به‌نظر متناقض می‌آید. با این حال، تاریخ بشر چندین نمونه از چنین پدیده‌هایی را به ما عرضه می‌دارد. می‌توان از ظهور و سقوط تمدن‌ها طرح‌هایی کلی ترسیم کرد و مشاهده نمود که این طرح‌ها تناوبی‌اند. اما درحقیقت می‌دانیم که رخدادها هرگز دقیقاً تکرار نمی‌شوند. از چنین دیدگاه واقع‌گرایانه‌ای، تاریخ غیرتناوبی است. از خواندن کتاب‌های تاریخ نیز می‌توانیم دریابیم که رخدادهای به‌ظاهر کوچک و بی‌اهمیت، در جریان امور زندگی انسان‌ها، به تغییرهای دیرپا انجامیده است.



حال که دریافت ما تغییر کرده است، رفتار غیرتناوبی ناپایدار را حتی در عادی‌ترین رخدادها نیز می‌بینیم: چکه‌کردن آب از یک شیر، تکان‌خوردن یک پرچم در نسیم، نوسانات جمعیت جانوران.

سیستم‌های خطی

به این‌ترتیب، به بیان ساده، آشوب عبارت است از بروز رخدادهای غیرتناوبی و به‌ظاهر تصادفی در یک سیستم تعین‌پذیر. در آشوب نظم هست و در نظم آشوب نهفته است. این دو به مراتب بیش از آنچه ما قبلاً فکر می‌کردیم در ارتباط تنگاتنگ قرار دارند.

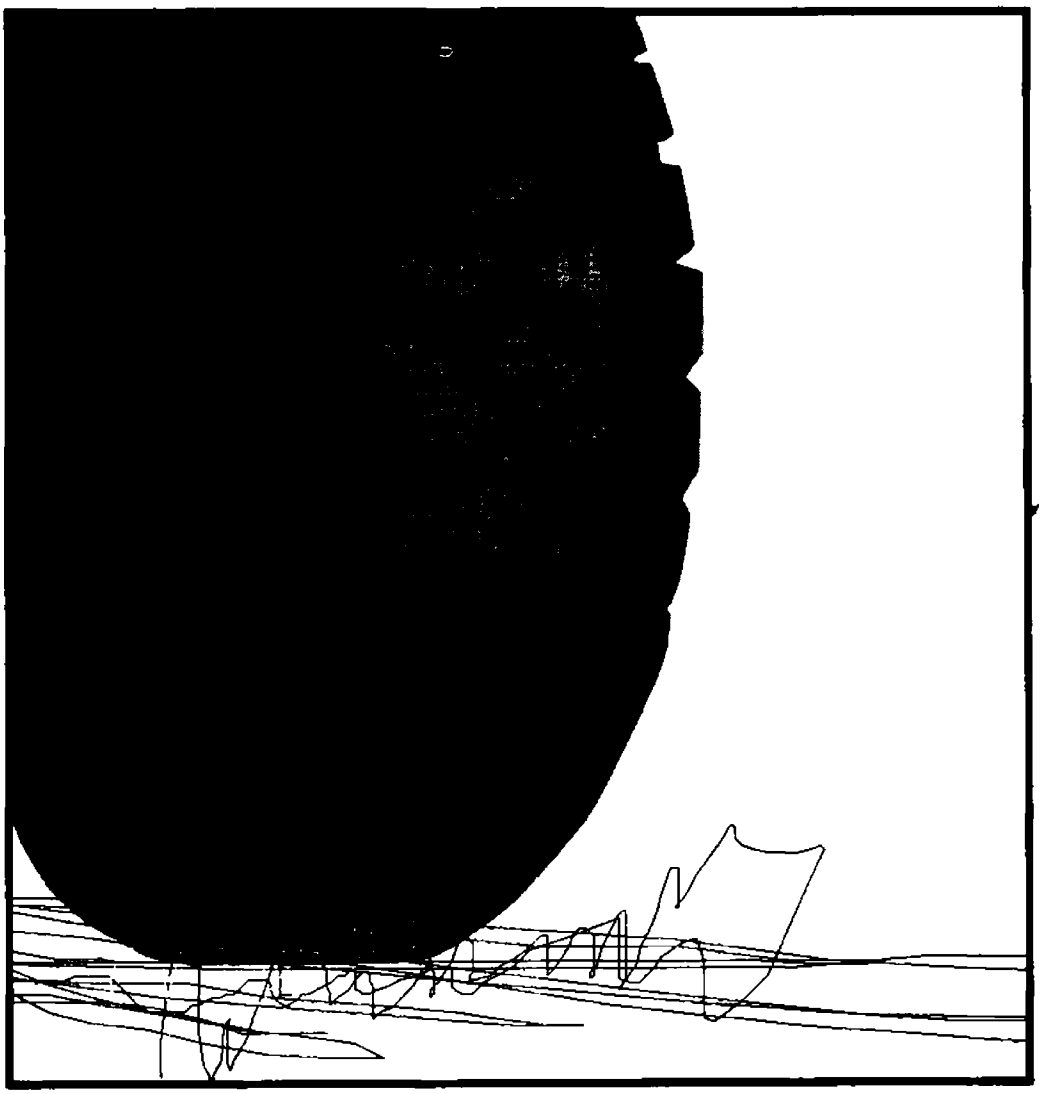
اما از آنجا که سیستم‌های تعین‌پذیر، قابل پیش‌بینی و پایدارند، این گفته به‌نظر غیرمنطقی می‌آید. بنا به عادت، انسان‌ها همواره در آنچه مشاهده می‌کرده‌اند، در جست‌وجوی الگوها و رابطه‌های خطی بوده‌اند.

به بیان دیگر، نمودار رابطه‌های خطی، یک خط راست است و برای ما معلوم است که این خط به کجا می‌رود. رابطه‌ها و معادله‌های خطی قابل حل‌اند و درنتیجه فکرکردن به آن‌ها و کارکردن با آن‌ها آسان است.

پیچیدگی‌های غیرخطی

معادله‌های غیرخطی غیرقابل حل‌اند. برای نمونه، اصطکاک غالباً به‌دلیل غیرخطی‌بودن (nonlinearity) کارها را مشکل می‌کند. وقتی که اصطکاک نباشد مقدار نیروی لازم برای شتاب‌دادن به یک شیء به شکل یک معادلهٔ خطی بیان می‌شود...

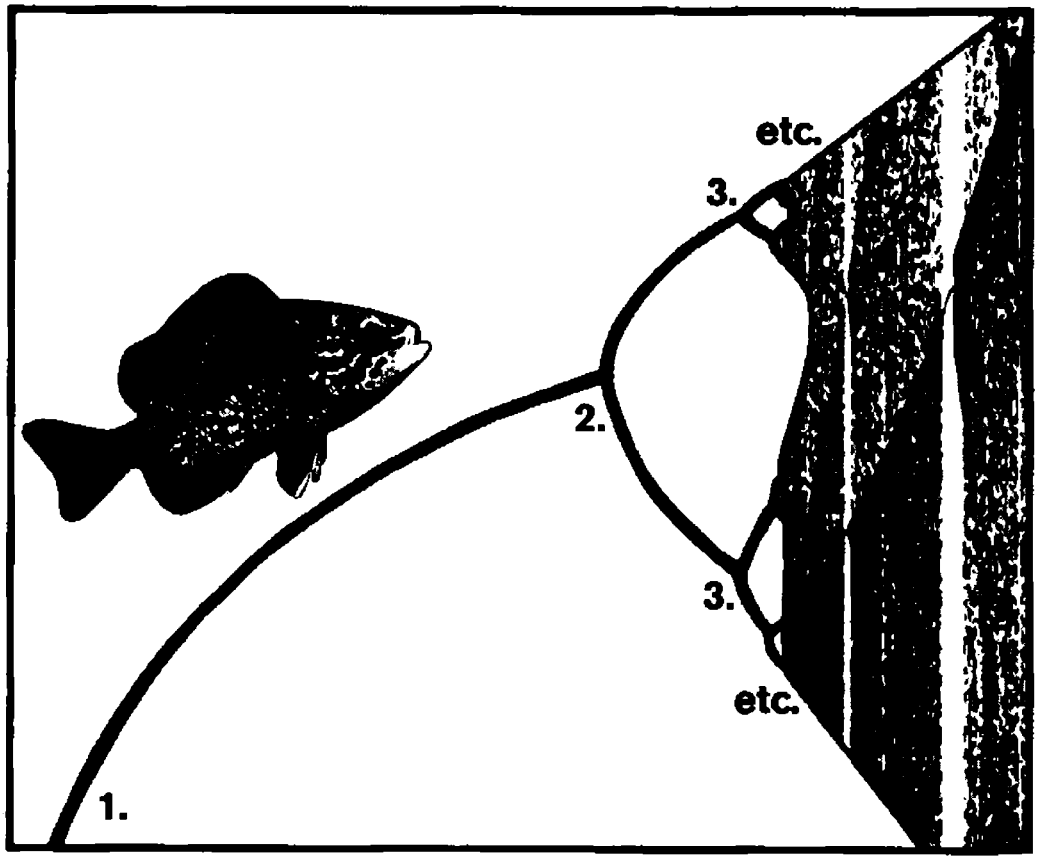
نیرو = جرم × شتاب



اصطکاک باعث پیچیده‌شدن قضایا می‌شود چون با وجود آن مقدار نیروی لازم برحسب سرعت حرکت شیء تغییر می‌کند.

بنابراین، غیرخطی‌بودن، قوانین تعین‌پذیر درون یک سیستم را تغییر می‌دهد و پیش‌بینی آنچه به‌وقوع خواهد پیوست را دشوار می‌کند.

در تاریخ آشوب نمونهٔ معروفی از رابطهٔ غیرخطی وجود دارد. زیست‌شناسی به‌نام رابرت می (Robert May) بر روی جمعیت فرضی‌ای از ماهی‌ها مطالعه می‌کرد. الگوی ریاضی مورد استفادهٔ او معادلهٔ $x_{\text{بعدی}}=rx(1-x)$ بود که در آن x جمعیت فعلی ماهی‌ها در یک منطقه را نشان می‌داد. هنگامی که پارامتر r (نرخ رشد) برابر ۲/۷ قرار می‌گرفت، مقدار جمعیت ۰/۶۲۹۲ به‌دست می‌آمد.



۱. همراه با افزایش مقدار پارامتر، جمعیت نهایی نیز به‌آهستگی افزایش می‌یافت و بر روی صفحه خطی را رسم می‌کرد که از چپ به راست بالا می‌رفت.

۲. وقتی پارامتر از ۳ می‌گذشت، ناگهان خط دونیمه می‌شد و می‌دو منحنی برای دو مقدار جمعیت نهایی به‌دست می‌آورد. این دوشاخه‌شدن به این معنی بود که رشد جمعیت از یک دورهٔ یک‌ساله به یک دورهٔ دوساله گذار کرده است.

۳. با افزایش بیشتر پارامتر، تعداد نقاط مکرراً دوبرابر و دوبرابر می‌شد. این رفتار در عین پیچیدگی، هنوز منظم بود. از یک نقطه به بعد، منحنی شکلی کاملاً آشوب‌زده به‌خود می‌گرفت و کاملاً پر از نقطه‌های سیاه می‌شد. با این حال، در میان آشوب نیز، با افزایش مقدار پارامتر، چرخه‌های پایدار پدیدار می‌شدند.

در جهان واقعی بیشتر نیروها غیرخطی‌اند. پس چرا ما این نکته را پیشتر کشف نکرده‌ایم؟ به دلیل این که رفتارهای آشوب‌زده تا به‌حال مطالعه نشده‌اند این است که دانشمندان برای تحلیل مسائل دشوار غیرخطی، آن‌ها را به مسائل خطی ساده‌تر تقلیل می‌داده‌اند. کار **گالیله** دربارهٔ جاذبه، نمونهٔ خوبی است. **گالیله** (۱۶۴۲ـ۱۵۶۴)، فیزیکدان ایتالیایی، برای رسیدن به نتایج شسته و رفته، از عوامل غیرخطی کوچک چشم‌پوشی می‌کرد.

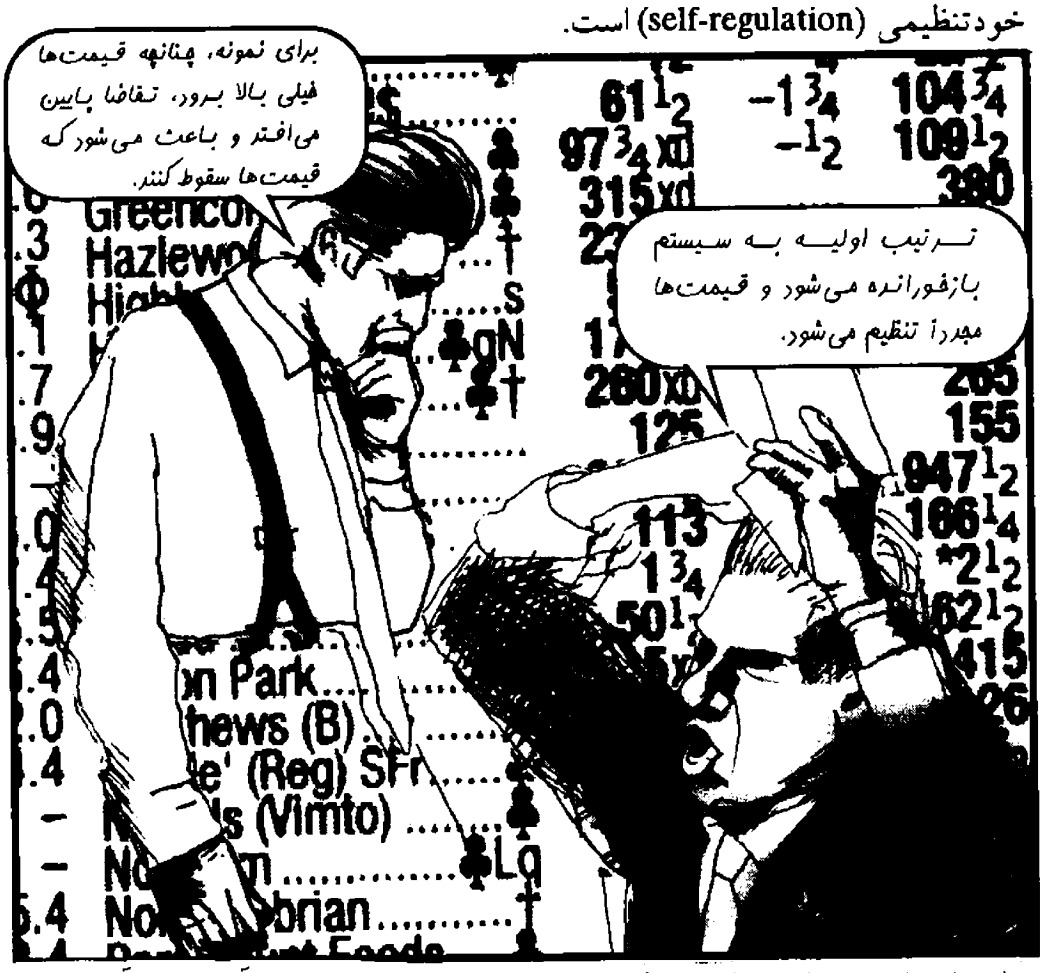
از زمان پیدایش علم «جدید»، جهانی که ما در آن زندگی کرده‌ایم همواره چنان بوده که گویی پلاتیپوس تنها جاندار موجود در هستی بوده است!

بازخورد (Feedback)

بازخورد نیز، مانند غیرخطی‌بودن، در رخدادهای زندگی واقعی چیزی رایج است. بازخورد، خصیصهٔ سیستم‌هایی است که خروجی، یا نتیجهٔ آن بر ورودی سیستم اثر می‌گذارد و به این ترتیب عملکرد آن را تغییر می‌دهد.

رایج‌ترین موقعیت مشاهدهٔ بازخورد هنگامی است که از یک میکروفون استفاده می‌کنیم. بخشی از سیگنال خروجی، به‌معنای واقعی کلمه، به سیستم «بازخوانده می‌شود» و باعث سوت‌های گوش‌خراشی می‌شود که متخصصان صدابرداری و موسیقی‌دان‌ها از آن وحشت دارند. البته بازخورد می‌تواند مفید هم باشد: هنگامی که، برای تولید موج تقویت‌شده، خروجی تقویت‌کننده را مخصوصاً به درون سیستم بازمی‌فرستند.

بازخورد را در تالار معاملات سهام نیز می‌توان مشاهده کرد که درواقع شکلی از خودتنظیمی (self-regulation) است.



حلقه‌های بازخورد را می‌توان در واکنش‌های شیمیایی نیز دید یعنی در آنجایی که آنزیمی، یک کپی از خود را تولید می‌کند؛ این یک حلقهٔ بازخورد مثبت است که در شیمی آلی بسیار رایج می‌باشد و هنگامی رخ می‌دهد که DNA به یک ارگانیسم زنده بدل می‌شود.

اما گرایش دانشمندان این بوده است که بازخورد را نادیده بگیرند تا الگوهای ساده‌ای بسازند که در کار و مطالعه آسان‌تر باشند. آن‌ها از بازخورد و پیچیدگی‌های آن خبر داشتند اما آن را نمی‌فهمیدند. برای مثال، مطالعهٔ جمعیت، به‌عنوان یک سیستم خطی ساده، بسیار آسان‌تر از مطالعهٔ آن به‌عنوان سیستمی است که درگیر بازخورد و پیچیدگی است.

سیستم‌های نوسانی به این دلیل آشوب‌زده می‌شوند که یک عنصر بازخورد دارند. رفتار آشوب‌زده نتیجهٔ نیروهای غیرخطی‌ای است که بر روی خود بازگردانده شده‌اند. به این می‌گویند بازخورد غیرخطی که یک پیش‌نیاز اساسی آشوب است. حال به مثالی از یک بازخورد غیرخطی بپردازیم.

مسئلهٔ سه جسم

مثالی از یک سیستم خطی ساده که بازخورد غیرخطی را به نمایش می‌گذارد، مسئلهٔ کلاسیک جاذبهٔ «سه جسم» است. درنظر بگیرید که یک ماه به دور سیاره‌ای می‌گردد. مسیر حرکت ماه کاملاً شناخته‌شده است؛ این مسیر توسط قوانین ریاضی جاذبهٔ سِر ایزاک نیوتن (۱۷۲۷ـ۱۶۴۲) تشریح شده است.

نتیجه این است که معادلات تعین‌پذیر سادهٔ حکمفرما بر این سیستم سه جسمی، «غیرقابل حل»اند. این معادلات نمی‌توانند مسیر ماه‌های در حال گردش را در بلندمدت پیش‌بینی کنند.

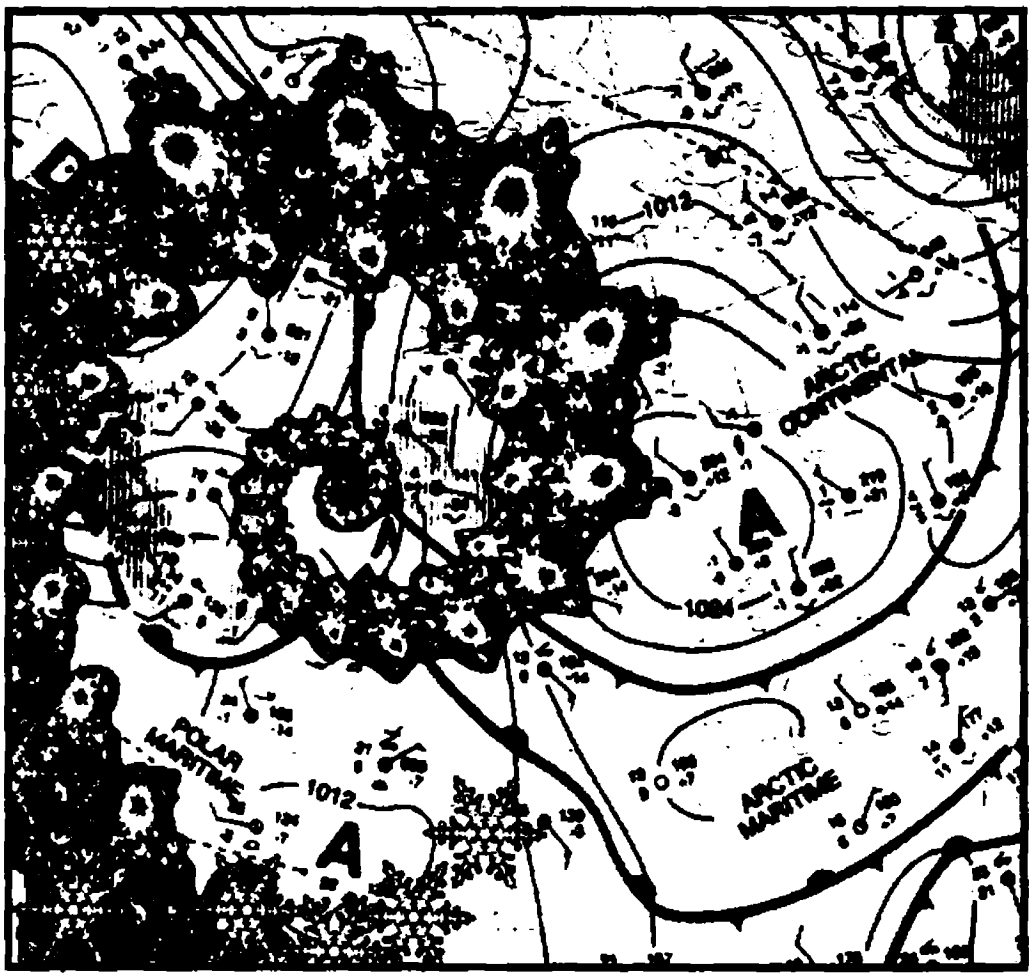
دلیل این که چرا مسئلهٔ سه جسم نمی‌تواند حل شود این است که جاذبه، یک نیروی غیرخطی (مشخصاً نیرویی «متناسب با عکس مجذور») است و در یک سیستم سه‌جسمی هر جسم نیروی خود را بر دو جسم دیگر وارد می‌آورد. این وضعیت بازخورد غیرخطی ایجاد می‌کند و به حرکت آشوب‌زده در مدار ماه‌ها منجر می‌شود. اما مسئلهٔ سه جسم را ما اکنون «حل» کرده‌ایم؛ به این ترتیب که نشان داده‌ایم مدارها ذاتاً غیرقابل پیش‌بینی‌اند. تا چندسال پیش از این، به چنین راه‌حلی ممکن بود به دیدهٔ کُفرِ علمی نگریسته شود.

ایمانوئل ولیکوفسکی (۱۹۷۹ـ۱۸۹۵)، پژوهشگر کتاب مقدس، در کتابش به‌نام *جهان‌های در برخورد* (*Worlds in Collision*) که در سال ۱۹۴۸ منتشر کرد، مدعی شد که در حوالی سال ۱۰۰۰ پیش از میلاد، مدارهای مریخ و زهره به‌طرز چشمگیری تغییر کرده است؛ او به‌خاطر همین ادعایش به‌عنوان یک آدم عوضی از دایرهٔ ستاره‌شناسان طرد شد اما فرضیهٔ او در حل پاره‌ای دشواری‌ها درارتباط با وقایع‌نگاری جهان باستان، کمک مؤثری نمود.

الگوسازی آشوب

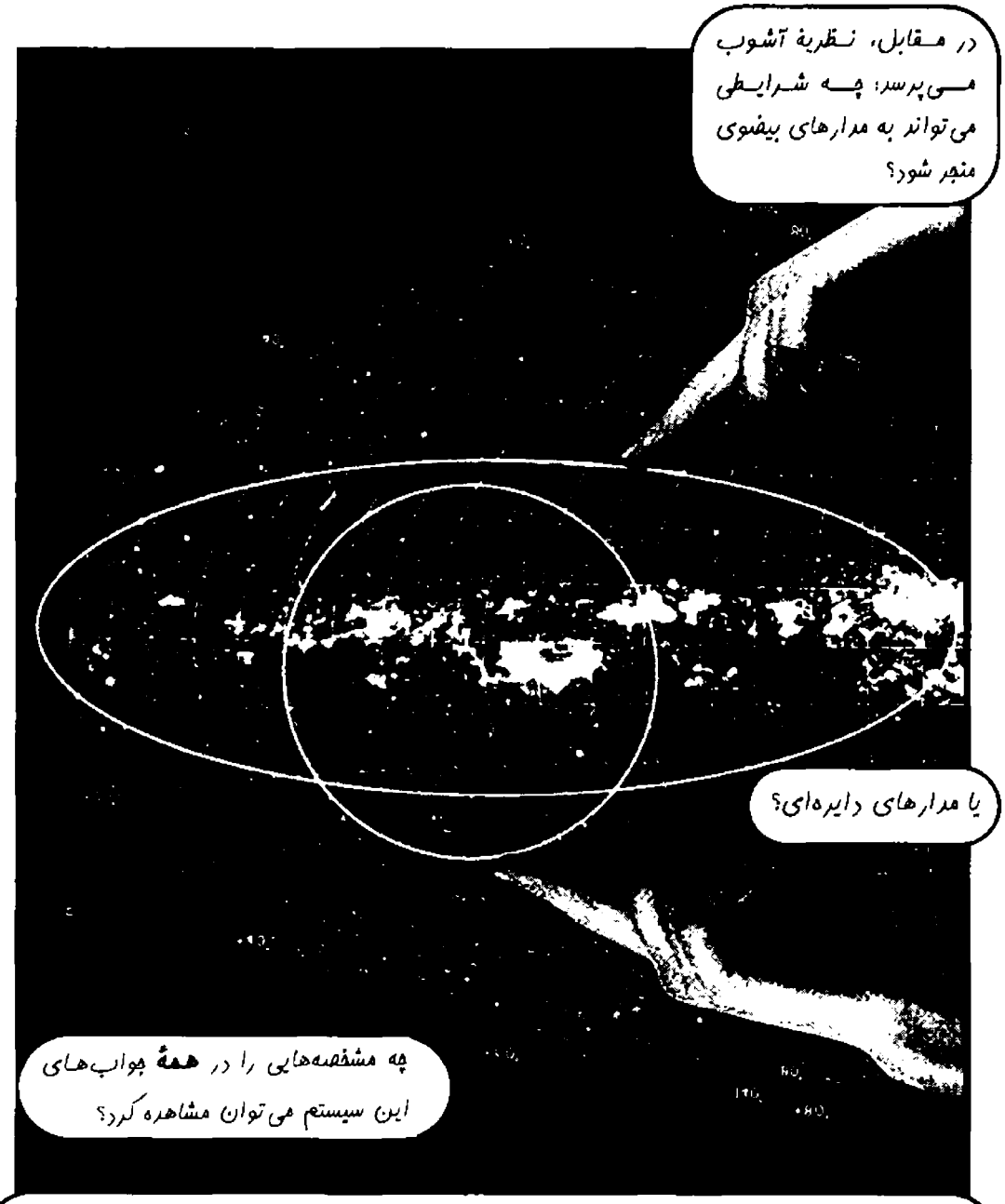
در طول دو دههٔ گذشته، دانشمندان در حوزه‌های متنوع و بسیار پراکنده‌ای چون پیش‌بینی وضع هوا، مکانیک سیالات، شیمی و زیست‌شناسی جمعیت، برای پدیده‌های طبیعی الگوهایی ساخته‌اند که در آن، غیرخطی‌بودن و بازخورد نیز ملاحظه شده است. در این الگوها دو خصیصهٔ ناهمخوان به‌چشم می‌خورد. اول این‌که فقط از چند معادلهٔ ساده تشکیل شده‌اند. دوم این‌که راه‌حل‌های این معادله‌ها، پیچیده و گاه غیرقابل پیش‌بینی‌اند. تجزیه و تحلیل این الگوها و رفتارهای مربوط به آن‌ها در حین آزمایش، آن چیزی است که امروزه به‌نام «نظریهٔ آشوب» می‌شناسیم.

اگر معادلهٔ سادهٔ (حاصل = $x^2 + c$) را درنظر بگیریم که در آن x یک عدد مختلط متغیر و c یک عدد مختلط ثابت است، و مرتباً حاصل را به عدد متغیر (x) باز بخورانیم ــ یعنی معادله را *تکرار* کنیم ــ اشکال آشوب‌زده‌ای مانند این ایجاد خواهد شد...



پرسش‌هایی دربارهٔ رفتار بلندمدت

کار نظریهٔ آشوب طرح پرسش‌هایی دربارهٔ رفتار بلندمدت یک سیستم است. نظریهٔ آشوب به‌جای پیش‌بینی وضعیت آتی یک سیستم، با تمرکز بر روی رفتار ناپایدار و غیرتناوبی، سعی در بررسی کیفی سیستم دارد. برای نمونه، ستاره‌شناسیِ متعارف می‌خواهد بداند که در یک سیستم متشکل از سه سیاره، چه موقع سیاره‌ها در یک راستا قرار می‌گیرند.



این سیستم، هنگام گذار از یک شکل رفتار به شکل دیگر، چگونه تغییر می‌کند؟

امضای آشوب

خصیصهٔ بارز سیستم‌های موضوع بررسی نظریهٔ آشوب این است که می‌توان در سیستم‌هایی که از نظر ریاضی ساده‌اند، رفتارهای ناپایدار و غیرتناوبی یافت. الگوهای ریاضی بسیار ساده‌ای که به‌دقت هم تعریف شده‌اند رفتارهایی از خود نشان می‌دهند که به‌طرز حیرت‌انگیزی پیچیده‌اند.

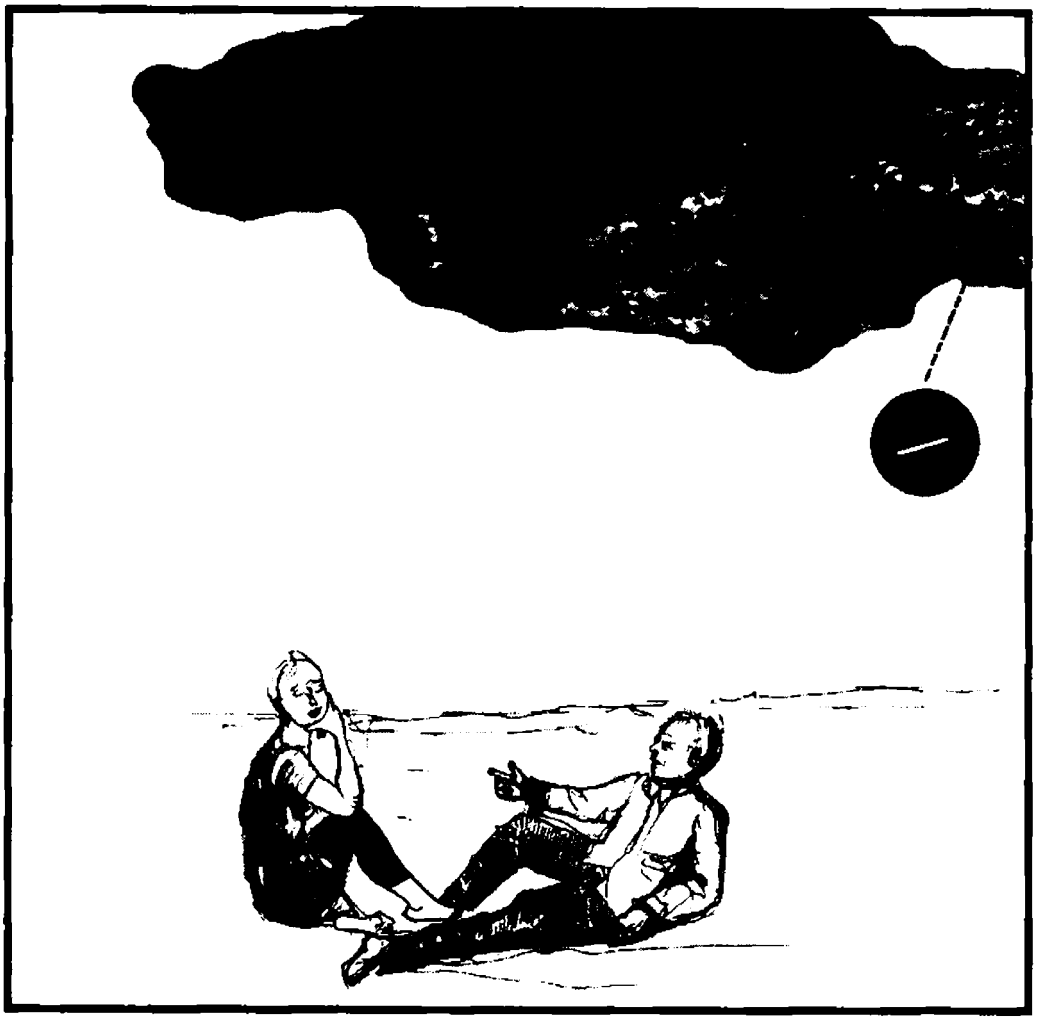
دیگر خصیصهٔ بارز سیستم‌های آشوبی، وابستگی حسّاس آن‌ها به شرایط اولیهٔ است ــ تغییرات بی‌نهایت کوچک اولیه به تغییرات بزرگتر بعدی می‌انجامد. این رفتار را امضای آشوب می‌نامند.

برخی دیگر آن را همچون مرز و محدودیتی می‌دانند که دانش بشر علیه آن عَلَم مبارزه برافراشته است ــ نقطه‌ای که در آن طبیعت حکم می‌کند: «از این‌جا نمی‌توانی فراتر بروی».

شیطان کوچک

داوید روئل یک فیزیک‌ـریاضی‌دان است. او برای توضیح وابستگی حسّاس، داستان زیر را نقل می‌کند. «شیطان کوچک، که ظاهراً کار دیگری ندارد بکند، تصمیم می‌گیرد حرکت یکی از الکترون‌ها را در جو تغییر دهد. اما شما متوجه نمی‌شوید. هنوز متوجه چیزی نمی‌شوید. بعد از یک دقیقه، ساختار تلاطم موجود در هوا تغییر کرده است. هنوز هم به نظرتان هیچ چیز عیب و ایرادی ندارد. اما چند هفته که می‌گذرد تغییر، ابعاد به‌مراتب گسترده‌تری به‌خود می‌گیرد و هنگامی که مشغول پیک‌نیک و صرف ناهار هستید، آسمان از هم می‌شکافد و طوفانی سهمگین آغاز می‌شود.

حالاست که تازه متوجه می‌شوید شیطان کوچک چه کرده است. درواقع نیت او این بود که شما را در یک سانحهٔ هوایی به‌قتل برساند، منتها من منصرفش کردم.»



حال اجازه دهید نگاهی به تاریخچهٔ نظریهٔ آشوب بیندازیم و با افرادی که در تبیینِ آن سهمی داشته‌اند آشنا شویم.

بُنوا ماندِلبُرت و هندسهٔ شِکنه‌ای (فراکتالی)

بُنوا ماندلبرت (متولد ۱۹۲۴) یک فیزیک‌ـریاضی‌دانِ فرانسویِ لهستانی‌الاصل است. او در شرکت IBM کار می‌کرد و **هندسهٔ شِکنه‌ای** را پدید آورد که در پیدایش نظریهٔ آشوب نقشی کلیدی داشت. او قسمت عمدهٔ کار پیشگامانهٔ خود را در سال‌های دههٔ ۱۹۷۰ به انجام رساند و یافته‌های خود را در کتاب علمی و ادیبانه‌ای به‌نام *شِکنه‌ها: اشکال، شانس و ابعاد* چاپ کرد. هیچکس در آن هنگام متوجه نشد که او دقیقاً راجع به چه چیز بحث می‌کند ــ عمدتاً به این دلیل که درک کُنه متن نوشته دشوار بود. در سال ۱۹۷۷ روایت پالایش‌شده‌تری از آن کتاب، تحت عنوان *هندسهٔ شِکنه‌ای طبیعت*، به‌چاپ رسید و هندسهٔ شِکنه‌ای توجه و تخیل دانشمندان را به‌خود جلب کرد.

آشوب و نظم در اقتصاد

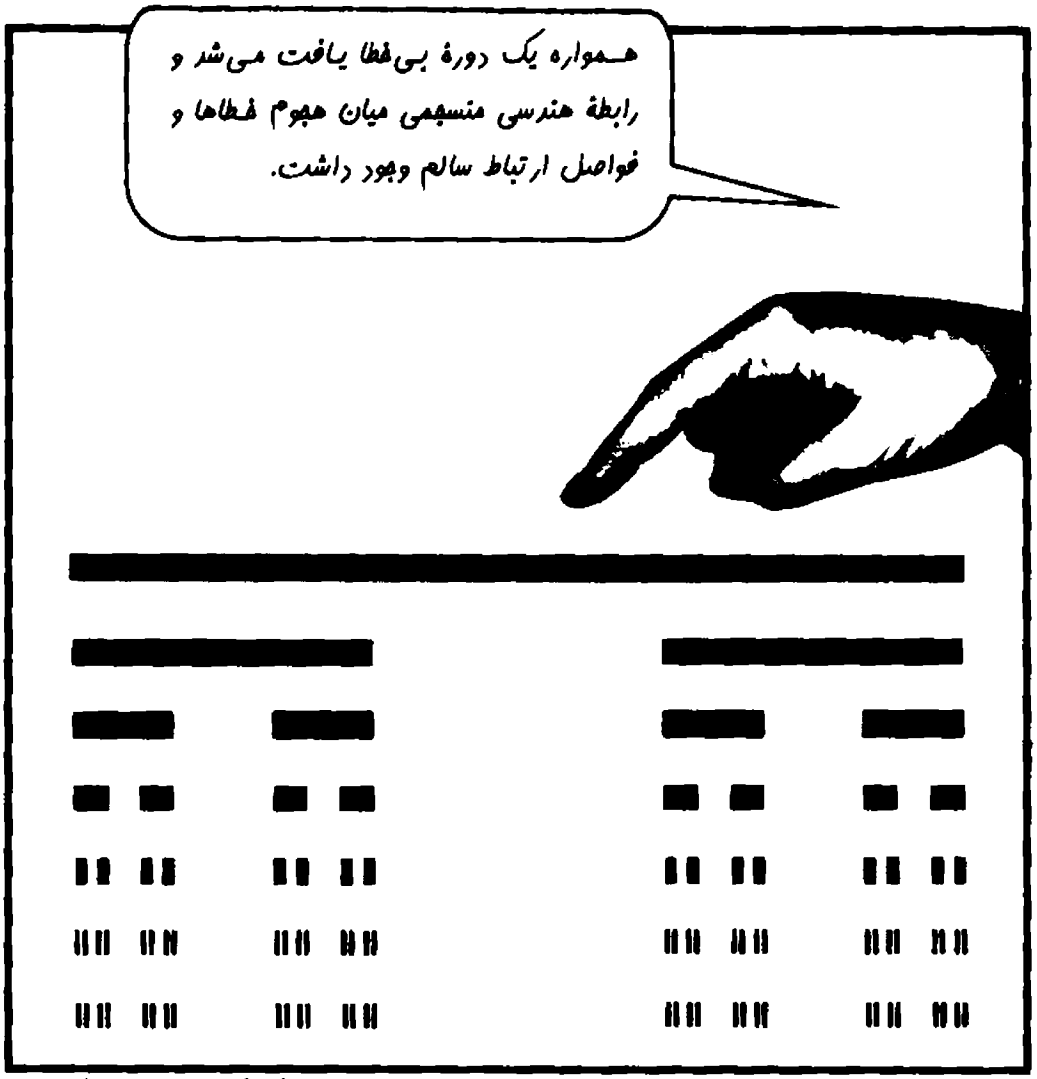
مـاندلبرت، ریـاضی‌دانِ هـمه‌فن‌حریف، کـارش را در زمـینهٔ اقـتصاد آغـاز کـرد. اقتصاددان‌ها برآن بودند که تغییرات کوچک و گذرا هیچ ربطی به تغییرات گسترده و بلندمدت ندارند. ماندلبرت به بررسی این موضوع پرداخت، اما تغییرات کوچک را از تغییرات بزرگ جدا نکرد. او به سیستم به‌عنوان یک کل نگاه کرد.

درواقع منحنی تغییرات روزانه و ماهانهٔ قیمت‌ها کاملاً بـرهم مـنطبق بـود. درجـهٔ تغییرات در طول شصت‌سال ثابت مانده بود. در این فاصله، دو جنگ جهانی و یک دورهٔ رکود حادث شده بود. به‌عبارت دیگر در آشوب نظم وجود داشت.

آشوب در خطوط تلفن

ماندلبرت همچنین بر روی خطوط تلفنی که برای انتقال اطلاعات بین رایانه‌ها استفاده می‌شود، کار کرد. مسئلهٔ پارازیت خطوط، مهندسان ارتباطات را سردرگم کرده بود. در این خطوط، جریان برق، اطلاعات را در «بسته‌های گسسته» حمل می‌کند. اما بعضی پارازیت‌های خودبه‌خودی را نمی‌توان حذف کرد. چنین پارازیت‌هایی گاه ممکن است باعث تخریب سیگنال و بروز خطا بشود. اختلال‌های اینچنینی تصادفی‌اند، اما با این حال به صورت گروهی حادث می‌شوند.

ماندلبرت توانست ساعتی از روز را پیدا کند که در آن ارتباط بدون بروز هیچ خطایی برقرار می‌شد. اما وقتی یک ساعت از ارتباط را که دارای خطا بود به دو نیمه تقسیم کرد، باز یک دورهٔ بی‌خطا و یک دورهٔ خطادار یافت. این اتفاق باز هم، وقتی دورهٔ خطادار را دونیمه کرد، رخ داد: یک دورهٔ بی‌خطا و یک دورهٔ خطادار.

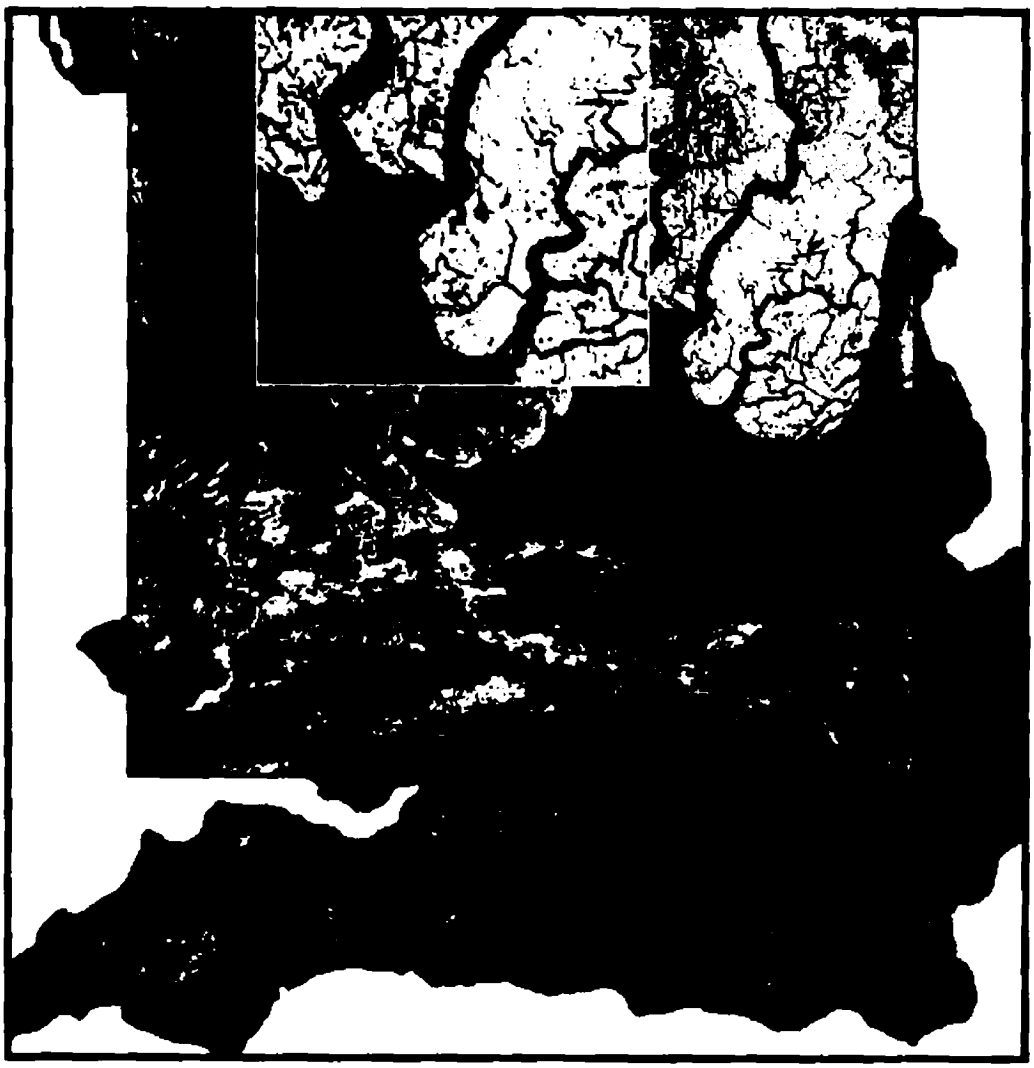


این پدیده برای مهندسان غیرقابل فهم بود اما ریاضی‌دان‌ها با آن آشنا بودند و آن را به‌نام **مجموعهٔ کانتور** می‌شناختند ــ این مجموعه شکلی است که به این ترتیب به‌دست می‌آید: حذف پاره‌ای از یک خط، سپس حذف پاره‌ای از پاره‌خط‌های باقی‌مانده، تا بی‌نهایت. دست آخر غباری از نقاط باقی می‌ماند که در دسته‌هایی گرد آمده‌اند. به‌جای افزودن بر شدت جریان برای خفه‌کردن اختلال، به مهندسان توصیه شد که سیگنال خفیف‌تری را به‌کار بگیرند و این واقعیت را که خطا رخ خواهد داد بپذیرند. درعوض آن‌ها باید راهی پیدا می‌کردند تا خطاها را به تله بیندازند و تصحیح کنند.

اندازه‌گیری ساحل

ماندلبرت در یکی از مقالات معروفش این پرسش را طرح کرد: «طول ساحل انگلستان چقدر است؟» فرض کنید ما طول ساحل انگلستان را با یک متر چوبی اندازه بگیریم. پاسخ تقریبی خواهد بود چراکه شکاف‌ها و کنج‌های کوچک در چنین اندازه‌گیری‌ای از قلم می‌افتد.

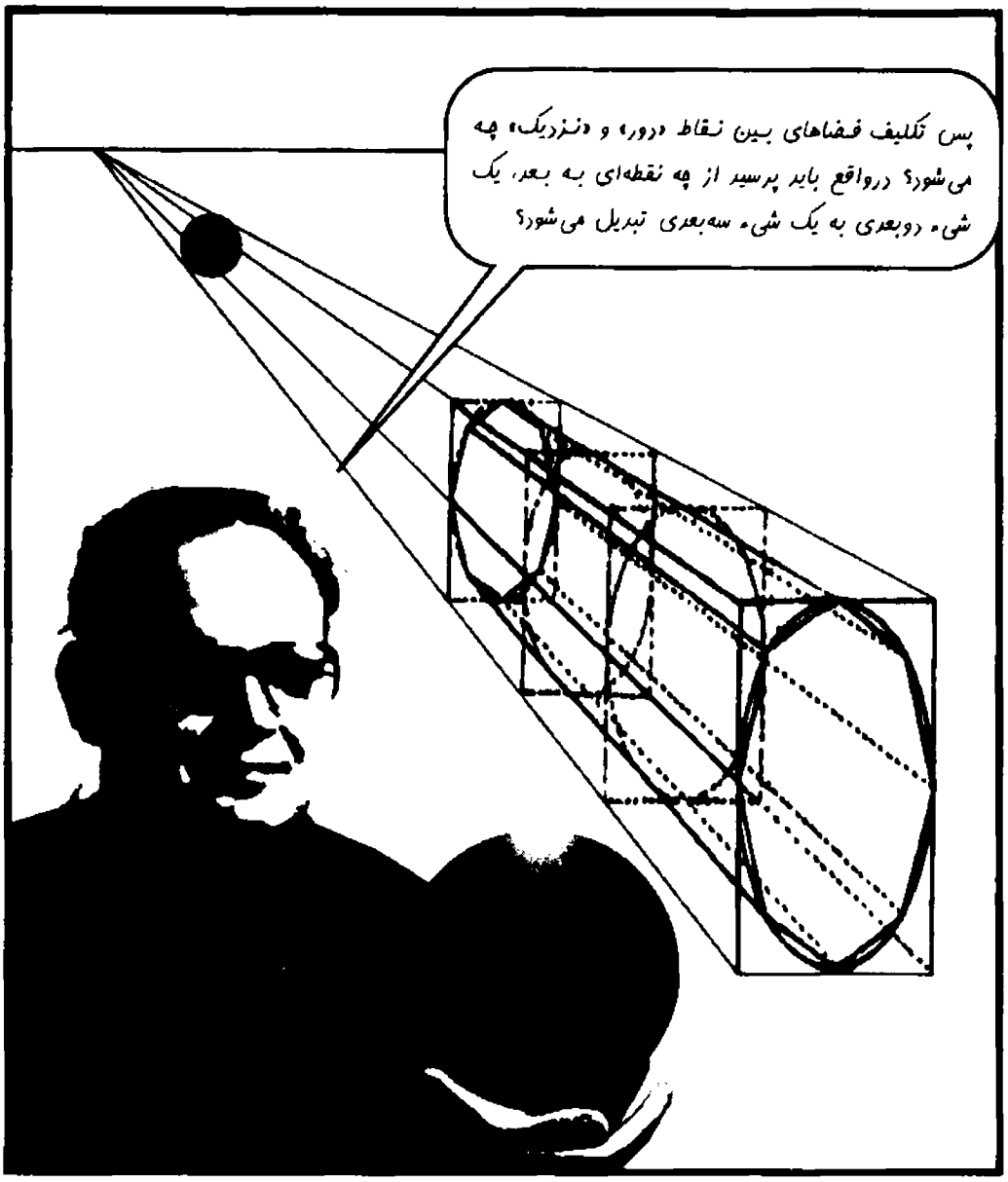
اما بیایید فرض کنیم که خط ساحلی را با مقیاس کوچکتری، مثلاً ۱۰ سانتی‌متر، اندازه بگیریم. در این حالت به طول بزرگتری می‌رسیم، چرا که این مقیاس اندازه‌گیری ما داخل فضاهای کوچکتر را هم اندازه می‌گیرد.



اگر با یک چوب ۵ سانتی‌متری اندازه بگیریم، باز هم طول بزرگتری به‌دست خواهد آمد. بنابراین هرچه با مقیاس‌های کوچکتر و کوچکتر اندازه‌گیری کنیم، طول‌های بزرگتر و بزرگتری به‌دست خواهد آمد. همچنانکه به واحدهای خیلی کوچک نزدیک می‌شویم، خط ساحلی، بدون هیچ حدی، طویل‌تر و طویل‌تر می‌شود.

بُعد شِکنه‌ای

نظر ماندلبرت این بود که آنچه مشاهده می‌کنیم بستگی به این دارد که کجا قرار گرفته باشیم و چگونه اندازه‌گیری کنیم. یک توپ فوتبال را درنظر بگیرید. از فاصلهٔ دور به شکل یک صفحهٔ گرد دوبعدی دیده می‌شود. وقتی به آن نزدیک‌تر می‌شویم، به یک شیء سه‌بعدی بدل می‌شود.



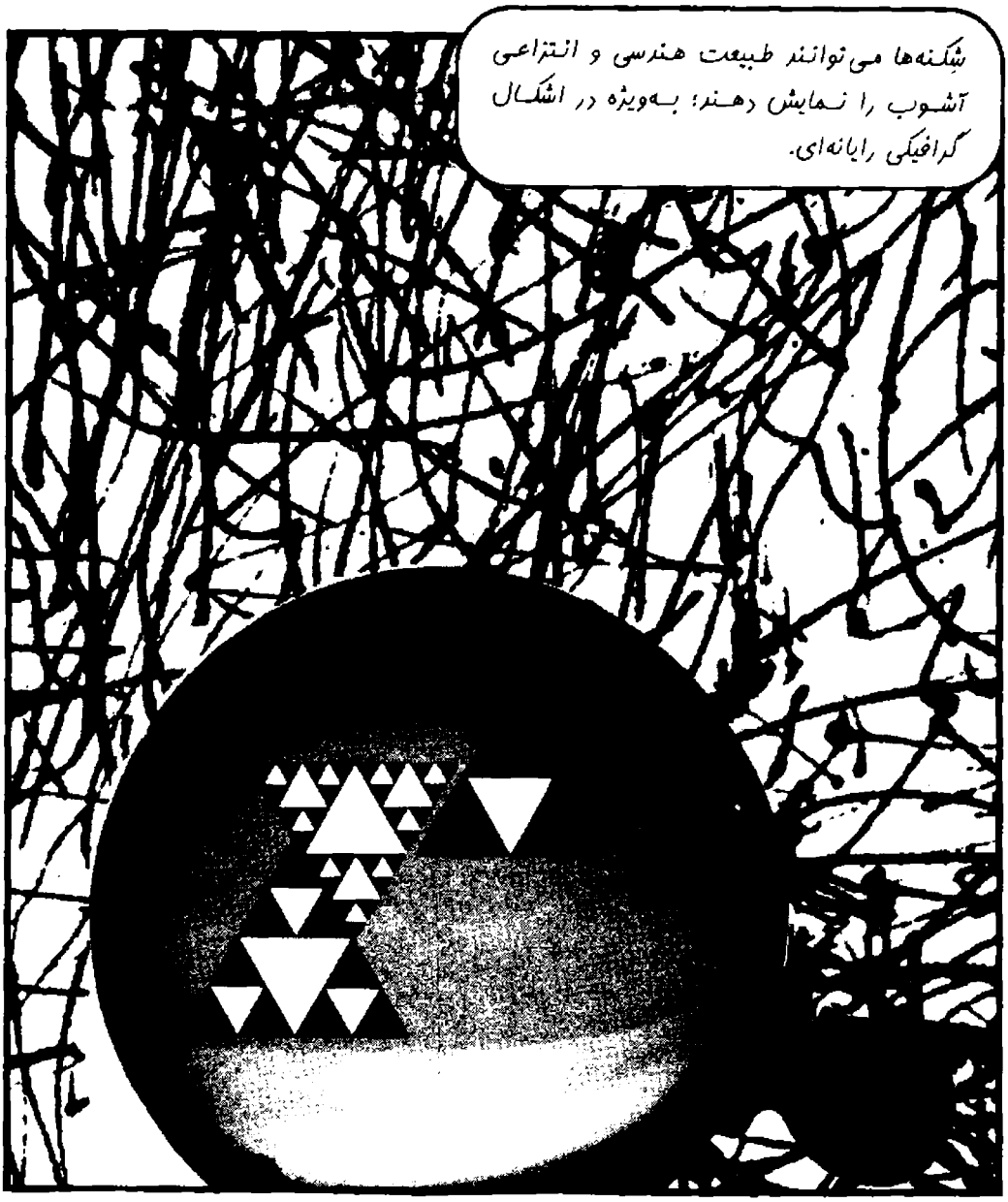
ماندلبرت سیستم‌هایی که بعد کسری دارند را شِکنه (fractal) نامید. خط ساحلی انگلستان نمونه‌ای از یک شِکنه است. اعتقاد او این بود که برای حل این مسئله باید از ابعاد سه‌گانهٔ متداول به «ابعاد شِکنه‌ای» گذار کنیم.

شِکنه چیست؟

هندسه‌ای که همهٔ ما با آن آشنا هستیم به اقلیدس منتسب است، ریاضی‌دانی یونانی که حدود سال ۳۰۰ پیش از میلاد مسیح می‌زیست. اشکال اقلیدسی منظم‌اند ــ مثلث، مربع، دایره، مستطیل. هندسهٔ شِکنه‌ای، هندسهٔ انواع خاصی از اشکال نامنظم است. شِکنه‌ها راهی برای سنجیدن کیفیاتی هستند که، جز از این راه، هیچ تعریف روشنی برای آن‌ها وجود ندارد: میزان ناهمواری یا شکستگی یا نامنظمی یک شیء.

ماندلبرت می‌گوید: «من کلمهٔ (شِکنه) **fractal** را در سال ۱۹۷۵ از ریشهٔ لاتین **fractus** ساختم. **fractus** به‌معنی سنگ شکسته است، شکن‌دار و نامنظم. شِکنه‌ها اشکال هندسی‌ای‌اند که برخلاف اشکال اقلیدسی، اصلاً منظم نیستند. اولاً این اشکال تماماً نامنظم‌اند و دوم این‌که در هر مقیاسی، میزان بی‌نظمی آنها یکسان می‌ماند. یک شیء شِکنه‌ای را وقتی از دور ونزدیک بررسی می‌کنیم، مشابه است ــ شیء شِکنه‌ای خودهمانند (self-similar) است.»

خودهمانندی ایجاب می‌کند که هر زیرسیستمی از یک سیستمِ شکنه‌ای معادل کل سیستم باشد. در مثلث شِکنه‌ای، هر مثلث کوچکتر، از لحاظ ساختاری با مثلث بزرگتر یکسان است. برخی شِکنه‌ها، تنها از نظر آماری خودهمانند هستند؛ به این معنی که وقتی قطعات کوچک آن‌ها را بزرگنمایی می‌کنیم، کاملاً بر کل سیستم منطبق نمی‌شوند، اما ظاهر کلی‌شان همان است.



شِکنه‌ها می‌توانند طبیعت هندسی و انتزاعی آشوب را نمایش دهند؛ به‌ویژه در اشکال گرافیکی رایانه‌ای.

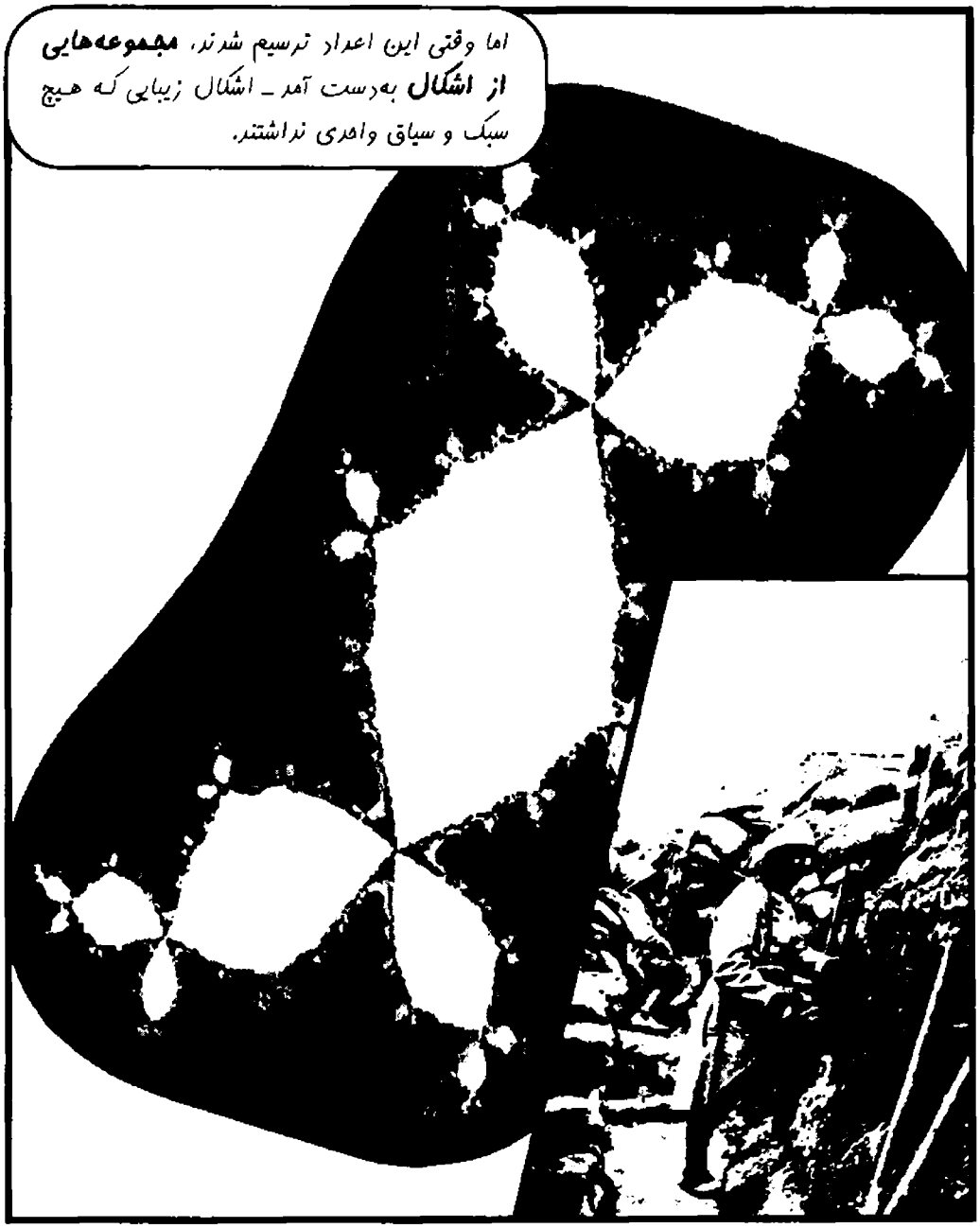
در داخل شکلِ فراگیر، یک الگوی تکرارشونده وجود دارد که زیرساخت چشمگیر آن، طبیعت آشوب را برای ما مشخص می‌کند. این الگو نشان می‌دهد که پیش‌بینی‌پذیری چه‌وقت از کار می‌افتد.

شِکنه‌ها همه‌جا هستند...

شِکنه‌ها همچنین ما را بی‌واسطه با طبیعت مرتبط می‌کنند. درخت‌ها و کوه‌ها نمونه‌هایی از شِکنه‌اند. شِکنه‌ها همه‌جا هستند.

مجموعهٔ جولیا (Julia Set)

شکنه‌ها می‌توانند شکل‌های زیبایی به‌دست دهند و بعضی از آن‌ها سال‌هاست که شناخته‌شده‌اند. در خلال جنگ جهانی اول، **گاستون جولیا** و **پیر فاتو** به کشف مجموعهٔ جولیا نائل آمدند. این مجموعه، اعداد موهومی را در صفحهٔ اعداد مختلط می‌پیماید. اعداد موهومی اعدادی هستند که از جذر اعداد منفی به‌دست می‌آیند. ریشهٔ دوم عدد ۱- را با i نشان می‌دهند و ریشهٔ دوم عدد ۴- را با ۲i. اما در آن هنگام هیچکس معنای این مجموعه‌ها را در «فیزیک دنیای واقعی» درک نمی‌کرد.



کاربرد شکنه‌ها

امروزه از هندسهٔ شکنه‌ای برای تشریح بسیاری پدیده‌های پیچیده استفاده می‌شود. شکنه‌ها به فهم تلاطم کمک می‌کنند؛ نه‌تنها به فهم این‌که تلاطم چگونه برمی‌خیزد، بلکه به فهم خود حرکت تلاطم.

شریان‌های خون را نیز می‌توان به شکل شکنه درنظر گرفت، چرا که به بخش‌های کوچک‌تر و کوچک‌تری تقسیم می‌شوند. رَگ‌ها سطحی وسیع را در حجمی محدود فشرده می‌کنند و این همان چیزی است که به‌نام «جادوی بعد» توصیف شده است.

زمین‌لرزه نیز چنین است. توزیع زمین‌لرزه‌ها یک الگوی ریاضی دارد. زمین‌شناسان با این الگو کار کردند و معلوم شد که یک شکنه است. همچنین، از ابعاد شکنه‌ایِ سطح یک فلز، چیزهای زیادی دربارهٔ استحکام آن می‌توان دریافت.

نام ماندلبرت همچنین بر یک شکنهٔ معروف نهاده شده است. اسم این شکنه، **مجموعهٔ ماندلبرت** است (غیر از این چه می‌توانست باشد؟).

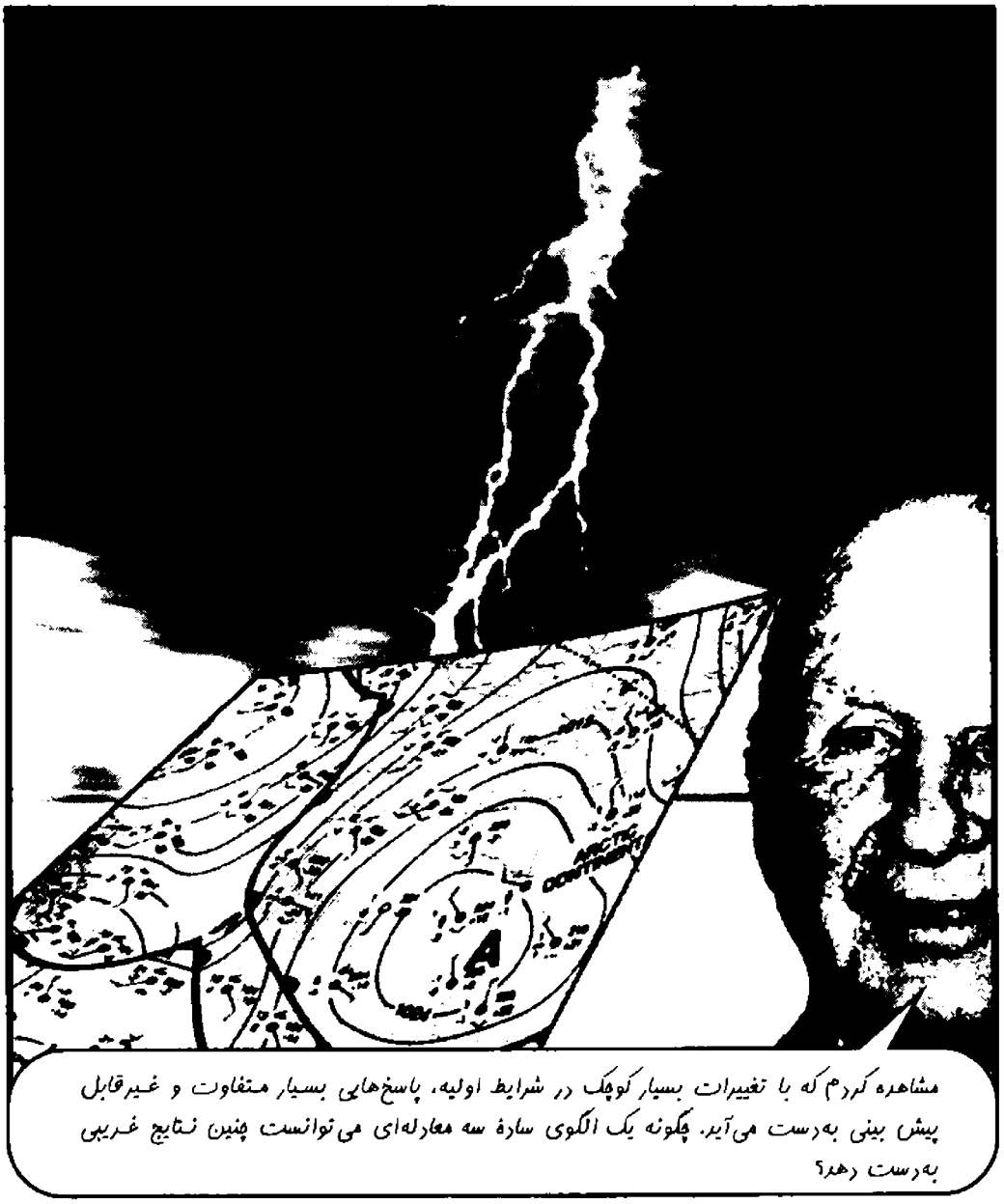
میلیون‌ها نفر در جهان، از طریق فیلم‌های *جنگ ستارگان*، به تماشای ریاضیات شکنه‌ای پرداختند. چشم‌انداز دنیاهای بیگانه در این فیلم‌ها، تصاویری رایانه‌ای بود که با استفاده از شکنه‌ها ایجاد شده بود. شکنه‌ها امروز در جلوه‌های ویژه سینمایی سهم مهمی دارند.

ادوارد لورنتز

ادوارد لورنتز (متولد ۱۹۱۷) هواشناس است. او نخستین کسی بود که نمونهٔ معروفی از رفتار آشوبی را ثبت کرد. لورنتز پس از اخذ درجهٔ دکتری، در سال ۱۹۴۸ در بخش هواشناسی مؤسسهٔ فن‌آوری ماساچوست (MIT) کار خود را آغاز کرد. در سال ۱۹۵۵ مدیر یک پروژه در زمینهٔ پیش‌بینی آماری وضع هوا شد. بخش تحت سرپرستی او در این حوزه پیشگام بود.

لورنتز نیز، مانند ستاره‌شناسان قرن ۱۸ و ۱۹، برای تخمین راه‌حل‌هایش از محاسبهٔ دستی استفاده کرد.

بعدها، لورنتز با استفاده از الگوهای رایانه‌ای برای جو زمین و اقیانوس‌ها، به بررسی رابطهٔ میان سه عامل غیرخطی هواشناسی پرداخت: دما، فشار و سرعت وزش باد.



مشاهده کردم که با تغییرات بسیار کوچک در شرایط اولیه، پاسخ‌هایی بسیار متفاوت و غیرقابل پیش بینی به‌دست می‌آید. چگونه یک الگوی سادهٔ سه معادله‌ای می‌توانست چنین نتایج غریبی به‌دست دهد؟

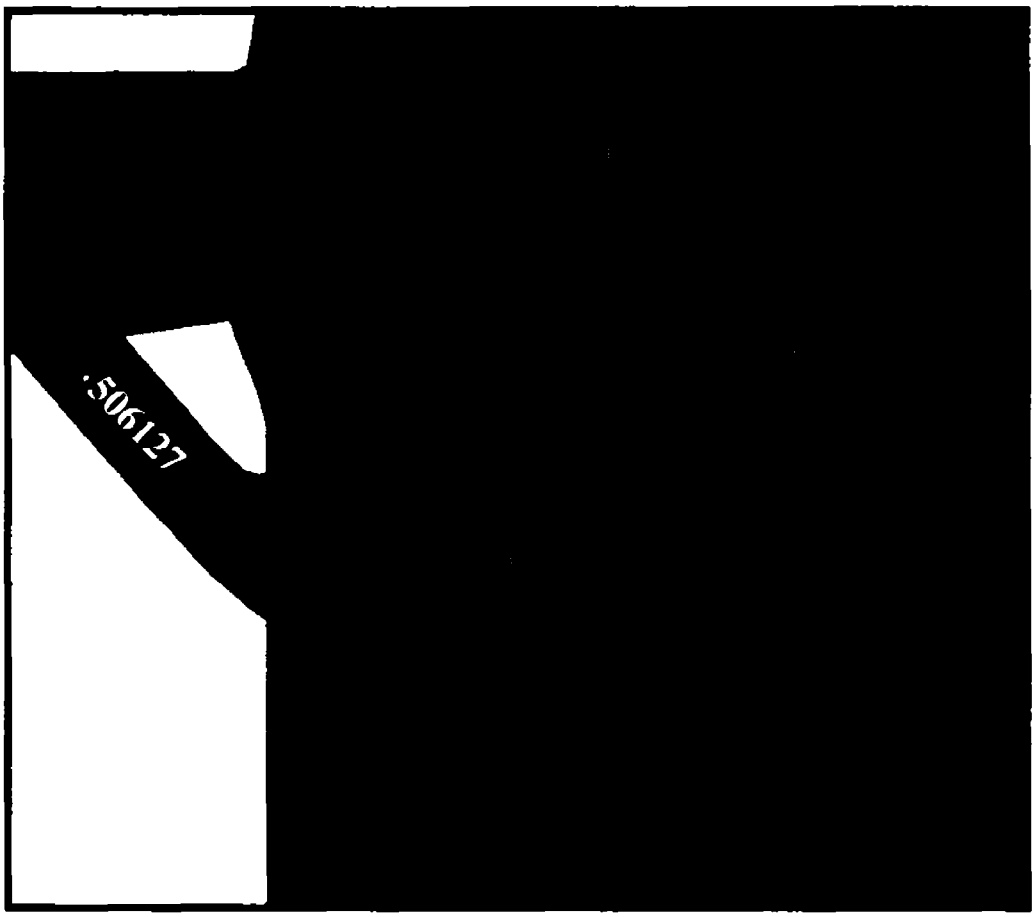
لورنتز اجباراً به این نتیجه رسید که این نوع پاسخ‌ها، ذاتی الگوی او هستند. او در سال ۱۹۶۳ نتایج تحقیقاتش را در مقاله‌ای به‌نام «جریان تعین‌پذیر غیرتناوبی» (Deterministic Nonperiodic Flow) در نشریهٔ *علوم جوی* به‌چاپ رساند. حدود یک دهه طول کشید تا پژوهشگران اهمیت این مقاله را دریافتند.

تفاوت‌های کوچک، پیامدهای بزرگ

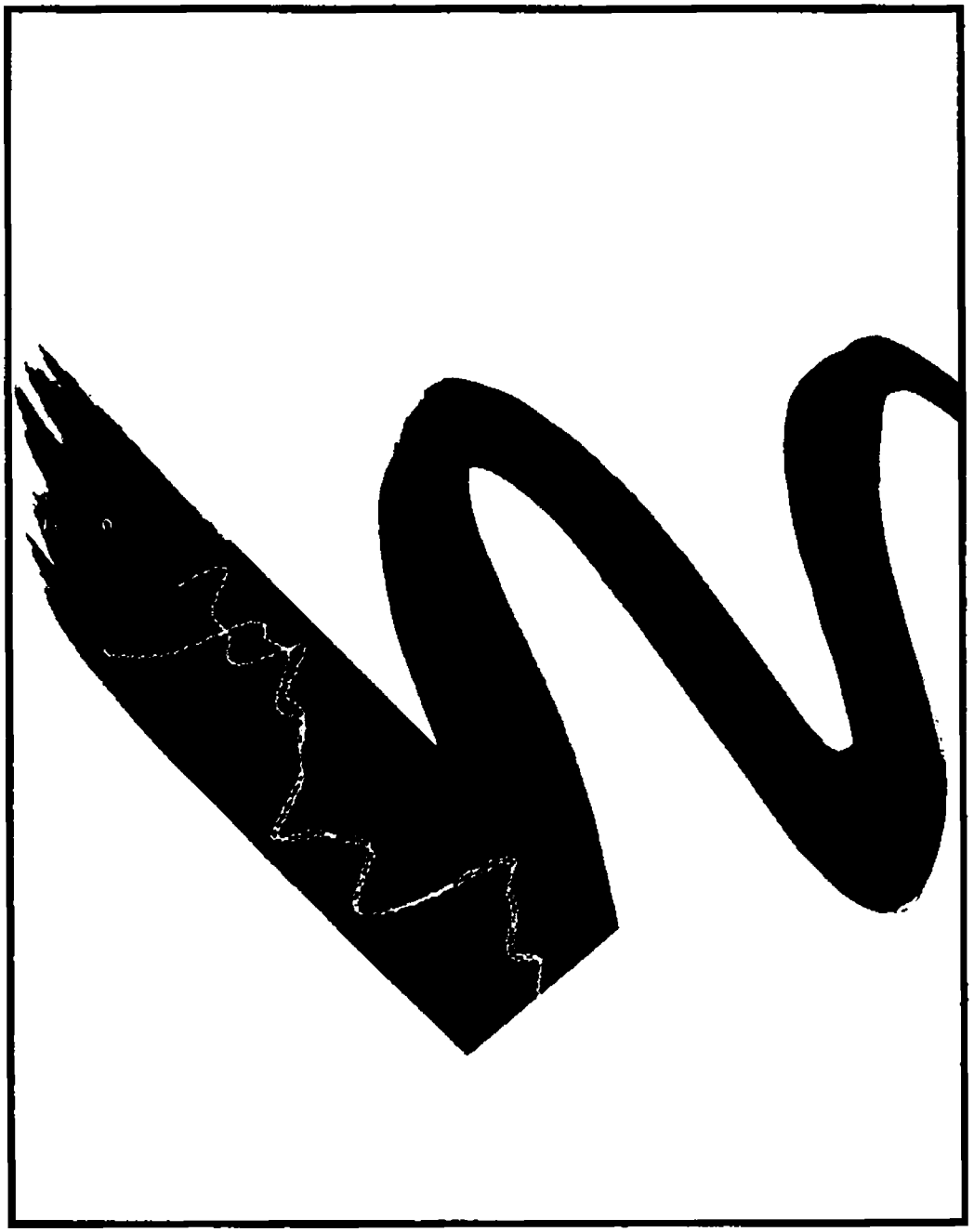
کشف لورنتز در مورد پدیدهٔ آشوب را غالباً به‌شکل داستانی جالب نقل می‌کنند که می‌گوید: روزی، در سال ۱۹۶۱، لورنتز تصمیم گرفت با ماشین هواشناسی‌اش «میان‌بر» بزند و برای جلوتررفتن در محاسبهٔ مجدد یک رشته مقادیر، به‌جای شروع از نقطهٔ آغازین محاسبه، برنامهٔ رایانه‌ای را با داده‌های مربوط به نقطه‌ای در میانهٔ راه محاسبه، به‌اجرا درآورد. اعداد مربوطه را، از روی نتایج چاپ‌شدهٔ قبلی، وارد رایانه کرد و رفت که قهوه‌ای بخورد. وقتی برگشت و نتیجه را دید، باورش نشد.

وضعیت جوی‌ای که به‌دست آمده بود هیچ ربطی به وضعیت قبلی نداشت. دو سیستم کاملاً متفاوت بودند!

بعد فهمید چه اتفاقی افتاده است. او عدد ۰/۵۰۶ را از روی نتیجهٔ چاپ‌شده وارد رایانه کرده بود درحالی‌که در محاسبهٔ اول، در حافظهٔ رایانه عدد ۰/۵۰۶۱۲۷ ذخیره شده بود. اختلاف کوچک بین دو عدد ــ یک در پنج هزار ــ بدون پیامد نبود. لورنتز دریافت که تغییرات جزئی در شرایط اولیه ــ مانند یک وزش خفیف باد ــ می‌تواند فاجعه‌بار باشد.

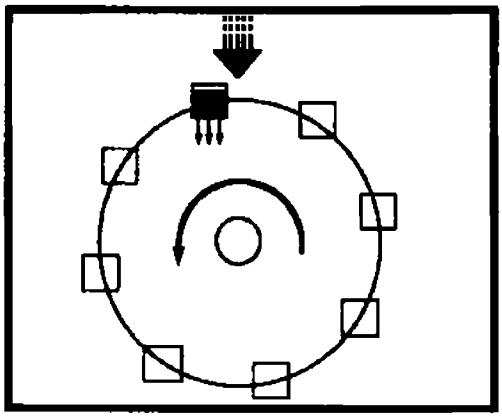


لورنتز نتایج کشف خود را چنین بیان می‌کند: «نتیجه این که دو وضعیت که مقادیر نامحسوسی با هم تفاوت دارند، در جریان تحول خود، می‌توانند به دو وضعیت کاملاً متفاوت از هم منجر بشوند. پس چنانچه در مشاهدهٔ وضعیت حاضر، هر خطایی رخ بدهد ــ و در هر سیستم واقعی‌ای بروز چنین خطاهایی اجتناب‌ناپذیر است ــ پیش‌بینی قابل قبولی از وضعیت سیستم در آینده‌ای دور، می‌تواند کاملاً غیرممکن بشود.»

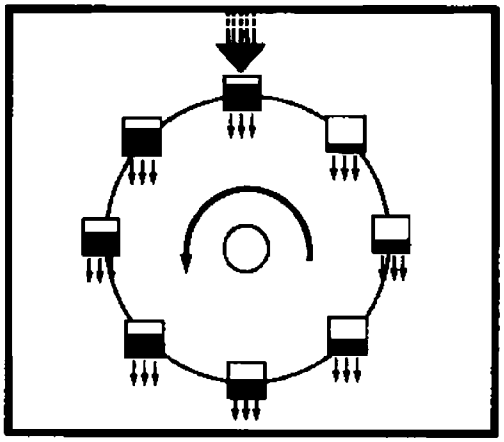


مثال چرخ آبی

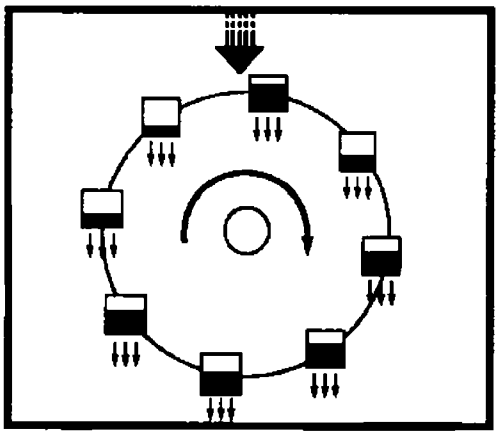
لورنتز برای نشان‌دادن آشوب از مثال چرخ آبی استفاده می‌کند. سیستم مکانیکی سادهٔ این چرخ می‌تواند رفتارهای پیچیدهٔ حیرت‌انگیزی داشته باشد.



در سرعتی پایین سیستم درست کار می‌کند.



اما هنگامی که جریان آب افزایش می‌یابد، چرخ تندتر می‌چرخد و فرصت برای پر یا خالی‌شدن سطل‌ها کمتر می‌شود و رفتار سیستم آشوب‌زده می‌گردد.



گردش چرخ کُند و حتی معکوس می‌شود. در این شرایط، حرکت چرخ هیچ الگوی قابل پیش‌بینی را دنبال نمی‌کند.

وقتی حرکت آشوب‌زدهٔ چرخ را ترسیم می‌کنیم، منحنی بسیار زیبایی به‌دست می‌آید ــ یک مارپیچ دوگانه در فضا که به «ربایشگر شگفت» (strange attractor) معروف است.

ربایشگرهای شگفت

سیستم‌های پیچیده، به‌طور عام، خصیصه‌ای را از خود بروز می‌دهند که ریاضی‌دان‌ها به آن **ربایشگر** می‌گویند. ربایشگرها نمایانگر وضعیت‌هایی‌اند که سیستم می‌تواند، بسته به خصایص خود، در آن وضعیت‌ها مستقر شود.

به طریق دیگری نیز به ربایشگرها می‌توان فکر کرد و آن این‌که، در دنیای واقعی، وضعیت‌هایی را درنظر بگیریم که برخی شیوه‌های رفتاری، با وجود این‌که قابل تصورند، اما به‌وقوع نمی‌پیوندند. حرکت آونگ ساعت، اگر درست کار کند، نمی‌تواند گاه ملایم و گاه شدید باشد. سرماهای قطبی در استوا بروز نمی‌کند. خوک‌ها معمولاً پرواز نمی‌کنند. به این ترتیب، آن چیزهای غیرمعمولی که به‌وقوع می‌پیوندند، به حیطه‌ای خاص ــ یا به عبارت فنی، به مجموعه‌ای محدود ــ تعلق دارند. این مجموعه، مجموعهٔ ربایشگرهاست.

ربایشگرهای فرهنگی و هویتی

معادل فرهنگی ربایشگرها، رهبران، قبایل، دولت‌ها و چیزهایی هستند که به ما هویت می‌دهند مانند دین، طبقه و جهانبینی‌ها.

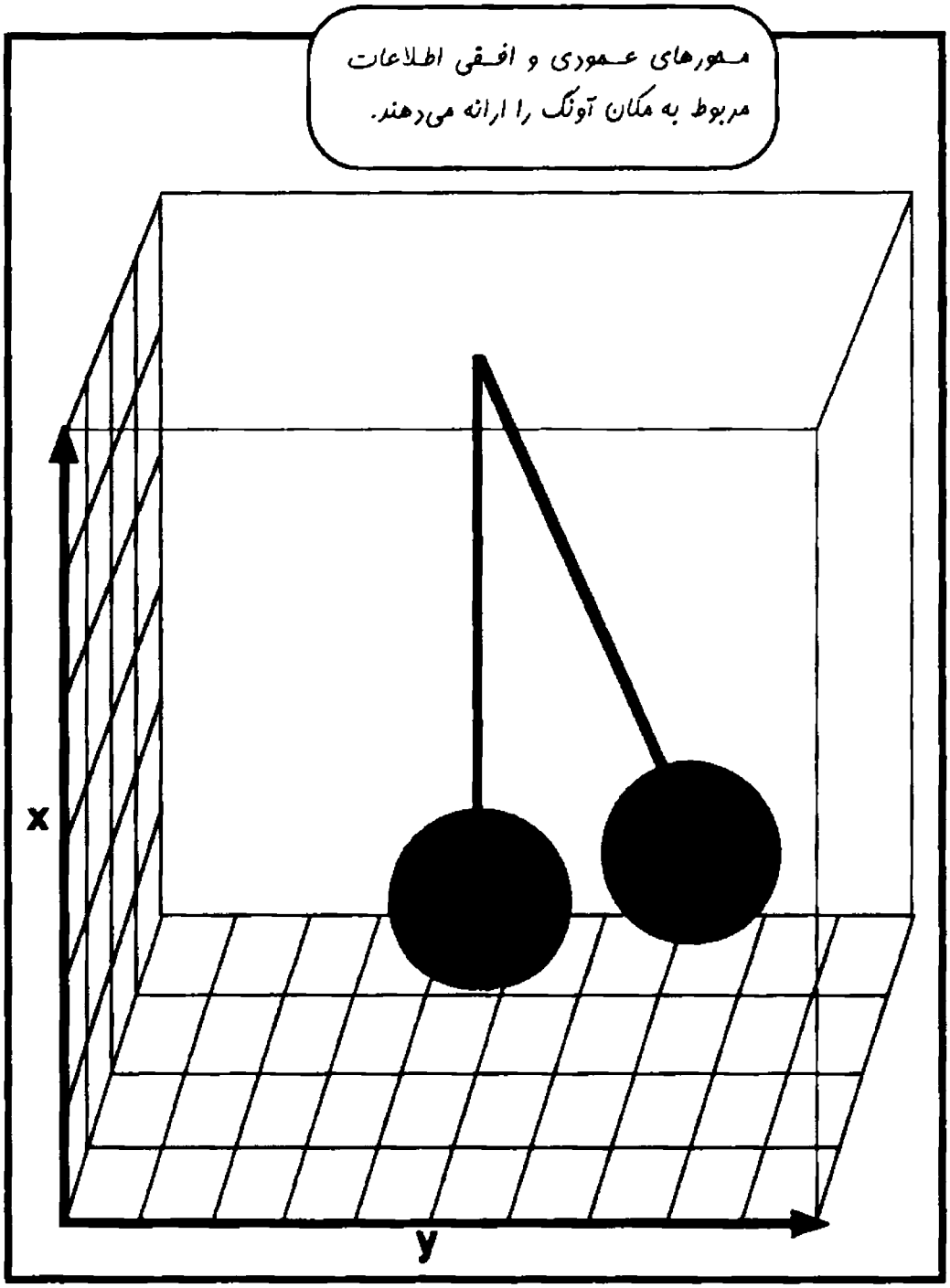
ربایشگرهای آشوبی

اما گروهی از ربایشگرها وجود دارند که قدری غیرمعمولی‌اند ــ به این‌ها ربایشگرهای «آشوبی» یا «**ربایشگرهای شگفت**» می‌گویند.

ربایشگرهای شگفت در یک مفهوم ریاضی به‌نام **فضای فاز** به‌سر می‌برند. فضای فاز یک فضای خیالی است و طریقه‌ای برای تبدیل اعداد به اشکال، به قسمی که تصویر انعطاف‌پذیری از مجموعهٔ تمام داده‌های موجود به‌دست بیاید. بگذارید «فضای فاز» را تعریف کنیم.

نمایش فضای فاز

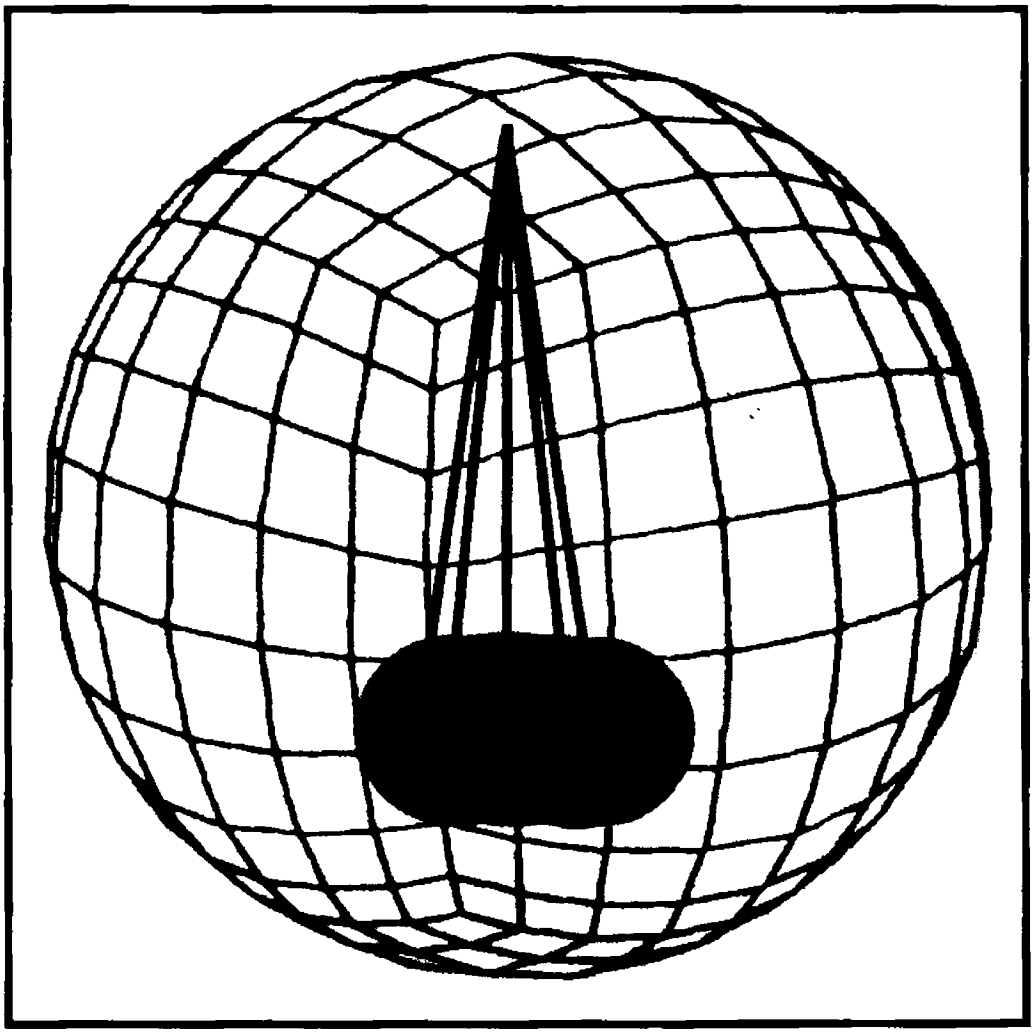
ما با نقشه‌های معماری، که در آن یک ساختمان سه‌بعدی را در یک نقشهٔ دوبعدی نمایش می‌دهند، آشنا هستیم. اما فرض کنید، به‌جای یک شیء ثابت (یک ساختمان)، یک شیء متحرک ــ مثلاً یک آونگ ــ داشته باشیم. می‌توانیم حرکت افقی و عمودی آونگ را به‌شکل یک منحنی دوبعدی نمایش دهیم.



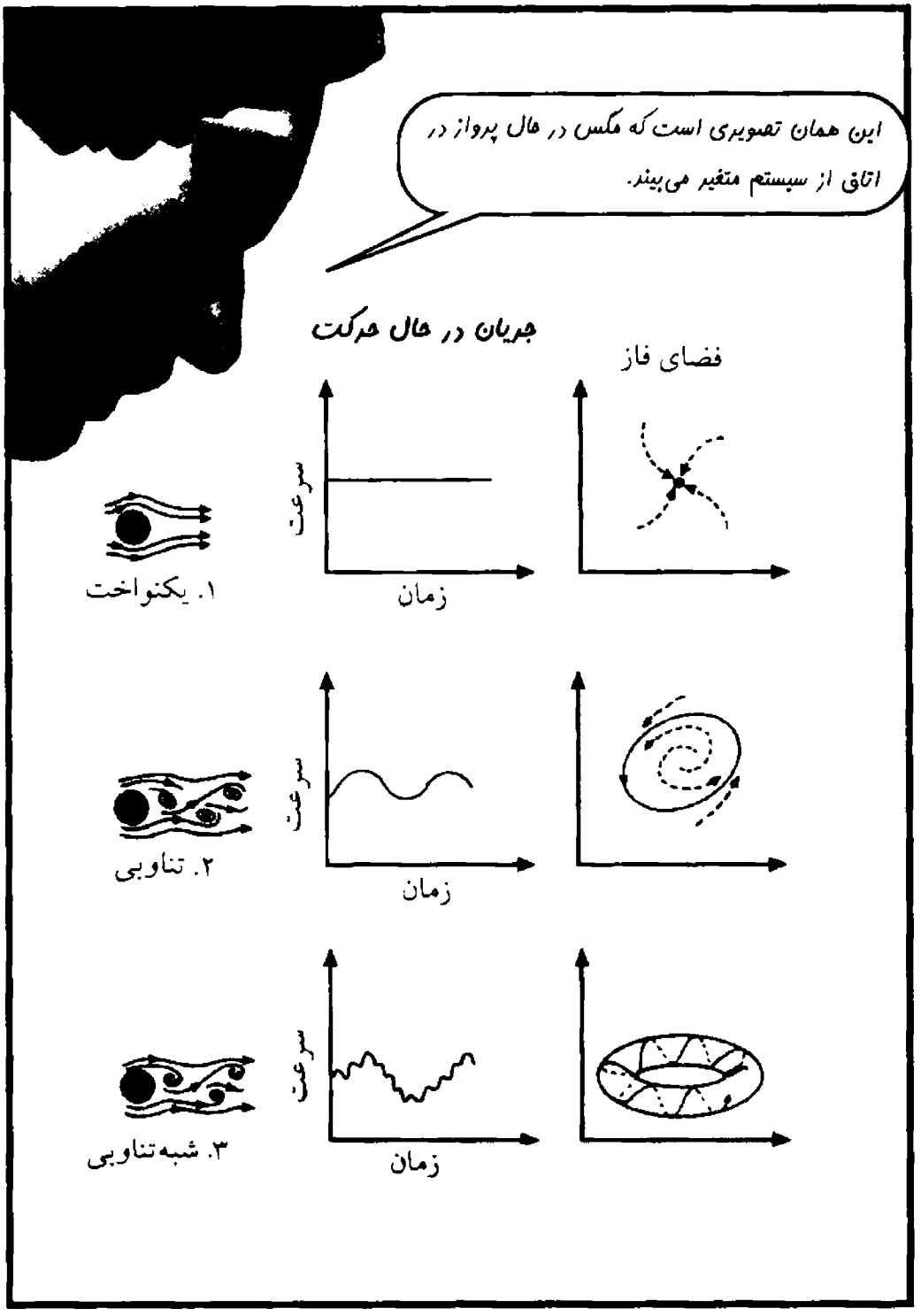
فضای فاز نیز، به طریقی مشابه، وضعیت یک شیء را در یک صفحهٔ چندبعدی نمایش می‌دهد. حرکت یک آونگ ساده را می‌توان با یک منحنی نمایش داد که محور xها زاویهٔ حرکت نسبت به خط قائم و محور yها، سرعت زاویه‌ای آونگ باشد. در این فضای فاز، آونگ ساده به‌شکل یک دایره نمایش داده می‌شود.

فضای فاز، داده‌های گنگ آماری را به تصویری گویا بدل می‌کند که اطلاعات اساسی اجزاء متحرک را تجرید نموده، تصویر کلی سهل‌الوصولی از رفتار سیستم را برحسب زمان دراختیار قرار می‌دهد.

در فضای فاز، وضعیت کامل دانسته‌ها دربارهٔ یک سیستم پویا در یک لحظهٔ واحد، در یک نقطه جمع می‌شود. آن نقطه، نمایانگر سیستم در آن لحظه است. در لحظهٔ بعد، سیستم تغییر خواهد کرد و نقطه حرکت می‌کند.



فضای فاز مشاهدهٔ یک سیستم پویا را آسان می‌کند.



در شکل بالا، حلقه‌ها به منزلهٔ تناوبند، پیچ و تاب‌ها مترادف تغییر و فضای خالی مترادف ناممکن‌بودن فیزیکی است.

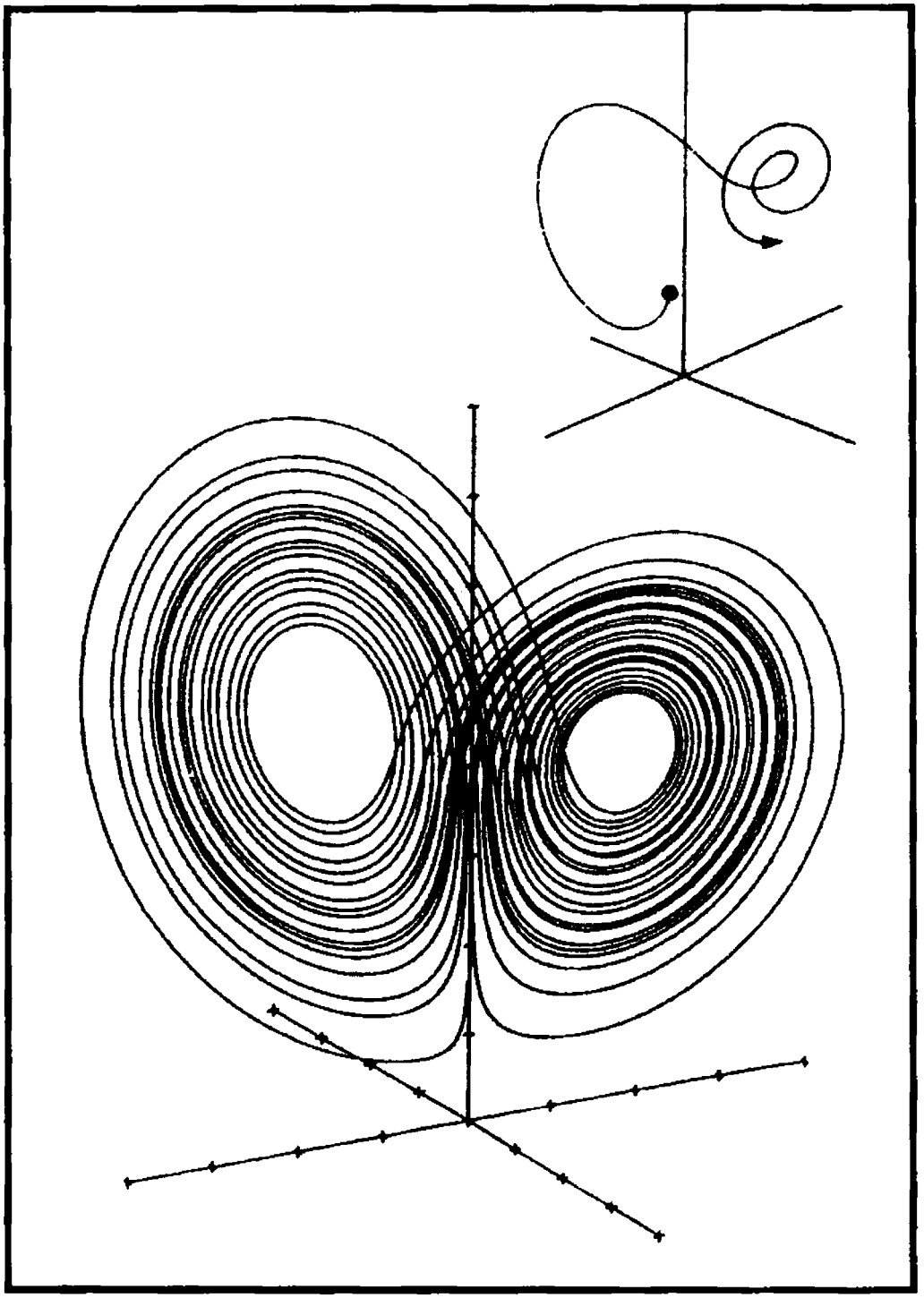
چه چیزِ ربایشگرها شگفت است؟ اولاً ظاهر آن‌ها شگفت است. یک شیء چندبعدی تخیلی قطعاً شگفت است. دوم این‌که حرکت بر روی ربایشگرهای شگفت، وابستگی حسّاسی نسبت به شرایط اولیه دارد. سوم این‌که ربایشگرهای شگفت پدیده‌های متناقضی را گرد هم می‌آورند: (الف) ربایشگرند، به این معنی که مسیرهای مجاور، به سمت آن‌ها *همگرایی* دارند؛

و (ب) وابستگی شدیدی نسبت به شرایط اولیه از خود نشان می‌دهند، به این معنی که مسیرهایی که بدواً، در محل ربایشگرها، مجاور هم‌اند، به‌سرعت دچار *واگرایی* می‌شوند.

چهارم ــ و تکّهٔ سخت ماجرا ــ این‌که ربایشگرهای شگفت، با اینکه در یک فضای بی‌نهایت بعدی (فضای فاز) قرار دارند، خودشان دارای ابعاد متناهی‌اند.

ربایشگر لورِنتز

مشهورترین ربایشگر شگفت، به ربایشگر لورنتز معروف است زیرا نخستین بار توسط لورنتز کشف شد. شکل آن شبیه شکل زیر است.



عبارت «رباینشگر شگفت» را داوید روئل ساخته است. او استاد فیزیک نظری در مؤسسهٔ مطالعات عالی علمی (Institut des Hautes Etudes Scientifiques) در بور-سور-ایوِت (Bures-sur-Yvette) فرانسه بود و، در سال‌های آغاز دههٔ ۷۰، در مقالهٔ مشترکی با یکی از همکارانش، از این عبارت استفاده کرد. نظر داوید روئل در آن مقاله این بود که تلاطم سیالات نمونه‌ای از آشوب است.

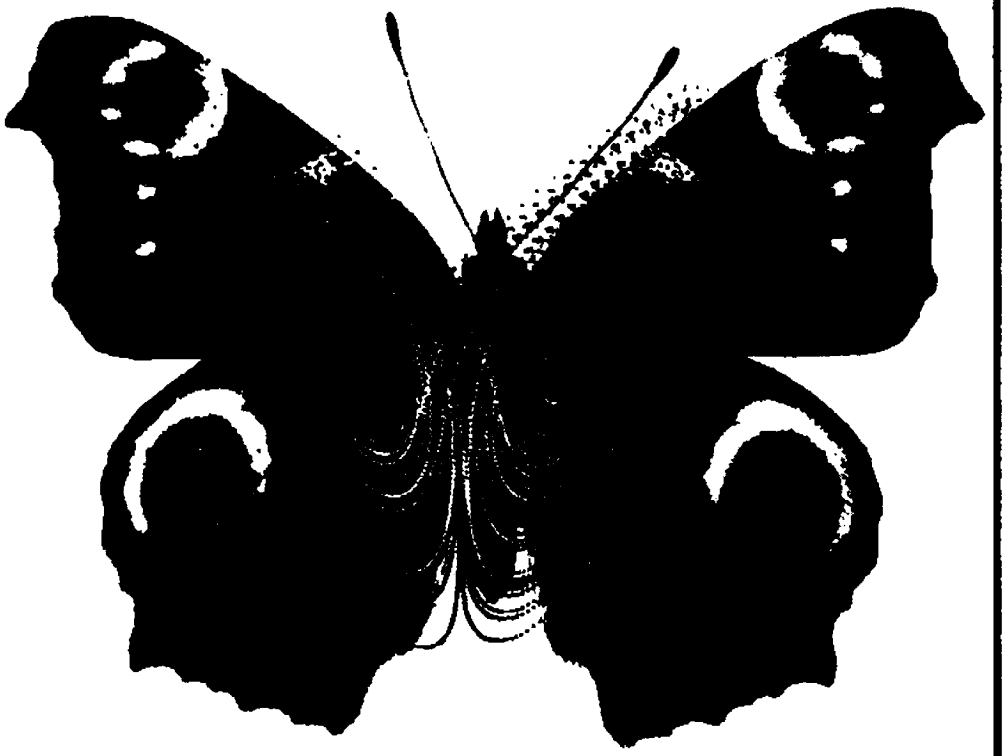
برخی مخالفت‌ها نیز با وضع عبارت «رباینشگر شگفت» وجود داشت. برای نمونه، دو ریاضی‌دان روسی، بوریس چیریکُف و فِلیکس ایزرائیلِف برآن بودند که رباینشگرهای شگفت فقط برای افراد ناآشنا شگفت‌اند.

اما غالب دانشمندان آن را دلربا یافتند و این عبارت جا افتاد. رباینشگرهای شگفت آتش نظریهٔ آشوب را تندتر کردند. محققان دیگر در همه‌جا، در هر سیستمی که به‌نظر می‌رسید دارد تصادفی عمل می‌کند، به دنبال رباینشگرهای شگفت می‌گشتند.

اثر پروانه

نام لورنتز، همچنین، با ایدهٔ «اثر پروانه» عجین است. در سال ۱۹۷۲ کنفرانسی در واشنگتن برگزار شد و لورنتز مقاله‌ای ارائه کرد با عنوان «آیا بال‌زدن یک پروانه در برزیل باعث برپاشدن گردبادی در تگزاس می‌شود؟»، البته او در مقاله‌اش به این سؤال پاسخی نداد.

او به این نکته اشاره می‌کرد که اگر بال‌زدن یک پروانه بتواند موجب بروز گردبادی بشود، می‌تواند از بروز گردبادی هم جلوگیری کند. اضافه برآن، اثر این بال‌زدن از اثر بال‌زدن یک پروانهٔ دیگر نه بیشتر است، نه کمتر.



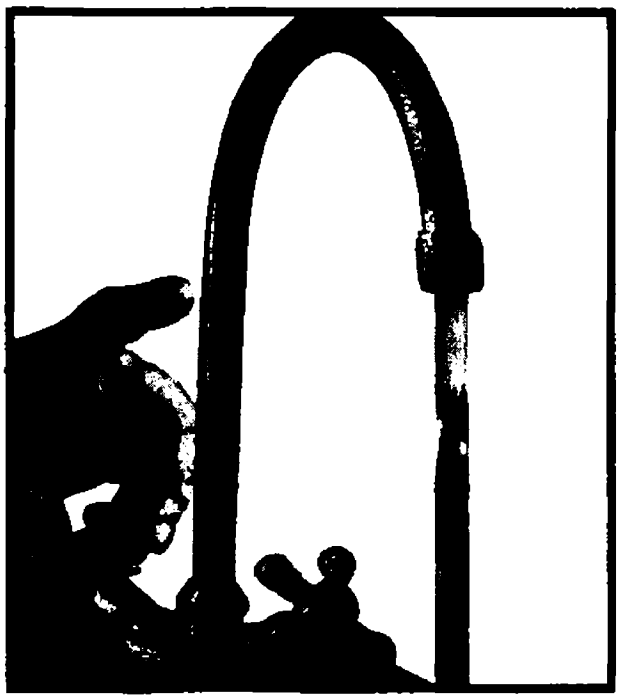
دو عامل باعث شد که «اثر پروانه» به مظهر و نشان آشوب تبدیل شود. اول این‌که «ربایشگر شگفت» و معروفی که شبیه پروانه بود، از جمله نخستین سیستم‌هایی بود که لورنتز به بررسی آن پرداخت. برای برخی طبیعی بود که نام «اثر پروانه» ملهم از این ربایشگر بوده باشد. دوم این‌که **جیمز گلیک** در کتاب پرفروش خود به‌نام *آشوب* (در سال ۱۹۸۸)، جایگاهی اسطوره‌ای برای «اثر پروانه» قائل شد.

داوید روئل

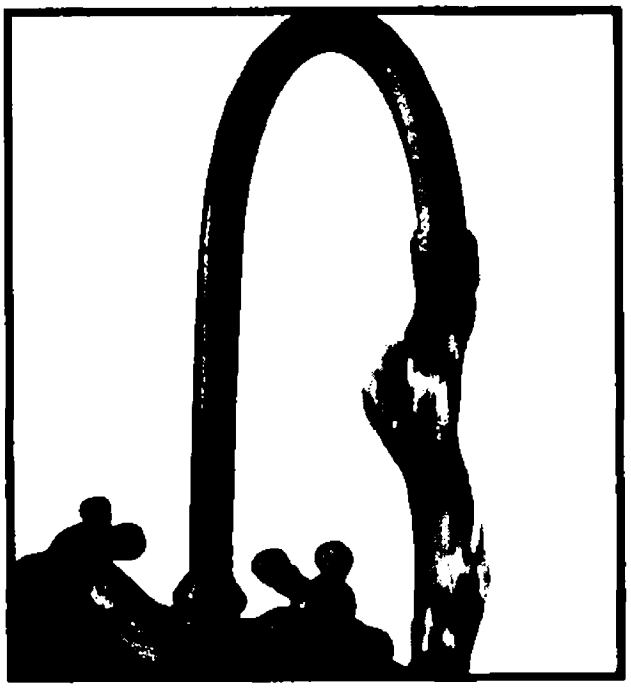
داوید روئل، متخصص فیزیک ریاضی، با آثارش در زمینهٔ تلاطم، باعث جهش اولیه در نظریهٔ آشوب شد. دهه‌ها بود که تلاطم به‌صورت معضل بزرگی برای فیزیک‌دان‌ها درآمده بود. ورنر هایزنبرگ (۷۶ـ۱۹۰۱) که «اصل عدم قطعیت» را در فیزیک کوانتومی وارد نمود، احتمالاً تا روزهای آخر عمرش در بستر مرگ نیز نگران این موضوع بوده است.

تلاطم چیست؟

با یک مشاهدهٔ کوتاه در حمام می‌توانید تلاطم را در عمل ببینید. اگر شیر آب را خیلی کم و به‌آرامی باز کنید می‌توانید جریان آب یکنواختی از شیر به دستشویی برقرار کنید. ستون آب به‌نظر ساکن می‌رسد، اما طبعاً آب جریان دارد.



اگر شیر آب را قدری بیشتر و با دقت باز کنید، می‌توانید تپش‌های منظمی را در ستون آب مشاهده کنید. این، همان حرکت تناوبی است.



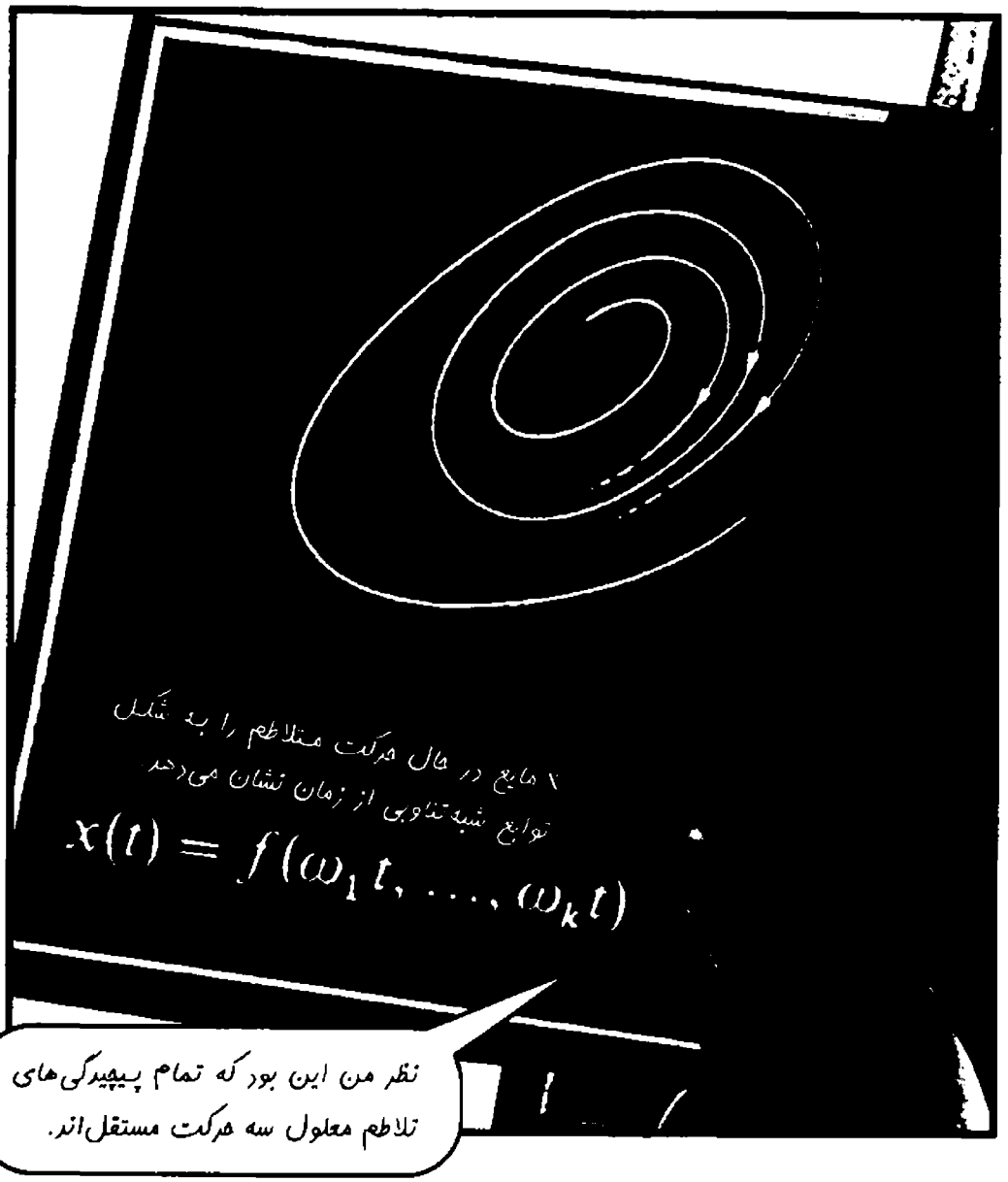
اگر شیر را قدری بیشتر باز کنید، تپش‌ها نامنظم می‌شوند. نهایتاً، وقتی شیر کاملاً باز است، جریان آب بسیار نامنظم می‌شود، یک شیر توشیر کامل! این، یعنی تلاطم.

چگونه تلاطم رخ می‌دهد؟

تلاطم یک بی‌نظمی درهم و برهم و فراگیر است. تلاطم، ناپایدار و بسیار اتلافی (dissipative) است؛ به این معنی که انرژی را می‌مکد و اسباب مزاحمت می‌شود. معما این است که چگونه یک جریان نرم و پایدار، متلاطم می‌شود؟

رویکرد روئل

درواقع، معادله‌های جریان سیال‌ها، معمولاً غیرقابل حل‌اند. این معادله‌ها از نوع معادله‌های دیفرانسیل جزئی غیرخطی‌اند. روئل برآن شد که رویکرد معمول را با رویکردی انتزاعی جایگزین کند.



روئل تحلیل خود را در سال ۱۹۷۱ در نوشته‌ای تحت عنوان «دربارهٔ طبیعت تلاطم» که با همراهی فلوریس تیکنز، ریاضی‌دان هلندی، تهیه شده بود به‌چاپ رساند. (در آن زمان روئل سردبیر نشریه بود و مقاله را خودش برای چاپ تأییدکرد. معمولاً این روال چندان مقبولی نیست، اما در این مورد خاص به‌نظرش توجیه‌پذیر آمد).

هرچند بسیاری از محاسبات مندرج در مقالهٔ روئل، مبهم و حتی غلط بود، اما عناصری نیز در آن وجود داشت که تأثیر ذهنی ماندگاری برجا گذاشت.

پرسش‌های جدیدی پیش آمد. چگونه تعداد بی‌نهایتی حلقه و مارپیچ می‌تواند در فضای متناهی بگنجد؟ چطور در فضایی به این کوچکی این همه اتفاقات می‌افتد؟ چرا برای درک این‌که یک نقطه، در طول زمان، چه خواهد کرد، به منطق «بی‌نهایت» نیازمندیم؟ روئل براین گمان بود که الگو و شکل مشهود رفتار یک جریان متلاطم، که به‌صورت تصادفی در حرکت است، باید ناشی از قوانینی باشد که هنوز کشف نشده‌اند. چیزی که دربارهٔ تلاطم می‌دانستند این بود که طیف وسیعی از چرخه‌های تناوبی، در آن واحد، حضور دارند. اما چگونه چنین چیزی را می‌شد نشان داد؟ آیا این می‌تواند ناشی از چند معادلهٔ ساده باشد؟ ربایشگر باید پایدار و نمایندهٔ وضعیت نهایی یک سیستم پویا باشد. همچنین، ربایشگر باید غیرتناوبی باشد، هرگز تکرار نشود و منحنی خود را قطع نکند.

درستی نظر او هنگامی تأیید شد که ربایشگرهای شگفت در گسترهٔ وسیعی، از آلمان گرفته تا ژاپن، یافت شدند.

رابرت مِی و جمعیت جانوران

رابرت مِی (متولد ۱۹۳۶) پژوهشگر استرالیاییِ زیست‌شناسیِ ریاضی در دانشگاه پرینستون بود و بعدها در دانشگاه آکسفورد، استاد مؤسسهٔ سلطنتی تحقیقات شد. او بانی کارهای پیشگامانه‌ای در زمینهٔ دینامیک جمعیت بود که به شکل‌گیری نظریهٔ آشوب کمک کرد.

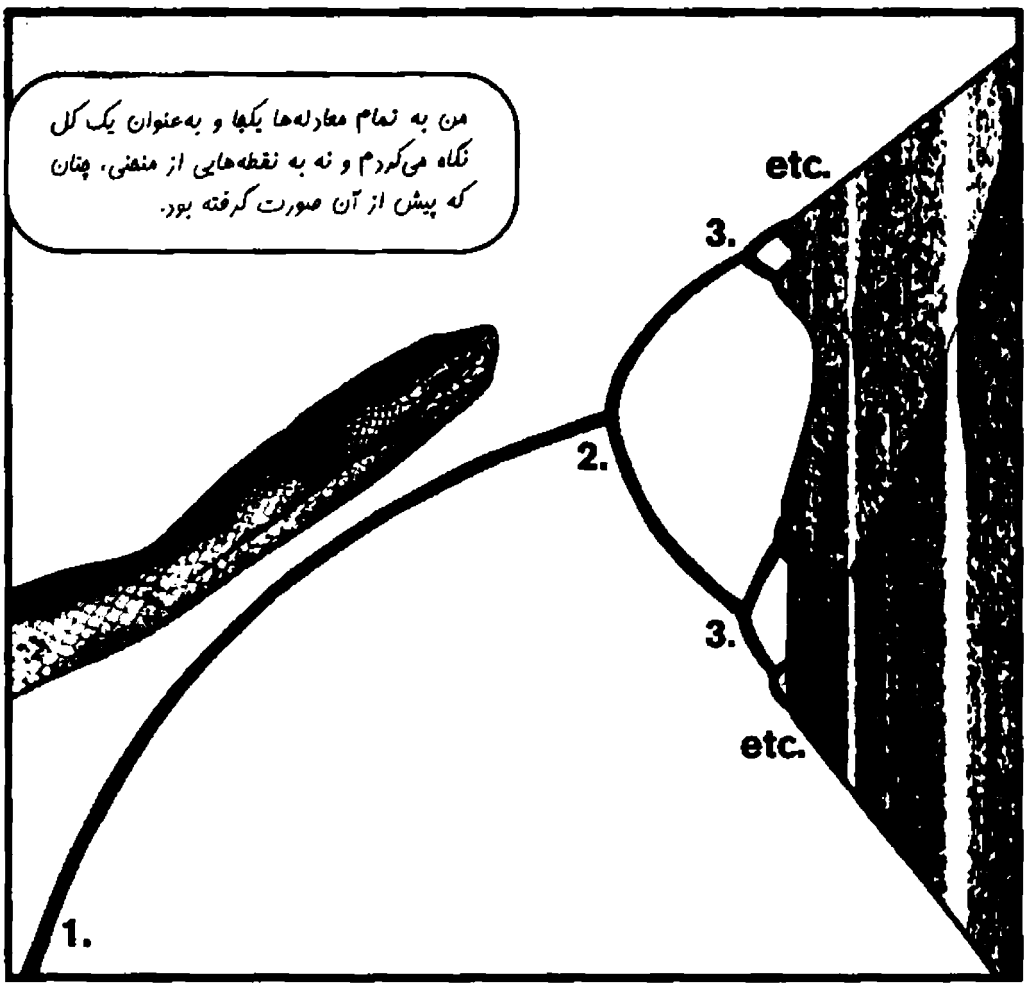
جمعیت یک گونهٔ خاص، مثلاً آهوها، سال به‌سال تغییر می‌کند و تعداد کل آن‌ها در یک سال پیش‌بینی خوبی از تعداد آن‌ها در سال بعد را به‌دست می‌دهد.

به این ترتیب اگر جمعیت از حدی فراتر برود منابع غذایی کمیاب می‌شوند، تعداد بیشتری از جانوران گرسنه می‌مانند و می‌میرند و سپس جمعیت به وضعیت «عادی» خود بازمی‌گردد. درنتیجه، پس از یک سال پرجمعیت، سالی با جمعیت متوسط می‌آید.

دوشاخگی‌های (bifurcations) مِی

تحقیقات مِی، در سال‌های دهه ۱۹۷۰، نشان داد معادله‌هایی که برای توصیف نوسان‌های جمعیت جانوران استفاده می‌شد، بیش از آن‌چه در نگاه اول به‌نظر می‌رسید، پیچیده‌اند. کشفیات او گویای این بود که به‌ازای مقادیر بزرگ پارامتر، سیستم شکاف برمی‌دارد و جمعیت بین دو مقدار متفاوت نوسان می‌کند.

پیش از آن، اکولوژیست‌ها این معادله‌ها را مطالعه کرده بودند، اما آن‌ها در جست‌وجوی مقادیر ثابت بودند و اطلاعات موجود در منحنی‌ها را نادیده می‌گرفتند. مِی و همکارانش به کار بر روی منحنی‌ها متمرکز شدند و متوجه «پیامدهای وسیع‌تر» آن شدند.



مِی کشف خود را همچون «ماری در علفزار ریاضیات» توصیف کرد. او تغییراتی مانند آنچه در صفحهٔ ۲۰ دیدیم را **دوشاخگی** نامید. تحقیقات او مؤید این فکر بود که سیستم‌های بیولوژیکی تابع مکانیسم‌های غیرخطی‌اند.

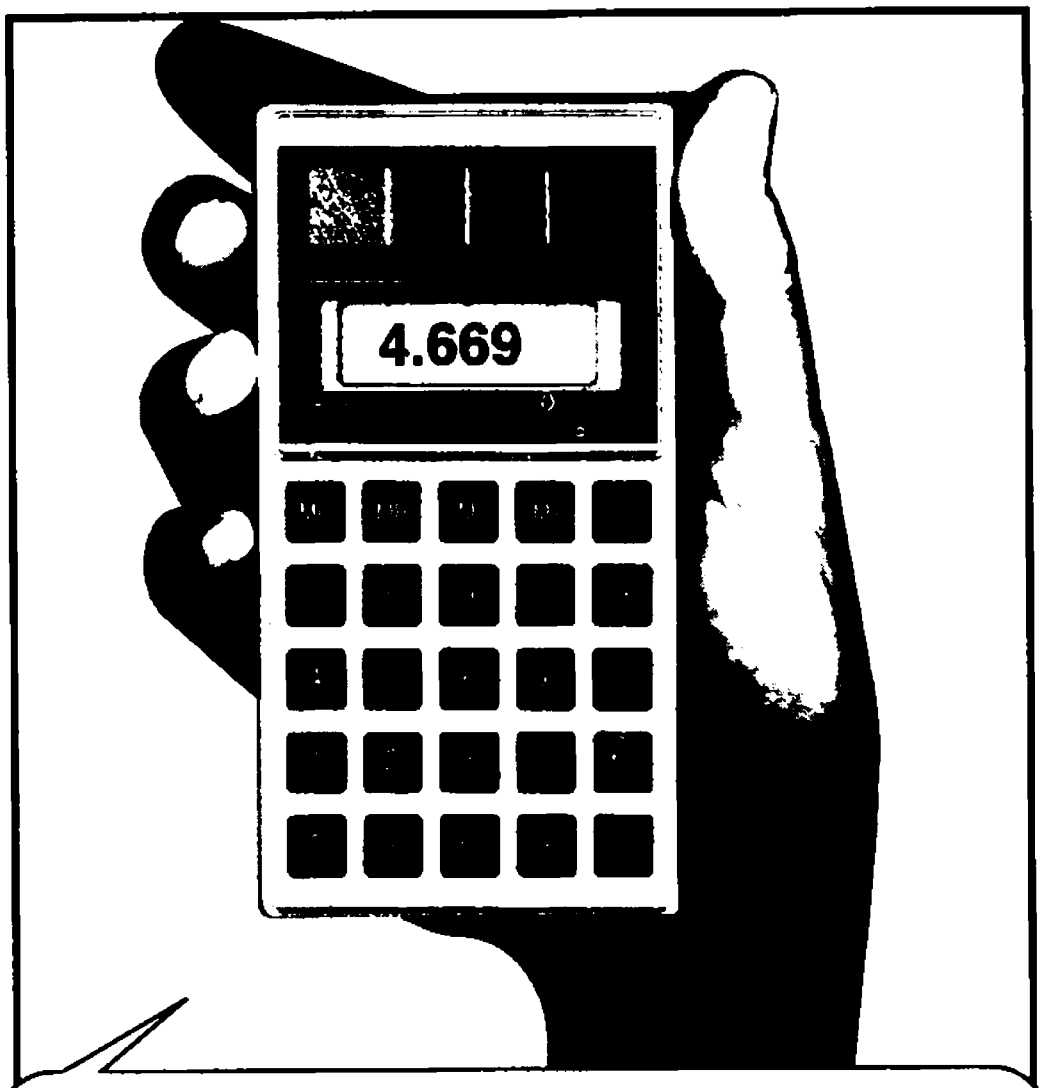
آشوب در رخدادهای زندگی واقعی

می مشاهده نمود که جمعیت جانوران در آزمایشگاه، رفتار آشوب‌زده ندارد. مقادیر حول نقطه‌ای و بنا به عوامل محیطی نوسان می‌کند و رفتاری خطی دارد. اما این رفتار بازتاب آنچه در دنیای واقعی اتفاق می‌افتد نیست. در دنیای واقعی دوره‌های تناوب دوبرابر می‌شود.

اگرچه این روشی جالب است، اما تمام رخدادهای زندگی واقعی را به‌طور کامل دربرنمی‌گیرد. انواع با یکدیگر در تعامل‌اند و ما هرگز نمی‌توانیم تمامی عوامل تأثیرگذار بر یک گروه از جانوران را بشناسیم. یا به قول می «متأسفانه از این جای داستان به‌بعد دیگر چیزی دستگیرمان نمی‌شود».

میچل فِی‌جن باوم: الگوهای غیرخطی

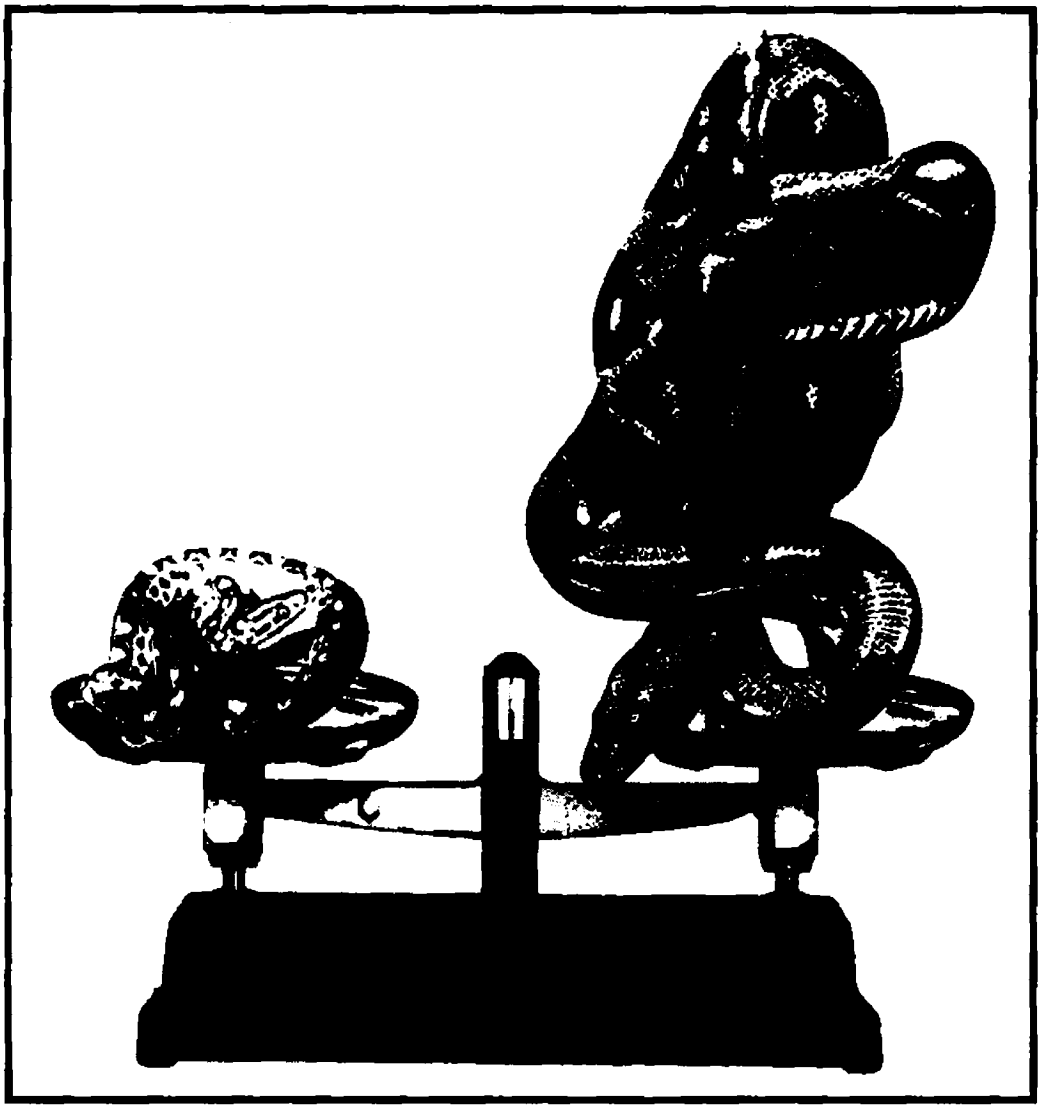
میچل فِی‌جن‌باوم فارغ‌التحصیل مؤسسهٔ فنی ماساچوست (MIT) است. او اولین کسی بود که ثابت کرد آشوب، حقه‌ای ریاضی نیست، بلکه خصیصهٔ جهان‌شمول سیستم‌هایی با بازخورد منفی است. او برای نخستین‌بار شواهد نظری بارزی را ارائه کرد که نشان می‌داد آشوب در بسیاری از وضعیت‌های دنیای واقعی وجود دارد.



در جریان تحقیقاتم متوجه شدم که الگوی خاصی در سیستم‌های غیرخطی مختلف تکرار می‌شود. این الگو عدد رشته‌های عددی بود که در محاسبات آشکار می‌شد. ماشین‌حساب جیبی من، این عدد خاص را ۴/۶۶۹ نشان می‌داد.

فِی‌جن‌باوم با همکارانش در این مورد مشورت کرد و آن‌ها به او پیشنهاد کردند که نتایج محاسباتش را با استفاده از داده‌های بیشتر و با استفاده از یک رایانه آزمایش کند. رایانه عدد ۴/۶۶۹۲۰۱۶۰۹۰ را به‌دست آورد. این نتیجه او را متقاعد کرد که چیزی درشرف وقوع است.

«تصور کنید که یک جانورشناس ماقبل تاریخ برای اشیاء کیفیتی انتزاعی قائل است که آن را وزن می‌نامد. او بر این عقیده است که برخی چیزها سنگین‌تر از برخی دیگرند و می‌خواهد این فکر را به‌طریق علمی بررسی کند. او هرگز وزن چیزی را اندازه نگرفته است، اما استنباطی از آن دارد. او مارهای کوچک و مارهای بزرگ را مشاهده می‌کند، خرس‌های کوچک و خرس‌های بزرگ را نگاه می‌کند و حدس می‌زند که وزن این جانوران ممکن است رابطه‌ای با اندازهٔ آن‌ها داشته باشد. مقیاسی تعبیه می‌کند و شروع می‌کند به وزن‌کردن مارها. با کمال تعجب می‌بیند که همهٔ مارها هم‌وزن‌اند. درنهایت اعجاب مشاهده می‌کند که همهٔ خرس‌ها هم هم‌وزن‌اند و از آن شگفت‌انگیزتر این‌که خرس‌ها و مارها یک‌وزن دارند. وزن همهٔ آن‌ها ۴/۶۶۹۲۰۱۶۰۹۰ است. روشن است که وزن، آن چیزی نیست که او فکر می‌کرده است. کل مفهوم باید بازاندیشیده شود» (گلیک، *آشوب*، ص ۱۷۴).



راه‌حل‌های آسان برای مسائل دشوار

فی‌جن‌باوم هیچ تصوری از این‌که چرا چنین تکرار و ترتیبی به‌وقوع می‌پیوندد، نداشت. فرض او این بود که توابع عددی‌اش بیانگر قوانینی دربارهٔ سیستم‌ها، در نقطهٔ گذار از نظم به تلاطم، هستند. وجود الگوهایی در دنباله‌های عددی به‌معنی وجود الگوهایی در پدیدهٔ تلاطم است. او کشف خود را با ابداع مفهوم **جهان‌شمولی** توضیح می‌داد. هرچند این مفهوم، پدیده را توضیح نمی‌داد اما باعث می‌شد تمایزی میان ریاضیات زیبا و نظریهٔ مفید ایجاد شود.

هضم این حکم برای فیزیکدان‌ها ثقیل بود، چراکه آنان همواره بر این پندار بودند که مسائل دشوار نیازمند راه‌حل‌های دشوارند. درنتیجه، جامعهٔ علمی تنها با صرف وقت و تحمل رنج بود که توانست کشف فی‌جن‌باوم را بپذیرد.

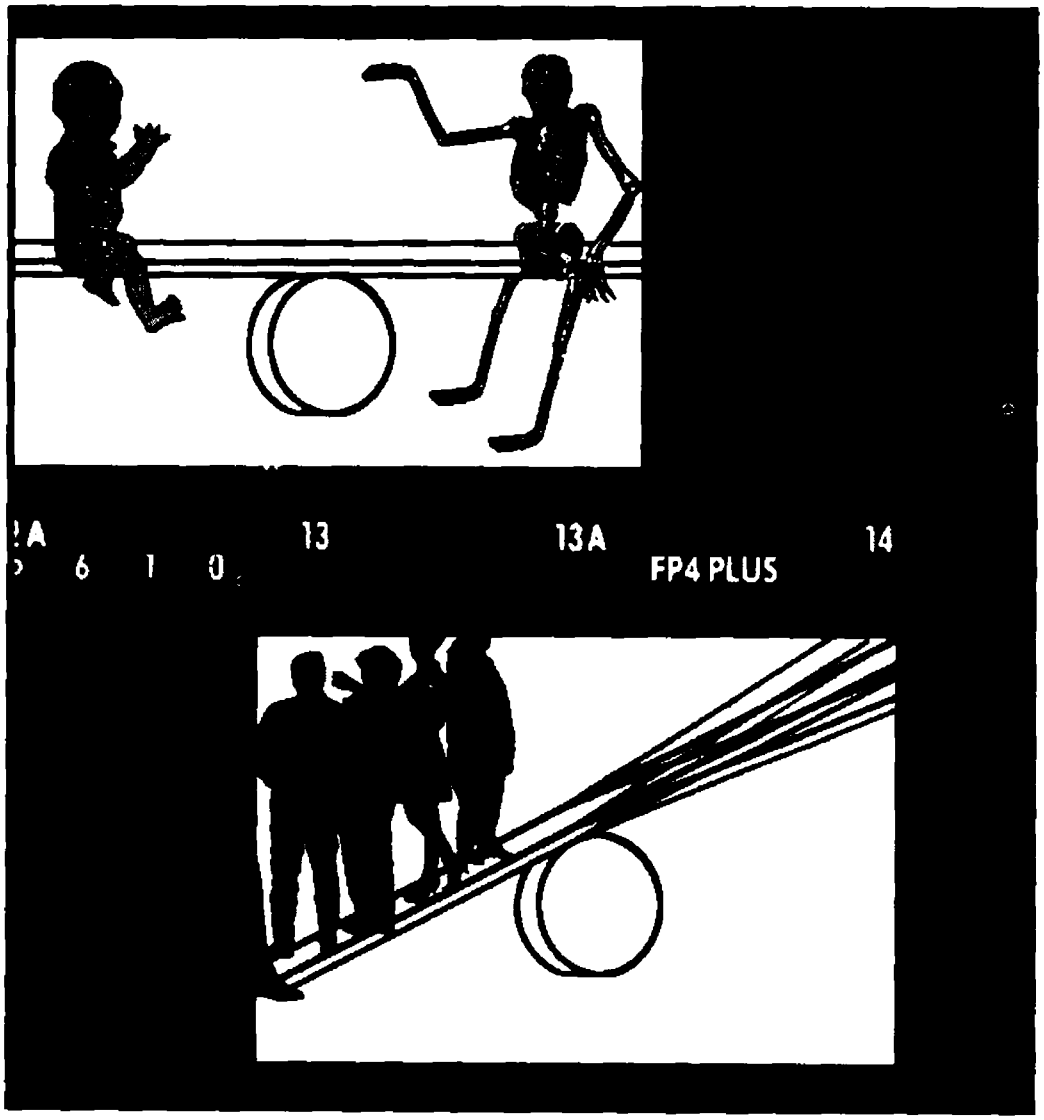
ایلیا پریگوژین: سیستم‌های اتلافی

ایلیا پریگوژین (متولد ۱۹۱۷)، شیمی‌دان بلژیکی، یکی از پیشگامان حقیقی نظریهٔ آشوب است. او در سال ۱۹۷۷، به‌خاطر کارش در زمینهٔ سیستم‌های اتلافی، برندهٔ جایزهٔ نوبل شیمی شد. پریگوژین اولین کسی بود که دو مفهوم سیستم‌های اتلافی و خودسازماندهی (self-organization) را طرح کرد. او همچنین اولین کسی بود که نشان داد شرایطی که باعث به‌وجودآمدن ساختارها می‌شود، شرایط «دور از تعادل» است.

سیستم‌های بیولوژیک و اجتماعی، سیستم‌های باز هستند و درنتیجه با بیان مکانیکی قابل فهم نیستند. واقعیت عمدتاً ناپایدار و مملو از بی‌نظمی و تغییر است.

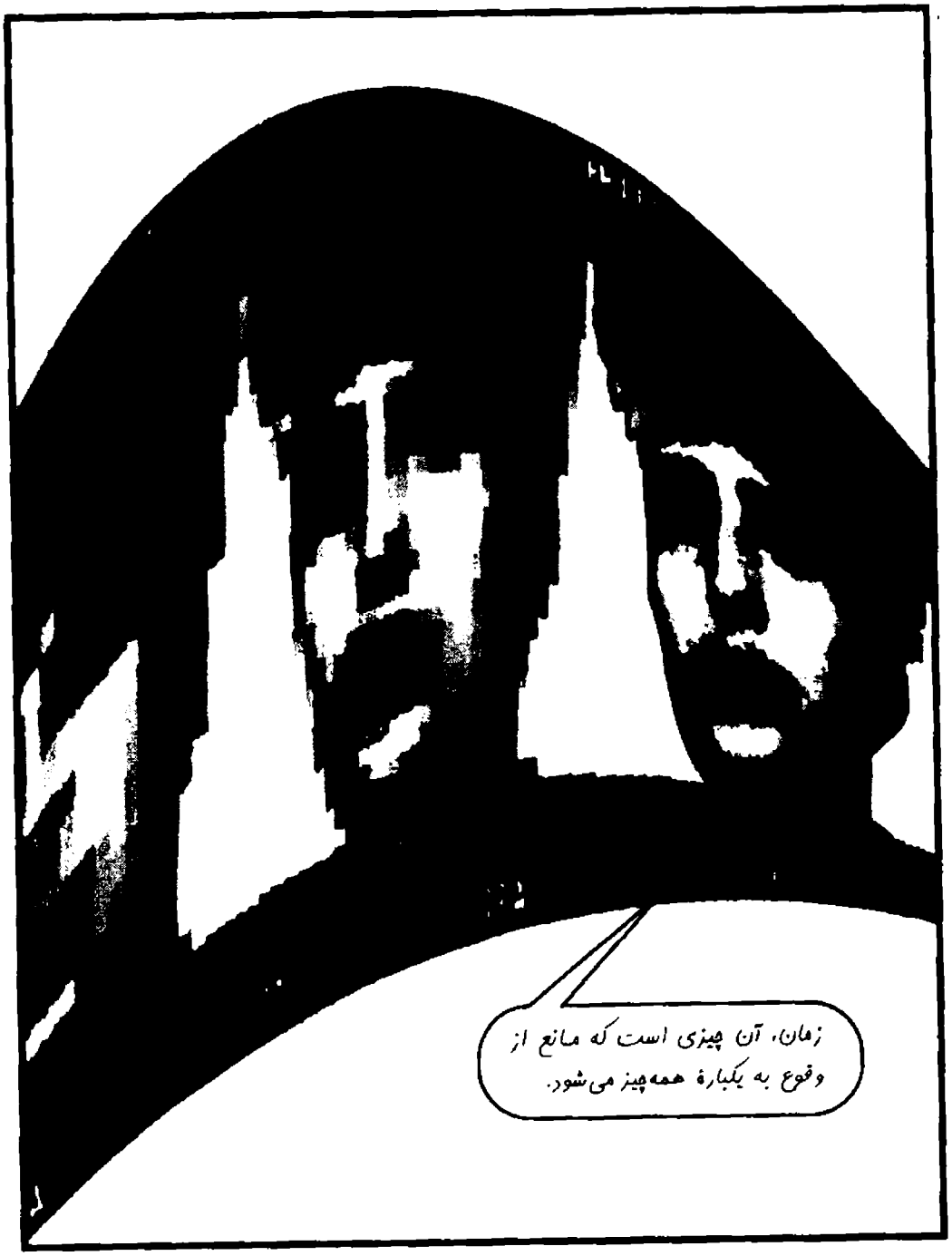
بی‌نظمی و نظم

پریگوژین میان سیستم‌های «در حال تعادل»، «نزدیک به تعادل» و «دور از تعادل» تمایز قائل شد. جمعیت کوچکی که با چند زایش یا مرگ دچار تغییر بزرگی نمی‌شود، در حال تعادل است. با این حال، اگر نرخ زایش ناگهان و به‌طور غیرقابل کنترلی رو به‌افزایش بگذارد، آنگاه چیزهای شگفتی ممکن است روی دهد، وضعیت دور از تعادل. در سیستم‌های دور از تعادل، می‌توان سازماندهی مجدد و چشمگیر ماده را مشاهده کرد. بی‌نظمی ـ آشوب حرارتی ـ به نظم تبدیل می‌شود. وضعیت‌های پویای جدیدی از ماده امکان رشد می‌یابند؛ وضعیت‌هایی که نمایانگر تعامل سیستم با محیط آن هستند. پریگوژین این ساختارها را *ساختارهای اتلافی* نام نهاد، چرا که حفظ آن‌ها نیازمند انرژی بیشتر است. سیستم‌های اتلافی، عموماً، حاوی فرایندی تضعیفی (damping process)، مانند اصطکاک، هستند.



خودسازماندهی و زمان

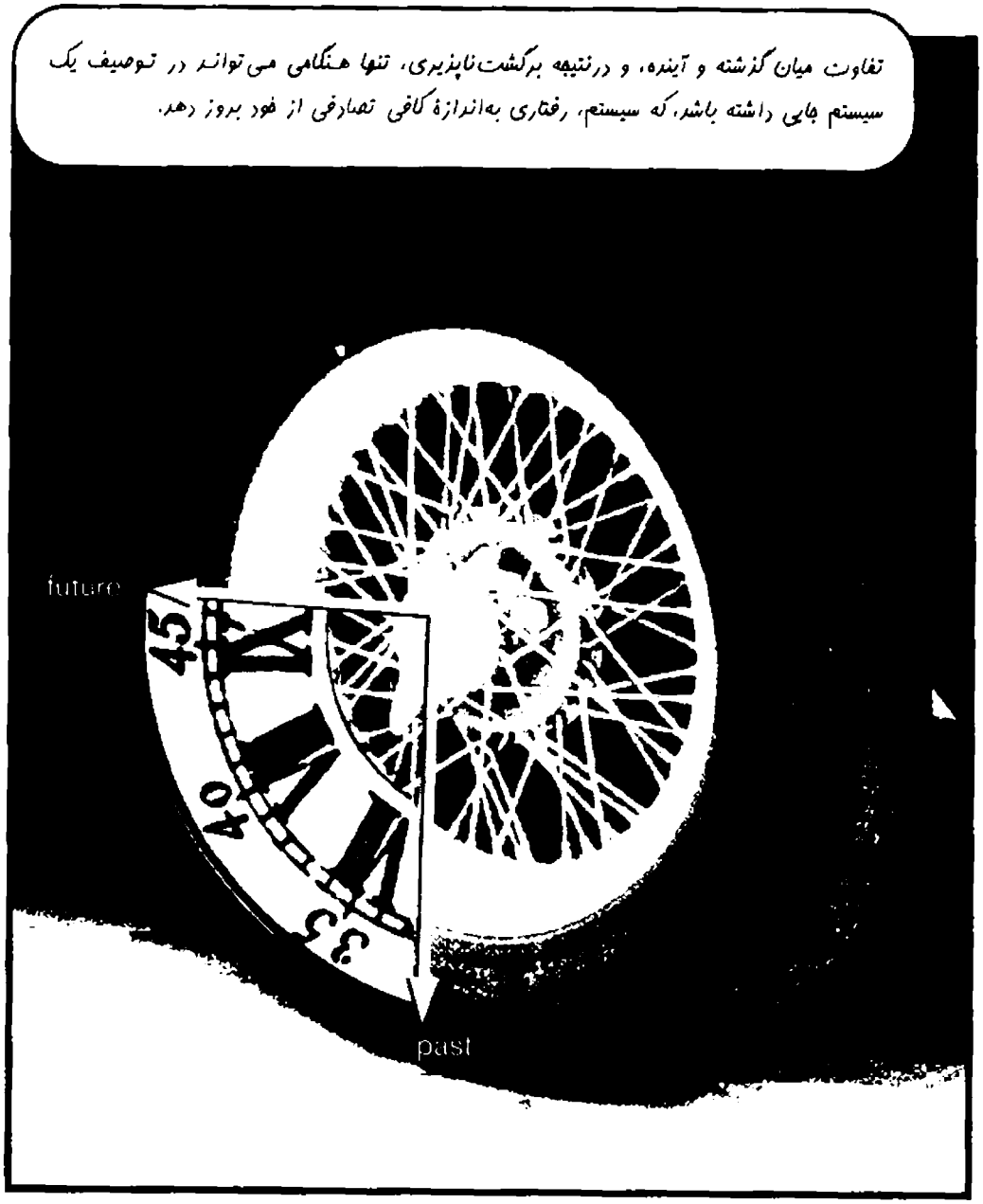
همچنین، هنگامی که یک سیستم دور از تعادل وارد یک دورهٔ آشوب‌زده می‌شود، «خود به‌خود» به سطح متفاوتی از نظم دست می‌یابد؛ پریگوژین این فرایند را «خودسازماندهی» نامید. در آغاز، اندیشه‌های پریگوژین دربارهٔ خودسازماندهی بسیار بحث‌انگیز و مورد انتقاد بود. او همچنین زمان را در معادلهٔ آشوب و پیچیدگی وارد نمود.



زمان و مسئلهٔ آنتروپی

در فیزیک نیوتن، زمان مسئله‌ای است که پرداختن به آن معوق مانده است. نیوتن بر این نظر بود که همه لحظات مانند یکدیگرند. ماشین می‌تواند به جلو یا به عقب برود و تفاوت چندانی نمی‌کند. اما ترمودینامیک و قانون دوم و بسیار مهم آن، به زمان جایگاهی مرکزی داد؛ ماشین رو به افول می‌رود و زمان فقط در یک جهت سیر می‌کند. نمی‌توانید **آنتروپی** را جایگزین کنید ــ جهان به سمت مرگ حرارتی می‌رود.

پریگوژین مدعی بود که زمان، تنها در حضور وضعیت‌های تصادفی می‌تواند ظاهر شود.



منشاء نظم

در برخی واکنش‌های شیمیایی، دو مایع در حالت مخلوط، آنقدر درهم پخش می‌شوند که مایعی همگن به‌دست می‌آید. دو مایع نمی‌توانند از این پراکندگی به وضع اولیه برگردند. مایع مخلوط، در هر لحظه، متفاوت و درنتیجه «زمان‌مدار» (time oriented) است. شیمی‌دان‌ها به این پدیده به چشم یک نابهنجاری می‌نگریستند.

در واقع، فرایندهای برگشت‌ناپذیر، منشاء نظم‌اند ــ عنوانِ کتاب پریگوژین نیز از همین رو *نظم در میان آشوب* (۱۹۸۴) است.

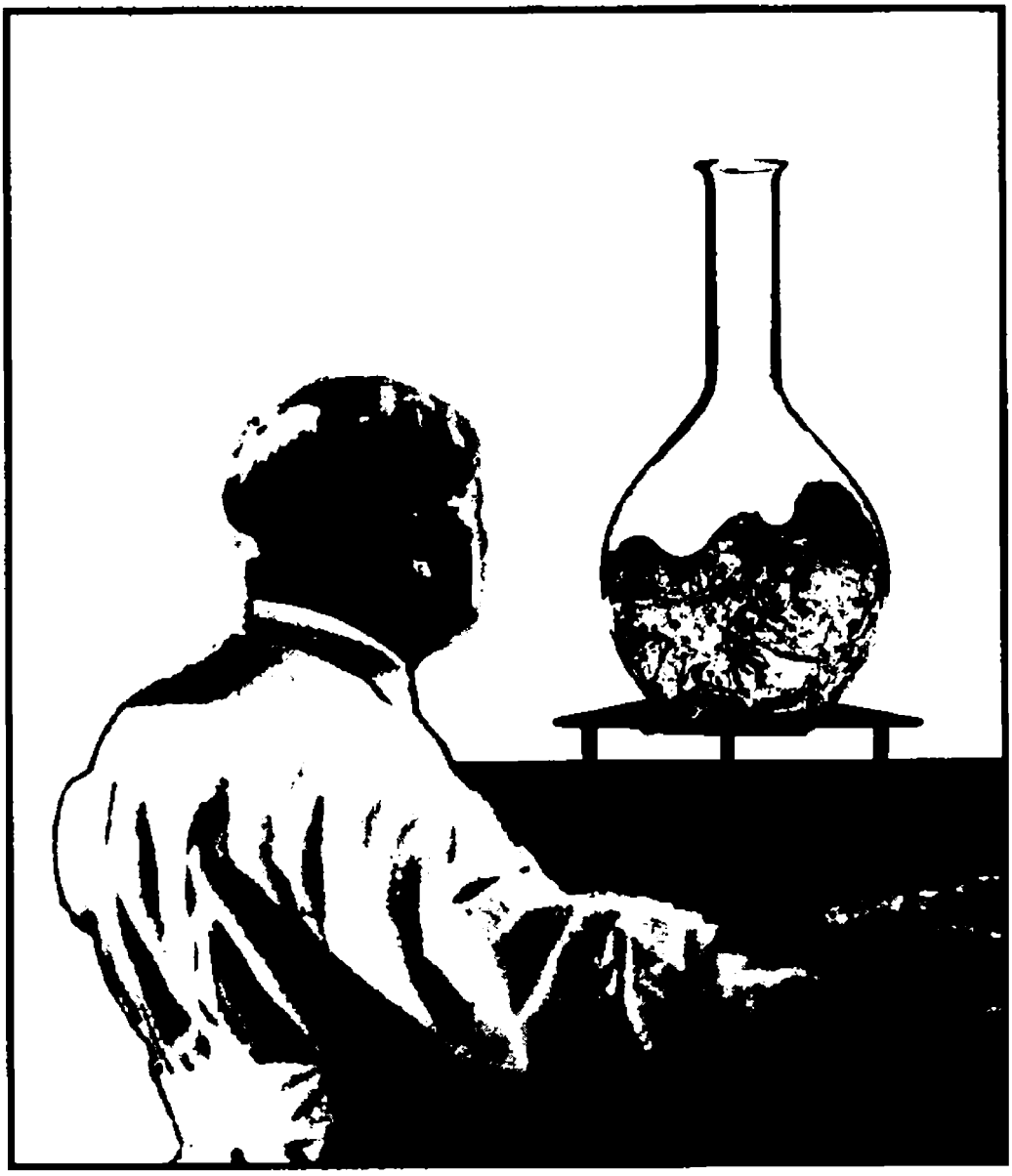
پریگوژین: «مطالعهٔ سیستم‌های دور از تعادل مرا به این عقیده رهنمون شد که برگشت‌ناپذیری نقشی سازنده دارد. برگشت‌پذیری شکل‌ها را می‌سازد. برگشت‌پذیری نوع بشر را می‌سازد.»

زمان برگشت‌ناپذیر یک نابهنجاری نیست بلکه با زمان برگشت‌پذیر درارتباط است. این دو مانعةالجمع نیستند؛ برگشت‌پذیری فقط در سیستم‌های بسته قابل اعمال است و برگشت‌ناپذیری در باقی جهان.

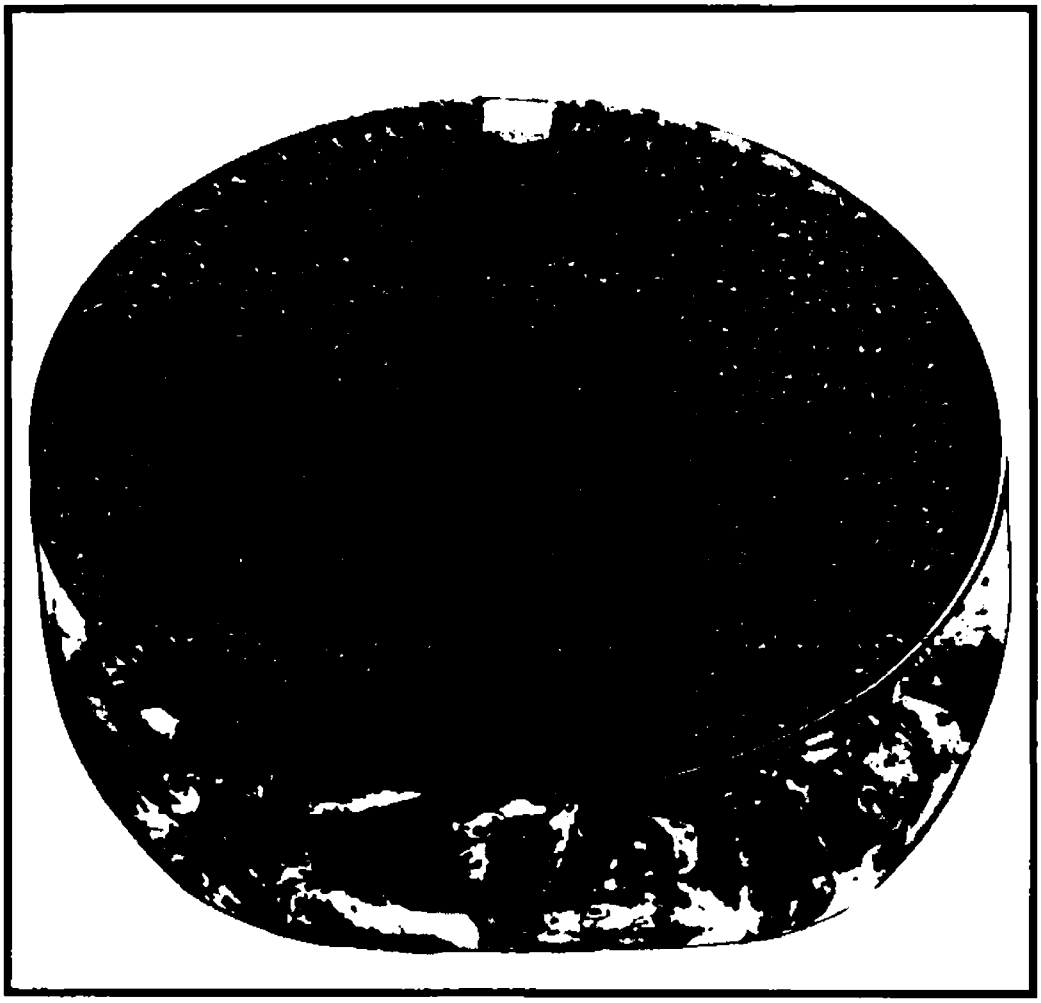
سایر خصوصیات خودسازماندهی

پریگوژین، خودسازماندهی را به‌صورت پدیده‌ای تعریف کرد که در آن، سیستم ساختار درونی خود را مستقل از علل بیرونی سازمان می‌دهد. این قبیل سیستم‌های خودسازمانده، دیگر خصوصیات آشوب را نیز از خود بروز می‌دهند؛ غیرخطی‌بودن، بازخورد، ساختارهای شکنه‌ای و وابستگی حساس. بنار، فیزیکدان فرانسوی، حتی پیش از آنکه پریگوژین با مفهوم خودسازماندهی‌اش از راه برسد، نمونه‌ای از این پدیده را ارائه کرده بود.

آزمایش بنار به قرار زیر بود: او مقداری مایع را در ظرفی ریخت و از زیر به ظرف حرارت داد.



در آغاز که اختلاف دما میان کف ظرف و بالای آن کم است، حرارت برطبق خاصیت رسانندگی گرمایی انتقال می‌یابد و هیچ حرکت محسوسی در مایع دیده نمی‌شود. سپس، افزایش اختلاف دما تا یک مقدار آستانه‌ای ادامه می‌یابد تا آن‌که حرکت درون مایع ناپایدار و آشوب‌زده می‌گردد و ناگهان یک شکل منظم پدیدار می‌شود. مولکول‌های مایع که به شکل تصادفی در حرکت بودند، ناگهان یک حرکت محسوس کاملاً منظم را، به شکل حلقه‌هایی که میلیون‌ها برابر از اندازهٔ مولکول‌ها بزرگترند، به نمایش می‌گذارند. اگر شکل ظرف گرد باشد، حرکت حلقه‌ها اشکال شش‌ضلعی‌ای را در سطح مایع ایجاد می‌کند. این اشکال ناشی از بالاآمدن مایع داغ از وسط منشورهای شش‌ضلعی و فروریختن مایع خنک‌تر در امتداد دیواره‌های آن است. به‌نظر می‌رسد تمام این پدیده، درنتیجهٔ تأثیر یک نیرو باشد، اما چنین نیرویی وجود ندارد. نظم موجود خودبه‌خودی است. این همان خودسازماندهی است که دارد عمل می‌کند.



سیستم‌های خودسازمانده سه خصیصهٔ عمده دارند

۱. این سیستم‌ها در عین این‌که باز و جزئی از محیط خود هستند، می‌توانند به ساختاری دست بیابند و آن را در شرایط دور از تعادل حفظ کنند. این خصیصه، دیدگاه سنتی را که می‌گوید مطالعهٔ سیستم‌ها باید چنان باشد که گویی از محیط خود جدایند، تضعیف می‌کند. رفتار این سیستم‌ها همچنین برخلاف قانون دوم ترمودینامیک به‌نظر می‌آید که عنوان می‌کند سیستم‌ها به‌جای نظم باید به سمت بی‌نظمی مولکولی بروند.

۲. جریان انرژی در این سیستم‌ها به آن‌ها امکان می‌دهد که به‌طور خودبه‌خودی به سازماندهی خود بپردازند و در شرایط دور از تعادل، ساختاری را ایجاد و آن را حفظ کنند. این سیستم‌ها همچنین ساختارهای نو و شیوه‌های جدید رفتار را ایجاد می‌کنند. از این رو سیستم‌های خودسازمانده را «خلاق» می‌گویند.

۳. سیستم‌های خودسازمانده از دو جهت پیچیده‌اند. اول، شمار اعضای تشکیل‌دهندهٔ آن‌ها آنقدر زیاد است که به هیچ‌وجه نمی‌توان رابطه‌ای عِلّی بین آن‌ها برقرار نمود. دوم، اجزای آن‌ها در شبکه‌ای از حلقه‌های بازخورد به هم مرتبط‌اند.

آشوب دورهٔ سه

ابداع عبارت «آشوب» را مدیون تی‌ان ین‌لی و جیمز یورک، دو ریاضی‌دان دانشگاه مریلند، هستیم. این عبارت نخست در مقاله‌ای به کار برده شد که آن‌ها در سال ۱۹۷۵ به‌چاپ رساندند و بسیار هم مورد ارجاع واقع می‌شود. این مقاله عنوان عجیبی به این شرح دارد: «دورهٔ سه به آشوب می‌انجامد». اما دورهٔ سه دیگر چیست؟

لی و یورک نشان دادند که غیرممکن است بشود سیستمی بنا کرد که در یک نوسان با دورهٔ سه خود را تکرار کند و تولید آشوب نکند. یورک کشف خود را چنین توضیح می‌دهد: «در هر سیستم یک بعدی، هرگاه یک چرخهٔ منظم با دورهٔ سه نمایان شود، آنگاه همان سیستم چرخه‌های منظم با هر طول دیگر و همچنین چرخه‌های کاملاً آشوب‌زده‌ای خواهد داشت.»

بگذارید جور دیگری بگوییم. به‌عنوان مثال، جمعیتی از حشرات را درنظر بگیرید. هنگامی که *پارامتر نرخ رشد جمعیت*، r، برای یک جمعیت مفروض رو به افزایش می‌گذارد، ابتدا جمعیت نیز افزایش می‌یابد. سپس، در یک نقطهٔ بحرانی، دو خط ظاهر می‌شود؛ *دوشاخگی*. در این نقطه، جمعیت، از یک چرخهٔ یک‌ساله به چرخهٔ دوساله گذار می‌کند. با افزایش مقدار پارامتر، این دو خط مجدداً به دو شاخه تقسیم می‌شوند و الگوی تکرار جمعیت کم‌کم برهم می‌خورد. ناگهان، آشوب نمایان می‌شود و بخشی از نمودار را سیاه می‌کند.

هر سیستمی که با یک دورهٔ سه خود را تکرار کند، آشوب ایجاد خواهد کرد و بدون آشوب نمی‌تواند وجود داشته باشد.

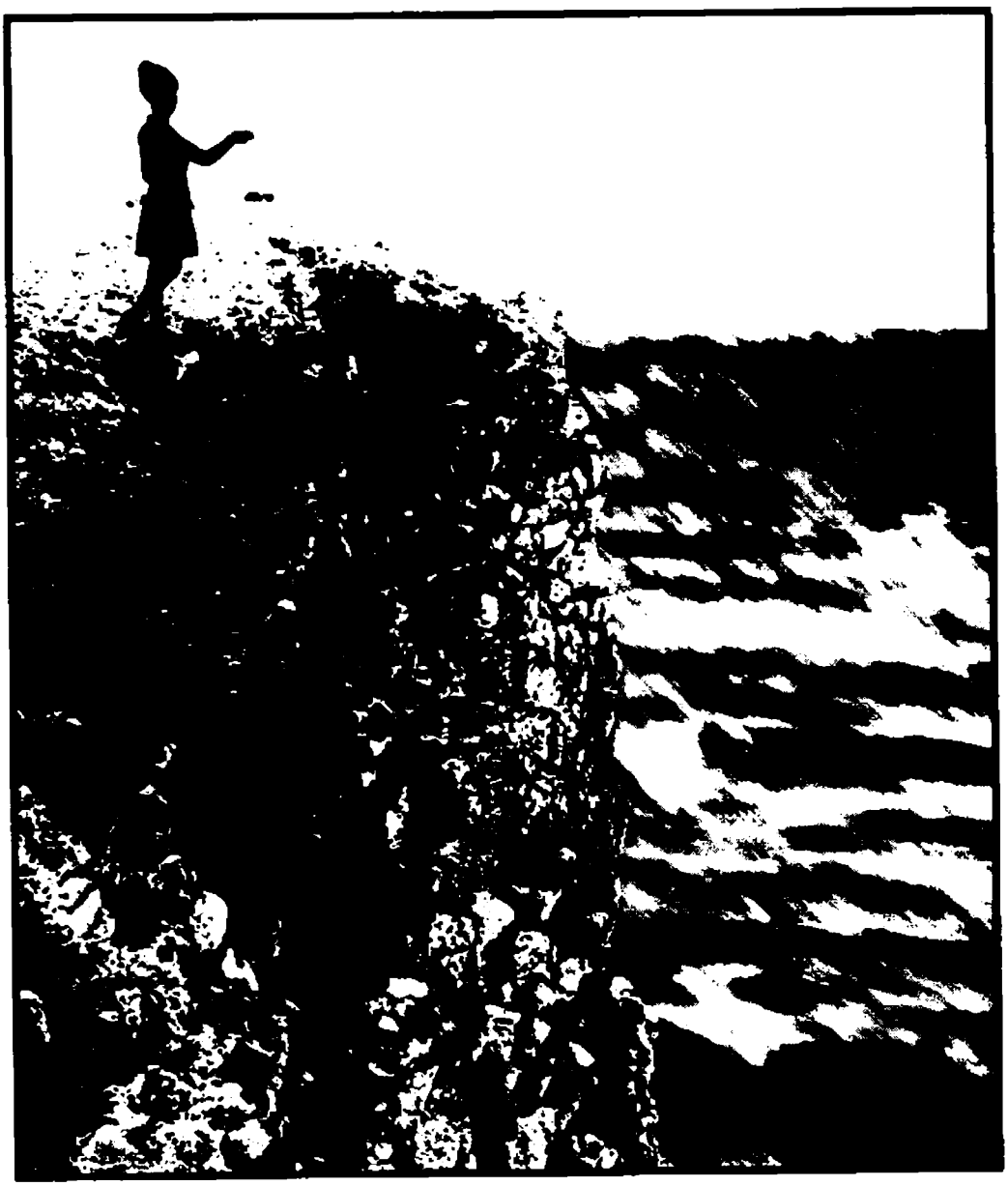
به‌نظر می‌رسد که این شرح تخصصی از آشوب با شرح غیرتخصصیِ آن جور درمی‌آید. به این ترتیب، لی و یورک، خواسته یا ناخواسته، موفق به ایجاد یک واژه جدید علمی شدند.

آشوب عبارتی است که غنای قابل ملاحظه‌ای دارد. صرف کاربرد گستردهٔ آن به‌مثابهٔ نام یک علمِ جدید و چشم‌انداز جدیدی از جهان طبیعی، به‌دقت و روشنی، طبیعت پدیده‌ای که روش‌شناسی آشوب آن را به نمایش می‌گذارد منتقل نمی‌کند. بسیاری از دانشمندان معتقدند که «آشوب» نام ضعیفی برای این علم جدید است، چرا که تصادفی‌بودن را به ذهن متبادر می‌کند. از نظر آن‌ها، پیام بسیار مهم این نظریه این است که، در طبیعت، فرایندهای ساده می‌توانند، بدون این‌که واقعاً تصادفی باشند، بناهای معظمی از پیچیدگی را برپا کنند.

به سمت لبهٔ آشوب: نظریهٔ پیچیدگی (Complexity)

در سال‌های ۱۹۸۰، مطالعه دربارهٔ آشوب بیشتر به اعماق وضعیت‌های موجود در جهان واقعی فرو رفت. دانشمندان به انجام آزمایش‌هایی پرداختند که آشوب را در سیستم‌های فیزیکی جست‌وجو می‌کرد و آن را می‌یافت. این امر مهمی بود، زیرا آشوب را از حوزهٔ مجردات نظری به یک خصیصهٔ عینی طبیعت تبدیل می‌کرد.

در همان ایام پدیدهٔ «لبهٔ آشوب» توجه بیشتری از سوی دانشمندان در حوزه‌های مختلف علم را به خود جلب کرد و شمایل علم جدیدتری نمایان شد؛ **پیچیدگی**.



پیچیدگی چیست؟

سیستم‌های پویای غیرخطی که توسط نظریهٔ آشوب مورد مطالعه واقع می‌شوند، سیستم‌های پیچیده‌ای هستند.به این معنی که در آن‌ها تعداد زیادی متغیرهای مستقل به طرق بسیار گوناگون با هم در تعامل‌اند. این سیستم‌های پیچیده قابلیت این را دارند که میان نظم و آشوب توازن برقرار کنند. این نقطهٔ توازن، که لبهٔ آشوب نامیده می‌شود و نقطه‌ای است که سیستم در یک حیات معلق میان پایداری و فروافتادن در تلاطم کامل به‌سر می‌برد، بسیاری خصیصه‌های ویژه دارد.

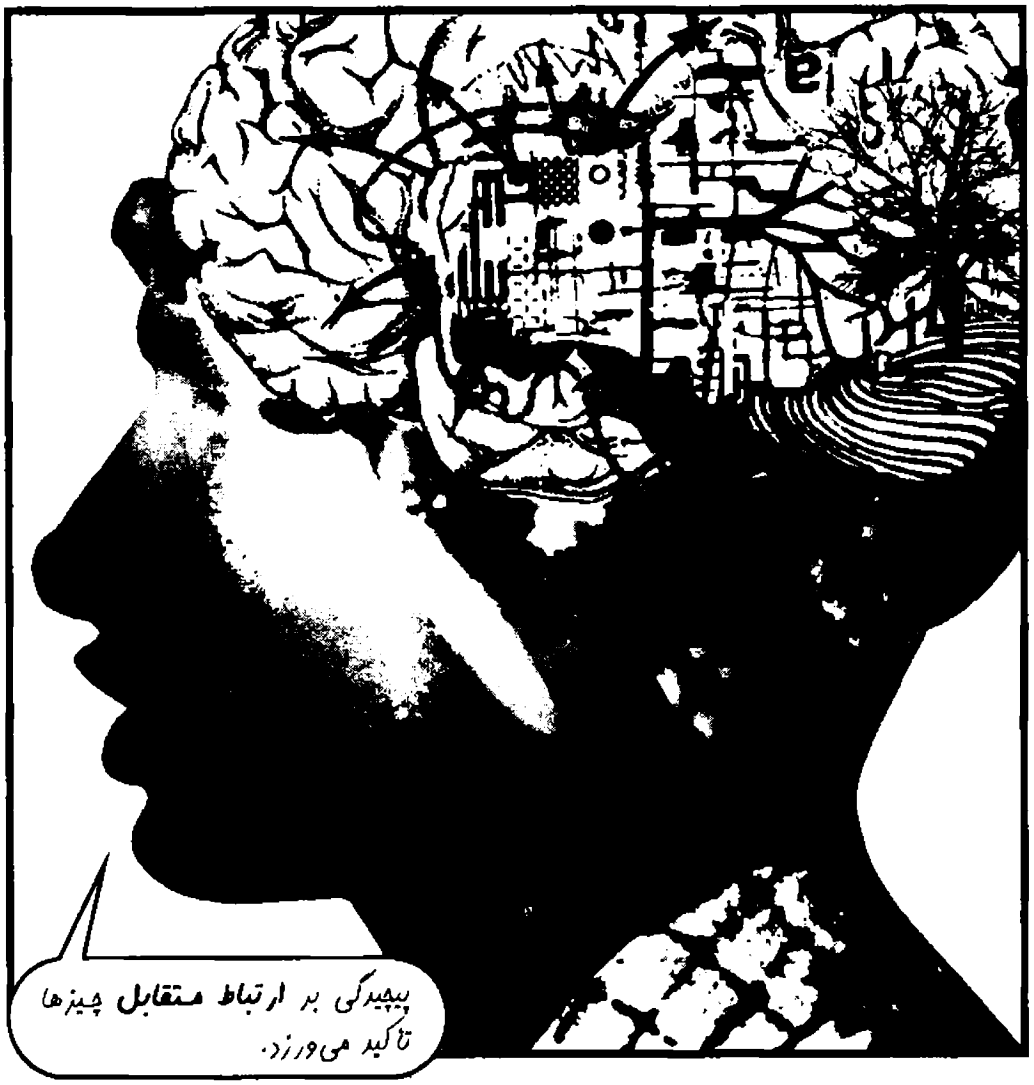
غنایِ عالی و تنوع کنشی‌ها، میان لشگری از متغیرهای مستقل، سیستم‌های پیچیده را قادر می‌سازد تا خود را سازمان دهند. فرایند خودسازماندهی، خودبه‌خود رخ می‌دهد؛ گویی به طریقی جادویی! یک دسته پرندهٔ مهاجر را درنظر بگیرید که به پرواز درمی‌آیند. هر پرنده مسیر خود را با پرندگان مجاور تنظیم و منطبق می‌کند و به این‌ترتیب کل پرندگان ناخودآگاه به شکل یک دستهٔ منظم، خود را سازمان می‌دهند.

اتم‌ها به یکدیگر متصل می‌شوند و خود را به شکل مولکول‌های پیچیده سازمان می‌دهند. سازماندهی خودبه‌خودی یکی از مشخصه‌های اصلی سیستم‌های پیچیده است.

انطباق و ارتباط

خصیصهٔ دیگر سیستم‌های پیچیده، ماهیت انطباق‌پذیری آن‌هاست. سیستم‌های پیچیده، منفعل نیستند و به‌شکلی فعال از خود واکنش نشان می‌دهند تا هر رخدادی را به‌نفع خویش تغییر دهند. گونه‌های مختلف خود را با تغییرات محیط منطبق می‌کنند. بازارهای تجاری به تغییرات شرایط (تغییرات قیمت، پیشرفت‌های فنی، سبک و سیاق مصرف و غیره)، پاسخ می‌دهند. مغز انسان، مدام میلیاردها ارتباط عصبی خود را، سازماندهی و بازسازماندهی می‌کند تا از تجارب بیاموزد.

سیستم‌های پیچیده، همچنین، ارتباط متقابل میان چیزها را به‌شکلی بارز نمایان می‌سازند.



همه‌چیز به همه چیز مرتبط است: درختان به آب وهوا، انسان‌ها به محیط زیست، جوامع به یکدیگر. ما دیگر تنها نیستیم؛ هیچ چیز چنین نیست.

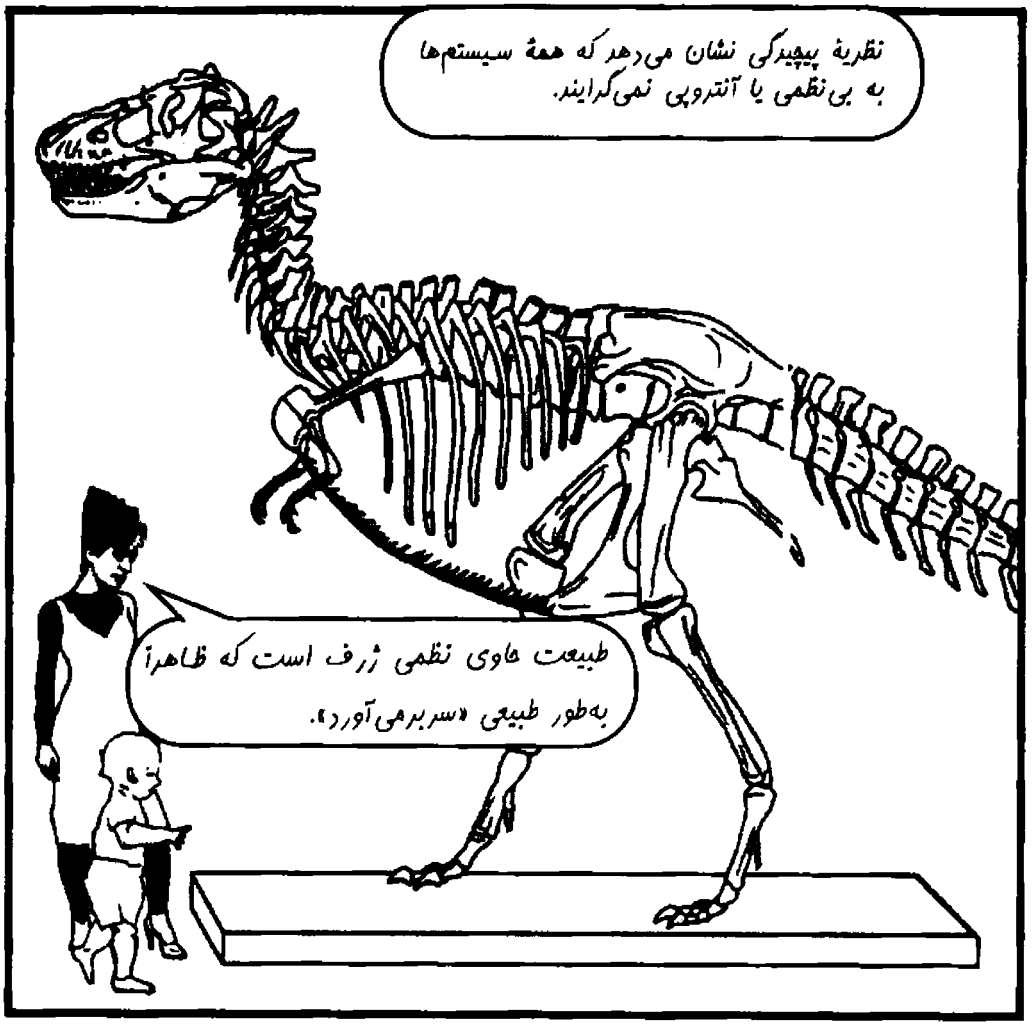
تفاوت میان پیچیدگی و نظریهٔ آشوب چیست؟

توجه پیچیدگی معطوف به این است که چیزها چگونه *اتفاق می‌افتند*، حال آن‌که آشوب به مشاهده و بررسی رفتار ناپایدار و غیرتناوبی می‌پردازد. آشوب سعی دارد پویایی نهفته در یک سیستم پیچیده را بفهمد. پیچیدگی با پرسش‌های واقعاً بزرگی دست به‌گریبان است.

راجر لِوین، روزنامه‌نگار علمی، می‌گوید که «پیچیدگی، مانند نظریهٔ زندگی بر لبهٔ آشوب، طیف وسیعی از چیزها را دربرمی‌گیرد؛ از رشد جنین، تکامل، پویایی اکوسیستم‌ها، جوامع پیچیده تا خودِ نظریهٔ گایا (Gaia) که حیات و محیط زیست را اجزاء مکمل یک ارگانیسم واحد می‌داند و همنام با رب‌النوع زمین (در اساطیر یونان) نام‌گذاری شده است؛ پیچیدگی نظریه‌ای است برای همه‌چیز.»

ورای آنتروپی

بزرگترین سهمی که پیچیدگی داشته، این بوده که نشان داده است قانون دوم ترمودینامیک همه‌چیز نیست. قانون دوم، «پیکان زمان» را وارد فیزیک می‌کند و می‌گوید که در جهان، آنتروپی، یا بی‌نظمی، تنها در یک جهت قادر به حرکت است؛ همواره رو به افزایش دارد و جهان محکوم به نیل به وضعیت بی‌نظمی مطلق است.



در طول زمان، متغیرهای جدیدی به منصهٔ ظهور می‌رسند که برای «بودن» نیاز به نیرویی خارجی ندارند. این مسئله به فیزیکدان‌ها مربوط نمی‌شود؛ بیشتر مسئلهٔ زیست‌شناس‌ها است، زیرا به‌نظر می‌رسد که با اندیشه‌های داروینی در تعارض است.

بخش مهمی از پژوهش‌های اخیر در زمینهٔ پیچیدگی، در مؤسسهٔ سانتافه (Santa Fe Institue) صورت گرفته است. این مؤسسه یک مرکز تخصصی بین‌رشته‌ای است، که در سال ۱۹۸۴، به‌طور مشخص برای کار بر روی نظریهٔ پیچیدگی، تأسیس شده است.

ظاهراً آشوب و پیچیدگی، تواماً جهان را راهبری می‌کنند. هرچه واقعی است، آشوب‌زده است؛ پرواز در فضا، مدارهای الکترونیک، صحرا، محیط زیست جنگل، بازار سهام، اقتصاد ملل... و این فهرست پایانی ندارد. همچنین، کلیهٔ سیستم‌های زنده و غالب سیستم‌های فیزیکی، سیستم‌هایی پیچیده‌اند.

آشوب‌شناسی (Chaotics)

بنا به پیشنهاد سه پژوهشگر اروپایی، جرج آندرلا، آنتونی دانینگ و سیمون فورج، اصطلاح «آشوب‌شناسی را به‌عنوان تلفیقی از دو نظریهٔ آشوب و پیچیدگی به‌کار می‌بریم.»

به اعتقاد این پژوهشگران، آشوب‌شناسی، به‌خاطر راه‌های جدیدی که برای اندیشیدن و حل مسائل درپیش می‌گیرد، می‌تواند به ایجاد چارچوبی برای یافتن راه‌حل‌های جدید بینجامد.

ببینیم چگونه، آشوب و پیچیدگی، یا آشوب‌شناسی در جهان فیزیکی کاربرد پیدا می‌کند و چگونه دریافت ما را از زندگی، جهان و چیزهای فی‌مابین تغییر می‌دهد.

آشوب و کیهان

سیستم‌های پویا و پیچیده در همه‌جای جهان وجود دارند. کهکشان‌ها در اطراف و اکناف در چرخش‌اند. امواج ضربه‌ای حاصل از انفجار ابرنواخترها (supernova)، به تولد ستاره‌های جدید و کانون‌های آشوب می‌انجامد. سیاهچاله‌ها انرژی پیرامون خود را می‌بلعند. ستاره‌های نوترونی دیوانه‌وار به‌دور خود می‌چرخند. سیاره‌ها با ارسال علائمی، دال بر وجود فرایندهای آشوب‌زده، اشکال شکنه‌ای را به‌نمایش می‌گذارند.

کشف پوانکاره

تا پیش از پیدایش نظریهٔ آشوب، منظومهٔ شمسی نمونهٔ کاملی از «مکانیک آسمانی» به‌نظر می‌آمد؛ و این، به‌رغم کشف **هانری پوانکاره** (۱۹۱۲ـ۱۸۵۴) فیزیکدان و ریاضی‌دان فرانسوی بود، که در اوایل قرن بیستم، نشان داده بود که به محض این‌که بخواهیم مدار بیش از دو جسم آسمانی را محاسبه کنیم، مشکلات جدی‌ای بروز می‌کند. او مدار سه سیاره را، در فضای فازها، و به روش کیفی رسم کرد و سپس به بررسی مقطعی از مسیرهای به‌دست‌آمده پرداخت.

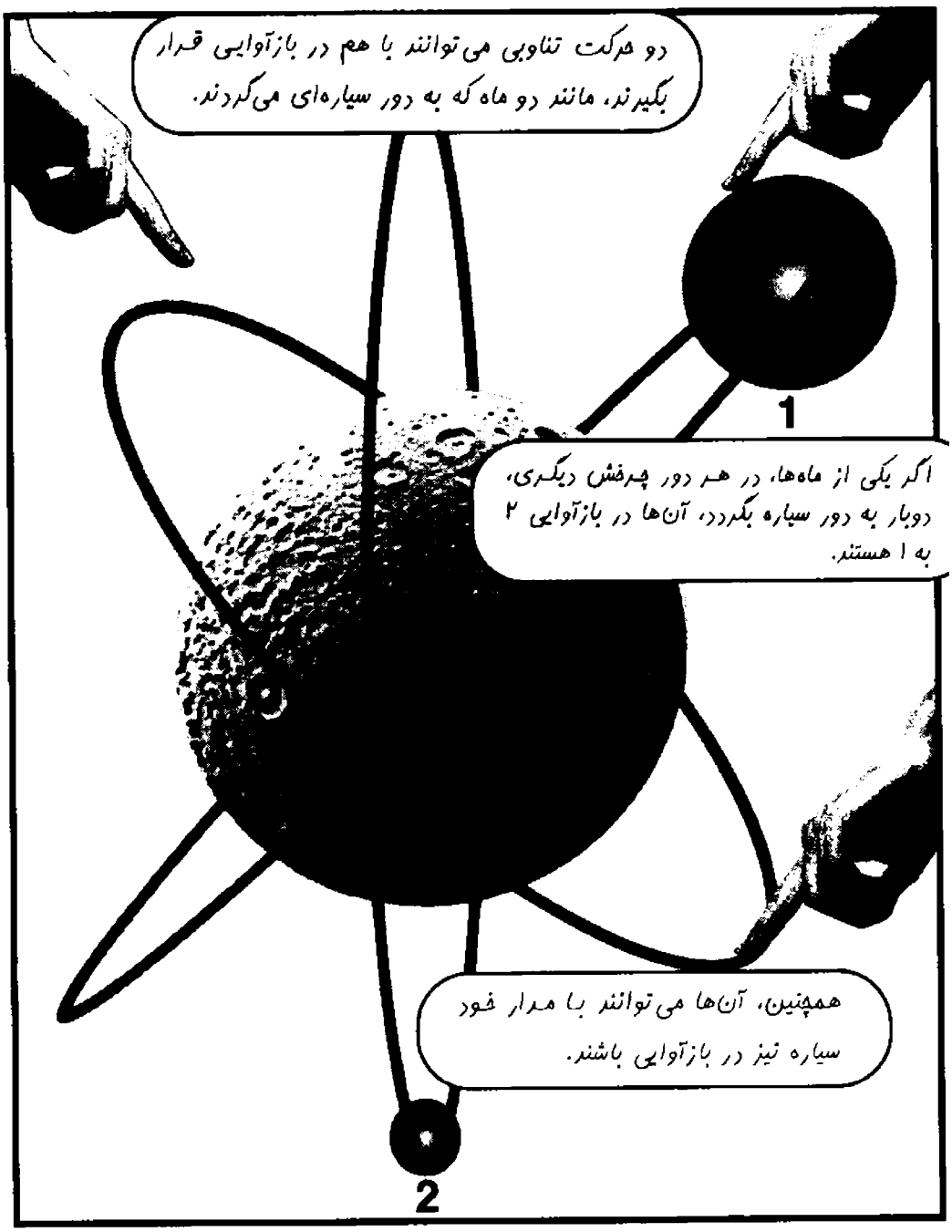
هرچند در آن زمان، پوانکاره و دیگران نمی‌دانستند، اما آنچه او کشف کرده بود، همان آشوب بود.

کشف پوانکاره ــ حاکی از این‌که منظومهٔ شمسی، در چندقدمی نابودی و سیستمی آشوب‌زده است ــ برای مدت ده‌ها سال مورد بی‌اعتنایی قرار گرفت.

شرایط پایداری

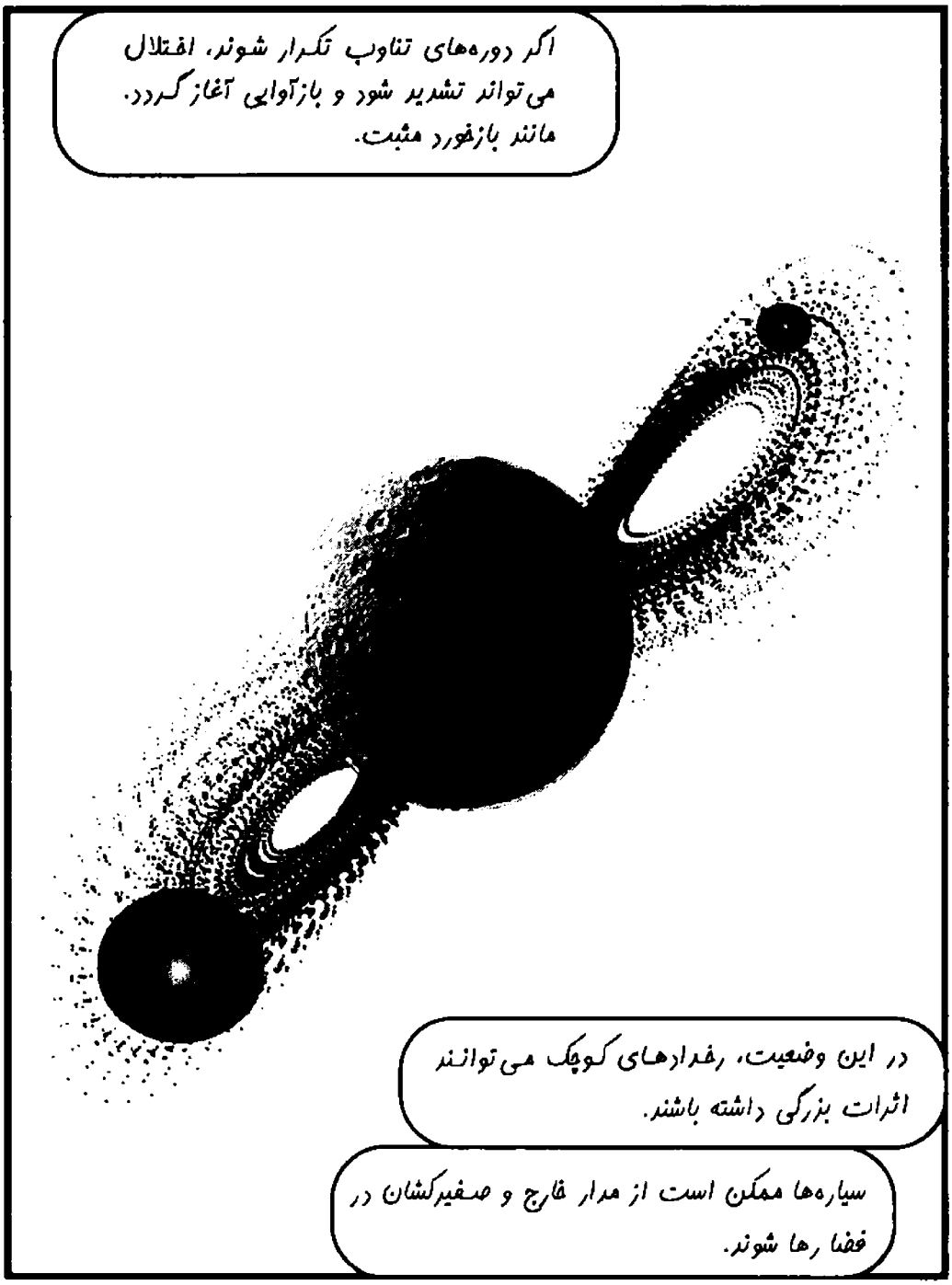
در سال‌های ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰، سه دانشمند روس به نام‌های آندره‌یی کولموگورف، ولادیمیر آرنولد و یورگن موزر کار پوانکاره را ادامه دادند. آن‌ها کشف کردند که پایداری در یک سیستم سیاره‌ای سه‌جسمی، نیازمند دو شرط اساسی است.

اولین شرط بازآوایی است. (بازآوایی = تشدید)



پایداری شبه‌تناوبی

برای آن‌که سه سیاره در مدارهای پایدار باشند، لازم است که نسبت‌های آن‌ها، نسبت‌های ساده‌ای چون ۱ به ۲ یا ۲ به ۳ نباشد. سیاره‌ها برای آن‌که پایدار بمانند، باید شبه‌تناوبی باشند؛ به این معنی که دوره‌های تناوبِ‌شان هرگز عیناً تکرار نشود.



قضیهٔ KAM

شرط دوم پایداری، به جاذبه مربوط می‌شود.

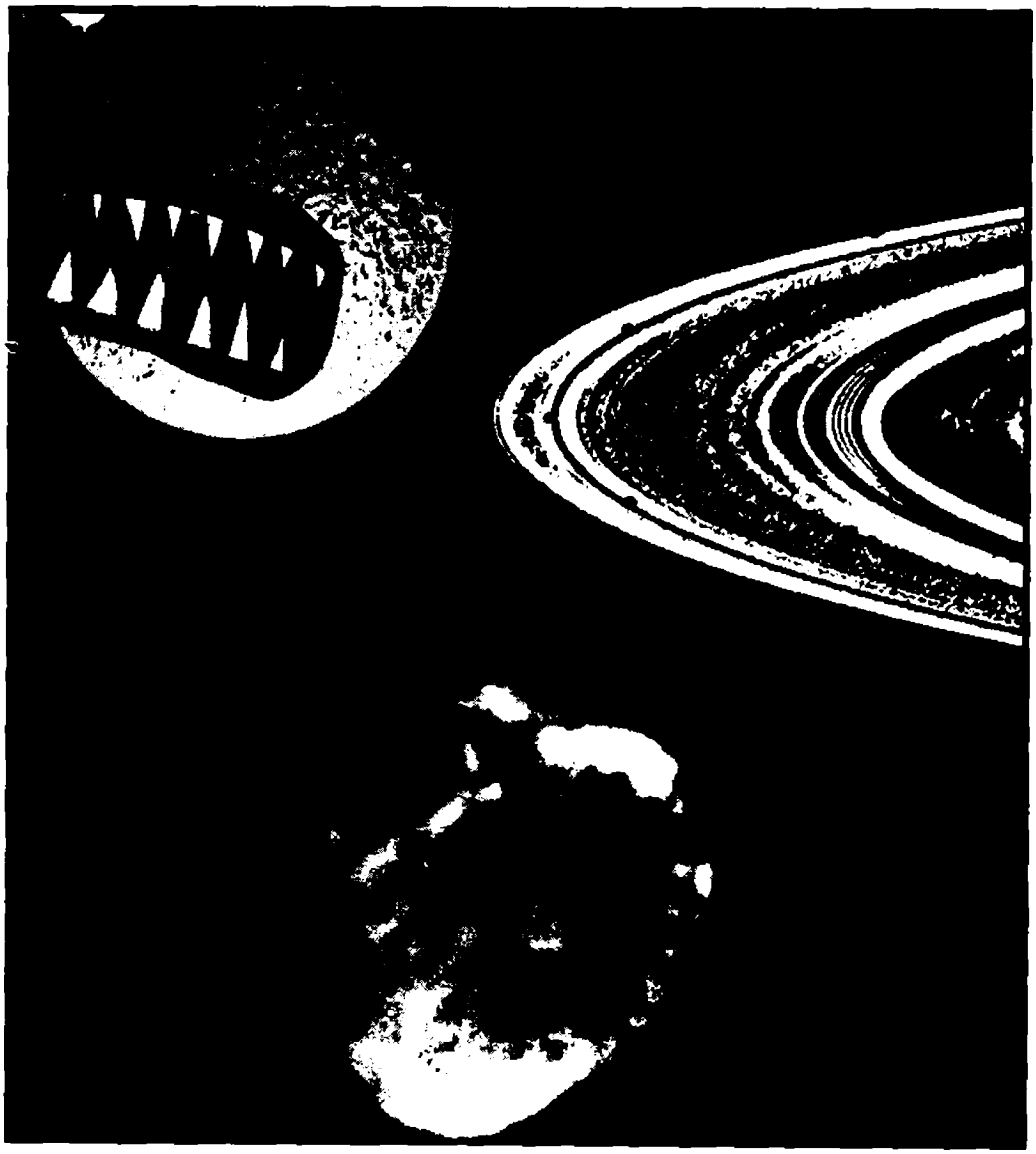
دانشمندان روسی این شرط را به‌شکل یک قضیه بیان کرده‌اند. قضیهٔ KAM، که نامش را از حروف اول این دانشمندان گرفته است، می‌گوید: اگر یک دستگاه معادلات سادهٔ خطی را که برایش راه‌حلی وجود دارد، بگیرید و به آن اختلال کوچکی اضافه کنید، سیستم از نظر کیفی همسان خواهد ماند.

ماه‌های کیوان

بررسی‌های انجام‌گرفته براساس نتایج مشاهدات ماهوارهٔ وُیجر II (Voyager II) که در سال ۱۹۸۱ از کیوان گذشت، نشان داده است که بسیاری از ماه‌های منظومهٔ شمسی، زمانی در یک وضعیت آشوب‌زده قرار داشته‌اند و پس از آن در مدارهای شبه‌تناوبی تثبیت شده‌اند.

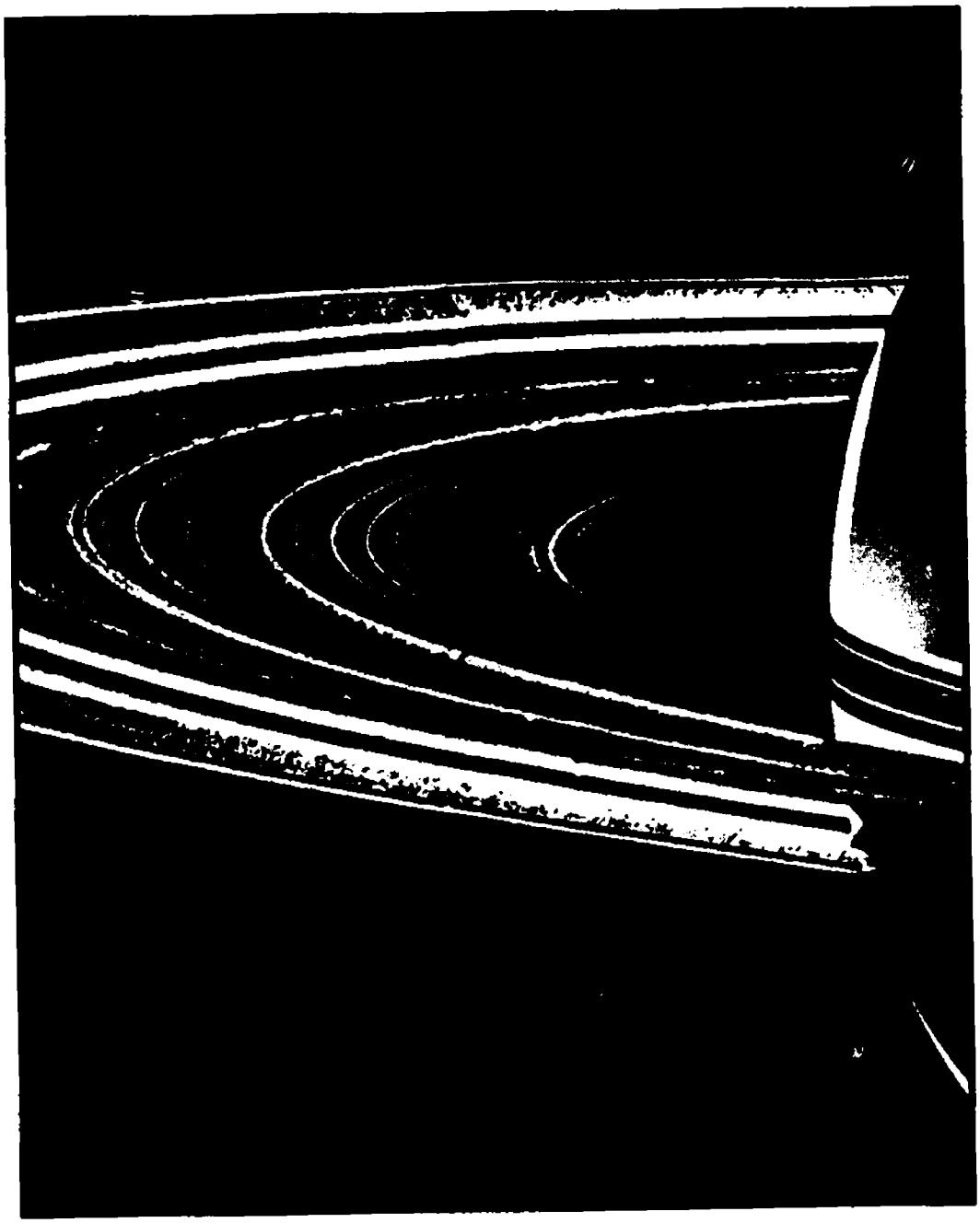
در حال حاضر، ماه مستطیل‌شکلی به‌نام هایپریون (Hyperion)، که به دور کیوان ورجه‌وُرجه می‌کند، در چنین وضعیتی است.

ماه‌های دیگری، مانند تریتون (Triton)، بزرگ‌ترین ماه نپتون، در وضعیتی آشوبی، ماهواره‌های آسمانی را بلعیده است. ستاره‌شناسان معتقدند که مدار پلوتون نیز احتمالاً در شُرُفِ آشوب‌زدگی است.



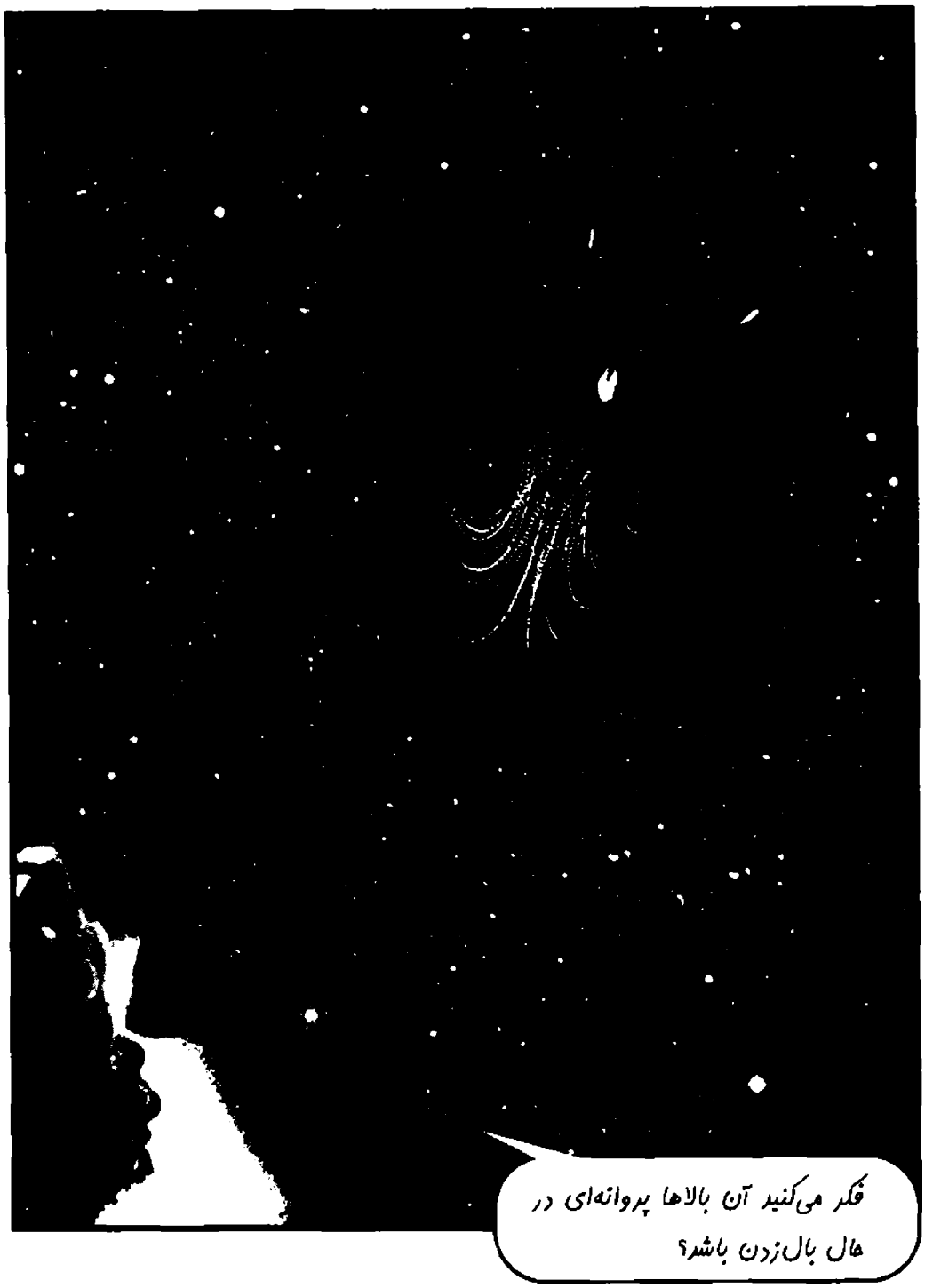
آشوب مانع از آن می‌شود که سیارک‌ها (asteroids) در بخش‌های به‌خصوصی از منظومهٔ شمسی مستقر شوند. به‌همین دلیل است که در کمربند سیارک‌های دور مشتری و مریخ فواصل خالی‌ای وجود دارد.

فواصل خالی در حلقه‌های کیوان نیز وجود دارند. به‌نظر می‌رسد این فواصل ناشی از اثرات بازخوردی باشد که توسط جاذبهٔ کیوان و ماه‌هایش اعمال می‌شود و این مناطق را آشوب‌زده و درنتیجه غیرقابل استقرار می‌گرداند.



جهانی آشوب‌زده

ستاره‌شناسان از ارائهٔ الگویی برای شکل‌گیری منظومهٔ شمسی برپایهٔ آشوب فاصلهٔ زیادی دارند. اما ما دیگر منظومهٔ شمسی را به چشم یک ساعت مکانیکی ساده نگاه نمی‌کنیم. منظومهٔ شمسی یک سیستم پیچیده و دائم‌التغییر است.



آشوب کوانتومی

جهان خود نیز می‌تواند محصول آشوب باشد. فرض رایج این است که افت وخیزهایی باعث به‌وجودآمدن کهکشان‌ها شده‌اند؛ افت و خیزهایی که در حوالی آغاز شکل‌گیری جهان رخ داده‌اند، ممکن است آشوب نیز در این ماجرا نقشی داشته باشد.

برای درک این فکر، باید نگاه کوتاهی به نظریهٔ فیزیک کوانتوم بیندازیم.

تاریخچهٔ نظریهٔ کوانتوم

فیزیک کوانتوم، نظریه‌ای دربارهٔ جهان میکروسکوپی است که تنها در دنیای اتمی کاربرد دارد. از سال‌های ۱۹۲۰ به‌بعد، می‌دانیم که فیزیک کلاسیک نیوتنی، فقط تقریبی از فیزیکی است که دنیای اتمی را توصیف می‌کند.

در میانهٔ سال‌های دههٔ ۱۸۰۰، دانشمندان متوجه شدند که برخی رخدادهای فیزیکی با قوانین نیوتن نمی‌خوانند.

برای یک جسم خیالی، به‌نام جسم سیاه، نمودار شدت تشعشع به نسبت فرکانس، منحنی بسیار آشنایی به‌دست می‌دهد.

مسئلهٔ جسم سیاه

مقدار تشعشع ساطع‌شده، اوج می‌گرفت و سپس فرو می‌افتاد. نقطهٔ اوج، برای دماهای مختلف، متفاوت بود. هیچ‌کس از این ماجرا سردرنمی‌آورد تا آن‌که **ماکس پلانک** (۱۹۴۷ـ۱۸۵۸)، استاد آلمانی دانشگاه برلین، متوجه شد که فیزیک کلاسیک ایراد دارد.

فرض ثابت **h** ابتدا قدری اذیتش می‌کرد اما به‌خوبی جواب داد و به کشف شگفت‌آور جدیدی انجامید. این ثابت، که ثابت پلانک نامیده می‌شود، به ساختار اتم‌ها ارتباط دارد.

به کاربستن ثابت پلانک

فیزیکدان اتمی انگلیسی، ارنست رادرفورد (۱۹۳۷ـ۱۸۷۱)، جهان اتمی را مانند یک منظومهٔ شمسی کوچک تجسم می‌کرد که در آن هستهٔ اتم نقش خورشید و الکترون‌ها نقش سیاره‌ها را بازی می‌کردند. نیلزبور (۱۹۶۲ـ۱۸۸۵)، ثابت پلانک را در الگوی رادرفورد به‌کار بست.

خطوط طیف هنگامی ظاهر می‌شوند که نور ساطع‌شده از هیدروژن حرارت‌دیده را از یک طیف‌نگار عبور دهیم. نظریه، محل تمامی خط‌ها را پیش‌بینی می‌کرد. اما وقتی بور افکار جدید را در مورد اتم هلیوم، که پیچیده‌تر بود، به‌کار برد، از این‌که این نظریه درهم ریخت، مأیوس شد. چیزی وجود داشت که درست درک نمی‌شد.

امواج احتمال

این «چیز» توسط یک نجیب‌زادهٔ فرانسوی، لوئی دوبروی (۱۹۸۷ـ۱۸۹۲)، کشف شد. او در این اندیشه بود که ذرات دارای *امواج* متناظر به‌خودند و این امواج را از نوع پایدار (stationary) درنظر گرفت.

اروین شرودینگر (۱۹۶۱ـ۱۸۸۷)، به این نتیجه رسید که به یک معادلهٔ موج نیاز است.

در سال ۱۹۲۶، ماکس بورن (۱۹۷۰ـ۱۸۸۷)، دربارهٔ تابع موج چنین ابرازنظر نمود که این تابع نماینده خود موج نیست بلکه تنها نمایندهٔ یک احتمال ـ به‌معنی حساب احتمالات ـ است.

در حال حاضر نظریهٔ کوانتومی به این‌جا رسیده است: امواج احتمالاً به شکل کوهان‌های پایدار هستند.

آشوب در فیزیک کوانتوم

حیطهٔ فعالیت نظریهٔ کوانتوم، جهان اتمی است: ذرات در انقیاد سطوح انرژی‌اند. پایین‌ترین سطح، سطح پایه است و معمولاً سیستم در همین سطح قرار دارد. سیستم‌ها، در اثر تابش نور (یا به بیان ذره‌ای، در اثر برخورد فوتون‌ها)، سطوح پایه را ترک می‌کنند و به سطوح انرژی بالاتر، یا وضعیت‌های برانگیخته گذار می‌کنند.

این پرسش‌ها در سال‌های دههٔ ۱۹۸۰ مورد بررسی قرار گرفت و نتیجهٔ غیرمترقبه‌ای به‌بار آمد.

فیزیکدان‌ها به تحقیق دربارهٔ اتم‌های شدیداً برانگیخته پرداختند؛ یعنی اتم‌هایی که الکترون‌های‌شان در وضعیت‌هایی با انرژی بسیار بالا و در شرف گذار از فیزیک کلاسیک به فیزیک کوانتومی‌اند. آنها به این پرسش پرداختند که چگونه الکترون‌های موجود در این اتم‌ها در معرض تشعشع، انرژی جذب می‌کنند؟

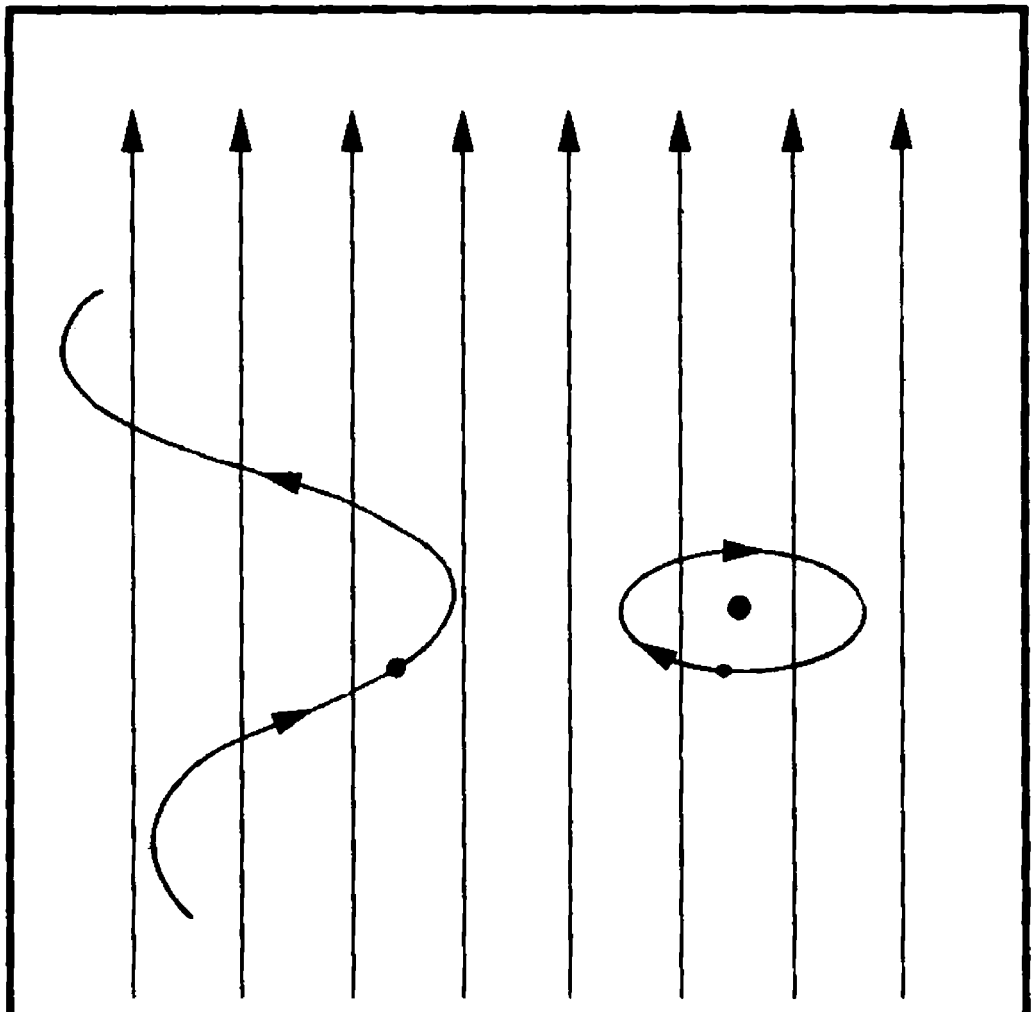
این حذف، تأثیر ظریف و ملایم تداخل امواج است.

آشوب در فاصلهٔ بین دو وضعیت

محققان با اعمال یک میدان مغناطیسی بر روی اتم، در سطح کوانتومی نیز به تحقیق بر روی آشوب پرداختند. در سطوح پایین انرژی، الکترون توسط هستهٔ اتم جذب می‌شود و آشوبی در کار نیست.

در سطوح بالای انرژی، جاذبهٔ هسته بر روی الکترون به‌قدری ضعیف است که میدان مغناطیسی بر آن فائق می‌آید و الکترون در اطراف خطوط میدان حرکت می‌کند؛ باز هم آشوبی در کار نیست.

اما در بین این دو وضعیت، الکترون نمی‌داند کجا برود و آشوب‌زده می‌شود.

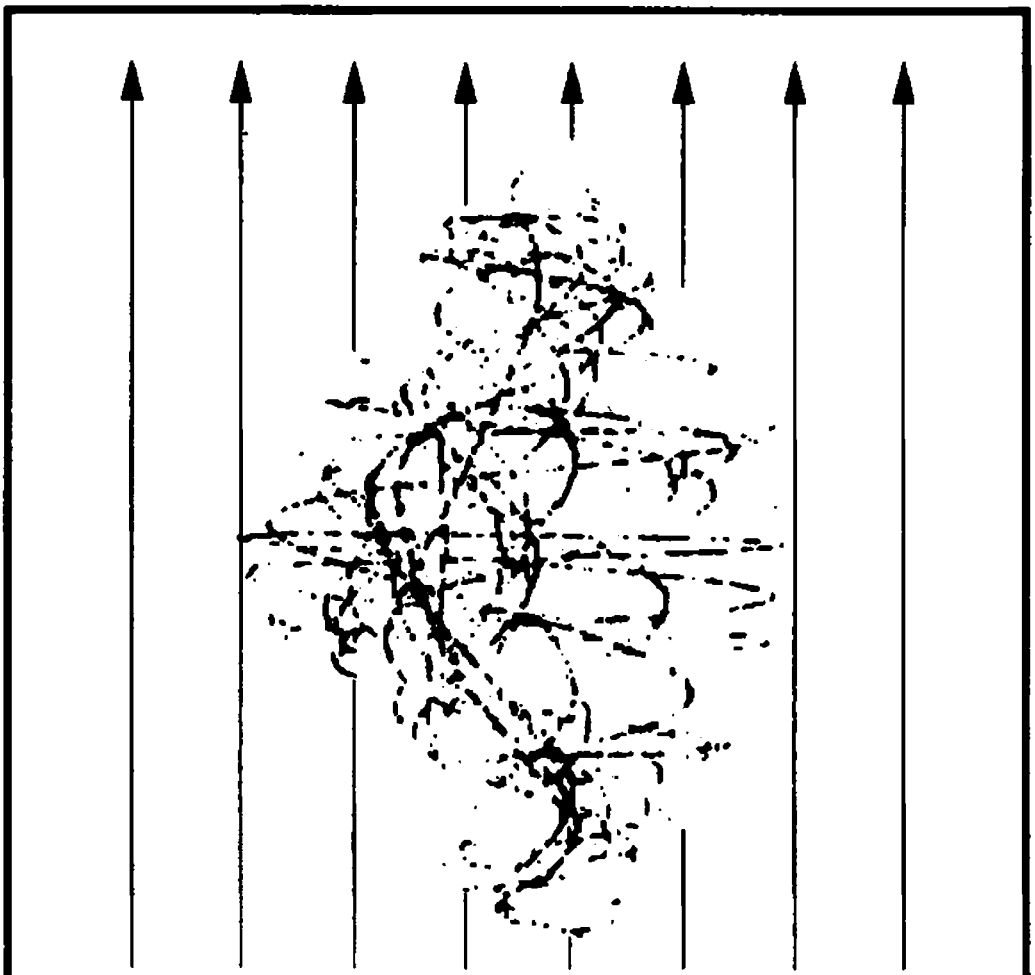


۱. در یک میدان مغناطیسی ضعیف، الکترون در مدار به‌دور هسته می‌ماند.

۲. در میدان مغناطیسی قوی، الکترون حول خطوط میدان حرکت می‌کند.

همچنین وقتی الکترون توسط چندین مولکول احاطه شده است، نیز آشوب مشاهده می‌شود. وقتی الکترون‌ها در بین مولکول‌ها حرکت می‌کند، مسیرش آشوب‌زده است. به محض این‌که تغییرات کوچکی در جهت حرکت یا انرژی اولیه‌اش وارد شود، مسیر و موقعیتش دستخوش تغییرات بسیار بزرگی می‌شوند. مسیر حرکت الکترون تنها به کمک مکانیک کوانتومی قابل تعیین است و از آنجا که به شرایط اولیه بستگی دارد، دارای خصوصیاتی آشوبی است.

جست‌وجوی پژوهشگران برای مشاهدهٔ آشوب، عموماً، معطوف به سیستم‌های «نیمه‌کلاسیک» بوده است. در این سیستم‌ها، اثرات کوانتومی، به میزان محدودی وجود دارد. اما حوزهٔ مطالعات آشوب کوانتومی هنوز در مراحل جنینی خود قرار دارد و چیزهای بسیاری هست که باید بیاموزیم.



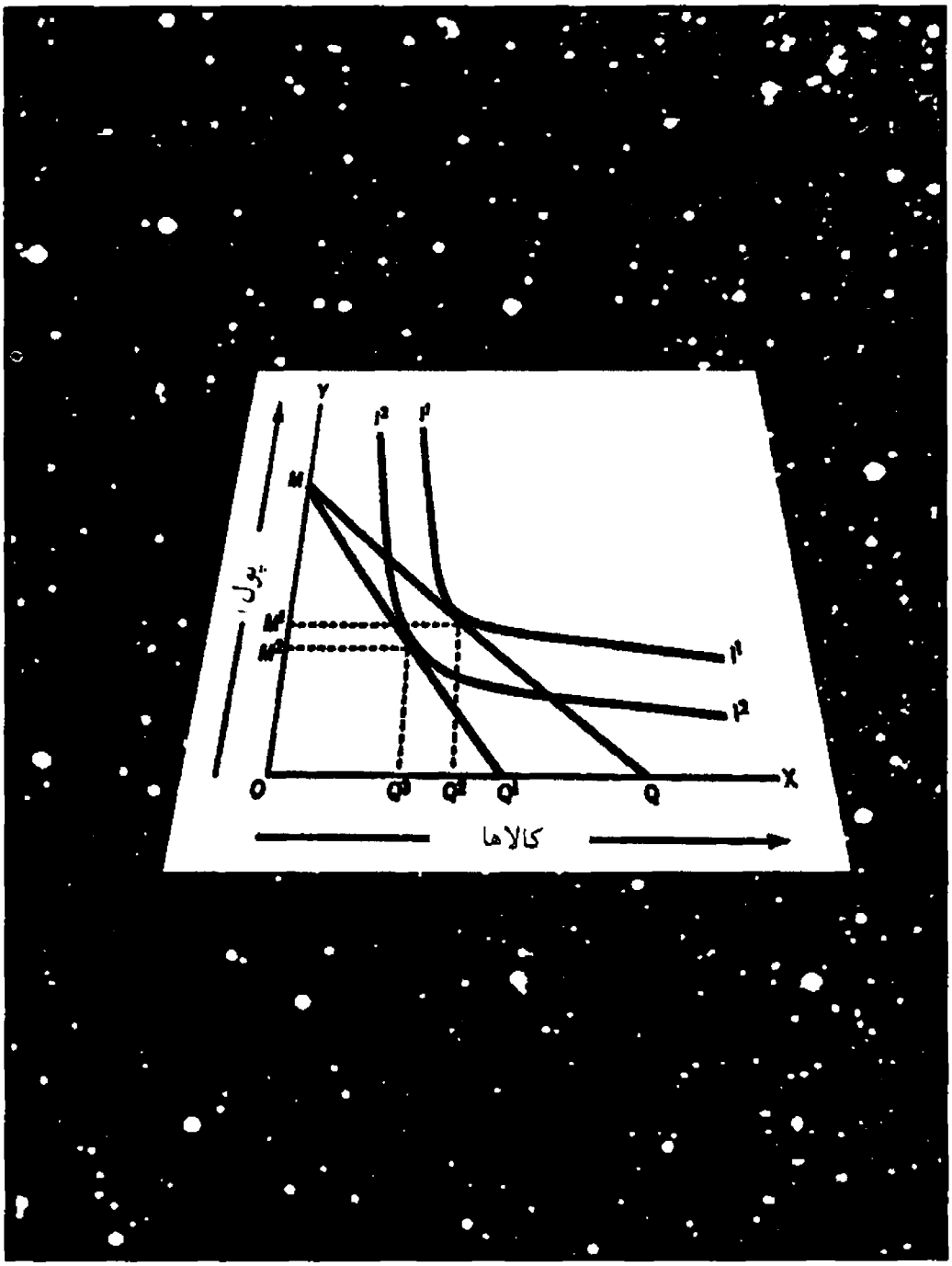
۳. در میدان‌های ترکیبی، حرکت آشوب‌زده به وقوع می‌پیوندد.

آشوب و اقتصاد

محیط فعالیت‌های اقتصادی در دهه‌های نزدیک به قرن بیست‌ویکم دستخوش تغییرات بنیادی شده است. گوشه و کنار دنیا در یک بازار جهانی و واحد به‌هم متصل شده است و آنچه بر این بازار حکم‌فرمایی می‌کند انتقال لحظه‌ای سرمایه از طریق پیام‌های الکترونیکی است. تغییرات کوچک، می‌تواند به‌سرعت در بازار الکترونیکی جهانی تکثیر شود و به اختلالاتی جدی منجر گردد. شرکت‌های جدید با فن‌آوری‌های پیشرفته، به کل با بنگاه‌های سنتی به سبک قدیم تفاوت دارند. نوآوری‌های فنی به‌سرعت افزایش یافته‌اند و تفکرهای متعارف دربارهٔ پیشگامی استوار نسبت به رقبا را باطل کرده‌اند.

تولید ارزش، در فضای مجازی شبکه‌های رایانه‌ای صورت می‌گیرد و به موازات آن اشتغال، مستمری و رفاه مستحیل می‌گردد و دچار بی‌وزنی می‌شود. بعد از هزاران سال، «پایه پولی طلا» در نظام پولی از اعتبار می‌افتد. به‌نظر می‌رسد نظم امروزی چیزی جز تلاطم نباشد؛ همه‌چیز «در هوا معلق شده است».

در چنین شرایطی، آشوب و پیچیدگی ـ یا همان آشوب‌شناسی ـ بهتر از نظریه‌های اقتصادی متعارف ما را به درکی از آنچه در شرف وقوع است می‌رساند. آشوب و پیچیدگی، فی‌الواقع، نظریه‌های متداول اقتصادی را زیرورو می‌کند و چشم‌اندازهای خوش‌بینانه‌ای را نیز برای ایجاد ثروت پیش روی ما می‌گشاید.



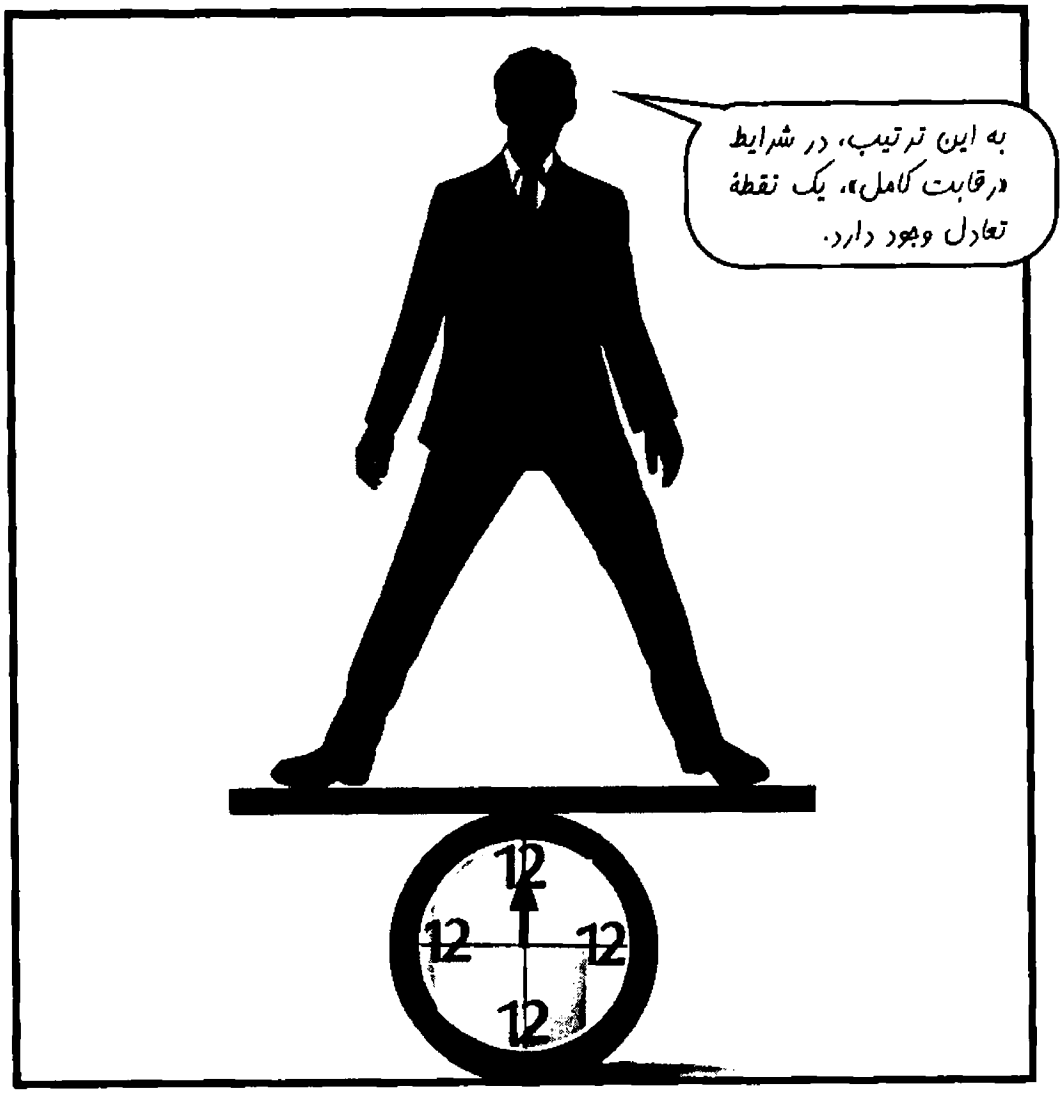
بازخورد در اقتصاد

آشوب، مفهوم تعادل اقتصادی را چنان که در کتاب‌های مرجع علم اقتصاد آمده است، به مبارزه می‌خواند. منشاء این چالش، مفهوم بازخورد است.

بازخورد منفی، از نظر اقتصادی، *بازده نزولی* و بازخورد مثبت، بازده صعودی است. این شیوهٔ نگرش به قضایا درواقع چندان جدید نیست.

شرایط امروزی بازارها شبیه فرانسهٔ قرن هیجدهم است و به آنچه در کتاب‌های اقتصاد آمده است شباهتی ندارد.

معمولاً باید تا مراحل نهایی به انتظار بنشینیم تا بفهمیم بالاخره تعادل تجاری چگونه برقرار خواهد شد. شرکتی را «در تعادل» می‌نامند که درآمد خالص آن در بیشترین سطح ممکن باشد. این وضعیت، متناظرِ «بیشترین میزان داده به ازای ترکیب یگانه و به‌خصوصی از داده‌ها (ورودی‌های سیستم) است.

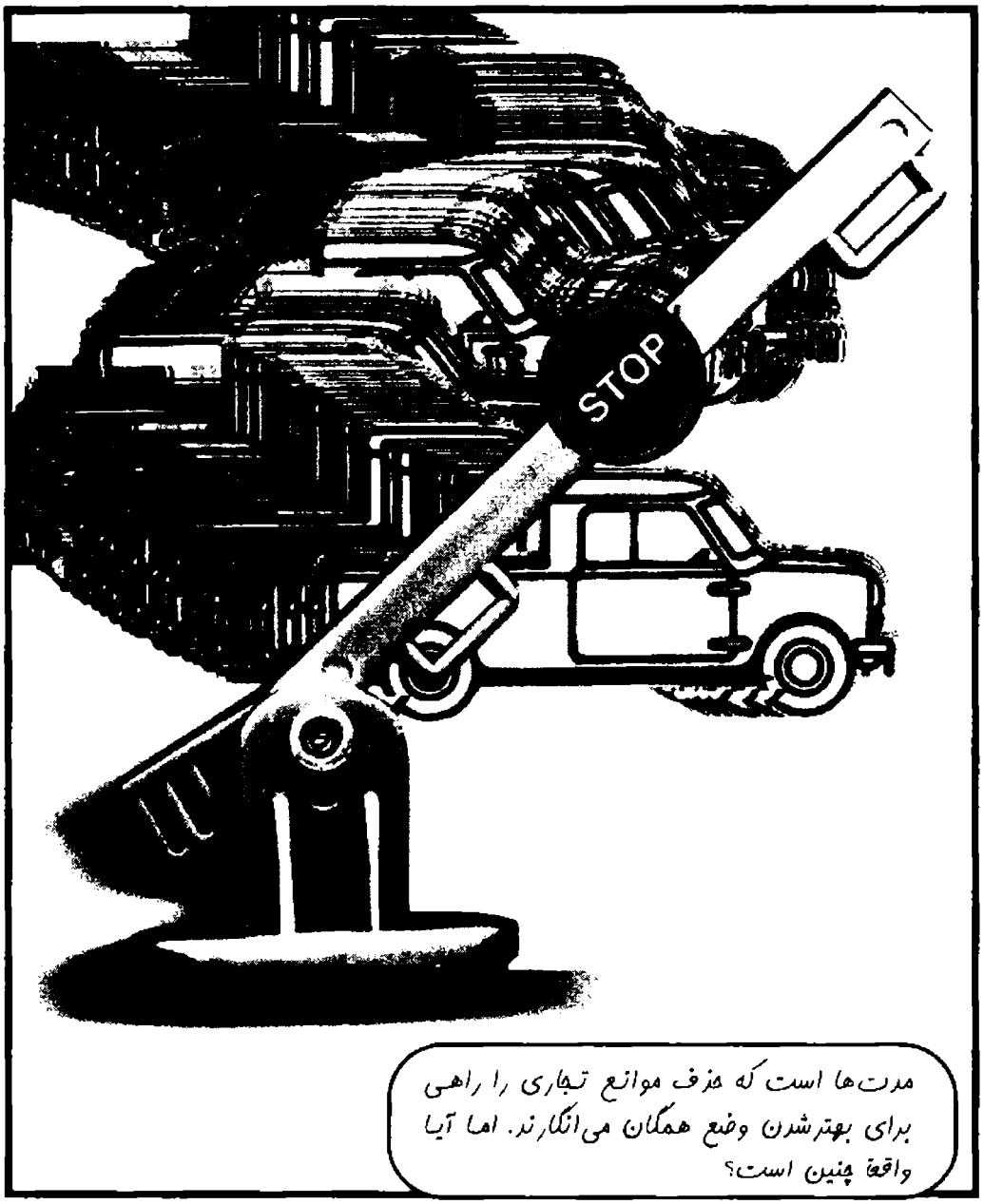


هیچ انگیزه‌ای برای تغییر میزان داده‌ها یا سطح ستانده‌ها (خروجی‌های سیستم) وجود ندارد، چراکه این قبیل تغییرات می‌توانند تعادل را برهم زده و باعث از دست‌رفتن پایداری شود.

اما آشوب به ما می‌گوید که در این بازار، درواقع، چندین وضعیت تعادل وجود دارد.

مسئله‌های همراه با تعادل

روئل چیزهای جالبی دربارهٔ «تعادل» می‌گوید.

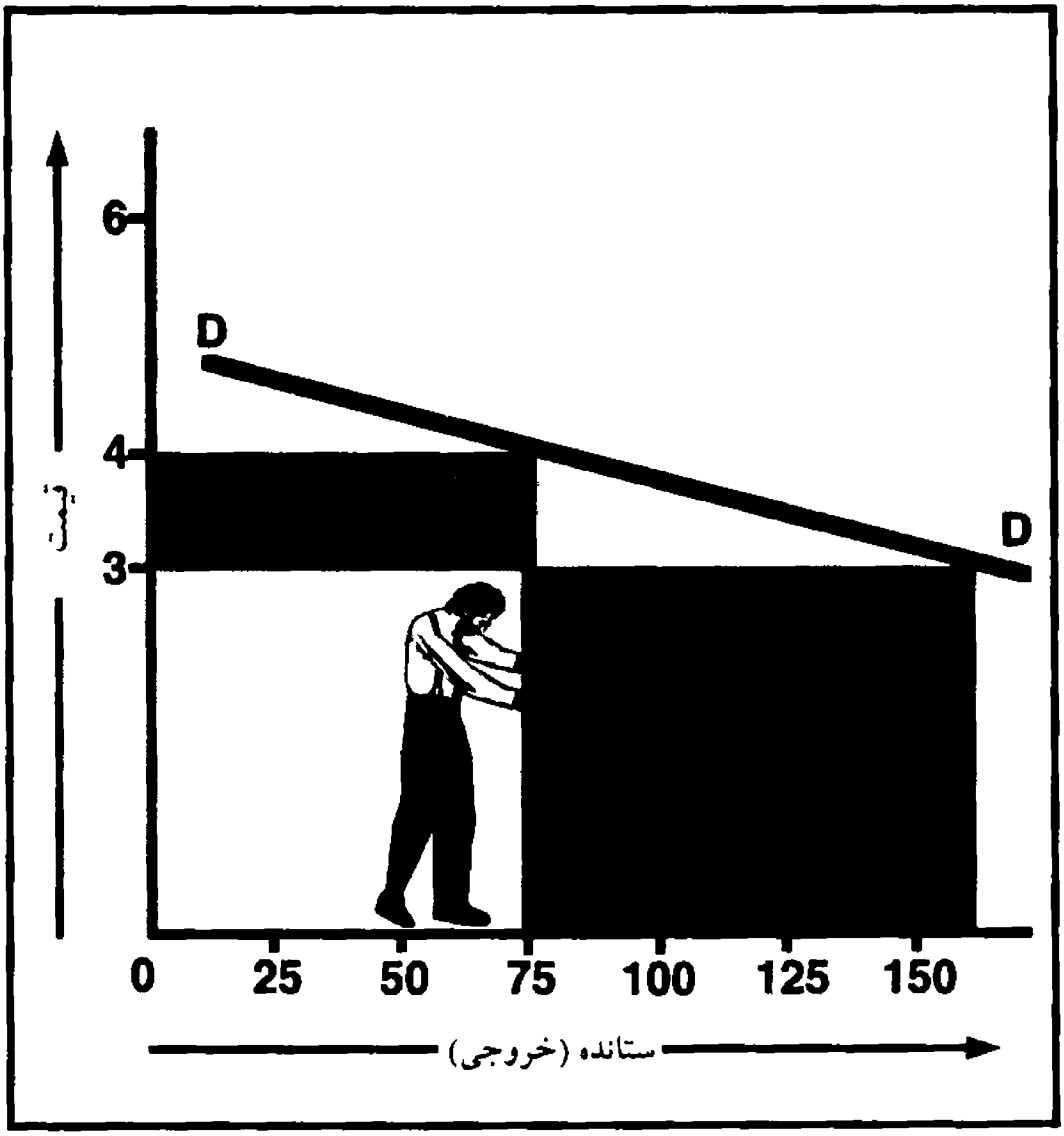


تجارت هرگز فقط بین دو کشور جریان ندارد، بلکه بین مجموعه‌ای از ملل و افراد به‌هم مرتبط صورت می‌گیرد. این سیستم پویا می‌تواند به تعادل نینجامد، بلکه درعوض به آشوب منجر شود. برخلاف باور عموم، بهترین طرح‌های دولت‌ها برای رسیدن به تعادل بیشتر، ممکن است، درواقع، به سناریوی متضاد خود ــ یعنی آشوب کامل ــ منتهی شوند.

از این گذشته، فکر یک نقطهٔ تعادل واحد، از قانون بازده نزولی سرچشمه می‌گیرد. این قانون اقتصادی می‌گوید «وقتی که افزایش‌هایِ مساوی در مقدار یک عامل متغیر، مانند نیروی کار، به مقدار ثابتی از عوامل ثابت دیگر (مانند زمین، تبحرهای فنی، قابلیت‌های سازماندهی و مانند آن)، افزوده شوند، پس از مدتی، افزایش‌های متوالی در داده‌ها رو به نزول می‌گذارد.»

آشوب، این قانون را به چالش می‌طلبد و به قلب یکی از باورهای رایج در مورد سیستم‌های اقتصادی پایدار در شرایط رقابتی، می‌تازد.

جورج آندرلا می‌گوید: «اقتصاددان‌های جزم‌اندیش، اساساً به‌خاطر سهولت ذهنی، به این اصل چسبیده‌اند... اما یکدندگی نمی‌تواند در برابر واقعیت آشکار تاب بیاورد.»



بازده صعودی در فن‌آوری‌های پیشرفته

امروزه، این تفسیر یکجانبه از قانون که به «تعادل واحد» قائل است، به‌دلیل پیدایش صنایع با فن‌آوری پیشرفته، دیگر قابل پیروی نیست. رایانه‌ها، نرم‌افزار، فیبرهای نوری و تجهیزات ارتباطی، تجهیزات درمانی الکترونیک و داروسازی، همگی با افزایش بازده مواجه‌اند، چراکه از ابتدای امر محتاج هزینه‌های عظیمی برای تحقیق و گسترش، طراحی و طراحی مجدد، تولید نمونه و ایجاد ابزار و خطوط تولید خودکار هستند.

با این حال، هنگامی که خط تولید شروع به بیرون‌دادن محصول می‌کند، هزینهٔ تولید واحدهای بعدی به نسبت سرمایه‌گذاری اولیه به‌شدت تنزل می‌کند.

چگونه می‌توان پیش‌فرض متعارف بازده نزولی را با روند حاضر که ظاهراً به بازده‌های صعودی گرایش دارد، سازگار کرد؟ دبلیو. برایان آرتور از دانشگاه استانفورد و مؤسسهٔ سانتافه، نگرش‌های جدیدی نسبت به نقش حیاتی بازخورد مثبت در اقتصاد طرح کرده است. او به این نتیجه رسیده است که بازخورد مثبت باعث می‌شود اقتصاد مانند یک سیستم غیرخطی عمل کند.

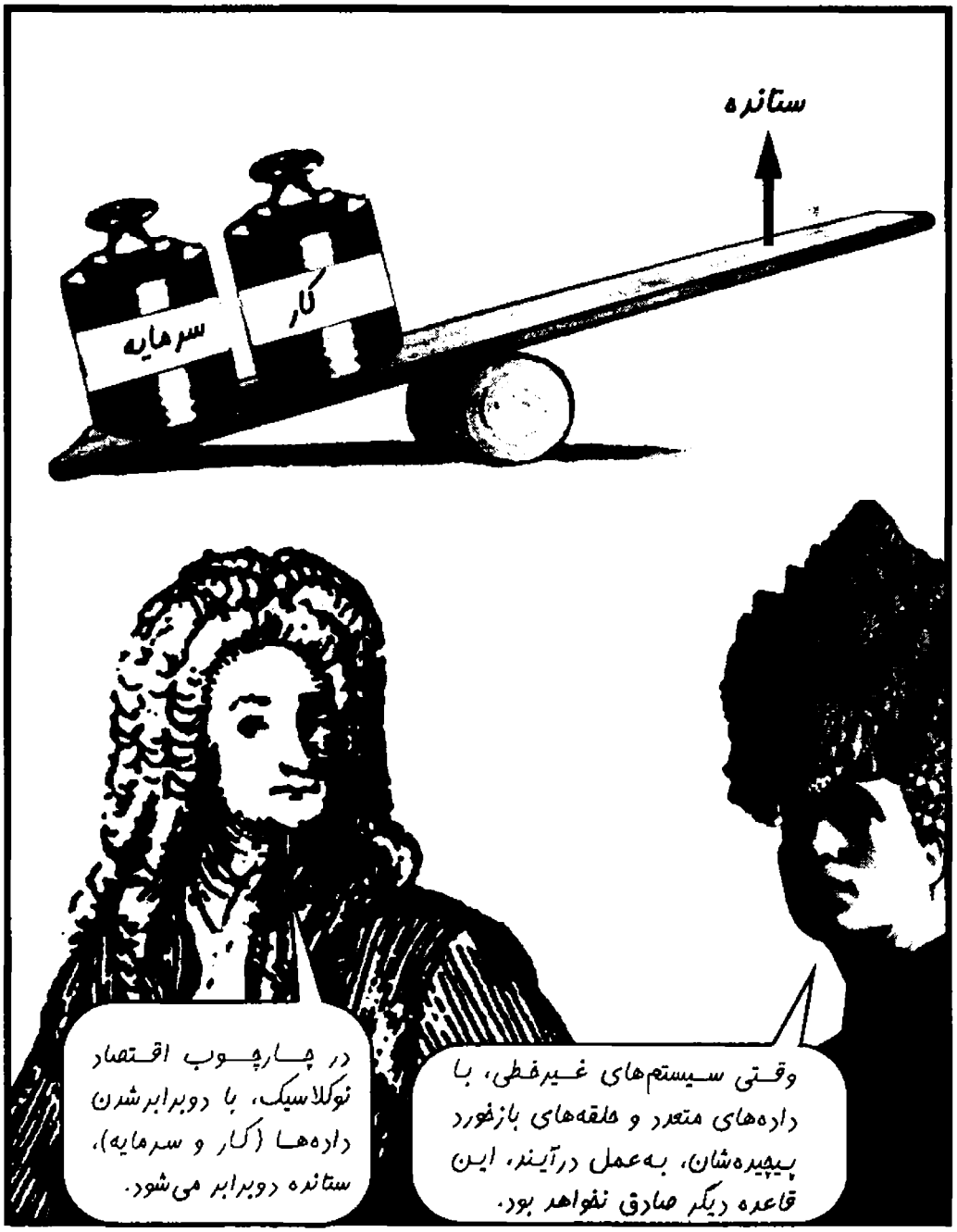
بازخورد مثبت باعث می‌شود که با رسیدن فعالیت اقتصادی به یک آستانهٔ مشخص و رهنمون‌شدن بازار به آستانه‌ای از آموزش و ترویج، میزان فروش افزایش یابد. هرچه عدهٔ بیشتری از مردم به یک فن‌آوری خاص روی بیاورند، باعث رشد بیشتر آن و در نتیجه باعث جذابیت بیشتر آن برای طراحان و متقاضیان، از یک‌سو، و تولیدکنندگان و فروشندگان آتی آن، از سوی دیگر، می‌شوند.

تکثیر یک نرم‌افزار، پس از نگارش، آزمون، رفع اشکال و بهینه‌سازی، هزینهٔ اندکی دربردارد و می‌تواند منبع ثابت و انبوهی برای سودهای دائماً فزاینده باشد؛ تا زمانی که تولیدکنندگان به این نتیجه برسند که وقت آن شده است که نگارش بهتری از آن را به بازار عرضه کنند.

مراقب «شرایط اولیه» باشید

حسّاسیت نسبت به شرایط اولیه می‌تواند برای یک محصول حیاتی باشد. بهترین نمونهٔ آن، داستان نوارهای ویدئویی است. سونی با تولید نوارهای بتامکس، نخستین تولیدکنندهٔ بازار بود و JVC، تولیدکنندهٔ نوارهای VHS، راکه در آن هنگام یک شرکت کوچک ژاپنی بود، مقهور ساخته بود. اما، در مدت زمانی بسیار کوتاه، VHS تمام بازار را از آن خود کرد. اقتصاد سنتی از توضیح این‌که چنین اتفاقی چگونه رخ داده، قاصر است. برخلاف انتظار، VHS باعث شکاف بازار نشد، بلکه آن را به‌دست گرفت. نظریه‌پردازان آشوب بر تشابه بین دو شرکت تأکید می‌ورزند. هردونوع دستگاه ضبط ویدئویی تقریباً در یک زمان به‌بازار آمد و تقریباً به یک قیمت. اما «رخدادهای اتفاقی کوچک مرحلهٔ ظهور» رقابت را به‌نفع VHS سوق داد.

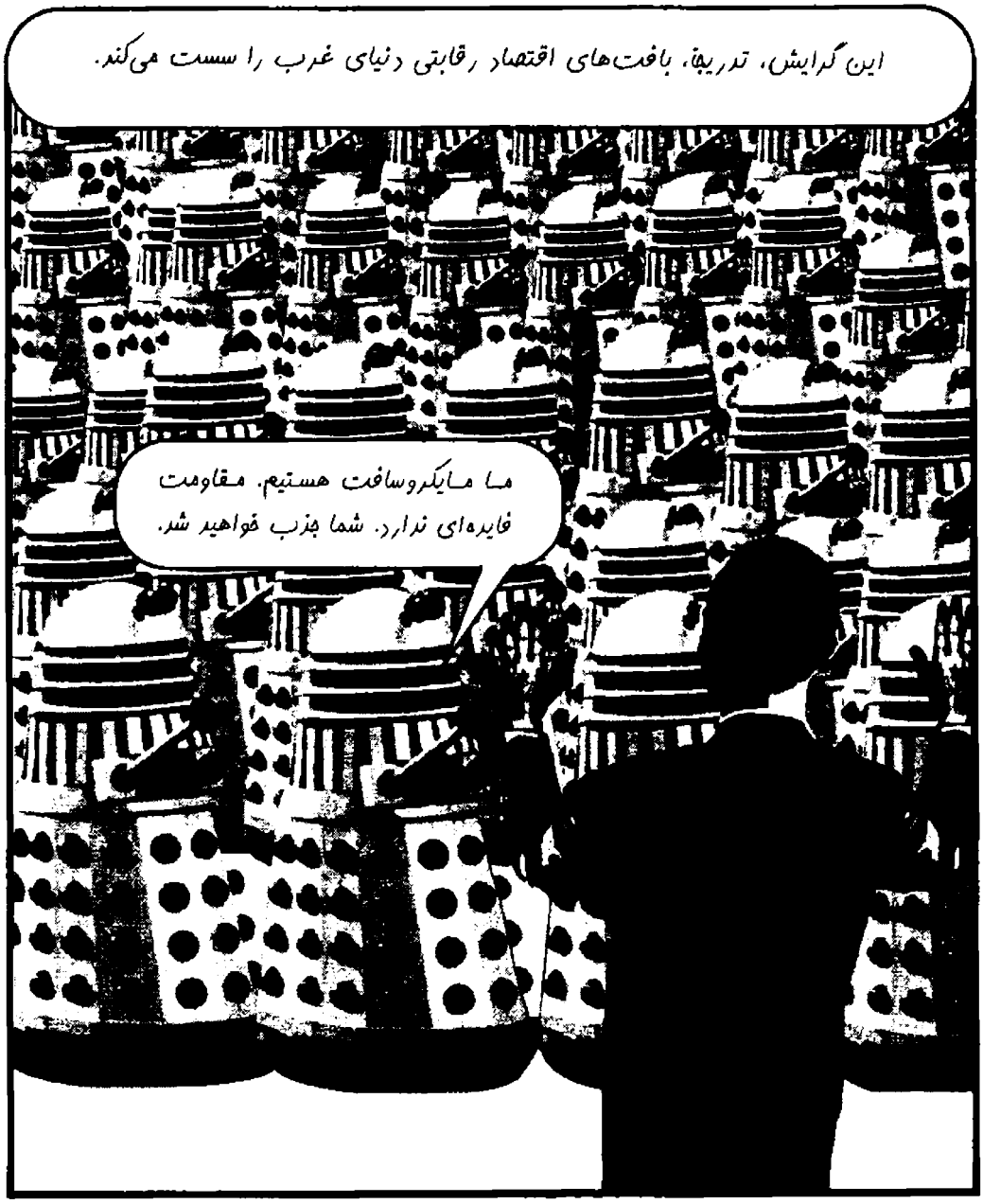
باز هم از روئل بخوانیم: «این که یک سیستم نسبت به شرایط اولیه، وابستگی حساس داشته باشد، معنایش این نیست که همه‌چیز آن غیرقابل پیش‌بینی است. پیداکردن این که چه‌چیز درواقع قابل پیش‌بینی هست و چه چیز نیست، یک مسئله ژرف و حل‌نشده است.»



اگر مجموعهٔ کاملِ عوامل را با هم درنظر بگیرید، تابع تولید بازده صعودی خواهد داشت. بنابراین، اگر همهٔ عوامل را دوبرابر کنید، ستانده بیش از دوبرابر خواهد شد. شرکت‌ها می‌توانند با «افزایش ستانده، پایین‌آوردن هزینه‌ها، و کاهش قیمت‌ها به‌منظور تقویت میزان فروش، به‌طور همزمان» سود بیشتری به‌دست آورند. به این ترتیب، پیش‌فرض اقتصاد نوکلاسیک یعنی «رقابت کامل» از دور خارج می‌شود.

بازی انحصار

امروزه شرکت‌های بیشتری در شرایط بازده صعودی به فعالیت مشغول‌اند و این وضعیت به یک انحصار بالفعل انجامیده است. موفقیت مایکروسافت به این دلیل است که پس از آن‌که هزینهٔ اولیهٔ ایجاد نرم‌افزاری چون ویندوز ۹۵ مستهلک شد، سود آن مدام افزایش یافته، منجر به انحصار می‌شود.



سیمون فورژ می‌گوید: «مثل بازی ژاپنی گُو (Go) است که در آن هرچه مهره‌های بیشتری ببرید، محاصرهٔ دشمن آسان‌تر می‌شود.»

مدیریت آشوبی

مفهوم «مدیریت علمی» جدید، نخستین‌بار با چاپ اثر **فردریک دبلیو. تیلور**، به‌نام *اصول مدیریت علمی* (۱۹۱۱)، باب شد. تیلور (۱۹۱۵ـ۱۸۵۶) مهندس صنایع و آمریکایی بود؛ او مبتکر مدیریت علمی در بنگاه‌های تجاری شد. نیاز به کارآیی حداکثر، همهٔ فکر و ذکر او بود. اما مضمون مدیریت علمی، در سی‌سال گذشته ــ به ویژه با پیدایش رایانه‌ها ــ تغییر کرده است. در سال‌های دهه‌های ۱۹۶۰ و ۷۰، مفهوم **برنامه‌ریزی راهبردی** توسط دانشکدهٔ مدیریت هاروارد ابداع شد.

اما هردوی این فنونِ مدیریتی مخاطراتی دارند و اساسِ‌شان بر پیش‌فرض‌های ذهنی و داوری‌های ارزشی است.

به‌زعم سیمون فورژ، این برخورد مانند «رانندگی با استفاده از آینهٔ عقب است» یعنی سعی در ارزیابی جادهٔ روبرو براساس آنچه پشت سر می‌گذاریم.

تدارک پیشرفت‌های آینده

به‌این ترتیب، مدیریت یک مؤسسه چگونه می‌تواند، با اطمینان نسبی، خود را برای وقوع یک پیشرفت فنی و صنعتی آماده کند؟

پیشرفت‌های فنی گاه اتفاقی‌اند، یعنی رخدادهای کوچکی که در لحظه بی‌اهمیت به‌نظر می‌رسند، باعث تحریک زنجیره‌ای از واکنش‌ها می‌شوند که به یک کشف فنی جدید منجر می‌گردد.

اما پیشرفت‌های دیگری نیز هستند که نتیجهٔ سال‌ها تحقیق بوده‌اند. قدم‌گذاشتن بر ماه و رخدادهای متعاقب آن نمونهٔ خوبی از این نوع است.

امروزه این قبیل پیشرفت‌ها بسیار رایج‌تر شده‌اند. تحقیقات در مقیاسی وسیع و به‌شکلی چندرشته‌ای انجام می‌گیرند.

براساس نظر جرج آندرلا، رویکرد کلیّت‌گرا (holistic approach) ــ یعنی ادغام مفهوم پویای بازده‌های صعودی با داشتن فلسفهٔ «تحقیقات در مقیاس وسیع» و چندرشته‌ای ــ باعث به‌وجودآمدن «پیشرفت‌های خزنده» (creeping breakthroughs) شده است.

بهترین روش بررسی پیشرفت‌های خزنده از طریق اثر پروانه‌ای در نظریهٔ آشوب میسر می‌شود.

تواناسازی (Enablement) و پیش‌بینی

اما تدارک «پیشرفت‌های خزنده» کافی نیست. مدیریت باید، در کنار اندیشیدن دربارهٔ آنچه فنون جدید قادر به انجام آن هستند، دربارهٔ سیستم‌های پشتیبان آن‌ها نیز بیندیشد. از آنجا که ندرتاً چیزی مستقل از چیزهای دیگر عمل می‌کند، بهره‌وری اختراعات هنگامی خواهد بود که اختراعاتی جانبی نیز به‌همراه داشته باشد. برای مثال، ساختن بمب‌افکن‌های دورپرواز فکر خوبی بود (به‌جز برای آن‌ها که بمب بر سرشان ریخته می‌شد) اما تا زمانی که راهی برای سوخت‌گیری آن‌ها در هوا پیدا نشده بود، این فکر نمی‌توانست محقق گردد.

پیشرفت‌های خزنده و نیازهای تواناسازی به این معناست که روش‌های قدیمی پیش‌بینیِ توسعهٔ فنی دیگر اعتبار ندارند. از آنجا که هرکه اول برسد حرفش به کرسی می‌نشیند، آن‌ها که در مراحل اولیه غایب هستند، حرفِ‌شان به جایی نمی‌رسد. به این ترتیب، داشتن یک روش نظام‌مند برای ردیابی پیشرفت‌ها، اهمیت بسیار زیادی دارد.

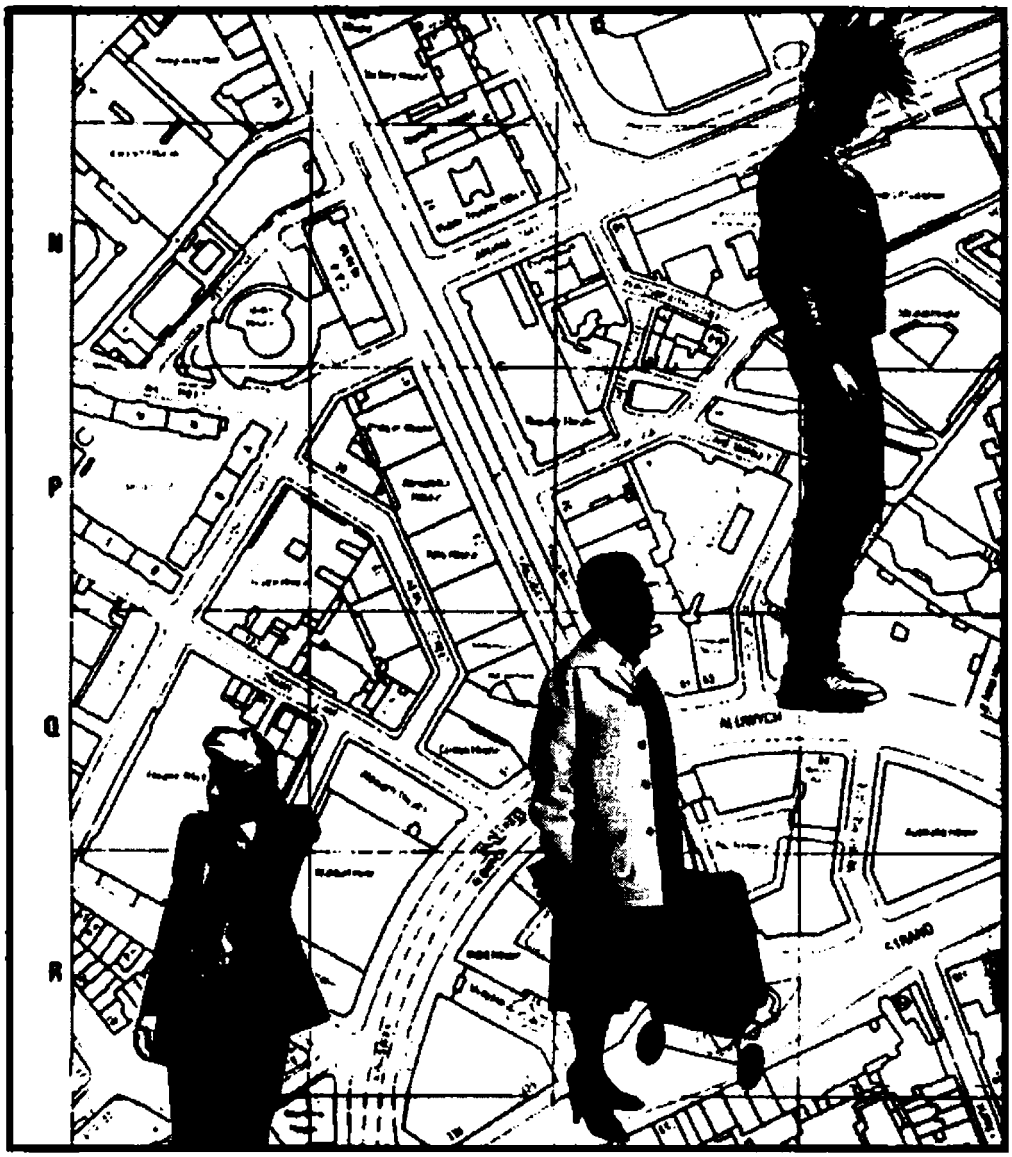
رویکرد متعارف این است که اهمیت نسبی عناصر مختلف تشکیل‌دهندهٔ یک پیشرفت محتمل را ارزیابی کرده و کلیهٔ عوامل تواناسازی را که هنوز معوق مانده‌اند، شناسایی کنیم؛ همچنین، باید توان اندیشه‌های نو را بشناسیم و آنگاه سناریوها و مفاهیم جدیدی با تلفیق مفاهیم کهنه به روشی نو برای مسائل عملی تدوین کنیم.

پیش‌بینی باید فرایندی کلیّت‌گرا و پیوسته باشد و بازخورد، وابستگی حسّاس و تحولاتِ غیرخطی را قویاً درنظر داشته باشد.

آشوب و شهرها

شهرها تغییر کرده‌اند و همزمان، نگرش ما به شهرها نیز تغییر کرده است. شهرها از موجودیت‌هایی نظم‌یافته و قابل کنترل به محیط‌هایی غیراهلی و رام‌نشدنی تبدیل شده‌اند. تصویر ما نیز، از شهرهای مدرنِ پوزیتویست، شهرهای انسان‌گرا و یا مارکسیستی-ساختارگرا، به شهرهای دائم‌التغییر و آشوب‌زدهٔ پسامدرن تغییر کرده است.

در هر شهری، مجموعهٔ متکثری از فرهنگ‌ها و زیرفرهنگ‌ها وجود دارد: از آسیایی‌ها، ایتالیایی‌ها و چینی‌ها گرفته تا آدم‌های «حسابی» و همجنس‌بازها، منطقه‌های تولیدی و متروکه، معابر پیاده و مناطق «غیرقابل گذر». هیچ چیز پایدار نیست، هیچ چیز حقیقت ندارد، و هیچ‌چیز اهمیت خود را برای مدتی طولانی حفظ نمی‌کند.

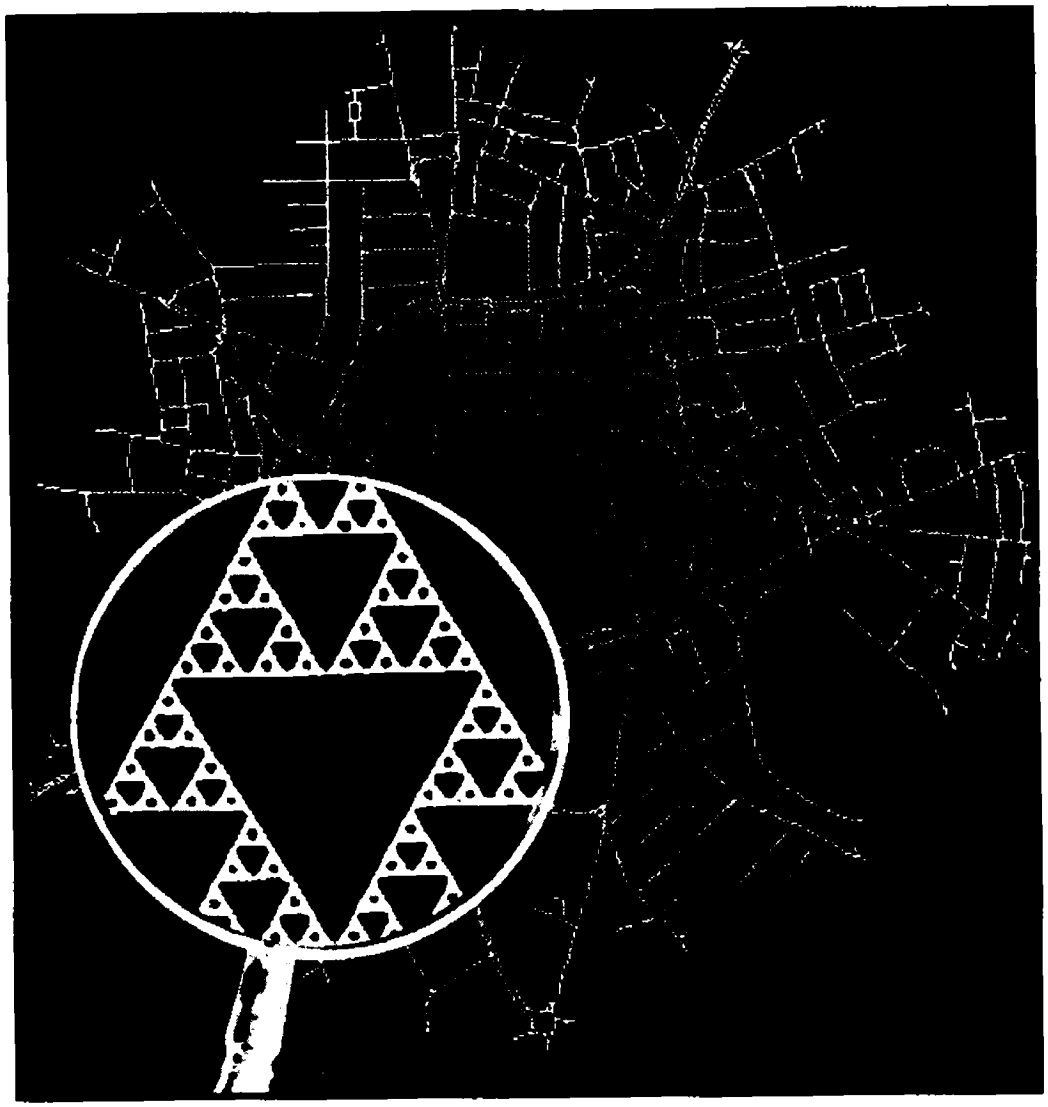


شهرها، هرکدام یک «ریزدنیا» و آیینهٔ جوامع و فرهنگ‌های آزاد هستند. لذا، برای کسب دریافتی همه‌جانبه از شهرها، باید، اگر نه همه، دست‌کم بخش اعظمی از چندگانگی‌ای که شهرهای جدید را تشکیل می‌دهد، به‌حساب آوریم. ارتباط‌دادن نگرش متعارف به شهرها به‌مثابه «معماری در مقیاس وسیع» با نظریهٔ شهرها به‌مثابه سیستم‌های اجتماعی، فرهنگی، اقتصادی و نهادی، کار آسانی نیست.

این‌جاست که آشوب وارد صحنه می‌شود. آشوب به ما نگرشی عمیق‌تر از نظم فضایی شهر ارائه می‌دهد.

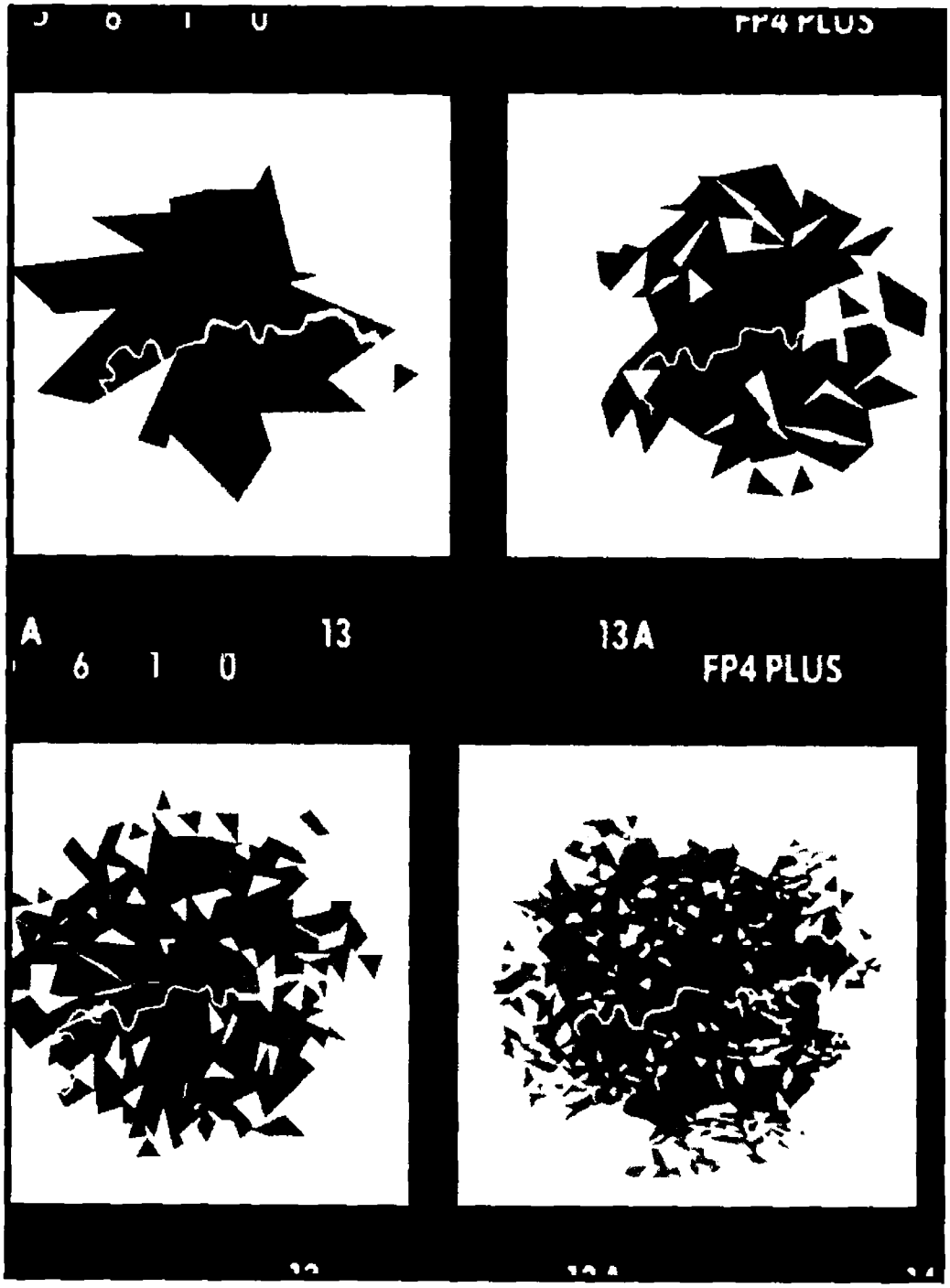
بخش‌های زیادی از شهرها دارای بی‌نظمی‌هایی‌اند که باعث می‌شود موضوعات مناسبی برای هندسهٔ شِکنه‌ای بشوند. درحقیقت، شهرها دارای ساختار شِکنه‌ای کاملاً متمایزی هستند. به این ترتیب که کارکردهای آن، به درجات و در مقیاس‌های متفاوت، خودهمانند است. مثال‌هایی از ساختارهای شِکنه‌ای از این‌قرارند: همسایگی‌ها، محله‌ها و مناطقِ درون شهرها، درجات مختلف در شبکه‌های حمل‌ونقل و رده‌بندی شهرها در سلسله‌مراتب مکان محور که بازتابی است از وابستگی متقابل هرآنچه محلی است به هرآنچه کلی است.

ویژگی‌های شِکنه‌ای شهرها، جغرافی‌دان‌ها و برنامه‌ریزان شهری را قادر به انجام مطالعاتی چون تراکم جمعیت، استفاده از زمین و بافت فضایی می‌سازد که همگی بازتاب هم‌کناری‌های (juxtapositions) فضایی‌اند.



شهرهای شِکنه‌ای

حداقل به دو طریق می‌توان هندسهٔ شِکنه‌ای را در مورد شهرها به‌کار بست؛ اول به منظور مطالعهٔ شکل شهر با استفاده از الگوها و طرح‌های رایانه‌ای؛ و دوم با اندازه‌گیری ابعاد شکل‌ها در شهرهای واقعی و شبیه‌سازی آن‌ها به صورت پویا.

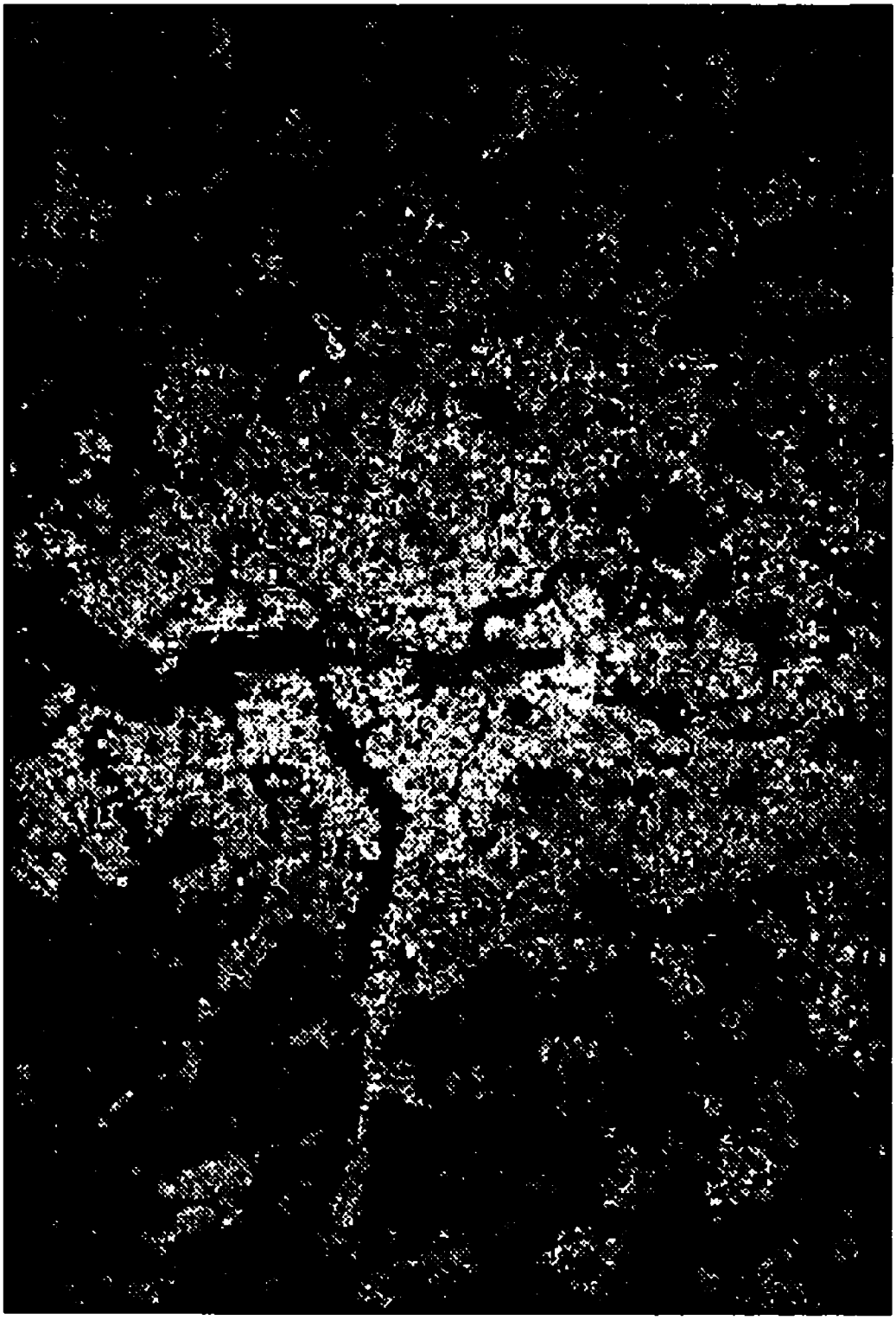


مایکل بتی، استاد تحلیل و برنامه‌ریزی فضایی در دانشگاه لندن، از پیشروان «شهرهای شِکنه‌ای» است.

او می‌گوید: «با استفاده از هندسهٔ شِکنه‌ای، می‌توانیم هندسهٔ شهرها را، ابتدا با ثابت‌نگاه‌داشتن اندازه و تغییر مقیاس و سپس با ثابت نگاه‌داشتن مقیاس و تغییر اندازه، مورد کاوش قرار دهیم. این فکر جایگاه محوری بسیار مهمی در ایجاد یک نظریه برای شهرهای شِکنه‌ای دارد.»

کارهای او نشان داده‌اند که روابط کلیدی میان ابعاد شِکنه‌ای شهر ایجاب می‌کند که میان جمعیت و تراکم آن از یک‌سو و ابعاد خطی و فضا از سویِ دیگر، ارتباط برقرار کنیم. ساختار این روابط به‌شکل نموّی (incremental) یا انباشتی (cumulative) است.

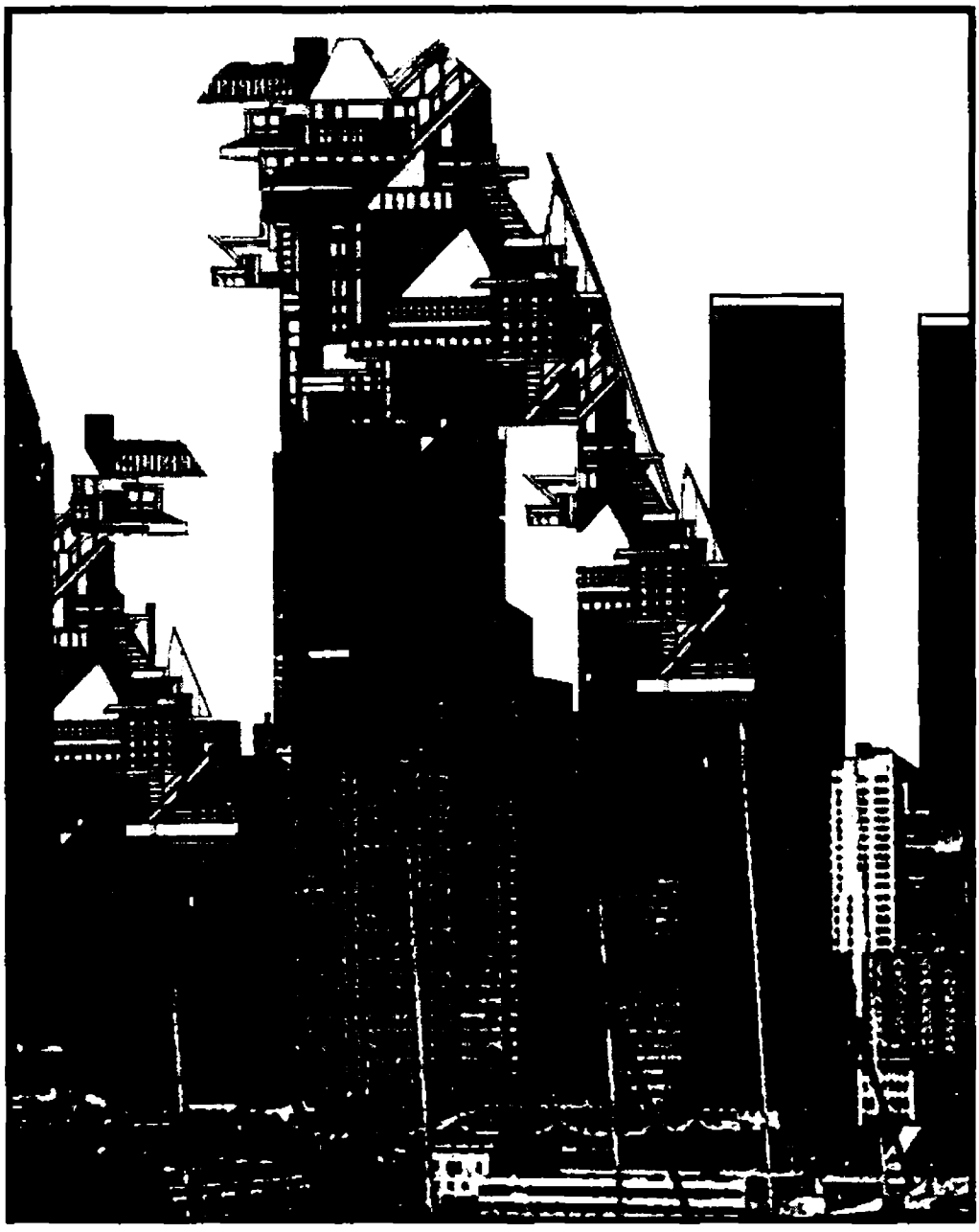
این شِکنهٔ جالب واقعاً (تراکم جمعیت) لندن را نشان می‌دهد.



افق‌های شِکنه‌ای

بتی می‌گوید: «مشاهده کرده‌ایم که این روابط شِکنه‌ای، به نسبت رابطه‌هایی که به‌طور سنتی استفاده می‌شود، از محتوای منطقی بیشتری برخوردارند و این رویکرد، درمجموع، نشان می‌دهد که تا چه اندازه در تعریف و اندازه‌گیری تراکم‌ها باید دقیق باشیم. نتیجه‌ای که من از تحقیقاتم می‌گیرم این است که اکثر کارهایی که در چهل‌سال گذشته در زمینهٔ نظریهٔ تراکم شهری و کاربردهای این نظریه انجام گرفته است، می‌باید در پرتو این روابط جدید، از سر گرفته شود.»

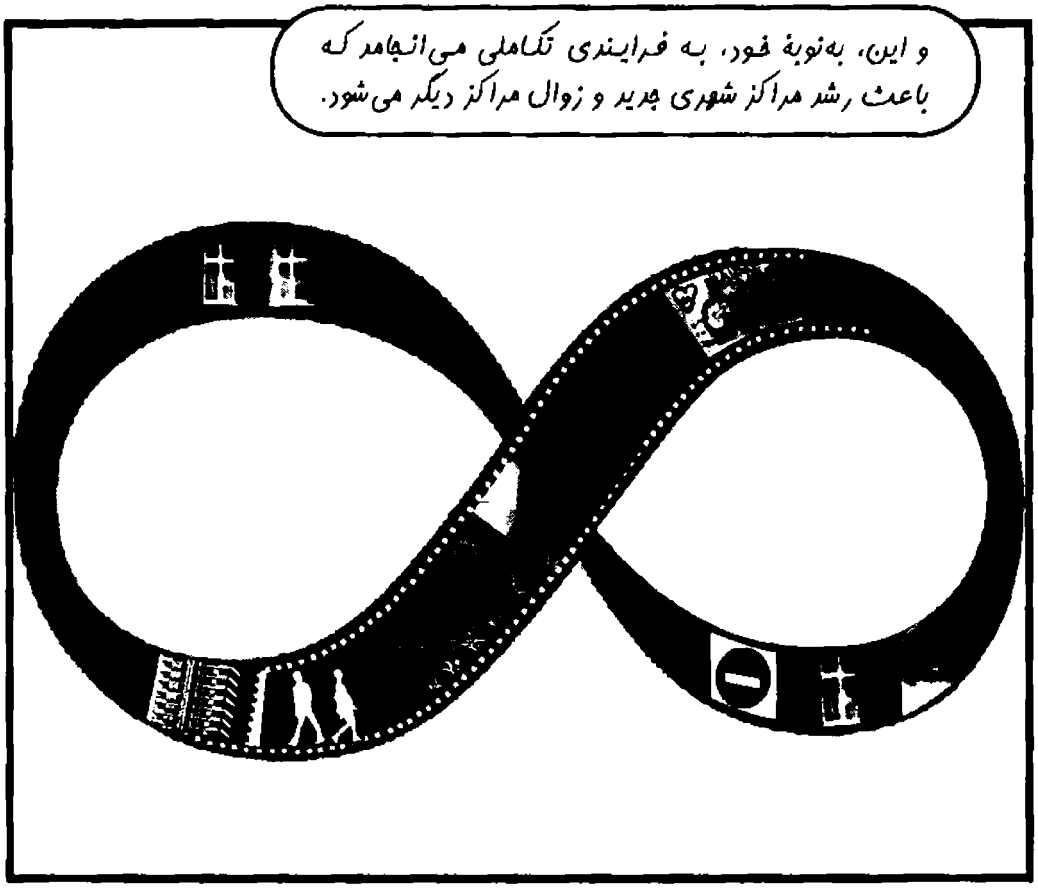
افق شهرهایی، مانند مَنهَتن، نیز می‌تواند طبیعت شِکنه‌ای داشته باشد.



شهرهای اتلافی

تحلیل‌های شهری اخیر، علاوه بر شهرهای شِکنه‌ای، وجود شماری دیگر از انواع شهرهای آشوبی را نیز آشکار ساخته است.

شهرهای اتلافی، حاصل نظریهٔ پریگوژین دربارهٔ ساختارهای اتلافی و کاربردهای آن است. نظریهٔ شهرهای اتلافی، توسط نظریه‌پردازانی نظیر پیتر آلن، استاد مرکز بین‌المللی تحقیقات اکو-تکنولوژی (فن‌آوری زیست‌محیطی) در دانشگاه کرَنفیلد (Cranfield)، تدوین شده است. کار او مبتنی بود بر ساخت الگوهایی رایانه‌ای از زیرساخت‌های ناحیه‌های مختلف یک منطقه؛ زیرساخت‌هایی شامل ساکنان و فعالیت‌های حرفه‌ای آن‌ها. افراد برای تأمین اشتغال از نقطه‌ای به نقطهٔ دیگر نقل‌مکان می‌کنند و کارفرمایان برحسب وضعیت بازار به عرضه موقعیت‌های شغلی یا محدودکردن آنها می‌پردازند. این مهاجرت بین نواحی و افزایش و کاهش فعالیت‌های اقتصادی، یک «ظرفیت انتقال» محلی ایجاد می‌کند که، در سیستم‌هایی که جمعیت و فعالیت‌های تولیدی را به هم مرتبط می‌سازند، منجر به ایجاد شرایط غیرخطی و حلقه‌های بازخورد منفی و مثبت می‌شود.

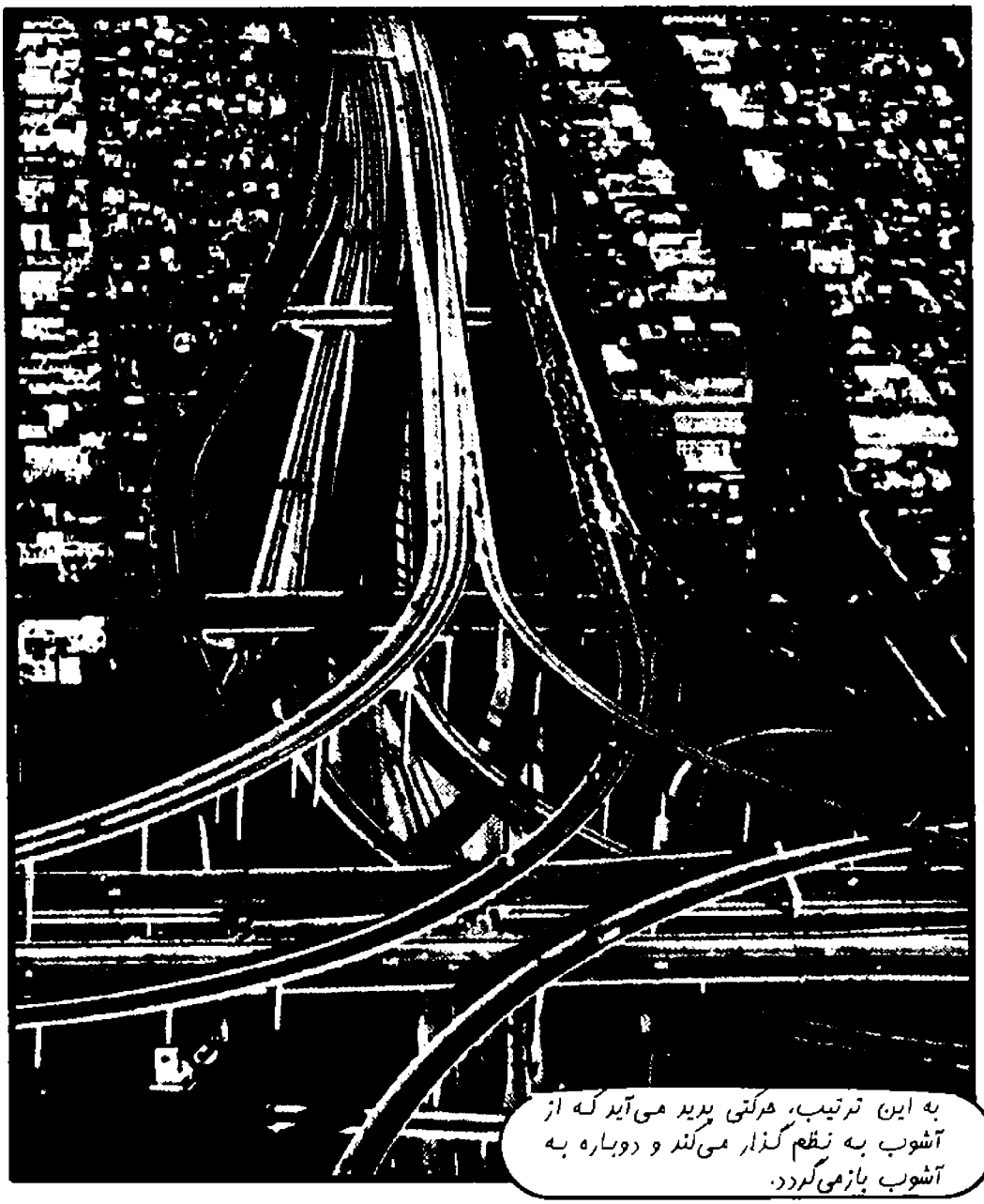


کنش متقابل میان نوسانات و تعامل‌ها، از یک سو، و اتلاف، از سوی دیگر، منظر جدیدی را می‌گشاید. آلن، سپس این الگو را در شهر بروکسل به‌کار بست.

آشوب محلی و کلی

افکار پریگوژین دربارهٔ خودسازماندهی، همچنین منشاء پیدایش مفهوم «شهرهای خودسازمانده» یا «شهرهای آشوبی» شد. در شهرها، خودسازماندهی به دو شکل رخ می‌دهد: آشوب محلی یا خُرد و آشوب کلی و کلان یا تعیّن‌پذیر. آشوب محلی نتیجهٔ رفتار مؤلفه‌های فردی یک شهر است، مانند حرکت خودروها در یک خیابان اصلی.

آشوب تعیّن‌پذیر وقتی رخ می‌دهد که درنتیجهٔ خودسازماندهی، اجزاء فردی جذب چند ربایشگر می‌شوند. شهر از یک ربایشگر به ربایشگر دیگر می‌پرد. برای مثال حرکت خودروها در یک بزرگراه، شب‌ها به‌صورت تصادفی و در ساعات ازدحام به‌صورت یکنواخت توزیع می‌شود.



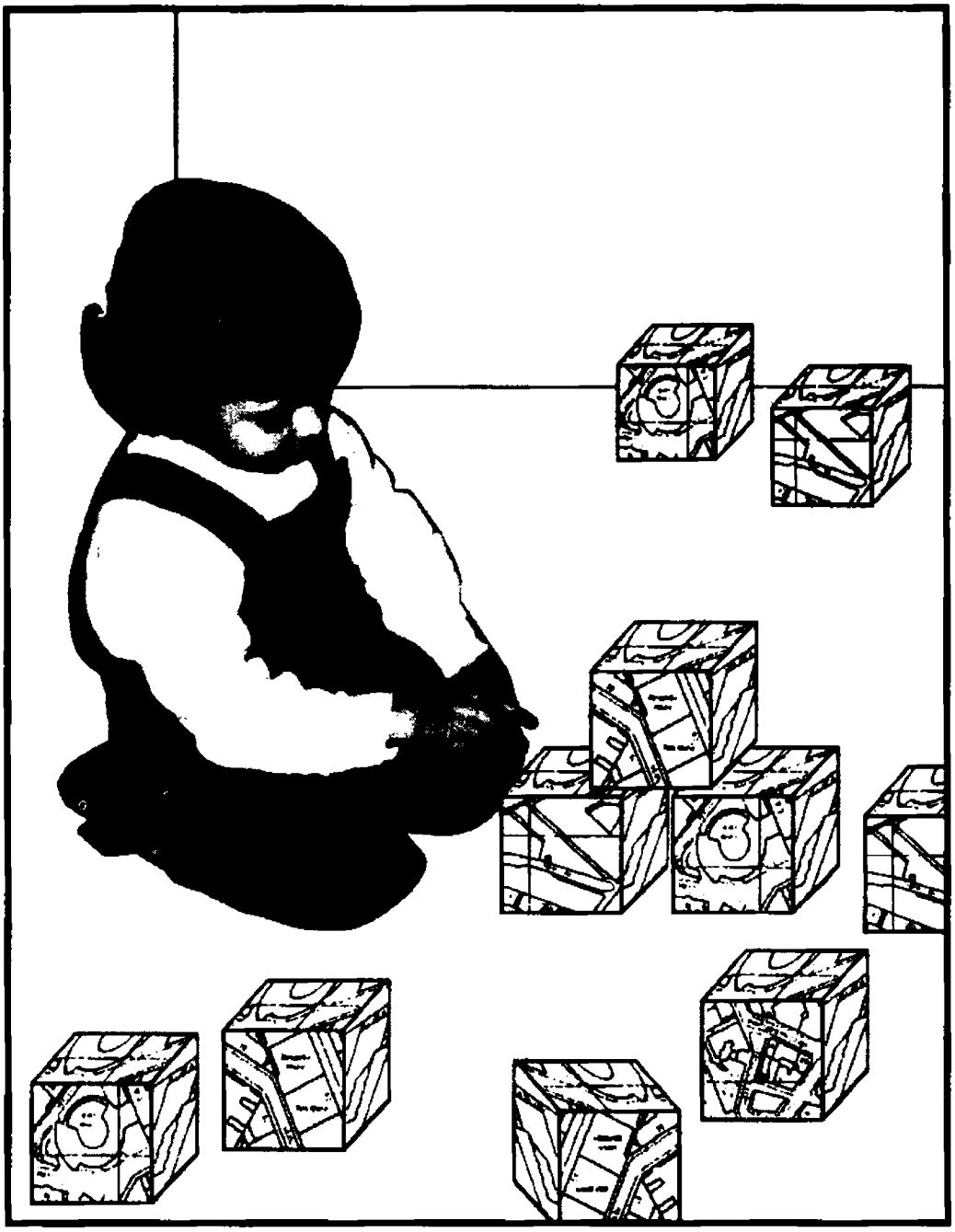
به این ترتیب، حرکتی پدید می‌آید که از آشوب به نظم گذار می‌کند و دوباره به آشوب بازمی‌گردد.

بازی میان آشوب و نظم، نه فقط در تحول بلندمدت، که حتی در روال‌های روزمره نیز نمایان می‌شود.

کنترل یا مشارکت

آشوب، چشم‌انداز جدیدی را برای درک ما از فضاهای شهری فراهم آورده است. آشوب نشان می‌دهد عواملی که تحول یک شهر را کنترل می‌کنند سیستم‌های خودسازمانده هستند، و به این اعتبار، خود، غیرقابل کنترل‌اند.

بتی: «این چشم‌انداز، نوع جدیدی از برنامه‌ریزی و عمل را در شهر درپی دارد که هدف آن، نه کنترل، که مشارکت است.»



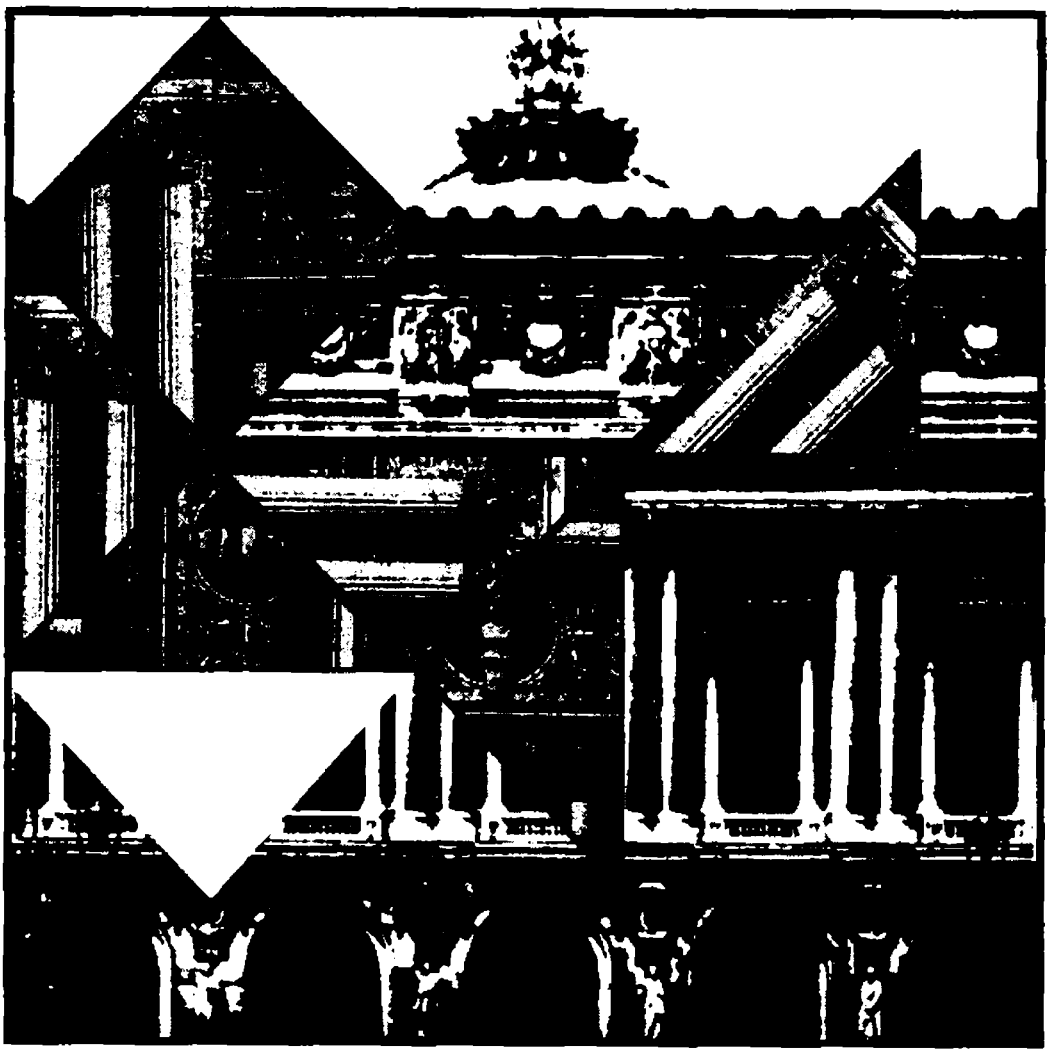
معماری آشوبی

استفاده از اشکال شِکنه‌ای در معماری پسامدرن، اصلاً چیز عجیبی نیست. برای مثال، **بروس گاف**، در زمرهٔ اولین معمارانی بود که از ربایشگرهای شگفت برای سازمان‌دادن میدان نیروی جابجایی‌ها در داخل برخی از خانه‌هایش استفاده کرد.

زاحا حدید، در طرحی که برندهٔ مسابقهٔ طراحی برای سالن اپرای کاردیف‌بِی (Cardiff Bay) شد، می‌خواست، با استفاده از هندسهٔ شِکنه‌ای، ساختمانی بیافریند که در آن زبانِ سطوحی که حامل تغییر هستند برای رساندن حس تداوم به‌کار گرفته شده باشد. اما طرح موضوع مناقشه واقع شد، چراکه به ذائقهٔ بسیاری، زیاده از حد پسامدرن بود و درنتیجه، هرگز اجرا نشد.

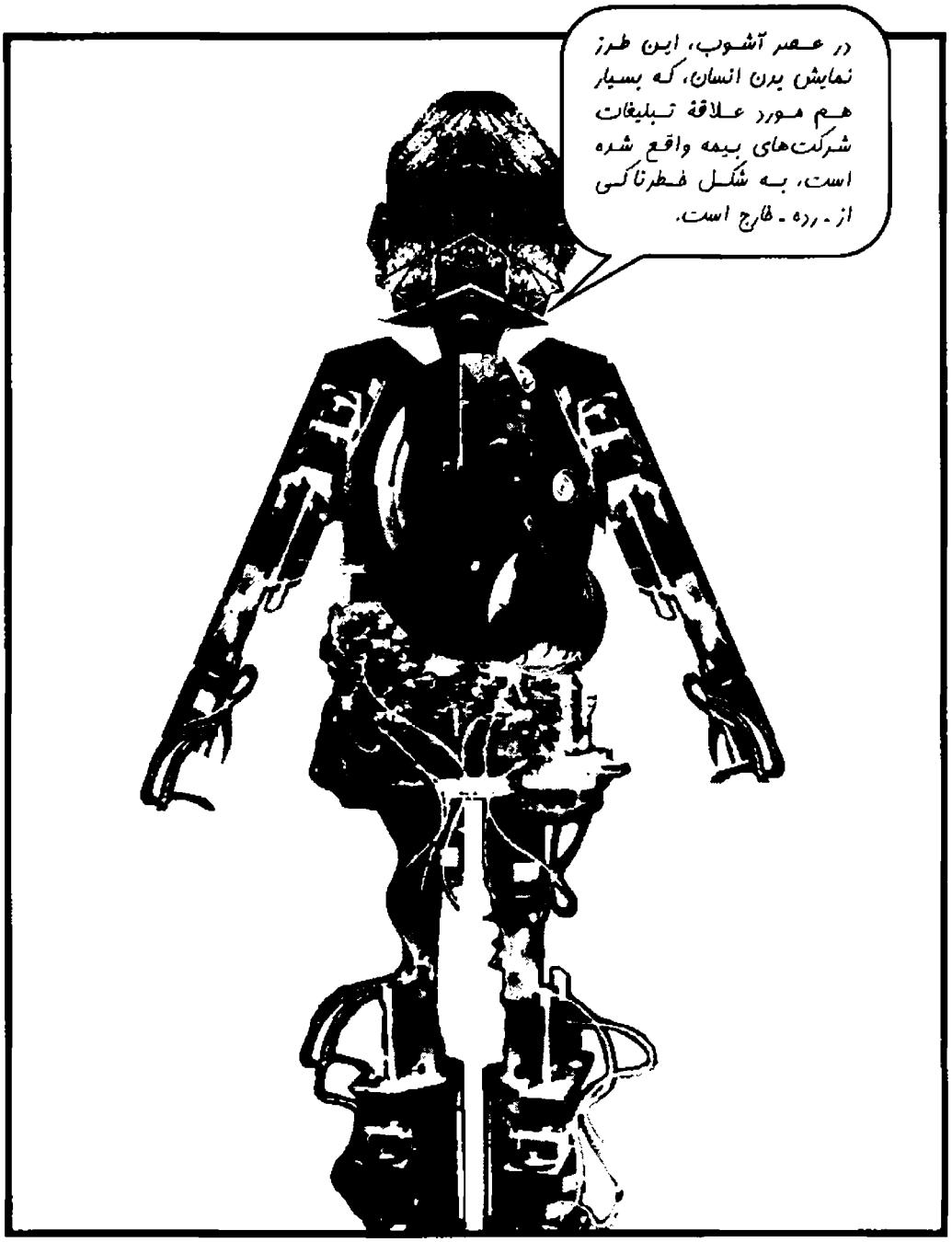
مفاهیم آشوب، همچون غیرخطی‌بودن، دوبرابرشدن دورهٔ تناوب و بازخورد، به‌طور روزافزون در معماری پسامدرن رواج می‌یابند. به‌قول **چارلز جنکز**، معمار و مرشد معماری پسامدرنِ آشوب و پیچیدگی، این فکرها «معماریِ موج‌ها و پیچش‌هایند ومعماری‌ای را خلق می‌کنند که مدام و به‌طرز غیرمنتظره‌ای، تاب برمی‌دارد، رشد می‌کند و کاهش می‌یابد.»

اما استفاده از آشوب محدود به معماری پسامدرن نیست. برخی بناهای سنتی نیز همین ایده‌ها را به نمایش می‌گذارند. برای مثال در ساختمان باروک اپرای پاریس، که توسط **شارل گارنیه** (۹۸ـ۱۸۲۵) طراحی و بین سال‌های ۱۸۶۱ و ۱۸۷۵ بنا شد، مقیاس‌های شِکنه‌ای را می‌توان دید. این بنا شامل ترکیب بدیعی از سبک‌هاست که بر بستری هماهنگ استوار شده‌اند. وقتی در خیابان اپرا قدم می‌زنید جزئیات خودهمانندِ بنا تدریجاً برایتان آشکار می‌شود: هرچه نزدیک‌تر می‌شوید، جزئیات بیشتری به‌چشم می‌خورد.



آشوب و بدن

الگوی متعارف، بدن انسان را به یک ماشین تشبیه می‌کند. قلب مانند ساعت می‌زند، سیستم عصبی یک شبکهٔ ارتباط تلفنی است و استخوان‌بندی بدن مجموعه‌ای از لولا و بست‌ها.



امروزه، زیست‌شناس‌ها، فیزیولوژیست‌ها و خبرگان پزشکی در حال تهیهٔ تصویری از فیزیولوژی انسان هستند که آن را به چشم سیستمی کلیّت‌گرا مملو از شِکنه و آشوب می‌بینند.

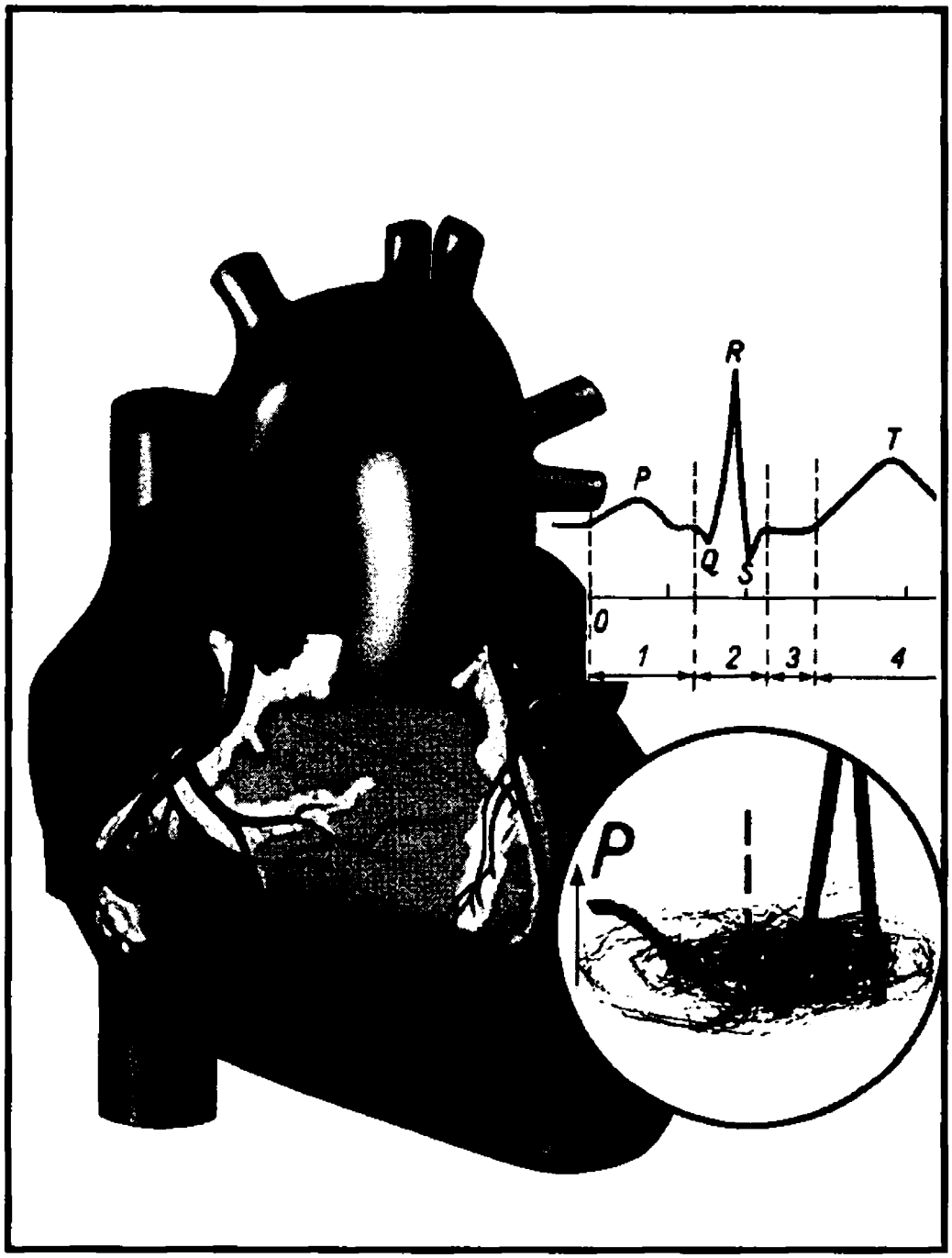
شِکنه‌های بدن

بدن ما پوشیده از شِکنه است: از سیستم جریان خون گرفته تا شبکهٔ لنف‌ها، ریه‌ها، بافت عضلات، فیلترهای داخل کلیه‌ها، رودهٔ کوچک و شکل‌های تودرتوی سطح مغز. این شِکنه‌ها بدن انسان را انعطاف‌پذیر و مستحکم می‌کنند. از آنجا که این ساختارهای شِکنه‌ای بدن انسان خود همانندند، آسیب یا فقدان بخش‌هایی از آن می‌تواند خالی از پیامدهای جدی باشد. ساختارهای شِکنه‌ای همچنین باعث می‌شود سطح مفید برای جمع‌آوری، توزیع، جذب و دفع مایعات حیاتی یا سمومی که مرتباً در بدن جریان دارد، افزایش یابد.

ربایشگر قلب

دینامیک آشوبی در بدن نیز به‌چشم می‌خورد. این پویایی نتیجهٔ بازخوردی است که مرتباً بین قسمت‌های متعدد بدن در جریان است.

وقتی نمودارهای الکتروکاردیوگرام را در فضای فاز ترسیم می‌کنیم، ربایشگر شگفتی به‌دست می‌آید که «عنکبوتی‌شکل» است.



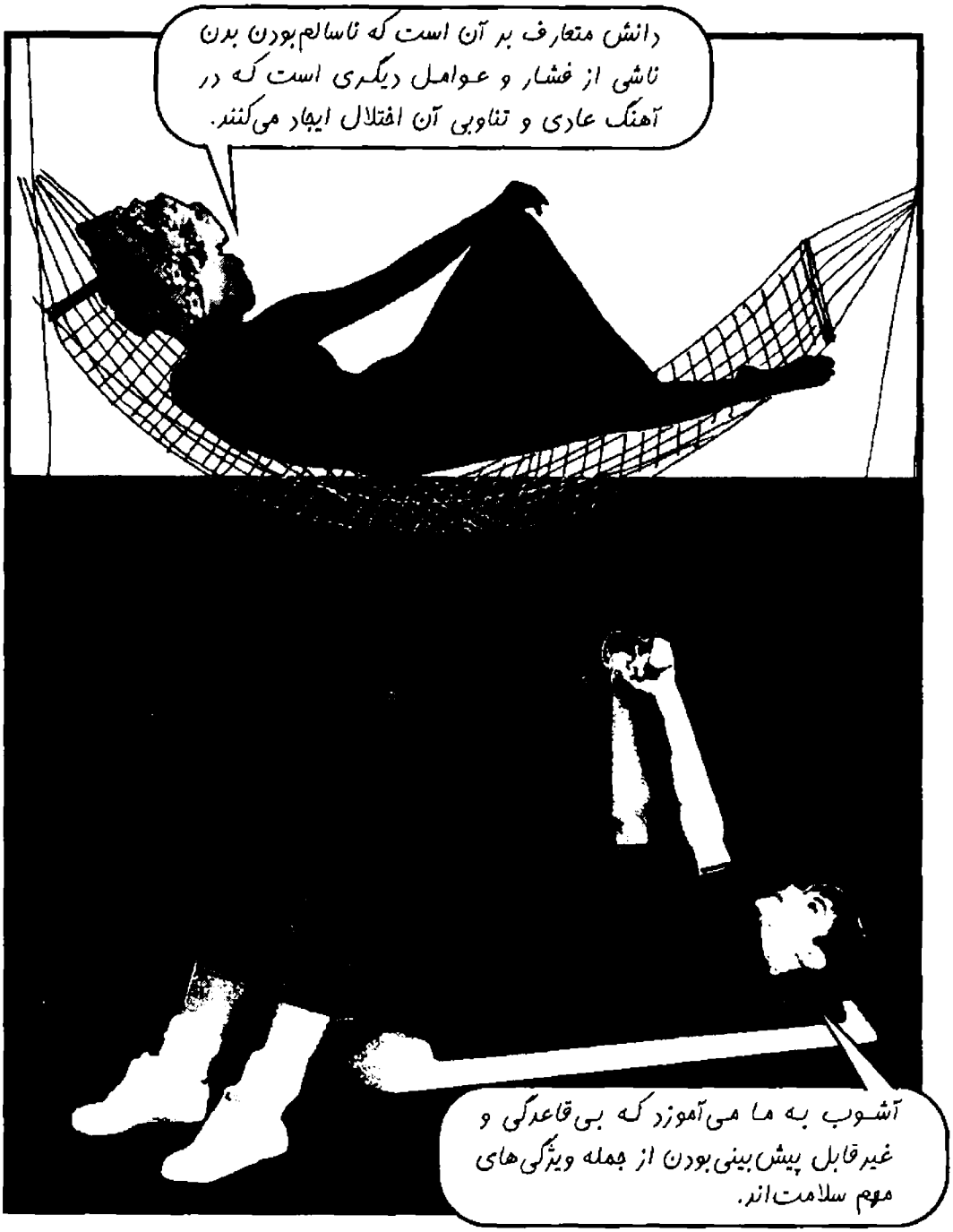
آشوب در قلب

دوبرابرشدن دورهٔ تناوب، مقدمه یک حملهٔ قلبی شمرده می‌شود. در یک قلب سالم، تکانه‌های الکتریکی، که به نرمی در رشته‌های عضلانی حرکت می‌کنند، باعث انقباض دهلیز قلب می‌شوند و خون را به حرکت درمی‌آورند. رشته‌های عضلانی قلب، در حالت منقبض، نسبت به علائم الکتریکی، نفوذناپذیر می‌شوند. این دوره را *زمان تحرک‌ناپذیری (refractory time)* می‌نامند.

از این نکته در تولید گونه‌ای از باطری‌های هوشمند برای قلب استفاده شده است. این وسیله، دائماً قلب را زیرنظر دارد؛ زمانی را که آشوب نامطلوب در شرف وقوع باشد تشخیص می‌دهد، آنچه را که در لحظهٔ بعد اتفاق خواهد افتاد شناسایی می‌کند و سیگنال الکتریکی‌ای برای اجتناب از آن به قلب می‌فرستد.

آشوب و سلامتی

اما هر آشوبی هم در بدن بد نیست. آشوب طبیعی‌ای در پس‌زمینهٔ بدن وجود دارد که کارکردی مفید دارد؛ برای مثال در فعالیت مغز. از دست‌رفتن این آشوب ممکن است منجر به عملکردهای غیرعادی بشود. مثلاً، حملهٔ صرع ممکن است به‌نظر حمله‌ای ناشی از آشوب باشد، اما درواقع ناشی از *فقدان* آشوب است. حملهٔ صرع محصول یک نظم تناوبی غیرعادی در مغز است.



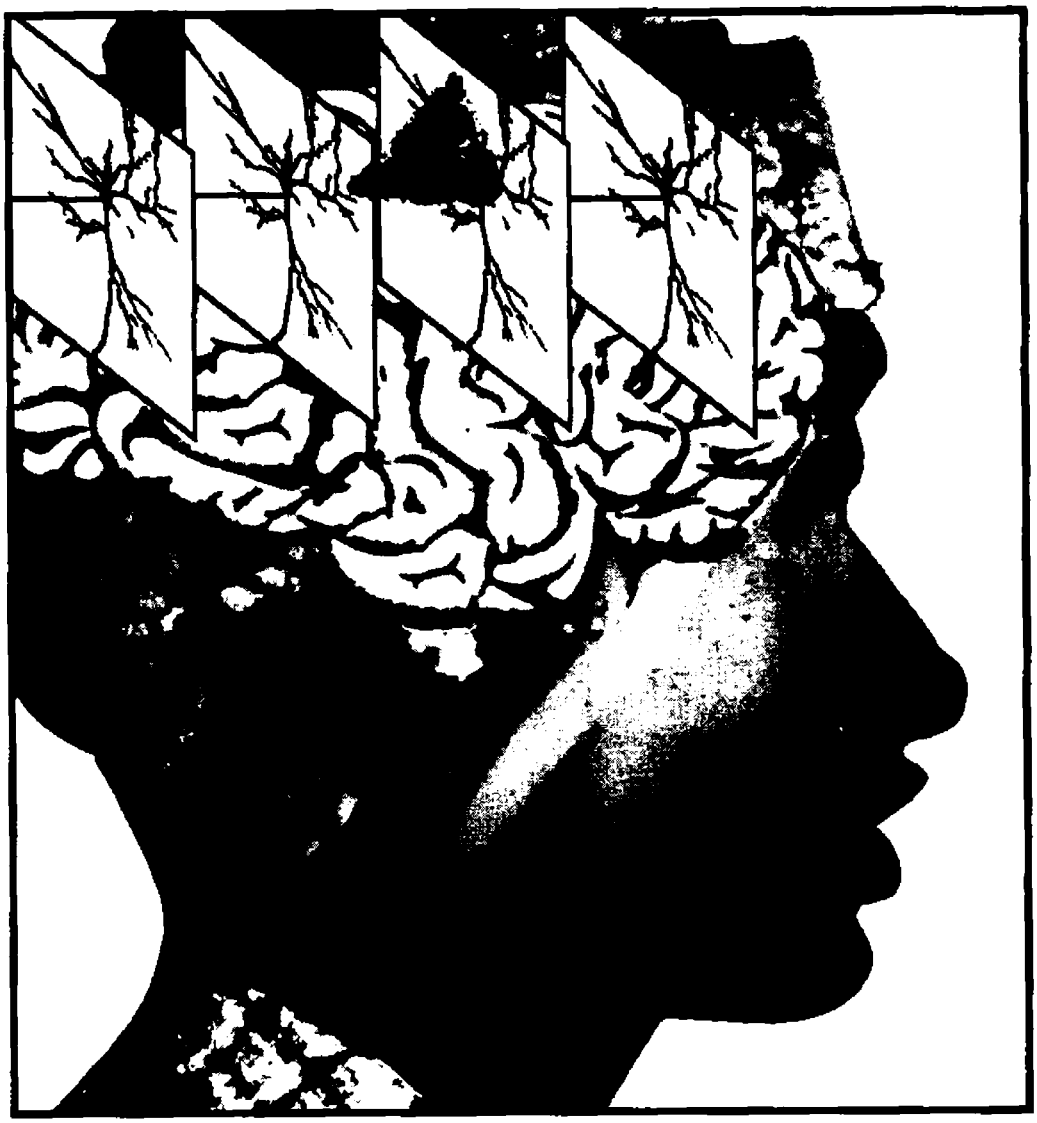
آشوب و مغز

یکی از کشفیات نظریهٔ آشوب این است که سازمان مغز ناشی از آشوب است.

مغز انسان یک سیستم پیچیدهٔ غیرخطی و بازخوردی است. مغز حاوی میلیاردها نرون (رشتهٔ عصبی) متصل به هم است.

علائم در داخل مغز به‌شکل حلقه‌های بی‌انتهای بازخورد حرکت کرده و حجم وسیعی از اطلاعات را با خود حمل می‌کنند.

هرچند می‌دانیم که برخی مناطق مغز به اجرای برخی انواع عملیات اختصاص دارند، اما فعالیت در یک منطقه می‌تواند برانگیزندهٔ پاسخ‌های عصبی در منطقه‌ای وسیع باشد.



آزمایش‌ها نشان داده است که مغز دارای ربایشگرهای شگفت بی‌شماری است؛ برای هر فعالیت خاص یک ربایشگر خاص وجود دارد. نمودارهای الکتروآنسفالوگرام از فعالیت مغز نشان می‌دهد که وقتی فردی در حال استراحت است، یک ربایشگر شگفت وجود دارد. اما هنگامی که مغزِ همین فرد مشغول حل یک مسئلهٔ ریاضی است نیز، ربایشگر شگفت دیگری وجود دارد. یک مغز سالم، سطح پایینی از آشوب را حفظ می‌کند و این آشوب، در حضور محرکی آشنا، خود را به‌صورت نظمی ساده‌تر سازمان می‌دهد.

الگوی آشوبی آگاهی

اگر فرض کنیم که وضعیت‌های مختلف درون مغز با آگاهی مرتبط هستند، می‌توانیم به الگویی بنیانی برای آگاهی دست بیابیم. حال، چگونه نظریهٔ آشوب به ما در فهم آگاهی کمک می‌کند؟

اساس قضیه این است که نرون‌ها فقط علامتی را ارسال می‌کنند که توسط علائم دریافتی از سایر نرون‌ها فعال شده باشد. از مفهوم فضای فاز برای تصویر آنچه در مغز رخ می‌دهد استفاده می‌کنیم. هر نرون را مانند یک متغیر درنظر می‌گیریم و، در فضای فاز، به هریک، یک بعد اختصاص می‌دهیم. به این ترتیب، در فضای فاز، ۱۰ میلیارد بعد وجود دارد. اگر آگاهی درواقع مرتبط به فعالیت این نرون‌ها باشد، از ورای این الگو به تصویری از آگاهی می‌رسیم که می‌تواند موضوع تحلیل واقع شود.

از این «نقطه» چه نتایجی می‌توانیم بگیریم؟

اول این که مسیرش آشوبی است. سیستم ممکن است تعیّن‌پذیر باشد اما رفتار نقطه غیرقابل پیش‌بینی است. از این‌جا می‌توان گفت که ما هرگز نمی‌توانیم چگونگی رفتار آدم‌ها را واقعاً پیش‌بینی کنیم.

دوم این‌که حرکت نقطه، درعین آشوبی‌بودن، تصادفی نیست، بلکه یک ربایشگر شگفت را دنبال می‌کند. این ربایشگر شگفت می‌تواند همان پدیده‌ای باشد که ما آن را به‌عنوان «شخصیت» می‌شناسیم.

سوم این‌که این الگو اَلگوریتمی نیست؛ یعنی که قابل پیش‌بینی یا ترتیبی (sequential) نیست. این الگو، سیال و انعطاف‌پذیر است.

چهارم این‌که شمار وضعیت‌های ممکن در این سیستم، هیچ محدودیتی ندارند. تعداد نرون‌ها محدود است اما نقطه‌های فضای فاز نامحدودند. به این ترتیب آگاهی، خود نیز نامحدود است.

آشوب و وضع هوا

نظریهٔ آشوب، دِین بزرگی به هواشناسی دارد ــ بدون نظریهٔ آشوب، پیشرفت‌های کنونی علم هواشناسی ممکن نبود. وضع هوا در واقع سیستمی ذاتاً آشوبی است.

پس عجیب نیست اگر مشاهده‌می‌کنیم که وضع هوا ساختاری شِکنه‌ای و خودهمانند دارد. آنچه در سطح سیاره مشاهده می‌شود، عموماً همانی است که، در ارتفاع کمتر، در سطح قاره و سپس در سطح کشور مشاهده می‌کنیم. همچنین کلیهٔ مؤلفه‌های اقلیمی، از دما و فشار هوا گرفته تا سرعت باد و رطوبت، نسبت به شرایط اولیه حسّاس‌اند. از آنجا که وضع هوا دائماً به وضعیت‌های پیشین خود بازمی‌گردد ــ یعنی تکرار می‌شود ــ طیف وسیعی از رفتارهای آشوبی را در مقیاس‌های مختلف از خود بروز می‌دهد. اما همواره در محدودهٔ گستردهٔ یک ربایشگر شگفت به‌نام **آب‌وهوا** محدود می‌ماند.

اما به‌رغم آشوب، ما کماکان براساس مشاهدهٔ پاره‌ای شرایط اولیه به پیش‌بینی وضع هوا ادامه می‌دهیم. الگوهایی که امروزه برای پیش‌بینی وضع هوا استفاده می‌شوند، شامل حدود یک میلیون متغیر و دائماً در حال تکامل‌اند.

پیش‌بینی وضع هوا در بلندمدت

و اما پیش‌بینی بلندمدت؛ وضع هوا در قرن آینده چگونه خواهد بود؟ پیش‌بینی‌های بلندمدت کلاً با پیش‌بینی وضع هوا برای روز یا هفتهٔ آینده متفاوت هستند. در این حالت دیگر به دنبال یک مسیر منفرد در داخل ربایشگر نیستیم و تنها، شکل کلی ربایشگر آب‌وهوایی را جست‌وجو می‌کنیم.

آب‌وهوای زمین تحت تأثیر بازخورد است. همیشه خطر این هست که بازخورد مثبت باعث شود تا یک اختلال کوچک ناشی از انسان‌ها، شتاب بگیرد و به یک فاجعهٔ زیست‌محیطی تبدیل شود. اما بازخورد منفی، پایداری دمای جو را حفظ می‌کند. با توجه به شمار نامحدود حلقه‌های بازخورد مثبت و منفی، غیرممکن است بگوییم که چه سرنوشتی در انتظار ماست.

و اثر گلخانه‌ای چه؟

تکرار در الگوی وضع هوا را می‌توان به حرکت دورانی مسیر آن بر روی یکی از بال‌های پروانه تعبیر کرد، این تکرار می‌تواند یک بار، دوبار یا هزاربار رخ دهد. هیچ عدد از پیش تعیین‌شده‌ای برای تعداد این تکرارها وجود ندارد. بنابراین هنگام پیش‌بینی دربارهٔ پدیده‌هایی مانند «اثر گلخانه‌ای» باید دقت کنیم. توالی زمستان‌های گرم و تابستان‌های داغ ممکن است تنها به این معنی باشد که سیستم حول قسمتی از فضای فاز در حال گردش است و ضرورتاً معنی‌اش این نیست که تغییر دائمی و بلندمدتی در حال وقوع است.

آشوب و طبیعت

آشوب و پیچیدگی بازتاب حسّاسیت جدیدی نسبت به جهان پیرامون ماست. تا همین چندی پیش مردم بر این باور بودند که علم بر کلیهٔ جهالت‌ها فائق خواهد آمد و ما به کمک فن‌آوری قادر خواهیم بود بر جهان طبیعت مسلط شویم. آشوب به ما می‌گوید که طبیعت یک سیستم ساده نیست و به‌آسانی به خواست‌های ما گردن نخواهد گذاشت. درواقع طبیعت می‌تواند متقابلاً مقاومت کند و واقعاً هم می‌کند؛ مانند هنگامی که ما با استفادهٔ وسیع از آنتی‌بیوتیک‌ها، باعث رشد و پرورش نسل جدیدی از میکروارگانیسم‌های مقاوم می‌شویم.

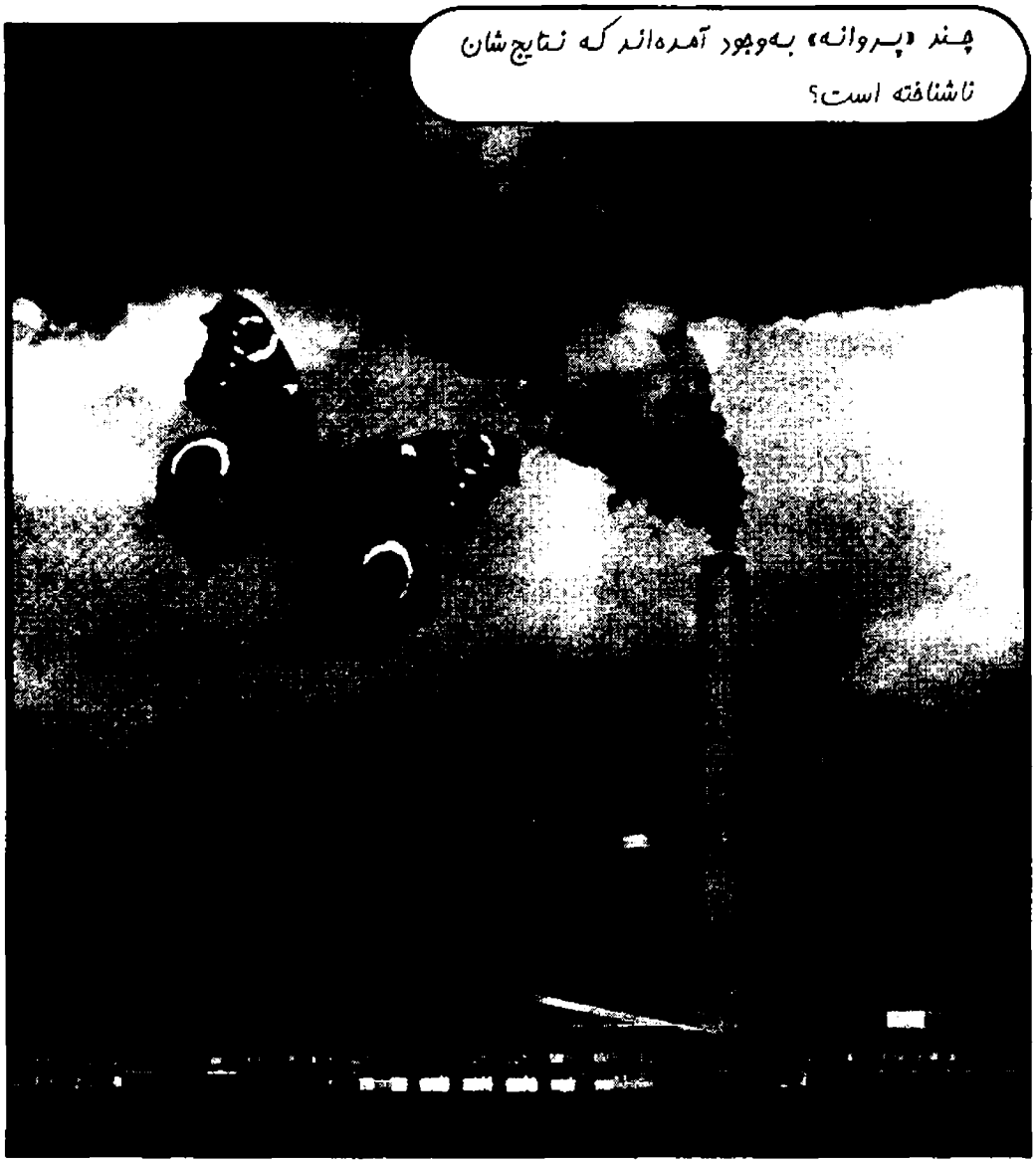
ایمنی علمی

تا همین اواخر، مردم دو هدف را برای علوم قائل بودند: دانش و قدرت. به‌زعم ایشان، علوم باعث زدودن خرافات، جهالت‌ها، بیماری‌ها و فقر می‌شدند. اما امروزه ما داریم نسبت به داشتن چنین تصور ساده‌انگارانه‌ای از طبیعت آگاه‌تر می‌شویم. دستاوردهای علمی ناشی از این نگرش، عظیم اما یکجانبه بوده‌اند.

نظریهٔ آشوب و تجربهٔ ما از محیط زیست باعث شده است به درک جدیدی برسیم. هنگامی که حتی سیستم‌های تعیّن‌پذیر را نمی‌توان پیش‌بینی کرد، عدم قطعیت به‌صورت یک مسئلهٔ اساسی درمی‌آید.

به این ترتیب، اکنون علم باید هدف سومی را هم دنبال بکند: ایمنی.

حتی می‌توانیم به خطرهای ساختهٔ دست بشر به چشم نوعی «پیچیدگی آشوبی» بنگریم. چرا که سیستم‌های پیچیدهٔ طبیعی مرکب از ماده، انرژی و حیات که برای دوران‌های متمادی در چرخه‌های خود سیر کرده بودند، اکنون دچار اختلال شده‌اند. مواد جدید و شکل‌های نویی از انرژی در فرایندهای دیرپای طبیعی وارد شده است.



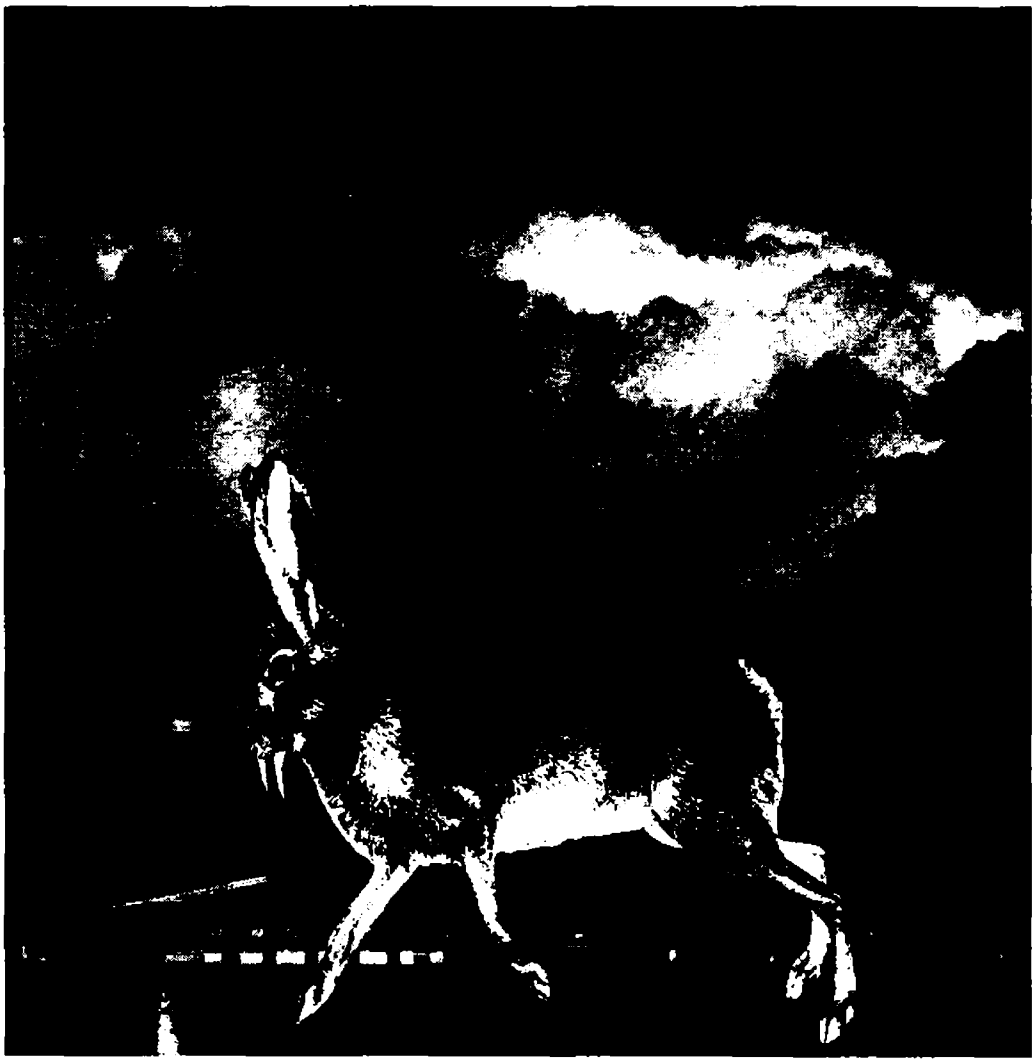
چند «پروانه» به‌وجود آمده‌اند که نتایج‌شان ناشناخته است؟

امروزه می‌دانیم هیچ تضمینی وجود ندارد که جهان طبیعی پیرامون ما به‌سوی ایمنی و آسودگی، و در جهت خیر ما درجریان باشد. بیماری‌های جدید، آلودگی کرهٔ زمین، نابودی گونه‌های طبیعی و تغییرات آب‌وهوایی، همگی، نتایج اثرات غیرمترقبهٔ تأثیر علم و فن‌آوریِ ساده‌انگارانهٔ ما بر روی طبیعت بوده است.

طبیعت جدید

تصور این پدیده‌های جدید، مادام که تصویر علوم محدود به معادلات ساده و تعیّن‌پذیر بود، دشوار می‌نمود. اما به کمک آشوب می‌توانیم دوباره دربارهٔ طبیعت و درارتباط با خودمان به تفکر بنشینیم. قبلا طبیعت «وحشی» بود و ما، با فن‌آوریِ متکی به علم خود، آن را «رام» کردیم. قوانین منظم رفتار طبیعت کشف شدند و خود طبیعت تحت یوغ ماشین‌های ما قرار گرفت. اما اکنون، در عصر آشوب، حالت جدیدی از طبیعت را می‌توان مشاهده کرد؛ حالت «رام‌نشده».

این حالت را به شکل سیستم‌های آلوده‌ای می‌توان تصور کرد که از کنترل و اهلی‌سازی ما خارج شده‌اند. اما این سیستم‌ها، برخلاف سیستم‌های پیش از آشوب، صرفاً وحشی یا «طبیعی» نیستند، بلکه، چنان‌که در مورد جانورانی چون بز، موش یا خرگوش که در اماکن جدید سکنا داده می‌شوند، می‌توان دید، ناموزونی تخریب‌گر و شاید فاجعه‌آمیزی در بین این گونه‌ها وجود دارد.



آیا همه‌چیز ایمن است؟

آشوب و پیچیدگی، ابزارهای مفهومی لازم برای مواجهه با این مسائل جدید را در اختیار ما می‌گذارند. می‌دانیم که علم قادر نیست با قطعیت دربارهٔ وضعیت آیندهٔ چنین سیستم‌های آشوبی و پیچیده‌ای پیش‌بینی کند. به‌ویژه غیرممکن است که علم بتواند ثابت کند که خود، چیزی کاملاً «ایمن» است. این که ما خطری را قبول یا از آن چشم‌پوشی کنیم تنها تا حدی به گفته‌های متخصصین بستگی دارد. قضاوت‌ها و ارزش‌های همهٔ بقیهٔ کسانی که به‌نوعی تحت تأثیر و تبعات یک مسئله‌اند نیز دخیل است.

درک جدید و مبتنی بر آشوب، از طبیعت نیازمند دریافت جدیدی از شکل مناسب شیوهٔ علمی است. این شیوهٔ علمی جدید را علم «مابَعدِ متعارف (post-normal)» می‌نامند.

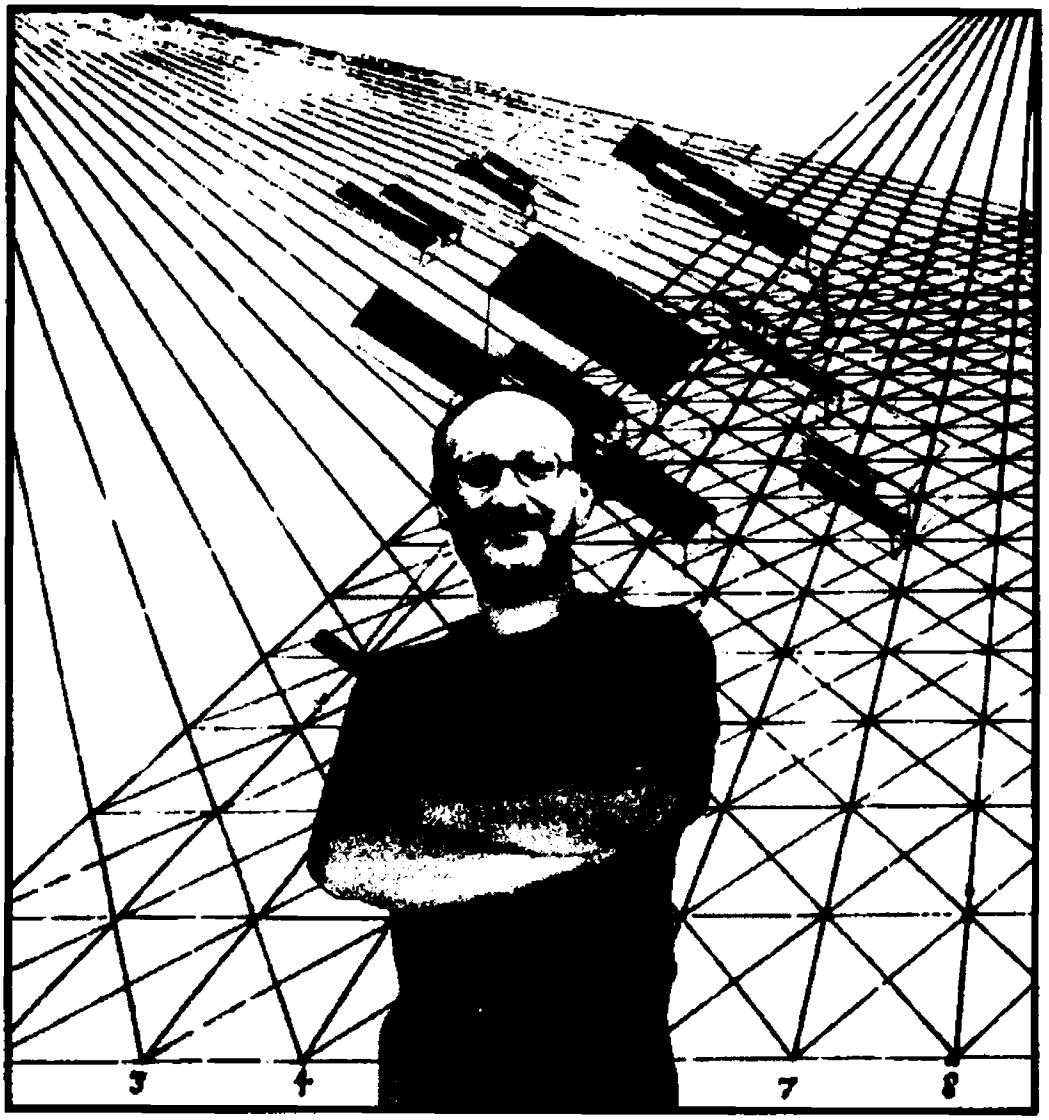
علم مابعد متعارف

علم مابعد متعارف زادهٔ فکر دو متخصص فلسفهٔ علم است به‌نام‌های **سیلویو فونتوویچ** و **جِری راوِتز**.

راوتز می‌گوید: *در روزگار پیش از آشوب، فرض براین بود که ارزش‌ها در استنتاج علمی نقشی ندارند و هرگونه عدم قطعیتی مهارکردنی است. این همان «علم متعارف» بود که کلیهٔ تحقیقات، سازوکارهای مهندسی و مشاهدات در چارچوب آن انجام می‌شد. البته همواره گروه خاصی از «مشاوران حرفه‌ای» وجود داشتند که از علم استفاده می‌کردند، اما در کار خود با عدم قطعیت‌ها و انتخاب‌های مبتنی بر ارزش‌ها مواجه بودند. از آن جمله، جراحان و مهندسان خبره که برای آن‌ها هر موردی، خاص و یگانه است و تبحر ایشان برای رفاه (و حتی زندگی) کسانی که به آن‌ها مراجعه می‌کنند نقشی سرنوشت‌ساز دارد.*

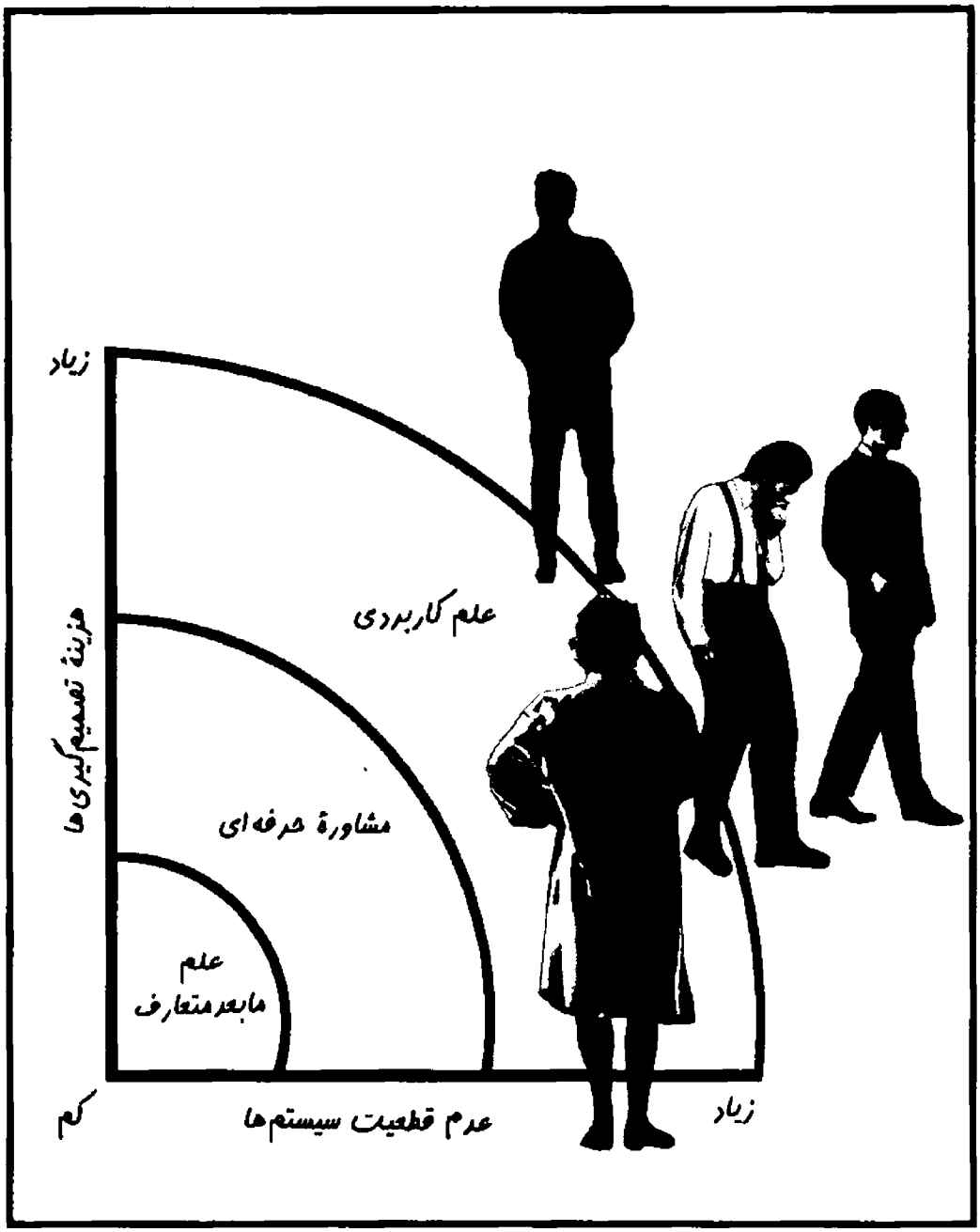
فونتوویچ چنین می‌گوید: *اما در جهانی که تحت سیطرهٔ آشوب قرار دارد، ما از امنیت ناشی از عملکرد سنتی علوم فرسنگ‌ها دور افتاده‌ایم. در بسیاری از موارد مهم ما نمی‌دانیم، و نمی‌توانیم بدانیم، چه اتفاقی خواهد افتاد و آیا سیستم ما ایمن هست یا خیر.*

ما با مواردی مواجه هستیم که در آنها نمی‌توان اطمینانی به شواهد داشت، دربارهٔ ارزش‌ها مناقشه هست، هزینهٔ تصمیم‌گیری‌ها سنگین است و تصمیم‌ها اضطراری‌اند؛ تنها راه این است که «بپذیریم» که در چنین وضعیتی هستیم. سیاق بحث در این علوم، دیگر نمی‌تواند بر اثبات و استنتاج نتایج درست از داده‌های تجربی استوار باشد. بلکه باید گفت‌وگو کرد و باید عدم قطعیت را و نقش ارزش‌ها و کثرت چشم‌اندازهای مشروع را باید پذیرفت. این‌ها چیزهایی هستند که اساس علم مابعدمتعارف را تشکیل می‌دهد.



علم مابعدمتعارف را می‌توان با یک نمودار ساده نمایش داد.

در نزدیکی نقطهٔ صفر، «علوم کاربردی» ایمن و قدیمی قرار دارند. در لایهٔ میانی، «مشاورهٔ حرفه‌ای» جراح و مهندس قرار دارد. اما در لایهٔ بیرونی، آنجا که مباحث مربوط به علم و ایمنی، آشوبی و پیچیده می‌شوند، قلمروی «علم مابعدمتعارف» است. چالش‌های پیشتاز علمی آینده را در این محدوده باید جست‌وجو کرد.



علم مابعدمتعارف دارای خصوصیات زیر است.

فونتوویچ: *در علم مابعدمتعارف، به‌جای حقیقت، کیفیت است که اساس سازماندهی قرار می‌گیرد.*

راوتز: *در فضای فازِ آروینی (heuristic) ـ یعنی آزمایشی ـ علمِ مابعدمتعارف، هیچ تصویر جزئی‌ای نمی‌تواند دربرگیرندهٔ کل باشد. حالا دیگر قرار نیست که یکی از خبرگان صاحب اعتبار به کشف «شواهد حقیقی» بپردازد تا برمبنای آن «سیاست‌های مناسب» تدوین شوند. علم مابعدمتعارف، هنگام بحث دربارهٔ یک سیاست‌گذاری، مشروعیت چشم‌اندازهای گوناگون و ارزش‌های موردنظر را از جانب کلیهٔ عاملان ذی‌نفع به رسمیت می‌شناسد. در بین افراد حاضر در مناظره، کسانی حضور خواهند داشت که به‌عنوان دانشمند یا خبره دارای اعتبار رسمی‌اند. اینان نقش اساسی در این فرایند دارند، چراکه تجربهٔ خاص آن‌ها یکی از داده‌های فرایند کنترل کیفیت است. زن خانه‌دار، بیمار و گزارشگر روزنامه می‌توانند کیفیت نتایج علمی را در متن زندگی هرروزه ارزیابی کنند.*

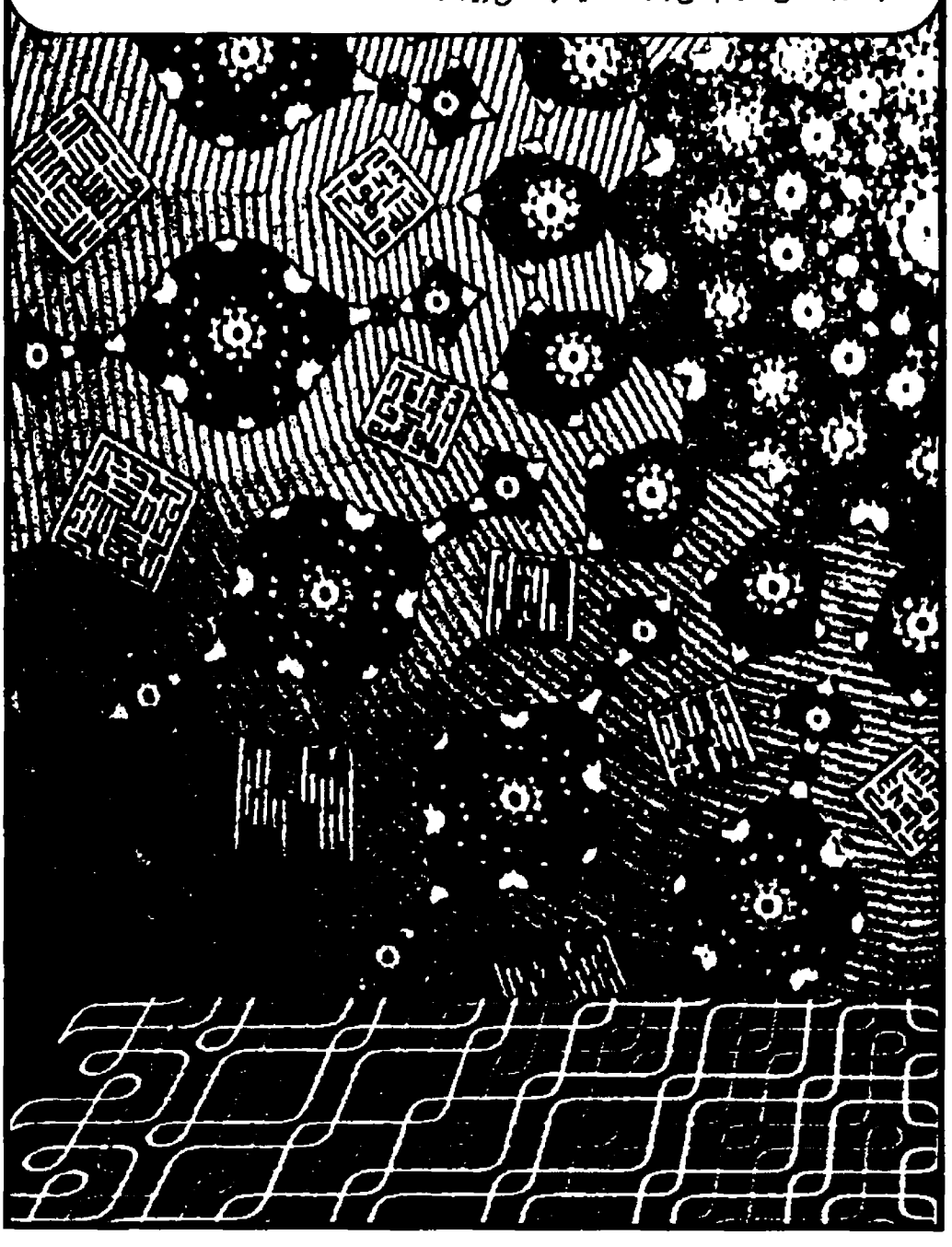
فونتوویچ: *ما این افراد را «جامعهٔ گسترش‌یافتهٔ همتایان» می‌نامیم. افراد این جامعه «شواهد گسترش‌یافته»ای از قبیل تجارب شخصی، نتایج مطالعات میدانی و اطلاعات علمی‌ای فراهم می‌آورند که بدون وجود ایشان ممکن نبود قلمرو عمومی به آن‌ها دسترسی داشته باشد.*

علم مابعدمتعارف جایگزین علم و فن‌آوری سنتیِ دارای کیفیت خوب نمی‌شود بلکه در یک فرایند اجتماعی مجتمع و یکپارچه، به تکرار یا بازخورد محصولات آن می‌پردازد. به این ترتیب، سیستم علمی به دادهٔ مفیدی برای اشکال نویی سیاست‌گذاری و حکومت تبدیل می‌شود.

آشوب و دنیای غیرغربی

نظریهٔ آشوب و پیچیدگی، ابزارهایی برای ادراک هستند؛ اما این علوم جدید، ادراک بومیِ جوامع غیرغربی را نیز شامل می‌شود.

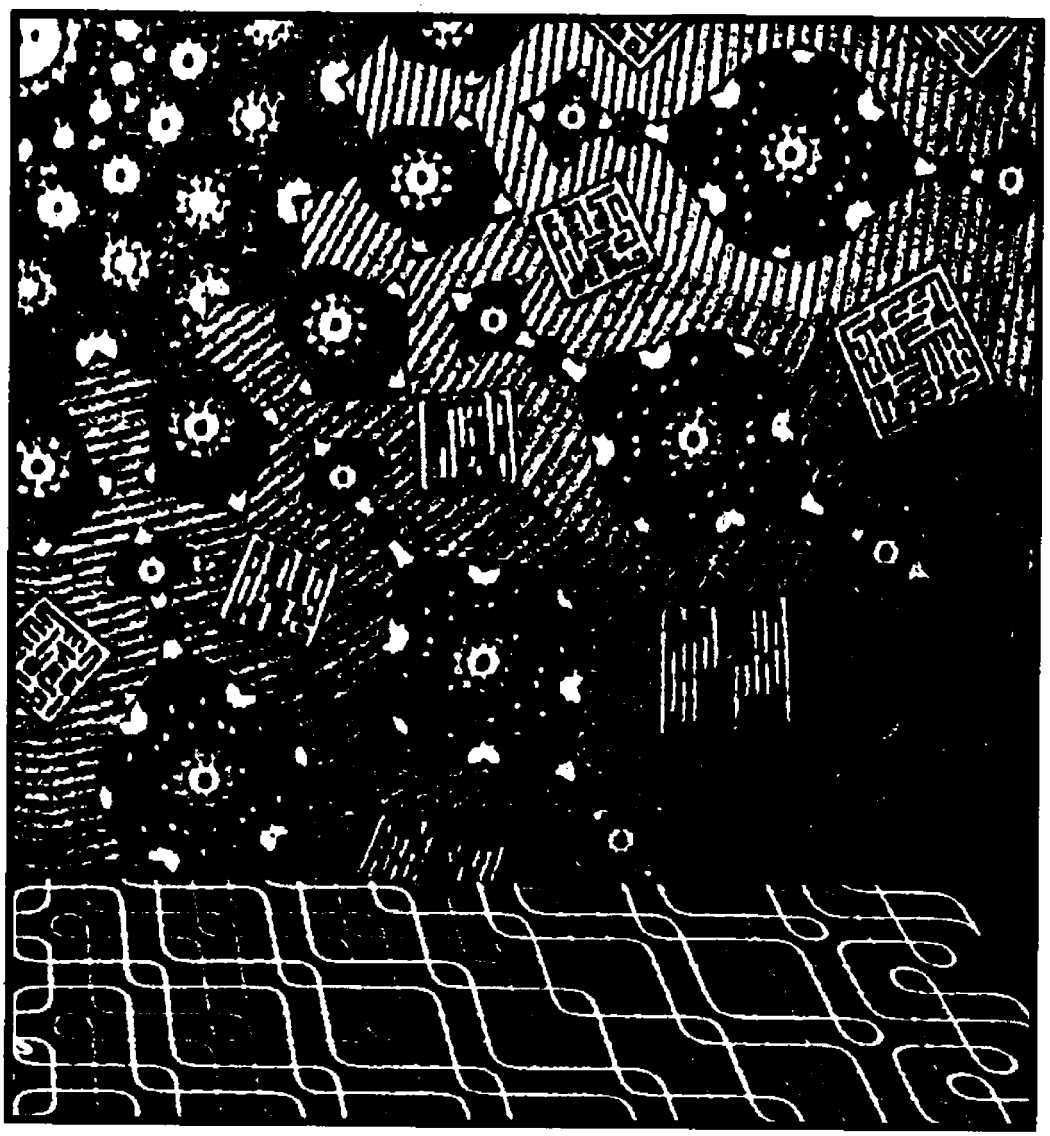
درواقع نیز غیرغربیان خود را، محیط خود را و جایگاه خود را در جهان و هرآنچه را که به‌طور سنتی انجام می‌داده‌اند اینگونه می‌دیدند.



برای مثال، ساکنان هند قرن‌هاست که از شِکنه‌ها به‌عنوان اشکال هنری استفاده می‌کنند. یک استادکار هندی قادر است این شکل معروف کُلام (Kolam) را، که در «دوری»ها (durrees) و دیگر انواع فرش‌های هندی یافت می‌شود، خیلی سریع رسم کند (به پائین صفحه نگاه کنید).

طاق بسیاری از مساجد قرون وسطی را شِکنه‌های متقارنی زینت بخشیده است، مانند سقف ورودی مدرسهٔ چهارباغ اصفهان.

هنر و طراحی اسلامی همواره از اشکال سادهٔ شِکنه‌ای برای ایجاد پیچیدگی و همچون ابزاری ذهنی برای متمرکزکردن فکر به غور دربارهٔ بی‌نهایت استفاده کرده است.



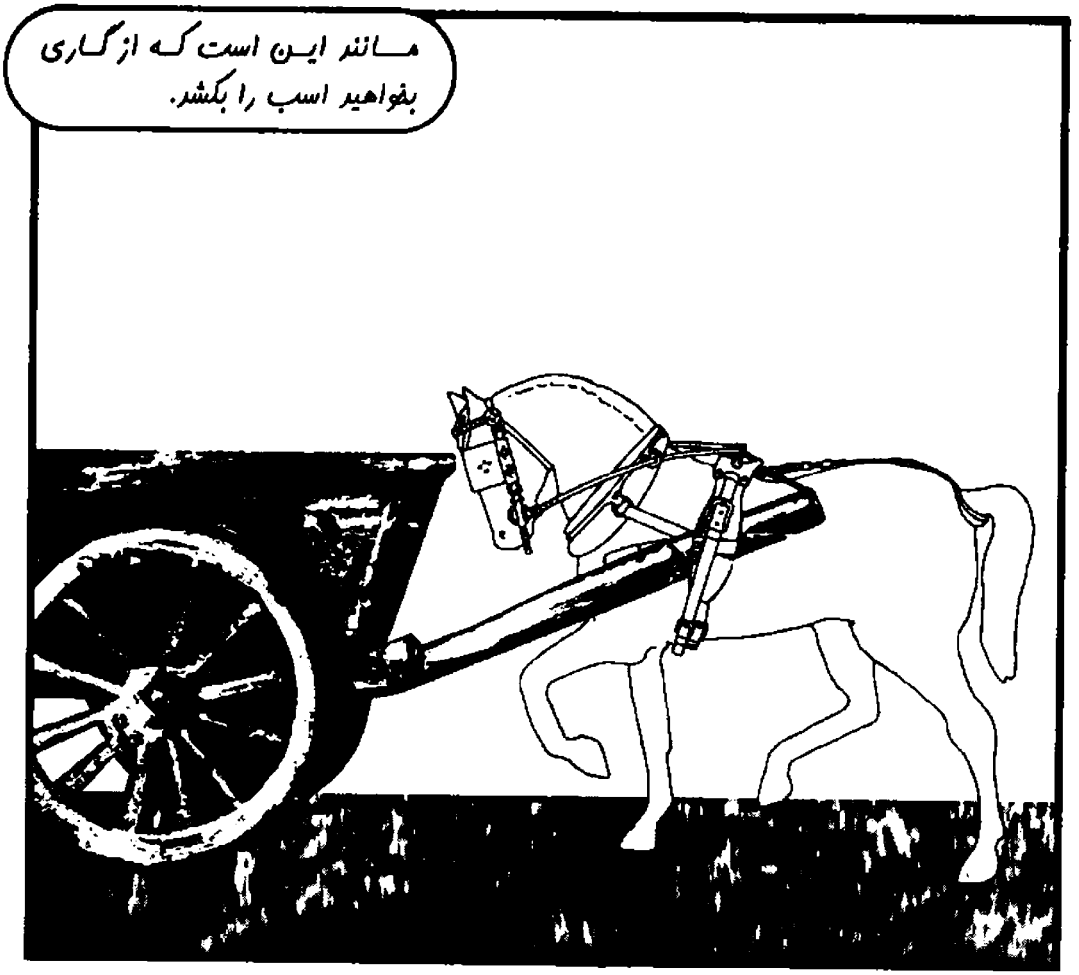
اما ورای این مظاهر، بینش مبتنی بر آشوب و پیچیدگی در غالب فرهنگ‌های غیرغربی به‌چشم می‌خورد. فروتنی دربرابر طبیعت، غنا و تنوع حیات، ایجاد پیچیدگی با استفاده از سادگی، نیاز به درک کل برای درک جزء، چیزهایی‌اند که غیرغربی‌ها نه‌تنها به آن اعتقاد داشته‌اند بلکه براساس آن عمل کرده‌اند. این‌ها در ذات غالب فرهنگ‌های غیرغربی وجود دارد.

ثابت شده است که فنون کشاورزی سنتی غیرغربی از استفادهٔ سفره‌های آب زیرزمینی در خاورمیانه گرفته تا مبارزه با آفات به کمک پرندگان در سریلانکا، از کشاورزی مدرن معقول‌تر است.

در عرفان غیرغربی، مانند بوداییسم یا تصوف، از گزاره‌های متناقض و خودبازگشتی استفاده می‌شود تا ذهن سالکان را تا لبهٔ آشوب ببرند و آنگاه، از طریق خودسازماندهی، به روشنگری برسانند. سالکی می‌پرسد...

به این ترتیب حرکتی ایجاد می‌شود که در آن ادراک‌های ذهن دربارهٔ درستی و نادرستی، مدام به‌هم پیوند می‌خورند.

بخش زیادی از متونی که دربارهٔ توسعه به‌راه‌های‌دیگر (alternative development) نوشته شده‌اند، از نقدهای مکاتب وابستگی در آمریکای لاتین گرفته، تا نقد هندی‌ها از تجدد و نیز پژوهش‌های اسلامیِ دربارهٔ غرب‌زدگی، چنین استدلال می‌کنند که وابستگی حساس نسبت به شرایط اولیه مانع از آن می‌شود که الگوی توسعهٔ غربی در این مناطق کارساز باشد! بارها و بارها نقد تجربیات غیرغربی براین نکته تأکید داشته است که شرایط اولیهٔ پیچیدهٔ تمدن‌ها و محیط غیرغربی، به‌اندازهٔ کافی درک نشده و عناصر ارزشمندی در کلیت مجموعهٔ غیرغربی از قلم افتاده است؛ درنتیجه برنامه‌های تعین‌پذیر وسیعی طراحی شده‌اند که نتوانسته‌اند به اهداف پیش‌بینی‌شدهٔ خود برسند. شاهد این مدعا وجود مجموعه‌ای تأسف‌بار از بررسی‌های موردی در این زمینه است.



بیست‌سال است که اشوب همین انتقاد را در حوزهٔ ریاضیات و به‌صورت اشکال تماشایی رایانه‌ای، به‌تصویر می‌کشد. می‌توان گفت که پیدایش آشوب بر این انتقاد صحه گذارده است.

ابداً عجیب نیست که پیچیدگی را غالباً با دائوییسم مقایسه کرده‌اند.

برایان آرتور، استاد دانشگاه استانفورد و مدیر پیشین مؤسسهٔ سانتا فه، می‌گوید: *رویکرد پیچیدگی، کاملاً دائوییستی است. در دائوییزم هیچ نظم فطری‌ای وجود ندارد. «جهان با «یک» آغاز می‌شود، و یک دو می‌شود، و دو بسیار می‌شود، و بسیار به بی‌شمار می‌انجامد». در دائوییزم، جهان را گسترده، بی‌شکل و دائم‌التغییر می‌بینیم. هرگز نمی‌توان دربارهٔ آن به قطعیت رسید. عناصر همواره همان‌ها می‌مانند، اما همیشه خود را از نو سازمان می‌دهند. نتیجه این که جهان مثل زیبانما (kaleidoscope) است: اشکالی که تغییر می‌کنند، بعضاً تکرار می‌شوند، اما هرگز عیناً تکرار نمی‌شوند، همواره نو و متفاوت‌اند.*

همانطور که در نگرش‌های غیرغربی ـ مانند نگرش اسلامی، چینی و هندی ـ دوگانگی میان انسان و طبیعت وجود ندارد، در پیچیدگی نیز دوگانگی‌ای وجود ندارد.

آرتور می‌گوید: *ما خود بخشی از طبیعت هستیم. ما در وسط هستیم. هیچ مرزی بین عمل‌کننده و موضع عمل وجود ندارد، چراکه ما همگی بخشی از این شبکهٔ به‌هم‌پیوسته هستیم.*

و نهایتاً آرتور اذعان می‌دارد که: *آنچه من می‌گویم، برای فلسفهٔ شرقی اساساً تازگی ندارد. فلسفهٔ شرقی هرگز جهان را چیزی جز سیستمی پیچیده ندیده است. اما این جهان‌نگری دهه‌هاست که دارد در غرب اهمیت بیشتری می‌یابد؛ هم در علوم و هم در فرهنگ به‌مفهوم وسیع آن. اتفاقی که افتاده این است که ما داریم معصومیت و ساده‌انگاری خود را از دست می‌دهیم.*

چنین به‌نظر می‌رسد که پس از قرن‌ها تخطئهٔ اندیشه‌ها و افکار غیرغربی، علم دارد به دیدگاه‌های غیرغربی بازمی‌گردد.

نقد آشوب

در چند دههٔ گذشته، درخواست برای باورهای درست، که بدون شک و تردید به‌اثبات رسیده باشد، شتاب گرفته است. بعضاً به‌خاطر درهم‌شکسته‌شدن کلیهٔ سیستم‌های اعتقادی در غرب و بعضاً به‌لحاظ قدرت بهت‌آوری که رایانه‌ها در محاسبات ریاضی از خود نشان داده‌اند. در ریاضیات این درخواست به شکل تعدادی مُد روز و موج نمایان شده است. هر موجی بنا بر این داشت که نگرش جدید و فراگیری از طبیعت و واقعیت را به ما عرضه کند و ما را با واقعیت نهایی روبرو کند. در سال‌های ۱۹۵۰، «نظریهٔ بازی‌ها» قرار بود بتواند رفتار انسانی را تشریح کند و به ما امکان دهد که آن را کنترل و مدیریت کنیم. در سال‌های ۱۹۶۰، «نظریهٔ فاجعه»ی رنه توم (René Thom)، که پویایی برخی سیستم‌های غیرخطی را تشریح می‌کند، به شکل یک قانون جهانی درآمده بود که همه‌چیز را، از تحولات جنین تا انقلابات اجتماعی، توضیح می‌داد. بعد نوبت آن شد که «مجموعه‌های نادقیق fuzzy) (sets» موضوع ادعاهای برجسته و چشمگیر بشود. حالا هم آشوب و پیچیدگی.

آیا آشوب و پیچیدگی هم یک مُد جدید است؟ آیا می‌توان انتظار داشت که در قرن آینده هم هنوز نظریهٔ آشوب وجود داشته باشد یا این که با موج دیگری جایگزین خواهد شد؟

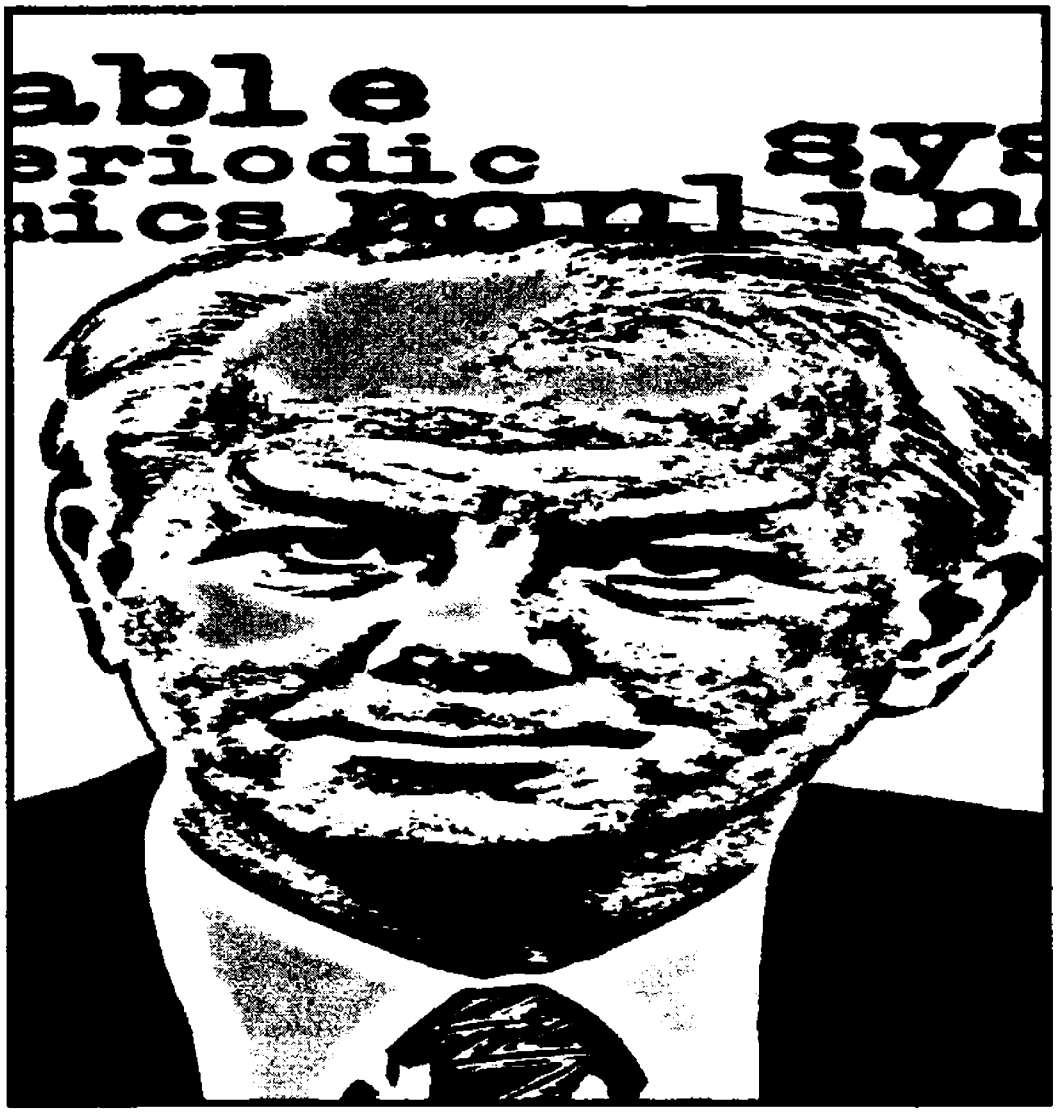
پیتر آلِن همواره براین اعتقاد بوده است که آشوب به‌تنهایی یک رشته نیست بلکه بیشتر زیرشاخه‌ای از دینامیک غیرخطی است که خود صرفاً بخشی از سیستم‌های پیچیده است. «درواقع، در سیستم‌های پیچیده، وجه مهم، منشاء و تحول ساختارها و سازمان‌هاست و نه مسئله بدیهی حساسیت نسبت به ربایشگرهای شگفت. با این حال، از آشوب می‌توان برای ایجاد «پارازیت» در طبیعت و متعاقباً حفظ قابلیت انطباق و شگفتی استفاده کرد.»

یان استیوارت، استاد ریاضی دانشگاه وارویک و یکی از چهره‌های برجسته و صاحب‌اقتدار بریتانیا در زمینهٔ آشوب، می‌گوید: «واژهٔ آشوب» از محدودهٔ اولیهٔ خود خارج شده است و به این‌ترتیب تا حدودی از ارزشش کاسته شده. برای بسیاری از مردم، آشوب مترادف جدید و باب روزی است برای «تصادف». کافی است سیستمی را که هیچ شکل بدیهی‌ای ندارد به‌عنوان نمونه‌ای از آشوب معرفی کنید تا، بلافاصله، از دامنهٔ کسالت‌آور و قدیمی آمار بیرون آمده به مرزهای اندیشهٔ نو پا بگذارد. آشوب به‌صورت یک استعاره درآمده است، اما، در غالب موارد، استعاره‌ای نادرست. نه‌تنها این استعاره به حوزه‌هایی بسط داده می‌شود که هیچ دلیلی برای وجود یک سیستم پویا در آن‌ها وجود ندارد، بلکه حتی نتیجه‌گیری‌های حاصل از این استعاره نیز غلط نمایانده می‌شوند. به‌جای آنکه از آشوب به‌مثابه روشی برای نمایاندن نظم پنهان و کنترل‌کردن سیستمی که، در نگاه اول، غیرقابل کنترل به‌نظر می‌رسد، استفاده کنند، بیشتر آن را به‌عنوان بهانه‌ای برای نبود نظم یا کنترل به‌کار می‌برند.»

عجیب نیست. هرگاه یک مفهوم عمیقاً نظری، مُدِ روز می‌شود، از این قبیل سوءاستفاده‌ها اتفاق می‌افتد.

استیوارت: «همین اتفاق در مورد نظریهٔ نسبیت اینشتین نیز به‌وقوع پیوست؛ در ایالات متحدهٔ آمریکا به‌شکل وسیعی از این نظریه به‌عنوان بهانه‌ای برای توجیه نابرابری اجتماعی استفاده شد. شعار روز این شده بود که «به‌قول اینشتین، همه‌چیز نسبی است.» اینطورها هم نبود. جالب‌ترین چیزی که اینشتین گفت این بود که برخی چیزها، بالاخص سرعت نور، نسبی نیستند.»

مسئله فقط این نیست که آشوب راه‌حل‌های حاضر و آماده برای همه‌چیز ندارد، بلکه مشکل این نیز هست که «چگونه می‌توان یک جهان پیچیده را با سادگی قوانینی که در ظاهر بر آن حاکم است آشتی داد؟»



استیوارت: «بسیاری از اسرار بزرگ علوم، پدیده‌هایی نوخاسته‌اند. ذهن، آگاهی، اشکال بیولوژیک، ساختارهای اجتماعی؛ گذار سریع به این نتیجه‌گیری که آشوب و پیچیدگی پاسخ همهٔ این اسرار را می‌دهد، جهشی فریبنده است. اما، حداقل در حال حاضر، می‌توان گفت که چنین نیست. نقش آشوب و پیچیدگی سرنوشت‌ساز و مثبت بوده است چون باعث شد که پرسش‌های حسّاسی طرح گردد و فرض‌های ساده‌انگارانه دربارهٔ منشاء پیچیدگی یا شکل پدیده‌ها را کنار بگذاریم. اما این تنها قدم بسیار کوچک اولیه‌ای است در راهی دشوار، و ما نباید به اتکای برداشت ساده‌ای از پیچیدگی، خودمان را به‌دست تصورات بلندپروازانه بسپاریم.»

خطر این است که آشوب و پیچیدگی به «کتاب مقدس» جدید و نظریهٔ جدیدی برای همه‌چیز بدل شود. قهرمانان پرشورِ آشوب، از هم‌اکنون، علم جدید را به‌مثابه نوعی ماشین محاسبهٔ جهانی درنظر می‌آورند.

اهمیت واقعی آشوب در قابلیت آن به‌عنوان ابزاری جدید برای حل مسائل و روش جدیدی برای اندیشیدن دربارهٔ طبیعت، جهان فیزیکی و خودمان است. به این اعتبار، آشوب حوزه‌ای است با توانایی‌های بسیار که حقیقتاً می‌تواند آیندهٔ ما را شکل دهد.

● از این مجموعه منتشر شد:

سارتر	اخلاق
کانت	روشنگری
بودا	مغز و ذهن
والتر بنیامین	جویس
اینشتین	فلسفه
کینز	لِوی‌استروس
دکارت	چامسکی
جامعه‌شناسی	هگل
اینترنت	فوکو
کامو	یونگ
ماکیاولی	

● از این مجموعه منتشر خواهد شد:

ماندلا
استفن هاوکینگ
آشوب
دریدا
بودریار
نظریهٔ کوانتوم

آیا اگر پروانه‌ای در برزیل پر بزند، امکان این که طوفانی در آمریکا برپا شود وجود دارد یا خیر؟ نظریه آشوب که مهم‌ترین واقعه علمی در جهان فیزیک مدرن پس از مطرح شدن نظریه کوانتوم است، تلاشی است برای پاسخگویی به پرسش‌های غریبی از این دست.

کشف وجود پدیده‌های تصادفی در نظام قابل پیش‌بینی فیزیک به برآمدن رشته جدیدی از علم منجر شده است که مدعی است جهان بسی غیرقابل پیش‌بینی‌تر از آن می‌باشد که تاکنون تصور می‌شد.

کتاب حاضر **قدم اولی** است برای فهم وجود پدیده آشوب در حوزه‌ها و مضامینی که از کوچ ادواری حیوانات شروع شده، تغییرات قیمت در بازار بورس را نیز در بر می‌گیرد. همچنین در این کتاب مبانی ریاضی و فیزیک نظریه آشوب مورد مداقه قرار گرفته و در این میان رابطه میان این نظریه و نظریه عام پیچیدگی که مدعی است پیچیده‌ترین ساختارها تطوری از چند قاعده ساده هستند را نیز توضیح می‌دهد. به این معنا، کتاب آشوب را می‌توان مقدمه قابل دسترسی دانست بر نظریه‌ای جدلی که می‌تواند دید ما نسبت به پدیده‌های طبیعی و همچنین تصورمان از جایگاهی که در جهان اشغال می‌کنیم، کاملا دگرگون سازد.

۱۲۰۰ تومان

ISBN: 964-6537-00-8