وارونی زمان و معمای هستی‌شناختیِ معکوس‌پذیری

آیا می‌توان «شدن» را معکوس کرد؟

ناصر آهنی

فلسفه علم، دانشگاه صنعتی شریف

مقاله‌ی مرجع: «وارونی زمان» (Time Reversal)،
نوشته‌ی برایان دبلیو. رابرتز

عنوان: وارونی زمان و معمای هستی‌شناختیِ معکوس‌پذیری: آیا می‌توان «شدن» را معکوس کرد؟

فلسفه فیزیک، دانشگاه صنعتی شریف

مقاله‌ی مرجع: «وارونی زمان» (Time Reversal)، نوشته‌ی برایان دبلیو. رابرتز

۱. مقدمه: مسئله‌ی تعریف یک مفهوم بنیادین

در قلب فیزیک، مفاهیمی هستند که چنان با شهود روزمره‌ی ما عجین شده‌اند که به ندرت در بنیان آن‌ها تردید می‌کنیم. «وارونی زمان» یکی از این مفاهیم است. ما به‌طور شهودی می‌دانیم که معکوس کردن یک فیلم به چه معناست: توپ به عقب برمی‌گردد، فنجان شکسته دوباره سالم می‌شود. اما وقتی این شهود ساده می‌خواهد به یک تعریف علمی دقیق تبدیل شود، با بحرانی عمیق مواجه می‌شویم. مقاله درخشان برایان رابرتز با عنوان «وارونی زمان» سفری است به درون این بحران. او با وسواسی مثال‌زدنی، دو رویکرد رقیب برای تعریف وارونی زمان را بررسی می‌کند: «برداشت استاندارد» که از یک عملگر ویژه برای تغییر حالات لحظه‌ای استفاده می‌کند، و «برداشت پنکیکی» که به تأسی از دیوید آلبرت و کریگ کالندر، وارونی را صرفاً در معکوس شدن ترتیب رویدادها می‌بیند.

هدف رابرتز یافتن پاسخی برای این پرسش است: «وارون کردن زمان» در یک نظریه‌ی فیزیکی دقیقاً چه معنایی می‌تواند داشته باشد؟ نقدهای کوبنده‌ی او بر دیدگاه پنکیکی، و دفاع قاطعانه‌اش از دیدگاه استاندارد، نمونه‌ای از تفکر نقادانه در فلسفه‌ی فیزیک است. با این حال، من در این مقاله می‌خواهم از دل همین تحلیل عمیق، پرسشی بنیادین‌تر را بیرون بکشم که خود رابرتز آن را مسکوت می‌گذارد. مسئله‌ی اصلی مقاله‌ی من این نیست که کدام تعریف از وارونی زمان «درست» است. مسئله این است که آیا اصلاً خودِ مفهوم «معکوس

کردن زمان» در سطح بنیادین واقعیت معنایی دارد، یا این که این مفهوم تنها یک ابزار ریاضی مفید در درون مدل‌های ماست و ما به اشتباه آن را به خودِ طبیعت نسبت می‌دهیم. استدلال خواهم کرد که تحلیل رابرتز، به‌رغم تمام دقتش، بر یک پیش‌فرض آزموده‌نشده بنا شده است: این که «زمان» یک پارامتر خارجی و قابل دستکاری است، مانند یک محور ریاضی. اما اگر زمان یک پدیده‌ی ثانویه و برآمده از فرآیندی عمیق‌تر باشد، آن‌گاه معمای وارونی زمان به شکلی رادیکال صورت‌بندی دوباره می‌شود.

---

۲. خلاصه و تحلیل مقاله: دو تعریف، یک پیش‌فرض پنهان

مقاله‌ی رابرتز، پیش از هر چیز، یک درس روش‌شناختی در فلسفه‌ی فیزیک است. او به ما نشان می‌دهد که تعریف مفاهیم در فیزیک، خود یک فعالیت نظری عمیق است و نمی‌توان آن را به شهود سطحی واگذار کرد.

۲.۱. دو مؤلفه‌ی برداشت استاندارد

رابرتز بحث خود را با معرفی «برداشت استاندارد» آغاز می‌کند. این برداشت از دو بخش تشکیل شده است:

نخست، وارونی ترتیب: در این بخش، ترتیب لحظات زمانی معکوس می‌شود. به زبان ساده، اگر رویدادها را بر اساس زمان مرتب کرده باشیم، وارون کردن ترتیب به معنای حرکت از آینده به گذشته است. رابرتز نشان می‌دهد که برای آن‌که این وارونگی دارای معنای دقیق ریاضی باشد، باید قواعد خاصی رعایت شود. مهم‌ترین قاعده این است که اگر زمان را دو بار معکوس کنیم، باید دقیقاً به همان نقطه‌ی آغازین بازگردیم، و نیز این‌که زمان نباید در طی این فرآیند به شکلی ناموزون کش بیاید یا فشرده شود. این قواعد به طور طبیعی ما را به

همان تعریف ساده‌ای می‌رسانند که در فیزیک به کار می‌رود: جایگزین کردن هر لحظه با قرینه‌ی آن حول یک مبدأ مشخص.

دوم، عملگر وارونی زمان: این بخش پیچیده‌تر و فنی‌تر است. رابرتز توضیح می‌دهد که صرف معکوس کردن ترتیب لحظات کافی نیست، بلکه خودِ حالات فیزیکی در هر لحظه نیز باید تحت یک تبدیل خاص قرار گیرند. این تبدیل که «عملگر وارونی زمان» نامیده می‌شود، کمیت‌های فیزیکی گوناگونی را دستخوش تغییر می‌کند. برای مثال، جای ذرات ثابت می‌ماند، اما تکانه و اسپین آن‌ها معکوس می‌شود. رابرتز در مکانیک کلاسیک، کوانتومی و نظریه‌های نسبیتی نشان می‌دهد که این عملگر دقیقاً به چه شکل تعریف می‌شود. نکته‌ی بنیادین در دیدگاه او این است که معنای دقیق این عملگر را نمی‌توان با اتکا به شهود ساده‌انگارانه فهمید، بلکه باید آن را از درون ساختار ریاضی خودِ نظریه بیرون کشید.

۲.۲. نقدهای کوبنده بر «برداشت پنکیکی» و تمرکز ویژه بر نقد چهارم

در مقابل، رابرتز «برداشت پنکیکی» آلبرت و کالندر را مطرح می‌کند؛ دیدگاهی که عملگر وارونی زمان را کاملاً کنار می‌گذارد و ادعا می‌کند که فقط ترتیب رویدادها باید معکوس شود. چرا که از نگاه این دو فیلسوف، تنها ویژگی‌هایی که ذاتاً به تغییر در زمان وابسته‌اند (مانند سرعت) باید تغییر علامت دهند و سایر چیزها، مانند میدان مغناطیسی، دست‌نخورده باقی می‌مانند. رابرتز با پنج نقد اساسی این دیدگاه را از پایه متزلزل می‌کند.

از میان این پنج نقد، من بر نقد چهارم: تعیّن‌نیافتگی رادیکال تمرکز می‌کنم. استدلال رابرتز از این قرار است: صرفاً گفتن «ترتیب را برعکس کن» بسیار مبهم است. بی‌نهایت راه ریاضی برای انجام این کار وجود دارد که همگی ترتیب را معکوس می‌کنند اما به نتایج فیزیکی کاملاً متفاوتی می‌رسند. رابرتز می‌گوید برای انتخاب یکی از این بی‌نهایت راه، ناچاریم اصولی اضافی را بپذیریم، مانند این‌که تبدیل مورد نظر باید خطی باشد تا

زمان را کش نیاورد، و باید یک پیچش باشد تا با دوبار انجام شدن، ما را به نقطه‌ی آغاز بازگردانَد. نکته‌ی شگرف اینجاست: به محض پذیرش این اصول اضافی، دقیقاً به همان تعریف استانداردی می‌رسیم که فیزیک‌دانان همیشه استفاده کرده‌اند.

این تحلیل عمیق است، اما در خود پیامی پنهان دارد که رابرتز آن را باز نمی‌کند. او نشان می‌دهد که این اصول (خطی بودن، پیچش) از کجا می‌آیند؟ آن‌ها مستقیماً از تصویر ما از زمان به مثابه یک پارامتر پیوسته و ریاضی‌گونه نشأت می‌گیرند. به عبارت دیگر، تمام استدلال رابرتز بر این پیش‌فرض استوار است که زمان اساساً موجودیتی شبیه به یک محور ریاضی است. و این دقیقاً همان پیش‌فرضی است که من قصد دارم آن را به چالش بکشم.

۲.۳. پیش‌فرض آزموده‌نشده: زمان به مثابه یک پارامتر خارجی

نکته‌ی محوری تحلیل من این است: تمام بحث رابرتز در درون پارادایمی رخ می‌دهد که زمان را یک «بُعد» یا «پارامتر» خارجی و بنیادین می‌بیند؛ چیزی که می‌توان آن را دستکاری کرد و معکوس نمود. این پارادایم، میراث مشترک نیوتن و تمام فیزیک مدرن است. در این چارچوب، پرسش «عملگر وارونی زمان دقیقاً چیست؟» یک پرسش کاملاً معقول و ضروری است و رابرتز بهترین پاسخ ممکن را به آن می‌دهد.

اما رسالت فلسفه تنها یافتن پاسخ‌های درست در درون یک پارادایم نیست؛ گاه باید خودِ پارادایم را به پرسش گرفت. پرسش اصلی من این است: آیا زمان، در بنیادی‌ترین سطح واقعیت، اصلاً از جنس «پارامتر» است؟ اگر پاسخ منفی باشد، آن‌گاه تمام مناقشه‌ی استاندارد/پنکیکی، با همه‌ی دقت فنی‌اش، بر اساس یک مقوله‌بندی نادرست از واقعیت شکل گرفته است.

---

۳. بحث و بررسی: به چالش کشیدن پیش‌فرض؛ آیا زمان یک «پارامتر» است یا یک «کنش»؟

در این بخش، می‌خواهم از این ایده دفاع کنم که پیش‌فرض «زمان به مثابه پارامتر» نه تنها بدیهی نیست، بلکه ممکن است مانعی بر سر راه تفکر عمیق‌تر درباره‌ی ماهیت زمان باشد. من یک هستی‌شناسی بدیل را پیشنهاد می‌کنم و نشان می‌دهم که اگر این تصویر جدّی گرفته شود، مسئله‌ی وارونی زمان به کلی دگرگون می‌شود.

۳.۱. دو تصویر از زمان: محور در برابر ضرب‌آهنگ

دو تصویر رقیب از چیستی زمان را در برابر هم قرار می‌دهم:

- تصویر اول: زمان به مثابه محور. در این تصویر، زمان یک خط پیوسته و از پیش‌آماده است که جهان روی آن حرکت می‌کند. می‌توان روی این خط نقاطی را علامت زد، میان گذشته و آینده جابه‌جا شد، و حتی جهت حرکت را معکوس کرد. این تصویر، اساس تمام تحلیل‌های رابرتز و در واقع، بنیان ریاضیاتِ فیزیک مدرن است.
- تصویر دوم: زمان به مثابه ضرب‌آهنگ. حال تصور کنید هیچ خطی از پیش وجود ندارد. زمان چیزی نیست جز خودِ «کنش» یک فرآیند بنیادین. درست مانند ضربان قلب: ضربان قلب یک رویداد درون‌زمانی نیست، بلکه خودِ آهنگِ بودنِ آن موجود زنده است. در این تصویر، زمان یک شمارنده‌ی خارجی نیست، بلکه نامی است که ما بر توالی خلاقانه‌ی یک فرآیند بنیادین می‌گذاریم. هر لحظه یک «آفرینش» جدید است، نه یک نقطه روی یک محور از پیش‌موجود.

اجازه دهید این تمثیل را بسط دهم. هنگامی که یک پیانیست قطعه‌ای را می‌نوازد، زمان موسیقایی نه با ساعت، که با ضرب‌آهنگ خودِ قطعه تعریف می‌شود. آیا «معکوس کردن زمان این قطعه» معنادار است؟ بله، می‌توان نوار ضبط‌شده‌ی آن را برعکس پخش کرد. این همان کاری است که فیزیک با معادلاتش انجام می‌دهد. اما خوب می‌دانیم که نوازنده نمی‌تواند «وارونه بنوازد». اجرای زنده یک فرآیند یک‌طرفه و بازگشت‌ناپذیر است. پرسش این است: کدام یک به واقعیت بنیادین نزدیک‌تر است؟ جهانی که یک نوار ضبط‌شده‌ی قابل معکوس شدن است، یا جهانی که یک سمفونی در حال نواخته شدن است؟

۳.۲. درس‌هایی از یک انقلاب علمی: چرا چارچوب پرسش مهم است؟

برای درک اهمیت این تغییر نگاه، می‌توان از یکی از بزرگ‌ترین انقلاب‌های تاریخ علم درس گرفت. برای قرن‌ها، مدل زمین‌مرکزی بطلمیوسی چارچوب مسلط برای فهم کیهان بود. این مدل با استفاده از ابزارهای پیچیده‌ای چون افلاک تدویر، می‌توانست با دقت خوبی موقعیت سیارات را پیش‌بینی کند. هرگاه رصدی ناسازگار از آب درمی‌آمد، یک فلک تدویر جدید اضافه می‌شد. دستگاه نظری هر روز پیچیده‌تر می‌شد، اما در چارچوب خودش کار می‌کرد. پرسش‌های آن دوران از جنس «چند فلک تدویر برای مریخ لازم است؟» کاملاً معنادار بود. اما وقتی کوپرنیک و کپلر مرکز را از زمین به خورشید منتقل کردند، ناگهان آن همه پیچیدگی از میان رفت. پاسخ‌های بطلمیوسیان «غلط» نبودند، بلکه خودِ پرسش‌ها در چارچوبی نادرست شکل گرفته بودند.

۳.۳. وارونی زمان: یک مسئله‌ی بطلمیوسی در فیزیک معاصر؟

آیا مناقشه‌ی استاندارد/پنکیکی درباره‌ی وارونی زمان یک «مسئله‌ی بطلمیوسی» نیست؟ در مدل بطلمیوسی، «زمینِ ثابت» در مرکز بود. در فیزیک مدرن، «پارامتر زمانِ قابل معکوس» در مرکز فرمول‌بندی‌های ریاضی ما

قرار دارد. همان‌طور که اخترشناسان قرون وسطی با زبردستی تمام افلاک تدویر را می‌افزودند، فیزیک‌دانان امروز نیز با مهارتی تحسین‌برانگیز عملگر وارونی زمان را تعریف و اصلاح می‌کنند. اما اگر فرض مرکزی غلط باشد، چه؟ اگر زمان یک پارامتر خارجی نباشد، بلکه یک «کنشِ» خلاقانه و یک‌طرفه باشد، آن‌گاه کل پروژه‌ی «وارونی زمان» به پروژه‌ای بطلمیوسی بدل می‌شود: ما در حال محاسبه‌ی «افلاک تدویر» ریاضی برای معکوس کردن چیزی هستیم که اساساً برگشت‌ناپذیر است. این به معنای بی‌فایده بودن تحلیل رابرتز نیست، بلکه نشان می‌دهد که تحلیل او یک «نظریه‌ی مؤثر» است، نه توصیف واقعیت بنیادین.

گسترش این تمثیل به فیزیک ذرات، افق‌های تأمل‌برانگیزی می‌گشاید. همان‌طور که بطلمیوسیان برای حفظ مدل خود پیوسته افلاک تدویر جدید می‌افزودند، فیزیک مدرن نیز برای حفظ مدل استاندارد ذرات بنیادی، به طور مداوم به دنبال ذرات جدید می‌گردد تا شکاف‌ها را پر کند. آیا این جست‌وجو نشانه‌ی قدرت نظریه است، یا نشانه‌ی بحرانی در شالوده‌های آن؟ این پرسش به معنای انکار موفقیت‌های عظیم مدل استاندارد نیست، بلکه تأملی است بر این نکته که شاید تعدد و تکثر ذرات، نه ویژگی بنیادین طبیعت، بلکه محصول جانبی یک چارچوب نظری خاص باشد. همان‌طور که گذار به خورشیدمرکزی، پیچیدگی را به سادگی بدل کرد، شاید گذار از پارادایم «ذرات بنیادین متکثر» به پارادایم «یک فرآیند یگانه‌ی زیربنایی» نیز روزی چنین تحولی را رقم بزند.

در این صورت، نقد تعیّن‌نیافتگی رابرتز معنایی عمیق‌تر می‌یابد. رابرتز می‌گفت برداشت پنکیکی در انتخاب تبدیلِ درست برای معکوس کردن ترتیب دچار مشکل است. اما از منظر جدید، خودِ «پارامتر زمانِ قابل معکوس» نیز دچار تعیّن‌نیافتگی هستی‌شناختی است. ما نمی‌دانیم که این پارامتر در معادلات، واقعیت را نشان می‌دهد یا صرفاً یک ابزار محاسباتی است. پرسش «عملگر وارونی زمان چیست؟» در درون پارادایم

کاملاً موجّه است، اما شاید پاسخ آن ما را به حقیقت زمان نزدیک‌تر نکند، همان‌طور که محاسبه‌ی دقیق‌تر افلاک تدویر ما را به ساختار واقعی منظومه‌ی شمسی نزدیک‌تر نمی‌کرد.

۳.۴. دفاع از «وارون‌ناپذیری» به عنوان یک امکان فلسفی جدّی

ممکن است منتقدی بگوید این تحلیلْ بیش از حد متافیزیکی است. پاسخ من سه وجه دارد:

نخست، این تحلیل معمای «پیکان زمان» را از نو صورت‌بندی می‌کند. اگر قوانین میکروسکوپی وارون‌پذیرند، چرا جهان ماکروسکوپی پیکانی بازگشت‌ناپذیر دارد؟ فیزیک این را با شرایط اولیه‌ی خاص بیگ‌بنگ توضیح می‌دهد، که خود یک فرض حل‌نشده است. اما اگر بپذیریم که قوانین بنیادین اصلاً وارون‌پذیر نیستند و آنچه ما به عنوان تقارن زمانی می‌بینیم، محصول روش‌های مدل‌سازی ماست، آن‌گاه این معما از اساس دگرگون می‌شود. پیکان زمان دیگر نیازی به توجیه ندارد، زیرا پیکان، خودِ ذات واقعیت است.

دوم، تاریخ علم به ما هشدار می‌دهد. انقلاب کوپرنیکی نشان داد که بدیهی‌ترین پیش‌فرض‌ها می‌توانند فرو بریزند. ما امروز به همان اندازه به معکوس‌پذیری زمان یقین داریم که بطلمیوسیان به مرکزیت زمین. شاید تعدد ذرات بنیادین در مدل استاندارد نیز از همین جنس باشد؛ پیچیدگی‌ای که از محدودیتِ چارچوب نظری ما برمی‌خیزد، نه از دل طبیعت.

سوم، من در پی نفی فیزیک نیستم، بلکه در جست‌وجوی فهم جایگاه آن هستم. تحلیل رابرتز برای هر فیزیک‌دانی یک راهنمای عملی عالی است. اما وظیفه‌ی فیلسوف تمایز نهادن میان «ابزار» و «واقعیت» است. «وارونی زمان» یک ابزار مفهومی دقیق است، اما این ابزار نباید ما را دچار این توهم کند که به ذات زمان دست یافته‌ایم. شاید ما نیازمند یک «انقلاب کوپرنیکی» در فهم زمان باشیم: از زمان به مثابه محورِ آماده، به زمان به مثابه ضرب‌آهنگِ آفرینشگر.

۴. جمع‌بندی: ستایشِ دقت، و گشودنِ افق

«وارونی زمان» نوشته‌ی برایان رابرتز یک دستاورد تحسین‌برانگیز است. او بحث را از مناقشات شهودی به سطح دقت ریاضی و ساختاری ارتقا می‌دهد و نشان می‌دهد که در پارادایم حاکم، «برداشت استاندارد» تنها پاسخ منسجم است.

با این حال، وظیفه‌ی فلسفه فقط یافتن پاسخ‌های درست در درون یک پارادایم نیست، بلکه به پرسش کشیدن خودِ آن پارادایم است. در این مقاله کوشیدم نشان دهم که بحث وارونی زمان بر پیش‌فرضی استوار است که خود می‌تواند موضوع پرسشگری فلسفی باشد. با الهام از انقلاب کوپرنیکی، استدلال کردم که اگر زمان را نه یک محور آماده، بلکه ضرب‌آهنگ یک فرآیند بنیادین بپنداریم، «وارونی زمان» از یک ویژگی طبیعت به یک «تقارن مؤثر» در مدل‌های ریاضی ما تغییر جایگاه می‌دهد. این تغییر نگاه می‌تواند پرسش‌های مشابهی را درباره‌ی دیگر پیش‌فرض‌های فیزیک مدرن، از جمله تعدد ذرات بنیادین، فراروی ما بگذارد.

جمع‌بندی نهایی من یک دعوت است: اگر زمان، نه یک محور، که تپشِ یک «شدنِ» خلاقانه باشد، ما نه در جهانی از قوانین برگشت‌پذیر، که در دل یک داستانِ بازگشت‌ناپذیر زندگی می‌کنیم. شاید زمان آن رسیده باشد که نه فقط به دنبال تعریف دقیق‌ترِ «عملگر وارونی»، که در پی تغییر بنیادین نگاهمان به خودِ زمان و تلاش برای یافتن بنیانی یگانه برای کثرت‌های مشاهده‌شده باشیم. شاید انقلاب کوپرنیکی کوچکی در فلسفه‌ی فیزیک در انتظار ماست.