

## پوپر و عدم قطعیت

محدثه برهانی نژاد\*

حسین واله\*\*

### چکیده

پوپر معتقد است که هایزنبرگ در تعبیرش از اصل عدم قطعیت دچار اشتباه شده است. به نظر وی، وجود حدی برای دقت که مدعای هایزنبرگ است، نتیجه منطقی فرمول‌های تئوری کوانتوم نیست، بلکه فرضی اضافی است. به باور پوپر، تعبیر هایزنبرگ از عدم قطعیت حاوی عناصر متافیزیکی و لذا ابطال‌ناپذیر است. پوپر با ارائه نظریه پراکندگی آماری، تفسیری جدید از عدم قطعیت ارائه می‌دهد تا نشان دهد امکان اندازه‌گیری‌هایی دقیق‌تر از آنچه اصل عدم قطعیت مجاز می‌شمرد با فرمول‌های تئوری کوانتوم یا تفسیر آماری این تئوری منافات ندارد و در صورت تفسیر آماری فرمول‌های تئوری کوانتوم، فرض اضافی هایزنبرگ با آن فرمول‌ها در تناقض خواهد بود.

**کلیدواژه‌ها:** اصل عدم قطعیت، فیزیک کوانتوم، پراکندگی آماری، پوپر، هایزنبرگ.

### ۱. مقدمه

تا اواخر سده نوزدهم، قوانین اساسی فیزیک، ضروری تلقی می‌شد و تحلیل آماری ناشی از ناآگاهی ما یا فقدان ابزارهای اندازه‌گیری دقیق یا نداشتن مهارت کارکردن با دستگاه‌های پیچیده بود. دانشمندان بر این باور بودند که اگر ما از تمام پارامترها و عوامل مؤثر در تکوین یک پدیده باخبر باشیم و توانایی انجام محاسبات طولانی و پیچیده را داشته باشیم دیگر نیازی به تحلیل آماری نیست و می‌توانیم آینده پدیده را با قطعیت تعیین کنیم.

\* کارشناس ارشد فلسفه، فارغ‌التحصیل دانشگاه شهید بهشتی

\*\* دکترای فلسفه، استادیار گروه فلسفه دانشکده ادبیات دانشگاه شهید بهشتی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۶/۱۹، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۹/۱۵

در قرن بیستم با ظهور فیزیک کوانتومی و به ویژه اصل عدم قطعیت، این چهارچوب ذهنی درهم گسیخت و امکان پیش‌بینی قطعی حالت آینده پدیده با دانستن قوانین حاکم بر آن منتفی شد. چهارچوب مفهومی فیزیک کوانتومی نه تنها نامتعارف، بلکه برخلاف شم و شهود بود. فیزیک کوانتومی موجب تغییری اساسی در نگرش علمی ما به میکروذرات شد. نتیجه این رویداد نه تنها تردید و بازانندیشی در فیزیک و مفاهیم آن بود، بسیاری از مفاهیم فلسفی را نیز به چالش کشید؛ لذا علاوه بر فیزیک‌دانان، فیلسوفان نیز به بررسی و تأمل در باب اصل عدم قطعیت پرداختند. عده‌ای از ایشان با اتخاذ رویکرد ذهنی، به هم‌خوانی اصل عدم قطعیت با پدیده‌های جهان رأی دادند و گروهی دیگر با عینی و واقعی دانستن عدم قطعیت، آن را خصوصیت ذاتی طبیعت قلمداد کردند.

پوپر از کسانی است که به اصل عدم قطعیت واکنش نشان داد و بر آن شد که می‌توان با دادن تفسیری جدید از عدم قطعیت از مشکلاتی که هایزنبرگ به آن دچار شد، رهایی یافت. پوپر با این که فیزیک‌دانی حرفه‌ای نیست، علاوه بر بررسی فلسفی، به بررسی فیزیکی این اصل می‌پردازد و آزمایشی فیزیکی در جهت گشایش معضل عدم قطعیت ارائه داد که بعدها آزمایش وی عملی شد. بنابراین بررسی آرای وی در این خصوص، اهمیتی بسیار می‌یابد.

در اولین بخش از نوشته حاضر، زمینه تاریخی اصل عدم قطعیت را همراه با توضیحاتی مختصر در باب عدم قطعیت و موضع فیلسوفان و دانشمندان درباره آن بیان می‌کنیم. در بخش دوم، نقد پوپر بر دیدگاه فیزیک‌دانان و به ویژه هایزنبرگ و دیدگاه خود او در این خصوص را توضیح می‌دهیم. در بخش بعدی به نظریه پاشیدگی آماری پوپر می‌پردازیم و مقاله را با گزارشی از آزمایش دو تن از فیزیک‌دانان عصر حاضر که ایده پوپر را عملی ساختند، به پایان می‌بریم.

## ۲. اصل عدم قطعیت

ورنر هایزنبرگ (Werner Karl Heisenberg, 1901-1976) در ۱۹۲۷، سعی کرد موضع و سرعت یک الکترون را محاسبه کند. دشواری‌ای که در محاسبه اوصاف یک الکترون وجود دارد این است که الکترون کوچک‌تر از طول موج یک موج نوری متداول است. بنابراین برای مشاهده مستقیم یک الکترون باید از میکروسکوپی بسیار قوی‌تر از میکروسکوپ‌های کنونی استفاده کنیم. هنگام استفاده از میکروسکوپ، از یک چشمه نور هم استفاده خواهیم کرد. از پیش می‌دانیم که فوتون‌های نور در وضع الکترون‌ها اختلال ایجاد می‌کند. بنابراین،

برای محاسبهٔ موضع و سرعت یک الکترون با دو مشکل مواجه‌ایم: از نور معمولی نمی‌توانیم استفاده کنیم چون الکترون‌ها طول موجی کوتاه‌تر از طول موج نور معمولی دارند. پس ناگزیر از پرتوهای نور با طول موج خیلی کوتاه کمک می‌گیریم، اما چون آن‌ها هم بسامد بالا دارند و موج‌هایی (بسیار کوتاه) با طول موج‌هایی کوتاه‌تر از نورند، آن‌ها دارای انرژی بالایی هستند و خود باعث اختلال در وضعیت الکترون خواهند شد.

به این ترتیب انجام یک آزمایش که با آن بتوانیم موضع و سرعت یک الکترون را محاسبه کنیم ناممکن است و هر محاسبه‌ای که انجام دهیم به سبب اختلالی که ابزار محاسبه‌گر به وجود می‌آورد تقریبی خواهد بود. استدلال هایزنبرگ این است که نه تنها محاسبه کردن در عمل امکان‌پذیر نیست بلکه از لحاظ نظری هم انجام محاسبه به طور دقیق نامیسر است.

هایزنبرگ از این هم پیش‌تر رفت؛ او استدلال کرد که با تعیین وضع دقیق یک الکترون، سرعت آن را مختل می‌کنیم. یعنی برای تعیین سرعت یک الکترون کم و بیش به طور دقیق کاری می‌کنیم که تعیین وضع یک الکترون غیر دقیق‌تر بشود. بنابراین دستیابی به محاسبه کم و بیش دقیق موضع و سرعت یک الکترون به طور هم‌زمان، امکان‌پذیر نیست. برهان قاطع او در این محاجه این است که درجهٔ نامعین‌بودن سنجش ما برابر است با نسبتی از ثابت پلانک. فرمول زیر بیان‌گر رابطهٔ عدم تعیین موضع و سرعت است:

$$\Delta p \Delta q = h/4\pi$$

در این فرمول  $p$  و  $q$  به جای موضع و سرعت یک الکترون یا ذرهٔ زیراتمی هستند و البته  $h$  ثابت پلانک،  $\Delta p$  و  $\Delta q$  به ترتیب نشانهٔ عدم قطعیت سرعت و موضع هستند.

### ۳. آغاز کار پوپر بر روی نظریهٔ عدم قطعیت

پس از ارائهٔ اصل عدم قطعیت، واکنش‌های بسیاری در جهت تعدیل یا مخالفت با آن شکل گرفت، کارل پوپر از کسانی است که به این اصل واکنش نشان داد. پوپر با آن‌که فیزیک‌دان نبود، به عنوان فیلسوف علم با روش‌های فلسفی و منطقی به تفسیر نظریهٔ عدم قطعیت پرداخت. به نظر پوپر در هر شاخه‌ای از علوم تجربی پرسش‌هایی مطرح می‌شود که بیش‌تر جنبهٔ منطقی دارند تا علمی و پاسخ آن‌ها را باید در جایی غیر از حوزهٔ علم یافت. کما این‌که «متخصصان فیزیک کوانتوم، با اشتیاق در بحث‌های معرفت‌شناسانه مشارکت

می‌جویند. ممکن است این نشانه آن باشد که آنان خود احساس می‌کنند که پاسخ پاره‌ای از مسائل حل‌نشده نظریه کوانتوم را باید در زمین بی‌طرفی جست که میان فیزیک و منطق واقع است» (Popper, 2002: 209).

#### ۴. تعابیر عینی و ذهنی از عدم قطعیت

به نظر پوپر دو تعبیر از عدم قطعیت وجود دارد: تعبیر عینی (objective) و تعبیر ذهنی (subjective).

##### ۱.۴ تعبیر ذهنی

در تعبیر ذهنی، «ذره مکان دقیق و اندازه حرکت دقیق (و لذا مسیر دقیق) دارد ولی اندازه‌گیری هم‌زمان هر دو برای ما میسر نیست. در این صورت طبیعت همچنان پاره‌ای از کمیات فیزیکی را از چشم ما پنهان داشته است، هرچند خود وضعیت یا خود اندازه حرکت یا مسیر بر ما پوشیده نیست، ترکیب آن دو یعنی وضعیت همراه اندازه حرکت یا مسیر هرگز به دست ما نخواهد افتاد» (ibid: 215). طبق این تفسیر، عدم قطعیت به معرفت بشر مربوط است؛ بدین معنا که نقصان معرفت انسان در باب ذرات اتمی چنین مشکلی را پدید می‌آورد. لذا عدم قطعیت ناشی از خصلت ذاتاً نامعین جهان کوانتومی نیست، بلکه ناشی از جهل ما از جزئیات عملکرد جهان است. علت‌های نامشخصی وجود دارند که عملاً وقوع آنچه رخ می‌دهد، تعیین می‌کنند. از آنجایی که این تعبیر، حدی برای شناخت ما مقرر می‌دارد، ذهنی است. در این جا «احتمال» امری معرفت‌شناختی است نه هستی‌شناختی، یعنی به محدودیت‌های معرفت ما مربوط می‌شود نه به چیزی در طبیعت. از میان فیلسوفان، برتراند راسل از زمره کسانی است که به چنین تعبیری از عدم قطعیت معتقد است، او می‌نویسد: «فقط در همین اواخر روش‌های تجربی توانسته‌اند آگاهی‌هایی از حرکات اتم‌های منفرد به دست آورند و هیچ بعید نیست قوانین ممکن حاکم بر این حرکات هنوز کشف نشده باشند. در واقع اثبات این که فلان دسته از پدیده‌ها از هیچ قانونی پیروی نمی‌کنند، علی‌الاصول و به طور نظری غیر ممکن است. آنچه در این موارد می‌توان گفت این است که شاید قوانینی حاکم بر آنها باشند که هنوز دانسته نشده‌اند» (راسل، ۱۳۶۰: ۱۰۶). به نظر پوپر اینشتین نیز تعبیری ذهنی داشت زیرا عدم قطعیت را ناشی از فقدان دانش و شناخت انسان می‌دانست (Popper, 1990: 8).

## ۲.۴ تعبیر عینی

در مقابل تعبیر ذهنی، فائلان به تعبیر عینی معتقدند که بر رفتار اتم قوانین دقیقی حاکم نیست. در این جا عدم قطعیت به خود واقعیت مربوط است و خصوصیت ذاتی و عینی طبیعت است. اصل عدم قطعیت از ماهیت موجوداتی که ما با آن‌ها سروکار داریم ناشی می‌شود نه از فقدان مهارت ما در تحقیق درباره آن‌ها. بر این اساس «احتمال» امری هستی‌شناختی و مفهومی اولیه و تحویل‌ناپذیر تلقی می‌شود. اینان برآنند که چون نظریه کوانتوم با هزاران بار آزمایش آزموده شده است، باید نظیر سایر نظریه‌های مقبول پذیرفته شود و تصویری که از جهان ارائه می‌دهد تصویری اطمینان‌بخش دانسته شود. طبق این تعبیر عدم قطعیت ناشی از پدیده مورد مشاهده است و اتم پدیده‌ای متفاوت از سایر پدیده‌هاست. اگر از دانستن سرعت و مکان دقیق ذره به طور هم‌زمان ناتوانیم، این بدان معنا نیست که سرعت و مکان دقیق آن بر ما پوشیده است بلکه ذره ماهیتاً فاقد سرعت و مکان دقیق است.

هایزنبرگ معتقد به چنین تعبیری از عدم قطعیت بود، به نظر او اتم مانند اشیای فیزیکی معمولی نیست و نمی‌توان خصوصیات جهان اطراف را به حیطه اتمی تعمیم داد (باربور، ۱۳۶۰: ۳۳۹).

## ۵. نقد پوپر به تعبیر هایزنبرگ از عدم قطعیت

پوپر بر آن است که هایزنبرگ با برنامه‌ای معرفت‌شناسانه قصد داشت تئوری اتمی را از وجود هر آنچه «مشاهده‌ناپذیر» (unobservable) است یعنی از عناصر متافیزیکی بپیراید حال آن‌که، تعبیر هایزنبرگ از عدم قطعیت از عناصر متافیزیکی پیراسته نگشته و این دلیلی است بر این‌که هایزنبرگ در برنامه‌اش شکست خورده است. حتی اگر تفسیر او را عینی بگیریم باز در آن، عناصر متافیزیکی وجود دارد. پوپر می‌نویسد: «تفسیر عینی می‌گوید: ... ذرات اصولاً مسیر ندارند؛ آنچه هست فقط وضعیت دقیق همراه با اندازه حرکت نادقیق، یا اندازه حرکت دقیق همراه با وضعیت نادقیق است. حتی با پذیرفتن این تفسیر نیز عناصر متافیزیکی همچنان در ساختار صوری تئوری باقی خواهند ماند. برای آن‌که چنان‌که ملاحظه کردیم «مسیر» یا «اندازه حرکت» ذره در مقاطعی از زمان که در اساس به مشاهده در نمی‌آیند، قابل محاسبه است» (Popper, 2002: 215).

پوپر بر آن است که هایزنبرگ تحت تأثیر اندیشه‌های فلسفی پوزیتیویستی، مفهوم مسیر را مردود می‌انگارد و از کمیات مشاهده‌ناپذیر سخن می‌گوید (ibid: 227).<sup>۱</sup>

پوپر در نقد خود، ادامه می‌دهد که، طرف‌داران نظریه عدم قطعیت بین پذیرش تعبیر ذهنی یا عینی از عدم قطعیت تردید داشتند. برای نمونه شلیک تعبیر خود را از عدم قطعیت عینی می‌داند و در عین حال می‌گوید: خود حوادث طبیعی غیر ممکن است که به طرز معناداری «ابهام» یا «عدم دقت» را بیان کنند. فقط در اندیشه‌های ماست که چنین چیزهایی به کار می‌روند (ibid: 215-216).

به این ترتیب، هایزنبرگ در تفسیرش از عدم قطعیت به محدودیت اندازه‌گیری می‌رسد و امکان اندازه‌گیری مسیر را منتفی اعلان می‌دارد، در صورتی که پوپر معتقد است که می‌توان مسیر یا اندازه حرکت (momentum) را محاسبه کرد. به نظر وی مشکل هایزنبرگ در روابط عدم قطعیت این است که پس از اندازه‌گیری، صرفاً به کمیات توجه می‌کند. به نظر پوپر در دقت تعیین موضع و اندازه حرکت الکترون، تا لحظه اندازه‌گیری محدودیتی وجود ندارد. برای آن‌که به باور وی «می‌توان چندین اندازه‌گیری را به طور متوالی انجام داد و مقادیر مورد نظر را با دقت نامحدودی تعیین کرد. بنابراین با تلفیق نتایج اندازه‌گیری‌ها (الف) بین دو اندازه‌گیری موضع؛ (ب) بین اندازه‌گیری اندازه حرکت و اندازه‌گیری موضع پس از آن؛ (پ) بین اندازه‌گیری اندازه حرکت و اندازه‌گیری موضع پیش از آن، امکان آن هست که مختصات دقیق اندازه حرکت و موضع را در هر زمان بین دو اندازه‌گیری محاسبه کرد» (ibid: 214). اندازه‌گیری اندازه حرکت به دنبال اندازه‌گیری موضع را می‌توان با این آزمایش عملی ساخت؛ نخست پرتوی را به کمک پرده‌ای که بر روی آن شکافی باریک واقع است، بر حسب موضع انتخاب می‌کنیم (اندازه‌گیری موضع) سپس اندازه حرکت ذراتی را که از میان شکاف در امتداد معینی حرکت می‌کنند به دست می‌آوریم. این دو آزمایش با هم، مسیر همه ذره‌های متعلق به گزینش دوم را که بین دو اندازه‌گیری قرار می‌گیرند، معین می‌کند یعنی هم موضع و هم اندازه حرکت بین دو اندازه‌گیری را می‌توان با دقت محاسبه کرد (ibid: 226).<sup>۲</sup>

پوپر در استدلالش مبنی بر محدودیت نداشتن اندازه‌گیری، میان فرمول‌های هایزنبرگ و تفسیر هایزنبرگ از این فرمول‌ها، یعنی روابط عدم قطعیت، تفکیک می‌نهد و در خصوص همین روابط است که محدودیت اندازه‌گیری بروز می‌کند.

## ۶. تفسیری جدید از فرمول‌های عدم قطعیت

به عقیده پوپر فرمول‌های هایزنبرگ احکامی آماری هستند، زیرا ناگزیریم برای استنتاج

ریاضی این فرمول‌ها از معادله موجی یا فرضی معادل آن استفاده کنیم که تفسیری آماری دربر دارد. این تفسیر این نتیجه را در پی دارد که توصیف هر ذره واحد، به صورت یک گزاره احتمالی صورتاً شخصی است. یعنی گزاره‌هایی که احتمالی را به یک پیشامد یا به یک عضو از مجموعه‌ای از پیشامدها نسبت می‌دهند مانند این گزاره هستند که احتمال پنج آمدن تاس در پرتاب بعدی  $\frac{1}{6}$  است.

از دیدگاه تئوری بسامدی اصولاً طرح این‌گونه گزاره‌ها نادرست است. تئوری بسامدی احتمالات که مبنای همه قضایای اصلی حساب احتمالات را فراهم می‌سازد، نظریه مدونی است درباره تعدادی رویداد پی‌درپی یا پیشامدهای تصادفی، یعنی رویدادهای تکراری مانند چندین پرتاب پی‌درپی تاس. مطابق تئوری بسامدی احتمال فقط به مجموعه‌ای از پیشامدها یا رویدادها تعلق می‌گیرد نه به پیشامدهای منفرد. بنابراین طرح گزاره‌هایی درباره یک رویداد نادرست است.

## ۱.۶ تعبیر پراکندگی آماری

به این ترتیب پوپر تفسیری عینی و آماری از روابط عدم قطعیت ارائه می‌دهد ( Popper, 1990: 8). وی این تعبیر را چنین بیان می‌کند

هرگاه بتوانیم در لحظه‌ای مشخص، مجموعه و گزیده‌ای [مقصود از گزیده جداسازی فیزیکی است] از ذرات را که با درجه دقت معینی در وضعیت خاص  $x$  قرار می‌گیرند، داشته باشیم خواهیم دید که پاشیدگی (scattering) اندازه حرکت آن ذرات (یعنی  $p_x$ ) تصادفی (random) است و هرچه  $\Delta x$  یعنی حوزه پاشیدگی یا خطای وضعیت را کوچک‌تر سازیم، حوزه پاشیدگی  $\Delta p_x$  بزرگ‌تر می‌شود و به عکس (Popper, 2002: 220).

مطابق تعبیر پوپر، یک حالت کوانتومی، نمایش‌گر مجموعه‌ای از سیستم‌های یک‌سان آماده شده است، ولی لزوماً توصیف کاملی از یک سیستم منفرد به دست نمی‌دهد. تعبیر آماری همواره برای ذره، موضعی در نظر می‌گیرد، ولی این مواضع در مجموعه‌ای از آزمایش‌های مشابه، تحقق پیدا می‌کنند. از دید پوپر روابط هایزنبرگ چیزی درباره دقت قابل حصول در اندازه‌گیری‌ها یا حدود دانش ما نمی‌گویند، بلکه حد پایین پاشیدگی آماری نتایج آزمایش یا حد بالای همگنی حالات کوانتومی را به دست می‌دهند. این پاشیدگی، به تهیه حالات کوانتومی مربوط می‌شود. در واقع در تهیه چنین حالاتی ما همواره یک

پاشیدگی در کمیت مزدوج وارد می‌کنیم و این پاشیدگی قابل حذف نیست. اما این روابط به‌هیچ‌وجه محدودکننده دقت اندازه‌گیری روی تک‌ذره‌ها نیست.

## ۲.۶. گزینش فیزیکی

پوپر در تعبیر پاشیدگی آماری از اصطلاح گزینش فیزیکی استفاده می‌کند؛ گزینش فیزیکی در مقابل گزینش ذهنی است مانند گزینش جمیع ذرات گذرنده از حوزه  $\Delta p$  که عضو مجموعه‌ای بزرگ‌تر است ولی اعضایش به طور فیزیکی غربال نشده‌اند. به نظر پوپر، گزینش فیزیکی متفاوت از اندازه‌گیری است. او معنای گزینش فیزیکی را با مثالی روشن‌تر می‌کند: اگر در جریانی از ذرات همه آن‌ها را به استثنای ذراتی که دارای وضعیتی در حوزه  $\Delta x$  هستند غربال کنیم، ذرات متعلق به پرتوی که بدین‌گونه از بقیه جدا شده باشند، تشکیل یک گزیده فیزیکی یا فنی بر حسب ویژگی  $\Delta x$  می‌دهند و همین فرایند جداسازی یا نتیجه آن، یعنی پرتوی از ذرات که به طور فیزیکی از بقیه جدا شده باشد، گزینش فیزیکی است (ibid: 221).

هر گزینش فیزیکی را می‌توان یک اندازه‌گیری دانست و در عمل از آن به صورت یک اندازه‌گیری استفاده کرد و به این ترتیب وضعیت الکترون را مشخص کرد، اما هر اندازه‌گیری گزینشی فیزیکی نیست. برای مثال اگر دریچه را به روی همه ذراتی که از دامنه وضعیتی خاص عبور نمی‌کنند، ببندیم یا همه آن‌ها را غربال کنیم و بدین نحو پرتوی از ذرات را برگزینیم (گزینش مکانی) و سپس اندازه حرکت یکی از آن ذرات را اندازه بگیریم، می‌توانیم گزینش مکانی را به مثابه اندازه‌گیری موضع فرض کنیم، زیرا این گزینش بر ما معلوم می‌سازد که کدام ذره از موضع مورد نظر گذشته است.

از دید پوپر زمانی که تفسیری آماری از تئوری کوانتوم داشته باشیم نمی‌توانیم هیچ پیش‌بینی منفردی را به دلیل برقراربودن روابط پراکندگی، نتیجه بگیریم و قادر نیستیم که با دخالت تجربی در سیستم، شرایط اولیه را ایجاد کنیم؛ لذا تئوری کوانتوم فقط پیش‌بینی‌های بسامدی به‌دست می‌دهد، نه پیش‌بینی‌های منفرد.

## ۷. آزمایش ذهنی پوپر بر مبنای پراکندگی آماری

پوپر آزمایشی را پیشنهاد داد که هم با تئوری کوانتوم موافقت تام داشته باشد و هم اندازه‌گیری‌های دقیق‌تر از آنچه در فرمول عدم قطعیت آمده است به‌دست دهد؛ او در این



آزمایش ذهنی دو باریکه از ذرات را در اختیار می‌گیرد که یکی دارای اندازه حرکت مشخص است و دیگری به وسیله عبور از شکافی باریک مورد گزینش فیزیکی، بر حسب وضعیت، قرار گرفته است و این دو باریکه را در مکان مشخصی با هم تلاقی می‌دهد. با قراردادن دستگاهی هم‌چون یک شمارش‌گر گایگر<sup>۳</sup> در یک جهت خاص با ثبت برخورد یک ذره و محاسبه زمان برخورد دو ذره و به کمک مکان و سرعت معلوم دو باریکه، می‌توان مکان و اندازه حرکت دقیق ذره دیگری را که در این برخورد شرکت داشته است را با دقتی فراتر از آنچه روابط عدم قطعیت پیش‌بینی می‌کند، مشخص کرد.

پوپر معتقد است که این آزمایش ذهنی نشان می‌دهد که نه تنها می‌توان پیش‌بینی‌های منفرد دقیق انجام داد، بلکه شروط انجام این گونه پیش‌بینی‌ها یا بهتر بگوییم شروط سازگاری آن‌ها با تئوری کوانتوم، را نیز به دست می‌دهد. این گونه پیش‌بینی‌ها را به شرطی می‌توان انجام داد که حالت ذره شناخته شده باشد، بدون آن‌که ایجاد دلخواه حالت میسر باشد. لذا شناخت واقعی پس از وقوع رویداد حاصل می‌شود، زیرا هنگامی این شناخت حاصل می‌شود که ذره آن حالت حرکتی معلوم را به خود گرفته باشد. ولی از همین شناخت می‌توان برای استنتاج پیش‌بینی‌های آزمون‌پذیر استفاده کرد.

پوپر این آزمایش را آزمایشی سرنوشت‌ساز برای داوری بین تلقی هایزنبرگ و تفسیر آماری نظریه کوانتوم می‌دانست.

## ۸. اجرای آزمایش پوپر

در اوایل ۲۰۰۰، «یوون - هو کیم» (Yoon-Ho Kim) و «یانوها شیه» (Yanhua Shih) فیزیک‌دانان دانشگاه مریلند شکل جدیدی از آزمایش تعیین‌کننده پوپر را اجرا کردند و نتایجی را در خصوص تحقق آزمایش پوپر، گزارش دادند (Shields, 2004: 11). آن‌ها در ساختار و شیوه آزمایش پوپر تغییراتی اعمال کردند تا از اثرات عدم قطعیت در موقعیت اولیه ذره دوری کنند البته بدون آن‌که به اصل آزمایش پوپر خدشه‌ای وارد کنند. آنان بدین منظور به جای باریکه‌های پیشنهادی پوپر از فوتون‌های تولیدشده به وسیله لیزر استفاده کردند. کیم و شیه اذعان می‌کنند که منبع ذره‌ای نقطه‌ای برای آزمایش پوپر ضروری نیست، آنچه نیاز است موقعیت دو ذره درهم‌تنیده (entangled) است؛ یعنی اگر موقعیت ذره شماره ۱ دقیقاً دانسته شود، موقعیت ذره شماره ۲ نیز، ۱۰۰ درصد تعیین شده است (Yanhua, Yoon-Ho, 1999: 1).

کیم و شیبه استدلال کردند که کاربرد روابط عدم قطعیت به طور مجزا برای حالات درهم‌تنیده (entangled-state) مجاز نیست و نتیجه گرفتند که فیزیک سیستم دو ذره‌ای درهم‌تنیده به طور ذاتی از دو ذره مجزا متفاوت است.

انتشار نتیجه این آزمایش، مناقشات و واکنش‌های زیادی به دنبال داشت. برخی چون اش‌پرس (Asher Peres) از آن پوچی نتایج پوپر را نتیجه گرفتند و در مقابل کسانی مثل جفری هانتز (Geoffrey Hunter) شیمی‌دان کوانتومی آن را پیروزی کسانی چون اینشتین و پوپر می‌دانند، که از تفسیر واقع‌گرایانه نظریه کوانتوم دفاع می‌کردند. بحث پیرامون نتایج این آزمایش و اصل عدم قطعیت همچنان ادامه دارد.

## ۹. نتیجه‌گیری

تفسیر پوپر، یکی از مهم‌ترین تفاسیر عدم قطعیت است. او با آن‌که فیزیک‌دانی حرفه‌ای نبود، نقش مؤثری در تعبیر آماری عدم قطعیت ایفا کرد. در انتقاد پوپر از هایزنبرگ، باید توجه داشت که وی میان فرمول‌های هایزنبرگ و تفسیر وی از این فرمول‌ها تمایز قائل می‌شود و انتقاد پوپر به هایزنبرگ متوجه تفسیر او از این فرمول‌هاست.

از نظریات مهم پوپر در فلسفه علم، نظریه ابطال‌پذیری است. پوپر این نظریه را به مثابه ضابطه‌ای برای تشخیص دستگاه‌های تئوریک تجربی معرفی می‌کند. پوپر این داور را در خصوص آرای هایزنبرگ به کار برده و مدعی می‌شود که نظریه وی ابطال‌ناپذیر است. به نظر وی اگر در نظریه کوانتوم امکان اندازه‌گیری دقیق میسر نباشد، این نظریه آزمون‌ناپذیر، ابطال‌ناپذیر، و لذا متافیزیکی است. حال آن‌که هایزنبرگ قصد داشت نظریه‌اش را از عناصر متافیزیکی بپیراید. پوپر با تفسیر جدیدش امکان اندازه‌گیری را فراهم کرد. او دلیل ناکامی نظریه عینی هایزنبرگ را در این وجه نشان داد که تفسیر عینی منفرد از راه نسبت‌دادن مستقیم عدم قطعیت به رویدادهای منفرد ناکام می‌ماند و لذا باید تفسیر عینی آماری جانشین آن شود.

نکته دیگر این است که آزمایش پوپر برای این طراحی شده بود که میان پیش‌بینی (prediction) و پس‌بینی (retrodiction) رفتار یک ذره تمایز قائل شود. پوپر یادآور می‌شود که هایزنبرگ توافق داشت که مقادیر «پس‌بینانه» مکان و اندازه حرکت را می‌توان دانست به شرطی که مکان یک ذره را (مثلاً هنگامی که از یک شکاف کوچک می‌گذرد) بدانیم و به دنبال آن اندازه حرکت ذره پس از عبور آن از میان شکاف را، از محلی که صفحه آشکارساز

در آن قرار دارد، اندازه بگیریم. اما اصل عدم قطعیت پیش‌بینی دقیق هر دوی مکان و اندازه حرکت را رد می‌کند. تعبیر آماری پوپر نیز هیچ پیش‌بینی دقیق منفردی نمی‌کند، بلکه فقط پیش‌بینی‌های منفرد «نامتعیین» به دست می‌دهد.

خلاصه آن‌که پوپر با پیشنهاد تعبیر آماری از عدم قطعیت و آزمایش ذهنی استدلال کرد که انجام اندازه‌گیری‌هایی دقیق‌تر از آنچه اصل عدم قطعیت مجاز می‌داند، ممکن است و مدعی شد که تعبیر هایزنبرگ با داشتن حدی اضافه تحقیق علمی را محدود به حدودی می‌کند که باید از آن‌ها پرهیز کرد.

### پی‌نوشت

۱. شواهدی له نظر پوپر مبنی بر پوزیتیویستی بودن هایزنبرگ، در بعضی آرای هایزنبرگ مشاهده می‌شود؛ برای نمونه هایزنبرگ علیت را به معنای قابلیت پیش‌بینی تعریف می‌کند که چنین تعبیری از علیت به تعبیر فیلسوفان پوزیتیویست مثل کارناب بسیار نزدیک است (کارناب، ۱۳۶۳: ۲۸۵). اما با آن‌که هایزنبرگ در بعضی از آرا و دیدگاه‌هایش در مقابل مخالفان یا تجدیدنظرطلبان نظریه عدم قطعیت از پوزیتیویست‌ها تأثیر پذیرفته است، باید در پوزیتیویست خواندن او احتیاط کرد، زیرا خود او که از طرف‌داران تعبیر کپنهاکی است، معتقد است که تعبیر کپنهاکی نظریه کوانتومی به‌هیچ‌وجه پوزیتیویستی نیست (هایزنبرگ، ۱۳۷۰: ۱۵۲). هرچند واقعیت امر این است که به طور واضح هایزنبرگ پوزیتیویست بوده، و بعدها تغییر موضع داده است.

۲. این مبحث پس از تشریح نظریه پوپر روشن‌تر می‌شود.

۳. این شمارش‌گر نوعی شمارش‌گر ذرات بنیادی است که توانایی شناسایی ذرات باردار را دارد.

### منابع

- اوهانیان، هانس سی. (۱۳۷۲). *فیزیک نوین*، ترجمه جلال‌الدین پاشایی راد و بهرام معلمی، تهران: کتب‌ماد.
- باربور، ایان (۱۳۶۲). *علم و دین*، ترجمه بهاء‌الدین خرمشاهی، تهران: دانشگاه صنعتی شریف.
- راسل، برتراند (۱۳۶۰). *جهان‌بینی علمی*، ترجمه سیدحسن منصور، تهران: آگاه.
- کارناب، رودلف (۱۳۶۳). *مقدمه‌ای بر فلسفه علم*، ترجمه یوسف عقیقی، تهران: نیلوفر.
- هایزنبرگ، ورنر (۱۳۷۰). *فیزیک و فلسفه*، ترجمه محمود خاتمی، تهران: علمی.

- Popper, Karl (1990). *A World of Propensities*, Bristol: Thoemmes.
- Shields, William (2004). 'Karl Popper's Quantum Ghost, Denver, Colorado', *American Physical Society*, April Meeting.
- Shih, Yanhua, Kim, Yoon-Ho (2000). 'Experimental Realization of Popper's Experiment-Violation of the Uncertainty Principle', *Foundations of Physics*, Vol. 48.