فلسفهٔ علم، پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
دوفصل‌نامهٔ علمی ـ پژوهشی، سال هشتم، شمارهٔ اول، بهار و تابستان ۱۳۹۷، ۱۲۷ - ۱۴۱

ارزیابی فلسفی الگوی خطی از تمایز علم محض ـ علم کاربردی

مطالعه‌ای موردی در علم نانو

ابوتراب یغمائی*

چکیده

تقسیم‌بندی علوم به محض و کاربردی سابقه‌ای دویست‌ساله دارد. در این مدت، فیلسوفان و مورخان علم و فناوری درگیر این مسئله بوده‌اند که چه معیاری این دو نوع علم را از یک‌دیگر متمایز می‌کند. الگوی خطی از الگوهای قدیمی و رایج است که مبتنی‌بر آن هدف علم محض رسیدن به معرفت است و هدف علم کاربردی به‌کارگرفتن معرفت علمی برای حل مشکلات عملی. در این مقاله استدلال آورده می‌شود که در حوزهٔ نانو الگوی خطی تمایز میان علم محض ـ علم کاربردی کارآمد نیست. بنابراین، اگر پیش‌فرض تمایز میان علم محض و علم کاربردی درست باشد، رسم تمایز در حوزهٔ مذکور نیازمند الگویی دیگر است.

کلیدواژه‌ها: علم محض، علم کاربردی، الگوی خطی، علم نانو، بازنمایی علمی، طراحی.

۱. مقدمه

در مواجهه با نظام‌هایی که تحت نام «علم» گرد هم می‌آیند تمایزی اولیه آشکار می‌شود. درحالی‌که برخی علوم درگیر رسیدن به حقیقت دربارهٔ جهان‌اند، برخی دیگر به‌دنبال حل مشکلات عملی گام برمی‌دارند. برای نمونه، زیست‌شناسان تکاملی به‌دنبال پاسخ این پرسش‌اند که، در طول تاریخ حیات، گونه‌های زیستی چگونه تحول می‌یابند، فارغ از این‌که معرفت حاصل از نظریه‌پردازی‌شان مشکلی را حل کند یا خیر. این درحالی است که

* استادیار فلسفهٔ علم در پژوهشکدهٔ مطالعات بنیادین علم و فناوری، دانشگاه شهید بهشتی
a_yaghmaie@sbu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۲۰، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۱/۱۷

زیست‌فناوران تلاش می‌کنند تا برپایهٔ معرفت حاصل از زیست‌شناسی تکاملی و ژنتیک ادامهٔ حیات موجودات زنده را مثلاً ازطریق اختراع داروی‌های زیستی بهبود بخشند. تمایز میان علوم محض (علومی که درجست‌وجوی حقیقتِ جهان یا کسب معرفت‌اند) و علوم کاربردی (علومی که به‌دنبال حل مشکلات عملی‌اند) به دو قرن پیش بازمی‌گردد.[۱] درواقع ساموئل تیلور کالریج (۱۸۱۸) بود که برای اولین‌بار و تحت‌تأثیر کانت (4 :2004) از شناخت پیشینی و شناخت عقلانی‌کاربردی تمایز میان علوم محض (هم‌چون فیزیک) و علوم کاربردی (هم‌چون شیمی و الکتریسیته) را وارد دنیای انگلیسی‌زبان کرد.

اما معیار تمایز میان علوم محض و کاربردی چیست؟ به‌بیان دقیق‌تر، آیا تمایز میان علوم به ماهیت متفاوت آن‌ها بازمی‌گردد یا صرفاً امری برساختی است که پس‌زمینهٔ شکل‌گیری علوم تحمیل می‌کند.[۲] به‌بیان‌دیگر، آیا عوامل بیرونی ازقبیل عوامل تاریخی، فرهنگی، اجتماعی، و سیاسی‌اند که منجربه این تمایز می‌شوند؟ فلاسفهٔ علم و دست‌اندرکاران مطالعات علم و فناوری پاسخ‌های گوناگونی به این پرسش داده‌اند که برخی به گروه اول تعلق دارند (Boon 2006; Bunge 1966; Niiniluoto 1993; Niiniluoto 2014) و برخی به گروه دوم (Latour 1987; Pielke 2012; Calvert 2004). یکی از الگوهای بسیار مهمی که تمایز را برآمده از زمینه نمی‌داند، بلکه ناشی از ماهیت علوم می‌داند، اصطلاحاً، الگوی «خطی» تمایز علم محض ـ علم کاربردی است (Douglas 2014: 57; Boon 2006: 30 ; Roll-Hansen 2017: 15). هدف این مقاله ارزیابی الگوی مذکور برای تمایزی خاص است: مطابق این الگو، علم نانو جزء علوم محض محسوب می‌شود یا کاربردی؟ علم نانو در دهه‌های اخیر موجب انقلاب فناورانه شده است. گسترهٔ کاربرد مصنوعات فن‌آوری نانو، از کشاورزی و صنعت نساجی گرفته تا الکترونیک و داروسازی، چنان وسیع و اثرگذاری آن چنان عمیق است که هر الگویی از تمایز میان علم محض و علم کاربردی باید به پرسش مذکور پاسخ دهد. در این مقاله استدلال آورده خواهد شد که الگوی خطی نمی‌تواند تمایز معناداری به‌دست دهد.

ساختار مقاله به این شکل است: در بخش دوم، پس از مرور مختصر تاریخچهٔ الگوی خطی، مؤلفه‌های آن معرفی می‌شوند. در بخش سوم به این موضوع می‌پردازیم که هدف پژوهش در حوزهٔ نانو چیست و این هدف چگونه حاصل می‌شود. بخش چهارم نشان می‌دهد که الگوی خطی برای رسم تمایز در حوزهٔ نانو ناکارآمد است و بنابراین اگر به‌واقع تمایزی در این حوزه وجود داشته باشد، باید طرح دیگری برای بازنمایی آن به‌خدمت گرفت.

۲. الگوی خطی تمایز علم محض ـ علم کاربردی

چند دهه پس از معرفی تمایز میان علوم محض و کاربردی به‌دست کالریج در اوایل قرن نوزدهم، محترم‌شمردن علوم کاربردی به‌واسطهٔ برآورده‌کردن منافع اجتماعی ــ اقتصادی و سپس با آغاز جدال در بریتانیا برسر این‌که آیا علوم کاربردی باید در دانشگاه آموزش داده شوند یا خیر، و اگر آری، آیا آن‌ها مستقل از علوم محض‌اند یا خیر، برخی متفکران انگلیسی‌زبان رویکردی را درخصوص رابطهٔ میان این دو علم پیش‌نهاد کردند که امروزه آن را با نام «الگوی خطی» می‌شناسیم.[۳] برای مثال هاکسلی در مقالهٔ «علم و فرهنگ» در سال ۱۸۸۰ چنین اظهار می‌کند:

> اغلب آرزو می‌کنم که کاش عبارتِ "علم کاربردی" هرگز درست نمی‌شد! زیرا عبارت مذکور بیان‌گر این است که نوعی معرفت علمی وجود دارد که به استفادهٔ عملی مربوط می‌شود و می‌تواند مستقل از نوع دیگر معرفت علمی که هیچ فایدهٔ عملی ندارد و نامش "علم محض" است، مطالعه شود. مغالطه‌آمیزتر از این نمی‌شود. آن‌چه مردم علم کاربردی می‌نامند چیزی نیست جز کاربرد علم محض در طبقه‌ای خاص از مسائل (Kline 1995: 194).

اگرچه در اوایل قرن بیستم، بار دیگر، علوم کاربردی مستقل پنداشته شدند، پس از جنگ جهانی دوم و با شکل‌گرفتن بنیاد ملی علم در آمریکا بود که طفیلی‌پنداشتنِ علوم کاربردی نه‌تنها در فضای دانشگاهی رواج پیدا کرد، بلکه سیاست غالب در حوزهٔ علم و فناوری اجرایی شد. شاید یکی از صریح‌ترین اظهارنظرها دراین‌باره بیان ونور بوش در یادداشت مشهور خود علم: مرز بی‌پایان باشد که می‌نویسد: «فرایندها و محصولات جدید بالغ زاده نمی‌شوند. آن‌ها براساس اصول و مفاهیم جدیدی شکل می‌گیرند که خود نتیجهٔ پژوهش علمی محض یا پایه‌اند. پژوهش علمی زیربنای سرمایهٔ علمی است» (Bush 1945: 6)، یا این‌که: «در این دوران مدرن، تحقیقات پایه طلایه‌دار پیشرفت فناورانه‌اند» (ibid.: 78). نگاه مذکور در اسناد سیاست‌های علم‌وفناوری جدیدتر نیز غالب است (OECD 2002: 31).

اما دیدگاه خطی تنها ازسوی دانشمندان علوم طبیعی و سیاست‌گذاران علم و فناوری مطرح نشده است، بلکه برخی فلاسفه و دست‌اندرکاران حوزهٔ علم و فناوری نیز آن را به‌عنوان بازنمای رابطهٔ علم محض ــ علم کاربردی پیش‌نهاد کرده‌اند (Bunge 1966; Feibleman 1961). ماریو بونخه در معرفی علم محض و کاربردی می‌نویسد: «روش و نظریه‌های علمی را می‌توان برای افزایش معرفت به جهان بیرونی و درونی یا افزایش رفاه و

قدرت به‌کار بست. اگر هدف صرفاً شناختی باشد، علم محض حاصل می‌شود؛ اگر **هدف** اساساً عملی باشد علم کاربردی به‌دست می‌آید» (ibid.: 329).[۴]

وی دربارهٔ نسبت میان علم محض و علم کاربردی نیز تقدم را به علم محض می‌دهد:

> «گاهی اوقات ... ادعا می‌شود که علم کاربردی منشأ علم محض است، به‌جای‌آن‌که برعکس باشد. اما روشن است که **باید معرفتی باشد تا به‌کار گرفته شود**» (ibid.: 330).[۵]

رول ـ هانسن نیز در مقالهٔ اخیر خود، اگرچه تمایز میان علوم کاربردی و علوم محض را براساس چهار تفاوت، یعنی تفاوت در نوع معرفت، تفاوت در معیار موفقیت، تفاوت در آثار اجتماعی، و تفاوت نهادی، ترسیم می‌کند، علوم کاربردی را حاصل به‌کارگیری (applying) معرفتِ حاصل از علوم محض می‌پندارد که حل مسئله‌ای عملی متحقق می‌شوند (Roll-Hansen 2017: 3). براساس این بیان از الگوی خطی و سایر اظهارنظرهایی پیشین که ذکر شدند، به‌نظر می‌رسد که الگو خطی بر دومؤلفهٔ اصلی تکیه دارد:

الف) قصدمندی (intentionality): آن‌چه یک حوزهٔ علمی را محض (پایه) یا کاربردی می‌سازد امری قصدی (intentional) است. به‌بیان دقیق‌تر، اگر علم درجهت تولید معرفت و بدون درنظرگرفتن کاربرد باشد، محض، و اگر درجهت حل مشکل عملی باشد کاربردی خواهد بود؛

ب) تقدم (priority): علم محض بر علم کاربردی تقدم دارد.

اگر علم را مجموعه‌ای از کنش‌ها در نظر بگیریم که هدفش تولید نظریه و الگوهای علمی است، می‌توانیم دو قصد یا هدف را به آن نسبت دهیم. اگر هدف از فعالیت علمی تولید نظریه و الگویی باشد که جهان را بازنمایی می‌کند، آن‌گاه علم مذکور محض خواهد بود. اما اگر هدف نه بازنمایی جهان، بلکه حل مشکل عملی باشد، آن‌گاه کاربردی خواهد بود. علاوه‌براین، علم کاربردی چیزی نیست جز به‌کارگرفتن معرفتِ حاصل از علم محض. بنابراین، کنشی که هدفش بازنمایی جهان است بر کنشی که هدفش حل مشکل است تقدم متافیزیکی دارد؛ چون علم محض می‌تواند موجود باشد بی‌آن‌که علم کاربردی‌ای وجود داشته باشد، درحالی‌که عکس آن ممکن نیست. ضمن‌آن‌که تقدم علم محض بر کاربردی به‌نحو زمانی نیز برقرار است. درادامه سعی می‌شود نشان داده شود که هیچ‌یک از این دو مؤلفه درخصوص علم نانو خوش‌تعریف نیست و بنابراین، الگوی خطی نمی‌تواند تمایز میان محض ـ کاربردی را در حوزهٔ نانو ترسیم کند، البته اگر چنین تمایزی در این حوزه

وجود داشته باشد.[۶] اما پیش‌ازآن لازم است که ویژگی‌های فعالیت علمی در حوزهٔ نانو مشخص شود.

۳. ویژگی فعالیت علمی در حوزهٔ نانو

فناوری (یا علم) نانو در دهه‌های اخیر موجب پیشرفت علمی و فناورانهٔ نامنتظره‌ای شده است. این فناوری نه‌تنها در خاستگاه خود، یعنی فیزیک، بلکه در حوزه‌های دیگری هم‌چون علوم زیستی نیز تحول ایجاد کرده و معنای پژوهش کاربردی و پایه را تغییر داده است. هدف این بخش معرفی فناوری یا علم نانو نیست، بلکه بررسی ویژگی‌های فعالیت علمی در این حوزه است که به‌نظر می‌رسد دست‌خوش تغییرات ماهوی شده است. شایان ذکر است که خودِ دانشمندان حوزهٔ نانو نیز به بدیع‌بودنِ فعالیت علمی در این حوزه اذعان دارند. برای مثال، دانشمند حوزهٔ نانو، اریک درکسلر، مفهوم جدیدی با عنوان «علم کاربردی نظری» (theoretical applied science) معرفی می‌کند تا علومی هم‌چون نانو را ذیل آن قرار دهد. به‌نظر وی الگوسازی در حوزهٔ نانو نه در حوزهٔ علوم مهندسی یا کاربردی است، نه در حوزهٔ علوم محض. هدف علم کاربردی نظری تولید ابزارهایی است که می‌توانند به هدفی خاص دست یابند. تا این‌جا، گویی نانو علم کاربردی است. اما مسئله این است که برای مهندس و هنگام طراحی تحقق فیزیکی محصول یک قید فیزیکی به‌حساب می‌آید، درحالی‌که فعال حوزهٔ نانو طراحی خود را مقید به تحقق فیزیکی آن نمی‌کند. بنابراین، هم‌چون دانشمند علوم محض، محصول وی نیز فارغ از کاربردِ زمان‌مند تولید می‌شود. ازطرفی، محصول علوم کاربردی نظری یک تحلیل یا طراحی است، نه معرفت علمی. بنابراین، علوم کاربردی نظری از علوم محض نیز متمایزند (Drexler 1992: 489-506). اگرچه مقالهٔ پیش‌رو صرفاً ازمنظر سلبی به فعالیت علمیِ نانومقیاس می‌پردازد، نظر درکسلر می‌تواند برای ارائهٔ تحلیلی ایجابی از ماهیت علم نانو الهام‌بخش باشد.

درادامه، ابتدا به ویژگی‌های کلی فعالیت علمی در حوزهٔ نانو اشاره می‌کنیم و سپس سعی می‌کنیم با تمرکز روی میکروسکوپ تونل روبشی (STM)[۷]، که یکی از ابزارهای اصلی شناخت در حوزهٔ نانوست، شرحی انضمامی از این ویژگی‌ها دهیم.[۸]

مجموعه‌ای از ویژگی‌ها، مربوط به فعالیت علمی در حوزهٔ نانو، وجود دارد که این حوزه را یگانه می‌سازد. با به‌کارگیری چهارچوب مفهومی بازنمایی علمی این ویژگی‌ها را می‌توان به دو عنصر «منبع بازنمایی» و «هدف بازنمایی» نسبت داد. درادامه این ویژگی‌ها را بررسی می‌کنیم.

۱.۳ منبع بازنمایی در پژوهش نانومقیاس و ویژگی‌های آن

پیش از آن‌که به رابطهٔ بازنمایی علمی در حوزهٔ نانو بپردازیم مناسب است که مفهوم کلی بازنمایی علمی (فارغ‌ازاین‌که آن را در چه حوزه‌ای از علم به‌کار می‌گیریم) و عناصر مرتبط با آن را به‌اختصار معرفی کنیم. همان‌طورکه پیش‌تر گفته شد، هدف از فعالیت علمی می‌تواند تولید نظریه و الگوی علمی باشد. نظریه‌ها و الگوهای علمی در رابطهٔ خاصی با جهان قرار می‌گیرند که بازنمایی علمی نامیده می‌شود. فارغ‌ازاین‌که رابطهٔ بازنمایی علمی چیست، این اتفاق‌نظر وجود دارد که اگر نظریهٔ علمی T یا الگوی علمی M بازنمای جهان باشد، آن‌گاه T یا M دارای محتوای معناشناختی دربارهٔ جهان است. هرچند واقع‌گرایان علمی می‌پذیرند که نظریه‌های علمی دربارهٔ بخش مشاهده‌پذیر و مشاهده‌ناپذیر جهان‌اند و قرار است این دو بخش را توأمان توصیف کنند، تجربه‌گرایان رابطهٔ بازنمایی را تاجایی می‌پذیرند که نظریه و جهانِ مشاهده‌پذیر رابطه‌های رابطهٔ بازنمایی باشد. بنابراین، اتخاذ موضع واقع‌گرایی یا تجربه‌گرایی تأثیری در پذیرش رابطهٔ بازنمایی علمی ندارد. نکتهٔ دیگری که دربارهٔ بازنمایی علمی وجود دارد به عناصر مرتبط با آن برمی‌گردد. همان‌طورکه اشاره شد، بازنمایی علمی یک رابطه است. این رابطه دو رابط دارد: یک‌سوی آن نظریه‌ها، الگوها، گراف‌ها، معادلات علمی، و امثال آن‌ها و سوی دیگر آن جهان است. به عناصر دستهٔ اول منبع بازنمایی و به جهان هدف بازنمایی گفته می‌شود.[۹]

در حوزهٔ نانو نیز همانند سایر حوزه‌های علمی رابطهٔ بازنمایی علمی وجود دارد. درواقع، دانشمندان نانو سعی می‌کنند (هرچند نه صرفاً) که جهان را در مقیاس نانو (از ۱ تا $۱۰^{-۷}$ متر) بازنمایی کنند، همان‌طورکه کیهان‌شناسان به‌دنبال بازنمایی جهان در مقیاس کیهانی‌اند. در علم نانو علاوه‌بر نظریه‌های علمی و الگوهای انتزاعی، که در سایر حوزه‌های علمی نیز حضور دارند، دو منبع دیگر بازنمایی نیز وجود دارد که نقش به‌سزایی در پیشرفت علم و فناوری نانو داشته‌اند: ۱. بازنمایی‌های برآمده از ابزارهای مترولوژیک، به‌خصوص STM[۱۰]؛ ۲. بازنمایی‌های برآمده از ابزارهای عددی به‌ویژه شبیه‌سازی‌های رایانه‌ای.[۱۱] آن‌چه درباب هدف این مقاله، یعنی نشان‌دادن ناکارآمدی الگوی خطی در حوزهٔ نانو، اهمیت دارد کارکرد ویژهٔ STM است.

عملکرد STM پیچیده و مبتنی‌بر پدیدهٔ تونل‌زنی در مکانیک کوانتومی است که به‌اختصار می‌توان چنین شرحش داد. STM یک نوک تک‌اتمی دارد که با یک برنامهٔ رایانه‌ایِ ازپیش‌تنظیم‌شده روی سطح نمونهٔ مدنظر حرکت و آن را می‌روبد. میان الکترون در

نوک و الکترون‌های سطح نمونه پدیدهٔ تونل‌زنی اتفاق می‌افتد و تغییر در جریان و ولتاژ حاصل از تونل‌زنی ثبت می‌شود. الگوریتم‌های رایانه‌ای این تغییرات را به ویژگی‌های توپوگرافیک تبدیل می‌کنند و درنهایت مکان تک‌تک اتم‌ها و مولکول‌ها تعیین و بازنمایی تصویری می‌شود.

نکتهٔ مهم دربارهٔ STM که آن را ویژه می‌سازد کارکرد دوگانهٔ آن است. این فناوری، ازیک‌سو، ویژگی‌های شکلی مولکول‌های منفرد هم‌چون شکل آن‌ها و سطح برخوردشان با سایر مولکول‌ها را بازنمایی می‌کند و ازسوی‌دیگر، اتم‌ها و مولکول‌ها را به‌صورت منفرد حرکت می‌دهد و از این طریق ترکیبات مصنوعی جدید می‌سازد.[۱۲] بنابراین، STM نه‌تنها در بازنمایی جهانِ نانو، بلکه در دست‌کاری (manipulation) و ساخت آن نیز نقش اساسی دارد.[۱۳] این ویژگی در ابزارهای پژوهشی علمی بدیع است؛ زیرا به‌صورت سنتی ابزارِ شناختِ جهان با ابزارِ ساخت آن متفاوت بوده است. علاوه‌براین، وجود رابطهٔ دینامیکی میان این دو کارکرد، یعنی بازنمایی و ساخت، اهمیت ویژه‌ای دارد. رابطهٔ دینامیکی میان این دو ویژگی بدین معناست که STM ابتدا فعالیتی مانند ساخت شیء را انجام می‌دهد، سپس آن را بازنمایی می‌کند. در مرحلهٔ بعد، در شیء اول دست‌کاری می‌کند و شیء دوم را **می‌سازد، سپس آن را بازنمایی می‌کند** و به همین ترتیب این زنجیره پیش می‌رود تا اهداف فعالیت علمی حاصل شود. در قسمت بعدی مقاله خواهیم دید که چگونه این ویژگی در پژوهش نانومقیاس مرزی را، که الگوی خطی میان علم محض و علم کاربردی ترسیم می‌کند، محو می‌کند.

۲.۳ هدف بازنمایی در پژوهش نانومقیاس و ویژگی‌های آن

اهداف شناختی علوم عموماً ازپیش‌موجودند. برای نمونه، زیست‌شناس جانوری، جانوران ازپیش‌موجود را هدف قرار می‌دهد و با توصیف‌هایی آن‌ها را بازنمایی می‌کند. اما در حوزهٔ نانو، اهداف بازنمایی عموماً ازپیش‌موجود نیستند و نیاز به طراحی دارند. بنابراین، در حوزهٔ نانو، برخلاف حوزه‌های دیگر، هدف ابتدا طراحی و سپس بازنمایی می‌شود. ازهمین‌رو، گویی فرایند طراحی بر فرایند کسب معرفت تقدم دارد.

دانشمندان، به‌صورت سنتی، برای کسب معرفت دست به آزمایش می‌زنند و با مداخله در طبیعت به‌کمک ابزار آزمایش به این مهم می‌رسند. برای مثال، برای اطلاع از دمای آب لیوان که ازپیش‌موجود است، دماسنج (ابزار آزمایش) در درون لیوان قرار می‌گیرد. دماسنج

با آب لیوان میان‌کنش گرمایی برقرار می‌کند (مداخله در طبیعت) و پس از رسیدن به تعادل گرمایی، ستون جیوهٔ آن در درجه‌ای خاص قرار می‌گیرد و با خواندن عدد ثبت‌شده معرفت از دمای آب حاصل می‌شود.

این نمونهٔ ساده‌ای است از الگوی کسب معرفت تجربی که بر علوم غالب است. همان‌طورکه این نمونهٔ ساده نشان می‌دهد، ابژهٔ معرفت (یعنی چیزی که قرار است معرفت از آن حاصل شود) برای کسب معرفت طراحی نمی‌شود. به‌بیان‌دیگر، در الگوی سنتی، ابژهٔ معرفت ازپیش‌موجود است و پژوهش‌گر سعی می‌کند با برقراری رابطهٔ علی میان آن و ابزار اندازه‌گیری معرفت کسب کند. درنهایت نیز معرفت می‌تواند در طراحی اشیا به‌کار گرفته شود. برای نمونه، می‌توان با اطلاع از دمای آب در ساخت حمام گرمایی از آن استفاده کرد. ازهمین‌رو، طراحی پس از کسب معرفت قرار می‌گیرد. اما در حوزهٔ نانو ابژهٔ معرفت، که عموماً «نانومواد پایین – بعد» (low-dimensional nanomaterials) (با بُعد صفر، یک و دو) هستند، ابتدا طراحی انجام می‌شود و سپس کسب معرفت.[۱۴] به‌بیان مارکوویچ و شین:

> در فرایندی که "پژوهش از طریق طراحی" نامیده می‌شود ... جهت تاریخی میان موضوع و سؤال عوض می‌شود. خانوادهٔ مهمی از مواد نانوساختار را اپیتکسیورها[۱۵] می‌سازند که با دقت اشیای اتم‌بُعدی را لایه‌به‌لایه تولید می‌کنند. کاروران در این نوع پژوهش نانومقیاس می‌توانند مواردی را که به حس کنج‌کاوی‌شان می‌خورد سفارش دهند که این برخلاف محدودیت شناختی‌ای است که مواد موجود در طبیعت ایجاد می‌کنند (Marcovich and Shinn 2014: 10).

دلیل این‌که چرا ابتدا ابژهٔ معرفت طراحی می‌شود این است که نانومواد پایین ــ بعد در طبیعت وجود ندارند و نیاز است طراحی شوند. اما این‌که ازاساس چرا این اشیا موجودات جالب توجهی برای کسب معرفت‌اند موضوعی است که درادامه می‌آید.

اشیا در مقیاس نانو ویژگی‌های بدیعی دارند که سایر اشیا فاقد آن‌ها هستند. این امر به چند علّت رخ می‌دهد: اول آن‌که اشیای نانومقیاس در محدوده‌ای قرار دارند که در یک سوی آن قوانین مکانیک کلاسیک و در سوی دیگر آن قوانین مکانیک کوانتومی حاکم است.[۱۶] ازهمین‌رو، برخی از رفتارهایشان ناشی از ویژگی‌های کوانتومی (مثل نیمه‌رسانایی) و برخی ناشی از قوانین مکانیک کلاسیک (مثل فردیت) است.[۱۷] همین امر باعث می‌شود که ویژگی‌های بدیعی در این مقیاس بروز کند؛ هم‌چنین گفته می‌شود که ویژگی‌های شکلی

مواد نانو ویژگی‌های فیزیکی بدیعی به‌دنبال دارند. برای نمونه، در طبیعت سه شکل کربنی (الماس، گرافیت، و زغال‌سنگ) وجود دارد. فولرین‌ها (fullerenes) که اَشکال مصنوعی و سنتزشدهٔ کربنی‌اند ویژگی‌های فیزیکی‌ای هم‌چون نسبت خاصی از وزن به سختی را از خود بروز می‌دهند؛ نکته‌ای دیگر که دربارهٔ اشیای نانومقیاس اهمیت دارد طراحی اتم‌به‌اتم و مولکول‌به‌مولکول برخی از آن‌هاست که سبب کنترل رفتار و بروز ویژگی‌های خودخواستهٔ بدیع می‌شود. اپیتکسی پرتو مولکولی (MBE)[۱۸] روشی است که مواد نانو را با ویژگی‌های مطلوب می‌سازد.

تمامی این علل سبب می‌شوند که اشیای نانومقیاس ویژگی‌های بدیعی داشته باشند، ویژگی‌هایی که سبب می‌شوند معرفت به آن‌ها اهمیت ویژه‌ای بیابد. اگر چنین باشد، طراحی اشیای نانومقیاس تبیین روشنی پیدا می‌کند: آن‌ها طراحی می‌شوند تا ویژگی‌های بدیع از خود بروز دهند. درنهایت نیز معرفت به آن‌ها ازطریق ادوات خاص و روش‌های متمایز حاصل می‌شود.

۴. ناکارآمدی الگوی خطی در پژوهش نانومقیاس

در قسمت پیشین به این نتیجه رسیدیم که فعالیت علمی در مقیاس نانو دارای ویژگی‌های منحصربه‌فردی است. به‌صورت خلاصه می‌توان این ویژگی‌ها را چنین بیان کرد:

الف) در پژوهش نانومقیاس فرایند بازنمایی شیء نانومقیاس با فرایند ساخت شیء نانومقیاس هم‌راه است؛

ب) در پژوهش نانومقیاس یکی از ابزارهای اصلی پژوهش، یعنی STM، بازنمایی و طراحی را توأمان انجام می‌دهد؛

ج) در پژوهش نانومقیاس ابژهٔ بازنمایی ازپیش در طبیعت موجود نیست و نیاز به طراحی دارد.

درادامه نشان می‌دهیم که این سه‌ویژگی منجر به ناکارآمدی الگوی خطی می‌شوند. به‌یاد داریم که الگوی خطی بر دو مؤلفه مبتنی بود: ۱. قصدمندی (قصد افراد است که ماهیت پژوهش را تعیین می‌کند)؛ ۲. تقدم (پژوهش کاربردی به پژوهش پایه‌ای وابسته است که پیش‌تر معرفت علمی مربوط را تولید کرده است، نه برعکس). برای نشان‌دادن ناکارآمدی الگوی خطی از تمایز نشان داده می‌شود که هیچ‌کدام از دو مؤلفهٔ فعالیت‌های علمی در حوزهٔ نانو برقرار نیستند.

۱.۴ فعالیت علمی در حوزهٔ نانو و قصدمندی

همان‌طورکه پیش‌تر نیز اشاره شد، اگر قصد فرد از انجام پژوهش علمی تولید معرفت علمی بدون توجه به کاربرد باشد، فعالیت علمی محض و اگر معطوف به کاربرد باشد، هم‌چون تولید محصول فناورانه، کاربردی خواهد بود. اما نکتهٔ مهم دربارهٔ پژوهش‌های نانومقیاس این است که هر دو قصد در یک‌دیگر در هم تنیده‌اند. دلیل این موضوع، اول، ازپیش‌موجودنبودن ابژهٔ معرفت و، دوم، هم‌راه‌بودن فرایند طراحی با بازنمایی با استفاده از ابزاری هم‌چون STM است.

درواقع شرط لازم برای این‌که قصد دانشمند از انجام فعالیت علمی محض از قصد او از انجام فعالیت علمی کاربردی متمایز باشد این است که، در فرایندی که تولید معرفت قصد شده است، کاربرد آن معرفت قصد نشده باشد و برعکس. اما در پژوهش نانومقیاس هر دو هدف قصد می‌شود؛ زیرا فرایند تولید معرفت نمی‌تواند مستقل از تولید محصول باشد و برعکس. برای نشان‌دادن این منظور درخصوص «فعالیت علمی محض» فرض کنید که هدف دانشمند تولید معرفت دربارهٔ شیء نانومقیاس X است، حال‌آن‌که شیء مذکور وجود ندارد. بنابراین، دانشمند ابتدا باید شیء X را با ابزاری هم‌چون STM طراحی کند و سپس آن را بازنمایی کند تا درباره‌اش کسب معرفت کند. بنابراین، دانشمند برای کسب معرفت از ویژگی‌های شیء X باید توأمان تولید و بازنمایی را قصد کند. دراین‌صورت فعالیت علمی مذکور، آن‌چنان‌که الگوی خطی مفروض می‌گیرد، نه ماهیت محض دارد و نه ماهیت کاربردی.

علاوه‌براین، درهم‌تنیدگی بازنمایی و طراحی الگوی خطی را با دشواری جدی‌تری نیز روبه‌رو می‌کند. فرض کنید دانشمندی برای پی‌بردن به ویژگی‌های شیء X مجبور باشد اشیای واسطهٔ Y، Y’، Y’’ و ... را طراحی (و بازنمایی) کند. دراین‌صورت، نه‌تنها طراحی X بلکه طراحی (و بازنمایی) اشیای واسطه نیز باید قصد شود. بنابراین، قصدکردن برای کسب معرفت به X تنها زمانی معنا دارد که طراحی شیء X به‌هم‌راه طراحی (و بازنمایی) اشیای Y، Y’، Y’’ و ... قصد شده باشد.

نکتهٔ اخیر دربارهٔ «فعالیت علمی کاربردی» نیز صادق است. فرض کنید قصد دانشمند تولید محصول یا بهره‌برداری از شیء نانومقیاس X است. دراین‌صورت، دانشمند با ابزاری هم‌چون STM شروع به طراحی X می‌کند. باتوجه‌به این‌که شیء X پیش‌تر در طبیعت موجود نیست و درنتیجه، معرفت به آن نیز وجود ندارد، دانشمند باید حین

طراحی به آن معرفت یابد تا طراحی آن مطابق با اهداف ازپیش‌تعیین‌شده باشد.[۱۹] این موضوع باتوجه‌به کارکرد دوگانهٔ ابزاری هم‌چون STM ممکن می‌شود.[۲۰] پیش‌تر درخصوص کارکرد STM گفتیم که این ابزار حین طراحی شیء آن را بازنمایی هم می‌کند. بنابراین، قصد دانشمند برای طراحی X باید با قصد دانشمند برای بازنمایی آن هم‌راه باشد، که البته باتوجه‌به کارکرد دوگانهٔ STM اهدافی معقول و سازگارند. دراین‌صورت نیز فعالیت علمی مدنظر، چنان‌که الگوی خطی مفروض می‌گیرد، نه ماهیت محض دارد و نه ماهیت کاربردی.

علاوه‌براین، درهم‌تنیدگی فرایند بازنمایی و طراحی در پژوهش نانومقیاس دوباره موضوع را برای الگوی خطی پیچیده‌تر می‌کند. فرض کنید که طراحی X مستلزم بازنمایی و (طراحی) اشیای واسطه‌ای Y، Y’، Y’’ و ... باشد. دراین‌صورت، پژوهش به‌قصد طراحی شیء نانومقیاس X نه‌تنها مستلزم پژوهش به‌قصد بازنمایی شیء X، بلکه مستلزم پژوهش به‌قصد بازنمایی (و طراحی) اشیای واسطه‌ای دیگر نیز خواهد بود.

۲.۴ فعالیت علمی در حوزهٔ نانو و تقدم

مطابق با دومین مؤلفهٔ الگوی خطی، یعنی تقدم، کاربرد یا بهره‌برداری از معرفت دربارهٔ X (علم کاربردی) مستلزم ازپیش‌موجودبودن معرفت X (علم محض) است. اما همان‌طورکه درمورد پژوهش‌های نانومقیاس اشاره شد، محصولات نانوفناورانه اصولاً ازپیش‌موجود نیستند و نیاز به طراحی دارند. بنابراین، ابتدا باید آن‌ها را طراحی و درحین یا پس از آن، با استفاده از ابزارهایی هم‌چون STM بازنمایی کرد. بنابراین، فعالیت علمی‌ای که قرار است به معرفت دربارهٔ X بینجامد نه‌تنها بر فعالیت علمی‌ای مقدّم است که قرار است به طراحی X بینجامد، بلکه دست‌کم هم‌زمان با آن و دست‌بالا مؤخر بر آن است.

ممکن است اعتراض شود که هیچ‌یک از محصولات فناورانه ازپیش‌موجود نیستند و بنابراین، معرفتی به آن‌ها در دست نیست، اما ویژگی مذکور مستلزم این نیست که کاربرد بر معرفت تقدم یابد. در پاسخ به این اعتراض باید گفت درست است که هیچ‌یک از محصولات فناورانه ازپیش‌موجود نیستند، اما برای عموم آن‌ها به اغلب ویژگی‌هایشان معرفت وجود دارد. برای مثال، معرفت به کارکرد رادیو، که از نظریهٔ الکترومغناطیس ناشی می‌شود، پیش از طراحی آن نیز وجود دارد. اما درخصوص اشیای نانومقیاس چنین نیست. این اشیا ویژگی‌های بدیعی دارند که معرفت به آن‌ها از

نظریه‌های مکانیک کوانتوم و کلاسیک به‌دست نمی‌یابد و تنها با طراحی آن‌ها حاصل می‌شود. حال این امر می‌تواند ناشی از ناتوانی‌های شناختی باشد یا اساساً در سطح هستی‌شناختی ریشه داشته باشد. در هر دو صورت، طراحی شیء X مقدّم بر معرفت به X نخواهد بود.

همان‌طورکه مشاهده می‌کنیم، دو مؤلفهٔ اساسی الگوی خطی از تمایز میان علم محض ـ علم کاربردی، یعنی قصدمندی و تقدم، در حوزهٔ نانو حاضر نیستند. آموزهٔ قصدمندی برقرار نیست، چون در فعالیت علمی حوزهٔ نانو قصدِ تولید معرفت با قصدِ کاربرد (که طراحی محصول است) گره خورده است. آموزهٔ تقدم برقرار نیست، چون معرفت به شیء نانومقیاس پس از یا هم‌راه با طراحی آن شیء حاصل می‌شود. بنابراین، الگوی خطی در حوزهٔ نانو نمی‌تواند میان علم محض و علم کاربردی تمایز نظری ترسیم کند. درنتیجه، الگوی خطی نمی‌تواند به این سؤال پاسخ دهد که علم نانو به حوزهٔ علوم کاربردی تعلّق دارد یا علوم محض.

۵. نتیجه‌گیری

تمایز میان علوم محض و کاربردی شهوداً معتبر است. درحالی‌که نظام‌هایی هم‌چون فیزیکِ گرانش (به‌مثابهٔ نمونه‌ای از علوم محض) و مهندسی معدن (به‌مثابهٔ نمونه‌ای از علوم کاربردی) هردو علمی‌اند؛ گویی ماهیتاً متمایزند. الگوی خطی از تمایز، که ریشه‌های تاریخی آن به قرن نوزدهم بازمی‌گردد، یکی از مشهورترین الگوها برای رسم تمایز است. الگوی خطی، با تکیه بر دو مؤلفهٔ قصدمندی و تقدم، میان علم محض و علم کاربردی تمایزی ترسیم می‌کند که برای کفایت باید با نمونه‌های موجود از علوم، که شهوداً به طبقهٔ محض و کاربردی تعلّق دارند، مطابق باشد. ازهمین‌رو، مناسب است تا کفایت آن را درخصوص یکی از انقلابی‌ترین علوم در دهه‌های اخیر، یعنی علم نانو، به‌محک بگذاریم. در این مقاله نشان داده شد که الگوی خطی نمی‌تواند فعالیت علمی در حوزهٔ نانو را محض یا کاربردی محسوب کند؛ زیرا این حوزه از علم ویژگی‌های بدیعی دارد، هم‌چون نقش ویژهٔ طراحی در کسب معرفت و کارکرد دوگانهٔ ابزارهایی هم‌چون STM در بازنمایی و طراحی. با احترام به این شهود که میان فعالیت‌های علمی محض و کاربردی واقعاً تمایز وجود دارد، توسل به الگویی دیگر در حوزهٔ نانو ضروری به‌نظر می‌رسد.

سپاس‌گزاری

بخش‌هایی از این مقاله در نهمین کنگرهٔ اروپایی فلسفهٔ تحلیلی در مونیخ ارائه شـده اسـت. نویسنده از مخاطبان سخنرانی که نکات سازنده‌ای مطرح کردند سپاس‌گزار است. نویسـنده از نکاتی که داوران ناشناختهٔ این مجله مطرح کردند نیز عمیقاً تشـکر مـی‌کنـد. ایـن مقالـه حاصل طرحی پژوهشی با حمایت مالی دانشگاه شهید بهشتی است.

پی‌نوشت‌ها

۱. هرچند تمایزگذاشتن میان علوم محض و کاربردی پدیده‌ای است که بـه دوران پـس از انقـلاب علمی مربوط می‌شود، ریشه‌های تاریخی تمایز میان معرفت نظری و معرفـت عملـی بـه یونـان باستان بازمی‌گردد. برای نسبت میان نمونه‌هایی از این دو نوع معرفت در یونان باستان، بنگرید به Rhill and Tucker 2002.

۲. دربارهٔ تمایز محض ـ کاربردی تمایز مشهور علم ـ فناوری وجود دارد. اگر علم را محصول فعالیت علمی محض و فناوری را محصول فعالیت علمی کاربردی بدانیم، دو تمایز به یک‌دیگر مربوط خواهند بود. برای آشنایی بیش‌تر با ادبیات مربوط به تمایز علم ـ فناوری، بنگرید به Channell 2017. نینیلوتو (Niiniluoto 1993) با جزئیات بیش‌تری این دو تمایز را بررسی کرده است. دربارهٔ مقالهٔ حاضر باید گفت اگرچه محصولات نانوفناورانه نقش بسیاری در ماهیت فعالیت علمی در حوزهٔ نانو دارند، این مقاله صرفاً قلمرو نانو را به‌منزلهٔ حوزه‌ای از فعالیت علمی بررسی می‌کند، نه درقالبی فناورانه.

۳. برای تاریخ تغییر و تحول تمایز، بنگرید به Bud 2012; Douglas 2014; Kline 1995.

۴. تأکید اضافه شده است.

۵. تأکید اضافه شده است.

۶. به الگوی خطی، به‌صورت کلّی، یعنی فارغ‌ازاین‌که تمایز قرار است در چه حوزه‌ای ترسیم شود، انتقادهایی وارد شده است. بـرای نمونـه، کـارت‌رایـت (Cartwright 1976) اشـاره مـی‌کنـد کـه نظریه‌های علوم محض مقید به شرط *ceteris paribus* هستند. بنابراین، به‌کارگیری آن‌ها در مثـالی انضمامی نیازمند ملاحظهٔ این قیود است. ازطرفی، چون نظریه‌ای جامع وجود ندارد که همهٔ ایـن قیود را در برگیرد، نمی‌توان نظریه‌های علوم محض را برای حل مسئله‌ای انضمامی به‌کار گرفت. موریسون (Morrison 2006) هم با تأکید بر این‌که مفهومِ **به‌کارگیری** نمی‌تواند علوم کـاربردی را متعین کند، ره‌یافت‌هایی را نقد کرده است که قصد دارند با توسل به مفهوم به‌کارگیری تمـایز را ترسیم کنند.

7. scanning tunneling microscope

۸. پژوهش‌های حوزهٔ نانو معمولاً به دو دستهٔ پژوهش‌های پایین‌به‌بالا (bottom-up) و پژوهش‌های بالابه‌پایین (top-down) تقسیم می‌شوند. درحالی‌که در پژوهش‌های دستهٔ اول سعی می‌شود با کنار هم قراردادن ساختارهای جزئی ساختارهای کلّی‌تر ساخته شود، در پژوهش‌های دستهٔ دوم سعی می‌شود از ساختارهای کلّی ساختارهای جزئی‌تر تولید شود. این مقاله صرفاً به دستهٔ اول پژوهش‌ها می‌پردازد. دلیل این موضوع این است که موفقیت‌های شگفت‌انگیز حوزهٔ نانو عمدتاً در این دسته قرار می‌گیرند. برای آشنایی با جزئیات این موفقیت‌های شگفت‌انگیز، بنگرید به Marcovich and Shinn 2014.

۹. یکی از پرسش‌های مهم فلسفی درباب بازنمایی علمی این است که شرایط لازم و کافی برای بازنمایی علمی یا مقوم‌های آن چه هستند. دراین‌باره نظریه‌های متعددی وجود دارد. برای آشنایی با مفهوم بازنمایی علمی و نظریه‌های دربارهٔ آن، بنگرید به French Bueno and Colyvan 2011 ; 2003; Frigg 2006, 2010; Frigg and Hartmann 2006; Frigg and Nguyen 2016; Suárez 2003; Suárez 2010. هم‌چنین، فلاسفه ماهیت بازنمایی علمی در حوزهٔ نانو را بررسی کرده‌اند. برای نمونه، بنگرید به Bueno 2006; Lenhard 2006; Winsberg 2006; Winsberg 2009.

۱۰. ادعا می‌شود که پژوهش نانومقیاس با اختراع STM آغاز می‌شود (Marcovich and Shinn 2014: 15). بنابراین، STM نقشی حیاتی در ماهیت پژوهش نانومقیاس دارد. چگونگی اختراع STM که خود نمونه‌ای است از اختراع ناخواسته و ازاین‌رو شاهدی برای شرح نلسون از شکل‌گیری موفقیت‌های شگرف که مودی (Mody 2011) به‌تفصیل آن را بررسی کرده است.

۱۱. مارکوویچ و شین ابزارهای به‌کاررفته در پژوهش نانومقیاس را در دو گروه ابزارهای مترولوژیک و ابزارهای عددی قرار می‌دهند. ابزارهای گروه اول ابزارهایی‌اند که هدفشان شناخت ویژگی‌های شکلی هم‌چون شکلِ شیء موردمطالعه است (Marcovich and Shinn 2014: ch. 2). هدف ابزارهای گروه دوم توصیف و پیش‌بینی رفتار اشیای نانومقیاس است. میکروسکوپ تونل روبشی (STM) و میکروسکوپ نیروی اتمی (atomic force microscope (AFM)) از گروه اول و شبیه‌سازی‌های رایانه‌ای از گروه دوم‌اند.

۱۲. دونالد ایگلر در سال ۱۹۹۰ مقاله‌ای در مجلهٔ *Nature* منتشر کرد که در آن تصویری از کلمهٔ IBM مندرج بود. درواقع آن تصویری بود از ۳۵ اتم زنون که نوک STM آن‌ها را چیده بود (Eigler and Schweizer 1990). این‌که می‌توان تک‌تک اتم‌ها را به‌میل خود چید و جهان ریزاتمی را کاملاً کنترل کرد انقلابی در علم و فناوری محسوب می‌شود.

۱۳. اتفاقاً این کارکرد دوم است که موجب پیشرفت پژوهش نانومقیاس شده است. دلیل این موضوع وجود میکروسکوپ‌هایی هم‌چون میکروسکوپ الکترونی است که قدرت تفکیک بسیاری دارند و بنابراین، اهداف خود را بهتر بازنمایی می‌کنند. باوجوداین‌که این نوع

میکروسکوپ‌ها از ۱۹۳۰ به بعد موجود بودند، منجر به پژوهش نانومقیاس نشدند. تنها پس از دهۀ ۱۹۸۰ یعنی پس از ساخت اولین نمونه‌های STM است که پژوهش نانومقیاس به‌معنای امروزین آن شکل می‌گیرد. بنابراین، کارکرد دوم STM یعنی دست‌کاری جهان و ساخت مصنوعات است که سهم بیش‌تری در پیشرفت پژوهش نانومقیاس داشته است (Marcovich and Shinn 2014: 15-23).

۱۴. باکی‌بال‌ها (buckyballs)، نانوتیوب‌ها (nanotubes)، نانوسیم‌ها (nanowires)، و نقاط کوانتومی (quantum dots) از مهم‌ترین نانومواد پایین ـ بعدند که در دهه‌های آخر قرن بیستم ساخته شدند.

۱۵. منظور کسانی‌اند که از روش اپیتکسی (epitaxy) در ساخت نانومواد بهره می‌برند. این روش از روش‌های پایین‌به‌بالا است که در آن لایه‌های اتمی برروی یک پایه نشانده می‌شوند.

۱۶. مقیاس نانو شامل ۱ تا ۱۰۰نانومتر می‌شود. در یک سر طیف اشیایی هم‌چون نقاط کوانتومی تا حدود ۳۰نانومتر حضور دارند که، علاوه‌بر ویژگی‌های کلاسیکی هم‌چون فردیت، ویژگی‌های کوانتومی هم‌چون نیمه‌رسانایی هم دارند (Murphy and Coffer 2002) . در سوی دیگر، اجزای چیپ‌های رایانه‌ها از مرتبۀ ۱۰۰نانومتر قرار دارند که از خود ویژگی‌های کلاسیکی بروز می‌دهند. در میانه هم اشیایی هم‌چون ویروس‌های سرماخوردگی قرار دارند که از مرتبۀ ۱۰نانومترند.

۱۷. گذار میان مقیاس‌های کوانتومی و کلاسیکی برای توصیف رفتار اشیای نانومقیاس روشی پدیده آورده است با نام «الگوسازی چندمقیاسی» (Winsberg 2006).

18. molecular beam epitaxy

۱۹. درواقع آموزۀ «تقدم» این امر را ضروری می‌کند.

۲۰. برای نمونه، می‌توان به ساخت و بازنمایی نقاط کوانتومی با STM اشاره کرد (Folsch et al. 2014).

کتاب‌نامه

Boon, M. (2006), "How Science is Applied in Technology", *International Studies in the Philosophy of Science*, vol. 20, no. 1.

Bud, R. (2012), "Applied Science: A Phrase in Search of a Meaning", *Isis*, vol. 103, no. 3.

Bud, R. (2014), "Applied Science' in Nineteenth-century Britain: Public Discourse and the Creation of Meaning", *History and Technology*, vol. 30, no. 1-2.

Bueno, O. (2006), "Representation at the Nanoscale", *Philosophy of Science*, vol. 73, no. 5.

Bueno, O., and M. Colyvan (2011), "An Inferential Conception of the Application of Mathematics", *Noûs*, vol. 45, no. 2.

Bunge, M. (1966), "Technology as Applied Science", *Technology and Culture*, vol. 7, no. 3.

Bush, V. (1945), *Science: the Endless Frontier*, Washington, DC: US Government Printing Office.

Calvert, J. (2004), "The Idea of 'Basic Research' in Language and Practice", *Minerva*, vol. 42, no. 3.

Cartwright, N. (1976), "How Do We Apply Science?" in R. S. Cohen et al. (eds.), PSA 1974, *Boston Studies in the Philosophy of Science*, vol. 32.

Channell, D. F. (2017), *A History of Technoscience: Erasing the Boundaries Between Scienceand Technology*, Routledge.

Coleridge, S. T. (1818), *A Treatise on Method*, London: B. Fellowes.

Douglas, H. (2014), "Pure Science and the Problem of Progress", *Studies in History and Philosophy of Science*, Part A, 46.

Drexler, K. E. (1992), *Nanosystems: Molecular Machinery, Manufacturing, and Computation*, John Wiley & Sons, Inc.

Eigler, D. M., and E. K. Schweizer (1990), "Positioning Single Atoms with a Scanning Tunnelling Microscope", *Nature*, vol. 344, no. 6266.

Feibleman, J. K. (1961), "Pure Science, Applied Science, Technology, Engineering: An Attempt at Definitions", *Technology and Culture*, vol. 2, no. 4.

Folsch, S. et al. (2014), "Quantum Dots with Single-atom Precision", [Letter], *Nat Nano*, vol. 9, no. 7.

French, S. (2003), "A Model-Theoretic Account of Representation, or I Don't Know Much about Art, but I Know It Involves Isomorphism", *Philosophy of Science*, vol. 70.

Frigg, R. (2006), "Scientific Representation and the Semantic View of Theories", *Theoria*, vol. 50.

Frigg, R. (2010), "Models and Fiction", *Synthese*, vol. 172.

Frigg, R., and J. Nguyen (2016), "Scientific Representation", in E. N. Zalta (ed.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*.

Frigg, R., and S. Hartmann (2006), "Models in Science", in E. N. Zalta (ed.), *Stanford Encyclopedia of Philosophy*.

Kant, I., and M. Friedman (2004), *Kant: Metaphysical Foundations of Natural Science*, Cambridge University Press.

Kline, R. (1995), "Construing Technology as Applied Science", *Public Rhetoric of Scientists and Engineers in the United States*, 1880-1945, *Isis*, vol. 86.

Latour, B. (1987), *Science in Action: How to Follow Scientists and Engineers through Society*, Harvard University Press.

Lenhard, J. (2006), "Surprised by a Nanowire: Simulation, Control, and Understanding", *Philosophy of Science*, vol. 73, no. 5.

Marcovich, A., and T. Shinn (2014), *Toward a New Dimension: Exploring the Nanoscale*, Oxford University Press.

Mody, C. C. M. (2011), *Instrumental Community: Probe Microscopy and the Path to Nanotechnology*, MIT Press.

Morrison, M. (2006), "Applying Science and Applied Science: What's the Difference?" *International Studies in the Philosophy of Science*, vol. 20, no. 1.

Murphy, C. J. and J. L. Coffer (2002), "Quantum Dots: A Primer", *Applied Spectroscopy*, vol. 56, no. 1.

Niiniluoto, I. (1993), "The Aim and Structure of Applied ResearchC", *Erkenntnis*, vol. 38, no. 1.

Niiniluoto, I. (2014), "Values in Design Sciences", *Studies in History and Philosophy of Science*, Part A, 46 (Supplement C).

OECD. (2002), Frascati Manual 2002: Proposed Standard Practice for Surveys on Research and Experimental Development: OECD.

Pielke, R. (2012), "Basic Research as a Political Symbol", *Minerva*, vol. 50, no. 3.

Rihll, T. E., and J. V. Tucker (2002), "Practice Makes Perfect: Knowledge of Materials in Classical Athens", in *Science and Mathematics in Ancient Greek Culture*, Oxford University Press.

Roll-Hansen, N. (2017), "A Historical Perspective on the Distinction between Basic and Applied Science", Journal for *General Philosophy of Science*, vol. 48, no. 4.

Suárez , M. (2003), "Scientific Representation: Against Similarity and Isomorphism", *International Studies in the Philosophy of Science*, vol. 172.

Suárez, M. (2010), "Scientific Representation", *Philosophy Compass*, vol. 5, no. 1

Winsberg, E. (2006), "Handshaking Your Way to the Top: Simulation at the Nanoscale", In J. Lenhard, G. Küppers & T. Shinn (eds.), *Simulation: Pragmatic Construction of Reality*, Dordrecht: Springer Netherlands.

Winsberg, E. (2009), "Models and Theories at the Nano-scale Spontaneous Generations", A Journal for the *History and Philosophy of Science*, vol. 2, no. 1.