

چیستی نظریه‌های علمی: رویکردهای نحوی و معناشناختی

سعید معصومی*

چکیده

در این مقاله دو دیدگاه عمده که فلاسفه 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 عمده تمرکز این مقاله در معرفی دیدگاه معناشناختی به علم خواهد بود. رویکرد اول اکنون چندان طرف‌داری در میان فلاسفه علم ندارد و عمدتاً متعلق به پوزیتیویست‌های منطقی بوده است. دو اشکال عمده این دیدگاه، یکی غیرعملی بودن صورت‌بندی نظریه‌های علمی در زبان منطقی مرتبه اول است و دیگری ارائه 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 فرنیچ ارائه می‌دهند، که در آن از مفهوم صدق جزئی استفاده می‌کنند، بسیاری از مشکلات دیدگاه متداول از جمله دو اشکال فوق برطرف خواهد شد.

کلیدواژه‌ها: نظریه‌های علمی، دیدگاه متداول، دیدگاه معناشناختی، ساختار، صدق جزئی.

۱. مقدمه

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

* استادیار پژوهشکده 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 فلسفه هنر روی کارهای هنری و فلسفه ریاضیات روی حساب، آنالیز، جبر مجرد، نظریه مجموعه و مانند آن متمرکز است» (Van Fraassen, 1991: 1-2).

برای پاسخ‌گویی به پرسش فوق، در فلسفه 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 (received view) نیز می‌گویند و نامی است که پاتنم (Putnam) به آن داد) نظریه‌ای چون T، مجموعه‌ای از گزاره‌ها (قضایا) در یک زبان ویژه است. مجموعه عبارات این زبان به دو بخش، یعنی دو زیرمجموعه از عبارات، تقسیم می‌شود: ۱. مجموعه عبارات مشاهده‌تی، و ۲. مجموعه عبارات نظری. اهمیت تجربی هر نظریه (empirical import) در نتایج مشاهده‌تی آن است و مجموعه مشاهده‌تی نظریه واجد معنای تجربی یا شناختی (cognitive) نظریه است.

در این رهیافت مجموعه گزاره‌های نظریه از مجموعه اصول موضوع استخراج می‌شود. به بیان دقیق‌تر، نظریه T مجموعه‌ای از گزاره‌ها در یک زبان، چون L است که تحت استلزام منطقی بسته باشد (Enderton, 2001: 155) و زیرمجموعه‌ای از نظریه 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 مشاهده‌تی جزئی (partial) می‌یابند که بدین ترتیب واژگان (vocabulary) نظری به واژگان مشاهده‌تی مربوط می‌شود. بنابراین نظریه 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 می‌شود، L حاوی عبارات منطقی و غیرمنطقی (nonlogical) است، که دومی را می‌توان به مجموعه عبارات مشاهدتی و مجموعه 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 نظریه 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 مؤلفه 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 - 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؛
۴. معنای عبارات نظری می‌تواند با تمثیل (analogy) یا مدل‌های شمایل (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؛
۶. روش‌های هم‌بستگی نظریه‌ها با پدیده‌ها باید هم‌بستگی‌های دنباله‌علی و هم‌بستگی‌های تجربی را منظور بدانند، 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 همه منتقدان به همه این موارد اعتقاد ندارند و بر سر این که اهمیت کدام یک بیش‌تر است اختلاف زیادی است.

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

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

(ب) واژگان مشاهده‌تی V_O که مرکب است از عبارات مشاهده‌تی؛

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

باز همان‌گونه که ذکر شد بر اساس دیدگاه متداول نظریه علمی عبارت است از TC؛ یعنی مجموعه اصول موضوع به علاوه 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 \equiv استلزام دو شرطی است و O عبارتی از زبان L است که فقط واجد نمادهایی از V_O به علاوه واژگان منطقی است (ibid: 16-17).

این قواعد تناظر سه وظیفه دارند:

۱. تعریف عبارات نظری؛

۲. تضمین معنادار بودن (معنای شناختی^۱ 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 مشاهده مستقیم، برای این که معنادار باشند باید به طور غیرمستقیم به تجربه مربوط شوند (یعنی در گزاره‌ای ترکیبی بیان شوند). در نگاه این فیلسوفان، گزاره ترکیبی گزاره‌ای است که قابل صدق و کذب تجربی باشد. گفتنی است که تعبیر عبارات نظری و

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

همان‌طور که ذکر شد، مطابق دیدگاه متداول، نظریه دستگامی 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 معنای عبارات V_T را تعیین کند، آن‌گاه گزاره‌های TC، گزاره‌هایی تحلیلی می‌شوند که ربطی به عالم خارج ندارند (Suppe, 1977: 68-69).

نکته مهم در دیدگاه متداول این است که اگر در TC تغییری حاصل شود نتیجه 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 ارائه 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 نتیجه 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 می‌شود. در واقع «نگاه متداول، باید نظریه‌ای چون T را تحت تعبیر معناشناختی آن، و تفسیر قواعد تناظر به عنوان فرضیه‌های کمکی (auxiliary hypotheses)، که به همراه نظریه T، محدودیت‌هایی بر محتوای مشاهده‌تی 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. گزینه 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. در واقع برای ریاضی‌دانان گروه بورباکی

اصل موضوع سازی یک نظریه ریاضی در تعریف نوعی از ساختار به صورت نظریه 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 نحوه رویکرد متداول به اصل موضوع سازی می‌دانست که توضیح آن گذشت. در واقع اصل موضوع سازی دارای فواید زیر است:

۱. ایضاح مفاهیم پایه، ۲. کمک به مقایسه بین نظریه‌ها، ۳. ارائه طریقی برای نظریه‌ها جهت یافتن فنون ریاضی بالقوه مفید؛ و ۴. مفید بودن آن در مناقشات فلسفی (ibid).

وقتی سوپیز بیان کرد که اصل موضوع سازی باید در داخل زبان نظریه مجموعه‌ها صورت گیرد، تفاوت نظرش با دیدگاه متداول این بود که در نگاه آن‌ها نظریه حساب منطقی مجرد است و بنابراین فراریاضیات (metmathematics) است، ولی نظریه مجموعه‌ها ریاضیات است و این‌گونه ادعا شده که تمام ریاضیات را با استفاده از نظریه مجموعه می‌توان پدید آورد (البته شاید انواع بسیار خاصی از ریاضی را نتوان به‌درستی با نظریه مجموعه‌ها تبیین کرد)، اما در نگاه متداول که در آن اصل موضوع سازی با زبان منطقی مرتبه اول صورت می‌گرفت، چنین امکانی به لحاظ عملی وجود نداشت. تاکنون نظریه فیزیکی مطرحی در علم به صورت عملی در زبان منطق مرتبه 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 مرتبه 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 چاکویو (Da Costa and Chuaqui, 1988) آورده‌اند بیان می‌کنیم. اما پیش از آن باید بگوییم که نظریه مجموعه‌ها را به طرق گوناگونی می‌توان صورت‌بندی کرد. مثلاً می‌توان منطق مرتبه اول را به عنوان منطق بنیادین به کار برد که در آن یگانه نماد غیرمنطقی، محمول دو موضعی \in است. اما می‌توان از زبان مرتبه 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 نظریه مجموعه‌ها معرفی کرد و هم در منطق مرتبه بالا

(بالتر 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 نظریه مجموعه‌ها نظیر دستگاه تسرملو - فرانکل (Zermelo-Frankel) کار می‌کنیم.

مجموعه‌هایی چون A_1, A_2, \dots, A_n را در نظر بگیرید. می‌توان مجموعه‌های دیگری از این مجموعه‌ها ساخت که مجموعه‌هایی از زیرمجموعه‌های آن‌ها یا مجموعه‌هایی از زیرمجموعه‌هایی از حاصل ضرب دکارتی آن‌ها یا حاصل ضرب 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, \dots, A_n به عنوان پایه می‌نامند. برای مثال اگر مجموعه پایه A, B باشند، آن‌گاه مجموعه‌های زیر متعلق به سلسله‌مراتب نوعی مجموعه‌ها، روی A, B به عنوان پایه هستند.

$$A, B, P(A), P(B), P(A \times B), P(P(A) \times P(B)), P(P(A \times P(B))), \dots (*)$$

توجه کنید که $P(A)$ به معنی مجموعه‌توان مجموعه A است و $A \times B$ به معنای حاصل ضرب دکارتی دو مجموعه است. عناصر متعلق به سلسله‌مراتب نوعی از مجموعه‌ها را روی A_1, A_2, \dots, 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:

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

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

$$a, b, \langle a \rangle, \langle b \rangle, \langle a, b \rangle, \langle \langle a \rangle, \langle b \rangle \rangle, \langle \langle a, b \rangle \rangle$$

البته با فرض این که نوع عناصر A, B به ترتیب 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 حاصل ضرب دکارتی که مشخص‌کننده یک رابطه است (بنا به تعریف هر رابطه زیرمجموعه‌ای از حاصل ضرب دکارتی مجموعه‌های مفروض است) متناهی است. برای مثال روابطی که دارای نوع a هستند، که در واقع عناصر ثابت‌اند،

با اعمال ثابت صفرموضعی (0-adic) معین می‌شوند. به طور معمولی یک رابطه n موضعی که فقط یک n تایی را شامل است، با n تایی 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 مجموعه دیگری چون A نیز این شرایط را داشت آن‌گاه $T \subset A$ برقرار باشد، هم‌چنین توجه داشته باشید که هر مجموعه زیرمجموعه خویش است).

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

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

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

۱. اگر a_i مفرد باشد آن‌گاه $\text{Ord}(a_i) = 0$.

۲. مرتبه $\langle a_1, a_2, \dots, a_k \rangle$ برابر است با

$$\max(\text{Ord}(a_1) + \text{Ord}(a_2) + \dots + \text{Ord}(a_k)) + 1$$

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

$$1. \quad t_D(d) = D$$

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

$$t_D(\langle a_1, a_2, \dots, a_k \rangle) = P(t_D(a_1) \times t_D(a_2) \times \dots \times t_D(a_k))$$

به این ترتیب هر عضو از $t_D(a_i)$ را دارای نوع a_i می‌نامیم. تابع

$$\varepsilon(D) = \cup \text{Range}(t_D(a_i))$$

K_D را که همراه تابع مقیاس $\varepsilon(D)$ است به صورت زیر تعریف می‌کنیم:

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

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

$$U = \langle D, R_{\mu} \rangle$$

و فرض بر این است که دنباله 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 به ترتیب 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 مرتبه اول به عنوان مدل مطرح می شود (برای ملاحظه تعریفی در این مورد ← اردشیر، ۱۳۹۱: ۱۰۱-۱۰۶). ساختار در منطق مرتبه اول، ساختار مرتبه اول است که در آن روابط فقط میان اعضای یک مجموعه برقرار است، ولی در ساختارهای مراتب بالاتر روابط می تواند میان اعضای یک مجموعه و زیرمجموعه هایی از آن و یا زیرمجموعه هایی از حاصل ضرب دکارتی زیرمجموعه های آن و ... برقرار باشد. هم چنین توجه داشته باشید که روابطی که دارای نوع a_i هستند، به طوری که a_i به صورت $\langle d \rangle$ یا $\langle d, d \rangle$ یا $\langle d, \dots, d \rangle$ باشد، روابط مرتبه اول هستند (یعنی $Ord(a_i) = 1$)، روابطی که دارای نوع a_i هستند به طوری که a_i به صورت $\langle\langle d \rangle\rangle$ یا $\langle\langle d \rangle, \langle d, d \rangle\rangle$ یا $\langle\langle d, \dots, d \rangle\rangle$ باشد روابط مرتبه دوم هستند و به همین ترتیب روابط مراتب بالاتر را می توان تعریف کرد.

برای مثال گروهی چون G دارای ساختاری به شکل $\langle D, \otimes, s \rangle$ است که در آن \otimes را که ضرب گروه می نامند، عملی دوتایی روی D است و s عملی یک تایی روی آن است. اعضای D در اصول نظریه گروهها صدق می کنند. به این ترتیب اگر نوع عناصر D را با d معین کنیم، نوع \otimes و s به ترتیب $\langle d, d, d \rangle$ و $\langle d, d \rangle$ خواهد شد و مجموعه $\langle D, \otimes, s \rangle$ ، که بنا به تعریف متعلق به سلسله مراتب نوعی روی D به عنوان پایه است، دارای نوع $\langle\langle d \rangle, \langle d, d, d \rangle, \langle d, d \rangle\rangle$ است. توجه کنید که مجموعه D خود دارای نوع $\langle d \rangle$ است، زیرا عضو مجموعه $P(A)$ است.

مثال ۲: یک فضای برداری چون $V = \langle R, V, +, \cdot \rangle$ ساختاری است که دو مجموعه پایه دارد؛ یکی R که مجموعه اسکالرهاست و V که مجموعه بردارهاست. R یک میدان است، بنابراین یکی از مجموعه های پایه از پیش واجد شرایط ساختار است. R را مجموعه کمکی و V را مجموعه اصلی می نامیم. اگر عناصر R و V را به ترتیب با r و v نشان دهیم، نوع ساختار فوق را می توان به صورت $\langle\langle r, v, v \rangle, \langle r, v, v \rangle, \langle v, v, v \rangle, \langle v \rangle, \langle r \rangle\rangle$ نشان داد.

اگر L زبان نظریه مجموعه ها باشد، یک محمول در L فرمولی با یک متغیر است، هم چون $P(x)$. 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 می دهیم و نشان می دهد که S چگونه از این مجموعه های پایه ساخته می شود (نوع S را معین می کند)؛ بخش دوم با P_2 نشان داده می شود و عطف اصول موضوع S است. P ترکیب عطفی P_1 و P_2 است. متناظر با مجموعه های پایه در P پارامترهایی وجود دارد. می گوییم $P(S)$ نوع ساختار روی

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

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

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

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

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 خانواده 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 نظریه 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 همه 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 نظریه 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 نظریه مجموعه‌ها، مفاهیم اولیه در واقع یک رشته مجموعه هستند، که به طور ضمنی با روابط نظریه مجموعه‌ای بیان می‌شوند که در اصول ظاهر می‌شوند. در نتیجه در این رویکرد اصل موضوع سازی یک نظریه ارائه نوعی از ساختارهاست که مجموعه‌های اولیه نظریه یا برخی از مجموعه‌ها را به عنوان مجموعه‌های پایه خود دارند.

مجموعه‌های پایه اصلی و روابطی که صریحاً در اصول موضوع ظاهر می‌شوند (البته وقتی که روابط تعریف شده نیستند) گردایه‌ای از مفاهیم اولیه نظریه یا نوع متناظر از ساختارها را تشکیل می‌دهند (ibid). به این ترتیب اصل موضوع سازی نظریه‌ای چون T صورت‌بندی یک محمول نظریه 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 گزاره‌های آن را (مثلاً در نظریه مجموعه‌ها) به حسابی (calculus) تبدیل کنیم که نمادهای آن علی‌الاصول هیچ معنایی ندارند (ibid).

برای مطالعه T، یعنی یک نظریه، ما می‌توانیم به طور نحوی (synactically) پیش برویم که از طریق P این عمل صورت می‌گیرد یا به طور معناشناختی با آوردن خانواده F در تبیین. به نظر می‌رسد روش‌های نحوی و معناشناختی معادل باشند. به طور کلی با فرض F، علی‌الاصول می‌توان P را به دست آورد و با شروع از P خانواده F معین می‌شوند (ibid). همان‌طور که ملاحظه شد ما P را در نظریه مجموعه‌ها تعریف کردیم. ولی نظریه 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 می‌کنیم که در آن ساختارها در نظریه مجموعه‌های طبیعی (naïve) بیان می‌شوند و مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. نظریه‌های ریاضی را در نظریه مجموعه‌ها، اصل موضوعی می‌کنیم و نظریه مجموعه‌ها هم در منطق مرتبه اول قابل صوری شدن و اصل موضوع پذیر است. بدین ترتیب دستگاه‌های اصل موضوعی شده‌ای (یعنی ریاضیاتی که در نظریه مجموعه‌ها صورت‌بندی شده است) حاصل می‌شود که آن‌ها را مرتبه اول می‌نامند؛ زیرا شامل تمام روش‌های نظریه مجموعه‌ها و اندیشه‌های آن می‌شود (ibid: 39). باید توجه داشت که اگرچه نظریه مجموعه‌ها در زبان مرتبه اول صورت‌بندی می‌شود، ولی قدرت بیانی (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 علم باز کرد. باید توجه داشت که برخی از منتقدان دیدگاه متداول، به طور کلی آن را نادرست می‌دانند، ولی بعضی دیگر هم چون سوپیز (Suppes) آن را ناقص می‌انگارند. سوپیز می‌گوید:

دیدگاهی که من می‌خواهم از آن پشتیبانی کنم این نیست که طرح استاندارد [دیدگاه متداول] کلاً نادرست است، بلکه بسیار بسیار ساده است. طرح‌واره بودن زیاد آن این امکان را فراهم می‌کند تا هم خواص مهم نظریه‌ها و هم تمایزات مهمی را که می‌توان میان نظریه‌ها معرفی کرد در نظر نگیرد (Suppes, 2002: 3).

دو انتقاد مهم از سوی مدافعان دیدگاه معناشناختی علیه دیدگاه متداول مطرح شده

است؛ اولین مورد این است که، همان‌طور که گفته شد، در دیدگاه متداول نظریه دارای دو بخش است، یکی حساب منطقی مجرد و دیگری مجموعه‌ای از قواعد تناظر که اعطاکننده معنای تجربی به قسمت اول‌اند. در این نگاه بخش اول نظریه در یک زبان مرتبه اول صورت‌بندی می‌شود؛ یعنی نظریه هویت زبانی دارد. مسئله این است که تاکنون مثال‌های واقعی از نظریه‌ای که عملاً به عنوان حساب منطقی به انجام رسیده باشد، در نوشته‌های فلاسفه علم یافت نشده است (ibid). انتقاد بعدی در مورد توضیحی است که آن‌ها در مورد مدل‌ها و نقش آن‌ها در علم ارائه می‌دهند.

سوپیز با الهام از تعریفی که تارسکی در ۱۹۳۵ از مفهوم مدل ارائه کرد، دیدگاهی نو را در فلسفه علم پایه‌گذاری کرد. البته به همراه افراد دیگری هم‌چون بث (Beth) و ساپی (Suppe) سوپیز متذکر می‌شود که می‌توان همان مفهومی را که تارسکی برای مدل عنوان کرد، برای مدل‌ها در علم نیز به کار برد. وی در مقاله ۱۹۶۰ خود ابتدا تعریف زیر را از تارسکی برای مدل بیان می‌کند: «تحقیقی ممکن که در آن تمام گزاره‌های معتبر نظریه‌ای چون T ارضا می‌شوند، مدلی برای T نامیده می‌شود» (Tarski, 1953: 11).

او سپس نقل قول‌های متعددی از علوم می‌آورد که از مدل‌ها استفاده شده است. قصد او نشان دادن اهمیت مدل‌ها و فراوانی استفاده آن‌ها در علم است برای تأیید رویکرد مأخوذ خود. در رویکردی که وی پایه‌ریزی کرد نظریه‌های علمی یا با رده‌ای از مدل‌ها برابرند که این قرائت ون فراسن است (Van Fraassen, 1991: 7) یا با رده‌ای از مدل‌ها ارائه می‌شوند که قرائت داکوستا و فرنج است. در تعریف رویکرد نظریه مدلی (model-theoretic) نظریه‌ها، داکوستا و فرنج بیان می‌کنند که نظریه‌ها «به صورت توصیفی از مجموعه‌ای از مدل‌ها به معنی ساختارهای رابطه‌ای ارائه می‌شوند که در آن تمام گزاره‌ها در یک صورت‌بندی زبانی ویژه از نظریه، خواص صادقی در مورد این ساختار بیان می‌کنند، وقتی که ساختار به عنوان تعبیری یا «تحقق ممکن» (possible realization) از نظریه عمل می‌کند (Suppes, 1957). در این صورت ما اعلام می‌کنیم که اصل موضوع سازی یک نظریه به کار بردن این روش‌های نظریه مدلی است» (Da Costa and French, 2003: 25).

طرفداران نگاه متداول معتقد بودند که ضرورتی برای استفاده از مدل‌ها در فیزیک وجود ندارد:

تشخیص این مطلب مهم است که کشف یک مدل صرفاً واجد ارزشی زیبایی‌شناختی، آموزشی یا در بهترین حالت ارشادی است، اما به هیچ روی برای کاربرد نظریه فیزیکی ضروری نیست (Carnap, 1939: 68).

در پاسخ طرفداران کاربرد مدل‌ها در فیزیک می‌توانند بگویند که مدل‌ها تعبیری از نظریه می‌دهند با هویتی که برای ما آشنا ترند. 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 تعبیر نشده یا نیمه تعبیر شده هستند» و «مطالعه مدل‌ها به طور ضمنی در مطالعه 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 نظریه 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 ارائه پاسخی مکفی به این پرسش ناکام است: چرا استفاده از مدل‌ها در علم اهمیت دارد؟» (ibid).

همان‌طور که گفتیم مدل در این نگاه به منزله تعبیر نظریه‌های علمی است که خود حسابی تعبیر شده یا شبه تعبیر شده است. هم‌چنین اگر مدل‌ها با عبارات آشنا تر 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 ناپسند است، حتی با استناداردهای طرفداران نگاه متداول. چرا مدل‌ها را به طور کلی رها نسازیم و صرفاً به نظریه‌ها بپردازیم؟ 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 نظریه 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 Costa, 2003: 44). به عبارت دیگر علی‌الاصول نیازی به مدل‌ها در علم وجود ندارد؛ زیرا

تعبیر (که در واقع به نظر می‌رسد یکی از کارهای اساسی مدل‌ها باشد) با قواعد تناظر و در سیاق نظریه 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 جمله مهم‌ترین آن‌ها در مورد مکانیک کوانتومی است. مکانیک کوانتومی نظریه‌ای است که در آن برخی از خصوصیات که طرفداران نظریه مدلی برای نقش مدل‌ها قائل‌اند قابل تحقق نیست؛ از جمله 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 متفی است. یکی از دلایلی که طرفداران نگاه متداول فهم نظریه را با مدل‌ها پیوند نزدند همین امر بود (ibid: 45).

اما مکانیک کوانتومی یگانه نظریه 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 جاذبه الکتروستاتیک را در نظر بگیرید؛ «چندان معنا ندارد که ما «منبع گرما» را به عنوان معنایی برای «منبع الکتریسیته» تلقی کنیم، یا برعکس»؛

۴. چندان معقول نیست که ساختار صوری نظریه و مدل را این‌همان بدانیم، آن‌چنان‌که 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 اندیشه 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 با مدل‌های الکتروستاتیک هستند، ولی چنین قوانینی را نمی‌توان به عنوان مدل‌های نظری الکتروستاتیک تعبیر کرد». بعد از این انتقادهای ایخنشتین به بررسی فعالیت علمی و نقش مدل‌ها در آن می‌پردازد و می‌گوید به رغم اشاراتی که در ادبیات فلسفه علم در این مورد وجود دارد «این ادعا که مدل‌ها هم در صورت‌بندی و هم در توسعه نظریه‌ها مهم هستند، به‌ندرت به طور مفصل بررسی شده است» (ibid: 46).

اما وی معتقد است که این‌همانی ساختار صوری نمی‌تواند اعطاکننده معقولیت برای انتقال از یک مدل به یک گسترش نظری باشد، «معقولیت عبارات باید با توسل به محتوا (content) معین شود نه با صورت منطقی صرف» (Achinstein, 1968: 254). نهایتاً وی نتیجه می‌گیرد که نمی‌توان نظریه‌ای در مورد مدل‌ها و مشابهت در علم داشت. این نتیجه‌ای است که داکوستا و فرنچ رد می‌کنند (Da Costa and French, 2003: 47). آن‌ها معتقدند که همه اجزای مدل‌هایی که به عنوان بازنمایی‌کننده چیزی در نظر گرفته می‌شوند برای بازنمایی ضروری نیستند و برخی از آن‌ها نامرتب هستند. «چیزی به نام بازنمایی تام و تمام (perfectly faithful) مدل‌ها وجود ندارد، تنها با ناقص بودن در برخی جنبه‌ها یک مدل می‌تواند امر اصلی را بازنمایی کند» (Black, 1962: 220). حتی مدل‌های تشبیهی را می‌توان به صورت مدل‌های شمایی در نظر گرفت، البته مدل‌های شمایی دارای تجرید بیشتری هستند (Da Cota and French, 2003: 47).

اگر بخواهیم الزام به این‌همانی را ضعیف‌تر کنیم و به مشابهت معقول به جای این‌همانی بسنده کنیم و آن را به اندازه کافی گسترش دهیم تا هم مشابهت ساختار صوری در آن لحاظ شود و هم مشابهت خواص مادی این کار را می‌توان با معرفی ساختار جزئی محقق ساخت (مفهوم ساختار جزئی و صدق جزئی در ادامه آورده شده است). با استفاده از مفهوم ساختار جزئی بسیاری از خواص مدل‌گرایان برآورده می‌شود، از جمله هسه (Hesse). هسه معتقد است که بین یک مدل و اصل سه نوع مشابهت برقرار است: ۱. مشابهت مثبت که به معنای آن است که خواصی که به اصل نسبت داده می‌شوند در مورد مدل هم برقرار باشد؛ ۲. مشابهت منفی که به معنای این است که خواصی در مدل وجود دارند که در اصل نیست؛ ۳. مشابهت خنثی که به این معنی است که خواصی در مدل وجود دارد که نمی‌دانیم در اصل هست یا نه (سروش، ۱۳۸۸: ۱۲۹-۱۳۴). به این ترتیب، می‌توان با سومین نوع از مشابهت به پیشرفت علم کمک کرد. این نوع مشابهت به ما پیش‌بینی می‌دهد، بنابراین قسمت بسیار مهم از مشابهت همین بخش است.

انتقاداتی را که ایخنشتین به دیدگاه متداول وارد کرد به تصویری که در این جا ارائه شد وارد نیست. اول این که تمام مدل‌ها چه نظری، چه مشابهتی، و چه شمایی 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 نظریه یک حساب منطقی نیست، بلکه با مجموعه‌ای از مدل‌ها ارائه می‌شود. بنابراین اگر دلالت فردی هویت در نظریه و مدل متفاوت نباشند هیچ مشکلی ایجاد نمی‌کند. سوم، در واقع در این جا 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 این جا وجود ندارد که مدل‌ها تماماً مشابهتی هستند و اصولاً تمایز قاطع میان مدل‌ها کلاً رخت برمی‌بندد و همه آن‌ها ساختارهای ریاضی‌اند که تفاوت‌شان در تفاوت ساختارهاست، به این ترتیب ایراد پنجم وی نیز به رویکرد برگرفته در این جا 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 ارائه 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 به علم)، مدل‌ها نقش اساسی در نظریه‌های علمی بازی می‌کنند. به لحاظ ریاضی هر مدل یک ساختار است، البته این ساختار می‌تواند مرتبه اول باشد یا مرتبه آن بیش‌تر باشد که در واقع هم اکثر مدل‌های علمی دارای مراتب بالاتر از یک هستند. انواعی از مدل‌ها وجود دارد، از جمله مدل‌های نظری، مدل‌های شمایی، مدل‌های پدیده‌ها و مدل‌های داده‌ها. از جمله مثال‌های مدل‌های پدیده‌ها می‌توان به این موارد اشاره کرد: «مدل توپ بیلیارد از یک گاز، مدل بور در مورد اتم، مارپیچی دوگانه از DNA، و مدل لورنتس در مورد اتمسفر» (Frigg and Hartmann, 2012). سوویز معتقد است که داده‌ها را به طور خام نمی‌توان مورد استفاده قرار داد، بلکه باید آسیابی مفهومی (conceptual grinder) وجود داشته باشد تا آن‌ها را از حالت خام درآورد. در این عمل اغلب

داده‌ها به بخش‌هایی از آزمایش کامل دسته‌بندی می‌شوند و مدلی فراهم می‌آورند که مدلی از آزمایش است (Suppes, 1967: 62). در واقع مدل داده‌ها «گونه‌ای تصحیح‌شده، اصلاح‌یافته، دسته‌بندی‌شده و در تعداد زیادی از موارد آرمانی‌شده از داده‌هایی است که ما از مشاهده مستقیم، که آن را داده خام می‌نامند، به دست می‌آوریم» (Frigg and Hartmann, 2012).

دو کار عمده روی داده‌های خام صورت می‌گیرد، یکی این‌که خطاها حذف می‌شود، مثلاً اعدادی که از خطا در مشاهده یا آزمایش حاصل می‌شوند کنار گذاشته می‌شوند. دوم داده‌ها به روشی مناسب ارائه می‌شوند؛ مثلاً نقاط، در یک منحنی هموار نشان داده می‌شوند (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 همواره ممکن است خواصی از پدیده‌ها کشف شود که تاکنون آشکار نشده است. مثل اسپین الکترون که چندی بعد از کشف آن شناخته شد، پس صدق آن‌ها باید جزئی باشد (ibid: 73). سوپیز به سلسله‌مراتبی از مدل‌ها قائل است (Suppes, 1962) که از مدل داده‌ها آغاز می‌شود و با 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). توجه شود که همان‌طور که هسه می‌گوید، مدل‌ها اشیای خود را صرفاً به صورت جزئی نمایش می‌دهند، مدلی که نظریه‌ها را تشکیل می‌دهند نیز ناکامل‌اند، به طوری که رشد و پیشرفت علمی بیش‌تر را ممکن می‌سازند، «نظریه‌ها باز هستند، همان‌طور که تبیین اخیر از فعالیت علمی بر آن تأکید می‌کند» (ibid: 74).

با توجه به تاریخ علم، ما ترجیحی برای پذیرش نظریه‌های کنونی به عنوان صادق، به معنی مطابقت از معنای صدق، نداریم، بلکه آن‌ها را باید به طور جزئی صادق بدانیم (ibid). تأکید می‌کنیم که داکوستا و فرنچ تقسیم میان مدل‌های نظری و پدیده‌ای را رد می‌کنند (چه 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 می‌شود که رأی آنان در مورد جایگاه زبان یک‌سان نیست و دیدگاه‌های کاملاً متخالفی در این مورد وجود دارد. برای مثال ون فراسن معتقد است که زبان و به طور اخص صورت‌بندی زبانی (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 پردازیم، 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 سراسری 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 رده 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 این جا باید دو نوع مشخص‌سازی (characterization) در مورد نظریه‌ها را از هم بازشناسی کنیم. هنگامی که یک نظریه را به صورت حسابی — 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 این جا این است: «آیا یک نظریه معین را می‌توان با صورت‌بندی استاندارد، یعنی در منطق مرتبه اول، اصل موضوعی ساخت» (Suppes, 1967: 60).

سویز معتقد است که برای صورت‌بندی دقیق این پرسش نوعی مشخص‌سازی بیرونی (extrinsic) نظریه مورد نیاز است. وی می‌گوید: «یکی از روش‌های ساده‌فراهم کردن مشخص‌سازی بیرونی، صرفاً در تعریف رده مورد نظر از مدل‌های آن نظریه متجلی می‌شود. در این صورت پرسش از این که 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 هویتی در نظر بگیریم که به طور جزئی‌زبانی هستند و در متون منطقی تعریف می‌شوند، کار سویز اثر خود را از دست می‌دهد. وی می‌گوید «در واژگان من در این جا مدل‌ها، ساختارهای ریاضی هستند که مدل‌های یک نظریه مفروض نامیده می‌شوند (Van Fraassen, 1989: 366). از طرف دیگر برخی از فیلسوفانی که معتقد به دیدگاه معاشناختی هستند با ون فراسن مخالف‌اند؛ هم‌چون فریدمن (Firdman, 1982: 276) و ورال (Worrall, 1984).

نگارنده در این جا 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 نظریه مجموعه‌ها بیان کنیم، قدرت تبیینی آن به اندازه تمام ریاضیات خواهد بود (یا حداقل قسمت اعظم آن) و بسیار غنی‌تر از زبان منطقی مرتبه 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 صورت‌بندی‌های 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 نمی‌توانیم صورت‌بندی‌های تارسکی مانند از صدق را به کار گیریم و بدون صورت‌بندی این‌چنینی، مفهوم صدق 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 (quasi-true) و غیره تلقی کرد (ibid: 34).

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

مدل‌ها ساخت‌های نظریه مجموعه‌ای‌اند، و بنابراین به یک معنی هویتی 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 مرتبه اول و ایزومتری میان فضاهای متریک یا اثبات یک قضیه بازنمایی در نظریه گروه‌ها و قضیه‌ای در مورد یک‌ریختی برای هندسه مرتبه 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 نظریه مجموعه‌ها باشد. به این ترتیب، می‌توان نظریه 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 نظریه مجموعه‌هاست، نه زبان‌های دیگر هم‌چون فارسی، انگلیسی، و عربی (ibid). برای این‌که در مورد مجموعه‌ها و زبان جبری نظریه 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 رابطه میان حوزه‌ای ویژه چون Δ و ساختار یا ساختاری جزئی یا عمل‌گرایانه سه طریق وجود دارد: ۱. استفاده از نظریه مجموعه‌ها؛ ۲. استفاده از منطق مرتبه 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:

$$A_G = \langle A, \bullet, *, I \rangle$$

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

$$(x \bullet y) \bullet z = x \bullet (y \bullet z) \quad .1$$

$$x \bullet I = I \bullet x = x \quad .2$$

$$x \bullet x^* = x^* \bullet x = I \quad .3$$

محمول نظریهٔ مجموعه‌ای متناظر به صورت زیر است:

$$P(x) \leftrightarrow \exists A \exists B \exists C \exists D (x = \langle A, B, C, D \rangle$$

& A is a nonempty set & B is a binary operation on A

& C is a unary operator on A & D

is an element of A & $\forall x \forall y \forall z (x, y, z) \in A \rightarrow (x B y) B z$

$= x B (y B z) \& (x B I = I B x = x) \& (x B (C x) = (C x) B x = I)$)).

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 گزاره « 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 گزاره « A جنبه‌های مرتبط Δ را مجسم می‌سازد»، به طور عمل‌گرایانه صادق باشد؛

۳. A با توجه به Δ تقریباً مناسب یا شایسته است، اگر گزاره «A جنبه‌های 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 چاکویو (Chuaqui)، از جمله مقاله مشترک میکنبرگ، داکوستا، چاکویو (1986). با این حال توضیح ما از مقاله 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:

$$U = \langle A_i, R_i \rangle_{i \in I}$$

که در آن A_i مجموعه مفردات مشاهده‌پذیر Δ ، R_i ها خانواده‌ای از روابط جزئی تعریف شده روی A_i اند و I مجموعه اندیسی مناسب است. برای تعریف رابطه جزئی روی مجموعه‌ای چون A، رابطه‌ای دوتایی چون R را در نظر بگیرید. R را می‌توان به صورت یک سه‌تایی مرتب چون $\langle R_1, R_2, R_3 \rangle$ در نظر گرفت که در آن R_1, R_2, R_3 مجموعه‌هایی دو به دو مجزا (disjoint) هستند به طوری که:

$$R_1 \cup R_2 \cup R_3 = A \times A \equiv A^2$$

در این جا R_1 مجموعه جفت‌های مرتبی است که R را ارضا می‌کنند، R_2 مجموعه جفت‌های مرتبی است که R را ارضا نمی‌کنند و R_3 مجموعه جفت‌های مرتبی است که ارضا یا عدم ارضای R در مورد آن‌ها معین نیست. اگر R_3 تهی باشد، R رابطه دوتایی معمولی (normal) است و می‌توان آن را با R_1 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_i را می‌توان با خانواده‌ای از روابط

جزئی چون $\langle R_i \rangle_{i \in I}$ حاصل کرد، که در آن R_i ها به آن معنی که پیش از این گفتیم جزئی اند؛ یعنی به ازای هر n گانه از اعضا، ضرورتاً تعریف شده نیستند.

این ساختار جزئی را می توان با معرفی مفردات (individuals) هویات مشاهده‌ناپذیر و روابط جزئی جدید میان این مجموعه توسعه یافته از مفردات غنی ساخت. این مجموعه را با A_1 نشان می دهیم و خانواده و روابط جدید را با $\langle R_j \rangle_{j \in J}$ مشخص می سازیم و فرض می کنیم که روابط $I \cap J = \emptyset, A_1 \cap A_2 = \emptyset$ برقرار است و همچنین $A = A_1 \cup A_2$.

اکنون فرض کنید L زبانی باشد که در آن می توان در مورد U سخن گفت؛ یعنی U و L دارای نوع مشابهت (similarity type) یکسانی هستند. از آنجایی که برخی چیزها در مورد Δ شناخته شده است، مجموعه‌ای چون P وجود دارد که گزاره‌هایی از L هستند که دقیقاً چیزهایی را متمایز می سازد که در مورد Δ می دانیم. این گزاره‌ها با عنوان صادق یا کاذب پذیرفته می شوند، و صدق در این جا به معنای مطابقت است. هم چنین می توانند قضایای کلی معینی باشند که بیان کننده قوانین و نظریه‌هایی هستند که به Δ ارجاع می دهند و از پیش آن‌ها را صادق فرض کرده‌ایم.

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

$$U = \langle A_1, A_2, R_i, R_j, P \rangle_{\substack{i \in I \\ j \in J}}$$

مجموعه‌های A_1, A_2 ، خانواده‌هایی از روابط (یعنی $\langle R_i \rangle_{i \in I}$ و $\langle R_j \rangle_{j \in J}$) هستند و مجموعه گزاره‌های P شرایط بالا را ارضا می کنند. چنین ساختاری را یک ساختار عمل‌گرایانه ساده (simple pragmatic structure) می نامند و نقشی که در نظریه عمل‌گرایانه صدق دارد، مشابه نقشی است که ساختارهای نظریه مجموعه‌ای معمولی در برداشت تارسکی دارند.

اکنون فرض کنید T ساختاری کلی (total structure) باشد که روابط نتایی اش به ازای تمام n گانه‌ها از عناصر جهانش، تعریف شده‌اند، و فرض کنید که L نیز در T تعبیر می شود. در این صورت T را U -نرمال (U-normal) گوئیم 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.

۴. اگر $\alpha \in P$ ، آن‌گاه $T|\alpha$.

اکنون ما می‌توانیم بگوییم که گزاره‌ای چون α از L به طور عمل‌گرایانه در ساختار عمل‌گرایانه ساده U بر طبق T صادق است، اگر U یک ساختار عمل‌گرایانه 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 T ی- U نرمال وجود داشته باشد که در آن α صادق باشد. اگر α به طور عمل‌گرایانه در ساختار عمل‌گرایانه 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 علاوه گزاره‌های اولیه صادق P ، نباید با هیچ عبارت اولیه صادقی ناسازگار باشند. بنابراین α به گونه‌ای است که هر چیزی که در Δ رخ 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} مجموعه تمام مدل‌های (کلی (total)) 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 عمل‌گرایانه 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 برشمرديم برطرف کنند. دو ساختار زیر را در نظر بگیرید:

$$A = \langle A, R_i, f_j, a_k \rangle_{i \in I, j \in J, k \in K}$$

$$A' = \langle A', R'_i, f'_j, a'_k \rangle_{i \in I, j \in J, k \in K}$$

می‌توان چنین فرض کرد که A نظریه 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 بلیارد این‌همان نیستند، اما منظور ما از مدل بودن توپ‌های بلیارد این است که رفتار اتم‌های گاز را می‌توان با رفتار توپ‌های بلیارد بازنمایی کرد، البته تا حدی معین و از جنبه‌هایی مشخص. در واقع این بازنمایی متکی است بر روابط؛ یعنی تناظری میان عناصر معینی از خانواده R_i و عناصر معینی از خانواده R'_i برقرار است (ibid). در واقع 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 خانواده R_i در تناظر یک‌به‌یک با عناصر معینی از خانواده R'_i قرار می‌گیرد» (ibid).

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

$$\text{اگر } (a_1, a_2, \dots, a_n) \in A^n \text{ و } (f(a_1), f(a_2), \dots, f(a_n)) \in B^n \text{ باشد،}$$

آن‌گاه $R'(f(a_1), f(a_2), \dots, f(a_n)) \leftrightarrow R(a_1, a_2, \dots, a_n)$. 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 به ترتیب 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 خانواده 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 معناساختی به این امر مربوطه‌اند (ibid: 51)، و خواص خارجی آن‌هایی هستند که به طور معناساختی 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 این جا 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 این جا بیش‌تر مشابهت، اگر نه همه 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 این جاست که درجاتی از مشابهت صوری معنا می‌یابد که معمولاً ما با چنین اموری مواجه‌ایم. با ارائه مفهوم رابطه جزئی که به صورت $R = \langle R_1, R_2, R_3 \rangle$ معرفی کردیم، می‌توان مشابهت مثبت، منفی و خنثی را، که مد نظر هسه است، برآورده ساخت، R_1 که مبین وجود رابطه R میان اعضای خود است متناظر مشابهت مثبت، R_2 که مبین عدم وجود رابطه R میان اعضای خود است، متناظر با مشابهت منفی و R_3 که مبین نامعلوم بودن وجود رابطه 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 منطقی مرتبه اول، و ب) تبیین نامناسب از جایگاه و نقش مدل‌ها در علم. هم‌چنین به ارائه 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 نظریه 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. هم‌چنین روشن شد که رویکرد داکوستا و فرنچ قدرت تبیینی پدیده 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 کارآمدی ساختارها در بیان مشابهت‌ها بیان شد و نشان داده شد که مشکلات دیدگاه متداول در این جا 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 فلسفه 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.
- Enderston, 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*, New York: Macmillan.
- Krause, Décio, Arenhart, and Moraes, T.F. Fernando (2010). 'Axiomatization and Models of Scientific Theories', *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*, New York: 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*, New York: 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.

سعيد معصومي ۱۴۱

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

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

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

