

بازنمایی مدل‌های آماری؛ دو رویکرد نگاشتی و استنباطی

مهدی عاشوری*

سید محمود طاهری**

چکیده

بسیاری از پژوهش‌های علمی به معرفی و کاربست مدل‌ها به‌ویژه مدل‌های آماری اختصاص یافته است. بنابر رویکرد دلالت‌شناسانه، مدل‌ها چیزی را درمورد 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» است. در این مقاله با بررسی «پارادایم‌های استنباط آماری» دو مؤلفه «تعبیر» و «قصد» شناسایی می‌شود که «آماردان» در مدل‌سازی لحاظ می‌کند. نشان داده می‌شود که مدل آماری و سیستم هدف آن به «تعبیر» 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 شاهدهی به‌نفع رویکرد «استنباطی» در نظر گرفت، یا این‌که این تمایزهای پارادایمی در مدل گنجانده شده‌اند و مؤلفه جداگانه‌ای نیستند و رابطه بازنمایی فقط میان منبع و هدف برقرار است. در این مقاله، دو فرض براساس شقوق ممکن بررسی می‌شود.

کلیدواژه‌ها: مدل آماری، بازنمایی علمی، پارادایم‌های استنباط آماری، فاعل شناسا، تعبیر، قصد.

۱. مقدمه

مدل‌ها در بسیاری از زمینه‌های علمی اهمیتی مرکزی دارند و استفاده از روش‌های آماری در تحقیقات علمی، به‌ویژه در مدل‌سازی، رواج بسیاری دارد. اما این اهمیت به چه دلیل

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

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

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۳/۰۳، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۶/۰۲

است و مدل‌ها چه کاری در علوم انجام می‌دهند؟ فیلسوفان علم، با توجه به اهمیت روزافزون کاربرد مدل‌ها در علم تلاش کرده‌اند، نقش‌های چندگانه‌ای را که مدل‌ها در فعالیت‌های علمی بازی می‌کنند بکاوند. نتیجه این مطالعات گسترش نوشتگان فلسفی درباب گونه‌های مدل است (Hesse 1963; Suárez 2009; Woods 2010). پرسش از چیستی «مدل‌های علمی» از منظرهای گوناگون قابل طرح است. از منظر دلالت‌شناختی پرسش این است که «مدل‌ها چگونه بازنمایی می‌کنند؟». براساس نوشته‌های چند دهه اخیر در فلسفه علم، مدل‌های علمی چیزی را درمورد واقعیت «بازنمایی» (representation) می‌کنند. در اصطلاح آن‌چه بازنماست «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 «نگاشتی» (mapping account) و «استنباطی» (inferential account) درباب چیستی بازنمایی علمی معرفی و ملاک اختلاف آن‌ها طرح و صورت‌بندی می‌شود.

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

بحث از اختلاف‌های پارادایمی می‌تواند این فرض را تقویت کند که «تعبیر متغیر تصادفی» و «قصد آماردان از استنباط آماری» می‌تواند شاهدهی له دیدگاه استنباطی درباب «بازنمایی مدل‌های آماری» باشد. بخش سوم مقاله به شقوق گوناگون 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 درباب به‌کارگیری استنباط آماری در مدل‌سازی علمی و فلسفه روش‌های کمی تحقیق ایجاد می‌کند.

۲. چیستی بازنمایی علمی

«بازنمایی» از مفاهیمی است که طی چند دهه اخیر در حوزه‌های گوناگون 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 می‌توانند کارکرد نظریه‌ها و مدل‌های علمی را

توضیح دهند. در نظریه‌های بازنمایی تلاش می‌شود که مفهوم بازنمایی به مفاهیمی ساده‌تر و آشنا تر 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 (به‌عنوان 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 دهند. این نظریه‌ها به ما پاسخ می‌دهند که منبع بازنمایی علمی یعنی مدل علمی «به‌واسطه چه چیزی» (in virtue of) هدف خود را بازنمایی می‌کند؟ برای مثال به چه دلیل است که یک اقتصاددان با مدلی آماری درباره 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 «استنباطی» درباره چستی بازنمایی علمی معرفی، بررسی، و مقایسه می‌شوند.

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 (بنگرید 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. براساس این نظریه بازنمایی

مدل علمی M واقعیت T را بازنمایی می‌کند، اگر ساختار آن را «در برداشته باشد» و «بنگارد». این «در برداشتن» (embracing) و «نگاشت» با تعریف ساختارگرایانه از شباهت فراهم می‌شود. بر این اساس، بازنمایی علمی چنین 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. بنابراین تعریف زیر ارائه می‌شود:

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

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

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.

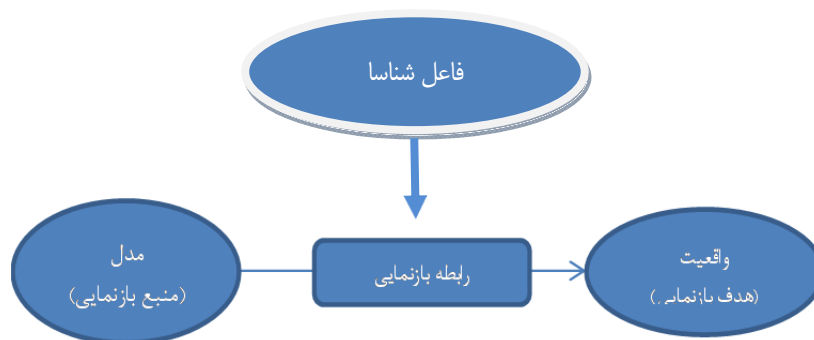
مثال ۱. فرض کنید در مطالعه «اثر رادیودارو بر سرطان ریه» معادله M_1 به دست آمده است. T_1 نیز «میانگین اثرات دارو بر بیماری در جمعیت» است. مدل M_1 دارای اجزایی مانند Y و A است که رابطه R میان آن‌ها با پارامترهای β_0 و β_1 نشان داده می‌شود. T_1 نیز اجزائی مانند «بهبود یافتن یا بهبود نیافتن سرطان» و «درمان شدن یا درمان نشدن با دارو» 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.

باتوجه به تعریف بالا آشکار می‌شود 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 او نمی‌شود و بازنمایی رابطه‌ای عینی میان دو ساختار است که مستقل از حضور یا شناخت عامل است.

۲.۲ رویکرد استنباطی در بازنمایی علمی

درمقابل رویکرد بالا برخی از فیلسوفان علم بازنمایی را رابطه‌ای عینی و مستقل از عامل شناختی نمی‌دانند. این رویکرد شامل دیدگاه‌های مختلفی است که ذیل عنوان «دیدگاه

استنباطی» قرار می‌گیرند. براساس 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 درکل برای تأمین اهداف شناختی خویش درباره جهان بهره‌بردار (Contessa 2007; Hughes 1997; Suarez 2003; Frigg 2006; Swoyer 1991). براساس این رویکرد، رابطه تناظر ساختاری میان مدل و هدف برای بازنمایی کافی نیست، و حتی از نظر برخی استنباط‌گرایان شرط لازم برای بازنمایی نیز نیست. 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 ۲. طرف‌های رابطه بازنمایی بنابر رویکرد استنباطی

باتوجه به نکته بالا 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 باتوجه به ویژگی‌های **M** ویژگی‌هایی را در مورد **T** استنباط (یا فهم) کند و در این امر موفق باشد.

براساس این تعریف، «کارکردهای شناختی» چون قصد، فهم، تعبیر، استنباط، و مانند آن باید «قوم‌بخش» (constituent) رابطه بازنمایی باشد.

مثال ۲. در مثال رادیودارو 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 اثر دارو در درمان» توسط «یک مدل آماری» صرف وجود رابطه یک‌ریختی میان اجزای این دو ساختار کافی نیست، بلکه این تناظر باید از سوی یک عامل انتخاب یا تعبیر شود تا بازنمایی قوام یابد.

طرفداران رویکرد نگاشتی نیز باور دارند که رابطه بازنمایی از سوی 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 دارد و در نتیجه بازنمایی نمی‌تواند رابطه‌ای عمومی باشد.

۳.۲ تمایز رویکرد استنباطی و رویکرد نگاشتی

بازنمایی علمی از دیدگاه استنباطی رابطه‌ای سه‌گانه است: $R_s(M, T, f)$. یعنی برای تحقق بازنمایی به سه «رابط» نیاز است: مدل، هدف، و انتخاب نگاشت از سوی عامل. در حالی که رابطه بازنمایی در دیدگاه نگاشتی رابطه دوطرفه $R_s(M, T)$ است و تحقق بازنمایی فقط 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 کرد؟ 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 می‌شود. 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 به‌بار آورد و تغییر در نگاشت منجر به تغییر در بازنمایی شود، 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 براساس مجموعه‌ای از داده‌ها معادله $Y = \beta_0 + \beta_1 A$ با استفاده از روش رگرسیون و با هدف بازنمایی «میانگین اثر رادیودارو در 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 در 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 و بهبودی» باشد نگاشت متناظر با خطی بودن (R_i) را انتخاب کرده است و این انتخاب پذیرفتنی است و انتخاب مدل‌ساز یکی از عناصر مقوم این بازنمایی است.

در ادامه این مقاله رابطه بازنمایی در «مدل‌های آماری» را از این منظر بررسی خواهیم کرد که آیا در فرایند استنباط آماری آماردان و محقق نیز در رابطه بازنمایی مدل آماری نقش مقوم دارند 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 بررسی شده است (عاشوری و طاهری در دست انتشار).

۳. پارادایم‌های استنباط آماری

در مدل‌سازی پدیده‌ها استفاده از «مدل‌های آماری» یکی از رایج‌ترین رویکردهاست. مدل‌سازی آماری مبتنی بر این فرض است که در برخی از موضوعات و مفاهیم علمی و کمی کردن آن‌ها مؤلفه «حتمی نبودن» وجود دارد و آن‌ها را باید متغیرهای تصادفی لحاظ کرد و پژوهش‌گر باید ویژگی‌های «جامعه آماری» را براساس «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. از این منظر دوباره به مثال رابطه رادیودارو و درمان سرطان توجه می‌کنیم.

مثال ۴. مدل آماری: برای مطالعه رابطه مداخله (درمان شدن یا درمان نشدن با دارو) با پیامد (بهبودیافتن یا بهبودنیافتن سرطان) استفاده از استنباط پارامتری معمول‌ترین روش است. چنانچه نماد A را برای متغیر مداخله و نماد Y را برای متغیر پیامد در نظر بگیریم،

آن‌گاه از معادله $E[Y|A]=\beta_0+\beta_1A$ برای تحلیل داده‌ها استفاده می‌شود که در آن β_0 و β_1 پارامترهایی‌اند که باید به آن‌ها مقداری نسبت داد و فنون آماری «برآورد» متکفل این بحث است. هم‌چنین با استفاده از «آزمون‌های فرضیه» می‌توان بررسی کرد 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 عبارت‌اند از: ۱. آمار بسامدی (فراوانی‌گرا)، ۲. آمار بیزی، و ۳. استنباط شواهدی (Bandyopadhyay and Forster 2011). برخی از محققان اختلاف این سه رویکرد را در هدفی می‌دانند که از استنباط دنبال می‌شود (ارقامی ۱۳۹۱؛ Royal 1997). برای روشن‌شدن موضوع، تفاوت این سه پارادایم را در مبحث آزمون فرضیه‌های آماری توضیح می‌دهیم. در مبحث آزمون فرضیه، هرکدام از پارادایم‌های استنباط آماری به یکی از پرسش‌های زیر پاسخ می‌دهد.

الف) باتوجه به داده چه عملی باید انجام دهیم؟

ب) باتوجه به شواهد باید به چه فرضیه‌ای و به چه میزان باور داشته باشیم؟

ج) شواهد در مورد فرضیه H و نقیض آن چه می‌گویند؟

براساس نگاه بالا آمار 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 شما پزشک فردی مشکوک به سرطان سل هستید. گزارش آزمایش تشخیص طبی «سل» «مثبت» است. شما چه نتیجه‌ای خواهید گرفت؟ پاسخ هریک از سه رویکرد چنین است:

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

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

ج) در این مسئله دو فرضیه قابل طرح است: ۱. فرد سل دارد؛ ۲. فرد سل ندارد. بنابراین استنباط شواهدی، گزارش آزمایش از فرضیه بیمار دانستن فرد بیش‌تر پشتیبانی می‌کند و شما می‌توانید، براساس گزارش‌ها و مشاهدات، قوت شواهد له یا علیه هر فرضیه را اندازه‌گیری و گزارش کنید (عمادی ۱۳۸۴: ۱۴؛ 4-5: Sober 2008).

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

۱.۳ آمار کلاسیک یا بسامدگرا

این ایده که احتمالات بیان‌کننده‌ی وضعیت‌شانسی امور و مبتنی بر فرایندهای تصادفی‌اند 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 محقق (realized) کرده‌اند. به چنین تعبیرهایی از احتمال تعبیرهای عینی یا فیزیکی گفته می‌شود. ویژگی کلیدی رویکرد بسامدی مشاهده‌پذیری و تکرارپذیری رویدادهای مورد مطالعه است. براساس تعبیری که «فون میزس» بسط داده 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 براساس 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. لازمه‌ی این مفروض تکرارپذیری «نمونه» است؛

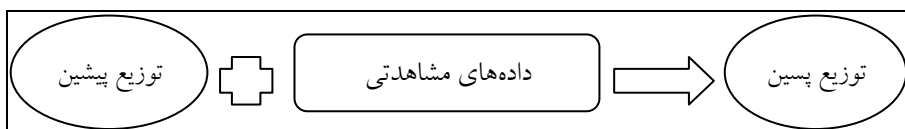
ج) آنچه در یک مدل آماری «تصادفی» است و از یک تابع توزیع پیروی می‌کند «متغیر»های مدل است. پارامترهای یک مدل مقداری ثابت (البته گاهی مجهول) هستند؛

د) کارکرد استنباط آماری «مدل‌یابی» است و فرضیه‌های مرتبط با مدل درست یا خطا هستند. یکی از امور مهم در آزمون‌های آماری کنترل خطای نوع اول و یا نوع دوم است؛ (و) ابزارهای آمار بسامدی فقط 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 یا موضوع‌های برآورد، آزمون فرضیه، و مدل‌سازی توسعه داده‌اند که روش‌های رایج و مسلط در پژوهش‌های علمی را تشکیل می‌دهد؛ اما ازدید فلسفه آمار، مشکلات و ناسازگاری‌هایی در رویکرد بسامدگرا ایجاد می‌شود. یکی از این مشکلات ناسازگاری ایده بسامدگرایی با اصل درست‌نمایی (likelihood principle) است (Roberts 1967; Kadane et al., 1996; Howson and Urbach 2003). در میان پاسخ‌های متعدد به این مشکل، «آمار شواهدی» براساس بازتعبیر «اثر شواهدی داده‌ها» (the evidential impact of data) تلاش می‌کند روش‌های استنباط را با اصل درست‌نمایی سازگار کند.

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 تمایزهای ظریفی نیز با هم دارند. ایده اصلی بیزگرایی در استنباط آماری این است که پارامترهای یک تابع توزیع خود متغیری تصادفی‌اند و دارای توزیع احتمال، موسوم به «توزیع پیشین» (prior distribution)، هستند و آماردان براساس 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 ۳. مؤلفه‌های اصلی استنباط در آمار بیز

به‌اختصار، ایده‌های اصلی پارادایم بیز عبارت‌اند از:

الف) در آمار بیز «دانش پیش‌زمینه» پژوهش‌گر اهمیت بسیار دارد و پژوهش‌گر آن را به‌صورت «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 براساس شناخت پیشین پژوهش‌گر ساخته و اصلاح می‌شوند؛

ج) در آمار بیز نه تنها «متغیرهای» های مدل، که حتی پارامترهای آن نیز کمیت‌هایی تصادفی‌اند؛

د) درحالی‌که 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

همان‌گونه‌که گفتیم، یکی از ره‌یافت‌های مواجهه با مشکلات روش‌های آمار فراوانی‌گرا با اصل درست‌نمایی بازتعبیر آن روش‌ها براساس ارتباط اثر شواهدی داده‌هاست. در این ره‌یافت رابطه مدل‌های آماری با باور نیز مشخص می‌شود. این ره‌یافت با عنوان «آمار شواهدی» یا «پارادایم درست‌نمایی» شناخته می‌شود و معتقد است، در هر دو رویکرد فراوانی‌گرا و بیز، به داده‌ها و نیز به محتوای تابع درست‌نمایی آن‌چنان‌که شایسته است توجه نمی‌شود.

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

براساس این رویکرد، نسبت‌های درست‌نمایی (likelihood ratios) احتمالات ذهنی نیستند که «معناداری علمی» روابط شواهد را توضیح دهند. اطلاعات استنباط‌شده 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 با تابع درست‌نمایی مشخص می‌شود. ایده‌های اصلی این پارادایم از این قرار است:

الف) تابع درست‌نمایی را برای فهمیدن آنچه داده‌ها می‌گویند باید تعبیر کرد و نباید آن را به احتمالات اشخاص معطوف کرد؛

ب) بنابر قانون درست‌نمایی شواهد یک داده درمورد یک فرضیه دارای شدت و ضعف است؛

ج) احتمال ذهنی یک فرد به یک فرضیه صرفاً بازتاب میزان اطمینان‌ناداشتن او درمورد آن حقیقت است و او به شواهد نیاز دارد؛

د) نسبت‌های درست‌نمایی احتمالات ذهنی نیستند که «معناداری علمی» روابط شواهد را توضیح دهند. اطلاعات استنباط‌شده 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 احتمالات‌اند؟

۴.۳. تنوع پارادایمی و بازنمایی مدل‌های آماری

براساس آنچه تاکنون درمورد پارادایم‌های آمار گفتیم، اختلاف این پارادایم‌ها در دو امر است: ۱. پارادایم کلاسیک و شواهدی تعبیری عینی و مبتنی بر فراوانی از متغیر تصادفی در مدل‌های آماری دارند، درحالی‌که تعبیر آمار بیز از متغیر تصادفی مبتنی بر تعبیری ذهنی از احتمال است؛ ۲. «قصد» هر یک از پارادایم‌های آمار استفاده از استنباط آماری متفاوت است: الف) بنابر آمار کلاسیک استنباط آماری به پرسش از تصمیم معقول مبتنی بر داده‌ها پاسخ می‌دهد؛ ب) آمار بیز با استفاده از داده‌های آماری باور به فرضیه را «به‌روز» می‌کند و نتیجه آن باور معقول است، ولی ج) قصد آمار شواهدی از استفاده از استنباط آماری بررسی نسبت پشتیبانی فرضیه با شواهد آماری است. پس در این‌که شما چه پارادایمی را برای استنباط آماری برمی‌گزینید مؤلفه‌ای کارکردی و استنباطی را در مدل‌سازی خویش وارد می‌کنید. اما براساس 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 درمیان مدل آماری و هدف آن می‌توان مدعی شد که چند نگاهت وجود دارد و با انتخاب پارادایم، یکی از نگاهت‌ها انتخاب و متعین می‌شود؟

در این مرحله پرسش اول بررسی می‌شود؛ یعنی براساس اصول مطرح در هر پارادایم، مدل‌های استنباط‌شده 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 رگرسیونی بررسی می‌کنیم. یک مدل رگرسیونی از چهار دسته مؤلفه تشکیل می‌شود که عموماً از علائم زیر برای نشان‌دادن آن‌ها استفاده می‌شود:^۳

X_i : متغیرهای مستقل برای نشان‌دادن مقدار علت‌ها یا مداخله‌گرها؛

Y_i : متغیرهای وابسته برای نشان‌دادن مقدار اثر علی؛

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

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

مثال ۷. یک پژوهش در حوزهٔ تعلیم و تربیت را در نظر بگیرید که متغیرهای آن از این

قرار 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 پس‌ماند توانایی روخوانی	مزاحم
R_2	خطای پس‌ماند توانایی گفتاری	مزاحم
R_3	خطای پس‌ماند توانایی نوشتاری	مزاحم

روابط میان مفاهیم در مدل کیفی به شیوه‌های گوناگون قابل طراحی است؛ با روش‌های متعارف تحلیل رگرسیونی خطی، یک سیستم معادلات مانند سیستم زیر پیش‌نهاد می‌شود که ضرایب معادلات باید براساس 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 اجزای ساختاری X_i, Y_i, R_i, a_{ij} و رابطه R میان این اجزا (دستگاه معادلات بالا) وجود دارد، که ادعا می شود واقعیت T با اجزای $X'_i, Y'_i, R'_i, a'_{ij}$ و رابطه L میان این اجزا (روابطی از مداخلات و تأثیر و تأثر علی) را بازنمایی می کند، اگر و تنها اگر،
 $f(A)=A'$ and $f(B)=B'$; $L(f(A), f(B))=R(K(A,B))$

در مدل بالا می توان میان متغیرها و معادلات با روابط مفاهیم علمی تناظری برقرار کرد، اما آیا فقط یک نگاشت میان این «سیستم معادلات» به مثابه «منبع بازنمایی» و «روابط میان امور» به مثابه «هدف بازنمایی» وجود دارد؟ در این مقاله نشان می دهیم که عنصر «تعبیر» و «قصد» در «پارادایم های استنباط آماری» سبب می شود که یک مجموعه معادلات با ساختاری مشابه بر امور گوناگون دلالت کند.

بر اساس این که چه پارادایمی از استنباط آماری برای برآورد پارامترها و آزمون های فرضیه استفاده شود دلالت شناسی مفاهیم و معرفت شناسی آن متفاوت خواهد بود. دلالت شناسی آن به صورت خلاصه در جدول ۲ طرح می شود.

جدول ۲. دلالت شناسی مفاهیم مدل های 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 به روز شده براساس داده ها	میزان بسامد ویژگی در شیء	مدلول	تصادفی
a_{ij}	----	a_{ij}	نام	پارامتر
مقداری مجهول که باید براساس شواهد برآورد شود	----	مقداری مجهول که باید براساس داده ها برآورد شود	مدلول	

توضیح این که تعبیر مفاهیم در آمار بیزی دانش و باور محقق است که در قالب توزیع پیشین عرضه و براساس داده ها به روز می شود. در آمار بیزی ضرایب a_{ij} نیز متغیرهای تصادفی تلقی می شوند. بنابراین مدل های رگرسیونی استنباط شده از پارادایم های گوناگون با وجود شباهت جبری معادله ها روابط بازنمایی متفاوتی دارند که از نظر فیلسوف علم این اختلاف می تواند ناشی از دو حالت باشد:

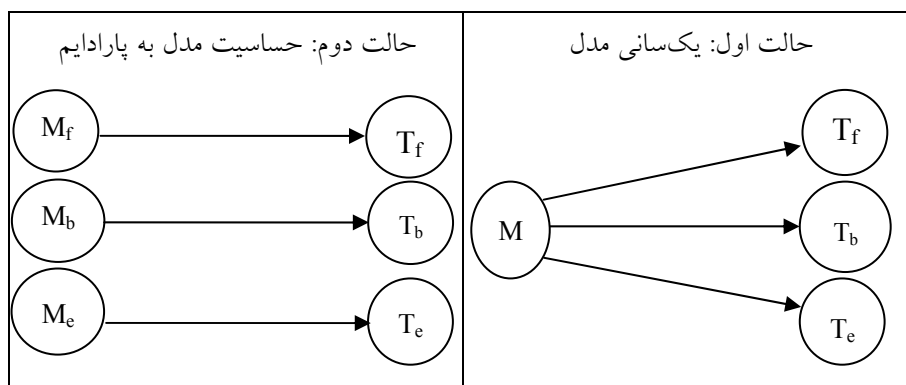
الف) اهداف بازنمایی T_e, T_b, T_f و لی این تنوع ناشی از سه مدل متفاوت از نظر ساختاری نیست، بلکه اختلاف در بازنمایی به سبب تفسیر پژوهشگر از ساختار یک سان منبع M است؛

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

در هر دو حالت، اهداف بازنمایی متفاوت‌اند:

در حالت اول یک منبع بازنمایی وجود دارد که عنصر «تعبیر» در تولید مدل سبب ایجاد سه نگاشت به سه هدف شده است؛

در حالت دوم عنصر «تعبیر» در تولید مدل سبب شده است که سه مدل ساخته شود، ولی میان هر مدل و هر هدف فقط یک نگاشت وجود دارد.



شکل ۴. 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 و M_b ، M_f ساختار متفاوتی دارند، زیرا مبانی و تکنیک‌هایی که در برآورد پارامترها و ارزیابی هر مدل استفاده شده است متمایز از الگوی دیگر است.

۴. مواضع درباب بازنمایی مدل‌های آماری

حال به پرسش اصلی این مقاله می‌پردازیم: تنوع تعبیری مدل‌های آماری به نفع کدامیک از رویکردهای بازنمایی علمی (نگاشتی و استنباطی) استشهاد می‌کند؟ برای پاسخ به این پرسش علاوه بر دو حالت بالا باید به این نکته نیز توجه شود که آیا الگوهای استنباط آماری سه رویکرد مستقل برای پاسخ به سه پرسش‌اند؟ 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 مدل‌یابی‌اند. (انکار تنوع قصد در استنباط آماری)	هریک از الگوهای استنباط آماری برای پاسخ به پرسشی خاص است (پذیرش وجود عنصر قصد در استنباط آماری)
۲	M_e, 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)

براساس نکات بالا هشت موضع تصورپذیر است:

موضع اول: 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.

در بخش قبلی حساسیت مدل به پارادایم نشان داده شد، به همین سبب مواضع اول، دوم، پنجم، و ششم صحیح نیستند، حتی اگر برخی از آماردانان با تلقی متعارف متوجه این نکته نباشند و گمان کنند که مدل‌های آماری ظاهر و ساختار یک‌سانی دارند.

چنان که در شکل ۴ 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 براساس مواضع چهارم و هشتم وجود مؤلفه استنباطی شاهدهی به‌نفع رویکرد استنباطی نخواهد بود. به عبارت دیگر، به سبب حساسیت مدل به پارادایم، M_e ، M_b ، M_f و M_e ساختار متمایزی دارند و چون اهداف بازنمایی نیز متفاوت اند. نتیجه این می‌شود که میان هر مدل و هر هدف یک نگاشت برقرار باشد و این موضع به‌نفع 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 اند 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 و 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، چنان‌که در مواضع پنجم و هفتم وجود دارد، به این معنا است که هر یک از الگوهای استنباط آماری برای پاسخ به پرسشی خاص است. M_f ، M_e و M_b ساختار متمایزی ندارند، اما اهداف بازنمایی متفاوت‌اند. این امر به‌نفع رویکرد استنباطی و علیه رویکرد نگاشتی است.

۵. نتیجه‌گیری

به‌طور خلاصه، برپایه مطالب این مقاله دعاوی زیر طرح شد:

الف) برپایه نوشته‌های علمی، دو رویکرد نگاشتی و استنباطی درباب بازنمایی علمی معرفی شدند و ضمن صورت‌بندی تناظر ساختاری میان مدل و هدف، این امر درباب مدل‌های آماری به کار بسته شد؛

ب) ملاک تمایز رویکرد نگاشتی و استنباطی این است که عامل نقش مؤقوم 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. درباب مدل‌های آماری، بحث قصد از استنباط آماری و تعبیر متغیر تصادفی به‌مثابه مبانی استنباط می‌توانند از مؤلفه‌های اثرگذاری عامل در بازنمایی مدل‌های آماری باشد؛

ج) پس از معرفی مختصر پارادایم‌های استنباط آماری (بسامدگرا، بیز، و شواهدی) نشان داده شد که مدل‌های آماری به پارادایم‌ها حساس اند و بازنمایی مدل‌های آماری می‌تواند متنوع باشد. اما نشان داده می‌شود که مدل‌های آماری دو حالت می‌تواند باشد: ۱. مدل استنباط‌شده با آمار بسامدی، بیز، و شواهدی متفاوت نیستند و معادلات یک‌سان ناشی از یک سانی مدل‌های آماری است؛ ۲. مدل استنباط‌شده با آمار بسامدی، مدل استنباط‌شده براساس آمار بیز، و مدل استنباط‌شده با استنباط شواهدی متفاوت‌اند؛

د) نحوه بازنمایی مدل‌های آماری شاهدهی له یا علیه رویکرد نگاشتی یا استنباطی نیست. باین حال نقش مدل‌ساز و کاربر مدل در تعبیر مدل‌های آماری انکارناپذیر 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.

پی‌نوشت‌ها

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 (یغمایی 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.

کتاب‌نامه

ارقامی، ناصررضا (۱۳۹۱)، «گفت‌وگو درباب مکاتب آماری»، گفت‌وگوکننده: سیدمحمود طاهری در کتاب نکوداشت دکتر ناصر رضا ارقامی، یازدهمین کنفرانس آمار ایران، تهران، دانشگاه علم و صنعت ایران و انجمن آمار ایران.

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

بازنمایی مدل‌های آماری؛ دو رویکرد نگاشتی و استنباطی ۱۰۱

عمادی، مهدی (۱۳۸۴)، *استنباط شاهدگر*، پایان‌نامه دکتری آمار ریاضی، مشهد: دانشگاه فردوسی مشهد.
یغمایی، ابوتراب (۱۳۹۱)، *بازنمایی علمی در نظریه میدان‌های کوانتومی*، پایان‌نامه دکتری فلسفه علم، تهران: مؤسسه پژوهشی حکمت و فلسفه ایران.
یغمایی، ابوتراب و حسین شیخ‌رضایی (۱۳۹۱)، «بازنمایی علمی»، *دوفصل‌نامه فلسفه علم*، س ۲، ش ۱.

- Bandyopadhyay, P. S., and M. R. Forster (eds.) (2011), *Philosophy of Statistics: Handbook of Philosophy of Science*, vol. 7, Elsevier.
- Bueno, O. and S. French (2011), "How theories represent", *British Journal of the Philosophy of Science*, vol. 62.
- Contessa, G. (2007), "Scientific Representation, Interpretation, and Surrogate Reasoning", *Philosophy of Science*, vol. 74.
- 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. and P. Urbach (2003), *Scientific Reasoning: The Bayesian Approach*, Chicago: Open Court, Third edition.
- Hughes, R. I. G. (1997), "Models and Representation", *Philosophy of Science*, vol. 64.
- 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*, vol. 63.
- Roberts, H.V. (1967), 'Informative Stopping Rules and Inferences about Population Size', *Journal of the American Statistical Association*, vol. 62.
- Royall, R. (1997), *Statistical Evidence: A Likelihood Paradigm*, London: Chapman & Hall.
- Sober, E. (2008), *Evidence and Evolution*, Cambridge University Press.
- Suarez, M. (2010), "Scientific representation", *Philosophy Compass*, vol. 5, no. 1.
- Suárez, M. (ed.) (2009), *Fictions in Science, Philosophical Essays on Modelling and Idealisation*, London: Routledge.
- Swoyer, C. (1991), "Structural representation and surrogate reasoning", *Synthese*, vol. 87.
- 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.

