

منطق و روش علمی

نادر نورزایی

دسامبر، ۲۰۲۰

مقدمه

این نوشته نگاهی کلی به منطق و روش علمی است. به بحث‌های معرفت‌شناسی و چالش‌های دیگر که شامل فلسفه ای علوم است نمی‌پردازد. جزئیات روش علمی و مسائل تکنیکی و ریاضیاتی آنها هم در این جا مطرح نیست و این بحث‌ها از حوصله ای یک مقاله بیرون است. با وجود این، امیدوارم برای خواننده با این نگاه کلی تصویر کلی از روش علوم تجربی ترسیم شده باشد.

برهان و استدلال معمولاً به دو دسته تقسیم می‌شود، استقرا (induction) و قیاس (deduction). استدلال قیاسی با مجموعه ای از جملات اخباری یا عبارت‌ها که مقدمه نامیده می‌شوند شروع می‌شود و از آن مقدمات برای استنتاج عبارت دیگری استفاده می‌شود که نتیجه نام دارد. به این نوع استدلال گاهی استدلال از بالا به پایین و از کل به جز همه گفته می‌شود. استدلال قیاسی برهانی است که نتیجه اش باید صحیح باشد، اگر مقدمات اش صحیح باشند. و یا به عبارت دیگر، یک برهان قیاسی است اگر ناممکن باشد که نتیجه اش غلط باشد، در صورتی که مقدمات اش صحیح باشند. در استدلال استقرایی، از مشاهدات و تجارب برای تعمیم استفاده می‌شود. به این نوع استدلال از پایین به بالا و یا از جز به کل هم گفته می‌شود. استدلال استقرایی برهانی است که نتیجه اش ضروری نیست با در نظر داشت مقدمات اش. نتایج استدلال استقرایی کم و بیش محتمل است با در نظر داشت مقدمات اش. با در نظر داشت یک سری مقدمات، احتمال یک نتیجه را احتمال استقرایی می‌گوییم. احتمال استقرایی یک استدلال قیاسی حد اکثر است، یعنی مساوی به ۱ است. (احتمال از نگاه ریاضی در مقیاسی بین صفر و یک اندازه‌گیری می‌شود. احتمال ۱ یعنی حتمی و ضروری، احتمال صفر یعنی ناممکن). احتمال استقرایی یک برهان استقرایی همیشه کمتر از ۱ است.

گرچه برهان قیاسی و استقرایی از نگاه نظری از هم قابل تفکیک اند، اما برای فهم نحوه استدلال مردم در زندگی روزمره مفید نیست. در زندگی روزمره جریان استدلال شامل عبور مکرر بین استدلال‌های استقرایی و قیاسی است. فرضیه‌ها و باورهای ما در باره جهان راهنمای مشاهدات ما است، در حالیکه مشاهدات ما معمولاً موجب تصحیح و یا تعدیل باورها و فرضیه‌های ما می‌شود (بهتر بگوییم باید بشود).

استدلال‌های استقرایی به دو نوع تقسیم می‌شوند. یک نوع آن از این حرکت می‌کند که جهان یا بخشی از آن قانونمند است. نوع دیگر از استدلال استقرایی که از قانونمندی جهان حرکت نمی‌کند را استدلال آماری (قیاس آماری) می‌نامیم. مقدمات یک استدلال آماری فقط به دلایل آماری و ریاضیاتی از نتیجه ای استدلال پشتیبانی می‌کنند. نوع اول را که نیاز به قانونمندی جهان دارند را استدلال‌های هیومی می‌گوییم. گرفته شده از نام دیوید هیوم (۱۷۱۱ - ۱۷۷۶)، فیلسوف اسکاتلندی، که این نوع استدلال را به شکل گسترده مورد تحقیق قرار داد.

مثلاً استدلال ذیل آماری است:

۸۵ فی صد از محصلین صنف اول پوهنتون بیشتر از سطح صنف هفتم مکتب، ریاضی بلد اند.

محمود محصل صنف اول دانشگاه است.

بنابراین محمود بیشتر از سطح صنف هفتم ریاضی بلد است.

نتیجه‌گیری این استدلال با در نظر داشت مقدمات از نگاه آماری محتمل است.

تعمیم آماری

قیاس آماری مبنی بر آماری که مربوط به مجموعه ای از افراد می‌شود به نتیجه ای محتمل در مورد عضوی از این مجموعه استنباط می‌کند. تعمیم آماری بر عکس از آماری حرکت می‌کند که زیر مجموعه ای (نمونه) تصادفی (random) از مجموعه ای از افراد است و به نتیجه ای محتمل در مورد ترکیب مجموعه به طور کل می‌رسد. این همان نوع استدلال است که از یک نظر سنجی همگانی نتیجه ای عمومی را استنباط می‌کند.

استقرا مبنی بر تشابه و تمثیل

یکی دیگر از استدلال‌های هیومی، استدلال مبنی بر تمثیل (analogy) است. در این نوع استدلال مشاهده می‌کنیم که یک شی "ایکس" خاصیت‌های مختلف خ_۱، خ_۲، خ_۳، ...، خ_n را با شی دیگری "وای" مشترک دارد. همچنان مشاهده می‌کنیم که "وای" یک خاصیت اضافی مثلاً "زید" دارد. چون "ایکس" و "وای" از بسیاری جهات شبیه هم‌اند، ما محتمل می‌دانیم که "ایکس" هم این خاصیت را داشته باشد. شکل عمومی استدلال تمثیلی را می‌توانیم اینطور بیان کنیم:

ایکس خ_۱ ^ ایکس خ_۲ ^ ... ^ ایکس خ_n

وای خ_۱ ^ وای خ_۲ ^ ... ^ وای خ_n

وای زید

بناءً

ایکس زید

در اینجا "ا" علامت "و" در منطق سمبولیک است.

استدلال‌های تمثیلی مانند همه‌ای استدلال‌های استقرایی به مقابل شواهد مغایر آسیب‌پذیر اند. اگر کدام شواهدی که مغایر به استدلال تمثیلی است، نا دیده گرفته شود، قاعده‌ای در نظر گرفتن شواهد کامل، مد نظر گرفته نشده است و باید استدلال رد شود.

روش جان استوارت میل (۱۸۰۶-۱۸۷۳)

اکثر اوقات ما می‌خواهیم علت یک اثر (معلول) مشاهده شده را دریابیم. از نگاه منطقی، این یک جریان دو مرحله‌ای است. در مرحله‌ای اول ما لیستی از علت‌هایی را که گمان می‌کنیم شامل علتی که ما دنبال آن هستیم است را ترتیب می‌کنیم. در مرحله‌ای دوم با مشاهده تمام علت‌ها، علت‌های نا مناسب را از لیست می‌کشیم. اگر بتوانیم این لیست را به یک فقره تقلیل دهیم، می‌توانیم ادعا کنیم که این احتمالاً علت اثر مشاهده شده است.

توجه مرحله‌ای اول، یعنی شواهدی که علت واقعی شامل لیست حدس زده‌ای ماست، معمولاً استقرایی است. استدلال حذف‌کننده مرحله‌ای دوم قیاسی است. چون هر دو استدلال استقرایی و قیاسی شامل برهان ماست، در کل استدلال استقرایی گفته می‌شود.

لیست علت‌های حدس زده را ما از راه استقرا، معمولاً تشابهی-تمثیلی بدست می‌آوریم. مثلاً اگر ما می‌خواهیم علت یک مرض نو ظهور را پیدا کنیم، می‌بینیم که این مرض به امراضی که ما از قبل می‌شناسیم چه شباهت‌هایی دارد. ما امراضی را که این مرض به آنها بیشتر شبیه است را لیست می‌کنیم و با استفاده از استدلال تمثیلی نتیجه می‌گیریم که علت این مرض جدید احتمالاً شبیه علت امراضی است که مرض تحت بحث، به آنها شبیه است. این برای ما یک محدوده‌ای از علت‌های حدس زده شده را بدست می‌دهد.

فرض کنیم که امراض شناخته شده که شبیه این مرض جدید اند همه عفونی از نوع ویروسی اند. علت‌های گمان برده ویروسی خواهند بود. مشاهده‌ای نزدیک مریضان مصاب شده نشان خواهد داد که چه نوع ویروس‌هایی در نسج‌شان موجود است. ما نتیجه می‌گیریم که علت واقعی مرض جدید احتمالاً یکی از این ویروس‌ها است. این ویروس در واقع لیست علت‌های حدس زده‌ای ما را می‌سازد.

در این مرحله تحقیقات ما نیمه تمام است. چون ممکن است ما چندین نوع ویروس در نسج مریض یافته باشیم. برای اینکه بدانیم کدام یک از این ویروس‌ها علت واقعی مرض است، ما از یک روش قیاسی استفاده می‌کنیم برای اینکه هرچه بیشتر از ویروس‌های لیست را حذف نماییم. نوع جریان حذف نمودن مربوط به این می‌شود که ما دنبال چه نوع علتی می‌باشیم.

در اینجا از ۴ نوع علت و طرز حذف‌شان صحبت می‌کنیم و برای هر یک، نوع ویژه‌ای از حذف را معرفی می‌کنیم. روش‌های حذف را فیلسوف، منطق دان و نظریه پرداز لیبرالیزم در قرن هژدهم، جان استوارت میل مطرح کرده است.

میل در واقع ۵ نوع حذف را معرفی کرده ولی این نوع پنجم (روش باقیمانده) مربوط به کدام علت مشخص نمی شود و ما از آن صرف نظر می کنیم. حالا لازم است که انواع علت ها که روش های میل به آنها می پردازند را معرفی کنیم.

اول: علت ضروری است که به آن شرط علی ضروری هم می گویند. علت ضروری برای یک واقعه شرطی است که برای ایجاد اش ضروری است. اگر "الف" علت ضروری "ب" باشد، پس "ب" هیچگاه بدون "الف" به وقوع نخواهد پیوست. گرچه ممکن است که "الف" به وقوع بپیوندد بدون اینکه "ب" صورت گیرد. به طور مثال باسیل توبرکلوز علت ضروری مرض توبرکلوز است. توبرکلوز هیچگاه بدون این باسیل ایجاد نمی شود، ولی ممکن است که باسیل در کسانی موجود باشد بدون اینکه آنها به توبرکلوز مصاب شوند.

یک اثر ممکن است چندین علت ضروری داشته باشد. آتش به طور مثال سه شرط ضروری برای ایجاد اش لازم دارد. سوخت، آکسیژن و حرارت.

دوم: علت کافی یا شرط علی کافی است. شرط "الف" یک علت کافی برای "ب" است اگر حضور "الف" حتمی به "ب" بیانجامد. اگر "الف" علت کافی برای "ب" باشد، پس "الف" هرگز بدون "ب" نخواهد بود. گرچه ممکن است که "ب" واقع شود بدون اینکه "الف" واقع شده باشد. به طور مثال با رابطه به حیوانات رده ای بالا، بریدن سرشان علت کافی برای مرگ شان است. ولی عکس اش صدق نخواهد داشت. علت های دیگر علاوه بر سربریدن می توانند علت مرگ باشند.

یک اثر می تواند چندین علت کافی داشته باشد. در پهلوی سربریدن، فقدان آکسیژن، فقدان غذا و آب برای مدت لازم و غیره علت های کافی برای مرگ یک حیوان است.

سوم: بعضی شرایط هم علت ضروری و هم کافی برای وقوع یک اثر است. به طور مثال وجود جسم با جرم هم ضروری و هم کافی برای ایجاد یک ساحه ای جاذبه است. بدون جرم ساحه ای جاذبه وجود نخواهد داشت. وجود جرم باعث ساحه ای جاذبه است. این به معنای تجربه ای ساحه ای جاذبه نیست. در مسیر های معین نسبت به ساحه ای جاذبه، بی وزنی ایجاد می شود ولی ساحه وجود دارد.

چهارم: این رابطه ای علی به مفهوم وابستگی علی یک کمیت متغیر از کمیت متغیر دیگری است. یک کمیت متغیر "ب" از نگاه علی وابسته به کمیت متغیر "الف" است، اگر تغییر در "الف" همیشه همراه با تغییر در "ب" باشد. به طور مثال، روشنی ظاهر یک جسم درخشان رابطه ای معکوس با مربع فاصله از آن جسم دارد. یعنی "ب" یک کمیت متغیر است که وابستگی علی به فاصله دارد. ما می توانیم روشنایی شیئی ای را با تغییر فاصله بین ما و آن شیئی تغییر دهیم.

اثری مانند روشنایی می تواند وابستگی علی با چند متغیر داشته باشد. اگر موضوع مشاهده ای ما یک شعله ای گازی باشد، روشنایی اش وابسته به مقدار سوخت و آکسیژن و دیگر عوامل خواهد داشت.

روش جان استوارت میل، برای این است که لیست علت های حدس زده شده را تقلیل دهد برای اینکه علت معینی را برای اثر مشاهده شده بیابد. یعنی علت های چهارگانه که ذکر شان در بالا رفت.

در ذیل هر یک از روش های میل را نام می بریم که هر یک برای یکی از علت ها مناسب است.

روش توافق: برای این است که شرایط حدس زده برای علل ضروری بودن اثری را رد کند (از لیست بیرون کند).

روش تفاوت: برای این است که شرایط حدس زده برای علل کافی بودن اثری را رد کند (از لیست بیرون کند).

روش توافق و تفاوت: برای این است که شرایط حدس زده برای علل کافی و ضروری بودن اثر را رد کند (از لیست بیرون کند).

روش دگرگونی همزمان: برای این است که لیست مقادیر متغیر حدس زده را که فکر می کنیم مسئول تغییر معین در اثر مورد بحث است را تقلیل دهد.

اگر با استفاده از روش مناسب بتوانیم لیست علت های حدس زده را به یکی تقلیل دهیم و قبول کنیم که نوع علت را که ما جستجو می کنیم شامل لیست است، این قلم باقی ماند، نوع علتی است که ما در جستجوی آن می باشیم. در ذیل روش ها را مفصل شرح می دهیم.

روش توافق

روش توافق میل روش قیاسی برای حذف کردن شرایط علی ضروری از لیست علل حدس زده شده است. می دانیم که اگر "الف" شرط علی لازم برای "ب" باشد، پس "ب" بدون "الف" نمی تواند واقع شود. برای اینکه تعیین کنیم کدام لیست مظنون به شرایط علی لازم واقعاً علی- ضروری برای وقوع "ب" است، ما تعدادی از موارد "ب" را امتحان می کنیم. اگر هیچ یک از شرایط ضروری حدس زده شده در هیچ یک از این موارد حضور نداشته باشد، پس می توانیم بگوییم که برای وقوع "ب" ضروری نیست. کوشش ما به این است که لیست را به یک عامل تقلیل دهیم. به طور مثال: فرض کنیم ما دنبال علت ضروری برای مرض "ب" می باشیم. با دانش قبلی و تجاربی که داریم لیستی از ۵ عامل ویروسی را ترتیب داده ایم که آنها را از ویروس ۱ تا ویروس ۵ نام گذاری کرده ایم که حدس می زنیم علت مرض "ب" باشند. ما شماری از مریضان که مرض "ب" را دارند امتحان می کنیم تا بدانیم که کدام یک از ویروس های حدس زده شده در هر مورد موجود است. نتیجه قرار ذیل است:

مورد	علل حدس زده در این مورد	اثر (مرض)
مریض اول	ویروس ۱، ویروس ۳، ویروس ۴	ب
مریض دوم	ویروس ۱، ویروس ۴، ویروس ۵	ب
مریض سوم	ویروس ۱، ویروس ۲	ب
مریض چهارم	ویروس ۱، ویروس ۵	ب

طوریکه در جدول بالا مشاهده می کنیم، تنها یکی از ویروس ها، یعنی ویروس ۱ در همه ای مریضان موجود است. این ثابت می کند تنها این ویروس می تواند علت ضروری برای مرض "ب" باشد و نه دیگران. وقتی ویروس های ۲ تا ۵ از لیست علل ضروری حذف شدند، حالا از راه قیاس می توانیم بگوییم که:

- اگر لیست ویروس ۱ تا ویروس ۵ شامل علت ضروری برای "ب" باشد، ویروس ۱ آن علت ضروری است. این نتیجه ای است که روش توافق میل بدست می دهد. اگر خواسته باشیم نتیجه ای بدون قید و شرط بدست آوریم که :
- ویروس ۱ علت ضروری برای مرض "ب" است، به این مقدمه نیاز داریم که:
- لیست ویروس ۱ تا ویروس ۵ علت ضروری برای مرض "ب" را شامل است. چنین مقدمه ای را نمی توانیم با یقین ثابت کنیم. فقط می توانیم با استدلال استقرایی بدست آوریم. معمولاً چنین استدلال استقرایی، تشبیهی- تمثیلی خواهد بود (analogical). در مورد بالا می تواند طور ذیل باشد:
- مرض "ب" خصوصیت های x_1 ، x_2 ، ...، x_n دارد.
- امراض شناخته شده که شبیه مرض "ب" اند خصوصیات x_1 ، x_2 ، ...، x_n دارند
- ویروس ها علت لازم برای امراض شبیه مرض "ب" است
- بناءً، ویروسی علت مرض "ب" است. در اینجا خصوصیات x_1 ، x_2 ، ...، x_n می توانند مثلاً وجود تب یا ساری بودن باشد. برای اینکه از جمله ۷ به جمله ای ۳ برسیم، نیاز داریم که به جمله ای ۷ مقدمه ای ذیل را اضافه کنیم:
- تنها ویروس های موجود در مریضان ۱ تا ۴ که به مرض "ب" مصاب بودند، ویروس ۱ تا ویروس ۵ بوده اند. جمله ای ۸ با جمله ای ۷ از راه قیاس به جمله ای ۳ می انجامد. چرا که مبنی بر تعریف، هر علت ضروری برای "ب" باید در هر مورد "ب" حضور داشته باشد.

مقدمات در جملات ۴، ۵، ۶ و ۸ را از راه مشاهده و یا تحقیق قبلی بدست می آوریم. جمله ای ۱ نتیجه گیری است که از طریق روش توافق میل بدست می آوریم. اعتبار استدلال در کل وابسته به شایستگی استنباط تمثیلی (استنباط از ۴، ۵ و ۶ به ۷) و صحت مقدمات اولیه است. مثلاً فرضیه مقدم در ۸ می تواند غلط باشد، اگر مشاهدات ما از مریضان به قدر کافی کامل نباشد. این کل استدلال را تضعیف می کند، چون در آن صورت علت واقعی می تواند ویروسی باشد که باعث مرض "ب" شده است که حضور داشته ولی به وسیله ای مشاهدات ما کشف نشده است.

استدلال تمثیلی مانند همه ای استدلال های استقرایی به مقابل شواهد مغایر آسیب پذیر است. اگر شواهدی که مغایر به تمثیل باشد در نظر گرفته نشوند، استدلال از ضرورت شواهد کامل تخطی می کند و باید رد شود (نتیجه گیری باید با در نظر داشت کل شواهد باز نگری شود).

روش توافق همیشه نتیجه ای درست نمی دهد. فرض کنیم که ویروس ۱ و ویروس ۲ در همه ای موارد مرض "ب" مشاهده می شوند. آیا این به معنای ضروری بودن هر دوی شان است؟ نه به هیچ صورت. ما ممکن است نمونه ای کافی بزرگ از مریضان را معاینه نکرده باشیم تا یکی یا دیگری را حذف کنیم. تحقیق ما قطعیت ندارد و لازم است داده های بیشتری را در نظر بگیریم.

ممکن است روش توافق همه ای علت های حدس زده شده در لیست را حذف کند، در آن صورت جمله ای ۳ صحت ندارد و بناً ۷ یا ۸ هم غلط خواهد بود. یعنی علت ضروری ویروسی نیست (طوری که استدلال تمثیلی ما را به این گمان انداخت) و یا ما نتوانستیم ویروس دیگری که در مریضان موجود بوده را کشف کنیم. در این صورت ما باید همه چیز را از سر تحقیق کنیم و یا شاید داده های بیشتری را جمع آوری کنیم پیش از یک نتیجه گیری.

روش توافق میل به صورت خلاصه روشی قیاسی است برای اینکه نشان دهیم که بعضی شرایط علت ضروری برای معلولی نیستند. برای اینکه از این روش استفاده کنیم، ما انواع موارد از اثر را آزمایش می کنیم و تعیین می کنیم که کدام علت های حدس زده شده در هر مورد موجود است. بعد علت های حدس زده شده ای که در هر مورد موجود نبودند را حذف می کنیم. به شکل ایده آل، این روش همه ای علت های حدس زده شده را حذف می کند جز یکی. اگر چنین باشد، می دانیم که اگر لیست ما شامل علت ضروری برای معلول باشد، آن همین علت حذف نشده است.

اگر خواسته باشیم بدون چون و چرا یگانه علت حذف نشده را علت ضروری قبول کنیم، ما باید نشان دهیم که علت ضروری در واقع شامل لیست ما می باشد. این تنها از راه استقرا ممکن است.

روش تفاوت

روش تفاوت برای یافتن علت کافی است. به یاد آوریم که علت کافی برای یک معلول، واقعه ای است که همیشه باعث این معلول می شود. اگر علت "الف" جایی واقع شود بدون اینکه معلول "ب" را همراه داشته باشد، پس "الف" برای "ب" علت کافی نیست.

معمولاً از علل کافی با رابطه به دسته ای یا مجموعه ای از اشخاص یا رویدادها صحبت می کنیم. مثلاً مقداری کم از زهر ممکن است برای اطفال یا حیوانات کوچک کشنده باشد ولی نه برای بزرگسالان سالم. پس با رابطه به حیوانات کوچک و اطفال این مقدار علت کافی برای مرگ شان است ولی با رابطه به مجموعه ای از بزرگسالان کشنده نیست. ادعای علت کافی را به طور ضمنی باید با رابطه به یک مجموعه ای از افراد و یا رویدادها بفهمیم.

مثلاً تعدادی از افراد نان چاشت نوش جان کرده اند که شامل ۵ گونه غذا غ_۱ تا غ_۵ بوده است. تعداد زیادی مسموم شده اند. فرض می شود که در میان ۵ غذا یکی است که کافی است تا در این گروه از افراد مسمومیت ایجاد شود. حالا فرض کنیم ما فردی را می یابیم که از همه ای ۵ نوع غذا نوش جان کرده است و مسموم شده است و دیگری همه ای غذاها را جز غذای ۱ را خورده است و سالم است. لذا اگر "م" اثر مسمومیت باشد، وضعیت از قرار ذیل است که در جدول پایین آمده است:

مورد	علل کافی حدس زده شده	اثر
فرد اول	غ _۱ ، غ _۲ ، غ _۳ ، غ _۴ ، غ _۵	م
فرد دوم	غ _۲ ، غ _۳ ، غ _۴ ، غ _۵	عدم مسمومیت

علت کافی برای "م" مسمومیت چیست؟

چون "م" در فرد دوم در وجود غ_۲ تا غ_۵ ظاهر نشد، هیچ یک از اینها علت کافی برای مسمومیت نیست. با فرض اینکه علت کافی برای "م" میان غ_۱ تا غ_۵ موجود است، نتیجه می گیریم که علت کافی غ_۱ است.

ضعیف ترین بخش در این استدلال فرض به این است که علت کافی برای "م" میان غ_۱ تا غ_۵ موجود است. مانند بحث ما در مورد علت ضروری در بالا، به صورت کل این را نمی توانیم از راه قیاسی ثابت کنیم و نیاز به یک استدلال استقرایی

داریم. ما می توانیم در این مورد چنین استدلال کنیم که در اکثر موارد در گذشته که مسمومیت غذایی ایجاد شده است، کدام ماده ای زهری که در یک غذا وجود داشته باعث مسمومیت شده است. و این کافی بوده است که کسی مسموم شود اگر مقدار لازم از آن غذا را خورده باشد.

در اینجا هم متوجه می شویم که چگونه این استدلال استقرایی می تواند ما را گمراه کند. شاید هیچ یک از غذا ها تنها مسموم کننده نیست، بلکه خوردن غ ۱ و غ ۲ باعث نوعی واکنش کیمیایی می شود که به مسمومیت می انجامد. در چنین شرایطی ما هنوز مسمومیت در فرد اول را خواهیم داشت و هیچ اثری در فرد دوم نخواهیم داشت. فرض اینکه علت کافی برای "م" میان غ ۱ تا غ ۲ موجود است غلط خواهد بود.

امکان دیگر این است که هیچ یک از غ ۱ تا غ ۲ یا ترکیبی از غ ۱ تا غ ۲ علت کافی برای "م" نیست. ممکن است زهر در غ ۱ وجود داشته باشد ولی مصرف این غذا تنها برای کسانی با آمادگی ویژه باعث مسمومیت شود. یعنی غ ۱ علت کافی برای "م" در بعضی از افراد است و شامل همه ای نفوس تحت پژوهش نمی شود. اگر چنین باشد، مشاهده می کنیم که فرض اینکه علت کافی برای "م" شامل غ ۱ تا غ ۲ است درست نیست. و نتیجه گیری بی قید و شرط که غ ۱ علت کافی برای "م" است غلط است. این اشتباهات حتی با مشاهدات درست هم می توانند ایجاد شوند، برای اینکه استدلال لازم برای قبول این فرض خطا پذیر است. بناءً در استفاده از روش تفاوت میل، باید محتاط بود.

در کل، روش تفاوت میل برای این است که لیست علل حدس زده شده را برای یک معلول تقلیل دهیم. یعنی هر فقره ای که در لیست موجود است و به وقوع می پیوندد بدون اینکه معلول را همراه داشته باشد را حذف می کنیم. حالت ایده آل این است که ما لیست را به یک فقره تقلیل دهیم. اگر این ممکن باشد، ما از راه قیاسی می توانیم به این نتیجه برسیم که اگر علت کافی برای معلول در لیست باشد، آن علت فقره ای باقیمانده است. اما، برای اینکه تعیین کنیم که لیست ما شامل علت کافی است، ما مجبوریم که به تجارب گذشته یعنی استقرا تکیه کنیم.

روش توافق و تفاوت

روش توافق و تفاوت میل، برای این است که از لیست علل ضروری و کافی حدس زده شده، فقرات را حذف کند. چیز جدیدی را این روش شامل نمی شود. فقط استعمال همزمان روش های توافق و تفاوت را در بر می گیرد. اگر "الف" علت ضروری و کافی برای "ب" باشد، پس "الف" هیچگاه بدون "ب" روی نمی دهد و "ب" هیچگاه بدون "الف" واقع نمی شود. بناءً اگر ما موردی را بیابیم که در آن "الف" واقع می شود و "ب" واقع نمی شود و برعکس، می توانیم "الف" را به حیث علت ضروری و کافی حذف کنیم.

مثلاً فرض کنیم که شما نوعی تداخل در تلویزیون خود را متوجه می شوید. و شما از گذشته تجربه با چنین تداخلی در کار تلویزیون خویش دارید و حدس می زنید که در چنین موقعی، علت ضروری و کافی (به شرطی که تلویزیون شما روشن باشد)، روشن بودن آلت برقی دیگری در نزدیکی است. این شما را وا می دارد که این لیست از علل را حدس بزنید:

ر = ریش تراش برقی

م = موی خشک کن برقی

ل = لباس خشک کن برقی

ش = ماشین لباس شویی

شما که در ساختمان چند طبقه زندگی می کنید و همسایه های شما هم در اطراف شما اطاق دارند، حالا می بینید که کدام آلات در اطاق های همسایه ها روشن اند در حالیکه شما تلویزیون تماشا می کنید. به این نتایج دست می یابید:

مورد	علل ضروری و کافی حدس زده شده	اثر
۱	م، ل، ش	تداخل
۲	ل، ش	تداخل
۳	ر، م، ل، ش	تداخل
۴	ر، م	عدم تداخل
۵	ر، ش	عدم تداخل

کدام یک از علل حدس زده شده علت ضروری و کافی برای تداخل است؟

یگانه علت ضروری و کافی حدس زده شده که همیشه وقتی تداخل موجود است حضور دارد و در حالت عدم تداخل حضور ندارد "ل" است. بناً اگر یکی از علل حدس زده شده علت ضروری و کافی برای تداخل باشد، باید "ل" باشد.

اگر شما از این حرکت کنید که "ل" علت ضروری و کافی برای تداخل تلویزیون شما است، نقطه ضعف استدلال شما همان است که قبول کردید علت ضروری و کافی شامل لیست شماست. مانند مثال های گذشته، این مقدمه تنها از راه استقرا قابل توجیه است که نتیجه ای تجربه ای شما در گذشته در حالات مشابه است.

روش دگرگونی همراه (همزمان)

روش دگرگونی همراه (concomitant variation) از روش های دیگر متفاوت است. این روش هدف اش فقط وجود و یا نبود علت و معلول نیست، بلکه دنبال میزان و مقدار نسبی آنها است. این روش کوشش به این دارد تا لیست مقادیر متغیر را که حدس زده می شود که مسئول تغییر معین در مقدار اثر تحت مطالعه است را تقلیل دهد. متغیری که در طول مشاهده ای تغییر، ثابت می ماند، از لیست متغیر های مسئول حذف می شود. اگر همه ای متغیر ها بدون یکی از آنها وقتی اثر تغییر می یابد ثابت بمانند، با فرض اینکه متغیر مسئول تغییر در لیست موجود است، آن متغیر باید مسئول باشد که ثابت نمانده است.

مثلاً اگر یکی از گل های خانگی شما یک رشد ناگهانی داشته باشد. می توانیم حدس بزنیم که متغیر های مسئول نرخ رشد آن اینها هستند:

ن = نور آفتاب

آ = آب

ک = کود کیمیایی

ح = حرارت

به یاد می آوریم که تنها متغیری که در این اواخر تغییر نموده است مقدار آب است که به گل داده ایم. این مشاهده را می توانیم در جدول ذیل بیاوریم:

مورد	متغیرهایی را که حدس می زنیم مسئول رشد گل باشند	اثر
۱	ن، ک، ح، آ	رشد
۲	ن، ک، ح، آ+	رشد+

در اینجا رشد+ یعنی افزایش مقدار رشد است. حالت بدون تغییر در رشد بدون علامت + می باشد. کدام یک از متغیر های لیست بالا مسئول رشد مشاهده شده در گل می باشد؟

از آنجایی که یگانه متغیری که در لیست ما تغییر کرده است، مقدار آب است که به گل داده ایم، تنها این متغیر می تواند مسئول تغییر در نرخ رشد گیاه ما باشد. برای اینکه حدس خود را قوی تر نماییم، می توانیم مقدار آب که به گل می دهیم را کاهش دهیم. فرض کنیم که ما این را مشاهده می کنیم:

۳	ن، ک، ح، آ-	رشد-
---	-------------	------

علامت منفی در مورد ۳ یعنی کاهش مقدار در آب و رشد. در اینجا ما اطمینان بیشتری بدست می آوریم که مقدار آب مسئول نرخ رشد گل ما بوده است.

مهم است تا بدانیم که روش دگرگونی همزمان، امکان اینکه متغیر های ن، ک، و ح هم در رشد گل اثر دارند را رد نمی کند. فقط نشان می دهد که این متغیر ها در این مورد تحت مشاهده مسئول تغییر رشد نیستند.

همانطور که در سه روش دیگر دیدیم، جریان حذف متغیرهای ن، ک و ح از لیست مبنی بر قیاس است. ولی استقرا مبنی بر تجارب گذشته لازم است تا بدانیم که یکی از متغیرهای چهارگانه مسئول رشد نبات ماست. اطمینان بیشتر ما در مورد ۳ از آنجاست که این مورد این فرض را تقویت می کند.

تکرار تجربه ای همبستگی رشد و آب از راه استقرا، احتمال اینکه این دو متغیر در آینده هم همبسته باشند را تقویت می کند. اگر ما کاملاً اطمینان می داشتیم که متغیر مسئول رشد یکی از آنها است که در لیست ما آمده است، نیازی به مورد ۳ نداشتیم و فقط موارد ۱ و ۲ کافی بودند که نشان دهند که متغیر مسئول آب بوده است.

تئوری های علمی

پیشرفته ترین شکل استدلال استقرایی در توجیه و یا تأیید تئوری های علمی به کار می رود. تئوری علمی شرحی یا روایتی از یک پدیده ای طبیعی است که همراه با واقعیت های شناخته شده و حدس ها که به نام فرضیه های کمکی (auxiliary hypotheses) یاد می شوند، ما را قادر می سازد از راه قیاس نتایجی و یا تبعاتی را بدست آوریم که می شود از راه مشاهده صحت آن را آزمایش کنیم. بیشتر اوقات یک تئوری بوسیله ای یک مدل که یک ساختار فیزیکی یا ریاضیاتی است بیان می شود. ادعا این است که این مدل شباهت های مربوط به پدیده ای تحت پژوهش دارد که تئوری روایتی از آن است.

مثلاً پیش از قرن بیستم، دو تئوری در باره نور وجود داشت. تئوری ذره و تئوری موج. نظر به تئوری ذره که اسحاق نیوتن (۱۶۴۲-۱۷۲۷) یکی از طرفداران اش بود، نور از ذره های بسیار ریز تشکیل شده است که در مسیر مستقیم از اشیای نورانی پراکنده می شوند. نظر به تئوری موج، که اولین بار توسط منجم هالندی، کریستیان هویگنز (۱۶۲۹-۱۶۹۵) مطرح شد، نور از امواج مدور تشکیل شده است که از اشیای نورانی پخش می شود مانند امواج دایره مانند که وقتی ما سنگی را در آب ایستاده باندازیم، موج دایره مانند در حرکت می افتد. به اساس تئوری موج، نور در یک ماده ای سیال که گل کیهان را پر کرده است و "اثر" نامیده می شود، پخش می شود.

هر دو این تئوری ها می توانستند پدیده ای رنگ و بسیاری از خواص بازتابی انکساری نور را تشریح کنند. ولی در اواخر قرن نوزدهم، تئوری موج موقتاً برنده شده بود، برای اینکه در شرح اثرات پراش یا تفرق (diffraction) برتری داشت. تفرق زمانی صورت می گیرد که نور از یک روزنه ای کوچک بگذرد که باعث نوارهای روشن و تاریک در پس روزنه می شود. چنین نوارها را با تئوری موج می توان شرح داد ولی نه با نظریه ای ذره از نور.

هر یک از این نظریه ها مدلی از نور به حیث یک ساختار فیزیکی ترسیم می نمود. ذره های متحرک در یکی و موج در یک واسطه ای سیال در دیگری. گرچه فیزیک کوانتوم در قرن بیستم جای هر دو این تئوری ها را گرفت. در فیزیک کوانتوم نور بوسیله ای یک ساختار ریاضیاتی مدل سازی می شود که بعضی ویژگی های موج و ذره را دارد ولی کاملاً شبیه به ساختار معمول فیزیکی نیست.

تئوری های علمی از آنجا توجیه می شوند و ارزش می گیرند که قادر به پیش بینی های درست باشند. "پیش بینی" در اینجا به مفهوم این است ما جملاتی اخباری در مورد نتایج مشاهدات و یا آزمون های معین را بیان کنیم. این ضرورتاً به معنای ادعا در مورد آینده نیست. حتی تئوری ها در باره ای گذشته هم به این معنا پیش بینی می کنند، چون همراه با فرضیه های کمکی لازم، بیان می کنند که آزمون ها و یا مشاهدات معین نتایج معینی خواهند داشت. مثلاً نظریه ای در مورد تطور دیناسورها، دلالت های در مورد نوع فسیل هایی که ما انتظار داریم در لایه های جیولوجیک بیابیم خواهد داشت. این دلالت ها و پیامد ها در واقع جزء پیش بینی های نظریه خواهد بود. چون پیش بینی های یک تئوری از راه قیاس از تئوری و فرضیه های کمکی اش بدست می آیند، اگر هر یکی از آنها غلط از آب در آمد، نتیجه این خواهد بود که یا تئوری غلط است و یا یکی یا بیشتر از فرضیه های کمکی اش نا درست است. چون نمی شود یک نتیجه گیری قیاسی غلط را از مجموعه ای از مقدمات صحیح بدست آورد. اگر ما از همه ای فرضیه های کمکی اطمینان داشته باشیم، پس می توانیم آن بخش از تئوری را رد کنیم که پیش بینی ما از آن مشتق شده است. تئوری ذره از نور همراه با فرضیه ای کمکی ظاهراً منطقی در مورد رفتار ذرات ریز دلالت به این دارد که پراش یا تفرق نباید صورت گیرد. چون تفرق صورت می گیرد، فیزیک دان های قرن نوزدهم که از این فرضیه های کمکی اطمینان داشتند، نظریه ای ذره نور را رد نمودند.

در این مثال که ذکر اش رفت، از یک جریان قیاسی استفاده شد تا یک نظریه ای علمی را رد کنیم. با وجود این، بیشتر اوقات نظریه پردازان از صحت فرضیه های کمکی اطمینان ندارند. بناءً ممکن است در مورد صحت قیاس که به رد

نظریه انجامیده است جدال و مباحثه صورت گیرد. اگر یکی یا بیشتر از آن فرضیه های کمی غلط باشند پس غلط بودن پیشی بینی به معنای غلط بودن تئوری نیست.

در حالیکه رد تئوری های علمی جریانی قیاسی است، تائید این تئوری ها جریانی استقرایی است. بعد از اینکه تئوری ذره نور افول نمود، نظریه ای موج از نور بیشتر تائید شد. بر خلاف تئوری ذره بودن نور، تئوری موج همراه با فرضیه کمی در باره ای جهت و میدان نوسان (amplitude) امواج، می تواند اثرات تفرق را شرح دهد. چون این مشاهدات صورت گرفت، اطمینان به نظریه ای موج بالا گرفت.

با وجود این، تائید یک پیش بینی یا حتی پیش بینی های بسیار یک نظریه قیاساً ثابت نمی کند که نظریه صحیح است. تئوری ها همراه با فرضیه های کمی شان همیشه دلالت به پیشی بینی های بیشتر می کنند که بتوانیم همه را آزمایش کنیم. حتی اگر تمام پیشی بینی های یک نظریه تا حال درست از آب در آمده باشند، هنوز ممکن است پیشی بینی های آزمایش نشده غلط از آب در آیند. در اینجا با درست بودن فرضیه های کمی، به غلط بودن نظریه می رسم. بناءً، از نگاه منطقی، اطمینان به یک نظریه ای علمی هیچگاه نباید مطلق باشد.

با وجود این، نظر دانشمندان به این است که هرچه بیشتر پیش بینی های یک نظریه تائید شوند، نظریه بیشتر محتمل می شود. این اصل را می توانیم به شکل دقیق تر بیان کنیم:

اصل دقیق: اگر "الف" مجموعه این شواهد اولیه به شمول فرضیه های کمی باشد و "ب" تائید افزوده شده از بعضی از پیشی بینی های تئوری باشد، احتمال تئوری به شرط وجود "الف" و "ب" بالاتر است نسبت به احتمال تئوری با شرط وجود تنها "الف"

اصل دقیق، ظاهراً اصلی است که مبنای استقرا است که به وسیله ای آن تئوری های علمی تائید می شوند. ولی بشکل مسلم و بدیهی صحت ندارد و ممکن نیست که آن را به حیث قانون منطق و یا احتمالات ثابت نماییم. علاوه بر این بعضی از موارد اش قرار معلوم غلط اند. یعنی اصل دقیق محدودیت های بیشتری را نیاز دارد.

برای شرح این نکته لازم است نظری به نظریه های نور باندازیم، زمانیکه توجه جدی به پدیده های تفرق در میانه ای قرن نوزدهم می شد. از نگاه تاریخی این منجر به قبول نظریه ای موج و رد نظریه ذره شد. ولی ممکن بود که نظریه ای ذره را حفظ کنیم و شرحی برای پدیده ای تفرق بیابیم اگر فرضیه ای مطرح می کردیم به این مفهوم که زمانیکه نور از روزنه ای ریز می گذرد، یک نیروی عجیب روی ذره ها اثر می گذارد و آنها را در غلاف های جدا از هم می کند و بدینصورت به پدیده ای تفرق می انجامد. و یا از سوی دیگر ممکن بود استدلال شود که پدیده ای تفرق یک توهم است که نتیجه ای ویژگی های چشمان ما و یا کامره های ماست. حتی ممکن بود که هر دو نظریه رد شوند و تصور شود که نور یک چیز کاملاً متفاوت از اینها است، یعنی شاید شکل تار و یا رشته را داشته باشد که از اشپای نورانی ساطع می شود. این می توانست با صفات شناخته شده ای نور انطباق داشته باشد، اگر فرضیه های کمی بسیار زیرکانه مطرح می شدند. چنین نظریه های بدیل را می توان بی شمار مطرح کرد.

هر یک از این نظریه ها همراه با فرضیه های مناسب کمی می تواند پدیده های تفرق به شمول صفات دیگر نور که در قرن نوزدهم شناخته شده بودند را شرح دهد. آیا مشاهده ای تفرق با اصل دقیق بدون محدودیت نظریه را بیشتر محتمل می کند؟ در این می توان شک کرد. در عمل تنها تئوری موج تصور می شد که تائید شده است و بیشتر محتمل است. تئوری های بدیل که ذکر شان رفت مورد استفاده قرار نگرفتند. دلیل این است که فرضیه های کمی که این تئوری ها نیاز دارد مانند نیروی عجیب که به روی ذره اثر می گذارد وقتی از روزنه می گذرد، خود قابل توجیه نبودند. آنها مستقل از تئوری باور کردنی نبودند. فرضیه های کمی که توجیه مستقل نداشته باشند و فقط برای مورد معین استفاده شوند، برای اینکه تئوری با واقعیت ها سازگار شود، را فرضیه های تک کارکرد (ad hoc hypotheses) می گویند.

در عمل، اصل دقیق به همه ای تئوری ها به کار گرفته نمی شود. بلکه به آن نظریه ها به کار گرفته می شود که فرضیه های تک کارکرد را لازم نداشته باشند. تئوری موج پدیده ای تفرق را به وسیله فرضیه های کمی پیش بینی می کرد که کاملاً طبیعی به نظر می آمدند. تمام نظریه های رقیب دیگر یا بسیار پیچیده بودند و یا نیاز به فرضیه های کمی پیچیده ای تک کارکردی داشتند. گرچه نظریه های دیگر ممکن بود عین پیش بینی ها را دلالت کنند، تنها تئوری موج به طور اساسی مورد توجه قرار گرفت و تصور می شد که پدیده ای تفرق را شرح می دهد. لازم است یاد آور شویم که نظریه ای کوانتوم در درجه ای اول به این خاطر جانشین نظریه ای موج شد که پدیده های جدید کشف شدند که بوسیله نظریه موج قابل شرح نبودند، مگر اینکه به فرضیه های تک کارکردی تکیه می شد.

نه تنها اصل دقیق به نظریه هایی به کار گرفته می شود که به فرضیه های تک کارکردی نیاز ندارند، بلکه طوری که در بالا دیدیم، به نظریه هایی می پردازد که ساده باشند. یعنی با در نظر داشت برابری متغیر های دیگر، به تئوری های ساده ارجحیت داده می شود و تصور بر این است که تأیید پیش بینی های آنها قوی تر است تا نظریه های پیچیده.