فصلنامه علمی - ترویجی
سیاست‌نامه علم و فناوری
دورهٔ ۶، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۳۹۵

فناوری‌های هم‌گرا: تعامل علم و فناوری

قاسم آزادی احمدآبادی[۱]

چکیده

میان‌رشتگی موضوعی اساسی در پژوهش علمی است که براساس آن، در ترکیبات جدید اجماع اتفاق که اساس آن پدیدآمدن ترکیبات جدید براثر اجماع در علوم گوناگون است. هم‌گرایی روند کلانی است که در تمامی فناوری‌ها و محصولات و در سطح جهانی دیده می‌شود. با وجود این، هم‌گرایی درحال گذر از مرحلهٔ تک‌رشته‌ای و حذف مرزهای فناورانه است. هم‌گرایی حاصل وقایعی است که در طی زمان اتفاق می‌افتد: در آغاز رشته‌های علمی، سپس فناوری‌ها و محصولات با هم ترکیب می‌شوند و درنهایت، با هم‌گرایی صنایع، این چرخه تکامل می‌یابد. اصطلاح «فناوری هم‌گرا» در فرایند سیاست‌گذاری علم و فناوری جایگاه بسیار مهمی دارد. هم‌گرایی فناوری‌های نانو، زیستی، اطلاعات و علوم شناختی در بهبود عملکرد انسانی، ترسیم اقتصاد، جامعه و زیرساخت‌های صنعتی آینده نقش مهمی دارد. در این مقاله، به‌منظور آگاهی‌بخشی به سیاست‌گذاران و پژوهشگران و مدیران تجاری دربارهٔ نتایج هم‌گرایی علوم و فنون، درمورد روابط میان‌رشته‌ای، هم‌گرایی علمی، هم‌گرایی فناورانه و سنجش هم‌گرایی مطالبی عرضه می‌شود.

واژگان کلیدی: فناوری‌های هم‌گرا، روابط میان‌رشته‌ای، هم‌گرایی علمی، هم‌گرایی فناورانه، سنجش هم‌گرایی.

مقدمه

امروزه، پژوهش میان‌رشته‌ای از موضوعات مهم در سیاست‌گذاری علم و فناوری است و بسیاری از کشورهای صنعتی پیشرو، در راه تقویت مشارکت بین رشته‌ها، گام برمی‌دارند.

میان‌رشتگی در سطح پژوهش علمی مسئله‌ای کلیدی است که براساس آن، هم‌گرایی حول ترکیبات جدید اتفاق می‌افتد؛ بنابراین ترکیبات جدید نقطهٔ پیشرفت حوزه‌ای خاص از فناوری هم‌گرا هستند. تحلیل فرایند هم‌گرایی در راه آگاهی‌بخشی برای تصمیم‌گیری مؤثر خواهد بود. پژوهش عملی در مورد فرایند هم‌گرایی علمی ـ فنی و ترسیم دقیق‌تر فرایندها، تصمیمات راهبردی در زمینهٔ سیاست‌گذاری پژوهش و توسعه را بهبود می‌بخشد و به تخصیص صحیح بودجه و شناسایی حوزه‌های جدید هم‌گرا و روند آن‌ها کمک می‌کند (Organization for Economic Co-operation and Development, 2014: ۱۳).

از سال ۲۰۰۰ به بعد میان‌رشتگی در مرکز موضوعات فناوری هم‌گرا قرار گرفته است (Nordmann, 2004) و مباحث پیرامون آن همچنان ادامه دارد. هم‌گرایی ترکیب جدیدی از رشته‌ها، برای خلق حوزه‌های نوین پژوهشی، در جوامع اختصاصی است. چنین جوامعی در موقعیت‌های اشتراک دانش شکل می‌گیرند؛ نظیر کنفرانس‌ها یا مجله‌های داوری‌شده و مکان‌های دیگری مانند گردهمایی برای تنظیم صورت‌جلسات و خلق چشم‌اندازهای مشترک، نقشه‌های راه و غیره.

با تکامل علوم، رهیافت سیستمی و ضرورت مشارکت ابزارها و دانش، رشته‌های علمی جداگانه کم‌کم نیاز پیدا کرده‌اند که به‌هم نزدیک شوند و این مسئله تا اندازه‌ای سبب شکل‌گیری هم‌گرایی

۱. دانشجوی دکترای تخصصی علم اطلاعات و دانش شناسی دانشگاه خوارزمی؛ azadi_gh@yahoo.com

شده است. این کلی‌نگری باید به سطح جدیدی از ابتکار، همکاری میان علوم گوناگون و اقدامات عملی وارد شود (روکو و بین‌بریج، ۱۳۹۱: ۱۳۰). در این مورد باید راهبردی جامع و چندرشته‌ای فراهم شود تا مسیرهای سیاست‌گذاری جدید ملی باز شود و زمینهٔ استفاده از فناوری‌های هم‌گرا برای ارتقای عملکرد انسانی و کیفیت زندگی فراهم شود (همان: ۱۳۱).

نخستین مفهوم عمده‌ای که در این مقاله مطرح می‌شود هم‌گرایی است. همچنین به سطوح، حوزه‌ها، شاخص‌ها و اندازه‌گیری آن پرداخته می‌شود. سپس میان‌رشتگی و هم‌گرایی و مناسبات میان این دو مفهوم مطرح می‌شود. در ادامه، در مورد فناوری‌های هم‌گرا بحث می‌شود و تعاریف و تاریخچهٔ مختصری از آن عنوان می‌شود و کاربردها و مزایای مترتب بر این پدیدهٔ جدید بیان می‌شود. درنهایت، در تیتری با عنوان «میان‌رشتگی: مخرج مشترک فناوری‌های هم‌گرا»، به مناسباتی اشاره می‌شود که باید میان حوزه‌های گوناگون علوم و فناوری‌های نانو، زیستی، اطلاعات و شناختی اتفاق بیفتد تا با هم‌افزایی آن‌ها با هم، شرایط ورود به سطح بالاتری از هم‌گرایی علمی، یعنی هم‌گرایی فناورانه و درنهایت هم‌گرایی صنعتی فراهم شود.

هم‌گرایی

در این بخش مفهوم هم‌گرایی بیان می‌شود و دربارهٔ ضرورت توجه به آن، به‌سبب مزایا و فرصت‌های جدیدی که عرضه می‌کند، بحث می‌شود.

قرن بیست و یکم نمایان‌گر عصر هم‌گرایی بوده است و این امر با ادغام مکرر و پیوستهٔ رشته‌های علمی متعدد در سال‌های اخیر منعکس شده است (ShuShan, 2011: 465). هم‌گرایی، بسته به موضوع مدنظر، به اَشکال گوناگون تعریف می‌شود. هم‌گرایی را می‌توان درهم آمیخته‌شدن فناوری‌ها، رشته‌ها، روش‌های پردازش یا وسیله‌های مجزا، برای تشکیل کلیتی واحد، دانست که مجموعه‌ای از مسیرها و فرصت‌های جدید را خلق می‌کند. هم‌گرایی در میان رشته‌های جداگانهٔ سنتی و در سطوح چندگانهٔ انتزاعی و سازمانی، در حکم فرایند، دانش، فناوری و کاربرد، اتفاق می‌افتد (Roco and Bainbridge, 2002). هم‌گرایی از راه همراه‌شدن رشته‌های مطالعاتی متعدد براساس همکاری میان پژوهشگران و یکپارچه‌سازی رویکردهایی که در آغاز مخالف تصور می‌شدند انجام می‌شود (Sharp, 2011). فرایند هم‌گرایی، به‌منزلهٔ تعاملات تقویت‌کننده و تحول‌آفرین، در میانِ رشته‌های ظاهراً متفاوت، فناوری‌ها و جوامع، برای رسیدن به قابلیت تطبیق، هم‌افزایی و انسجام و درنهایت خلق ارزش افزوده برای تأمین اهداف مشترک تعریف شده است. هم‌گرایی اجتماعی براساس مفاهیم واگرایی و هم‌گرایی برون‌دادهای علم و فناوری شکل گرفته و از آن‌ها برای پیشرفت‌های مرتبط در نظام‌های اجتماعی، فناوری و دانش بهره می‌گیرد (Roco and Bainbridge, 2002).

هم‌گرایی، مفهوم حرکتِ دستِ‌کم دو مسئلهٔ متمایز به سمت یک‌پارچگی یا ادغام دو فناوری (صنعت یا ابزار) به یک کل واحد را نشان می‌دهد. روند کلانی است که در تمامی فناوری‌ها و محصولات و در سطح جهانی دیده می‌شود. با وجود این، هنوز درحال گذر از مرحلهٔ تک‌رشته‌ای و حذف مرزهای فناورانه است. فناوری‌های سنتی، ماده‌محور و تک‌رشته‌ای بوده‌اند و رویکرد کلان سیستمی داشتند و پژوهش‌های مربوط به آن‌ها نیز به شیوهٔ تک‌رشته‌ای صورت می‌گرفت، درحالی‌که فناوری‌های کنونی، اطلاعات‌محور و براساس نظام‌های نوآوری ملی هستند و رویکردی دورشته‌ای دارند. ازآنجاکه پژوهش‌های مربوط به فناوری‌های فعلی به شیوه‌ای میان‌رشته‌ای و چندرشته‌ای انجام می‌شوند، هم‌گرایی فناورانه در این نظام اهمیت بیشتری می‌یابد. فناوری‌های جدید و نوظهور، دانش‌محور و تحت حمایت نظام نوآوری جهانی و چندرشته‌ای خواهند بود. به این ترتیب، انقلاب هم‌گرایی تغییر پارادایمی بوده است که نیازمند بازاندیشی همه‌جانبهٔ پایه‌های دانشی است (Kang and Oh, 2012). هم‌گرایی فناورانه روندی جهانی است که برای به‌حداکثررساندن نتایج گوناگون آن در جامعه، باید مورد توجه ویژه قرار گیرد.

ارتباطات درونیِ میان ذهن انسان و نظام طبیعی حاکم، فرایند تکاملی هم‌گرا ـ واگرای منسجم در دانش، فناوری و توسعهٔ اجتماعی است که به خلق ارزش افزوده و پیشرفت می‌انجامد. هم‌گرایی شامل گردهم‌آوردن همهٔ حوزه‌های مرتبط انسان، ماشین و منابع طبیعی است که جامعه را به پاسخ‌گویی به پرسش‌ها و حل مشکلاتی قادر می‌سازد که قابلیت‌های پراکندهٔ آن‌ها توانایی انجام آن را ندارد (Roco and Bainbridge, 2013: 2). طبیعت نظامی منسجم و واحد است و روش‌های متفاوتی در پژوهش‌های علمی و مهندسی لازم است تا این وحدت پویا و ارتباط درونی را منعکس کند. درنتیجه، ایده‌ها و مفاهیم عمومی باید نظام‌مند و همراه با ارتباط درونی برای بهبود برون‌دادهای دانش، فناوری و کاربردها توسعه یابند و به‌کار گرفته شوند. به همین نحو، کارکردهای صنعتی و اجتماعی بر انسجام رشته‌ها و یک‌پارچه‌سازی دانش متکی است؛ بنابراین هم‌گرایی، اصلی اساسی و طبیعی و فرصتی مناسب برای پیشرفت‌های انسانی بوده است و هم‌گرایی دانش و فناوری به‌منزلهٔ حوزه‌ای درحال ظهور در جهان معرفی و تقویت شده است و پیشرفت و بهره‌مندی از آن تا حد ممکن توصیه شده است (ibid: 3). هم‌گرایی دانش و فناوری، فرآیند خلاقیت، نوآوری و پیشرفت اجتماعی را به‌منظور بهره‌مندی اجتماع، براساس پنج اصل کلی پیش می‌برد:

وابستگی درونی اجزای طبیعت و جامعه؛

تصمیم‌گیری برای پژوهش، توسعه و کاربرد برپایهٔ منطق نظام پویا؛

بهبود خلاقیت و نوآوری ازطریق فرایندهای تکاملی هم‌گرایی (با ترکیب اصول موجود) و واگرایی (با ابداع اصول جدید)؛
وحدت زبان‌های سطح بالای بین‌حوزه‌ای برای تدوین راه‌حل‌های نو و حمایت از حرکت به سمت دانش جدید؛
ارزشمندی پژوهش‌های بنیادی الهام‌بخش و دربردارندهٔ چالش‌های مهم (ibid: 9).

هم‌گرایی فناورانه مزایا و فرصت‌های زیادی را در بسیاری از حوزه‌ها فراهم می‌آورد. هم‌گرایی نقش مهمی در چشم‌اندازهای اقتصادی، اجتماعی و توسعه‌ای ایفا می‌کند (Wong and Annette, 2005). موضوع سیاست‌های دولت برای امور رفاه اجتماعی، رقابت بنگاه‌ها در بازار و ارتباطات بین افراد را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد و به کمک محصولات و خدمات اثربخش، کم‌هزینه، نوآورانه و جدید به جامعه نفع می‌رساند (Kang and Oh, 2012).

۲. سطوح و حوزه‌های هم‌گرایی

آگاهی از اینکه هم‌گرایی چه سطوحی دارد و در چه حوزه‌هایی پیش می‌آید مهم است. مطالعات جامع درمورد روند هم‌گرایی، سه سطح متوالی را تشریح کرده است که عبارت‌اند از:

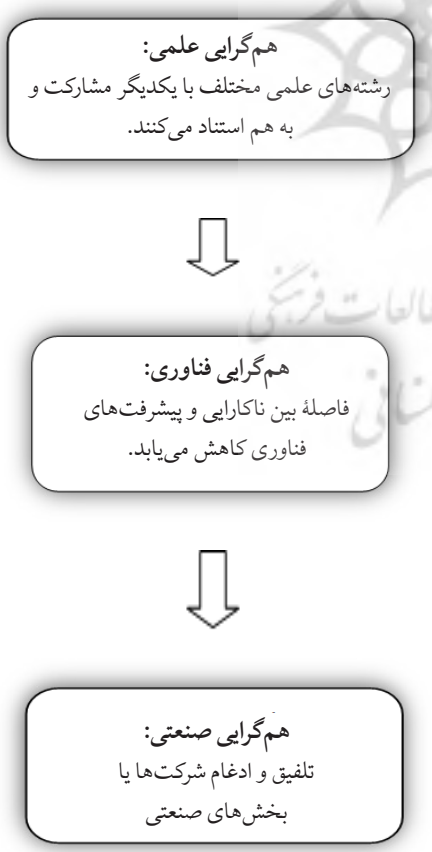
۱. در دههٔ ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۰، انسجام رشته‌ها و بخش‌های فناوری ساختمان مواد در سطح نانو ذره اتفاق افتاد که به انتقال ویژگی‌های ثابت اتم‌ها به انواع مواد و ابزارها و نظام‌های زنده و ساکن در سطح کلان منجر شد؛

۲. در دههٔ ۲۰۰۰، فناوری‌های نانو، زیستی، اطلاعات و شناختی، که عناصر اولیهٔ آن‌ها اتم، دی ان ای، بیت و عصب‌اند، به علوم و فنون منسجم تبدیل شدند؛

۳. حرکت به سوی دههٔ ۲۰۱۰ و هم‌گرایی دانش و فناوری برای بهره‌مندی جامعه با منسجم‌کردن فعالیت‌های اساسی بشر در دانش، فناوری، رفتار انسانی و جامعه با تمرکز هدفمند بر حمایت از ارزش‌ها و نیازهای اجتماعی (Roco and Bainbridge, 2013: 4). این ایده بر این مبنا قرار گرفته است که هم‌گرایی دانش و فناوری برای بهره‌مندی جامعه:

الف) رویکردی منسجم در ابعاد انسانی، شامل نظام ارزش‌های فعال و مقیاس‌های اجتماعی و جهانی است که درعین‌حال برای هر شخص خاص نیز ارزشمند است؛
ب) مبتنی است بر وحدت مواد در سطح نانو، نظام‌های منسجم و گسترهٔ اطلاعات که به کمک رفتار انسانی و دیگر اجزای خلق‌کنندهٔ ائتلاف، به یکدیگر مرتبط شده است؛
ج) با رویکرد جامع همراه با روش‌شناسی‌های نظری و مبتنی‌بر هدف همراه بوده است و با اَشکال سنتی همکاری، که در آن تقسیم کار، رشته‌ها را از یکدیگر جدا می‌کند، متفاوت است؛
د) با بهره‌گیری از فناوری برای حل تعارضات انسانی موجود به‌منظور بهبود کار، یادگیری، کهن‌سالی، سلامت روانی و فیزیکی و دستیابی به اهداف انسانی مشترک، تمرکز بر قابلیت‌های افراد و برون‌دادهای انسانی را ممکن می‌کند (ibid: 6-7).

به باور کوران و همکارانش، هم‌گرایی بر مبنای یک سریِ زمانی ایده‌آل از وقایع اتفاق می‌افتد. در آغاز، رشته‌های علمی، سپس فناوری‌ها و بازارها با هم ترکیب می‌شوند و درنهایت، با هم‌گرایی صنایع تکامل می‌یابند (شکل ۱). این فرآیند با ترکیب رشته‌ها آغاز می‌شود که استفادهٔ بیش از پیش از نتایج یکدیگر را می‌طلبد. هم‌گرایی علمی با استنادهای بین‌رشته‌ای و توسعهٔ همکاری‌های نزدیک علمی آغاز می‌شود. بعد از مدتی که فاصلهٔ بین حوزه‌های علوم پایه کاهش یافت، توسعهٔ علوم و فناوری کاربردی اتفاق می‌افتد و به هم‌گرایی فناوری می‌انجامد. سپس ترکیبات جدید و محصولات ظهور می‌یابند و منجر به هم‌گرایی بازار می‌شوند و زمانی که شرکت‌ها با یکدیگر ادغام می‌شوند، این فرایند با هم‌گرایی صنعتی نهایی خواهد شد (Curran and Leker, 2010: 386-387).



شکل ۱: فرایند هم‌گرایی (Roco and Bainbridge, 2013)

گزارش سازمان همکاری اقتصادی و توسعه پنج حوزه از فعالیت‌های هم‌گرا را مطرح می‌کند که به موارد زیر مربوط می‌شوند:

پژوهش علمی؛

تجاری‌سازی؛

تولید و توسعهٔ محصول؛

بازارها و جذب فناوری از طریق جامعه؛

مطالعات اجتماعی و مناظره (Organization for Economic Co-operation and Development, 2014: 11)

در این بخش، فقط به مبحث پژوهش علمی پرداخته می‌شود. هم‌گرایی در پژوهش علمی هنگامی اتفاق می‌افتد که جوامع متفاوت علمی برای تولید دانش مرتبط، گردهم بیایند و اجتماع جدیدی را تشکیل دهند. تشکیل چنین اجتماعی آسان نیست و چالش‌های متعددی را پیش راه آنان قرار می‌دهد؛ مثلاً وقتی متخصصان زیست‌شناسیِ مولکولی با دانشمندان علم مواد کار می‌کنند، هریک نیازمند فعالیت‌های آزمایشگاهی، ابزارهای متفاوت، پروتکل و استانداردهای فنی متفاوتی هستند.

به باور روکو و بین‌بریج، هم‌گرایی با مراحلی فراتر از چند دههٔ گذشته درحال پیشرفت است، مراحلی که با نانوفناوری برای جهان مادی آغاز می‌شود و با هم‌گرایی نانوتکنولوژی، فناوری زیستی، اطلاعات و علوم شناختی برای ظهور فناوری‌ها ادامه می‌یابد (Roco and Bainbridge, 2013: 1).

از این بخش استنباط می‌شود که هم‌گرایی در سه سطح عمدهٔ علم و فناوری و صنعت درحال وقوع است. حوزه‌هایی که با این مفهوم گره خورده‌اند علوم و فناوری‌های نانو، زیستی، اطلاعات و شناختی را شامل می‌شوند. به‌این‌ترتیب، به‌منظور نیل به جایگاه شایسته در حوزهٔ هم‌گرایی، باید موقعیت این چهار حوزه در هریک از سه مرحلهٔ پیش بررسی شود.

۳. شاخص‌های هم‌گرایی: شواهدی از تعامل فناورانه

توجه به شاخص‌هایی که بیان‌گر وقوع هم‌گرایی‌اند ازآن‌رو اهمیت دارد که با استفاده از آن‌ها به شواهدی برای تعاملات حوزه‌های گوناگون فناوری دست می‌یابیم.

برای شناسایی و اندازه‌گیری روند رو به رشد هم‌گرایی پنج شاخص پیشنهاد می‌شود. شواهد نشان می‌دهد چنین پیشرفت‌هایی با افزایش سرمایه‌گذاری‌های دولتی، برنامه‌های دانشگاهی، ارتباطات راهبردی بین مؤسسه‌ای، پیوندهای بین شرکت‌های فناورانه و استنادهای پروانه‌های ثبت اختراع درحال وقوع است. با این چارچوب، نمایی کلی از چگونگی هم‌گرایی فناورانه شناسایی می‌شود. این ایده، نقطهٔ آغاز خوبی برای تفکر درمورد نحوهٔ گروه‌بندی این شاخص‌هاست و پیش‌نیازهای آتی این موضوع را روشن می‌کند. در آینده انواع جدیدی از حوزه‌های هم‌گرا ظهور خواهد یافت. همان‌طور که فناوری‌های متفاوت در شکل‌های جالب و نوین به بلوغ می‌رسند، انواع جدید پدیده‌ها را به تصویر می‌کشند که نیازمند ارزیابی بیشتر خواهد بود و انواع جدیدی از شاخص‌ها به‌وجود خواهد آمد (Roco and Bainbridge, 2006: 55).

نخستین شاخص هم‌گرایی، تخصیص بودجه برای برنامه‌های آموزشی و پژوهشی میان‌رشته‌ای، پروانه‌های ثبت اختراع چندرشته‌ای و همکاری‌های بین‌سازمانی است.

دومین شاخص مهم، افزایش برنامه‌های دانشگاهی چندرشته‌ای و گروه‌های آموزشی است که فقط مسئولیت تولید پژوهش‌های پایه را ندارند، بلکه مدارک و درجه‌های دانشگاهی اعطا می‌کنند و به حمایت از نشر علمی می‌پردازند.

سومین شاخصی که با فناوری‌های هم‌گرا مرتبط است توافقات راهبردی بین مؤسسه‌ای میان شرکت‌هایی است که به شکل سنتی در بخش‌های گوناگون فعالیت می‌کنند و انواع گوناگون محصولات را تولید می‌کنند. دولت، محیط‌های دانشگاهی و شرکت‌های خصوصی به سمتی می‌روند که با سرمایه‌گذاری در محصولات نو و ایجاد بازارهای جدید از چنین توافقاتی بهره‌مند شوند. برای ارتقای اثر این هم‌گرایی‌ها، ممکن است شرکت‌ها تصمیم بگیرند با یکدیگر مشارکت کنند، با این هدف که شایستگی‌هایشان را به اشتراک بگذارند و از توانمندی‌های یکدیگر و تلاش‌های فکری مشابه بهره‌مند شوند.

افزون‌بر توافقات راهبردی بین مؤسسه‌ای، پیوندهایی که شرکت‌های فناورانه را به هم نزدیک می‌کند چهارمین شاخص متمایز هم‌گرایی است که گرایش به توسعهٔ شایستگی‌های شرکت‌ها و مؤسسات را نشان می‌دهد. برخی از مؤسسات افزون‌بر سرمایه‌گذاری در بُعد پژوهش و توسعه در حوزهٔ فناوری نانو، به‌منظور بهبود عملکرد خود و مرجعیت‌یافتن در موج بعدی فناوری، درگیر فناوری‌های هم‌گرا شده‌اند. همچنین هریک از آن‌ها در پی بهره‌گیری از پیشرفت فناورانه در فصول مشترک و نیز محصولات پیشگام در مراحل متفاوت‌اند.

آخرین شاخصی که هم‌گرایی فناوری‌های متفاوت را اثبات می‌کند و از نظر کیفیت بالاتر از از چهار مورد قبلی است، محاسبهٔ تعداد پروانه‌های ثبت اختراع است و استناد به آن‌ها شواهدی از گرایش به سمت هم‌گرایی را ارائه می‌کند. فاصلهٔ زمانی میان آغاز پروژه‌های پژوهشی، کاربرد پروانهٔ ثبت اختراع و سپس استناد به آن‌ها ممکن است از یک‌ماه تا چند سال طول بکشد (ibid: 59-61).

مرجع دریافت اطلاعات این شاخص‌ها متفاوت است. در شاخص اول، یعنی سرمایه‌گذاری‌های دولتی، مراجعه به مراکز آماری ذی‌صلاح و مطلع‌شدن از میزان سرمایه‌گذاری دولت در بخش تحقیق و توسعه راه‌گشاست. در دو شاخص ارتباطات راهبردیِ بین‌مؤسسه‌ای و پیوندهای بین شرکت‌های فناورانه،

کسب اطلاعات معمولاً با پیمایش‌های محیطی و تعامل با شرکت‌های فناورانه و دانش‌بنیان ممکن می‌شود. در شاخص برنامه‌های دانشگاهی نیز با استناد به سرفصل‌های مصوب درسی در رشته‌ها و مقاطع گوناگون علوم پایه، فنی مهندسی، علوم انسانی و کشاورزی و تطبیق آن‌ها با هم از میزان ورود و نفوذ هریک از حوزه‌ها در سایر رشته‌ها آگاه می‌شویم. مراکز معتبر ملی و بین‌المللی در زمینهٔ ثبت پروانه‌های ثبت اختراع، مآخذ اصلی دریافت اطلاعات مربوط به فعالیت‌های فناورانهٔ کشورها هستند. در این مورد مشخص می‌شود که در مقاطع گوناگون زمانی، چه پروانه‌های ثبت اختراعی ثبت شده است و به چه سمت و سویی تمایل یافته است.

٤. اندازه‌گیری هم‌گرایی

به‌منظور سنجش هم‌گرایی، رویکردها و ابزارهای گوناگونی وجود دارد که بنا بر ضرورت می‌توان از آن‌ها برای سنجش سطوح گوناگون هم‌گرایی بهره برد. در این بخش اینکه هریک از روش‌ها در چه سطحی کاربرد دارند بررسی می‌شوند.

با رشد پدیدهٔ هم‌گرایی، پژوهشگران کوشیده‌اند آن را در هر سطحی، اعم از علمی یا صنعتی، اندازه‌گیری کنند. به علت ابهام ذاتی و برداشت‌های متعدد مربوط به این مفهوم، توافق مشترک درمورد شاخص‌های هم‌گرایی دشوار است. پژوهشگران روش‌های گوناگونی برای اندازه‌گیری هم‌گرایی ابداع کرده‌اند؛ به‌نحوی‌که روش‌ها و موضوعات تحلیل با توجه به سطح و ماهیت متمایز هم‌گرایی متفاوت است (Jeong et al., 2015).

برخی از مطالعات، هم‌گرایی فناورانه را در چارچوب‌های عملیاتی با استفاده از هم‌استنادی پروانهٔ ثبت اختراع یا رده‌بندی مشترک دسته‌های فناورانهٔ پروانه‌های ثبت اختراع اندازه‌گیری کرده‌اند (Curran and Leker, 2011; Jeong, 2014). این مطالعات، که در آن‌ها از روش‌های آزمایشی یا مرزهای داده‌ای محدود استفاده می‌شود، ماهیت هم‌گرایی فناوری را به‌اختصار نشان می‌دهند. برای مثال گئوم و دیگران دامنهٔ پژوهش خود را به حوزهٔ فناورانهٔ خاصی محدود کرده‌اند (Geum et al., 2012). جئونگ همهٔ حوزه‌های فناوری را به‌کار می‌گیرد، اما آن‌ها را به مجموعه داده‌های رشته‌ای، شامل پروانه‌های ثبت اختراع ناشی از برنامه‌های پژوهشی دولت کرهٔ جنوبی محدود می‌کند (Jeong, 2014). کوران و لکر با استفاده از پروانه‌های ثبت اختراع امریکا برای اندازه‌گیری هم‌گرایی در سطح کلان روشی ساده ارائه می‌دهند؛ آن‌ها شواهدی از هم‌گرایی فناوری در بخش‌ها یا موارد خاص را نشان می‌دهند. از طرفی، برای اندازه‌گیری دیگر پدیده‌های هم‌گرایی، به‌ویژه هم‌گرایی علمی (پژوهش میان‌رشته‌ای)، قالبی متمرکز انتخاب می‌کنند (Curran and Leker, 2011). اندازه‌گیری هم‌گرایی علمی مبتنی‌بر تکنیک‌های گوناگون برای اندازه‌گیری مشابهت و هم‌پوشانی علوم بوده است و در چند دههٔ گذشته با استفاده از تحلیل کتاب‌سنجی توسعه یافته است (Rafols et al., 2010). در جدول ۱، برخی از این فنون معرفی شده است. مطالعات اخیر، با فراتررفتن از اندازه‌گیری صِرف هم‌گرایی علمی، اعتبار و سودمندی این فنون را بررسی کرده است و از هم‌گرایی علمی در میان سطوح گوناگون تحلیل، نظیر مقاله، نویسنده و مجله درک جامعی ارائه داده‌اند (Wagner et al., 2011).

٥. میان‌رشتگی و هم‌گرایی

دو مفهوم میان‌رشتگی و هم‌گرایی و ارتباط این دو با هم در این بخش تبیین می‌شود.

میان‌رشته‌ای یکی از اصطلاحات هسته در سیاست‌های کنونی علم است و نشان می‌دهد که علوم، انعکاسی شده‌اند و به‌سرعت تغییر می‌کنند. درحالی‌که به نظر می‌رسد دانشِ رشته‌ای کاربرد محدودی داشته باشد، میان‌رشتگی اجتناب‌ناپذیر است و نوع

سطح هم‌گرایی	نوع منبع تحلیل‌شده	روش‌ها و فنون رایج
علم	مقاله‌های علمی، پایان‌نامه‌ها، پروانه‌های ثبت اختراع	تحلیل هم‌واژگانی تحلیل هم‌استنادی تحلیل هم‌تألیفی تحلیل رده‌بندی مشترک دسته‌های موضوعی مجله
فناوری	پروانهٔ ثبت اختراع	تحلیل رده‌بندی مشترک دسته‌های پروانه‌های ثبت اختراع بین‌المللی
صنعت	اطلاعات صنعتی و شرکت‌های عام به همراه پروانه‌های ثبت اختراع	تحلیل واژگان پروانه‌های ثبت اختراع بین‌المللی و رده‌بندی صنعتی استاندارد تحلیل ورودی ـ خروجی

جدول ۱: سطوح هم‌گرایی و فنون سنجش آن

جدیدی از تولید علم برای مقابله با پیچیدگی مشکلات جهان واقعی است. جوامع دانشی مدرن و فراصنعتی، میان‌رشتگی را به‌منظور تسهیل تولید دانش و پردازش آن و اطمینان از قابلیت رقابت بین‌المللی و حفظ مشتری دنبال می‌کنند. درواقع، میان‌رشتگی از جنبه‌های گوناگون بسیار ارزشمند است. در این مورد، جوامع دانشی مدرن طالب میان‌رشتگی‌اند؛ درصورتی‌که جوامع صنعتی سنتی عمدتاً می‌کوشند رشته‌گرایی را ترویج کنند. درواقع، مدرنیتهٔ جدید با میان‌رشتگی (سیاست‌های علمی) و مدرنیته با رشتگی (سیاست‌های فناورانه) متمایز است (Schmidt, 2009: 2).

اصطلاحات هم‌گرایی به علت تفاسیر متفاوت از پژوهش بین رشته‌ای، چندرشته‌ای و فرارشته‌ای گمراه‌کننده است. پیام اصلی هم‌گرایی این است که انسجام ایده‌ها، رویکردها و فناوری‌های درحال ظهور، راهبرد حیاتی حل مشکلات پیچیده و توجه به پرسش‌های رشته‌های نوظهور و زیربنایی است. هم‌گرایی نیازمند فرهنگی جامع و باز و نیز ارائهٔ زبانی واحد برای حرکت در بین رشته‌ها و خلق مجموعهٔ مشترکی از مفاهیم و شاخص‌ها و درک مشترک از اهداف است. به این ترتیب، هم‌گرایی شکل گسترش‌یافتهٔ میان‌رشتگی است که در آن، پیکره‌های دانش تخصصی و حوزه‌های کلان فعالیت پژوهشی با هم یک کل واحد را می‌سازند. این حوزه‌های کلان هم‌گرا، وقتی کاملاً منسجم شوند، به‌منزلهٔ پارادایمی جدید، ایده‌ها، اکتشافات، ابزارها و رویکردهای مفهومی و روش‌شناختی را ارائه می‌کنند. پیشرفت‌هایی که در پژوهش پایه اتفاق می‌افتد به اختراعات، نوآوری‌ها و روش‌های جدید درمان منجر می‌شود و استراتژی‌های آموزش و پژوهش را شکل می‌دهد (Committee on Key Challenge Areas for Convergence and Health, 2014: 17).

میان‌رشتگی، وحدت و هم‌گرایی اغلب به‌جای هم به‌کار می‌روند. وحدت به این معناست که متغیرهای بسیاری از نظام‌های پیچیده در پارامترهای کوچک‌تر بازتولید می‌شوند. هم‌گرایی به بحث‌هایی نظیر نگاه جامع و جامع‌گرایی مربوط است. هم‌گراییِ علوم انقلاب جدیدی را آغاز می‌کند و از فناوری مبتنی‌بر ابزارهای تحول‌آفرین و محاسبات نظام‌های پیچیده و درک علت و معلولی یکپارچه دید جامعی به‌دست می‌دهد (Schmidt, 2009: 3). اگر هم‌گرایی به‌خوبی انجام شود، نقشهٔ راهی برای نوآوری، به‌ویژه برای تولید آنچه نوآوری ترکیبی نامیده شده خواهد بود. این فرایند هنگامی اتفاق می‌افتد که فناوری یا مجموعه‌ای از فناوری‌های نو، مجموعه‌ای غنی را پیشنهاد می‌دهد که برای تولید محصولات و خدمات جدید دوباره ترکیب می‌شوند. ازآنجاکه نوآوران و مخترعان رشته‌های متعدد بر روی این اجزا کار می‌کنند، شکوفایی فناوری را سرعت می‌بخشند (Committee on Key Challenge Areas for Convergence and Health, 2014: 19). براساس گزارش اخیر آکادمی هنر و علوم امریکا، پژوهش‌ها در مرحلهٔ برقراری تعادل‌اند و به نگاه فراتخصصی به مشکلات تبدیل شده‌اند و از رویکردهای مشارکتی و منسجم برای حل چالش‌های پیچیده استفاده می‌کنند. براساس این گزارش، فعالیت‌ها و خط‌مشی‌های پژوهشی به بازنگری نیازمندند؛ برای اینکه در دو سطح منسجم شوند: در میانِ رشته‌ها در قالب میان‌رشتگی و علم هم‌گرا و در میانِ ذی‌نفعان برای هم‌افزایی بیشتر و توجه به فرصت‌های سرمایه‌گذاری. این گزارش مدعی است که بدون این سطوح، فرایند هم‌گراییِ مؤثری اتفاق نخواهد افتاد (American Academy of Arts and Sciences, 2013).

۶. فناوری‌های هم‌گرا

مفهوم فناوری‌های هم‌گرا یکی از مسائلی است که در این مقاله بررسی می‌شود. به علت اهمیتی که این پدیده در سال‌های اخیر در سطح جهانی به‌دست آورده است، نخست به بحث تاریخچه و تعاریف آن می‌پردازیم، سپس آثاری که این حوزهٔ نوظهور بر شئون گوناگون انسانی و اجتماعی می‌گذارد و مزایای آن را بررسی می‌کنیم.

۶-۱- تاریخچه و تعاریف

اگر انقلاب اول را زیست‌شناسی سلولی و مولکولی و انقلاب دوم را ژنومیک بدانیم، هم‌گرایی فناوری نیز انقلاب سوم است. اخیراً بنیان‌گذاران و نظریه‌پردازان هم‌گرایی فناوری گام را فراتر نهاده‌اند و چشم‌انداز ده سالهٔ این حوزه را در چارچوب بلندمدت هم‌گرایی فناوری و توسعهٔ انسانی ترسیم کرده‌اند. آن‌ها به جهان نوینی سرشار از اکتشاف و اختراع و نوآوری امیدوارند؛ جهانی که از هم‌گرایی دانایی، فناوری و جامعه برخاسته است. روکو و بین‌بریج نظریهٔ جدید «هم‌گرایی دانایی و فناوری برای بهره‌مندی جامعه»[1] را به‌منزلهٔ فرصتی ناب برای پیشرفت در قرن بیست و یکم معرفی می‌کنند. این پدیده، تعاملی تحول‌آفرین در میان رشته‌های به ظاهر متفاوت، فناوری‌ها، جوامع و فعالیت‌های انسانی با هدف هماهنگی دوجانبه، هم‌افزایی، یک‌پارچگی، ارزش افزوده و رسیدن به اهداف مشترک است (Roco and Bainbridge, 2013: 9).

عبارت «فناوری‌های هم‌گرا» به ترکیب «نانوفناوری»، «زیست‌فناوری»، «فناوری اطلاعات» و «علوم شناختی» در مقیاسی بزرگ‌تر اطلاق می‌شود که با پروژه‌ای مشترک بین بیش از ۷۰ دانشمند در سال ۲۰۰۰ پایه‌گذاری شد. این برنامهٔ

1. Convergence of Knowledge and Technology for the benefit Society (CKTS)

پژوهشی با بودجهٔ اهدایی مرکز ارزیابی فناوری جهانی[1] به بنیاد ملی علوم[2] حمایت شد. بیشتر این دانشمندان بر اهمیت این چهار حوزه تأکید کردن که این امر منجر به ادغام این حوزه‌ها و شکل‌گیری رشتهٔ جدیدی به نام فناوری‌های هم‌گرا شد. این رشتهٔ جدید که به رویکردی هدفمند (معروف به تیر اِنبیک)[3]، برای هدایت پیشرفت‌ها در عملکرد انسان و افزایش سرعت پیشرفت‌های فناورانه، تبدیل شد، درنهایت منجر به تغییرات بسیار شگرفی خواهد شد (ibid: 2002). این پدیده، مقدمات عصری جدید را در پیشرفت‌های علمی قرن بیست و یکم فراهم می‌کند که هدف اصلی‌اش ادغام رشته‌های متنوع علوم و فناوری‌هاست. ازاین‌رو، قرن بیست و یکم عصر هم‌گرایی به‌شمار می‌رود (ShuShan, 2011: 468).

اصطلاح «فناوری هم‌گرا» در فرایند سیاست‌گذاری علم و فناوری جایگاه بسیار مهمی دارد. به‌نظر می‌رسد نخستین‌بار توجه جامعهٔ علمی در همایش برنامهٔ پیشاهنگ نانوفناوری ملی امریکا (ژوئن ۲۰۰۰)، با موضوع هم‌گرایی فناوری‌های نانو[4] و زیستی و[5] اطلاعات[6] و علوم شناختی[7] (NBIC)، به این فناوری‌ها جلب شد (نبی‌پور و اسدی، ۱۳۹۳: ۱۰٤٦). این فناوری‌ها، که براساس مفهوم هم‌گرایی به هم نزدیک و درنهایت با هم ترکیب می‌شوند، نقش مهمی در ترسیم اقتصاد، پیشبرد اهداف انسانی جوامع و تشکیل زیرساخت‌های صنعتی آینده دارند.

مفهوم فناوری‌های هم‌گرا، که پیشرفت چهار حوزهٔ علم و فناوری (نانو، زیستی، شناختی و اطلاعات) را دربر گرفته است، نیازمند مشارکت بسیاری از متخصصان شایسته است (Pilarski et al., 2004). فناوری‌های هم‌گرا به ترکیب هم‌افزای چهار حوزهٔ اصلی علم و فناوری اشاره دارد که هریک از آن‌ها به‌سرعت درحال پیشرفت‌اند. این حوزه‌ها عبارت‌اند از:

۱. علم و فناوری نانو؛
۲. فناوری زیستی و پزشکی زیستی، شامل مهندسی ژنتیک؛
۳. فناوری اطلاعات، محاسبات و ارتباطات پیشرفته؛
٤. علوم شناختی، شامل علوم اعصاب‌شناختی (روکو و بین‌بریج، ۱۳۹۱: ۱۷).

فناوری‌های هم‌گرا نظام‌های مبتنی‌بر دانش ـ فناوری هستند که برای دستیابی به هدفی مشترک به یکدیگر یاری می‌رسانند و ترکیب هم‌افزای این چهار فناوری، به تحولی شگرف در حوزه‌ها و صنایع گوناگون منجر می‌شود. این تعریف بیان‌گر توانایی‌های بالقوهٔ علم و فناوری در حوزهٔ فناوری‌های هم‌گراست (Nord-mann, 2004). این چهار حوزه، با پیشروی در مسیر پرشتاب پیشرفت‌های بی‌نظیر، درحالِ حرکت و نزدیک شدن به‌هم هستند. تمرکز آن‌ها بر جنبه‌های انسانی هنوز در آغاز راه است، اما پیش‌بینی می‌شود که در دهه‌های آینده نقشی غالب بیابند (روکو و بین‌بریج، ۱۳۹۱: ٤۷).

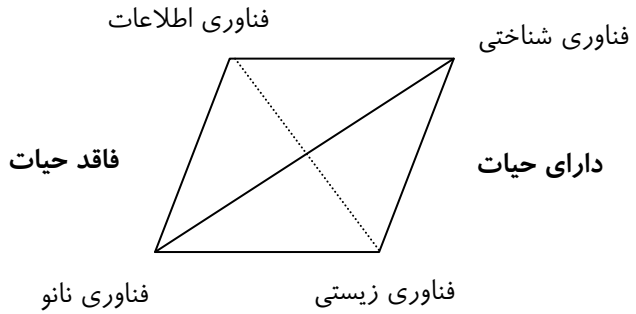
بنیاد ملی علوم ایالات متحدهٔ امریکا در گزارشی مستقل، هم‌گرایی فناورانه را قابلیت چند فناوری در هم‌افزایی، یک‌پارچگی و ادغام برای پاسخ به نیازی مشترک معرفی می‌کند. مقصود از یک‌پارچه‌شدن فناوری‌های چهارگانه آن است که ابعاد کاربرد آن‌ها درحال کوچک و نزدیک‌شدن به تراز نانومتر[8] است؛ به این معنا که در آینده‌ای نزدیک، بستر نانو به‌منزلهٔ فصل مشترکی عمل خواهد کرد و قابلیت‌هایی که مستقلاً در حوزهٔ فناوری اطلاعات، علوم‌شناختی و زیستی حاصل شده است در قالب اَبَرفناوری ظاهر خواهد شد. این ابرفناوری قادر است، برای بالابردن توان منحصربه‌فرد خود، هم‌زمان از قابلیت‌های هر چهار حوزهٔ نانو، اطلاعات، علوم‌شناختی و زیستی استفاده کند (Roco and Bainbridge, 2002).

ما در دوران الگوی بی‌نظیری از تحولات علمی و فناوری، یعنی دوران هم‌پوشانی انقلاب رایانه‌ای و ارتباطی با انقلاب نانو، زیست‌شناسی و اطلاعات قرار داریم. این تحولات بسیار قدرتمندند و اگر این دو الگو با هم ترکیب شوند، گذارهای پیوسته‌ای را تضمین می‌کنند و پیشرفتی مهم یا ابتکاری جدید حاصل می‌شود (روکو و بین‌بریج، ۱۳۹۱: ۸۳). در آینده پیشرفت‌های مهم در فناوری نانو با درهم‌آمیختن مرزهای میان سیستم‌های مولکولی طبیعی و ساخت انسان، فناوری اطلاعاتی با تهیهٔ ماشین‌های خودکارتر و هوشمندتر، علوم زیستی با بسط زندگی انسان تا علوم ژنوم و پرتئوم، علوم اعصاب و شناختی با ساخت شبکه‌های عصبی مصنوعی و رمزگشایی ادراک انسان و علوم اجتماعی با ساختن ژن‌های فرهنگی و بهره‌گیری از هوش و خرد جمعی، زمینه را برای به‌اوج‌رساندن سرعت پیشرفت فناوری و تحول عمیق نوع بشر فراهم می‌کنند. هم‌گرایی فناوری‌ها این توانایی را دارد که عامل و برانگیزانندهٔ تغییراتی بزرگ برای بشریت باشد (همان: ۱۷٦).

در شکل ۲، گروه ارزیابی فناوری اروپا چهار ناحیهٔ هم‌گرا را معرفی می‌کند. موارد فاقد حیات (اطلاعات و نانو) در یک سمت از فناوری‌های چهاروجهی و در سمت دیگر، فناوری‌های مربوط به زندگی و موجودات زنده (زیستی و شناختی) دیده می‌شوند.

1. World Technology Evaluation Center (WTEC)
2. National Science Foundation (NSF)
3. NBIC(Nano-Bio-Info-Cogno) arrow
4. Nano Technology
5. Bio Technology
6. Information Technology
7. Cognitive science

۸. یک نانومتر معادل یک میلیاردم یک متر است.



شکل ۲: نواحی هم‌گرایی

گفتنی است این بخش فقط با دو بُعد از نواحی‌ای که میان جفت‌های منتخب زمینه‌های فناوری در چهار وجه هم‌پوشانی دارند در ارتباط است (حکیم و علایی، ۱۳۹۲: ٦٦).

٦-۲- کاربردها و مزایا

امروزه هم‌گرایی فناوری‌ها از دو مسیر درحال پیشرفت است:

الف) حوزه‌های نانو، زیستی، اطلاعات و شناختی با حرکتی شتاب‌گونه و مرحله‌به‌مرحله در حال ادغام‌شدن در یکدیگرند؛

ب) اگر اتحاد قلمروهای گستردهٔ فناوری برای پاسخ‌دادن به نیازهای انسانی استفاده شوند، پیشرفت بشری را سرعت خواهند بخشید (Bainbridge and Roco, 2006).

برخی از کاربردهای گسترده و بلندمدت فناوری‌های هم‌گرا در حوزه‌های فعالیت بشری عبارت‌اند از:

بهره‌وری اجتماعی در زمینهٔ سلامت، مانند رشد اقتصادی؛
امنیت در مقابل حوادث طبیعی و انسان؛
آموختن در دوران زندگی، پیری دل‌پذیر و زندگی سالم؛
توسعهٔ فناوری و آمیختگی آن‌ها با فعالیت‌های بشری؛
انقلاب بشری در ابعاد فرهنگی و شخصی (Bainbridge and Roco, 2002).

تأثیر عمیق و پیش‌بینی‌ناپذیر پیشرفت‌ها در فناوری، زمانی اهمیت می‌یابد که دو یا چند فناوری، همانندِ حالت هم‌گراییِ نانو، زیستی، اطلاعات، شناختی، به‌منظور خلق فرصت‌های جدید، با یکدیگر ادغام شوند. فناوری‌های هم‌گرا قادرند کاربردهای جدیدی خلق کنند یا در مسیرهای تازه‌ای که روش‌های مرسوم را کاملاً متحول می‌کند استفاده شوند (حکیم و علایی، ۱۳۹۲: ٦٧). هم‌گرایی فناوری‌ها از دیدگاه اقتصادی، اجتماعی و منظرهای توسعه‌ای نقش مهمی دارد و با سیاست‌گذاری مناسب می‌توان رفاه، اقتصادِ توسعه‌یافته، فرایند نوآوری و تولید محصولات و خدمات با ارزش افزودهٔ بالا را برای جامعه فراهم کرد. از این منظر، هم‌گرایی فناوری‌ها فرصت‌های نوینی را برای اهداف توسعه‌ای و تکمیل شکاف دیجیتالی پدید می‌آورد (نبی‌پور و اسدی، ۱۳۹۳: ۱۰٤۷).

هم‌گرایی فناوری‌های نانو، زیستی، اطلاعات و علوم شناختی در ترسیم اقتصاد، جامعه و زیرساخت‌های صنعتی آینده نقش مهمی دارد. این پدیده، فرصت طرح مدلی جدید را برای سیاست‌گذاران، پژوهشگران و مدیران تجاری فراهم می‌کند تا نتیجهٔ احتمالی هم‌گرایی علوم و فنون را بررسی کنند (روکو و بین‌بریج، ۱۳۹۱: ۱۳۳-۱۳۵). موفقیت‌های برخاسته از دانش، ایده‌ها، مواد و فناوری‌های نوین، که از هم‌گرایی فعالیت‌ها پدیدار می‌شوند، بسیار ارزشمندند. اثر فناوری‌های هم‌گرا بر زندگی روزانه بسیار سودمند است. هم‌گرایی اجتماعی این ظرفیت را دارد که به شکل کارآمدی توانمندی‌های انسان، رقابت‌پذیری در عرصهٔ اقتصاد و امنیت زندگی را بهبود بخشد (Bainbridge and Roco, 2013: 11).

اتحادیهٔ اروپا در سال ۲۰۰٤ با انتشار گزارشی، با عنوان «فناوری‌های هم‌گرا: شکل‌دهی آیندهٔ جوامع اروپایی»، دیدگاه خود را در این مورد این‌گونه بیان کرده است: توانمندسازی فناوری‌ها یا نظام‌های دانش از جانب یکدیگر به‌منظور دنبال‌کردن هدفی مشترک است. در این روایت از هم‌گرایی فناورانه، یکی‌شدن همهٔ حوزه‌ها لزومی ندارد و لازمهٔ هم‌گرایی نیست. هم‌گرایی در این رویکرد عمدتاً در قالب هم‌افزایی دو به دوی فناوری‌های نو یا همکاری هر چهار فناوری، بدون تأکید بر یک‌پارچه‌سازی آن‌ها، در نظر گرفته می‌شود (Nordmann, 2004).

هرچند جهت‌گیری کلی در برابر چهار فناوری هم‌گرا در مسیر یک‌پارچه‌سازی آن‌هاست، اما امکانات فناورانهٔ کنونی هنوز آن‌قدر نیست که این امر را به شکل مطلوبی محقق سازد. آنچه امروز در حالِ وقوع است تبادل بین مرزهای مشترک این چهار فناوری و ارتقای توان هم‌افزایی آن‌هاست. این امر از یک‌سو باعث بهبود ارتباط بین اجزای ماشین و ابزار متشکل از چند فناوری خواهد شد و از سوی دیگر، به بالابردن بازده مهارت‌ها و فرایندهای مناسب برای خلق فناوری‌ها یاری می‌رساند (پایا و کلانتری‌نژاد،

۱۳۸۹: ۲۸). این تحولات زمینه را برای ظهور ابرروندها[1] مهیا می‌کنند. ابرروندها، خواه سیاسی و خواه فرهنگی، اقتصادی و فناورانه، تمامی حوزه‌های مرتبط با خود را تحت تأثیر قرار می‌دهند و پارادایم‌های جدیدی را در این حوزه‌ها پدید می‌آورند (Roco, 2002).

هم‌گرایی چهار حوزهٔ نانو، زیستی، اطلاعات و شناختی، مبتنی‌بر اتحاد مادی و علمی در مقیاس نانوست. فناوری اطلاعات به‌سادگی قادر به هم‌گرایی با دیگر فناوری‌هاست؛ زیرا از این حوزه بیشتر در حکم ابزار استفاده می‌شود. درمقابل، زیست‌فناوری یکی از حوزه‌های هدف‌محور به‌شمار می‌رود، به همین علت بازار منحصربه‌فردی دارد و از آن برای درمان بیماری‌ها و بهبود بیماران استفاده می‌شود. فناوری نانو نیز حوزهٔ بیگانه‌ای نیست و به‌سادگی با زیست‌فناوری، فناوری اطلاعات و فناوری شناختی هم‌گرا می‌شود، درنتیجه از آن به‌منزلهٔ جایگاهی برای به‌حداکثررساندن تأثیر همکاری میان دیگر فناوری‌ها استفاده می‌شود. انتظار می‌رود که ادغام این حوزه‌ها در آینده شتاب گیرد و روند هم‌گرایی‌ها باید در سیاست‌گذاری‌ها لحاظ شود (Kang and Oh, 2012). هریک از نوآوری‌های فناوری‌های هم‌گرا به‌تنهایی قابلیت تأثیرگذاری در رسیدن به مدیریت نوآوری را دارند. درعین‌حال، انسجام آن‌ها مزایای فراوانی دارد، ازجمله:

تقویت کشف و نوآوری؛
تولید محصولات ارزان‌قیمت پرمصرف؛
افزایش ظرفیت یادگیری افراد برای بهبود قابلیت‌های انسانی؛
ارتقای کیفیت زندگی؛
ارائهٔ ابزارهای جدید برای افزایش بهره‌وری؛
دسترسی به بازارهای جدید؛
بهبود عملکرد انسانی و یادگیری جهانی؛
خلق مزیت رقابتی برای کسب‌وکارها و جوامع (Bainbridge and Roco, 2006: 42).

فناوری‌های هم‌گرا طلایه‌دار اقتصاد نوآورانه هستند و پارادایم جدیدی از کشف را ارائه می‌دهد. براساس این پارادایم، مشکلاتی که امروزه با آن‌ها مواجهیم و یا در آینده با آن‌ها روبه‌رو خواهیم شد به راه‌حل‌های میان‌رشته‌ای برای مدیریت بهتر چالش‌ها و بحران‌های جهانی نیازمندند. بهره‌وری اقتصادی، امنیت و کیفیت زندگی جزو اهداف راهبردی‌اند و فناوری‌های هم‌گرا به‌منزلهٔ مجموعه‌ای از ابزارها در مسیر نیل به این اهداف هستند (ibid: 45). یکی از اقدامات مؤثر برای کمک به توسعهٔ بهینهٔ فناوری‌های هم‌گرا، طراحی و راه‌اندازی نظامی است که بتواند وضعیت توسعهٔ فناوری‌های هم‌گرا را دائماً در کشور پایش و اندازه‌گیری کند و با رصد فرایندهای بین‌المللی، مجموعه‌ای از پیشنهادها و راهکارهای مناسب را ارائه کند (پایا و کلانتری‌نژاد، ۱۳۸۹: ۳۰).

۷. میان‌رشتگی: مخرج مشترک فناوری‌های هم‌گرا

پیش‌نیاز ورود به بحث فناوری‌های هم‌گرا، عبور آگاهانه از مرزهای دانشی در علوم مرتبط است. این حوزه‌ها باید به سمت یک‌پارچگی و هم‌افزایی حرکت کنند تا بر اثر تعاملات عمیق و چندجانبه، زمینه‌های ارتقای سطح هم‌گرایی، از علم به فناوری، و سپس به بازار و صنعت، هموار شود.

هم‌گراییِ علمی شامل همکاری و تقویت رشته‌های علمی گوناگون و مشارکت در موضوعی مشترک است. نیز، هم‌گرایی فناورانه به معنی استفاده از یافته‌های رشته‌های گوناگون در کاربردهای ویژه و محصولات فناورانه است. واژهٔ هم‌گرایی به درجه‌ای از آمیختگی علوم گوناگون اشاره می‌کند، و فراتر از فصول مشترک اما پراکنده، همکاری موقت بین حوزه‌های گوناگون یا افرادی است که برای کار بر روی موضوع ویژه‌ای گردِهم می‌آیند. این بحث، به شفاف‌شدن مرزها و هویت‌های رشته‌ای در حوزه‌های مشترک منجر می‌شود. هم‌گرایی نه لزوماً در سطح نظری، بلکه در سطح اجرایی کارها و تشکیل مسائل اتفاق می‌افتد؛ بنابراین به نظر می‌رسد هدف هم‌گرایی تشکیل ساختارهای کاملاً جدید، موضوعات، محصولات و ابزارهاست. هم‌گرایی فناورانه روش تولید علم را تحت تأثیر قرار می‌دهد و در روندهای اخیر به سمت قالب‌های جدید علم ـ فناوری حرکت می‌کند، مسئله‌ای که شایستهٔ توجه دقیق‌تر است (Andler et al., 2008: 17-18). هم‌گراییِ علوم نتیجهٔ نیاز روزافزون به پژوهش میان‌رشته‌ای درحال وقوع است که خودش نتیجهٔ مشکلات روزافزون اجتماعی به‌منزلهٔ پیشران‌های توسعهٔ فناورانه است (Shmulewitz et al., 2006: 279).

زایش فناوری‌های پیشرفته از شناخت دقیق پدیده‌ها و روابط میان آن‌ها و الگوبرداری صحیح از آن‌ها حاصل می‌شود. برای رشد چشمگیر در علم و نوآوری و فناوری، باید نظام ملی نوآوری‌ای برمبنای علم و حکمت تشکیل داد که به علوم بین‌رشته‌ای و ساختاربندی جدید نیازمند باشد تا از طریق آن، به آینده‌ای روشن در علم و فناوری دست یافت (موسوی موحدی، ۱۳۹۲: ٦). هم‌گرایی فناوری، متضمن انسجام دانش در رشته‌های جداگانه است. بنابراین برای اینکه هم‌گرایی فناورانه اتفاق بیفتد، انسجام دانش بین‌رشته‌ای لازم است؛ انسجامی که به‌منزلهٔ چالشی ویژه شناخته می‌شود (Hovelynck et al., 2010). روکو تأکید دارد یگانه راهی که از فناوری‌های هم‌گرا سود می‌برد این است که «ارتباطات میان‌رشته‌ای منعکس‌کنندهٔ وحدت در طبیعت» است. پیشرفت فناوری‌های هم‌گرا نیازمند مبادلهٔ عمیق است و رشته‌ها

1. Megatrends

را متحول می‌کند؛ بنابراین نیازمند همکاری بین رشته‌های واقعی است. رشد فناوری‌های هم‌گرا نیازمند شناسایی ظرفیت همکاری میان‌رشته‌ای در برنامه‌های درسی است (Bainbridge and Roco, 2006: 73).

پژوهش میان‌رشته‌ای و هم‌گرایی فناورانه شامل چند بُعد است:

۱. جست‌وجوی مبنایی مشترک برای پروژه‌های پژوهشی که انسجام هدفمند را ممکن می‌کند. وظیفهٔ فلسفهٔ علم، تلاش‌های قوی برای تمایز بین انواع پژوهش میان‌رشته‌ای است. برای مثال، اشمیت (2008) چهار نوع پژوهش میان‌رشته‌ای پیشنهاد می‌کند که انسجام‌بخش‌اند؛ پژوهش میان‌رشته‌ای نظری، روش‌شناسی، مبتنی بر مسئله، مبتنی بر هدف. اشمیت، با بررسی این چهار نوع پژوهش میان‌رشتگی، نتیجه‌گیری می‌کند که فناوری‌های هم‌گرا مبتنی‌بر «میان‌رشتگی مبتنی‌بر هدف»اند. براساس تحلیل وی، هیچ پارادایم یا چارچوب نظری یا روش‌شناسانهٔ واحدی نیست که در فراتررفتن از حوزه‌های گوناگون پژوهش در فناوری‌های هم‌گرا توانا باشد؛

۲. تحلیل میان‌رشتگی، سطح مؤسسه‌ای یا سازمانی: در این وضعیت، فرد در پی دانستن این است که بداند انسجام رشته‌ها در حوزه‌های خاص تا چه حد موفق بوده است. با اهمیت روزافزون فناوری‌های نانو و زیستی، ساختار میان‌رشته‌ای این حوزه‌های پژوهشی را پژوهشگران متعددی نظیر شامر، هینز، و رافولز و میر انجام داده‌اند. برخی نیز بر این باورند که نرخ میان‌رشتگی در فناوری‌های هم‌گرا از دیگر حوزه‌های علمی بالاتر نیست؛ به این معنی که پژوهش در فناوری‌های هم‌گرا هنوز بسیار پراکنده است (Schummer, 2004; Heinze, 2004; Rafols and Meyer, 2007).

نتیجه‌گیری

فناوری، به منزلهٔ فرایند، منحصر به قلمرو علمی خاصی نیست، بلکه محصول دادوستد میان بسیاری از حوزه‌هاست. پیشرفت‌های فناورانه نیازمندِ رشد نظام‌مند حوزه‌های گوناگون و ارتباط نزدیک میان آن‌هاست. در این میان، حوزهٔ فناوری‌های هم‌گرا حوزه‌ای وسیع است که بدون پیش‌بینی و تدوین راهبردهای قوی و دقیق، دستیابی به جایگاه مناسب در آن دشوار خواهد بود. بحث هم‌گرایی در این فناوری‌ها اهمیت محوری دارد و تشخیص این پدیدار، برای راه‌گشایی مسیرهای آتی ضروری است. برای اینکه هم‌گرایی فناورانه اتفاق بیفتد، انسجام دانش بین‌رشته‌ای لازم است که چالش فوق‌العاده‌ای به‌شمار می‌آید. پیشرفت فناوری‌های هم‌گرا نیازمند مبادلهٔ عمیق برای تحول در رشته‌هاست. بنابراین، همکاری بین رشته‌های درگیر را طلب می‌کند. انسجام در رشته‌ها و تشکیل ترکیبات جدید، نقطهٔ پیشرفت حوزهٔ فناوری هم‌گراست و نیل به هماهنگی دو و چندجانبه در این حوزه‌ها، هم‌افزایی، یک‌پارچگی، ارزش افزوده و رسیدن به اهداف مشترک را در پی دارد.

طی‌کردن مسیرهای هم‌گرایی و تکاپو برای مرتبط‌کردن فناوری‌ها، مستلزم دریافت شواهدی برای یک‌پارچه‌شدن حوزه‌هاست. دراین‌باره باید مشخص شود که آیا علوم به‌حدی از پختگی و کمال رسیده‌اند که به سمت نوعی هم‌گرایی و یک‌پارچگی حرکت کنند یا خیر؟ درواقع باید دانست که انسجام رشته‌ها در حوزه‌های خاص تا چه حد موفق بوده است. هم‌گرایی نیازمند مشارکت متخصصان و یک فرهنگ جامع و باز بوده است و توافق بر سر مجموعهٔ مشترکی از مفاهیم و شاخص‌ها و درک مشترک از اهداف خواهد بود. هم‌گرایی فناورانه روش تولید علم را تحت تأثیر قرار می‌دهد و آن را به سمت قالب‌های جدیدِ علم ـ فناوری هدایت می‌کند. در این مورد، تدوین الگوی کارآمد برای همکاری‌های تخصصی و چندبعدی ــ که لزوماً خصلت بین‌رشته‌ای و چندرشته‌ای داشته باشد ــ تشکیل کنسرسیوم یا استفادهٔ شبکه‌ای از کنش‌گران و ذی‌نفعان در این زمینه و نیز توجه به فرصت‌های سرمایه‌گذاری و همکاری در میان ذی‌نفعان برای هم‌افزایی بیشتر ضروری به‌نظر می‌رسد.

به‌منظور تقویت زمینه‌های همکاری‌های علمی و میان‌رشته‌ای و همچنین زمینه‌سازی برای نیل به سطوح بالاتر هم‌گرایی راهکارهای زیر پیشنهاد می‌شود:

- آسیب‌شناسی و رفع موانع و محدودیت‌های فعالیت‌های پژوهشی میان‌رشته‌ای در نظام دانشگاهی کشور؛
- ارائهٔ تسهیلات و منابع مالی لازم برای طراحی و راه‌اندازی فعالیت‌ها و برنامه‌های مشترک میان گروه‌ها، دانشکده‌ها، دانشگاه‌ها، دولت و صنعت؛
- تدوین سازوکارهای لازم برای حمایت مادی و معنوی از طراحی و اجرای فعالیت‌های بین‌رشته‌ای و دستاوردهای آن‌ها؛
- تدوین و طراحی برنامهٔ راهبردی کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدتِ گسترش و پیشبرد فعالیت‌ها و رشته‌های بین‌رشته‌ای در دانشگاه‌ها؛
- راه‌اندازی دانشکدهٔ میان‌رشته‌ای در یکی از دانشگاه‌های معتبر و علاقه‌مند؛

تأسیس انجمن‌ها، برگزاری کارگاه‌ها و همایش‌های دوره‌ای مرتبط با فعالیت‌های میان‌رشته‌ای؛

- افزایش تعاملات بین‌المللی و استفاده از تجربیات سایر دانشگاه‌های برتر دنیا در زمینهٔ توسعهٔ فعالیت‌های آموزش و پژوهشی میان‌رشته‌ای؛
- اعطای امتیاز بیشتر به پژوهش‌های بین‌رشته‌ای در نظام

ارتقای شغلی و علمی اعضای هیئت علمی به علت دشواری، پیچیدگی و زمان‌بربودن آن به نسبت پژوهش‌های تک‌رشته‌ای؛

- اجرای کارگاه‌هایی برای ترویج روحیهٔ همکاری در بین محققان رشته‌های گوناگون و افزایش تبادل دانش در زمینه‌های مرتبط؛
- انتشار مجلات علمی تخصصی منحصر به تحقیقات بین‌رشته‌ای؛
- تشویق دانشجویان مقاطع تحصیلات تکمیلی به انجام فعالیت‌ها و انتشار مقاله‌های مشترک با دانشجویان سایر رشته‌ها از طریق اساتید این مقاطع؛
- بازنگری و بازتعریف مأموریت گروه‌های علمی بر پایهٔ الزامات فعالیت‌ها و رشته‌های بین‌رشته‌ای.

منابع

پایا، علی. و کلانتری‌نژاد، رضا (۱۳۹۰). چهارمین موج توسعهٔ علمی ـ فناورانه و پیامدهای فرهنگی و اجتماعی آن در ایران. تهران: مرکز تحقیقات سیاست علمی کشور.

حکیم، امین. و علایی، حسین (۱۳۹۲). «بررسی کاربردها و تحلیل فرصت‌ها و تهدیدات فناوری‌های هم‌گرا(NBIC) در حوزهٔ دفاعی کشور». مجلهٔ سیاست دفاعی، ۲۱ (۸۲)، ۶۱-۱۱۰.

روکو، میهال‌سی. و بین‌بریج، ویلیام سیمز (۱۳۹۱). نقش فناوری‌های هم‌گرا در بهبود عملکرد انسانی. ترجمهٔ علیرضا فرشچی و مصطفی مهرورزی. تهران: مؤسسهٔ آموزشی و تحقیقاتی صنایع دفاعی، مرکز آینده‌پژوهی علوم و فناوری دفاعی.

نبی‌پور، ایرج. و اسدی، مجید (۱۳۹۳). «فناوری‌های هم‌گرا شکل‌دهندهٔ آیندهٔ پزشکی». مجلهٔ طب و تزکیه، ۱۷(۶)، ۱۰۴۵-۱۰۶۷.

American Academy of Arts and Sciences (2013). ARISE 2: *Unleashing America's Research & Innovation Enterprise*. Cambridge, MA: American Academy of Arts and Sciences [online]. Available: http://www.amacad.org/content/publications/publication.aspx?d=1138.

Andler, Daniel and et al. (2008). "Converging Technologies and their impact on the Social Sciences and Humanities (CONTECS) An analysis of critical issues and a suggestion for a future research agenda. Karlsruhe: Fraunhofer Institute for Systems and Innovation". Online: *cordis.europa.eu/documents/documentlibrary/124377001EN6.pdf*.

Bainbridge, W. S. and Roco, M. C. (2006). *Managing nano-bio-info-cogno innovations*. Dordrech [etc.]: Springer.

Committee on Key Challenge Areas for Convergence and Health; Board on Life Sciences; Division on Earth and Life Studies; National Research Council (2014). *Convergence Facilitating Transdisciplinary Integration of Life Sciences, Physical Sciences, Engineering, and Beyond*. Washington: National Academies Press.

Curran, C. S. and Leker, J. (2011). "Patent indicators for monitoring convergence—examples from NFF and ICT". *Technological Forecasting and Social Change*, 78(2), 256–273.

Geum, Y. and Kim, C. and Lee, S. and Kim, M. (2012). "Technological convergence of IT and BT: Evidence from patent analysis". *ETRI Journal*, 34(3), 439–449.

Heinze, T. (2004). "Nanoscience and Nanotechnology in Europe: Analysis of Publications and Patent Applications including Comparisons with the United States". *Nanotechnology, Law & Business*, 1(4), 427-445.

Hovelynck, J. and Dewulf, A. and Francois, G. and Taillieu, T. (2010). "Interdisciplinary knowledge integration through group model building: Recognizing dualities and triadizing the conversation". *Environmental Science & Policy*, 13(7), 582–591.

Jeong, S. (2014). "Strategic collaboration of R & D entities for technology convergence: exploring organizational differences within the triple helix". *Journal of Management & Organization*, 20(2), 227–249.

Jeong, S. and Kim, J.-C. and Choi, J. Y. (2015). "Technology convergence: What developmental stage are we in?" *Scientometrics*, 104, 841-871.

Kang, B. J. and Oh, D. S. (2012). "The Emerging Trend of Technological Convergence and Tasks for Science Parks". *World Technopolis Review*, 1(1), 16-26.

Nordmann, A. (2004). "Converging Technologies–Shaping the Future of European Societies"[Report]. *Foresighting the New Technology Wave; European Commission*.

Organization for Economic Co-operation and Development (2014). *Challenges and Opportunities for Innovation through Technology:*

Scientometrics, 59(3), 425–465.

Sharp, P.A. (2011). "Convergence is a new paradigm that can yield critical advances in a broad array of sectors, from health care to energy, food, climate, and water", *MIT Washington Office*.

Shmulewitz, A. and Langer, R. and Patton, J. (2006). "Convergence in biomedical technology". *Nature Biotechnology*, 24(3), 277-280.

ShuShan, CAI (2011). "The age of synthesis: From cognitive science to converging technologies and hereafter". *Chinese Science Bulletin*, 56(6), 465−475.

Wagner, C. S. and Roessner, J. D. and Bobb, K. and Klein, J. T. and Boyack, K. W. and Keyton, J. and Rafols, I. (2011). "Approaches to understanding and measuring interdisciplinary scientific research (IDR): A review of the literature". *Journal of Informetrics*, 5(1), 14–26.

Wong P-K. and Annette, S. (2005). "Technological Specialization and Convergence of Small Countries: The case of the late-industrializing Asian NIES". *NUS Entrepreneurship Center Working paper*, 5-11.

The Convergence of Technologies. http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=DSTI/STP(2013)15/FINAL&docLanguage=En

Pilarski, L. and Mehta, M. and Caulfield, T. and Kaler, K. and Backhouse, J. (2004). "Microsystems and Nanoscience for Biomedical Applications: A View to the Future". *Bulletin of Science, Technology and Society*, 24(1), 40-45.

Porter, A.L. and Roessner, J.D and Cohen, A.S. and Perreault, M. (2006). "Interdisciplinary research: Meaning, metrics and nurture". *Research Evaluation*, 15(3), 187–195.

Rafols, I. and Meyer, M. (2007). "How cross-disciplinary is bionanotechnology? Explorations in the specialty of molecular motors". *Scientometrics*, 70, 633-650.

Rafols, I. and Porter, A. and Leydesdorff, L. (2010). "Science overlay maps: A new tool for research policy and library management". *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 61(9), 1871–1887.

Roco, M.C. and Bainbridge, W.S. (2013). "The new world of discovery, invention, and innovation: convergence of knowledge, technology, and society". *Journal of nanoparticle research*, 15(9), 1-17.

Roco, M.C. and Bainbridge W.S. (2002). "*Converging Technologies for Improving Human Performance: Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science*" [Report]. Arlington, Virginia: National Science Foundation.

Schmidt, J.C. (2008). "Towards a philosophy of interdisciplinarity. An attempt to provide a classification and clarification". *Poesis & Praxis*, 5(1), 53-69.

Schmidt, J.C. (2009). "Knowledge politics of nano-interdisciplinarity Towards a Critical Knowledge Assessment". *Atlanta Conference on Science and Innovation Policy*, Atlanta, 2-3 Oct.

Schummer, J. (2004). "Multidisciplinarity, interdisciplinarity, and patterns of research collaboration in nanoscience and nanotechnology".