پژوهش‌های فلسفی، شماره‌ی هفدهم، بهار و تابستان ۱۳۸۹، ص۵۷-۹۵

نقد و بررسی دیدگاه‌های اصلی رقیب در مورد مسأله‌ی بازگشت‌پذیری[۱]

سید رضا ملیح[۲]
دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، گروه فلسفه علم، تهران، ایران.
زهرا شجاعی[۳]
دانش‌آموخته فلسفه علم، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

چکیده

با کشف قانون دوم ترمودینامیک و تلاش برای ابتنای آن بر دینامیک کلاسیک در نیمه دوم قرن نوزدهم میلادی، مسأله یا پارادوکس بازگشت‌پذیری برای اولین بار مطرح شد، زیرا قوانین دینامیک کلاسیک برخلاف قانون دوم ترمودینامیک نسبت به زمان متقارن یا بازگشت‌پذیر بودند. در این مقاله پس از شرح این مسأله به بیان دو رهیافت اصلی در حل این مسأله می‌پردازیم. در اولین دیدگاه که پریگوژین از سردمداران آن است، بازگشت‌ناپذیری ناشی از ناپایداری‌های دینامیکی دانسته می‌شود و این ویژگی در سطح میکروسکوپی در قالب نوعی «بی‌نظمی» تعریف می‌شود؛ در حالی‌که در دیدگاه دیگر، افرادی مانند پرایس و بریکمان بازگشت‌ناپذیری در سطح ماکروسکوپی را ناشی از وجود شرایط اولیه‌ی خاصی برای جهان در نظر می‌گیرند و برقراری بازگشت‌پذیری در سطح میکروسکوپی را در تضاد با آن نمی‌دانند. با وجود تفاوت این دو دیدگاه در مبانی نظری، نشان خواهیم داد که می‌توان این نتیجه‌ی مشترک را از آنها استخراج کرد که بازگشت‌پذیری اصولاً به‌لحاظ عملی غیرممکن است.

واژگان کلیدی: مسأله‌ی بازگشت‌پذیری، قانون دوم ترمودینامیک، شرایط اولیه، تعین‌پذیری.

---

۱. تاریخ وصول: ۸۹/۵/۲ تاریخ تصویب: ۸۹/۸/۱۲
۲. پست الکترونیک(مسؤول مکاتبات): smaleeh@uos.de
۳. پست الکترونیک: alchemy48@gmail.com

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

در زندگی روزمره عمدتاً با فرآیندهای فیزیکی‌ای سر وکار داریم که به‌صورتی نامتقارن در زمان رخ می‌دهند، به این معنا که در یک جهت زمانی (جهتی که آن را آینده می‌نامیم) رفتاری متفاوت نسبت به جهت زمانی دیگر (جهتی که گذشته می‌دانیم) از خود نشان می‌دهند. برای مثال اگر بستنی نیمه آب شده‌ای در دمای اتاق داشته باشیم، در جهت‌ی زمانی که آینده می‌نامیم بیشتر ذوب خواهد شد، در صورتی که در جهت زمانی عکس آن، یعنی به سمت آنچه گذشته می‌نامیم، منجمدتر بوده است. مثال‌های بی‌شماری از چنین فرآیندهایی می‌توان ذکر کرد. از جمله سرد شدن چای داغ، پخش‌شدن گاز در محفظه‌اش تا جایی که کل فضای آن را به‌طور یکنواخت اشغال کند، مخلوط شدن دو مایع در یکدیگر، انتقال گرما بین دو جسم غیرهمدما تا زمانی که به تعادل گرمایی برسند، رفتن از جوانی به سمت پیری، واگرا شدن موج‌های آبی که از افتادن سنگی در آن به‌وجود آمده‌اند و غیره.

با فیلمبرداری از این فرآیندها و نمایش دادن آنها از آخر به اول شاهد رخدادهای غیرعادی و عجیبی خواهیم بود، زیرا هیچ‌گاه آنها را به این شکل تجربه نکرده‌ایم. برای مثال، هیچ‌گاه مشاهده نکرده‌ایم که با به‌هم‌زدن مخلوطِ یکنواخت شیر و قهوه آنها کاملاً از هم جدا شوند و به دو مایع مختلف شیر و قهوه تجزیه شوند؛ یا گازی که در اتاق به‌طور یکنواخت پراکنده شده است با گذشت زمان در گوشه‌ای متراکم شود. اما معکوس این فرآیندها چنان آشنا و عادی به‌نظر می‌رسند که به‌زحمت توجه ما را برمی‌انگیزند. البته بارها منجمد شدن بستنی درون یخچال را شاهد بوده‌ایم، اما برخلاف موارد ذکر شده که به خودی خود صورت می‌گیرند، یخچال با مصرف انرژی و گرم‌تر کردن محیط اطرافش می‌تواند مواد مختلف را سردتر کند. چنین فرآیندهایی را که در حالت عادی تنها در یک جهت زمانی رخ می‌دهند «فرآیندهای بازگشت‌ناپذیر»[1] و جهتی را که این فرآیندها در آن رخ می‌دهند «بردار زمان»[2] می‌نامند.

عدم‌تقارن زمانی فرآیندهای مذکور این انتظار را ایجاد می‌کند که قوانین بنیادی حاکم بر آنها نیز نسبت به زمان نامتقارن باشند. به‌عبارت دیگر، همان‌طورکه فاینمن[3] نیز بیان کرده است، از عدم‌تقارن وقوع فرآیندها در زمان می‌توان نتیجه گرفت که باید قوانینی

1. Irreversible processes
2. The arrow of time
3. Feynman

www.SID.ir

بنیادی به این شکل وجود داشته باشند که: «الف»ها همیشه «ب»ها را نتیجه دهند و نه برعکس.[1] با این حال به‌نظر نمی‌رسد که هیچ‌یک از قوانین بنیادیِ موجود در فیزیک این‌گونه باشند؛ واقعیت این است که تقریباً تمام نامزدهای معقول برای قوانین دینامیکی بنیادی جهان، مانند قوانین نیوتونی(هرچند امروزه می‌دانیم که جزو قوانین بنیادی نیستند)، معادلات شرودینگر، نسبیت خاص و عام و غیره، نسبت به گذر زمان *ناوردا*[2] یا به‌عبارت دیگر متقارن زمانی هستند. عدم‌تقارن زمانی فرآیندهای ماکروسکوپی از یک طرف، و تقارن زمانی قوانین بنیادی حاکم بر آنها (در سطح میکروسکوپی) از طرف دیگر، مسأله‌ای را ایجاد می‌کند که «پارادوکس بازگشت‌پذیری» نامیده می‌شود.

منظور از تقارن یا ناوردایِ معکوس زمانی[3] بودن قوانین بنیادی فیزیک این است که اگر این قوانین بر فرآیند مشخصی اعمال شوند، به همان اندازه بر معکوس زمانی همان فرآیند نیز قابل اعمال خواهند بود. برای مثال می‌دانیم که اگر توپی پرتاب شود و مسیری سهمی‌گون را بپیماید، قوانین فیزیک نیوتونی بر آن صدق می‌کنند. حال اگر از این فرآیند فیلمبرداری کنیم و معکوس آن را نمایش دهیم، به‌نظر می‌رسد که با فرآیندی روبه‌رو باشیم که همچنان مطابق با قوانین نیوتونی رفتار می‌کند. برای مثال، توپ را می‌بینیم که در جهت مخالف در هوا پرواز می‌کند و در تمام این مدت از قوانین فیزیک پیروی می‌کند، البته تنها با این فرض که جهت سرعت‌ها در هر لحظه معکوس شده باشند، زیرا در غیر این صورت فرآیندی خواهیم داشت که در هر لحظه‌ی آن توپ در خلاف جهتی که سرعتش قبلاً در آن بوده است حرکت خواهد کرد؛ پس اگر بدون تغییر جهتِ سرعت‌ها تنها به معکوس کردن ترتیب زمانی حالت‌های لحظه‌ای بسنده کنیم، حتی مکانیک نیوتونی هم متقارن زمانی نخواهد بود، در حالی‌که این قانون مطمئناً بازگشت‌پذیر زمانی است، زیرا به همان اندازه که بر فیلم اصلی اعمال می‌شود، بر فیلم معکوس نیز اعمال می‌شود. این قانون به‌طور شهودی دارای هیچ جهت زمانی‌ای در خودش نیست. به بیانی دیگر، برای فهمیدن اینکه نظریه‌ای متقارن زمانی هست یا نه، اُپراتور معکوس زمانی بر آن اعمال می‌کنیم و سپس آن را با قبل از اعمال این اُپراتور مقایسه می‌کنیم، اگر نظریه تغییری نکرد می‌توانیم نتیجه بگیریم که تحت این عملیات، نظریه مستقل معکوس زمانی است.[4]

1. Feynman, R., *The Character of Physical Law*, p.109.
2. invariant
3. Time Reversal Invariant
4. North, J., "Time in Thermodynamics", pp.5-6.

www.SID.ir

با توجه به تعریف ذکر شده از ناوردایی یا تقارنِ قوانین نسبت به زمان، می‌بینیم که قوانین دینامیک بنیادیِ حاکم بر ذرات تشکیل‌دهنده‌ی سیستم‌هایی که در دنیای ماکروسکوپی به‌صورت بازگشت‌ناپذیر تجربه می‌کنیم، نسبت به زمان ناوردا هستند (مستقل از زمان‌اند). برای مثال، اگر به فیلمی از ذوب شدن قطعه‌ای یخ نگاه کنیم به‌راحتی می‌توانیم تشخیص دهیم که فیلم به‌شکل درست خود یا به‌صورت معکوس نمایش داده شده است، اما اگر فیلم را بر حرکت تک‌تک مولکول‌های یخ متمرکز کنیم نمی‌توانیم تشخیص دهیم که فیلم از آخر به اول نمایش داده شده یا از اول به آخر؛ چنین حرکت‌هایی با هر دو جهت پخش فیلم سازگارند. بنابراین، در فیزیک مربوط به ذرات چیزی وجود ندارد که از جمع‌شدن خودبه‌خودی گازها در یک گوشه‌ی اتاق یا گرم‌تر شدن چای داغ در دمای معمولی اتاق جلوگیری کند، با این حال هیچ‌گاه شاهد روی دادن چنین فرآیندهایی نیستیم. پس این سوال مطرح می‌شود که: این عدم‌تقارن زمانی ناشی از کجاست؟ به‌عبارت دیگر، بازگشت‌ناپذیری تجارب ماکروسکوپی ما اگر ناشی از قوانین بنیادی حاکم بر ذرات تشکیل‌دهنده‌ی آنها نیست، پس از کجا ناشی می‌شود؟[1]

باید توجه کرد که در سطح میکروسکوپی نیز می‌توان گه‌گاه پدیده‌های بازگشت‌ناپذیری را مشاهده کرد. البته در مقایسه با سایر قوانین بنیادی که نسبت به زمان متقارن هستند اینها مواردی استثنایی محسوب می‌شوند. یکی از مهم‌ترین آنها ذره‌ی زیر اتمی به نام «کائون»[2] است که در ۱۹۴۷ کشف شد. این ذره که از گروه «مزون»[3]هاست در واپاشی[4] خود تقارن زمانی را نقض می‌کند و گویا بین گذشته و آینده وجه تمایزی قائل می‌شود که به‌همین علت آن را «بردار فیزیک ذره‌ای (ضعیف)»[5] می‌نامند. بازگشت‌ناپذیر زمانی بودن این پدیده ممکن است در ابتدا این امید را ایجاد کند که شاید روزی بتوان رویدادهای جهت‌داری را که هر روزه تجربه می‌شوند به کمک آن تبیین کرد، اما تاکنون هیچ ارتباطی بین آن و سایر بردارهای زمان کشف نشده است. از طرف دیگر عقیده بر آن است که این نقضِ تقارن زمانی آن‌قدر کوچک و نادر است که نمی‌تواند تبیینی برای تجارب گسترده‌ی ما

1. Ibid, p.5.
2. Kaon
3. Meson
4. decay
5. The particle physics (weak) arrow of time

Archive of SID

www.SID.ir

از فرآیندهای ماکروسکوپی بازگشت‌ناپذیر ارائه دهد.[1] با توجه به کم‌اهمیت بودن و بی‌ارتباط بودن با سایر بردارهای زمان، خصوصاً بردار ترمودینامیکی، در این نوشته بیش از این به آن پرداخته نمی‌شود.

در قرن نوزدهم، قانونی فیزیکی کشف شد که بیشتر فرآیندهای بازگشت‌ناپذیر مانند پخش‌شدن گازها و انتقال گرما از جسم گرم‌تر به سردتر را در بر می‌گرفت. این همان قانون دوم ترمودینامیک است که بیان امروزی آن به این صورت است: آنتروپیِ[2] سیستم فیزیکی منزوی هیچ‌گاه با گذشت زمان کاهش نمی‌یابد، بلکه باید افزایش یابد و یا بدون تغییر باقی بماند.[3] بنابراین، سیستم‌ها همیشه در جهتی تحول می‌یابند که منجر به افزایش آنتروپی در آنها شود؛ این جهت مشخص از روند تحولی رویدادها، «بردار آنتروپیک» نامیده می‌شود که نوعی «بردار زمان» است. «آنتروپی» را می‌توان در اینجا مقیاسی از درجه‌ی بی‌نظمی در هر سیستم دانست که مفهوم آن در ادامه‌ی مقاله روشن‌تر خواهد شد.

قانون دوم ترمودینامیک اولین قانون مستقل بازگشت‌ناپذیر، یا به‌عبارت دیگر، نامتقارن نسبت به زمان است. با توجه به اینکه این قانون قانونی بنیادی نیست این پرسش مطرح می‌شود که عدم‌تقارن موجود در آن از کجا ناشی شده است، زیرا می‌دانیم که دینامیک حاکم بر ذرات تشکیل‌دهنده‌ی هر سیستم ترمودینامیکی نسبت به زمان متقارن است. در این مقاله پس از بررسی بیشتر قانون دوم ترمودینامیک و طرح مسأله یا پارادوکس بازگشت‌پذیری، به بیان دو دیدگاه متفاوت از آن توسط مکتب بروکسل و طرفداران بولتزمان[4] می‌پردازیم و در آخر نتایج حاصل از مقایسه‌ی این دو دیدگاه را بیان می‌کنیم.

۱. مسأله‌ی بازگشت‌پذیری

در اوایل قرن نوزدهم، نیکلاس کارنو[5]، فیزیک‌دان فرانسوی، متوجه شده بود که این امکان وجود ندارد که گرما به‌طور کامل به انرژی مکانیکی تبدیل شود. اولین بیان علمی از قانون دوم ترمودینامیک را می‌توان در مقاله‌ی وی با نام «اندیشه‌هایی درباره‌ی قدرت محرکه‌ی

1. Price, H.,“Time’s Arrow and Archimedes’ Point”, p.18; North, J., “Time in Thermodynamics”, p.5.
2. Entropy
3. North, J., “Time in Thermodynamics”, p.4.
4. Ludwig Boltzmann (1844-1906)
5. Nicolas Leonard Sadi Carnot (1796-1832)

Archive of SID

www.SID.ir

گرما»[1] یافت: «تولید حرکت در ماشین بخار همیشه همراه با اوضاع و احوالی است که باید توجه خاص به آن داشته باشیم و آن عبارت است از عبور گرما از جسمی که دمای آن کم‌وبیش بالاست به جسم دیگری که دمای آن پایین‌تر است.»[2] مدتی بعد افرادی مانند کلازیوس[3] و تامسون (لرد کلوین)[4] تعاریفی ارائه کردند که امروزه تعاریف استانداردتری از این قانون محسوب می شوند.

تعریف کلازیوس از قانون دوم ترمودینامیک از این قرار بود: امکان ندارد که تنها اثر یک ماشین آن باشد که به‌طور مدام گرما را از جسمی به جسم دیگری با دمای بالاتر منتقل کند.[5] در واقع ایده‌ی اصلی بیان قانون دوم ترمودینامیک این است که برای گرفتن کار از ماشین بخار، به‌وجود اختلاف دما نیاز است (برای مثال اختلاف دما بین دیگ بخار و دستگاه خنک‌کننده) تا بتواند حرارت لازم برای حرکت دادن پیستون را تولید کند. اما این اختلاف دما پس از مدتی به‌طور اجتناب‌ناپذیر و بازگشت‌ناپذیری با انجام کار از بین می‌رود. به همین دلیل، کلازیوس حدود ده سال بعد مفهومی به‌نام «آنتروپی» را معرفی کرد.

بر طبق این تعریف، آنتروپی، میزان عدم دسترسی[6] انرژی گرمایی برای انجام کار مکانیکی است. از یک لحاظ می‌توان اندازه‌گیری آنتروپی را مانند نوعی ساعت دانست که هر چند اندازه‌ی دقیقی از زمان به‌دست نمی‌دهد، در صورتی که سیستم در حالت تعادل نباشد، جهت رو به جلو در زمان را برای آن نشان می‌دهد (یعنی بردار آنتروپیک). کلازیوس مفهوم آنتروپی را به این صورت صورتبندی کرد که میزان گرفتن یا از دست دادن آنتروپی در سیستمی فیزیکی در زمانی مشخص برابر است با میزان گرفتن یا از دست دادن گرما تقسیم بر دمای سیستم در همان زمان، یعنی:

$$\Delta S = \Delta Q/T$$

که S نماد آنتروپی، Q انرژی گرمایی بر حسب ژول و T دما بر حسب کلوین است. از آنجا که مبادله‌ی گرما همیشه از جسم گرم‌تر به جسم سردتر است، آنتروپی کل هیچ‌گاه

1. Reflections on the motive power of fire

۲. دیوید هالیدی و رابرت رسنیک، فیزیک (جلد دوم: شاره‌ها- امواج- حرارت)، ترجمه‌ی نعمت الله گلستانیان و محمود بهار، انتشارات مرکز نشر دانشگاهی، تهران: چاپ دهم ۱۳۸۰، صص ۲۶۸-۷۲۶.

3. Rudolf Clausius(1824-1888)
4. William Thomson(Lord Kelvin) (1824-1907)
5. Callender, C., “Thermodynamic Asymmetry in Time”.
6. unavailability

Archive of SID

www.SID.ir

نمی‌تواند کاهش یابد.

امروزه آنتروپی به‌طور کلی کمیتی ماکروسکوپی تعریف می‌شود که مقیاسی است برای مقدار بی‌نظمی[1]. بیان امروزی قانون دوم به این صورت است: در هر سیستم بسته، آنتروپی ثابت می‌ماند یا همواره افزایش می‌یابد تا به ماکزیمم مقدار خود، که در حالت تعادل است، برسد. در حالت تعادل، هیچ‌یک از کمیت‌های ماکروسکوپی سیستم مانند دما، فشار، حجم و آنتروپی تغییر نمی‌کنند. هر حالت دیگری به‌جز حالت تعادل برای سیستم، حالتی ناپایدار[2] است که به‌طور خود به خود و بازگشت‌ناپذیری به سمت حالت تعادل تحول می‌یابد و وقتی به آن می‌رسد تحولش متوقف می‌شود. در نتیجه، آنتروپی تمام حالت‌های دور از تعادل[3] لزوماً باید کمتر از آنتروپی حالت تعادل باشد.[4]

همان‌طور که بیان شد، قانون دوم ترمودینامیک تنها ناشی از تعمیم نتایج تجربی بود که توانسته بود با معرفی آنتروپی به‌عنوان کمیتی جهت‌دار در زمان، گستره‌ی وسیعی از فرآیندهای فیزیکی را توصیف کند. این قانون که به‌طور مستقل از سایر قوانین فیزیک به‌دست آمده بود، خود قانونی بنیادی و هم‌سطح با قوانین دینامیک کلاسیک پنداشته می‌شد که می‌توانست عدم‌تقارن بسیاری از رویدادها را توضیح دهد. به‌عبارت دیگر، بنیان‌گذاران ترمودینامیک سعی نداشتند قانون دوم را بر پایه‌ی چیزی بنیادی‌تر توصیف کنند و «مسأله‌ی بازگشت‌پذیری» هنوز مطرح نشده بود.[5] اما با پیدایی نظریه‌ی جنبشی گازها[6]، مسائل جدیدی مطرح شد که این نگاه را زیر سؤال می‌برد.

بر طبق نظریه‌ی جنبشی گازها، تمام مواد از تعداد بسیار زیادی ذرات ریز (اتم‌ها و مولکول‌ها) تشکیل شده‌اند که همواره در حرکت کاتوره‌ای هستند و دائماً با یکدیگر و جداره‌ی محفظه‌شان برخورد می‌کنند. در واقع، نظریه‌ی جنبشی، ویژگی‌های ماکروسکوپی گازها را با توجه به ترکیب و حرکت مولکول‌های تشکیل‌دهنده‌ی آنها توصیف می‌کند؛ برای مثال، «گرما» را بر حسب حرکت مولکول‌ها و «فشار» را حاصل از برخورد مولکول‌ها معرفی می‌کند. با پیدایی این نظریه، بنیادی‌بودن قوانین ترمودینامیک مورد تردید قرار گرفت و این

1. Disorder
2. Unstable
3. Non-equilibrium
4. Callender, C., "Thermodynamic Asymmetry in Time"; Lockwood, M. *The Labyrinth of Time*, p.192.
5. North, J., "Time in Thermodynamics", p.8.
6. Kinetic Theory of Gases

Archive of SID

www.SID.ir

تفکر شکل گرفت که این قوانین حاصل چیزی جز رفتار ذرات تشکیل‌دهنده‌ی سیستم‌های ترمودینامیکی، که خود نیز تابعی هستند از قوانین دینامیک، نیستند.

در سال ۱۸۵۹، جیمز ماکسول[1] مدل ایده‌آل‌شده‌ای از گاز ارائه داد که بر طبق آن گازها از مولکول‌هایی کروی و کشسان تشکیل شده‌اند که خُرد و سخت و دارای اندازه و جرم یکسان هستند (مانند توپ‌های بیلیارد، اما میکروسکوپی).[2] وی نشان داد که چگونه می‌توان برخی از ویژگی‌های رفتار ماکروسکوپی گازها را از توزیع سرعتِ مولکول‌های آن به‌دست آورد. ماکسول به این نتیجه رسید که برخورد مولکول‌های گاز (با یکدیگر و با دیواره‌های محفظه) آن را به سمت توزیع خاصی از سرعت‌ها سوق می‌دهد که در حالتی پایدار قرار دارد و آن را «توزیع ماکسولی»[3] نامید. گازی که در این توزیع باشد از آن جدا نمی‌شود و هیچ توزیع دیگری دارای این ویژگی نیست. از آنجا که حالت تعادل حالتی پایدار است، وی نتیجه گرفت که باید دارای توزیع ماکسولی باشد. در واقع این اولین بار بود که ارتباط بین ترمودینامیک (حالتِ تعادل) و مکانیک آماری (فرضیه درباره‌ی برخورد مولکول‌ها) برقرار شد.[4]

بولتزمان نتیجه‌ی ماکسول را تعمیم داد و نشان داد که توزیع اولیه از سرعت‌ها هر چه باشد، بر اثر برخورد مولکول‌ها در نهایت به توزیع ماکسولی از سرعت‌ها می‌رسد. وی در یافتن این نتیجه، «فرضیه‌ی آشوب مولکولی»[5] را در نظر گرفته است. آشوب مولکولی فرضیه‌ای است در نظریه‌ی جنبشی که بر طبق آن سرعت و مکان ذرات قبل از برخورد به‌هم مربوط نیستند. به‌عبارت دیگر، سرعت ذرات برخورد کننده به این بستگی ندارند که قرار است با هم برخورد کنند.[6]

بولتزمان کمیتی به نام «اچ» را معرفی کرد که میزان انحراف از توزیع ماکسولی را نشان می‌داد. بر طبق «قضیه‌ی اچ»[7] هنگامی که گاز در توزیع ماکسولی خود قرار دارد (یعنی در

1. James Clerk Maxwell(1831-1879)
2. Lockwood, M. *The Labyrinth of Time*, p.194.
3. Maxwell distribution
4. Price, H.,"Time's Arrow and Archimedes' Point", p.25; Kole, S., "The Arrow of Time In Cosmology And Statistical Physics", p.13.
5. Molecular chaos/Stosszahlansatz
6. Kole, S., "The Arrow of Time In Cosmology And Statistical Physics", p.14. p.14.
7. H-Theorem

Archive of SID

www.SID.ir

حالت تعادل)، «اچ» دارای کمترین مقدار خود (یعنی صفر) است. اما اگر گاز در توزیعی به‌جز توزیع ماکسولی باشد، مقدار «اچ» به‌طور پیوسته کاهش می‌یابد تا به صفر، یعنی به توزیع ماکسولی، برسد. بنابراین، بولتزمان توانست به کمک نظریه‌ی جنبشی، تمایل گازها در پیشروی به سمت حالت تعادل را که نمونه‌ای است از رفتار بازگشت‌ناپذیر که توسط قانون دوم ترمودینامیک بیان شده، تبیین کند. می‌توان به‌وضوح دید که رابطه‌ی مستقیمی بین مقدار «اچ» و مقدار آنتروپی وجود دارد، به این صورت که تغییرات اچ برابر است با قرینه‌ی تغییرات آنتروپی. در واقع قضیه‌ی اچ با بیان اینکه اچ همواره کاهش می‌یابد، معادل اصل کلازیوس را، که بر طبق آن آنتروپی همواره افزایش می‌یابد، به طریق دیگری بیان کرده است.[۱]

بولتزمان با ارائه‌ی قضیه‌ی اچ تلاش کرد روند تحول سیستم‌های ترمودینامیکی به سمت حالت تعادل را که روندی بازگشت‌ناپذیر است به کمک قوانین حاکم بر ذرات آنها تبیین کند، اما مدت زیادی نگذشت که تناقض پنهان در تقلیل ترمودینامیک به مکانیک آماری[۲] مورد توجه فیزیک‌دانان قرار گرفت و ایراداتی به قضیه‌ی اچ وارد شد که «ایرادها یا پارادوکس‌های بازگشت‌پذیری»[۳] نام گرفتند.

همکار بولتزمان، یوهان لُشمیت[۴]، یکی از اولین کسانی بود که متوجه پارادوکس موجود موجود در قضیه‌ی اچ شد. وی در ۱۸۷۶ بیان کرد: از آنجا که قوانین حاکم بر ذرات میکروسکوپی متقارن زمانی هستند، باید در هر دو جهت زمانی به‌طور یکسان قابل اعمال باشند و از این رو رجحانی برای هیچ‌کدام از این دو جهت قائل نشوند. اما بر طبق قضیه‌ی بولتزمان، فرآیندها همواره باید در جهت مشخصی (یعنی در جهتی که اچ کاهش می‌یابد) رخ دهند، پس با توجه به اینکه قضیه‌ی نامتقارن زمانی بولتزمان از قوانین متقارن زمانی (یعنی فیزیک حاکم بر حرکت ذرات تشکیل‌دهنده‌ی سیستم‌های ترمودینامیکی) ناشی شده‌اند با تناقضی آشکار روبه‌روییم.[۵]

1. Kole, S., "The Arrow of Time In Cosmology And Statistical Physics", p.13; Lockwood, M. *The Labyrinth of Time*, p.195.
Price, H.,"Time's Arrow and Archimedes' Point", p.25-26;
2. Statistical mechanics
3. Reversibility Objections, or, Reversibility Paradoxes
4. Johann Josef Loschmidt (1821-1895)
5. Price, H.,"Time's Arrow and Archimedes' Point", p.28.

Archive of SID

www.SID.ir

بولتزمان برای جواب دادن به این انتقادات به طرح دوباره‌ی قضیه‌ی اچ، اما این بار در قالب آماری پرداخت. او پذیرفت که با وجود «ناوردای معکوس زمانی» و «تعین‌پذیری» قوانین دینامیک بنیادی، قانون دوم نمی‌تواند قانونی مطلق و بدون استثنا باشد، بلکه در عوض باید قانونی احتمالی باشد، به این ترتیب که مطابق با آن، کاهش آنتروپی دیگر غیرممکن نیست، بلکه بسیار نامحتمل است. به‌عبارت دیگر، تمایل گازها برای رسیدن به تعادل گرمایی می‌تواند چیزی بیش از نوعی تمایل نباشد. در واقع، با وجود تعداد بسیار زیادی ذره در سیستم‌های ترمودینامیکی معمولی، کاهش آنتروپی بسیار نامحتمل به‌نظر می‌رسد.[1] تفسیر آماری بولتزمان از قضیه اچ منجر به مطرح کردن مفاهیمی مانند فضای فازی[2]، میکروحالت[3] و ماکروحالت[4] شد.

گازی را درون محفظه‌ای ایزوله در نظر می‌گیریم که دارای حجمی ثابت و انرژی کلی است که در طول زمان ثابت می ماند. حالت چنین سیستمی را می‌توان به دو شکل متفاوت توصیف کرد: به کمک مشخص کردن مکان و سرعت هر یک از ذرات آن، که «میکروحالت» سیستم را به‌دست می‌دهد، و یا به کمک پارامترهای ترمودینامیکی‌اش مانند دما و فشار که در واقع ویژگی‌های ماکروسکوپی سیستم یا به‌عبارتی دیگر «ماکروحالت» گاز را مشخص می‌کنند. بنابراین، هر حالت ماکروسکوپیِ گاز می‌تواند متناظر با تعدادی مشخص از میکروحالت‌های مجزا باشد که اغلب این‌گونه بیان می‌شود که *این میکروحالت‌ها ماکروحالت مشخصی را «تحقق می‌بخشند»*[5].

بولتزمان فرض کرد که تمام میکروحالت‌ها از احتمال یکسانی برخوردارند، بنابراین، احتمال هر ماکروحالت متناسب با تعداد میکروحالت‌های متناظرش خواهد بود.[6] او پس از تفکیک دو مفهوم حالت‌های میکروسکوپی و ماکروسکوپی، آنها را بر حسب *فضای فازی* توصیف کرد. فضای فازی فضایی ریاضیاتی است که در آن تمام حالت‌های بنیادیِ ممکن سیستم نشان داده می‌شود. هر نقطه در فضای فازی نشان‌دهنده‌ی میکروحالت محتملی از سیستم است، بنابراین، هر نموداری در این فضا روند تحول میکروحالت‌ها را نشان می‌دهد.

1. Ibid.
2. Phase Space
3. Micostate
4. macrostate
5. Realize; North, J., “Time in Thermodynamics”, p.12.
6. Horwich, P., *Asymmetries in Time*, p.61.

Archive of SID

www.SID.ir

در نتیجه، هر ماکروحالت متناظر با منطقه‌ای از فضای فازی است که هر نقطه‌ی آن نشان‌دهنده‌ی میکروحالتی است که به آن ماکروحالت تحقق می‌بخشد.[۱]

با توجه به تعاریف بالا، بولتزمان توانست نشان دهد که آنتروپی ترمودینامیکی اساساً چیزی جز احتمالِ ماکروحالت‌ها نیست، به این ترتیب که هر چه یک ماکروحالت منطقه‌ی بزرگ‌تری را در فضای فازی اشغال کند (یعنی نقاط بیشتری در فضای فازی داشته باشد)، آنتروپی بیشتری دارد. بنابراین، بولتزمان توانست همان‌گونه که قبلاً برای سایر کمیت‌های ترمودینامیکی مانند دما (انرژی جنبشی متوسط ذرات سیستم) و فشار (ضربه‌هایی که ذرات بر سطح ظرف خود وارد می‌کنند) به‌دست آمده بود، برای آنتروپی نیز همبسته‌ای آماری[۲] معرفی کند. وی توانست بیان کلیِ بسیار ساده‌ای از آنتروپی ترمودینامیکی برای هر توزیع ماکروسکوپی از سیستم را به‌صورت تابعی از تعداد آرایش‌های میکروسکوپی متناظر با آن به‌شکل ریاضی‌وار ارائه دهد:

$$S = K \log n$$

در این فرمول، S آنتروپیِ توزیع موردنظر ، n تعداد آرایش‌های متناظر با آن، و K ثابت بولتزمان است.[۳]

در این تعریف جدید، افزایش آنتروپی در واقع پیشروی به سمت ماکروحالت‌های محتمل‌تر است. با برقراری چنین رابطه‌ای بین آنتروپی و احتمالات، بولتزمان توانست قانون دوم ترمودینامیک را از شکل مطلقش خارج کند و آن را به‌صورت «اصلی آماری» بیان کند، به این ترتیب که: سیستم‌ها به سمتی نمی‌روند که از حالتی که در آن هستند نامحتمل‌تر باشند.[۴]

به‌نظر می‌رسد که پارادوکس‌های بازگشت‌ناپذیری بر تفسیر احتمالاتی از قانون دوم نیز قابل اعمال باشند، زیرا باز هم این سوال مطرح می‌شود که با وجود تقارن معکوس زمانی، قوانین حاکم بر ذرات تشکیل‌دهنده‌ی اجسام، چرا کاهش آنتروپی این‌قدر نامحتمل است؟ در واقع هنوز در دنیای ماکروسکوپی عدم‌تقارنی وجود دارد که با قوانین بنیادی میکروسکوپی، که نسبت به زمان متقارن‌اند، در تضاد است.[۵]

1. North, J., “Time in Thermodynamics”, p.12-13.
2. Statistical correlate
3. Ibid, p.13.
4. Horwich, P., *Asymmetries in Time*, p.62.
5. North, J., “Time in Thermodynamics”, pp.11-12.

Archive of SID

www.SID.ir

تفسیر آماری بولتزمان از قانون دوم توانست احتمال بالای افزایش آنتروپیِ سیستم‌ها را در آینده به‌خوبی تبیین کند. اما این تنها نتیجه‌ی آن نبود. این تفسیر همچنین بیان می‌داشت که آنتروپی هر سیستم به احتمال زیاد همان‌طورکه به سمت آینده افزایش می‌یابد به سمت گذشته نیز افزایش می‌یابد که این در تضادی آشکار با قانون دوم و تجارب روزمره‌ی ماست، زیرا همگی به یاد داریم که سیستم‌ها در گذشته دارای آنتروپی کمتری بوده‌اند. بنابراین، ایراد بازگشت‌پذیری که بر مکانیک آماری بولتزمان وارد است فقط این نیست که نمی‌تواند عدم‌تقارن را تبیین کند، بلکه این نیز هست که به‌طور غلط پیش‌بینی می‌کند که اصلاً هیچ عدم‌تقارنی نباید وجود داشته باشد؛ یعنی نشان می‌دهد که آنتروپی هم در زمان‌های قبل و هم در زمان‌های بعد دارای مقدار بالاتری نسبت به زمان حال است، در حالی‌که ما همگی به‌خاطر می‌آوریم که در گذشته بستنی‌ها منجمدتر، گازها متراکم‌تر و قهوه گرم‌تر از اتاق بوده است. در واقع، مشاهداتِ بازگشت‌ناپذیر بودند که در وهله‌ی اول ما را به سمت کشف قانونی جهت‌دار و سپس تلاش برای تبیین آن کشاندند.

بنابراین، اگرچه نظریه‌ای که در نهایت به‌دست آوردیم که آنچه را از رفتار آینده‌ی سیستم‌های ترمودینامیکی انتظار داریم به‌درستی پیش‌بینی می‌کند، این نظریه با رفتار آنها در گذشته تناقض دارد. اگر مکانیک آماری این نتیجه را بدهد که گذشته‌ی جهان با آنچه ما تجربه کرده‌ایم کاملاً متفاوت است، پس این نه‌تنها علم ترمودینامیک، بلکه سایر قوانین فیزیک را نیز که بر اساس شواهد موجود به‌دست آورده‌ایم زیر سوال می‌برد.

با تمام این اوصاف، شاید این‌گونه به‌نظر برسد که با رسیدن به این توصیف آماری از قانون دوم هیچ پیشرفتی حاصل نشده است؛ اما چنین نیست. با تلاش‌های بولتزمان و دیگران در مبانی مکانیک آماری تا این اندازه می‌توانیم نتیجه بگیریم که آنتروپی ماکروحالتِ هر سیستم، همان‌طورکه با توجه به شواهدمان انتظار داریم، با احتمال بسیار زیادی به سمت آینده افزایش می‌یابد. اما در این صورت مشکلی که باقی می ماند و باید حل شود اینست که به همان‌اندازه می‌توان از تفسیر آماری نتیجه گرفت که آنتروپی به سمت گذشته نیز افزایش می‌یابد.[1]

1. Ibid, p.16.

www.SID.ir

۲. دو دیدگاه برای حل مسأله‌ی بازگشت‌پذیری

بولتزمان در اواخر عمرش در پاسخ به ایرادات مطرح‌شده، تفسیری متقارن زمانی از عدم‌تقارن زمانی قانون دوم ترمودینامیک ارائه داد که «آشکارا این ایده را در بر دارد که جهتِ زمان، امری عینی نیست، بلکه نوعی نمود[۱] است، یعنی نتیجه‌ی جهت‌گیری خودِ ما در زمان است.»[۲] ایده‌ی وی از این قرار است که سیستم‌ها تقریباً همیشه نزدیک به حالت تعادل هستند، اما گاه ممکن است توسط نوسان‌هایی ناپایدار[۳] از حالت تعادل خارج شوند. بنابراین، هنگامی که سیستم در حالت خارج از تعادلش قرار دارد، بسیار احتمال دارد که قبل و بعد از آن در حالتی نزدیک‌تر به تعادل بوده باشد.[۴]

به‌عبارت دیگر، بولتزمان دریافت که با قبول استدلال آماری، شرایط جهان در حال حاضر بسیار غیرعادی است، زیرا دارای آنتروپی پایینی است؛ اما اگر به اندازه‌ی کافی زمان داشته باشیم این شرایط به همان اندازه اجتناب‌ناپذیر نیز خواهد بود. از نظر وی، وقوع شرایط استثنایی غیرممکن نبود، بلکه تنها بسیار نامحتمل بود. در واقع، این نتیجه‌ای ابتدایی از نظریه‌ی احتمالات است که «حتی نتایج بسیار نامحتمل نیز با گذشت زمانی طولانی با احتمال بالایی رخ خواهند داد».[۵]

بنابراین، لودویگ بولتزمان بیش از یک قرن پیش چارچوبی ارائه داد که در آن بتوان پدیده‌های بازگشت‌ناپذیر را بر مبنای قوانین بازگشت‌پذیرِ حاکم بر دنیای میکروسکوپی تبیین کرد. فیلسوفان و فیزیک‌دانانِ بسیاری از آن زمان به بعد تلاش کردند به بسط این ایده بپردازند و به کمک آن «مسأله‌ی بازگشت‌پذیری» را به‌طور کامل حل کنند. جین بریکمان[۶] از زمره‌ی افرادی است که باور دارند بولتزمان راه درستی را در پیش گرفته بوده است.

بریکمان باور دارد که اگر دیدگاه بولتزمان به‌درستی مطرح شود، می‌تواند بازگشت‌ناپذیریِ پدیده‌های ماکروسکوپی را به‌طور کامل تبیین کند.[۷] از نظر وی، تناقضی بین برقراری بازگشت‌ناپذیری در سطح ماکروسکوپی و بازگشت‌پذیری قوانین حاکم بر ذرات

1. appearance
2. Price, H.,“Time’s Arrow and Archimedes’ Point”, p.35.
3. Transient fluctuations
4. Sklar, L., “Philosophy of Statistical Mechanics”.
5. Price, H.,“Time’s Arrow and Archimedes’ Point”, p.33.
6. Jean Bricmont
7. Bricmont, J., “Science of Chaos or Chaos in Science?”, p.2.

Archive of SID

www.SID.ir

میکروسکوپی وجود ندارد، زیرا علاوه بر قوانین میکروسکوپی، «شرایط اولیه» نیز در بازگشت‌پذیر یا بازگشت‌ناپذیر بودنِ فرآیندهای ماکروسکوپی نقش دارند.[۱]

به عقیده‌ی او، جهان در حالتی بسیار دور از تعادل، یا به قول بولتزمان، «*حالتی نامحتمل*» آغاز شده است. او برای درک چنین شرایطی از تشبیه گاز کمک گرفته است، به این ترتیب که جهان در آغازِ خود مانند گازی بوده است که گوشه‌ی بسیار کوچکی از محفظه‌ی بسیار بزرگی را اشغال کرده است؛ احتمال چنین حالتی در واقع بسیار اندک است. خلاصه‌ی کلامِ بریکمان درباره‌ی مسأله‌ی بازگشت‌ناپذیری از این قرار است که: «تنها مسأله‌ی حقیقیِ مربوط به بازگشت‌ناپذیری تبیین رفتار بازگشت‌ناپذیر در آینده نیست، بلکه یافتن تبیینی برای شرایط «استثناییِ» جهان در گذشته است.» تبیین چنین شرایط استثنایی و نامحتملی از نظر وی هنوز مسأله‌ای حل نشده باقی مانده است.[۲]

اما دیدگاه بولتزمان منتقدانی نیز دارد. از جمله‌ی این منتقدان می‌توان از ایلیا پریگوژین[۳]، سردمدار مکتب بروکسل[۴] و برنده‌ی جایزه‌ی نوبل شیمی برای مطالعه درباره‌ی سیستم‌های خارج از تعادل ترمودینامیکی در سال ۱۹۷۷ نام برد که ادعا دارد راه حلی بدیل برای مسأله‌ی بازگشت‌پذیری یافته است. به عقیده‌ی وی، دیدگاه کلاسیک که از زمان بولتزمان آغاز شده است قادر به تبیین بازگشت‌ناپذیری پدیده‌های ماکروسکوپی نیست. از نظر وی، *ناپایداری دینامیکی* یا *آشوب*[۵] که مفهومی جدید در فیزیک قرن اخیر است، همان چیزی است که «بردار زمان»، یعنی جریان بازگشت‌ناپذیر از گذشته به آینده در جهان، را ایجاد می‌کند.

«آشوب» در کاربرد معمول به معنای «حالتی از بی‌نظمی[۶]» است. این واژه در نظریه‌ی آشوب به‌طور دقیق‌تری تعریف می‌شود. اگرچه تعریف ریاضی مورد قبول همگانی از آن وجود ندارد، تعریفی که معمولاً مورد استفاده قرار می‌گیرد به این صورت است: «آشوب نظریه‌ای است در حوزه‌ی ریاضیات کاربردی که رفتار سیستم‌های دینامیکی‌ای را مطالعه می‌کند که نسبت به شرایط اولیه بسیار حساس هستند.» منظور از «حساسیت نسبت به

1. Ibid, pp.13-14.
2. Ibid, p.16.
3. Ilya Prigogine
4. Brussels school
5. Dynamical instability, or chaos
6. randomness

Archive of SID

www.SID.ir

شرایط اولیه[1]» این است که کوچک‌ترین تغییر در شرایط اولیه‌ی چنین سیستم‌هایی نتایج بسیار متفاوتی به‌دست می‌دهد به‌طوری که انجام پیش‌بینی‌های بلند مدت برای آنها را غیرممکن می‌سازد.[2]

منظور از «شرایط اولیه‌ی» سیستم نیز، «مقادیرِ حاصل از اندازه‌گیری‌هایی است که در زمانِ آغاز مفروضی روی سیستم انجام می‌گیرد.» اینکه چه چیزی مورد اندازه‌گیری قرار گیرد به نوع سیستم مورد مطالعه بستگی دارد. برای مثال در سیستمی که قوانین نیوتون بر آن حاکم است معمولاً این شامل اندازه‌گیریِ مکان، سرعت و جهت حرکت تمام اجسام موجود در آن سیستم و همچنین شدت و جهت تمام نیروهای وارد بر آنها در زمانی مشخص در تاریخچه‌ی سیستم می‌شود.[3]

کشف آشوب را می‌توان به فیزیک‌دان و ریاضی‌دان فرانسوی هنری پوانکاره[4] نسبت داد. داد. وی که علاقه‌مند به مطالعه‌ی معادلاتی بود که حرکت سیارات به دور خورشید را توصیف می‌کردند، متوجه شد در برخی سیستم‌های نجومی (تشکیل‌شده از سه جسم یا بیشتر، که بر روی یکدیگر اثر بگذارند)، حتی کوچک‌ترین خطا در اندازه‌گیری‌های اولیه نیز باعث می‌شود که آنها غیرقابل پیش‌بینی شوند. این نتیجه با آنچه از لحاظ ریاضیاتی انتظار می‌رفت بسیار متفاوت بود، زیرا معادلات حرکتِ سیارات برگرفته از قوانین نیوتون کاملاً تعین‌پذیر بودند. تعین‌پذیری این معادلات بدین معناست که می‌توان با دانستن شرایط اولیه، مانند موقعیت و سرعت سیارات در زمانی مشخص، موقعیت و سرعت آنها را در هر زمان دیگری در آینده یا گذشته به‌دست آورد.

اما می‌دانیم که در واقع هیچ‌گاه نمی‌توان موقعیت و سرعت سیارات را با دقت نامحدود[5] نامحدود[5] اندازه‌گیری کرد. در نتیجه، همیشه در تمام پیش‌بینی‌های نجومیِ ناشی از قوانین نیوتونی عدم‌دقتی[6] هر چند کوچک وجود خواهد داشت. این عدم‌دقت در پیش‌بینی‌های نجومی، تا زمان پوانکاره مشکلی کوچک تلقی می‌شد و تفکر غالب و متداول این بود که

1. Sensitivity to initial conditions
2. Kellert, S. H., *In the Wake of Chaos: Unpredictable Order in Dynamical Systems*, p.32.
3. Trump, M. A., "What Is Chaos?".
4. Henri Poincare' (1854-1912)
5. Infinite precision
6. imprecision

Archive of SID

www.SID.ir

می‌توان به کمک دستگاه‌های اندازه‌گیری بهتر و در نتیجه کاهش عدم‌یقین[1] در شرایط اولیه، پیش‌بینی‌های دقیق‌تری انجام داد. اما پوانکاره متوجه شد که سیستم‌های نجومی مشخصی، مانند سیستم‌هایی که او مطالعه کرده بود و از سه جسم یا بیشتر تشکیل شده بودند، ظاهراً از این قانون پیروی نمی‌کنند و افزایش دقتِ شرایط اولیه همیشه باعث پیش‌بینی بهتر این سیستم‌ها نمی‌شود.

حل معادلات دیفرانسیل سیستم‌های متشکل از سه جسم (یا بیشتر) یکی از مسائلی است که فیزیک‌دانان را از زمان نیوتون تا کنون به خود مشغول کرده است و با اینکه صورت‌بندی مدل ریاضیاتی آن ساده به‌نظر می‌رسد، ارائه‌ی راه حلی کلی[2] از آن یکی از دشوارترین مسائل در ریاضیات محسوب می‌شود. به بیان دقیق‌تر، معادلات مربوط به سه جسم (یا بیشتر) دارای حل تحلیلی نیستند، بلکه تنها هنگامی که شرایط اولیه مشخصی وجود داشته باشد، می‌توان حلی عددی از آنها ارائه داد. اما تعیین دقیق شرایط اولیه امری غیرممکن به نظر می‌رسد، به این معنا که همواره عدم دقتی هر چند کوچک در تعیین آنها وجود دارد، بنابراین حل عددی معادلات سه جسم نیز دارای دقتی محدود خواهد بود.[3]

می‌توان گفت که مطالعه‌ی پوانکاره درباره‌ی «مسأله‌ی سه جسم» در اوایل قرن بیستم بود که منجر به کشف نظریه‌ی آشوب شد. در تاریخِ چند قرن اخیرِ فیزیک، تقریباً همیشه فرض بر این بوده است که اگر بتوان شرایط اولیه را با دقت بیشتر اندازه‌گیری کرد، عدم یقین در پیش‌بینیِ نهایی کمتر و کمتر خواهد شد. به عبارت دیگر، با وارد کردن اطلاعات دقیق‌تر در قوانین دینامیک کلاسیک (قوانین نیوتونی)، خروجیِ دقیق‌تری برای هر زمانِ دیرتر یا زودتر به‌دست خواهد آمد. برای مثال اگر در مطالعه‌ی حرکت موشکی شرایط اولیه را در هنگام پرتاب با دقتی ده برابر بیشتر تعیین کنیم، می‌توانیم موقعیت نهایی موشک را نیز ده برابر دقیق‌تر به‌دست آوریم. اما پوانکاره نشان داد که کوچک‌ترین عدم دقت در شرایط اولیه‌ی سیستم‌هایی مانند سیستم‌های متشکل از سه جسم در طول زمان به میزان بسیار زیادی افزایش خواهد یافت تا جایی که پیش‌بینی را غیرممکن می‌سازد. برای مثال، اگر دو مجموعه‌ی متفاوت از شرایط اولیه‌ی چنین سیستمی را داشته باشیم به‌طوری که

1. uncertainty
2. a general solution
3. Bertuglia, C. S. & Vaio, F., *Nonlinearity, Chaos, and Complexity: The Dynamics of Natural and Social Systems*, p.22.

Archive of SID

www.SID.ir

آن‌قدر به‌هم نزدیک باشند که تقریباً از هم قابل تشخیص نباشند، پیش‌بینی‌های نهایی آنها کاملاً با هم متفاوت خواهند بود.

پوانکاره به‌طور ریاضیاتی ثابت کرد که حتی اگر بتوانیم عدم‌یقین در تعیین شرایط اولیه‌ی چنین سیستم‌هایی را تا جای ممکن کوچک کنیم، باز هم در پیش‌بینی آنها با عدم‌یقینِ بزرگی روبه‌رو خواهیم شد. یعنی، اگر برای مثال می‌شد اندازه‌های اولیه را با دقتی صد یا میلیون برابر بیشتر مشخص کرد، برخلاف آنچه در فیزیک کلاسیک انتظار می‌رود، عدم‌یقین در تعیین حالت سیستم در زمان‌های بعد یا قبل تغییر زیادی نمی‌کرد و باز هم با عدم‌یقین بسیار بزرگی روبه‌رو می‌شدیم.

بنابراین، نکته‌ی مهمی که پوانکاره به کمک تحلیل ریاضیاتی‌اش در پی اثبات آن بود این مطلب بود که پیش‌بینی چنین «سیستم‌های پیچیده‌ای» با هر درجه از دقت، تنها در صورتی ممکن است که بتوان شرایط اولیه‌ی آنها را با دقتی *نامحدود* مشخص کرد، زیرا وی در سیستم‌های نجومی مورد مطالعه‌اش مشاهده کرد که کوچک‌ترین بی‌دقتی، حال هر چند ناچیز که باشد، پس از گذشت زمانی کوتاه منجر به عدم یقین در پیش‌بینی می‌شود، به‌طوری که گویا به جای قوانین تعین‌پذیر، شانس[1] بر آنها حاکم است.[2]

عموماً گفته می‌شود که سیستم‌های آشوبناک به‌طور کلی دارای دو ویژگی برجسته هستند، که هنگام ارائه‌ی تعریف از آشوب معمولاً یک یا هر دوی این ویژگی‌ها را بیان می‌کنند. یکی از این دو ویژگی این است که سیستم‌های آشوبناک در مدت زمان نسبتاً طولانی به گونه‌ای رفتار می‌کنند که گویا فرآیندهایی شانسی یا بی‌نظم[3] هستند. به این ویژگی «بی‌نظمی» می‌گویند. ویژگی دوم همان «حساسیت نسبت به شرایط اولیه» است که می‌توان آن را به این شکل تعریف کرد که حالت‌های دو سیستم که شرایط اولیه‌ی تقریباً یکسانی[4] دارند با گذشت زمان کاملاً از هم مجزا می‌شوند.[5] عموماً این تفاوت در حالت چنین سیستم‌هایی در مدت زمانی محدود و کوتاه رخ می‌دهد.[6]

1. Random chance
2.Trump, M. A., “What Is Chaos?”.
3. Random or stochastic process
4. Nearly identical
5. diverge
6. Hoefer, C., “causal Determinism”.

Archive of SID

www.SID.ir

همان‌طورکه گفته شد، پریگوژین راه حل مسأله‌ی بازگشت‌پذیری را در نظریه‌ی آشوب جستجو می‌کرد. او تلاش‌های بولتزمان در تبیین بازگشت‌ناپذیری بر پایه‌ی قوانین بازگشت‌پذیر را شکست‌خورده می‌دانست، زیرا به عقیده‌ی او «بازگشت‌ناپذیری یا در تمام سطوح برقرار است و یا بر هیچ سطحی برقرار نیست: یعنی نمی‌تواند در گذار از یک سطح به سطح دیگر ظاهر شود به‌طوری که گویا از هیچ پدید آمده است.»[1] او می‌گوید، هر چند قوانین بنیادی فیزیک-از دینامیک نیوتونی کلاسیک گرفته تا فیزیک کوانتوم و نسبیت- بازگشت‌پذیر و مستقل از زمان هستند و هیچ تفاوتی بین گذشته و آینده قائل نمی‌شوند، بازگشت‌ناپذیری و عدم‌تقارن بین گذشته و آینده در همه‌جا از جمله در شیمی، کیهان‌شناسی، بیولوژی، زمین‌شناسی و علوم انسانی دیده می‌شود. در نتیجه بازگشت‌ناپذیری باید همان‌طورکه در سطح ماکروسکوپی وجود دارد در سطح میکروسکوپی هم وجود داشته باشد.

از نظر پریگوژین، ارتباطی اساسی بین آشوب و بازگشت‌ناپذیری وجود دارد، به این معنا که وجود سیستم‌های دینامیکی آشوبناک باعث ایجاد درک جدیدی از بازگشت‌ناپذیری می‌شود، و این دیدگاه را که قوانین حاکم بر طبیعت تعین‌پذیر هستند، زیر سؤال می‌برد. همان‌طورکه می‌دانیم، قوانین فیزیک کلاسیک و همچنین معادله‌ی شرودینگر همگی تعین‌پذیر هستند، یعنی با داشتن شرایط سیستم در زمانی مشخص می‌توان به کمک اعمال این قوانین بر آنها شرایط همان سیستم را در زمان‌های قبل و بعد به‌دست آورد، و هر چه این شرایط ابتدایی را با دقت بیشتری بدانیم حالت‌های قبل و بعدِ سیستم را می‌توانیم با دقت بیشتری به‌دست آوریم. اما از نظر پریگوژین، تعین‌پذیری دیگر عقیده‌ی علمی قابل قبولی نیست و «هر چه بیشتر درباره‌ی جهانمان بدانیم، باور به تعین‌پذیری دشوارتر می‌شود»[2]، زیرا تعین‌پذیری نمی‌تواند بازگشت‌ناپذیری و ناپایداری را تبیین کند و اساساً ردّ بردار زمان است.

به عقیده‌ی پریگوژین، در فیزیکِ تعین‌پذیر، همه‌ی فرآیندها بازگشت‌پذیر زمانی هستند، در حالی‌که در دنیای واقعی بازگشت‌ناپذیری نقش بسیار پررنگی دارد. به بیان وی «در جهانی تعین‌پذیر، بازگشت‌ناپذیری بی‌معنا خواهد بود، زیرا جهانِ فردا از قبل در جهانِ

1. Bricmont, J., "Science of Chaos or Chaos in Science?", p.10.
2. Prigogine, I., *The End of Certainty*, p.155.

www.SID.ir

امروز مندرج خواهد بود، [و] دیگر نیازی به صحبت از بردار زمان نخواهد بود.»[۱] به‌عبارت دیگر، در جهانی تعین‌پذیر، بازگشت‌ناپذیری وجود نخواهد داشت و وجود ناپایداری‌های دینامیکی است که منجر به تخریب تقارن زمانی و همچنین ردّ تعین‌پذیری می‌شود. در واقع، فیزیک تعین‌پذیر از توصیف بخش بزرگی از جهان عاجز است، اما شناخت *تعین‌ناپذیری*[۲] در مطالعه‌ی سیستم‌های ناپایدار باعث بسط فیزیک می‌شود تا جایی که پدیده‌های بازگشت‌ناپذیر را نیز دربرگیرد.[۳]

تعین‌پذیری عقیده‌ای فلسفی است که بر اساس آن هر رویداد یا حرکتی[۴] نتیجه‌ی اجتناب‌ناپذیر رویدادها و حرکت‌های قبل از خود است. بنابراین دیدگاه، هر رویداد یا حرکتی، لااقل علی‌الاصول، می‌تواند از پیش یا با نگاهی به گذشته[۵] پیش‌بینی شود.[۶] مطابق مدلِ تعین‌پذیر از علم، که از قرن شانزدهم میلادی رواج پیدا کرده است، تمام حرکت‌ها و ساختارهای جهان مادی به‌طور کامل توسط قوانینی علّی[۷] هدایت می‌شوند و جهان مانند ماشین بی‌عیب و نقصی[۸] است که بدون کوچک‌ترین انحراف از قوانین ازپیش‌تعیین‌شده[۹] در در طول زمان تکامل می‌یابد.

مهم‌ترین نقش در استقرار تعین‌پذیری در هسته‌ی علم جدید را ایزاک نیوتون در حدود سیصد سال پیش ایفا کرد. وی توانست با کشف چند اصل فیزیکی که تنها در چند جمله قابل بیان بودند نشان دهد که به کمک این اصول می‌توان حرکت[۱۰] را در گستره‌ی عظیمی از سیستم‌ها با دقت بسیار بالا پیش‌بینی کرد.[۱۱] فیزیک نیوتونی برای اولین بار تعیین دینامیک اجسام توسط معادلات ساده را ممکن ساخت. به‌همین سبب، اغلب گفته می‌شود که تعین‌پذیری در قرن هفدهم توسط نیوتون وارد فیزیک شد.

---

1. Bricmont, J., “Science of Chaos or Chaos in Science?”, p.34.
2. indeterminism
3. Prigogine, I., *The End of Certainty*, p.55.
4. Event or action
5. In retrospect
6. Trump, M. A., “What Is Chaos?”.
7. Cause-and-effect rules
8. A perfect machine
9. Predetermined laws
10. motion
11. Trump, M. A., “What Is Chaos?”.

Archive of SID

www.SID.ir

ایده‌ی تعین‌پذیری که با سنت نیوتونی آغاز شد تأثیر بسزایی بر علم گذاشت و در بین دانشمندان نفوذ گسترده‌ای پیدا کرد. در اواخر قرن هجدهم میلادی، پیر سیمون لاپلاس[۱] کار نیوتون را به‌طور جدی در این زمینه ادامه و بسط داد. وی هویتی فرضی[۲] را معرفی کرد که بعدها به «*شبح لاپلاس*»[۳] مشهور شد. از نظر او، اگر موجودی فرضی آن‌قدر توانایی داشته باشد که مکان و تکانه‌ی دقیق هر اتم را در جهان بداند، می‌تواند به کمک قوانین تعین‌پذیر از تمام رخدادهای[۴] جهان، در گذشته و آینده باخبر شود. «ما باید حالت کنونی جهان را معلول حالت گذشته‌ی آن و علّتِ حالتی که در آینده می‌آید در نظر بگیریم. هوشمندی‌ای[۵] که به تمام نیروهای حاکم بر طبیعت در لحظه‌ای مشخص، و همچنین بر موقعیت‌های لحظه‌ایِ تمام چیزها در جهان آگاهی دارد، خواهد توانست حرکت بزرگ‌ترین اجسام را به‌خوبیِ سبک‌ترین اتم‌ها در جهان در فرمولی واحد درک کند، به شرط آنکه هوشمندی او به اندازه‌ی کافی قوی باشد که همه‌ی داده‌ها را مورد تحلیل قرار دهد. برای او هیچ چیز غیرقطعی[۶] نیست، آینده مانند گذشته در برابر چشمانش حاضر خواهد بود.»[۷] این این هوشمندی همان مفهومی است که بعدها «شبح لاپلاس» نام‌گذاری شد.

مسأله‌ای که باید در اینجا به آن توجه کرد این است که لاپلاس با اینکه امیدوار بود بشر به درک علمی بهتری از جهان دست یابد و در این راه پیشرفت کند، تصدیق می‌کرد که چنین سطح کاملی از درک همیشه ورای دسترس معرفت بشری خواهد بود، زیرا قدرت محاسبه‌ی عظیمی لازم خواهد بود که تمام پیش شرط‌ها را در لحظه‌ای مشخص در نظر گیرد. با این حال، در جهانِ لاپلاس همه چیز از پیش تعیین شده است و هیچ شانس، انتخاب و عدم‌قطعیتی در آن وجود ندارد.

پریگوژین «شبح لاپلاس» که جهانی کاملاً تعین‌پذیر و قابل‌پیش‌بینی را توصیف می‌کند، کابوس می‌نامد و می‌گوید که در جهانی که آشوب وجود داشته باشد این شبح «دیگر نمی‌تواند آینده را پیش‌بینی کند مگر اینکه شرایط اولیه را با دقت نامحدود بداند. ...

1. Pierre-Simon Laplace
2. A hypothetical entity
3. Laplace’s demon
4. events
5. An intelligence
6. uncertain
7. Hoefer, C., “causal Determinism”.

Archive of SID

www.SID.ir

اما [در این صورت نیز] ناپایداری نیرومندتری وجود دارد [که پیش‌بینی دقیق را غیرممکن می‌سازد].»[1] از نظر وی، ایده‌ی تعین‌پذیری دیگر قابل دفاع نیست و قوانین طبیعت در واقع احتمالاتی هستند، به این معنا که حتی اگر شرایط اولیه‌ی جهان را با دقت کامل بدانیم به کمک این قوانین باز هم نخواهیم توانست آینده را در دراز مدت پیش‌بینی کنیم.

به بیان وی «قوانین فیزیک، آن‌گونه که در شیوه‌ی سنتی صورتبندی شده است، جهانی پایدار و ایده‌آل‌شده را توصیف می‌کند که با جهان در حال تکاملِ ناپایداری که در آن زندگی می‌کنیم کاملاً متفاوت است.»[2] به‌همین دلیل باید دینامیک کلاسیک را بسط داد تا شامل فرآیندهای بازگشت‌ناپذیر و ناپایداری نیز بشود. از نظر وی، «بازگشت‌ناپذیری زمانی آغاز می‌شود که مکانیک کلاسیک و کوانتومی پایان گیرد. [البته] این به آن معنا نیست که مکانیک کلاسیک و کوانتومی اشتباه هستند، بلکه آنها متناظر با ایده‌آل‌سازی هستند.»[3]

پریگوژین بارها از لزوم ارائه‌ی صورتبندی جدیدی از «قوانین طبیعت» به‌منظور در برگرفتن فرآیندهای بازگشت‌ناپذیر سخن گفته است، زیرا این قوانین در دیدگاه کلاسیک تنها شامل فرآیندهای بازگشت‌پذیر می‌شوند، در صورتی که در جهان به همان اندازه و شاید حتی بیشتر فرآیندهای بازگشت‌ناپذیر وجود دارد، و قانونی را می‌توان درست دانست که تمام رویدادها را در جهان دربرگیرد، نه‌تنها بخشی از آن را.[4] وی بر این باور است که قوانین قوانین طبیعت در دیدگاه کلاسیک قطعیت را بیان می‌کنند، در حالی‌که با در نظر گرفتن ناپایداری‌های دینامیکی «معنای قوانین طبیعت اساساً تغییر می‌کند زیرا آنها اکنون بر امکان یا احتمال دلالت دارند.»[5] با این حال، پریگوژین هیچ‌گاه تعریف مشخصی از «قوانین طبیعت» ارائه نکرده است.

به‌طور کلی می‌توان سه دیدگاه درباره‌ی قوانین طبیعت بیان کرد. در دیدگاه اول که «نظریه‌ی ضرورت»[6] نام دارد، قوانین طبیعت «اصولی» هستند حاکم بر پدیده‌های طبیعیِ جهان.[7] بر طبق این دیدگاه، قوانین طبیعت تبیین‌گران نیرومندی[1] هستند که به ما

1. Prigogine, I., *The End of Certainty*, p.38.
2. Ibid, p.26.
3. Prigogine, I., *From Being to Becoming: Time and complexity in the Physical Physical Sciences*, p.8.
4. Prigogine, I., *The End of Certainty*, p.18.
5. Ibid, p.4.
6. The Necessitarian Theory
7. Swartz, N., "Laws of Nature".

Archive of SID

www.SID.ir

می‌گویند چرا چیزها به شیوه‌های مشخصی رخ می‌دهند. معمولاً در علوم فیزیکی این فرض که قوانینی بنیادی و بدون استثنا در طبیعت وجود دارند بی‌چون‌وچرا پذیرفته می‌شود و عبارت‌هایی مانند «حاکم بودنِ قوانین» آن‌چنان معمول به‌نظر می‌رسد که قبول استعاری‌بودن[۲] آنها دشوار است.[۳] در دیدگاه دوم، قوانین طبیعت بیانی هستند از یکنواختی‌ها[۴] و قاعده‌مندی‌های جهان، که «نظریه‌ی انتظام»[۵] نام دارد. بر طبق این دیدگاه، قوانین طبیعت فقط توصیف‌هایی هستند از آنچه در جهان رخ می‌دهد. در نتیجه، این قوانین از هیچ ضرورت فیزیکی‌ای برخوردار نیستند.[۶]

اما گروه سومی از فلاسفه نیز هستند که باور دارند قوانین طبیعت، به معنای قوانینی درست[۷]، بدون استثنا و جهان‌شمول، در حقیقت وجود ندارند. این اقلیتِ ضدِ قانون[۸] و درحال رشد جزو کسانی هستند که سعی دارند به این سؤال که آیا قوانین طبیعت وجود دارند یا نه به کمک استدلال‌های متافیزیکی و همچنین دانشی که از جهان فیزیکی به‌دست آورده‌ایم پاسخ دهند.[۹]

قوانین طبیعت را معمولاً از «*قوانین علمی*»[۱۰] تمییز می‌دهند. قوانین علمی را «برخی از محققان تلاشِ دانشمندان در بیان یا تخمین قوانین طبیعت در نظر می‌گیرند. ... قوانین علمی (یا قوانین فیزیکی)-با تعداد کمی استثنا-دقیق نیستند، در بهترین حالت تخمین‌هایی از حقیقت اند و دارای بازه‌ی محدودی از کاربرد هستند.»[۱۱] اما اگر قوانین علمی دقیق نیستند و تنها تخمینی از حقیقت اند، پس باید قوانینِ دیگری وجود داشته باشند که خودِ حقیقت[۱۲] باشند. چنین قوانینی بدون شک دقیق و پیچیده‌تر خواهند بود و منظور از آنها

1. Pushy explainers
2. metaphorical
3. Hoefer, C., “causal Determinism”.
4. uniformities
5. The Regularity Theory
6. Swartz, N., “Laws of Nature”.
7. true
8. Anti-laws minority
9. Hoefer, C., “causal Determinism”.
10. Scientific laws
11. Swartz, N., “Laws of Nature”.
12. Literally true

Archive of SID

www.SID.ir

همان «قوانین طبیعت» است.[۱]

اما به‌نظر می‌رسد که پریگوژین تفاوتی بین قوانین طبیعت و قوانین علمی قائل نباشد، زیرا می‌گوید: «علم کلاسیک بر نظم و پایداری تأکید داشت. اما اکنون ناپایداری ... و محدودیتِ پیش‌بینی در تمام سطوحِ مشاهده را می‌بینیم. ... اکنون می‌توانیم فیزیک کوانتوم و کلاسیک را بسط دهیم تا شامل ناپایداری و آشوب شود. در نتیجه قادر خواهیم بود که به صورت‌بندی‌ای از قوانین طبیعت دست یابیم که برای توصیف جهانِ در حال تکامل ما مناسب باشد، توصیفی که شامل بردار زمان باشد، زیرا گذشته و آینده دیگر نقش‌های متقارنی بازی نمی‌کنند. در دیدگاه کلاسیک- و اینجا مکانیک کوانتومی و نسبیت را به حساب می‌آوریم- قوانین طبیعت قطعیت را بیان می‌کنند. ... [اما] وقتی که ناپایداری در کار باشد، دیگر این‌گونه نیست و معنای قوانین طبیعت اساساً تغییر می‌کند، زیرا آنها اکنون بر امکان یا احتمالات دلالت دارند.»[۲] از این گفته‌ی پریگوژین می‌توان نتیجه گرفت که قوانین علمی مانند دینامیک کلاسیک و فیزیک کوانتوم و نسبیت، از نظر وی همان قوانین طبیعت اند.

با وجود تمام دیدگاه‌های ذکر شده نسبت به قوانین طبیعت، این سؤال به وجود می‌آید که: اگر قوانین حاکم بر جهان کاملاً تعین‌پذیر باشند، آیا باز هم ممکن است به نظر برسد که تعین‌ناپذیری حاکم است؟ این یکی از پرسش‌های دشواری است که نظریه‌ی آشوب در معرفت‌شناسیِ تعین‌پذیری[۳] برانگیخته است. حقیقت این است که اگر در طبیعت با سیستمی روبه‌رو شویم که ظاهراً از خود خواصی تعین‌ناپذیر نشان می‌دهد، با یکی از دو فرض زیر روبه‌رو خواهیم بود:

«۱. چنین سیستمی توسط قوانینی که واقعاً نامتعین و شانسی هستند (یا اصلاً توسط هیچ قانونی) هدایت می‌شود، یعنی، بی‌نظمیِ ظاهری آن در واقع بی‌نظمی *حقیقی*[۴] است.

۲. چنین سیستمی توسط قوانین متعین بنیادی[۵] هدایت می‌شود، اما آشوبناک است.»[۶]

1. Swartz, N., “Laws of Nature”.
2. Prigogine, I., *The End of Certainty*, p.4.
3. the epistemology of determinism
4. *Real* randomness
5. Underlying deterministic laws
6. Hoefer, C., “causal Determinism”.

Archive of SID

www.SID.ir

با شناخت سیستم‌های آشوبناک در قرن اخیر و مشاهده‌ی تنوع آنها، فهمیدن اینکه رفتارِ ظاهراً بی‌قاعده‌ی چنین سیستم‌هایی تنها ناشی از شانس است یا آشوبِ تعین‌پذیر[1] بسیار دشوار و حتی غیرممکن به‌نظر می‌رسد. با توجه به مشکل مذکور، پاتریک ساپز[2] فیلسوف آمریکایی قرن اخیر، به‌خوبی نتیجه گرفته است که صرف‌نظر از اینکه تعداد مشاهدات انجام شده چقدر باشد «متافیزیک‌دانانِ تعین‌پذیر می‌توانند با دانستن اینکه به‌طور تجربی نمی‌توانند ابطال شوند با خیال راحت دیدگاه‌شان را حفظ کنند، اما طرفداران تعین‌ناپذیری نیز می‌توانند همین کار را انجام دهند.»[3]

به عقیده‌ی پریگوژین، دیدگاه اول در مورد چیستی قوانین حاکم بر سیستم‌های آشوبناک حقیقت دارد و «فرضیه‌ی تعین‌ناپذیری» «نتیجه‌ی طبیعیِ نظریه‌ی جدید از ناپایداری و آشوب است.»[4] به باور او، آشوب و ناپایداری دینامیکی تحول علمی بزرگی است که مفاهیمی مانند تعین‌پذیری و تقارن زمانی را که تا قبل از آن ویژگی‌های اصلی قوانین طبیعت محسوب می‌شدند بی‌اعتبار می‌کند و در نتیجه به ارائه‌ی مفهوم جدیدی از بازگشت‌ناپذیری می‌پردازد.[5]

پریگوژین باور دارد که هر سیستم ناپایدار را تنها می‌توان به‌صورت احتمالی یا آماری توصیف کرد و توصیف چنین سیستم‌هایی بر حسب مسیرهای منفرد امکان‌پذیر نیست، زیرا مسیرها به‌طور کلی نسبت به زمان متقارن‌اند در حالی‌که *ناپایداری* تقارن زمانی را می‌شکند. به‌عبارت دیگر، از نظر وی در صورت وجود ناپایداری، هم‌ارزیِ بین توزیع احتمالاتی و مسیرهای منفرد از بین می‌رود. در نتیجه، برخلاف آنچه در سیستم‌های پایدار دیده می‌شود توصیف احتمالاتی دیگر قابل تقلیل به توصیف بر حسب مسیرهای معین و متمایز نخواهد بود.[6]

از نظر پریگوژین، آنچه تقارن زمانی را می‌شکند *ناپایداری* است و این همان چیزی است که ما را از سنت تعین‌پذیرِ کلاسیک دور می‌کند. در نتیجه، باید قوانین طبیعت را از نو صورت‌بندی کرد، به‌طوری که دیگر نشان‌دهنده‌ی قطعیت نباشند، بلکه احتمالات را نشان

1. Deterministic chaos
2. Patrick Suppes (1922-)
3. Ibid.
4. Prigogine, I., *The End of Certainty*, p.56.
5. Bricmont, J., "Science of Chaos or Chaos in Science?", p.1.
6. Prigogine, I., *The End of Certainty*, p.21, 35.

Archive of SID

www.SID.ir

دهند. به بیان وی «اکنون می‌توانیم احتمالات را در صورتبندی قوانین بنیادی فیزیک بگنجانیم. به‌محض انجام چنین کاری، تعین‌پذیری نیوتونی کنار گذاشته می‌شود. آینده دیگر به کمک گذشته متعین نیست و تقارن بین گذشته و آینده شکسته می‌شود.»[1] به نظر او، با این صورت‌بندی جدید از قوانین می‌توان فرآیندهای بازگشت‌ناپذیر را به‌خوبی تبیین کرد.

جین بریکمان آرای ذکر شده‌ی پریگوژین در این مقاله را تندروانه می‌داند و باور دارد که وجود سیستم‌های دینامیکی آشوبناک دیدگاه تعین‌پذیر کلاسیک را ابطال نمی‌کند، بلکه آن را تقویت[2] می‌کند. بریکمان طرفدار دیدگاه تعین‌پذیر لاپلاس از جهان است و بر این مسأله تأکید دارد که دیدگاه کلاسیک بولتزمان قادر است بازگشت‌ناپذیریِ ماکروسکوپی را به‌خوبی بر پایه‌ی قوانین میکروسکوپیِ بازگشت‌پذیر و تعین‌پذیر تبیین کند.[3] وی برخلاف پریگوژین، تناقضی بین بازگشت‌ناپذیری در سطح ماکروسکوپی و بازگشت‌پذیری در سطح میکروسکوپی نمی‌بیند، زیرا به عقیده‌ی وی نباید از نقش «شرایط اولیه» در تبیین فرآیندهای ماکروسکوپی غافل شد.

به عقیده‌ی بریکمان، برخلاف آنچه پریگوژین تصور می‌کند، هم‌ارزیِ بین توزیع‌های احتمالی و مسیرهای منفرد در سیستم‌های ناپایدار از بین نمی‌رود. به‌عبارت دیگر، «هر سیستم فیزیکی، چه آشوبناک باشد یا نه، توسط مسیری در فضای فازی توصیف می‌شود و مطمئناً توسط توزیع‌های احتمالاتیِ متناظر به‌طور مناسب توصیف نمی‌شود. ... [توصیف بر حسب توزیع احتمالاتی] تا اندازه‌ای جهل ما را از آن مسیر نشان می‌دهد. بنابراین، رفتار «بازگشت‌ناپذیر» آنها ویژگی فیزیکی اصلیِ سیستم نخواهد بود.»[4] وی از این موضوع نتیجه می‌گیرد که برخلاف دیدگاه پریگوژین، نیازی به تجدید نظر[5] در مفهوم قانون طبیعت نیز وجود ندارد.

بریکمان در واقع تلاش دارد از ایده‌های بولتزمان و لاپلاس در مقابل آنچه سوءتفاهم و سوءتعبیرهایی از مفاهیم بازگشت‌ناپذیری، آشوب و بردار زمان می‌داند حمایت کند. یکی از سوءتفاهم‌هایی که بریکمان سعی در رفع آن دارد معنایی است که اغلب به *آشوب* نسبت داده می‌شود. وی به این باور عمومی اشاره دارد که گویی آشوب تحولی فلسفی و معنایی در

1. Prigogine, I., *The End of Certainty*, p.5-6.
2. strengthens
3. Bricmont, J., "Science of Chaos or Chaos in Science?", p.2.
4. Ibid, p.17.
5. rethink

www.SID.ir

قرن جدید ایجاد کرده است که در نتیجه‌ی آن دیدگاه کلاسیکِ توصیف شده توسط لاپلاس باید کنار گذاشته شود. اما حقیقت این است که چنین نیست و آشوب تنها پیشرفتی علمی است که حتی یک کلمه از آنچه را لاپلاس بیان کرده است، تغییر نمی‌دهد.[۱]

نکته‌ی دیگری که بریکمان به انتقاد از آن می‌پردازد، ردّ تعین‌پذیری توسط پریگوژین است. از نظر وی، انکارِ *تعین‌پذیری* در سیستم‌های آشوبناک تنها می‌تواند ناشی از خَلط آن با مفهوم «*قابل پیش‌بینی بودن*»[۲] باشد. تفاوت این دو مفهوم از این قرار است: «تعین‌پذیری مربوط به این است که طبیعت چگونه رفتار می‌کند و قابل پیش‌بینی بودن مربوط به چیزی است که ما، یعنی انسان‌ها، می‌توانیم به مشاهده، تحلیل و محاسبه‌ی آن بپردازیم.»[۳] اما به‌نظر می‌رسد که طرفداران مکتب بروکسل توجهی به این تمایز نکرده‌اند و از این حقیقت که سیستم‌های آشوبناک غیرقابل پیش‌بینی هستند (در زمان‌های نسبتاً طولانی) به این نتیجه رسیده‌اند که قوانینی *تعین‌ناپذیر* بر آنها حاکم اند.

بریکمان نشان می‌دهد که این نتیجه‌گیری نمی‌تواند از لحاظ منطقی درست باشد، زیرا می‌توان سیستم‌های تعین‌پذیری را معرفی کرد که غیرقابل پیش‌بینی باشند. برای مثال سیستمی را مانند ساعت یا پاندول که تعین‌پذیرند در نظر می‌گیریم. می‌توان شرایطی را فرض کرد که حالت اولیه‌ی این سیستم‌ها بر ما معلوم نباشند. برای مثال در جایی مانند قله‌ی کوه یا کُمُد قرار گرفته باشند به‌طوری که از شرایط اولیه‌شان بی‌خبر باشیم. در این صورت پیش‌بینی شرایط چنین سیستم‌هایی غیرممکن خواهد بود. اما از این عدم توانایی در پیش‌بینی به‌هیچ‌وجه این نتیجه به‌دست نمی‌آید که این سیستم‌ها تعین‌ناپذیرند. به‌عبارت دیگر «هیچ‌گاه نمی‌توانیم از جهلمان[۴] به تنهایی تعین‌ناپذیری را نتیجه بگیریم.»[۵] بنابراین، نمی‌توان گفت که هر سیستمی که قابل پیش‌بینی نباشد تعین‌پذیر نیست، زیرا ممکن است غیرقابل پیش‌بینی بودنِ آن تنها ناشی از محدودیت‌ها و جهل ما باشد.[۶]

1. Ibid, pp.3,7.
2. predictability
3. Ibid, p.3.
4. Our ignorance
5. Ibid, p.4.
6. Ibid.

Archive of SID

www.SID.ir

از نظر بریکمان، استنتاج تعین‌ناپذیری از قابل پیش‌بینی نبودنِ سیستم‌ها نمونه‌ای از مغالطه‌ای است که توسط ادوین جینز[1] فیزیکدان آمریکایی «مغالطه‌ی فرافکنی»[2] نامیده شده است. بر طبق این مغالطه، انسان‌ها افکار و تصورات خود را به جهان واقعی نسبت می‌دهند. به بیان خود جینز «ما همگی تحت وسوسه‌ای خود-گردان[3] هستیم که افکار شخصیتمان را بر جهان حقیقی فرا فکنیم، با فرض اینکه محصولِ تصوراتمان ویژگی‌های حقیقی طبیعت هستند یا اینکه جهلمان حاکی از نوعی عدم تصمیم‌گیری در طبیعت است.» برای اجتناب از چنین مغالطه‌ای مسلماً باید تمایزی آشکار بین «خود جهان» و «بازنمایی ما[4] از آن» قائل شد.[5]

بریکمان باور دارد که برخلاف پریگوژین و طرفدارانش، لاپلاس در چند قرن پیش به‌خوبی به این تمایز توجه کرده و دچار چنین مغالطه‌ای نشده است. لاپلاس دیدگاهی تعین‌پذیر از جهان ارائه داد، اما همواره بر کامل نبودن معرفت انسان و در نتیجه بر اینکه هیچ‌گاه نخواهیم توانست همه‌چیز را پیش‌بینی کنیم تأکید داشته است. بنابراین، *کابوس* نامیدن شبح لاپلاس، آن‌گونه که پریگوژین بیان کرده است، اشتباهی محض است، زیرا مطابق این دیدگاه، برخلاف آنچه پریگوژین برداشت کرده بود، انسان هیچ‌گاه نمی‌تواند به آگاهی کاملی از آینده دست یابد و همه چیز را پیش‌بینی کند.

به عقیده‌ی بریکمان، ایده‌ی تعین‌پذیری رابطه‌ی مستقیمی با چیستیِ قوانین طبیعت دارد. در واقع تعین‌پذیری در صورتی برقرار خواهد بود که تابعی مانند F *وجود داشته باشد* که حالت سیستم در زمانی مانند t_1 را به حالت سیستم در زمانی دیگر مانند t_2 نسبت دهد. منظور بریکمان از «وجود داشتن» چنین تابعی در اینجا، به گفته‌ی خود وی در مفهوم *افلاطونیِ*[6] آن است، به این معنا که اشاره‌ای به *دانش*[7] ما ندارد: «تابع مورد نظر ممکن است است ناشناخته باشد، یا اصلاً غیرقابل‌شناخت باشد، یا آن‌قدر پیچیده باشد که حتی اگر شناخته شود، در عمل، به‌کار بردن آن برای انجام پیش‌بینی غیرممکن باشد.»[8] به‌عبارت

1. Edwin Thompson Jaynes (1922-1998)
2. The “Mind Projection Fallacy”
3. ego-driven
4. our representation
5. Ibid, p.6.
6. in a “Platonic” sense
7. *knowledge*
8. Ibid, p.3.

Archive of SID

www.SID.ir

دیگر، همان‌طورکه در مورد سیستم‌های آشوبناک بیان شد، معادلات دینامیکی حاکم بر سیستم‌ها ممکن است کاملاً تعین‌پذیر باشند، اما ما از پس حل تحلیلی آنها برنیاییم.

بریکمان می‌گوید که دو گزینه برای دیدگاه تعین‌پذیر می‌تواند وجود داشته باشد. یکی اینکه اصلاً هیچ قانونی وجود نداشته باشد و دیگری اینکه قوانینی شانسی[1] وجود داشته باشند، به این معنا که اگر شرایط سیستمی را در زمانی مشخص با تمام جزئیات آن بدانیم باز هم نتوانیم حالت آن را در زمان‌های بعد به‌طور دقیق تعیین کنیم، بلکه تنها توزیعی احتمالاتی از آن به‌دست آوریم.[2] در حالتی که قوانین طبیعت شانسی باشند، دو حالتِ کاملاً کاملاً یکسان در یک سیستم می‌توانند پس از گذشت مدتی کوتاه به حالت‌های کاملاً متفاوتی ختم شوند. اما این چیزی نیست که در سیستم‌های ناپایدار با آن روبه‌رو می‌شویم. مشکل اصلی در چنین سیستم‌هایی این است که هیچ‌گاه نمی‌توانیم شرایط اولیه‌ی آنها را با دقت کامل اندازه بگیریم و این عدم دقتِ کامل از این‌رو مهم است که چنین سیستم‌هایی از حساسیت فوق‌العاده‌ای نسبت به شرایط اولیه‌ی خود برخوردارند، یعنی حتی کوچک‌ترین عدم‌دقتِ قابل تصور در تعیین شرایط اولیه‌ی آنها پس از مدتی نسبتاً طولانی به میزان قابل توجهی افزایش می‌یابد و در نتیجه پیش‌بینی سیستم را غیرممکن می‌سازد. به‌عبارت دیگر، مشکلی که در سیستم‌های آشوبناک وجود دارد این است که دو حالتِ ظاهراً یکسان از یک سیستم پس از گذشت زمانی نه‌چندان کوتاه از هم فاصله‌ی بسیاری می‌گیرند. بنابراین، به نظر نمی‌رسد که وجود قانونی شانسی بتواند تبیین مناسبی از این رفتار سیستم‌های آشوبناک به‌دست دهد.

بنابر این، بریکمان به ردّ این ایده‌ی پریگوژین می‌پردازد که قوانینی تعین‌ناپذیر بر سیستم‌های آشوبناک حاکم‌اند و می‌گوید غیرقابل پیش‌بینی بودنِ چنین سیستم‌هایی که ناشی از خطای موجود در اندازه‌گیری شرایط اولیه‌ی آنها است «هیچ تأثیری در بحث ما از تعین‌ناپذیری ندارد، زیرا از ابتدا فرض کرده‌ایم که چنین سیستمی از قانونی تعین‌پذیر تبعیت می‌کند. تنها با بررسی[3] چنین سیستم تعین‌پذیری است که می‌توان نشان داد خطایی کوچک در شرایط اولیه ممکن است پس از مدتی منجر به خطای بزرگی شود. اگر چنین سیستمی از هیچ قانونی تبعیت نمی‌کرد یا از قانونی شانسی تبعیت می‌کرد، اوضاع

1. stochastic
2. Ibid, p.4.
3. analysing

www.SID.ir

بسیار متفاوت می‌بود، زیرا دو سیستم با شرایط اولیه‌ی *یکسان* که تحت حاکمیت قانونی احتمالاتی باشند، می‌توانند پس از مدت کوتاهی در دو حالت بسیار متفاوت قرار گیرند.»[1] بنابراین، از نظر بریکمان رفتار آشوبناک نه‌تنها با دینامیک تعین‌پذیر سازگار است، بلکه قدرت تبیین آن را افزایش می‌دهد و مطابق با سنت علمی رایج، فرضیات مربوط به آن را نیز تقویت می‌کند.

ایده‌ی دیگری که پریگوژین و همکارانش درباره‌ی سیستم‌های دینامیکی آشوبناک مطرح می‌کنند «حذف مفهوم مسیر» و جایگزین کردن آن با توزیع احتمالاتی تقلیل‌ناپذیر است. برای مثال، وی در جایی گفته است: «باید مفهوم مسیر را از توصیف میکروسکوپیمان حذف کنیم. این در واقع با توصیفی واقع‌گرایانه متناظر است: هیچ اندازه‌گیری و هیچ محاسبه‌ای دقیقاً به یک نقطه و در نتیجه به مسیری *یکتا*[2] منجر نمی‌شود. همیشه با *مجموعه‌ای*[3] از مسیرها مواجه خواهیم بود.» وی در جای دیگر می‌گوید که «صورتبندی دینامیک برای سیستم‌های آشوبناک باید در سطح احتمالاتی انجام گیرد.»[4] در واقع، همان‌طورکه پیشتر نیز ذکر شد، از دید مکتب بروکسل، ناپایداری یا آشوب، هم‌ارزیِ بین توصیف برحسب مسیر و توصیف احتمالاتی را از بین می‌برد و در نتیجه توصیف احتمالاتی دیگر قابل‌تقلیل به مسیر نخواهد بود. بر طبق این دیدگاه، توصیفِ احتمالاتی است که باعث ظهور بازگشت‌ناپذیری می‌شود. به‌عبارت دیگر، «بازگشت‌ناپذیری در سطح مسیرها و توابع موج یافت نمی‌شود، بلکه در عوض در سطح توزیع احتمالاتی ظهور می‌یابد.»[5] اما به عقیده‌ی بریکمان، هم‌ارزی بین توزیع احتمالاتی و مسیرها در سیستم‌های آشوبناک نیز از بین نمی‌رود و بازگشت‌ناپذیریِ ناشی از توصیف احتمالاتی تنها به جهل ما بر می‌گردد و ویژگی ذاتی سیستم نیست.

از نظر بریکمان، «احتمالات ابزار بسیار مفیدی است که ویژگی‌های آن به‌طور ریاضیاتی از مسیرها *ناشی شده است* و [با به‌کار بردن آن] هیچ چیزِ اساساً جدیدی انجام نشده است.»[6] به‌عبارت دیگر، اینکه توصیف سیستمی دینامیکی در سطح توزیع‌های احتمالاتی

1. Ibid, p.5.
2. *unique*
3. a *set* of
4. Ibid, p.7.
5. Ibid, p.16.
6. Ibid, p.8.

Archive of SID

www.SID.ir

صورت گیرد یا از ابتدا بر حسب مسیرهای متمایز انجام گیرد به این بستگی دارد که کدامشان برای ما ممکن باشند. اما در هر دو صورت باید نتایج یکسانی به‌دست آید. در واقع، هنگامی از توصیف احتمالاتی استفاده می‌کنیم که تعیین دقیق شرایط اولیه و همچنین مسیری که سیستم می‌پیماید برایمان مقدور نیست و این به آن معنا نیست که سیستم تعین‌ناپذیر است، بلکه جهل ماست که در انتخاب چنین راه‌حلی دخیل است. بنابراین، برخلاف دیدگاه پریگوژین و همکارانش، چنین راه حل‌های احتمالاتی «تقلیل‌ناپذیر» نیستند.[۱]

بریکمان از نقش کاملاً جدیدی که طرفداران مکتب بروکسل برای احتمالات درنظر می‌گیرند به شدت انتقاد می‌کند و باور دارد که نمی‌توان تمایزی جدّی بین نقشی که احتمالات در فیزیک کلاسیک دارد با نقشی که در توصیف سیستم‌های ناپایدار دارد قائل شد.[۲] به عقیده‌ی او نقشی که احتمالات در توصیف سیستم‌های آشوبناک دارد شبیه به همان نقشی است که بولتزمان در دیدگاه کلاسیک خود مطرح کرده است. برای مثال گازی که در محفظه‌ای محبوس شده است از تعداد زیادی مولکول تشکیل شده است و از آنجا که تعیین مکان و سرعت دقیق هر یک از این ذرات عملاً غیرممکن است، برای توصیف آن از احتمالات کمک می‌گیریم. از نظر بریکمان، نسبت دادن توزیع احتمالاتی به سیستم‌های آشوبناک نیز به‌طور مشابهی از این حقیقت ناشی می‌شود که عملاً نمی‌توانیم مکان و سرعت تمام ذرات چنین سیستم‌هایی را مشخص کنیم. از طرف دیگر حساسیت فوق‌العاده‌ی این سیستم‌ها به شرایط اولیه (حتی اگر از تعداد کمی ذره تشکیل شده باشند) باعث می‌شود کوچک‌ترین خطا در تعیین شرایط اولیه پیش‌بینی را پس از مدتی عملاً غیرممکن سازد. به همین دلیل توصیف چنین سیستم‌هایی بر حسب مسیرهای منفرد نیز عملاً غیرممکن است. به‌عبارت دیگر، از آنجا که تعیین شرایط اولیه‌ی سیستم‌های آشوبناک با دقت کامل غیرممکن است، برای توصیف آنها از توزیع‌های احتمالاتی کمک می‌گیریم.[۳]

بنابراین، بریکمان دیدگاه پریگوژین را، که بر طبق آن توصیف بر حسب توزیع‌های احتمالاتی برای سیستم‌های آشوبناک *قابل‌تقلیل* به توصیف بر حسب مسیرهای منفرد نیست و اینکه از بازگشت‌ناپذیریِ توصیف احتمالاتی می‌توان نتیجه گرفت که چنین

1. Ibid, p.17.
2. Ibid.
3. Ibid.

Archive of SID

www.SID.ir

سیستم‌هایی به‌طور ذاتی بازگشت‌ناپذیرند، مردود می‌داند. باید توجه کرد که بازگشت‌ناپذیریِ توصیف احتمالاتی به این معناست که هر توزیع احتمالاتی پس از مدت کوتاهی تمام سطح فضای فازی را اشغال می‌کند و به توزیعی یکنواخت منجر می‌شود. بریکمان نیز بر درستی این مسأله تأکید دارد و می‌گوید: «توزیع‌های احتمالاتی برای سیستم‌های دینامیکی ناپایدار «به‌طور بازگشت‌ناپذیری» تحول می‌یابند. ... [اما] این تنها نشان‌دهنده‌ی این حقیقت است که نقاط مختلفِ موجود در توزیع اولیه، حتی اگر در ابتدا بسیار به هم نزدیک باشند، توسط دینامیک آشوبناک از هم فاصله خواهند گرفت. بنابراین، این [گفته‌ی طرفداران مکتب بروکسل] که «بازگشت‌ناپذیری در سطح توزیع‌های احتمالاتی ظهور می‌یابد[1]» از دیدگاهی محدود[2] درست است. ... [اما حقیقت این است که] هر سیستم فیزیکی، چه آشوبناک باشد چه نباشد، توسط مسیری در فضای فازی توصیف می‌شود و مطمئناً توسط توزیع‌های احتمالاتیِ متناظر با آن به‌طور مناسبی توصیف نمی‌شود. ... [چنین توصیفی] تا اندازه‌ای جهل ما را از آن مسیر نشان می‌دهد. بنابراین، در این مورد رفتار «بازگشت‌ناپذیرِ» آنها ویژگی فیزیکیِ اصلی[3] سیستم نیست. اگر بخواهیم می‌توانیم توجهمان را به جای مسیرها بر احتمالات متمرکز کنیم، اما این «انتخاب»[4] نمی‌تواند نقشی اساسی در تبیین‌های ما داشته باشد.»[5]

بنابراین، از نظر بریکمان، بازگشت‌ناپذیریِ مشاهده شده در توصیف احتمالاتیِ سیستم‌های آشوبناک نه‌تنها ویژگی ذاتیِ سیستم‌های آشوبناک نیست، بلکه به عدم‌توانایی ما در ارائه‌ی توصیفی کامل از این سیستم‌ها بر حسب مسیرهای منفرد برمی‌گردد. پس آن‌گونه که پریگوژین بیان کرده است، قوانینِ حاکم بر سیستم‌های ناپایدار، احتمالی و بازگشت‌ناپذیر نیستند. در نتیجه مجبور نیستیم که در قوانین طبیعت *تجدید نظر* کنیم.[6] به عقیده‌ی بریکمان، کاملاً ممکن است که بر اساس قوانین بنیادی بازگشت‌پذیر و همچنین فرضیات مناسبی از شرایط اولیه، توصیفی طبیعی از پدیده‌های بازگشت‌ناپذیر ارائه داد.[7]

1. is manifest
2. in a narrow sense
3. genuine
4. “choice”
5. Ibid.
6. Ibid.
7. Ibid, p.11.

Archive of SID

www.SID.ir

۳. مقایسه‌ی دو دیدگاه

دیدیم که هر یک از دو دیدگاهِ ذکر شده تلاش دارند تبیینی برای «پارادوکس بازگشت‌پذیری»، یعنی این مسأله که در سطح میکروسکوپی (قوانین دینامیک بنیادی) بازگشت‌پذیری و تقارن زمانی وجود دارد در حالی‌که بیشتر پدیده‌ها در سطح ماکروسکوپی (مانند فرآیندهای ترمودینامیکی) بازگشت‌ناپذیر و نسبت به زمان نامتقارن اند، ارائه دهند. در دیدگاه اول، یعنی از دید پریگوژین و طرفدارانش، این پارادوکس ناشی از ناکامل بودن دینامیک کلاسیک دانسته می‌شود.[1] به عقیده‌ی آنها کشف ناپایداری و آشوب در قرن جدید به ارائه‌ی صورت‌بندی جدیدی از دینامیک، یعنی در سطح آماری، منجر شده است به‌طوری که دیگر تناقضی بین آنها و فرآیندهای بازگشت‌ناپذیرِ ماکروسکوپی وجود ندارد.[2] به‌عبارت دیگر، چنین کشفی لزوم بسط فیزیک کلاسیک و فیزیک کوانتوم را ایجاد کرده است تا فرآیندهای بازگشت‌ناپذیر در سطح ماکروسکوپی را نیز دربرگیرند.[3] به‌عبارت دیگر، پریگوژین پریگوژین پارادوکس بازگشت‌ناپذیری را با ردّ تعین‌پذیری و تأکید بر لزوم تجدیدنظر در قوانین طبیعت تبیین می‌کند.

اما بر طبق دیدگاه دوم، یعنی دیدگاه بریکمان و بولتزمان، تناقضی بین بازگشت‌پذیری و تقارن زمانیِ قوانین بنیادی فیزیک و بازگشت‌ناپذیریِ پدیده‌های ماکروسکوپی وجود ندارد، زیرا طرفداران این دیدگاه عقیده دارند که به غیر از قوانین دینامیک «شرایط اولیه» نیز در چگونگی رخ دادن پدیده‌های ماکروسکوپی دخالت دارند. با توجه به مکانیک آماریِ بولتزمان، تمام مواد به سمت حالت تعادل (یعنی ماکزیمم آنتروپی) خود می‌روند، چه در گذشته و چه در آینده. این تقارن زمانیِ موجود در مکانیک آماری را می‌توان با فرض شرایط اولیه‌ی خاصی برای جهان، به گونه‌ای که آنتروپی آن بسیار پایین باشد، به عدم‌تقارن پدیده‌های ماکروسکوپی نسبت به زمان تبدیل کرد. بنابراین، بر طبق این دیدگاه، پارادوکس بازگشت‌پذیری تنها با درنظر گرفتن چنین شرایط اولیه‌ی خاصی حل می‌شود.

با توجه به تبیین‌های متفاوتی که دو دیدگاه مذکور از پارادوکس بازگشت‌پذیری ارائه کرده‌اند، این پرسش مطرح می‌شود که موضع‌گیری هر یک از آنها نسبت به امکان بازگشت‌پذیری در جهان چه می‌تواند باشد، یعنی: آیا می‌توان انتظار داشت که پدیده‌ای

1. Prigogine, I., *The End of Certainty*, p.108.
2. Ibid, p.74.
3. Ibid, p.4, 64.

Archive of SID

www.SID.ir

دقیقاً از نو تکرار شود؟ به‌نظر می‌رسد اگر بتوانیم شرایط اولیه‌ی پدیده‌ای را دقیقاً بازسازی کنیم، یعنی مکان و سرعت تک‌تک ذراتِ دخیل در آن را دقیقاً به حالت اولیه‌اش درآوریم، چنین امری ممکن شود، البته تنها در صورتی که همواره قوانین مشخص و یکسانی بر طبیعت حاکم باشد تا نتایج یکسانی از شرایط اولیه‌ی یکسان به‌دست دهند. بنابراین می‌توان گفت که «امکان بازگشت‌پذیری» به «شرایط اولیه» و «قوانین طبیعت» بستگی دارد.

به عقیده‌ی بریکمان، «قوانین طبیعت» تعین‌پذیر هستند، یعنی آن‌گونه که لاپلاس بیان کرده است، اگر شبحی وجود داشته باشد که بتواند حالت جهان را در یک لحظه به‌طور کامل و دقیق بداند، با فرض دانستن قوانین حاکم بر طبیعت، *علی‌الاصول* خواهد توانست حالت جهان در هر زمان دیگری را چه در آینده باشد و چه در گذشته تعیین کند.[1] پس بنابراین دیدگاه اگر بتوانیم شرایط اولیه‌ی جهان یا هر پدیده‌ای در جهان را دقیقاً بازسازی کنیم، «بازگشت‌پذیری» ممکن خواهد شد. اما رسیدن به چنین توانایی از نظر بریکمان امری شدنی نیست، به بیان وی، «دانش ما ناکامل است و هیچ‌گاه نخواهیم توانست همه چیز را *پیش‌بینی* کنیم.»[2]

پریگوژین نیز بر عدم امکان تعیین دقیق شرایط اولیه تأکید دارد، به این صورت که از نظر وی «هیچ اندازه‌گیری انسانی، هیچ پیش‌بینی نظری، نمی‌تواند شرایط اولیه را با دقت نامحدود به‌دست دهد.»[3] بنابراین، به باور او، موجودی مانند شبح لاپلاس «نمی‌تواند آینده را پیش‌بینی کند، مگر اینکه شرایط اولیه را با دقت کامل بداند. تنها در این صورت است که می‌تواند از توصیفی بر حسب مسیر کمک گیرد.» با این حال پریگوژین در ادامه می‌گوید: «اما هنوز هم ناپایداری قدرتمندتری وجود دارد که منجر به تخریب مسیرها می‌شود، حال دقتِ توصیف ابتدایی هر چه می‌خواهد باشد.»[4] بنابراین، گویا از دید پریگوژین، در صورت ممکن بودن تعیین دقیق شرایط اولیه باز هم «بازگشت‌ناپذیری» برقرار خواهد بود، اما این بار تنها به دلیل وجود ناپایداری‌های دینامیکی که از نظر وی منجر به «تعین‌ناپذیر» بودن قوانین طبیعت می‌شود.[5]

1. Bricmont, J., "Science of Chaos or Chaos in Science?", p.4.
2. Ibid, p.6.
3. Prigogine, I., *The End of Certainty*, p.38.
4. Ibid.
5. Ibid, p.29.

Archive of SID

www.SID.ir

باید توجه کرد که پریگوژین هیچ امکانی برای تعیین شرایط اولیه با دقت نامحدود قائل نیست و به‌نظر می‌رسد که عبارت مذکور تنها برای تأکید بر نقش ناپایداری در قوانین طبیعت بیان شده است. همان‌طورکه پیشتر نیز گفته شد، با وجود ناپایداری‌های دینامیکی، قوانین طبیعت از نظر وی دیگر بر مبنای قطعیت نیستند، بلکه بر مبنای احتمالات اند یا به‌عبارت دیگر *تعین‌ناپذیرند*. وجود قوانین شانسی[1] به‌تنهایی برای شکستن تقارن زمانی و نقض بازگشت‌پذیری کافی است. با این حال، پریگوژین نیز مانند بریکمان تعیین شرایط اولیه با دقت کامل را غیرممکن می‌داند. برای مثال می‌گوید دانستن شرایط اولیه با دقت نامحدود «با هیچ وضعیتِ واقع‌بینانه‌ای متناظر نیست، [زیرا] هرگاه آزمایشی انجام می‌دهیم، چه با کامپیوتر یا ابزارهای دیگر، با وضعیت‌هایی سر و کار داریم که در آن شرایط اولیه با دقتی محدود مشخص شده‌اند.» وی این شرایط غیرواقعی را مانند این می‌داند که کسی سرعت نامحدودی برای نور تصور کند. مطمئناً می‌توان چنین تصوری داشت، اما واقعیت این است که طبق «نظریه‌ی نسبیت» سرعت نور در خلاء دارای بیشترین مقدار ممکن است (که آن را با حرف لاتین c نشان می‌دهند)، به بیان پریگوژین، «تصور سرعت‌های بیشتر از c با هیچ حقیقتِ قابل مشاهده‌ای متناظر نیست.» به همین شیوه، از نظر وی دانستن شرایط اولیه با دقت نامحدود نیز در حقیقت امری ناممکن است.[2]

بنابراین، با توجه به آنچه گفته شد، پریگوژین و بریکمان عقیده‌ی مشترکی را در رابطه با امکان تعیین شرایط اولیه با دقت نامحدود بیان می‌کنند، هر چند نباید فراموش کرد که مبانی دیدگاه آنها با هم در تضاداند، زیرا پریگوژین قوانین طبیعت را احتمالاتی و شانسی می‌داند در حالی‌که از نظر بریکمان قوانین حاکم بر طبیعت تعین‌پذیر هستند. اما به‌نظر نمی‌رسد که «تعین‌پذیر» یا «تعین‌ناپذیر» بودن قوانین طبیعت موضوعی غیرقابل ابطال یا قابل تأیید باشد. به‌عبارت دیگر، تا آنجا که به قوانین طبیعت مربوط می‌شود هیچ‌یک از دو دیدگاهِ مطرح شده منع منطقی ندارند. از طرف دیگر اینکه ماهیت قوانین طبیعت چیست و اینکه آیا اصلاً وجود دارند یا نه مبحث بسیار پیچیده و مفصلی است که برای پی‌بردن به تعین‌پذیر یا تعین‌ناپذیر بودن قوانین طبیعت ابتدا باید پاسخی برای آنها یافت. اما به‌نظر می‌رسد که این مسائل خارج از حوزه‌ی علم قرار داشته باشند و نتوان به کمک علم تأییدی از هیچ‌یک از آنها ارائه داد. بنابراین شاید بهتر باشد دیدگاه پریگوژین نسبت به

1. stochastic
2. Prigogine, I., *The End of Certainty*, p.105.

www.SID.ir

«بازگشت‌پذیری» را در دو تقریر قوی و ضعیف بیان کنیم به‌طوری که در تقریر ضعیفِ آن ماهیت قوانین طبیعت در نظر گرفته نشود.

بر طبق تقریر قوی از دیدگاه پریگوژین، قوانین طبیعت ذاتاً تعین‌ناپذیر و احتمالاتی هستند و در نتیجه حتی اگر بتوانیم شرایط اولیه را با دقت نامحدود بدانیم و بتوانیم آن را بازسازی کنیم، «بازگشت‌پذیری» *علی‌الاصول* و به‌طور نظری امکان‌پذیر نخواهد بود. از نظر وی، «تعین‌ناپذیری»، «بازگشت‌ناپذیری» و «ناپایداری» از ویژگی‌های اصلی جهان ما هستند که در دیدگاه سنتی به اشتباه اموری ذهنی و ناشی از تخمین‌های ما دانسته می‌شدند. به همین سبب باید قوانین فیزیک کلاسیک و کوانتومی را بسط داد تا این ویژگی را در بر گیرند[1]، زیرا «هیچ صورتبندی‌ای از قوانین طبیعت که نقش سازنده‌ی زمان [و بازگشت‌ناپذیری] را در نظر نگیرد نمی‌تواند رضایت‌بخش باشد.»[2] پس باید «احتمالات را در صورت‌بندی قوانین بنیادی فیزیک وارد کنیم.»[3]

همان‌طورکه پیشتر نیز گفته شد، در بررسی سیستم‌های آشوبناک و ناپایدار که ظاهراً از خود خواص تعین‌ناپذیر نشان می‌دهند می‌توان دو رویکرد مختلف اتخاذ کرد که برگزیدن یکی از آنها به عنوان حقیقتِ چنین سیستم‌هایی (از لحاظ تجربی) غیرممکن به‌نظر می‌رسد. در رویکرد اول فرض بر این است که به واقع قوانینی تعین‌ناپذیر و شانسی بر چنین سیستم‌هایی حاکم اند و بی‌نظمیِ ظاهر در آنها حقیقی است. این همان رویکردی است که پریگوژین از آن حمایت می‌کند. اما در رویکرد دوم، قوانینی تعین‌پذیر اما آشوبناک حاکم بر چنین سیستم‌هایی درنظر گرفته می‌شوند. بریکمان از طرفداران رویکرد دوم است. در واقع به‌نظر می‌رسد که انتخاب یکی از این دو دیدگاه مسأله‌ای متافیزیکی باشد، زیرا هیچ‌یک از آنها را نمی‌توان به‌طور تجربی تأیید یا ابطال کرد.

در تقریر ضعیف از دیدگاه پریگوژین، آنچه اهمیت دارد امکان تعیین شرایط اولیه با دقت نامحدود است، صرف‌نظر از اینکه قوانین طبیعت دارای چه ماهیتی باشند. بر طبق این دیدگاه، انسان‌ها هیچ‌گاه نمی‌توانند عملاً شرایط اولیه را با دقت نامحدود تعیین کنند، حتی اگر بهترین ابزارها و دستگاه‌های اندازه‌گیری را در اختیار داشته باشند و به‌کار گیرند.

1. Ibid, p.46.
2. Ibid. p.56.
3. Ibid, p.5.

Archive of SID

www.SID.ir

به‌گفته‌ی پریگوژین تعیین شرایط اولیه با دقت نامحدود «با هیچ وضعیتِ واقع بینانه‌ای متناظر نیست.»[۱]

بریکمان نیز بر عدم‌توانایی انسان‌ها در تعیین دقیق شرایط اولیه تأکید دارد، زیرا به عقیده‌ی وی دانش انسان‌ها کامل نیست و هیچ‌گاه کامل نخواهد شد تا بتواند از همه چیز در یک لحظه آگاه شود.[۲] بنا بر این می‌توان گفت که مطابق این دیدگاهِ مشترک بین پریگوژین و بریکمان، تعیین شرایط اولیه با دقت نامحدود و تحقق آن *اصولاً به لحاظ عملی* ممکن نیست. در نتیجه، «بازگشت‌پذیری» نیز *اصولاً به لحاظ عملی* ممکن نخواهد بود.

بنابراین، با توجه به اینکه دیدگاه پریگوژین و دیدگاه بریکمان در مبانی نظری با هم مخالف‌اند و راه حل‌های متفاوتی برای آشتی دادن *بازگشت‌ناپذیریِ* موجود در سطح ماکروسکوپی و *بازگشت‌پذیری* در سطح میکروسکوپی ارائه می‌دهند، بر سر این موضوع توافق دارند که *علی‌الاصول* هیچ‌گاه نمی‌توان *به‌طور عملی* شرایط اولیه‌ی جهان یا هر فرآیندی در جهان را با دقت نامحدود تعیین کرد و آن را تحقق بخشید. پس بازگشت‌پذیری *به لحاظ عملی اصولاً* غیرممکن است. به‌عبارت دیگر، ماهیت قوانین طبیعت هر چه که باشد، هیچ‌گاه نمی‌توانیم به لحاظ عملی مانند شبح لاپلاس از حالت جهان در یک لحظه به‌طور کامل آگاه شویم. بنابراین، حتی اگر پیشرفته‌ترین ابزارها را بسازیم و دقت اندازه‌گیری‌ها را روز به روز بالاتر ببریم، اندازه‌گیری با دقت نامحدود هیچ‌گاه عملاً میسر نخواهد شد.

باید توجه کرد که در دینامیک کلاسیک و سیستم‌های پایدار، در بسیاری موارد، تعیین شرایط اولیه با دقت بالا ولی محدود کافی است تا بتوان فرآیندی را از نو بازسازی کرد که در این صورت «بازگشت‌پذیری» ظاهراً ممکن می‌شود. اما حقیقت این است که در چنین سیستم‌هایی شرایط اولیه‌ی مشابه منجر به نتایج مشابهی می‌شوند و هر چه بتوانیم دقت تعیین و بازسازیِ شرایط اولیه را بالا ببریم نتایجی نزدیک‌تر به فرآیند اولیه به‌دست خواهد آمد. با این حال، هیچ‌گاه نمی‌توان فرآیند اولیه را *دقیقاً* تکرار کرد. تنها می‌توان فرآیندی با شباهت بسیار زیاد با فرآیند اولیه را بازسازی کرد به‌طوری که در سطح ماکروسکوپی تفاوتی بین آنها قابل رؤیت نباشد و تصور شود که آن فرآیند بازگشت‌پذیر است. اما در حقیقت اگر بتوان آن فرآیندها را با دقتی باز هم بیشتر از قبل بررسی کرد، تفاوتی بسیار کوچک بین آنها مشخص خواهد شد که شاید تنها در سطح میکروسکوپی قابل درک باشد. بنابراین، در

1. Ibid, p.105.
2. Bricmont, J., “Science of Chaos or Chaos in Science?”, p.6.

Archive of SID

www.SID.ir

سیستم‌های پایدار «بازگشت‌پذیری» همچنان اصولاً به لحاظ عملی غیرممکن است، زیرا تعیین دقیق شرایط اولیه اصولاً به لحاظ عملی غیرممکن است.

در سیستم‌های ناپایدار و آشوبناک، همان‌طورکه در قسمت‌های قبل به تفصیل بیان شد، کوچک‌ترین تفاوت در شرایط اولیه منجر به نتایج بسیار متفاوتی می‌شود، یعنی اگر شرایط اولیه‌ی فرآیندی آشوبناک را با دقت بسیار زیاد اما محدود تعیین و بازسازی کنیم، پس از مدتی با فرآیندی کاملاً متفاوت روبه‌رو خواهیم شد که شباهت اندکی با فرآیند اولیه دارد. از این رو در چنین سیستم‌هایی، عدم امکانِ بازگشت‌پذیری و نقش شرایط اولیه در بروز آن از وضوح بیشتری برخوردار است.

بنابراین، چه در سیستم‌های پایدار و چه در سیستم‌های ناپایدار، تعیین و تحقق شرایط اولیه با دقت نامحدود از لحاظ عملی امری غیرممکن است (هر چند این موضوع در سیستم‌های پایدار به وضوح سیستم‌های ناپایدار آشکار نیست)، که برای آن واژه‌ی "*علی‌الاصول عملی*"[1] را برگزیدیم، به این ترتیب که تعیین دقیق شرایط اولیه *علی‌الاصول عملاً* غیرممکن است. همان‌طورکه گفته شد، پریگوژین و بریکمان هر دو با وجود اختلافات نظری بسیار، در این مورد با هم توافق داشتند. پس می‌توان نتیجه گرفت که از نظر آنها بازگشت‌پذیری هم در سیستم‌های پایدار و هم در سیستم‌های ناپایدار اصولاً به لحاظ عملی ممکن نیست.

نتیجه‌گیری

در این مقاله پس از طرح مسأله یا پارادوکس بازگشت‌پذیری به بررسی دو راه حل متفاوت از آن پرداختیم. در دیدگاه اول که مروّجان آن پریگوژین و مکتب بروکسل هستند، عدم‌تقارن زمانی پدیده‌های ماکروسکوپی ناشی از چیزی جز عدم‌تقارن زمانی در سطح میکروسکوپی نیست که آن نیز به نوبه‌ی خود معلول آشوب و ناپایداری دینامیکی است. اما در دیدگاه دوم، بریکمان بر نقش شرایط اولیه در ظهور رفتارهای بازگشت‌ناپذیر در سطح ماکروسکوپی تأکید دارد و بازگشت‌پذیری و تعین‌پذیریِ قوانین بنیادی را مانع از بروز چنین رفتارهایی نمی‌داند.

1. “in principle in practice” or “in practice in principle”

Archive of SID

www.SID.ir

هر یک از دو دیدگاه ذکر شده بر مبنای فرضیات متافیزیکی از مفاهیمی مانند «تعین‌پذیری» و «قوانین‌طبیعت» بنا شده‌اند که به لحاظ تجربی قابل اثبات یا ابطال نیستند. بنابراین، با چشمپوشی از این مفاهیمِ بحث‌برانگیز، آنچه قابل بیان بود موضع‌گیری دو دیدگاه مذکور نسبت به امکان بازگشت‌پذیری رویدادها در طبیعت بود. با توجه به اینکه پریگوژین و بریکمان هر دو بر عدم امکان تعیین شرایط اولیه با دقت نامحدود *به لحاظ علی‌الاصول عملی* تأکید داشتند، در این مقاله این نتیجه حاصل شد که بر طبق هر دو دیدگاه بازگشت‌پذیری نیز *اصولاً به لحاظ عملی* ممکن نخواهد بود.

منابع

۱. فیزیک (جلد دوم: شاره‌ها- امواج- حرارت)، ترجمه‌ی نعمت الله گلستانیان و محمود بهار، انتشارات مرکز نشر دانشگاهی، تهران: چاپ دهم ۱۳۸۰ . نوشته‌ی دیوید هالیدی و رابرت رسنیک (۱۹۷۸).

2. Bertuglia, C. S. & Vaio, F. (2005) *Nonlinearity, Chaos, and Complexity: The Dynamics of Natural and Social Systems*. Oxford University Press Inc., New York

3. Bricmont, J. (1996) “Science of Chaos or Chaos in Science?” In *Physicalia Magazine* 17 (3-4), pp. 159-208. Available at: http://dogma.free.fr/txt/JB-Chaos.htm

4. Bricmont, J. (?) “Determinism, Chaos and Quantum Mechanics” Available at: http://www.fyma.ucl.ac.be/files/Turin.pdf

Callender, C. (2006) “Thermodynamic Asymmetry in Time”. In *Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Available at: http://plato.stanford.edu/entries/time-thermo/

5. Carroll, J. W. (2010) “Laws of Nature”. In *Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Available at: http://plato.stanford.edu/entries/laws-of-nature/

6. Feynman, R. (1965) *The Character of Physical Law*. MIT Press (twelfth printing, 1985)

7. Hoefer, C. (2010) “causal Determinism”. In *Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Available at: http://plato.stanford.edu/entries/determinism-causal/#Rel

8. Horwich, P. (1987) *Asymmetries in Time*. Cambridge, MA: MIT Press.

Archive of SID

www.SID.ir

9. Kellert, S. H. (1993) *In the Wake of Chaos: Unpredictable Order in Dynamical Systems*. University of Chicago Press.
10. Kole, S. (1999) "The Arrow of Time In Cosmology And Statistical Physics". University of Groningen, Netherlands.
11. Lockwood, M. (2005) *The Labyrinth of Time*. Oxford University Press Inc., New York
12. North, J. (2009) "Time in Thermodynamics". Forthcoming, *Oxford Handbook on Time*. Available at: http://pantheon.yale.edu/~jnorth/Time_Thermodynamics.pdf
13. Price, H. (1996) "Time's Arrow and Archimedes' Point". Oxford University Press
14. Prigogine, I. (1997) *The End of Certainty*. By Editions Odile Jacob
15. Prigogine, I. (1980) *From Being to Becoming: Time and complexity in the Physical Sciences*. By W. H. Freeman and Company
16. Sklar, L. (2009) "Philosophy of Statistical Mechanics". In *Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Available at: http://plato.stanford.edu/entries/statphys-statmech/
17. Trump, M. A. (1998) "What Is Chaos?" Available at: http://order.ph.utexas.edu/chaos/
18. Swartz, N. (2009) "Laws of Nature". In *Internet Encyclopedia of Philosophy*. Available at: http://www.iep.utm.edu/lawofnat/

Archive of SID

www.SID.ir