

مروری بر سیستم نوآوری فناوریانه و تحلیل آن

حسین حیرانی^۱

چکیده

این مقاله با هدف مروری بر تعاریف، ویژگی‌ها و اجزای سیستم نوآوری فناوریانه، به منزله یکی از رویکردهای تحلیل گذار فناوریانه و همچنین یکی از رویکردهای تکاملی نوآوری، نوشته شده است. در بخش اول جایگاه این رویکرد در مکاتب توسعه اقتصادی تبیین شده، سپس به ارائه تعاریف و اجزای سیستم نوآوری فناوریانه شامل کارکردها، اجزای ساختاری و عوامل زمینه‌ای پرداخته شده است. در این حوزه، بر اساس پرستادترین مقالات، چهار جزء ساختاری، هفت کارکرد و چهار عامل زمینه‌ای برای سیستم نوآوری فناوریانه شرح داده شده است. پس از توضیح ارکان، روش‌های تحلیل سیستم نوآوری فناوریانه شامل پنج روش تحلیل خروجی، تحلیل ساختاری، تحلیل کارکردها، تحلیل دینامیک بین‌کارکردی و نیز تحلیل توأمان ساختاری - کارکردی ارائه شده است. در پایان نیز، بر اساس مطالعات مختلف، مشکلات و موانع توسعه سیستم نوآوری فناوریانه مرور شده است.

واژگان کلیدی: سیستم نوآوری فناوریانه، تحلیل توسعه فناوری، مشکلات سیستمی.

مقدمه

و فناوری‌ها است. آنان فناوری را عامل وابستگی تلقی می‌کنند. نوکلاسیک‌ها، با تأکید بر مدیریت فعالیت‌های اقتصادی در قالب دولت حداقل و اقتصاد بازار، به رقابت بین‌بنگاه‌های اقتصادی، آزادسازی (مقررات‌زدایی و خصوصی‌سازی) و مشارکت در تجارت بین‌المللی (تجارت خارجی به‌مثابه موتور رشد اقتصاد) توجه می‌کنند. فناوری در نظر آنان کالایی مبادله‌پذیر است. نهادگرایان، با تمرکز بر مسائلی مانند ساختار و عملکرد سیستم‌های اقتصادی، تغییرات فناوری و تعیین اولویت‌ها و اهداف ملی توسعه، راهبرد صنعتی شدن از طریق یادگیری را برای توسعه صنعتی کشورهای درحال توسعه پیشنهاد می‌کنند. آن‌ها فناوری را دانشی می‌دانند که به راحتی انتقال نمی‌یابد. در نهایت نوشومیترین‌ها، با تکیه بر دو نظریه سیکل‌های بلند توسعه اقتصادی و تخریب سازنده شومپیتر، تحولات سریع

در علم اقتصاد، از دیدگاه مکاتب گوناگونی به توسعه اقتصادی کشورها نگریده می‌شود. متفکران هر یک از این مکاتب، با نگرشی خاص به فناوری، سیاست‌های متفاوتی برای توسعه و صنعتی شدن کشورها ارائه می‌کنند (Riess and Valila, 2006). از این رو بررسی این مکاتب، با در نظر گرفتن نگرش هر یک به فناوری، در انتخاب رویکرد نهایی تحلیل فرایند نوآوری فناوریانه ضروری است. به‌طور کلی، نظریه پردازانی که آرای آن‌ها به‌طور گسترده در مجامع آکادمیک دنیا مقبولیت یافته را می‌توان به چهار گروه تقسیم کرد: ساختارگرایان، نوکلاسیک‌ها، نوشومیترین‌ها و نهادگرایان. ساختارگرایان مهم‌ترین علت عقب‌ماندگی کشورهای توسعه‌نیافته را وابستگی‌های تجاری، مالی، فناوریانه و مدیریتی به کشورهای پیشرفته می‌دانند و راه‌حلی که برای این مشکل پیشنهاد می‌کنند توسعه درون‌گرا و دخالت مستقیم دولت در توسعه صنایع

خلق و انتشار نوآوری و بهره‌برداری از نوآوری‌های فناورانه را تعاملات نظام‌مند کنشگران تحت زیرساخت‌های نهادی می‌داند. تعریف آن‌ها از سیستم نوآوری فناورانه بدین صورت است: «شبکه‌ای پویا از عاملان که در یک ناحیه اقتصادی/صنعتی تحت زیرساخت‌های نهادی خاص با یکدیگر در تعامل اند و در تولید و انتشار فناوری و بهره‌برداری از آن سهیم‌اند» (Ibid).

برگک و همکاران (2015) سیستم نوآوری فناورانه را مجموعه‌ای از اجزا شامل فناوری‌ها، فعالان، شبکه‌ها و نهادها تعریف می‌کنند که در جهت توسعه حوزه فناوری خاصی فعالانه عمل می‌کنند.

برای مطالعه سیستم نوآوری فناورانه دو رویکرد شکل گرفته است. این سیستم در رویکرد اول جهانی است (Binz et al., 2014) و در رویکرد دوم در کشور و مرزهای ملی بررسی می‌شود (Negro and Hekkert, 2008; Hekkert et al., 2007).

تحلیل‌های مبتنی بر سیستم نوآوری فناورانه، علاوه بر شناسایی ضعف‌ها، در بردارنده راهکارهایی برای بهبود توسعه و انتشار فناوری است. به عبارتی، کاربرد این رویکرد در توصیف، تبیین، تحلیل و ارائه سیاست‌های مبتنی بر تسریع فرایند گذار فناورانه است (Wieczorek and Hekkert, 2012).

در ادامه، ارکان اصلی سیستم نوآوری فناورانه یعنی عوامل ساختاری، عوامل کارکردی و عوامل زمینه‌ای بررسی می‌شود.

عوامل ساختاری

عوامل ساختاری را - که در واقع اجزای سیستم نوآوری اند - می‌توان همه بخش‌های ساختار اقتصادی دانست که به نوعی بر یادگیری و تحقیق و توسعه اثرگذارند (Lundvall, 1992). عوامل ساختاری را می‌توان ملی، بخشی یا مربوط به یک فناوری خاص در نظر گرفت (Jacobsson and Bergek, 2011).

عوامل ساختاری شامل فعالان، شبکه‌ها، نهادها و فناوری است (Edquist, 1997; Malerba, 2004). در تعریفی دیگر، اجزای ساختاری TIS سه جزء عمده‌اند: فعالان و توانمندی‌های آن‌ها، شبکه‌ها، و نهادها (Jacobsson and Johnson, 2000).

در تقسیم‌بندی جدیدتر، زیرساخت‌ها به اجزای ساختاری اضافه می‌شوند و در تعاریف اولیه به جای فناوری قرار می‌گیرند (Wieczorek and Hekkert, 2012). در جدول ۱ انواع عوامل ساختاری اشاره شده در ادبیات آمده است. دو دسته بندی آخر، یعنی دسته بندی مارکارد و تروف (2008) و دسته بندی وایزورک و هکرت (2012)، پراستنادترین دسته بندی عوامل ساختاری در ادبیات‌اند.

در دسته بندی اخیر، مطابق جدول ۲، چهار جزء فعالان، شبکه‌ها (تعاملات)، زیرساخت‌ها و نهادها اجزای ساختاری سیستم نوآوری فناورانه مطرح می‌شوند. جدول ۲ شامل دسته بندی و انواع هریک از این اجزای ساختاری است.

فناورانه را فرصتی برای توسعه صنعتی کشورهای در حال توسعه و حضور در بازارهای جهانی قلمداد می‌کنند و سیستم نوآوری را ابزار بهره‌برداری از این فرصت معرفی می‌نمایند. آنان فناوری را فرایندی یادگرفتنی می‌دانند (Seifoddin et al., 2008).

بر اساس نگرش فعالان مکاتب اشاره شده به فناوری، رویکردهای مختلفی درباره تحلیل فرایند توسعه فناوری و نوآوری شکل گرفته است. این رویکردها را می‌توان به سه دسته کلی خطی، تعاملی و سیستمی تقسیم کرد. در مکتب ننوشومپترین، نوآوری عاملی کلیدی در نظر گرفته می‌شود و در رویکردهای سیستمی نوآوری، بر وجود همکاری و رابطه دوطرفه میان اجزای گوناگون اشاره می‌شود. بنابراین، وجه تمایز اصلی این مدل‌ها در توسعه موازی نوآوری کاملاً یک پارچه، داشتن نگرشی کل‌گرا به فرایند نوآوری، و شامل شدن اجزای گوناگون و روابط متفاوت میان آن‌هاست (Edquist, 2005).

رویکرد سیستم نوآوری از حدود سه دهه پیش با مطالعات فریمن (1987)، لاندوال (1992) و نلسون (1993) شکل گرفته است. ادکوئیست (1997) سیستم نوآوری را این گونه تعریف می‌کند: «همه عوامل مهم اقتصادی، اجتماعی، سیاسی، سازمانی و... که در توسعه و انتشار نوآوری‌ها و استفاده از آن‌ها اثرگذارند».

با ظهور رویکرد سیستم نوآوری، عمدتاً بر سیستم‌های ملی نوآوری^۱ تأکید شد (Freeman, 1987; Lundvall, 1992; Nel-son, 1993). با گذشت زمان، انواع دیگری از سیستم‌های نوآوری نیز مطرح شده که شامل سیستم نوآوری بخشی^۲، سیستم نوآوری منطقه‌ای^۳ و سیستم نوآوری فناورانه^۴ می‌شود. سیستم نوآوری بخشی بر ویژگی‌های منحصربه‌فرد هر بخش و حوزه صنعتی یا فناورانه تمرکز می‌کند (Malerba and Breschi, 1997). سیستم نوآوری منطقه‌ای نیز مکانیسم‌های یادگیری و تعاملات نهادی را در یک قلمرو مشخص نهادی و جغرافیایی بررسی می‌کند. سیستم نوآوری فناورانه، که بر حوزه‌های فناورانه و طیف‌هایی از محصولات تمرکز دارد (Carls-son, 1995)، مرکز بحث این مقاله است که در ادامه تعاریف، اجزا و ویژگی‌های آن تبیین خواهد شد.

سیستم نوآوری فناورانه

مفهوم سیستم نوآوری فناورانه متضمن تحلیل گذار از منظر تغییرات نهادی، سازمانی، اقتصادی، سیاسی و فنی مربوط به توسعه فناوری است. این رویکرد بر اساس نظر کارلسون و استنکوویتز درباره نوآوری شکل گرفته است که مهم‌ترین محرک

1. National Systems of Innovation
2. Sectoral Systems of Innovation
3. Regional Systems of Innovation
4. Technological System of Innovation

جدول ۱: دسته‌بندی عوامل ساختاری سیستم نوآوری فناوریانه از منظر محققان

عوامل				منبع			
نهادهای (قواعد بازی) يك فناوری				شبکه‌ای از بازیگران	Carlsson and Stankiewicz, 1991		
نهادهای				سازمان‌ها	Lundvall, 1992		
ارتباطات		نهادهای		سازمان‌ها	Edquist, 1997		
نهادهای				بازیگران و توانایی آن‌ها	Jacobsson and Johnson, 2000		
زیرساخت‌ها	سیاستی	نظام تحقیق و آموزش	نهادهای واسطه‌ای	شرایط پیرامونی	تقاضا	Arnold and Kuhlman, 2001	
			فناوری	شبکه	نهادهای	بازیگران	Markard and Truffer, 2008
			زیرساخت‌ها	ارتباطات/ شبکه	نهادهای	بازیگران	Wieczorek and Hekkert, 2012

جدول ۲: اجزای ساختاری سیستم نوآوری فناوریانه (Wieczorek and Hekkert, 2012)

دسته‌بندی بُعد ساختاری	بُعد ساختاری
نهادهای مدنی (غیرنظامی) شرکت‌ها، استارت‌آپ‌ها، شرکت‌های کوچک و متوسط، شرکت‌های بزرگ، شرکت‌های بین‌المللی دولت NGOها بخش‌های دیگر: سازمان‌های حقوقی، بانک‌ها و سازمان‌های مالی، واسطه‌ها، سوداگران فناوری، مشاوران	بازیگران
نهادهای سخت: قوانین، مقررات، دستورالعمل‌ها نهادهای نرم: سنت‌ها، عادات، اقدامات مرسوم، نُرم‌ها، انتظارات	نهادهای
در سطح گروه در سطح فردی	تعاملات
فیزیکی: ابزارها، ماشین‌آلات، جاده‌ها، ساختمان‌ها، پل‌ها، بنادر دانشی: دانش، تخصص، اطلاعات راهبردی مالی: یارانه‌ها، برنامه‌های مالی، گزینش‌ها و...	زیرساخت‌ها

اجتماعی نمی‌توان تغییرات فناوریانه را تحلیل کرد، بر کارکردهای سیستم به‌منزله چارچوبی برای تحلیل فرایندی سیستم‌های فنی - اجتماعی تمرکز می‌شود. کارکردهای نظام بر عملکرد اجزای نظام و در واقع بر فرایندهایی مبتنی است که برای عملکرد بهینه سیستم نوآوری اهمیت دارند. این کارکردها عوامل فرایندی مؤثر در توسعه فناوری محسوب می‌شوند.

در ادامه به دومین رکن سیستم نوآوری فناوریانه، یعنی عوامل کارکردی، به‌اختصار می‌پردازیم.

کارکردهای TIS؛ فرایند یا فعالیت؟

همان‌طور که اشاره شد، سیستم‌های نوآوری فناوریانه را می‌توان در حکم رویکردی برای تحلیل تغییرات فناوریانه به‌کار برد (Hekkert and Negro, 2009). از آنجاکه صرفاً با تحلیل ساختاری سیستم‌های فنی -

به‌طورکلی، محققان دورویکرد عمده درخصوص این کارکردها مطرح کرده‌اند. رویکرد اول نگرش به کارکردهای نظام به‌منزله فرایندهای نظام است. در این رویکرد، کارکردها فرایندهایی در نظر گرفته می‌شوند که در نظام انجام می‌گیرند و منجر به نوآوری می‌شوند. در رویکرد دوم، کارکردهای نظام فعالیت‌هایی هستند که انجام‌گرفتن هریک به‌صورت یک اقدام مشخص

به نتیجه نهایی، یعنی توسعه دانش و نوآوری، منجر می‌شود. مهم‌ترین تفاوت این دو رویکرد این است که در دیدگاه فرایندی تمرکز بر فرایند ایجاد کارکرد در سیستم است، حال‌آنکه در دیدگاه دوم خروجی فرایندهای انجام‌شده در سیستم کارکرد در نظر گرفته می‌شود. در جدول ۳ به محققان مرتبط با هریک از دو رویکرد اشاره شده است.

جدول ۳: محققان حوزه TIS بر اساس رویکرد تحلیل کارکردها

رویکرد تحلیل کارکردها		نام محقق
فعالیت	فرایند	
Hekkert et al., 2007	Musiolik and Markard, 2011	
Meijer et al., 2007	Bélis Bergouignan and Levy, 2010	
Negro and Hekkert, 2008	Suurs and Hekkert, 2009	
Hekkert and Negro, 2009	Hellsmark and Jacobsson, 2009	
Suurs and Hekkert, 2009	Van Alphen et al., 2008; 2009; 2010	
Suurs et al., 2009	Negro et al., 2008	
Bélis Bergouignan and Levy, 2010	Jacobsson, 2008	
	Bergek et al., 2008	
	Jacobsson and Bergek, 2006	

و بهره‌برداری از آن‌ها بر اساس فناوری و کاربردهای آن است. این کارکرد شامل آزمایش فناوری‌ها، کاربردها یا بازارهای جدیدی است که از طریق آن‌ها یک فرایند یادگیری در خلال فرصت‌های تجاری جدید فراهم می‌شود (Bergek et al., 2008). هکرت و همکاران (2007) این کارکرد را تبدیل پتانسیل‌های دانش تولیدشده در جهت ایجاد فرصت‌های تجاری و بهره‌برداری از آن‌ها می‌دانند. کارآفرینان خطرپذیر، که در مرکز سیستم نوآوری فناورانه قرار دارند، از طریق تجارب نوآورانه به‌دنبال بهره‌برداری از فرصت‌های تجاری‌اند (Van Alphen et al., 2010).

۲. خلق دانش: کارکرد خلق دانش دربرگیرنده همه فعالیت‌هایی است که می‌توان در فرایند یادگیری جای داد. این یادگیری ممکن است مربوط به موضوعاتی مانند دانش فنی، بازار، شبکه‌ها و مصرف‌کنندگان مد نظر باشد. به‌طورکلی این کارکرد به خلق دانش در فرایند کلی نظام اشاره می‌کند؛ به توسعه دانش از طریق تحقیقات پایه محدود نمی‌شود و انواع دیگری از توسعه دانش مثل توسعه تجربی از طریق چرخه انجام، استفاده و تعامل را نیز دربر می‌گیرد (Wieczorek et al., 2015). هکرت و دیگران (2007) و جانسون و جاکوبسون (2001) این کارکرد را شامل

محققان بسیاری (Hekkert et al., 2007; Jacobsson and Bergek, 2011; Bergek et al., 2008) کارکردهای سیستم نوآوری در راستای کارکرد اصلی آن را معرفی کرده‌اند.

کارکرد اصلی حاصل پیوندزدن ادبیات سیستم‌های نوآوری با ادبیات سیستمی است. بر مبنای این کارکرد، سیستم‌های نوآوری فناورانه یک کارکرد کلی دارند (Edquist, 2004). هکرت و نگو (2009) دنبال‌کردن فرایندهای نوآوری یا به تعبیری دیگر توسعه، انتشار و به‌کارگیری نوآوری را کارکرد اصلی سیستم‌های نوآوری قلمداد می‌کنند. کارکردهایی که محققان پیشنهاد کرده‌اند درواقع فرایندهای تحقق این کارکرد اصلی‌اند. بنابراین، می‌توان کارکردهای سیستم را زیرکارکردهای کارکرد اصلی آن دانست. تاکنون هریک از محققان این حوزه کارکردهایی را برای سیستم نوآوری فناورانه در نظر گرفته‌اند. در جدول ۴ انواع دسته‌بندی کارکردهایی که محققان به آن‌ها پرداخته‌اند آمده است.

گفتنی است دسته‌بندی هفت‌تایی (Hekkert et al., 2007; Bergek et al., 2008) بیشترین استناد در مقالات این حوزه را دارد که در ادامه توضیحاتی درباره آن‌ها ارائه می‌شود.

۱. کارآفرینی: کارآفرینی به‌معنای کشف فرصت‌های کسب‌وکار

فعالیت‌های تحقیق و توسعه و یادگیری از طریق تقلید می‌دانند. به عبارت دیگر، این کارکرد شامل فعالیت‌هایی است که در قالب فرایند یادگیری به خلق دانش می‌انجامند (Musiolik and Markard, 2011).
 ۳. انتشار دانش: از آنجاکه انتشار دانش در داخل نظام، به منظور تولید محصولات، خدمات یا فرایندهای جدید، ضروری است، این

کارکرد به تجاری‌سازی ایده‌ها و دانشی اشاره دارد که سایر اجزای نظام تولید کرده‌اند (Wieczorek et al., 2015). انتشار دانش شامل فعالیت‌هایی است که به تبادل اطلاعات می‌پردازند و نیز شامل یادگیری از طریق استفاده و تعامل در شبکه‌های همکاری است (Musiolik and Markard, 2011; Hekkert et al., 2007).

جدول ۴: دسته‌بندی عوامل کارکردی سیستم نوآوری فناوریانه از منظر محققان

کارکردها							مراجع
	غلبه بر مقاومت در برابر تغییر	تأمین منابع	ایجاد و شبیه‌سازی بازار	کاستن از عدم‌تعیین	هموارسازی تبادل دانش و اطلاعات		Johansson, 1998
	مشروعیت‌بخشی به فناوری و بنگاه	ایجاد نیروی انسانی	ایجاد بازار و انتشار دانش بازار	هدایت تکنولوژی	افزایش شبکه‌سازی	انجام‌دادن تحقیقات بازار	Reaken, 2000
		آموزش	مصرف نهایی		ارتباط	تحقیق اجرا	Lee and White, 2001
		تأمین مالی فرایند نوآوری	شکل‌دهی به بازار محصول جدید	تأمین حداقل‌های کیفی	شبکه‌سازی	تحقیق و توسعه	Edquist, 2004
آثار جانبی مثبت		تأمین منابع	شکل‌گیری بازار	هدایت فرایند جست‌وجو	ایجاد دانش جدید		Jacobson and Bergek, 2006
	ایجاد مشروعیت/ غلبه بر مقاومت در برابر تغییر	تأمین و تخصیص منابع	شکل‌دهی به بازار	جهت‌دهی به جست‌وجو	انتشار دانش از طریق شبکه‌ها	توسعه دانش	Hekkert and Negro, 2009; Negro and Hekkert, 2008; Hekkert et al., 2007
	حمایت از سوی گروه‌های پشتیبان	تأمین و تخصیص منابع	شکل‌دهی به بازار	جهت‌دهی به جست‌وجو	انتشار دانش	توسعه دانش	Negro et al., 2007
آثار جانبی مثبت	مشروعیت‌بخشی	تأمین و تخصیص منابع	شکل‌دهی به بازار	تأثیرگذاری در جهت‌دهی به تصمیمات	توسعه و انتشار دانش	آزمایش‌های کارآفرینی	Bergek et al., 2008
	حمایت از سوی گروه‌های پشتیبان	تأمین و تخصیص منابع	شکل‌دهی به بازار	جهت‌دهی به جست‌وجو	انتشار دانش	توسعه دانش	Suurs and Hekkert, 2009
	ایجاد مشروعیت	تأمین و تخصیص منابع	شکل‌دهی به بازار	جهت‌دهی به جست‌وجو	انتشار دانش	توسعه دانش	Von Alphen et al., 2009
	مشروعیت‌بخشی	تخصیص منابع	ایجاد بازار	جهت‌دهی به جست‌وجو	انتشار دانش	خلق دانش	Von Alphen et al., 2010

بازیگران نظام پذیرفتنی و توجیه‌پذیر می‌کند (Wieczorek et al., 2015). مشروعیت‌بخشی شامل فعالیت‌هایی است که به کاهش مقاومت در برابر تغییر، زمینه‌سازی برای ظهور و تثبیت فناوری‌های جدید می‌انجامند (Musiolik and Markard, 2011). نکته جالب توجه اینکه در اینجا مشروعیت اعطا نمی‌شود، بلکه آگاهانه از طریق فعالیت‌های نهادها و افراد شکل می‌گیرد و پذیرش اجتماعی را به دنبال دارد (Bergek et al., 2008).

عوامل زمینه‌ای اثرگذار در سیستم نوآوری فناورانه

با توجه به اینکه سیستم نوآوری فناورانه چارچوبی تحلیلی با مرکزیت فناوری است، در تحلیل‌های آن همواره تمرکز بر عوامل مخصص فناوری بوده است. رویکرد مبتنی بر عملکرد یا کارکردها به منظور غلبه بر پیچیدگی‌های تحلیل سیستم نوآوری فناورانه و تجمع عوامل اثرگذار در عملکرد این نظام شکل گرفت (Hek-kert et al., 2007)، اما در این رویکرد نیز به عوامل زمینه‌ای اثرگذار در توسعه سیستم نوآوری فناورانه توجه چندانی نمی‌شود. در این راستا، عوامل زمینه‌ای به چارچوب تحلیل سیستم نوآوری فناورانه اضافه شد. هر سیستم نوآوری فناورانه جدید با دسترسی به منابع محیطی و زمینه‌ای خود نظیر صنایع دیگر و استفاده از آن‌ها شکل می‌گیرد (Jacobsson and Bergek, 2011).

بر طبق نظر سورس و هکرت (2009)، در فاز شکل‌گیری سیستم نوآوری فناورانه، علاوه بر عوامل داخلی تأثیرگذار، عوامل خارجی نیز، به علت تأثیرشان در پویایی نظام، اهمیت دارند و باید در تحلیل‌های صورت گرفته تأثیرات آن‌ها در نظر گرفته شود. عوامل خارجی تأثیرگذار در سیستم نوآوری فناورانه در سه گروه زیر دسته‌بندی می‌شود:

- تأثیرات خارجی ناشی از توسعه‌های بین‌المللی یا توسعه سایر کشورها در حوزه فناوری؛

- تأثیرات خارجی ناشی از لختی (ثبات) نظام موجود؛

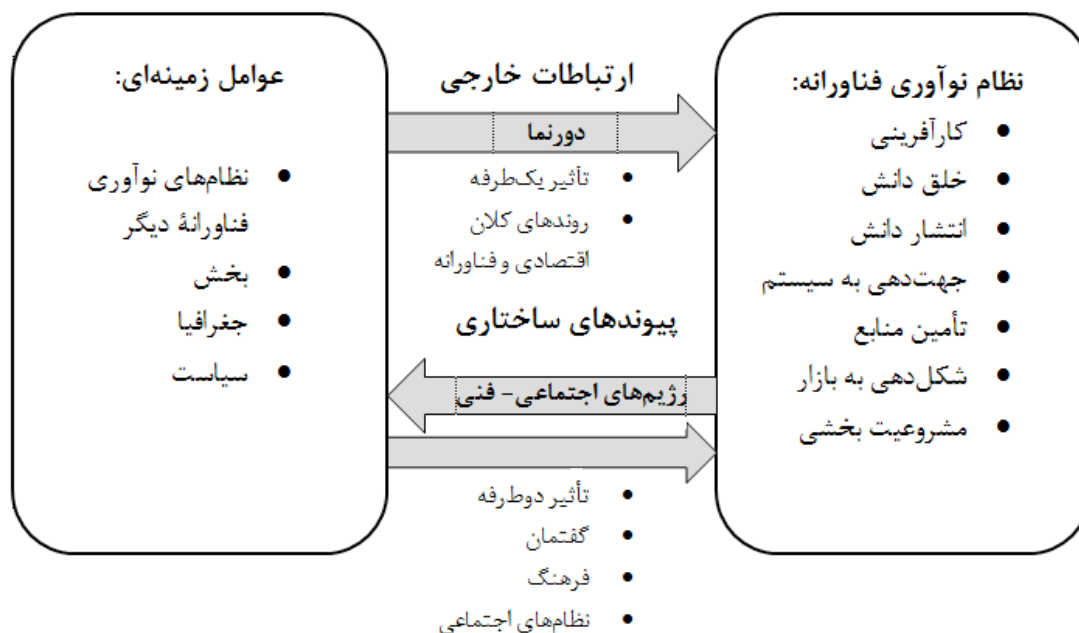
- تأثیرات خارجی ناشی از نظام‌های فناورانه نوظهور دیگر. برای مرتبط ساختن عناصر مختلف زمینه‌ای تلاش‌های فراوانی شده است، مبتنی بر این اصل که کارکردهای نظام متأثر از برخی عوامل خارجی اند. اما برگک و همکاران (2015) برای نخستین بار دسته‌بندی جامعی از عوامل زمینه‌ای اثرگذار در سیستم نوآوری فناورانه ارائه داده‌اند. هدف از معرفی و تحلیل عوامل زمینه‌ای تحلیل روابطی است که از مرزهای TIS عبور می‌کنند و شامل تعاملات و تأثیرات متقابل بین اجزای آن و دیگر ساختارهای زمینه‌ای مرتبط با آن می‌شوند. هلسمارک (2010) اشاره می‌کند که عوامل زمینه‌ای، که سیستم‌های نوآوری فناورانه در آن‌ها شکل می‌گیرند، نه تنها در منابع در دسترس، بلکه در جهت حرکت کلی آن نظام نیز تأثیر می‌گذارند. با در نظر گرفتن عوامل زمینه‌ای، این اصل مورد توجه قرار می‌گیرد که فناوری‌های گوناگون، در بسترهای محیطی متفاوت،

۴. **جهت‌دهی به جست‌وجو (پژوهش):** این کارکرد متشکل از فعالیت‌هایی است که به گزینش و محدود کردن گزینه‌های موجود مرتبط با فناوری‌ها، کاربرد آن‌ها و بازارشان در سطوح مختلف منتهی می‌شوند. به طور خلاصه، این کارکرد بیانگر انتخاب جهتی خاص برای توسعه فناوری و بی‌توجهی به سایر فناوری‌هایی است که در این جهت تعریف نشده‌اند. هدفمند کردن پژوهش به چشم‌اندازها و اولویت‌های ملی بستگی دارد (Wieczorek et al., 2015). این کارکرد، اثرگذاری در جهتی است که در آن عرضه‌کنندگان و تقاضاکنندگان از منابع خود استفاده می‌کنند. هدفمند کردن با ایجاد آگاهی در خصوص فرصت‌های بالقوه رشد محقق می‌شود و بعضاً شامل تنظیم استانداردها و مقررات نیز هست (Johnson and Jacobsson, 1999). هکرت و همکاران (2007) این کارکرد را انتخاب حوزه‌های سرمایه‌گذاری و تمرکز بر آن‌ها در آینده می‌دانند.

۵. **شکل‌دهی به بازار:** مجموعه فعالیت‌هایی که هدف از آن‌ها رقابت‌پذیر ساختن فناوری با فناوری‌های موجود در بازار است در راستای تحقق این کارکرد قرار می‌گیرند. به طور خلاصه، شکل‌دهی به بازار بیانگر این ضرورت است که هر فناوری جدید باید در میان کاربران و مصرف‌کنندگان پذیرفته شود. به عبارت دیگر، برای فناوری‌های جدید باید بازاری جدید شکل گیرد تا توسعه و تجاری‌سازی این فناوری‌ها محقق شود (Wieczorek et al., 2015). این فرایند از طریق ایجاد مزیت رقابتی موقت به منظور شکل‌گیری بازارهای جدید صورت می‌گیرد. ابزارهای مورد استفاده عبارت‌اند از مالیات، سهم مصرف، یا دیگر ابزارهای سیاستی (Van Alphen et al., 2010). این کارکرد شامل فعالیت‌هایی است که به خلق تقاضایی جدید برای فناوری‌های جدید می‌انجامند (Musiolik and Markard, 2011).

۶. **تأمین (بسیج) منابع:** این کارکرد شامل مجموعه فعالیت‌هایی است که به تأمین و هماهنگی ورودی‌های لازم برای توسعه سیستم نوآوری در راستای تحقق کارکرد تأمین منابع مربوط می‌شوند. به طور کلی، این کارکرد معرف به خدمت‌گیری و تخصیص منابع لازم برای فرایندهای مختلف سیستم نوآوری است. این منابع عمدتاً شامل منابع مالی و منابع انسانی می‌شوند (Wieczorek et al., 2015). در این خصوص می‌توان به زیرساخت‌هایی اشاره کرد که بازیگران سیستم نوآوری از آن‌ها استفاده می‌کنند (Bergek et al., 2008). ون آلفن و همکاران (2010) منابع مالی و انسانی را ورودی‌های ضروری برای همه فعالیت‌های نوآورانه می‌دانند و راه تأمین آن‌ها را از میان سرمایه‌گذاران خطرپذیر و یا پشتیبانی دولت جست‌وجو می‌کنند.

۷. **مشروعیت‌بخشی:** این کارکرد، که هدف اصلی از آن مقابله با مقاومت در برابر تغییری است که فعالان اعمال می‌کنند، از طریق فعالیت‌های ترویجی، تبلیغی و لابی‌گری، فناوری جدید را برای



شکل ۱: انواع ارتباطات عوامل زمینه‌ای با سیستم نوآوری فناورانه

زمینه‌ای TIS عنوان می‌کنند. آن‌ها در مجموع چهار نوع عمومی عوامل زمینه‌ای را مطرح می‌کنند که در ادامه به آن‌ها اشاره می‌شود.

۱. سیستم‌های نوآوری فناورانه دیگر^۵

ارتباطات بین نظام‌های فناورانه گوناگون نوع اول عوامل زمینه‌ای است. این ارتباطات، که به تعاملات فناورانه وابسته‌اند، باعث می‌شوند تا فناوری‌های مختلف با هم رقابت کنند یا همدیگر را کامل کنند. این روند تکاملی به تغییراتی در هریک از سیستم‌های نوآوری فناورانه مربوط منجر می‌شود. در واقع، در اینجا تمرکز بر تأثیرات سایر فناوری‌ها در فناوری مورد مطالعه است. این فناوری‌ها در توسعه فناوری مورد مطالعه ممکن است هم نقش تقویت‌کننده داشته باشند و هم نقش بازدارنده. مرز سیستم نوآوری فناورانه با دیگر نظام‌ها، مطابق با آنچه در تعریف عوامل زمینه‌ای آمد، بر اساس تمرکز بر زنجیره ارزش یک حوزه فناورانه خاص تعیین می‌شود. ارتباط این نظام با نظام‌های زمینه‌ای خود ممکن است به تأمین مواد خام یا خدمات مورد نیاز نیز مربوط باشد؛ مثلاً تغییر محصول در نظام مورد نظر ممکن است به تغییر محصول در تأمین‌کنندگان منجر شود که در توسعه دانش در این دو نظام مؤثر خواهد بود.

۲. بخش^۶

هر فناوری در ابتدا ممکن است در بخش فناورانه خاصی تعریف شود، اما به مرور، با طی کردن روند تکامل، وارد بخش‌های دیگر می‌شود و از آن‌ها تأثیر می‌پذیرد. این عامل زمینه‌ای بیانگر

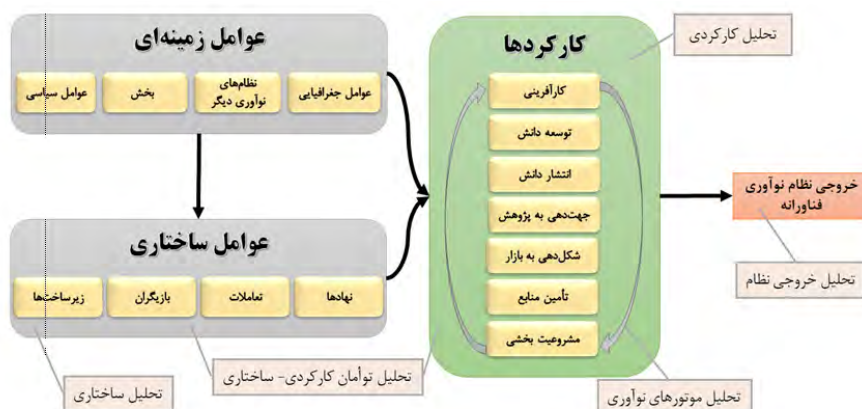
به صورت‌های متفاوتی توسعه می‌یابند. علاوه بر این، با توجه به بی‌ثباتی عوامل زمینه‌ای و تغییرات مداوم آن‌ها، با تحلیل آثار عوامل زمینه‌ای، چالش‌ها و فرصت‌ها برای توسعه فناوری‌های جدید بهتر شناخته می‌شوند. در نهایت، وارد کردن عوامل زمینه‌ای به تحلیل‌های مبتنی بر TIS چارچوب جامع‌تری برای تحلیل فرایندهای توسعه هر فناوری خاص، و نیز فرایندهای مرتبط با آن در سایر بخش‌های پیرامونی آن فناوری ارائه می‌کند (Bergek et al., 2015).

برگک و همکارانش، ضمن تقسیم محیط زمینه‌ای به این دو نوع ارتباط خارجی^۱ و ساختاری^۲ آن‌ها را به دو مفهوم دورنما^۳ و سیستم‌های اجتماعی-فنی^۴ ارتباط می‌دهند. تفاوت اصلی این دو نوع ارتباط در اثرگذاری یا بی‌تأثیر بودن بازیگران سیستم نوآوری فناورانه در آن‌هاست. ارتباطات خارجی آن‌هایی هستند که در TIS اثرگذارند، اما از فرایندهای داخلی آن اثری نمی‌پذیرند. این ارتباطات شامل تغییرات کلان و فرابخشی است. اثر متقابل از سمت TIS در این محیط کلان ناممکن نیست، اما نادر است. به عبارت دیگر در نوع اول، یعنی ارتباطات خارجی، محیط TIS شامل روندهای کلان فرابخشی نظیر روندهای اقتصادی و فناورانه کلان می‌شود، در حالی که در نوع دوم، فرهنگ بخشی، گفتمان غالب یا مشکلات مورد توافق مدنظرند. آن‌ها همچنین مواردی مانند نظام سیاسی، قانونی، مالی و جغرافیایی را مثال‌هایی از نظام جامع

1. External Links
2. Structural Coupling
3. Landscape
4. Socio-technical Regime

5. Other TISs

6. Sector



شکل ۲: نقطه تمرکز هریک از روش‌های تحلیل سیستم نوآوری فناوریانه

تأثیرات بازدارنده‌ای در توسعه فناوری داشته باشند. مهم‌ترین مثال درباره ایران شاید تحریم‌ها و سیاست‌های کلی روابط بین‌الملل باشد که در توسعه یافتن یا نیافتن فناوری‌های گوناگون مؤثر است.

۴. عوامل سیاسی^۲

ارتباط بین محیط سیاسی و سیستم نوآوری فناوریانه را می‌توان محور اصلی فرایندهای گذار بلندمدت و عامل اصلی توسعه سیستم نوآوری فناوریانه نامید (ibid). مثلاً در دسترس بودن منابع مالی عمومی برای توسعه فناوری، یا مشروعیت بخشی به فناوری را می‌توان از عوامل مربوط به محیط سیاسی دانست. به‌طور کلی، ساختار سیاسی را می‌توان مجموعه عوامل نهادی خارج از سیستم نوآوری دانست که می‌توانند در نقش محرک یا مانع برای توسعه فناوری عمل کنند. ارتباط TIS با نظام سیاسی عامل اصلی تغییرات بلندمدت محسوب می‌شود؛ چراکه در آرایش نهادی و هنجارها، باورها، و مقررات اثرگذار است. مثلاً در کشوری که سیاست‌گذاران بر توسعه فناوری خاصی اجماع دارند، قوانین و مقررات پشتیبان برای توسعه آن فناوری آسان‌تر وضع می‌شود تا در کشوری با اوضاع متفاوت. ساختار حکمرانی، و باورهای عمیق سیاسی شاید از مثال‌های دیگری باشند که در نظام موردنظر اثر می‌گذارند (Sabatier, 2006).

روش‌های تحلیل سیستم نوآوری فناوریانه

برای تحلیل سیستم نوآوری فناوریانه روش‌های متعددی در نظر گرفته شده که طی دوره‌های زمانی مختلف تکامل یافته‌اند. این روش‌ها شامل تحلیل بر پایه‌های خروجی، کارکردهای نظام، اجزای ساختاری نظام، و ارتباط بین کارکردها و ساختارها است. خروجی هریک از این روش‌ها موانع و مشکلاتی سیستمی بر سر راه توسعه فناوری یا به‌عبارت دیگر مشکلات سیستمی سیستم نوآوری فناوریانه است. در شکل ۲ سیستم نوآوری فناوریانه و کانون

نهادهای زیرساخت‌هایی است که مشترکاً بین سیستم‌های نوآوری فناوریانه گوناگون و در سطح ملی قرار دارند. مفهوم تعاملات نظام با بخش مربوط به خود همان مفهوم رژیم‌های اجتماعی-فنی است که گیلز (Geels, 2002) مطرح کرده است. مطابق با تعریف مالربا (Malerba, 2004)، بخش به معنی مجموعه‌نهادهایی است که در زمینه تولید و انتشار فناوری‌ها و محصولات و استفاده از آن‌ها برای تحقق کارکردی ویژه برای مشتریان مربوط فعالیت می‌کنند. اجزای بخش با اجزای ساختاری سیستم نوآوری فناوریانه یکسان‌اند، با این تفاوت که محدوده بزرگ‌تری از فناوری‌های مرتبط را دربر می‌گیرند (Bergek et al., 2015). مثلاً بازیگران بخش گاز ممکن است، با ورود به حوزه ذخیره‌سازی زیرزمینی، سبب مشروعیت بخشی و جهت‌دهی به این نظام فناوریانه شوند یا در مقابل، با مشروعیت‌زدایی از این فناوری، مانع توسعه آن گردند.

۳. عوامل جغرافیایی^۱

رابطه سیستم نوآوری فناوریانه با عوامل جغرافیایی را می‌توان به دو صورت تعریف کرد. اولین نوع ارتباطات به‌گونه‌ای است که اجزای نظام در ساختارهای موجود در محیط جغرافیایی موردنظر جای می‌گیرند. این ارتباط به تأثیرات دوطرفه منجر خواهد شد. نوع دوم ارتباط عبارت است از ارتباط اجزای نظام با بازیگران، شبکه‌ها، و نهادهایی که بخش‌های گوناگون جغرافیایی را به هم ارتباط می‌دهند، مانند زنجیره‌های تأمین جهانی. برگک و همکاران (ibid) عوامل جغرافیایی را مجموعه‌ای از عوامل سیاسی، اجتماعی، فرهنگی، و قانونی می‌دانند که در مرزهای جغرافیایی هر سیستم نوآوری فناوریانه وجود دارد. از این جهت، ممکن است نوعی هم‌پوشانی در عوامل جغرافیایی با دیگر عوامل زمینه‌ای شکل بگیرد. این تعاملات بین عوامل جغرافیایی ممکن است سبب نوعی هم‌افزایی بین نظام موردنظر با سیاست‌های کلی آن محدوده جغرافیایی شوند یا برعکس،

در کارکردهای آن منجر می‌شود. آن‌ها مراحل زیر را برای تحلیل سیستم نوآوری فناوریانه از منظر بازیگران عنوان می‌کنند:

- شناخت راهبردهای بازیگران TIS؛
- تحلیل اثر راهبردهای بازیگران گروه‌های مختلف در کارکردهای سیستم؛
- شناخت منابع در اختیار بازیگران؛
- تحلیل عملکرد بازیگران در قالب کارکردها. شکل ۳ در بردارنده فرایند اثرگذاری بازیگران در کارکردها و خروجی سیستم نوآوری فناوریانه است. همچنین تروفور و دیگران (2009) به تحلیل نهادها در قالب سیستم نوآوری فناوریانه پرداخته‌اند. شکل زیر فرایند اثرگذاری قواعد و هنجارها در حکم یکی از عوامل نهادی را در عملکرد سیستم نوآوری فناوریانه طبق نظر آن‌ها نشان می‌دهد. در مطالعات دیگری نیز به تحلیل عامل ساختاری تعاملات و شبکه‌ها در قالب سیستم نوآوری فناوریانه پرداخته شده است. در این‌گونه مطالعات تمرکز بر مفهوم شبکه‌های بین‌سازمانی و تأثیرات آن‌ها در نوآوری است. شبکه‌های بین‌سازمانی ابزارهایی هستند که سازمان‌ها به کمک آن‌ها می‌توانند در حوزه‌هایی که پیشرفت علمی یا فناوری با سرعت حاصل می‌شود و منابع دانشی به شکل گسترده‌ای توزیع می‌شوند، منابع خود را مبادله کنند و مهارت‌ها و ایده‌های تازه را مشترکاً خلق کنند (Powell and Grodal, 2005; Musiolik et al., 2012). شکل زیر چارچوب پیشنهادی موسیولیک و دیگران برای تحلیل شبکه‌ها را نشان می‌دهد.

۳. تحلیل بر پایه کارکردهای نظام

این رویکرد پس از تکامل سیستم نوآوری فناوریانه در فاز تحلیل و مشخص شدن بی‌کفایتی تحلیل عوامل ساختاری در دهه ۲۰۰۰ شکل گرفت. ایده اصلی در این رویکرد این است که بازیگران، نهادها

توجه در هریک از روش‌های تحلیل نشان داده شده است. در ادامه، هریک از این روش‌ها توضیح داده می‌شوند.

۱. تحلیل بر پایه ارزیابی خروجی نظام

این رویکرد تحلیل عمدتاً در ابتدای پیدایش سیستم نوآوری فناوریانه، یعنی در انتهای دهه ۱۹۸۰ و ابتدای دهه ۱۹۹۰، کاربرد داشت. عملکرد خروجی سیستم نوآوری فناوریانه معمولاً به صورت انتشار فناوری تعریف می‌شود؛ مثلاً در حوزه فناوری‌های انرژی‌های نو، کاهش انتشار دی‌اکسید کربن را می‌توان شاخص عملکرد در نظر گرفت.

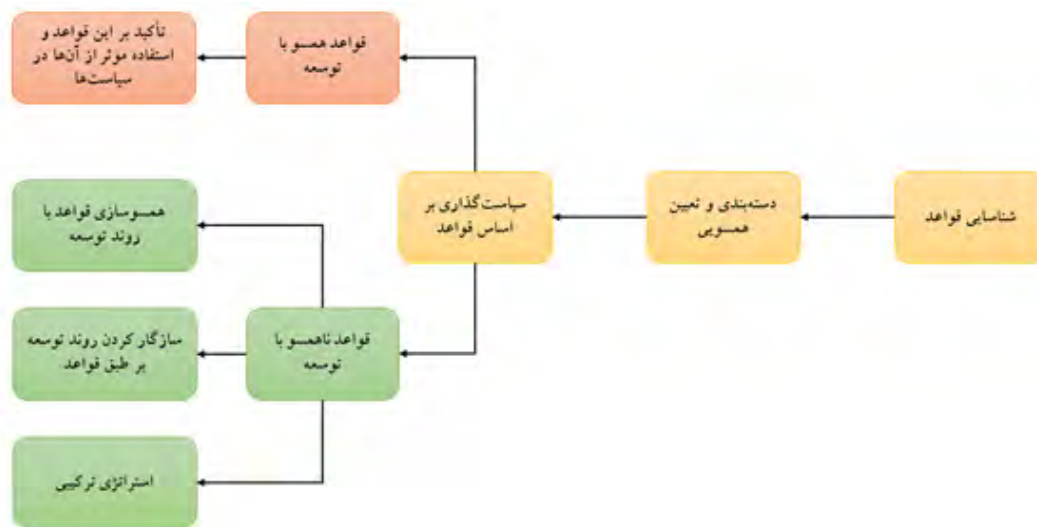
ضعف این رویکرد در این نکته خلاصه می‌شود که در مرحله شکل‌گیری سیستم نوآوری فناوریانه، به سبب مشخصات و ویژگی‌های نظام، شاخص‌های مرتبط با خروجی به خوبی مبین عملکرد نظام نیستند و نباید برای آن‌ها ارزش بسیار قائل شد. اما با در نظر گرفتن زمانی طولانی از شروع فرایند توسعه فناوری، خروجی معیاری اصلی برای ارزیابی سیستم نوآوری فناوریانه است. معروف‌ترین کاربرد این رویکرد عبارت است از اجرای پروژه نظام فناوری سوئد و رقابت‌پذیری آینده^۱ در سال ۱۹۸۷ (Jacobsson and Oskarsson, 1995).

۲. تحلیل بر پایه عوامل ساختاری نظام

این رویکرد ابتدایی‌ترین رویکرد تحلیل TIS شناخته می‌شود. در ادبیات مطالعات سیستمی، هر سیستم مؤلفه‌ها و عناصر ساختاری دارد و به سبب تعاملات این عناصر ساختاری، خروجی مشخصی از سیستم مشاهده می‌شود. همچنین تغییر در مؤلفه‌ها، عناصر ساختاری، و تعاملات آن‌ها باعث تغییر در خروجی نظام می‌شود. بیشترین کاربرد این رویکرد به دهه ۱۹۹۰ بازمی‌گردد. مثلاً مارکارد و تروفور (2008) به تحلیل سیستم نوآوری فناوریانه از دید بازیگران می‌پردازند. آن‌ها توضیح می‌دهند که مجموعه منابع در دسترس و نیز راهبردهایی که بازیگران به کار می‌گیرند به اثرگذاری در خروجی سیستم نوآوری فناوریانه از طریق اثرگذاری



شکل ۳: فرایند اثرگذاری بازیگران در عملکرد سیستم نوآوری فناوریانه



شکل ۴: چارچوب تحلیل نهادی سیستم نوآوری فناوریانه

بستر زمانی مطالعه می‌کنند تا کارکردهای مرتبط با این فرایندها را شناسایی کنند؛ به عبارت دیگر، این گروه کارکردها را فرایندهای ایجاد ساختار در نظر می‌گیرند.

از مطالعات اولیه در این حوزه می‌توان به مقالات جانسون در سال‌های ۱۹۹۹ و ۲۰۰۱ اشاره کرد. پس از آن جانسون و جاکوبسون (۲۰۰۱) بر اساس این رویکرد به سیستم نوآوری فناوریانه سوئد در فناوری‌های تجدیدپذیر نظیر زیست توده، خورشید و باد پرداختند.

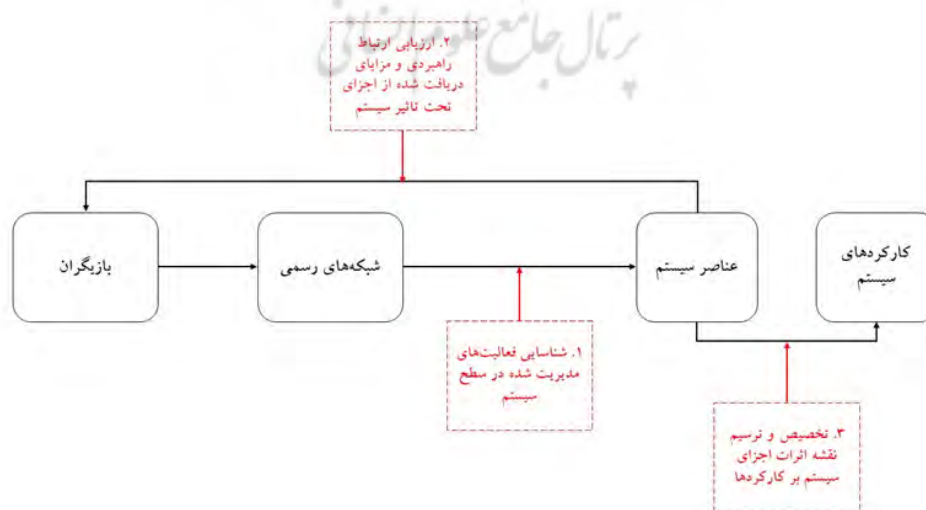
علاوه بر این، برگک و جاکوبسون (۲۰۰۳) به تحلیل و مقایسه سیستم نوآوری فناوریانه آلمان، سوئد و هلند بر اساس رویکرد کارکردی پرداخته‌اند.

مقاله برگک و دیگران (۲۰۰۸) پرستادترین مقاله در حوزه تحلیل کارکردی سیستم نوآوری فناوریانه است. آن‌ها در این مقاله یک متدولوژی برای تحلیل سیستم نوآوری فناوریانه بر اساس

و فناوری‌ها باید به‌درستی هدایت شوند تا کارکردهای سیستم بهبود پیدا کنند و در نتیجه احتمال انتشار فناوری افزایش یابد.

در ادبیات، دو رویکرد عمده به کارکردها مطرح بوده است. رویکرد اول تلقی کارکردها به صورت فعالیت‌هاست که از پیشگامان آن هکرت و نگرو (۲۰۰۹) بوده‌اند. رویکرد دوم تلقی کارکردها به صورت فرایند است که پیشگامان آن نیز جاکوبسون و برگک (۲۰۰۶) بوده‌اند. بر اساس این دو تلقی از کارکردها، تحلیل‌های گوناگونی از آن‌ها شده است.

مطالعه بر اساس کارکردها نیز بر پایه دو منطق انجام شده است. گروه اول الگوهای کارکردی را، در مراحل مختلف چرخه عمر صنعت، در شرایط متفاوت مطالعه می‌کنند و سپس بر اساس یافته‌هایشان درباره کارکردها تحقیق می‌کنند؛ به عبارت دیگر، این گروه کارکردها را زیرفرایندهای نوآوری در نظر می‌گیرند. گروه دوم ورود بازیگران، شکل‌گیری تعاملات و ایجاد نهادها را در یک



شکل ۵: چارچوب تحلیل شبکه‌ها در سیستم نوآوری فناوریانه (Musiolik et al., 2012)



شکل ۶: چارچوب تحلیل کارکردی بر اساس کارکردها (Bergek et al., 2008)

روند رشد نظام توسعه فناوری را در طول زمان به نمایش می‌گذارد و الگویی مناسب در برآوردن کارکردها ارائه می‌دهد. هدایت فعالان مختلف در پرداختن به فعالیت‌ها بر طبق الگوی توالی کارکردهای این موتورها در هر دوره زمانی رشد موفق سیستم در آن دوره را تضمین می‌کند. چهار موتور محرك علم و فناوری،^۱ کارآفرینی،^۲ شکل‌دهی به سیستم،^۳ و بازار^۴ وجود دارند که در دوره‌های زمانی مختلف از رشد موفق نظام شکل می‌گیرند. چارچوب زیربنایی تحلیل بر پایه موتورهای نوآوری بر این نظر استوار می‌شود که ظهور هر موتور زمینه را برای ظهور موتور دیگر فراهم می‌کند و هر موتور بر پایه موتورهای قبل از خود بنا می‌شود و تعدادی از حلقه‌های موتورهای قبلی را نیز دربر می‌گیرد. در حین بررسی موتورهای نوآوری، مشاهده می‌شود که بعضی از موتورها در ادامه ظهور موتورهای دیگر ظاهر می‌شوند.

کارکردها ارائه می‌دهند که شکل زیر مراحل آن را نشان می‌دهد.

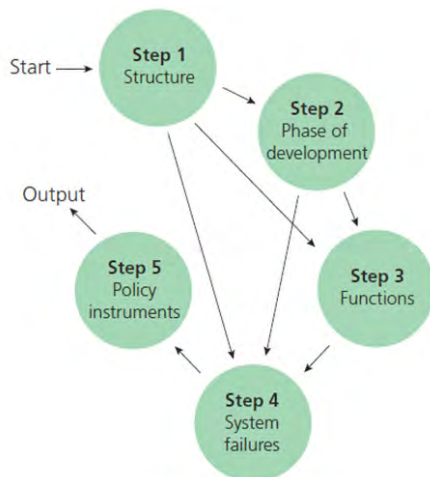
۴. تحلیل بر پایه دینامیک بین کارکردها

یکی از رویکردهای ارزیابی سیستم نوآوری فناورانه ارزیابی کردن عملکرد تجمعی نظام است. این مفهوم با موتورهای نوآوری ارتباط دارد (Suurs and Hekkert, 2009). در این رویکرد، نظام بر پایه ارزیابی چرخه‌های مثبت و منفی تحلیل می‌شود. به‌طور دقیق‌تر، قوت‌ها و ضعف‌های موجود بر سر راه تکامل موتور نوآوری فعال شناسایی می‌شود. کمک اصلی ادبیات سیستم نوآوری به مطالعات گذار فراهم‌آوردن کانون تمرکز بر روی موتورهای نوآوری است که آن موانع و محرك‌های کارکردی و ساختاری را بیان می‌کند که معمولاً در چرخه‌های مثبت و منفی معنی پیدا می‌کنند. هر موتور نوآوری



شکل ۷: مدل توالی نوآوری

1. Science and Technology Push (STP) Motor
2. Entrepreneurial Motor
3. System Building Motor
4. Market Motor



شکل ۸: مراحل تحلیل کارکردی - ساختاری (Wieczorek and Hekkert, 2012)

(Suurs and Hekkert, 2009). همچنین در فاز شکل‌گیری، عوامل ساختاری از کارکردها بازخورد می‌گیرند (Markard and Truffer, 2008; Bergek et al., 2008).

این رویکرد بیان می‌کند که برای دست‌یافتن به خروجی مناسب، باید ساختاری مناسب وجود داشته باشد که این خروجی را شکل دهد. در واقع، این رویکرد دو رویکرد ساختاری و کارکردی را با هم در نظر می‌گیرد و به شناسایی مشکلات ساختاری موجود در هر یک از کارکردهای نظام می‌پردازد.

به عبارت دیگر، در تحلیل توأمان کارکردی - ساختاری، عوامل ساختاری ضعیف مرتبط با هر یک از کارکردها شناسایی و از طریق کاربست ابزارها و توصیه‌های سیاستی عنصر ساختاری ضعیف تقویت می‌شوند و بدین ترتیب مشکلات موجود بر سر راه توسعه نظام برداشته می‌شوند. در این رویکرد ایده اصلی بر این استوار است که بر اساس رابطه و تأثیر متقابل کارکردها و عوامل ساختاری، علت ضعف یا قوت هر یک از کارکردهای سیستم عوامل ساختاری مرتبط با آن کارکردند (Markard et al., 2012; Truffer et al., 2009).

علاوه بر مزیت در نظر گرفتن توأمان عوامل کارکردی و ساختاری، نحوه شناسایی مشکلات سیستمی و دسته‌بندی این مشکلات نیز در این روش به شکلی جامع است. این روش، پس از تعیین مشکلات سیستمی، پیشنهادها و سیاستی را نیز دقیق‌تر ارائه می‌کند، بدین معنا که کاملاً مشخص است که هر سیاست خاص با کدام جزء ساختاری و کدام کارکرد مرتبط است. ضعف این رویکرد در توجه‌نداشتن به تعاملات بین کارکردها و تحلیل هر کارکرد به صورت مجرد است. شکل ۸ مراحل تحلیل کارکردی - ساختاری را بر اساس نظر وایزورک و هکرت (2012) نشان می‌دهد.

جدول ۵ نشان می‌دهد چگونه از تحلیل‌های زوجی کارکردی - ساختاری می‌توان برای شناسایی مشکلات سیستمی استفاده کرد. ضعف هر یک از کارکردها را می‌توان از جانب هر یک از عناصر

همچنین در هر موتور حلقه‌هایی از موتورهای قبلی وجود دارد که نشان‌دهنده توالی میان موتورهای مختلف است. با فرض ظهور یک موتور بر پایه حلقه‌های موتورهای قبلی، باید مشخص کرد که ترتیب فعال‌شدن موتورها چگونه باید باشد و چه موتوری باید در هر دوره از توسعه فناوری مدنظر قرار گیرد.

با توجه به توضیحات بالا، ترتیب مطلوب مشاهده‌شده در راه‌اندازی موتورهای نوآوری در مسیر توسعه سیستم نوآوری فناورانه به ترتیب موتور محرک علم و فناوری، موتور کارآفرینی، موتور ساختاردهی و موتور بازار است. بنابراین، می‌توان گفت در مسیر توسعه سیستم‌های نوآوری فناورانه، در هر مرحله از بلوغ نظام، لازم است به توسعه از منظری مشخص پرداخته شود. بر این اساس، باید در مرحله آغاز توسعه سیستم نوآوری فناورانه بر موتور محرک علم و فناوری تمرکز شود، در مرحله طفولیت موتور کارآفرینی در مرکز توجه باشد، در مرحله بلوغ موتور ساختاردهی و در مرحله تکامل هم موتور بازار مورد توجه و سیاست‌گذاری قرار گیرد. در این توالی، ظهور هر موتور وابسته به ظهور موتور ماقبل آن است.

از مهم‌ترین موارد کاربرد این رویکرد می‌توان به مطالعات سورس و دیگران (Suurs et al., 2010; 2009) اشاره کرد که به ترتیب روند توسعه فناوری‌های هیدروژن و پیل سوختی و گاز طبیعی به‌منزله سوخت خودرو در هلند را با استفاده از رویکرد سیستم نوآوری فناورانه بررسی می‌کنند. در این دو مطالعه چهار مرحله شکل‌گیری این نظام از منظر پویایی کارکردی تحلیل می‌شود و عملکرد مسیر توسعه در هر مرحله با شناسایی موانع و محرک‌های موجود سنجیده می‌شود. ون آلفن و همکارانش (2009b)، با به‌کارگیری رویکردی مشابه، به بررسی عملکرد سیستم نوآوری فناورانه سیستم‌های ذخیره‌سازی دی‌اکسید کربن در نروژ می‌پردازند. این نظام در طول دو دوره زمانی بررسی و در هر دوره تعاملات میان کارکردها تحلیل می‌شود. سپس عملکرد فعلی این نظام ارزیابی و مهم‌ترین مکانیسم‌های محرک و بازدارنده مربوط به هر یک از کارکردها شناسایی می‌شود. ون آلفن و همکارانش (Van Alphen et al., 2009b) این تحلیل را در مورد امریکا نیز انجام می‌دهند. آلكماد و همکارانش (2007) نیز به بررسی روند توسعه فناوری باد در امریکا بر اساس نمایش پویایی سیستم در طول زمان پرداخته‌اند. همچنین معلمی و همکارانش (2012)، با در نظر گرفتن پویایی کارکردی نظام، به تحلیل عملکرد توسعه فناوری پیل سوختی در ایران پرداخته‌اند.

۵. تحلیل توأمان کارکردی - ساختاری

بر اساس اکثر مقالات حوزه TIS و آرای محققان این حوزه، اجزای ساختاری سیستم نوآوری فناوری در کارکردها تأثیرگذارند. کارکردها مشخص می‌کنند ساختار چگونه توسعه پیدا کند

جدول ۵: شناسایی مسائل سیستمی در هریک از اجزای ساختاری کارکردها (Wieczorek and Hekkert, 2012)

نوع مشکل سیستمی	مشکل سیستمی	عنصر ساختاری	کارکرد سیستم
وجود	مشکلات بازیگران	بازیگران	فعالیت‌های کارآفرینی
قابلیت			
وجود	مشکلات تعاملات	تعاملات	
شدت			
وجود	مشکلات نهادی	نهادی	
قابلیت			
وجود	مشکلات زیرساختی	زیرساختی	
کیفیت			

درجهت تعریف و دسته‌بندی این مشکلات بسیار محدود است. هریک از صاحب‌نظران دسته‌بندی خود را از مشکلات سیستمی سیستم نوآوری فناورانه ارائه داده‌اند. جاکوبسون و جانسون (2000) در تحلیلشان در خصوص نظام انرژی‌های نو سوئد تعدادی از عوامل بازدارنده توسعه و نیز انتشار فناوری را شناسایی کردند. عوامل بازدارنده هریک از عناصر مورد بررسی شناسایی شده و شامل بخش‌های زیر بوده است: بازیگران و بازار، شبکه‌ها و نهادها. این دسته‌بندی با دسته‌بندی چمپنید و ادکوئیست (2010) کاملاً سازگار است که شامل دسته‌های زیر بود: مشکلات تأمین زیرساخت و سرمایه‌گذاری، مشکلات گذار،^۴ مشکلات نهادی (سخت و نرم)، مشکلات قفل‌شدگی،^۵ مشکلات یادگیری و توانایی، مشکلات مربوط به شبکه،^۶ مکانیسم‌های غیرتعادلی بهره‌برداری - اکتشاف^۷ و مشکلات تکمیل‌شوندگی.^۸ اسمیت نیز چهار دسته از «شکست‌های» سیستمی را نام می‌برد: شکست در تأمین زیرساخت‌ها و سرمایه‌گذاری، شکست‌های مربوط به گذار، شکست‌های قفل‌شدگی و شکست‌های نهادی (Smits and Kuhlmann, 2004).

دسته‌بندی OECD از شکست‌های سیستمی که در سال ۱۹۹۷ منتشر شد عبارت است از: کمبود تعاملات بین بازیگران، عدم تطابق بین پژوهش‌های بنیادی و کاربردی، عملکرد نامطلوب نهادهای انتقال فناوری و ناکارایی جذبی و اطلاعاتی در طرف بنگاه‌های کسب‌وکار. وایزورک و هکرت (2012) در روش‌شناسی خود برای تحلیل سیستم نوآوری فناورانه، دسته‌بندی جامعی از انواع مشکلات سیستمی ارائه کرده‌اند که همه مشکلاتی را که دیگران شناسایی کرده‌اند نیز دربر می‌گیرد. جدول زیر جمع‌بندی مشکلات سیستمی اشاره‌شده در مطالعات مختلف را نشان می‌دهد.

ساختاری‌شان یعنی بازیگران، نهادها، تعاملات یا زیرساخت‌ها و از دو جنبه بررسی کرد. جنبه اول اینکه آیا مشکلی در ارتباط با وجود هریک از این اجزا بروز می‌کند؛ مثلاً کارآفرینان مشخص مشارکت نمی‌کنند یا قوانین ثبت اختراع یا کمک‌های مالی احداث واحدهای پالوت وجود ندارد. جنبه دوم زمانی است که مشکلی در زمینه ظرفیت و توانایی هریک از عناصر ساختاری وجود دارد؛ مثلاً توانایی بازیگران برای نوآوری و برای شناسایی راهبردهای مناسب کافی نیست. بنابراین، انتخاب‌های آن‌ها به هیچ‌خروجی موفقی نمی‌انجامد یا تعدادی از بازیگران به دنبال تسلط بر بازیگران دیگر هستند یا با وجود حجم عظیمی از دانش در حوزه یک فناوری خاص، این اطلاعات به راحتی در دسترس نیست. چنین تحلیلی ممکن است برای کلیه کارکردها صورت پذیرد تا دقیقاً مشخص شود که منشأ مسائل نظام فناورانه چیست. جدول زیر مشکلات سیستمی سیستم نوآوری را بر اساس تحلیل زوجی کارکردی - ساختاری مثلاً برای کارکرد کارآفرینی نشان می‌دهد. در ادامه می‌توان مسائل سیستمی را در جدولی به شکل جدول ۵ آورد تا مشخص شود کدام یک از اجزای ساختاری هریک از کارکردها مانع ایجاد کرده است.

خروجی روش‌های تحلیل: مسائل سیستمی

بر اساس روش‌های گوناگون تحلیل سیستم‌های نوآوری فناورانه که توضیح آن‌ها ارائه شد، مشکلاتی که توسعه سیستم نوآوری را به تأخیر می‌اندازند عبارت‌اند از: مسئله^۱ شکست^۲ یا ضعف^۳ سیستمی. با وجود این مطالعات و نیاز به توجه به مشکلات سیستمی در حکم یک شاخه مهم و اساسی جدید در ادبیات سیاست‌گذاری و تحلیل توسعه فناوری، تعداد منابع منتشرشده

4. Transition Problems

5. Lock-in Problems

6. Network Problems

7. Unbalanced Exploration-exploitation Mechanisms

8. Complementary Problems

1. Problem

2. Failure

3. Weakness

جدول ۶: دسته‌بندی مسائل سیستم نوآوری فناوریانه از منظر محققان

OECD, 1997	Smits and Kuhlmann, 2004	Jacobsson and Johnson, 2000	Woolthuis et al., 2005	Chaminade and Edquist, 2010	Weber and Rohracher, 2012	Wieczorek and Hekkert, 2012		
ضعف در عملکرد و اطلاعات شرکت‌ها	شکست گذار	ارتباط ضعیف با طرف تقاضا	شکست قابلیت‌ها	مسائل مربوط به یادگیری و قابلیت‌ها	عدم‌تقارن اطلاعات	شکست قابلیت‌ها	مسائل بازارگران	وجود
عملکرد نامناسب نهاد‌های انتقال فناوری	شکست نهادی	شکست قانونی	شکست نهاد‌های سخت	مسائل گذار	مسائل سرریز دانش	شکست جهت‌دهی		قابلیت
نبرد تعاملات بین بازیگران	قفل‌شدگی ^۱	ارتباطات ضعیف	شکست نهاد‌های نرم	مسائل نرم و سخت نهادی	نیرو و آوردن هزینه‌ها ^۲	شکست شکل‌دهی به تقاضا	مسائل نهادی	وجود
ناهماهنگی بین تحقیقات پایه و کاربردی	شکست تأمین زیرساخت‌ها و سرمایه‌گذاری	هدایت اشتباه	شکست تعاملات (شبکه‌ها)	مسائل شبکه‌ها	بهره‌برداری بیش از حد از منابع عمومی	شکست همکاری سیستمی		قابلیت
		کنترل بازار ^۳	شکست زیرساختی	مسائل قفل‌شدگی	مسائل زیرساختی	شکست بازتاب‌پذیری ^۴	مسائل تعاملات	وجود
		شکست نظام آموزش		مسائل تکامل	مسائل نهادی	شکست شبکه‌ها و تعاملات		کیفیت/شدت
				مسائل تأمین زیرساخت‌ها			مسائل	وجود
				مسائل سرمایه‌گذاری			مسائل زیرساختی	کیفیت/ظرفیت

1. Lock-in Failure
2. Externalization of Costs
3. Market Control by Incumbents
4. Reflexivity Failure

نتیجه گیری

در مقاله حاضر، مروری بر ویژگی‌ها، اجزا و روش‌های تحلیل سیستم نوآوری فناورانه، به‌منزله یکی از رویکردهای تکاملی در تحلیل نوآوری، انجام گرفت. در این راستا، پس از بیان تعاریف و اجزای سیستم نوآوری فناورانه، روش‌های تحلیل آن ارائه شد و در نهایت، مجموعه مشکلات و مسائلی که نویسندگان بسیاری آن‌ها را در قالب روش‌های مختلف تحلیل استخراج کرده بودند بررسی شد.

به‌طورکلی می‌توان دو دسته کلی برای مطالعات سیستم نوآوری فناورانه در نظر گرفت: دسته اول مطالعات نظری است که در آن‌ها نویسندگان تلاش کرده‌اند به مباحثی همچون تعاریف، تعیین مرز نظام و تعریف و دسته‌بندی اجزای نظام شامل عناصر ساختاری، کارکردی و زمینه‌ای بپردازند.

دسته دوم تحقیقات کاربردی است که فعالان در آن سیستم نوآوری فناورانه را در حکم ابزاری برای تحلیل و سیاست‌گذاری توسعه فناوری در مورد فناوری‌ها و بخش‌های گوناگون به‌صورت عملی به‌کار گرفته‌اند. در سیر تاریخی مطالعات TIS، دو دسته اشاره‌شده به‌تناسب و هم‌زمان تکامل یافته‌اند.

به‌طورکلی از چارچوب سیستم نوآوری فناورانه، به‌علت ماهیت تحلیلی و کاربردی بودن آن، بیشتر از دیگر رویکردهای تحلیل گذار فناورانه استفاده شده است. اگرچه در ابتدا عمده کاربرد این رویکرد در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر خلاصه می‌شد، در سال‌های اخیر، این رویکرد در حوزه‌های دیگری همچون سلامت، کشاورزی، نفت و گاز، و نانو نیز به‌منظور تحلیل گذارهای فناورانه و سیاست‌گذاری‌های مرتبط با تحریک نوآوری مورد توجه و استفاده قرار گرفته است.

در حال حاضر، محققان این حوزه در صدد ترکیب TIS با چارچوب‌های مکمل در حوزه تحلیل مسائل و موانع توسعه فناوری و نیز توسعه پیشنهاد‌های سیاستی هستند که ضعف‌های مطالعات قبلی را پوشش دهد و، با ایجاد جامعیت بیشتر به این چارچوب، ابزاری کامل‌تر در اختیار سیاست‌پژوهان و سیاست‌گذاران توسعه فناوری قرار دهد.

منابع

- Bergek, A., Jacobsson, S., Carlsson, B., Lindmark, S. and Rickne, A. (2008). "Analyzing the Functional Dynamics of Technological Innovation Systems: A Scheme of Analysis". *Research Policy*, 37, 407-429.
- Carlsson, B. (2006). "Internationalization of Innovation Systems: A Survey of the Literature". *Research Policy*, 35, 56-67.
- Carlsson, B. and Stankiewicz, R. (1991). "On the Nature, Function and Composition of Technological Systems". *Journal of Evolutionary Economics*, 1, 93-118.
- Edquist, C. (1997). *Systems of Innovation: Technologies, Institutions and Organizations*, Psychology Press.
- Edquist, C. (2010). "Systems of Innovation Perspectives and Challenges". *African Journal of Science, Technology, Innovation and Development*, 2, 14-45.
- Geels, F. W. (2002). "Technological Transitions as Evolutionary Reconfiguration Processes: A Multi-Level Perspective and a Case-Study". *Research Policy*, 31, 1257-1274.
- Hekkert, M. P., Suurs, R. A., Negro, S. O., Kuhlmann, S. and Smits, R. E. (2007). "Functions of Innovation Systems: A New Approach for Analysing Technological Change". *Technological Forecasting and Social Change*, 74, 413-432.
- Hellsmark, H. (2010). *Unfolding the Formative Phase of Gasified Biomass in the European Union: The Role of System Builders in Realising the Potential of Second-Generation Transportation Fuels from Biomass*. Chalmers University of Technology.
- Jacobsson, S. and Bergek, A. (2011). "Innovation System Analyses and Sustainability Transitions: Contributions and Suggestions for Research". *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 1, 41-57.
- Jacobsson, S. and Johnson, A. (2000). "The Diffusion of Renewable Energy Technology: An Analytical Framework and Key Issues for Research". *Energy Policy*, 28, 625-640.
- Malerba, F. (2004). *Sectoral Systems of Innovation: Concepts, Issues and Analyses of Six Major Sectors in Europe*. Cambridge University Press.
- Markard, J., Raven, R. and Truffer, B. (2012). "Sustainability Transitions: An Emerging Field of Research and Its
- Bergek, A., Hekkert, M., Jacobsson, S., Markard, J., Sanden, B. and Truffer, B. (2015). "Technological Innovation Systems in Contexts: Conceptualizing Contextual Structures and Interaction Dynamics." *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 16, 51-64.

- Pospects". *Research Policy*, 41, 955-967.
- Rip, A. and Kemp, R. (1998). *Technological Change*. Battelle Press.
- Ryan, G. W. and Bernard, H. R. (2000). *Data Management and Analysis Methods*.
- Smits, R. and Kuhlmann, S. (2004). "The Rise of Systemic Instruments in Innovation Policy". *International Journal of Foresight and Innovation Policy*, 1, 32-34.
- Moallemi, E. A., Ahmadi, A., Afrazeh, A. and Bagheri Moghaddam, N. (2012). *Designing A Model for Identifying Drivers and Barriers in The Formation of Technological Innovation Systems: The Case of Fuel Cell Technology*. Tehran: IRAMOT, The 2nd Internation Conference of Management of Technology.
- Suurs, R. A. and Hekkert, M. P. (2009). "Cumulative Causation in the Formation of a Technological Innovation System: The Case of Biofuels in the Netherlands". *Technological Forecasting and Social Change*, 76, 1003-1020.
- Truffer, B., Rohracher, H. and Markard, J. (2009). "The Analysis of Institutions in Technological Innovation Systems-A Conceptual Framework Applied to Biogas Development in Austria". *Copenhagen: Copenhagen Business School*, 7.
- Van Alphen, K., Hekkert, M. P. and Turkenburg, W. C. (2009a). "Comparing the Development and Deployment of Carbon Capture and Storage Technologies in Norway, the Netherlands, Australia, Canada and the United States-An Innovation System Perspective". *Energy Procedia*, 1, 4591-4599.
- Van Alphen, K., Van Ruijven, J., Kasa, S., Hekkert, M. and Turkenburg, W. (2009b). "The Performance of the Norwegian Carbon Dioxide, Capture and Storage Innovation System". *Energy Policy*, 37, 43-55.
- Weber, K. M. and Rohracher, H. (2012). "Legitimizing Research, Technology and Innovation Policies for Transformative Change: Combining Insights from Innovation Systems and Multi-Level Perspective in a Comprehensive 'Failures' Framework". *Research Policy*, 41, 1037-1047.
- Wieczorek, A. J. and Hekkert, M. P. (2012). "Systemic Instruments for Systemic Innovation Problems: A Framework for Policy Makers and Innovation Scholars". *Science and Public Policy*, 39, 74-87.
- Wieczorek, A. J., Hekkert, M. P., Coenen, L. and Harmsen, R. (2015). "Broadening the National Focus in Technological Innovation System Analysis: The Case of Offshore Wind". *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 14, 128-148.