Philosophy of Science, Institute for Humanities and Cultural Studies (IHCS)
Biannual Journal, Vol. 14, No. 1, Spring and Summer 2024, 177-195
https://www.doi.org/10.30465/ps.2025.50787.1757

Reevaluating the Relationship Between Science and Technology:

Extending David Miller's Perspective

Emad Tayebi*

Abstract

Science seeks to explain reality, while technology aims to alter or intervene in reality based on intentional goals. This raises critical questions about the relationship between science and technology and their respective roles in advancing one another. Building upon David Miller's article, Putting Science to Work, and adopting the framework of critical rationalism, this study argues that science is neither a sufficient nor a necessary condition for technological advancement. Science is conjectural and can serve as a source of critique, inspiration, or, at times, misdirection for technology. In complementing Miller's perspective, we further contend that technology is neither sufficient nor logically necessary for scientific progress. Technology can play a critical role in advancing science, with certain technologies acting as sources of inspiration for scientific inquiry. Conversely, technological advancements can, in certain cases, impede the progress of science. This nuanced perspective offers a deeper understanding of the interplay between these two domains.

Keywords: science and technology relationship, applied science, critical rationalism, David Miller, technological progress.

* PhD in Philosophy of Science and Technology, Institute of Humanities and Cultural Studies, emadtayebi@yahoo.com

Date received: 01/02/2024, Date of acceptance: 29/04/2024

فلسفهٔ علم، پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
دوفصل‌نامهٔ علمی (مقالهٔ پژوهشی)، سال ۱۴، شمارهٔ ۱، بهار و تابستان ۱۴۰۳

رابطهٔ علم و تکنولوژی:
بازسازی و بسط دیدگاه دیوید میلر

عماد طیبی*

چکیده

اگر هدف علم را شناخت واقعیت و تکنولوژی را تغییر واقعیت برای تحقق مقاصد در نظر بگیریم، این پرسش پیش رو است که علم و تکنولوژی چه رابطه‌ای با هم دارند و چه نقشی در پیشرفت یکدیگر ایفا می‌کنند؟ ما در این مقاله تحت تأثیر مقاله‌ی به‌کارگیری علم دیوید میلر و با اختیار رویکرد عقلانیت نقاد، نشان می‌دهیم که علم برای تکنولوژی نه تنها کافی نیست بلکه از جهت منطقی ضروری هم نیست و نقش علم در تکنولوژی، نقادانه و الهام‌بخش و حتی در مواردی گمراه‌کننده است. در تکمیل دیدگاه میلر، استدلال خواهیم کرد که تکنولوژی نیز برای علم کافی و از جهت منطقی ضروری نیست. علم قطعی نیست و تکنولوژی می‌تواند برای آن نقش نقادانه ایفا کند. همچنین برخی تکنولوژی‌ها می‌تواند الهام‌بخش علم باشد. به این نکته نیز توجه می‌دهیم که در مواردی پیشرفت تکنولوژی می‌تواند مانع پیشرفت علم شود.

کلیدواژه‌ها: رابطه علم و تکنولوژی، علم کاربردی، عقلانیت نقاد، دیوید میلر، پیشرفت تکنولوژیکی.

۱. مقدمه

از حدود قرن شانزدهم میلادی و دوران مدرن، علم در جامعه جایگاه ارزنده‌ای پیدا کرد. دانشمندانی همچون گالیله، کپلر، نیوتون، فارادی، ماکسول به ارائه نظریه‌های علمی پرداختند که شالوده علم پیش از خود را متحول کردند و به نوعی انقلاب علمی را رقم زدند. این پیشرفت

* دکترا فلسفه علم و فناوری، پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی، emadtayebi@yahoo.com
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۱۲، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۱۰

علمی، همراه با تحولات تکنولوژیکی (technological changes) وسیعی بود که دوران صنعتی را شکل داد. موتور بخار، سیستم حمل و نقل ریلی، جاده‌ای و هوایی، سیستم ارتباطی، اینترنت و گوشی‌های هوشمند جلوه‌هایی از این تحولات تکنولوژیکی هستند. پرسش قابل‌طرح این است که آیا این هم‌زمانی ظاهری برخی تحولات علمی و تکنولوژیکی به این معنا است که علم و تکنولوژی لزوماً مبتنی بر یکدیگر یا از هم قابل‌استنتاج هستند؟ علم بر تکنولوژی، مقدم است یا تکنولوژی بر علم؟ این دو چه تأثیری بر یکدیگر می‌گذارند و به طور کلی رابطه علم و تکنولوژی چگونه است؟

چگونگی رابطه علم و تکنولوژی، در وهله‌ی اول، وابسته به پیش‌فرض‌های فلسفی است که در مورد چیستی علم و تکنولوژی مدنظر داریم. به طور مثال اگر علم و تکنولوژی را برساخت‌های اجتماعی (social constructs) در نظر بگیریم و بر جنبه‌های اجتماعی شکل‌گیری آن‌ها تأکید کنیم شاید علاقه‌ای به تفکیک این دو نداشته باشیم و چنانکه برونو لاتور پیشنهاد می‌کند از واژه تکنوساینس استفاده کنیم (Latour, 1987: 174). هرچقدر نظریه فلسفی ما در مورد علم و تکنولوژی دقیق‌تر یا دارای توان تبیینی بالاتری باشد احتمالاً می‌توانیم تبیین دقیق‌تری از رابطه‌ی علم و تکنولوژی داشته باشیم. اما برای تبیین آن چیزی که در این مقاله مدنظر ما است همین‌قدر کفایت می‌کند که در این تعریف توافق داشته باشیم که علم جستجوی شناخت واقعیت و تکنولوژی در پی تغییر واقعیت بر اساس مقاصد (intentions) یا طرح (plan or design) است (Simon, 2019, 5; Skolimowski, 1966: 374). از این جهت دانشمند در پی دانستن (knowing) و مهندس در پی انجام‌دادن (doing) است (Layton, 1974). به یک تعبیر دیگر علم در پی حل مسائل معرفتی (epistemic problems) است و تکنولوژی در پی حل مسائل غیرمعرفتی یا عملی (practical problems) است (پوپر، ۱۳۷۹: ۲۰۷؛ پایا، ۱۳۹۶: ۷۹).

با توافق با این پیش‌فرض حداقلی در مورد علم و تکنولوژی، دو نسبت بین علم و تکنولوژی قابل‌بررسی است. یکی نقشی که علم در تکنولوژی ایفا می‌کند و دیگری نقشی که تکنولوژی در علم ایفا می‌کند. در مورد نقش علم در تکنولوژی، دیدگاه متداولی بین بسیاری از عموم جامعه و حتی در دوران مدرن بین اندیشمندان وجود دارد که تکنولوژی را به‌کارگیری علم در عمل می‌داند (Florez et al., 2019). این دیدگاه به صورت یک الگوی خطی قابل‌مدل‌سازی است که در آن علم به تکنولوژی تبدیل می‌شود (Radder, 2009: 70; Grover, 2019: 55) و لزوماً پیشرفت تکنولوژیکی را متأخر از پیشرفت علمی تصور می‌کند (احمدی و زیباکلام، ۱۳۹۰). از طرف دیگر در مورد نقش تکنولوژی در علم دیدگاهی وجود دارد که بر

اساس آن علم بدون بهره‌گیری از تکنولوژی امکان‌پذیر نیست. به طور مثال اگر علم را مبتنی بر مشاهده و آزمایش (experiment) در نظر بگیریم، طراحی آزمایش اساساً امری تکنولوژیک است و از این جهت علم وابسته به مشاهده و تکنولوژی‌های آزمایشگاهی (laboratory technologies) است (Habermas, 1971; 1978). بر این اساس این پیشرفت تکنولوژیکی آزمایشگاه‌ها است که منجر به پیشرفت علمی می‌شود.

دیوید میلر در مقاله به‌کارگیری علم[1] مبتنی بر رویکرد عقلانیت نقاد[2] (critical rationalism) به نقد دیدگاه تکنولوژی به مثابه علم کاربردی (applied science) می‌پردازد. نقشی که میلر برای علم در نسبت با تکنولوژی ترسیم می‌کند یک نقش نقادانه (critical) است که باعث می‌شود تکنولوژی را از پیگیری طرح‌های ناموفق بازدارد. ما در این مقاله همسو با میلر و مبتنی بر رویکرد عقلانیت نقاد، دیدگاه او را در مورد رابطه علم و تکنولوژی بازخوانی و تکمیل می‌کنیم. در بخش دوم مقاله با طرح استدلال‌های میلر، نشان می‌دهیم که علم و تکنولوژی از جهت منطقی یک رابطه‌ی خطی ضروری (necessary) با هم ندارند. نقش علم برای تکنولوژی از جهت اثباتی یک نقش الهام‌بخش و از جهت سلبی یک نقش نقادانه است. آنچه ما در این رابطه به دیدگاه میلر می‌افزاییم این است که علم در مواردی می‌تواند نقش گمراه‌کننده نیز برای تکنولوژی ایفا کند و آن را از پیگیری پاره‌ای از طرح‌های تکنولوژیکی ممکن بازدارد. در بخش سوم به نقش تکنولوژی در علم می‌پردازیم که میلر کمتر بدان پرداخته است. ضمن ترسیم اهمیت تکنولوژی‌های آزمایشگاهی در پیشرفت علمی اما نشان می‌دهیم که نقش این تکنولوژی‌ها در علم نقشی نقادانه است و علم نیز لزوماً مبتنی بر تکنولوژی‌های آزمایشگاهی نیست. همین‌طور تبیین خواهیم کرد که برخی تکنولوژی‌ها نیز می‌تواند الهام‌بخش علم باشد و همینطور برخی تکنولوژی‌ها می‌تواند مانع علم شود. بخش چهارم نتیجه‌گیری است.

۲. نقش علم در تکنولوژی

اگر فرض بگیریم که تحولات علمی و تکنولوژیکی به نحو تاریخی هم‌زمان یا یکی بر دیگری مقدم بوده باشند، دلیلی بر ضرورت یا تقدم منطقی علم و تکنولوژی بر یکدیگر نیست. در واقع هم‌زمانی دو چیز یا تقدم یکی بر دیگری از جهت زمانی دلیلی بر یکی‌بودن آن دو چیز یا تقدم علّی و ضروری یکی بر دیگری نخواهد بود. بنابراین اساساً نمی‌توان از روش تاریخی برای اثبات یک رابطه‌ی منطقی بین علم یا تکنولوژی استفاده کرد. حتی اگر در کل دوران تاریخی همواره علم بر تکنولوژی مقدم بوده باشد یا بالعکس تکنولوژی بر علم مقدم بوده باشد،

نمی‌توان اثبات کرد که علم منطقاً بر تکنولوژی مقدم است یا بالعکس[۳]. بنابراین روش تاریخی برای اثبات رابطه منطقی بین علم و تکنولوژی مفید نخواهد بود و نیاز به رویکردی فلسفی داریم. هرچند از روش تاریخی به نحو سلبی و به عنوان مثال نقض بر دیدگاهی که علم یا تکنولوژی را لازم و ملزوم یا یکی را بر دیگری مقدم می‌داند، می‌توان استفاده کرد. به طور مثال اگر یک نظریه‌ی فلسفی در رابطه‌ی بین علم و تکنولوژی بر این ادعا باشد که علم بر تکنولوژی ضرورتاً مقدم است، با ارائه‌ی یک مثال نقض تاریخی که در آن نظریه‌ی علمی بر تکنولوژی مرتبط مقدم نبوده باشد، می‌توان دیدگاهی که علم را بر تکنولوژی منطقاً مقدم می‌داند، رَد کرد. چرا که اگر علم تقدم منطقی یا علّی بر تکنولوژی داشته باشد ضرورتاً باید تقدم زمانی نیز داشته باشد اما بالعکس آن صادق نیست یعنی تقدم زمانی دلیلی بر تقدم منطقی یا علّی نخواهد بود[۴].

۱.۲ عدم‌تقدم ضروری علم بر تکنولوژی

یک برداشت بیشتر متداول در مورد رابطه علم و تکنولوژی این نگاه است که علم بر تکنولوژی مقدم است و کار مهندسان به‌کارگیری دانش برای ساخت مصنوعات (artifacts) و ابزارها (instruments) است (ورماس و دیگران، ۱۳۹۱: ۱۲۲). این نگاه در دهه‌های اخیر موردنقدهای مختلف قرار گرفته است (نک. احمدی و زیباکلام، ۱۳۹۰؛ Brooks, 1994; Boon, 2006; Niiniluoto, 1997 Agassi, 1966). این نگرش که گِرُور آن را پارادایم کلاسیک مرتبط با دوران مدرن می‌نامد (Grover, 2019)، نوعی نگرش بیکنی به علم است. بیکن اساساً علم را با قدرت برابر می‌دانست (Toffler, 1990: 12). از نظر او علم باید در عمل به کار بیاید و سودمند باشد. تصویری که بیکن در کتاب آتلانتیس نو (2008) از مدینه فاضله مدنظر خود ترسیم می‌کند، دارای کاخ سلیمانی است که در آن دانشمندان، علم را در ماشین‌ها و کشتی‌ها به کار گرفته‌اند. دیدگاه دکارت را نیز می‌توان از همین سنخ تعبیر کرد. در درخت‌واره‌ای که دکارت در کتاب اصول فلسفه (۱۳۶۴) از علم ترسیم می‌کند، فلسفه ریشه، فیزیک تنه و دیگر شاخه‌های علوم مثل مکانیک میوه این درخت هستند. از این جهت تکنولوژی‌ها مبتنی بر علم و ثمره‌ی علم هستند و به تعبیری تکنولوژی چیزی نیست، مگر دانش برگرفته از عمل و برای عمل (Gadamer, 1996). چنانکه ماریو بونخه نیز در مقاله‌ای تحت عنوان تکنولوژی به مثابه علم کاربردی از تکنولوژی به مثابه نوعی دانش در شناخت و طراحی مصنوعات تعبیر می‌کند (Bunge, 1966).

این نگاه به نوعی الگـوی خطـی در رابطـه‌ی علـم، تکنولـوژی و پیامـدهای اجتمـاعی آن می‌انجامد. تکنولوژی به‌کـارگیری علـم در عمـل اسـت و تـأثیر اجتمـاعی یـا اخلاقـی، پیامـد تکنولوژی است (Ihde, 1991). بر این اساس، می‌توان چنین تعبیر کرد که اگر علم خود واقعیت و خیر است، پس به‌کـارگیری آن یعنـی تکنولـوژی نیـز خیـر مطلـق اسـت و اگـر پیامـدهای ناخواسته‌ای ناشی از تکنولوژی وجود دارد، می‌توان از آن تعبیر به عوارض ناخواسته‌ای کرد که ناشی از به‌کارگیری نادرست علم در یک موقعیت خاص است (منجمی، ۱۳۹۴: ۹۵). این نگـاه عمدتاً مبتنی بر نگرش سودانگارانه (utilitarian) به علم است. در واقـع علـم نـه بـرای خـود و شناخت واقعیت بلکه برای کاربرد (use)، عمل و سودمندی ارزشمند است.

دیدگاه سودانگارانه در تقابل با دیدگاهی است که هدف علم و ارزشـمندی آن را شـناخت واقعیت و صدق (truth) می‌داند (Popper, 2013) ولو اهـداف دیگـری نیـز در نتیجـه آن محقـق شود[۵]. مفهوم «کاربرد علم» یا استفاده از علم، خود دچار چالش است. تعبیر «علـم کـاربردی» و فرایند کاربردی‌سازی علم دارای تبیین دقیقی نیست و مشخص نیست چگونه علم یا نظریـه‌ی علمی در عرصه‌ی عملی به‌کارگیری می‌شود (Krohn & Schafer, 1983: 46). دیوید میلـر (2023) در مقاله‌ی به‌کارگیری علم، چندین دلیل بر تمایز علم و تکنولوژی و نفی رابطه ضروری آن دو بیان می‌کند که در نقد این رویکرد از آن استفاده می‌کنیم.

دلیل اول «تکنولوژی‌های حیوانی» مثل لانه‌سازی پرندگان، سدسـازی سـگ آبـی، حفـاری موش و امثالهم است. به نظر نمی‌رسد حیوانات این تکنولوژی‌ها را مبتنی بر نظریه‌هـای علمـی مـرتبط طراحـی کننـد. بـه تعبیـری حیوانـات مهنـدس هسـتند امـا دانشـمند نـه. دلیـل دوم «تکنولوژی‌های ساده» روزمره‌ای مثل آشپزی، آهنگ‌سازی و آرایشگری است. به نظر نمی‌رسـد برای آشپزی لزوماً نیاز به دانستن نظریه‌های علمی در مـورد مـواد تشـکیل‌دهنـده غـذا باشـد. همین‌طور یک آهنگ‌ساز لزوماً نیازی به دانستن نظریه‌های امواج ندارد و یا آرایشگر نیـازی بـه دانستن ساختار شیمیایی مواد آرایشی ندارد. در پرواز بدون‌موتور نیز لزومـاً نیـازی بـه دانسـتن قوانین آیرودینامیک نیست. حتی کشاورز نیز لزوماً نیاز به دانستن نظریه‌های زیستی ندارد[۶]. این دو دلیل نشان می‌دهد علم برای تکنولوژی ضروری نیست (Miller, 2023: 17-20).

دلیل سوم اینکه برخی دانشمندان در مورد قابلیت‌های عملی پدیـده‌هـایی کـه در مـورد آن نظریه‌پردازی کردند در اشتباه بودند. به طور مثال کلوین و رایلی که نقش جدی در نظریه‌هـای هیدرودینامیک داشتند، معتقد بودند که ماشین‌های پرنـده‌ی سـنگین‌تـر از هـوا، قابلیـت پـرواز

ندارند. همینطور رادفورد ۹ سال قبل از پروژه اتمی شیکاگو معتقد بود که انرژی هسته‌ای قابل‌آزادسازی نیست (Snow, 1962: 34).

دلیل چهارم این است که یک نظریه علمی به سادگی قابل‌تبدیل به تکنولوژی مرتبط نیست. همکاری توماس نئوکامن (Thomas Newcomen) و دنیس پاپین (Denis Papin) در قرن هجدهم میلادی در صورتی به تولید موتور بخار انجامید که نئوکامن به عنوان یک مهندس هیچ دانشی در مورد ایجاد خلاء نداشت و بالعکس پاپین نیز هیچ علاقه و تصوری از تبدیل آزمایشگاه کوچک خود به موتور عملیاتی نداشت. تولید موتور بخار به دلیل یک همکاری دو طرفه بین دانشمند و مهندس ایجاد شد. این‌گونه نبود که پاپین در کشف اصل موتور اتمسفری باهوش‌تر از نئوکامن بوده باشد یا نئوکامن صرفاً نظریه پاپین را در عمل به کار گرفته باشد (Basalla, 1988: 95). مثال دیگر در این رابطه این است که امروزه با اینکه شناختی از ساختار ویروس آبله نداریم اما واکسن مقابله با آن را تولید کرده‌ایم و بالعکس با اینکه از ساختار ویروس HIV اطلاع داریم اما هنوز نتوانسته‌ایم، واکسن مقابله با آن را تولید کنیم (Miller, 2023: 20-23). دو دلیل اخیر نشان می‌دهد علم برای تکنولوژی کافی نیست.

اما دلیل منطقی در نقد دیدگاه تکنولوژی به مثابه علم کاربردی این است که یک نظریه علمی، شناخت بخشی از واقعیت یا روابط علّی است که می‌تواند به صورت یک قانون بیان شود که رابطه‌ی بین علت (cause) و معلول یا اثر (effect) را نمایش می‌دهد. تکنولوژی تغییر واقعیت و ایجاد یک معلول یا اثر است. ایجاد یک معلول یا اثر می‌تواند ناشی از علل مختلفی باشد که بسیاری از آن‌ها را لزوماً یک نظریه علمی خاص تبیین نکرده است. یک نظریه‌ی علمی صرفاً می‌تواند تبیین کند که یک علت، چه پدیده یا اثری را به وجود می‌آورد و عکس آن صادق نیست. یعنی نمی‌توان گفت که یک پدیده یا اثر ناشی از چه علتی است. بنابراین اگر یک نظریه یا قانون علمی مرتبط با پدیده‌ای داشته باشیم این بدان معنا نیست که آن پدیده ضرورتاً ناشی از آن علتی است که آن نظریه یا قانون علمی تبیین کرده است. بنابراین یک تکنولوژی می‌تواند مبتنی بر قوانین دیگری باشد که هنوز نظریه‌ای علمی آن‌ها را تبیین نکرده است. مهم‌تر اینکه شاید یک نظریه‌ی علمی برای ما تبیین کند که علت یک پدیده مطلوب چیست اما چگونگی ایجاد آن پدیده را به ما نشان نمی‌دهد. در واقع چگونگی ایجاد یک پدیده که می‌توان آن را به صورت انجام کنش‌هایی (actions) بیان کرد، متفاوت از تبیین رابطه‌ی علّی بین یک علت و آن پدیده است. بنابراین علم برای تکنولوژی نه تنها کافی نیست بلکه ضروری هم نیست (Miller, 2023, 26-27).

۲.۲ نقش نقادانه، الهام‌بخش و بعضاً گمراه‌کنندهٔ علم در تکنولوژی

تا بدین‌جا استدلال کردیم که از جهت منطقی، علم به نحو ضروری مقدم بر تکنولوژی نیست یعنی این‌گونه نیست که علم لزوماً به تکنولوژی بیانجامد یا تکنولوژی صرفاً به‌کارگیری علم در عمل باشد. این بدین معنا است که عوامل مختلفی در پیشرفت تکنولوژی می‌توانند مؤثر باشند و علم صرفاً یکی از آن عوامل است که وجود آن همواره ضروری نیست. به تعبیر لاودن این ساده‌سازی است که تحول تکنولوژی را صرفاً به پیشرفت علمی پیوند بزنیم. تحول تکنولوژی متأثر از عوامل مختلف معرفتی، اجتماعی، سیاسی و اقتصادی است (۱۴۰۱).

اما در هر صورت، به نحو امکانی (possibility) در بسیاری از موارد علم می‌تواند بر تکنولوژی مؤثر باشد. ما سه نقش عمده برای علم در تکنولوژی تبیین می‌کنیم. یکی نقش سلبی و «نقادانه» علم برای تکنولوژی است؛ دیگری نقش «الهام‌بخش» علم برای تکنولوژی است و در نهایت در مواردی امکان نقش «گمراه‌کننده» علم برای تکنولوژی است.

علم می‌تواند نقش «نقادانه» در تکنولوژی داشته باشد. بر اساس قوانین ترمودینامیک، تولید ماشین با بازدهی ۱۰۰درصد منتفی تلقی می‌شود، بنابراین از جهت تکنولوژیکی، پیگیری ساخت چنین ماشینی موفق نخواهد بود. در واقع قوانین ترمودینامیک نقش سلبی و نقادانه‌ای برای آن طرح تکنولوژیکی ایفا می‌کنند که تولید ماشین با بازدهی ۱۰۰درصد را پیگیری می‌کند. قانون اُهم، پیگیری ساخت لامپ را به برخی قابلیت‌های فیزیکی محدود می‌کند و از این جهت پیگیری ساخت لامپی خارج از این قابلیت‌ها از نظر قانون اُهم ناممکن است (Miller, 2023: 37). دانستن اینکه فلان بیماری ناشی از ویروس است نه باکتری، نقد و استدلالی خواهد بود بر اینکه مصرف آنتی‌بیوتیک‌ها برای جلوگیری از آن بیماری ویروسی مؤثر نیست.

به تعبیر پوپر قوانین علمی را می‌توان به نحوی سلبی بیان کرد که بیان‌کننده این است که چه چیزی ناممکن است. به طور مثال قانون پایستگی انرژی می‌تواند به این نحو بیان شود که نمی‌توانید ماشینی با حرکت دائمی بسازید یا بر اساس قانون آنتروپی، ساخت ماشین با بازدهی ۱۰۰درصد ممکن نیست. پوپر از این شکل بیان قانون، تعبیر به شکل تکنولوژیکی قانون طبیعی می‌کند (Popper, 1944, sec 20). از این نظر، نقش نقادانه اساسی‌ترین نقش علم برای تکنولوژی است.

نقش اثباتی علم برای تکنولوژی نهایتاً یک نقش الهام‌بخش خواهد بود. بررسی پرواز پرندگان صرفاً می‌تواند الهام‌بخش طراحی هواپیما باشد نه اینکه از آن بتوان ساختار هواپیما را استنباط کرد (Miller, 2023: 33). علم به وجود قابلیتی در واقعیت به نام انرژی اتمی می‌تواند

الهام‌بخش ما برای پیگیری تکنولوژی‌هایی باشد که بتوانیم از طریق آن‌ها انرژی اتمی را آزاد و استفاده کنیم. در واقع علم به ما قابلیت‌های واقعیت را نشان می‌دهد اما چگونگی ایجاد آن مرتبط با تکنولوژی است. یک نظریه‌ی علمی، رابطه‌ی علّی بین یک پدیده و یک واقعیت را تبیین می‌کند اما چگونگی ایجاد آن پدیده را تبیین نمی‌کند؛ برای ایجاد یک پدیده باید طرح تکنولوژیکی طراحی کرد. هرچند آگاهی به وجود یک قانون علمی در مورد یک پدیده می‌تواند الهام‌بخش ما برای پیگیری طرحی برای به وجودآوردن یا کنترل آن باشد اما به هر حال علم از جهت تکنولوژیکی عقیم است.

اما آیا علم می‌تواند بر تکنولوژی نقش گمراه‌کننده داشته باشد یا مانع تکنولوژی شود؟! به قول جوزف آگاسی «اگر از دانشجویان بخواهید که مصادیقی از تأثیر مثبت علم بر تکنولوژی یا بالعکس تهیه کنند احتمالاً فهرست بلندبالایی را به شما نشان خواهند داد اما بالعکس آن اگر بخواهید که مصادیقی از تأثیرات منفی علم بر تکنولوژی یا بالعکس ذکر کنند، احتمالاً نتوانند موارد زیادی را ذکر کنند» (Agassi, 1982). شاید این امر از این جهت باشد که عموماً علم را مقدس و تکنولوژی را کاربرد آن در عمل تصور می‌کنند، از این جهت اساساً امکان تأثیر منفی علم بر تکنولوژی منتفی است. اما به نظر می‌رسد می‌توان مواردی را ذکر کرد که علم می‌تواند مانع تکنولوژی شود. به طور مثال اگر کوهنورد تازه‌کار به پایین نگاه کند، این علم می‌تواند منجر به سقوط یا اختلال در عملکرد او شود یا دانش کم یک مبارز از حریف قدرتمندتر بعضاً می‌تواند باعث پیروزی او شود. به طور مشابه، در برخی موارد احتمال دارد آگاهی از یک نظریه‌ی علمی منجر به نوعی گمراهی در تکنولوژی شود. در قرن نوزدهم بر اساس معادلات ماکسول، طراحی موتور القایی غیرممکن بود اما مهندسان برق با اصلاح و ترکیب آن با قوانین مکانیک، چنین موتوری را طراحی کردند (Kline, 1987). در واقع اگر به نظریه‌ی علمی مرتبط به طور کامل اعتماد می‌شد، تولید موتور القایی اصلاً امکان‌پذیر نبود. به تعبیری قطعی‌تصورکردن یک نظریه‌ی علمی حتی می‌تواند در مواردی مانع پیشرفت تکنولوژیکی شود.

۳. نقش تکنولوژی در علم

تبیینی از نقش علم در تکنولوژی ارائه کردیم اما در ادامه به رابطه‌ی عکس یعنی نقش تکنولوژی در علم می‌پردازیم. دیوید میلر در چکیده مقاله به‌کارگیری علم در ویرایش سال ۲۰۰۹ بیان کرده بود که عمدتاً تأثیر تکنولوژی بر علم اثباتی است در حالیکه تأثیر در جهت عکس آن [علم بر تکنولوژی] تقریباً به طور کامل سلبی است؛ اما این عبارت را در چکیده

ویرایش سال ۲۰۲۳ حذف کرد و چیزی در این رابطه بیان نکرد. ما در اینجا تبیین می‌کنیم که نقش تکنولوژی در علم نیز یک رابطه‌ی ضروری نیست بلکه نقش تکنولوژی نیز یک نقش نقادانه، الهام‌بخش و حتی در مواردی ممکن است گمراه‌کننده باشد. نکته‌ای که بدان باید توجه کرد این است که تکنولوژی‌ها متکثر هستند و هرکدام جهت تحقق قصد (intention) یا کارکردی (function) طراحی شده‌اند. این‌گونه نیست که هر نوع تکنولوژی بر هر گونه نظریه علمی تأثیر بگذارد یا بالعکس. در واقع برای یک تحلیل دقیق‌تر نیاز به یک رویکرد جزئی‌تر به علم و تکنولوژی داریم[۷].

۱.۳ عدم‌ابتنای علم بر تکنولوژی

بر عکس دیدگاه عمدتاً متداولی که علم را مبنای تکنولوژی در نظر می‌گیرد، دیدگاهی قابل‌تصور است که تکنولوژی را مبنای علم می‌داند. این رابطه بدین شکل قابل بیان است که علم بدون تکنولوژی امکان بروز و ظهور ندارد. این نگاه با مصادیقی از علوم مدرن طرح می‌شود که مبتنی بر تجهیزات (instrumentalities) و امکانات آزمایشگاهی شکل گرفته‌اند (Price, 1984). به طور مثال ساخت تلسکوپ، بستری برای طرح نظریه‌های اخترشناسانه گالیله ایجاد کرد یا تکنولوژی‌های ساخت آشکارساز موجب شد بررسی بسیاری از پدیده‌های موجی و اتمی ممکن شود. آزمایشگاه شتاب‌دهنده‌ی ذرات سرن نیز نقش اساسی در پژوهش پیرامون ذرات بنیادی ایفا می‌کند[۸]. کامپیوترها نیز چنین نقش ابزاری را در طرح نظریه آشوپ ایفا کردند (Cuevas, 2005: 65). ادعای این نگاه بر این است که اساساً بدون تکنولوژی، مشاهده علمی میسر نیست (Ihde, 1990). از این جهت، علم کاملاً مبتنی بر تکنولوژی است و با پیشرفت تکنولوژی، پیشرفت‌های علمی ایجاد می‌شود.

در نقد چنین دیدگاهی باید توجه داشت، اینکه تکنولوژی‌های آزمایشگاهی نقش جدی در بسیاری از پیشرفت‌های علمی جدید ایفا کرده‌اند، قابل‌کتمان نیست اما این بدین معنا نیست که علم لزوماً مبتنی بر تکنولوژی است. این ادعا که علم مبتنی بر ابزارها یا تکنولوژی‌های آزمایشگاهی است مبتنی بر این پیش‌فرض است که مبنای علم، «مشاهده» است (پایا و منصوری، ۱۳۹۷: ۱۴۵) و بر همین اساس پیشرفت تکنولوژی‌های آزمایشگاهی را که توسعه‌ی مشاهده انسان هستند، پیش‌فرض پیشرفت علمی تصور می‌کند. اولاً این پیش‌فرض عمدتاً پوزیتویستی قابل‌مناقشه است[۹]. ثانیاً بسیاری از نظریه‌های علمی مبتنی بر مشاهدات آزمایشگاهی یا با استفاده از ابزارآلات تکنولوژیکی طرح نشده‌اند؛ به خصوص نظریه‌های علمی قدیم صرفاً

مبتنی بر مشاهدات شخصی و بدون استفاده از ابزار فنی خاصی ارائه شده‌اند. هرچند استفاده از ابزارهای تکنولوژیکی مثل میکروسکوپ یا آشکارساز می‌تواند نقش جدی در پژوهش علمی ایفا کند اما لزوماً نظریه‌پردازی علمی وابسته به ابزار تکنولوژیکی نیست.

دو نکته قابل‌توجه در این رابطه این است که بسیاری از تکنولوژی‌ها، تکنولوژی‌های آزمایشگاهی نیستند و نقش خاصی در پژوهش‌های علمی ایفا نمی‌کنند. از تکنولوژی‌های ساده‌ای مثل نجّاری تا تکنولوژی‌های پیچیده‌ای مثل سیستم حمل و نقل هوایی جهت پژوهش‌های علمی طراحی نشده‌اند و لزوماً به پیشرفت علمی نمی‌انجامند. بنابراین بسیاری از تکنولوژی‌ها نقشی در علم ایفا نمی‌کنند. نکته‌ی دیگر اینکه نظریه‌های علمی جهت ارائه یا انتقال به مدل نیازمندند که مسامحتاً می‌توان آن را نوعی تکنولوژی در نظر گرفت. زبان، علائم و اشکال مدل‌هایی هستند که نقش بازنمایی (Representation) و انتقال نظریه‌های علمی را ایفا می‌کنند. هرچند این نقش برای علم از جهت بین‌الاذهانی‌بودن علم و انتقال آن اساسی است اما مدل‌های علمی، خود علم نیستند. در واقع درست است که نظریه‌های علمی از طریق مدل‌ها بیان و منتقل می‌شوند اما علم به خودی خود نظریه‌هایی پیرامون واقعیت است. حتی اگر نظریه‌های علمی را صرفاً مدل بدانیم، علم را می‌توان گونه‌ای تکنولوژی در نظر گرفت که قصد آن شناخت واقعیت است که با تکنولوژی‌های دیگر که در پی تغییر واقعیت هستند، متفاوت است. در هر صورت علم به معنای شناخت واقعیت از جهت منطقی به نحو ضروری مبتنی بر تکنولوژی نیست، هرچند تکنولوژی می‌تواند نقش جدی در پیشرفت علمی ایفا کند.

۲.۳ نقش نقادانه، الهام‌بخش و بعضاً گمراه‌کنندهٔ تکنولوژی در علم

چنان‌که توضیح دادیم، علم می‌تواند نقش نقادانه‌ای برای تکنولوژی ایفا کند و مهندسین را از پیگیری طرح‌های تکنولوژیکی ناموفق بازدارد. اما اگر علم خطا کند چه؟ این امر جزو بنیادی‌ترین آموزه‌های عقلانیت نقاد است که علم خطاپذیر و حدسی (conjecture) است. پیشرفت علمی اساساً این است که نظریه‌های علمی دقیق‌تر یا با توان تبیینی بیشتر جایگزین نظریه‌های علمی قبلی می‌شوند که در پاره‌ای از موارد بر خطا بودند. این‌گونه نیست که قوانین علمی قطعی باشند و نقش نهایی را ایفا کنند. بنابراین همچنان تولید ماشین با بازدهی ۱۰۰درصد قابل‌پیگیری است، چرا که علی‌الاصول، شاید قوانین ترمودینامیک اشتباه باشد. اگر بتوانیم ماشینی با بازدهی ۱۰۰درصد بسازیم، بالعکس این نظریه‌ی علمی است که رَد می‌شود. طبق نظریه مکانیکی ارسطویی، شیء سنگین‌تر با سرعت بیشتری نسبت به شیء مشابه سبک‌تر

به زمین می‌رسد اما با انجام آزمایش‌هایی که توسط گالیله انجام شد، نشان داده شد که این نظریه غلط است. اساساً نقش بسیاری از تکنولوژی‌های آزمایشگاهی، طراحی یک آزمایش جهت نقد یک نظریه‌ی علمی است. آزمایش دوشکافی یانگ نقدی بر نظریه‌ی ذره‌ای نور بود چرا که رفتاری که از نور مشاهده شد یعنی الگوهای تداخلی نور با آنچه که نظریه ذره‌ای پیش‌بینی می‌کرد، مطابق نبود. اما باید دقت کرد که آزمایش دوشکافی یانگ اثباتی برای نظریه‌ی موجی نور نیست بلکه صرفاً نقد نظریه ذره‌ای است. یک نظریه‌ی علمی را نمی‌توان از صرف یک سری مشاهدات استنباط کرد[۱۰]. نقد نظریه ذره‌ای صرفاً جا را برای فرضیه‌های دیگری مثل نظریه‌ی موجی باز می‌کند و نه اینکه لزوماً به آن بیانجامد[۱۱]. همین‌طور باید دقت کرد که نقادی نظریه‌های علمی صرفاً از طریق تکنولوژی‌های آزمایشگاهی انجام نمی‌شود بلکه می‌توان نظریه‌های علمی را از روش‌های دیگر از جمله منطقی و فلسفی هم نقادی کرد (Popper, 1983).

اما همان‌گونه که علم الهام‌بخش تکنولوژی است، تکنولوژی نیز می‌تواند الهام‌بخش علم باشد. اگر گونه‌ای از تکنولوژی امکان‌پذیر باشد اما نظریه‌ی علمی مرتبط با پدیده‌ی موردنظر ارائه نشده باشد، می‌تواند الهام‌بخش پژوهش‌های علمی باشد. چنانکه بیان کردیم، امکان تولید واکسن آبله مدت‌ها وجود دارد اما همچنان از ساختار DNA آن اطلاع درستی نداریم. این امر می‌تواند موجب کنجکاوی علمی شود که اساساً چگونه واکسن آبله می‌تواند در مقابل ویروس آبله مقابله کند. به عنوان مثال دیگر، فرض کنید نسبت به قابلیت‌های برخی حیوانات آگاهی نداشته باشیم؛ مثلاً ندانیم برخی جلبک‌ها چگونه تولیدنور می‌کنند این امر می‌تواند الهام‌بخش انگیزه ما برای تبیین چگونگی این پدیده باشد. اما همچنان باید دقت کرد این به معنای این نیست که برای تولید نور لزوماً باید سازوکار بدن جلبک‌ها در تولید نور را بدانیم.

علاوه بر نقش سازنده تکنولوژی بر علم، تکنولوژی نیز می‌تواند نقش منفی در پیشرفت علمی ایفا کند. به طور مثال اینترنت و گسترش اطلاعات، موجب شده است منابع زیادی از اطلاعات غلط منتشر شود که بعضاً می‌تواند موجب گمراهی دانشمندان شود. همین‌طور گسترش برخی از تکنولوژی‌ها مثل فیلم‌ها و بازی‌ها می‌تواند موجب نوعی تنبلی ذهنی و کاهش خلاقیت و تفکر نقادانه شود که لازمه نظریه‌پردازی علمی است. علاوه بر این‌ها توجه به حفظ و توسعه تکنولوژی‌ها می‌تواند بسیاری از تلاش‌ها و بودجه‌ها را به سمت خود جذب کند و مانع از توجه و سرمایه‌گذاری در پژوهش‌های علمی شود. بنابراین به طور کلی نباید تصور کرد که پیشرفت تکنولوژی لزوماً به پیشرفت علم کمک می‌کند. این مطلب ما را به این

امر توجه می‌دهد که حتماً باید پیشرفت علم و تکنولوژی را در حوزه‌های مختلف کنترل، مدیریت و راهبری کرد.

۴. نتیجه‌گیری

رابطه‌ی علم و تکنولوژی رابطه‌ی خطی یا ساده‌ای نیست. این‌گونه که نیست که کار مهندس صرفاً به‌کارگیری یک نظریه‌ی علمی در عمل باشد. مهندسی یک فرایند پیچیده حل‌مسئله جهت تحقق مقاصد است که به تغییر واقعیت می‌انجامد. همانگونه که کار دانشمند در حل مسائل معرفتی، نظریه‌پردازی و تبیین واقعیت، ارزشمند است؛ کار مهندس در حل مسائل عملی، طراحی و تغییر واقعیت جهت تحقق مقاصد نیز ارزشمند است. هرچند می‌توان امروزه از دانشمند–مهندسانی (scientist-engineers) نام برد که بر هر دو حیطه تسلط دارند (Layton, 1971: 578) اما این دو فرایند از یکدیگر متمایز هستند و در یک رابطه‌ی خطی ضروری با هم قرار ندارند. نه علم برای تکنولوژی ضروری است و نه تکنولوژی برای علم. اما این بدین معنا نیست که این دو نمی‌توانند به یکدیگر کمک کنند. بلکه اساساً بسیاری از پیشرفت‌های علمی و تکنولوژیکی در قرون اخیر وابسته به همین همکاری علم و تکنولوژی است[۱۲].

علم و تکنولوژی نقش نقادانه نسبت به یکدیگر دارند. این اساسی‌ترین رابطه‌ی علم و تکنولوژی است. نظریه‌های علمی می‌توانند عدم‌موفقیت پیگیری برخی طرح‌های تکنولوژیکی را نشان دهند و موفقیت برخی طرح‌های تکنولوژیکی هم می‌تواند نادرستی برخی نظریه‌های علمی را نشان دهد. علاوه بر این اگر آزمایش را یک روش نقادی نظریه‌های علمی در نظر بگیریم؛ تکنولوژی‌های آزمایشگاهی به ما در نقادی نظریه‌های علمی کمک بسیاری می‌کنند. اما این نقش سازنده غیرضروری، فقط بخشی از فرایند پیشرفت علمی است. فرایند علمی شامل خلاقیت در نظریه‌پردازی و روش‌های نقادی دیگری هم می‌شود که می‌توانند در پیشرفت علمی نقش ایفا کنند. از طرف دیگر به این امر هم باید توجه جدی داشت که شاید علم و تکنولوژی تأثیر گمراهکننده بر یکدیگر هم داشته باشند. برخی از تکنولوژی‌ها می‌توانند آینده بشریت و اساساً هرگونه نظریه‌پردازی را تهدید کنند. هرچند شاید مصادیق زیادی را در حال حاضر نتوان ذکر کرد اما علم هم به خصوص در مواردی که ناقص باشد که البته همواره ناقص است، در مواردی می‌تواند ما را از پیگیری مقاصد عملی خود باز دارد.

نوع مواجه ما با علم و تکنولوژی و رابطه‌ی این دو، تأثیر جدی بر سیاست‌گذاری و به خصوص جذب منابع مالی و انسانی برای پروژه‌های پژوهشی دارد. اگر علم موجب تکنولوژی

شود، منابع به علم اختصاص می‌یابد و اگر تکنولوژی موجب علم و دیگر تکنولوژی‌ها شود، منابع به تکنولوژی اختصاص می‌یابد (Wise, 1985, 229). اگر سیاست کلان در راستای پیشرفت علمی باشد، باید در زمینه عوامل مؤثر در پیشرفت علمی سرمایه‌گذاری کرد مثل خلاقیت و قدرت نقادی منطقی دانشمندان و تکنولوژی‌های آزمایشگاهی. اگر سیاست کلان پیشرفت یک تکنولوژی خاص جهت تحقق اهداف مشخصی است، باید در توسعه تکنولوژی‌های وابسته و یا پیشرفت نظریه‌های علمی مرتبط با آن زمینه سرمایه‌گذاری کرد. تصمیم‌گیری صحیح در این زمینه‌های سیاستی نیاز دارد تا در مورد عوامل مؤثر در پیشرفت هر کدام از تکنولوژی‌ها یا نظریه‌های علمی اندیشه‌ورزی کرد. هرچند پیشرفت در هر زمینه‌ی علمی و یا تکنولوژیکی به نحو پیچیده‌ای می‌تواند بر دیگر نظریه‌های علمی و انواع تکنولوژی‌ها مؤثر باشد اما باید توجه کرد رابطه‌ی علم و تکنولوژی یک رابطه‌ی کلی نیست و هر نظریه‌ی علمی و تکنولوژی خاصی بر هم روابط دور و نزدیکی دارند. این روابط پیچیده به هر شکلی باشد یک رابطه‌ی خطی ضروری نیست.

قدردانی

از استاد گرانقدر دکتر علیرضا منصوری جهت پیشنهاد ایده اولیه مقاله ممنونم. همین‌طور سپاس‌گذار داوران محترمی هستم که با نکات ارزنده خود به غنای این مقاله افزودند.

پی‌نوشت‌ها

۱. مقاله‌ی خوب به‌کارگیری علم (putting science to work) دیوید میلر ابتدا به صورت یک سخنرانی در دانشگاه کلمبیا در سال ۲۰۰۶ ارائه شد و به صورت نوشتاری در وبسایت او قرار گرفت و بارها ویرایش شد. در سال ۲۰۲۳ آخرین ویرایش اصلاح‌شده‌ی آن پیش از درگذشت میلر انتشار پیدا کرد.

۲. عقلانیت نقاد رویکردی فلسفی است که توسط کارل پوپر نام‌گذاری شد (پوپر، ۱۳۷۹: ۳۱) و به واسطه برخی شاگردان و همکارانش از جمله دیوید میلر نسج گرفته است. از جمله آموزه‌های عقلانیت نقاد این است که ما همیشه ممکن است بر خطا باشیم و معرفت ما حدسی و نوعی گمانه‌زنی درباره‌ی واقعیت است. عقلانیت این نیست که معرفتی را بدون نقادی بپذیریم (Bartley, 2018). برای آشنایی با این رویکرد نک: (Miller, 1994, 2006).

۳. از استقراء (induction) موارد جزئی تاریخی نمی‌توان به یک قاعده کلی منطقی رسید. برای نقد رویکردهای استقراءگرایانه در تاریخ علم نک. (Agassi, 2008).

۴. فُرمن در یک مقاله طولانی سعی کرده است نشان دهد که ایدئولوژی و اندیشه‌های مدرن غالب در دوران مدرنیته موجب شده است که در این دوران علم بر فناوری مقدم تصور شود و در دوران پست‌مدرن با تسلط ایدئولوژی و اندیشه‌های پست‌مدرن مثل اندیشه‌های هایدگری، فناوری بر علم مقدم تصور می‌شود. این مقاله که مبتنی بر یک رویکرد جامعه‌شناختی و تاریخی است نمی‌تواند یک تبیین فلسفی برای رابطه‌ی علم و تکنولوژی ارائه کند اما شاید بتواند نشان دهد که علم و تکنولوژی همواره همراه یکدیگر نبودند و نحوه تقدم و تأخر آن‌ها در طول تاریخ تغییر پیدا کرده است (Forman, 2007).

۵. شاید هدف دانشمندی جهت پژوهش علمی، کسب درآمد باشد یا هدف مهندسی از یادگیری علم، بهره‌گیری از آن در طراحی مهندسی باشد؛ تمام این موارد، اهداف بیرونی هستند و کماکان هدف درونی علم همان شناخت واقعیت است.

۶. برخی در راستای تفکیک علم از تکنولوژی، تعبیر دانش تکنولوژیک (technological knowledge) را به کار بردند که مرتبط با چگونگی انجام یک عمل یا ایجاد یک پدیده است (Staudenmaier, 1985: 120; Houkes, 2009) اما از آنجا که در بسیاری از موارد به خصوص در صورت حرفه‌ای‌شدن عامل، انجام عمل نیز غیرآگاهانه انجام می‌شود و لزوماً معرفت به آن گزاره‌ای نیست، بهتر است به جای تعریفی همچون دانش تکنولوژیک از واژه مرسوم مهارت (skill) استفاده کرد.

۷. در فلسفه تکنولوژی این تغییر از نگاه کل‌گرایانه به تکنولوژی به نگاه جزئی و تجربه‌گرایانه به تکنولوژی را چرخش تجربی نامیده‌اند (Brey, 2010, Franssen et al., 2016).

۸. در مورد اهمیت آزمایش در علم نک. (Hacking, 1983; Gooding, 1990; Galison, 1997; Radder, 2003; Baird, 2004).

۹. برای نقد دیدگاهی که مشاهده را مبنای علم تلقی می‌کند نک. (پوپر، ۱۳۷۴؛ ۱۳۹۶).

۱۰. اساساً استنباط از موارد جزئی به یک مورد کلی یا استنباط نتیجه قوی‌تر از مقدمه ضعیف‌تر و به تعبیری استقراء، استدلال معتبری نیست (Miller, 2006, sec 5; 1994, sec 2; Bartley, 2018) بسیاری از خطاهای منطقی در استنباط تکنولوژی از علم نیز ریشه در همین دیدگاه استقراءگرایانه دارد (Miller, 2023, 40).

۱۱. به نظر می‌رسد تنها در صورتی رَد یک نظریه را می‌توان به معنای اثبات نظریه رقیب در نظر گرفت که دو نظریه کاملاً نقیض هم باشند نه اینکه نظریه‌های رقیب متفاوتی برای نظریه نقض‌شده قابل‌تصور باشد. چرا که هرکدام از نظریه‌های رقیب امکان‌پذیرش دارند. بین خود نظریه‌های رقیب نیز صرفاً نقادی می‌تواند ما را به تصمیم به پذیرش موقت یکی از آن‌ها برساند.

۱۲. پرایس از این همکاری علم و تکنولوژی تعبیر به رقص مشترک علم و تکنولوژی می‌کند (Price, 1965).

کتاب‌نامه

احمدی، مهدی؛ زیباکلام، سعید (۱۳۹۰). رابطه علم و فناوری: طرح و نقد الگـوی فنـاوری بـه مثابـه علـم کاربردی، سیاست علم و فناوری، ۲ (۴)، ۱–۱۵.

پایا، علی (۱۳۹۶). گره‌گشایی به شیوه فیلسوفان و مهندسان، تهران، طرح نقد.

پوپر، کارل (۱۳۷۴). شناخت عینی برداشت تکاملی، ترجمه احمد آرام، تهران، سروش.

پوپر، کارل (۱۳۷۹). اسطوره چارچوب، ترجمه علی پایا، تهران، طرح نو.

پوپر، کارل (۱۳۹۴). منطق اکتشافات علمی، ترجمه سیدحسین کمالی، تهران، علمی‌فرهنگی.

دکارت (۱۳۶۴). اصول فلسفه، ترجمه منوچهر صانعی، تهران، آگه.

لاودن، لری (۱۴۰۱). پیشـرفت علـم و مسـائل آن: در جسـتجوی نظریـه‌ای در بـاب رشـد علـم، ترجمـه محمدمهدی هاتف، تهران، نشر نی.

منجمی، علیرضا (۱۳۹۴). تأملی در گفتگوی فلسفه علم و فلسفه تکنولوژی: موانع و راهکارها، روش‌شناسی علوم انسانی، ۲۱ (۸۵)، ۹۱–۱۰۵.

منصوری, علیرضا؛ پایا, علی (۱۳۹۷). علم و تکنولوژی: تفاوت‌ها، تعامل‌ها و تبعات آن‌ها، فلسفه علم، ۸(۲)، ۱۵۵–۱۸۴.

ورماس، پیتر؛ کروس، پیتر؛ ون دو پوئل، ایبو؛ فرنسن، مارتین؛ هاوکس، ویبو (۱۳۹۱). رویکـردی در فلسـفه تکنولوژی: از مصنوعات تکنیکی تا سیستم‌های اجتماعی–تکنیکی، ترجمه مصطفی تقوی و فرخ کاکائی، تهران، کتاب آمه.

Agassi, J. (1966). The confusion between science and technology in the standard philosophies of science. Technology and Culture, 7(3), 348-366.

Agassi, J. (1982). How technology aids and impedes the growth of science. In PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association (Vol. 1982, No. 2, pp. 584-597). Cambridge University Press.

Agassi, J. (2008). Science and its History: A Reassessment of the Historiography of Science (Vol. 253). Springer Science & Business Media.

Bacon, F. (2008). New Atlantis. 1627. Project Gutenberg.

Baird, D. (2004). Thing knowledge: A philosophy of scientific instruments. Univ of California Press.

Bartley, W. W. (2018). Rationality versus the Theory of Rationality. In Critical Approaches to Science and Philosophy (pp. 3-31). Routledge.

Basalla, G. (1988). The evolution of technology. Cambridge University Press.

Boon, M. (2006). How science is applied in technology. International studies in the philosophy of science, 20(01), 27-47.

Brey, P. (2010). Philosophy of technology after the empirical turn. Techne: Research in Philosophy & Technology, 14(1).

Brooks, H. (1994). The relationship between science and technology. Research policy, 23(5), 477-486.

Bunge, M. (1966). Technology as applied science. Technology and culture, 7(3), 329-347.

Cuevas, A. (2005). The many faces of science and technology relationships. Essays in Philosophy, 6(1), 54-75.

Florez, D., García-Duque, C. E., & Osorio, J. C. (2019). Is technology (still) applied science?. Technology in Society, 59, 101193.

Forman, P. (2007). The Primacy of Science in Modernity, of Technology in Postmodernity, and of Ideology in the History of Technology. History and technology, 23(1-2), 1-152.

Franssen, M., Vermaas, P. E., Kroes, P., & Meijers, A. W. (Eds.). (2016). Philosophy of technology after the empirical turn. Cham: Springer International Publishing.

Gadamer H. G. (1996), The Enigma of health: The Art of healing in a scientific age, Stanford University. Press.

Galison, P. (1997). Image and logic: A material culture of microphysics. University of Chicago Press.

Gooding, D. (1990). Science and Philosophy: Experiment and the Making of Meaning. Kluwer.

Grover, R. B. (2019). The relationship between science and technology and evolution in methods of knowledge production. Indian Journal of History of Science, 54(1), 50-68.

Habermas, J. (2015). Knowledge and human interests. John Wiley & Sons.

Habermas, J. (2016). Toward a rational society. In Social Theory Re-Wired (pp. 312-318). Routledge.

Hacking, I. (1983). Representing and intervening: Introductory topics in the philosophy of natural science. Cambridge University Press.

Houkes, W. (2009). The nature of technological knowledge. In Philosophy of technology and engineering sciences (pp. 309-350). North-Holland.

Ihde, D. (1990). Technology and the Lifeworld: From Garden to Earth, Indiana University Press.

Ihde, D. (1991). Instrumental Realism: The Interface Between Philosophy of Science and Philosophy of Technology. Indiana University Press.

Kline, R. (1987). Science and engineering theory in the invention and development of the induction motor, 1880–1900. Technology and culture, 28(2), 283-313.

Krohn, W., & Schäfer, W. (1983). Agricultural chemistry. The origin and structure of a finalized science. Finalization in Science: The Social Orientation of Scientific Progress, 17-52.

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

Layton Jr, E. T. (1974). Technology as knowledge. Technology and culture, 15(1), 31-41.

Layton, E. (1971). Mirror-image twins: The communities of science and technology in 19th-century America. Technology and culture, 12(4), 562-580.

Miller, D. (1994). Critical rationalism: A restatement and defence. Open court.

Miller, D. (2006). Out of error: Further essays on critical rationalism. Routledge.

Miller, D. (2023). Putting science to work. Intelligere, (15), 14-44.

Niiniluoto, I. (1997). Science versus Technology: difference or identity?. ARBOR-CIENCIA PENSAMIENTO Y CULTURA, 157(620), 285-299.

Popper, K. (1944). The poverty of historicism, II. A criticism of historicist methods. Economica, 11(43), 119-137.

Popper, K. (1983). Metaphysics and criticizability, in D Miller (ed.), A Pocket Popper: Popper Selections, Glasgow:Fontana Press.

Popper, K. (2013). Realism and the aim of science: From the postscript to the logic of scientific discovery. Routledge.

Price, D. D. (1965). Is technology historically independent of science? A study in statistical historiography. Technology and Culture, 6(4), 553-568.

Price, D. D. (1984). The science/technology relationship, the craft of experimental science, and policy for the improvement of high technology innovation. Research Policy, 13(1), 3-20.

Radder, H. (2009). Science, technology and the science-technology relationship. In Philosophy of technology and engineering sciences (pp. 65-91). North-Holland.

Radder, H. (Ed.). (2003). The philosophy of scientific experimentation. University of Pittsburgh Pre.

Robinson, G. (2005). Philosophy and mystification: a reflection on nonsense and clarity. Routledge.

Simon, H. A. (2019). The Sciences of the Artificial, reissue of the third edition with a new introduction by John Laird. MIT press.

Skolimowski, H. (1966). The structure of thinking in technology. Technology and culture, 7(3), 371-383.

Snow, C. P. (1962). The two cultures and the scientific revolution. Cambridge: Cambridge University Press.

Staudenmaier, J. M. (1985). Technology’s Storytellers: Reweaving the Human Fabric. Cambridge, MA: SHOT.

Toffler, A. (1990). Power Shift, Bantam Books. London, UK.

Wise, G. (1985). Science and Technology. Osiris, 1, 229–246.