چکیده

از آنجایی‌که سیستم‌های بزرگ فناوری مثل شبکه‌های مخابرات و برق، خدمات زیربنایی جامعه مدرن امروزی را تشکیل می‌دهند، از اهمیت اجتماعی و سیاسی بالایی برخوردارند. شناخت چگونگی رشد و توسعهٔ این سیستم‌ها، علاوه بر افزایش ارزش علمی توضیح پیچیدگی فرایند توسعه، می‌تواند گزینه‌های مناسبی را برای تصمیم‌گیری در اختیار سیاست‌گذاران و اهل عمل قرار دهد. این مقاله ضمن شرح مختصر ادبیات رشد این سیستم‌ها سعی دارد نقش نوآوری‌ها را در مسیر رشد مورد مطالعه قرار دهد.

نگاهی به عوامل فنی و غیرفنی در توضیح رشد سیستم‌های بزرگ فناوری

مهدی کیامهر
دانشجوی دکترای مدیریت فناوری و نوآوری، سنتریم، دانشگاه برایتون، انگلستان
m_kiamehr@yahoo.com

علی کرمانشاه
استادیار، دانشگاه مدیریت و اقتصاد دانشگاه صنعتی شریف
پژوهشکده سیاست‌گذاری علم، فناوری و صنعت دانشگاه صنعتی شریف
akermanshah@sina.sharif.ac.ir

مقدمه

ادبیات سیستم‌های بزرگ فناوری[1] به توضیح چگونگی رشد و توسعهٔ صنایع شبکه‌ای (مثل مخابرات و برق) می‌پردازد. این ادبیات به‌طور خاص بر بررسی نقش عوامل سیاسی، اقتصادی، اجتماعی و فناوری در رشد سیستم‌های بزرگ فناوری متمرکز است. مطابق یافته‌های این ادبیات، توسعهٔ سیستم‌های بزرگ فناوری تنها متأثر از پیشرفت‌های فنی نیست بلکه مجموعه‌ای از عوامل و محرک‌های نشأت‌گرفته از درون سیستم و عوامل محیطی، در تعامل با هم، مسیر توسعه و رشد سیستم را مشخص می‌کنند.

سیستم‌های بزرگ فناوری تمایل به رشد دارند ولی در رهگذر رشد، به علت طبیعت متشکل بودن از اجزای فراوان، بخش‌هایی از سیستم از مابقی عقب می‌مانند که این بخش‌ها تبدیل به تمرکز اصلی فعالیت‌های نوآورانه در راه رشد سیستم می‌شوند. اما نرخ و جهت واقعی فعالیت‌های نوآورانه برای حل مسائل فوق فقط توسط فناوری تعیین نمی‌شود. به‌عنوان نمونه، سیستم‌های بزرگ در مسیر رشد خود مومنتوم پیدا می‌کنند، بنابراین در مقابل هر نوع تغییری نرمش نشان نمی‌دهند. ملاحظه‌های اقتصادی مرتبط با سرمایه‌گذاری‌های عظیم مورد نیاز در این صنایع، یکی از عوامل مهم شکل‌دهنده به لختی سیستم در مقابل نوآوری‌ها محسوب می‌شود.

این مقاله سعی دارد ضمن توضیح مفاهیم و نظریه‌های مرتبط با رشد سیستم‌های بزرگ و بررسی نوآوری به‌عنوان ابزار غلبه بر مشکلات فنی، اقتصادی، مدیریتی و اجتماعی سیستم درحال‌رشد، به واکاوی تنظیم به‌عنوان بخشی از فضای محیط بر این نوآوری‌ها بپردازد و به تأثیر اصلاحات ساختاری صورت‌گرفته در این صنایع بر نوآوری سیستم اشاره مختصری داشته باشد.

سیستم‌های بزرگ فناوری

سیستم‌های بزرگ فناوری به‌صورت «ساختارهای منسجم متشکل از اجزای متعامل و به‌هم‌پیوسته است که این اجزا می‌توانند از ماشین‌های به‌نسبت ساده تا یک شبکهٔ منطقه‌ای برق متغیر باشند.»[1]

سه ویژگی عمدهٔ فنی سیستم‌های بزرگ فناوری عبارتند از:

ویژگی اول) سیستم از مجموعه‌ای از اجزا تشکیل شده است که هریک می‌توانند کالای سرمایه‌ای[2] باشند. هر جزء مجموعه‌ای از قابلیت‌ها و کارکردها را دارد تا بتواند به وظیفهٔ خود در سیستم عمل کند.

ویژگی دوم) این اجزا به‌وسیلهٔ یک ساختار یعنی شبکه به هم متصل شده‌اند تا سیستمی پیچیده را شکل دهند. بنابراین تغییرات در کارکرد و طراحی یک جزء بر سایر اجزا اثر می‌گذارد. پیکره‌بندی شبکه، به سیستم معماری خاص فنی را می‌دهد که می‌تواند مثلاً عمودی یا افقی باشد. یک سیستم افقی اجزای با یک ماهیت یا کارکرد را به هم متصل می‌کند درحالی‌که یک سیستم عمودی اجزایی را که کارکردهای مختلف و مرتبط با هم دارند به هم می‌پیوندد.

ویژگی سوم) یک جزء کنترلی وجود دارد که به منظور بهینه کردن کارایی سیستم و هدایت سیستم به اهداف تعیین‌شده مورد استفاده قرار می‌گیرد. به‌عنوان نمونه، در سیستم‌های قدرت، سیستم‌های کنترلی مورد استفاده قرار می‌گیرند تا سیستم عرضه را مطابق استانداردهای ولتاژ و فرکانس تنظیم کنند و عملکرد سیستم را براساس سایر اهداف کنترل کنند. یک مرکز دیسپاچینگ بار در شبکهٔ برق شبیه یک جزء کنترل و مدیریت شبکه در مخابرات است که به تنظیم جریان ترافیک می‌پردازد. معمولاً سیستم به‌صورت سلسله‌مراتبی تنظیم شده است و اجزا از طریق یک سیستم کنترل مرکزی با هم ارتباط دارند.

بدین‌ترتیب می‌توان گفت سیستم‌های بزرگ فناوری، زیرساخت‌های توسعه و رفاه جوامع مدرن امروزی را تشکیل می‌دهند و صنایع شبکه‌ای مانند مخابرات و برق، مصادیقی از این سیستم‌ها هستند.

هیوز، تاریخ‌دان فناوری، برای نخستین بار توانست ضمن پی بردن به میزان اهمیت سیستم‌های بزرگ فناوری، با مطالعهٔ تاریخ رشد چند سیستم نمونه در کشورهای توسعه‌یافته، به پایه‌گذاری رویکردهای اجتماعی فنی برای توضیح تحولات این سیستم‌های

فناوری نایل آید. وی به بررسی تاریخی سیستم‌های برق بین سال‌های ۱۸۷۰ تا ۱۹۴۰ پرداخت.[۱] تاریخ تطوری که هیوز ارائه می‌کند در چند فاز قابل جمع‌بندی است: اختراع، توسعه، نوآوری، انتقال فناوری، رشد، رقابت و تثبیت. به موازات این‌که سیستم‌ها بالغ می‌شوند صاحب سبک و مومنتوم می‌شوند. البته این مراحل به‌صورت خطی نیستند و با هم ارتباط و تداخل دارند و در هر مرحله بازیگران مختلفی به حل مسائل در مسیر توسعهٔ سیستم می‌پردازند. در ادامه به توضیح کلی این مراحل پرداخته می‌شود. مشارکت نظری و کاربردی اصلی هیوز در توسعه دادن ادبیات بخش رشد سیستم‌ها بوده است.

۱. مرحلهٔ اختراع

در مرحلهٔ اختراع سیستم‌های بزرگ، مخترعان از نتایج کارهای آزمون‌شدهٔ قبلی استفاده کرده و اختراع‌های رادیکال به وقوع می‌پیوندند. در تاریخ سیستم‌های بزرگ فناوری، بسیاری از اختراع‌های رادیکال توسط مخترعان مستقل صورت پذیرفته است که تحت فشار حقوق‌بگیری و الزامات سازمان‌های مأموریت‌گرا نبوده‌اند. این افراد خود را از سازمان‌های بزرگ، که در زمینه‌های مشخص فناوری سرمایه‌گذاری کرده بودند، دور کردند و در حین فعالیت‌های مستقل توانستند فناوری‌ها را پدید آورند.

۲. توسعه

در مرحلهٔ توسعهٔ اختراع، فناوری دارای ساخت اجتماعی خود می‌شود. به عبارتی در این مرحله مخترع کارآفرین و همکارانش جنبه‌های اقتصادی، سیاسی و اجتماعی را در اختراع خود وارد می‌کنند. به علت بروز مشکلات در توسعهٔ اختراع به یک سیستم واقعی، مخترعان در مرحلهٔ توسعه هم به اختراع‌های خود ادامه می‌دهند ولی این اختراع‌ها تنها از جنس فناوری نیستند.

الف) نوآوری: نوآوری سیستم بزرگ را به ظهور می‌رساند. در این مسیر افراد زیادی دخیل هستند. سازندگان سیستم سعی می‌کنند اندازهٔ سیستم تحت کنترل خود را مدام افزایش داده و اندازهٔ محیط غیرقابل کنترل را پیوسته کاهش دهند. پس از بروز نوآوری، مخترع کارآفرین معمولاً علاقه به جدایی از مرکز فعالیت‌ها دارند و مدیر کارآفرین بعد از این وظیفهٔ پاسخگویی به نمایه‌های معکوس را در جهت رشد سیستم پیدا می‌کند.

ب) انتقال فناوری: انتقال فناوری در هر مرحله از عمر یک سیستم می‌تواند اتفاق بیفتد. از آنجایی‌که در یک فناوری عوامل زیادی گنجانده شده که بتواند به مشکلات متنوع ناشی از محیط مکانی و زمانی خود پاسخ دهد، انتقال آن به یک محیط دیگر و یا در یک زمان دیگر نیازمند بومی‌سازی[۳] است.

انگلیسی‌ها اولین ترانسفورماتور را اختراع کردند و در سیستم اولیهٔ اختراع‌شده بسیاری از ملاحظه‌های حقوقی مرتبط با قانون برق این کشور گنجانده شده بود که استفاده از آن در آمریکا را دشوار می‌کرد. وستینگ‌هاوس از یک مخترع مستقل برای ایجاد یک ترانسفورماتور آمریکایی ولی براساس اختراع انگلیسی دعوت کرد. مهندسان وستینگ‌هاس نتیجه کار را به‌گونه‌ای بومی کردند تا بتواند سبک آمریکایی به خود بگیرد. در آمریکا بازار و روش تفکر تولید انبوه بود؛ بنابراین طراحی دستگاه و فرایند تولید آن برای تطابق با تولید انبوه تغییر یافت. بدین‌ترتیب علاوه بر اجزای فیزیکی، در برخی موارد، سازمان تولید و ساخت اجتماعی یک سیستم بزرگ فناوری هم در حین انتقال تغییر می‌یابد. مفهوم سبک فناوری یا سبک فناورانه می‌تواند مجموع این متغیرهای بازار، قانون‌گذاری و شرایط اجتماعی جغرافیایی را به تصویر بکشد.

سبک فناورانه[۴]

در فناوری بهترین مطلق وجود ندارد، بنابراین فناوری و سیستم با شرایط منطبق می‌شوند تا اثربخش باشند. سبک فناورانه بر توسعه و بومی کردن فناوری‌ها و سیستم‌ها اثر می‌گذارد. سیستم تولید و توزیع برق در سال ۱۹۲۰ در لندن و برلین با هم متفاوت بودند. برلین دارای نیروگاه‌های بزرگ بود ولی لندن نیروگاه‌های کوچکی داشت. این سبک متفاوت بیشتر از قانون‌های مختلف تنظیم شبکه ناشی می‌شود. مشخصات جغرافیایی (به‌ویژه شرایط منطقه‌ای) و تجربه‌های تاریخی یکی دیگر از شرایط شکل‌دهنده به سبک فناوری هستند. در آلمان بعد از جنگ جهانی اول، زغال‌سنگ سخت، غرامت جنگی بود و آلمان اجازهٔ مصرف آن را در داخل نداشت. به منظور تأمین برق، مهندسان به طراحی نیروگاه‌ها با سوخت زغال‌سنگ نرم پرداختند. بدین‌ترتیب سبک فنی نیروگاه‌های برق آلمان با سایر کشورهای بزرگ اروپایی متفاوت شد. مشابه همین ملاحظه‌ها را می‌توان در تفاوت سبک فنی روسی و اروپایی و یا اروپایی و آمریکایی در سایر سیستم‌های بزرگ فناوری مشاهده کرد.[۵]

ج) رشد، رقابت و تثبیت: اغلب، تاریخ‌دانان فناوری به مرحلهٔ رشد اشاره می‌کنند ولی آن را تحلیل نمی‌کنند. عواملی مثل اقتصاد مقیاس، علاقه به افزایش قدرت شخصی و بزرگ‌تر کردن سازمان، عوامل جامعی برای توضیح رشد سیستم‌های بزرگ فناوری نیستند بلکه مجموعه‌ای دیگر از عوامل مانند علاقه به ایجاد تنوع زیاد، افزایش ضرایب بار[۶] و ایجاد یک ترکیب اقتصادی خوب نیز در رشد این سیستم‌ها مؤثر است.

ضریب بار در صنایع شبکه‌ای مثل شبکهٔ برق از نظر اقتصادی بسیار تأثیرگذار است چون نشان می‌دهد که تا چه حد از ظرفیت سرمایه‌گذاری اولیه استفاده می‌شود. هرچه میزان استفاده بیشتر باشد بازگشت سرمایه سریع‌تر اتفاق می‌افتد و درنتیجه منابع برای سرمایه‌گذاری در رشد آیندهٔ سیستم فراهم می‌شود. از سوی دیگر، یک سیستم کوچک که دارای پخش بار مطلوب است می‌تواند بازگشت سرمایهٔ خوبی داشته باشد. اگر مصرف‌کنندگان به‌خوبی نتوانند بار خود را در ساعت‌های مختلف مدیریت کنند، مدیران سیستم سعی می‌کنند با گسترش سیستم یا ایجاد ساختار جدید قیمت‌گذاری این کار را انجام دهند. معمولاً گسترش سیستم به مناطق جغرافیایی دارای بارهای متفاوت صنعتی، مسکونی و حمل و نقل، به مدیریت بار کمک می‌کند.

عامل دیگر، ترکیب اقتصادی است. مثلاً شرکت‌های تولید برق، نیروگاه‌های مستقر در مناطق نزدیک به معادن زغال‌سنگ و نیروگاه‌های نزدیک به کوه را با هم در پرتفوی خود در نظر می‌گیرند. علت این امر استفاده از مزایای تولید اقتصادی برقابی در فصل‌های مناسب سال است. همین‌طور می‌توانند از نیروگاه‌های کم‌بازده در شرایط پیک و نیروگاه‌های کارامدتر در شرایط بار عادی استفاده کنند.

مراحل ذکرشده در بالا تصویری عمومی از توسعهٔ سیستم‌های بزرگ فناوری ارائه می‌دهد. با توجه به تمرکز این مقاله، در ادامه توضیح بیشتری در مورد مرحلهٔ رشد، از میان مراحل بالا، ارائه می‌شود.

رشد سیستم‌های بزرگ فناوری

در مدل هیوز برای توضیح رشد و توسعهٔ سیستم‌های بزرگ فناوری سه مفهوم کلیدی معرفی شده‌اند: نمایه‌های معکوس[۷]، مسائل حیاتی و مومنتوم. [۱,۲]مفاهیمی که در کار هیوز وجود دارند زمینه را برای شناخت نیروهای مختلف شکل‌دهنده به تغییرات سیستم‌ها در حال حاضر و آینده فراهم می‌کنند. هیوز در مطالعه‌های خود تحولات در سیستم‌های بزرگ فناورانه را شبیه تحولات خط مقدم جبههٔ نظامی می‌داند که قابل پیش‌بینی نیستند. یک نمایه عبارت است از یک تغییر در خط و نمایهٔ معکوس و بخشی از خط مقدم است که از این تحولات عقب می‌ماند. اگر این مفهوم نظامی را به فناوری تعمیم دهیم، نمایهٔ معکوس بخشی ازسیستم و اجزا است که با اجزای دیگر همفاز نیست یا در توسعهٔ سیستم از آنها عقب می‌ماند. این نمایه‌ها از رشد ناهمگون یک سیستم حاصل می‌شوند، از سایر اجزا کارایی کمتری دارند، به‌صورت منظم (هارمونیک) با سایر اجزای پیشرفته تعامل ندارند و توسعهٔ سیستم را کند می‌کنند.

به منظور توسعهٔ سیستم، اقدامات نوآورانه بر رفع این نمایه‌ها متمرکز می‌شوند. توسعه‌های فناورانه در طراحی و عملیات این اجزا سبب می‌شود تا به‌تدریج بالانسی مجدد در سیستم به‌وجود آید و ارتباطات بهینه بین اجزا شکل گیرد. درواقع مخترعان و مهندسان سیستم، اجزای غیرهمفاز سیستم را دوباره تحلیل می‌کنند و مجموعه‌ای از مسائل حیاتی قابل حل را تشخیص می‌دهند که این مسائل حیاتی موجب تمرکز فعالیت‌های پژوهشی و توسعه‌ای کارشناسان می‌شود. چنانچه این مسائل حیاتی از جنس سازمانی باشند، مدیران و کارشناسان امور مالی هستند که راه‌حل آنها را می‌یابند.

با بزرگ شدن تدریجی سیستم از نظر اندازه، مومنتوم به‌دست می‌آورد. تأثیر این مومنتوم در یک سیستم بزرگ فناوری شبیه اینرسی در حرکت است که سیستم را در یک جهت وابسته به گذشته[۸] سوق می‌دهد. این مومنتوم از طریق حل مسائل حیاتی که توسعهٔ سیستم را محدود می‌کنند، خود را حفظ می‌کند. برای درک این مفهوم لازم است توضیح بیشتری فراهم شود.

یک سیستم دارای مومنتوم "انبوه اجزا[۹]، نرخ رشد و جهت‌گیری" را شامل می‌شود:

۱. انبوه اجزا: دربرگیرندهٔ اجزای فنی و سازمانی است. اجزای فنی همان ماشین‌آلات، بناها و کارخانه‌ها و کالاهای فیزیکی طویل‌العمری است که نیاز به سرمایه‌گذاری بالایی دارند. التزام به بازگشت هزینه‌های اولیه سرمایه‌گذاری در اجزا به‌نوعی عدم انگیزش برای سرمایه‌گذاری در فناوری‌های جدید به‌وجود می‌آورد چراکه انتخاب فناوری جدید می‌تواند باعث از رده خارج شدن سریع سرمایه‌گذاری قبلی باشد. اجزای سازمانی هم به سیستم مومنتوم می‌دهند. وجود مدیران و کارمندانی که دانش و تخصص آنها به سیستم تخصصی مرتبط شده است به همراه انواع نهادهای درگیر مثل بنگاه‌های تجاری، سازمان‌های دولتی، آموزشی، انجمن‌های حرفه‌ای، تأمین‌کنندگان مالی و سازمان‌های تنظیم‌کننده، اغلب محرک و پشتوانهٔ افزایش عمر سیستم در یک جهت خاص می‌شوند.

۲. نرخ رشد: به‌تدریج که سیستم رشد می‌یابد، مومنتوم از طریق رشد تعداد زیرسیستم‌ها و اجزای درگیر در زیرساخت به‌هم پیوسته به‌دست می‌آید. هرچه سیستم بزرگ‌تر شود مزیت آن نسبت به فناوری‌های رقیب افزایش می‌یابد چراکه اگر فناوری‌های رقیب کمتر توسعه یافته باشند زیرساخت‌های فنی و اجتماعی مکمل و مورد نیاز را نخواهند داشت.

۳. جهت‌گیری: ویژگی به‌هم پیوستگی تأثیر فراوانی در تعیین جهت نوآوری‌های سیستم دارد. همان‌گونه که سیستم در اندازه، پیچیدگی و به‌هم پیوستگی رشد می‌کند، عملیات کارامد سیستم نیازمند توجه دقیق به همخوانی فناوری‌های موجود و فناوری‌های محتمل آینده است. بنابراین لزوم همخوانی اجزای جدید با سیستم موجود، ترمزی است بر توسعهٔ خارج از مرز فناوری‌های جدید.

بدین‌ترتیب، مدل هیوز دو دسته عوامل درونی و بیرونی سیستم را در توضیح رشد و توسعهٔ آن مؤثر می‌داند. مفهوم مومنتوم نه تنها نشان می‌دهد که فناوری از نهادهای اجتماعی تأثیر می‌پذیرد و بر آنها اثر می‌گذارد بلکه عوامل ساختاری و حوادث موقعیتی تأثیرگذار بر توسعهٔ سیستم‌ها را نیز می‌تواند نشان دهد. اگرچه مومنتوم نیروی قدرتمندی پدید می‌آورد که می‌تواند توسعهٔ سیستم را در یک جهت خاص هدایت کند ولی عوامل موقعیتی مثل وقوع یک جنگ می‌تواند این مسیر را تغییر دهد. تعیین زغال‌سنگ به‌عنوان غرامت جنگ جهانی در آلمان نمونه‌ای از این موارد است.

در مدل هیوز از توسعهٔ سیستم‌ها، محیط انتخاب[۱۰]، که درواقع به مثابه ابزار تعیین تمرکز و جهت فعالیت‌های نوآوری مخترعان، طراحان، مهندسان، مدیران و سایر تصمیم‌گیران عمل می‌کند، بیشتر فنی (شامل ویژگی‌های کارایی فنی، پایایی و همخوانی با سیستم‌های فعلی و آینده) و سیاسی (منافع نهادی سوق‌دهندهٔ سیستم در جهت‌های خاص) است. با این وجود هیوز رگه‌ای از ملاحظه‌های اقتصادی را هم در مطالعه‌های خود ذکر می‌کند که در شکل‌دهی به فضای تصمیم توسعه‌دهندگان سیستم‌ها اثرگذار بوده است. به‌عنوان مثال در بررسی رشد شبکه‌های برق، عوامل ضریب بار[۱۱] و تنوع بار[۱۲] را به‌عنوان عوامل اصلی رشد سیستم بیان می‌کند و نشان می‌دهد که فهم درست این مفاهیم توسط توسعه‌دهندگان سیستم باعث افزایش نرخ بازگشت سرمایه‌گذاری‌ها در شبکهٔ برق شده و انگیزش کافی برای رشد سیستم را پدید می‌آورد. بدین‌ترتیب مدل یکپارچهٔ هیوز از فناوری و اقتصاد نشان می‌دهد که جبریت‌گرایی نرم اقتصاد[۱۳] در ترکیب با جبرگرایی مومنتوم[۱۴] (اجزای اصلی فناوری و نهادهای اصلی) عوامل رشد سیستم را توضیح می‌دهند.

با وجود توجه هیوز به عوامل اقتصادی، محیط انتخاب اقتصادی شامل ساختار هزینه‌ها، مقیاس تولید و سودآوری، که راهنمای جستجو برای یافتن فنون (تکنیک‌های) بهتر و فناوری‌های جدید در سیستم است، فراموش می‌شود.[۳] ساختار هزینه‌های این سیستم‌ها نوعی فشار داخلی بر جهت و نرخ نوآوری می‌گذارد. بنابراین می‌توان گفت که مدل مناسب برای توضیح توسعه و رشد سیستم‌های بزرگ فناوری باید علاوه بر جنبه‌های خودمختار توسعهٔ فناوری، ارتباطات و تحولات توأمان[۱۵] عوامل فناوری، اقتصادی و سیاسی را دربر داشته باشد. بخش بعد مفهوم هزینه‌ها و اقتصاد را با تفصیل بیشتری بررسی می‌کند.

۱. اقتصاد سیستم‌های بزرگ فناوری

در سیستم‌های بزرگ فناوری، معمولاً سرمایه‌گذاری اولیهٔ زیادی مورد نیاز است؛ با امید برگشت آنها در طول زمان با تعیین قیمت‌هایی که از هزینهٔ متغیر[۱۶] بالاتر است. به این ترتیب در این صنایع سرمایه‌گذاری‌های اولیه، نسبت هزینهٔ ثابت به متغیر را افزایش می‌دهد. این هزینه‌های ثابت اگر بر روی حجم بالای تقاضا سرشکن شوند، هزینه‌های ثابت را به‌ازای استفادهٔ بیشتر از ظرفیت نصب‌شده کاهش می‌دهند. بنابراین مزایای هزینه‌ای و سودآوری محقق نخواهد شد مگر این‌که همواره حجم مشخصی از ترافیک در سیستم جریان داشته باشد تا بتوان از استفادهٔ کارامد از ظرفیت مطمئن شد.

به‌عنوان نمونه، گسترش خطوط فیبر نوری ظرفیت انتقال را افزایش داده و باعث کاهش هزینهٔ متوسط استفاده از شبکهٔ مخابرات شده است. اما از آنجایی‌که ظرفیت خطوط شبکه‌های ارتباطات راه‌دور خیلی بیشتر از تقاضای موجود است، انحصار با توجیه بهره‌گیری از اقتصاد مقیاس و اقتصاد حجم به‌وجود می‌آید. پیشرفت‌های فناوری در بخش ارتباطات راه‌دور نشان داد که شبکهٔ محلی مخابرات یک نمایهٔ معکوس است چراکه در برابر رشد سریع بخش‌های دیگر، به علت سرمایه‌گذاری بالای صورت‌گرفته در شبکه‌های مسی در بخش شبکهٔ محلی امکان حرکت به سمت شبکه‌های فیبر نوری نیست که بتواند این ترافیک جدید را حمل کند. از سوی دیگر، چنانچه تقاضا برای پهنای باند بیشتر در منازل برای تلویزیون، ویدئو، صوت و اینترنت افزایش یابد امکان استفاده از شبکهٔ فیبر نوری برای متصل کردن مصرف‌کنندهٔ نهایی (شبکهٔ محلی) به شبکهٔ مخابرات افزایش می‌یابد. این خدمات جدید که بر روی شبکهٔ فیبر نوری سوار می‌شوند می‌توانند اقتصاد سیستم را بهبود دهند. یکی دیگر از نوآوری‌ها، ارائهٔ ساختار قیمتی متناسب با تقاضای مشتریان است که به استفاده از ظرفیت شبکه به‌خصوص در ساعت‌های غیرپیک کمک می‌کند.

به‌عنوان نمونه‌ای از مفاهیم هیوزی، شبکهٔ محلی یک نمونه از نمایهٔ معکوس بود که تعدادی از شرکت‌های سنتی این صنعت شروع به استفاده از ADSL کردند تا بر آن غلبه کنند و بتوانند از طریق همان شبکهٔ محلی مسی، داده و تصویر منتقل کنند. گرچه استفاده از این فناوری، پاسخی به حل مسألهٔ نمایهٔ معکوس شبکهٔ محلی برای پاسخ دادن به تقاضا و افزایش عوامل استفاده از ظرفیت بود، ولی استفاده از آن برای مدتی دیگر سیستم مخابرات را در همان فناوری شبکهٔ محلی قدیمی قفل کرد.

عوامل اقتصادی توضیح‌دهندهٔ رشد سیستم را می‌توان در سه گروه "اقتصاد مقیاس، اقتصاد حوزه و اقتصاد سیستم" طبقه‌بندی کرد.[۳] اقتصاد مقیاس و اقتصاد حوزه همان مزایای هزینه‌ای است که به‌واسطهٔ گسترش اندازهٔ سیستم و رشد محدودهٔ خدمات قابل ارائه در سیستم پدید می‌آید و سبب بازگشت بالاتر و سریع‌تر سرمایه‌گذاری می‌شود. اقتصاد سیستم، کاهش هزینه به‌واسطهٔ بهبود سیستم‌های کنترلی شبکه است. افزایش تعداد اجزای موجود در سیستم به‌صورت نمایی، پیچیدگی و هزینه‌های سیستم کنترل را افزایش می‌دهد. کارکرد جزء کنترل در تعاریف هیوز عبارت است از مدیریت و کنترل جریان ترافیک یا بار. به منظور محقق شدن

اقتصاد مقیاس و حوزه، اقدامات نوآورانه در جهت افزایش عوامل بار یعنی استفادهٔ بیشتر از ظرفیت نصب‌شده در سیستم هدایت می‌شوند. در این حالت، بهبود در اجزای کنترل بار سیستم، سبب کاهش هزینه‌ها و نرخ بازگشت بهتر سرمایه می‌شود.

۲. تغییرات در سیستم‌های بزرگ فناوری

مشوق‌های اقتصادی کاهش هزینه‌ها و عرضه به بازارهای جدید، اقدامات نوآورانه را درجهت یافتن پاسخ به نمایه‌های معکوس در رشد سیستم سوق می‌دهند که حل این مسائل ممکن است موجب عدم توازن در بخش‌های دیگر سیستم شود و درنتیجه به حل مسائل دیگر و یا ظهور فرصت‌های جدید برای بهبود کارایی و ظرفیت سیستم بینجامد. در سیستم‌های بزرگ فناوری، عوامل اقتصادی و فناوری، بر ساختار و پیکره‌بندی شبکه تأثیر می‌گذارند. درحالی‌که این عوامل مسیرهای ممکن توسعهٔ سیستم را مشخص می‌کنند، انتخاب یک مسیر خاص برای توسعه اغلب به‌واسطهٔ عوامل سیاسی صورت می‌گیرد یعنی قدرت منافع نهادی مختلف در شبکه برای توسعه و جاانداختن انتخاب خود در شکل پیکره‌بندی شبکه.

تغییرات در اجزای کنترلی شبکه می‌تواند مثال خوبی از عوامل مختلف را نشان دهد. به‌عنوان نمونه در شبکهٔ مخابرات، تغییرات فناوری و تغییرات رگولاتوری می‌توانند تغییرات صورت‌گرفته در ماهیت کنترل و پیکره‌بندی شبکه (روند حرکت از پیکره‌بندی سلسله‌مراتبی به پیکره‌بندی باز یا افقی) را توضیح دهند. مجموعه‌ای از توسعهٔ عوامل فناوری در بخش انتقال و بخش کنترل و نیز عوامل سازمانی سبب شده است که شبکهٔ مخابرات از حالت یک منوپولی مرکزی به ساختار باز و رقابتی سوق پیدا کند. به این ترتیب شبکه‌های مرکزی کنترل‌شونده با شبکه‌ای از شبکه‌ها جایگزین شده‌اند که باز بوده و به‌صورت خیلی استوار به هم متصل نیستند.

نوآوری‌های تدریجی صورت‌گرفته در شبکهٔ مخابرات با خود تغییرات اقتصادی، فناوری و نهادی به همراه آورده که باعث پیچیده‌تر شدن انتخاب برای مشتری شده است. برای کمک به مشتری در استفادهٔ درست از خدمات شبکه، نسل جدیدی از یکپارچه‌سازان سیستم رشد پیدا کرده‌اند که اجزای مختلف محیط شبکه و خدمات شامل شبکه‌های راه‌نزدیک و راه‌دور، موبایل و ارزش‌افزوده را با هم یکپارچه می‌کنند تا مشتریان بزرگ و شرکت‌های تجاری بتوانند از خدمات مورد نیاز خود از طریق تنها یک تأمین‌کننده استفاده کنند به‌گونه‌ای که هزینه‌ها حداقل شوند و بهترین اجزا را با توجه به قیمت و عملکرد در یک زمان و مسیر مشخص انتخاب کنند.

در توسعهٔ سیستم برق نیز نمایه‌های معکوس به‌وجود می‌آیند و اختراع‌ها و نوآوری‌های تدریجی به آنها پاسخ می‌دهند. مثال‌های متعددی از این نمایه‌های معکوس فنی وجود دارد. اما نمایه‌های معکوس سازمانی هم به‌وجود می‌آیند. در گذشته، تأمین مالی یوتیلیتی‌های یکپارچه (تولید و توزیع) در قالب فرم‌های رایج شرکت‌ها امکان‌پذیر نبود. در پاسخ به این نمایهٔ معکوس، ساختار شرکت‌های هلدینگ برای اولین بار در بخش برق آمریکا متولد شد. نمونهٔ جدیدتر این موضوع در مورد گسترش مشارکت بخش خصوصی در سرمایه‌گذاری‌های بخش برق است. عوامل متعددی از جمله افزایش مخارج دولتی در زمینه‌های دیگر و رشد روزافزون مصرف برق، امکان ادامهٔ سرمایه‌گذاری‌های دولتی در بخش برق را در سراسر دنیا (به جز بخش‌های عمدهٔ آمریکا که از ابتدا توسط بخش خصوصی اداره می‌شد) غیرممکن ساخت. حضور بخشی خصوصی در تولید و عرضهٔ برق نیازمند تنظیم بازار مناسب بود که هم منافع بخش خصوصی تأمین شود و هم دولت نقش حاکمیتی خود را حفظ کند. ضعف و مشکلات تنظیم بازار آن را به نمایهٔ معکوس رشد سیستم تبدیل کرد و اقتصاددانان، مهندسان و مدیران، تلاش‌های زیادی را برای ایجاد سیستم‌های تنظیم مناسب صرف کردند.

اگر نتوان نمایهٔ معکوس را با اختراع‌های تدریجی حل کرد، تبدیل به مسألهٔ رادیکال می‌شود و از این طریق ممکن است یک سیستم جدید از دل سیستم قدیمی بیرون آید. به‌عنوان مثال در روزهای ابتدایی توسعهٔ شبکه‌های برق، در توسعهٔ سیستم‌های جریان مستقیم الکتریسیته مشکلاتی پدید آمد که نمی‌شد به‌راحتی حل کرد ولی سیستم‌های متناوب قادر به پاسخگویی بودند. جنگ بین سیستم‌های مستقیم و متناوب آغاز شد ولی در نهایت نوآوری‌ها در جهت اتصال این دو سیستم به وقوع پیوست. متناظر با این تغییرات فناوری، شرکت‌ها و سازمان‌های مرتبط نیز به هم متصل شدند و شرکت‌های تولیدکنندهٔ تجهیزات متناوب و مستقیم با یکدیگر ترکیب شدند.

۳. تغییرات نوآورانه در تنظیم بخش برق در پاسخ به نمایه‌های معکوس رشد سیستم

در سیستم‌های بزرگ فناوری، منظور از تنظیم، اقدام‌ها و فعالیت‌های سازمان‌های تنظیم‌کننده و به‌طور کلی، ارتباطات و تعاملات دولت با سیستم بزرگ فناوری است.[۴] با نگرشی کلان، مسائل تنظیمی در این صنایع را می‌توان در قالب مجموعه موارد انحصار، نحوه و میزان دسترسی، استانداردسازی، حفاظت محیط زیست و ایمنی سیستم دانست.

صنایع یوتیلیتی، به‌عنوان نمونه‌ای از سیستم‌های بزرگ فناوری، در قرن‌های ۱۹ و ۲۰ صنایع جهانی محسوب می‌شدند.[۵] به‌عنوان مثال گاز و برق در بیشتر محدودهٔ جغرافیایی اروپا توسط شرکت‌های انگلیسی و آمریکایی ارائه می‌شد. مالکیت خارجی در کشورهای توسعه‌یافته و درحال‌توسعه تا دههٔ ۶۰ ادامه داشت. اما در دههٔ ۵۰ و ۶۰ مسألهٔ ملی‌سازی بعد از جنگ و مجموعه‌ای

از مسائل مرتبط با رشد اقتصاد داخلی و تورم در کشورها سبب شد که صنایع یوتیلیتی هم ملی شوند. این صنایع به علت اهمیت استراتژیکی که در توسعه داشتند مورد توجه خاص دولت‌ها واقع شدند. علاوه بر این، موضوعاتی مانند خودکفایی، امنیت در تأمین خدمات رفاهی و استراتژیک مورد نیاز کشور، برق‌رسانی به روستاها و بهره‌برداری از منابع طبیعی، روند تصدی بیشتر دولت را تقویت می‌کرد. در این دوره نیازمندی‌های سیاسی، اقتصادی، جغرافیایی و فنی به‌گونه‌ای بود که ساختار انحصاری و تنظیم مبتنی بر هزینه‌ها در بخش برق را توجیه می‌کرد.

مشکلات اقتصادی در دهۀ ۷۰ پیشرفت و رشد این صنایع را با مشکل مواجه کرد. افزایش هزینه‌های عرضۀ انرژی، کاهش تقاضا در کشورهای توسعه‌یافته و سرمایه‌گذاری‌های زیاد صورت‌گرفته در بخش تولید به پشتوانۀ پیش‌بینی‌های بلندپروازانه و از سوی دیگر در کشورهای درحال‌توسعه رشد سریع تقاضا، افزایش نیاز به سرمایه‌گذاری، وخامت وضعیت مالی دولت‌ها و کاهش بهره‌وری، از جمله دلایل توقف رشد سیستم‌ها بود. این مشکلات نمایۀ معکوس رشد سیستم بودند که نیاز به نوآوری‌ها و اقدام‌های مدیریتی اجتماعی داشتند.

دلیل تمامی مشکلات، در نحوۀ تنظیم تشخیص داده شد و راه‌حل‌ها بر دو جنبۀ تنظیم بازار متمرکز شدند: مالکیت و ساختار بازار. پاسخ به مسألۀ مالکیت به گونه‌های مختلف بوده است. در یک طرف طیف، بنگاه‌های شبه‌خصوصی قرار دارند که باید در قالب یک قرارداد یا توافق با دولت عمل کنند و در طرف دیگر طیف، خصوصی‌سازی کامل قرار دارد.

به بیان ساده‌تر می‌توان گفت در هر زمانی از توسعۀ سیستم، مجموعه‌ای از محرک‌ها و نیروهای اقتصادی، سیاسی و فناوری وجود دارند که جهت‌های مختلفی را برای توسعۀ سیستم پیشنهاد می‌دهند. نحوۀ تعامل این مجموعه محرک‌ها و برتری یافتن یک مسیر بر مسیر دیگر است که توسعۀ سیستم را مشخص می‌کند. این توسعۀ مسائل جدیدی را با خود به همراه می‌آورد که اقدام‌های نوآورانه در حل آنها به‌کار گرفته می‌شوند و این دینامیک ادامه پیدا می‌کند. اما انتخاب گزینه‌های جدید فناوری نیازمند رعایت استانداردی است که با سیستم موجود همخوان باشد. نیاز به همخوانی می‌تواند سیستم را در یک فناوری قدیمی قفل کند.

نوآوری‌ها در سیستم‌های بزرگ فناوری بیشتر نوآوری‌های تدریجی است ولی مجموعه‌ای از عوامل می‌تواند به شکل‌گیری نوآوری‌های رادیکال منجر شود. در بخش بعد به بررسی ظهور نوآوری‌های رادیکال در این سیستم‌ها پرداخته شده است.

نوآوری‌های رادیکال در سیستم‌های بزرگ فناوری

این نوآوری‌ها می‌توانند نتیجۀ عوامل بیرونی مثل تغییر در علایق سیاسی و یا ظهور فناوری در رشته‌ها و صنایع دیگر باشند. علاوه بر این، طی فرایند رشد سیستم، ظهور نمایه‌های معکوس که در پارادایم فعلی قابل حل نباشند می‌توانند سبب بروز پارادایم‌ها و فناوری‌های جدید شوند.

در صنعت برق، تعداد زیادی از فناوری‌های جدید وجود دارند که حاصل مشوق‌های محیط بیرونی و سیاست‌های دولت برای غلبه بر نمایه‌های معکوس است. فناوری‌های باد و هسته‌ای برای تولید برق، حاصل سیاست‌های دولت برای پاسخ به نگرانی‌های عمومی از امنیت تأمین انرژی بعد از بحران قیمت نفت و مسائل زیست محیطی بود. یا توسعۀ فناوری سیکل ترکیبی برای تأمین بار پایه ناشی از فرصت‌های به‌وجود آمده از گسترش فناوری توربین گاز در صنایع هوایی بود. از آنجایی‌که مقاومت داخلی سیستم برق در مقابله با این تغییرات بالا بود می‌توان توسعۀ این فناوری‌ها را نتیجۀ مشوق‌ها و تغییرات بیرونی دانست.

اصلاحات بازار اتفاق‌افتاده در صنعت برق را هم می‌توان یک مشوق در محیط بیرونی صنعت برق دانست. گرچه این تغییرات بازاری بر روی فناوری‌ها تأثیر مستقیم ندارند ولی محیط انتخاب فناوری‌ها را تغییر می‌دهند. به‌علاوه در ساختار نهادی جدید ممکن است واکنش نهادهای مستقر در مقابل بروز فناوری‌های رادیکال تغییر یابد و قوانین جدیدی حکمفرما شود.

با توجه به عوامل متعدد از جمله مومنتوم سیستم، استانداردها و شرایط تنظیمی که از فناوری‌های ثابت‌شده و موجود حمایت می‌کند، فناوری‌های رادیکال تنها در صورتی که در یک محیط محافظت‌شده رشد پیدا کنند می‌توانند به رقابت با فناوری‌های موجود بپردازند. در این محیط، فناوری به‌صورت موقتی در مقابل استانداردها و قوانین انتخاب حاکم بر سیستم محافظت می‌شود. این محیط‌ها می‌توانند توسط بنگاه‌های بزرگ یا سیاست‌گذاران ایجاد شوند. ویژگی‌های سیستمی شبکۀ برق بر شرایط نوآوری رادیکال در آن تاثیرگذار است.

اجزای شبکۀ برق به‌صورت فیزیکی به هم مرتبط هستند. علاوه بر ارتباط فیزیکی، این اجزا به‌طور فنی هم با یکدیگر ارتباط و همخوانی دارند. اما شبکۀ برق فقط شامل اجزای فیزیکی نیست بلکه افراد و سازمان‌های مختلفی هم در آن فعال هستند و ارتباطات قراردادی، اقتصادی و اطلاعاتی بین آنها وجود دارد. برای هماهنگی این اجزا با یکدیگر استانداردهای مختلفی در شبکۀ برق وجود دارد.

استانداردهای فنی نقش مهمی را در ارتباط فیزیکی اجزا با یکدیگر ایفا می‌کنند. فرکانس جریان متناوب سیستم به همراه سطح مشخصی از ولتاژ، از جمله این استانداردها است. استانداردهای عملیاتی نیز در همخوانی فنی اجزای مختلف سیستم با هم دخیل هستند مانند فرایندهای مدیریت بار کل شبکه و یا فرایندهای مدیریت اختلال‌های محلی در شبکه. در ترکیب با استانداردهای

تنظیمی، استانداردهای سازمانی نقش مهمی را در اختصاص وظایف به بازیگران مختلف و تعیین حدود اختیارات و امتیازات آنها در سیستم برعهده دارند. استانداردهای اجتماعی، به الگوی مصرف و انتظار مشتریان شکل می‌دهند مثل این‌که برق باید در همه جا با کیفیت مطلوب و هزینهٔ پایین در دسترس باشد. علاوه بر وجود استانداردهای متعدد که نوآوری‌های رادیکال را با چالش مواجه می‌کنند، یکی دیگر از ویژگی‌های بخش برق، سرمایه‌گذاری به‌نسبت بالا در شبکه است که به‌عنوان نمونه، در مورد تولید الکتریسته سبب می‌شود که صاحبان نیروگاه‌ها علاقهٔ چندانی به نوآوری‌های رادیکال نداشته باشند. در ادامه با بررسی سه نمونه از نوآوری‌های رادیکال در تولید برق، مجموعه عوامل تعیین‌کنندهٔ این نوآوری‌ها تبیین می‌شوند.[۶]

نوآوری‌های رادیکال در صنعت عرضهٔ برق در شرایط انحصاری

باوجود مشکلات و موانعی که در راه نوآوری‌های رادیکال ذکر شد، می‌توان مثال‌هایی از بروز نوآوری‌های رادیکال در صنعت برق در حالتی که تحت انحصار اداره می‌شد پیدا کرد. این بخش به توضیح سه نمونه از این موارد می‌پردازد و دلایل یا پیشرانه‌های این نوآوری‌ها را توضیح می‌دهد.

نمونهٔ۱) توسعهٔ نیروگاه‌های هسته‌ای

این فناوری در ابتدا بیشتر با حمایت سیاستمداران و سازمان‌های دولتی و با این توجیه که بدیل مناسبی برای تولید الکتریسته از زغال‌سنگ و نفت است و انواع این نیروگاه‌ها می‌تواند برای غنی‌سازی اورانیوم مورد استفاده قرار گیرد، توسعه داده شد. شرکت‌های یوتیلیتی به علت حجم بالای سرمایه‌گذاری و حجم تغییرات بالای عملیات مورد نیاز در ابتدا با راه‌اندازی و توسعهٔ این نیروگاه‌ها مخالف بودند. توسعهٔ این فناوری مستلزم برآوردن نیازهای جدیدی بود؛ از طرفی نیاز به فراهم کردن تجهیزات و سیستم‌های جانبی جدید مثل سیستم‌های خنک‌کننده، کنترل فرایند و سیستم‌های امنیتی و از طرف دیگر، سیستم‌های حمل، آماده‌سازی و نگهداری سوخت و بعد از آن دفع ضایعات با سیستم‌های قبلی تفاوت عمده‌ای داشتند. اما در هر حال نیروگاه‌های هسته‌ای با رژیم کلی بخش برق یعنی نیروگاه‌های بزرگ و متمرکز همخوان بود و از تجهیزات مشابه برای بخش‌های الکتریکی نیروگاه استفاده می‌کرد.

نمونهٔ۲) سیکل ترکیبی

توربین‌های گاز در بخش برق برای تولید در ساعت‌های پیک به‌صورت محدود مورد استفاده قرار گرفتند اما مجموعه شرایط سیاسی اجتماعی فنی باعث شد که از اواسط دههٔ ۸۰ فناوری سیکل ترکیبی به‌عنوان یک گزینهٔ مطمئن تولید حجم بالای برق در نظر گرفته شود. اقتصاد تولید برق از این فناوری اجازه می‌داد که نیروگاه‌های کوچک‌تری ساخته شود و به‌علاوه نیروگاه‌ها می‌توانستند در تئوری به محل مصرف نزدیک شوند و بتوان از گرمای اضافهٔ تولیدشده در کاربردهای حرارتی استفاده کرد. آنچه پایهٔ اولیهٔ رشد این فناوری در بخش برق را ممکن ساخت، پیشرفت‌هایی بود که در صنایع نظامی و در ساخت توربین‌های هوایی صورت گرفت و راه را برای توسعهٔ توربین‌های گاز هموار کرد. به غیر از این عوامل فنی، همان‌گونه که پیش از این توضیح داده شد وقتی دولت‌ها به استفاده از سرمایه‌های خصوصی برای ساخت نیروگاه‌های جدید روی آوردند، توربین‌های گاز به علت هزینهٔ نسبی پایین‌تر و سرعت رسیدن به بهره‌برداری، گزینهٔ جذاب‌تری بودند.

نمونهٔ۳) توربین‌های باد

باوجود مخالفت یوتیلیتی‌ها با این فناوری به علت بالا بودن حجم سرمایه‌گذاری، عدم اطمینان در تولید۱۷ و پایین بودن حجم تولید، این فناوری توسط دولت‌ها مورد توجه قرار گرفت و زمینه برای توسعهٔ آن از طریق بازارهای نیچ۱۸ فراهم شد. این فناوری از هر لحاظ یک نوآوری رادیکال است. تجهیزات مورد استفاده قبل از این در نیروگاه‌ها وجود نداشت. از لحاظ مدیریت سیستم قدرت هم، اندازهٔ توان تولیدی کوچک است و میزان توان تولیدی قابل کنترل نیست بلکه بیشتر به شرایط طبیعی وابسته است. فناوری تولید برق از باد با استانداردهای عملیاتی شبکه‌های موجود برق هم همخوان نیست. درواقع، فشار دولت‌ها بود که بر نیروهای مخالف موجود در سیستم غلبه کرد.

جمع‌بندی عوامل مؤثر در نوآوری‌های رادیکال

انرژی هسته‌ای به میزان زیادی رشد و دوام خود را مدیون دولت‌ها و سیاستمدارانی است که هزینه‌های تحقیق و توسعه، توسعهٔ نیروگاه‌های نمونه و شرایط تنظیمی مورد نیاز آن را فراهم کردند. علاوه بر پرهزینه بودن و خطرپذیری بالای این فناوری در آغاز، پس از توسعهٔ فناوری مخالفت‌هایی هم به دلیل برخی ملاحظه‌های امنیتی و مسائل زیست محیطی این نیروگاه‌ها به‌وجود آمد. دلایل اصلی توسعهٔ این فناوری را می‌توان سیاسی دانست: افزایش تنوع منابع مورد استفاده برای تولید انرژی و کاهش وابستگی زیاد به سوخت‌های فسیلی بعد از بحران قیمت سوخت.

فناوری سیکل ترکیبی بیشترین مشوق‌ها را از سرمایه‌گذاری‌های تحقیق و توسعه در صنایع نظامی و سایر کاربردهای صنعتی توربین دریافت کرد. اما پیشرفت سیکل ترکیبی فقط به خاطر پیشرفت‌های فناوری نبود. راهپیمایی‌های عمومی به خاطر نگرانی

از نیروگاه‌های هسته‌ای و افزایش نگرانی‌ها از آلودگی محیط زیست توسط نیروگاه‌های بخار مبتنی بر زغال‌سنگ، زمینه را به نفع فناوری سیکل ترکیبی که در این زمینه برتری داشت، تغییر داد. علاوه بر این، یافتن منابع بزرگ ذخیرهٔ گاز و متعادل شدن قیمت‌های نفت و گاز، انگیزهٔ اقتصادی لازم را ایجاد کرد.[۶]

در مورد نیروگاه‌های بادی، سیاست‌های دولتی نقش بسیار عمده‌ای را در توسعهٔ این فناوری داشت. این حمایت در قالب بودجه‌های تحقیق و توسعه، مشوق‌های سرمایه‌گذاری و ساخت و مشوق‌های تولید برق از باد بود. اما توسعهٔ این فناوری بیشتر توسط شرکت‌های تازه‌وارد صورت گرفت نه از طریق یوتیلیتی‌های موجود. ملاحظه‌های زیست محیطی، یکی از پیشرانه‌های اصلی سیاسی حمایت از نیروگاه‌های بادی بود.

بنابراین می‌توان گفت که مجموعه‌ای از عوامل مختلف از درون بخش برق و عوامل بیرون بخش (اقتصادی، اجتماعی، فنی و سیاسی) بر شکل‌گیری نمایه‌های معکوس و سپس یافتن راه‌حل‌های رادیکال در بخش برق تأثیرگذار بوده‌اند. این تحلیل نشان می‌دهد هرچند نقش فعالیت‌های فناورانه در این مسیر مهم است و نوآوری‌ها از این طریق تحقق می‌یابند اما اغلب دولت‌ها و سیاستمداران زمینهٔ لازم برای شکل‌گیری فعالیت‌های تحقیقاتی و تنظیم کردن محیط انتخاب فناوری را برعهده دارند. به‌عنوان نمونه، یک تحقیق معتبر انجام‌شده در فضای پس از اصلاحات ساختاری برق در دنیا نشان می‌دهد شرکت‌های یوتیلیتی به دلیل وجود فشارهای رقابتی و برخی استراتژی‌های آینده‌نگرانه، به سرمایه‌گذاری در پیل سوختی علاقهٔ چندانی نداشته‌اند ولی وجود حمایت‌های مالی عمومی و تلاش توسعه‌دهندگان فناوری به‌عنوان دلایل اصلی انگیزهٔ یوتیلیتی‌ها به سرمایه‌گذاری در این زمینه ذکر شده است.

سخن آخر

ادبیات سیستم‌های بزرگ فناوری، تصویر مناسبی را از عوامل اقتصادی، سیاسی، فنی و اجتماعی دخیل در تعیین پویایی رشد سیستم‌ها فراهم می‌کند. شناخت بهتر این دینامیک، سیاست‌گذاران و تنظیم‌کنندگان را در تدوین بهتر سیاست‌ها و قوانین یاری می‌دهد.

مفاهیم اقتصادی مانند اقتصاد مقیاس، اقتصاد حوزه و اقتصاد سیستم، محرک رشد و توسعهٔ سیستم هستند. در این مسیر، به علت رشد نامتجانس اجزای سیستم، نمایه‌های معکوس ایجاد می‌شوند که رشد سیستم را قفل می‌کنند. این نمایه‌ها می‌توانند فنی یا غیرفنی باشند و برای حل آنها نیاز به نوآوری است. مومنتوم‌های سیستم از جمله انتظار نرخ بازگشت سرمایه‌گذاری‌های صورت‌گرفته در گذشته، اجازه نمی‌دهند هر نوع نوآوری برای پاسخ دادن به نمایه‌های معکوس ایجاد شوند و رشد کنند. حاصل تعامل نیروهای موافق تغییر و نیروهای مخالف تغییر است که نرخ و جهت‌گیری فعالیت‌های نوآورانه برای حل مشکلات یا نمایه‌های معکوس در مقابل رشد سیستم را تعیین می‌کنند. گاهی اوقات نیروهای تغییردهندهٔ این بالانس از بیرون سیستم مثلاً از طریق سیاستمداران و یا گروه‌های فشار تأمین می‌شود.

کاربرد عمدهٔ مطالب ذکرشده در این مقاله، تلاش در جهت شناخت بهتر دینامیک رشد سیستم، نمایه‌های معکوس و بررسی بهتر علایق و گرایش‌های بازیگران موجود در سیستم برای تعیین مسیر رشد است. چنانچه تنظیم‌کنندگان و سیاست‌گذاران به شناخت درستی از این دینامیسم دست یابند، می‌توانند وظایف خود را به‌عنوان یک عضو کنترلی و پشتیبان حل نمایه‌های معکوس، در رشد سیستم، بهتر ایفا کنند. پاسخ به نمایه‌های معکوس تنها از جنس اقدام‌های فناوری نیست و در برخی موارد، نیاز به نوآوری‌های مدیریتی و نهادی در پاسخگویی به این نمایه‌هاست که موجب می‌شود تنظیم‌کنندگان و سیاست‌گذاران بتوانند نقش عمده‌ای را در این زمینه ایفا کنند.

منابع

1. Hughes, T.P. (1880-1930,1983). Networks of Power: Electrification in Western Society, Baltimore, MD: John Hopkins University Press.
2. Hughes, T.P. (1987). The Evolution of Large Technological Systems, in The Social Construction of Technological Systems, W.E. Bijker, T.P. Hughes, and T.J. Pinch, Editors, The MIT Press: Cambridge, MA.
3. Davies, A. (1996). Innovation in Large Technical Systems: The Case of Telecommunications. Industrial and Corporate Change, 5(4).
4. Baldwin, R. and M. (1990). Cave, Understanding Regulation: Theory, Strategy, and Practic. Oxford: Oxford University Press.
5. McGowan, F. (1990). The internationalization of large technical systems: dynamics of change and challenges to regulation in electricity and telecommunications, in The governance of large technical systems, O. Coutard, Editor., Routledge.
6. Markard, J. and B. (2006). Truffer, Innovation processes in large technical systems: Market liberalization as a driver for radical change? Research Policy, 35, 609-625.

پی‌نوشت‌ها

1 . Large technical systems (LTS).
2 . Capital goods.
3 . Adaptation.
4 . Technological Style.
۵ . مسافران خطوط هوایی درایران تفاوت بین سبک اروپایی و روسی را به‌خوبی در مقایسهٔ هواپیماهای توپولف و فوکر یا ایرباس می‌توانند درک کنند. با نگاه دقیق‌تر به این هواپیماها درمی‌یابیم که حتی شکل‌ظاهری و معماری کلان سیستم (محل قرار گرفتن چرخ‌ها یا چیدمان موتورها نسبت به بدنه) هم در این دو سبک کاملاً متفاوت است..
۶ . ضریب بار یا Load Factor نشان می‌دهد که تا چه حد از ظرفیت سیستم نصب‌شده استفاده می‌شود. هرچه ضریب بار افزایش یابد بازگشت سرمایه زودتر محقق می‌شود.
7 . Reverse Salients.
8 . Path-dependent trajectory.
9 . Mass.
10 . Selection Environment.
11 . Load factor.
12 . Load diversity.
13 . Soft economic determinism.
14 . Momentum determinism.
15 . Co-evolution.
16 . Variable cost.
۱۷ . منظور از عدم اطمینان در اینجا، وابسته بودن خروجی نیروگاه به شرایط باد است.
18 . niche market