

پیرامون روش علمی

مقدمه

Science را که به علم ترجمه کرده‌اند، از واژه‌های لاتینی، به معنی «دانستن» می‌آید. علم روشی برای تفکر و شیوه‌ای برای بررسی دنیای طبیعی به شکلی نظام‌مند است. علم راز آلود نیست و هر کس قوانین و رویه‌های علمی را درک کند می‌تواند از عهده چالش‌های آن برآید. آنچه علم را متمایز می‌کند، پافشاری بر روش‌های دقیق بررسی مسئله است. علم در پی آن است که دانشی دقیق درباره جهان طبیعت به دست دهد؛ ماورای طبیعت با کاوش به روش علمی قابل دستیابی نیست. علم جانشینی برای فلسفه، هنر یا دین نیست. اطلاعات علمی به ما کمک می‌کنند تا زمینه‌ای برای شناخت ارزش‌ها فراهم کنیم. اما اطلاعات علمی نمی‌توانند بگویند ارزش‌ها چه باید باشند. علم از زمینه‌های فرهنگی، اجتماعی، تاریخی و فناوری هم تأثیر می‌پذیرد و فرایند علم در طول زمان تغییر می‌کند. دانشمندان دانش را سازمان‌دهی و مقداری (کمی) می‌کنند تا به آسانی در دسترس کسانی باشد که می‌خواهند بر پایه آن پژوهشی انجام دهند. به این ترتیب علم حاصل کوشش‌های فردی و اجتماعی است. پژوهشگران نظر‌ها را می‌آزمایند و براساس یافته‌هایشان آن‌ها را رد و یا اصلاح می‌کنند. فرایند علمی جستجوگرانه، پویا و اغلب مباحثه‌ای است.

کلیدواژه‌ها: علم، روش علمی، استدلال قیاسی، استدلال استقرایی، فرضیه، پیش‌داوری، نظریه، اخلاق علمی.

گام‌های روش علمی

روش علمی مجموعه‌ای از گام‌های منظم است. در این روش دانشمندان مشاهدات دقیقی انجام می‌دهند پرسش‌های نقادانه مطرح و فرضیه‌هایی تنظیم می‌کنند؛ پیش‌بینی فرضیه را با مشاهدات بیشتر یا انجام آزمایش می‌آزمایند؛ داده‌ها یعنی اطلاعاتی را که می‌توان آن‌ها را تجزیه و تحلیل کرد، جمع‌آوری می‌کنند؛ اغلب از رایانه و روش‌های پیچیده آماری استفاده، نتایج آزمایش‌ها را تفسیر و از آن‌ها نتیجه‌گیری می‌کنند.

دانشمندان گاه فرضیه‌هایی مطرح می‌کنند که نمی‌توان آن‌ها را با استفاده از یکایک گام‌های روش علمی، بدون هیچ انعطافی آزمود. آنان از روش علمی به عنوان چارچوب کلی و راهنما استفاده می‌کنند.

فرایندهای فکری

دانشمندان دو نوع فرایند فکری نظام‌مند را به کار می‌برند: قیاس و استقرا. استدلال قیاسی^۱ با اصول کلی آغاز می‌شود. در

استدلال استقرایی را انجام داد که همه پرنده‌ها بال دارند و پرواز می‌کنند. به این ترتیب ما با پاسخ به این پرسش که این واقعیت‌ها چه اشتراکی دارند، روش استقرایی را برای سازمان دادن داده‌های خام در گروه‌هایی قابل تغییر، به کار می‌بریم.

یکی از ضعف‌های استدلال استقرایی این است که نتیجه‌گیری‌ها، واقعیت‌ها را به همه مثال‌های ممکن تعمیم می‌دهند. وقتی ما اصول کلی را تنظیم می‌کنیم، از مثال‌های مشاهده شده بسیار به همه مثال‌های ممکن می‌رسیم. این موضوع جهش استقرایی^۴ نام دارد که بدون آن نمی‌توانیم به تعمیم‌ها برسیم. با وجود این ما باید به استثنایها و امکان معتبر نبودن نتیجه‌گیری‌ها حساس باشیم. برای مثال پرنده کیوی نیوزیلندی بال‌های عملکردی ندارد. ما هرگز نمی‌توانیم یک تعمیم کلی را به‌طور قاطع اثبات کنیم. در نتیجه‌گیری‌های استقرایی تعمیم‌ها از بینش خلاقانه ذهن آدمی سرچشمه می‌گیرند، هر چند خلاقیت ستودنی است ولی از خطا مبرا نیست.

استدلال قیاسی ما با اطلاعات جمع‌آوری شده که فرض^۲ نامیده می‌شوند، آغاز و براساس آن‌ها نتیجه‌گیری می‌کنیم. استدلال قیاسی از اصول کلی به سوی نتیجه‌گیری‌های خاص حرکت می‌کند. برای مثال فرض کنیم همه پرنده‌ها بال دارند و همه گنجشک‌ها پرنده هستند. اگر شما این دو فرض را بپذیرید؛ می‌توانید به‌طور قیاسی نتیجه‌گیری کنید که گنجشک‌ها بال دارند. استدلال قیاسی به ما کمک می‌کند تا ارتباط بین واقعیت‌های شناخته شده را کشف کنیم. واقعیت اطلاع یا دانشی است که بر پایه مشاهده قرار دارد.

استدلال استقرایی^۳ با مشاهدات ویژه آغاز می‌شود. استدلال استقرایی در مقابل استدلال قیاسی قرار دارد. ما این روش را با مشاهدات خاص آغاز می‌کنیم و نتیجه‌گیری انجام می‌دهیم یا یک اصل کلی کشف می‌کنیم. برای مثال می‌دانیم که گنجشک‌ها بال دارند، می‌توانند پرواز کنند و در گروه پرندگان قرار دارند. عقاب، کبوتر، سینه سرخ و شاهین نیز بال دارند، می‌توانند پرواز کنند و پرنده‌اند. در نتیجه می‌توان این

در ۱۹۲۸ الکساندر فلمینگ، باکتری‌شناس انگلیسی، کپک آبی‌رنگی را مشاهده کرد که به یکی از محیط‌های کشت حمله کرده بود. او می‌خواست ظرف محیط کشت را دور بیندازد، اما متوجه شد قسمت‌های آلوده شده با کپک را بخش‌هایی احاطه کرده‌اند که کلونی باکتری در آن‌ها به‌خوبی رشد نکرده است. این باکتری‌ها از

سردۀ استافیلوکوکوس و عامل ایجاد کورک و عفونت پوستی بودند. بنابراین هر عاملی که می‌توانست آن‌ها را بکشد، جالب توجه بود. فلمینگ کپک را که وارپته‌ای از پنی‌سلیم (کپک آبی نان) بود، حفظ کرد. او پادزی پنی‌سلین را از کپک جدا کرد. با وجود این فلمینگ در کشت آن مشکل داشت. با آن‌که فلمینگ فایده علمی بالقوۀ پنی‌سلین را تشخیص داده بود، اما روش‌های شیمیایی لازم برای خالص کردن آن را ابداع نکرد و بیش از ده سال گذشت تا این دارو استفاده قابل توجهی پیدا کند.

در سال ۱۹۳۹ هاوارد فلوری و ارنست بوریس چین، روش‌های شیمیایی را برای استخراج و تولید عامل فعال پنی‌سلین از کپک ابداع کردند. فلوری این فرایند را به آزمایشگاه‌های امریکا برد و در پی آن پنی‌سلین برای نخستین بار برای درمان سربازان زخمی جنگ جهانی دوم تولید شد. فلمینگ، فلوری و چین به‌خاطر قدردانی از کارشان، جایزه نوبل ۱۹۴۵ را در فیزیولوژی و پزشکی دریافت کردند.

فلمینگ برای کشف پنی‌سلین برنامه‌ریزی نکرده بود. او از رشد اتفاقی کپک در یکی از محیط‌های کشت سود برد. اما نمی‌دانیم همان نوع کپک ممکن است چند بار در محیط‌های کشت باکتری‌شناسان دیگر رشد کرده باشد ولی آنان نتوانسته‌اند چنین ارتباطی را برقرار کنند و به سادگی محیط کشت‌های آلوده را دور انداختند. فلمینگ از این اتفاق سود برد، ذهن او آماده بود تا

مشاهده و پرسش‌های نقادانه‌ای را تنظیم کند و قلم او نیز برای چاپ آن‌ها آماده بود. اکتشاف‌های چشمگیر را معمولاً کسانی انجام

علم را ز آلود نیست و هر کس قوانین و رویه‌های علمی را درک کند می‌تواند از عهده چالش‌های آن برآید. آنچه علم را متمایز می‌کند، پافشاری بر روش‌های دقیق بررسی مسئله است

می‌دهند که عادت دارند نقادانه به طبیعت نگاه کنند و پدیده یا مسئله را تشخیص دهند. البته برای بررسی مسئله، فناوری هم باید در دسترس باشد.

فرضیه

دانشمندان مشاهدۀهای دقیق انجام می‌دهند، پرسش‌های نقادانه می‌پرسند و فرضیه طرح می‌کنند. فرضیه توضیحی

فرضیه‌ای علمی را که خوب تنظیم شده باشد می‌توان آزمود. اگر هیچ شاهدی آن را پشتیبانی نکند، فرضیه را رد می‌کنند

احتمالی برای مشاهدۀها و پدیده‌هاست. فرضیه را می‌توان به شکل گزارۀ «اگر... آنگاه» مطرح کرد. برای مثال اگر دانشجویان در کلاس‌های مقدماتی زیست‌شناسی شرکت کنند، آنگاه نمرۀ آنان در آزمون بالاتر از دانشجویانی خواهد بود که در این کلاس‌ها شرکت نکرده‌اند.

پژوهشگر در مراحل ابتدایی پژوهش به‌طور معمول به فرضیه‌های احتمالی بسیاری فکر می‌کند. یک فرضیه خوب این ویژگی‌ها را نشان می‌دهد.

۱. فرضیه به‌طور منطقی شامل واقعیت‌هایی است که خوب اثبات شده‌اند.

۲. می‌توان آن را آزمود یعنی این‌که فرضیه پیش‌بینی‌های مشخصی را تولید می‌کند که نتایج آن مثبت یا منفی است.

آزمون نتایج باید برای مشاهدۀگران مستقل قابل تکرار کردن باشد.

۳. فرضیه باید ابطال‌پذیر باشد یعنی باید بتوان نادرست بودن آن را اثبات کرد (در این باره بعداً توضیح می‌دهیم).

پس از طرح فرضیه، پژوهشگر تصمیم می‌گیرد کدام فرضیه (یا شاید همه آن‌ها را) می‌توان و یا باید در معرض آزمون تجربی قرار داد. زمان و هزینه، ملاحظات مهم

در اجرای پژوهش‌اند. دانشمندان فرضیه‌ها را برای آزمودن اولویت‌بندی می‌کنند.

ابطال‌پذیری فرضیه‌ها

فرضیه‌ای علمی را که خوب تنظیم شده باشد می‌توان آزمود. اگر هیچ شاهدی آن را پشتیبانی نکند، فرضیه را رد می‌کنند. می‌توان نشان داد که فرضیه نادرست است. حتی نتایجی که از فرضیه پشتیبانی نمی‌کنند ممکن است ارزشمند باشند و پژوهشگران را به فرضیه‌های جدیدی هدایت کنند. اگر نتایج به‌دست آمده از فرضیه‌ای قویاً پشتیبانی کنند، پژوهشگران باید با به‌کار بستن آن‌ها فرضیه‌های مرتبطی تنظیم کنند. بیایید

فرضیه‌ای را در نظر بگیریم که می‌توان با مشاهدۀ دقیق آن را آزمود: پستانداران ماده (جانورانی که مو دارند و برای بچه خود شیر تولید می‌کنند) بچه‌زایند. اساس این فرضیه مشاهدۀ سگ، گربه، گاو، شیر و انسان است که همه پستاندارانند و بچه می‌زایند. گونه جدیدی مثل گونه X را در نظر بگیرید که به‌عنوان پستاندار شناسایی شده است و زیست‌شناسان پیش‌بینی می‌کنند که ماده‌های گونه X بچه می‌زایند (استدلال آنان قیاسی است یا استقرایی؟). اگر جنس ماده این گونه جدید بچه به‌دنیا آورد، فرضیه پشتیبانی می‌شود.

پیش از کشف نیمکرۀ جنوبی احتمالاً بسیاری از پژوهشگران این فرضیه را بدون هیچ تردیدی پذیرفته بودند. زیرا همه جانوران شناخته شده تا آن زمان که بدنشان

از مو پوششیده شده بود و به بچه‌هایشان شیر می‌دادند، بچه به دنیا می‌آوردند. اما زیست‌شناسان دو جانور استرالیایی یعنی پلاتی‌پوس و مورچه‌خوار خاردار را کشف کردند که بدنشان مو دارد و برای بچه‌هایشان شیر تولید می‌کنند ولی بچه به دنیا نمی‌آورند، بلکه تخم می‌گذارند. همان‌طور که گفتیم فرضیه ابطال شد، بدون در نظر گرفتن این که قبلاً چند بار تأیید شده بود. در نتیجه زیست‌شناسان یا باید پلاتی‌پوس و مورچه‌خوار خاردار را در گروهی به جز پستانداران قرار می‌دادند و یا تعریف خود از پستانداران را گسترش می‌دادند. آنان راه دوم را انتخاب کردند.

فرضیه فقط به این علت که برخی از پیش‌بینی‌هایش درست از آب در آمده، واقعیت ندارد. مثلاً ممکن است افراد اتفاقاً پیش‌بینی‌هایی را در نظر بگیرند و یا آزمودن آن‌ها برایشان ممکن بوده باشد. گذشته از این‌ها، فرضیه‌ها ممکن است تصادفاً

درست باشند. در واقع اطلاعات می‌توانند فرضیه‌ها را پشتیبانی کنند اما نمی‌توانند اثبات کنند که فرضیه‌ها حقیقت دارند.

نادرستی فرضیه ابطال‌ناپذیر را نمی‌توان اثبات کرد؛ در واقع نمی‌توان آن‌را به روش علمی پژوهش کرد. عقیده به فرضیه ابطال‌ناپذیر مثل وجود موجودات نادیدنی و غیرقابل تشخیص را باید در زمینه‌ای به جز روش علمی بررسی کرد.

آزمایش پیش‌بینی‌ها

فرضیه حدسی انتزاعی است اما پژوهشگران می‌توانند براساس فرضیه‌هایشان، پیش‌بینی‌هایی انجام دهند که می‌توان آن‌ها را آزمود. برای مثال ممکن است پیش‌بینی کنیم دانشجویان زیست‌شناسی که ده ساعت مطالعه کرده اند، عملکردشان در آزمون بهتر از دانشجویانی خواهد بود که مطالعه نکرده‌اند. همان‌طور که در مثال می‌بینید پیش‌بینی، نتیجه منطقی و قیاس از فرضیه است ولی وقوع آن در آینده حتمی نیست.

برخی از پیش‌بینی‌ها را می‌توان با آزمایش‌های گواه‌دار آزمود. همه زیست‌شناسان مشاهده کرده بودند که هسته مشخص‌ترین بخش سلول است. آنان این فرضیه را طرح کردند که از بین رفتن هسته تأثیر نامطلوبی بر سلول برجای خواهد گذارد. زیست‌شناسان پیش‌بینی کردند اگر هسته را از سلول خارج کنند، سلول خواهد مرد. آنان با جراحی هسته را از سلول آمیب خارج کرده و این پیش‌بینی را آزمایش کردند. آمیب به زندگی و حرکت ادامه داد ولی رشد نکرد و پس از چند روز مرد. این نتایج نشان می‌دهند که هسته برای فرایندهای سوخت‌وسازی که رشد و تولید مثل سلولی را فراهم می‌کنند، لازم است.

پژوهشگران این پرسش را مطرح کردند که آیا ممکن است خود عمل جراحی و نه فقدان هسته موجب مرگ آمیب شود؟ آنان آزمایش گواه‌دار را اجرا کردند و در آن دو گروه

نادرستی فرضیه ابطال‌ناپذیر را نمی‌توان اثبات کرد؛ در واقع نمی‌توان آن‌را به روش علمی پژوهش کرد. عقیده به فرضیه ابطال‌ناپذیر مثل وجود موجودات نادیدنی و غیرقابل تشخیص را باید در زمینه‌ای به جز روش علمی بررسی کرد

آمیب را در معرض آسیب ناشی از جراحی یکسان قرار دادند. در گروه آزمایشی هسته را از سلول خارج کردند و در گروه گواه این کار را نکردند. به‌طور آرمانی گروه آزمایشی با گروه گواه فقط از نظر متغیر مورد بررسی تفاوت دارد. پژوهشگران در گروه‌های گواه یک حلقه ریز را درون آمیب وارد کردند و آن‌را درون سلول حرکت دادند تا خارج کردن هسته را شبیه‌سازی کنند و بعد بدون آن که هسته را خارج کنند، ابزار را خارج کردند. آمیب‌هایی که با این جراحی کنترلی تیمار شدند، بهبود یافتند و پس از آن رشد کرده و تقسیم شدند. اما آمیب‌های بدون هسته مردند. این آزمایش نشان داد که خارج کردن هسته و نه جراحی، موجب مرگ آمیب‌ها شده است. نتیجه این

است که آمیب‌ها نمی‌توانند بدون هسته‌شان زنده بمانند. این نتایج از این فرضیه که اگر هسته سلول از دست برود، در سلول اثرهای نامطلوبی بر جای می‌ماند، پشتیبانی کردند. هسته برای زنده‌ماندن سلول ضروری است.

اجتناب از پیش‌داوری

در بررسی‌های علمی، پژوهشگران باید از پیش‌داوری^۵ اجتناب کنند و درباره آن چه اتفاق خواهد افتاد، سوگیری نداشته باشند. مثلاً برای جلوگیری از پیش‌داوری امروز بیشتر آزمایش‌های پزشکی در حالت دوسوی کور^۶ (یعنی دو سوی آزمایش، هم بیمار و هم پزشک نسبت به دارو در تاریکی قرار دارند) انجام می‌شوند. وقتی دارویی را آزمون می‌کنند، یک گروه بیماران درمان جدید را دریافت و افراد گروه گواه همسان شده، دارونما دریافت می‌کنند. دارونما قرص ناشاسته‌ای بی‌ضرر است که اندازه، شکل، رنگ و مزه آن شبیه قرصی است که آن‌را آزمایش می‌کنند. این یک پژوهش دوسوی کور است زیرا نه بیمار و نه پزشک نمی‌دانند چه کسی داروی آزمایش و کدام یک دارونما را دریافت کرده است. قرص‌ها یا تیمارها را رمزگذاری می‌کنند و رمز را فقط پس از پایان آزمایش می‌گشایند و نتایج را ثبت می‌کنند. همه آزمایش‌ها را نمی‌توان به این دقت طراحی کرد. مثلاً تشکیل گروه‌های گواه مناسب اغلب مشکل است.

تفسیر نتایج و نتیجه‌گیری

پژوهشگران داده‌های آزمایش را جمع‌آوری می‌کنند، نتایج آن‌ها را تفسیر و از آن‌ها نتیجه‌گیری می‌کنند. آنان الگوها و ارتباطات را در شواهدی که از آزمایش‌هایشان جمع‌آوری کرده‌اند، جستجو می‌کنند. اگر نتیجه آزمایش آن‌طور که پژوهشگر انتظار دارد نباشد، به این معنی نیست که نتیجه نادرست است. علم شامل کوشش‌ها و خطاهای بسیاری است. اگر نتایج فرضیه‌ها را پشتیبانی نکند، پژوهشگر باید فرضیه‌هایش را

بازبینی و یا آزمایش‌ها را تکرار کند. این گامی اساسی در روش علمی است زیرا در طی آن پژوهشگر باید آمادگی داشته باشد، فکر خود را تغییر دهد.

در آزمایش‌های مربوط به آمیب دیدیم که پژوهشگران نتیجه گرفتند داده‌ها از فرضیه‌هایشان پشتیبانی می‌کنند و هسته برای بقای سلول ضروری است. حتی نتایجی که از فرضیه پشتیبانی نمی‌کنند، ممکن است ارزشمند باشند و به فرضیه‌های جدید منجر شوند. اگر نتایج فرضیه‌ای را حتماً پشتیبانی کنند، دانشمند می‌تواند آن‌ها را برای طرح فرضیه‌های جدید به کار ببرد.

بیباید آزمایش دیگری را بررسی کنیم. گروه‌های پژوهشی که جمعیت‌های شامپانزه آفریقایی را بررسی می‌کنند، مشاهده کرده‌اند شامپانزه‌ها می‌توانند روش‌های ویژه استفاده از ابزار را از یکدیگر بیاموزند. رفتاری که افراد یک جمعیت از دیگران می‌آموزند و به نسل‌های آینده نیز منتقل

می‌کنند را فرهنگ می‌نامیم. در گذشته بیشتر زیست‌شناسان تصور می‌کردند فقط انسان‌ها فرهنگ دارند. آزمون این نوع یادگیری در طبیعت مشکل و این عقیده بحث برانگیز بود. اخیراً پژوهشگران مرکز ملی پژوهش‌های پرکر^۱ در

آتلانتا آزمایشی را اجرا کردند تا فرضیه‌شان در این باره که شامپانزه‌ها می‌توانند روش‌های ویژه استفاده از ابزار را با مشاهده شامپانزه‌های دیگر بیاموزند، آزمون کنند.

پژوهشگران پیش‌بینی کردند اگر شامپانزه‌ای را تعلیم دهند تا از یک تکه چوب برای به‌دست آوردن غذا از یک دستگاه غذا دهنده استفاده کند، شامپانزه‌های دیگر این روش را از آن یاد خواهند گرفت. پژوهشگران شامپانزه‌ها را به دو گروه آزمایشی که هر یک شامل ۱۶ شامپانزه است، تقسیم کردند. سپس یک شامپانزه ماده با رتبه بالا را در هر گروه آموزش دادند تا یک تکه چوب را برای به‌دست آوردن غذا از دستگاه، به کار برد. دو شامپانزه را با روش‌های متفاوت آموزش دادند. به یکی از آن‌ها آموزش دادند تا چوب را درون

دستگاه فرو ببرد و غذا را آزاد کند، شامپانزه دیگر را آموزش دادند تا با تکه‌ای چوب قلابی را حرکت دهد و دریچه‌ای را باز کند تا غذا از دستگاه بیرون بگلتد.

پژوهشگران گروه سومی را هم به‌عنوان گروه گواه در نظر گرفتند. شامپانزه‌های این گروه به تکه‌های چوب و دستگاهی با غذا درون آن، دسترسی داشتند اما برای استفاده از تکه‌های چوب آموزش ندیدند. همه شامپانزه‌های گروه گواه با استفاده از تکه‌های چوب با دستگاه بازی کردند، اما هیچ یک موفق نشدند غذا به‌دست آورند.

وقتی شامپانزه‌ها به گروه‌هایشان بازگشتند، شامپانزه‌های دیگر مشاهده کردند چطور شامپانزه‌های آموزش دیده، از چوب استفاده می‌کردند و تعداد زیادی از آن‌ها استفاده از تکه‌های چوب را به طریقی آغاز کردند. شامپانزه‌های هر گروه روش ویژه استفاده از تکه چوب را از شامپانزه

خطای نمونه‌گیری علتی برای به‌دست آوردن نتایج نادرست است. زیرا پژوهشگران نمی‌توانند همه موارد از موضوعی را که بررسی می‌کنند، مشاهده کنند و یا بیازمایند

آموزش دیده، یاد گرفتند. علاوه بر آموزش دیده‌ها همه شامپانزه‌ها استفاده از چوب را یاد گرفتند. دو ماه بعد دوباره دستگاه را به شامپانزه‌ها نشان دادند. بیش‌تر شامپانزه‌ها برای به‌دست آوردن غذا دوباره روش آموخته شده را به کار بردند. نتایج آزمایش از فرضیه پشتیبانی کرد. پژوهشگران نتیجه گرفتند شامپانزه‌ها می‌توانند فناوری آموخته شده را از طریق فرهنگ انتقال دهند.

مدل‌سازی

فرضیه‌ها منابع بالقوه بسیاری شامل مشاهده‌های مستقیم یا حتی شبیه‌سازی رایانه‌ای دارند. در زیست‌شناسی به‌طور روزافزون، فرضیه‌ها از مدل‌هایی که دانشمندان ابداع کرده‌اند، اقتباس می‌شوند

تا توضیح جامعی برای مشاهده‌های متعدد فراهم کنند. نمونه‌هایی از این مدل‌های قابل آزمون مدل ساختار DNA و مدل ساختار غشای پلاسمایی است. گاهی بهترین طراحی آزمایش با اجرای شبیه‌سازی رایانه‌ای انجام می‌شود. آزمون و ارزشیابی مجازی قبل از اجرای آن‌ها در آزمایشگاه و یا طبیعت انجام می‌شوند. مدل‌سازی و شبیه‌سازی رایانه‌ای در هزینه و زمان صرفه‌جویی می‌کنند.

خطای نمونه‌گیری

خطای نمونه‌گیری^۲ علتی برای به‌دست آوردن نتایج نادرست است. زیرا پژوهشگران نمی‌توانند همه موارد از موضوعی را که بررسی می‌کنند، مشاهده کنند و یا بیازمایند. آنان نمی‌توانند همه آمیب‌ها یا همه شامپانزه‌ها را بررسی کنند، در نتیجه باید به یک نمونه اکتفا کنند. دانشمندان از کجا باید بدانند که نمونه انتخابی واقعاً نماینده چیزی است که آن را بررسی می‌کنند؟ اگر نمونه خیلی کوچک باشد، به علت عوامل تصادفی نمی‌تواند نشان دهنده جامعه مورد بررسی باشد. پژوهشی که فقط با دو یا حتی نه آمیب انجام شده است، ممکن نیست داده‌های قابل اعتمادی به‌دست دهد تا بتوان آن را به همه آمیب‌ها

نسبت داد. اگر پژوهشگران تعداد زیادی نمونه را بیازمایند، احتمال بیش‌تری دارد که نتیجه‌گیری درست‌تر و علمی‌تری انجام دهند. دانشمندان به‌دنبال بیان یک یافته با سطحی از اطمینان‌اند که هر یک از نتیجه‌گیری‌های خاص آن با احتمال آماری مشخصی، درست باشد.

برای اطمینان از این که اختلاف‌های مشاهده شده بین گروه آزمایشی و گواه واقعی و معنادار است. پژوهشگران به تعداد کافی نمونه نیاز دارند. تنوع افراد در جمعیت طبیعی است. به‌عنوان یک قانون هر چه تعداد جانداران در گروه‌های آزمایشی و گواه کم‌تر باشد، داده‌های به‌دست آمده کم‌تر قابل اعتمادند زیرا احتمال پاسخ‌های متنوع وجود دارد. در فعالیت‌های آزمایشگاهی

حداقل ده آزمودنی برای هر یک از دو گروه گواه و آزمایشی لازم است تا بتوان تجزیه و تحلیل آماری قابل اعتمادی انجام داد. البته گروه‌های بزرگ‌تر بهترند. برای مطالعه درباره سلامت انسان، به علت تنوع ژنتیک بین افراد از گروه‌های بزرگ‌تر استفاده می‌کنند.

تکرارپذیری آزمایش‌ها

وقتی پژوهشگران یافته‌هایشان را در مجله‌های علمی منتشر می‌کنند، اغلب روش‌ها و رویه‌ها را با جزئیات کافی توصیف می‌کنند، طوری که دانشمندان دیگر می‌توانند تجربیات آنان را تکرار کنند. وقتی یافته‌های قبلی دوباره به دست بیایند، نتیجه‌گیری‌ها به‌طور قطعی پشتیبانی می‌شوند.

نظریه

افراد غیردانشمند اغلب واژه نظریه را به‌طور نادرست و برای اشاره به یک فرضیه یا حتی نظرهای آزمون نشده‌ای به کار می‌برند که می‌خواهند آن‌ها را رواج دهند. در حقیقت نظریه توضیحی یکپارچه شده از برخی جنبه‌های جهان طبیعت است که بر پایه تعدادی فرضیه قرار دارد. هر کدام از این فرضیه‌ها با نتایج

منطقی حاصل از مشاهدات یا آزمایش‌های بسیاری پشتیبانی شده‌اند. نظریه، داده‌هایی را که قبلاً بی‌ارتباط به نظر می‌رسیدند به هم مرتبط می‌کند. یک نظریه خوب براساس حقایق بیشتری که کشف می‌شوند، رشد می‌کند. نظریه، حقایق تازه‌ای را پیش‌بینی و ارتباط‌های جدیدی را بین پدیده‌ها پیشنهاد می‌کند؛ حتی ممکن است کاربردهای عملی هم ارائه کند.

یک نظریه خوب با نشان دادن ارتباط بین مجموعه‌های حقایق، درک جهان طبیعی را برای ما آسان و روشن می‌کند. همان‌طور که انیشتین نوشت «در همه تاریخ علم از فلسفه یونان تا فیزیک مدرن، تلاش‌های مداومی برای کاهش پیچیدگی اشکار پدیده‌های طبیعی و تبدیل آن‌ها به ارتباط‌ها و نظریه‌های اساسی و ساده وجود داشته است». در واقع هدف اصلی

علم ایجاد نظریه است.

همه فرضیه‌ها را نمی‌توان مستقیماً آزمود

برخی از نظریه‌هایی که به خوبی پذیرفته شده‌اند، با فرضیه‌هایی که آن‌ها را با آزمایش‌های معمولی آزمون می‌کنند، تناسبی ندارند. این نظریه‌ها اغلب وقایعی را توصیف می‌کنند که در گذشته‌های دور رخ داده‌اند.

ما نمی‌توانیم به‌طور مستقیم منشأ جهان را از حالت متراکم بسیار داغی که حدود ۱۳/۷ میلیارد سال پیش بوده است (نظریه مه‌بانگ یا انفجار بزرگ) مشاهده کنیم. با وجود این فیزیک‌دانان و کیهان‌شناسان می‌توانند فرضیه‌های بسیاری که به انفجار بزرگ مربوط است را تنظیم کنند و بسیاری از پیش‌بینی‌هایی که از این فرضیه‌ها سرچشمه می‌گیرند را بیازمایند.

همین‌طور انسان‌ها تکامل گروه‌های

افراد غیردانشمند اغلب واژه نظریه را به‌طور نادرست و برای اشاره به یک فرضیه یا حتی نظرهای آزمون نشده‌ای به کار می‌برند که می‌خواهند آن‌ها را رواج دهند

بزرگ جانداران را مشاهده نمی‌کنند زیرا این فرایند در طول میلیون‌ها سال اتفاق افتاده و پیش از تکامل خود انسان انجام شده است. با وجود این فرضیه‌های بسیاری درباره تکامل طرح شده‌اند و پیش‌بینی‌هایی نیز براساس آن‌ها آزمون شده‌اند. برای مثال اگر جانداران پیچیده از شکل‌های ساده زندگی تکامل یافته باشند ما باید سنگواره‌های ساده‌ترین جانداران را در قدیمی‌ترین لایه‌های سنگی پیدا کنیم و وقتی لایه‌های جدیدتر را کاوش می‌کنیم، انتظار داریم جانداران پیچیده‌تر را بیشتر ببینیم. در واقع دانشمندان این پیشرفت سنگواره‌ها از ساده به پیچیده را یافته‌اند. علاوه بر سنگواره‌ها شواهد تکامل از منابع بسیاری که شامل شباهت‌های مولکولی و بدنی جانداران است، به دست می‌آید. شواهدی نیز از بررسی‌های اخیر و امروزی درباره تکامل

در حال انجام، به دست آمده است. در واقع بسیاری از جنبه‌های تکامل در حال وقوع را می‌توان در آزمایشگاه و یا در طبیعت بررسی کرد. شواهد تکامل آن قدر قانع کننده است که امروزه تقریباً همه دانشمندان تکامل را به عنوان نظریه‌ای که به خوبی به ثبوت رسیده است پذیرفته‌اند.

تغییر پارادایم

پارادایم^۱ مجموعه‌ای از پیش فرض‌ها یا مفاهیمی است که روشی برای تفکر درباره حقایق را تشکیل می‌دهند. برای مثال از زمان ارسطو تا اواسط قرن نوزدهم زیست‌شناسان فکر می‌کردند جانداران یا گیاه‌اند (فرمانرو گیاهان) یا جانور (فرمانرو جانوران). این مفهوم به‌طور عمیقی پذیرفته شده بود. با وجود این با ابداع میکروسکوپ پژوهشگران شکل‌های بسیار کوچک زندگی یعنی باکتری‌ها و آغازیان را کشف کردند که نه گیاه بودند و نه جانور.

برخی از زیست‌شناسان توانستند پارادایم ذهنی خود را تغییر دهند یعنی دیدگاه خود از واقعیت را تغییر دادند تا با این دانش جدید هماهنگ شوند. آنان این جانداران تازه کشف شده را فرمانروهای جدیدی قرار دادند.

یکپارچه کردن ترازهای مختلف اطلاعات

در دیدگاه کاهش‌گرایانه به زیست‌شناسی، پژوهشگران ساده‌ترین فرایندهای زیستی را بررسی می‌کنند. هدف آنان ترکیب دانش خود از بخش‌های کوچک بسیاری است تا کل را درک کنند. کاهش‌گرایی در پژوهش‌های زیستی مهم بوده و هست. با وجود این هم‌چنان که زیست‌شناسان و ابزارهایشان به‌طور روزافزون پیچیده‌تر می‌شوند و مقادیر عظیمی اطلاعات تولید می‌کنند، آنان علم زیست‌شناسی را نیز به تراز متفاوتی می‌آورند. زیست‌شناسی سیستم‌ها رشته‌ای از زیست‌شناسی است که براساس اطلاعاتی که از دیدگاه کاهش‌گرایی

فراهم می‌آید، بنا می‌شود و مجموعه بزرگ اطلاعاتی که رایانه آن‌ها را تولید می‌کند نیز به آن‌ها اضافه می‌شوند. زیست‌شناسی سیستم‌ها به زیست‌شناسی یکپارچه شده یا زیست‌شناسی سیستم‌های یکپارچه شده نیز اشاره می‌کند. زیست‌شناسی کاهش گرایانه و زیست‌شناسی سیستم‌ها دیدگاه‌های تکمیل‌کننده یکدیگرند.

زیست‌شناسان با استفاده از کاهش‌گرایی اطلاعات اساسی را درباره اجزائی مثل مولکول‌ها، ژن‌ها، سلول‌ها و اندام‌ها کشف کرده‌اند. زیست‌شناسان سیستم‌ها بر سیستم‌ها به‌عنوان یک کل پیش از اجزاء جداگانه متمرکزند. آنان مثلاً برای بررسی تعامل بین بخش‌ها و ترازهای گوناگون یک جاندار به دانش پایه نیاز دارند. زیست‌شناسان سیستم‌ها، اطلاعاتی که در ترازهای گوناگون پیچیدگی قرار دارند را با هدف درک یک تصویر بزرگ، یعنی چگونگی عملکرد

سیستم‌های زیستی، یکپارچه

می‌کنند. برای مثال زیست‌شناسان سیستم‌ها مشغول ابداع الگوهایی از جنبه‌های عملکرد سلول‌اند.

گروهی از پژوهشگران، الگویی را ابداع کرده‌اند که تقریباً ۸۰۰۰ علامت شیمیایی دارد که در شبکه‌های مولکولی درگیر است

و به مرگ برنامه‌ریزی شده سلول منتهی می‌شود. با درک ارتباط سولی، تعامل ژن‌ها و پروتئین‌ها در مسیرهای متابولیک و فرایندهای فیزیولوژیک، زیست‌شناسان سیستم‌ها امیدوارند سرانجام الگویی را برای کل یک جاندار ابداع کنند.

زیست‌شناسی سیستم‌ها با مقادیر عظیم داده‌هایی که در پروژه ژنوم انسانی به‌دست آمده، گسترش زیادی یافته‌است. پژوهشگرانی که روی این پروژه کار می‌کنند، توالی‌های DNA را شناسایی کرده‌اند که ۲۵۰۰۰ ژن تخمین زده شده از ژنوم انسانی را تشکیل داده‌است؛ مجموعه کاملی که ماده ژنی انسان را می‌سازد. نرم‌افزار رایانه‌ای که برای این پروژه ساخته شده می‌تواند مجموعه بزرگی از داده‌ها را برای پروژه ژنوم انسانی تجزیه

و تحلیل کند. این برنامه‌ها را برای یکپارچه کردن داده‌های مربوط به تعامل پروتئین‌ها و بسیاری از جنبه‌های زیست‌شناسی مولکولی به کار می‌برند. زیست‌شناسان سیستم‌ها، به زیست‌شناسی برحسب نظام‌های اطلاعات نگاه می‌کنند. این پژوهشگران به اصول ریاضیات، آمار و مهندسی وابسته‌اند.

اخلاق در علم

پژوهش‌های علمی به پایبندی به آرمان‌های اخلاقی مثل صداقت و التزام به انتقال نتایج بستگی دارد. صداقت به‌ویژه در علم مهم است. آسیب بزرگی که یک پژوهشگر با انتشار آگاهانه اطلاعات نادرست ایجاد می‌کند را در نظر بگیرید (هر چند که ممکن است موقتی باشد)؛ پژوهشگری که به اصول اخلاقی پایبند نیست و یا از روی ناچاری و به این علت که شغلش به نتایج پژوهش وابسته است، ممکن است چنین کاری انجام

زیست‌شناسی سیستم‌ها به زیست‌شناسی یکپارچه شده یا زیست‌شناسی سیستم‌های یکپارچه شده نیز اشاره می‌کند. زیست‌شناسی کاهش گرایانه و زیست‌شناسی سیستم‌ها دیدگاه‌های تکمیل‌کننده یکدیگرند

دهد. تا وقتی نادرستی و فریب کشف نشده باشد، ممکن است پول و زمان زیادی از نیروی کار متخصصان سطح بالا صرف دنبال کردن خطوط پژوهشی بشود که از گزارش‌های نادرست الهام گرفته‌اند. فریب به‌ویژه در پژوهش‌های پزشکی می‌تواند خطرآفرین باشد. خوشبختانه علم تمایل دارد خودش را از طریق استفاده منطقی از فرایند علمی اصلاح کند. دیر یا زود نتایج آزمایش یک پژوهشگر، داده‌های نادرست را مورد تردید قرار می‌دهد. پژوهشگران علاوه بر پایبندی به اخلاق در کارشان، با موضوع‌های سیاسی و اجتماعی زیادی پیرامون حیطه‌هایی مثل پژوهش‌های ژنی، سلول‌بنیادی، کلون‌سازی و آزمایش روی جانوران و انسان روبه‌رو هستند. برای مثال برخی از سلول‌های پایه که پتانسیل

بالایی را برای درمان بیماری‌های انسانی نشان می‌دهند، از رویان‌های جوان به‌دست می‌آیند. این سلول‌ها را می‌توان از جنین‌های پنج یا شش روزه انسان به‌دست آورد و در آزمایشگاه پرورش داد. در این مرحله رویان مجموعه‌ای از سلول‌هاست که تقریباً ۰/۱۵ میلی‌متر درازا دارد. چنین سلول‌هایی را می‌توان برای درمان آسیب ناشی از سکته قلبی و مغزی، جراحی‌ها، بیماری پارکینسون یا آلزایمر مهندسی کرد. این سلول‌ها می‌توانند زندگی قربانیان سوختگی را نجات دهند و شاید برای درمان سرطان‌های ویژه‌ای مهندسی شوند. دانشمندان و جامعه باید تعیین کنند آیا فواید بالقوه پژوهش‌ها نسبت به خطرات اخلاقی آن‌ها اهمیت بیش‌تری دارد و یا نه؟

دوران ژنوم مسئولیت‌ها و نگرانی‌های اخلاقی را با خود به همراه دارد. چگونه افراد از محرمانه ماندن اطلاعات ژنی خود حفاظت می‌کنند؟ چطور می‌توانیم اطمینان داشته باشیم وقتی دنبال استخدام شدن یا بیمه سلامتی هستیم از اطلاعات رمزهای ژنی‌مان بر علیه ما استفاده نمی‌کنند؟ دانشمندان باید از نظر اخلاقی مسئول باشند و باید در آموزش شغلی به افراد کمک کنند تا از فواید آن نسبت به خطراتش آگاه شوند. در نخستین مراحل

پروژه ژنوم انسانی بخشی از اعتبار مالی آن به پژوهش درباره نتایج اجتماعی، قانونی و اخلاقی مربوط به یافته‌های این پروژه اختصاص یافت.

پی‌نوشت

1. deductive reasoning
2. premises
3. inductive reasoning
4. inductive leap
5. bias
6. double blind fashion
7. yerkes National Primate Research Center
8. Sampling error
9. Paradigm

منبع

Solomon; Berg; Martin, Biology; 8th edition. Thomson Brooks/Cole, 2008.