فصلنامه
سیاست‌نامهٔ علم و فناوری
دورهٔ ۹ شمارهٔ ۱، بهار ۱۳۹۸

زمینه‌های اقتصادی، اجتماعی و تکنولوژیکی پیدایش شبکهٔ هوشمند برق‌رسانی

مهیار کریم‌خانی[۱]
امیر البدوی[۲]
میثم کریم‌خانی[۳]

چکیده

در این مقاله، هدف آن است که ماهیت تکنولوژیکی شبکهٔ هوشمند برق‌رسانی واکاوی و علل کاربست آن تبیین شود. بدین‌منظور، ابتدا شبکهٔ سنتی و هوشمند برق‌رسانی و تفاوت‌های آن دو به‌اختصار شرح داده می‌شود. سپس، برای درک تحولات تاریخی تکنولوژی و به‌دست‌آوردن مبنایی برای تحلیل تحول شبکهٔ برق از سنتی به هوشمند، برخی از مهم‌ترین نظریات مطرح‌شده دربارهٔ تغییر و تحول تکنولوژیکی به‌اختصار مرور می‌شوند. هدف از بررسی این نظریات به‌دست‌آوردن چارچوبی برای تبیین ماهیت تکنولوژیکی شبکهٔ هوشمند برق‌رسانی است تا بتوان ضرورتِ گذار از شبکهٔ سنتی به شبکهٔ هوشمند برق‌رسانی را توضیح داد. با آگاهی از این ماهیت و بررسی نظریات مرتبط با تحولات تکنولوژیکی، درنهایت نتیجه‌گیری می‌شود که مفهوم بیرون‌زدگی وارونه در توضیحِ گذار تکنولوژیکی شبکهٔ برق‌رسانی از سنتی به هوشمند توانایی بالایی دارد. درواقع، شبکهٔ هوشمند برق‌رسانی پاسخی تکنولوژیکی به فقدان زیرساخت‌های فنی برای کاربرد گسترده و انبوه تکنولوژی‌های جدید مانند تولید برق از انرژی‌های تجدیدپذیر و خودروهای برقی است. همچنین، در ادامه ایجاد و توسعهٔ شبکهٔ هوشمند برق‌رسانی از دیدگاه اقتصاد سیاسی و زمینه‌سازی برای ایجاد فضاهای جدید به‌منظور انباشت سرمایه تشریح می‌شود.

واژگان کلیدی: شبکهٔ هوشمند، سیستم‌های اجتماعی ـ فنی، تحول تکنولوژیکی، بیرون‌زدگی وارونه.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۳/۲۷

مقدمه

در کشورهای پیشرفته، متناسب با نیازمندی‌های اجتماعی و اقتصادی و سیاسی آن کشورها، تکنولوژی‌های گوناگونی تولید می‌شود. در مقابل، کشورهای واردکنندهٔ تکنولوژی عموماً به‌ضرورت، ناگزیر از کاربرد تکنولوژی‌های نوین هستند بی‌آن‌که از الزامات یا پیش‌زمینه‌های موجدهٔ تکنولوژی نوین برخوردار بوده باشند. این وضعیت به اتخاذ رویکردی منفعلانه در

۱. کارشناس ارشد مهندسی سیستم‌های اقتصادی و اجتماعی، دانشگاه تربیت مدرس
۲. استاد دانشکدهٔ مهندسی صنایع و سیستم‌ها، دانشگاه تربیت مدرس (نویسندهٔ مسئول)؛ Albadvi@modares.ac.ir
۳. دانشجوی دکتری علوم اجتماعی، دانشگاه علامه طباطبائی

به‌کارگیری تکنولوژی می‌انجامد و مابه‌ازای اقتصادی ـ اجتماعی حاصل از کاربرد تکنولوژی‌های نوین برای کشورهای واردکننده مشخص نمی‌شود. گذشته از آن، یک تکنولوژی - همان‌طور که در ادامه خواهیم دید - پدیده‌ای منفک از سایر تکنولوژی‌ها نیست و به‌کارگیری یک تکنولوژی نوین زنجیره‌وار به استفاده از سایر تکنولوژی‌های نوین منجر می‌شود؛ این به معنی افزایش هزینه‌های کشور واردکنندهٔ تکنولوژی است، بی‌آنکه مواهب و عاید تکنولوژی‌های قدیم به‌طور کامل مستهلک شود و ضرورت‌ها و الزامات کاربست تکنولوژی نوین احساس شده باشد. بنابراین، رویکرد منفعلانه به تکنولوژی‌های نوین و عدم درک فلسفهٔ ایجاد و کاربست آن‌ها و نیز ناآگاهی از زنجیرهٔ تکنولوژیکی متعاقب، کشور واردکنندهٔ تکنولوژی را به جولانگاه بازاریاب‌های تکنولوژی مبدل خواهد کرد و چون در کشور واردکننده درک، ذهنیت و بینشی از تکنولوژی نوین و کاربست‌های آن وجود ندارد، بازاریاب عملاً نقش مشاور تکنولوژی را ایفا خواهد نمود و بروشورهای تبلیغاتی نیز به سازوکاری برای آشنایی با تکنولوژی نوین و سودآوری‌های آن مبدل می‌شوند.

در حال حاضر، در کشورهای تولیدکنندهٔ تکنولوژی، موضوع شبکهٔ هوشمند برق‌رسانی مطرح شده است و تلاش‌های بسیاری برای توسعهٔ آن - چه از لحاظ نظری و چه از لحاظ کاربست - در جریان است (بیانلو و زارع احمدآبادی، ۱۳۹۵؛ Siano, 2014; Colak et al., 2015a; Colak, et al., 2015b; Bigerna et al., 2016) و علل گوناگون و مزیت‌های فراوانی برای آن فهرست می‌شود که در ادامه به آن‌ها اشاره خواهیم کرد. اما سؤال بنیادین این است: آیا عللی که برای ایجاد شبکهٔ هوشمند برق‌رسانی مطرح می‌شود، همان علل اصلی به‌وجودآورندهٔ آن است؟ برای مثال، افزایش کارایی انرژی و صرفه‌جویی‌های اقتصادی به‌عنوان یکی از علل توسعهٔ شبکهٔ هوشمند برق‌رسانی مطرح می‌شود؛ اما آیا واقعاً علت اصلی پیدایش و توسعهٔ شبکهٔ هوشمند برق‌رسانی، این است. درحقیقت، سؤال اساسی این است که نوآوری اصلی شبکهٔ هوشمند برق‌رسانی در چه حوزه(هایی) است و این تکنولوژی قرار است چه مسئله یا مشکلی را حل کند یا چه فضای جدیدی را فراهم آورد.

ایران دارای بزرگ‌ترین شبکهٔ برق‌رسانی در خاورمیانه و غرب آسیا است و تقریباً ۱۰۰ درصد جمعیت یکجانشین ایران تحت پوشش شبکهٔ برق‌رسانی قرار دارند. بدیهی است که شبکهٔ برق زیرساخت گسترده و پرهزینه‌ای به‌شمار می‌رود و هرگونه تصمیم‌گیری برای سرمایه‌گذاری برای تغییر این زیرساخت مستلزم بررسی و کنکاش در ابعاد مختلف آن است. با توجه به موارد فوق و نظر به اینکه درحال حاضر موج گسترده‌ای در صنعت برق به قصد توسعهٔ شبکهٔ هوشمند برق‌رسانی در جریان است، مهم است که برای تصمیم‌گیران اصلیِ زیرساخت برق کشور معلوم و آشکار شود که هدف از کاربست تکنولوژی شبکهٔ هوشمند برق‌رسانی چیست و چرا این تکنولوژی معرفی شده و چرا برای کاربست آن تلاش‌های علمی و اجرایی گسترده‌ای درحال انجام است. به‌عبارت‌دیگر، پیش از اتخاذ سیاست‌ها و برنامه‌های توسعهٔ شبکهٔ هوشمند در ایران، باید مشخص شود که آیا وضعیت فعلیِ اقتصادی ـ اجتماعی ایران از توسعه و کاربست این تکنولوژی پشتیبانی می‌کند و آیا این تکنولوژی گره‌ای از مشکلات کنونی صنعت برق ایران باز می‌کند یا خیر.

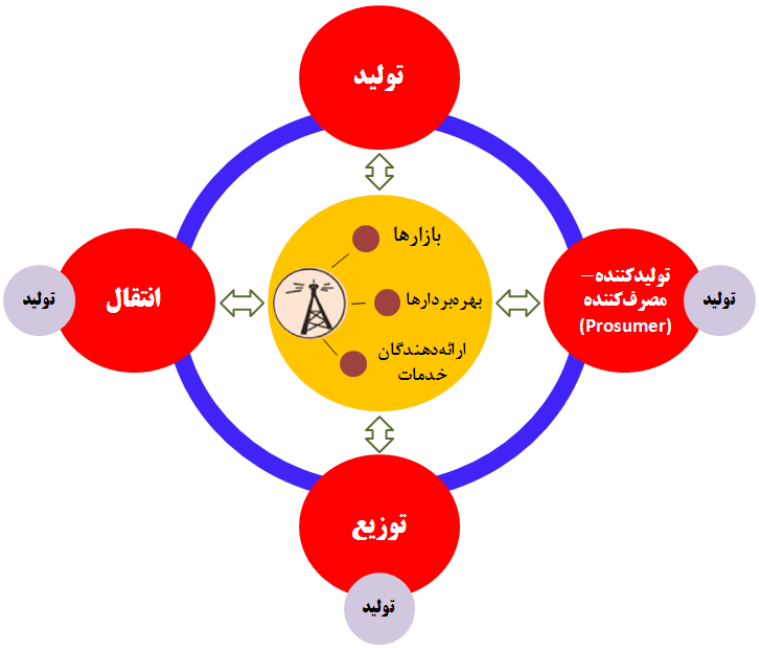
در ادامه، ابتدا شبکهٔ برق‌رسانی سنتی و هوشمند به‌اختصار معرفی می‌شود و سپس رویکردهای مختلفی که سعی در توضیح و تبیین تحولات تکنولوژیکی دارند، مرور می‌شوند. پس از آن، نوآوری‌های شبکهٔ هوشمند در مقایسه با شبکهٔ سنتی برق‌رسانی بیان می‌شود. در پایان، علل پیدایش شبکهٔ هوشمند با توجه به رویکردهای مختلف در توضیح تحولات تکنولوژیکی تبیین می‌گردد.

۱. شبکهٔ برق‌رسانی سنتی و هوشمند

شبکهٔ برق‌رسانی سیستمی اجتماعی ـ فنی[1] است. این‌گونه سیستم‌ها، سیستم‌های گسترده‌ای هستند که در آن‌ها کارکرد درست محصولات تکنولوژی که مصنوعات تکنیکی[2] نامیده می‌شوند نه‌تنها به تکنولوژیِ موردنظر بلکه به عوامل اجتماعی نیز وابسته است. چنین سیستم‌هایی از عناصر گوناگونی نظیر مصنوعات تکنیکی و انسان و قواعد تشکیل می‌شوند که در کنار هم سیستمی یک‌پارچه را می‌سازند. درواقع، سیستم‌های اجتماعی ـ فنی مؤلفه‌های بی‌شماری دارند (نظیر سازمان‌ها و نهادها، شرایط و قواعد) که ملموس نیستند. برای درک چگونگی کارکرد این مؤلفه‌ها و اینکه چطور باید آن‌ها را در سیستم قرار داد تا کارآمد باشند، هیچ دانش طبیعی فراگیری به‌کار نمی‌آید. سیستم‌های حمل‌ونقل، آب و فاضلاب، مالی، و مخابراتی نمونه‌های دیگری از سیستم‌های اجتماعی ـ فنی‌اند (ورماس و همکاران، ۱۳۹۰).

شبکهٔ برق‌رسانی یک سیستم پیچیدهٔ فنی و اجتماعیِ است که حامل‌های انرژی را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کند و به مصرف‌کنندگان انتقال می‌دهد. شبکهٔ برق‌رسانی به بخش‌های تولید، انتقال، توزیع و مصرف‌کننده تقسیم می‌شود. شبکهٔ برق‌رسانی سنتی عملکردی یک‌سویه دارد که در آن جریان برق از الگویی سلسله‌مراتبی تبعیت می‌کند. به این ترتیب که توان الکتریکی در نیروگاه‌ها تولید و از طریق شبکهٔ انتقال به شبکهٔ توزیع منتقل می‌شود و در شبکهٔ توزیع، به وسیلهٔ پست‌های با

1. Sociotechnical System
2. Technical Artefact



شکل ۱: مفهوم شبکهٔ هوشمند برق‌رسانی (نشان‌دهندهٔ ارتباطات فیزیکی و مخابراتی) (Ribeiro et al., 2012)

ولتاژ پایین، به مصرف‌کنندگان تحویل داده می‌شود (Saadat, 1999; Glover et al., 2012).

در مقابل، شبکهٔ هوشمند برق‌رسانی ترکیب هم‌افزایی از تکنولوژی اطلاعات و ارتباطات و تکنولوژی تولید و انتقال و توزیع توان الکتریکی است. شبکهٔ هوشمند برق‌رسانی هم در شکل و هم در محتوا با شبکهٔ سنتی متفاوت است. همان‌طور که پیش‌تر بیان شد، در شبکهٔ سنتی برق‌رسانی تنها یک ارتباط یک‌سویهٔ انرژی از مراکز تولید به مراکز مصرف وجود دارد و اطلاعات موردنیاز راهبری این سیستم بزرگ و گسترده از سوی مرکز فرماندهی و کنترل (که گاه مراکز دیسپاچینگ نامیده می‌شود) گردآوری و به‌کارگرفته می‌شود. اما ماهیتِ ارتباط در شبکهٔ هوشمند، به مدد فناوری‌های اطلاعات و ارتباطات، ماهیتی دوسویه است، به‌گونه‌ای که مراکز مصرف خود می‌توانند به مراکز تولیدکنندهٔ انرژی مبدل شوند و زیرساخت فناوری اطلاعات و ارتباطات نیز به‌طور مستمر اطلاعات لازم را از سمت مصرف‌کننده و تولیدکننده گردآوری و منتشر می‌کند. درواقع، زیرساخت هوشمند، جریانی دوسویه از انرژی و داده فراهم می‌کند. ازاین‌رو، شبکهٔ هوشمند برق‌رسانی به مشتریان این امکان را می‌دهد در صورتی که ظرفیت تولید انرژی الکتریکی را (با استفاده از منابع تولید انرژی تجدیدپذیر نظیر پنل‌های خورشیدی یا توربین‌های بادی یا غیر تجدیدپذیر مانند تولید هم‌زمان برق و حرارت[1]) داشته باشند، مازاد مصرف یا همهٔ انرژی الکتریکی را به شبکهٔ برق عرضه نمایند. در این حالت، مشتریان در نقش تولیدکننده ظاهر می‌شوند و از این طریق جریان دوسویهٔ انرژی را فعال می‌کنند. بنابراین، با توجه به ماهیت دوسویهٔ شبکهٔ هوشمند برق‌رسانی، مشارکت طرف مصرف‌کننده در اجرا و پیاده‌سازی آن حیاتی و اجتناب‌ناپذیر است. به‌طوری‌که بدون مشارکت فعال طرف مصرف‌کننده، شبکهٔ هوشمند محقق نمی‌شود و ارتباط دوسویه شکل واقعی به خود نمی‌گیرد. برای همین، در شبکهٔ هوشمند به‌جای واژهٔ «مصرف‌کننده»[2] از واژهٔ «تولیدکننده ـ مصرف کننده»[3] استفاده شده که ترکیب دو واژهٔ تولیدکننده و مصرف‌کننده است و دلالت بر این دارد که مصرف‌کننده می‌تواند نقش تولیدکننده را نیز ایفا کند (Fang et al., 2012; Lo and Ansari, 2012; Bigerna et al., 2016; Kabalci, 2016; Nafi et al., 2016).

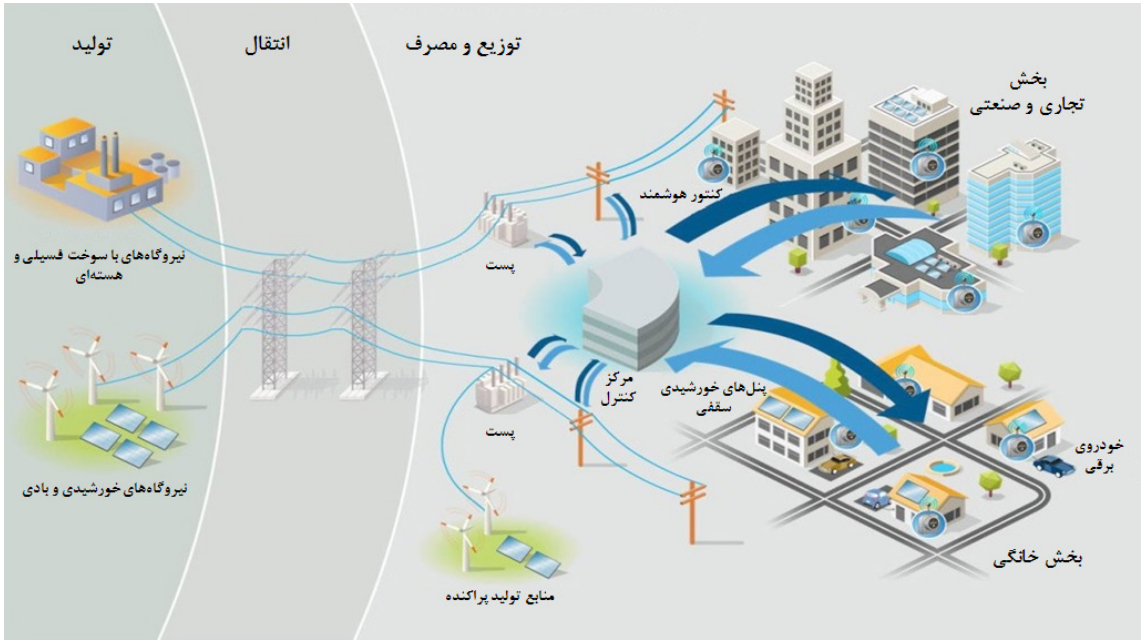
در شکل ۱، مفهوم جدید شبکهٔ هوشمند برق‌رسانی و ارتباط عملکردی در میان زیرسیستم‌ها و تکنولوژی‌های مختلف نشان داده شده است. بخش‌های تولید، انتقال، توزیع و تولیدکننده ـ مصرف‌کننده (Prosumer) مستقیم و به صورت الکتریکی به یکدیگر متصل‌اند و از طریق سیستمهای اطلاعاتی ـ ارتباطی با بازارها و بهره‌بردارها و عرضه‌کنندگان خدمات ارتباط دارند (Ribeiro et al., 2012).

در شکل ۲، طرحی دقیق از شبکهٔ هوشمند ارائه شده که شامل منابع تولید پراکنده (نظیر پنل‌های خورشیدی و توربین‌های بادی یا نیروگاه‌های تولید همزمان برق و حرارت)، نیروگاه‌های برق با سوخت فسیلی و هسته‌ای، منابع انرژی تجدیدپذیر و بارها از قبیل خودروهای برقی، ساختمان‌های هوشمند، خانه‌های هوشمند و مرکز

1. Combined Heat Plants (CHP)

2. Consumer

3. Prosumer (Producer + Consumer)



شکل ۲: چشم‌انداز شبکهٔ هوشمند برق‌رسانی با تمام اجزای آن (Shrivastava, 2016)

کنترلی است که سراسرِ زیرساختِ ارتباطی و مخابراتی را مدیریت می‌کند. سیستم اطلاعاتی ـ ارتباطی شبکهٔ هوشمند دربردارندهٔ روش‌های بی‌سیم و با سیم (مانند ارتباط خطوط برق) است.

۲. رویکردهای مختلف به تکنولوژی

همان‌طور که در بخش پیش گفته شد، شبکهٔ هوشمند برق‌رسانی سیستمی اجتماعی ـ فنی است. بنابراین، کشف چرایی پیدایش شبکهٔ هوشمند برق‌رسانی مستلزم دراختیارداشتن تصویری روشن از تحولات تکنولوژیکی است. به این معنی که دریابیم چرا تکنولوژی‌های مختلف ایجاد شده‌اند و چگونه تحول یافته‌اند و چه عواملی در ایجاد و تحول آن‌ها مؤثر بوده است. بررسی این موضوع راه را برای تبیین علل تحول شبکهٔ سنتی برق‌رسانی به شبکهٔ هوشمند هموار می‌کند.

مورخان و جامعه‌شناسان تکنولوژی دربارهٔ علل و ریشه‌ها و مسیرهای تحولات تکنولوژیکی اتفاق‌نظر ندارند. برخی از آنان تحولات اجتماعی را عامل تغییرات تکنولوژی می‌دانند و برخی دیگر به تابعیت آن از تغییرات تکنولوژیکی قائل‌اند. مشکل زمانی پیچیده‌تر می‌شود که این عدم اتفاقنظر با حضور محققان دیگر، ابعاد گسترده‌تری نیز می‌یابد و موضوع صرفاً به تقدم یا تأخر تکنولوژی نسبت به تحولات اجتماعی خلاصه نمی‌شود از این‌رو، برخی محققان نوآوری‌های تکنولوژیکی را زاییدهٔ علم، ضرورت‌های نظامی‌گری، نیازمندی‌های اقتصادی، نبوغ و خلاقیت‌های فردی، الزامات حکمرانی و نیز خودِ تکنولوژی به‌شمار می‌آورند. بنابراین، اندیشیدن دربارهٔ تکنولوژی مستلزم واکاوی در علل و عوامل رشد و نضج آن است. در ادامه برخی از نظریات مهم دربارهٔ تحول تکنولوژی به‌اختصار مرور می‌شود.

۲-۱. تکنولوژی و تحولات اجتماعی

کارل مارکس، در کتابِ فقر فلسفه، در جملهٔ معروفی می‌گوید «آسیای دستی جامعه‌ای با ارباب فئودال می‌سازد و آسیای بخاری جامعه‌ای با سرمایه‌دار صنعتی» (Marx, 1847). این جمله را مصداق بارز جبرگرایی[1] تکنولوژیکی نامیده‌اند.[2] جبرگرایی تکنولوژیکی به این معنی است که تحولات جامعهٔ انسانی از تحولات تکنولوژی ناشی می‌شود و این تکنولوژی است که به جامعه شکل می‌دهد. از دیدگاه جبرگرایان تکنولوژیکی، تاریخِ جوامع انسانی در واقع همان تاریخِ تکنولوژی است. البته جبرگرایی تکنولوژیکی انواع گوناگونی دارد و هر یک از آنان دربارهٔ این که چگونه تکنولوژی تحول می‌یابد و چگونه پیشرفت‌های تکنولوژیکی با پیشرفت‌های اجتماعی مرتبط می‌باشند، ادعاهای متفاوتی دارند (ورماس و همکاران، ۱۳۹۰).

مکنزی و وایکمن با استفاده از تحقیق وایت در زمینهٔ جبرگرایی تکنولوژیکی مثالی ارائه می‌کنند. وایت بر این باور است که پیدایش فئودالیسم از اختراع رکاب اسب و کاربرد گستردهٔ آن در اروپای غربی منتج بوده است؛ منظور وایت آن است که اختراع و ساخت انبوه رکاب (با مقیاس‌های آن زمان) ضرورتی اجتناب‌ناپذیر بوده، زیرا جنگجویان سوار بر اسب، به‌هنگام نبرد و نواختن ضربات سهمگین شمشیر یا نیزه، به علت فقدان تکیه‌گاه مطمئن بر روی

1. Determinism

۲. برای مطالعهٔ دربارهٔ تفسیر درست و جامع از این جملهٔ معروف مارکس بنگرید به: مکنزی، ۱۳۸۶.

اسب، با خطر سقوط از اسب مواجه می‌شدند و بدین‌سبب به‌شدت آسیب‌پذیر بودند. اما رکاب موقعیت جنگجویان سوار بر اسب را مستحکم و ایمن می‌کرد، به‌نحوی‌که سوارکار را به اسب پیوند می‌داد و آن دو را به یک واحد جنگی توانا و چابک تبدیل می‌کرد و آسیب‌پذیری آن‌ها را کاهش می‌داد. با این حال، تولید انبوه رکاب مستلزم تغییراتی در نظام اقتصادی ـ اجتماعی آن زمان اروپا بود، زیرا تأمین و تدارک چنین ماشین جنگی‌ای از آن‌جا که نیازمند سوارکار ورزیده و آموزش‌دیده، زره و اسب‌های جنگی بود، جنگ‌افزاری گران‌قیمت محسوب می‌شد. بنابراین فراهم‌کردن چنین ماشینی مستلزم سازمان‌دهی مجدد جامعه بود. جامعه‌ای که بتواند مخارج تولید و استفادهٔ گسترده از چنین ماشین جنگی‌ای را تأمین کند. از این‌رو، به زعم وایت، فئودالیسم ـ جامعه‌ای که در آن چیرگی از آنِ اشراف جنگ‌سالار مالک زمین است ـ پاسخی به این نیاز (تولید و استفادهٔ گسترده از سواره‌نظام پیوندخورده با اسب) بود (White, 1962; MacKenzie and Wajcman, 1999).

با این حال، نظریهٔ جبرگرایی تکنولوژیکی بدون منازعه نبوده است. به تعبیر مکنزی و وایکمن (1999)، اگر نظریهٔ وایت مبنی بر وجود رابطهٔ علت و معلولی میان رکاب اسب و فئودالیسم صادق باشد، باید چنین رابطه‌ای در سایر بخش‌های اروپا نیز یافت شود. این درحالی است که کاربرد رکاب در انگلستانِ انگلو ـ ساکسون[1] پیش از تفوق نرمان‌ها[2] ملازم با فئودالیسم نیست. به زعم آنان، افول تجارت در اروپا و مبدل شدن زمین به تنها منبع مطمئن تولید ثروت و امکان‌پذیری مصادرهٔ آن برای بازتوزیع ثروت میان شوالیه‌های فئودال از جمله علل پیدایش فئودالیسم بوده است. بنابراین ازنظر ایشان جبرگرایی تکنولوژیکی، به‌منزلهٔ نظریه‌ای برای توضیح تحولات اجتماعی، بسیار ساده‌انگارانه است. ضمن اینکه این نگرش توضیح نمی‌دهد که خود تکنولوژی (در اینجا رکاب اسب) چگونه بروز و ظهور می‌یابد و متحول می‌شود.

۲-۲. تکنولوژی و علم

این که نوآوری‌های تکنولوژیکی حاصل پیشرفت‌های علمی بوده‌اند، یا این‌که دستاوردهای تکنولوژیکی، توسعهٔ علم و دانش را رقم زده‌اند، محل نزاع دانشمندان علوم اجتماعی است. درواقع پرسش اساسی در این نزاع این است که آیا علم بر تکنولوژی مقدم است یا برعکس، این تکنولوژیست که مقدم بر علم است. اغلب تصور می‌شود که تحقیقات علمی، راه را برای اختراعات هموار می‌کنند. اما این رابطهٔ خطی و علت و معلولی میان علم و تکنولوژی خود شکل دیگری از جبرگرایی تکنولوژیکی است (ورماس و همکاران، ۱۳۹۰). مرور اختراعات قرون پیشین، همچون خیش، آسیاب، چرخ نخ‌ریسی، چرخ دوار و حتی موتور بخار، حاکی از آن است که این اختراعات بر مبنای دستاوردهای علمی پیش‌تر موجود نبوده‌اند (Cardwell, 1971; MacKenzie and Wajcman, 1999).

از نیمهٔ دوم قرن نوزدهم، علم و تکنولوژی به‌طور فزاینده‌ای به‌هم مرتبط شده‌اند اما این ارتباط به‌هیچ‌وجه یک‌سویه و وابسته نبوده بلکه رابطه‌ای متقابل بوده و تکنولوژی به همان میزان در توسعهٔ علم سهیم بوده است. برای مثال، می‌توان به وابستگی زیاد علم به رایانه اشاره کرد که بدون اتکا به آن برخی از تخصص‌های علمی مدرن به‌سختی امکان‌پذیر می‌شدند (MacKenzie and Wajcman, 1999). ازاین‌رو، یکی از وجوه تمایز علم معاصر هم‌پوشانی هرچه بیشتر آن با توسعهٔ تکنولوژی است. مطالعات سال‌های اخیر در حوزهٔ جامعه‌شناسی علم نیز مؤید این موضوع است. یکی از مهم‌ترینِ این مطالعات، تحقیقات لاتور و نظریهٔ کنشگر ـ شبکه[3] است. لاتور، با بهره‌گیری از داده‌های تجربی و مطالعه‌های موردی، تمایز بین علم و تکنولوژی را زیر سوال می‌برد و به‌جای آن از مفهوم کلی‌تر «تکنوعلم»[4] استفاده می‌کند (Latour and Woolgar, 1979; Latour, 1987).

از همه مهم‌تر، جایی که تکنولوژی به علم متکی می‌شود، به‌معنای آن نیست که یک تکنولوژیست صرفاً با بهره‌گیری از پیشرفت‌های علمی وسیله یا ابزاری را اختراع می‌کند. به گفتهٔ وینچنتی «مأموریت مهندس، طراحی و تولید مصنوعات سودمند است، درحالی‌که دانشمند در پی کسب دانش دربارهٔ طرز کار اجزای طبیعت است» (Vincenti, 1990, p. 131). ازاین‌رو تکنولوژی همان‌طور که واژه‌شناسی کلمه به ما یادآوری می‌کند، دانش به علاوهٔ هنر است و دانشی که به وسیلهٔ مهندسان به کار گرفته می‌شود فراتر از کاربرد صرف علم است. درواقع مهندسان صورت‌های خودشان از دانش را توسعه می‌دهند[5] (Vincenti, 1990; MacKenzie and Wajcman, 1999).

بنابراین، به زعم جامعه‌شناسان علم و تکنولوژی، تابعیت تکنولوژی از علم یا برعکس پذیرفتنی نیست و تاریخ پیدایش تکنولوژی‌های گوناگون و تکوین علوم مختلف نیز این موضوع را تأیید نمی‌کند و در واقع، نوعی تعاطی و اثرگذاری متقابل میان علم و تکنولوژی وجود دارد که نمی‌توان آن را به ارتباطی یک‌سویه تقلیل داد.

۲-۳. تکنولوژی و نبوغ فردی

نگرشی ژورنالیستی و داستان‌مآبانه به تحولات تکنولوژیکی وجود دارد که اختراعات را زاییدهٔ هوش، نبوغ و خلاقیت‌های فردی

1. Anglo-Saxon
2. Normans
3. Actor-Network Theory
4. Technoscience
۵. این صورت از دانش که مهندسان سهم بسزایی در توسعهٔ آن دارند و از برخی جهات متفاوت از دانش علمی است، دانش تکنولوژیک نام‌گذاری شده است. برای مطالعهٔ دربارهٔ دانش تکنولوژیک و ویژگی‌ها و اشکال آن بنگرید به: ورماس و همکاران، ۱۳۹۰.

معرفی می‌کند. جامعه‌شناسان تکنولوژی با این نگرش چندان موافق نیستند. از نظر اگبرن و توماس، مخترع در پی ارائهٔ راه‌حلی برای مسائل مطرح در جامعه است و فضای راه‌حل وی به امکانات علمی و تکنولوژیکیِ از پیش موجود محدود می‌شود. آنان، با توجه به وجود قایق و موتور بخار، ظهور کشتی بخار را اجتناب‌ناپذیر می‌دانند و این موضوع را شاهدی اساسی برای اجتناب‌ناپذیری اختراع بیان می‌کنند و اذعان می‌دارند که بسیاری از اختراعات بزرگ در حقیقت چیزی جز بهبود یا ترکیب اختراعات پیشین نبوده‌اند (Ogburn and Thomas, 1922). در همین راستا، هیوز نیز معتقد است که اختراع، وقوع ناگهانی یک الهام به ذهن مخترع نیست که بر اساس آن وسیله‌ای جدید به‌صورت حاضر و آماده ظاهر شود، بلکه اختراع حاصل اصلاحات جزءبه‌جزء و ذره‌به‌ذره در تکنولوژی‌های موجود یا بسط حوزهٔ کاربرد یک تکنولوژی موفق به سایر حوزه‌های جدید است (Hughes, 1971, 1983, 1989; MacKenzie and Wajcman, 1999). بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که محققان تقلیل تحولات تکنولوژیکی به نبوغ و خلاقیت‌های فردی را تأیید نمی‌کنند.

۲-۴. تکنولوژی و سیستم‌های تکنولوژیکی

ایدهٔ سیستم‌های تکنولوژیکی[1] از این اصل منتج می‌شود که عموماً تکنولوژی به‌صورت منفرد و جدای از یک کل یا سیستم ایجاد نمی‌شود. برای مثال، ماشین لباس‌شویی وقتی اختراع می‌شود که پیش از آن سیستم برق‌رسانی، آب لوله‌کشی و فاضلاب وجود داشته باشد یا کاربست تلویزیون مستلزم وجود تکنولوژی انتقال تصاویر با استفاده از امواج و گیرنده‌های رادیویی است. هیوز در کتاب خود، با عنوان شبکه‌های برق: برق‌رسانی در جامعهٔ غربی ۱۹۳۰-۱۸۸۰، بر این نظر است که ادیسون لامپ حبابی را به عنوان یک وسیلهٔ مجزا طراحی نکرد بلکه اختراع او در چارچوب سیستم تولید و توزیع برق و متناسب با نیازهای آن سیستم صورت گرفت (Hughes, 1983; MacKenzie and Wajcman, 1999). به‌عبارت‌دیگر، هیچ اختراعی در خلأ و منفک از سایر تکنولوژی‌ها ایجاد نمی‌شود و به سایر تکنولوژی‌های موجود به‌شدت وابسته است.

هیوز برای توضیح تحولات تکنولوژیکی و ارتباط آن با تکنولوژی‌های موجود از یک استعارهٔ نظامی با عنوان «بیرون‌زدگی‌های وارونه»[2] استفاده می‌کند. در ادبیات نظامی، بیرون‌زدگی وارونه موقعیتی است که نیروهای رزمی در راستای یک جبههٔ نظامی به‌طور موفقیت‌آمیزی به جلو رانده شده‌اند، اما در نقطه‌ای ویژه دشمن هنوز مقاومت می‌کند. در چنین شرایطی، ژنرال‌ها نیروهای‌شان را بر روی چنین نقاطی که بیرون‌زدگی وارونه محسوب می‌شوند، متمرکز می‌کنند تا جبههٔ نبرد به‌طور متوازن و در یک راستا به جلو رانده شود. هیوز با کمکِ این مفهوم، تحولِ تکنولوژیکی سیستم‌های برق‌رسانی را توضیح می‌دهد. به زعم او، در مرحله‌ای از توسعهٔ سیستم برق‌رسانی، موضوع کنترل و کاهش تلفات انتقال انرژی برق به مانع بزرگی بر سر راه توسعهٔ سیستم برق‌رسانی مبدل شده بود و مانند یک بیرون‌زدگی وارونه در جبههٔ نبرد از پیشروی بیشتر ممانعت می‌کرد. درنتیجه، تلاش‌های زیادی صرف حل این مشکل شد. از دید هیوز اختراعات و توسعهٔ تکنولوژی باید درجهت اصلاح و رفع بیرون‌زدگی‌های وارونه فهمیده شوند (Hughes, 1976; 1983; MacKenzie and Wajcman, 1999).

۲-۵. تکنولوژی و اقتصاد

استدلال‌پردازی تکنولوژیکی و استدلال‌پردازی اقتصادی اغلب جدایی‌ناپذیرند. هدف یک سیستم، از لحاظ اقتصادی، کاهش هزینه‌ها و افزایش درآمدهاست. برای مثال، بنگاه‌های خصوصی یا دولتی که عهده‌دار سیستم‌های برق‌رسانی‌اند به‌طور اجتناب‌ناپذیری دغدغهٔ سود و زیان بنگاه را دارند. دیدگاه هیوز دربارهٔ اختراع لامپِ رشته‌ای ادیسون نشان می‌دهد که ادیسون کاملاً آگاهانه بر آن بود که برق تولیدی را به مصرف‌کنندگان برساند و به آن‌ها لوازم ضروری برای استفاده از برق را بفروشد. ادیسون می‌دانست که روشنایی برقی باید با قیمتی عرضه شود که با قیمت روشنایی گازی قابل رقابت باشد. این محاسبات اقتصادی مستقیماً در کار ادیسون برای طراحی لامپ رشته‌ای اثر گذاشت، اما یک بیرون‌زدگی وارونه وجود داشت. مصرف مس برای انتقال جریان الکتریکی قیمت تمام‌شدهٔ روشنایی برق را افزایش می‌داد. لذا اگر جریان کمتری از سیم‌ها عبور می‌کرد، مس کمتری نیز لازم بود. او پی برد که برای کم‌کردن جریان و تأمین روشنایی به لامپ رشته‌ای با مقاومت الکتریکی زیاد و ولتاژ نسبتاً بالا نیاز است. بنابراین ملاحظات اقتصادی، به همان اندازهٔ ملاحظات تکنولوژیکی، به تکنولوژی جدید شکل داد (MacKenzie and Wajcman, 1999). بر این مبنا، آیا می‌توان نتیجه گرفت که سود و زیان اقتصادی محرک اصلی در تغییرات تکنولوژی است؟

۲-۶. شکل‌گیری اجتماعی تکنولوژی

حتی اگر محاسباتِ هزینه ـ فایده و بهینه‌سازی یا به‌عبارتی ملاحظاتِ اقتصادی را تعیین‌کنندهٔ جهت تحولات تکنولوژیکی درنظر بگیریم، باز هم ازآنجاکه محاسبات و قوانین اقتصادی جهان‌شمول نیستند و به شکل ویژه‌ای از جامعه اختصاص دارند، انتساب علت اقتصادی به تحول تکنولوژی چندان درست به‌نظر نمی‌رسد. زیرا هزینه (بهعبارتی ملاحظات اقتصادی) متأثر از نوع سازمان‌دهی جامعه است و خود نیز بر آن اثر می‌گذارد. مکنزی و وایکمن (1999) برای این موضوع مثالی مطرح می‌کنند. آن‌ها می‌نویسند: «در شوروی، به علت نبود بازار، برنامه‌ریزانِ کمیتهٔ مرکزیِ قیمت‌گذاری قیمت‌ها را تعیین می‌کردند. ازاین‌رو در اتحاد

1. Technological Systems
2. Reverse Salients

جماهیر شوروی قیمت یک رابطهٔ اجتماعی متفاوت بود. نظام پاداش به مدیران در اتحاد جماهیر شوروی بر اساس مقدار تولید در کوتاه‌مدت بود که اصول و چارچوب‌های برنامه‌های فصلی را مشخص می‌کرد. با توجه به این نظام پاداش‌دهی که بر کمیت تولید متمرکز بود، نوآوری‌های تکنولوژیکی کوچک پذیرفته می‌شد، چون خطر زیادی برای کمیت تولید نداشت. اما تغییرات و نوآوری‌های تکنولوژیکی بزرگ‌تر، به‌سبب احتمال خطر برای کمیت تولید، تهدید درنظر گرفته می‌شد و از آن‌ها استقبال نمی‌شد. بدین‌ترتیب توسعهٔ محصولی جدید مستلزم پذیرش خطر زیاد با امید پاداش کم بود. بنابراین، انگیزه‌ای برای نوآوری وجود نداشت. اصلاحاتی که رهبران اتحاد جماهیر شوروی برای بهبود وضعیت اتخاذ کردند، به بدترشدن اوضاع انجامید. اصلاحات اقتصادی در سال ۱۹۶۵ ارتباط بیشتری بین سودآوری بنگاه و پاداش مدیران برقرار کرد. اما ازآنجا که نظام قیمت‌گذاری تغییر بنیادینی نکرد، بیشترین سودها از تمرکز بر افزایش تولید محصولاتِ موجودی به‌دست می‌آمد که هزینه‌های تولیدشان کمتر از قیمت‌هایشان بود. درنتیجه نوآوری، به‌جای آنکه افزایش یابد، کاهش یافت و اغلب این وضعیت را یکی از علل فروپاشی اتحاد جماهیر شوروی به شمار می‌آورند».

بنابراین، از دیدگاه مکنزی و وایکمن (1999)، اگرچه ممکن است عوامل اقتصادی علت تغییرات تکنولوژیکی فرض شود، اما اقتصاد خود تابعی از اجتماع است و نظام اقتصادی در واقع زیرمجموعهٔ نظام اجتماعی به‌شمار می‌رود. ازاین‌رو، عوامل اقتصادی که علت تحولات تکنولوژیکی به‌نظر می‌آیند، درواقع همان علل اجتماعی‌اند.

همچنین، مکنزی (۱۳۸۶) در مقالهٔ «مارکس و ماشین» نشان داده که تضادهای طبقاتی به‌منزلهٔ نیرویی اجتماعی در شکل‌دهی به تکنولوژی تأثیرگذارند. وی با مرور و بررسی نتایج تحقیقات پژوهشگران نشان می‌دهد که در سدهٔ نوزدهم، با توجه به تعارضات شدید میان کار و سرمایه و مقاومت کارگران ماهر در برابر خواست سرمایه‌داران، چگونه نیاز به مهارت‌زدایی از کار، برای کاستن از قدرتِ کارگران در فرایند تولید، اختراعات را به سمت مهارت‌زدایی از کار و ایجاد انضباط کاری سوق داد؛ اختراعاتی که عملاً کارگر را به جزئی از ماشین تبدیل کرده بود. درواقع، ماشین به تعیین‌کنندهٔ اصلی آهنگ کار مبدل شد و کارگر می‌بایست خود را با ضرب‌آهنگ ماشین تنظیم می‌کرد. درنتیجه قدرت کارگران در مقابل سرمایه به‌شدت کاهش یافت؛ به‌طوری‌که موقعیت کارگر از عنصری کلیدی در فرایند کار به زائدهٔ ماشین تغییر یافت. فیلم کمدی ـ انتقادی عصر جدید اثر چارلی چاپلین به‌خوبی وضعیتی را نشان می‌دهد که در آن کارگر به زائدهٔ ماشین تبدیل شده است.

علاوه‌برآن، بازار تنها نهاد اجتماعی نیست که مناسبات اجتماعی تغییر تکنولوژیکی را شکل می‌دهد. از دوران باستان به این‌سو، حکومت‌ها و دولت‌ها در تعریف و اجرای پروژه‌های تکنولوژیکی دخیل بوده‌اند. جنگ و آمادگی نظامی همراه با ملاحظات اقتصادی عوامل مؤثری در تاریخ تکنولوژی بوده‌اند. کشورهایی که از غافلهٔ تکنولوژی نظامی عقب می‌مانند، احتمالاً در جنگ از رقبای خود شکست می‌خورند. بنابراین منفعت نظامی در تکنولوژی جدید حیاتی است و ملاحظات نظامی اغلب الگوهای توسعه و طراحی جزئیات تکنولوژی‌های جدید را شکل داده است (MacKenzie and Wajcman, 1999). مکنزی و وایکمن (1999) با مرور و بررسی آثار محققان پیشین دو مثال در این زمینه مطرح می‌کنند. آن‌ها می‌نویسند: «خطوط هوایی جتِ غیرنظامی در طی دوران پس از جنگ جهانی دوم از طریق تولید و کار بر روی جت‌های نظامی ممکن شد (Constant, 1980). همچنین به‌طور مشابه، بیش‌تر توسعهٔ الکترونیک در این قرن، به‌خصوص در ایالات متحده، غالباً از سوی مراکز نظامی حمایت شده و نیاز نظامی نقش کلیدی در توسعهٔ رایانه داشته است (Dinneen and Frick, 1977)».

۲-۷. برساخت‌گرایی اجتماعی تکنولوژی

برخلافِ مفهوم جبرگرایی تکنولوژیکی، برساخت‌گرایی اجتماعی[1] تکنولوژی‌ها را برساخته‌های اجتماعی درنظر می‌گیرد. از نظر برساخت‌گرایان اجتماعی، انسان‌ها در قالب گروه‌های اجتماعی به تکنولوژی شکل می‌دهند و نقش تعیین‌کننده‌ای در تحولات آن دارند. بر اساس نظریهٔ برساخت اجتماعی تکنولوژی (SCOT)،[2] تکنولوژی‌ها نتیجهٔ بحث و مذاکره و تعامل میان گروه‌های اجتماعی مرتبط نظیر کاربران، دانشمندان، مهندسان، تولیدکنندگان و... هستند (Bijker and Pinch, 1987).

بایکر، در مطالعه‌ای، تاریخچهٔ اختراع و تحولات دوچرخه را بررسی کرده و اهمیت گروه‌های اجتماعی را در روند تحول دوچرخه نشان داده است. وی از توصیف روند تحولات دوچرخه به‌منزلهٔ فرایندِ تکاملیِ خطی اجتناب می‌ورزد و بر این باور است که هر اختراع پیامد مجموعه‌ای از تصمیم‌ها و تلاش‌هایی است که به‌طور منطقی به کارآمدترین الگو منجر می‌شود و این گروه‌های اجتماعی‌اند که مناسب یا نامناسب بودن این مصنوع را تعیین می‌کنند. بنابراین، مصنوعی مانند دوچرخه نیز نتیجهٔ تعامل و کنش میان گروه‌های اجتماعی است. به عبارت دیگر، این دانشمندان، مهندسان و یا سازندگان نیستند که یک بار و برای همیشه تعیین کنند که یک مصنوع چه مشخصه‌هایی باید داشته باشد بلکه این مشخصه‌ها از طریق کنشگران درگیر با مصنوع شکل می‌گیرند و تغییر می‌کنند (Bijker & and Pinch, 1987; Bijker, 1995).

بررسی تحولات دوچرخه به‌خوبی نقش گروه‌های اجتماعی را در توسعهٔ تکنولوژی نشان می‌دهد. اما همچنان نقدهایی به

1. Social Constructivism

2. Social Construction of Technology

نظریهٔ برساخت اجتماعی تکنولوژی وارد است. همان‌طور که گفته شد، گروه‌های اجتماعی تعیین‌کنندهٔ خوب یا بد بودن مصنوع تکنیکی‌اند. اگر بخواهیم به این نظریه پایبند بمانیم، پس شیوهٔ بهره‌برداری انسان از مصنوعات تکنیکی نیز برساختی اجتماعی است و با مشخصه‌های فیزیکی مصنوع تکنیکی تعیین نمی‌شود. در مثال دوچرخه، گروه‌های اجتماعی مختلف دربارهٔ کارایی گونه‌های متفاوت دوچرخه اتفاق‌نظر ندارند و گونه‌ای که در مقایسه با سایر گونه‌ها موفقیت بیشتری کسب می‌کند را نمی‌توان با برتری تکنیکی آن توضیح داد. این باور که یک گونه کارکرد بهتری از سایر گونه‌ها دارد خود برساختی اجتماعی است که باید با فرایندهای اجتماعی توضیح داده شود (ورماس و همکاران، ۱۳۹۰).

۲-۸. جمع‌بندی مطالب گفته شده دربارهٔ تحول تکنولوژی

شکل‌دهی به تکنولوژی را نباید تأثیری مستقیم و آگاهانه تلقی کرد، بلکه فرایندی است که در آن تقریباً هیچ نیروی شکل‌دهندهٔ چیره‌ای وجود ندارد. عوامل علمی، تکنولوژیکی، نظامی، سیاسی، اقتصادی و اجتماعی در شکل‌دهی به تکنولوژی مؤثرند. بااین‌حال، تحول تکنولوژیکی به مسیر طی‌شده وابسته است، اما محدود به آن نیست. تکنولوژی موفق الزاماً بهترین تکنولوژی نیست، بلکه تکنولوژیِ ممکن است. بنابراین، باید تأکید کرد که در تحول تکنولوژیکی عوامل متعددی دخیل‌اند و مسیر مشخص و از پیش تعیین‌شده‌ای برای تحولات تکنولوژیکی وجود ندارد. ازاین‌رو پیدایش هر تکنولوژی باید با توجه به بستر و مسیر تحول و رشد آن تحلیل و بررسی شود. به بیانی دیگر، تحول تکنولوژی را «تضاد میان آنچه ازنظر فنی امکان‌پذیراست و آنچه ازنظر اجتماعی مطلوب است» رقم می‌زند (ورماس و همکاران، ۱۳۹۰).

۳. نوآوری‌های شبکهٔ هوشمند برق‌رسانی

مارکس، در جلد اول کتاب سرمایه، ماشین را به سه بخشِ دستگاه تولید نیرو، دستگاه انتقال نیرو و افزار یا ماشین‌ابزار تقسیم می‌کند. به تعبیر مارکس، عمدهٔ تحولات تکنولوژیکی انقلاب صنعتی مربوط به تحول در حوزهٔ ماشین‌ابزار بوده است؛ یعنی بخشی که به جابه‌جایی انسان و ماشین منجر می‌شود (مارکس، ۱۳۹۴). با این توصیف، شبکهٔ برق‌رسانی را می‌توان به سه بخشِ تولید برق، انتقال و توزیع برق، و ادارهٔ شبکه تقسیم‌بندی کرد. با توجه به توضیحاتی که در بخش دوم مقاله دربارهٔ تفاوت شبکهٔ برق‌رسانی سنتی و هوشمند بیان شد، مشخص است که شبکهٔ هوشمند برق‌رسانی اساساً با فراهم‌کردن امکان تبدیل مصرف‌کننده به تولیدکننده، از راه ترکیب با زیرساخت اطلاعاتی و ارتباطی، جریان دوسویهٔ انرژی و اطلاعات را رقم می‌زند. این موضوع تحول در سازوکارهای حوزهٔ تولید و انتقال و توزیع برق نیست، بلکه دگرگون‌کردن سازوکار مدیریت و ادارهٔ شبکهٔ برق‌رسانی است. به‌بیان‌دیگر، نوآوری شبکهٔ هوشمند برق‌رسانی باید در حوزهٔ ماشین‌ابزار یا به‌عبارتی تحول در ادارهٔ شبکهٔ برق‌رسانی دیده شود، به‌طوری‌که بتوان از طریق تحول در شیوهٔ ادارهٔ شبکهٔ برق جریان دوسویهٔ انرژی و اطلاعات را برقرار کرد.

آژانس بین‌المللی انرژی، در سال ۲۰۱۱، در گزارش خود با عنوان «نقشهٔ راه تکنولوژی: شبکه‌های هوشمند»،[1] تکنولوژی‌های شبکهٔ هوشمند برق‌رسانی را به هشت حوزه مرتبط می‌داند:

۱ـ تکنولوژی‌های پایش و کنترل پهن‌دامنه[2]

۲ـ ادغام تکنولوژی‌های اطلاعاتی و ارتباطاتی[3]

۳ـ ادغام تکنولوژی‌های منابع تولید پراکنده و منابع انرژی تجدیدپذیر[4]

۴ـ تقویت و بهبود انتقال[5]

۵ـ مدیریت شبکهٔ توزیع[6]

۶ـ زیرساخت اندازه‌گیری پیشرفته،[7]

۷ـ زیرساخت‌های شارژ خودروی برقی[8]

۸ـ سیستم‌های سمت مشتری[9] (IEA, 2011).

همان‌طور که مشخص است، از میان هشت حوزهٔ مذکور، شش حوزه مربوط به بهبود فنون و ابزارهای ادارهٔ شبکهٔ برق است. دو حوزهٔ دیگر تکنولوژی، یعنی تکنولوژی‌های حوزهٔ منابع تولید پراکنده و منابع انرژی‌های تجدیدپذیر، و همچنین خودروهای برقی جداگانه درحال توسعه‌اند. شبکهٔ هوشمند برق‌رسانی امکان اتصال آن‌ها به شبکهٔ برق را ممکن می‌سازد و کاربست گستردهٔ آن‌ها را فراهم می‌کند.

۴. علل پیدایش شبکهٔ هوشمند برق‌رسانی

در ذیل، از سه دیدگاه تکنولوژیکی و اقتصادی و اجتماعی، زمینه‌های پیدایش و کاربست شبکهٔ هوشمند برق‌رسانی تبیین می‌شود.

۴-۱. دیدگاه تکنولوژیکی

در بخش‌های قبلی دیدیم که نظریات مختلفی دربارهٔ ظهور تکنولوژی و تحول تکنولوژیکی وجود دارد. حال این سؤال مطرح است که کدام‌یک از رویکردهای برشمرده توانایی

1. Technology Roadmap: Smart Grids
2. Wide-Area Monitoring and Control
3. Information and Communication Technology Integration
4. Renewable and Distributed Generation Integration
5. Transmission Enhancement
6. Distribution Grid Management
7. Advanced Metering Infrastructure
8. Electric Vehicle Charging Infrastructure
9. Customer-Side Systems

توضیح و تبیین پیدایش تکنولوژیکی شبکهٔ هوشمند را دارد. درحال حاضر، تکنولوژی‌های تولید انرژی الکتریکی از منابع تجدیدپذیر، به‌ویژه پنل‌های خورشیدی، توسعهٔ چشمگیری یافته‌اند. اما به علت محدودیت‌های فنیِ شبکهٔ سنتی برق‌رسانی امکان کاربست گستردهٔ آن‌ها در مقیاس خرد وجود ندارد. ازطرف دیگر، سال‌هاست که در زمینهٔ توسعهٔ خودروهای برقی کوشش‌های بسیاری شده اما هنوز کاربست آن‌ها عمومیت پیدا نکرده است؛ زیرا کماکان زیرساخت مطمئن در شهرها و جاده‌ها برای شارژکردن این خودروها وجود ندارد، هرچند مطالعات نظری فراوانی دراین‌باره درحال انجام است. نبود امکان توسعهٔ کاربست تکنولوزی‌های تولید برق از انرژی‌های تجدیدپذیر و نیز عمومیت نیافتن استفاده از خودروهای برقی با فقدان زیرساخت مناسب شبکهٔ برق مرتبط است، زیرا محدودیت‌های فنی شبکهٔ سنتی برق‌رسانی این امکان را فراهم نمی‌کند (قاسمی و قبادیان، ۱۳۹۴). به‌عبارت‌دیگر، در شبکهٔ برق سنتی استفادهٔ گسترده از این تکنولوژی‌ها (انرژی‌های تجدیدپذیر و خودروهای برقی)، به علت تأثیرات دامنه‌دار آن‌ها بر روی حدود مجاز ولتاژ و فرکانس، میسر نیست و مدیریت عرضه و تقاضای لحظه‌ای در شبکهٔ برق را ناممکن می‌سازد. نوسانات زیادِ ولتاژ و فرکانس می‌تواند پیامدهای خسارت‌بار و صدمات جدی به تجهیزات شبکه و مصرف‌کنندگان وارد می‌کند، علاوه‌بر این‌که احتمال خاموشی‌های گسترده را نیز در پی دارد. اما شبکهٔ برق هوشمند، با فراهم‌کردن ابزارها و تکنیک‌های هوشمند، امکان مدیریت ولتاژ و فرکانس در شبکهٔ برق را با وجود کاربست گستردهٔ تکنولوژی‌های جدید مانند انرژی‌های تجدیدپذیر و خودروهای برقی میسر می‌سازد و راه را برای استفادهٔ گسترده از این تکنولوژی‌ها هموار می‌کند (Malik and Lehtonen, 2016).

بنابراین، با استفاده از مفهوم بیرون‌زدگی وارونه که در بخش سوم به آن اشاره شد، می‌توان نتیجه گرفت که تلاش‌های صورت‌گرفته درجهت توسعهٔ شبکهٔ هوشمند به‌نوعی رفع این بیرون‌زدگی وارونه است. زیرا در حوزهٔ انرژی‌های تجدیدپذیر و خودروهای برقی، تکنولوژی در بخش‌هایی تحول یافته اما محدودیت‌های شبکهٔ برق مانع از پیشرفت بیشتر و کاربست این تکنولوژی‌ها است. بنابراین، به‌اجمال می‌توان گفت که شبکهٔ هوشمند به‌نوعی تلاش برای کاربست گستردهٔ تکنولوژی‌های تجدیدپذیر و خودروهای برقی و سایر موارد مشابه است.

۴-۲. دیدگاه اقتصادی

کارایی انرژی را یکی از اهداف پدیدآمدن شبکهٔ هوشمند برق‌رسانی برمی‌شمارند، اما درواقع کارایی انرژی از پیامدهای استفاده از تکنولوژی شبکهٔ هوشمند است. در شبکهٔ هوشمند، مصرف‌کننده از این قابلیت برخوردار خواهد بود که خود به تولیدکننده مبدل شود؛ یعنی مصرف‌کنندگانی که برق مصرفی خود را از طریق تکنولوژی‌های تولید انرژی الکتریکی تجدیدپذیر تأمین می‌کنند، در مواقعی که مازاد مصرف داشته باشند و یا فروش برق برای‌شان پرمنفعت‌تر از مصرف آن باشد، می‌توانند از طریق زیرساخت شبکهٔ هوشمند در جایگاه تولیدکننده قرار گیرند و برق به شبکه عرضه کنند. بنابراین، زیرساختِ شبکهٔ هوشمند مناسباتِ اقتصادی شبکهٔ سنتی برق‌رسانی را نیز به‌کلی دگرگون می‌کند.

برخی از منتقدان نظام سرمایه‌داری بر این نظرند که یکی از قواعد اصلی این نظام انباشت سرمایه با هدف انباشت بیشتر سرمایه است. ازنظر ایشان، فضاهای انباشت سرمایه در جهان به‌مرور زمان محدودتر شده است و سرمایه فضای کافی برای انباشت ندارد.[۱] بر مبنای این فرض می‌توان استدلال کرد که شبکهٔ هوشمند زمینهٔ توسعه و مصرفِ انبوه سایر تکنولوژی‌ها (نظیر تکنولوژی‌های تولید برق از انرژی‌های تجدیدپذیر و خودروهای برقی) را فراهم می‌آورد و به تعبیر جوزف شومپیتر با «انهدام خلاقانه»[۲] (از رده خارج‌کردن طیف گستره‌ای از فناوری‌های مصرفی در شبکهٔ سنتی برق‌رسانی) فضاهای جدیدی برای انباشت سرمایه خلق می‌کند و در نهایت به رشد اقتصادی دامن می‌زند. بنابراین، پیدایش و ایجاد و توسعهٔ کاربست شبکهٔ هوشمند برق‌رسانی با رویکرد اقتصاد سیاسی و فضاسازی برای انباشت سرمایه نیز توضیح‌پذیر است.[۳]

۴-۳. دیدگاه اجتماعی

ادبیات حوزهٔ شبکهٔ هوشمند برق‌رسانی درخصوص علل و زمینه‌های پیدایش این تکنولوژی ضعیف است و عموماً فقر پژوهشی در حوزهٔ ملاحظات اجتماعی پیرامون تحولات تکنولوژیکی از سایر حوزه‌ها بیشتر است. به همین علت نمی‌توان دربارهٔ ریشه‌های اجتماعی تحولات مرتبط با شبکهٔ هوشمند برق‌رسانی قاطعانه اظهارنظر کرد. بااین‌حال، با توجه به پیچیدگی شبکهٔ هوشمند برق‌رسانی در مقایسه با شبکهٔ سنتی و نیز تحقیقات انجام‌شده درخصوص پذیرش و مشارکت مشتری در شبکهٔ هوشمند برق‌رسانی، می‌توان گفت که هنوز مشتریان از آگاهی کافی در مورد شبکهٔ هوشمند برق‌رسانی برخوردار نیستند. ازاین‌رو برای ایجاد بستر مشارکت آن‌ها همچنان تلاش و برنامه‌ریزی می‌شود (Ellabban and Abu-Rub, 2016).به همین علت می‌توان گفت که شبکهٔ هوشمند برق‌رسانی از طرف مصرف‌کننده هنوز ورودیِ قابل ملاحظه‌ای ندارد. این موضوع، مؤید موارد بیان‌شده در دو بخش قبلی است بنابراین تأکید می‌شود که شبکهٔ هوشمند برق‌رسانی اساساً برای برطرف‌کردن

---

۱. برای مطالعهٔ بیشتر بنگرید به: Wallerstein, 2013

2. Creative Destruction

۳. برای مطالعهٔ بیشتر مفهوم «انهدام خلاقانه» بنگرید به: Schumpeter, 1943

نوعی بیرون‌زدگی وارونه و ایجاد فضایی برای انباشت بیشتر سرمایه مطرح شده است.

نکتهٔ پایانی

تفاوت شبکهٔ سنتی برق‌رسانی با شبکهٔ هوشمند را باید در مثال فضای دوبعدی و فضای سه‌بعدی فهمید. درواقع شبکهٔ هوشمند، به علت اهمیت جریان اطلاعاتی آن و نیز دوسویه‌شدن نظام تبادل انرژی در آن، وارد فضای دیگری می‌شود که با نگرش دوبعدی نمی‌توان به آن پرداخت. شبکهٔ هوشمند مستلزم نگرشی متفاوت و تمهیداتی دیگر است و نمی‌توان با همان سازوکارهایی که شبکهٔ سنتی برق‌رسانی را توسعه می‌دهد و از آن نگه‌داری و بهره‌برداری می‌کند، به موضوع شبکهٔ هوشمند پرداخت. بااین‌حال، اگرچه تلاش‌هایی درجهت ایجاد توانمندی‌های فنی برای توسعهٔ شبکهٔ هوشمند برق‌رسانی در حال انجام است اما به نظر می‌رسد با توجه به سطح پایین مشارکت مصرف‌کننده و فقدان تعریف روشن از نیازمندی‌های مصرف‌کننده به شبکهٔ هوشمند این تلاش‌ها بیشتر جنبهٔ تکنولوژیکی و اقتصادی داشته باشد. ازاین‌رو حتی اگر شبکهٔ هوشمند از لحاظ فنی ممکن شود، معلوم نیست که آیا از نظر اجتماعی نیز مطلوب خواهد بود یا خیر. برای همین، باید منافع مصرف‌کننده نیز در این گذار تکنولوژیکی به‌دقت بیان شود.

منابع

بیانلو، زهره و زارع احمدآبادی، حبیب (۱۳۹۵). «پیش‌بینی تحقیقات فناوری در قلمرو منتخب از انرژی خورشیدی: کاربرد تحلیل پتنت و شبکهٔ عصبی مصنوعی». فصلنامهٔ مدیریت توسعهٔ فناوری، دورهٔ ۴، شمارهٔ ۱، ص ۱۴۹ـ۱۷۱.

قاسمی، احمدرضا و قبادیان، محمدرضا (۱۳۹۴). «ترسیم و رتبه‌بندی سناریوهای آیندهٔ صنعت برق ایران با بهره‌گیری از نقشه‌شناختی فازی و تحلیل سناریو». فصلنامهٔ مدیریت توسعهٔ فناوری، دورهٔ ۳، شمارهٔ ۱، ص ۱۰۱ـ۱۳۴.

مارکس، کارل. (۱۳۹۴). سرمایه. ترجمهٔ حسن مرتضوی. تهران: نشر لاهیتا.

مکنزی، دونالد (۱۳۸۶). مارکس و ماشین: بررسی انتقادی نظریهٔ جبریت تکنولوژیک. فلسفهٔ تکنولوژی. ترجمهٔ شاپور اعتماد. تهران: نشر مرکز. ص ۲۱۶ـ۲۷۲.

ورماس، پیتر، کروس، پیتر، دوپوئل، ایبو ون، فرنس، مارتین و هاوکس، ویبو (۱۳۹۰). رویکردی در فلسفهٔ تکنولوژی: از مصنوعات تکنیکی تا سیستم‌های اجتماعی ـ تکنیکی. ترجمهٔ مصطفی تقوی و فرخ کاکائی. تهران: کتاب آمه.

Bigerna, S., Andrea Bollino, C. and Micheli, S. (2016). "Socio-economic Acceptability for Smart Grid Development - A comprehensive review". *Journal of Cleaner Production*, 131, pp. 399-409.

Bijker, W. E. (1995). *Of Bicycles, Bakelites and Bulbs: Toward a Theory of Sociotechnical Change*. Cambridge: The MIT Press.

Bijker, W. E. and Pinch, T. (1987). The Social Construction of Facts and Artifacts: Or How the Sociology of Science and the Sociology of Technology Might Benefit Each Other. In W. E. Bijker, T. P. Hughes and T. Pinch (Eds.). *The Social Construction of Technological Systems: New Directions in the Sociology and History of Technology* (pp. 11-44). Cambridge, Massachusetts; London, England;: The MIT Press.

Cardwell, D. S. (1971). *From Watt to Clausius: The Rise of Thermodynamics in the Early Industrial Age*. London: Heinemann.

Colak, I., Fulli, G., Sagiroglu, S., Yesilbudak, M. and Covrig, C.-F. (2015a). "Smart Grid Projects in Europe: Current Status, Maturity and Future Scenarios". *Applied Energy*, 152, pp. 58–70.

Colak, I., Kabalci, E., Fulli, G. and Lazarou, S. (2015b). "A Survey on the Contributions of Power Electronics to Smart Grid Systems". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 47, pp. 562–579.

Constant, E. W. (1980). *The Origins of Turbojet Revolution*. Baltimore and London: The Johns Hopkins University Press.

Dinneen, G. P. and Frick, F. C. (1977). "Electronics and National Defense: A Case Study". *Science*., 195(4283), pp. 1151-1155.

Ellabban, O. and Abu-Rub, H. (2016). "Smart Grid Customers' Acceptance and Engagement: An overview". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 65, pp. 1285–1298.

Fang, X., Misra, S., Xue, G. and Yang, D. (2012). "Smart Grid – The New and Improved Power Grid: A Survey". *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 14(4), pp. 944-980.

Glover, J. D., Sarma, M. S. and Overbye, T. J. (2012). *Power System Analysis and Design* (5th ed). Cengage Learning.

Hughes, T. P. (1971). El*mer Sperry: Inventor and Engineer*. London: The Johns Hopkins University Press.

Hughes, T. P. (1976). "The Science-Technology

Interaction: The Case of High-Voltage Power Transmission Systems". *Technology and Culture*, 17, pp. 646-662.

Hughes, T. P. (1983). *Networks of Power: Electrification in Western Society*, 1880-1930. Baltimore and London: The Johns Hopkins University Press.

Hughes, T. P. (1989). *American Genesis: A Century of Invention and Technological Enthusiasm*, 1870-1970. New York: The University of Chicago Press.

IEA. (2011). *Technology Roadmap: Smart Grids*. Paris: International Energy Agency.

Kabalci, Y. (2016). "A Survey on Smart Metering and Smart Grid Communication". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, pp. 302-318.

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

Latour, B. and Woolgar, S. (1979). *Laboratory life: The social construction of scientific facts* (1st ed). Princeton: Princeton University Press.

Lo, C.-H. and Ansari, N. (2012). "The Progressive Smart Grid System from Both Power and Communications Aspects". *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 14(3), pp. 799-821.

MacKenzie, D. and Wajcman, J. (1999). T*he Social Shaping of Technology. In The Social Shaping of Technology* (Second ed). Buckingham: Open University Press.

Malik, F. H. and Lehtonen, M. (2016). "A Review: Agents in smart grids". *Electric Power Systems Research*, 131, pp. 71–79.

Marx, K. (1847). *The Poverty of Philosophy*. Paris and Brussels: Progress Publishers.

Nafi, N. S., Ahmed, K., Gregory, M. A. and Datta, M. (2016). "A Survey of Smart Grid Architectures, Applications, Benefits and Standardization". *Journal of Network and Computer Applications*, 76, pp. 23–36.

Ogburn, W. F. and Thomas, D. (1922). "Are Inventions Inevitable? A Note on Social Evolution". *Political Science Quarterly*, 37, pp. 83-98.

Ribeiro, P. F., Polinder, H. and Verkerk, M. J. (2012). "Planning and Designing Smart Grids: Philosophical Considerations". *IEEE Technology and Society Magazine*, 31(3), pp. 34-43.

Saadat, H. (1999). *Power System Analysis*. McGraw-Hill.

Schumpeter, J. A. (1943). *Capitalism, Socialism and Democracy*. London, New York: Routledge.

Shrivastava, A. (2016). *Ecoideaz*. Retrieved from http://www.ecoideaz.com/wp-content/uploads/2016/07/Smart-Grid-in-India-2.jpg?w=640

Siano, P. (2014). "Demand Response and Smart Grids—A Survey". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30, pp. 461–478.

Vincenti, W. G. (1990). *What Engineers Know and How They Know It: Analytical Studies from Aeronautical History*. Johns Hopkins University Press.

Wallerstein, I. (2013). Structural Crisis, Or Why Capitalists May No Longer Find Capitalism Rewarding. In I. Wallerstein, R. Collins, M. Mann, G. Derluguian and C. Calhoun (Eds.). *Does Capitalism Have a Future?* (pp. 9-25). Oxford University Press.

White, L. T. and White, L. (1962). *Medieval Technology and Social Change*. London and New York: Oxford University Press.

The Economic, Social and Technological Origins of Smart Power Grid

Mahyar Karimkhani
Amir Albadvi
Meisam Karimkhani

Abstract

This paper is aimed at dissecting the technological nature of the smart power grid and explaining the origins of its emergence. For this purpose, firstly, the conventional and smart power grid are briefly explained and secondly their differences are described. Then, in order for providing a basis for analyzing the transformation of the power grid from the conventional to the smart one, the theories describing technological changes are reviewed. After that, the best theory which explained the technological nature of the smart power grid is selected. It provides a framework for determining the transition from conventional to smart power grid. It is explained that reverse salient concept has a very good capability for determining the foundations and necessities of smart power grid. It will be discussed that smart power grid is a response to incapability of current power infrastructure in facilitating the mass application of new technologies such as electric vehicles and renewable technologies (solar panel, wind turbine, etc). Also, it is claimed that the emergence of smart power grid can be attributed to the necessity of finding new spaces for capital accumulation.

Keywords: Smart grid, Sociotechnical Systems, Technological Change, Reverse Salient