فصلنامه علمی - ترویجی
سیاست‌نامه علم و فناوری
دورهٔ ۵، شمارهٔ ۱، بهار ۱۳۹۴

معیارهایی برای مقایسه و دسته‌بندی مدل‌های پایش و ارزیابی نظام‌های علم، فناوری و نوآوری

علی ملکی[۱]
نجم‌الدین یزدی[۲]

چکیده

در جهان امروز، که اقتصاد دانش‌بنیان در رفاه و رونق ملل و دستیابی به توسعهٔ اقتصادی پایدار سهمی اساسی دارد، تقاضا برای ارزیابی وضعیت علم، فناوری و نوآوری در کشورها رو به افزایش است. پایش و ارزیابی علم و فناوری در سطح ملی با مبحث شاخص‌های علم و فناوری و نوآوری و مدل مفهومی، که شاخص‌ها بر روی آن سوار می‌شوند، درهم آمیخته است. این پژوهشِ در پی کمک به سیاست‌گذار در طراحی مدل‌های ملی از طریق مقایسه، دسته‌بندی، الگوبرداری و استفادهٔ روش‌مند از انبوهی از مدل‌های متنوع ارزیابی نظام علم، فناوری و نوآوری است که سازمان‌های بین‌المللی و کشورها آن‌ها را به شکلی گسسته از هم توسعه داده‌اند.

برای این منظور شش معیار برای دسته‌بندی و مقایسهٔ این مدل‌ها پیشنهاد شده‌اند که عبارت‌اند از پوشش (جامعیت)، پیاده‌سازی، سادگی، مقایسه‌پذیری، اهداف، و کارکردها (چارچوب سیسکاف)[۳] این معیارها مبتنی بر مرور ۲۲ مدل مطرح جهانی در قالب پروژهٔ پژوهشی رصد وضعیت علم و فناوری ایران (طی سال‌های ۱۳۹۳-۱۳۹۵) توسعه یافته‌اند. جانمایی تصویری این مدل‌ها برحسب چهار شاخص اول، منجر به طراحی دستگاه مختصات با چهار ربع و شانزده زیرربع شده است. برای معیارهای اهداف و کارکرد، به ترتیب ۷ و ۸ حالت خطی تعریف شده است.

واژگان کلیدی: سیاست علم و فناوری، سیاست نوآوری، پایش و ارزیابی، مدل‌های ملی پایش نظام علم و فناوری و نوآوری.

مقدمه

کشورها در طراحی مدل‌های پایش و ارزیابی نظام علم، فناوری و نوآوری ملی خود باید شاخص‌های مرتبط را در قالب مدلی معنادار جای دهند و ارتباط آن‌ها با یکدیگر را تبیین کنند. در این مورد استفاده از تجارب و مدل‌های دیگر کشورها و سازمان‌های بین‌المللی حائز اهمیت است تا از تلاش‌ها و تجارب پیشین حداکثر بهره برده شود و شاهد سعی و خطاهای مکرر نباشیم. با وجود این، در رجوع به این مدل‌ها متوجه می‌شویم که تعدد و تکثر مدل‌ها و شاخص‌ها با اسامی مختلف (مدل، چارچوب، پلتفرم، شاخص و حتی راهنما) و مضامین متفاوت (اقتصاد، نوآوری، نیروی کار، آموزش، فناوری، یادگیری) ما را در جمع‌بندی و امکان بهره‌برداری از مدل‌های پیشین با دشواری‌های بسیاری مواجه می‌کند. این دشواری‌ها اولین‌بار طی پروژهٔ پایش وضعیت علم و فناوری کشور، که معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری در سال ۱۳۹۳ به پژوهشکدهٔ سیاست‌گذاری علم، فناوری و صنعت دانشگاه صنعتی شریف واگذار کرده بود، نمایان شد و ایدهٔ امکان طرح چارچوب و شاخص‌هایی برای مقایسه و دسته‌بندی این مجموعه مدل‌های متنوع طرح شد.

مبتنی‌بر برگزاری نشست‌های غیررسمی میان پژوهشگران پروژه، مصاحبه با تعدادی از خبرگان حوزه و مرور ادبیات (هرچند ادبیات منسجم و واحدی در این زمینه وجود ندارد، مدل‌ها و

۱. استادیار پژوهشکدهٔ سیاست‌گذاری علم، فناوری و صنعت، دانشگاه صنعتی شریف؛ a.maleki@sharif.edu
۲. دانشجوی دکتری سیاست‌گذاری علم و فناوری دانشگاه علم و صنعت ایران، پژوهشگر پژوهشکدهٔ سیاست‌گذاری علم، فناوری و صنعت، دانشگاه صنعتی شریف؛ najmoddin.yazdi@gmail.com

3. CISCAF Model

منابع بسیار پراکنده‌اند و اولین کار در نوع خود به‌شمار می‌رود)، تجارب حاصل از پروژهٔ مذکور در مورد دسته‌بندی شاخص‌ها و هم‌پوشانی آن‌ها و تطابقشان با مأموریت‌های کشور، و نیز مطالعهٔ تفصیلی ۲۲ مدل مطرح جهانی در این زمینه، مدل پیش‌رو طی دو سال به‌تدریج تکامل یافت و جرح و تعدیل‌هایی در آن صورت گرفت تا به نقطهٔ کنونی رسید.

برای رسیدن به این هدف، مدل‌های متنوعی بررسی شده‌اند که عبارت‌اند از شاخص جهانی نوآوری (GII)[1] (۲۰۱۶)، چارچوب اقتصاد دانش‌بنیان (بانک جهانی، ۲۰۱۶)،[2] چارچوب علم، فناوری و نوآوری کشور کرهٔ جنوبی (این و همکاران، ۲۰۱۶)،[3] مدل پایش علم، فناوری و نوآوری ایالات متحده (لیتان و همکاران، ۲۰۱۳)،[4] شاخص‌های علم، فناوری و نوآوری آنکتاد برای کشورهای در حال توسعه (آنکتاد، ۲۰۱۰)،[5] اسکوربرد نوآوری اتحادیهٔ اروپا (اد ـ سادکی و هالندرز، ۲۰۱۴)،[6] شاخص‌های علم، فناوری و نوآوری هلند (هرتوگ و همکاران، ۲۰۱۲)،[7] راهنمای نوآوری اسلو (سازمان همکاری‌های اقتصادی و توسعه، ۲۰۰۵)،[8] گزارش رقابت‌پذیری جهانی (مجمع جهانی اقتصاد، ۲۰۱۶)،[9] آمار علم، فناوری و نوآوری (یونسکو، ۲۰۱۲)،[10] مدل توانمندی فناورانهٔ آرکو (آرچیبوگی و کوکو، ۲۰۰۴)،[11] عملکرد رقابتی صنعتی (سازمان توسعهٔ صنعتی سازمان ملل، ۲۰۰۲)،[12] گزارش پیونددهی میان فناوری و توسعهٔ انسانی (برنامهٔ توسعهٔ سازمان ملل، ۲۰۰۱)،[13] راهنمای نیروی انسانی نوآوری کانبرا (سازمان همکاری‌های اقتصادی و توسعه، ۱۹۹۵)،[14] چشم‌انداز شماتیک نظام علم، فناوری و نوآوری (هال و جف، ۲۰۱۲)،[15] گزارش انجمن ملی علوم ایالات متحده (۲۰۱۲)،[16] ظرفیت ملی نوآوری (فرمن و همکاران، ۲۰۰۲)،[17] پیوندهای میان تحقیق و توسعه و بهره‌وری اقتصادی (شنکس و ژنگ، ۲۰۰۶)،[18] مدل منطقی تحقیق و توسعهٔ دولتی در حوزهٔ سلامت (سامپات، ۲۰۱۱)،[19] چارچوب چرخهٔ عمر فناوری (تسی، ۲۰۱۱)،[20] دیاگرام شماتیک نظام ملی نوآوری (آنکتاد، ۲۰۱۱)[21] و چشم‌انداز شماتیک نظام نوآوری (جف، ۲۰۱۱).[22] هرچند این مدل‌ها از لحاظ چارچوب کلی و نیز شاخص‌های جای‌دهنده در خود کاملاً متفاوت و گاهی نامرتبط با هم به نظر می‌رسند، اما این ارتباط آن‌ها با حوزهٔ علم، فناوری و نوآوری است که باعث شده است در یک سبد مشترک مقایسه شوند.

گفتنی است نتایج مقطعی کار نخست در کنفرانس انجمن اروپایی مطالعات سیاست‌های تحقیقات و نوآوری اتریش ۲۰۱۶ (ملکی و یزدی، ۲۰۱۶) در قالب چهار معیار دسته‌بندی شد و سپس در ادامه، در کنفرانس بین‌المللی سیاست‌گذاری عمومی ۲۰۱۷ سنگاپور (یزدی و ملکی، ۲۰۱۷)، در قالب دو معیار تکمیلی رفته‌رفته منتشر شد و پژوهشگران به نقد و بررسی آن پرداختند. مقالهٔ پیش‌رو مدلی تجمیعی از نتایج پیش‌تر منتشرشده را نشان می‌دهد.

۱. معیارهای مقایسه و دسته‌بندی

همان‌طور که لیتان و همکاران (۲۰۱۴) بیان کرده‌اند، هر مدل پایش علم و فناوری براساس مجموعه‌ای از دغدغه‌ها، سؤال‌ها، سیاست‌ها و یا اهداف عینی و انتزاعی خاص بنا شده است. بر این اساس، مدل‌های پایش علم و فناوری مدل‌های سیاست ـ محور[23] نامیده شده‌اند تا به بهترین نحو یکتایی، اقتضایی‌بودن و وابستگی این مدل‌ها به سیاست‌های ملی، سازمانی و بین‌المللی زیربنایی را نشان بدهند. به عبارتی این سیاست‌ها و اهداف‌اند که به مدل‌های ملی یا جهانی سمت‌وسو می‌دهند و بسیاری از ویژگی‌های آن، ازجمله انتخاب شاخص‌ها، سطح پیچیدگی، میزان جامعیت و پوشش حوزه‌های علم، فناوری و نوآوری و جهت‌گیری‌های راهبردی را تعیین می‌کنند. مثلاً مشاهده می‌کنیم که مدلی از پایش علم و فناوری که یونسکو ارائه می‌دهد با بن‌مایهٔ آموزش و نیروی انسانی است و شاخص‌هایی را نیز که در خود جای داده از مقایسه‌پذیری و دسترس‌پذیری بین‌المللی بالایی برخوردارند؛ چراکه مأموریت این سازمان چنین اقتضا می‌کند. این در حالی است که در راهنمای

1. Global Innovation Index (GII)
2. Knowledge Economy Framework (WorldBank, 2016)
3. South Korean STI Framework (In et al., 2014)
4. Litan et al. (2012)
5. STI Indicators for Developing Countries (UNCTAD, 2010)
6. EU Innovation Union Scoreboard (Ed-Sadki and Hollanders, 2014)
7. Dutch STI2 Framework (Hertog et al., 2012)
8. Oslo Manual (OECD/ Eurostat, 2005)
9. Global Competitiveness Report (WEF, 2016)
10. UNESCO STI Statistics (UIS, 2012)
11. ArCo Model of Technological Capability (Archibugi and Coco, 2004)
12. Competitive Industrial Performance (UNIDO, 2002)
13. Links between Technology and Human Development (UNDP, 2001)
14. Canberra Manual (OECD/ Eurostat, 1995)
15. Schematic Overview of STI System (Hall and Jaffe, 2012)
16. National Science Board (NSB, 2012)
17. National Innovative Capacity (Furman et al., 2002)
18. Links of R&D and Productivity (Shanks and Zheng, 2006)
19. Logic Model of Publicly Funded R&D in Health (Sampat, 2011)
20. Technology Life Cycle Framework (Tassey, 2011)
21. Schematic Diagram of NSI (UNCTAD, 2011)
22. Schematic Overview of Innovation System (Jaffe, 2011)
23. Policy-driven frameworks

کانبرا با تمرکز منابع انسانی یا راهنمای اسلو با تمرکز بر نوآوری برای کشورهای عضو سازمان همکاری‌های اقتصادی و توسعه، شاهد شاخص‌ها و مدل تحلیلی متفاوتی هستیم.

معیارهای پیشنهادی این مقاله برای دسته‌بندی و مقایسهٔ مدل‌های پایش و ارزیابی نظام‌های علم، فناوری و نوآوری با هدف همین تنوع و تمایز مدل‌ها و دشواری در تحلیل مقایسه‌ای آن‌ها توسعه یافته‌اند. شش معیار پیشنهادی برای دسته‌بندی و مقایسهٔ این مدل‌ها عبارت‌اند از پوشش (جامعیت)، پیاده‌سازی، سادگی، مقایسه‌پذیری، اهداف و کارکردها (چارچوب مقایسهٔ سیسکاف).[1] در ادامه، این شش معیار به ترتیب بررسی می‌شوند. در بخش بعد، مدلی شماتیک از چهار معیار اول ارائه می‌شود و دو معیار اهداف و کارکردها، به علت اتخاذ حالت‌های مختلف در قالب جداولی در بخش مختص به خود، به دسته‌بندی مدل‌ها کمک می‌کنند.

۱-۱. پوشش (جامعیت)

نخستین معیار پیشنهادی میزان پوشش یا جامعیت مدل‌هاست. در مقایسه‌ای حدی، مدل‌های پایش نظام‌های علم، فناوری و نوآوری یا به دنبال حل مسائل اجتماعی و سیاستی خاص با محدودهٔ پوشش تخصصی‌اند، همانند پایش وضعیت علم و فناوری در حوزهٔ سلامت، انرژی یا حل مسئلهٔ بی‌کاری با کمک این حوزه و یا اینکه به دنبال پایش و احصاء وضعیت کلی نظام علم و فناوری یک کشور در جامع‌ترین حالت آن‌اند؛ بدون آنکه حوزه یا مسئلهٔ خاصی مدنظر باشد.

از مدل‌های با پوشش محدود و خاص[2] می‌توان به مدل‌های زیر اشاره کرد:

۱. مدل سامپات (۲۰۱۱) بر حوزهٔ سلامت تمرکز دارد و صرفاً علم و فناوری را در این حوزه پایش می‌کند؛

۲. مدل آرکو (آرچیبوگی و کوکو، ۲۰۰۴) صرفاً بر توانمندی فناورانه تمرکز دارد و بنابراین ابعاد علم و نوآوری و حتی دیگر ابعاد فناوری همانند صادرات و واردات را در نظر نمی‌گیرد؛ زیرا هدف از توسعهٔ مدل تمرکز بر توانمندی فناورانه بوده است؛

۳. گزارش رقابت‌پذیری جهانی (مجمع جهانی اقتصاد، ۲۰۱۶) بر حوزهٔ اقتصاد تمرکز دارد و پارامترهای عملکردی نظام علم، فناوری و نوآوری را، که خارج از ادبیات اقتصاد قرار می‌گیرند، مدنظر قرار نمی‌دهد؛ ٤. راهنمای نیروی انسانی نوآوری کانبرا (سازمان همکاری‌های اقتصادی و توسعه، ۱۹۹۵) نیز صرفاً جنبهٔ نیروی انسانی نظام علم و فناوری را مدنظر قرار می‌دهد و از این‌رو صادرات، تولید محصولات با فناوری پیشرفته، زیرساخت‌ها، محیط کسب‌وکار و غیره را، که در حوزهٔ نظام علم و فناوری و نوآوری قرار می‌گیرند، پوشش نمی‌دهد.

از سوی دیگر، مدل‌هایی همچون شاخص جهانی نوآوری (GII) (۲۰۱٦)، چارچوب اقتصاد دانش‌بنیان (بانک جهانی، ۲۰۱٦)، چارچوب علم، فناوری و نوآوری کشور کرهٔ جنوبی (این و همکاران، ۲۰۱٦)، مدل پایش علم، فناوری و نوآوری ایالات متحده (لیتان و همکاران، ۲۰۱۳)، شاخص‌های علم، فناوری و نوآوری آنکتاد برای کشورهای در حال توسعه (آنکتاد، ۲۰۱۰)، اسکوربرد نوآوری اتحادیهٔ اروپا (اد ـ سادکی و هالندرز، ۲۰۱٤)، شاخص‌های علم، فناوری و نوآوری هلند (هرتوگ و همکاران، ۲۰۱۲)، راهنمای نوآوری اسلو (سازمان همکاری‌های اقتصادی و توسعه، ۲۰۰۵)، چشم‌انداز شماتیک نظام علم، فناوری و نوآوری (هال و جف، ۲۰۱۲)، گزارش انجمن ملی علوم ایالات متحده (۲۰۱۲)، دیاگرام شماتیک نظام ملی نوآوری (آنکتاد، ۲۰۱۱) و چشم‌انداز شماتیک نظام نوآوری (جف، ۲۰۱۱) مدل‌هایی به‌شمار می‌روند که فارغ از بن‌مایهٔ فناوری، نوآوری و یا علمی، محدودهٔ نسبتاً جامعی از هر سه را پوشش داده‌اند و سعی داشته‌اند تصویری جامع از وضعیت علم، فناوری و نوآوری کشور، منطقه یا جهان نشان دهند.

گفتنی است طراحی و مهم‌تر از آن، پیاده‌سازی مدل‌های با پوشش جامع خالی از هزینه نیست و هرچه تعداد شاخص‌ها افزایش یابد یا پیچیدگی و پیشرفتگی آن‌ها بیشتر شود، نیازمند هزینه و زمان بیشتری هستند؛ از این‌رو لازم است دولت‌ها میان میزان سطح پوشش لازم و هزینه و دقت مدنظر موازنه‌ای برقرار سازند. مدل پایشی از نظام علم، فناوری و نوآوری، که جامع باشد، برای تمامی کشورها مفید و لازم است تا برای دستیابی به تصویری کلی از نظام علم و فناوری بتوانند چارچوبی عام و مرجع فراهم سازند؛ البته این نافی مدل‌های با پوشش محدود و مسئله‌محور نیست و این‌گونه مدل‌ها می‌توانند و باید در کنار توسعهٔ مدل‌های جامع پایش نظام علم و فناوری، برحسب مسائل و چالش‌های مختلف ملی و منطقه‌ای طراحی شوند.

۱-۲. مقایسه‌پذیری

این معیار پرکاربردترین معیار مقایسه در ادبیات موضوع است؛ مثلاً شورای ملی تحقیقات آکادمی‌های ملی ایالات متحده[3] به‌منظور بهبود برنامهٔ شاخص‌های علم و فناوری آن کشور، مقایسه‌پذیری بین‌المللی آن‌ها را مدنظر قرار داده است (لیتان و همکاران، ۲۰۱٤). افزون بر گزارش‌های رسمی، پژوهشگران نیز این معیار را به‌منزلهٔ مسائل مهم در توسعهٔ

1. Coverage (Comprehensiveness), Implementation, Simplicity, Comparability, Aims and Functions (CISCAF framework)

2. Niche coverage

3. National Research Council of the National Academies of US (NCSES)

جدول۱: دسته‌بندی مدل‌های پایش نظام‌های علم، فناوری و نوآوری برحسب اهداف

	اهداف	مدل‌های متناظر
۱	بهبود تحقیق و توسعه	۱. پیوندهای میان تحقیق و توسعه و بهره‌وری اقتصادی (شنکس و ژنگ، ۲۰۰۶)؛ ۲. مدل منطقی تحقیق و توسعهٔ دولتی در حوزهٔ سلامت (سامپات، ۲۰۱۱).
۲	توسعهٔ فناوری	۱. مدل توانمندی فناورانهٔ آرکو (آرچیبوگی و کوکو، ۲۰۰۴)؛ ۲. چارچوب چرخهٔ عمر فناوری (تسی، ۲۰۱۱).
۳	توسعهٔ نوآوری	۱. شاخص جهانی نوآوری (۲۰۱۶)؛ ۲. اسکوربرد نوآوری اتحادیهٔ اروپا (اد ـ سادکی و هالندرز، ۲۰۱۴)؛ ۳. راهنمای نوآوری اسلو (سازمان همکاری‌های اقتصادی و توسعه، ۲۰۰۵)؛ ۴. ظرفیت ملی نوآوری (فرمن و همکاران، ۲۰۰۲)؛ ۵. دیاگرام شماتیک نظام ملی نوآوری (آنکتاد، ۲۰۱۱)؛ ۶. چشم‌انداز شماتیک نظام نوآوری (جف، ۲۰۱۱).
۴	توسعهٔ علم، فناوری، نوآوری و تحقیقات	۱. چارچوب علم، فناوری و نوآوری کشور کرهٔ جنوبی (این و همکاران، ۲۰۱۶)؛ ۲. مدل پایش علم، فناوری و نوآوری ایالات متحده (لیتان و همکاران، ۲۰۱۳)؛ ۳. شاخص‌های علم، فناوری و نوآوری آنکتاد برای کشورهای در حال توسعه (آنکتاد، ۲۰۱۰)؛ ۴. شاخص‌های علم، فناوری و نوآوری هلند (هرتوگ و همکاران، ۲۰۱۲)؛ ۵. چشم‌انداز شماتیک نظام علم، فناوری و نوآوری (هال و جف، ۲۰۱۲)؛ ۶. گزارش انجمن ملی علوم ایالات متحده (۲۰۱۲).
۵	توسعهٔ اقتصادی و صنعتی	۱. چارچوب اقتصاد دانش‌بنیان (بانک جهانی، ۲۰۱۶)؛ ۲. گزارش رقابت‌پذیری جهانی (مجمع جهانی اقتصاد، ۲۰۱۶)؛ ۳. عملکرد رقابتی صنعتی (سازمان توسعهٔ صنعتی سازمان ملل، ۲۰۰۲)؛ ۴. پیوندهای میان تحقیق و توسعه و بهره‌وری اقتصادی (شنکس و ژنگ، ۲۰۰۶).
۶	توسعهٔ منابع انسانی	۱. آمار علم، فناوری و نوآوری (یونسکو، ۲۰۱۲)؛ ۲. گزارش پیونددهی میان فناوری و توسعهٔ انسانی (برنامهٔ توسعهٔ سازمان ملل، ۲۰۰۱)؛ ۳. راهنمای نیروی انسانی نوآوری کانبرا (سازمان همکاری‌های اقتصادی و توسعه، ۱۹۹۵).

شاخص‌های علم، فناوری و نوآوری برشمرده‌اند (مثلاً بار،[1] ۲۰۰۹؛ لپوری[2] و همکاران، ۲۰۰۸؛ رئال[3] و همکاران، ۲۰۱۲). مدل پایشی مقایسه‌پذیر خوانده می‌شود که شاخص‌های جزئی، شاخص‌های کلان و مؤلفه‌های اصلی آن با تعداد درخور توجهی از مدل‌های پایش شناخته‌شده در زمینهٔ علم، فناوری و نوآوری مقایسه‌شدنی است.

برای مثال چارچوب علم، فناوری و نوآوری کشور کرهٔ جنوبی (این و همکاران، ۲۰۱۶) مدلی مقایسه‌پذیر است؛ زیرا اولاً از مؤلفه‌های اصلی محیط فرهنگی، زیرساخت، فعالیت‌های تحقیق و توسعه و کارآفرینی، منابع انسانی و سازمانی و عملکرد علمی و فناوری (شاخص‌های خروجی) تشکیل شده است، که در دیگر مدل‌های مطرح پرتکرارند، و دوم اینکه شاخص‌های آن، از جمله تعداد پژوهشگران، تعداد ثبت اختراع‌ها، تعداد مقاله‌ها، هزینه‌کرد تحقیق و توسعه از طریق بنگاه‌ها[4] یا از طریق دولت،[5] و صادرات محصولات با فناوری پیشرفته شاخص‌هایی‌اند که در دیگر مدل‌های مطرح جهانی، همانند شاخص جهانی نوآوری یا چارچوب اقتصاد دانش‌بنیان بانک جهانی پوشش داده شده‌اند. فقط دو شاخص تجمعی از مقالات و ثبت اختراعات در مدل کرهٔ جنوبی هستند که در دیگر مدل‌ها دیده نمی‌شوند، اما داده‌های خام آن‌ها برای محاسبهٔ سایر کشورها در پایگاه‌های دادهٔ مربوطه در دسترس است.

از سوی دیگر مدل‌هایی را شاهدیم که مقایسه‌پذیری حداقلی دارند؛ زیرا یا به صورت کاملاً سفارشی برای مسئله‌ای خاص توسعه یافته‌اند یا بعضاً پارامتر مقایسه‌پذیری در هنگام توسعهٔ مدل

1. Barre
2. Lepori
3. Reale
4. BERD: Business Expenditure in R&D
5. GERD: Government Expenditure in R&D

جدول۲: دسته‌بندی مدل‌های پایش نظام‌های علم، فناوری و نوآوری برحسب کارکردهای تحت پوشش

مدل	منابع انسانی، نیروی کار و آموزش	بنگاه‌ها و بخش خصوصی، کارآفرینی، صنعت	نهادها	زیرساخت‌های فناوری اطلاعات و ارتباطات و زیرساخت‌های فیزیکی	محیط‌های آموزش، اشتغال، تجارت، حقوقی، مالکیت فکری و کسب‌وکار	خروجی‌های علمی، بازار، صادرات و تجارت	فعالیت‌ها و منابع تحقیق و توسعه	تأمین مالی و هزینه‌کردهای نظام علم، فناوری و نوآوری
اسکوربرد نوآوری اتحادیهٔ اروپا (اد ـ سادکی و هالندرز، ۲۰۱۴)	●	●			●	●	●	●
آمار علم، فناوری و نوآوری (یونسکو، ۲۰۱۲)	●	●	●	●	●	●	●	●
پیوندهای میان تحقیق و توسعه و بهره‌وری اقتصادی (شنکس و ژنگ، ۲۰۰۶)	●	●				●	●	●
چارچوب اقتصاد دانش‌بنیان (بانک جهانی، ۲۰۱۶)	●			●	●	●		
چارچوب چرخهٔ عمر فناوری (تسی، ۲۰۱۱)	●	●		●	●			●
چارچوب علم، فناوری و نوآوری کشور کرهٔ جنوبی (این و همکاران، ۲۰۱۶)	●	●	●	●	●	●	●	●
چشم‌انداز شماتیک نظام علم، فناوری و نوآوری (هال و جف، ۲۰۱۲)	●	●	●			●		
چشم‌انداز شماتیک نظام نوآوری (جف، ۲۰۱۱)	●	●	●			●		
دیاگرام شماتیک نظام ملی نوآوری (آنکتاد، ۲۰۱۱)	●	●	●	●	●	●	●	●
راهنمای نوآوری اسلو (سازمان همکاری‌های اقتصادی و توسعه، ۲۰۰۵)	●	●	●	●	●		●	
راهنمای نیروی انسانی نوآوری کانبرا (سازمان همکاری‌های اقتصادی و توسعه، ۱۹۹۵)	●							
شاخص جهانی نوآوری (۲۰۱۶)	●	●	●	●	●	●	●	●
شاخص‌های علم، فناوری و نوآوری آنکتاد برای کشورهای در حال توسعه (آنکتاد، ۲۰۱۰)	●	●	●			●	●	●
شاخص‌های علم، فناوری و نوآوری هلند (هرتوگ و همکاران، ۲۰۱۲)	●	●	●	●	●	●	●	●
ظرفیت ملی نوآوری (فرمن و همکاران، ۲۰۰۲)					●	●	●	●
شاخص عملکرد رقابتی صنعتی[1] (سازمان توسعهٔ صنعتی سازمان ملل، ۲۰۱۳)	●					●		
گزارش انجمن ملی علوم ایالات متحده (۲۰۱۲)	●	●	●		●	●	●	
گزارش پیونددهی میان فناوری و توسعهٔ انسانی (برنامهٔ توسعهٔ سازمان ملل، ۲۰۰۱)	●			●		●	●	●
گزارش عملکرد رقابت‌پذیری جهانی (مجمع جهانی اقتصاد، ۲۰۱۶)	●	●	●	●	●	●		
مدل پایش علم، فناوری و نوآوری ایالات متحده (لیتان و همکاران، ۲۰۱۳)	●	●	●		●	●	●	●
مدل توانمندی فناورانهٔ آرکو (آرچیبوگی و کوکو، ۲۰۰۴)				●		●		
مدل منطقی تحقیق و توسعهٔ دولتی در حوزهٔ سلامت (سامپات، ۲۰۱۱)						●	●	●

1. Competitiveness Industrial Performance (CIP) Index (UNIDO, 2012)

مدنظر طراحان نبوده است. برای نمونه، مدل منطقی تحقیق و توسعه با تأمین مالی دولتی (عمومی) در حوزهٔ سلامت (سامپات، ۲۰۱۱) یا چشم‌انداز شماتیک نظام علم، فناوری و نوآوری (هال و جف، ۲۰۱۲) مقایسه‌پذیری پایینی دارند؛ در اولی به علت تمرکز بر حوزهٔ سلامت رخ داده است و در دومی به این علت است که مدلی پیچیده مملو از سازوکارهای اثرگذاری شاخص‌ها بر یکدیگر ارائه شده است که در دیگر مدل‌های کاربردی رایج نیست.

از مجموعهٔ مدل‌ها با پوشش و جامعیت بالا، می‌توان مدل‌های شاخص جهانی نوآوری (GII) (۲۰۱۶)، چارچوب اقتصاد دانش‌بنیان (بانک جهانی، ۲۰۱۶)، چارچوب علم، فناوری و نوآوری کشور کرهٔ جنوبی (این و همکاران، ۲۰۱۶)، مدل پایش علم، فناوری و نوآوری ایالات متحده (لیتان و همکاران، ۲۰۱۳) و شاخص‌های علم، فناوری و نوآوری آنکتاد برای کشورهای در حال توسعه (آنکتاد، ۲۰۱۰) را نام برد که مدل‌هایی هستند که مقایسه‌پذیری بالایی دارند، اما اسکوربرد نوآوری اتحادیهٔ اروپا (اد ـ سادکی و هالندرز، ۲۰۱۴)، شاخص‌های علم، فناوری و نوآوری هلند (هرتوگ و همکاران، ۲۰۱۲)، چشم‌انداز شماتیک نظام علم، فناوری و نوآوری (هال و جف، ۲۰۱۲)، گزارش انجمن ملی علوم ایالات متحده (۲۰۱۲) و راهنمای نوآوری اسلو (سازمان همکاری‌های اقتصادی و توسعه، ۲۰۰۵) مدل‌هایی با پوشش و جامعیت بالا هستند که با دیگر مدل‌های شناخته‌شده مقایسه‌پذیری پایینی دارند.

هرچند در نگاه اول، در اختیار داشتن مدل‌های پایش با حداکثر مقایسه‌پذیری مطلوب است، اما باید توجه داشت که عوامل بومی و ملی یا مختص یک حوزه و مسئلهٔ خاص (همانند حوزهٔ سلامت یا مسئلهٔ بی‌کاری) اهمیت ویژه‌ای دارند که بایدمدنظر قرار گیرند. چنین عواملی موجب مقایسه‌پذیری پایین‌تر مدل می‌شوند، اما در جای خود ضروری‌اند. درمورد این موضوع با عناوین «اقتضایی‌بودن مدل» و «حفظ ارتباط مدل با اهداف طراحی آن»[1] در ادبیات بحث شده است (همانند آرژنتی[2] و همکاران، ۱۹۹۰؛ بار، ۲۰۰۱؛ مؤسسهٔ آمار یونسکو،[3] ۲۰۱۰). در این مورد آرژنتی و همکاران (۱۹۹۰) بر تفاوت محیط‌های علم، فناوری و نوآوری در کشورهای در حال توسعه و توسعه‌یافته و درنتیجه نیاز به داشتن مؤلفه‌ها و شاخص‌های متفاوت برای پایش و ارزیابی تأکید کرده‌اند.

سازمان‌های بین‌المللی مبتنی‌بر اهداف و مأموریت‌های بین‌المللی خود معمولاً چارچوبی را برای ارزیابی نظام‌های علم، فناوری و نوآوری طراحی می‌کنند که تا حد امکان جهان‌شمول و مقایسه‌پذیر باشند. این در حالی است که کشورها جهت‌گیری‌های راهبردی، نیازهای بومی و منطقه‌ای و شاخص‌های مرتبط با آن‌ها را مدل‌های خود لحاظ می‌کنند که طبیعتاً موجب کاهش مقایسه‌پذیری مدل‌های مربوطه خواهد شد. مقایسه‌پذیری پایین مدل‌های پایش و ارزیابی نظام علم، فناوری و نوآوری کشورهای در حال توسعه با کشورهای توسعه‌یافته نیز در همین قالب توجیه‌پذیر است. همچنین با تقریب می‌توان عمدهٔ مدل‌های تئوریک و آکادمیک را در زمرهٔ مدل‌های با مقایسه‌پذیری پایین قرار داد.

۱ـ ۳. پیاده‌سازی

معیار پیاده‌سازی درپی بررسی این است که آیا برای مدل مربوطه شاخص‌هایی توسعه یافته‌اند یا مدل صرفاً از مؤلفه‌های انتزاعی سطح بالا تشکیل شده است، اینکه داده‌های مربوط به شاخص‌ها گردآوری می‌شوند و در دسترس‌اند یا خیر، و در نهایت اینکه در عمل این داده‌ها به صورت دوره‌ای استخراج و به‌گونه‌ای منظم منتشر شده‌اند یا خیر؛ بنابراین مدل پایشی، که شامل مؤلفه‌هایی از علم، فناوری و نوآوری باشد که اندازه‌گیری نمی‌شوند، شاخص‌هایی داشته باشد که تعریف نشوند یا هنوز تعریف نشده باشند یا اینکه داده‌های شاخص‌ها به صورت دوره‌ای و منظم در دسترس نباشند، مطلوبیت کمتری خواهند داشت (بار، ۱۹۹۷؛ رئال و همکاران، ۲۰۱۲).

شاخص پیاده‌سازی به‌منزلهٔ شاخص مقایسه، نه‌فقط به قابلیت اجرایی مدل اشاره دارد، بلکه حتی در مواردی مطرح می‌شود که گردآوری داده ممکن است، اما از لحاظ اقتصادی به‌صرفه نیست، بیش از حد زمان‌بر است یا قابلیت اطمینان و تکرارپذیری پایینی دارد. اهداف، مأموریت، سیاست و مسئله پس‌زمینهٔ یک مدل پایش هرچه که باشد، قابلیت پیاده‌سازی هدفی مطلوب را دارد. به عبارتی فارغ از مسئله و هدف مدل، قابلیت پیاده‌سازی بالای مدل مدنظر است؛ مگر آنکه مدل صرفاً جهت‌گیری تئوریک داشته باشد و پیاده‌سازی‌نشدن آن با توجه به کارکردش توجیه‌پذیر باشد.

از میان مدل‌های با پوشش و جامعیت بالا، صرفاً دو مدل دیاگرام شماتیک نظام ملی نوآوری (آنکتاد، ۲۰۱۱) و چشم‌انداز شماتیک نظام نوآوری (جف، ۲۰۱۱) شاخصی ندارند و داده برای آن‌ها موجود نیست، اما ده مدل دیگر همگی شامل شاخص‌های قابل اندازه‌گیری و داده‌های منتشرشده هستند. از میان مدل‌های با پوشش محدود و خاص نیز صرفاً دو مدل منطقی تحقیق و توسعهٔ دولتی در حوزهٔ سلامت (سامپات، ۲۰۱۱) و چارچوب چرخهٔ عمر فناوری (تسی، ۲۰۱۱) پیاده‌سازی نشده‌اند و مابقی هشت مدل پیاده‌سازی شده‌اند و داده‌هایشان تولید شده است. این مسئله مؤید مطلب بالاست که قابلیت پیاده‌سازی در عمدهٔ موارد مطلوب است و مدل‌ها بدان هدف شکل می‌گیرند؛ مگر اینکه ماهیتی کاملاً تئوریک و تحلیلی داشته باشند.

1. Pertinence and relevance
2. Argenti
3. UNESCO Institute for Statistics (UIS)

۱- ۴. سادگی

معیار سادگی درپی نشان‌دادن این مسئله است که کدام مدل‌ها در عین اینکه شاخص‌ها و روابط ضروری را در خود حفظ کرده‌اند، منطق ساده و روانی دارند. هرچند شاخص سادگی بیشتر برای شاخص‌ها شناخته شده است (همانند بورنمن،[1] ۲۰۱۳)، در اینجا منظور از سادگی منطق کلی مدل است، نه سادگی شاخص‌های آن. گفتنی است که سادگی شاخص‌ها در معیار پیاده‌سازی گنجانده شده است و شاخص‌هایی که اندازه‌گیری و درکشان ساده‌تر باشد، قابلیت پیاده‌سازی بالاتری دارند؛ بنابراین مدل ساده و از لحاظ منطقی سرراست مدلی است که از تعداد شاخص‌ها و مؤلفه‌های کمتری بهره می‌برد، طراحی فهم‌پذیر و ساده‌ای دارد و از گنجاندن پیوندهای علی و همبستگی میان شاخص‌های پایه یا مؤلفه‌های کلان‌تر مدل خودداری می‌کند؛ زیرا پیوندهای میان شاخص‌ها در نظام علم، فناوری و نوآوری نوعی جهل مرکب (ناشناختهٔ ناشناخته)[2] هستند (لیتان و همکاران، ۲۰۱۴).

مدل‌های شاخص جهانی نوآوری (GII) (۲۰۱۶)، چارچوب اقتصاد دانش‌بنیان (بانک جهانی، ۲۰۱۶)، چارچوب علم، فناوری و نوآوری کشور کرهٔ جنوبی (این و همکاران، ۲۰۱۶)، مدل پایش علم، فناوری و نوآوری ایالات متحده (لیتان و همکاران، ۲۰۱۳)، شاخص‌های علم، فناوری و نوآوری آنکتاد برای کشورهای در حال توسعه (آنکتاد، ۲۰۱۰)، اسکوربرد نوآوری اتحادیهٔ اروپا (اد ـ سادکی و هالندرز، ۲۰۱۴)، شاخص‌های علم، فناوری و نوآوری هلند (هرتوگ و همکاران، ۲۰۱۲)، راهنمای نوآوری اسلو (سازمان همکاری‌های اقتصادی و توسعه، ۲۰۰۵)، گزارش رقابت‌پذیری جهانی (مجمع جهانی اقتصاد، ۲۰۱۶)، آمار علم، فناوری و نوآوری (یونسکو، ۲۰۱۲)، مدل توانمندی فناورانهٔ آرکو (آرچیبوگی و کوکو، ۲۰۰۴)، عملکرد رقابتی صنعتی (سازمان توسعهٔ صنعتی سازمان ملل، ۲۰۰۲)، گزارش پیونددهی میان فناوری و توسعهٔ انسانی (برنامهٔ توسعهٔ سازمان ملل، ۲۰۰۱)، راهنمای نیروی انسانی نوآوری کانبرا (سازمان همکاری‌های اقتصادی و توسعه، ۱۹۹۵) و مدل منطقی تحقیق و توسعهٔ دولتی در حوزهٔ سلامت (سامپات، ۲۰۱۱) مدل‌هایی ساده‌اند. این در حالی است که هفت مدل چشم‌انداز شماتیک نظام علم، فناوری و نوآوری (هال و جف، ۲۰۱۲)، گزارش انجمن ملی علوم ایالات متحده (۲۰۱۲)، ظرفیت ملی نوآوری (فرمن و همکاران، ۲۰۰۲)، پیوندهای میان تحقیق و توسعه و بهره‌وری اقتصادی (شنکس و ژنگ، ۲۰۰۶)، چارچوب چرخهٔ عمر فناوری (تسی، ۲۰۱۱)، دیاگرام شماتیک نظام ملی نوآوری (آنکتاد، ۲۰۱۱) و چشم‌انداز شماتیک نظام نوآوری (جف، ۲۰۱۱) از مجموعهٔ ۲۲ مدل بررسی‌شده مدل‌هایی پیچیده و غیرسرراست هستند.

۱- ۵. اهداف

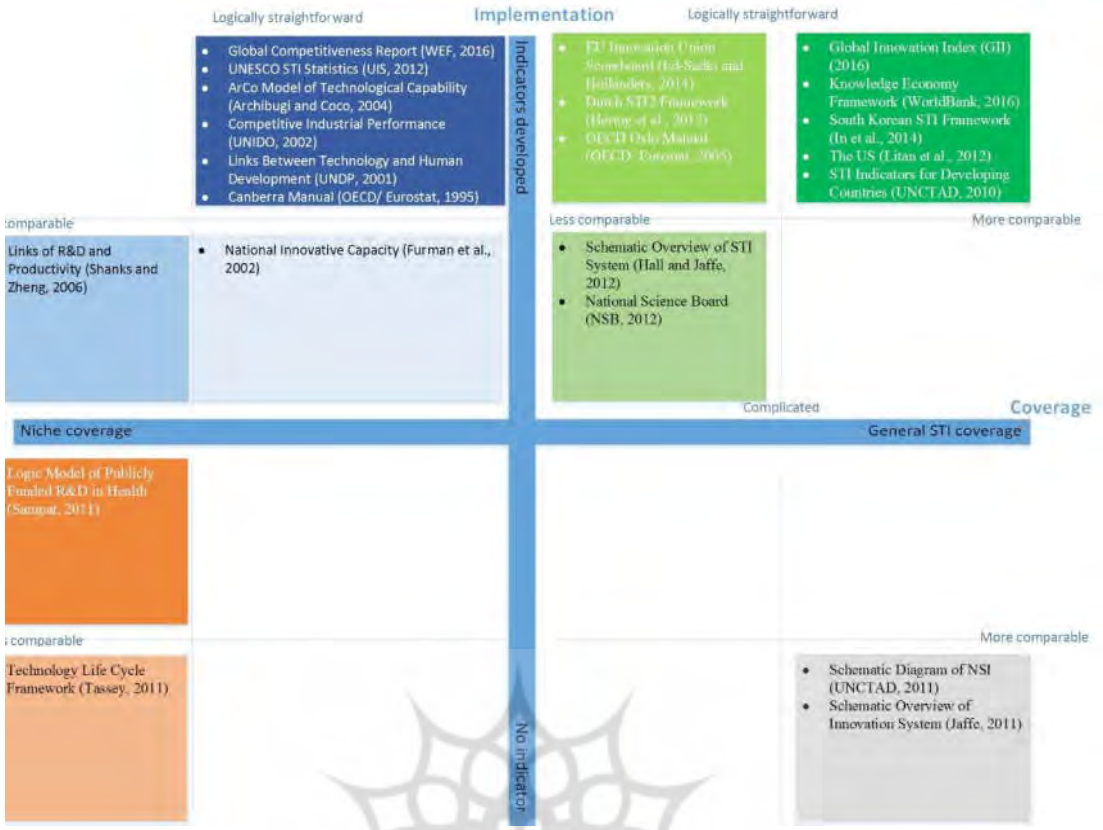
مبتنی‌بر ۲۲ مدل بررسی‌شده، شش هدف اصلی برای مدل‌ها استخراج شد که عبارت‌اند از ۱. بهبود تحقیق و توسعه؛ ۲. توسعهٔ فناوری؛ ۳. توسعهٔ نوآوری؛ ۴. توسعهٔ علم، فناوری، نوآوری و تحقیقات؛ ۵. توسعهٔ اقتصادی و صنعتی؛ ۶. توسعهٔ منابع انسانی. جدول زیر دسته‌بندی مدل‌های ۲۲گانهٔ بررسی‌شده را برحسب اهداف مذکور نشان می‌دهد. از میان مدل‌ها، فقط مدل پیوندهای میان تحقیق و توسعه و بهره‌وری اقتصادی (شنکس و ژنگ، ۲۰۰۶) در دو دسته (هدف) از جدول ۱ قرار گرفته است و باقی مدل‌ها در یک دسته جای گرفته‌اند.

مدل جامع با پوشش حداکثری، که کشورها برای دستیابی به تصویری کلان از نظام علم، فناوری و نوآوری خود طراحی می‌کنند، عمدتاً در حالت چهارم جدول ۱ قرار می‌گیرند. این بدین‌معنی است که چنین مدل‌هایی توسعهٔ علم، فناوری، نوآوری و تحقیقات را توأمان دنبال می‌کنند؛ البته با توجه به اهمیت نوآوری در عصر حاضر و به‌ویژه در اقتصادهای توسعه‌یافته، تعداد درخورتوجهی از مدل‌ها با پوشش گسترده و رویکرد جامع در دستهٔ سوم از جدول ۱، یعنی توسعهٔ نوآوری قرار می‌گیرند، اما عملاً همان رویکرد جامع‌نگرانه را دارند. در این حالت، بن‌مایهٔ اصلی مدل نوآوری است، اما عوامل علم و فناوری نیز در آن دیده می‌شوند؛ همانند مدل‌های اسکوربرد نوآوری اتحادیهٔ اروپا (اد ـ سادکی و هالندرز، ۲۰۱۴) و شاخص جهانی نوآوری (۲۰۱۶). همچنین در جدول فوق مشاهده می‌شود که اهداف توسعهٔ فناوری و بهبود تحقیق و توسعه با دو مدل از مجموع ۲۲ مدل مطرح جهانی کمترین تعداد مدل را به خود اختصاص داده‌اند؛ زیرا مدل‌ها این اهداف را در کنار دیگر اهداف، همانند توسعهٔ نوآوری، توأمان و جامع‌نگرانه دنبال می‌کنند.

۱- ۶. کارکردها

براساس پیشنهاد یورگن جانگر[3] (داور کنفرانس انجمن اروپایی مطالعات سیاست‌های تحقیقات و نوآوری اتریش ۲۰۱۶)، حوزه‌های کارکردی تحت پوشش مدل‌ها به‌مثابهٔ ششمین معیار مقایسه و دسته‌بندی مدل‌ها به آن‌ها افزوده شد. مبتنی‌بر بررسی ۲۲ مدل مذکور، کارکردهای هشت‌گانهٔ زیر از یکدیگر تفکیک شده‌اند: ۱. منابع انسانی، نیروی کار و آموزش؛ ۲. بنگاه‌ها و بخش خصوصی، کارآفرینی، و صنعت؛ ۳. نهادها؛ ۴. زیرساخت‌های فناوری اطلاعات و ارتباطات و زیرساخت‌های فیزیکی؛ ۵. محیط‌های آموزش، کار، تجارت، حقوقی، مالکیت فکری و کسب و کار؛ ۶. خروجی‌های علمی،

1. Bornmann
2. Unknown unknowns
3. Jurgen Janger



نمودار۱: مدل سیسکاف برای مقایسهٔ مدل‌های پایش نظام‌های علم، فناوری و نوآوری (مبتنی‌بر چهار معیار اول از شش معیار مدل)

بازار، صادرات و تجارت؛ ۷. فعالیت‌ها و منابع تحقیق و توسعه؛ ۸. هزینه‌کردها و تأمین مالی نظام علم، فناوری و نوآوری. جدول ۲ مجموعه کارکردهای فوق را برای هریک از مدل‌های ۲۲گانهٔ مطرح جهانی نمایش می‌دهد. هر مدل معمولاً چندین کارکرد را پوشش می‌دهد. خانه‌های سبزرنگ جدول ۲ نشان‌دهندهٔ پوشش کارکرد در مدل مربوطه‌اند و خانه‌های سفیدرنگ فقدان پوشش کارکرد را نشان می‌دهند.

معیار تعیین کارکرد مدل‌ها در جدول ۲ حداقلی بوده است؛ به این معنی که چنانچه حداقل یک شاخص از مدل فوق قسمتی از کارکرد مربوطه را پوشش داده است، خانهٔ مقابل سبز شده است؛ بنابراین پوشش کارکردها در جدول ۲ به معنای پوشش تام و تمام آن‌ها نیست و وضعیت حداقلی را نمایش می‌دهد. همچنین دسته‌بندی رسمی شاخص‌ها در مدل‌ها مبنا نبوده است، بلکه مفهوم شاخص‌ها مستقل از دسته‌بندی خود مدل‌ها مد نظر قرار گرفته‌اند.

۲. مدل شماتیک

در این قسمت مدلی شماتیک ارائه می‌شود که از دسته‌بندی مدل‌ها براساس چهار معیار اول (پوشش، مقایسه‌پذیری، سادگی و پیاده‌سازی) حاصل شده است. این چهار معیار طیف پیوسته‌ای از مقادیر را اختیار می‌کنند؛ مثلاً در معیار پوشش، می‌توان مدل‌ها را از پوشش حداقلی تا پوشش حداکثری حوزه‌های علم، فناوری و نوآوری نگاشت کرد. با این حال، به‌منظور ساده‌سازی و امکان ارائهٔ مدلی شماتیک، این چهار معیار به صورت حدی (و نه طیفی) در نظر گرفته شده‌اند؛ بدین معنی که مثلاً در زمینهٔ پوشش، مدل جزو یکی از دو حالت حدی پوشش حداکثری و جامع قرار می‌گیرد یا پوشش محدود و تخصصی. در نتیجه مطابق نمودار ۱، دستگاه مختصات دو بعدی شکل می‌گیرد که دو معیار پوشش (جامعیت) و پیاده‌سازی به‌منزلهٔ محورهای اصلی آن و معیارهای سادگی و مقایسه‌پذیری به‌منزلهٔ محورهای فرعی هریک از چهار ربع دستگاه مختصات به‌شمار می‌روند. ماحصل دسته‌بندی مذکور، شانزده حالت است که در قالب چهار ربع اصلی و شانزده زیرربع نمایش داده شده است. دو معیار دیگر، یعنی اهداف و کارکردها، که جدول‌هایشان در قسمت قبل ارائه شد (جداول ۱ و ۲)، به علت داشتن مقادیر چندحالته، قابلیت تبدیل‌شدن به حالت حدی و دوگانه، همانند چهار معیار نمودار ۱، را ندارند.

هریک از چهار ربع اصلی یا شانزده زیرربع نمودار ۱ پیام مشخصی را انتقال می‌دهند. ربع اول اصلی (بالا ـ راست) نشان‌دهندهٔ مجموعه‌ای از مدل‌هاست که پیاده‌سازی شده‌اند، شامل شاخص‌های اندازه‌گیری‌شده و دادهٔ موجود و منتشرشده‌اند (محور عمودی اصلی) و در هر سه حوزهٔ علم، فناوری و نوآوری

از پوشش جامعی برخوردارند (محور افقی اصلی). مدل‌های زیرربع اول خود برحسب دو محور فرعی (داخلی) سادگی و مقایسه‌پذیری به چهار دسته تقسیم شده‌اند؛ به‌گونه‌ای که ربع اول آن، شامل مدل‌های شاخص جهانی نوآوری (۲۰۱۶) تا شاخص‌های علم، فناوری و نوآوری آنکتاد برای کشورهای در حال توسعه (آنکتاد، ۲۰۱۰)، مدل‌هایی‌اند که افزون بر جامعیت بالا و قابلیت پیاده‌سازی (ویژگی ربع اول اصلی است) هم با مدل‌های مطرح جهانی مقایسه‌پذیرند و هم ساده و فهم‌پذیرند. زیرربع اول از ربع اول ممکن است برای کشورهایی که به دنبال طراحی مدلی جامع برای پایش نظام علم، فناوری و نوآوری خودند مفید باشد؛ زیرا مدل‌ها در این زیرربع هم پوشش جامعی دارند، هم مقایسه‌پذیرند و هم شاخص و دادهٔ در دسترس برای الگوبرداری دارند. این مدل‌ها برای برقراری ارتباط با مخاطب عام از سادگی نسبی برخوردارند و از پیچیدگی‌های غیرضروری خودداری کرده‌اند. زیرربع چهارم از ربع اول شامل دو مدل چشم‌انداز شماتیک نظام علم، فناوری و نوآوری (هال و جف، ۲۰۱۲) و گزارش انجمن ملی علوم ایالات متحده (۲۰۱۲) است که پیچیده‌اند و قابلیت مقایسهٔ پایینی دارند؛ زیرا اولی برای اهداف تئوریک و نظریه‌پردازی طراحی شده است و دومی مملو از شاخص‌های سفارشی‌سازی‌شده برای ایالات متحده است که در دیگر مدل‌ها دیده نمی‌شود.

ربع دوم اصلی (بالا ـ چپ) نمودار ۱ نشان‌دهندهٔ آن دسته از مدل‌هایی است که هرچند پیاده‌سازی شده‌اند و شاخص و داده برای آن‌ها موجود است، اما سطح پوشش محدود و تخصصی دارند و شامل سه حوزهٔ علم، فناوری و نوآوری نیستند. این بعد نیز همانند هریک از سه بعد اصلی دیگر، برحسب دو معیار سادگی و مقایسه‌پذیری، به چهار زیرربع تقسیم شده است. زیرربع اول از این ربع نشان‌دهندهٔ مدل‌هایی است که هر سه معیار پیاده‌سازی، سادگی و مقایسه‌پذیری را برآورده می‌کنند، اما پوشش محدود و تخصصی دارند؛ مثلاً مدل آرکو (آرچیبوگی و کوکو، ۲۰۰۴) بر توانمندی فناورانه تمرکز دارد و بنابراین ابعاد علم و نوآوری و حتی دیگر ابعاد فناوری همانند صادرات و واردات را در نظر نمی‌گیرد؛ زیرا هدف از توسعهٔ مدل تمرکز بر توانمندی فناورانه بوده است. گزارش رقابت‌پذیری جهانی (مجمع جهانی اقتصاد، ۲۰۱۶) بر حوزهٔ اقتصاد تمرکز دارد و پارامترهای عملکردی نظام علم، فناوری و نوآوری را که خارج از ادبیات اقتصاد قرار می‌گیرند مدنظر قرار نمی‌دهد. راهنمای نیروی انسانی نوآوری کانبرا (سازمان همکاری‌های اقتصادی و توسعه، ۱۹۹۵) جنبهٔ نیروی انسانی نظام علم و فناوری را مدنظر قرار می‌دهد و از این‌رو صادرات، تولید محصولات با فناوری پیشرفته، زیرساخت‌ها، محیط کسب‌وکار و غیره را، که در حوزهٔ نظام علم و فناوری و نوآوری قرار می‌گیرند، پوشش نمی‌دهد. زیرربع سوم از ربع دوم نشان می‌دهد که مدل ظرفیت ملی نوآوری (فرمن و همکاران، ۲۰۰۲) بر هدف خاص ظرفیت ملی نوآوری متمرکز است و نه به دنبال پوشش جامع نظام علم، فناوری و نوآوری کشورها، مدلی پیاده‌سازی‌شده است و داده برای آن وجود دارد، مقایسه‌پذیری در طراحی آن رعایت شده است، اما مدلی ساده به‌شمار نمی‌رود. زیرربع چهارم ربع دوم، که مدل پیوندهای میان تحقیق و توسعه و بهره‌وری اقتصادی (شنکس و ژنگ، ۲۰۰۶) را دربر می‌گیرد، ویژگی‌های مشابه مدل ظرفیت ملی نوآوری (فرمن و همکاران، ۲۰۰۲) دارد؛ با این تفاوت که مقایسه‌پذیری آن با دیگر مدل‌های مطرح پایین است.

ربع سوم به مدل‌هایی اشاره دارد که هرچند با اهداف جامع و پوشش گسترده طراحی شده‌اند، اما قابلیت پیاده‌سازی ندارند یا دست‌کم هنوز پیاده‌سازی نشده‌اند؛ بنابراین این ربع (و نیز ربع چهارم) ماهیتی تئوریک دارد و کاربرد کمتری خواهد داشت. به همین علت در سه زیرربع از آن مدلی دیده نمی‌شود. دو مدل دیاگرام شماتیک نظام ملی نوآوری (آنکتاد، ۲۰۱۱) و چشم‌انداز شماتیک نظام نوآوری (جف، ۲۰۱۱)، که در زیرربع سوم از ربع سوم جای گرفته‌اند، مدل‌هایی‌اند که پوشش جامعی دارند، پیاده‌سازی نشده‌اند و داده برای آن‌ها موجود نیست، با دیگر مدل‌ها مقایسه‌پذیرند و به علت ماهیت تئوریکشان پیچیده‌اند.

ویژگی اصلی ربع چهارم همانند ربع سوم فقدان پیاده‌سازی و در دسترس نبودن داده است. در این ربع، که برخلاف ربع سوم محدودهٔ پوشش خاص دارند و نه جامع، شاهد دو مدل هستیم. حضور این دو مدل در زیرربع‌های دوم و چهارم، که ویژگی مشترکشان مقایسه‌پذیری پایین است، به این علت است که مدل‌هایی با مأموریت و پوشش خاص یک حوزه، که قابلیت پیاده‌سازی نیز در آن‌ها در نظر گرفته نشده و ماهیتاً تئوریک به‌شمار می‌روند، نمی‌توانند مقایسه‌پذیری خوبی با دیگر مدل‌های مطرح داشته باشند. در این مورد، مدل منطقی تحقیق و توسعهٔ دولتی در حوزهٔ سلامت (سامپات، ۲۰۱۱) شاخص‌های علم و فناوری در حوزهٔ سلامت را پوشش می‌دهد، پیاده‌سازی نشده، و ساده و مقایسه‌نشدنی است. تمایز چارچوب چرخهٔ عمر فناوری (تسی، ۲۰۱۱) با مدل سامپات (۲۰۱۱) در این است که مدلی پیچیده به‌شمار می‌رود. این دو در دیگر معیارهای مقایسه مشابه‌اند.

نتیجه‌گیری

در بررسی ادبیات موضوع متوجه مدل‌های پایش و ارزیابی نظام‌های علم، فناوری و نوآوری می‌شویم که گسسته از هم توسعه یافته‌اند و تنوع شایان‌توجهی دارند. این مقاله به‌منزلهٔ نخستین تلاش برای ارائهٔ معیارها و چارچوبی برای مقایسه و

دسته‌بندی این مدل‌هاست، مدل‌هایی که حتی گاهی تحت ادبیات حوزه‌های دیگر، همانند اقتصاد، توسعهٔ پایدار، اشتغال، توسعهٔ صنعتی یا آموزش عالی توسعه یافته‌اند، اما به هر روی با حوزهٔ علم، فناوری و نوآوری کاملاً درهم تنیده‌اند. در این مورد شش معیار تحت مدل سیسکاف توسعه یافته‌اند که از ترکیب چهار معیار اول (پوشش و جامعیت، پیاده‌سازی، سادگی و مقایسه‌پذیری) نموداری شماتیک حاوی چهار بعد اصلی و شانزده زیربعد توسعه یافته که ۲۲ مدل مطرح جهانی و ملی را دسته‌بندی کرده است.در دو معیار دیگر (کارکردها و اهداف) به علت اینکه تقلیل‌یافتنی به حالت حدی نبودند و مقادیر مختلفی را اختیار می‌کردند، مدل‌های مذکور را طی دو جدول دسته‌بندی کردند. به عبارتی مدل سیسکاف از نموداری دو بعدی و شانزده حالته و دو جدول تشکیل شده است که مکمل یکدیگرند.

گفتنی است که این معیارها جامع و مانع نیستند و امکان قبض و بسطشان وجود دارد. این معیارها با فراهم‌آوردن امکان مقایسه و دسته‌بندی مدل‌های موجود، به کشورها و سازمان‌ها در بهره‌گیری از تجارب گسستهٔ پیشین در زمینهٔ طراحی مدل‌های پایش نظام‌های علم، فناوری و نوآوری کمک می‌کنند. در قبض و بسط معیارهای مقایسه باید به مطلوبیت و کاربردی‌بودنشان توجه شود، همان‌طور که معیارهای پیشنهادی کنونی برخاسته از تجارب دوسالهٔ پروژهٔ طراحی مدل پایش علم، فناوری و نوآوری معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری است که به همت پژوهشکدهٔ سیاست‌گذاری علم، فناوری و صنعت دانشگاه صنعتی شریف و طی جلسات متعدد مباحثه و دریافت بازخورد از فعالان این حوزه در همایش‌های بین‌المللی حاصل شده است. از جمله معیارهایی که ممکن است مدل پیشنهادی را تکمیل کنند و منشأ تحقیقات آتی باشند، شفافیت روش‌شناسی، پایایی روش‌شناسی و چارچوب، شفافیت داده، تکرارپذیری، به حداقل رساندن مؤلفه‌های هم‌پوشان، دسترس‌پذیری داده‌ها و وجود شاخص‌های ترکیبی و پیشرفته را می‌توان نام برد.

منابع

Archibugi, D., Coco, A.) 2004(. “A new indicator of technological capabilities for developed and developing countries (ArCo)”, *World Development*. 32, 629–654.

Argenti, G., Filgueira, C., Sutz, J. (1990). “From standardization to relevance and back again: science and technology indicators in small, peripheral countries”, *World Development*. 18, 1555–1567.

Barré, R. (2009). “Policy-making processes and evaluation tools: S&T indicators”, *Science and Technology Policy*. EOLSS Publications.

Barré, R. (2001). “Sense and nonsense of S&T productivity indicators”, *Science and Public Policy*. 28, 259–266.

Barré, R. (1997). “The European perspective on S&T indicators”, *Scientometrics*. 38, 57–70.

Bornmann, L. (2013). “What is societal impact of research and how can it be assessed? A literature survey”, *Journal of the American Society for Information Science and Technology*. 64, 217–233.

Crépon, B., Duguet, E., Mairessec, J. (1998). “Research, innovation and productivity: an econometric analysis at the firm level”, *Economics of Innovation and New technology*. 7, 115–158.

Dutta, S., Lanvin, B. (2014). *The Global information technology report 2014*. in: World Economic Forum and Insead, Geneva.

Dutta, S., Lanvin, B. (2013). “The global innovation index (GII) 2013: The local dynamics of innovation”.

Es-Sadki, N., Hollanders, H. (2014). *Innovation Union Scoreboard 2014*. European Union, Belgium.

Furman, J.L., Porter, M.E., Stern, S. (2002). “The determinants of national innovative capacity”, *Research policy*. 31, 899–933.

Hall, B.H., Jaffe, A.B. (2012). “Measuring science, technology, and innovation: a review”, *Report prepared for the Panel on Developing Science, Technology, and Innovation Indicators for the Future*.

Hertog, P. den, Jager, C.-J., te Velde, R., Veldkamp, J., Aksnes, D.W., Sivertsen, G., van Leeuwen, T., van Wijk, E. (2012). “Science, technology & innovation indicators 2012” (No. 2010.0561235-). Netherlands Ministry of Education, *Culture and Science*. Utrecht, the Netherlands.

In, G., Kim, Y., Do, K., Choi, S. (2014). “The evaluation of science and technology innovation capacity 2013”, *Ministry of Science, ICT, and Future Planning of Korea & Korea Institute of S&T Evaluation and Planning (KISTEP)*. Seoul.

Jaffe, A.B. (2011). “Analysis of public research, industrial r&d, and commercial innovation”, *The Science of Science Policy: A Handbook 193*.

Jaramillo, H., Lugones, G., Salazar, M. (2001). “Standardisation of indicators of technological: innovation in Latin American and Caribbean countries, Bogota Manual”, *Iberoamerican Network of Science and Technology Indicators*. Organisation of American States.

CRP.1), UNCTAD, Geneva.
UNCTAD (2011). "A framework for science, technology and innovation policy reviews" (No. UNCTAD/DTL/STICT/20117/),UNCTAD, Geneva.
UNDP (2001). "Human Development Report 2001: Making New Technologies Work for Human Development", UNDP.
UNESCO Institute for Statistics (2010). *Measuring R&D: Challenges faced by developing countries.*
UNIDO (2013). "Competitive Industrial Performance (CIP)", Report 20122013/, UNIDO, Vienna, Austria.
World Bank (۲۰۱۶). *Knowledge Economy Index (KEI) (Time Series (Annual))*. Washington DC.
Lepori, B., Barré, R., Filliatreau, G. (2008). "New perspectives and challenges for the design and production of S&T indicators", *Research Evaluation*. 17, 33–44.
Litan, R.E., Wyckoff, A.W., Fealing, K.H. (2014a). "Capturing change in science, technology, and innovation: Improving indicators to inform policy", *National Academies Press*.
Moed, H.F., Glänzel, W., Schmoch, U. (2005). *Handbook of quantitative science and technology research*. Kluwer Academic Publishers.
Molas-Gallart, J., Tang, P. (2011). "Tracing "productive interactions" to identify social impacts: an example from the social sciences", *Research Evaluation*. 20, 219–226.
National Science Board (NSB) (2012). "Science and engineering indicators 2012", *National Science Foundation*. Arlington VA.
OECD (2002). *Frascati Manual 2002: Proposed standard practice for surveys on research and experimental development*. OECD Publishing, Paris.
OECD/ Eurostat (2005). *Oslo Manual: Guidelines for collecting and interpreting innovation data*. 3rd ed. OECD Publishing, Paris.
OECD/ Eurostat (1995). *Measurement of scientific and technological activities: Manual on the measurement of human resources devoted to S&T - Canberra Manual*. OECD Publishing, Paris.
Reale, E., Inzelt, A., Lepori, B., van den Besselaar, P. (2012). "The social construction of indicators for evaluation: Internationalization of Funding Agencies", *Research Evaluation*. rvs022.
Sampat, B.N. (2011). *The impact of publicly funded biomedical and health research: a review*. Department of Health Policy and Management, Columbia University.
Shanks, S., Zheng, S. (2006). *Econometric modelling of R&D and Australia's productivity*.
Tassey, G. (2013). "Beyond the business cycle: The need for a technology-based growth strategy", *Science and Public Policy*. 40, 293–315.
UIS (2012). "Science, technology and innovation statistics: Training material for capacity building workshops", *UNESCO Institute for Statistics*.
UNCTAD (2010). "Science, technology and innovation indicators for policymaking in developing countries: an overview of experiences and lessons learned" (No. TD/B/C.II/MEM.1/