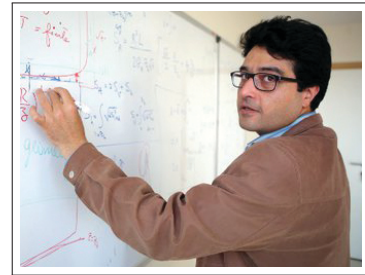


پیشرفت در فیزیک

نقدی بر نظریه ساختار انقلاب‌های علمی



محمد مهدی شیخ‌جباری

پژوهشکده فیزیک

نظریه ساختار انقلاب‌های علمی توماس کوهن از منظری اجتماعی-تاریخی توصیف‌گر مراحل تحول در علوم است که در مرحله‌ای طی یک «انقلاب علمی» به تغییر پارادیم منجر می‌شود. مطابق این نظریه تغییر پارادیم‌ها جهت‌مند نیستند و پیشرفتی را نشان نمی‌دهند. در این نوشتار با مروری بر این نظریه، آن را از منظر یک پژوهشگر فیزیک و نه از دید یک مورخ یا فیلسوف علم، به نقد می‌گذارم. بحث می‌کنم که مدل و نظریه‌های علمی قابل رتبه‌بندی هستند و پیشرفت در علوم — در پارادیم‌های علمی — معنادار است و «مدل پیشرفت‌های علمی» را در تبیین دیدگاه خود ارائه می‌کنم.

۱. مقدمه

فرمول‌بندی‌ها)؛ و بخش اجتماعی (ساختار جامعه علمی و اجماع و رد یا قبول فرمول‌بندی‌ها در اجتماع علمی) قابل تمیز است. اینکه ارتباط این ساختارها در نهاد علم چیست و این روابط چگونه تحول می‌یابد، یکی از سوالات جذاب و مطرح در حوزه فلسفه علم، تاریخ علم، و جامعه‌شناسی علم و البته خود علوم است.

در این نوشتار از منظری خاص به طرح و بحث برخی از این پرسش‌ها می‌پردازیم.

بعد از جنگ جهانی دوم، توجه برخی فلاسفه علم و دانشمندان بدین نکته جلب شد که علوم، دیدگاه و تعابیر منتسب به فرمول‌ها و فرمول‌بندی‌های علمی از دیدگاه‌ها و فرهنگ‌ها و ایدئولوژی‌های حاکم به دانشمندی که در تکوین این فرمول‌بندی‌ها نقش داشته‌اند تأثیر می‌پذیرد. طبعاً این پرسش پیش می‌آید که میزان این تأثیرپذیری چقدر است؟ آیا واقعاً «علم ژاپنی»، «علم سوسیالیستی»، «علم کمونیستی»، یا «علم سرمایه‌داری» داریم؟ و دیگر اینکه نقش و جایگاه «اجماع

مطالعه تاریخ علم و اینکه چگونه علم تحول پیدا کرده و می‌کند یکی از موضوعات بسیار جذاب است. علوم به معنای جدید و امروزی آن هم‌زمان با دوره رنسانس در اروپا رشد کرد. فیزیک، نجوم، و ریاضیات پیشران این تحول بودند. افرادی نظیر گالیله در تبیین اهمیت «تجربه و آزمایش» و پایه‌گذاری آنچه امروزه به عنوان روش علمی شناخته می‌شود نقش بسیار مهمی داشتند. هم‌زمان با جا افتادن مفهوم چرخه علم از تبیین مدل و نظریه و فرمول‌بندی پدیده‌ها، و آزمایش و محک زدن تجربی نظریه‌ها، استفاده از دستاوردهای علمی در تولید فناوری‌های جدید باعث تثبیت جایگاه علم به صورت یک نهاد مهم اجتماعی — همچون نهاد دین و سنت و ... — شد. نهاد علم، روش‌ها، دستگاه‌ها، و نظام‌های خود را یافت و جنبه اجتماعی علوم و فرهنگ و روابط کاری «جامعه علمی» بخش بزرگی از نهاد علم شد. در نهاد علم، سه بخش ساختمان و ساختار علوم (نحوه تکوین، استدلال و استنتاج فرمول‌بندی‌ها)؛ بخش فردی (دیدگاه‌های ممکن و مختلف نسبت به

۲. مروری گذرا بر نظریه ساختار انقلاب‌های علم توماس کوهن

مطابق این نظریه، یک نظریه علمی تثبیت شده که گزارش مشاهدات و آزمایش‌های فعلی و موجود را به خوبی توضیح می‌دهد، از مراحل زیر گذر می‌کند:

الف) دوره عادی (normal phase): در این دوره دانشمندان سعی در تثبیت بیشتر نظریه می‌کنند و آن را در توضیح و تبیین تمامی پدیده‌های ممکن که در این چارچوب نظری می‌گنجد به کار می‌گیرند.

ب) مرحله ناهنجاری (anomaly phase): معمولاً بررسی‌ها و پژوهش‌های دانشمندان به برخی ناهنجاری‌ها می‌انجامد. این ناهنجاری‌ها ممکن است به صورت ناسازگاری‌های نظری در چارچوب نظریه موجود باشند، یا ناهمخوانی آن با سایر نظریات و یا ناهمخوانی برخی پیش‌بینی‌های نظریه با مشاهدات و آزمایش‌ها. با بالاتر رفتن دقت مشاهدات و آزمایش‌ها این ناهنجاری‌ها نوعاً از بین می‌روند اما گاهی هم تثبیت شده و به سطح تنش (tension) ارتقا می‌یابند.

پ) مرحله بحران (crisis phase): اگر تنش‌ها در چارچوب نظریات موجود قابل رفع نباشند و با آزمایش‌های دقیق‌تر، جدی‌تر شوند به «بحرانی» برای نظریه بدل می‌شوند.

ت) مرحله انقلاب (revolution phase): مرحله بحران با یک انقلاب در نظریه علمی و یک «تغییر پارادایم» (paradigm shift) پشت‌سر گذاشته می‌شود. این انقلاب عموماً به دست نسل جوان‌تر دانشمندان که وابستگی فکری کمتری به پارادایم موجود دارند و آماده‌اند که خارج از چارچوب موجود مسائل را بررسی کنند، انجام می‌گیرند. انقلاب علمی با خود یک پارادایم جدید علمی به همراه می‌آورد. در صورت موفقیت و تثبیت، این پارادایم جدید وارد مرحله عادی (مرحله الف) شده و این چرخه ادامه می‌یابد.

توماس کوهن معتقد است که گرچه تبیین ما از طبیعت ممکن است بهتر یا دقیق‌تر شود، خود پارادایم فکری و دیدگاه نو برتری نسبت به پارادایم قبلی ندارد. این نظریه ساختار انقلاب‌های علمی — به زعم من — بسیار متأثر از تحولات اجتماعی و دیدگاه‌های حاکم در اواسط قرن گذشته میلادی است. اگرچه نقاط قوت و قابل توجهی دارد، به نظر من، کاستی‌های زیادی هم دارد. در اینجا برخی از آنها را که به بحث بعدی مربوط است مطرح می‌کنم:

۱) در فیزیک، پارادایم جدید و قدیم با اصل تطابق (correspondence principle) به یکدیگر مربوط‌اند. بدین معنا که پارادایم جدید نوعاً یک «ثابت طبیعت» در خود دارد، مانند ثابت پلانک (h)

دانشمندان» در درست تلقی شدن یک نظریه و فرمول‌بندی چیست؟ به علاوه در جامعه‌شناسی تاریخی دیدگاهی وجود دارد که طبق آن، روابط و فرهنگ اجتماعی در طول تاریخ «پیشرفت» نمی‌کند بلکه در هر دوره‌ای این روابط اجتماعی صرفاً با دیدگاه حاکم در آن دوران و البته با روابط قدرت تنظیم می‌شود. در دیدگاهی که علم یک نهاد اجتماعی تلقی می‌شود، برخی — به ویژه توماس کوهن (Thomas Kuhn) — این دیدگاه را به علوم هم‌گسترش دادند و قائل به این شدند که در علوم (به طور دقیق‌تر در چارچوب دیدگاه‌ها و نظریات پایه‌ای علمی) پیشرفتی حاصل نمی‌شود و صرفاً «پارادایم‌های» جدید طرح، و فرمول‌بندی بر اساس آنها شکل می‌گیرند؛ پیشرفت در این پارادایم‌ها بی‌معنی انگاشته می‌شوند. در اینجا به نقد این دیدگاه خواهیم پرداخت.

در ابتدا لازم است که چارچوب و مفروضات خود در این بحث را بیان کنم:

۱) منظور من از علوم در این نوشتار علوم تجربی و به‌ویژه فیزیک است.

۲) قائل به این هستم که طبیعت مستقل از اینکه ما آن را مطالعه و مشاهده بکنیم وجود دارد. طبیعت قوانین خود را دارد و این قوانین به صورت کمی و در قالب فرمول‌بندی‌های ریاضی قابل بیان هستند.

۳) ما قادر به کشف و بیان این قوانین هستیم.

۴) از این طریق ما طبیعت را مدل یا بازنمایی می‌کنیم.

۵) علاوه بر فرمول‌بندی‌ها و روابط ریاضی حاکم بر کمیت‌ها، نظریه‌های علمی به ما درک و تصویری هم از عالم و تحول آن به دست می‌دهند؛ درک و «شهودی» که برای دانشمندان و متخصصان شهودی مبتنی بر فرمالیزم است اما قابلیت انتقال به عامه غیرمتخصص را نیز دارد.

در این نوشتار با مروری بر نظریه ساختار انقلاب‌های علمی توماس کوهن بحث می‌کنیم که این نظریه تبیین درست و دقیقی از آنچه که واقعاً دانشمندان انجام می‌دهند — از منظر خود دانشمندان — به دست نمی‌دهد. در ارائه بحث خود ساختارهای موجود در ساختمان علم، مانند مدل‌ها، نظریه‌ها، و ابرنظریه‌ها (models, theories, and hyper-theories) را وامی‌کاویم و تحول‌ها در این ساختمان و دوره‌های مختلف مطرح در نظریه ساختار انقلاب‌های علمی را با دقت بررسی می‌کنیم. این بحث ما را بدان‌جا رهنمون می‌شود که برخلاف توماس کوهن، ابرنظریه‌ها (که به مفهوم پارادایم توماس کوهن نزدیک است) واقعاً پیشرفت می‌کنند.

در نظریه کوانتوم و سرعت نور (c) در نظریه نسبیت، و پارادایم قدیم در حد خاصی از این ثابت طبیعت قابل بازیابی است. مثلاً در حد $h \rightarrow 0$ مکانیک کوانتومی به مکانیک کلاسیک و در حد $c \rightarrow \infty$ نظریه نسبیت به فیزیک نیوتونی تقلیل می‌یابد.

(۲) کوهن هر چند به درستی روی جنبه اجتماعی علوم انگشت می‌گذارد، به نظر من، بیش از حد روی آن تأکید می‌کند.

(۳) گرچه اجماع (consensus) یک معیار مهم برای مقبولیت یک نظریه علمی (در اجتماع دانشمندان) است، معیار درستی و صحت یک نظریه نیست؛ درستی و نادرستی نظریه‌ها صرفاً با آزمایش‌ها و مشاهدات تعیین می‌شود.

(۴) به نظر من علوم تجربی راجع به واقعیات عینی و پدیده‌های جهان واقع صحبت می‌کنند و صرفاً تصورات و برساخته‌های ذهن دانشمندان منفک از جهان بیرون نیستند؛ بدین دلیل مفهوم پیشرفت در نظریات و پارادایم‌ها خوش‌تعریف است.

(۵) عمده بروندادهای علمی در دوره عادی علوم ساخته و پرداخته می‌شوند و به نظر من نقش و اهمیت این دوره در تبیین توماس کوهن از تحولات علمی کم‌رنگ است.

۳. نظری دقیق‌تر بر ساختمان نظری علوم، مدل‌ها، نظریه‌ها و ابرنظریه‌ها

پارادایم واژه‌ای است که با نظریه توماس کوهن وارد علوم تجربی شد و در محافل علمی چندان مرسوم نیست. دانشمندان (فیزیکدان‌ها) با مدل‌ها و نظریه‌ها مأنوس‌تر و آشنا ترند. ساختمان نظری علوم (فیزیک) عموماً از سه بخش «مدل‌ها»، «نظریه‌ها»، و «ابرنظریه‌ها» تشکیل شده است.

مدل‌ها بیرونی‌ترین لایه در ساختمان علم هستند که بر پایه و در قالب نظریه‌ها ساخته و پرداخته می‌شوند و قرار است که بازنمایی (representation) از طبیعت باشند. مدل‌ها پیش‌بینی‌هایی دارند که مستقیماً در آزمایش‌ها و مشاهدات قابل راستی‌آزمایی هستند. در دوره عادی علوم دانشمندان معمولاً با مدل‌ها سروکار دارند و هر روز مدل‌های «بهتری» می‌پردازند و مدل‌ها هم‌گام با آزمایش‌ها بهتر و دقیق‌تر می‌شوند. مدل استاندارد ذرات بنیادی، مدل استاندارد کیهان‌شناسی، مدل گرانش نیوتونی، مدل اتمی بور، مدل کوآرک، مدل تحول ستارگان و ... نمونه‌هایی از مدل‌های فیزیکی هستند.

مدل‌ها مانند هر بازنمایی دیگر، سه بخش دارند:

— آنچه بازنمایی می‌شود (در اینجا طبیعت و پدیده‌های طبیعی)؛

— آنچه بازنمایی می‌کند (مفاهیم و کمیت‌هایی که در مدل ظاهر می‌شوند)، به ویژه مشاهده‌پذیرهای مدل.

— رابطه بین دو بخش بالا؛ قواعد ارتباط (correspondence rules).

مدل‌های علمی مانند هر بازنمایی دیگر الزاماً یک هم‌ریختی کامل (complete isomorphism) نیستند؛ مدل‌ها می‌توانند یک هم‌ریختی بخشی (partial isomorphism) و یا یک هم‌ریختی تقریبی (approximate isomorphism) باشند. بنابراین مدل‌های فیزیکی فرمول‌بندی‌هایی ریاضی هستند که قوانین طبیعت از طریق آنها به صورت بخشی یا تقریبی بازنمایی می‌شوند؛ مدل‌ها روابط کمی بین مفاهیم و معانی (concepts and notions) منتسب به پدیده‌های طبیعی هستند.

نظریه‌ها و ابرنظریه‌ها لایه‌های زیرین مدل‌ها و ساختارها و چارچوب‌های ریاضی هستند که با فرضیات و اصول موضوع (axioms and postulates) ساخته و پرداخته می‌شوند. در اینجا ما نظریه را به همان معنایی که در ریاضیات است به کار می‌بریم. نمادها و کمیت‌های استفاده شده در نظریه‌ها الزاماً به هیچ موجودی در جهان واقع ارجاع ندارند؛ این ارجاع به کمیت‌ها و مشاهده‌پذیرها در جهان واقع در سطح مدل‌ها انجام می‌شود.

در ساختن نظریه‌ها و ابرنظریه‌ها صرفاً از منطق و چارچوب‌های ریاضی (و نه مشاهدات) استفاده می‌شود و بدین معنا تا وقتی که استنتاجات منطقی که در پردازش نظریه‌ها به کار می‌رود درست باشند، نظریه‌ها درست (به معنای ریاضی) هستند. تمایز نظریه‌ها و ابرنظریه‌ها صرفاً در این است که ابرنظریه‌ها بنیادی‌ترند و در لایه‌های زیرین نظریه‌ها قرار دارند. در برخی موارد شاید تمایز بین نظریه‌ها و ابرنظریه‌ها خیلی پررنگ نباشد. برای روشن‌تر شدن چند مثال از ابرنظریه‌ها و نظریه‌ها می‌آوریم.

ابرنظریه: نظریه کوانتوم، نظریه نسبیت خاص، نسبیت عام، مکانیک فوتونی، ترمودینامیک، نظریه میدان کوانتومی.

نظریه: نظریه امواج صوتی، نظریه پرتابه‌ها، مکانیک سیالات، نظریه ابرشارگی، نظریه تابعی چگالی، نظریه اختلال کیهانی، نظریه میدان پیمانهای، نظریه میدان همدیس، و

همانطور که ذکر شد در ساختار لایه‌ای علوم، ریاضیات، منطق و دیدگاه‌ها و مبانی فلسفی در لایه‌ای درونی‌تر و زیر ابرنظریه‌ها و معمولاً هسته سخت ساختمان علم هستند.

در بیان بالا ابرنظریه به مفهوم «پارادایم» مورد نظر توماس کوهن

نزدیک است اما با آن تفاوت بنیادی دارد: ابرنظریه یک چارچوب ریاضی است و مستقیماً در مشاهدات و آزمایش‌ها محک نمی‌خورد.

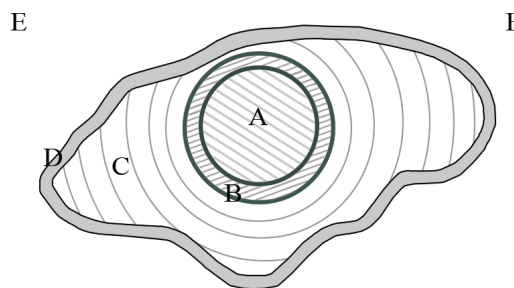
(ابر) نظریه‌های فیزیکی همانند نظریه‌های ریاضی چارچوب‌هایی هستند که براساس منطق ریاضی استنتاج و ساخته می‌شوند اما بخشی هم اضافه بر آن دارند: «نظریه اندازه‌گیری» (measurement theory). نظریه اندازه‌گیری یک نظریه فیزیکی مبین آن است که چه ترکیب‌هایی از نمادهای ریاضی به‌کاررفته در این (ابر) نظریه‌ها می‌تواند جزو «مشاهده‌پذیرهای فیزیکی» باشد، کمیت‌هایی که علی‌الاصول می‌توانند در آزمایش‌ها و مشاهدات نمود پیدا کنند. به بیان دقیق‌تر، در یک نظریه فیزیکی، الزاماً به تمام نمادهای ریاضی به‌کاررفته در نظریه تعهد معرفتی نمی‌دهیم و برخی نمادها و کمیت‌ها صرفاً در تبیین و تکوین و در ریاضیات نظریه به کار می‌آیند. علی‌الاصول امکان دارد که تمایز دو ابرنظریه (یا دو نظریه) فیزیکی صرفاً در نظریه اندازه‌گیری منتسب به هر یک باشد در این صورت این دو (ابر) نظریه فیزیکی و به تبع مدل‌هایی که براساس آنها ساخته می‌شوند، علی‌رغم شباهت بسیار در معادلات و فرمول‌بندی، متمایز و متفاوت‌اند و می‌توانند به پیش‌بینی‌های مشاهداتی متفاوتی منجر شوند.

یادآور می‌شوم که تعداد و «ضخامت» لایه‌های نظریه که بین مدل‌ها و ابرنظریه‌ها قرار دارند درحوزه‌های مختلف فیزیک با یکدیگر متفاوت‌اند. مثلاً در اپتیک یا ماده چگال نسبت به ذرات بنیادی یا کیهان‌شناسی تعداد کمتری از لایه‌های نظریه بین مدل‌های این حوزه‌ها و ابرنظریه مربوطه (نظریه میدان کوانتومی) وجود دارد. تعداد کمتر لایه‌های نظریات عموماً بدین معناست که در این حوزه‌ها چیدن و برپا کردن آزمایش‌ها در دسترس‌تر و آسان‌تر است و برای ساختن مدل‌ها نیاز به کار نظری کمتری است.

۴. راستی‌آزمایی نظریه‌ها و ابرنظریه‌ها

گفتیم که مدل‌های علمی بخشی از ساختمان علم هستند که بر پایه نظریه‌ها ساخته می‌شوند. تحلیل ریاضی مدل‌ها منجر به استنتاج «پیش‌بینی» و یا «گزاره‌های مشاهده‌پذیر» می‌شود. ارزش، درستی، یا نادرستی (false or true value) این گزاره‌ها مستقیماً از طریق مقایسه آنها با «گزارش‌های آزمایش» (نتایج آزمایش‌ها) تعیین می‌گردد. باید توجه داشت که «گزارش‌های آزمایش» هم به نوبه خود نظریه‌بار (theory-laden) هستند یا آزمایش‌ها براساس مدل‌های تثبیت شده قبلی طراحی و اجرا می‌شوند. همچنین باید توجه داشت که گزارش‌های آزمایش که معیار درستی یا نادرستی پیش‌بینی مدل‌ها هستند و از طبیعت «خوانده شده‌اند» بنا به تعریف درست انگاشته می‌شوند (البته به شرطی که آزمایش درست انجام شده باشد). البته در گزارش‌های آزمایش نوعاً دو گونه خطا (عدم دقت) راه می‌یابد: (۱) در آزمایش‌ها، اندازه‌گیری‌ها با حدی از دقت انجام می‌شود؛ (۲) داده‌ها معمولاً با روش‌های آماری تحلیل و پردازش می‌شوند. بنابراین در گزارش‌های آزمایش هر عدد یا کمیت با دو نوع خطای سیستماتیک و آماری همراه است. گزاره‌های مشاهده‌پذیر (پیش‌بینی) مدل‌ها هم معمولاً با سه نوع خطا همراه هستند: (۱) تحلیل ریاضی مدل‌ها با تقریب (مثلاً در حدی) از نظریه اختلال (perturbation theory) انجام شود؛ (۲) مدل‌ها پارامترهایی دارند که گزاره‌های مشاهده‌پذیر تابعی از آنها هستند و این پارامترها از چارچوب مدل یا نظریه تعیین نمی‌شوند، مقادیر آنها را باید از مقایسه پیش‌بینی‌های مدل با آزمایش‌ها تعیین کرد. در نتیجه مقادیر پارامترهای مدل‌ها با حدی از دقت — دقت آزمایش‌ها — تعیین می‌شوند؛ (۳) گفتیم که مدل‌ها بازنمایی از طبیعت هستند که معمولاً در آنها ساده‌سازی‌هایی استفاده می‌شود و بدین معنا مدل‌ها نوعاً یک بازنمایی تقریبی از طبیعت هستند.^۱

در مقایسه گزارش‌های آزمایش با گزاره‌های مشاهده‌پذیر (پیش‌بینی) مدل‌ها مهم است که حد دقت و تقریب هر دو به یک میزان باشد. مثلاً دقت اندازه‌گیری فواصل در حد نانومتر وقتی که توانایی تحلیل و یا بازنمایی مدل در حد سانتی‌متر است عملاً به درد نمی‌خورد یا برعکس تحلیل مدل با دقت نانومتر وقتی که حد دقت اندازه‌گیری سانتی‌متر است، عملاً بی‌ربط است.



A = هسته سخت ساختار لایه‌ای عالم
B = ابرنظریه‌ها، نظریه‌های بنیادین و پایه‌ای
C = نظریه‌ها
D = مدل‌ها
E = جهان واقع، پدیده‌های طبیعی

^۱ این ساده‌سازی‌ها، با دیدگاه تقلیل‌گرایانه (reductionistic) — در مقابل دیدگاه کل‌گرایانه (wholistic) — در علم انجام می‌شوند. تبیین و نقد این دیدگاه از

مدلی را موفق یا «درست» می‌نامیم که ارزش تمامی گزاره‌های مشاهده‌پذیر آن با گزارش‌های آزمایش موجود — تا حد دقت این گزاره‌ها — درست باشد. اگر مدلی با برخی گزارش‌های آزمایش تطابق مزبور را نداشته باشد، مدل باید به نحوی اصلاح شود که موفقیت‌های آن در حوزه‌های دیگر، در مشاهدات دیگر، تحت تأثیر قرار نگیرد. اگر با اصلاح یا تغییر مدل‌ها همچنان ناهمخوانی با آزمایش‌ها ادامه یافت برخی از دانشمندان بدین نتیجه می‌رسند که شاید چارچوب نظریه‌هایی که مدل براساس آن بنا شده «ناکارآمد» است. توجه کنید که «بدین نتیجه می‌رسند» در اینجا معمولاً یک استنتاج منطقی یا ریاضی نیست، بلکه به معنای «اقتناع» این برخی از دانشمندان است. به عبارت دقیق‌تر، نظریه به معنای یک چارچوب و یک نظریه ریاضی هنوز درست است، زیرا مجموعه‌ای از گزاره‌ها و استنتاجات منطقی از برخی اصول موضوع و مفروضات است اما احتمالاً به درد ساخت مدل موفق فیزیکی نمی‌خورد. معمولاً این ناکارآمدی را به نادرستی نظریه تأویل می‌کنند. باید همچنین توجه داشت که خود نظریه مستقیماً با آزمایش محک زده نمی‌شود بلکه مدل‌های مبتنی بر آن هستند که با آزمایش راستی‌آزمایی می‌شوند. به همین ترتیب ناکارآمدی نظریه‌های مبتنی بر ابرنظریه‌ها در عمل و در مواجهه با آزمایش‌ها می‌تواند به ناکارآمدی (یا نادرستی) ابرنظریه‌ها تأویل شود.

بحث کردیم که مدل‌ها ساختارهایی ریاضی بر پایه نظریه‌ها هستند و در نتیجه در وهله نخست مفروضات مدل نباید متناقض با خود یا با مفروضات و اصول موضوع نظریه‌هایی که مدل بر پایه آن بنا شده، باشد. منظور از آزمون‌پذیری مدل آن است که تمام گزاره‌های مشاهده‌پذیر منتج از آن بایستی علی‌الاصول قابل محک زدن با گزارش‌های آزمایش باشند. محاسبه‌پذیری مدل هم بدان معناست که باید بتوان چارچوب ریاضیات مدل را با ریاضیات و توان محاسباتی موجود تحلیل و از آن نتایج (پیش‌بینی‌های) مدل را استنتاج کرد، مدلی که قابلیت پیش‌بینی ندارد مدلی به‌دردنخور است. به علاوه محاسبه‌پذیری مدل در عمل رابطه نزدیکی با «تقلیل‌گرایی علمی» (sci-reductionism) یا دیدگاه تقلیل‌گرایانه (reductionist viewpoint) در علم دارد: تا حد امکان در ساخت مدل‌های فیزیکی سعی می‌شود که از تعداد درجات آزادی مطرح کاسته گردد تا مدل محاسبه‌پذیرتر شود. به هر روی، «مدل علمی بهتر» آن است که بهترین هم‌خوانی را با گزارش‌های آزمایش و مشاهده (در حد دقت آنها) داشته باشد.

از تبیین بالا می‌توان معیاری برای مقایسه مدل‌های رقیب ارائه کرد، مدلی بهتر است که (۱) مفروضات کمتری داشته باشد؛ (۲) پارامترهای کمتری داشته باشد (نیاز به داده و ورودی کمتری دارد)؛ (۳) بتواند پدیده‌های طبیعی بیشتری را توصیف کند؛ (۴) قدرت پیش‌بینی بیشتری داشته باشد.

شاید نتوان به هر یک از چهار معیار بالا وزن دقیقی داد و افراد مختلف وزن‌های متفاوتی بدانها بدهند، اما معمولاً روی اینکه قدرت پیش‌بینی مدل معیار بهتری است اتفاق نظر وجود دارد.

با این معیارها می‌توان مدل‌ها را رتبه‌بندی کرد و تعیین کرد کدام مدل بهتر است و اینکه آیا مدل‌ها پیشرفت می‌کنند.

۶. نگاهی دقیق‌تر بر دوره عادی علوم

در دوره عادی علوم (از دیدگاه توماس کوهن) پژوهشگران سعی می‌کنند که در چارچوب ابرنظریه‌های موجود حتی‌الامکان نظریه‌ها را دقیق‌تر و کامل‌تر و جامع‌تر کنند و چارچوب‌های بیشتر و بهتری برای مدل‌سازی فراهم نمایند، این بخش کار فیزیکدان‌های نظری است.

به علاوه، قاطبه دیگر فیزیکدان‌ها، با استفاده بهینه از نظریه‌های موجود سعی در بهبود مدل‌های خود از طریق ساختن مدل‌های دقیق‌تر با

از بحث بالا برمی‌آید که عمده تلاش بیشتر دانشمندان و پژوهشگران به حک و اصلاح و «بهبود» مدل‌ها معطوف است نه به پرداختن نظریات جدید؛ نظریه‌ها و چارچوب‌های جدید باید انگیزه‌ها و توجیحات قابل اعتنای مشاهداتی و مدل‌سازی داشته باشند؛ کار نظری بدون این انگیزه‌ها و توجیحات ارزش علمی چندانی ندارد.

از بحث بالا برمی‌آید که عمده تلاش بیشتر دانشمندان و پژوهشگران به حک و اصلاح و «بهبود» مدل‌ها معطوف است نه به پرداختن نظریات جدید؛ نظریه‌ها و چارچوب‌های جدید باید انگیزه‌ها و توجیحات قابل اعتنای مشاهداتی و مدل‌سازی داشته باشند؛ کار نظری بدون این انگیزه‌ها و توجیحات ارزش علمی چندانی ندارد.

۵. رتبه‌بندی مدل‌های علمی

گفتیم که مدل‌های فیزیکی در چارچوب نظریه‌های موجود ساخته می‌شوند. در ساخت مدل‌ها (۱) مفروضات (working assumptions)؛ (۲) متغیرهای دینامیکی (درجات آزادی de-grees of freedom)؛ و (۳) پارامترها، متناسب با مسئله مورد نظر انتخاب و در چارچوب نظریه‌ها پرداخته می‌شوند. در انتخاب این سه جزء البته ساده‌سازی‌های متنوع و مختلفی (در چارچوب تقلیل‌گرایی علمی) انجام می‌گیرند. پارامترهای مدل‌ها اعدادی (معمولاً حقیقی) هستند که مقدار آنها از چارچوب‌های نظری تعیین نمی‌شود و باید از طریق تطابق و مقایسه با آزمایش‌ها تعیین گردد؛ پارامترها ورودی مدل‌ها هستند و از طبیعت خوانده می‌شوند.

یک مدل قابل اعتنا باید واجد این ویژگی‌ها باشد: (۱) سازگاری

— جای‌گیرشدن تصویر مبتنی بر ابرنظریه‌ها و نظریه‌ها و مدل‌های جدید.

اینکه «دانشمندان بدین نتیجه برسند» که بازبینی بسترهای نظری مدل‌سازی و تغییر ابرنظریه‌ها دقیقاً در چه زمانی مورد نیاز مبرم است و باید اتفاق بیفتد، براساس موارد و مثال‌های تاریخی موجود یک استنتاج منطقی نیست؛ نیاز به نظریه یا ابرنظریه جدید یک امکان منطقی در بین سایر امکانات است.

بحث کردیم که می‌توان مدل‌ها را با معیارهایی نسبتاً عینی رتبه‌بندی کرد. این رتبه‌بندی به نوبه خود بر نظریه‌ها و یا ابرنظریه‌هایی که این مدل‌ها بر بستر آنها بنا شده‌اند نیز قابل تعمیم و اطلاق است. به ویژه در مورد ابرنظریه‌ها — با توجه به اصل تطابق و اینکه ابرنظریه جدید باید ابرنظریه قبلی را به عنوان حدی دربر بگیرد — این رتبه‌بندی معنادار است. نه تنها مدل‌های علمی پیشرفت می‌کنند، بلکه نظریه‌ها و ابرنظریه‌ها نیز پیشرفت می‌کنند: این نظریه‌ها و ابرنظریه‌های پیشرفته‌تر هستند که بستر مدل‌سازی‌های بهتر را فراهم می‌کنند، مدل‌های پیشرفته‌تر و بهتر صرفاً در بستر ابرنظریه‌های بهتر و پیشرفته‌تر ممکن می‌شوند. بنابراین، با پیشرفت علمی و نه صرفاً تحولات علمی مواجهیم و در نتیجه مناسب است که مدل بالا را «مدل پیشرفت علمی» بنامیم.

۸. جمع‌بندی

علوم به عنوان نهادهای اجتماعی از تحولات و دیدگاه‌های اجتماعی و تاریخی که در آن شکل می‌گیرند تأثیر می‌پذیرند. از طرف دیگر، معیار اینکه چیزی علمی است یا نه و اینکه چه تبیین علمی درست است، آزمایش‌ها و پدیده‌ها در جهان واقع هستند، آزمایش‌هایی که نوعاً تکرارپذیرند. بنابراین علوم و تحولات آنها فارغ از ظرف مکان و زمان هم معنادار است.

گفتیم که تحولات علوم در قالب‌های زمانی که برای شکل‌دهندگان و کسانی که از نزدیک درگیر این تحولات‌اند دفعی نیستند و از این منظر با تحولات علمی — و نه انقلاب‌های علمی — سروکار داریم.

همچنین بحث کردیم که تحولات علم جهت‌مند هستند و «پیشرفت در علوم» و «پیشرفت ابرنظریه‌ها» و دیدگاه‌های برآمده و منتج از آنها بیانی دقیق‌تر و بهتر برای این تحولات است. گرچه تصریح مستقیمی نکردیم، این بحث‌ها از منظر واقع‌گرایی علمی (scientific realism) قابل دفاع هستند و اینکه فرمول‌بندی‌ها، مدل‌ها و نظریه‌های علمی علاوه بر گزاره‌ها، تصویر و درکی از واقعیات عینی خارجی «طبیعت»

پارامترهای کمتر و یا مدل‌هایی که به پدیده‌های گسترده‌تری قابل اطلاق و اعمال باشند، می‌کنند. وقتی که یک مدل با این معیارها از رقبا پیشی گرفت، به یک مدل تثبیت شده — اصطلاحاً مدل استاندارد یا مدل معیار در آن حوزه تبدیل می‌شود. خوب کار کردن یک مدل در یک حوزه معمولاً دانشمندان را ترغیب می‌کند که آن را در حوزه‌ای وسیع‌تر به کار گیرند، حوزه‌ای که شاید در ابتدا مدل برای آن پرداخته نشده بود. البته به کار بردن مدل در حوزه‌ای وسیع‌تر می‌تواند به «ناهنجاری» (عدم تطابق کافی در حد دقت آزمایش‌ها) بینجامد. در این صورت پژوهشگران و مدل‌سازان سعی در اصلاح مدل بدون آسیب‌زدن به موفقیت‌های قبلی آن می‌کنند. معمولاً این اصلاحات موفق هستند و مدل اصلاح‌شده بازتثبیت می‌شود. در مواردی چند، این اصلاحات ممکن است رافع ناهنجاری نباشد و به «اصلاحات ساختاری» در مدل نیاز باشد؛ اصلاحاتی در سطح نظریه‌ها. اینها همه در «مرحله عادی علوم» صورت می‌گیرند.

۷. بازبینی نظریه ساختار انقلاب‌های علمی توماس کوهن

اگر با پیشرفت آزمایش‌ها و دقیق‌تر شدن آنها ناهنجاری‌ها هم بزرگ‌تر شد و اصلاحات در سطح مدل‌ها کارساز نبود، احساس نیاز به اصلاحات ساختاری در بین بخشی از دانشمندان شکل می‌گیرد. اگر آزمون نظریه ریاضی موجود برای پردازش مدل‌های بهتر نتیجه‌بخش نبود، عده‌ای به فکر رفع «بحران» از طریق بازبینی ابرنظریه‌ها می‌افتند. همان‌طور که ملاحظه می‌کنیم این فرایند دفعی و انقلاب‌گونه نیست و تحولی است که برآمده از روندهای معمول کار علمی دانشمندان است. به بیانی دقیق‌تر افرادی که در متن این تحولات قرار دارند و آنها را از نزدیک دنبال می‌کنند، آن را تحولی عمیق اما بطئی و نه دفعی می‌بینند. البته تندی و کندی این تحولات را باید با زمان دوره کاری یک دانشمند که معمولاً چند دهه است مقایسه کرد. شاید در نگاهی تاریخی و بعد از چندین دهه یا سده توصیف بیرونی از تحولات علمی آن دوران «انقلاب» به نظر برسد اما از دید کسانی که در واقع آن تحول را پیش می‌برند، بدین‌گونه نیست.

بر این مبنا، «مدل تحولات علمی» با مراحل ذیل را جایگزین مناسب‌تری از نظریه توماس کوهن می‌دانم:

— بهبود مدل‌ها؛

— تثبیت مدل‌ها؛

— بازبینی و تکوین نظریه‌ها و بسترهای نظری مدل‌سازی؛

— تغییر ابرنظریه‌ها؛

به دست می‌دهند. در پایان به چند نکته تکمیلی و جالب می‌پردازیم:

الف) عدم تعین مشاهداتی (observational underdetermination). در گسترش و بررسی مدل‌ها و نظریات علمی ممکن است پرسش‌هایی مطرح شوند که تا یک دوره طولانی — مثلاً چندین دهه و یا شاید در چارچوب‌های موجود علی‌الاصول هیچ‌گاه — قابل محک زدن و راستی‌آزمایی نباشند. در این موارد معمولاً می‌توان مدل‌های بسیار زیادی ساخت که با مشاهدات موجود سازگار باشند، در این صورت با یک خانواده از مدل‌ها یا یک «سناریو» سروکار داریم. به نظر من وضعیت «تورم کیهانی» (cosmological inflation) در حال حاضر چنین است: مدل‌های متعدد تورم کیهانی وجود دارند که تا آینده نزدیک (دو-سه دهه) به لحاظ مشاهداتی قابل تمیز نخواهند بود.

ب) گفتیم که آزمایش‌ها نظریه‌بار هستند. میزان این نظریه‌بار بودن بستگی به این دارد که در این حوزه نظریات و مدل‌ها چقدر از آزمایش‌ها پیش یا پس هستند. مثلاً در بیوفیزیک نوعاً آزمایش‌ها از مدل‌ها و نظریه‌ها جلوترند و مشاهدات نظریه‌باری (theory-ladenness) کمتری دارند و در فیزیک ذرات و کیهان‌شناسی که مشاهدات و آزمایش‌ها از مدل‌ها و نظریات عقب‌تر هستند، آزمایش‌ها بیشتر نظریه‌بار هستند.

پ) آیا منطقی پیشرفت علمی منتهایی دارد؟ فرض کنید که یک

نظریه غایی — نظریه همه‌چیز (ultimate theory) یا (theory of everything) — وجود داشته باشد. بنا به تعریف و در چارچوب ساختار لایه‌ای علوم که معرفی کردیم، این نظریه باید خود ابرنظریه، نظریه و مدل باشد یعنی این نظریه احتیاج به مدل‌سازی نباید داشته باشد. چنین مدل/نظریه غایی باید ویژگی‌های زیر را داشته باشد:

(۱) نباید هیچ پارامتری داشته باشد (که از بیرون، آزمایش، تعیین گردد)؛

(۲) اگر پارامتری در نظریه وجود دارد باید برحسب درجات آزادی دینامیکی داده شود و با دینامیکی که نظریه ارائه می‌دهد تعیین گردد؛

(۳) اگر نظریه ویژگی موجبیتی (deterministic) دارد، این نظریه غایی باید به‌غایت قدرت پیش‌بینی داشته باشد بدین معنا که با تعیین شرایط اولیه باید همه‌چیز در تمام زمان‌ها در قالب نظریه مشخص و تعیین گردد؛

(۴) حتی اگر موجبیت داشته باشد، بالاتر از مشاهدات و آزمایش نیست و باید با تمامی پیش‌بینی‌های آن — یعنی تمام پدیده و جهان — همخوانی داشته باشد.

چنین نظریه/مدلی گرچه منطقیاً مردود یا ممنوع نیست — حداقل در چارچوب فیزیکی که قابل دستیابی و ساخت به نظر می‌رسد — عملاً غیرممکن است. ■