

بازنمایی مدل‌های آماری؛ دو رویکرد نگاشتی و استنباطی

مهدی عاشوری*

سید محمود طاهری**

چکیده

بسیاری از پژوهش‌های علمی به معرفی و کاربرد مدل‌ها به ویژه مدل‌های آماری اختصاص یافته است. بنابر رویکرد دلالت‌شناسانه، مدل‌ها چیزی را در مورد واقعیت «بازنمایی» می‌کنند. در اصطلاح، «مدل» یا «منبع بازنمایی» بازنمایی‌کننده امری است که «هدف بازنمایی» نامیده می‌شود. بنابر رویکرد «استنباطی»، در رابطه بازنمایی علاوه بر «مدل» و «هدف» طرف سوم نیز مقوم رابطه است که وابسته به «عامل شناسا» می‌باشد. در این مقاله با بررسی «پارادایم‌های استنباط آماری» دو مؤلفه «تعبیر» و «قصد» شناسایی می‌شود که توسط «آماردان» در مدل‌سازی لحاظ می‌گردد. نشان داده می‌شود که مدل آماری و سیستم هدف آن، به «تعبیر»ی که «کاربر» روش‌های استنباط آماری از «متغیر تصادفی» دارد و «قصد» او از انجام استنباط آماری حساس است. ولی آیا می‌توان «تعبیر» یا «قصد» را عنصر مقوم رابطه بازنمایی در مدل‌های آماری دانست و مدل‌های آماری را شهادی به نفع رویکرد «استنباطی» در نظر گرفت، یا آنکه این تمایزهای پارادایمی در مدل گنجانده شده و مؤلفه جداگانه‌ای نیستند و رابطه بازنمایی فقط میان منبع و هدف برقرار است. در این مقاله، دو فرض بر اساس شقوق ممکن بررسی می‌گردد.

کلیدواژه‌ها: مدل آماری، بازنمایی علمی، پارادایم‌های استنباط آماری، فاعل شناسا،

تعبیر، قصد

* (مسئول مکاتبات) دانشجوی دکتری فلسفه علم، مؤسسه پژوهشی حکمت و فلسفه ایران / Ashoori@irip.ir

** استاد آمار ریاضی، دانشکده فنی، دانشگاه تهران / SM_Taheri@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۳/۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۶/۲

۱. درآمد

مدل‌ها در بسیاری از زمینه‌های علمی اهمیتی مرکزی دارند و استفاده از روش‌های آماری در تحقیقات علمی، به ویژه در مدل‌سازی، رواج بسیاری دارد. اما این اهمیت به چه دلیل است و مدل‌ها چه کاری در علوم انجام می‌دهند؟ فیلسوفان علم با توجه به اهمیت روزافزون کاربرد مدل‌ها در علم تلاش کرده‌اند، نقش‌های چندگانه‌ای که مدل‌ها در فعالیتهای علمی بازی می‌کنند را بکاوند. نتیجه این مطالعات، گسترش نوشتگان فلسفی در باب گونه‌های مدل است (Hesse, 1963; Suárez, 2009; Woods, 2010). پرسش از چیستی «مدل‌های علمی» از منظرهای مختلف قابل طرح است. از منظر دلالت‌شناختی پرسش این است که «مدل‌ها چگونه بازنمایی می‌کنند؟». بنابر نوشتگانی که طی چند دهه اخیر در فلسفه علم فراهم شده‌است، مدل‌های علمی چیزی را در مورد واقعیت «بازنمایی» (Representation) می‌کنند. در اصطلاح آنچه بازنما است، «منبع بازنمایی» (Source) یا «مدل» و واقعیتی را که بازنمایی می‌شود «هدف بازنمایی» (Target) گویند.

این مقاله در سه بخش سامان یافته است: در بخش نخست، ابتدا دو رویکرد: (۱) «نگاشتی» (Mapping Account) و (۲) «استنباطی» (Inferential Account) در باب چیستی بازنمایی علمی معرفی و ملاک اختلاف رویکرد «استنباطی» از رویکرد «نگاشتی» طرح و صورت‌بندی می‌شود.

در بخش دوم با بررسی اختلاف میان پارادایم‌های استنباط آماری نشان داده می‌شود که هرچند مدل‌های آماری استنباط‌شده از پارادایم‌های مختلف از نظر ساختاری، معادلاتی مشابه با یکدیگر را ترسیم می‌کنند، اما به سبب اختلاف میان پارادایم‌ها، در مبانی و روش‌های استنباط آماری وجود دارد، اساساً سیستم هدف بازنمایی هر یک از مدل‌ها متفاوت با دیگری است.

بحث از اختلافات پارادایمی، می‌تواند این فرض را تقویت کند که «تعبیر متغیر تصادفی» و «قصد آماردان از استنباط آماری» می‌تواند به عنوان شاهدی له دیدگاه استنباطی در باب «بازنمایی مدل‌های آماری» باشد. بخش سوم مقاله به شقوق مختلف در نحوه بازنمایی مدل‌های آماری و نحوه دخالت دو مؤلفه «قصد» و «تعبیر» اختصاص دارد. این بررسی نگاهی انضمامی به نظریه‌های بازنمایی علمی را فراهم و بصیرتی عمیق‌تر در باب بکارگیری استنباط آماری در مدل‌سازی علمی و فلسفه روش‌های کمی تحقیق ایجاد می‌نماید.

۲. چستی بازنمایی علمی

«بازنمایی» از مفاهیمی است که طی چنددهه اخیر در حوزه‌های مختلف فلسفی مورد توجه قرار گرفته است. برای مثال، «بازنمایی زبانی» در فلسفه زبان، «بازنمایی تصویری» در فلسفه هنر و «بازنمایی علمی» در فلسفه علم. انتظار فیلسوفان علمی که از مفهوم «بازنمایی علمی» استفاده می‌کنند این است که با این مفهوم می‌تواند کارکرد نظریه‌ها و مدل‌های علمی را توضیح دهند. در نظریه‌های بازنمایی تلاش می‌شود که مفهوم بازنمایی به مفاهیمی ساده‌تر و آشناتر مربوط شود. [۱] بنابراین، یک نظریه در مورد بازنمایی، شرایط لازم و کافی را در مورد بازنمایی علمی با عبارتی مانند زیر بیان می‌کند: (یغمایی و شیخ‌رضایی، ۱۳۹۱)

مدل یا نظریه علمی M (به عنوان منبع)، هدف T را بازنمایی می‌کند اگر و تنها اگر (۱) ... (۲) ... (۳) ... و ...

در نظریه‌های واقع‌گرایانه هدف T جنبه‌هایی از واقعیت خارجی است. [۲] به عبارت دیگر اگر M یک مدل علمی و T جنبه‌ای از واقعیت خارجی باشد، رابطه بازنمایی علمی را می‌توان با $R_s(M,T)$ نشان داد و نظریه بازنمایی علمی جمله زیر را کامل می‌کند: $(R_s(M,T) \text{ iff } \dots$

وظیفه نظریه‌های بازنمایی علمی این است که شرایط لازم و کافی برای برقراری رابطه R_s را نشان دهد. این نظریه‌ها به ما پاسخ می‌دهند که منبع بازنمایی علمی یعنی مدل علمی «به واسطه چه چیزی» (In virtue of) هدف خود را بازنمایی می‌کند؟ برای مثال از چه جهت است که یک اقتصاددان با مدلی آماری در باب وضعیت بورس، رشد یا افول برخی از سهام‌ها را پیش‌بینی می‌کند؟ یعنی چه رابطه‌ای میان این مدل و بازار سهام وجود دارد که این امر را میسر می‌سازد؟ در ادامه این بخش دو «رویکرد نگاشتی» و «رویکرد استنباطی» در باب چستی بازنمایی علمی معرفی، بررسی و مقایسه می‌شود.

۱.۲. رویکرد نگاشتی در بازنمایی علمی

در رویکرد نگاشتی منبع M ، هدف T را بازنمایی می‌کند. به عبارت دیگر، رابطه بازنمایی دو طرف دارد: منبع و هدف. (نگاه کنید به شکل ۱)

شکل ۱. طرفین رابطه بازنمایی در رویکرد نگاشتی



طرفداران این رویکرد، این رابطه را به نوعی شباهت و تناظر ساختاری (عموماً یک‌ریختی یا هم‌ریختی) میان دو طرف رابطه تقلیل می‌دهند. بر اساس این نظریه بازنمایی، مدل علمی M واقعیت T را بازنمایی می‌کند، اگر ساختار آن را «دربر داشته» باشد و «بنگارد». این «دربرداشتن» (Embracing) و «نگاشت» با تعریف ساختارگرایانه از شباهت فراهم می‌شود. بر این اساس، بازنمایی علمی بدین گونه تعریف می‌شود:

تعریف ۱. مدل M هدف T را بازنمایی می‌کند، اگر و تنها اگر ساختارهای نظریه-مجموعه‌ای M و T یک‌ریخت (یا هم‌ریخت یا یک‌ریخت جزئی) باشند.

رابطه بازنمایی تناظری میان مدل و هدف و رابطه‌ای دوطرفه است که برای نشان دادن این تناظر از یک نگاشت استفاده می‌شود. لذا تعریف زیر ارائه می‌شود.

تعریف ۲. مدل M با مجموعه اجزاء ساختاری $A = \{a_1, a_2, a_3, \dots\}$ و رابطه R میان این اجزاء، واقعیت T با مجموعه اجزاء $A' = \{a'_1, a'_2, a'_3, \dots\}$ و رابطه L میان این اجزاء را بازنمایی می‌کند، اگر و تنها اگر نگاشت $f: A \rightarrow A'$ رابطه میان R و L را به صورت زیر برقرار سازد:

$$f(a_i) = a'_i \text{ and } f(a_j) = a'_j; L(f(a_i), f(a_j)) = R(K(a_i, a_j))$$

آنچه در تناظر ساختاری مقصود اصلی است ایجاد تناظر میان هویت‌های رابطه‌ای R و L است نه برقراری تناظر میان ویژگی‌های عینی مدل A و واقعیت خارجی A'. این نکته را با یک مثال توضیح می‌دهیم.

مثال ۱. فرض کنید در مطالعه «اثر رادیو دارو را بر سرطان ریه» معادله M_1 به دست آمده است. T_1 نیز «میانگین اثرات دارو بر بیماری در جمعیت» است. مدل M_1 دارای اجزائی مانند Y و A است که رابطه R میان آنها با پارامترهای β_0 و β_1 نشان داده می‌شود. T_1 نیز اجزائی مانند «بهبود یا عدم بهبود سرطان» و «درمان با دارو یا عدم درمان» دارد که انتظار داریم رابطه واقعی L میان آنها برقرار باشد. مدعای رویکرد نگاشتی این است که رابطه‌ای یک‌ریخت $L(f(m_1), f(m_2)) \leftrightarrow R(Y, A)$ وجود دارد که شرط لازم و کافی برای بازنمایی T_1 توسط M_1 است.

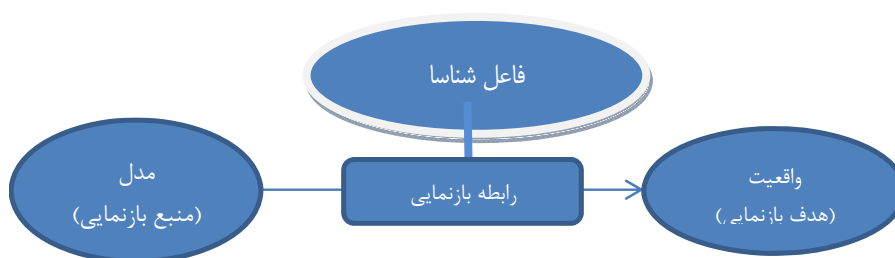
با توجه به تعریف فوق آشکار می‌گردد که وجود یک «نگاشت» میان مجموعه وابسته به منبع (مدل علمی) و مجموعه وابسته به هدف، برای وجود «بازنمایی علمی» کافی است. در این تعریف هیچ اشاره‌ای به «عامل شناختی» و نقش وی نمی‌شود و بازنمایی، رابطه‌ای عینی میان دو ساختار است که مستقل از حضور یا شناخت عامل می‌باشد.

۲.۲. رویکرد استنباطی در بازنمایی علمی

در مقابل رویکرد فوق برخی از فیلسوفان علم، بازنمایی را رابطه‌ای عینی و مستقل از عامل شناختی نمی‌دانند. این رویکرد شامل دیدگاه‌های مختلفی است که با عنوان دیدگاه استنباطی می‌توان از همه آنها یاد کرد. بر اساس این دیدگاه‌ها در صورتی میان منبع و هدف، رابطه بازنمایی وجود دارد که «عامل» (سازنده مدل یا کاربر مدل) بتواند از مدل یا نظریه علمی در فهم و نتیجه‌گیری ویژگی‌های منبع و در کل برای تأمین اهداف شناختی خویش نسبت به جهان بهره‌بردار (Contessa, 2007; Hughes, 1997; Suarez, 2003; Frigg, 2006; Swoyer, 1991).

بر اساس این رویکرد، رابطه تناظر ساختاری میان مدل و هدف برای بازنمایی کافی نیست، و حتی از نظر برخی استنباط‌گرایان شرط لازم برای بازنمایی نیز نمی‌باشد. از نظر آنان «عامل» با فعالیتی چون «قصد» (Intention) یا «تعبیر» (Interpretation) و مانند آن از «مدل» برای بازنمایی هدف استفاده می‌کند، پس در رابطه بازنمایی باید طرف سومی را نیز در نظر گرفت.

شکل ۳. طرف‌های رابطه بازنمایی بنا بر رویکرد استنباطی



با توجه به نکته فوق دیدگاه استنباطی را می‌توان در قالب زیر صورت‌بندی کرد:

تعریف ۳. بازنمایی علمی در دیدگاه استنباطی: عامل شناختی A چنان قصد (یا تعبیر) کند که با توجه به ویژگی‌های M ویژگی‌هایی را در مورد T استنباط (یا فهم) کند و در این امر موفق باشد.

بر اساس این تعریف، «کارکردهای شناختی» چون قصد، فهم، تعبیر، استنباط و مانند آن، باید «قوام‌بخش» (Constituent) رابطه بازنمایی باشد.

مثال ۲. در مثال رادیو دارو و سرطان، مدعای رویکرد نگاشتی این بود که رابطه یک‌ریختی $R(Y, A) \leftrightarrow L(f(m_1), f(m_2))$ مستقل از مطالعه‌کننده وجود دارد، ولی بنابر رویکرد شناختی برای بازنمایی «میانگین اثرات دارو بر درمان» توسط «یک مدل آماری» صرف وجود رابطه یک‌ریختی میان اجزاء این دو ساختار کافی نیست. بلکه این تناظر باید توسط یک عامل انتخاب یا تعبیر گردد تا بازنمایی قوام یابد.

طرفداران رویکرد نگاشتی نیز باور دارند که رابطه بازنمایی توسط یک فاعل شناسا در جهت فهم هدف به خدمت گرفته می‌شود، ولی آنان رابطه بازنمایی را متقوم به این استخدام نمی‌دانند (Bueno and French, 2011)، زیرا معتقدند نقش این عوامل یکسان نیست و اگر این نقش قوام‌بخش رابطه باشد، پس در هر مورد از بازنمایی یک عامل خاص نقش داشته و در نتیجه بازنمایی نمی‌تواند رابطه‌ای عمومی باشد.

۳.۲. تمایز رویکرد استنباطی با رویکرد نگاشتی

بازنمایی علمی از دیدگاه استنباطی رابطه‌ای سه‌گانه می‌باشد: $R_s(M, T, f)$. یعنی برای تحقق بازنمایی به سه «رابطه» نیاز است: مدل، هدف و انتخاب نگاشت توسط عامل. در حالی که رابطه بازنمایی در دیدگاه نگاشتی رابطه دوطرفه $R_s(M, T)$ است و تحقق بازنمایی تنها به مدل و هدف وابسته است. در رویکرد نگاشتی می‌توان پرسید که آیا مدل M هدف T را بازنمایی می‌کند یا نه؟ ولی در رویکرد استنباطی باید پرسید که آیا عامل f با مدل M هدف T را بازنمایی می‌کند یا نه؟

جدول ۱. مقایسه رویکردها در باب رابطه مدل و هدف در بازنمایی علمی

رویکرد نگاشتی	$R_s(M, T)$	نگاشت میان مدل و هدف شرط لازم و کافی است
رویکرد استنباطی محض	$R_s(M, T, f)$	نگاشت میان مدل و هدف نه شرط لازم و نه کافی است
رویکرد نگاشتی-استنباطی	$R_s(M, T, f)$	نگاشت میان مدل و هدف شرط لازم است ولی کافی نیست

چگونه می‌توان قوام‌بخشی را اثبات نمود؟ حالتی را در نظر می‌گیریم که شرط لازم بودن تناظر ساختاری میان منبع و هدف انکار نشود، در چنین حالتی از نظر استنباط‌گرا نباید نگاشت میان دو ساختار «یکتا» باشد و انتخاب یک نگاشت از میان روابط نگاشتی محتمل باید وابسته به قصد یا تعبیر عامل شناسا باشد. حالت دوم این است که تناظر ساختاری میان منبع و هدف لازم شمرده نشود که در این صورت، رابطه بازنمایی کاملاً به قصد و تعبیر عامل شناسا وابسته می‌گردد. قوام‌بخشی به این صورت قابل اثبات است که در مورد بازنمایی علمی، نگاشت‌های متفاوت میان ساختارهای مدل و هدف، بازنمایی‌های متفاوتی نتیجه بدهد. یعنی میان ساختارهای M و T می‌توان نگاشت‌های متمایزی یافت که هر کدام منجر به یک‌ریختی‌های متفاوتی می‌شوند. یعنی اگر چند نگاشت $\{f_1, f_2, \dots, f_n\}$ میان دو ساختار مدل و هدف وجود داشته باشد که هر یک بازنمایی خاص خود را به بار آورد و تغییر در نگاشت، منجر به تغییر در بازنمایی گردد، در نتیجه بازنمایی علاوه بر M و T به انتخاب و «قصد» f_i نیز وابسته خواهد بود. وابستگی به این معنا که تغییر در M, T و یا f_i بازنمایی را تغییر می‌دهد.

مثال ۳. فرض کنید بر اساس مجموعه‌ای از داده‌ها، معادله $R_1: Y = \beta_0 + \beta_1 A$ با استفاده از روش رگرسیون و با هدف بازنمایی «میانگین اثر رادیو دارو بر بهبود سرطان ریه» به دست آمده باشد. به علاوه فرض کنید آزمون‌های فرضیه نیز خطی بودن این معادله را پذیرفتنی می‌دانند:

الف. طبق رویکرد نگاشتی ادعا این است که رابطه « L : اثر درمان بر میزان بهبودی» با « R_1 : معادله خطی» تناظر دارد.

ب. طبق رویکرد استنباطی ادعا این است که مدل‌ساز از میان معادلات مختلف (R_i) که می‌توانست متناظر با «L: رابطه درمان بر بهبودی» باشد، نگاشت متناظر با خطی بودن (R_i) را انتخاب کرده است و این انتخاب پذیرفتنی می‌باشد و انتخاب مدل‌ساز یکی از عناصر مقوم این بازنمایی است.

در ادامه این مقاله بررسی رابطه بازنمایی در «مدل‌های آماری» از این منظر خواهیم پرداخت که آیا در فرایند استنباط آماری، آماردان و محقق نیز در رابطه بازنمایی مدل آماری نقش مقوم دارد یا خیر؟ بحث از سنجش این‌که آیا در بازنمایی مدل آماری، تناظر ساختاری لازم است یا خیر، به سبب نیاز به طرح مقدمات بیشتر از الگوهای استنباط آماری در مقاله‌ای دیگر مورد بررسی قرار گرفته است (عاشوری و طاهری، در دست انتشار).

۳. پارادایم‌های استنباط آماری

در مدل‌سازی پدیده‌ها استفاده از «مدل‌های آماری» یکی از رایج‌ترین رویکردها است. مدل‌سازی آماری مبتنی بر این فرض است که در برخی از موضوعات و مفاهیم علمی و کمی کردن آنها، مؤلفه «عدم حتمیت» وجود دارد و آنها را باید به عنوان متغیرهای تصادفی لحاظ نمود و پژوهشگر ویژگی‌های «جامعه آماری» را بر اساس «داده»‌های حاصل از «نمونه» (Sample) «استنباط» کند. در مدل‌سازی آماری، برای مفاهیم مطرح در فرضیات تحقیق، متغیرهای قابل اندازه‌گیری تعریف می‌شود و رابطه متغیرها با یکدیگر در قالب مجموعه‌ای از روابط (گاه سیستم معادلات) نشان داده می‌شود. دو مبحث «برآورد» (Estimation) و «آزمون فرضیه» (Hypothesis tests) مهم‌ترین کارهایی است که در «استنباط آماری» (Statistical Inference) صورت می‌گیرد. مثال رابطه رادیودارو و درمان سرطان را دوباره از این منظر مورد توجه قرار می‌دهیم.

مثال ۴. مدل آماری: برای مطالعه رابطه مداخله (درمان یا عدم درمان با دارو) با پیامد (بهبود یا عدم بهبود سرطان) معمول‌ترین روش، استفاده از استنباط پارامتری است. چنانچه نماد A را برای متغیر مداخله و نماد Y را برای متغیر پیامد در نظر بگیریم، آنگاه از معادله $E[Y|A] = \beta_0 + \beta_1 A$ برای تحلیل داده‌ها استفاده می‌شود که در آن β_0 و β_1 پارامترهایی هستند که باید مقداری به آنها نسبت داد که فنون آماری «برآورد» متکفل این بحث است. همچنین با استفاده از «آزمون‌های فرضیه» می‌توان بررسی نمود که در نظر گرفتن معادله خطی برای رابطه آن دو متغیر خطا بوده است یا نه؟

در یک تقسیم‌بندی کلی، سه پارادایم اصلی در حوزه استنباط آماری وجود دارد که عبارتند از (۱) آمار بسامدی (فراوانی‌گرا)، (۲) آمار بیزی، و (۳) استنباط شواهدی (Bandyopadhyay and Forster, 2011). برخی از محققین اختلاف این سه رویکرد را در هدفی می‌دانند که از استنباط دنبال می‌شود (Royal, 1997) و (ارقامی، ۱۳۹۱). برای روشن شدن موضوع، تفاوت این سه پارادایم را در مبحث آزمون فرضیه‌های آماری توضیح می‌دهیم. در مبحث آزمون فرضیه، هر کدام از پارادایم‌های استنباط آماری به یکی از پرسش‌های زیر پاسخ می‌دهد.

الف. با توجه به داده چه عملی باید انجام دهیم؟

ب. با توجه به شواهد باید به چه فرضیه‌ای و به چه میزان باور داشته باشیم؟

پ. شواهد در مورد فرضیه H و نقیض آن چه می‌گویند؟

بر اساس نگاه فوق‌آمار بسامدی وظیفه خود را پاسخ به پرسش اول می‌داند، آمار بیزی در تلاش است به پرسش دوم پاسخ دهد و استنباط شواهدی برای پاسخ به پرسش سوم فراهم شده است. مثال زیر تفاوت سه پرسش را آشکار می‌سازد.

مثال ۵. فرض کنید پزشک فردی مشکوک به سرطان سل هستید. گزارش آزمایش تشخیص طبی «سل»، «مثبت» است. شما نتیجه‌ای خواهید گرفت؟ پاسخ هر یک از سه رویکرد چنین است:

الف. بنابر آمار بسامدی و در قالب نظریه تصمیم، شما باید تصمیم بگیرید که شخص مورد نظر باید تحت درمان قرار گیرد یا نه؟ این تصمیم‌گیری مستقل از احتمال پیشینی است که شما، به‌عنوان پزشک، درباره بیماری فرد می‌دادید، بل که به این امر بستگی دارد که شما زیان خطای بیمار دانستن فرد سالم و زیان خطای سالم‌دانستن فرد بیمار را چه میزان می‌دانید و می‌خواهید این زیان‌ها در چه حدی کنترل شوند.

ب. پیش از آزمایش نیز بر اساس معاینه و علائم بالینی اطلاعاتی درباره مراجعه‌کننده داشته‌اید. و برای مثال ۶۰٪ احتمال می‌دادید که بیمار باشد. اکنون، هنگامی که گزارش آزمایشگاه را می‌بینید، باورتان به وجود بیماری سل قوی‌تر می‌شود و بر اساس قواعد استنباط بیزی ۹۶٪ احتمال می‌دهید که بیمار سل داشته باشد.

ج. در این مسئله دو فرضیه قابل طرح است: (۱) فرد سل دارد، (۲) فرد سل ندارد. بنابر استنباط شواهدی، گزارش آزمایش از فرضیه بیمار دانستن فرد بیشتر پشتیبانی

می‌کند و شما می‌توانید، بر اساس گزارش‌ها و مشاهدات، قوت شواهد بر له یا علیه هر فرضیه را اندازه‌گیری و گزارش کنید (Sober, 2008: 4-5) و (عمادی، ۱۳۸۴: ۱۴).

در این بخش از مقاله، پرسش این است که این اختلاف پارادایمی در باب استنباط آماری چه اختلافاتی در نحوه بازنمایی مدل‌های آماری ایجاد می‌کند؟ در بخش سوم نیز این پرسش مطرح است که آیا موضع پژوهشگر (عامل) در باب اصول استنباط آماری (نحوه برآورد و آزمون فرضیه) مقوم رابطه بازنمایی است یا خیر؟

۱.۳. آمار کلاسیک یا بسامدگرا

این ایده که احتمالات بیان‌کننده وضعیت‌شناسی امور و مبتنی بر فرایندهای تصادفی است، در بسیاری از علوم رایج است. در این دیدگاه، امور احتمالی به «بسامدهایی» (Frequencies) در دنباله‌ای از رویدادها مرتبط است یا آنکه «تمایل‌ها» (Tendencies) یا «گرایش‌هایی» (Propensities) در سیستم‌ها هستند که این رویدادها را متحقق (Realized) ساخته است. به چنین تعبیرهایی از احتمال تعبیرهای عینی یا فیزیکی گفته می‌شود. ویژگی کلیدی رویکرد بسامدی، مشاهده‌پذیری و تکرارپذیری رویدادهای مورد مطالعه است. بر اساس تعبیری که توسط «فون میزس» توسعه یافته است، احتمال یک رویداد، بسامد نسبی آن رویداد در مجموعه‌ای (دنباله‌ای) از رویدادهای مشابه است (von Mises, 1981). ایده‌های اصلی این پارادایم را می‌توان از قرار زیر دانست:

الف. آمار بسامدی معمولاً مرتبط با (مبتنی بر) یک مدل آماری مانند M است که آن را با $f(x; \theta)$ نشان می‌دهند. این مدل بر اساس یک مجموعه داده تولید می‌شود و فرض می‌شود این داده‌ها از یک تابع توزیع احتمال خاص پیروی می‌کنند و بر این اساس قوانین احتمالات در مورد آنها صادق است.

ب. تصادفی (احتمالی) بودن متغیرهای یک مدل، خصیصه‌ای عینی در آن پدیده است که ناشی از تکرارپذیری نمونه یا یک ویژگی تمایلی در آن پدیده است. لازمه این مفروض تکرارپذیری «نمونه» است.

پ. آنچه در یک مدل آماری «تصادفی» است و از یک تابع توزیع پیروی می‌کند، «متغیر»های مدل است. پارامترهای یک مدل، مقداری ثابت (البته، گاهی مجهول) هستند.

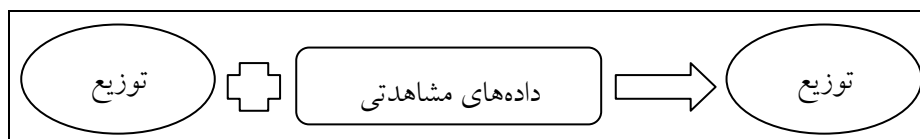
ت. کارکرد استنباط آماری «مدل‌یابی» است و فرضیه‌های مرتبط با مدل، درست یا خطا هستند. و یکی از امور مهم در آزمون‌های آماری، کنترل خطای نوع اول و/یا نوع دوم است.

ث. ابزارهای آمار بسامدی تنها به داده‌ها اتکا دارند و از به‌کارگیری هرگونه «دانش پیش‌زمینه» (Background Knowledge) چشم‌پوشی می‌کنند. متخصصان آمار ریاضی بسته به نیاز پژوهشگران فنونی را برای مسائل/موضوع‌های برآورد، آزمون فرضیه و مدل‌سازی توسعه داده‌اند که روش‌های رایج و مسلط در پژوهش‌های علمی را تشکیل می‌دهد. اما از دید فلسفه آمار، مشکلات و ناسازگاری‌هایی در رویکرد بسامدگرا طرح می‌شود. یکی از این مشکلات، ناسازگاری ایده بسامدگرایی با اصل درست‌نمایی (Likelihood principle) است (Roberts, 1967; Kadane and et al, 1996; Howson and Urbach, 2003). در میان پاسخ‌های متعدد به مشکل فوق، «آمار شواهدی» بر اساس بازتعبیر «اثر شواهدی داده‌ها» (The evidential impact of data) تلاش می‌کند روش‌های استنباط را با اصل درست‌نمایی سازگار نماید.

۲.۳. آمار بیزی

بیزگرایی رهیافتی عام است که در فلسفه احتمال، فلسفه آمار و معرفت‌شناسی علم نمود پیدا می‌کند. این سه حوزه با یکدیگر ارتباط دارند ولی امتیازات ظریفی نیز از یکدیگر دارند. ایده اصلی بیزگرایی در استنباط آماری این است که پارامترهای یک تابع توزیع، خود متغیری تصادفی هستند و دارای توزیع احتمال (موسوم به توزیع پیشین Prior Distribution) می‌باشند و آماردان بر اساس اطلاعات پیش‌زمینه‌ای خود، این توزیع پیشین را مشخص می‌کند. بدین ترتیب «توزیع پیشین» با داده‌های مشاهداتی ترکیب می‌شود و «توزیع پسین (Posterior Distribution)» به دست می‌آید.

شکل ۴. مؤلفه‌های اصلی استنباط در آمار بیز



به کوتاهی، ایده‌های اصلی پارادایم بیز عبارتند از:

- الف. در آمار بیز «دانش پیش‌زمینه» پژوهشگر اهمیت بسیار دارد و پژوهشگر آن را به صورت «تابع توزیع پیشین» در استنباط آماری وارد می‌کند.
- ب. داده‌ها نقش شواهدی را دارند که پژوهشگر با استفاده از آنها دانش و باور خویش را تعدیل و اصلاح می‌کند. در این رویکرد نیز از «مدل آماری» استفاده می‌شود ولی کار

استنباط آماری «مدل‌سازی» است نه «مدل‌یابی» زیرا مدل‌ها بر اساس شناخت پیشین پژوهشگر ساخته و اصلاح می‌شوند.

پ. در آمار بیز نه تنها «متغیرهای» های مدل که حتی پارامترهای آن نیز کمیت‌هایی تصادفی هستند.

ت. در حالی که در روش‌های بسامدگرا، فرضیه‌ها رد یا پذیرفته می‌شوند، روش‌های بیزی اثر داده‌ها را در میزان تعدیل باور به فرضیه‌ها نشان می‌دهند.

پرسش جذاب برای فیلسوف آمار این است که مدلی که پارامترهای آن با استفاده از برآوردگرهای بیزی برآورد شده و با آزمون‌های بیزی سنجیده شده‌اند، علی‌الاصول چه امری را بازنمایی می‌کنند و سیستم هدف این چنین مدل‌هایی چه خواهد بود؟

۳.۳. آمار شواهدی

همان‌گونه که گفتیم یکی از رهیافت‌های مواجهه با مشکلات روش‌های آمار فراوانی‌گرا با اصل درست‌نمایی، بازتعبیر آن روش‌ها بر اساس ارتباط اثر شواهدی داده‌ها است. در این رهیافت رابطه مدل‌های آماری با باور نیز مشخص می‌گردد. این رهیافت با عنوان «آمار شواهدی» یا «پارادایم درست‌نمایی» (Likelihood Paradigm) شناخته می‌شود و معتقد است در هر دو رویکرد فراوانی‌گرا و بیز، به داده‌ها و نیز به محتوای تابع درست‌نمایی آنچنان که شایسته است توجه نمی‌شود.

مدعای شواهدگرایان این است که می‌توان اثر شواهدی داده‌ها را بر پایه تابع درست‌نمایی اندازه‌گیری نمود. بیزگرایان تابع درست‌نمایی را با یک توزیع ذهنی پیشین ترکیب می‌کنند و بسامدگرا این تابع را در چارچوب نظریه تصمیم منظور می‌کنند و از نظر شواهدگرا، هر دو کار خطا است.

بر اساس این رویکرد، نسبت‌های درست‌نمایی (Likelihood ratios) احتمالات ذهنی نیستند، که «معناداری علمی» روابط شواهد را توضیح دهند. اطلاعات استنباط شده از داده‌ها نیز مربوط به مزیت نسبی دو فرضیه‌ای است که نسبت‌های درست‌نمایی متضمن آنها هستند (Edwards, 1972:30) و «معنای شواهدی» (Evidential meaning) نتایج تجربی نیز کاملاً توسط تابع درست‌نمایی مشخص می‌شود. ایده‌های اصلی این پارادایم به قرار زیر است:

الف. تابع درست‌نمایی را برای فهمیدن آنچه داده‌ها می‌گویند باید تعبیر نمود و نباید آن را به احتمالات اشخاص معطوف ساخت.

ب. بنابر قانون درست‌نمایی شواهد یک داده در مورد یک فرضیه دارای شدت و ضعف است.

پ. احتمال ذهنی یک فرد به یک فرضیه صرفاً بازتاب میزان عدم‌اطمینان او در مورد آن حقیقت است و او به شواهد نیاز دارد.

ت. نسبت‌های درست‌نمایی احتمالات ذهنی نیستند، که «معناداری علمی» روابط شواهد را توضیح دهند. اطلاعات استنباط شده از داده‌ها نیز مربوط به مزیت نسبی دو فرضیه‌ای است که نسبت‌های درست‌نمایی متضمن آنها هستند. مشکلی که این دیدگاه با آن مواجه است، این است که آیا واقعاً درست‌نمایی‌ها عینی‌تر و شناخته‌شده‌تر از احتمالات هستند؟

۴.۳. تنوع پارادایمی و بازنمایی مدل‌های آماری

در هر پارادایم دو مؤلفه قابل طرح است: (۱) تعبیر فراوانی‌گرا یا ذهنی از متغیر تصادفی و (۲) قصد از استنباط آماری که به عنوان پرسش‌های اصلی از استنباط آماری مطرح شد. بر اساس مؤلفه دوم آماردان قصد می‌کند که از استنباط آماری می‌خواهد برای (الف) تصمیم‌گیری، (ب) به‌روز کردن باور، (ج) شناخت نسبت شواهد و فرضیه استفاده کند. پس در این‌که شما چه پارادایمی را برای استنباط آماری برمی‌گزینید، مؤلفه‌ای کارکردی و استنباطی را در مدل‌سازی خویش وارد می‌کنید. اما بر اساس بحث مطرح در ملاک تمایز رویکرد استنباطی این امر خود برای تقویت دیدگاه استنباطی در بازنمایی مدل‌های آماری کافی نیست. برای این بررسی فرض فوق باید دو گام برداشت: (۱) آیا سیستم هدف و مدلول مدل آماری به پارادایم استنباط آماری حساس است؟ (۲) آیا در میان مدل آماری و هدف آن می‌توان مدعی شد که چند نگاشت وجود دارد و با انتخاب پارادایم، یکی از نگاشت‌ها انتخاب و متعین می‌شود؟

در این مرحله پرسش اول بررسی می‌شود، یعنی بر اساس اصول مطرح در هر پارادایم، مدل‌های استنباط شده از هر پارادایم چه امری را بازنمایی می‌کنند؟ با توجه به گستردگی استفاده از «تحلیل رگرسیون» (Regression analyses) در مدل‌سازی آماری، مسئله حساسیت بازنمایی مدل آماری به اصول و پارادایم‌های استنباط آماری را در یک مدل

رگرسیون بررسی می‌کنیم. یک مدل رگرسیونی از چهار دسته مؤلفه (Component) تشکیل می‌شود که عموماً از علائم زیر برای نشان دادن آنها استفاده می‌شود: [۳]

X_i : متغیرهای مستقل برای نشان دادن مقدار علت‌ها یا مداخله‌گرها؛

Y_i : متغیرهای وابسته برای نشان دادن مقدار اثر علی؛

R_i : متغیرهای مزاحم برای نشان دادن سهم علت‌هایی که در معادله لحاظ نشده‌اند؛

a_{ij} : ضرایب مدل، برای نشان دادن سهم مؤثر تغییر هر علت در تغییر مقدار معلول.

مثال ۷. یک پژوهش در حوزه تعلیم و تربیت را در نظر بگیرید که متغیرهای آن از قرار زیر است:

نام متغیر	مفهوم	نوع متغیر
X_1	میزان تمرکز در کلاس	مستقل
X_2	میزان پشتکار	مستقل
X_3	حضور در کلاس	مستقل
X_4	مشارکت در کلاس	مستقل
Y_1	توانایی روخوانی	وابسته
Y_2	توانایی گفتاری	وابسته
Y_3	توانایی نوشتاری	وابسته
R_1	خطای پس ماند توانایی روخوانی	مزاحم
R_2	خطای پس ماند توانایی روخوانی	مزاحم
R_3	خطای پس ماند توانایی روخوانی	مزاحم

روابط میان مفاهیم در مدل کیفی به طرق مختلف قابل طراحی است؛ با روش‌های متعارف تحلیل رگرسیونی خطی، یک سیستم معادلات مانند سیستم زیر پیشنهاد می‌شود که ضرایب معادلات باید بر اساس پایگاه داده‌ها برآورد شوند.

$$\begin{cases} Y_1 = a_{11}X_1 + a_{21}X_2 + a_{31}X_3 + a_{41}X_4 + R_1 \\ Y_2 = a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + a_{32}X_3 + a_{42}X_4 + R_2 \\ Y_3 = a_{31}X_1 + a_{23}X_2 + a_{33}X_3 + a_{43}X_4 + R_3 \\ Y_4 = a_{41}X_1 + a_{24}X_2 + a_{34}X_3 + a_{44}X_4 + R_4 \end{cases}$$

به عبارتی مدل M با اجزاء ساختاری a_{ij} , X_i , Y_i , R_i و رابطه R میان این اجزاء (دستگاه معادلات فوق) وجود دارد، که ادعا می‌شود واقعیت T با اجزاء X'_i , Y'_i , R'_i , a'_{ij} و رابطه L

میان این اجزاء (روابطی از مداخلات و تأثیر و تأثر علی) را بازنمایی می‌کند، اگر و تنها اگر
 $f(A)=A'$ and $f(B)=B'$; $L(f(A), f(B))=R(K(A,B))$

در مدل فوق می‌توان میان متغیرها و معادلات با روابط مفاهیم علمی تناظری برقرار ساخت، اما آیا تنها یک نگاشت میان این «سیستم معادلات» به عنوان «منبع بازنمایی» و «روابط میان امور» به عنوان «هدف بازنمایی» وجود دارد؟ در این مقاله نشان می‌دهیم که عنصر «تعبیر» و «قصد» در «پارادایم‌های استنباط آماری» سبب می‌شود که یک مجموعه معادلات با ساختاری مشابه از امور مختلف دلالت نماید.

بر اساس این که چه پارادایمی از استنباط آماری برای برآورد پارامترها و آزمون‌های فرضیه استفاده شود، دلالت‌شناسی مفاهیم و معرفت‌شناسی آن متفاوت خواهد بود. دلالت‌شناسی آن به صورت خلاصه در جدول ۲ طرح می‌گردد.

جدول ۲. دلالت‌شناسی مفاهیم مدل‌های رگرسیونی

آمار کلاسیک	آمار بیز	آمار شواهدی		
X_i, Y_i, R_i	X_i, Y_i, R_i, a_{ij}	X_i, Y_i, R_i	نام	متغیر
میزان بسامد ویژگی در شیء	میزان باور به‌روزشده بر اساس داده‌ها	میزان بسامد ویژگی در شیء	مدلول	تصادفی
a_{ij}	----	a_{ij}	نام	پارامتر
مقداری مجهول که باید بر اساس شواهد برآورد شود	----	مقداری مجهول که باید بر اساس داده‌ها برآورد شود	مدلول	

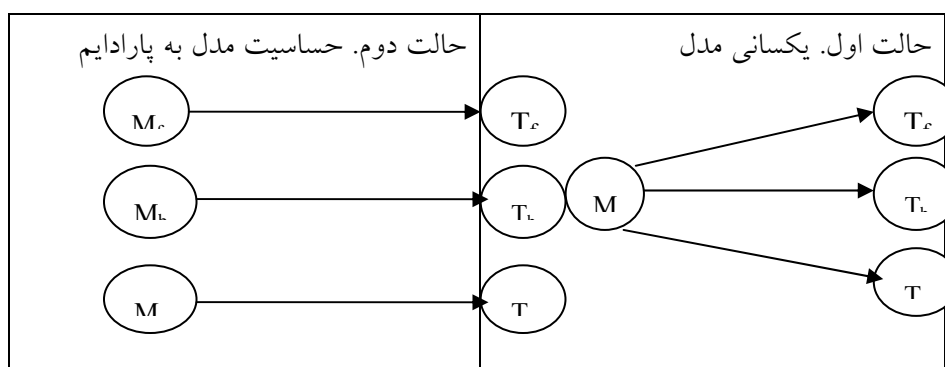
توضیح این که تعبیر مفاهیم در آمار بیزی، دانش و باور محقق است که در قالب توزیع پیشین عرضه و بر اساس داده‌ها به‌روز می‌شود. در آمار بیزی ضرایب a_{ij} نیز متغیرهای تصادفی تلقی می‌شوند. لذا مدل‌های رگرسیونی استنباط شده از پارادایم‌های مختلف با وجود شباهت جبری معادله‌ها، روابط بازنمایی متفاوتی دارند که از نظر فیلسوف علم این اختلاف می‌تواند ناشی از دو حالت باشد:

الف. اهداف بازنمایی T_e و T_b ، T_f متفاوت هستند، ولی این تنوع ناشی از سه مدل متفاوت از نظر ساختاری نیست، بلکه اختلاف در بازنمایی به سبب تفسیر پژوهشگر از ساختار یکسان منبع M است.

ب. اهداف بازنمایی T_e و T_b ، T_f متفاوت هستند، زیرا سه مدل M_e و M_b ، M_f ساختار متفاوتی دارند.

در هر دو حالت، اهداف بازنمایی متفاوت می‌باشند. در حالت اول یک منبع بازنمایی وجود دارد که عنصر «تعبیر» در تولید مدل سبب ایجاد سه نگاشت به سه هدف شده است. ولی در حالت دوم عنصر «تعبیر» در تولید مدل سبب شده است که سه مدل ساخته شود ولی میان هر مدل و هر هدف تنها یک نگاشت وجود دارد.

شکل ۵. دو حالت رابطه مدل رگرسیونی و اهداف بازنمایی



طرفدار حالت اول بر شباهت جبری میان دستگاه معادلات تکیه می‌کند و مدعی می‌شود که سیستم معادلات در هر سه مدل یکسان است. اما طرفدار حالت دوم مدعی می‌شود که M_e ، M_b ، M_f ساختار متفاوتی دارند، زیرا مبانی و تکنیک‌هایی که در برآورد پارامترها و ارزیابی هر مدل استفاده شده متمایز از الگوی دیگر است.

۴. مواضع در باب بازنمایی مدل‌های آماری

حال به پرسش اصلی این مقاله می‌پردازیم: تنوع تعبیری مدل‌های آماری به نفع کدام یک از رویکردهای بازنمایی علمی (نگاشتی و استنباطی) استشهاد می‌کنند؟ برای پاسخ به این پرسش علاوه بر دو حالت فوق باید به این نکته نیز توجه شود که آیا الگوهای استنباط آماری، سه رویکرد مستقل برای پاسخ به سه پرسش هستند؟ پاسخ به این پرسش مؤلفه «قصد» را در «استنباط آماری» نشان می‌دهد.

جدول ۳. عوامل سه‌گانه ایجادکننده مواضع هشت‌گانه

۱	الگوهای استنباط آماری همه برای برآورد پارامترها و مدل‌یابی هستند (انکار تنوع قصد در استنباط آماری)	هر یک از الگوهای استنباط آماری برای پاسخ به پرسشی خاص است (پذیرش وجود عنصر قصد در استنباط آماری)
۲	M_e و M_b, M_k ساختار متمایزی ندارند (عدم حساسیت مدل آماری به پارادایم)	M_e و M_b, M_k ساختارهای متمایزی دارند (حساسیت مدل آماری به پارادایم)
۳	همه مدل‌ها یک T را بازنمایی می‌کنند (انکار تنوع تعبیر در استنباط آماری)	T_e و T_b, T_k ساختارهای متمایزی دارند (پذیرش تنوع تعبیر در استنباط آماری)

بر اساس نکات فوق هشت موضع قابل تصور است:

موضع یک. (۱) انکار تنوع قصد، (۲) عدم حساسیت مدل به پارادایم، (۳) انکار تنوع تعبیر.

موضع دوم. (۱) انکار تنوع قصد، (۲) عدم حساسیت مدل به پارادایم، (۳) پذیرش تنوع تعبیر.

موضع سوم. (۱) انکار تنوع قصد، (۲) پذیرش حساسیت مدل به پارادایم، (۳) انکار تنوع تعبیر.

موضع چهارم. (۱) انکار تنوع قصد، (۲) پذیرش حساسیت مدل به پارادایم، (۳) پذیرش تنوع تعبیر.

موضع پنجم. (۱) پذیرش تنوع قصد، (۲) عدم حساسیت مدل به پارادایم، (۳) انکار تنوع تعبیر.

موضع ششم. (۱) پذیرش تنوع قصد، (۲) عدم حساسیت مدل به پارادایم، (۳) پذیرش تنوع تعبیر.

موضع هفتم. (۱) پذیرش تنوع قصد، (۲) پذیرش حساسیت مدل به پارادایم، (۳) انکار تنوع تعبیر.

موضع هشتم. (۱) پذیرش تنوع قصد، (۲) پذیرش حساسیت مدل به پارادایم، (۳) پذیرش تنوع تعبیر.

حساسیت مدل به پارادایم در بخش گذشته نشان داده شد، به همین خاطر مواضع اول، دوم، پنجم و ششم صحیح نمی‌باشد، هرچند تلقی متعارف برخی از آماردانان، متوجه این نکته نباشد و گمان کنند که مدل‌های آماری ظاهر و ساختار یکسانی دارند.

چنانچه در شکل ۵ گذشت اگر هم‌زمان هم حساسیت مدل پذیرفته شود و هم تنوع تعبیر پذیرفته شود، میان هر مدل خاص و هر هدف خاص یک نگاشت وجود خواهد داشت و بر اساس مواضع چهارم و هشتم وجود مؤلفه استنباطی، شاهدی به نفع رویکرد استنباطی نخواهد بود. به عبارت دیگر به سبب حساسیت مدل به پارادایم، M_e و M_b ، M_f ساختار متمایزی دارند و چون اهداف بازنمایی نیز متفاوت هستند. نتیجه این می‌شود که میان هر مدل و هر هدف یک نگاشت برقرار باشد و این موضع به نفع رویکرد نگاشتی است.

یعنی از مواضع هشت‌گانه، مواضع سوم و هفتم باقی می‌ماند. بنابر موضع سوم، الگوهای استنباط آماری همه برای برآورد پارامترها و مدلیابی هستند و هم‌چنین هدف بازنمایی مدل‌ها، ساختارهای یکسانی دارند. در این حالت اصلاً دخالت مؤلفه‌های تعبیری انکار شده‌اند. چنین وضعیتی در موضع اول نیز وجود دارد. موضع هفتم نیز که از یک سو حساسیت مدل به پارادایم را می‌پذیرد، اما از سوی دیگر منکر تنوع تعبیری است، حالتی ناسازگار دارد. چنین ناسازگاری در موضع سوم نیز وجود دارد.

پذیرش تنوع قصد و انکار تنوع تعبیر چنانچه در مواضع پنجم و هفتم وجود دارد، به این معنا است که هر یک از الگوهای استنباط آماری برای پاسخ به پرسشی خاص است، ولی M_e و M_b ، M_f ساختار متمایزی ندارند؛ اما اهداف بازنمایی متفاوت هستند. این امر به نفع رویکرد استنباطی و علیه رویکرد نگاشتی است.

۵. جمع‌بندی

به‌طور خلاصه، بر پایه مطالب این مقاله دعاوی زیر طرح شد:

الف. بر پایه نوشتگان علمی، دو رویکرد نگاشتی و استنباطی در باب بازنمایی علمی معرفی شد و ضمن صورت‌بندی تناظر ساختاری میان مدل و هدف، این امر در باب مدل‌های آماری به کار بسته شد.

ب. ملاک تمایز رویکرد نگاشتی و استنباطی این است که عامل، نقش مقوم رابطه بازنمایی داشته باشد، یعنی اگر میان مدل و هدف چندین تناظر میان مدل و هدف محتمل باشد، عامل یکی از تناظرها را انتخاب کند. پس تناظر انتخاب‌شده بازنمایی هدف با مدل است. در باب مدل‌های آماری، بحث از قصد از استنباط آماری و تعبیر متغیر تصادفی به

عنوان، مبانی استنباط می‌توانند از مؤلفه‌های تأثیرگذاری عامل در بازنمایی مدل‌های آماری باشد.

پ. پس از معرفی مختصر پارادایم‌های استنباط آماری (بسامدگرا، بیز و شواهدی)، نشان داده شد که مدل‌های آماری به پارادایم‌ها حساس هستند و بازنمایی مدل‌های آماری می‌تواند متنوع باشد. اما نشان داده می‌شود که مدل‌های آماری دو حالت می‌تواند باشد: (۱) مدل استنباط شده با آمار بسامدی، بیز و شواهدی متفاوت نیستند و معادلات یکسان ناشی از یکسانی مدل‌های آماری است، (۲) مدل استنباط شده با آمار بسامدی، مدل استنباط شده بر اساس آمار بیز و مدل استنباط شده با استنباط شواهدی متفاوت هستند.

ت. نحوه بازنمایی مدل‌های آماری شاهدهی له یا علیه رویکرد نگاشتی یا استنباطی نیست. با این حال نقش مدل‌ساز و کاربر مدل در تعبیر مدل‌های آماری غیر قابل‌انکار است. در مدل‌سازی آماری می‌توان اهداف متفاوتی را بازنمایی و در نتیجه نگاشت‌های متفاوتی نیز می‌تواند وجود داشته باشد، خواه این نقش مقوم بازنمایی باشد یا نباشد.

توضیحات

[۱] با فرض این‌که رابطه بازنمایی مفهومی پایه (primitive) نباشد. این دیدگاه‌ها را دیدگاه‌های قائم به ذات (Substantive) نامیده‌اند (Suárez, 2010).

[۲] حتی فیلسوفی که منکر واقع‌نمایی هویت‌های غیرمشاهده‌پذیر است نیز بازنمایی مدل‌ها و نظریه‌های علمی را می‌تواند با تفکیک بازنمایی و تبیین، قبول داشته باشد (Duhem, 1954: 26-32). دامنه اهداف بازنمایی برای یک واقع‌گرا وسیع‌تر از کسی است که نظریه‌ها و مدل‌های علمی را ابزار می‌داند (یعمایی، ۱۳۹۱: ۲۶-۲۷).

[۳] دسته مهمی از مدل‌های آماری برای نمایش و ارزیابی روابط میان متغیرها اختصاص دارد؛ و رابطه میان متغیرهای مستقل و پاسخ را در قالب یک معادله نشان می‌دهند. خاستگاه شیوه‌های مدل‌یابی در این رویکرد محاسبه ضرایب همبستگی است و در این زمینه شیوه‌های تحلیل مسیر (Path analysis)، تحلیل عاملی (Factor analysis) و مدل‌سازی معادلات ساختاری (SEM: Structural Equations Modeling) توسعه یافته است.

منابع

ارقامی، ناصر رضا ۱۳۹۱، «گفتگو در باب مکاتب آماری»، گفتگو کننده: سید محمود طاهری در کتاب نکوداشت دکتر ناصر رضا / ارقامی، انتشارات یازدهمین کنفرانس آمار ایران، تهران: دانشگاه علم و صنعت ایران و انجمن آمار ایران

عاشوری، مهدی و سید محمود طاهری، در دست انتشار، «کاربردپذیری استنباط آماری از منظر بازنمایی مدل‌های علمی»، فصلنامه روش‌شناسی علوم انسانی، قم: پژوهشگاه حوزه و دانشگاه.

عمادی، مهدی ۱۳۸۴، استنباط شاهدگرا (پایان‌نامه دکترای آمار ریاضی)، مشهد: دانشگاه فردوسی مشهد

یغمایی، ابوتراب ۱۳۹۱، بازنمایی علمی در نظریه میدان‌های کوانتمی (پایان‌نامه دکترای فلسفه علم)، تهران: مؤسسه پژوهشی حکمت و فلسفه ایران

یغمایی، ابوتراب و حسین شیخ‌رضایی ۱۳۹۱، «بازنمایی علمی»، دوفصلنامه فلسفه علم، سال دوم، شماره اول، صص ۱۱۵-۱۳۴

- Bandyopadhyay, P. S, Forster, M. R. (Ed) 2011, *Philosophy of statistics: Handbook of Philosophy of Science*, Volume 7, Elsevier.
- Bueno, O. and French S., 2011. "How theories represent", *British Journal of the Philosophy of Science*.
- Contessa, G. 2007. "Scientific representation, interpretation, and surrogative reasoning". *Philosophy of Science*, 74, 48–68.
- Duhem, P. 1954. *The Aim and Structure of Physical Theory*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Edwards, A.W.F., 1972. *Likelihood*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Frigg, R. 2006. "Scientific representation and the semantic view of theories", *Theoria*, No. 50.
- Hesse, M. 1963, *Models and Analogies in Science*. London: Sheed and Ward.
- Howson, C., Urbach, P. 2003. *Scientific Reasoning: the Bayesian Approach*. Chicago: Open Court. Third edition.
- Hughes, R. I. G. 1997. "Models and representation". *Philosophy of Science*, 64, S325–S336.
- Kadane, J.B., M.J. Schervish, and T. Seidenfeld, 1996, "When several bayesians agree that there will be No reasoning to a foregone conclusion", *Philosophy of Science*, 63: S281-S289.
- Roberts, H.V., 1967, "Informative stopping rules and inferences about population size", *Journal of the American Statistical Association*, 62(319): 763–775.
- Royall, R. 1997, *Statistical Evidence. A Likelihood Paradigm*. Chapman & Hall. London.
- Sober, E. 2008, *Evidence and Evolution*, Cambridge University Press.
- Suárez, M. (ed.) 2009, *Fictions in Science. Philosophical Essays on Modelling and Idealisation*, Routledge: London
- Suarez, M. 2010, "Scientific representation", *Philosophy Compass*, 5 (1), 91-101.
- Swoyer, C. 1991. "Structural representation and surrogative reasoning". *Synthese*, 87, 449–508.
- Von Mises, R. 1981, *Probability, Statistics and Truth*, 2nd revised English edition, New York: Dover.
- Woods, J. (ed.) 2010, *Fictions and Models: New Essays*, Munich: Philosophia Verlag.