

چکیده

این مقاله نظریه انقلاب‌های فناورانه را در قالب نئوشومپیتری^۳ مطرح می‌کند تا از این رهگذر در ک نوآوری و شناسایی قواعد آن، تداومها و انقطاع‌های فرایند نوآوری حاصل شود. در این مقاله به بنیان‌های خرد و میانی^۳ الگوهای مشاهده شده در تکامل تغییر فناورانه و مناسبات مشترک با بستر و شکل ریتم و جهت نوآوری پرداخته شده است. بر این اساس، انقلاب‌های فناورانه تعریف شده و ساختار آن‌ها با توجه به نقش مهم‌شان در دوباره جوان ساختن کل اقتصاد از طریق به کارگیری پارادایم همراه خود یعنی پارادایم فنی اقتصادی^۴، بررسی شده‌اند. خود این متاپارادایم در برگیرنده یا «منطق»ی که بهترین روش مشترک است، در قالب اجزا و تأثیراتش مانند تأثیری که بر تغییر نهادی و اجتماعی اعمال می‌کند، تعریف و تحلیل می‌شود.

کلمات کلیدی: تغییر فناورانه، انقلاب‌های فناورانه، پارادایم‌های فنی اقتصادی، اقتصاد نئوشومپیتری و تکاملی.

انقلاب‌های فناورانه و پارادایم‌های فنی اقتصادی^۱

کارلوتا پرز

ترجمه: پریسا علیزاده

دانشجوی دکتری مدیریت فناوری دانشگاه علامه طباطبائی
parisa.alizadeh100@gmail.com

درباره نویسنده^۵

دانشپژوهان نظریه‌های تاریخ اقتصادی به خوبی با نظریه کندراتیف با عنوان «امواج کندراتیف» یا «ابرچرخه‌های کندراتیف» آشنا هستند. براساس این نظریه، در نظام سرمایه‌داری وضعیت اقتصادی در دوره‌های ۵۰ تا ۶۰ ساله در چرخه‌ای از مراحل رونق، رکود، بحران و بهبود، پیوسته دوران دارد. شومپیتر، نظریه‌پرداز تکامل‌گر^۶ [یا تطوری] با ترکیب این نظریه با نظریه نوآوری خود، نظریه «انقلاب‌های متوالی فناوری» را مطرح و اعلام کرد که ظهور همزمان خوش‌هایی از نوآوری در رشته‌های بهم‌پیوسته، به وقوع انقلاب‌های فناوری صنعتی می‌انجامد. وی با این تلفیق نظری موفق شد نشان دهد ۳ دوره تاریخی از ۱۷۸۷ تا ۱۸۴۳، از ۱۸۴۳ تا ۱۹۱۳ و از ۱۹۱۹ به بعد (تا زمان تدوین کتاب شومپیتر در ۱۹۳۹) که طبق نظر کندراتیف^۷ ابرچرخه تجاری ۵ ساله بودند، تنها ماهیت دورانی تجاری ندارند بلکه ماهیتی تکاملی داشته و نشان از تحولات عمیق فناوری در بستر تولیدی جامعه دارند که از آغاز انقلاب صنعتی، بسیار ساز تکوین نظام سرمایه‌داری بوده‌اند.

کریس فریمن، یکی از صاحب‌نظران مکتب اقتصاد تطوری با ریشه‌های نهادگرایی، نظریه انقلابات فناوری شومپیتر را بر مبنای چارچوب جامع تری تفسیر کرد. در این تفسیر نوین، تکامل چرخه‌های انقلاب فناوری با تحولات ساختاری و تکامل همزمان جنبش‌های اقتصادی و اجتماعی همراه می‌شود و تنظیم سیاست‌ها و مقررات مناسب و استقرار نهادهای هدایت‌گر را تجویز می‌کند. سهم مهم فریمن در پیشبرد این نظریه، تصحیح مقدمات آن و پی‌ریزی پیشرفت‌های آتی است. فریمن موفق شد به تدریج تقویم مراحل تاریخی^۸ انقلاب قبلی تا زمان شومپیتر را تصحیح کند و با افزودن ۲ چرخه «فناوری تولید انبوه و فناوری اطلاعات و ارتباطات»، این نظریه را با واقعیت‌های عصر حاضر منطبق سازد.

اما در میان صاحب‌نظران متأخر مکتب تکامل‌گر و شاگردان فریمن، تکمیل نهایی نظریه‌های انقلابات متوالی فناوری شومپیتر بیش از پیش مرhon کارلوتا پرزا است. وی موفق شد با افزودن مفهوم نظری «پارادایم فنی اقتصادی»^۹ مجموعه نظری ناتمام انقلاب‌های متوالی فناوری شومپیتر فریمن را کامل کند. وی معتقد است:

«پارادایم فنی اقتصادی، همان چارچوب وسیعی است که عرف و عادت یا به اصطلاح، روتین جامعه را نه تنها در حوزه مدیریت بنگاه بلکه در همه حوزه‌های اجتماعی و اقتصادی تعیین می‌کند و باعث می‌شود که بهره‌وری در تولید و خدمات با جهش رو به رو شود. همین چارچوب وسیع است که راههای اساسی حل مشکلات صنعتی و نوآوری را با معرفی الگوهای نوین رفتار بهینه تعیین می‌کند و اشاعه می‌دهد.»

ویژگی اصلی این تعریف به نسبت مفاهیمی که پیش‌تر به کوشش دیگر همکاران وی، تحت عنوان نظام و خوشی پارادایم فنی ارائه شده بود آن است که پرزا با درونی کردن آنچه پیش از این، عوامل بیرونی (لایه‌های اجتماعی نهادی و حتی فرهنگی) نامیده می‌شد، توانست نشان دهد که تبعات تحولات ناشی از یک انقلاب در فناوری، فراتر از تأثیرگذاری بر مشخصات فنی محصول یا فرایند است و در حقیقت بر همه عوامل و نهادهای جامعه تأثیر می‌گذارد. پرزا در جای دیگری می‌گوید:

«پارادایم فنی اقتصادی عبارت است از موتور اصلی گسترش آن دسته از ابزارهای ژنریک که با هم مرزهای الگوهای بهینه را از نظر سخت‌افزاری، نرم‌افزاری و جهات سیاسی اجتماعی تعیین می‌کنند.»

بکی دیگر از نوآوری‌های پر ز در کل نظریه‌های مرتبط با انقلابات متواالی فناوری از شومپیتر به بعد، حاصل توجه وی به «تقدم و تأخیر زمانی و منطقی» است که در بین نهادهای مختلف جامعه برای پذیرش نوآوری و پارادایم فنی اقتصادی نوین مبتنی بر آن در اقشار مدیریتی جامعه وجود دارد. یکی از این تفاوت‌ها، از اختلاف بین کارکرد سرمایه‌تولیدی و سرمایه‌بانکی مالی ریشه می‌گیرد. پر ز می‌گوید: سرمایه مالی به دنبال راهکارهای کوتاه‌مدت است و به بافت یا ساختار دراز‌مدت اقتصادی متکی نیست. از این جهت، در پیگیری منافع خود، انعطاف‌پذیری و تحرك بسیاری دارد و به راحتی می‌تواند مدام در بخش‌های تولید و توزیع حرکت کند. اما سرمایه تولیدی به بافت تولید و زمینه‌های فناوری مشخصی متکی است و به اصطلاح مقید به مسیری است که در گذشته پیموده است. از این‌رو فرایند تصمیم‌گیری مدیران در بخش‌های خاص آنان، از نظر کارکردی تفاوت‌های اساسی با یکدیگر دارد. از این نظر، زمان پذیرش فناوری جدید برای سرمایه‌گذار تولیدی که به روش‌های مدیریتی هماهنگ با انقلاب فناوری قبلی عادت دارد و تغییر جهت فعالیت‌های تولیدی خود را نیازمند صرف هزینه در زیرساخت‌های جدید می‌بیند، نسبت به سرمایه‌گذاری مالی با تأخیر بیشتری مواجه است.

تفاوت دیگری که پر ز به بحث انقلاب‌های متواالی فناوری افزود، «تفاوت زمان پذیرش تحول» بین بافت تولیدی و نهادهای اقتصادی اجتماعی است. وی معتقد است که چارچوب اجتماعی و نهادی اغلب در مقابل هر نوع تغییر و تحول مقاومت می‌کند و در برابر تحولات فناوری می‌ایستد و تنها زمانی قابلیت تغییر و تحول ناگهانی پیدا می‌کند که در شرایط بحرانی شدید ساختاری قرار گیرد و گسترش انقلاب جدید فناوری به مرحله‌ای از توده بحرانی خود رسیده باشد. در این شرایط است که نقطه عطفی در چرخه عمر هر انقلاب فناوری پدید می‌آید و با یک چرخش پارادایمیک فرایند تحولات را می‌پذیرد. تغییر پارادایمیک به طور طبیعی کل نظام (سرمایه مالی تولیدی و نهادهای اقتصادی و اجتماعی) را با هم سازگار می‌کند و افزون بر این که رهبری را به جای سرمایه مالی بر عهده سرمایه تولیدی می‌گذارد یک دوره رونق و رشد طولانی را نیز موجب می‌شود.

مقدمه

شومپیتر یکی از معدود اقتصاددانان مدرنی است که تغییر فناورانه و کارآفرینی فناورانه را ریشه و اساس رشد اقتصادی می‌دانست. (Schumpeter, 1911, 1939) هنوز هم تا حدودی عجیب به نظر می‌رسد که وی به فناوری به عنوان یک بروزنزاد و در کنار نهادها و سازمان‌های اجتماعی «خارج از محدوده نظریه اقتصاد» می‌نگریست. (Schumpeter, 1911, p.11) تمرکز او، شخص کارآفرین بود و هدفش توضیح نقش نوآوری در رشد اقتصادی و تأثیر آن بر تداوم و تناوب سیستم. این پیروان شومپیتر، نئوشومپیترین‌ها، بودند که کوشیدند تغییر فناورانه و نوآوری را تا حد زیادی به کمک قواعد و سیر تکاملی آن تحلیل کنند. آن‌ها به کاوش در ویژگی‌ها و دینامیک‌های نوآوری پرداختند، از تغییرات فناورانه منفرد گرفته تا خوش‌های و سیستم‌هایی برای انقلاب‌های فناورانه. این کار از طریق نگاه به فناوری، مهندسی و سازماندهی کسب و کار از دیدگاه یک اقتصاددان و یک جامعه‌شناس صورت می‌گرفت تا ویژگی‌های مشترک در فرایندهای تکاملی، مناسبات مشترک و در پیشرفت‌های خارق‌العاده در حوزه‌های فناورانه متنوع تر را شناسایی کند. پس این قواعد وجود روابطه بین تغییر فناورانه و سازمانی و رابطه این تغییرات با عملکرد اقتصادی را علاوه بر روابط دوجانبه بین فناوری، اقتصاد و بستر نهادی آشکار می‌سازند. این مقاله بر انقلاب‌های فناورانه و پارادایم‌های فنی اقتصادی، تعاریف آن‌ها، ساختارهای سببی که موجب رخداد آن‌ها شده‌اند، تأثیر آن‌ها بر اقتصاد و نهادها و ارتباط آن‌ها با یکدیگر برای تحلیل اقتصادی تمرکز دارد. حال، از آنجایی که پدیده‌های کلان در بنیان‌های خرد تغییر فناورانه ریشه عمیقی دارند، در قسمت بعد به برخی پیشرفت‌های بنیادین نظری که در سطوح خرد و میانی به دست آمده اشاره خواهد شد.

نوآوری به مثابه فضای دینامیک برای مطالعه تغییر فنی^۱

شومپیتر تأکید خاصی بر واژه «نوآوری» داشت و آن را ابداع یک محصول جدید با هدف تجاری یا یک «ترکیب جدید» از واژه اختراع می‌دانست که به حوزه علم و فناوری تعلق دارد. (Schumpeter 1911, pp. 132-6)

در حقیقت، فضایی که به لحاظ فناورانه امکان پذیر باشد، به مراتب بزرگ‌تر از فضایی است که به لحاظ اقتصادی سودآور یا به لحاظ اجتماعی قابل قبول است. با در نظر گرفتن سود، کارآفرینان و مدیران، پیوسته ابداعات را به نوآوری‌ها یا به عبارت دیگر، چیزهای ممکن فناورانه و کشفیات را به واقعیت‌های اقتصادی تبدیل می‌کنند. به عکس، آن‌ها می‌توانند با تصمیم‌های سرمایه‌گذاری و تأمین مالی شان، تلاش‌های پژوهشی را در جهات^{۱۱} مشخصی هدایت کنند.

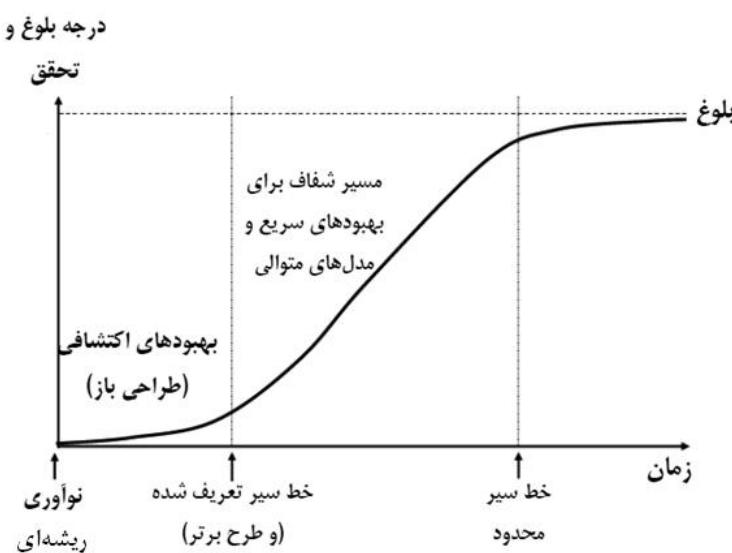
فرایندهای تصمیم‌گیری تصادفی نیستند بلکه به واسطه زمینه یا بستر شان شامل قیمت‌های نسبی، قوانین و سایر عوامل نهادی و بهویژه قابلیت (پتانسیل)، بازار در کشیده اتخاذ می‌شود. این تصمیم‌گیری‌ها همچنین به مسیر^{۱۲} وابسته هستند زیرا پتانسیل بازار اغلب به آنچه در بازار به تازگی مورد پذیرش قرار گرفته بستگی دارد و ذات تغییر فناورانه نهفته در این تصمیم‌ها ضرورت حضور اشکال گوناگونی از دانش ضمنی و از پیش موجود و منابع مختلفی از تجربه عملی همراه با این تصمیم‌گیری‌ها را دوچندان می‌کند.

بنابراین، محدوده‌ای که در آن تغییر تکنیکی معنادار باشد باید در تطابق با فناوری، اقتصاد و بستر اجتماعی نهادی بررسی شود تا بتوان تصمیم گرفت آیا آن تغییر «نوآوری» هست یا نه. این محدوده تا حد زیادی دینامیک است و در آن مفهوم اساسی خط سیر^{۱۳} یا پارادایم وجود دارد (Dosi, 1982) که نوعی ریتم یا جهت تغییر در یک فناوری مفروض را نشان می‌دهد.

قواعد تغییر تکنیکی: خط سیرهای نوآوری

نوآوری‌های ریشه‌ای^{۱۴} مجزا در قالب یک نسخه به نسبت ابتدایی ارائه می‌شوند و وقتی مورد پذیرش بازار قرار گرفتند، مجموعه‌ای از نوآوری‌های تدریجی^{۱۵} افزایشی و به دنبال آن ریتم در حال تغییر یک منحنی لجستیک را تجربه می‌کنند. (رک. به شکل یک)

در ابتدا، تغییرات اغلب به کندی صورت می‌گیرد و در عین حال تولیدکنندگان، طراحان، توزیعکنندگان و مصرفکنندگان، در فرایندهای یادگیری حاصل از باخورد مشارکت می‌کنند. وقتی یک «طرح غالب» (Arthur, 1988) در بازار دایر می‌شود این مشارکت با سرعت بیشتر و زمانی که بلوغ حاصل می‌شود و قانون وولف^{۱۶} (۱۹۱۲) مبنی بر بازدههای کاهشی سرمایه‌گذاری در نوآوری آغاز می‌شود، مشارکت با سرعت کمتری پیش می‌رود.



شکل ۱. خط سیر یک فناوری مجزا (منفرد)^{۱۷}

علاوه بر ریتم، یک خط سیر شامل جهت حرکت در یک محدوده یا فضای امکان نیز هست. در واقع این همان چیزی است که دوسی^{۱۸} با در نظر گرفتن مکتب کوهن ادبیات پارادایم‌های علمی آ و مطرح کردن عبارت «پارادایم فناورانه»

بر آن تأکید دارد تا از این طریق توافق ضمنی عاملان درگیر را در مورد جهت صحیح جستجو و در آنچه به عنوان نسخه بهبود یافته یا پیشرفت‌تر یک محصول، خدمت یا فناوری در نظر گرفته می‌شود، نشان دهد. بنابراین یک پارادایم منطق مشترک همگانی درباره همگرایی پتانسیل فناورانه، هزینه‌های مربوط به آن، پذیرش بازار، همبستگی کارکردی و سایر عوامل است. انتظار می‌رود ریزپردازنده‌ها (و محصولات مبتنی بر آن‌ها) سریع‌تر، به عنوان مثال کوچک‌تر و قدرمندتر، متنوع‌تر و به نسبت ارزان‌تر شوند. به عکس، در دهه‌های ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰ انتظار می‌رفت که اتومبیل‌ها و هواپیماها بزرگ‌تر و بزرگ‌تر شوند و در عین حال انتظار می‌رفت سریع‌تر هم باشند؛ به طور کلی تنویری در بین اهداف آن دوره وجود نداشت.

بنابراین، مفاهیم خط سیر یا پارادایم، بر اهمیت نوآوری‌های تدریجی در مسیر رشد هر «نوآوری ریشه‌ای»^{۱۰} تأکید دارند. اگرچه اغلب نوآوری‌ها نقشی اساسی در تعیین سرمایه‌گذاری‌های جدید و رشد اقتصادی دارند، اما توسعه به نوآوری‌های تدریجی بستگی دارد (Enos, 1962). نوآوری‌های کوچک متعدد در ارتقای محصول و بهبود فرایند که به دنبال معرفی هر محصول جدیدی شکل می‌گیرند، تأثیر مهمی بر افزایش بهره‌وری و رشد بازار دارند. تا مدتی پس از یک نوآوری ریشه‌ای، هم تعداد و هم اهمیت نوآوری‌های تدریجی در فرایند از تغییرات محصولی پیشی می‌گیرند. (Utterback and Abernathy, 1975) از آنجایی که حجم تولید و بهره‌وری برای توسعه بازار حیاتی است، نوآوری‌های فرایندی عامل اصلی بخش اعظم افزایش سرمایه‌گذاری هستند.

همان‌طور که در ادامه بحث خواهد شد، آنچه برای فناوری‌های مجزا از نظر قواعد پویایی (دینامیسم) و جهت فنی صادق است در سطح میانی و در ارتباط با سیر تکاملی همه محصولات در یک صنعت و در مجموعه‌های کلی صنایع وابسته به هم نیز اتفاق می‌افتد.

البته این مفاهیم و مشاهده‌ها تنها الگوهای کلی دینامیک استاندارد تغییر تکنیکی را نشان می‌دهند و در موارد خاص انحراف‌ها و استثناهای متعددی وجود دارد.

سیستم‌های جدید فناوری و اثرات متقابل آن‌ها

ظهور نوآوری‌های مجزا تصادفی نیست. فناوری‌ها با هم ارتباط دارند و تمايل دارند در کنار سایر نوآوری‌ها ظهرور یابند. (Schumpeter, 1939, p. 167) سیر تکامل آن‌ها نیز در انزوا و تنها ی محقق نمی‌شود. نوآوری اغلب یک فرایند جمعی است که به طور فرایندی دیگر عوامل تغییر را نیز دربرمی‌گیرد؛ عواملی مانند تأمین کنندگان، توزیع کنندگان و سیاری موارد دیگر مانند مشتریان. اثرات متقابل فنی اقتصادی و اجتماعی بین تولید کنندگان و مصرف کنندگان شبکه‌های پیچیده پویایی ایجاد می‌کند که شومپیتر از آن‌ها با عنوان خوش^{۱۱} یاد می‌کند. نوآوری‌های اصلی القاکننده نوآوری‌های بیشتری هستند و تقاضا برای نوآوری‌های مکمل در بالادست و پایین دست زنجیره و تسهیل نوآوری‌های مشابه از جمله گزینه‌های رقیب را شکل می‌دهند.

وقتی نوآوری‌ها به اندازه کافی ریشه‌ای باشند، همه صنایع را تحریک می‌کنند. به همین دلیل ظهور تلویزیون به رشد صنایع سازنده تجهیزات گیرنده و فرستنده و نیز صنایع تأمین کننده چند تخصصی منتهی شد. در عین حال، به تغییر صنایع تولیدی و صنعت تبلیغات، فیلم، موسیقی و سایر بخش‌های خلاقانه و فعالیت‌های جدید تعمیر و نگهداری، توزیع و غیره کمک کرد.

این نوع ارتباط متقابل است که در مفهوم «سیستم فناوری» جای می‌گیرد (Freeman, 1992, p. 81, 1994) تا توضیح دهد که خوش‌های شومپیتری چگونه تشکیل می‌شوند و تکامل می‌یابند. در این سطح تحلیلی میانی، مشخص می‌شود که فرایند انتشار نیز از یک شکل لجستیک (مانند شکل یک) پیروی می‌کند. نوآوری‌های تدریجی در طول مسیر، علاوه بر بهبودهای ساده شامل محصولات و خدمات جدید بعدی، در کل صنعت است که در فضای نوآورانه ایجاد شده توسط نوآوری ریشه‌ای شکل می‌گیرد و توسط دنباله‌روها^{۱۲} گسترش داده می‌شود.

سیستم‌های فناوری جدید نه تنها فضای کسب و کار را بهبود می‌بخشند بلکه بستر نهادی و حتی فرهنگی که در بستر آن قرار دارند را هم اصلاح می‌کنند. همان‌طور که پلاستیک‌های یکبار مصرف در گذشته و اینترنت در دنیای امروز این کار انجام داده است.

بی تردید نیاز به قوانین و مقررات جدید و نیز آموزش تخصصی و دیگر تسهیل کنندگان نهادی (که گاهی جایگزین موارد دیگر می‌شوند) احساس می‌شود. تمام این‌ها خود بازخورد عمیقی دارند که بر فناوری‌ها تأثیر می‌گذارند، مسیری که آن‌ها در پیش می‌گیرند شکل داده و در حدود ممکن هدایت می‌کند.

بلغ و قوتی حاصل می‌شود که امکان‌های نوآورانه در کل سیستم تضعیف شده و بازارهای متناظر با آن‌ها به سمت اشباع شدن پیش بروند. نکته مهم اینجاست که فناوری‌های مجزا در انزوا شکل نمی‌گیرند. آن‌ها به یک زمینه در حال تغییر وارد می‌شوند که قابلیت (پتانسیل) آن‌ها را بهشت تحت تأثیر قرار می‌دهد و پیش از این از طریق نوآوری‌های قبلی در سیستم شکل گرفته است.

محصولات جدید که در فاز آغازین یک سیستم جدید ظاهر می‌شود نسبت به محصولی که در فاز بلوغ خود معرفی می‌شود، دوره عمر بازار پویایتری پیش رو دارد. این امر به ۲ دلیل اساسی اتفاق می‌افتد:

دلیل نخست) فرسایش فضای فرصت آن سیستم خاص است به‌طوری که آخرین نوآوری‌ها به احتمال زیاد بسیار کوچک خواهند بود. به عنوان مثال، سری بلندمدت لوازم برقی خانگی در اوایل قرن بیست با یخچال و ماشین لباسشویی آغاز شد و به تدریج با دریازکن برقی و چاقوی برش تزیینی فروکش کرد.

دلیل دوم) یادگیری بالایی است که در سیستم اتفاق می‌افتد و در نتیجه سرریزهای حاصل از آن. این عوامل زمان ارائه محصول به بازار را کاهش داده و زمینه پذیرش آن‌ها در نزد کاربران را فراهم می‌کند و به همین دلیل دوره عمر محصول را کوتاه کرده و زمان را برای سودآوری کاهش می‌دهند. به عنوان مثال، ۲۴ سال زمان از سال ۱۹۵۴ طول کشید که تأسیسات تهویه مطبوع به عنوان یک بهبود در ۹۰ درصد اتومبیل‌های تولیدشده در ایالات متحده به کار گرفته شود درحالی که تایرهای شعاعی که در سال ۱۹۷۰ معرفی شدند در کمتر از ۸ سال به سهم ۹۰ درصدی از بازار رسیدند.

(Grübler, 1990, p. 155)

شبکه پیچیده و در حال تغییر اثرات متقابل و همکاری بین عاملان زیادی که در نوآوری‌ها مشارکت می‌کنند، محققان، مهندسان، تأمین کنندگان، تولیدکنندگان، کاربران و نهادها، و به عنوان یک سیستم فناوری تحول و تکامل دارد، با مفهوم «نظام ملی نوآوری» (Freeman, 1987, 1995; Lundvall, 1988) معرفی شده است که یادآور «نظام ملی اقتصاد سیاسی»^{۳۳} فردریک لیست است. (List, ۱۸۴۱) این ایده موجب شد پژوهشگران دیگری به بررسی «نظام‌های منطقه‌ای

و بخشی نوآوری» روی بیاورند. (Malerba, 2002; Arocena and Sutz, 2000; Howells, 1999) ارتباط بین فناوری‌ها و بین مبانی علمی و تجربی توسعه آن‌ها، به همراه زیرساخت‌ها و شبکه‌های خدمتی مکمل آن‌ها و فرایندهای یادگیری متعدد همراه با آن‌ها، سرریزهایی برای همه شرکت‌کنندگان و مزایایی برای اجتماعی که در آن قرار دارند، فراهم می‌کند.

انقلاب‌های فناورانه و پارادایم‌های فنی اقتصادی

درست همان‌طور که نوآوری‌های مجزا در قالب سیستم‌های فناوری با هم ارتباط می‌یابند، این سیستم‌ها نیز در قالب انقلاب‌های فناورانه با هم ارتباط پیدا می‌کنند. بنابراین، بر اساس یک تقریب اولیه یک انقلاب فناورانه^{۳۴} (TR) می‌تواند به صورت مجموعه‌ای از پیشرفت‌های خارق‌العاده و ریشه‌ای مرتب با هم تعریف شود که دسته‌ای اصلی از فناوری‌ها، خوشه‌ای از خوشه‌ها یا سیستمی از سیستم‌های وابسته به هم را شکل می‌دهند.

به عنوان مثال، انقلاب کنونی فناوری اطلاعات یک سیستم فناوری اولیه را حول ریزپردازندگان (و سایر نیمه‌هادی‌های یکپارچه شده)، تأمین کنندگان تخصصی و کاربردهای ابتدایی آن‌ها در ماشین حساب‌ها، کوچک کردن و دیجیتالی کردن ابزارهای کنترل برای استفاده‌های نظامی و غیرنظامی شکل داد. به دنبال این سیستم مجموعه‌ای همپوشانی دار از نوآوری‌های ریشه‌ای دیگر، ریزکامپیوترها و کامپیوترهای شخصی، نرم‌افزارها، تله‌کامها و اینترنت شکل گرفت که هریک مسیرهایی از سیستم‌های جدید را گشوده‌اند که ارتباط و وابستگی زیادی به یکدیگر دارند. این سیستم‌ها پس از ظهور، با یکدیگر ارتباط خواهند داشت و به‌طور مداوم با حلقه‌های بازخورد زیاد هم از نظر فناوری‌ها و هم از نظر بازارها گسترش می‌یابند.

می‌توان ۵ نمونه دیگر از این سیستم‌های سیستم‌ها [متاسیستم‌ها] را نیز از زمان «انقلاب صنعتی» آغازین در انگلستان

شناسایی کرد. به طور کلی، هریک از این سیستم‌ها به‌واسطه یک پیشرفت فناورانه شکل گرفته‌اند؛ پیشرفتی که مانند نظریه «بیگ بنگ» درها را به سوی دنیای جدیدی از فرصت‌ها برای نوآوری سودآفرین گشودند. به عنوان مثال، ریزپردازنده اینتل یا کامپیوترا روی یک چیپ، همین ویژگی را داشت که توانست انقلاب اطلاعات را ایجاد کند. جدول یک، ۵ انقلاب مذکور، بیگ بنگ متناظر با هریک، کشور اصلی که آن انقلاب ابتداء‌شکل گرفت و همچنین نحوه گسترش آن در جهان را نشان می‌دهد. گاهی این انقلاب‌ها حتی در یک منطقه خاص متتمرکز می‌شوند. به عنوان مثال منچستر مهد و سمبل عصر بخار و دره سیلیکون مهد انقلاب میکروالکترونیک بوده است.

جدول ۱. پنج انقلاب فناورانه متوالی، دهه ۱۷۷۰ تا ۲۰۰۰

نام متداول دوره	انقلاب فناورانه	انقلاب	سال	کشور یا کشورهای اصلی
انقلاب صنعتی	اول	رویداد بزرگ یا بیگ بنگ آغازگر انقلاب	۱۷۷۱	بریتانیا
عصر بخار و راه‌آهن	دوم	تست ماشین بخار Rocket برای راه‌آهن لیورپول منچستر	۱۸۲۹	بریتانیا (گسترش به قاره اروپا و ایالات متحده آمریکا)
عصر فولاد، الکتریسیته و مهندسی سنگین	سوم	بازگشایی کارخانه فولاد Carnegie Bessemer در پیترزبرگ پنسیلوانیا	۱۸۷۵	سبقت گرفتن ایالات متحده و آلمان (پیشوavn اصلی) از بریتانیا
عصر نفت، اتومبیل و تولید انبوه	چهارم	رونمایی از اولین اتومبیل فورد مدل تی از کارخانه فورد در دیترویت میشیگان	۱۹۰۸	ایالات متحده آمریکا (همراه با آلمان در رقابت برای رهبری جهان) گسترش متعاقب به سراسر اروپا
عصر اطلاعات و ارتباطات	پنجم	رونمایی از ریزپردازنده شرکت اینتل در سانتاکلارای کالیفرنیا	۱۹۷۱	ایالات متحده آمریکا (گسترش به اروپا و آسیا)

آنچه یک انقلاب صنعتی را از مجموعه‌ای تصادفی از سیستم‌های فناوری متمایز کرده و استفاده از واژه «انقلاب» را توجیه می‌کند، ۲ ویژگی اساسی آن است:

■ ارتباط و وابستگی متقابل قوی بین سیستم‌های مشارکت‌کننده در فناوری‌ها و بازارهای شان

■ ظرفیت دگرگون‌سازی قابل توجه بر بقیه اقتصاد (و در نهایت بر جامعه)

ویژگی اول آشکارترین ویژگی هر انقلابی است و چیزی را نشان می‌دهد که از نظر عموم مردم نیز «انقلاب» دانسته می‌شود؛ اما ویژگی دوم آن موردنی است که درواقع به این عبارت اعتبار می‌دهد. ظرفیت دگرگون کردن صنایع و فعالیت‌های دیگر که از تأثیر پارادایم فنی اقتصادی ^{۲۵} مرتبط با آن حاصل می‌شود، یک مدل بهینه در عمل برای اثربخش‌ترین روش استفاده از فناوری‌های جدید در صنایع جدید و فراتر از آن‌ها. در حالی که بخش‌های ^{۲۶} جدید گسترش می‌یابند تا به موتورهایی برای رشد، در یک دوره زمانی طولانی تبدیل شوند، پارادایم فنی اقتصادی که از کاربرد آن‌ها حاصل شده است، یک سازماندهی مجدد در سطحی وسیع و یک افزایش گسترده در بهره‌وری صنایعی که از قبل وجود داشتند، به راه می‌اندازد.

بنابراین، یک انقلاب فناورانه می‌تواند به صورت کلی تر به شکل یک تحول اساسی در پتانسیل ثروت‌آفرینی اقتصاد دیده شود که فضای وسیعی برای نوآوری فراهم کرده و مجموعه جدیدی از فناوری‌های ژنریک، زیرساخت‌ها و اصول سازمانی مربوطه را می‌گشاید که می‌توانند افزایش قابل توجهی را در کارایی و اثربخشی همه صنایع و فعالیت‌ها ایجاد کنند. فرایندهای انتشار هر انقلاب فناورانه و پارادایم فنی اقتصادی آن به همراه جذب آن‌ها از سوی اقتصاد و جامعه و همچنین افزایش‌های حاصل در بهره‌وری و توسعه، موج‌های بزرگ و متوالی توسعه ^{۲۷} را شکل می‌دهند. (Perez, 2002, pp.20-21).

در آن ۲ مورد تمرکز بر رونق‌ها و رکودهای اقتصادی است. هرچند شومپتر به روشنی چنین موج‌هایی را در مورد انقلاب‌های فناورانه توصیف می‌کند، اما کندراتیف خود را به هیچ عامل سببی خاصی مقید نمی‌کند، آن‌ها هر دو تلاش می‌کنند تغییرات بلندمدت در تولید ناخالص داخلی (GDP) و سایر متغیرهای انباشتی اقتصادی را شرح دهند.

در عرض نویسنده پیشنهاد کرده است (Perez, 2002, ch. 6, 2007, pp. 783-6) که بر توصیف فرایند انتشار هر انقلاب فناورانه و بر تأثیرات دگرگون ساز آن بر تمامی ابعاد اقتصاد و جامعه و از جمله تأثیر انقلاب‌های فناورانه بر ریتم‌های رشد اقتصادی تمرکز شود. این کار به تاریخ‌نگاری مختلف امواج (برخلاف تاریخ‌نگاری امواج بلند سنتی) و شناسایی مجموعه متفاوتی از قواعد در الگوهای انتشار منتهی می‌شود که موضوع بحثی است که در ادامه آمده است.

ساختار انقلاب‌های فناورانه

ارتباطات متقابل فناوری‌های متعلق به یک انقلاب در چندین سطح اتفاق می‌افتد:

■ این فناوری‌ها از حوزه‌های یکسان دانش در علم و فناوری سرچشمه می‌گیرند و از اصول مهندسی مشابهی پیروی می‌کنند.

■ به مهارت‌های مشابهی برای طراحی و عملیات (که اغلب جدید هستند) نیاز دارند.

■ توسعه شبکه مشترکی از تأمین‌کنندگان ورودی‌ها و خدمات در بالادست و نیز خروجی‌های توزیع وابسته به هم را تسهیل می‌کنند.

■ پویایی آن‌ها به صورت دوچانبه و به‌واسطه ارتباطات متقابل بسیار قدرتمند تقویت می‌شود که اغلب بازار اصلی برای هریک از طرفین محسوب می‌شود. هرچه رشد و نوآوری در کامپیوترها بیشتر باشد، رشد و نوآوری بیشتری در نیمه‌هادی‌ها وجود خواهد داشت و به عکس.

■ انتشار آن‌ها الگوهای یکپارچه و منسجمی از مصرف و کاربرد تولید می‌کند به‌طوری که یادگیری در یک سیستم، یادگیری در سیستم دیگر را تسهیل می‌کند و ایجاد شرایط برای استفاده از یک مجموعه محصولات، به سرریزهایی برای دیگری تبدیل می‌شود. زمانی که برق به خانه‌ها آمد تا برای روشنایی و یخچال‌ها استفاده شود، پذیرش وسایلی مانند رادیوها و جاروبرقی‌ها را نیز آسان کرد.

یک انقلاب فناورانه در اصل قسمت‌های جدیدی در جدول ورودی خروجی تعریف می‌کند که به تدریج به پویاترین بخش‌ها تبدیل می‌شوند و در نهایت بقیه قسمت‌ها را نیز اصلاح و تعديل می‌کنند.

به لحاظ ساختاری، هر انقلاب تعداد قابل توجهی محصولات جدید و فناوری‌های تولید مرتبط با هم را دربرمی‌گیرد که رشد صنایع جدید مهم را شکل می‌دهند. در میان آن‌ها یک ورودی اصلی همه‌گیر و ارزان وجود دارد، اغلب به شکل منبعی از انرژی و گاهی وقت‌ها به شکل یک ماده مهم، به اضافه یک یا چند زیرساخت جدید. زیرساخت‌ها اغلب مرز و شرایط شبکه‌های حمل و نقل (محصولات، افراد، انرژی و اطلاعات) را تغییر می‌دهند به‌طوری که برآن‌ها را گسترش داده، سرعت و قابلیت اطمینان را نیز افزایش می‌دهند و در عین حال به کاهش چشمگیر هزینه‌های آن‌ها منجر می‌شوند.

جدول ۲، صنایع اصلی و زیرساخت‌های هریک از ۵ انقلاب فناورانه را که از «انقلاب صنعتی» در اواخر قرن هجدهم رخ داد، نشان می‌دهد.

جدول ۲. پنج انقلاب فناورانه؛ صنایع اصلی و زیرساخت‌ها^{۶۰}

انقلاب فناورانه	فناوری‌های جدید و صنایع جدید یا بازتعریف شده	زیرساخت‌های جدید یا بازتعریف شده
اول: انقلاب صنعتی ماشین‌الات	صنعت ساجی ماشینی آهن مقاوم، الیازی	کانال‌ها و آبراهها شاهراه‌ها نیروی آب (چرخ‌های آبی بسیار قدرتمند)
دوم: عصر بخار و رشد دارد.* رااهن	موتورها و ماشین‌الات بخار (از جنس آهن، با سوت ذغال‌سنگ) معدن کاری آهن و ذغال‌سنگ (هنوز هم نقشی اساسی در ساخت راه‌آهن)	رااهن (استفاده از موتور بخار) خدمات پستی جهانی تلگراف (در اصل در سطح ملی در امتداد خطوط راه‌آهن) بنادر بزرگ، اسکله‌های بزرگ و کشتی‌نوردی در سراسر جهان گاز شهری
سوم: عصر فولاد. الکتریسیته و مهندسی سنجین	فولاد ارزان (به طور خاص فولاد بسم) توسعه کامل موتور بخار برای کشتی‌های فولادی	کشتیرانی در سراسر دنیا با استفاده از کشتی‌های بخار پرسود (بهره‌برداری از کانال‌سوئز) رااهن‌های بین قاره‌ای (استفاده از ریل‌های فولادی ارزان و مهندسی‌ای با اندازه‌های استاندارد) پل‌ها و تونل‌های بزرگ تلگراف در سراسر جهان تلفن (بیشتر در سطح کشورها) شبکه‌های الکتریکی (برای کاربرد روشنایی و صنعتی)
چهارم: عصر نفت، اتومبیل و تولید انبوه غذاهای منجمد	تولید اتومبیل در سطح ابوجه نفت ارزان و سوخت‌های نفتی صناعی پتروشیمیایی (مواد شیمیایی) موتورهای احتراق داخلی برای خودروها، حمل و نقل، تراکتورها، هواپیماها، تانک‌های جنگی و الکتریسیته و سایر برقی خانگی	شبکه‌جاده‌ها، بزرگراه‌ها، بنادر و فرودگاه‌ها شبکه چاه‌های نفت برق جهانی (صنعتی و خانگی) ارتباطات از راه دور آنالوگ در سطح جهانی (تلفن، تلکس و کابل‌گرام) به طور سیمی و بی‌سیم
پنجم: عصر اطلاعات و ارتباطات	انقلاب اطلاعات: میکروالکترونیک ارزان کامپیوترهای نرم‌افزار ارتباطات از راه دور ابزارهای کنترلی بیوفناوری به کمک کامپیوتر و مواد نو	ارتباطات از راه دور دیجیتال در سطح جهانی (کابل، فیبر نوری، رادیو و ماهواره) اینترنت/پست الکترونیک و سایر خدمات الکترونیک شبکه‌های الکتریکی چندمنبعی با کاربری انعطاف‌پذیر ارتباطات حمل و نقل فیزیکی با سرعت بالا (به صورت زمینی، هوایی و آبی)

* این صنایع سنتی وقتی به عنوان مواد اولیه و سوخت در دنیا راه‌آهن و ماشین‌الات استفاده می‌شوند، نقش و پویایی جدیدی ایفا می‌کنند.

صنایع اصلی هر انقلاب را از نظر نقشی که در تغییر پیشراننده ایفا می‌کنند، می‌توان به ۳ دسته اصلی تقسیم کرد:

(Perez, 1983)

۱. **شاخه‌های محرك**^{۳۰} که ورودی‌هایی ارزان با قابلیت کاربرد فraigیر و مشترک تولید می‌کنند: نیمه‌های امروزی، نفت و پلاستیک در موج‌های قبل، فولاد ارزان در موج سوم، ذغال‌سنگ در موج دوم و نیروی آبی (برای چرخ‌های آبی و حمل و نقل از طریق کانال‌های آبی) در موج اول.^{۳۱}

۲. **شاخه‌های حامل**^{۳۲} که آشکارتر بوده، کاربران فعلی و نماینده محصولات پارادایماتیک انقلاب هستند و فرصت‌های جدیدی ایجاد می‌کنند: کامپیوترها، نرم‌افزارها و تلفن‌های همراه در دنیا امروز، اتومبیل‌ها و وسائل برقی در موج چهارم، کشتی‌های بخار فولادی در دوره سوم، موتورهای بخار آهنی در دوره سوم و ماشین‌الات نساجی در دوره اول.

۳. زیرساخت‌ها^{۳۳} که بخشی از انقلاب فناوری هستند و تأثیر آن‌ها در شکل دادن و گسترش مرزهای بازار برای همه صنایع محسوس است: اینترنت در دنیای امروز، جاده‌ها و برق در دوره چهارم، شبکه حمل و نقل جهانی در دوره سوم (رااهن‌های بین‌قاره‌ای و مسیرهای کشتی‌های بخار و بنادر)، راه‌آهن‌های ملی در دوره دوم و کانال‌ها در دوره اول.

ممکن است دستهٔ چهارمی با عنوان «شاخه‌های غالب»^{۳۴} بیز اضافه شود که مجموعه‌ای از صنایع را دربرمی‌گیرد که لزوماً از نظر فناورانه، انقلابی نیستند اما برای تسهیل انتشار صنایع اصلی در بیشترین حد ممکن ضرورت دارند. ممکن است این صنایع از قبل وجود داشته باشند اما با ظهور انقلاب پیشرفت‌تر شوند و نقش متفاوتی را بر عهده گیرند. صنعت ساختمان چنین حالتی دارد که در طول موج تولید انبوه، ساخت‌وساز وسیع در حومه شهرها را امکان‌پذیر ساخت. رشد خانه‌سازی در اطراف شهرها به طور ثابت بازار اتومبیل‌ها و وسایل برقی را گسترش می‌داد و یک سیستم فناوری از مواد استاندارد ساختمان‌سازی و چندین کننده کالاها و خدمات برای ساخت‌وساز و اسکان در حومه شهرها (شهرک‌ها) ایجاد کرد. در دنیای فعلی تجارت جهانی و خرید اینترنتی، نقشی شبیه به نقش بالا توسط خدمات ارسال (و سایر سیستم‌های انتقال کالاها) ایفا می‌شود که رشدی انفجری و تغییراتی اساسی برای تسهیل لجستیک پیچیده جهانی و محلی را تجربه کرده‌اند.

ظهور یک پارادایم فنی اقتصادی

صرف‌نظر از میزان اهمیت و پویایی مجموعه‌ای از فناوری‌های جدید، واژه «انقلاب» تنها در صورتی به کار برده می‌شود که بتواند تحولی در یک حوزه ایجاد کند. این پارادایم فنی اقتصادی (TEP) است که از طریق کاربرد فناوری‌های جدید و انتشار آن‌ها شکل می‌گیرد و بدین ترتیب تأثیر آن‌ها را در کل اقتصاد چندبرابر و در نهایت نحوه سازماندهی ساختارهای اجتماعی نهادی را اصلاح می‌کند.

بنابراین، یک متاباپارادایم^{۳۵} مجموعه‌ای از موفق ترین و مفیدترین فنون (تکنیک‌ها) در ارتباط با انتخاب ورودی‌ها، روش‌ها و فناوری‌ها و ساختارهای سازمانی، مدل‌های کسب و کار و استراتژی‌های است. این فنون با سازگاری متقابل که بیشتر حالتی ضمنی (غیرآشکار) دارند، اصول و معیارهای تصمیم‌گیری در فرایند کاربرد فناوری‌های جدید، روش‌های غلبه بر موانع و یافتن رویه‌ها و ساختارهای مناسب‌تر توسعه می‌یابند. روش‌ها و رویکردهای هیوریستیک در حال ظهور به تدریج توسط مهندسان و مدیران، سرمایه‌گذاران و بانکداران، فروشنده‌گان و دستاندرکاران تبلیغات، کارآفرینان و مشتریان، درونی می‌شوند. در زمان مناسب، یک منطق مشترک بینان گذاشته می‌شود، یک «عقل سلیم»^{۳۶} جدید برای تصمیم‌های سرمایه‌گذاری و نیز برای انتخاب مشتری مورد پذیرش قرار می‌گیرد. ایده‌های قدیمی درک نمی‌شوند و ایده‌های جدید «عادی» می‌شوند.

در جدول ۳ تعدادی از اصول قبل توجه و کلی نوآوری آورده شده است که هریک از پارادایم‌های متوالی فنی اقتصاد را مشخص می‌کنند.

ساختارهای هرمی بسیار کارا که در آن‌ها تعریف شفافی از نقش‌ها و وظایف ارائه شده و مدیریت رشد و نوآوری در پارادایم تولید انبوه دهه ۱۹۵۰ را بر عهده داشتند، امروزه پس از اتصال دیجیتالی شبکه‌های پویای جهانی با کارکنان ماهر و استقلال بیشتر در پارادایم تولید منعطف انقلاب کنونی فناوری اطلاعات، به دایناسورهای بروکراتیک می‌مانند. اعجاز تلفن‌های کابلی برای مکالمه از راه دور، اکنون و در زمانی که وسایل چندمنظوره بی‌سیم نیازهای ارتباطاتی، اطلاعاتی و سرگرمی مشتریان را به راحتی رفع می‌کند، به یک شی عتیقه تبدیل شده است.

شكل‌گیری یک پارادایم فنی اقتصادی، همزمان در ۳ حوزه اصلی تکنیکی و مفهومی اتفاق می‌افتد:

■ در پویایی ساختار هزینه نسبی ورودی‌های تولید، جایی که اجزای کم‌هزینه و در حال کاهش ظهور کرده و به جذاب‌ترین انتخاب برای نوآوری و سرمایه‌گذاری سودآور تبدیل می‌شوند.

■ در فضای درک‌شده برای نوآوری، جایی که با کشف فرصت‌های کارآفرینانه برای توسعه بیشتر فناوری‌های جدید یا برای کاربرد مفید آن‌ها در بخش‌های موجود همراه است.

■ در معیارها و اصول سازمانی، جایی که روش انجام کار، تداوم عملکرد برتر روش‌ها و ساختارهای خاص را نشان می‌دهد، باید از قدرت فناوری‌های جدید برای بیشترین کارایی و سود بهره برد.

در همه حوزه‌های فوق، ظهور پارادایم تابعی از ریتم انتشار محصولات، فناوری‌ها و زیرساخت‌های انقلابی است. در ابتدا، تأثیر مورد انتظار محدود و کوچک است و با گذشت زمان گستردگی و فراگیر می‌شود. تغییرات در اقتصاد، در قلمرو و در رفتارها و ایده‌ها به وقوع می‌پیوندد. پارادایم و معیارهای جدید و معقول آن ریشه‌دار می‌شوند و مانند القاکنده‌ها و فیلترهایی برای تعقیب نوآوری‌های فنی، سازمانی و استراتژیک و همچنین برای تصمیم‌گیری در مورد کسب و کار و مشتری عمل می‌کنند. هرچه انتشار و پذیرش فناوری‌های جدید بیشتر می‌شود، این فرایند خودش را تقویت می‌کند که در عمل تأیید‌کننده عقلاتیت اصول به اشتراک گذاشته شده است.

۱. تغییرات در ساختار هزینه

دینامیک جدید معرفی شده در ساختار هزینه نسبی، محرك مهمی برای ظهور پارادایم جدید فنی اقتصادی است. در حقیقت، یک عنصر اساسی در شکل‌گیری یک گروه یا مجموعه انقلابی، ظهور یک ورودی [ایا فاکتور]^{۳۷} مهم است که چنین ویژگی‌هایی داشته باشد:

- الف) به طور آشکار ارزان بوده و ارزان‌تر شود.
- ب) در آینده قابل پیش‌بینی تمام شدنی نباشد.
- ج) به شکل کاربردهای مختلف در همه جا وجود داشته باشد.
- د) بتواند قدرت را افزایش و هزینه سرمایه و نیروی کار را کاهش دهد.

در انقلاب اول نیروی آب ارزان برای آسیاب‌ها و کانال‌ها، در انقلاب دوم ذغال‌سنگ ارزان برای راه‌آهن‌ها و کارخانه‌هایی که با نیروی بخار کار می‌کردند، در دوره سوم فولاد ارزان برای کشتی‌های بخار، قطارها، پل‌ها و سازه‌های بزرگ و تجهیزات عمده شیمیایی و الکتریکی و در دوره چهارم نفت ارزان برای موتورهای احتراق داخلی اتوبوس‌ها، تراک‌ها، هواپیماها و کشتی‌ها و نیز تولید برق برای همه کاربردهای خانگی برق و در نهایت، ریزپردازنده‌ها برای کامپیوترها و تجهیزات ارتباط از راه دور در دوره پنجم، ویژگی‌های ذکرشده برای آن ورودی یا فاکتور مهم را داشتند.

پروفایل کلی قیمت نیز تحت تأثیر مزایای رو به رشد زیرساخت جدید بهشدت در حال تعدیل و اصلاح است. این تغییر به ۲ روش اصلی رخ می‌دهد: به طور مستقیم از طریق کاهش قیمت‌ها (همان‌طور که حجم عملیاتی هزینه هر واحد حمل و نقل را کاهش می‌دهد) و به طور غیرمستقیم به واسطه افزایش دسترسی کاربران به بازار و در نتیجه ایجاد صرفه‌های بزرگ‌تر ناشی از مقیاس در تولید و توزیع. بنابراین مسیر ترجیحی نوآوری به وسیله پروفایل هزینه نسبی ورودی‌ها و حمل و نقل که بخشی از متاپارادایم می‌شود، پیشنهاد شده است.

به عنوان مثال، انتقال سفال‌های چینی به کمک درشکه و از طریق جاده‌های ناهموار در مسافت‌های دور، بدون شکستن قطعات ممکن نیست برای همین آن‌ها با انتقال از طریق رودخانه به کانال‌های آبی و از طریق کانال‌های آبی به رودخانه و در نهایت به دریاهای آزاد در دسترس جهان قرار می‌گیرند.

۲. درک فضاهای فرصت

متاپارادایم به روش دومی نیز دومی بهترین مسیر برای سرمایه‌گذاری و نوآوری را نشان می‌دهد و آن درک فضاهای فرصت سودآور است. بی‌تردید این‌ها همان فناوری‌های جدیدی هستند که انتشار یافته و گسترش می‌یابند. این حوزه‌ها ۲ نوع اصلی دارند: نوع اول، آن‌هایی که به تولید کنندگان فناوری‌های جدید مربوط می‌شوند و نوع دوم، آن‌هایی که به کاربران فناوری‌های جدید مربوط می‌شوند.

در هسته‌انقلاب اصول پایه علمی و مهندسی قرار دارند که دنیای جدیدی از امکان‌ها را می‌گشایند. دینامیسم نوآوری در آن حوزه‌های فرصت به طور درونی هدایت شده و صنایع مشارکت کننده به شکل دوچانبه‌ای تقویت می‌شوند. این در حالی است که تکامل آن‌ها پیوسته حوزه‌های جدیدی را برای نوآوری در بقیه اقتصاد خلق می‌کند و این به علت فناوری‌های ژنریک با قابلیت کاربرد زیاد است که هر انقلابی آن را فراهم می‌آورد. زیرساخت‌های جدید، آشکارترین فناوری‌های ژنریک فراگیرند. سایر موارد، مجموعه‌هایی از مواد و تجهیزات هستند که در بستر عملیاتی صنایع دیگر نفوذ می‌کنند.

در ارتباط با زیرساخت‌ها، نیازی به یادآوری نقش کنونی اینترنت در تغییر شکل اساسی ساختارها و رفتارها در امور مالی و تجاری نیست. در موج چهارم، شبکه جاده‌ها و شبکه برق خانگی گسترش زندگی در اطراف شهرها را امکان‌پذیر ساخت.

تجهیزاتی مانند موتور بخار در موج دوم، نیاز به نزدیک بودن صنعت به منبع نیروی آب را از میان برداشت. در دوره سوم، موتور برق این امکان را برای صنایع فراهم ساخت که از انبوهی از محدودیت‌ها رها شود و زمینه عملیات همزمان ماشین‌الات و همچنین شکل‌گیری صنایع در مقیاس‌های کوچک را نیز فراهم کرد.

در ارتباط با مواد، مسیر نوآوری در سیستم فناوری پتروشیمیایی طیف وسیعی از فرصت‌های کاربرد را در اقتصاد گشود، از پلاستیک‌های مورد استفاده در بسته‌بندی یا ساخت گرفته تا فیبرهای بافتی و کودها و شویندها و داروها در موج چهارم.

۳. مدل‌های سازمانی جدید

در نهایت، پارادایم فنی اقتصادی، معیارهایی برای بهترین تکنیک سازمانی فراهم می‌کند. همچنان که فناوری‌های جدید شکل کار و الگوهای مصرف را تغییر می‌دهند، نحوه سازماندهی کار و کسب و کارها را نیز تغییر می‌دهند. روش متداول استفاده از این فناوری‌ها و در ارتباط با شرایط جدید در بازار، به تعیین اصول جدید سازماندهی که نسبت به اصول قبلی اولویت دارند و بخشی از منطق کارایی و اثربخشی را شکل می‌دهند، کمک می‌کند.

در موج دوم، به عنوان مثال، پست یک‌پنی^{۲۸}، تلگراف و خطوط آهن ملی تغییر کرد، ساختار صنعت بانکداری از مؤسسه‌های محلی جدا از هم به شبکه‌های ملی با شعب محلی تغییر کرد. خطوط آهن خود به ساختارهای تجاری بسیار بزرگی تبدیل شدند و نیاز به نوآوری‌های سازمانی و نظامیافته‌پیشرفته‌تر برای مدیریت سیستم‌های پیچیده ضرورت یافت.

در طول موج چهارم، به دنبال فورد، خط مونتاژ مبتنی بر اصول تیلور تعمیم یافت و در شکل سازماندهی مصنوعات تغییر عمیقی ایجاد کرد. تفکیک آشکار کارگران یقه آبی و یقه سفید و جدا کردن تفکر و اجرا، پیامدهایی به دنبال داشت که از مرزهای کارخانه فراتر رفتند. بدین ترتیب بهره‌وری بیشتر به واسطه آن نوع سازماندهی حاصل شد. کاهش نیروی کار توسط فورد و افزایش دستمزدها به طور متوسط تا بیش از ۲ برابر، در کنار ادعای این شرکت مبنی بر این که خودروها می‌توانند آنقدر ارزان باشند که حتی کارگران شرکت هم بتوانند آن‌ها را بخرند، نشانه‌ای از تغییر اجتماعی در حال بروز بود.

در هریک از این موارد، جهش پارادایم در منطق سازماندهی و کسب و کار گسترش یافته و مدل‌ها و استراتژی‌های کسب و کار را اصلاح می‌کند، به طوری که افراد سازگارتر با منطق کلی پارادایم جدید، موفق‌تر بوده و به طور آشکار و فزاینده‌ای مورد تقلید قرار می‌گیرند. بنابراین پارادایم فنی اقتصادی غنی‌تر شده و این فرایند خودش را تقویت می‌کند.

جدول ۳. پنج موج بزرگ توسعه و پارادایم‌های فنی اقتصادی آن‌ها^{۳۹}

منطق پارادایم فنی اقتصادی اصول نوآوری	موج اصلی توسعه
تولید کارخانه‌ای مکانیزاسیون بهره‌وری: زمان سنجی کاهش زمان جريان حرکت (مطلوب برای ماشین‌هایی با نیروی آب و حمل و نقل از طریق کانال‌ها و آبراهه‌ها) شبکه‌های محلی	اول: انقلاب صنعتی
صرفه‌های ناشی از بهبود پیوستن شهرهای صنعتی بازارهای ملی مراکز نیرو با شبکه‌های ملی مقیاس به مثابه پیشرفت قطعات استاندارد: ماشین‌الات ماشین‌ساز تأمین انرژی در محل مورد نیاز (بخار) حرکت وابسته بهم (ماشین‌الات و وسائل حمل و نقل)	دوم: عصر بخار و راه‌آهن
سازه‌های بزرگ (فولاد) صرفه‌های ناشی از مقیاس در کارخانه‌ها: یکپارچه‌سازی عمودی نیروی توزیع شده برای صنعت (الکتریسیته) علم به عنوان یک نیروی مولد شبکه‌ها و امپراتوری‌های جهانی (از جمله کارتل‌ها) استانداردسازی در سطح جهانی محاسبه هزینه با هدف کنترل و کارایی مقیاس بزرگ برای نیرو در بازار جهانی: مقیاس «کوچک» در صورت محلی بودن موفق است.	سوم: عصر فولاد، الکتریسیته و مهندسی سنجین
تولید انبوه بازارهای انبوه صرفه‌های ناشی از مقیاس (حجم محصول و بازار): یکپارچه‌سازی افقی استانداردسازی محصولات شدت انرژی (مبتنی بر نفت) مواد مصنوعی ترکیبی تخصصی سازی کارکردی: هرم‌های سلسله‌مراتی متمن کرسازی: مراکز شهری شهر کرسازی نیروهای ملی، توافق‌ها و تعارض‌های جهانی	چهارم: عصر نفت، اتومبیل و تولید انبوه
شدت اطلاعات (فناوری اطلاعات و ارتباطات مبتنی بر دانش میکروالکترونیک) یکپارچه‌سازی غیرمتمن: ساختارهای شبکه‌ای دانش به عنوان سرمایه: ارزش افزوده غیرملموس ناهمگونی، تنوع، قابلیت انطباق بخشنده‌ی بازارها: رشد سریع نیچه صرفه‌های ناشی از محدوده و تخصصی سازی در ترکیب با مقیاس جهانی شدن: اثرات متقابل بین دو سطح جهانی و محلی همکاری داخلی و خارجی: خوشده‌ها ارتباط و اقدام مستمر: ارتباطات جهانی مستمر	پنجم: عصر اطلاعات و ارتباطات

بنابراین یک پارادایم فنی اقتصادی حاصل فرایند یادگیری تجمعی پیچیده‌ای است که در قالب یک مدل ذهنی پویا بیان می‌شود، مدلی با بهترین روش اقتصادی، فناورانه و سازمانی برای دوره‌ای که در آن یک انقلاب خاص فناورانه از سوی سیستم اقتصادی و اجتماعی پذیرفته و درک شده است. هر پارادایم فنی اقتصادی ادراکات مشترک، فنون و روال

کاری مشترک و وجهات مشترک تغییر را با هم ترکیب می‌کند. پذیرش آن، دستیابی به حداکثر کارایی و سودآوری را تسهیل کرده و انتشار آن، درک مشترکی در بین عاملان مختلف شرکت‌کننده در اقتصاد، از تولیدکنندگان گرفته تا مصرف‌کنندگان، پدید می‌آورد.

انتشار، عدم پذیرش و جذب پارادایم‌های فنی اقتصادی

گفتنی است برخی از اصولی که در جدول ۳ بیان شد فراتر از اقتصاد بوده و به حوزه‌های اجتماعی و نهادی نیز راه می‌یابند. شهرک‌سازی در دوره چهارم و جهانی شدن در دوره پنجم، ۲ نمونه از این موارد هستند. درواقع، اصول منطقی سازماندهی برای بیشترین کارایی و اثربخشی که در پارادایم فنی اقتصادی جای دارد، به تدریج در دنیای کسب و کار گسترش یافته و به دولت و سایر نهادهای غیرانتفاعی نیز نفوذ کرد. دفترچه‌های راهنمای عملیات و ساختارهای سلسله‌مراتبی وزارت‌خانه‌های دولتی در دهه ۱۹۶۰ در اصل شبیه نمونه‌های متناظر خود در کارخانه‌های بزرگ تولید انبوی بودند. در حال حاضر این ۲ نوع نهاد بسیار متفاوت هستند. تغییراتی که در ساختار و سازماندهی شرکت‌ها از زمان هجوم انقلاب اطلاعات در دهه ۱۹۷۰ رخ داده است، بهشت آن‌ها را تغییر داده و به تشکیلات شبکه‌ای انعطاف‌پذیر (و به طور فزاینده‌ای جهانی) در زمان کنونی تبدیل کرده است. اما فرایندهای گنجاندن آن گوهای مؤثرتر در سازمان‌های دولتی کند شده و توسعه نیافته است. این مسأله عجیب نیست. هرچند در اقتصاد بازار، کندی و رخوت مغلوب رقابت می‌شوند و بدین ترتیب شرایط رقابتی بانشان دادن جهت موفقیت به عنوان راهنمایی برای گرینش بهترین اقدام و تهدیدی برای بقای کندترها و عقب‌ترها عمل می‌کند. این نوع فشار و جهت‌گیری در اغلب سازمان‌های دولتی وجود ندارد. بنابراین، این سازمان‌ها در طول تاریخ بسیار عقب مانده‌اند (به طور معمول حدود ۲۰ تا ۳۰ سال) و تنها وقتی مجبورند در برابر فشارهای سیاسی برای اثربخشی واکنش نشان دهند، به تقلید اصول پارادایمی توسعه‌یافته در شرکت‌ها می‌پردازنند.

حتی در اقتصاد هم با وجود فشار رقابت، تغییرات اساسی و وسیعی که هر انقلاب فناورانه و پارادایم فنی اقتصادی امکان آن را فراهم ساخته، به راحتی قابل درک و هضم نیست و موجب تشدید مقاومت شده و حتی ساختارهای قوی‌تری را برای تغییر ایجاد خواهد کرد. این نسل جوان‌تر است که هرگز فنون پارادایم قبلی را فرانگرفته که به طور طبیعی اصول جدید را پذیرفته و به کار می‌بنند.

در نهایت، پارادایم فنی اقتصادی جدید به اشتراک گذاشته می‌شود، برقرار می‌شود و به منطق پذیرفته شده هم در اقتصاد و هم در چارچوب اجتماعی نهادی تبدیل می‌شود و بهروشی بستری جهت‌دار در حمایت از مسیر فناوری‌های انقلاب و کاربرد آن‌ها در جامعه خلق می‌کند. این پذیرش سرریزهایی تولید می‌کند که به صورت یک ساختار شمول عدم شمول عمل می‌کند تا نوآوری‌های سازگار با یادگیر را تشویق کرده و مانع از نوآوری‌های ناسازگار شود. این بخش مهمی از توضیح این مسأله است که چرا تغییر بهوسیله انقلاب‌های را خ می‌دهد. بنابراین، پارادایم‌های فنی اقتصادی به مثابه بستری بیشتر در حمایت از یک انقلاب و از طریق سازگاری زیاد و به عنوان مانع پیشگیری کننده برای انقلاب بعدی عمل می‌کنند.

از این‌رو، هر موج بزرگ توسعه^۴، یک فرایند متلاطم انتشار و جذب است. صنایع اصلی مورد نیاز به عنوان موتورهای رشد با موتورهای جدید جایگزین می‌شوند، فناوری‌های مستقر و پارادایم حاکم منسخ شده و به فناوری‌ها و پارادایم جدید تبدیل می‌شوند، بسیاری از مهارت‌های کاری و مدیریتی که در گذشته موفق بوده‌اند قدیمی و ناکارا می‌شوند و فرایندهای عدم یادگیری، یادگیری و یادگیری مجدد را می‌طلبند. چنین تغییراتی در اقتصاد، وضعیت اجتماعی فعلی را بهشت آشفته می‌کنند و هر بار با رشد انجاری ثروت جدید و با روندهای قدرتمند برای طبقاتی کردن توزیع درآمدی همراه می‌شوند. تمامی این موارد در کنار سایر عدم تعادل‌ها و تنش‌ها (مانند یک حباب مالی و فروپاشی آن) از انقلاب فناورانه نتیجه می‌شود (Perez, 2009) و به شرایط ایجاد کننده‌ای که تغییر عمیق کل چارچوب نهادی را ایجاد می‌کنند، پایان می‌دهند. تنها وقتی که این امر محقق شود و بستر توانمندساز هر انقلاب به درستی شکل گرفته باشد توانایی (پتانسیل) خلق ثروت می‌تواند به طور کامل محقق شود.^۵

سازماندهی قواعد، تداوم‌ها و انقطاع‌ها در تغییر فنی

در میان حوزه‌های تحقیقاتی نئوشومپیتری، نوآوری جایگاه مهمی دارد که شامل دینامیک، خوشبندی و ارتباط آن با سایر مقولات است. مطالعات مربوط به نوآوری نشان می‌دهد بروز تغییر فنی تصادفی نیست بلکه وابسته به مسیر است و یک وابستگی متقابل نیز با سایر نوآوری‌های خوشبندی‌شده در سیستم دارد که این امر تا حدودی در انقلاب‌ها با یکدیگر ارتباط دارد.

اگرچه نوآوری در اقتصاد بازار ثابت است، اما همیشه مداوم نیست. تغییرات موجود در ریتم تمایل دارند یک منحنی منطقی را دنبال کرده و از چرخه‌ای که در سیستم فناوری قرار دارند تأثیر پذیرند. انقطع‌های وجود دارند که اغلب به‌وسیلهٔ پایان یافتن امکان‌ها در طول یک مسیر خاص تحریک می‌شوند، جایی که بهره‌وری و بازارها به انتهای خود نزدیک می‌شوند. برای درک این ترکیب‌های قواعد و انقطاع‌ها، نئوشومپیترین‌ها مفاهیمی چون «خط سیر فناورانه، سیستم‌های فناوری، انقلاب‌های فناورانه، پارادایم‌های فنی اقتصادی و موج‌های بزرگ توسعه» را مطرح کرده‌اند.

خط سیر‌های فناورانه محصولات مجزا در قالب «سیستم‌های فناوری» گروه‌بندی می‌شوند که خود آن‌ها نیز در انقلاب‌های فناورانه دسته‌بندی می‌شوند، خط‌سیرهای سیستم با تولید سریزها و بازارهایی برای یکدیگر با هم همپوشانی پیدا می‌کنند، بنابراین جهت نوآوری‌های بیشتر را تحت تأثیر قرار می‌دهند.

انقلاب‌های فناورانه خوشبندی از سیستم‌های فناوری مرتبط با هم هستند که فقط سزاوار واژه «انقلاب» هستند زیرا فراتر از مرزهای صنایع جدیدی که مطرح می‌کنند، گسترش می‌یابند. چنین دگرگونی‌هایی در نهایت کل اقتصاد را دربرمی‌گیرند، سطح بهره‌وری مورد انتظار را بالا می‌برند، صنایع بالغ را دوباره جوان می‌کنند و خط‌سیرهای جدید نوآوری رانه تنها در حوزهٔ فناوری‌های جدید بلکه در حوزهٔ کاربردهای آن‌ها می‌گشايند تا همهٔ صنایع و فعالیت‌های دیگر را دوباره جوان سازند. فرایند انتشار این تغییرات عظیم و تأثیرات اقتصادی و اجتماعی آن‌ها یک «موج بزرگ توسعه» را شکل می‌دهد.

محمل این تغییر گستردۀ، پارادایم فنی اقتصادی است که بهترین مدل عملیاتی است که به تدریج از تجربه عملی در کاربرد فناوری‌های جدید پدید می‌آید. پارادایم بهینه‌ترین، مؤثرترین و سودمندترین روش بهره‌برداری از قابلیت نوآورانه جدید را نشان می‌دهد. هر پارادایم فنی اقتصادی مجموعه‌ای از اصول اولیه را شکل می‌دهد که به عنوان یک پوشش عمل می‌کند که خط‌سیرهای فناوری‌های مجزا را دربرگرفته و سمت و سوی ارجح آن‌ها را شکل می‌دهد. پارادایم فنی اقتصادی همراه با فناوری‌های جدید منتشر می‌شود و موجی از توسعه را تولید می‌کند. تأثیر آن از کسب و کار به نهادها و جامعه گسترش می‌یابد به‌طوری که پذیرش پارادایم فنی اقتصادی جدید در امتداد منحنی انتشار هر انقلاب فناورانه (یا در امتداد هر موج توسعه بزرگ) به پیش می‌رود و به تدریج به منطق با عقل سلیم تصمیم‌گیری در مدیریت، مهندسی، مالی و تجارت تبدیل می‌شود. این منطق جدید و ظرفیت آن برای افزایش اثربخشی و کارایی، در نهایت سازمان‌های نهادی و اجتماعی، انتظارها و رفتارها را نیز شکل می‌دهد.

این انتباق دوچانبهٔ فناوری و اجتماع از طریق یادگیری اجتماعی پارادایم و بازطراحی انتباقی چارچوب نهادی امکان بیشترین بهره‌برداری از پتانسیل خلق ثروت ایجادشده توسط هر موج بزرگ را فراهم می‌کند. اما وقتی این قابلیت (پتانسیل) تمام شود و انقلاب جدیدی شروع به شکل گرفتن کند، آن عادت‌های نهادهای شکل گرفته، به عنوان یک نیروی قدرتمند اینرسی عمل می‌کنند و باید تغییر داده شوند تا موج بعدی را به جریان اندازند.

این درک از تأثیر تغییر فنی بر رشد اقتصادی بلندمدت یکی از کمک‌هایی است که اقتصاد تطوری^{۴۲} همچنان که به‌طور خودکار و تاریخی شکل گرفت، به درک اقتصاد کلان می‌کند. دیگر نمی‌توان از انقلاب فناورانه خاصی که در حال انتشار است و مرحلهٔ گسترش آن غفلت کرد.

سطح انتزاعی که فرایندهای رشد در آن سطح مطالعه می‌شوند لازم نیست و در واقع نباید ماهیت فناوری‌های خاص در حال انتشار را نادیده بگیرد. گسترش شهرهای بدون تولید انبوه و اتومبیل‌ها به عنوان وسیلهٔ حمل و نقل و جهانی شدن بدون فیبرهای نوری بین‌اقیانوسی، ماهواره‌ها و اینترنت امکان پذیر نبودند.

براساس دیدگاهی که در اینجا شرح داده شد، مفاهیم تعادل درازمدت و پیشرفت مستمر به نفع فرایندهای پیچیده‌تر

عدم تعادل‌های غالب منتج از نوآوری بزرگ، افتراق درونی داخل و بین بخش‌ها هستند که قابلیت ویرانی، جذب، یادگیری و عدم یادگیری به دنبال فضاهای فناورانه و بهترین مدل‌های عملی و قابلیت رسیدن و بلوغ غالب بهواسطه موج‌های تغییر متواالی را دارند. اکنون می‌توان گفت ریتم‌های در حال تغییر رشد و فرایندهای تغییر ساختاری و افزایش بهره‌وری در

اقتصاد بهواسطه تغییر فنی تحریک می‌شوند که خود بهواسطه انتشار انقلاب‌های فناورانه پی‌درپی شکل می‌گیرد.

با هم در نظر گرفتن دیدگاه‌های خرد، کلان و میانی، درباره نحوه تکامل فناوری‌ها نشان می‌دهد که می‌توان ماهیت فناوری، فرم‌های تحول و تکامل آن و ارتباطات آن را هدف تحلیل علوم اجتماعی و راهی برای گنجاندن نظریه اقتصادی در دینامیک اثر متقابل آن بر فناوری و نهادها در یک بستر تاریخی در حال تغییر در نظر گرفت. بی‌توجهی به نقش مهم و تأثیر زیاد تغییر فنی و نهادی در شکل دهی به اقتصاد، ظرفیت تحلیلی علم اقتصاد را کاهش می‌دهد. ترکیب کردن آن‌ها در یک رویکرد دینامیک به لحاظ تاریخی اقدام مهمی به منظور افزایش قدرت توصیفی و پیش‌بینانه علوم اقتصادی است.

اقتصاددانان تطوری و نئوشومپیترین‌ها پیشگامان کاوش و نگاشت آن حوزه جدید هستند.

منابع

1. Arocena, R. and Sutz, S. 2000. Looking at national systems of innovation from the South, *Industry and Innovation*, vol. 7, no. 1, 55–75.
2. Arthur,W. B. 1988. Competing technologies: an overview, pp. 590–607 in Dosi, G., Freeman, C., Nelson, R., Silverberg, G., and Soete, L. (eds), *Technical Change and Economic Theory*, Londonand New York, Columbia University Press and Pinter.
3. Dosi, G. 1982. Technical paradigms and technological trajectories: a suggested interpretation of the determinants of technical change, *Research Policy*, vol. 2, no. 3, 147–62.
4. Enos, J. L. 1962. Invention and innovation in the petroleum refining industry, NBER, *The Rate and Direction of Inventive Activity*, Princeton, Princeton University Press.
5. Freeman, C. 1974. *The Economics of Industrial Innovation*, Harmondsworth, Middlesex, Penguin Books.
6. Freeman, C. 1987. *Technology Policy and Economic Performance: Lessons from Japan*, London, Pinter.
7. Freeman, C. 1992. *The Economics of Hope*, London, Pinter.
8. Freeman, C. 1994. The Eeconomics of technical change' Cambridge Journal of Economics, vol. 18, no. 5, 463–514.
9. Freeman, C. 1995. The 'National System of Innovation' in historical perspective, Cambridge Journal of Economics, vol. 19, no. 1, 5–24.
10. Freeman, C. 1996. *Long Wave Theory*, ILCWE No. 69, Cheltenham, Elgar.
11. Grübler, A. 1990. *The Rise and Fall of Infrastructures*, Heidelberg and New York, Physica -Verlag.
12. Howells, J. 1999. Regional systems of innovation? ch. 5, pp. 67–93 in Archibugi, D., Howells, J., and Michie, J. (eds), *Innovation Policy in a Global Economy*, Cambridge, Cambridge University Press.
13. Kondratiev, N. D. 1935. The long waves in economic life, *Review of Economic Statistics*, no. 17, 105–15.
14. Kuhn, T. 1962 [1970]. *The Structure of Scientific Revolutions*, 2nd edn (enlarged). Chicago, University of Chicago Press.
15. List, F. 1841 [1904]. *The National System of Political Economy*, English edition. London, Longman.
16. Louçã, F. and Reijnders, J. (eds), 1999. *The Foundations of Long Wave Theory: Models and Methodology*, ILCWE no. 104, Cheltenham, Elgar.
17. Lundvall, B. A. 1988. Innovation as an interactive process: from user -producer interaction to the national system of innovation, ch. 17, in Dosi, G., Freeman, C., Nelson, R., Silverberg, G., and Soete, L. (eds), *Technical Change and Economic Theory*, London and New York, Columbia University Press and Pinter.
18. Malerba, F. 1992. Learning by firms and incremental change, *Economic Journal*, vol. 102, no. 413, 845–59.

19. Malerba, F. 2002. Sectoral systems of innovation and production, *Research Policy*, vol. 31, no. 2, 247–64.
20. Metcalfe, S. J. 1979. Impulse and Diffusion in the Study of Technical Change, *Futures*, vol. 13, no. 5, 345–59.
21. Nelson, R. and Winter, S. 1977. In search of a useful theory of innovation, *Research Policy*, vol. 6, no. 1, 2–11.
22. Nelson, R. and Winter, S. 1982. An Evolutionary Theory of Economic Change, Cambridge Mass, Harvard University Press.
23. Perez, C. 1983. Structural change and the assimilation of new technologies in the economic and social systems, *Futures*, vol. 15, no. 5, 357–75.
24. Perez, C. 1985. Microelectronics, long waves and world structural change: new perspectives for developing countries, *World Development*, vol. 13, no. 3, 441–63.
25. Perez, C. 2002. Technological Revolutions and Financial Capital: the Dynamics of Bubbles and Golden Ages, Cheltenham, Elgar.
26. Perez, C. 2007. Finance and technical change: a long -term view, ch. 49, pp. 775–99 in Hanusch, H. and Pyka, A. (eds), *Elgar Companion to Neo-Schumpeterian Economics*, Cheltenham, Elgar.
27. Perez, C. 2009. The double bubble of the turn of the century: technological roots and structural consequences, *Cambridge Journal of Economics*, vol. 33, no. 4, 779–805.
28. Reinert, E. 2007. How Rich Countries Got Rich... and Why Poor Countries Stay Poor, New York, Carroll and Graf.
29. Schumpeter, J. A. 1911 [1961]. *The Theory of Economic Development*, New York, Oxford University Press.
30. Schumpeter, J. A. 1939 [1982]. *Business Cycles*, 2 vols, Philadelphia, Porcupine Press.
31. Serra, A. 1613. Breve trattato delle cause che possono far abbondare li regni d'oro e d'argento dove non sono miniere, Naples, Lazzaro Scorrigo.
32. Tylecote, A. 1992. *The Long Wave in the World Economy*, London, Routledge.
33. Utterback, J. M. and Abernathy, W. J. 1975. A dynamic model of process and product innovation, *Omega*, vol. 3, no. 6, 639–56.
34. Wolf, J. 1912. *Die Volkswirtschaft der Gegenwart und Zukunft*, Leipzig, A. Deichert.

پی‌نوشت‌ها

1. Cambridge Journal of Economics 2010, 34, 185–202. doi:10.1093/cje/bep051
Technological University of Tallinn, Estonia and Universitites of Cambridge and Sussex, U.K. www.carlo-taperez.org.
2. مطالب این قسمت برگرفته از مقاله خانم دکتر طاهره میرعمادی، استادیار مؤسسه مطالعات و تحقیقات فناوری سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران با عنوان «تبیین بحران مالی ۲۰۰۸ به مثابه آستانه چرخش پارادایمیک در انقلاب فناوری اطلاعات و ارتباطات» است که در فصلنامه سیاست علم و فناوری، شماره ۲ تابستان ۱۳۸۷، به چاپ رسیده است.
رک. به http://www.nrisp.ac.ir/jstp/browse.php?a_id=68&sid=1&slc_lang=fa
3. [امترجم]: واژه تکاملی معادل Evolutionary است که برخی معتقدند به خوبی رساننده مطلب نیست و واژه «تطویری» مفهوم مورد نظر را بهتر منتقل می‌کند.
4. [امترجم]: فرضیه کندراتیف در غرب وقتی به خوبی شناخته شد که ژوف شومپیتر در کتاب دوره‌های تجاری خود که در سال ۱۹۳۹ نوشته، از ۳ نوع نوسان اقتصادی نام برد که نخستین آن دور موجودی انبار «کی‌چین» است که ۳ تا ۵ سال طول می‌کشد، سپس دور سرمایه‌گذاری «ژوگلار» است که ۷ تا ۱۱ سال به طور می‌انجامد و بالاخره دور بلندمدت «کندراتیف» است که ۴۵ تا ۶۰ سال زمان می‌برد. او معتقد بود که هر ۳ دور کی‌چین، یک دور ژوگلار و هر ۶ دور ژوگلار، یک دور کندراتیف را تشکیل می‌دهد. شومپیتر خود نظریه منسجمی در مورد تmovجات بلندمدت داشت و معتقد بود که

ابداعات پیشگامانه در یک صنعت به سرعت و شدت مورد تقلید قرار می‌گیرد، به طوری که پس از مدتی دیگر از سودآوری می‌افتنند و تلاش‌های مبدعانه متوقف می‌شود. با این حال شومپیتر نتوانست نشان دهد که زمان مورد نیاز برای هضم این ابداعات ۴۵ تا ۶۰ عسال است.

۵. کارلوتا پرز در یکی از مقالاتش اشاره دارد که مفهوم پارادایم فنی اقتصادی وی تحت تأثیر مفهوم پارادایم تواماس کوهن (Thomas Kuhn) ساخته شده است. کوهن این مفهوم را برای انقلاب‌های علمی استفاده می‌کرد اما پرز آن را برای انقلاب‌های فناوری به کار برد است. [متوجه]: عبارت جایه‌جایی پارادایم Paradigm Shift به سال ۱۹۶۲ کتاب جنجالی فیلسفه علم آمریکایی توamas کوهن با عنوان «ساختار انقلاب‌های علمی» به کار برد شد و از آن پس نگاه جهان به علم را تغییر داد.

۶. [متوجه]: انقلاب صنعتی سوم و شکل‌گیری تحولات قابل توجه فناورانه در دهه‌های اخیر موجب عمیق‌تر شدن شکاف صنعتی و فناورانه بین کشورهای صنعتی و کشورهای در حال توسعه شده است. از نظر نئوشومپیترین‌ها، دهه‌های ۱۹۸۰ و ۱۹۹۰ دوره ورود به یک چرخه بلندمدت توسعه اقتصادی جدید است که این امر فرصت‌های نوظهوری را برای پیشرفت کشورهای در حال توسعه فراهم آورده است. این فرصت‌ها ناشی از ۲ ویژگی پارادایم‌های تکنو-اقتصادی جدید در مراحل اولیه پیدایش است: نخست پیشرفت فنی و دوم طولانی بودن دوره انتباط برای رهبران پیشین (که بیشترین تعهد را به پارادایم قبلی دارند). ویژگی اول به این معناست که از این پس مسابقه در مسیر جدیدی قرار دارد و از این‌رو می‌توان قسمتی از شکاف قبلی (بین پیش‌روها و دنباله‌روها) را نادیده گرفت. ویژگی دوم نیز به این معنast که برای آموختن حرکت در مسیر جدید، تا حدودی زمان وجود دارد که گاهی برای کشورهای پیش‌رو و دنباله‌رو یکسان است. از طرفی، نئوشومپیترین‌ها، دخالت دولت برای ایجاد هم‌افزایی بین زیربخش‌های مختلف از جمله تولیدکنندگان و استفاده‌کنندگان را لازم و ضروری می‌دانند.

7. Micro- and meso-foundations.
8. Techno-economic paradigm.
9. Technical change.
10. See the discussion in Nelson and Winter (1982, pp. 263-6).
11. Directions.
12. Path-dependent.
13. Trajectory.
14. Radical Innovation.
15. Incremental innovations.
16. Wolf.
17. Source: based on Wolf (1912), Utterback and Abernathy (1975), Nelson and Winter (1977), Metcalfe (1979), Dosi (1982), Arthur (1988), Malerba (1992) etc.
18. Dosi.
19. Radical innovation.
20. Clusters.
21. Followers.
22. National system of political economy.
23. Technological revolution.
24. Source: Perez (2002).
25. عبارت technological paradigm در technico-economic paradigm Perez (1984) معرفی و جایگزین عبارت Dosi's style (1982) شد تا با مفهوم پارادایم‌های فنی در (1983) ارتباط پیدا کند.
26. Sectors.
27. Successive great surges of development.
28. For a selection of the main authors (both from evolutionary economics and from other schools of thought) see Freeman (1996) and for the more statistical treatment of the same Louçã and Reijnders (1999).

29. Source: Based on (Perez 2002, p. 14).

30. Motive branches.

۳۱. برای بحث در مورد نقش چرخهای آبی رک. به انقلاب صنعتی منبع (۱۹۹۲) Tylecote.

32. Carrier branches.

33. Infrastructures.

34. Induced branches.

35. To avoid unpleasant repetitiveness, TEP and meta-paradigm will be used as synonyms of techno-economic paradigm.

36. Common sense.

37. Originally termed “key factor” in Perez (1983, 1984 and 1985).

38. The penny post.

39. Source: Based on Perez (2002, p. 18).

40. Great surge of development.

۴۱. برای بحث بیشتر درباره فرایندهای انتشار و جذب انقلابهای فناورانه و پارادایم‌های فنی اقتصادی و نیز نقش کلیدی

۴۲. عامل مکمل نوآوری و رشد سرمایه مالی و تولید منبع Perez (۲۰۰۲) را بینید.

42. Evolutionary economics.

