فلسفهٔ علم، پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
سال پنجم، شمارهٔ اول، بهار و تابستان ۱۳۹٤، ۱۱۳ – ۱٤۱

چیستی نظریه‌های علمی: رویکردهای نحوی و معناشناختی

سعید معصومی*

چکیده

در این مقاله دو دیدگاه عمده که فلاسفهٔ علم از قرن بیستم تاکنون در مورد نظریه‌های علمی داشته‌اند معرفی خواهد شد. این دو دیدگاه یکی «دیدگاه متداول» یا رویکرد نحوی به علم است، و دیگری دیدگاه معناشناختی به نظریه‌های علمی است. با این حال عمدهٔ تمرکز این مقاله در معرفی دیدگاه معناشناختی به علم خواهد بود. رویکرد اول اکنون چندان طرف‌داری در میان فلاسفهٔ علم ندارد و عمدتاً متعلق به پوزیتیویست‌های منطقی بوده است. دو اشکال عمدهٔ این دیدگاه، یکی غیرعملی بودن صورت‌بندی نظریه‌های علمی در زبان منطق مرتبهٔ اول است و دیگری ارائهٔ تبیینی نامناسب از مفهوم مدل و کاربرد آن در علم است. ملاحظه خواهد شد که با معرفی مفهوم ساختار و نسخه‌ای از دیدگاه معناشناختی که داکوستا و فرنچ ارائه می‌دهند، که در آن از مفهوم صدق جزئی استفاده می‌کنند، بسیاری از مشکلات دیدگاه متداول از جمله دو اشکال فوق برطرف خواهد شد.

کلیدواژه ها: نظریه‌های علمی، دیدگاه متداول، دیدگاه معناشناختی، ساختار، صدق جزئی.

۱. مقدمه

می‌توان گفت اصلی‌ترین سؤال فلسفهٔ علم (یا حداقل یکی از چند سؤال اساسی فلسفهٔ علم) پرسش از چیستی نظریه‌های علمی است. ون فرانس معتقد است که «فلسفهٔ علم روی

---

* استادیار پژوهشکدهٔ مطالعات بنیادین علم و فناوری، دانشگاه شهید بهشتی s_masoumi@sbu.ac.ir
تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۲/۲۰، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۵/۲۰

نظریه‌های علمی به عنوان تولید اصلی علم تمرکز دارد، کم و بیش به همان طریق که فلسفهٔ هنر روی کارهای هنری و فلسفهٔ ریاضیات روی حساب، آنالیز، جبر مجرد، نظریهٔ مجموعه و مانند آن متمرکز است» (Van Fraassen, 1991: 1-2).

برای پاسخ‌گویی به پرسش فوق، در فلسفهٔ علم دو رویکرد عمده وجود دارد: یکی رویکرد نحوی (syntactic) و دیگری رویکرد معناشناختی (semantic). در این مقاله این دو رویکرد معرفی می‌شوند، البته قسمت اعظم مقاله مربوط به رویکرد معناشناختی به علم است. ابتدا رویکرد نحوی معرفی می‌شود، سپس مفهوم ساختار، که نقش اساسی در رویکرد معناشناختی به علم دارد، بیان خواهد شد. پس از آن، رویکرد معناشناختی به علم توضیح داده می‌شود و در انتها نیز نتیجه‌گیری بحث ارائه خواهد شد.

۲. رویکرد نحوی به علم

در رویکرد نحوی که به لحاظ تاریخی مقدم بر رویکرد معناشناختی است و اکنون جریانی مغلوب است (به آن دیدگاه متداول (recived view) نیز می‌گویند و نامی است که پاتنم (Putnam) به آن داد) نظریه‌ای چون T، مجموعه‌ای از گزاره‌ها (قضایا) در یک زبان ویژه است. مجموعهٔ عبارات این زبان به دو بخش، یعنی دو زیرمجموعه از عبارات، تقسیم می شود: ۱. مجموعه عبارات مشاهدتی، و ۲. مجموعه عبارات نظری. اهمیت تجربی هر نظریه (empirical import) در نتایج مشاهدتی آن است و مجموعهٔ مشاهدتی نظریه واجد معنای تجربی یا شناختی (cognitive) نظریه است.

در این رهیافت مجموعهٔ گزاره‌های نظریه از مجموعهٔ اصول موضوع استخراج می‌شود. به بیان دقیق‌تر، نظریهٔ T مجموعه‌ای از گزاره‌ها در یک زبان، چون L است که تحت استلزام منطقی بسته باشد (Enderton, 2001: 155) و زیرمجموعه‌ای از نظریهٔ T که بتوان از آن، با استلزام منطقی، کل نظریه را (تمام گزاره‌های آن را) استخراج کرد، اصول موضوع (axioms) آن نظریه است. عبارات نظری با «قواعد تناظر» (correspondence rules) تعبیر مشاهدتی جزئی (partial) می‌یابند که بدین ترتیب واژگان (vocabulary) نظری به واژگان مشاهدتی مربوط می‌شود. بنابراین نظریهٔ علمی شامل موارد زیر است:

۱. صورت‌بندی مجردی چون F؛

۲. مجموعه‌ای از اصول متعارف (postulate) (اصول موضوع) نظری چون T؛

۳. مجموعه‌ای از قواعد تناظر چون C؛

> F مرکب است از زبانی چون L که نظریه در آن صورت‌بندی می‌شود و حساب قیاسی (deductive) در آن تعریف می شود، L حاوی عبارات منطقی و غیرمنطقی (nonlogical) است، که دومی را می‌توان به مجموعهٔ عبارات مشاهدتی و مجموعهٔ عبارات نظری تقسیم کرد.
>
> اصول متعارف نظری، که فقط حاوی عبارات نظری و قواعد تناظر است، عبارات نظری و گزاره‌های L را (که حاوی عبارات نظری است) به طور جزئی تعبیر می‌کند. پس این اصول متعارف گزاره‌های مخلوطی هستند که هم حاوی عبارات نظری‌اند و هم عبارات مشاهدتی. قواعد تناظر به طور مؤثر، عبارات غیرمنطقی و نظری را به پدیده‌های مشاهدتی مربوط می‌سازند ... اگر T ترکیب (conjunction) اصول متعارف نظری باشد، و C ترکیب قواعد تناظر، آن‌گاه یک نظریهٔ علمی مرکب از ترکیب T ،C فرض می‌شود که با TC نشان داده می‌شود (Da Costa and French, 2003: 41-42).

دیدگاه متداول با انتقاداتی جدی مواجه شد که به نظر نمی‌رسد چندان قابل دفاع باشد (Suppe, 1977: 115-116). البته در این‌که مشکلات این دیدگاه چیست و عدم کفایت آن در توضیح چیستی نظریه‌های علمی ناشی از کدام مؤلفهٔ آن است، توافق چندانی وجود ندارد (ibid). به طور کلی می‌توان دیدگاه منتقدان را در مورد این‌که دیدگاه متداول فاقد چه مشخصه‌هایی است که یک توضیح قانع‌کننده در مورد چیستی نظریه‌های علمی باید واجد آن‌ها باشد به صورت زیر خلاصه کرد:

۱. نباید تمایز تحلیلی ـ ترکیبی (analytic-synthetic) مفروض گرفته شود؛

۲. نباید میان عبارات مستقیماً مشاهده‌پذیر و مستقیماً مشاهده‌ناپذیر تمایزی فرض شود؛

۳. عبارات نظری باید به گونه‌ای تعبیر شوند که از پیش معنا دارند، هرچند درآمیختن آن‌ها با یک نظریه ممکن است معنای آن‌ها را تا حدی تغییر دهد؛

٤. معنای عبارات نظری می‌تواند با تمثیل (analogy) یا مدل‌های شمایلی (iconic) تلفیق یا اصلاح شوند؛

۵. نباید روش‌های هم‌بستگی (correlation) نظریه‌ها با پدیده‌ها به عنوان مؤلفه‌های جدایی‌ناپذیر نظریه‌ها نگریسته شوند؛ حداقل برخی از آن‌ها باید شامل فرضیه‌ها و نظریه‌های کمکی باشند؛

٦. روش‌های هم‌بستگی نظریه‌ها با پدیده‌ها باید هم‌بستگی‌های دنبالهٔ علّی و هم‌بستگی‌های تجربی را منظور بدارند، تضایفات تجربی باید با جزئیات روش‌شناختی کامل شرح داده شود؛

۷. این تحلیل نمی‌تواند محتوای کامل نظریه‌ها را به صورت آن‌چه قابل اصل موضوع‌سازی است و آن‌چه صورت‌بندی‌ناپذیر است، در نظر بگیرد؛

۸. هر نوع صورت‌بندی که لحاظ شود باید معناشناختی باشد، نه نحوی؛

۹. تحلیل نظریه‌ها باید شامل جنبه‌های تحولی و توسعه‌ای نظریه‌پردازی علمی باشد و خود را به فراهم‌آوری صورت‌بندی‌های رسمی (canonical) نظریه‌ها، در مرحله‌های معین از توسعه، محدود نسازد (ibid: 117).

مجدداً تأکید می‌کنیم که همهٔ منتقدان به همهٔ این موارد اعتقاد ندارند و بر سر این‌که اهمیت کدام یک بیش‌تر است اختلاف زیادی است.

هما ن‌طور که گفتیم، صورت‌بندی نظریه در «نگاه متداول» در زبانی مرتبهٔ اول چون L صورت می‌گیرد که واجد واژگان سه‌بخشی است:

الف) واژگان منطقی که مرکب است از ثوابت منطقی (شامل عبارات ریاضی)؛

ب) واژگان مشاهدتی V_O که مرکب است از عبارات مشاهدتی؛

ج) واژگان نظری V_T که مرکب است از عبارات نظری (ibid: 16).

باز همان‌گونه که ذکر شد بر اساس دیدگاه متداول نظریهٔ علمی عبارت است از TC؛ یعنی مجموعهٔ اصول موضوع به علاوهٔ قواعد تناظر. قواعد تناظر را می‌توان به صورت زیر معین کرد:

به ازای هر عبارت نظری چون F، باید تعریفی به شکل زیر بیان شود:

$$(\forall x)(Fx \equiv Ox)$$

در اینجا ≡ استلزام دو شرطی است و O عبارتی از زبان L است که فقط واجد نمادهایی از V_O به علاوهٔ واژگان منطقی است (ibid: 16-17).

این قواعد تناظر سه وظیفه دارند:

۱. تعریف عبارات نظری؛

۲. تضمین معنادار بودن (معنای شناختی[1] داشتن) عبارات نظری؛

۳. معین کردن روش‌های تجربی برای کاربرد نظریه در مورد پدیده‌ها.

پوزیتیویست‌های منطقی در تحلیل نظریه‌های علمی ملتزم به اصل بنیادین خود بودند که همان اصل معناداری بود. آنان معتقد بودند که یک گزاره فقط زمانی معنای شناختی دارد که یا تحلیلی باشد یا ترکیبی. به این ترتیب عبارات نظری در نظریه‌های علمی که نه تحلیلی‌اند و نه قابل مشاهدهٔ مستقیم، برای این‌که معنادار باشند باید به طور غیرمستقیم به تجربه مربوط شوند (یعنی در گزاره‌ای ترکیبی بیان شوند). در نگاه این فیلسوفان، گزارهٔ ترکیبی گزاره‌ای است که قابل صدق و کذب تجربی باشد. گفتنی است که تعبیر عبارات نظری و

عبارات مشاهدتی مسامحتاً به کار می‌رود؛ اگر بخواهیم دقیق باشیم همان‌طور که ون فراسن گفته است باید از تعبیر عبارات نظری و غیرنظری، و هویات مشاهدتی و غیرمشاهدتی استفاده کنیم (Van Fraassen, 1980: 14).

همان‌طور که ذکر شد، مطابق دیدگاه متداول، نظریه دستگاهی اصل موضوعی است که به طور جزئی تعبیر شده است؛ به بیان دیگر، معنای عبارات V_T به طور جزئی با TC تعیین می‌شود، اگر TC به طور کامل معانی عبارات V_T را تعیین کند، آن‌گاه گزاره‌های TC، گزاره‌هایی تحلیلی می‌شوند که ربطی به عالم خارج ندارند (Suppe, 1977: 68-69).

نکتهٔ مهم در دیدگاه متداول این است که اگر در TC تغییری حاصل شود نتیجهٔ آن تغییر خود نظریه خواهد بود، اما اصول تناظر، شامل روش‌هایی تجربی‌اند که با آن‌ها معنای عبارات نظری معین می‌شود. برای مثال، دما مفهومی نظری است که با روشی تجربی اندازه‌گیری می‌شود، همانند بالا رفتن ستون جیوه در دماسنج. ما به این روش، به مفهومی نظری، با تناظر گزاره‌ای ترکیبی تجربی، معنا می‌دهیم. پس ارائهٔ روش‌های جدید تجربی، می‌تواند قواعد تناظر جدیدی ایجاد کند که می‌توان مفاهیم نظری را از طریق آن‌ها معین کرد. به این ترتیب C تغییر می‌کند و این به معنی تغییر TC است؛ یعنی نظریه تغییر کرده است. این نتیجهٔ نامطلوبی است. مثلاً اگر ما روش جدیدی برای تعریف دما ارائه دهیم یا طریق نوینی برای تعریف جرم ابداع کنیم، نظریه را عوض کرده‌ایم. در صورتی که به نظر نمی‌رسد هیچ دانشمندی چنین عقیده‌ای داشته باشد. از این رو، قواعد تناظر را نباید بخشی از نظریه به حساب آورد. به این ترتیب، یکی از مؤلفه‌های دیدگاه متداول با مشکل مواجه می شود. درواقع «نگاه متداول، باید نظریه‌ای چون T را تحت تعبیر معناشناختی آن، و تفسیر قواعد تناظر به عنوان فرضیه‌های کمکی (auxiliary hypotheses)، که به همراه نظریهٔ T، محدودیت‌هایی بر محتوای مشاهدتی اظهارات L_T اعمال می‌کند معین سازد» (ibid: 104). مشکلاتی از این دست (که فهرست اهم آن‌ها در بالا آورده شد) فیلسوفان را بر آن داشت تا برداشتی جدید از چیستی نظریه‌های علمی ارائه دهند. گزینهٔ مقبول بسیاری از فیلسوفان دیدگاه معناشناختی به علم است. از آن‌جایی که مفهوم ساختار در این رویکرد نقش اساسی دارد، پیش از معرفی این دیدگاه لازم است قدری این مفهوم توضیح داده شود.

۳. ساختار

مفهوم ساختار با روش اصل موضوعی مرتبط است. درواقع برای ریاضی‌دانان گروه بورباکی

اصل موضوع سازی یک نظریهٔ ریاضی در تعریف نوعی از ساختار به صورت نظریهٔ مجموعه‌ای است (Da Costa and French: 1990).

بعد از افول «دیدگاه متداول» و انتقادهایی که به‌ویژه از جانب برساخت‌گرایان (constructivists) از جمله کوهن (Kuhn) و فایرابند (Feyerabend) به آن شد، اصل موضوع سازی با بدنامی مواجه شد. اما سوپیز کاملاً با کنار گذاشتن این روش مخالف بود و ایراد را در نحوهٔ رویکرد متداول به اصل موضوع سازی می‌دانست که توضیح آن گذشت. درواقع اصل موضوع سازی دارای فواید زیر است:

۱. ایضاح مفاهیم پایه، ۲. کمک به مقایسهٔ بین نظریه‌ها، ۳. ارائهٔ طریقی برای نظریه‌ها جهت یافتن فنون ریاضی بالقوه مفید؛ و ٤. مفید بودن آن در مناقشات فلسفی (ibid).

وقتی سوپیز بیان کرد که اصل موضوع سازی باید در داخل زبان نظریهٔ مجموعه‌ها صورت گیرد، تفاوت نظرش با دیدگاه متداول این بود که در نگاه آن‌ها نظریهٔ حساب منطقی مجرد است و بنابراین فراریاضیات (metmathematics) است، ولی نظریهٔ مجموعه‌ها ریاضیات است و این‌گونه ادعا شده که تمام ریاضیات را با استفاده از نظریهٔ مجموعه می‌توان پدید آورد (البته شاید انواع بسیار خاصی از ریاضی را نتوان به‌درستی با نظریهٔ مجموعه‌ها تبیین کرد)، اما در نگاه متداول که در آن اصل موضوع سازی با زبان منطقی مرتبهٔ اول صورت می‌گرفت، چنین امکانی به لحاظ عملی وجود نداشت. تاکنون نظریهٔ فیزیکی مطرحی در علم به صورت عملی در زبان منطق مرتبهٔ اول صورت‌بندی نشده است و این کار بسیار غیرعملی است (Suppes, 2002: 3-4). این شعار سوپیز در این‌جا معنی می‌یابد که زبان فلسفه ریاضی است نه فراریاضی (که همان زبان منطقی مرتبهٔ اول است).

در این‌جا ابتدا باید تعریفی از مفهوم ساختار بیان کنیم، زیرا در نگاه معناشناختی به علم نظریه رده‌ای از مدل‌ها است و مدل ساختار است و ما ساختار را بر اساس تعریفی که داکوستا و فرنچ (Da Costa and French, 2003: 36-39)، داکوستا، کراوس، و بوئنو (Da Costa, Krause, and Bueno, 2010)، کراوس، ارنهارت، و موراس (Krause, Arenhart, and Moraes, 2010) و داکوستا و چاکیو (Da Costa and Chuaqui, 1988) آورده‌اند بیان می‌کنیم. اما پیش از آن باید بگوییم که نظریهٔ مجموعه‌ها را به طرق گوناگونی می‌توان صورت‌بندی کرد. مثلاً می‌توان منطق مرتبهٔ اول را به عنوان منطق بنیادین به کار برد که در آن یگانه نماد غیرمنطقی، محمول دو موضعی $\in$ است. اما می‌توان از زبان مرتبهٔ دوم نیز استفاده کرد (یا بیش‌تر) و البته این نظریه‌ها معادل نیستند (Krause et al., 2010). هم‌چنین باید توجه داشت که ساختار را هم می‌توان در نظریهٔ مجموعه‌ها معرفی کرد و هم در منطق مرتبهٔ بالا

(بالاتر از یک)، و هر دو راه اساساً معادل‌اند و می‌توان به‌آسانی از یک صورت‌بندی به دیگری رفت (Da Costa and French, 2003: 36). در این‌جا ما بیانی غیرصوری از ساختار ارائه می‌دهیم و فرض ما بر این است که در دستگاه استاندارد نظریهٔ مجموعه‌ها نظیر دستگاه تسرملو ـ فرانکل (Zermelo-Frankel) کار می‌کنیم.

مجموعه‌هایی چون $A_1, A_2, \ldots, A_n$ را در نظر بگیرید. می‌توان مجموعه‌های دیگری از این مجموعه‌ها ساخت که مجموعه‌هایی از زیرمجموعه‌های آن‌ها یا مجموعه‌هایی از زیرمجموعه‌هایی از حاصل‌ضرب دکارتی آن‌ها یا حاصل‌ضرب دکارتی برخی از آن‌ها باشند. از مجموعه‌هایی که به این شکل به دست می‌آیند نیز می‌توان به همین روش مجموعه‌های جدیدی پدید آورد. این مجموعه‌ها را متعلق به سلسله‌مراتب نوعی (type hierarchy) از مجموعه‌ها روی $A_1, A_2, \ldots, A_n$ به عنوان پایه می‌نامند. برای مثال اگر مجموعهٔ پایه A, B باشند، آن‌گاه مجموعه‌های زیر متعلق به سلسله‌مراتب نوعی مجموعه‌ها، روی A, B به عنوان پایه هستند.

$$A, B, P(A), P(B), P(A\times B), P(P(A)\times P(B)), P(P(A\times P(B))), \ldots \quad (*)$$

توجه کنید که $P(A)$ به معنی مجموعهٔ توان مجموعهٔ A است و $A\times B$ به معنای حاصل‌ضرب دکارتی دو مجموعه است. عناصر متعلق به سلسله‌مراتب نوعی از مجموعه‌ها را روی $A_1, A_2, \ldots, A_n$ به عنوان پایه، می‌توان با نوع آن‌ها مشخص کرد. نوع چنین عنصری را می‌توان به صورت زیر تعریف کرد.

۱. نوع اعضای a_i, A_i است که a_i نمادی ثابت است:

به ازای $i \neq j \quad 1 \leq i \leq n, a_i \neq a_j$

۲. اگر عناصر مجموعه‌ای چون X_i دارای نوع x_i باشند، با شرط $1 \leq i \leq k$ آن‌گاه نوع اعضای $P(X_1 \times X_2 \times \ldots \times X_k)$، $\langle x_1, x_2, \ldots, x_k \rangle$ است. در این صورت، برای مثال نوع عناصر مجموعه‌ها در (*) به صورت زیر است:

a, b, <a>, <b>, <a, b>, <<a>,<b>>,<<a,<b>>>

البته با فرض این‌که نوع عناصر A, B به‌ترتیب a, b هستند.

توجه کنید که در این صورت ما انواعی از روابط را خواهیم داشت که البته همگی متناهی هستند؛ یعنی تعداد مجموعه‌ها در حاصل‌ضرب دکارتی که مشخص‌کنندهٔ یک رابطه است (بنا به تعریف هر رابطه زیرمجموعه‌ای از حاصل‌ضرب دکارتی مجموعه‌های مفروض است) متناهی است. برای مثال روابطی که دارای نوع a هستند، که درواقع عناصر ثابت‌اند،

با اعمال ثابت صفرموضعی (0-adic) معین می‌شوند. به طور معمولی یک رابطهٔ nموضعی که فقط یک nتایی را شامل است، با nتایی خود معین می‌شود.

به صورت دقیق‌تر برای معرفی نوع، ما از مجموعه‌ای چون T استفاده می‌کنیم که کوچک‌ترین مجموعه‌ای است که در آن شروط زیر برقرار است (منظور ما از کوچک‌ترین این است که اگر مجموعهٔ دیگری چون A نیز این شرایط را داشت آن‌گاه $T \subset A$ برقرار باشد، هم‌چنین توجه داشته باشید که هر مجموعه زیرمجموعهٔ خویش است).

۱. $d \in T$ که در این‌جا d نشان‌دهندهٔ مفردات (individual) است؛

۲. اگر $a_1, a_2, ..., a_k \in T$ آن‌گاه $< a_1, a_2, ..., a_k > \in T$.

تعریف دیگری که در این‌جا لازم است مفهوم مرتبه (order) است (a_iها در این‌جا نوع هستند):

۱. اگر a_i مفرد باشد آن‌گاه $Ord(a_i) = 0$

۲. مرتبهٔ $< a_1, a_2, ..., a_k >$ برابر است با

$\max(Ord(a_1) + Ord(a_2) + ... + Ord(a_k)) + 1$.

برای معرفی ساختار، به تعریف تابعی چون t_D نیاز داریم که دارای خواص زیر است:

۱. $t_D(d) = D$

۲. اگر $a_1, a_2, ..., a_k \in T$ آن‌گاه

$$t_D(< a_1, a_2, ..., a_k >) = P(t_D(a_1) \times t_D(a_2) \times ... \times t_D(a_k))$$

به این ترتیب هر عضو از $t_D(a_i)$ را دارای نوع a_i می‌نامیم. تابع $\varepsilon(D) = \bigcup Range(t_D(a_i))$ را نیز مقیاس مبنی بر D می‌گوییم. عدد اصلی (cardinal) κ_D را که همراه تابع مقیاس $\varepsilon(D)$ است به صورت زیر تعریف می‌کنیم:

$$\kappa_D = \sup\{|D|, |P(D)|, |P^2(D)|, ...\}$$

در این صورت ساختاری چون u را با زوج مرتبی به صورت زیر تعریف می‌کنیم، که در آن R_u دنباله‌ای از اعضای $\varepsilon(D)$ است.

$$U = < D, R_\mu >$$

و فرض بر این است که دنبالهٔ فوق، که خود یک تابع است، دارای مجموعه دامنه‌ای است که عدد اصلی آن کوچک‌تر از K_D است. K_D و $\varepsilon(D)$ را به‌ترتیب عدد اصلی و تابع مقیاس همراه u می‌گویند.

توجه به این نکته بسیار مهم است که ساختاری که به این ترتیب تعریف شد، اعم از ساختاری است که در منطق مرتبهٔ اول به عنوان مدل مطرح می‌شود (برای ملاحظهٔ تعریفی در این مورد ← اردشیر، ۱۳۹۱: ۱۰۱–۱۰٤). ساختار در منطق مرتبهٔ اول، ساختار مرتبهٔ اول است که در آن روابط فقط میان اعضای یک مجموعه برقرار است، ولی در ساختارهای مراتب بالاتر روابط می‌تواند میان اعضای یک مجموعه و زیرمجموعه‌هایی از آن و یا زیرمجموعه‌هایی از حاصل‌ضرب دکارتی زیرمجموعه‌های آن و ... برقرار باشد. هم‌چنین توجه داشته باشید که روابطی که دارای نوع a_i هستند، به طوری که a_i به صورت $< d >$ یا $< d,d >$ یا $< d,...,d >$ باشد، روابط مرتبهٔ اول هستند (یعنی $Ord(a_i) = 1$)، روابطی که دارای نوع a_i هستند به طوری که a_i به صورت $<< d >>$ یا $<< d >,< d,d >>$ یا $<< d,...,d >>$ باشد روابط مرتبهٔ دوم هستند و به همین ترتیب روابط مراتب بالاتر را می‌توان تعریف کرد.

برای مثال گروهی چون G دارای ساختاری به شکل $G = < D, \otimes, s >$ است که در آن $\otimes$ را که ضرب گروه می‌نامند، عملی دوتایی روی D است و s عملی یک‌تایی روی آن است. اعضای D در اصول نظریهٔ گروه‌ها صدق می‌کنند. به این ترتیب اگر نوع عناصر D را با d معین کنیم، نوع $\otimes$ و s به‌ترتیب <d,d,d> و <d,d> خواهد شد و مجموعهٔ $G =< D, \otimes, s >$، که بنا به تعریف متعلق به سلسله‌مراتب نوعی روی D به عنوان پایه است، دارای نوع <<d>,<d,d,d>,<d,d>> است. توجه کنید که مجموعهٔ D خود دارای نوع <d> است، زیرا عضو مجموعهٔ P(A) است.

مثال ۲: یک فضای برداری چون V=<R,V,+,.> ساختاری است که دو مجموعهٔ پایه دارد؛ یکی R که مجموعهٔ اسکالرهاست و V که مجموعهٔ بردارهاست. R یک میدان است، بنابراین یکی از مجموعه‌های پایه از پیش واجد شرایط ساختار است. R را مجموعهٔ کمکی و V را مجموعهٔ اصلی می‌نامیم. اگر عناصر R و V را به‌ترتیب با r و v نشان دهیم، نوع ساختار فوق را می‌توان به صورت <<r>,<v>,<v,v,v>,<r,v,v>> نشان داد.

اگر L زبان نظریهٔ مجموعه‌ها باشد، یک محمول در L فرمولی با یک متغیر است، هم‌چون P(x). اگر S یک ساختار باشد، محمولی چون P وجود دارد که از دو بخش تشکیل شده است: بخش اول را که با P_1 نشان می‌دهیم و نشان می‌دهد که S چگونه از این مجموعه‌های پایه ساخته می‌شود (نوع S را معین می‌کند)؛ بخش دوم با P_2 نشان داده می‌شود و عطف اصول موضوع S است. P ترکیب عطفی P_1 و P_2 است. متناظر با مجموعه‌های پایه در P پارامترهایی وجود دارد. می‌گوییم P(S) نوع ساختار روی

مجموعه‌های پایهٔ S است. فرض کنید که این مجموعه‌های پایه $A_1, A_2, \ldots, A_n$ باشند، P را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$P\ (S; A_1, A_2, \ldots, A_n)$$

در این صورت نوع ساختار متناظر با S بنا به تعریف محمول زیر است:

$$P(X) \leftrightarrow \exists X_1 \exists X_2 \ldots \exists X_n P(X; X_1, X_2, \ldots, X_n)$$

که معنای آن آشکار است. S ساختاری از نوع P یا P-ساختار نامیده می‌شود. این نوع از ساختارها را محمولات سوپیز هم می‌نامند (Da Costa and French, 2003: 37). باید توجه داشت که خانوادهٔ یک‌سانی از ساختارها را می‌توان با محمولات سوپیز متعددی بیان کرد که همگی معادل یک‌دیگرند. به صورت نه‌چندان دقیق می‌گوییم که این نوع از ساختارها با ساختار مفروض ارضا می‌شود. اصولاً اصل موضوع سازی یک نظریهٔ ریاضی به دست آوردن این نوع متناظر از ساختارهاست. فرض کنید S یک ساختار باشد و L زبانی که می‌خواهیم با S آن را تعبیر کنیم. در این صورت باید مشخص کنیم که گزاره‌ای چون P عضو L در S به چه صورتی صادق خواهد بود (bid: 38).

فرض کنید Δ مجموعه‌ای از گزاره‌های L باشد، که همهٔ آن‌ها در S صادق‌اند. به این ترتیب، S را مدلی برای Δ می‌نامیم. به طور نه‌چندان دقیق می‌توان گفت وقتی S، P-ساختار است، S مدلی برای P است (ibid).

به طور کلی هر نظریهٔ اصل موضوعی از یک رشته اصول که آن‌ها را اصول موضوع می‌نامند و یک تعداد مفاهیم اولیه تشکیل شده است. مفاهیم دیگر از طریق این مفاهیم و با تعریف ساخته می‌شوند. هم‌چنین قضایا نیز از اصول موضوع با برهان حاصل می‌آیند. از منظر نظریهٔ مجموعه‌ها، مفاهیم اولیه درواقع یک رشته مجموعه هستند، که به طور ضمنی با روابط نظریهٔ مجموعه‌ای بیان می‌شوند که در اصول ظاهر می‌شوند. درنتیجه در این رویکرد اصل موضوع سازی یک نظریه ارائهٔ نوعی از ساختارهاست که مجموعه‌های اولیهٔ نظریه یا برخی از مجموعه‌ها را به عنوان مجموعه‌های پایهٔ خود دارند.

مجموعه‌های پایهٔ اصلی و روابطی که صریحاً در اصول موضوع ظاهر می‌شوند (البته وقتی که روابط تعریف‌شده نیستند) گردایه‌ای از مفاهیم اولیهٔ نظریه یا نوع متناظر از ساختارها را تشکیل می‌دهند (ibid). به این ترتیب اصل موضوع سازی نظریه‌ای چون T صورت‌بندی یک محمول نظریهٔ مجموعه‌ای چون P است. این ساختارها، که مدل‌های P هستند، خانواده‌ای چون F از ساختارها را تشکیل می‌دهند که به یک معنی مشخص P را

معین می‌سازند. توجه کنید که صورت‌بندی یک نظریه به این معنی است که گـزاره‌هـای آن را (مثلاً در نظریهٔ مجموعه‌ها) به حسابی (calaulus) تبدیل کنیم که نمادهای آن علی‌الاصـول هیچ معنایی ندارند (ibid).

برای مطالعهٔ T، یعنی یک نظریه، ما مـی‌تـوانیم بـه طـور نحـوی (synatactically) پـیش برویم که از طریق P این عمل صورت می‌گیرد یا به طور معناشـناختی بـا آوردن خـانوادهٔ F در تبیین. به نظر می‌رسد روش‌های نحوی و معناشناختی معادل باشند. به طور کلی با فـرض F، علی‌الاصول می‌توان P را به دست آورد و با شروع از P خانوادهٔ F معین می‌شوند (ibid).

همان‌طور که ملاحظه شد ما P را در نظریـهٔ مجموعـه‌هـا تعریـف کـردیم. ولـی نظریـهٔ مجموعه‌ها را می‌توان به شکل صوری نوشت، بنابراین نظریه‌ای را که P مشخص می‌کند نیز می‌توان به شکل صوری نوشت. اما در ریاضیات معمولی از زبان غیرصوری استفاده می‌کنـیم که در آن ساختارها در نظریهٔ مجموعه‌های طبیعی (naïve) بیان می‌شوند و مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. نظریه‌های ریاضی را در نظریهٔ مجموعـه‌هـا، اصـل موضـوعی مـی‌کنـیم و نظریـهٔ مجموعه‌ها هم در منطق مرتبهٔ اول قابل صوری شدن و اصل موضوع پذیر است. بدین ترتیـب دستگاه‌های اصل موضوعی شده‌ای (یعنی ریاضیاتی که در نظریـهٔ مجموعـه‌هـا صـورت‌بنـدی شده است) حاصل می‌شود که آن‌ها را مرتبهٔ اول می‌نامند؛ زیرا شامل تمـام روش‌هـای نظریـهٔ مجموعه‌ها و اندیشه‌های آن مـی‌شـود (ibid: 39). بایـد توجـه داشـت کـه اگـرچـه نظریـهٔ مجموعه‌ها در زبان مرتبهٔ اول صورت‌بندی می‌شود، ولی قدرت بیـانی (expressive power) آن بالاتر از نظریه‌های مقدماتی است (Kraus, Arenhart, and Moraes, 2010).

۴. رویکرد معناشناختی

اشکالاتی که رویکرد نحوی داشت راه را برای ظهور رویکرد معناشناختی به علـم بـاز کـرد. باید توجه داشت که برخی از منتقدان دیدگاه متداول، به طور کلی آن را نادرست مـی‌داننـد، ولی بعضی دیگر هم‌چون سوپیز (Suppes) آن را ناقص می‌انگارند. سوپیز می‌گوید:

> دیدگاهی که من می‌خواهم از آن پشتیبانی کـنم ایـن نیسـت کـه طـرح اسـتاندارد [دیـدگاه متداول] کلاً نادرست است، بلکه بسیار بسیار ساده است. طرح‌واره‌بودن زیاد آن ایـن امکـان را فراهم می‌کند تا هم خواص مهم نظریه‌ها و هـم تمـایزات مهمـی را کـه مـی‌تـوان میـان نظریه‌ها معرفی کرد در نظر نگیرد (Suppes, 2002: 3).

دو انتقاد مهم از سوی مدافعان دیدگاه معناشـناختی علیـه دیـدگاه متـداول مطـرح شـده

است؛ اولین مورد این است که، همان‌طور که گفته شد، در دیـدگاه متـداول نظریـه دارای دو بخش است، یکی حساب منطقی مجرد و دیگری مجموعه‌ای از قواعد تناظر که اعطـاکننـدهٔ معنای تجربی به قسمت اول‌اند. در ایـن نگـاه بخـش اول نظریـه در یـک زبـان مرتبـهٔ اول صورت‌بندی می‌شود؛ یعنی نظریه هویت زبانی دارد. مسئله این است که تـاکنون مثـال‌هـای واقعی از نظریه‌ای که عملاً به عنوان حساب منطقی به انجـام رسـیده باشـد، در نوشـته‌هـای فلاسفهٔ علم یافت نشده است (ibid). انتقاد بعدی در مورد توضیحی است که آن‌ها در مـورد مدل‌ها و نقش آن‌ها در علم ارائه می‌دهند.

سوپیز با الهام از تعریفی که تارسکی در ۱۹۳۵ از مفهوم مدل ارائه کـرد، دیـدگاهی نـو را در فلسفهٔ علم پایه‌گذاری کرد. البته به همراه افـراد دیگـری هـم‌چـون بـث (Beth) و سـاپی (Suppe) سوپیز متذکر می‌شود که می‌توان همان مفهومی را که تارسـکی بـرای مـدل عنـوان کرد، برای مدل‌ها در علم نیز به کار برد. وی در مقالـهٔ ۱۹٦۰ خـود ابتـدا تعریـف زیـر را از تارسکی برای مدل بیان می‌کند: «تحققی ممکن که در آن تمـام گـزاره‌هـای معتبـر نظریـه‌ای چون T ارضا می‌شوند، مدلی برای T نامیده می‌شود» (Tarski, 1953: 11).

او سپس نقل قول‌های متعددی از علوم می‌آورد که از مدل‌ها استفاده شـده اسـت. قصـد او نشان دادن اهمیت مدل‌ها و فراوانی استفادهٔ آن‌ها در علم است برای تأیید رویکرد مـأخوذ خود. در رویکردی که وی پایه‌ریزی کرد نظریه‌های علمی یا با رده‌ای از مدل‌ها برابرند که ایـن قرائت ون فراسن است (Van Fraassen, 1991: 7) یا با رده‌ای از مدل‌ها ارائـه مـی‌شـوند کـه قرائت داکوستا و فرنچ است. در تعریف رویکرد نظریهٔ مدلی (model–theoretic) نظریـه‌هـا، داکوستا و فرنچ بیان می‌کنند که نظریه‌ها «به صورت توصیفی از مجموعـه‌ای از مـدل‌هـا بـه معنی ساختارهای رابطه‌ای ارائه می‌شوند که در آن تمام گزاره‌ها در یک صورت‌بنـدی زبـانی ویژه از نظریه، خواص صادقی در مورد این ساختار بیان می‌کنند، وقتی که ساختار بـه عنـوان تعبیری یا «تحقق ممکنی» (possible realization) از نظریه عمـل مـی‌کنـد (Suppes, 1957). در این صورت ما اعلام می‌کنیم که اصـل موضـوع سـازی یـک نظریـه بـه کـار بـردن ایـن روش‌های نظریهٔ مدلی است» (Da Costa and French, 2003: 25).

طرف‌داران نگاه متداول معتقد بودند که ضـرورتی بـرای اسـتفاده از مـدل‌هـا در فیزیـک وجود ندارد:

> تشخیص این مطلب مهم است که کشف یک مدل صـرفاً واجـد ارزشـی زیبـایی‌شـناختی، آموزشی یا در بهترین حالت ارشادی است، اما به هـیچ روی بـرای کـاربرد نظریـهٔ فیزیکـی ضروری نیست (Carnap, 1939: 68).

در پاسخ طرف‌داران کاربرد مدل‌ها در فیزیک می توانند بگویند که مدل‌ها تعبیری از نظریه می دهند با هویاتی که برای ما آشناترند. ولی مکانیک کوانتومی و عدم امکان تصویرپذیری آن این مسئله را با چالشی جدی مواجه می‌کند. توجه کنید همان‌طور که سیلوس بیان می‌کند (Psillos, 1995: 107) در دیدگاه متداول مدل‌ها به واقع «شبکه‌ای از قواعد معناشناختی هستند که نظریه‌های علمی را تعبیر می‌کنند» و نظریه‌های علمی (همان‌طور که گفتیم) «دستگاه‌های اصلی موضوعی یا حسابی تعبیرنشده یا نیمه تعبیرشده هستند» و «مطالعهٔ مدل‌ها به طور ضمنی در مطالعهٔ زبان علم انجام می‌گیرد و به هیچ میزانی چیزی بیش از این مطالعه وجود ندارد» (ibid).

در همین سیاق است که بریث‌ویت (Braithwaite) مدل را نظریه‌ای دیگر چون M می‌داند که در ساختار قیاسی با نظریهٔ T متناظر است (ibid: 108). سیلوس می‌گوید که محتوای کلام بریث‌ویت این است که «M مدلی برای نظریه‌ای چون T است، اگر و تنها اگر M و T به طور ساختاری یک‌ریخت باشند. در این صورت یک مدل صرفاً تعبیری دیگر از حساب نظریه است» (ibid). سیلوس اضافه می‌کند: «اما دیدگاه متداول در نشان دادن این‌که چه چیزی ساختن مدل را مهم می‌سازد با شکست مواجه می‌شود. به عبارت دیگر این دیدگاه در ارائهٔ پاسخی مکفی به این پرسش ناکام است: چرا استفاده از مدل‌ها در علم اهمیت دارد؟» (ibid).

همان‌طور که گفتیم مدل در این نگاه به منزلهٔ تعبیر نظریه‌های علمی است که خود حسابی تعبیرشده یا شبه تعبیرشده است. هم‌چنین اگر مدل‌ها با عبارات آشناتر بیان شوند، فهم نظریه‌های علمی را، که در چنین عباراتی بیان شده‌اند، آسان‌تر یا کامل‌تر می‌کنند؛

> اما اگر این تمام آن چیزی است که در استفاده از (و در ارزش) مدل‌ها وجود دارد، در این صورت بسیار نابسنده است، حتی با استانداردهای طرف‌داران نگاه متداول. چرا مدل‌ها را به طور کلی رها نسازیم و صرفاً به نظریه‌ها نپردازیم؟ نهایتاً همان‌طور که بریث‌ویت و کارنپ مشاهده کردند، دیدگاه تعبیر جزئی در مورد نظریه‌ها، عبارات نظری را بی‌معنا نمی‌سازد ... در عوض آن دیدگاه مبین این است که عبارات نظری «به طور زمینه‌ای معنا دارند» (contextually meaningful)؛ یعنی، به عنوان بخشی و قسمتی از زبان یک نظریهٔ علمی که به طور تلویحی داخل آن نظریه تعریف شده‌اند و با قواعد تناظر، به تجربه پیوند می‌یابد (ibid: 108-109).

درواقع این همان کاری است که نهایتاً کارنپ و بریث‌ویت انجام دادند (Da Costsa, French, 2003: 44). به عبارت دیگر علی‌الاصول نیازی به مدل‌ها در علم وجود ندارد؛ زیرا

تعبیر (که درواقع به نظر می‌رسد یکی از کارهای اساسی مدل‌ها باشد) با قواعد تناظر و در سیاق نظریهٔ مورد بحث امری را که مدل‌ها در پی انجام آن هستند، محقق می‌سازد.

در نگاه مدل‌گرایان مدل‌ها به فرض‌های مجموعه‌های فیزیکی عینیت می‌بخشند. اما در این میان مشکلات مهمی وجود دارد؛ از جملهٔ مهم‌ترین آن‌ها در مورد مکانیک کوانتومی است. مکانیک کوانتومی نظریه‌ای است که در آن برخی از خصوصیاتی که طرف‌داران نظریهٔ مدلی برای نقش مدل‌ها قائل‌اند قابل تحقق نیست؛ ازجمله این‌که بتوان آن‌ها را تصویری برای نظریه دانست، کاری که مدل بور (Bohr) قصد انجام دادن آن را داشت، ولی نهایتاً نظریه‌ای کوانتومی مطرح شد که در آن امکان تصویر کردن منتفی است. یکی از دلایلی که طرف‌داران نگاه متداول فهم نظریه را با مدل‌ها پیوند نزدند همین امر بود (ibid: 45).

اما مکانیک کوانتومی یگانه نظریهٔ علمی نیست و ایراد طرف‌داران دیدگاه متداول در مورد استفاده از مدل‌ها چندان معتبر نیست. هم‌چنین مدل‌ها صرفاً برای تصویرپذیری ارائه نمی‌شوند، بلکه اصولاً ساختاری ریاضی هستند که نظریه رده‌ای از آن‌هاست و در این تلقی نیازی نیست که نظریه‌ای تصویرپذیر باشد. ایخنشتین (Achinstein) پنج اشکال در مورد تلقی دیدگاه متداول از مدل‌ها مطرح می‌کند که به قرار زیر است (ibid: 45-46):

۱. اگرچه مدل‌های نظری را می‌توان به صورت مجموعه‌هایی از گزاره‌ها دید، ولی مدل‌های بازنمایی‌کننده (representational)، مانند مدل‌های مقیاسی (scale models)، را نمی‌توان چنین تلقی کرد. آن‌ها شیءاند نه مجموعه‌ای از گزاره‌ها؛

۲. دلالت (denotation) عبارات فردی (individual) در انواع معینی از مدل‌ها از همان عبارات در نظریه متفاوت نیست. برای مثال، در مدل نظری یک گاز به توپ‌های بیلیارد ارجاع نمی‌دهد، بلکه به اتم‌های گاز راجع است؛

۳. اگر مدل‌های نظری و خود نظریه را به عنوان تعابیر جزئی (partial interpretations) از حسابی تعبیرنشده تلقی کنیم، تفاوت اساسی آن‌ها از بین می‌رود. برای مثال، تشابه میان هدایت گرمایی و جاذبهٔ الکتروستاتیک را در نظر بگیرید؛ «چندان معنا ندارد که ما «منبع گرما» را به عنوان معنایی برای «منبع الکتریسیته» تلقی کنیم، یا برعکس»؛

٤. چندان معقول نیست که ساختار صوری نظریه و مدل را این‌همان بدانیم، آن‌چنان که در دیدگاه متداول چنین تلقی می‌شود. برای مثال، مدل تخیلی میدان الکترومغناطیسی، تعبیری از حساب هیچ نظریه‌ای که به خودی خود در نظر گرفته شود، نیست؛

۵. این اندیشه که تمام مدل‌ها تشبیهی (analogies) هستند اندیشهٔ ناصوابی است. برای مثال، مدل بور یک مدل نظری بود، نه یک مدل تشبیهی و اگرچه «قوانین هدایت گرمایی

پدیده‌هایی را توصیف می‌کنند که مشابه بـا مـدل‌هـای الکتروسـتاتیک هسـتند، ولـی چنـین قوانینی را نمی‌توان به عنوان مدل های نظری الکتروستاتیک تعبیر کرد». بعـد از ایـن انتقادهـا ایخنشتین به بررسی فعالیت علمی و نقش مدل‌هـا در آن مـی‌پـردازد و مـی‌گویـد بـه رغـم اشاراتی که در ادبیات فلسفهٔ علم در این مورد وجـود دارد «ایـن ادعـا کـه مـدل‌هـا هـم در صورت‌بندی و هم در توسعهٔ نظریه‌ها مهم هستند، به‌ندرت بـه طـور مفصـل بررسـی شـده است» (ibid: 46).

اما وی معتقد است که این‌همانی ساختار صوری نمـی‌توانـد اعطاکننـدهٔ معقولیـت بـرای انتقال از یک مدل به یک گسترش نظری باشد، «معقولیت عبارات باید بـا توسـل بـه محتـوا (content) معین شود نه با صـورت منطقـی صـرف» (Achinstein, 1968: 254). نهایتـاً وی نتیجه می‌گیرد که نمی‌توان نظریه‌ای در مورد مدل‌ها و مشابهت در علم داشت. این نتیجـه‌ای است که داکوستا و فرنچ رد می‌کنند (Da Costa and French, 2003: 47). آن‌ها معتقدنـد کـه همهٔ اجزای مدل‌هایی که به عنوان بازنمـایی‌کننـدهٔ چیـزی در نظـر گرفتـه مـی‌شـوند بـرای بازنمایی ضروری نیستند و برخی از آن‌ها نامرتبط هستند. «چیزی به نام بازنمایی تام و تمـام (perfectly faithful) مدل‌ها وجود ندارد، تنها با ناقص بودن در برخـی جنبـه‌هـا یـک مـدل می‌تواند امر اصلی را بازنمایی کند» (Black, 1962: 220). حتی مدل‌های تشبیهی را می‌تـوان به صورت مدل‌های شمایلی در نظر گرفت، البته مدل‌های شمایلی دارای تجریـد بـیش‌تـری هستند (Da Cota and French, 2003: 47).

اگر بخواهیم الزام به این‌همانی را ضعیف‌تر کنیم و به مشابهت معقول به جای این‌همـانی بسنده کنیم و آن را به اندازهٔ کافی گسترش دهـیم تـا هـم مشـابهت سـاختار صـوری در آن لحاظ شود و هم مشابهت خواص مادی این کار را می‌توان با معرفی ساختار جزئـی محقـق ساخت (مفهوم ساختار جزئی و صدق جزئی در ادامه آورده شده است). با استفاده از مفهـوم ساختار جزئی بسیاری از خواست‌های مدل‌گرایان برآورده می‌شود، از جمله هسـه (Hesse). هسه معتقد است که بین یک مدل و اصل سه نوع مشابهت برقرار است: ۱. مشـابهت مثبـت که به معنای آن است که خواصی که به اصل نسبت داده می‌شوند در مورد مدل هـم برقـرار باشد؛ ۲. مشابهت منفی که به معنای این است که خواصی در مدل وجود دارند کـه در اصـل نیست؛ ۳. مشابهت خنثی که به این معنی است که خواصی در مدل وجود دارد که نمی‌دانـیم در اصل هست یا نه (سروش، ۱۳۸۸: ۱۲۹–۱۳٤). به این ترتیب، می‌توان بـا سـومین نـوع از مشابهت به پیشرفت علم کمک کرد. این نوع مشابهت به مـا پـیش‌بینـی مـی‌دهـد، بنـابراین قسمت بسیار مهم از مشابهت همین بخش است.

انتقاداتی را که ایخنشتین به دیدگاه متداول وارد کرد به تصویری که در این‌جا ارائه شد وارد نیست. اول این‌که تمام مدل‌ها چه نظری، چه مشابهتی، و چه شمایلی و ... همگی ساختارند و تمایز میان آن‌ها در تمایز میان ساختار آن‌هاست و اختلافی ذاتی وجود ندارد. هم‌چنین هیچ یک مجموعه‌ای از گزاره‌ها نیستند. دوم، دیگر نظریهٔ یک حساب منطقی نیست، بلکه با مجموعه‌ای از مدل‌ها ارائه می‌شود. بنابراین اگر دلالت فردی هویات در نظریه و مدل متفاوت نباشند هیچ مشکلی ایجاد نمی‌کند. سوم، درواقع در این‌جا تفاوت میان نظریه و مدل از بین رفته است و نظریه‌ها با مدل‌ها نشان داده شدند؛ یعنی، ایراد سوم وی هم برطرف می‌شود. چهارم، با توضیحی که داده شد، مشخص شد که لازم نیست که ساختار صوری نظریه و مدل این‌همان باشد و روابط یک‌ریختی جزئی در این میان وجود دارد؛ یعنی اشکال چهارم وی نیز منتفی است. پنجم، چنین اعتقادی در این‌جا وجود ندارد که مدل‌ها تماماً مشابهتی هستند و اصولاً تمایز قاطع میان مدل‌ها کلاً رخت برمی‌بندد و همهٔ آن‌ها ساختارهای ریاضی‌اند که تفاوت‌شان در تفاوت ساختارهاست، به این ترتیب ایراد پنجم وی نیز به رویکرد برگرفته در این‌جا وارد نخواهد بود. در پایان باید تذکر داده شود که ساختار جزئی و صدق جزئی را داکوستا و فرنچ در رویکرد معنایی به علم وارد ساخته‌اند و برخی ایرادهایی که به دیدگاه متداول وارد است هم‌چون عدم ارائهٔ تبیینی قابل قبول برای فرایند باز بودن علم به رویکرد معنایی به طور عام نیز وارد است، ولی به نظر می‌رسد که تبیین داکوستا و فرنچ فاقد این مشکل است (Da Cota and French, 2003: 52-53).

۵. مدل

در نگاه جدید به نظریه‌های علمی (رویکرد معناشناختی بـه علـم)، مـدل‌هـا نقـش اساسـی در نظریه‌های علمی بازی می‌کنند. به لحاظ ریاضی هر مدل یک ساختار است، البتـه ایـن سـاختار می‌تواند مرتبهٔ اول باشد یا مرتبه آن بیش‌تر باشد که درواقع هـم اکثـر مـدل‌هـای علمـی دارای مراتب بالاتر از یک هستند. انواعی از مدل‌ها وجود دارد، از جمله مدل‌های نظـری، مـدل‌هـای شمایلی، مدل‌های پدیده‌ها و مدل‌های داده‌ها. از جمله مثال‌های مدل‌های پدیده‌ها مـی‌تـوان بـه این موارد اشاره کرد: «مدل توپ بیلیارد از یک گاز، مدل بور در مورد اتـم، مـارپیچی دوگانـه از DNA، و مدل لورنتس در مورد اتمسفر» (Frigg and Hartmann, 2012). سـوپیز معتقـد اسـت که داده‌ها را بـه طـور خـام نمـی‌تـوان مـورد اسـتفاده قـرار داد، بلکـه بایـد آسـیابی مفهـومی (conceptrial grinder) وجود داشته باشد تا آن‌ها را از حالت خام درآورد. در این عمـل اغلـب

داده‌ها به بخش‌هایی از آزمایش کامل دسته‌بندی می‌شوند و مدلی فراهم می‌آورند کـه مـدلی از آزمایش است (Suppes, 1967: 62). درواقع مدل داده‌ها «گونه‌ای تصـحیح‌شـده، اصـلاح‌یافتـه، دسته‌بندی‌شده و در تعداد زیادی از موارد آرمانی‌شده از داده هایی اسـت کـه مـا از مشـاهدهٔ مستقیم، که آن را دادهٔ خام می‌نامند، به دست می‌آوریم» (Frigg and Hartmann, 2012).

دو کار عمده روی داده‌های خام صورت می‌گیرد، یکی این‌که خطاهـا حـذف مـی‌شـود، مثلاً اعدادی که از خطا در مشاهده یا آزمایش حاصل می‌شوند کنار گذاشـته مـی‌شـوند. دوم داده‌ها به روشی مناسب ارائه می‌شوند؛ مثلاً نقاط، در یک منحنی هموار نشان داده مـی‌شـوند (ibid). از چنین مدلی است که پدیده‌ها استنتاج می‌شوند (Da Costa and French, 2003: 71).

مدل‌های پدیده‌ای را نمی‌توان به طور کلی صادق تلقی کرد؛ زیرا همـواره ممکـن اسـت خواصی از پدیده‌ها کشف شود که تاکنون آشکار نشده است. مثل اسپین الکترون که چنـدی بعد از کشف آن شناخته شد، پـس صـدق آن‌هـا بایـد جزئـی باشـد (ibid: 73). سـوپیز بـه سلسله‌مراتبی از مدل‌ها قائل است (Suppes, 1962) که از مدل داده‌هـا آغـاز مـی‌شـود و بـا تجربه مرتب می‌شود و این تجربه ما را از مدل داده‌ها به مدل‌های پدیده‌ها و سپس مدل‌های سطح بالای ساختارهای نظری رهنمون می‌شود (Da Costa and French, 2003: 73). توجـه شود که همان طور که هسه می‌گوید، مدل‌ها اشیای خود را صرفاً به صورت جزئـی نمـایش می‌دهند، مدل‌هایی که نظریه‌ها را تشکیل می‌دهنـد نیـز ناکامـل‌انـد، بـه طـوری کـه رشـد و پیشرفت علمی بیش‌تر را ممکن می‌سازند، «نظریه‌ها باز هستند، همان‌طور که تبیـین اخیـر از فعالیت علمی بر آن تأکید می‌کند» (ibid: 74).

با توجه به تاریخ علم، ما ترجیحی برای پذیرش نظریه های کنونی به عنـوان صـادق، بـه معنی مطابقت از معنای صدق، نداریم، بلکه آن‌ها را باید به طور جزئی صادق بـدانیم (ibid). تأکید می‌کنیم که داکوستا و فرنچ تقسیم میان مدل‌های نظری و پدیده‌ای را رد می‌کننـد (چـه به لحاظ ساختاری و چه به لحاظ معرفتی) (ibid: 75).

۶. نقش زبان در دیدگاه معناشناختی به علم

با مراجعه به آثار مدافعان دیدگاه معناشناختی به علم آشکار مـی‌شـود کـه رأی آنـان در مورد جایگاه زبان یک‌سان نیست و دیدگاه‌های کاملاً متخالفی در این مورد وجـود دارد. برای مثال ون فراسن معتقد اسـت کـه زبـان و بـه طـور اخـص صـورت‌بنـدی زبـانی (linguistic formalization) مدخلیتی در این موضوع ندارد؛

> این خانواده را می‌توان به روش‌های متعددی، با عبارات متفاوتی در زبان‌های گوناگون توصیف کرد و هیچ صورت‌بندی زبانی، هیچ شأن برتری ندارد. علی‌الخصوص، اصل موضوع سازی به‌تنهایی هیچ اهمیتی ندارد و حتی نظریه‌ای ممکن است به طریق مهمی (non-trivial) قابل اصل موضوع سازی نباشد (Van Fraassen, 1989: 188).

استدلال ون فراسن در این مورد این است که ما به جای این‌که یک نظریه را در زبانی منطقی صورت‌بندی کنیم و سپس به سازگاری و روابط منطقی از طریق عملیاتی پیچیده بپردازیم، به‌سادگی از طریق بررسی مدل‌ها می‌توانیم این عمل را انجام دهیم. بیان ون فراسن به صورت زیر است:

> وجود مدل سازگاری را با استدلال بسیار سرراستی اثبات می‌کند:
>
> تمام اصول موضوع نظریه (که به طور مناسبی تعبیر شده‌اند) در مورد آن صادق هستند، بنابراین تمام قضایا نیز در مورد آن صادق‌اند؛ اما هیچ تناقضی در مورد هیچ چیزی نمی‌تواند صادق باشد؛ پس هیچ قضیه‌ای متناقض نیست.
>
> بنابراین، ادعاهای منطقی که به صورت نحوی محض صورت‌بندی می‌شوند، با این وجود اغلب از طریق فرعی نگاه کردن به مدل‌ها قابل اثبات‌اند (اما مفاهیم تعبیر و مدل به معناشناسی تعلق دارند (Van Fraassen, 1980: 43).

ون فراسن ادامه می‌دهد که با در نظر گرفتن مدل‌ها و روابط میان آن‌ها از قبیل قابلیت جایگری (embeddability) و یا یک‌ریختی میان آن‌ها (که روابطی معناشناختی هستند) به اطلاعات بسیار مهمی در مورد مقایسه و ارزیابی نظریه‌ها می‌توان دست یافت که در نگاه متداول رویکردی نحوی دارد این امکان وجود ندارد (ibid: 43-44). به نظر ون فراسن در رویکرد معناشناختی «زبانی که برای بیان نظریه استفاده می‌شود نه مبنایی است و نه یکتا است؛ می‌توان ردهٔ یک‌سانی از ساختارها را با روش‌هایی بسیار متفاوت، به نیکی، توصیف کرد که هر یک محدودیت‌های خود را دارند. مقام مرکزی از آن مدل‌هاست» (ibid: 44).

در این‌جا باید دو نوع مشخص‌سازی (charcterication) در مورد نظریه‌ها را از هم بازشناسی کنیم. هنگامی که یک نظریه را به صورت حسابی ــ منطقی (logical calculus) صورت‌بندی می‌کنیم؛ یعنی آن‌چه سوپیز آن را صورت‌بندی استاندارد (standard formalization) می‌نامد، ما به مشخص‌سازی درونی (intrinsic) دست زده‌ایم. سؤال طبیعی در این‌جا این است: «آیا یک نظریهٔ معین را می‌توان با صورت‌بندی استاندارد، یعنی در منطق مرتبهٔ اول، اصل موضوعی ساخت» (Suppes, 1967: 60).

سوپیز معتقد است که برای صورت‌بندی دقیق این پرسش نوعی مشخص‌سازی بیرونی (extrinsic) نظریه مورد نیاز است. وی می‌گوید: «یکی از روش‌های سادهٔ فراهم کردن مشخص‌سازی بیرونی، صرفاً در تعریف ردهٔ مورد نظر از مدل‌های آن نظریه متجلی می‌شود. در این صورت پرسش از این‌که آیا ما می‌توانیم این نظریه را اصل موضوعی کنیم، صرفاً پرسش از این مطلب می‌شود که آیا ما می‌توانیم مجموعه‌ای از اصول موضوع را بیان کنیم، به طوری که مدل‌های این اصول موضوع، دقیقاً همان مدل‌های تعریف‌شده در آن رده باشند» (ibid). با این توضیحات مشخص می‌شود که ون فراسن صرفاً مشخص‌سازی بیرونی را مد نظر دارد و مشخص‌سازی درونی را نامربوط و نامناسب می‌داند و معتقد است که اگر مدل‌ها را به صورت هویاتی در نظر بگیریم که به طور جزئی زبانی هستند و در متون منطق تعریف می‌شوند، کار سوپیز اثر خود را از دست می‌دهد. وی می‌گوید «در واژگان من در این‌جا مدل‌ها، ساختارهای ریاضی هستند که مدل‌های یک نظریهٔ مفروض نامیده می‌شوند (Van Fraassen, 1989: 366). از طرف دیگر برخی از فیلسوفانی که معتقد به دیدگاه معناشناختی هستند با ون فراسن مخالف‌اند؛ هم‌چون فریدمن (Frirdman, 1982: 276) و ورال (Worrall, 1984).

نگارنده در این‌جا قصد ورود تفصیلی به این بحث را ندارد. با این حال، چه زبان و صورت‌بندی زبانی مهم باشد و چه نباشد، اگر نظریه را در زبان نظریهٔ مجموعه‌ها بیان کنیم، قدرت تبیینی آن به اندازهٔ تمام ریاضیات خواهد بود (یا حداقل قسمت اعظم آن) و بسیار غنی‌تر از زبان منطقی مرتبهٔ اول است. توجه به این نکته نیز لازم است که اگر ما در مورد باور خود به نظریه و یا به طور کلی رویکردهای معرفتی به آن و به تبع آن رویکردهای معرفتی به ساختارها سخن بگوییم، مجبوریم که صورت‌بندی های زبانی را از هر نوعی که باشد، به کار گیریم، «شاهد در اسناد باور به شکل گزارش‌های باور است که گزاره‌ای‌اند. که رونوشتی‌هایی به صورت «...» باورمند است. «...» که به طور استاندارد به شکل عبارت فرض می‌شود، یک قضیه (proposition) را بیان می‌کند، که صادق یا کاذب تلقی می‌شود. بدون مشخص‌سازی زبانی از نوعی همانند آن، ما نمی توانیم صورت‌بندی‌های تارسکی مانند از صدق را به کار گیریم و بدون صورت‌بندی این‌چنینی، مفهوم صدقی که قبلاً به آن توسل جستیم باید مبهم و تعریف‌نشده باقی بماند» (Da Costa and French, 2003: 33).

به این ترتیب داکوستا و فرنچ می‌گویند:

> در نگاه ما نظریه‌ها (هرچه که به لحاظ هستی‌شناختی باشند) از منظر بیرونی به صورت مدل‌ها یا رده‌هایی از مدل‌ها نمایش داده می‌شوند و از منظر درونی می‌توان آن‌ها را اشیای

گرایش‌های معرفتی، به‌ویژه باور، فرض کرد. و می‌توان آن‌ها را صادق، واجد کفایت تجربی، شبه‌صادق (qusi-true) و غیره تلقی کرد (ibid: 34).

در این‌جا مسئله‌ای به وجود می‌آید و آن این‌که ساختارهای نظریهٔ مجموعه‌ای را نمی‌توان حامل صدق دانست و این مشکلی است که در مورد این‌همان دانستن نظریه‌ها با چنین ساختارهایی پدید می‌آید. درواقع، اگر دقیق سخن بگوییم، در این حالت نمی‌توان نظریه را صادق یا کاذب دانست. به این دلیل فرنچ و داکوستا معتقدند:

مدل‌ها ساخت‌های نظریهٔ مجموعه‌ای‌اند، و بنابراین به یک معنی معین هویاتی بیرون زبانی هستند. بر این اساس، پیشنهادکنندگان دیدگاه معناشناختی بر صواب‌اند و با بازنمایی نظریه‌های علمی با استفاده از چنین مدل‌هایی از نتایج مشکل‌دارتر اجتناب می‌شود که در تلقی زبانی نظریه‌ها وجود دارد. از این منظر (بیرونی)، مدل‌ها را می‌توان به عنوان اشیا یا افراد (individuals) در نظر گرفت. ما می‌توانیم با مدل‌ها کار کنیم، خانواده‌های آن‌ها را بررسی کنیم و مانند آن، و آن‌ها را برای اهداف گوناگون ماهرانه به کار گیریم؛ مثلاً با تعریف محصول فراوان از ساختارهای مرتبهٔ اول و ایزومتری میان فضاهای متریک یا اثبات یک قضیهٔ بازنمایی در نظریهٔ گروه‌ها و قضیه‌ای در مورد یک‌ریختی برای هندسهٔ مرتبهٔ بالاتر و مانند آن، این موضع ریاضی‌دان است (ibid).

البته برای سخن گفتن از مدل‌ها ما نیازمند زبان هستیم و باید این زبان واجد بخش‌های مهمی از نظریهٔ مجموعه‌ها باشد. به این ترتیب، می‌توان نظریهٔ ساختارهای ریاضی را توسعه داد. به این صورت است که زبان کاملاً از مدل‌ها منفک نمی‌شود. البته باید توجه داشت که زبان در این‌جا زبان نظریهٔ مجموعه هاست، نه زبان‌های دیگر هم‌چون فارسی، انگلیسی، و عربی (ibid). برای این‌که در مورد مجموعه‌ها و زبان جبری نظریهٔ مجموعه‌ها سخن بگوییم، نیازمند به کار بردن نمادهای این زبان هستیم (ibid).

هم‌چنین باید توجه داشت که مدل‌ها یا خانواده‌ای از آن‌ها به عنوان ابزار بازنمایی استفاده می‌شوند، اما می‌توانیم به یک معنای غیرلفظی آن‌ها را صادق یا کاذب بدانیم. البته با کمی تسامح «وقتی یک قلمرو ویژه چون Δ را توصیف می‌کنیم، می‌توانیم فرض کنیم که این امکان وجود دارد که چنین توصیفی را مبتنی بر خواص عناصر Δ بر روابط صادق میان آن‌ها بر توابعی که می‌توان روی Δ تعریف کرد و مانند آن ارائه داد، به نحوی که یک توصیف به‌درستی جنبه‌های معینی از این قلمرو را انعکاس دهد (ibid). به این ترتیب برای نشان دادن رابطهٔ میان حوزه‌ای ویژه چون Δ و ساختار یا ساختاری جزئی یا عمل‌گرایانه سه طریق وجود دارد: ۱. استفاده از نظریهٔ مجموعه ها؛ ۲. استفاده از منطق مرتبهٔ بالا؛ ۳. از

طریق نظریهٔ مقولات (category theory)، در این جا ما از طریق نخست استفاده می‌کنیم، این رویکرد مأخوذ سوپیز است. او این روش را با شعار معروف خود بیان می‌کند که اصل موضوع سازی یک نظریه نوشتن یک محمول نظری مجموعه‌ای برای آن است (Suppes, 1957). با مثالی این مطلب را نشان می‌دهیم (Da Costa and French, 2003: 27). یک گروه ریاضی را می‌توان با ساختاری به صورت زیر مشخص کرد:

$$\mathcal{A}_G = < A, \bullet, *, I >$$

که در آن A مجموعه‌ای ناتهی، • یک عمل‌گر دوتایی روی A است، * یک عمل‌گر یک‌تایی روی A است و I عنصری از A است به طوری که:

۱. $(x \bullet y) \bullet z = x \bullet (y \bullet z)$

۲. $x \bullet I = I \bullet x = x$

۳. $x \bullet x^* = x^* \bullet x = I$

محمول نظریهٔ مجموعه‌ای متناظر به صورت زیر است:

$$\mathrm{P(x)} \leftrightarrow \exists A \exists B \exists C \exists D (x =< A, B, C, D >$$
$$\&\ A\ is\ a\ nonempty\ set\ \&\ B\ is\ a\ binary\ operation\ on\ A$$
$$\&\ C\ is\ a\ u\ \ nrayoperator\ on\ A\ \&\ D$$
$$is\ an\ element\ of\ A\ \&\ \forall x \forall y \forall z (x, y, z) \in A \rightarrow (xBy)Bz$$
$$= xB(yBz)\ \&\ (xBI = IBx = x\ )\ \&\ (xB(Cx) = (Cx)Bx = I).)).$$

۷. ساختار جزئی

قلمروی ویژه‌ای از معرفت چون Δ با نوعی از ساختار به نام ساختار عمل‌گرایانه یا جزئی A رابطه دارد. مفهوم ساختار جزئی در ادامه معرفی می‌شود، اما پیش از آن باید خاطرنشان کنیم که هر قلمروی ویژه از معرفت چون Δ با ساختار عمل‌گرایانه‌ای چون A به سه طریق زیر مربوط می‌شود:

۱. A می‌تواند با توجه به Δ مناسب یا شایسته باشد، اگر (بیان شهودی) جنبه‌های مرتبط Δ را مجسم سازد؛ یعنی اگر گزارهٔ «A جنبه‌های مرتبط Δ را مجسم می‌سازد»، به معنی مطابقت، صادق باشد؛

۲. A با توجه به Δ به طور عمل‌گرایانه مناسب یا شایسته است، اگر گزارهٔ «A جنبه‌های مرتبط Δ را مجسم می‌سازد»، به طور عمل‌گرایانه صادق باشد؛

۳. A با توجه به Δ تقریباً مناسب یا شایسته است، اگر گزارهٔ «A جنبه های مرتبط Δ را مجسم می‌سازد»، وقتی که به عنوان فرضیه لحاظ می‌شود، بتواند از منظری نه‌چندان دقیق نمودها (appearances) را در Δ نجات دهد (Da Costa and French, 2003: 35).

با توجه به این‌که مفهوم ساختار جزئی و صدق جزئی اهمیت اساسی در رویکرد فوق دارد، مناسب است که این مفاهیم را با دقت بیش‌تری معرفی کنیم. کار مفصل در این زمینه مربوط می‌شود به میکنبرگ (Mikenberg)، داکوستا و چاکیو ((Chuaqui)، ازجمله مقالهٔ مشترک میکنبرگ، داکوستا، چاکیو (1986)، با این حال توضیح ما از مقالهٔ داکوستا و فرنچ (1990) است.

آن‌چه از تاریخ علم می‌توان آموخت تغییر نظریه‌های علمی است. بنابراین هر تبیینی که از علم تجربی داده شود باید عنصر خطاپذیری (fallibility) را در خود جای دهد. به این ترتیب به نظر می‌رسد صدق به معنای مطابقت در این نگرش به علم چندان وافی به مقصود نباشد و بنابراین رویکرد دیگری به صدق لازم می‌شود.

قلمرویی از معرفت هم‌چون Δ را در نظر بگیرید، این قلمرو را می‌توان با ساختاری چون ساختار زیر مدل کرد:

$$U = <A_{۱}, R_i>_{i \in I}$$

که در آن $A_{۱}$ مجموعه مفردات مشاهده‌پذیر Δ، R_i ها خانواده‌ای از روابط جزئی تعریف‌شده روی $A_{۱}$ اند و I مجموعه اندیسی مناسب است. برای تعریف رابطهٔ جزئی روی مجموعه‌ای چون A، رابطه‌ای دوتایی چون R را در نظر بگیرید. R را می‌توان به صورت یک سه‌تایی مرتب چون $< R_{۱}, R_{۲}, R_{۳} >$ درنظر گرفت که در آن $R_{۳}, R_{۲}, R_{۱}$ مجموعه‌هایی دو به دو مجزا (disjoint) هستند به طوری که:

$$\mathrm{R}_1 \cup R_{۲} \cup R_{۳} = A \times A \equiv A^{۲}$$

در این‌جا R_1 مجموعهٔ جفت‌های مرتبی است که R را ارضا می‌کنند، $R_{۲}$ مجموعهٔ جفت‌های مرتبی است که R را ارضا نمی‌کنند و $R_{۳}$ مجموعهٔ جفت‌های مرتبی است که ارضا یا عدم ارضای R در مورد آن‌ها معین نیست. اگر $R_{۳}$ تهی باشد، R رابطهٔ دوتایی معمولی (normal) است و می‌توان آن را با $R_{۱}$ این‌همان دانست.

از آن‌جا که همه‌چیز را در مورد Δ نمی‌دانیم، معقول است که U یک ساختار جزئی باشد؛ یعنی روابط و خواص مرتبط میان اعضای $A_{۱}$ را می‌توان با خانواده‌ای از روابط

جزئی چون $< R_i >_{i\in I}$ حاصل کرد، که در آن R_iها به آن معنـی کـه پـیش از ایـن گفتـیم جزئی‌اند؛ یعنی به ازای هر nگانه از اعضا، ضرورتاً تعریف‌شده نیستند.

این ساختار جزئی را می‌توان با معرفی مفردات (individuals) هویات مشـاهده‌ناپـذیر و روابط جزئی جدید میان این مجموعهٔ توسعه‌یافته از مفردات غنی ساخت. ایـن مجموعـه را با A_2 نشان می‌دهیم و خانواده و روابـط جدیـد را بـا $< R_j >_{j\in J}$ مشـخص مـی‌سـازیم و فـرض مـی‌کنـیم کـه روابـط $I \cap J = \phi, A_1 \cap A_2 = \phi$ برقـرار اسـت و هـم‌چنـین $A = A_1 \cup A_2$.

اکنون فرض کنید L زبانی باشد که در آن می‌توان در مورد U سخن گفـت؛ یعنـی U و L دارای نوع مشابهت (similarity type) یک‌سـانی هسـتند. از آن‌جـایی کـه برخـی چیزهـا در مورد Δ شناخته شده است، مجموعه‌ای چون P وجود دارد که گزاره‌هایی از L هسـتند کـه دقیقاً چیزهایی را متمایز می‌سازد که در مورد Δ می‌دانیم. این گزاره‌ها با عنـوان صـادق یـا کاذب پذیرفته می‌شوند، و صدق در این‌جا به معنای مطابقـت اسـت. هـم‌چنـین مـی‌تواننـد قضایای کلی معینی باشند که بیان‌کننـدهٔ قـوانین و نظریـه هـایی هسـتند کـه بـه Δ ارجـاع می‌دهند و از پیش آن‌ها را صادق فرض کرده‌ایم.

بنابراین ما Δ را با ساختاری جزئی به شکل عمومی زیر مدل می‌کنیم:

$$U = < A_1, A_2, R_i, R_j, P >_{\substack{i\in I\\ j\in J}}$$

مجموعه‌های A_2, A_1، خانواده‌هایی از روابط (یعنی $< R_i >_{i\in I}$ و $< R_j >_{j\in J}$) هسـتند و مجموعهٔ گزاره‌هـای P شـرایط بـالا را ارضـا مـی‌کننـد. چنـین سـاختاری را یـک سـاختار عمل‌گرایانهٔ ساده (simple pragmatic structure) می‌نامند و نقشی که در نظریهٔ عمل‌گرایانـه صدق دارد، مشابه نقشی اسـت کـه سـاختارهای نظریـهٔ مجموعـه‌ای معمـولی در برداشـت تارسکی دارند.

اکنون فرض کنید T ساختاری کلی (total structure) باشد که روابط nتـایی‌اش بـه ازای تمام nگانه‌ها از عناصر جهانش، تعریف شده‌اند، و فرض کنید که L نیز در T تعبیر می‌شـود. در این صورت T را U- نرمال (U-normal) گوییم هرگاه:

۱. جهان T، A باشد؛

۲. روابط T روابط جزئی متناظر U را توسعه دهند؛

۳. اگر c یک ثابت فردی باشد، آن‌گاه هم در U و هم در T، c با عنصر یک‌سانی تعبیر شود.

٤. اگر $\alpha \in P$، آن‌گاه $T|=\alpha$.

اکنون ما می‌توانیم بگوییم که گزاره‌ای چون α از L به طور عمل‌گرایانه در ساختار عمل‌گرایانهٔ سادهٔ U بر طبق T صادق است، اگر U یک ساختار عمل‌گرایانهٔ ساده به معنی فوق باشد، T یک ساختار U-نرمال باشد و α در T بنا به تعریف تارسکی صادق باشد.

به عبارت دیگر، می‌گوییم که α به طور عمل‌گرایانه در ساختار U صادق است، اگر یک Tی U- نرمال وجود داشته باشد که در آن α صادق باشد. اگر α به طور عمل‌گرایانه در ساختار عمل‌گرایانهٔ U بر طبق T صادق نباشد، آن‌گاه α را به طور عمل‌گرایانه در U بر طبق T کاذب می‌گویند.

به طور شهودی‌تر اگر α به طور عمل‌گرایانه در U صادق باشد، آن‌گاه تمام نتایج منطقی α یا α به علاوهٔ گزاره‌های اولیهٔ صادق P، نباید با هیچ عبارت اولیهٔ صادقی ناسازگار باشند. بنابراین α به گونه‌ای است که هر چیزی که در Δرخ دهد، به صورتی است که α صادق باشد.

این امر فوراً به ما تعریف صادق بودن عمل‌گرایانه یا شبه‌صادق بودن نظریه را در ساختار عمل‌گرایانه‌ای چون U می‌دهد. اگر $\hat{T}$ مجموعهٔ تمام مدل‌های (کلی (totall)) T باشد، آن‌گاه می‌گوییم T، در U، به طور عمل‌گرایانه صادق است یا شبه‌صادق است، اگر و تنها اگر ساختاری از $\hat{T}$، U- نرمال باشد. به عبارت دیگر، یک نظریه با مجموعه‌ای از مدل‌ها، به طور عمل‌گرایانه در یک ساختار عمل گرایانهٔ ساده صادق است، هرگاه بعضی از مدل‌های آن U- نرمال باشند.

۸. کارامدی ساختارها

اما اکنون ببینیم که چگونه ساختارهای جزئی قادرند خواسته‌های مدل‌گرایان را پاسخ دهند و مشکلاتی را که برای دیدگاه متداول برشمردیم برطرف کنند. دو ساختار زیر را در نظر بگیرید:

$$A =< A, R_i, f_j, a_k >_{i\in I, j\in I, k\in K}$$

$$A' =< A', R'_i, f'_j, a'_k >_{i\in I, j\in I, k\in K}$$

می‌توان چنین فرض کرد که A نظریهٔ جنبشی گازها باشد و A' مدل معروف توپ بیلیارد (Da Costa and French, 2003: 49).

واضح است که A و A' در این حالت یک‌سان نیستند، چون اتم‌های گاز به معنی لفظی با توپ‌های بیلیارد این‌همان نیستند، اما منظور ما از مدل بودن توپ‌های بیلیارد این است که رفتار اتم‌های گاز را می‌توان با رفتار توپ‌های بیلیارد بازنمایی کرد، البته تا حدی معین و از جنبه‌هایی مشخص. درواقع این بازنمایی متکی است بر روابط؛ یعنی تناظری میان عناصر معینی از خانوادهٔ R_i و عناصر معینی از خانوادهٔ R'_i برقرار است (ibid). درواقع A و A' نوع مشخصی از یک‌ریختی ساختاری را آشکار می‌سازند. «این رابطه را می‌توان یک‌ریختی جزئی (partial isomorphism) نامید. A به طور جزئی با A' یک‌ریخت است، هرگاه زیرساختاری جزئی از A با زیرساختاری جزئی از A' یک‌ریخت باشد. این مفهوم ساختار (یا زیرساختار) جزئی به گونه‌ای تصور می‌شود که ساختار (یا زیرساختار) کلی حالت ویژه‌ای از یک ساختار (یا زیرساختار) جزئی را تشکیل دهد. به عبارت دیگر، می‌گوییم با توجه به یک‌ریختی جزئی، عناصر معینی از خانوادهٔ R_i در تناظر یک‌به‌یک با عناصر معینی از خانوادهٔ R'_i قرار می‌گیرد» (ibid).

منظور ما از یک‌ریختی میان دو ساختار چون $< A, R >, < B, R' >$ وجود تابعی چون $f : A \to B$ است که دوسویی (bijection) (یک‌به‌یک و پوششی) باشد و شرط زیر را نیز برآورده کند:

اگر $(a_1, a_2, ..., a_n) \in A^n$ و $(f(a_1), f(a_2), ... f(a_n)) \in B^n$ باشد،

آن‌گاه $R(a_1, a_2, ... a_n) \leftrightarrow R'(f(a_1), f(a_2), ..., f(a_n))$. در این صورت وقتی یک‌ریختی جزئی برقرار است که بین تعدادی از عناصر خانواده $R_i, i \in I$ با همان تعداد از عناصر در خانواده $R_j, j \in J$ چنین رابطه‌ای برقرار باشد.

به این طریق «مفهوم مشابهت را که به درجات و از جنبه‌های معینی، برقرار است، می‌توان به‌آسانی در این نظرگاه جای داد، که این کار از طریق بررسی تعداد و انواع روابطی انجام می‌گیرد که به‌ترتیب در تناظر واقع می‌شوند» (ibid).

ملاحظه می‌شود که مؤلفه‌های دیدگاه هسه در رویکرد داکوستا و فرنچ کاملاً قابل برآورده شدن است. برای روشن شدن مطلب تمایزی را میان خواص و روابط در خانوادهٔ روابط بیان می‌کنیم. این تمایز، تمایز خواص و روابط درونی (intrinsic) و خارجی (extrinsic) است. روابط و خواص درونی آن‌هایی هستند که برای رده‌بندی مفردات به عنوان مجموعه‌ای هم‌چون A ذاتی‌اند یا به طور معناشناختی به این امر مربوطه‌اند (ibid: 51)، و خواص خارجی آن‌هایی هستند که به طور معناشناختی نامربوط یا عرضی‌اند (ibid).

اگر A و A' یک‌سان باشند، همانند مدل نظری، در این صورت، A' باید تنها با توجه به اعضای بیرونی R'_i، با A تفاوت داشته باشد. به این ترتیب، می‌توانیم بگوییم که A' یک مشابهت با A را به نمایش می‌گذارد، که با تناظر میان اعضای درونی (و برخی اعضای بیرونی معین) از R_i و R'_i بیان می‌شود (ibid). «دوری و نزدیکی این شباهت را نیز می‌توان بر اساس اختلاف میان این خانواده‌ها اندازه‌گیری کرد، هرچند در این‌جا این اختلاف، تنها بر اساس روابط و خواص بیرونی بیان می‌شود» (ibid).

وقتی A و A' یک‌سان نیستند، برخی از خواص یا روابط درونی در R_i و R'_i متفاوت خواهند بود. این حالت بسیار حالت پرباری برای علم است «در این‌جا بیش‌تر مشابهت، اگر نه همهٔ آن، مبتنی بر اشیای مرتبط A و A' است که دارای خواص مرتبط‌اند؛ یعنی اعضای مرتبط A و A' که دارای خواص و روابط مرتبط در R_i و R'_i اند. آن‌گاه A و A' یک یک‌ریختی ساختاری به نمایش می‌گذارند. این شکل از مماثلت بسیار قوی است» (ibid).

در مدل‌های نظری خواص نظریه و مدل یک‌سان‌اند، پس مشابهت مادی به‌وضوح بین آن‌ها وجود دارد؛ زیرا فرق میان مشابهت مادی و صوری در این است که اولی مبتنی بر این‌همانی در ساختار ریاضی است، ولی در دومی این‌همانی در سطح خواص وجود دارد (Hesse, 1966: 68-69)، در این حالت نزدیکی مشابهت به تناظر میان خواص بیرونی عناصر مربوط می‌شود (Da Costa and French, 2003: 52).

باید توجه داشت که در این‌جا مشابهت خیلی نزدیک، چندان جالب و مورد علاقه نیست. در بسیاری از موارد، مخصوصاً در موارد محاسباتی، ما نیاز به چیزی داریم که ردهد (Redhead) آن را ضعیف‌سازی (impoverishment) می‌نامد؛ زیرا برای ساده‌سازی و کاستن از پیچیدگی‌ها جهت انجام محاسبات و یا کسب فهم مناسب‌تر در بسیاری از موارد چنین امری لازم است. در این صورت میان خواص اختلاف وجود دارد؛ یعنی ساختار ریاضی مدل و نظریه این‌همان نیستند، بنابراین مشابهت صوری ضعیف شده است. این امر را می‌توان با یک‌ریختی جزئی پوشش داد. در این‌جاست که درجاتی از مشابهت صوری معنا می‌یابد که معمولاً ما با چنین اموری مواجه‌ایم. با ارائهٔ مفهوم رابطهٔ جزئی که به صورت $R =< R_۱, R_۲, R_۳ >$ معرفی کردیم، می‌توان مشابهت مثبت، منفی و خنثی را، که مد نظر هسه است، برآورده ساخت، R_1 که مبین وجود رابطهٔ R میان اعضای خود است متناظر مشابهت مثبت، R_2 که مبین عدم وجود رابطهٔ R میان اعضای خود است، متناظر با مشابهت منفی و R_3 که مبین نامعلوم بودن وجود رابطهٔ R میان اعضای خود است، مبین مشابهت

خنثی است. از طریق این مشابهت است که رشد علم محقق می‌شود و هم‌چنین باز بودن فعالیت علمی از طریق ساختار جزئی ارائه می‌شود (ibid).

۹. نتیجه‌گیری

در این نوشته رویکرد نحوی (دیدگاه متداول) به‌اجمال معرفی شد و فهرست اشکالاتی را که از مواضع گوناگون علیه آن مطرح شده است بیان کردیم. دو اشکال مهمی که مدافعان رویکرد معناشناختی علیه دیدگاه نحوی مطرح می‌کردند عبارت بودند از الف) غیرعملی بودن صوری‌سازی نظریه‌های علمی در زبان منطق مرتبهٔ اول، و ب) تبیین نامناسب از جایگاه و نقش مدل‌ها در علم. هم‌چنین به ارائهٔ مفهوم ساختار پرداختیم و پس از معرفی دیدگاه معناشناختی نقش آن را در بیان چیستی نظریه‌های علمی و نقش مدل‌ها در علم بیان کردیم. در رویکرد نظریهٔ مدلی (رویکرد معناشناختی) دیدگاه داکوستا و فرنچ بیان شد و دیدیم که بسیاری از اشکالاتی که به دیدگاه متداول وارد است به رویکرد معناشناختی وارد نیست. هم چنین روشن شد که رویکرد داکوستا و فرنچ قدرت تبیینی پدیدهٔ پیشرفت علم را دارد که شاید برخی تقریرها از رویکرد معناشناختی این قابلیت را نداشته باشند. نقش زبان را در رویکرد معناشناختی (البته به‌اختصار) بررسی کردیم و اختلاف رأی میان مدافعان این دیدگاه در این زمینه بیان شد. در ادامه، مفهوم صدق جزئی با استفاده از ساختار جزئی به بحث گذاشته شد و نهایتاً کارامدی ساختارها در بیان مشابهت‌ها بیان شد و نشان داده شد که مشکلات دیدگاه متداول در این‌جا برقرار نیست.

سخن آخر این است که به نظر می‌رسد رویکرد معناشناختی در بیان چیستی نظریه‌های علمی و نقش مدل‌ها در آن و کاری که در عمل در علم (به ویژه فیزیک) صورت می‌گیرد، که به‌واقع نوعی مدل‌سازی است، بسیار مناسب‌تر باشد و مشکلات مهمی که در دیدگاه متداول وجود دارد در این رویکرد وجود نداشته باشد.

منابع

اردشیر، محمد (۱۳۹۱). *منطق ریاضی*، تهران: هرمس.

سروش، عبدالکریم (۱۳۸۸). *علم‌شناسی فلسفی: گفتارهایی در فلسفهٔ علوم تجربی*، تهران: صراط.

Achinstein, P. (1968). *Concepts of Science: A Philosophical Analysis*, Maryland: Johns Hopkins Press.

Black, M. (1962). *Models and Metaphors*, Ithaca, New York: Cornell University Press.

Carnap, Rudolf. (1939). *Foundations of Logic and Mathematics*, Chicago: University of Chicago Press.

Da Costa, C. A. Newton, Chuaqui, Rolando (1988). 'On Suppes' set theoretical predicates' *Erkenntnis*.

Da Costa, C. A. Newton, French, Steven (1990), 'The Model-Theoretic Approach in the Philosophy of Science', *philosophy of Science*, 57.

Da Costa, C. A. Newton, French, Steven (2003). *Science and Partial Truth: A Unitary Approach to Models and Scientific Reasoning*, Oxford: Oxford University Press.

Da Costa, C. A. Newton, Krause, Décio, Bueno, Otavio (2010). 'Issues in Foundations of Science, I: Languages, Structures and Models', http://philsci-archive.pitt.edu/5541/1/CosKraBue_PhilSci.pdf.

Enderton, H. B. (2001). *A Mathematical Introduction to Logic*, Second Edition, London: Academic Press.

Friedman, M. (1982). 'Review of the Scientific Image', *Journal of Philosophy*, 79.

Frigg, Roman, Hartmann, Stephan (2012). 'Models in Science', plato.stanford.edu, http://plato.stanford.edu/entries/models-science/

Hesse, M. (1966). *Models and Analogies in Science*, Notre Dame, Indiana: Notre Dame University Press.

Hesse, M. (1967). 'Models and analogies in science', In P. Edwards, ed., *The Encyclopedia of Philosophy*, NewYork: Macmillan.

Krause, Décio, Arenhart, and Moraes, T.F. Fernando (2010). 'Axiomatization and Models of ScientificTheories', *Foundations of Science*, November 2011, Vol. 16, Issue 4.

Krause, Décio, Arenhart, Jonas R. B (2010). 'Structures and Models of Scientific Theories: A Discussion on Quantum Non-Individuality', http://philsci-archive.pitt.edu/5564/1/LogUniv.pdf.

Mikenberg, I, da Costa, N. C. A., and Chuaqui, R. (1986). 'Pragmatic Truth and Approximation to Truth', *Journal of Symbolic Logic*, 51.

Psillos, S. (1995). 'The Cognitive Interplay Between Theories and Models: The Case of 19th Century Optics', in Herfel, W. E. et al., eds., *Theories and Models in Scientific Processes*, Suppe, F. (1977). *The Structure of Scientific Theories*, University of Illinois Press.

Suppes, Patrick (1957). *Introduction to Logic*, NewYork: Van Nostrand.

Suppes, Patrick (1962). 'Models of Data', in E. Nagel, P. Suppes, A. Tarski (eds.), *Logic, Methodology and the Philosophy of Science: Proceedings of the 1960 International Congress*, Stanford University Press.

Suppes, Patrick (1967). 'What is a scientific theory?', In Sidney Morgenbesser (ed.), *Philosophy of Science Today*, NewYork: Basic Book; Inc.

Suppes, Patrick (2002). *Representation and Invariance of Scientific Structures*, California: CSLI Publications.

Tarski, A. (1953). 'A General Method in Proofs of Undecidability', In A. Tarski, A. Mostowski, R. M. Robinson (eds.), *Undecidable Theories*, North-Holland.

Van Fraassen, B.C. (1980). *Scientific Image*, Oxford: Oxford University Press.

Van Fraassen, B.C. (1989). *Laws & Symmetry*, Oxford: Oxford University Press.

Van Fraassen, B.C. (1991). *Quntum Mechanics: an Empirist View*, Oxford: Oxford University Press.

Worrall, John (1984). 'The Background to the Forefront', PSA, *Philosophyof Science Association*, Vol. 2.