نقش آشوب در نظریه کلان جدید مدیریت

دکتر زهرا برومند

عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی

چکیده مقاله

این مقاله در مورد مساله کاملاً نوی به نام استفاده از «بی‌نظمی» برای پیش‌بینی آینده بحث می‌کند. بشر از عهد دیرینه به «زمان» بی‌اعتنا نبود، و اکنون «مدیریت زمان» مطرح است. معانی قطعیت، عدم قطعیت، اتفاقی بودن و بازیها امروزه دگرگون شده‌اند و در مقابل هم موضع گرفته‌اند. مفاهیم ناپایداری و «بی‌نظمی» (Chaos) ذهن بسیاری از پژوهشگران را مشغول کرده است.

«دان فارمر» از آن جمله است که با علاقمندی به پدیده «پیچیدگی و بی‌نظمی» به اتفاق همکارانش مشغول ارائه متدولوژی نوینی برای مدلسازی غیرخطی و پیش‌بینی می‌باشد. وقتی داده‌ها نامنظم و پیچیده باشند مدلسازی از اصول اولیه است و یا برای آنچه رخ می‌دهد با استفاده از شهود بسیار مشکل است. بدین جهت آنها برای تکوین چنین شهودی از کامپیوتر بهره می‌گیرند. «فارمر» معتقد است : انسان با وجود انجام دادن کارهای بسیار شگفت‌انگیز برای درک رفتار غیرخطی از شهود ناچیزی برخوردار است. از مهمترین اهداف او تشخیص «معین» یا تصادفی بودن مجموعه داده‌ها است. «فارمر» روی این اندیشه که «بی‌نظمی» باید پیش‌بینی‌های بهتری را انجام دهد کار کرده است، و معتقد است که بی‌نظمی از یک طرف می‌گوید که سیستم «معین» با کمی «عدم قطعیت» می‌تواند با گسترش عدم قطعیت چیزهایی بوجود آورد که تصادفی به نظر تصادفی می‌آید ممکن است واقعاً ساختار معینی داشته باشد. و اگر بتوان ساختار معین آن را بدست آورد می‌توان پیش‌بینی‌های کوتاه مدت را انجام داد. بنابر این «بی‌نظمی» بر پیش‌بینی‌های کوتاه مدت دلالت دارد و مسایل بلندمدت را براساس آن نمی‌توان پیش‌بینی نمود.

واژه‌های کلیدی

فنون مدلسازی - سیستمهای پویا - سیستمهای پیچیده - سیستمهای بی‌نظم - سیستمهای غیرقابل پیش‌بینی - پویایی شناسی کلاسیک - پویایی شناسی آشفتگی.

مقدمه

از دیر باز یکی از اشتغالات فکری بشر «جریان زمان» بوده است. بسیاری از عارفان، واقعیت جهان تغییرپذیر و ناپایدار را منکر شده‌اند و همواره راه‌گریزی از جریانهای یکنواخت زندگی را می‌جسته‌اند. دانش کلاسیک، بخصوص پویایی‌شناسی کلاسیک، تعادل بین آنچه می‌شود و آنچه نمی‌شود را تأیید می‌کند. در روش مطالعه جزءنگری، که تحت سلطه وقوف به همه چیز و بی‌اعتنایی به گذشت زمان بود، دیدگاه «لایب نیتز» ریاضیدان و فیلسوف بزرگ آلمانی حکمفرما بود. زمان حال، آینده را تعیین می‌کرد، همانگونه که گذشته را نیز بازسازی می‌نمود.

انشتین بهترین نماینده این رسالت، آرزوی عارفان گریزان از جهان متغیر را به زبان علمی، عملی نمود زیرا ادراک ما را از جهان، آنجا که جنبه ذهنیت دارد، پاک می‌کند. وی می‌خواست نشان دهد که این جهان، توهّمی بیش نیست همانگونه که احساس عارفان از این جهان چنین است و واقعیت با زندگی انسان و خاطرهٔ دردآلود گذشته و ترس از آینده کاری ندارد. با این طرز تلقی تصور رویدادهایی که اتفاق می‌افتند توهّم صرف است و به تقریبهایی که به کار می‌بریم بستگی دارد.

پیروزی روش کلاسیک گر چه مهم بود ولی به دلیل ایجاد شکاف بین انسان و جهان، اعتبار زیادی نیافت. انقلاب پویایی‌شناسی کلاسیک با کار «هانری پوآنکاره» آغاز و به وسیله «کولموگوروف» ادامه یافت و یکی از فعّالترین عرصه‌های پژوهش در فیزیک و ریاضیات شد؛ برای مثال هواشناس معروف «ادوارد لورنتز» معتقد است پیش‌بینی وضع هوا غیرممکن است، زیرا متغّیرهای غیر قابل کنترل بسیاری وجود دارند که مشخص‌کننده دستگاه‌های پویای ناپایدارند. حرکت زمین عنصری از دستگاهی است که از حیث پویایی‌شناسی پایدار است ولی فقط دمای آن را برای دوره‌های کوتاه مدت می‌توان پیش‌بینی کرد. چون با دستگاه پویای ناپایداری سر و کار داریم که به هم خوردن حتی بال پروانه‌ای می‌تواند سیستم آب و هوای آن را به هم بزند. برای هر نوع سیستم پیچیده دیگر نیز پیش‌بینی مشکل است زیرا متغّیرها جذب نقاطی می‌شوند که «جاذبه‌های بیگانه»[1] نامیده می‌شوند. یک تغییر کوچک، ناگهان ممکن است به تحول غیر قابل پیش‌بینی عظیمی مبدّل شود. در سازمانها جاذبه‌های بیگانه احتمالاً برای مدیران ناشناخته‌اند و ممکن است عوامل مختلف سازمانی به سراغ آنها بروند و برعکس. در این مورد سازمانهای غیررسمی بهترین شاهد مثال هستند؛ برای مثال اگر کارمندی به دلیل اشتباهی که مرتکب شده است مورد سرزنش مدیرش قرار گیرد و این فرد در سازمان غیررسمی صاحب نفوذ هم باشد، می‌تواند تحولات داخل سازمان را دامن بزند و سرانجام با ایجاد کودتای خزنده موجب استعفای مدیر به دست خودش شود و به طور آگاه یا ناخودآگاه تحریکاتی انجام دهد که موجب اختلال در سیستم تولید کالا و خدمت گردد.

معانی عدم قطعیت[2]، قطعیت[3]، اتفّاقی بودن[4] و بازیها[5] امروزه دگرگون شده‌اند. بر اساس تحقیقات قرن بیستم عدم قطعیت در مقابل قطعیت، اتفاقی بودن در مقابل معّین بودن[6] قرار دارد. تاکنون تصور می‌شد میزان اتفاقی بودن بیشتر است ولی اکنون، عکس این ثابت شده است.

مفاهیم ناپایداری، بی‌نظمی و تقویت، امروزه ذهن بسیاری از پژوهشگران را به خود مشغول داشته است. روزنامه‌های ایالات متحّده امریکا روز نوزدهم اکتبر ۱۹۸۷ را «دوشنبه سیاه» نامیدند؛ روزی که ارزش سهام در بازارهای جهانی بسیار تنّزل کرد. آنها مقالاتی در خصوص پویایی‌شناسی بی‌نظمی منتشر کردند و مفاهیمی همچون نوسان، تقویت و دو شاخه شدن[7] مورد توجه عامّه قرار گرفت. این واژه‌ها جنبه‌های منفی ناپایدار پویا هستند، در حالی که جنبه‌های مثبت هم دارند. دستگاه‌های ناپایداری که در معرض محدودیتهای عدم تعادل قرار می‌گیرند، می‌توانند ساختارهایی تولید کنند که دستگاه‌هایی که در تعادل ترمودینامیک[8] هستند معادلی برای آنها ندارند. مساله قابل توجه روشن نمودن محدودیتهای روش کلاسیک است که جهان هستی را پایدار فرض می‌کرد و چنین می‌پنداشت که یکباره و برای همیشه به وجود آمده است، ولی آیا پدیده‌های عام را که بدان دسترسی داریم با این شیوه می‌توان تحلیل کرد.

«مکانیک[9] کوآنتوم[10]» و نسبیّت از دستاوردهای قرن نوزدهم است. دانشمندانی چون «ارنست ماخ» و «لودویک بولتزمان» دانشمندان اتریشی پایان قرن گذشته‌اند که بنیانگذار این دو نظریه هستند. قرن بیستم علاوه بر تکامل بخشیدن به دانش قرن نوزدهم، کشفهایی را هم شاهد بود که باگذشته تفاوت داشت. اکنون «زمان» عنصری کلیدی در ژرفترین سطح ماده در تبدیل ذرات بنیادی و همچنین در سطح کیهان شناختی است. علت‌گرایی[11] و بازگشت‌پذیری[12] که مبانی درک فیزیکی کلاسیک بودند، مغلوب نظریه‌های جدید شده‌اند. به عقیده «گولدینگ» علّت‌گرایی شکست فرهنگی است و دانش قرن بیستم از دانش کلاسیک دور می‌شود.

طبیعت زمان، مرکز درک ما از دنیای اطرافمان است که شامل علم فیزیک (خواص اجسام) است؛ یعنی چگونه دنیا ایجاد شده و تکوین یافته است. همچنین تأثیرات روابط علم، طبیعت و درک بشر است، اما هنوز دانشمندان تعریف قابل قبول ساده‌ای از «زمان» نیافته‌اند. مشکل هر روزهٔ ما «زمان» است که به یک جهت می‌رود. ما هرگز فرایندهای بازگشت‌پذیر را نمی‌بینیم. این حرکت سخت «زمان» در ترمودینامیک (علم فرایندهای بازگشت‌ناپذیر)

تسخیر شده است. اما اساس علم ترمودینانیک را بیشتر قوانین بنیادین دنیا (قوانین حرکت که به وسیله نیوتن و مکانیک کوانتم وضع شده است) تشکیل می‌دهد. معادلات نشان می‌دهند که این قوانین تفاوتی بین گذشته و آینده قایل نیستند. «زمان» کمیّتی برگشت‌پذیر بدون جهت به نظر می‌آید.

بنا بر این بین قوانین بازگشت ناپذیر علم ترمودینامیک و قوانین مکانیکی برگشت‌پذیر حرکت، تعارض وجود دارد. آیا موضوع جهت «زمان» باید فراموش شود یا نیاز به تغییر قوانین بنیادین پویاست؟ امروزه نظریه «بی‌نظمی» به این پرسش پاسخ می‌دهد. وظیفه علم به وجود آوردن نظم در «بی‌نظمی» است.

اکنون دیگر «قطعیت» و «احتمال» به سختی از یکدیگر بازشناخته می‌شوند. در روش کلاسیک نظم با تعادل و بی‌نظمی با عدم تعادل پیوسته بود. ولی امروزه این رابطه معکوس شده است. عدم تعادل ساختارهایی را به وجود می‌آورد که انسجام آنها به میزان زیادی از انسجام ساختارهای تعادلی آن چنان که به وسیله روش کلاسیک توصیف شده، فراتر است. در دانش کلاسیک برای مثال سقوط اجسام، ساده و پدیده‌هایی که در جوامع انسانی روی می‌دهند پیچیده تلقی می‌شوند. اگر بگوییم دانش قرن نوزدهم راه توّهم زدایی و نه از خودبیگانگی را نشان می‌داد، دانش قرن بیستم امید وحدت فرهنگی - بینشی جهان شمولتری را ارزانی می‌دارد. سهم قرن بیستم این است که راه‌حلهای پیش‌بینی نشده‌ای برای تناقضهایی که از قرن نوزدهم به ارث رسیده‌اند پیشنهاد کند. یکی از درسهای بنیادین قرن بیستم طرح این مطلب است که «زمان» تثبیت شده و معّین نیست، بلکه فرایند سازندگی است که آینده در آن قرار دارد و برای پیش‌بینی وقایع آینده باید از ترفندهایی بهره گرفت.

«دان فارمر»[13] فارغ‌التحصیل دانشگاه استانفورد در هنگام مطالعات فیزیک در دانشگاه کالیفرنیای «سانتاکروز» به پدیدهٔ «پیچیدگی» علاقه‌مند شد و مقالات بسیاری در این باره نوشت. وی و همکارانش در مورد تکامل[14]، بازیها، و یادگیری، مدلهایی را برای تطابق ماشینها با طبیعت، مطالعه و بررسی کرده‌اند. آنها مشغول ارائه متدلوژی نوینی برای مدلسازی غیرخطّی و پیش‌بینی هستند. «فارمر» در این باره چنین توضیح می‌دهد:«هدف اصلی کار ما به وجود آوردن فنون عددی کارآمد است که مدلهای غیرخطّی را به طور مستقیم از بانکهای اطلاعاتی[15] بزرگ بسازد. با این فرض که از سیستم هیچ نمی‌دانیم، روی داده‌ها تمرکز نموده، به طور مستقیم از آن مدل می‌سازیم. این کار در عمل درگیر برنامه‌ریزی کامپیوتر است که در مجموعه داده‌ها به دنبال طرحهایی هستیم که ارزش پیش‌بینی دارند. در این سالهای نوین انفجار اطلاعات، کمبود بانکهای اطلاعات برای تجزیه و تحلیل نداریم؛ برای مثال، ماهواره‌های هواشناسی، تجربیات علمی، و بازار بورس سهام، توده‌های وسیع داده‌ها را جمع‌آوری می‌کنند[1].

نگرش «فارمر» و همکارانش با متدلوژی علمی سنّتی برای ساختن یک مدل از اصول اولیه بسیار متفاوت است و به قانون جاذبه نیوتن برمی‌گردد که مدلسازی حرکت سیارگان است. جالب توجه است که طرحهای بیضوی حرکت سیارگان اولین بار از سوی «کپلر» از بررسی جامع داده‌ها از حرکت سیارگان کشف شد. بدون کشف طرحهای تجربی کپلر، نیوتن نمی‌توانست قوانین اساسی را فرموله کند. نگرش آنها شبیه کپلر است. هنگامی که داده‌ها نامنظم و پیچیده باشند، ساختن مدل از اصول اولیه و یا برای آنچه رخ می‌دهد و با استفاده از شهود[16] خیلی مشکل است. آنها برای تکوین چنین شهودی از کامپیوتر بهره می‌گیرند. «دان فارمر» معتقد است بشر همواره می‌تواند کارهای شگفت‌انگیزی انجام دهد ولی برای درک رفتار غیرخطی[17] از شهود ناچیزی برخوردار است؛ برای مثال ما می‌توانیم اعداد را طوری پشت سر هم قرار دهیم که به نظر تصادفی بیایند ولی در عین حال نمایانگر یک رابطهٔ «معین» ساده‌ای نیز باشند. این همه آن چیزی است که «بی‌نظمی» در باره آن بحث می‌کند. زیرا «بی‌نظمی» نشانگر آن است که غیرخطی بودن می‌تواند پدیده‌های تصادفی را ایجاد کند؛ پدیده‌هایی که در نگاه نخستین نامفهوم به نظر می‌آیند، اما اگر به داده‌ها به شیوه صحیح بنگریم به شهود بیشتری دست می‌یابیم.

یکی از مهمترین هدفهای تحقیق «فارمر» و همکارانش دریافت این موضوع است که مجموعه داده‌ها «معین» یا تصادفی‌اند. اگر فنون مدلسازی به پیش‌بینی‌های مناسبی بینجامد گواه این است که داده‌ها هر چند به گونه‌ای ظاهراً تصادفی ولی در حقیقت «معیّن» هستند. بدین ترتیب نگرش در اصل عملگرایانه است. از طریق اطلاعات درمی‌یابیم که چه چیز بر چه چیز اثر می‌گذارد و در نهایت فنونی را برمی‌گزینیم که در مقایسه با فنون دیگر بتوانند پیشگویی بهتری داشته باشد. بنا بر این مدل / ساختار داده‌ها را تدوین می‌کند. در رویارو شدن با داده‌ها باید کوشش کرد تا آنچه را

در آنها نهفته است یافت و یا زبان مناسبی را برای توصیف آنها برگزید. سرانجام مدلی طراحی گردد که بگوید به شرط علّت x، معلول y خواهد بود، مدتی که بواقع پیشگویی کند. آخرین مرحله ترسیم نمودار است. فرض کنید در محور x که نقطه‌ای روی آن قرار دارد، نقطه مشابه آن روی محور y چیست؟ نمودار قاعده دقیقی است که چگونگی از x به y رفتن را نشان می‌دهد. x را علت و y را معلول می‌گویند. با نمودار از علتها به معلولها می‌رویم. نمودارها به ما می‌گویند آنچه را رخ می‌دهد چگونه پیش‌بینی کنیم. «هوا» شاهد و مثال خوبی است. x می‌تواند وضعیت هوای امروز و yوضعیت هوای فردا باشد. اکنون اصطلاح غیرخطّی مفهومش این است که نمودار به دست آمده یک خط مستقیم نیست. ساده اندیشی است اگر انتظار داشته باشیم تمامی نمودارهایی که روابط علت و معلول را ترسیم می‌کنند خطوط مستقیم باشند. ولی تاکنون اغلب چنین می‌اندیشیده‌اند. در حالی که باید چرخه فرض شود که معلول روی همان علت اثر می‌گذارد.

معلول ← علت : مدل علیت[18]

دلیل آن هم قابل ردگیری بودن به وسیله ابزار ساده‌ای چون کاغذ و مداد است. اما کامپیوترها به گونه‌ای فزاینده امکان کنار گذاردن این شیوه‌ها را فراهم می‌آورند. اینک با پاره‌ای از شیوه‌های جدید روبرو هستیم و تقریبهای مقطعی را از این توابع به دست می‌آوریم. ما با روابطی برخورد می‌کنیم که تقریبهای توابع را به فکرهای «بی‌نظمی» پیوند می‌دهد. بنا بر این می‌توانیم پیش‌بینی کنیم و در باره نظامی که مشاهده‌گر آن هستیم هر چه می‌دانیم را به به صورت اعداد و ارقام درآوریم. اگر از میزان مشخص داده‌ها آگاه باشیم می‌توانیم بگوییم این مدل در عمل چه میزان کارآمد است.

«فارمر» می‌گوید از زمانی که به حوزه سیستمهای پویا و سیستمهای پیچیده غیرقابل پیش‌بینی علاقه‌مند شدم چه بسیار مثالها یافتم که به نظر «تصادفی» ولی معین بودند. بنا بر این تلقی من این است که می‌توان مدل غیرخطی ایجاد کرد که بتواند پدیده‌های غیرخطی را در سیستم به گونه‌ای دقیقتر به تصویر بکشد. ولی همچنان بر این باورم که جهان تا آنجا که ممکن است پدیده‌ای به واقع «معین» است. تفاوت در برداشتهاست که گوناگونی نگرش به مسایل جهان را موجب می‌شود؛ برای مثال آنچه در برخورد با مسأله برای ما اتفاق می‌افتد، حتماً با آنچه برای یک آمارشناس روی می‌دهد به جهت نگرش متفاوت این دو با یکدیگر فرق می‌کند.[2]

«فارمر» به دلیل زمینه تحصیلی خاص (سیستمهای پویا و سیستمهای پیچیده غیرقابل پیش‌بینی) از هنگام دانشجویی در بارهٔ این اندیشه که باید پیش‌بینیهای بهتری را انجام دهد کار کرده است. او معتقد است :«بی‌نظمی» شمشیر دو لبه‌ای است که از یک طرف می‌گوید یک سیستم «معین» با کمی «عدم قطعیت» می‌تواند با گسترش عدم قطعیت چیزهایی به وجود آورد که «تصادفی» به نظر آیند. از طرف دیگر آنچه به نظر تصادفی می‌آید ممکن است واقعاً ساختار «معینی» داشته باشد و اگر چنانچه بتوان ساختار معین آن را به دست آورد می‌توان پیش‌بینیهای کوتاه مدت انجام داد. بنا بر این «بی‌نظمی» بر پیش‌بینیهای کوتاه مدت دلالت دارد ولی مسایل بلند مدت را نمی‌توان بر اساس آن پیش‌بینی نمود، و ما می‌کوشیم که از پیش‌بینیهای کوتاه مدت بهره‌مند شویم.

«فارمر» به دلیل زمینه فکری در سیستمهای پویا و فیزیک هنگامی به این موضوع علاقه‌مندتر شد که دریافت عده‌ای از دانشمندان از سال ۱۹۲۰ تاکنون در این حوزه کار کرده‌اند و بینش آنها به دلیل اطلاعات آماری و تئوری احتمالات متفاوت با دیگران است. دید مشخص علم‌گرایان در مورد سیستمهای پویا، مدل قرار دادن حالتی از یک سیستم است که گذرگاه معینی را دنبال می‌کند. نظریه مخالف علم گرایی این است که حالت یک سیستم به وسیله توزیع احتمالات بیان می‌شود که درجه عدم قطعیت را توضیح می‌دهد. تحلیلگران سنتی سریهای زمانی دریافتن اندازه‌های عدم قطعیت و اینکه چگونه یکی به دیگری قابل تبدیل است، کوشش می‌کنند. در حقیقت فارمر معتقد است که در واقع هیچ دیدگاه ماندنی وجود ندارد و این مشکل همیشگی علم بخصوص برای فعالیتهای میان رشته‌ای است.

قانون دوم ترمودینامیک[19] به گفته «آرتورادینگتون»[20] قانون برتر طبیعت است که از یک مشاهده ساده به دست آمد: در هر فرایند مکانیکی مرئی، تمام یا قسمتی از انرژی به حرارت تبدیل می‌شود (مثل مالش دو دست به هم). در سال ۱۸۵۰ وقتی «رادلف کلاسیوس»[21] فیزیکدان آلمانی اولین بار انشعابات مشاهده یافته‌های حقیقی را ملاحظه نمود، مفهوم «انتروپی»[22] را به عنوان یک کمّیت انعطاف‌ناپذیر که به خاطر تبدیل به حرارت افزایش

می‌یابد، معرفی نمود. زیرا گرما یک حرکت اتفاقی ذرات است که سیستم را می‌سازد و انتروپی بی‌نظمی داخل سیستم تفسیر شده است. در جایی که فیزیک نیوتن و مکانیک کوانتوم با قوانین مایکروسکوپی[۲۳] ترمودینامیک حاکم است راهی برای ارتباط با دنیای میکروسکوپی[۲۴] است.

در سیستمهای منزوی که انرژی منزوی[۲۵] و ماده با دنیای اطراف خود مبادله نمی‌کنند، وقتی انرژی آنقدر افزایش یابد که به بالاترین میزان خود برسد آن را تعادل ترمودینامیک[۲۶] گویند. هنگامی که تغییری از قبیل غلظت، فشار و ... در ویژگیهای مرئی سیستم در طی زمان حاصل نشود این حالت نهایی سیستم است. مفهوم تعادل به ترمودینامیک ارزش زیادی بخشیده است.

سیستمهای منزوی نادرند، اگر «بسته» باشند تبادل انرژی با محیط اطراف خود دارند ولی تبادل ماده ندارند و اگر «باز» باشند انرژی و ماده هر دو را مبادله می‌کنند.

فرض کنید گاز درون یک سیلندر را با پیستون فشرده کنیم. گاز و سیلندر یک سیستم بسته به وجود می‌آورند. بنابر این مجبوریم تغییرات آنتروپی را که از تبادل انرژی با محیط اطراف و داخل گاز پدید آمده است محاسبه کنیم.

نگرش سنتی ترمودینامیک معتقد است که کل آنتروپی یک سیستم و محیط اطرافش در حالت تعادل به حداکثر می‌رسد و موقعی که حجم گاز کم می‌شود تغییری نمی‌کند ولی گاز و محیط اطرافش را در تمام لحظات در یک حالت تعادل نگه می‌دارد. این فرایند معکوس شدنی است. بدین منظور باید تفاوت فشار خارج و فشار گاز بسیار کم باشد تا بتوان حالت تعادل را هر لحظه نگه داشت. این عمل فشردگی «نیمه - ایستا» است که زمان زیادی نیاز دارد. نتیجه جالب توجه این است که تعادل ترمودینامیک نمی‌تواند تغییر را که بسیار با مفهوم است و به وسیله آن از زمان آگاه می‌شویم، توضیح دهد. علت تأکید فیزیکدانها و شیمیدانها روی تعادل ترمودینامیک این است که از لحاظ ریاضی کاربرد آن ساده است، کمیتهایی همچون آنتروپی به وجود می‌آورد و حالت تعادل نهایی سیستم در حال تکوین را توصیف می‌کند. آنتروپی به عنوان «پتانسیل» ترمودینامیک نامیده می‌شود.

همه فرایندها در زمان محدودی واقع می‌شوند بنابر این همواره خارج از حالت تعادل حرکت می‌کنند. از لحاظ تئوری، سیستم فقط می‌تواند آرزوی رسیدن به تعادل را داشته باشد که هرگز هم بدان نخواهد رسید. تفاوت بین تعادل و عدم تعادل درست مثل سفر و مقصد آن است. تنها به وسیله مشخصهٔ فرایندهای نامتعادل معکوس نشدنی[۲۷] است که سیستم به حالت تعادل می‌رسد. زندگی خود فرایندی نامتعادل است: گذشت زمان معکوس نشدنی است و تعادل فقط در مرگ فرا می‌رسد.[۳]

غیر واقعی است که توجه دانشمندان ترمودینامیک به مورد به خصوص تعادل ترمودینامیکی متمرکز شده است. واضح است که وقتی با سیستمهایی سر و کار داریم که به وسیله جریانهای خارجی از رسیدن به تعادل باز داشته می‌شوند، برای مثال جایی که تبادل مواد به انرژی با محیط اطراف پیوسته در جریان است، مجبوریم ترمودینامیک نامتعادل را به کار بریم. سیستمهای زنده نمونه‌های آشکار آن است.

یک میله فلزی که دو سر آن درجه حرارت متفاوتی دارد، سیستمی نامتعادل است. طبیعی است که تفاوت درجه حرارت باعث می‌شود انتهای گرمتر سرد، و انتهای سردتر گرم شود تا میله به درجه حرارت یکنواختی برسد. این یک موقعیت تعادل است. اگر یک سر میله را در درجه حرارت بالاتری نگه داریم، میله، نیروی ترمودینامیکی پیوسته را (نوسان درجه حرارت را) به علت جریان گرما یا شدت جریان ذرات ترمودینامیک در طول میله تجربه می‌کند. تولید انتروپی میله به وسیله حاصل ضرب نیرو در شدت جریان ذرات به دست می‌آید؛ به عبارت دیگر حاصل ضرب تغییرات درجه حرارت در جریان گرماست.[۴]

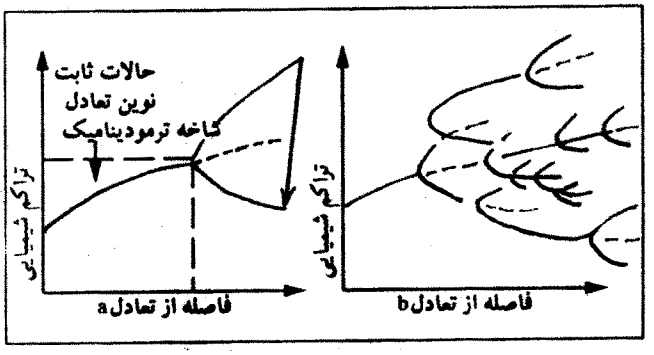
اگر سیستم به تعادل نزدیک باشد، شدت جریان ذرات با نیروها بستگی ساده و خطی دارند. اگر نیروها دو برابر شود شدت جریان هم دو برابر خواهد شد - این ترمودینامیک خطی است که پایه‌هایش را «لاس انساگر»[۲۸] از دانشگاه ییل[۲۹] در سالهای ۱۹۳۰ استوار کرده است - در حالت تعادل که نیروها از بین می‌روند شدت جریان ذرات هم از بین می‌رود.

«ایلیا پریگوژین»[۳۰] از دانشگاه «براسلز»[۳۱] اولین پژوهشگری بود که به انتروپی در ترمودینامیک نامتعادل برخورد نمود. در سال ۱۹۴۵ وی نشان داد که برای سیستمهای نزدیک به تعادل، توان ترمودینامیک میزانی است که انتروپی به وسیله سیستم تولید می‌شود. این حالت «پراکندگی»[۳۲] نامیده می‌شود. پریگوژین به قضیه تولید انتروپی حداقل برخورد کرد که پیش‌بینی می‌کند چنین سیستمهایی در یک حالت تعادل که پراکندگی حداقل می‌شود،

تکامل می‌یابند. این حالت بیانگر ترمودینامیک تعادل است، آخرین حالت یکنواختی در مکان که با زمان نیز اختلاف ندارد.

سیستمهای دور از تعادل

قضیه تولید انتروپی حداقل پریگوژین نتیجه مهمی است. وی و همکارانش سیستمهایی را، که حتی دور از تعادل باقی می‌مانند، را کشف نمودند، جایی که قانون خطی برای نیرو و شدت جریان شکسته می‌شود، باید دید آیا ممکن است قضیه وی را به معیار کلی در مورد غیر خطی در موقعیتهای «دور از تعادل» هم تعمیم داد. معیار پریگوژین حکم کلی در مورد ثبات حالات ایستای «دور از تعادل» است. این حکم می‌گوید که سیستمها ممکن است همانگونه که از تعادل دور می‌شوند بی ثبات شوند: بحران به وجود آید یا نقطه شکافی ایجاد شود که سیستم ترجیح دهد به جای اینکه در حالت ثابت دیگری ظاهر شود، حالت ایستا را ترک گوید. (شکل شماره ۱ را ملاحظه فرمایید).



شکل شماره ۱

سیستمهای دور از تعادل می‌توانند به دو حالت ثابت مانند شکل a تقسیم گردند. کوچکترین لرزش موجب تقسیمات متعددی همچون b می‌شود.[۵]

معیار پریگوژین یک اصل جهانی بازگشت ناپذیر تکامل نیست زیرا دامنه وسیعی از رفتارهای ممکن و قابل دسترس دور از تعادل وجود دارد. چگونه یک سیستم نامتعادل که در طول زمان تکامل می‌یابد، می‌تواند با ویژگیهای مایکروسکوپی سیستم (حرکات اتمها و مولکولهای احزای آن) - و نه صرفاً روی عواملی با مقیاس وسیع همچون درجه حرارت و فشار - بستگی بسیار حساسی داشته باشد.

در سیستمهای دور از تعادل، کوچکترین تموجها می‌تواند به سمت رفتار نوین افراطی در مقیاس ماکروسکوپی هدایت شود. هزاران تموج می‌تواند سیستم را به طور تصادفی به حالات نوین ثابت ببرد (نمودار b). این حالتهای ناهمگون ساختاری که نسبت به زمان و مکان یا هر دو تغییر می‌کنند، به وسیله پریگوژین «ساختارهای پراکنده»[۳۳] نامیده شدند؛ بهبود خودبخودی چنین ساختارهایی «خود - سازمانی» شناخته شده است.

دو ویژگی عمده پدیده‌های مختلفی که دانشمندان پویاییهای غیر خطی را در مدل سازی آنها به کار می‌برند: بازگشت ناپذیری و غیر خطی بودن آنهاست. بی نظمی معین یک نتیجه ممکن و خود - سازمانی منظم نتیجه دیگر است؛ در واقع بی‌نظمی شکل بسیار جالب و ویژه خود - سازمانی است که در آن نظم فوق‌العاده وجود دارد.

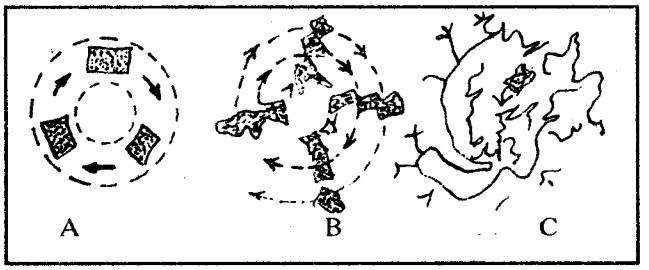
روش استاندارد به کار گرفتن معادلات در ترمودینامیک نامتعادل از معادلات حرکت آغاز می‌شود (چه مکانیک کلاسیکی و چه کوآنتوم) ذرات مستقلی سیستم را به وجود می‌آورند که ممکن است برای مثال گاز باشد. از آنجا که نمی‌توانیم موقعیت صحیح و سرعت هر ذره را بدانیم، مجبوریم به تئوری احتمالات (روشهای آماری) متوسل شویم که رفتار متوسط هر ذره را به رفتار کل سیستم ارتباط می‌دهد و مکانیک آماری نامیده می‌شود. این روش بسیار خوبی است زیرا که ذرات بسیار زیادی (حدود 10^{24}) درگیر هستند.

یکی از ویژگیهای آشکار سیستم بی‌نظم، حساسیت آن نسبت به وضعیت اولیه است. رفتار سیستمها با اوضاع ابتدایی مختلف، صرف نظر از شباهت آنها، با گذشت زمان واگرایی توانی دارند. برای پیش‌بینی آینده، مجبوریم اوضاع اولیه را به دقت اندازه بگیریم. وظیفه‌ای که در اصل به نسبت عمل غیر ممکن است. این بدین معناست که مجبوریم به توصیف احتمالی حتی در سطح مایکروسکوپی اعتماد کنیم.[۶]

سیستمهای بی‌نظم[۳۴] بازگشت ناپذیرند، بنابر این می‌خواهیم یک کمیت انتروپی - مانند را در پیوستگی با آنها بیابیم زیرا انتروپی است که تغییر را اندازه‌گیری، و جهت حرکت زمان را تعیین می‌کند. نظریه پردازان، بزرگترین پیشرفت را در سطح سیستمهای پویا به نام سیستمهای «ارگودیک»[۳۵] داشته‌اند. سیستم ارگودیک سیستمی است که از هر حالت پویای ممکن که با انرژی خودش تطابق دارد می‌گذرد. پایه‌های تئوری ارگودیک به وسیله «نیومن»[۳۶] و همکارانش در سالهای ۱۹۳۰ ریخته شد و در دوران

اخیر به وسیله ریاضیدانان روسی از جمله کولموگوروف[۳۷] توسعه یافت. کار آنان روشن نمود که سلسله مراتب رفتار، در سیستمهای پویا وجود دارد، بعضی ساده، برخی پیچیده، و برخی نیز همزمان به طور متناقض ساده و پیچیده‌اند.

برای نشان دادن چگونگی رفتار سیستمهای ارگودیک می‌توانیم «تصاویر مرحله‌ای» را به کار بریم. اما اینک ما حالت اولیه سیستم را به عنوان مجموعه‌ای از نقاط به جای یک نقطه در تصویر مرحله‌ای ترسیم می‌کنیم. شکل شماره (۲a) یک سیستم غیر ارگودیک را نشان می‌دهد: این مجموعه شکل خودش را حفظ می‌کند و به صورت متناوب در قسمت محدودی از فضا حرکت می‌کند. شکل شماره (۲b) یک سیستم ارگودیک را نشان می‌دهد. این مجموعه شکلش را حفظ می‌کند اما در اطراف فضای خود می‌پیچد. در شکل شماره (۲c) این مجموعه که حجمش باید ثابت بماند به صورت رشته‌های بسیار نازکی پخش می‌شود، همچون لکه جوهری که در آب حل می‌شود؛ سرانجام هر قسمت از فضا را مورد هجوم قرار می‌دهد و این نتیجه‌ای است که قضیه «لیوویل»[۳۸] نامیده می‌شود. به بیان دیگر، تمام احتمالات باید در نظر گرفته شود و جمع آن نیز یک گردد. این مجموعه همچون قطره‌ای سیال و تراکم‌ناپذیر است و مثالی است برای «جریان ارگودیک مختلط» که روش تعادل ترمودینامیکی را وقتی تکامل زمان متوقف می‌شود، مشخص می‌کند. چنین گستردگی بر نوعی بی‌نظمی پویا دلالت دارد. این مجموعه گسترده می‌شود زیرا تمام مسیرها به صورت تابع توانی بسرعت از هم دور می‌شوند بنابر این، این مسأله فقط می‌تواند برای سیستم پویای بی‌نظم پیش آید.



شکل شماره ۲

شکل شماره ۲ اختلافات قابل توجه در رفتار در «تصاویر مرحله‌ای» بین یک سیستم ساده a ، یک سیستم ارگودیک b ، و یک سیستم ارگودیک مختلط c که بی‌نظم است را نشان می‌دهد.[۷]

جریانهای مختلط فقط یک عضو سلسله مراتب افزایش شونده بی‌ثبات و بنابر این سیستمهای پویای ارگودیک بی‌نظم هستند. حتی از اینها اتفاقی‌تر جریانهای K- هستند که بعد از - «کولموگوروف» نامگذاری شدند. رفتار آنها در محدوده‌ای کاملاً غیرقابل پیش‌بینی است: خصوصیت قابل توجه آنها این است که محاسبات بسیار زیاد مقدماتی هم نمی‌تواند حاصل نزدیک به محاسبات را پیش‌بینی کند.

پریگوزین کمیت انتروپی مانندی را با خصوصیت جالب افزایش یابنده با زمان در این گروه سیستمهای بسیار بی‌نظم یافت. خصوصیت جریان K- بی‌نظم، به میزان زیادی در سیستمها- جایی که تصادم بین ذرات بر پویایی مسلط می‌شود - وجود دارد. پریگوژین و همکاران وی همچنین برای همسانی جریانهای K با بازگشت ناپذیری تعریف نوینی از زمان پیدا کردند و آن را «زمان داخلی»[۳۹] نامیدند که عمر سیستم پویا را نشان می‌دهد. می‌توان به عمر به عنوان انعکاس وجوه ترمودینامیکی غیرقابل بازگشت سیستم اندیشید؛ در حالی که معادلات نیوتن برای همین سیستم مختصات دینامیکی قابل بازگشت محض را تصویر می‌نماید.

ترمودینامیک و مکانیک بیش از یک قرن است که در مقابل یکدیگر ایستاده‌اند، ولی اکنون این دانشمندان به یک رابطه جالب بین آنها رسیده‌اند. درست بدان گونه که به اصل عدم قطعیت در مکانیک کوآنتوم، جایی که دانستن موقعیت یک ذره بدرستی از شناخت مقدار جنبش آن و به عکس مانع می‌شود، آنها نوع جدید اصل عدم قطعیت را، که در سیستمهای پویای بی‌نظم کاربرد دارد، یافته‌اند. این اصل نوین نشان می‌دهد که قطعیت کامل خصوصیات ترمودینامیک سیستم (در دانش بازگشت‌پذیری) پویایی قابل بازگشت، بی‌معنایی توصیف را از بین می‌برد؛ در حالی که قطعیت کامل در توصیف دینامیکی به طور مشابه نظریات ترمودینامیکی را خنثی می‌کند. درک بی‌نظمی پویا به فهم بهتر مفهوم آنتروپی کمک کرده است. آنتروپی خصوصیت سیستمهای پویای ناپایدار شده است و تصوری که از معین بودن جا افتاده بود را واژگون کرده و احتمالات و بازی شانس جایگزین آن شده است. به نظر می‌رسد که بازگشت‌پذیری و عکس آن دو روی یک سکه‌اند؛ چنانکه فیزیکدانان در مکانیک کوآنتوم دریافته‌اند ساختار کل جهان بواقع فراتر از چیزی است که بتواند باگویش به توصیف آید و با مغزها درک شود. بسیاری از مشکلات ژرف قابل بررسی وجود دارند که ما در آغاز آنیم.

پانویسها

1- Strange Attractors

2- Uncartainty

3- Certainty

4- Randomness

5- Games

6- Deterministic

7- Ramification

۸- علم همبستگی گرما با کار مکانیکی

۹- علم حرکت

۱۰- کلمه quantumکه به جمع آن quantaاست، کوچکترین دره انرژی‌دار در یک پدیده است. مکانیک کوانتوم : مطالعه ساختار اتمی و مشکلات مرتبط با کمیتهایی است که می‌توانند اندازه‌گیری شوند: منبع:

- Electronics Dictionary, John Markus, Fourth Edition,McGraw-Hill, Inc., P. 515.

11- Cousality

12- Reversible

13- Doyne Farmer

14- Evolution

15- Databases

16- Intuition

17- Nonlinear Behavior

18- Causality

۱۹- تجربه می‌گوید: اگر هیچگونه عمل خارجی برای جلوگیری صورت نپذیرد گرما از قسمتهای گرمتر همواره به قسمتهای سردتر می‌رود، ولی عکس آن صادق نیست: منبع:

Introduction to Physics for Scientists and Engineers, Fredrick Buerche, McGraw-Hill Book Company, 1969, P. 335

20- Arthur Eddington

21- Rudolf Clausius

۲۲- کارآیی انتقال سیستم اطلاعاتی، بیان شده به وسیله لگاریتم تعداد پیامهای معادل ممکن که می‌تواند از یک سری سمبلهای به خصوص انتخاب و فرستاده شود. از منبع:

Electronics Dictionary, P. 226.

۲۳- آنچه به اندازه کافی بزرگ است که با چشم غیرمسلح دیده می‌شود؛ از منبع:

Webster's New Collegiate Dictionary, 1979. P. 683.

۲۴- آنچه با چشم غیر مسلح قابل مشاهده نیست؛ از منبع:

Ibid., P. 721.

25- Isolated

۲۶- اگر در یک سیستم یگانه اندازه‌های فشار، حجم، و درجه حرارت برای مدت نسبتاً" طولانی بدون تغییر باقی بمانند آن سیستم در حالت «تعادل ترمودینامیکی» است؛ از منبع:

Introduction to Physics for Scientists and Engineers, Fredrick Bueche, McGraw-Hill Book Company 1969, P. 324.

27- Irreversible

28- Lars Onsage

29- Yale University

30- Ilya Prigogine

31- Brussels

32- Dissipation

33- Dissi Pative Structures

34- Chaotic Systems

35- Ergodic

36- Neumann

37- Kolmogorov

38- Liouville's Theorem

39- Internal Time

منابع و مآخذ

1- Pedersen, Anne. "Exploiting Chaos to Predict the Future", **Santa Fe Institute** 5 No. 1 (Winter - Spring 1990) : 21.

2- Ibid., P. 22.

3- Conveney, Peter. "Chaos, Entropy and the Arrow of Time", **New Scientist,** 29 (September 1990), 50.

4- Ibid.

5- Ibid.

6- Percival, Ian. "Chaos: a Science for the Real World", **New Scientist,** 21 (October 1989), 52.