همگرایی علم و فناوری

رهیافتی به دانشگاه نسل سوم

تألیف و ترجمه

دکتر ایرج نبی‌پور

همگرایی علم و فناوری

رهیافتی به دانشگاه نسل سوم

تألیف و ترجمه

دکتر ایرج نبی پور

بنیاد رشد و اندیشهٔ سازندگی استان بوشهر

جمهوری اسلامی ایران وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی کلان منطقهٔ پنج

دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی بوشهر مرکز تحقیقات زیست فناوری دریایی خلیج‌فارس

جمهوری اسلامی ایران وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی معاونت آموزشی

پارک علم و فناوری خلیج فارس

IRAMOT

به نام خداوند جان و خرد

سرشناسه	: نبی‌پور، ایرج، ۱۳۴۲ -
عنوان و نام پدیدآور	: همگرایی علم و فناوری رهیافتی به دانشگاه نسل سوم/ تالیف و ترجمه ایرج نبی‌پور؛ ویراستار کتایون وحدت.
مشخصات نشر	: بوشهر: دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی بوشهر، انتشارات، ۱۳۹۸.
مشخصات ظاهری	: ۲۱۰ ص.: مصور (رنگی).
شابک	: 978-600-5032-96-3
وضعیت فهرست نویسی	: فیپا
موضوع	: آموزش عالی -- اثر نوآوری
موضوع	: Education, Higher-- Effect of technological innovations on
موضوع	: مدیریت دانش -- نوآوری
موضوع	: Knowledge management -- Technological innovations
موضوع	: دانشگاه‌ها و مدارس عالی پزشکی -- ایران -- نوآوری
موضوع	: Medical colleges-- Iran -- Technological innovations
موضوع	: همکاری دانشگاه و صنعت
موضوع	: Academic-industrial collaboration
موضوع	: اقتصاد دانش بنیان -- ایران
موضوع	: Knowledge economy -- Iran
شناسه افزوده	: دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی بوشهر. انتشارات
رده بندی کنگره	: LB۲۳۹۵/۷
رده بندی دیویی	: ۳۷۸/۱۲۰۲۸۵
شماره کتابشناسی ملی	: ۵۷۰۲۵۲۴

همگرایی علم و فناوری

رهیافتی به دانشگاه نسل سوم

تألیف و ترجمه: دکتر ایرج نبی پور

چاپ اول : بهار ۱۳۹۸

حروفچینی: حسین آذری

ویراستار: دکتر کتایون وحدت، دارا جوکار

صفحه آرا: دارا جوکار

ناشر: انتشارات دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی بوشهر

چاپ : نزهت

شمارگان : ۲۰۰۰ جلد

بوشهر، خیابان معلم، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی بوشهر

تقدیم به استاد ارجمند

جناب آقای دکتر مسلم بهادری

چهره ماندگار پزشکی ایران زمین

به پاس تلاش های توانمان با عشق ایشان

در راه توسعه رهیافت همکرایی در سطح کشور

فهرست مطالب

پیشگفتار **۱**

فصل اول: همگرایی چیست؟ **۷**

فصل دوم: تئوری‌های عمومی کلیدی همگرایی پویا **۲۵**

تئوری وحدت طبیعت ۲۸

تئوری بوم‌زیست برهم‌کنش انسان ۳۰

تئوری پیچیدگی ۳۲

تئوری رشد اقتصادی ۳۳

تئوری شبکهٔ تخصص ۳۷

تئوری پیش رفتگی معکوس ۳۹

تئوری اصول بنیادی ۴۰

تئوری خط مجانب پیشرفت ۴۲

تئوری انقلاب بیرونی ۴۳

تئوری پاسخ به مسائل اجتماعی ۴۶

فصل سوم: اصول و شیوه‌های همگرایی..... ۴۹

اصل اول: بهره‌برداری از برهمبستگی (اتکاء متقابل) در میان حوزه‌ها ۵۲

اصل دوم: بهبودی در چرخهٔ همگرایی - واگرایی ۶۵

اصل سوم: حل مسئله و تصمیم‌گیری استنتاجی با منطق سیستمی ۷۳

اصل چهارم: خلق و به کار گیری زبان‌های میان‌حوزه‌ای سطح بالا..... ۷۹

اصل پنجم: به کار بردن پژوهش‌های بنیادی الهام یافته از چشم‌انداز برای پرداختن به چالش‌های درازمدت..... ۸۹

ملاحظات پایانی..... ۹۶

فصل چهارم: دانشگاه نسل سوم و همگرایی علم، فناوری و جامعه ..۱۰۱

پلتفورم فناوری‌های بنیادین ۱۱۲

پلتفورم مقیاس انسانی..... ۱۲۵

پلتفورم مقیاس اجتماعی..... ۱۳۷

پلتفورم مقیاس سیارهٔ زمینی ۱۴۶

منابع..... ۱۵۳

فصل پنجم: پیش‌نویسی برای نقشهٔ راه فناوری‌های همگرا در دانشگاه‌های علوم پزشکی جهت کسب مرجعیت علمی ۱۵۷

مقدمه ۱۵۹
روش کار ۱۶۴
گام اول: گستره و تعریف فناوری‌های همگرا ۱۶۵
گام دوم: مسیر (ساختار و عناصر) همگرایی ۱۷۴
گام سوم: نقشهٔ راه فناوری ۱۸۱
گام چهارم: طرح عملیاتی و راهبرد سرمایه‌گذاری ۱۹۶
منابع ۲۰۷

همگرایی یک رهیافت حل مسئله است که از مرزهای رشته‌ای عبور می‌کند و دانش، ابزارها و شیوه‌های تفکراتی پیرامون زندگی، علوم سلامت، علوم فیزیکی، علوم محاسبه‌ای، ریاضیات، رشته‌های مهندسی و فراتر را یکپارچه می‌سازد تا چهارچوب صناعی جامعی را جهت رویارویی با چالش‌های علمی و اجتماعی که در هم‌کنش‌گاه (محل تلاقی) گستره‌های چندگانه وجود دارند را خلق نماید. با یکپارچه‌سازی این گستره‌های متنوع در شبکه‌ای از مشارکت‌ها، همگرایی، نوآوری را از علوم پایه تا کاربردهای ترجمانی، تحریک می‌کند. در واقع، همگرایی زمین حاصلخیزی را برای همکاری‌های نوین فراهم می‌آورد که ذی‌نفع‌ها و شرکاء را نه تنها از بخش دانشگاهی بلکه در سطح ملّی، صنعت، آزمایشگاه‌ها و بیمارستان‌ها و چیدمان‌های بالینی تا پیکره‌های سرمایه‌گذاری، درگیر می‌نماید.

هم اکنون، جهان در حال تجربه کردن بنیان‌های انقلاب صنعتی چهارم است. انقلابی که بر روی همجوشی و همگرایی فناوری‌ها است. این حرکت به سوی انقلاب صنعتی چهارم که خود را به شکل یک ابرروند نشان داده است، موجب شده است که خطوط میان فناوری‌های فیزیکی،

دیجیتالی و بیولوژیکی محو شوند. در حقیقت، دیجیتالی شدن، ستون فقرات انقلاب صنعتی چهارم است که به واسطهٔ آن همگرایی فناوری‌ها و رشته‌های علوم روی داده و دانش‌ها و فناوری‌های نوینی در این گذر پدیدار می‌شوند که نمونه‌های آن را می‌توان در هوش مصنوعی، واقعیت افزودهٔ مجازی، اینترنت اشیاء (IoT)، خودروهای خودران، پهپادها، چاپ سه بعدی، نانوزیست فناوری، علوم مواد پیشرفته، ذخیره‌سازی انرژی و رایانش کوانتومی مشاهده کرد.

شاید نخستین بار توجه جامعهٔ علمی بر اساس یافته‌های همایش ژوئن ۲۰۰۲ میلادی که توسط برنامهٔ پیشاهنگ نانوفناوری ملّی آمریکا برگزار گردید و نتایج آن به صورت گزارشی تحت عنوان «*فناوری‌های همگرا برای بهبودی کارآیی انسان*» پیرامون همگرایی فناوری‌های نانویی، زیستی، اطلاعات و علوم شناختی (NBIC) توسط روکو و بین بریج در سال ۲۰۰۳ میلادی انتشار یافت، به سوی این فناوری‌ها جلب شد.

رهیافت همگرایی پس از تجلی خود در قالب فناوری‌های NBIC به فراتر میل نمود و در طی یک دهه به مفاهیم و چشم‌اندازی در ورای مفاهیم همگرایی فناوری‌های چهارگانهٔ NBIC دست یافت و هم اکنون مفهوم جامعه را نیز در خود لحاظ نموده است و همگرایی به صورت همگرایی علم، فناوری و جامعه (CKTS) توصیف می‌شود که هدف آن توسعهٔ انسانی و سودمند نمودن جامعه است که با نیازها و ارزش‌های اجتماعی رانش می‌یابد.

چنین به نظر می‌رسد که آموزش عالی و سیاست علم و فناوری در

غرب، به ویژه در آمریکا، تحت فلسفهٔ رهیافت همگرایی علم و فناوری قرار گرفته و منتظر زایش فناوری‌های نوپدید و بنیان برافکن می باشند که در نهایت این رهیافت موجب شکل‌گیری جامعهٔ شناختی[1] و رشد و توسعهٔ اقتصادی جامعه می شود. بدین‌سان، شیوه های رهیافت همگرایی که توسط نظریه پردازان بنیاد ملّی علم (NFS) آمریکا یعنی ام. سی. روکو و دبلیو. اس. بین بریج دنبال می‌شود، در سیاست‌های علم و فناوری آمریکا بسیار اثرگذار بوده است.

از سوی دیگر، در پاره‌ای از کشورهای اروپایی و ایران، تحول در آموزش عالی از مسیر دانشگاه‌های نسل سوم هدایت می‌شود. در نظریهٔ پایهٔ دانشگاه نسل سوم، به مأموریت سنتی دانشگاه‌ها یعنی آموزش و پژوهش، مأموریتی سومی پیوند می‌خورد که آن نیز پیوند زدن نتایج علمی دانشگاه‌ها در اقتصاد محلی به واسطهٔ به کار گیری، کاربرد و آشکارسازی دانش و دیگر توانمندی‌های دانشگاه در حلقهٔ بیرونی محیط آکادمیک است که به دانشگاه‌ها نقش مشارکتی را در توسعهٔ اجتماعی و اقتصادی جامعه، به عنوان مأموریت سوم آن‌ها، اهدا می‌نماید. بر اساس این نظریهٔ پایه برای دانشگاه‌های نسل سوم، این نوع دانشگاه‌ها مجبور هستند که با دانشی که زایش می‌کنند، برای جامعه نیز خلق ارزش کنند.

هدف از این نوشتار پرداختن به رهیافت همگرایی علم و فناوری و جامعه در قالب مدل دانشگاه‌های نسل سوم است که دانشمند ارجمند و

[1] Cognitive Society

نستوه جناب آقای دکتر لاریجانی در طرح تحول آموزش علوم پزشکی در دانشگاه‌های علوم پزشکی کشور، بنیان‌گذاری نموده‌اند. به زبان دیگر، این نوشتار در تلاش است که این دو رهیافت را یکپارچه نموده و از پتانسیل‌های هر دو نظریه جهت رشد و تکامل اقتصادی و اجتماعی جامعه استفاده نماید.

در نظریهٔ همگرایی علم و فناوری و جامعه (CKTS)، چهار پلتفورم وجود دارد *(پلتفورم‌های NBIC، مقیاس انسانی، مقیاس اجتماعی و مقیاس زمینی)* که بحث پیرامون یکپارچه‌سازی این نظریه با نظریهٔ پایهٔ دانشگاه‌های نسل سوم از طریق این چهار پلتفورم دنبال می‌شود.

پیش از پرداختن به این موضوع و کالبد شکافی این دو نظریه، ترجیح داده شد که به فلسفهٔ همگرایی، اصول و شیوه‌های این رهیافت از دید نظریه‌پردازان برجستهٔ این حوزه نگریسته شود. از این رو، در سه فصل نخستین این نوشتار، گزیده‌هایی ترجمانی از دیدگاه‌های اندیشمندان برجستهٔ همگرایی یعنی آقایان روکو و بین بریج که در سلسله مقالات و سخنرانی‌ها و اخیراً نیز در چاپ یک کتاب جامع پیرامون همگرایی علم و فناوری به چاپ رسانده‌اند، استفاده شده است که هر چند ممکن است که خوانندهٔ این نوشتار در خوانش آن با پیچیدگی‌های فنی رو به رو شود ولی می‌تواند تکانه‌هایی را برای پژوهش و درنگ ژرف‌تر در اندرون مایه‌های این رهیافت، از طریق منابع معرفی شده در انتهای هر بخش، دریافت نماید. فصل آخر (فصل پنجم) به ارائه پیش‌نویسی جهت نیل به همگرایی در علم

و فناوری در دانشکده‌های علوم پایهٔ دانشگاه‌های علوم پزشکی می‌پردازد که کار بر روی این بخش را مرهون پیشنهادهای عالمانهٔ جناب آقای دکتر محمد علی محققی، معاون علمی و اعضای گروه علوم پایهٔ فرهنگستان علوم پزشکی جمهوری اسلامی ایران به ویژه جناب آقای دکتر سید مهدی رضایت، جناب آقای دکتر سید حسن مقدم‌نیا و سرکار خانم دکتر فضلی طبایی می‌دانم.

بی‌شک تلاش‌های بی‌همتای جناب آقای دکتر مسلم بهادری که در فرهنگستان علوم پزشکی کشور با بنیان‌گذاری زیرگروه همگرایی و انجام نشست‌های تخصصی و همایش‌های ملّی در این زمینه اهتمام ورزیدند، فراموش ناشدنی است.

سزاوار است از حمایت‌های همه جانبهٔ جناب آقای دکتر مرندی، رئیس محترم فرهنگستان علوم پزشکی کشور که در اشاعهٔ دانش‌های نوین و رهیافت‌های بنیان برافکن همچون رهیافت همگرایی علم و فناوری با دیدی روشن در تلاش هستند، قدردانی نموده و از معمار دانشگاه‌های نسل سوم در دانشگاه‌های علوم پزشکی جناب آقای دکتر باقر لاریجانی، معاون محترم آموزشی وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی که زمینه‌ساز حرکت دانشگاه‌های علوم پزشکی به سوی دانشگاه نسل سوم بوده و این حقیر را به نوشتن این نوشتار تشویق نموده‌اند، صمیمانه سپاس‌گزاری نمایم.

در پایان، این حقیر، برخود لازم می‌داند از سرکار خانم دکتر کتایون وحدت که بازخوانی متن را پذیرفته‌اند، از آقای مهندس دارا جوکار که در

ویراستاری، طراحی و بازآفرینی تصاویر تلاش کردند، از جناب آقای حسین آذری که در حروفچینی همت گماشتند و همچنین از سرکار خانم صفایی در کتابخانه مرکزی دانشگاه که در دریافت مجوزهای لازم اقدام نموده‌اند، قدردانی نماید.

امید است این نوشتار بتواند با گشایش موضوعات عمده پیرامون دو نظریهٔ رهیافت همگرایی علم و فناوری و دانشگاه نسل سوم، موجب غنای بحث در این حوزه‌ها شود و راه را برای گفتمان نقادانه و عقلایی باز نماید. بدین سان، دانشگاه‌های کشور خواهند توانست نه تنها در هنگامهٔ پیش‌رقابتی این فناوری‌ها ورود نمایند بلکه خواهند توانست به گستره‌های داغ و جنجالی نهفته در هر کدام از موضوعات فناوری‌های همگرا نیز چنگ انداخته و در کسب مرجعیت علمی در معنای عام و خاص آن تلاش نموده و آبشاری بنیادین را در قالبی فرارشته‌ای، دنبال نمایند.

دکتر ایرج نبی‌پور
عضو پیوستهٔ فرهنگستان علوم پزشکی جمهوری اسلامی ایران
گروه آینده‌نگاری، نظریه‌پردازی و رصد کلان سلامت

فصل اول

همگرایی چیست؟

نویسندگان:

ام. سی. روکو (Mihail C. Roco)

دبلیو. اس. بین بریج (Wiliam S. Bainbridge)

همگرایی یک یکپارچه‌سازی[1] ژرف دانش، ابزارها و همهٔ گستره‌های وابستهٔ فعالیت انسانی است که به جامعه این اجازه را می‌دهد که به پرسش‌های جدید پاسخ دهد، شایستگی‌ها[2] و فناوری‌های جدید خلق کند و بوم‌زیست‌های[3] فیزیکی یا اجتماعی مربوطه را تغییر دهد. چنین تغییراتی در بوم‌زیست‌ها، روندهای نوین[4]، مسیرها[5] و فرصت‌هایی را در فاز واگرایی[6] این فرایند تکاملی، پدیدار می‌سازد.

به زبان دیگر، همگرایی شامل همهٔ گستره‌های مربوط به توانایی‌های انسان و ماشین است که یکدیگر را قادر می‌سازند تا به جامعه اجازهٔ پاسخ دادن به پرسش‌ها و حل مسائلی را بدهند که توانمندی‌های منفرد نمی‌توانند؛ همچنین اجازهٔ خلق شایستگی‌ها، دانش، فناوری‌ها و محصولات بر آن اساس و پایه را می‌دهند. فرایند همگرایی[7] شامل فزونی یافتن و برهم‌کنش رشته‌ها، فناوری‌ها و جوامع به ظاهر گوناگون است تا:

الف) بتوان به سازش‌پذیری دو جانبه، هم افزایی و یکپارچه‌سازی نائل

---

[1] Integration
[2] Competencies
[3] Ecosystems
[4] New trends
[5] Pathways
[6] Divergent
[7] Convergence process

شد.

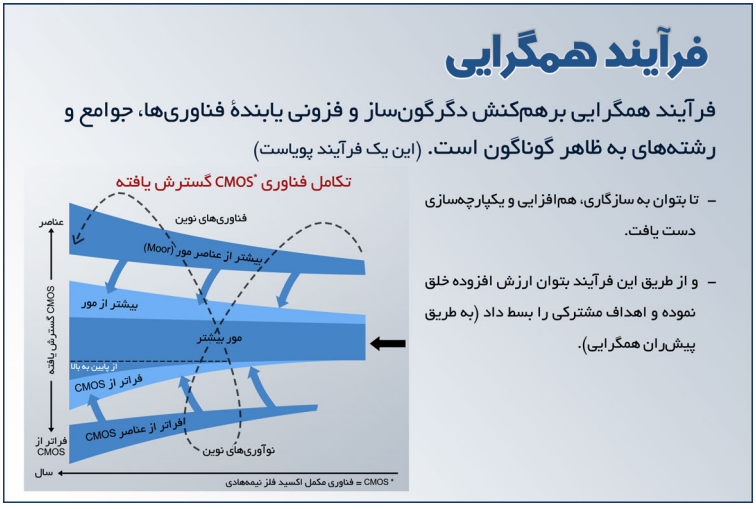
ب) به خلق ارزش افزوده (زایش چیزهای جدید با پیامدهای تندتر) جهت برآوردن اهداف به اشتراک گذاشته شده، پرداخت.

شکل ۱: اهمیت همگرایی در علم و فناوری

فرایند همگرایی یک فرایند تکاملی و غیریکنواخت است. این فرایند به درجه‌ای ابتدایی از توسعه، در هر حوزه، نیاز دارد؛ این با دست یافتن به یک سازش پذیری دو سویه[1] (در میان حوزه‌های مطالعه) آغاز می‌گردد، مانند آنچه که در ارتباطات و تبادل دانش روی می‌دهد. این فرایند به تغییرات در سیستم، از لحاظ برهم‌گذاری، عملکردها و پیامدهای

[1] Reciprocal compatibility

آن منتهی می‌گردد. برهم‌کنش‌های آغازین میان حوزه‌های مورد مطالعه ممکن است تصادفی یا تعمدی باشند. در تاریخ توسعهٔ علم و فناوری، این یک نمونه است که فرایند همگرایی با یک فرایند واگرایی دنبال و فزونی یابد یعنی جایی که دانش جدید به دست آمده در فرایند همگرایی شروع به کار بردن خلاقانه در همهٔ فعالیت‌ها و موقعیت‌های جدید می‌کند. ارزش نهایی این چرخهٔ همگرایی - واگرایی این است که به کاربردها و راه‌حل‌های علمی و فناوری غیر پیش‌بینی شده‌ای منتهی می‌شود. این فرایند از لحاظ مفهومی در فراتر از همگرایی رشته‌ها سیر می‌کند. به شکل چکیده، "همگرایی یک رهیافت برای حل مسئله است که از میان



شکل ۲: فرآیند همگرایی چیست؟

مرزهای رشته‌ای گذر می‌کند.“ و در این فرایند، فرصت‌های مرزشکنی را برای گسترش، غنی کردن و سودمند نمودن تجربهٔ انسانی، فراهم می‌آورد.

از این منظر، همگرایی علم و فناوری بیش از تصور سادهٔ ایجاد تیم‌های چند رشته‌ای[1] جهت پرداختن به مسائل سخت، معنا می‌دهد در این فرایند همگرایی، ارتباطات مؤثر در تقاطع حوزه‌های متمایز، صورت می‌پذیرد. به صورت مهم، همگرایی نیاز به توسعهٔ مفاهیم نوین و شیوه‌های جدید برای پژوهش، طراحی و همکاری دارد. همگرایی در تقاطع حوزه‌ها در گذر زمان، پل برقرار می‌سازد و همزمان نیز ویژگی‌های متمایز کنندهٔ آن‌ها را حفظ می‌نماید و طاق‌واره زدن بر اهداف را جستجو می‌کند؛ به ویژه در مهندسی و توسعهٔ فناوری‌های جدید و حتی در گستره‌هایی که علوم محض محسوب می‌شوند. همگرایی می‌بایست تجزیه و تحلیل اخلاقی و علوم اجتماعی را ادغام نماید و بر هر دوی نتایج و پیامدهای عمومی و احتمالاً غیرعمدی کار نیز تمرکز یافته و بهترین وسیلهٔ یکپارچه‌سازی ایده‌های جدید در فرهنگ انسانی را جستجو نماید. بنابراین، همگرایی نه تنها همهٔ حوزه‌های علم و فناوری را گرد یکدیگر می‌آورد بلکه آن را با جامعهٔ نیز متحد می‌کند.

[1] Multidisciplinary team

شکل ۳: همگرایی فقط یک پژوهش چند رشته‌ای نیست.

چشم‌انداز آغازین همگرایی بر روی حوزه‌های چهارگانهٔ NBIC متمرکز بود (نانوفناوری، زیست فناوری، فناوری اطلاعات، فناوری‌های نوین بر پایهٔ علوم شناختی). امّا با گذشت زمان و نشست‌های متعدد، اهمیت علوم محض و معانی انسانی نیز توجه روزافزونی یافتند. هر چند که مفاهیم همگرایی علم و فناوری در اواخر قرن بیستم توسط ای. او. ویلسون (۱۹۹۹) و ری کورزویل (۱۹۹۹) و دیگران معرفی گردید ولی با وجودی که جامعهٔ عمومی کاملاً با واژهٔ همگرایی خو نگرفته است، اهمیت همگرایی در علوم و فناوری به پیشرفت خود ادامه می‌دهد؛ همچنین حل موارد ملی و بین‌المللی، پزشکی، اجتماعی، اقتصادی، زیست محیطی و امنیتی، به صورت گسترده، در درون جوامع علمی و آکادمیک

مورد قدردانی قرار گرفته‌اند.

تعدادی از دانشگاه‌های امریکایی همچون دانشگاه دولتی آریزونا، هاروارد، MIT، استانفورد، دانشگاه دولتی نیویورک در آلبانی و دانشگاه ویسکانسین مادیسون[1] در طی دهۀ گذشته، تلاش‌هایی را برای فربه کردن همگرایی در گستره‌هایی ویژه به انجام رسانده‌اند. همگرایی همچنین به شکل فزاینده‌ای از گستره‌های سیاستی به سطح دیداری رسیده است. برای مثال، تلاش‌های همگرایانۀ هدفمند توسط اتحادیۀ اروپا، کره، روسیه، ژاپن و چین در میان کشورهای دیگر، آغاز شده‌اند. چندین طرح چند لایۀ ملّی و اتحادیۀ اروپا در زمینۀ علم و فناوری آغاز شده که در درون زمینه‌های سیاسی و الزامات خود، از اجزاء رهیافت همگرایی استفاده می‌کنند. این نشان می‌دهد که در جهان تعاملی و بسیار پیچیده با تغییرات پرسرعت کنونی، از همگرایی نه تنها برای درک ابعاد این پیچیدگی‌های انسان و طبیعت استفاده می‌گردد بلکه در رام کردن پیشرفت‌های علمی و فناوری پرسرعت و نوین بنیادین نیز به کار برده می‌شود. بدین سان، طاق‌وارۀ کاربردهای همگرایی بسیار متنوع بوده و از لحاظ عملی نیز گسترده می‌باشد و شامل بهبودی بخشیدن به "زنجیرۀ نوآوری"، تولید دیجیتال و توزیع یافته، مراقبت‌های سلامت و آموزش فردگرایانه و یکپارچه شده، درک فرایند شناختی انسان، توانمندسازی افراد و گروه‌ها می‌باشد.

[1] Wisconsin-Madison

از این رو، امروزه همگرایی، مفاهیم و چشم‌انداز بسیار گسترده‌تری از مفاهیم همگرایی فناوری‌های چهارگانه NBIC یافته است و مفهوم جامعه[1] را نیز در خود لحاظ نموده است. بدین صورت که همگرایی دانش و فناوری برای سودمندی جامعه (CKTS)[2]، فرصت طلایی برای پیشرفت در قرن بیست و یکم است. یکپارچه‌سازی دینامیک دانش، فناوری‌ها و جامعه، یک فرصت بنیادین برای پیشرفت انسانی است زیرا گسترهٔ رام کردن منابع زمین و در دسترس پذیری بودجه‌های کلان، به محدودیت‌های خود رسیده‌اند. در نتیجه، همگرایی به صورت نگاه نافذ به یکپارچه‌سازی دانش، فناوری و جامعه، می‌بایست سه هدف اصلی انسانی زیر را پوشش دهد:

الف) بهره‌وری اقتصادی را بهبودی ببخشد.

ب) پتانسیل‌های انسانی را افزایش دهد.

ج) کیفیت زندگی پایدار برای همه را تضمین کند.

بدین سان می‌توان چهار پلتفورم را برای همگرایی متصور شد.

الف) پلتفورم فناوری‌های بنیادین[3]:

در اینجا میراث فناوری‌های NBIC نقش مرکزی را دارند و بر این تأکید می‌شود که چگونه مجموعه‌های خاصی از حوزه‌های علم و فناوری می‌توانند با یکدیگر همگرایی بیابند.

---

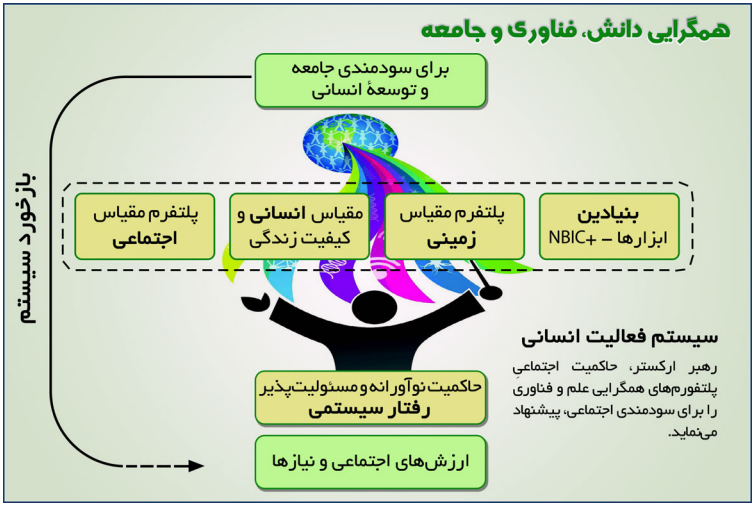
[1] Society

[2] Convergence of Knowledge and technology

[3] Foundational Technologies Platform

ب) پلتفورم مقیاس انسانی[1]:

این بخش بر مشارکت میان افراد جامعه انسانی، فناوری‌های در حال پدید و توسعهٔ فعالیت علمی، تأکید می‌ورزد.



شکل ۴: رفتار سیستمی (رهبر ارکستر) با رهبری پلتفورم‌های گوناگون همگرایی در توسعهٔ انسانی و جامعه گام برمی‌دارد.

ج) پلتفورم مقیاس سیارهٔ زمینی[2]:

حفظ سیارهٔ زمین به عنوان خانهٔ واحد انسانیت به انواع بسیاری از همکاری‌های بین‌المللی، میان فرهنگی و زیست محیطی، با مقیاس بزرگ، نیاز دارد.

[1] Human-scale platform
[2] Earth-Scale Platform

د) پلتفورم مقیاس اجتماعی[1]:

پدیداری جامعهٔ جهانی به درک راه‌هایی که همهٔ مردم به شکل مثبت، از طریق به کارگیری عقلایی علم و فناوری، همکاری می‌نمایند، نیاز دارد.

هر کدامیک از فناوری‌های NBIC از عناصر پایه (اتم، DNA، بیت یا سیناپس) شروع می‌شوند که عناصر ساختاری قرن بیست و یکمی پیشرفت را شکل می‌دهند و در درون سیستم‌های چندگانه یکپارچه می‌شوند و در نهایت فناوری‌های NBIC را می‌سازند. با یک رهیافت سیستمی با هدف عمومی[2]، همهٔ چهار فناوری‌های NBIC به یکدیگر پیوند می‌یابند و هر فناوری نوپدید بنیادی، زایش‌های[3] در گسترهٔ خود و یا در خط برخورد با یکی یا بیشتر حوزه‌های دیگر NBIC دارا می‌باشد (بنگرید فصل سوم).

پلتفورم عمدهٔ دیگر، پلتفورم مقیاس انسانی است که ویژگی آن برهم‌کنش‌های میان افراد، به واسطهٔ جفت‌ها و در گروه‌ها، میان انسان‌ها و ماشین‌ها و رایانه‌ها و میان انسان‌ها و محیط زیست می‌باشد. این پلتفورم توسط دو حوزهٔ عمومی (انسان - فناوری - محیط زیست و یکپارچه‌سازی مجازی انسان - ارتباطات است.) و دو پیش‌ران کلیدی

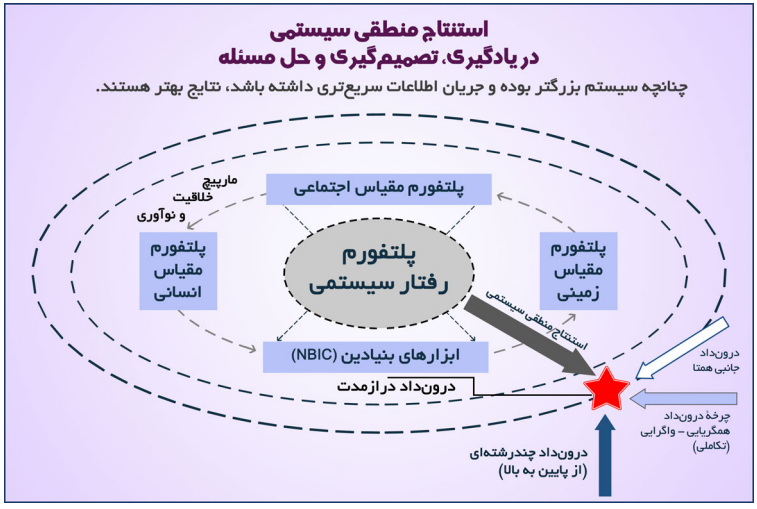
[1] Societal-Scale Platform
[2] General purpose system approach
[3] Spin-off

(نیازهای بیوفیزیکی[1] و نیازهای شناختی[2]) توانمند می‌شود. برهم‌کنش‌های مقیاس انسانی میان افراد در فراتر از علوم شناختی گذر می‌کند و به درگیر شدن روانشناسی اجتماعی و علوم اجتماعی، به صورت عمومی‌تر، نیاز دارد. پلتفورم مقیاس انسانی بدین سان جزء سیستمی دیگر را یعنی پلتفورم مقیاس اجتماعی آماده می‌سازد. این پلتفورم به واسطهٔ فعالیت‌ها و سیستم‌هایی که افراد و گروه‌ها را در چندین مقیاس بزرگتر پیوند می‌دهد، ویژگی می‌یابد؛ این پلتفورم همچنین شامل فعالیت‌های جمعی، سازمان‌ها، دستورالعمل‌ها توأمان با حاکمیت است. پلتفورم مقیاس اجتماعی با دو حوزهٔ عمومی ("هم‌تکاملی انسان - فناوری" و "حاکمیت، سیاست‌های سرمایه‌گذاری و مقررات" است.) و دو پیش‌ران کلیدی بیوفیزیکی (سلامت، آموزش، زیرساخت) و نیازهای شناختی (اخلاقی و معنوی) توانا می‌شود (بنگرید فصل سوم).

در زمانی، احتمالاً در آیندهٔ دور، جامعهٔ انسانی در فراتر از سیارهٔ کوچک‌مان گسترش خواهد یافت و منظومهٔ شمسی را در بر می‌گیرد ولی هم اکنون، بزرگترین مقیاس فعالیت‌های انسانی، پلتفورم مقیاس سیارهٔ زمینی است. این محیط زیست برای فعالیت‌های انسانی شامل سیستم‌های طبیعی جهانی، سیستم‌های ارتباطاتی و اقتصاد جهانی است؛ در این زمینه‌ها، محدودیت‌هایی برای تداخلات انسانی وجود دارد. این پلتفورم به

[1] Bio-Physical needs
[2] Cognitive needs

واسطهٔ دو حوزهٔ عمومی ("یکپارچه‌سازی زمین - فناوری" و "سیستم‌های زمینی" که هر دو در شکل چهار نشان داده شده‌اند) و دو پیش‌ران کلیدی (نیازهای بیوفیزیکی جهانی و نیازهای شناختی جهانی) توانا می‌شود. می‌توان پیشرفت اجزاء پلتفورم و سیستم‌های آن‌ها را از ابزارهای همگرا بنیادین یک فناوری NBIC به سه فناوری دیگر NBCI مشاهده نمود.



شکل ۵: استنتاج منطقی سیستمی در تصمیم‌گیری و حل مسئله

در سیستم کلی تکاملی فعالیت انسانی، لوپ‌های برهم‌کنش بازخوردی[1] در درون هر پلتفورم عمل می‌نمایند و آن‌ها را در درون یک مارپیچ عمومی خلاقیت و نوآوری یکپارچه می‌سازند. شکل ۵ این

[1] Feedback interaction Loops

مفهوم‌سازی را به تصویر می‌کشاند و چهار پلتفورم که در بالا به آن‌ها اشاره شد را در خود جای می‌دهد.

برهم‌کنش‌های سیستم فراگیر فعالیت کامل تکاملی انسان به واسطهٔ ارزش‌های اجتماعی و نیازها به پیش رانده می‌شوند (بنگرید هسته را در شکل ۵) که موجب کنش‌ها و دگرگونی‌ها در یکی یا بیشتر چهار جزء ضروری، پلتفورم‌های عمومی همگرایی گردیده و در نهایت به پیشرفت توسعهٔ انسانی منتهی می‌شود و این اثرات در نخست در روی یکی یا بیشتر چهار پلتفورم عمومی همگرایی مشاهده می‌شود. یکی از کانون‌های توجهٔ CKTS، نفوذ فناوری‌های NBIC نوپدید با ارزش افزودهٔ بالا بر روی پلتفورم‌های اساسی فعالیت انسانی است. با برقراری پلتفورم‌های ضروری و ارتباطات آن‌ها، این امکان وجود دارد که از استقراء[1] و استنتاج[2] میان سطوح سلسله مراتبی متنوع سیستم جهت تصمیم گیری، ایجاد مشارکت و اهداف دیگر استفاده کرد.

تا کنون، تحقیق و توسعه برای فناوری‌های همگرا، به صورت واکنشی[3] (یا تصادفی) پابرجا مانده است تا این که خود را به صورت جامع و کل‌نگر، نظام‌مند و با رهیافت کنشی[4] نشان دهد. از این رو، به متدلوژی همگرایی برای کمک به افراد جهت درک، هدایت و پیش بردن فرایند

[1] Induction
[2] Deduction
[3] Reactive
[4] Proactive

همگرایی نیاز است تا آن‌ها بتوانند به بهترین صورت ممکن، به ارزش افزوده و پیامدهای چشم‌اندازی همگرایی دست بیابند.

جدول ۱: سه هنگامهٔ همگرایی علم و فناوری و جامعه (CKTS)

چهارچوب زمانی	هنگامه	ویژگی‌ها
۲۰۱۰-۲۰۰۱	همگرایی واکنشی[1]	اتفاقی، بر اساس همکاری‌هایی که با هدف ویژه‌ای که از قبل تعیین شده است میان شرکاء و یا حوزه‌های منفرد، شکل می‌گیرد.
۲۰۲۰-۲۰۱۱	همگرایی کنشی[2]	نظام‌مندتر و در برگیرنده‌تر، همگرایی از طریق تجزیه و تحلیل تصمیم به صورت آشکارتر انجام می‌شود؛ که آیندهٔ بی‌درنگ CKTS است.
پس از ۲۰۲۰	همگرایی سیستمی	جامع‌نگر، با هدف سطح بالاتر (چند حوزه‌ای) با درون‌داد از سازمان‌های حاکمیتی یا همگرایانه

همانگونه که در کارگاه فرهنگستان ملی علوم در مورد چالش‌های کلیدی در هنگام پیاده‌سازی همگرایی اشاره شد، سازمان‌ها و افرادی که تمایل به انجام همگرایی دارند با فقدان یک دستورالعمل هدایتی و گایدلاین عملی در مورد این که چگونه آن را به انجام برسانند، رو به رو

[1] Reactive Convergence
[2] Proactive Convergence

هستند. بدین سان، علم همگرایی[1] پدید خواهد آمد تا هدایت لازمه را فراهم آورد. در این نوشتار، پس از بحث پیرامون تئوری‌های ده گانه پشتیبان همگرایی در علم و فناوری، به شش اصل بنیادین همگرایی، اشاره خواهد شد و در ذیل هر اصل، متدلوژی انجام همگرایی در علم و فناوری، به صورت جزئی‌نگرانه، به بحث گذاشته می‌شود.

[1] Science of convergence

این فصل ترجمه‌ای منتخب از منابع زیر بود:

- Bainbridge WS, Roco MC. Science and technology convergence: with emphasis for nanotechnology-inspired convergence. J Nanopart Res 2016;18: 211.
- Roco MC, Bainbridge WS. The new world of discovery, invention, and innovation: convergence of knowledge, technology, and society. J Nanopart Res 2013; 15: 1946.
- Bainbridge WS, Roco MC. The era of convergence. In: Bainbridge WS, Roco MC (eds) Handbook of science and technology convergence. Springer, Berlin, 2016, pp 1-14.
- Roco MC. Knowledge technology in a convergence spiral. University of Miami, Feb 20, 2018. (http://coe.miami.edu/eblast/dss/DrMihailC-Roco/ConvergenceSpiral_Roco.pdf)

فصل دوم

تئوری‌های عمومی کلیدی همگرایی پویا

نویسندگان:

ام. سی. روکو (Mihail C. Roco)

دبلیو. اس. بین بریج (Wiliam S. Bainbridge)

دوران کنونی برای علم و فناوری بسیار حساس است زیرا در دورانی هستیم که همگرایی در حال رخ دادن است. هم اکنون عوامل بسیاری فعال هستند که همگرایی را تشویق می‌کنند. برای شناخت این عوامل در وضعیت مدرن که بسیار پیچیده و پویا است ما نیاز به ایده‌های چندگانه داریم. ما در اینجا به شکل چکیده، ده تئوری گوناگون ولی سازگارمند را که هر کدام از آن‌ها می‌توانند توضیح دهند که چرا زمان کنونی، دوران همگرایی است را ارائه می‌دهیم. فرایندهای همگرایی، به چشم اندازی

شکل ۶: تئوری‌های ده‌گانهٔ پشتیبان همگرایی علم و فناوری و جامعه

یکپارچه بر پایهٔ این تئوری‌ها می‌پردازند و همچنین رهیافتی پویا را برای چگونگی مهندسی بوم زیست‌های فناورانه و اجتماعی جهت خلق ارزش افزوده، ترسیم می‌کنند.

تئوری وحدت طبیعت[1]

این تئوری از امیدهای واقع‌گرایانه‌ای حمایت می‌کند که همگرایی بتواند وحدت در سیستم‌های اجتماعی را درک نماید. از زمان‌های باستان، مردم از گستردگی‌ای که جهان بر اساس مجموعه‌ای واحد از اصول پایه‌گذاری شده است، بحث می‌کرده‌اند. احتمالاً آن را به شکل مجموعه‌ای به هم پیوسته از قوانین برقرار یافته توسط یک خدای واحد طبیعت و یا واقعیت‌هایی رقابت‌پذیر، ناسازگار و آشتی‌ناپذیر تصور می‌کردند. کاوش در علم و پزشکی، به شیوه‌ای جامع‌نگر، یک ویژگی تعریف‌پذیر از رنسانس بود. تعدادی از دانشمندان علوم اجتماعی بر این موضوع بحث نموده‌اند که مذهب تک یزدان گرایانه، در میان عوامل دیگر، خیزش علم در اروپا و آمریکای قرن نوزدهم را تشویق نمود زیرا بسیاری از دانشمندان، پژوهش علمی را به عنوان پویشی مقدس برای یادگیری خواست ندای واحد، تصور می‌کردند.

در قرن بیستم، ریاضیات یک چهارچوب سکولار را برای به تصویر

[1] The Unity of Nature Theory

کشیدن وحدت طبیعت فراهم نمود که مثال آن در قانون زیپف[1] ترسیم شده است. این قانون بیان می‌کند که بسیاری از گونه‌های داده‌ها، در دامنهٔ بسیاری از علوم گوناگون، توزیع بسامدی[2] یکسانی را دنبال می‌کنند. جورج زیپف (۱۹۴۲) زبان شناس که از کارهای اولیه در فیزیک الهام گرفته بود، به شکل اصیلی توزیع را استخراج نمود تا بسامد واژگان خاصی را به طرح بکشاند. او سپس بحث نمود که حضور فراگیر توزیع زیپف، بازتابی از وحدت طبیعت است. زیست‌شناس تکاملی، ادوارد. او. ویلسون (۱۹۹۹)، چنین بحث نمود که تخصص‌گرایی در علوم، وحدت طبیعی آن‌ها را پوشانده است. خود او از رهبرانی بود که کاربرد تئوری تکاملی را از زیست‌شناسی به علوم اجتماعی ارتقاء داد. در سال‌های اخیر، کارهای بسیاری هم چون زیپف و ویلسون انباشت یافته‌اند که حمایت از همگرایی در زمان کنونی را تقویت می‌نمایند.

همگرایی، درک وحدت دانایی، فناوری و سیستم‌های اجتماعی را هدف قرار می‌دهد. برای مثال، همگرایی در فناوری نانو بر اساس کاربرد ساختارهای واحد (مانند خوشه‌های اتمی یا ملکول‌های زیستی)، پدیده‌ها (مانند کوانتوم و محدود شدن در مقیاس نانو)، فرایندها (مانند خود هم‌گذاری[3] و الگویابی[4]) و شیوه‌های کنترل در مقیاس نانو (مانند کاربرد

[1] Zipf's Law
[2] Frequency distribution
[3] Self-assembling
[4] Templating

میدان‌های موج خارجی و تحریک‌های مکانیکی/ شیمیایی/ بیولوژیکی) برای خلق خانواده‌های متنوع از مواد، دستگاه‌ها و سیستم‌ها جهت کاربردهای صنعتی، پزشکی، کشاورزی، انرژی و محیط زیست است.

تئوری بوم‌زیست برهم‌کنش انسان[1]

از دید مفهومی، این تئوری با تئوری‌های وحدت طبیعت و پیچیدگی در پیوست است ولی بحث‌های متمایزی را در جامعهٔ علمی بر می‌انگیزد. در این تئوری، همهٔ سیستم‌های بیولوژیک و اجتماعی، تمایلی طبیعی به سوی برهم‌کنش، همگرایی و عمل جمعی و نه فقط رسیدن به تعالی بلکه گاهی آمادگی مسیر به سوی پرسش‌های تکاملی به سوی جلو را دارند.

یک گونهٔ دیگر این تئوری، فرضیهٔ گایا[2] است که توسط شیمیدان، جیمز لاولوک[3] و میکروب شناسی به نام لین‌مارگولیس[4] پیشنهاد شد، این تئوری بحث می‌کند طبیعت یک سیستم پیچیدهٔ خود تنظیم شونده است که به شکل کامل با تمدن انسانی اخلاق مدار سازگارمند بوده و آن را نیز حمایت می‌نماید. یک منظر وابسته که به صفت "اخلاق مداری" در زمانی که در سیاق تمدن به کار می‌رود، معنا می‌دهد، "فناوری مناسب"[5]

[1] Human Interaction Ecosystem Theory
[2] Gaia Hypothesis
[3] James Lovelock
[4] Lynn Margulis
[5] Appropriate Technology

است که به شکل پر نفوذی در کتاب ارنست شوماخر[1] به نام "کوچک زیبا است" متجلی شده است. شوماخر برهان می‌آورد که فناوری مناسب برای توسعهٔ ملل در حال توسعه، لزوماً پیشرفته‌ترین نوع فناوری نیست بلکه آن‌هایی هستند که با شرایط اقتصادی و زیست محیطی سازگار می‌باشند. امّا این چشم‌انداز به زودی در ملل توسعه یافته نیز به کار برده شد با این دید که در این نقطه در تاریخ، ما ممکن است نیاز داشته باشیم بعضی از فناوری‌های پیشرفته را به نفع فناوری‌های ساده‌تر که بهتر با طبیعت سازگاری دارند را رها سازیم. این برهانی بر ضد پیشرفت فناورانه نیست بلکه برای هدایت مناسب آن است؛ همانگونه که در این واقعیت ترسیم شده است که لاولوک از تلاش‌هایی حمایت می‌کرد که سیارهٔ مریخ را به گونه‌ای شبیه به زمین تغییر می‌دهند که مناسب استقرار کلونی‌های انسانی شود. اگر ما سیستم‌های ماده‌ای ذره‌ایی نانویی را در نظر بگیریم، رفتار در مقیاس نانو با بر هم‌کنش‌های ذره به ذره و پویایی کلی آن‌ها با محیط اطراف تعیین می‌شود. برهم‌کنش‌های ماده‌ای به شکل کیفی با سطح سیستم سلسله مراتبی، به شیوه‌ای مشابه با سیستم‌های بیولوژیک و اجتماعی، تکامل می‌یابند.

[1] Ernst Schumacher

تئوری پیچیدگی[1]

این تئوری ناظر بر این واقعیت است که عمدهٔ سیستم‌های طبیعی و ساخت انسانی، بزرگ و ناهمگون هستند و از شبکه‌های برهم‌کنش غیرخطی و ساختارهای سلسله مراتبی برخوردارند که تحت فشارهای بیرونی در مقیاس‌های گوناگون فضایی و زمانی تکامل می‌یابند و اغلب به یک نظم پدیدار دست می‌یابند. مسلماً، چنانچه یک سیستم ناپایدار از سازش نمودن شکست بخورد، احتمال می‌رود یکپارچگی خود را از دست دهد، بدین سان سامانه‌های سازش‌پذیر پیچیده از طریق فرایند انتخاب طبیعی، بسان تکامل طبیعی، شانس بقاء می‌یابند. بعضی از عوامل طبیعی خالص ممکن است سیستم‌های پیچیده را از طریقی مانند شکلی از آنتروپی[2] ثابت نگه دارند. امّا هنوز، بسیاری از حیات انسانی وابسته به سیستم‌های پیچیدهٔ پویا دارد؛ بدین سان آیندهٔ ما کاملاً در عدم قطعیت است و پتانسیل این را دارد که بهتر و یا بدتر از آن که امروز است، باشد. درک چنین سیستمی دشوار است ولی امروزه چندین متدلوژی علمی جایگزین، وجود دارند؛ برای مثال، ابزارهای محاسبه‌گرایانه[3] برای تجزیه و تحلیل شکلی که بازخورد[4] در سیستم ستانده می‌شود. شاید درک کامل به همگرایی علوم، از ملکول‌های پیچیده در مقیاس نانو تا در حدود و یا

[1] The Complexity Theory
[2] Entropy
[3] Computational
[4] Feedback

فراتر از اتمسفری که همهٔ سیاره را در بر می‌گیرد، نیاز داشته باشد.

با درک سیستم‌های پیچیده‌ای که انسان در آن‌ها زندگی می‌کند، او می‌تواند گام‌هایی را بردارد که موجب ایجاد ارزش افزوده و بهبود سازگارمندی، بر اساس آگاهی از نتایج طولانی مدت، می‌شوند. برهم‌کنش‌های فضایی - زمانی تعداد عظیمی از اتم‌ها در مقیاس نانو، به صورت الگومندی، به پدیداری خواص نوینی در سیستم‌های پیچیدهٔ مربوطه، به شکل تابعی از تعدادی از ترکیبات، اتم‌ها یا ملکول‌ها منتهی می‌گردند. بحران‌پذیری اندازه خودسازمانی[1]، در مادهٔ ساختاربندی شده در حد نانو، به عنوان یک مفهوم ضروری در بسیاری از سامانه‌های طبیعی و انسان‌ساز شناخته شده است. این اغلب خود را به شکل الگوهای دارای ثبات مختصر دینامیک نشان می‌دهد که به خواص و عملکردهای نوینی منتهی گردیده که نمی‌توان به عنصر تشکیل دهندهٔ سیستم، آن‌ها را نسبت داد. ساختار "دانه - نانویی"[2] مدولار[3] مواد، با ساختارهای مدولار در سازمان‌های بزرگ یا در عملکردهای مغزی، شباهت‌هایی دارد.

تئوری رشد اقتصادی[4]

این تئوری ناظر بر این است که جامعهٔ مدرن به اندازه‌ای شکوفایی

[1] Self-Organized size criticality
[2] Nano-grain
[3] Modular
[4] Economic Growth Theory

دارد که می‌تواند از پس پروژه‌های تحقیق و توسعه‌ای که در دوره‌های اولیه به شکل بازدارنده‌ای پیچیده و هزینه‌بر بودند، برآید. رشد اقتصادی سریع‌تر از طریق همزمانی گستره‌های دانش و تلاش‌های سرمایه‌گذاری جهت معرفی فناوری‌ها و محصولات نوین، امکان‌پذیر می‌شود. فردی خیره از طریق یک تلسکوپ ساده، در دورهٔ گالیله، انقلابی محسوب می‌شد. در قرن نوزدهم و اوایل قرن بیستم، بسیاری از تلسکوپ‌هایی که به شکل فزاینده‌ای بزرگ می‌شدند، توسط اهداکنندگان ثروتمند، تأمین اعتبار می‌شدند و اخترشناسان به صورت فردی یا در تیم‌هایی کوچک از آن‌ها استفاده می‌کردند. در قرن بیستم (۱۹۱۷)، هنگامی که سلیفر[1]، اندازه‌گیری‌هایی را گزارش نمود که نشان می‌دادند کهکشان‌ها دارند دور می‌شوند این اولین (شاهد) "جابه‌جایی قرمز"[2]، برای گسترش جهان بود و او تنها دانشمند نویسندهٔ این گزارش علمی بود و در یک رصدخانهٔ تأمین اعتبار شده توسط پرسیوال لوول[3] که یک تاجر با شور و شوق به اخترشناسی بود، کار می‌کرد. امّا هنگامی که اولین شواهد موج‌های گرانشی در سال ۲۰۱۵ کشف گردید، ۱۰۱۱ دانشمند، گزارش مربوطه را نوشتند و رصدخانهٔ لیزری اینترفرومتری موج گرانشی[4] (LIGO) که آن را مورد شناسایی قرار داده بود، توسط بنیاد ملّی علم آمریکا[5]، با هزینهٔ

[1] Slipher
[2] Redshift
[3] Percival Lowell
[4] Laser Interferometer Gravitational-wave Observatory
[5] National Science Foundation

تخمینی بالاتر از نیم میلیارد دلار، تأمین اعتبار شد. اینتروفتومترهای LIGO بر اساس آینه‌های پوشیده شده با دقت در محدودهٔ نانومتر است. در این سیستم، دو سایت به فاصلهٔ ۳۰۰۲ کیلومتری، جدا از یکدیگر وجود دارند که پرتوهای لیزری در دو محفظهٔ راست گوشه که هر کدامیک از آن‌ها به طول ۴ کیلومتر هستند منتشر می‌شوند. در این کار، تیمی بزرگ با اقدامی سترگ لازم بود زیرا نیاز بود که تنوعی گسترده از خبرگی سازماندهی شوند تا بر روی یک هدف بسیار ویژه، همگرایی بیابند.

ترسیمی دیگر را می‌توان در برنامهٔ پیشاهنگ ملّی نانوفناوری که در سال ۲۰۰۰ با برنامه‌های آموزشی - پژوهشی با ساختاری بزرگ و انعطاف‌پذیر، در سراسر آمریکا، شروع شد، مجسم کرد. این تلاش در سرمایه‌گذاری‌های تحقیق و توسعهٔ پایدار، در سراسر دنیا، انعکاس یافت و به سرمایه‌گذاری میلیارد دلاری در سال ۲۰۱۰ انجامید. این برنامهٔ پیشاهنگ ملّی نانوفناوری، توانست به تنهایی در سرجمع به حدود ۲۲ میلیارد دلار برای تحقیق و توسعه در سال ۲۰۱۶ دست بیابد و از این دید از لحاظ بزرگی، دومین برنامهٔ چند لایهٔ هماهنگ یافته در جهان، پس از برنامهٔ فضایی آپولو، می‌باشد.

تئوری رشد اقتصادی بر این تأکید می‌ورزد که ما می‌توانیم از پس پروژه‌های تحقیقاتی پیچیده‌تر و بزرگتر برآییم و حقوق و هزینه‌های تعداد بزرگتر از دانشمندان و مهندسان که با یکدیگر بر روی بخش بس پیچیده کار می‌کنند را پرداخت کنیم. البته باید به این واقعیت توجه

نشان داد که انباشت ثروت به خودی خود فوراً این را معنا نمی‌دهد که در علم و فناوری سرمایه‌گذاری انجام خواهد شد بلکه مدافعان و حامیان آن به سازماندهی یک حرکت اجتماعی نیاز دارند تا بتوانند گروه‌های پرنفوذ در جامعه را متقاعد کنند که از پروژه‌های مورد نظر آن‌ها، حمایت کنند.

رشد اقتصادی، در هر مرحله از پدیداری پروژه‌های نوین، اثری دارد و این ممکن است حتی سال‌ها پیش‌تر صرف تربیت خبرگانی شود که کار مورد لزوم را انجام خواهند داد. بسیاری از گونه‌های پژوهش به صورت مستقیم و غیرمستقیم، رشد اقتصادی را موجب می‌شوند و بدین سان اثر حلقوی بازخوردی مثبتی را تولید می‌کنند. در چهار دهۀ گذشته، یک مطالعۀ شبیه‌سازی رایانه‌ای به نام "محدودیت‌ها برای رشد"[1]، چنین نتایج منفی‌ای را مانند آلودگی زیست محیطی و نابودی ذخایر، مدل‌سازی کرد و بیش از دو قرن پیش نیز توماس مالتوس[2] چنین برهان آورد که رشد جمعیت انسانی به یک تضاد شوم که با گرسنگی، بیماری و جنگ به ستوه آمده است بر زمینه‌ای از منابع محدود، پایان می‌یابد.

برنامۀ فضایی آپولو که موجب پیاده شدن اولین انسان در ماه در طیّ سال‌های ۱۹۷۲-۱۹۶۸ شد، نتوانست کلونی‌های انسانی را در منظومۀ خورشیدی مستقر سازد و موجب آشکارسازی همۀ منابع نهفته در گیتی

[1] The Limits To Growth
[2] Thomas Malthus

شود. یک پاسخ احتمالی می‌تواند این باشد که پیشرفت در آینده شامل دانایی علمی بسیار فزاینده، پیشرفت فناوری، بهره‌وری فرهنگی توأمان با جمعیت انسانی ثابت (تضمین یافته با تندرستی جاوید) بر روی سیارهٔ زمین، به واسطهٔ فناوری‌های پایدار، خواهد بود.

تئوری شبکهٔ تخصص[1]

این تئوری ناظر بر این است که پویایی تیم‌ها یا جوامع با افزایش تعداد اعضاء آن‌ها تغییر می‌کند و این واقعیت نیز برای تکثیر تخصص‌هایی که می‌باید با یکدیگر همکاری کنند نیز صادق است. اثرات فرض یافته به واسطهٔ فرایندهای همگرایی، فزونی می‌یابند. فرمولی که تعداد ارتباطات در یک سیستم را تخمین می‌زند، ساده است ولی به شکل مؤثری نمایی[2] می‌باشد. چنانچه N تعداد افراد و یا تخصص‌ها باشد، C تعداد پیوندهای میان آن‌ها است: $C=N(N-1)/2$. پژوهش در شبکه‌های اجتماعی نشان داده است که اکثر گروه‌های اجتماعی، در جامعهٔ مدرن دارای شبکه‌های ناکامل هستند، و بسیاری از پیوندهای پتانسیلی خود را از دست می‌دهند که معانی این موضوع ناکاملی در خود آمیزه‌ای از خوب و بد را دارد.

چگالی بالای پیوندهای اجتماعی در یک تخصص، می‌تواند به تلاش‌های جمعی، انرژی رسانده و به یک اجماع همگرایی یابد ولی

[1] The Specialization Network Theory
[2] Exponential

شبکه‌های بیشتر پخش شده، به دست‌آوردهای بسیار فراتر از تخصص خودشان نائل می‌شوند و نوآوری واگرا را با اشتراک اطلاعاتی، به صورت گسترده‌تر و سریع‌تر، ارتقاء می‌دهند. بدین سان، دینامیسم اقتصادی اجتماعی زمان حاضر که توسط بسیاری از مردمان همچون آشوب نگریسته می‌شود می‌تواند موجب ایجاد ضربان در هندسه شبکه‌های اجتماعی در علم و مهندسی شود و بدین سان مزیّت‌های همگرایی و واگرایی را در درون یک سیستم بازخوردی پویا، ترکیب نماید. ساختار یا روابط میان افراد در یک جامعه (مانند یک کمیتهٔ ارزیابی) به اندازهٔ گروه رابطه دارد زیرا گروه‌ها تمایل دارند چنانچه در گستره‌ای از زمان و نه مختصراً در یک شرایط تجربی، اجازهٔ عمل دست یابند، ساختار درونی خود را توسعه دهند.

چنین نتیجه گیری شده است که اگر اعضاء یک کمیتهٔ ارزیابی به شکل تصادفی از یک جمعیت بزرگتر انتخاب شوند، می‌توانند میانگین دقت بالاتری را برای همهٔ وظایف نسبت به گروه‌ها و افراد بزرگتر، به دست آورند. یک همانندی از این نتیجه‌گیری را می‌توان در رفتار بنیادین ساختارهای نانویی که خواص ویژه‌ای دارند مشاهده کرد؛ زیرا اثرات تجمعی اتم‌ها و ملکول‌ها در این نوع ساختارها، از اتم واحد یا ملکول یا هر ساختار برهم گذاری شدهٔ بزرگتر دیگر، متفاوت می‌باشند.

تئوری پیش رفتگی معکوس[1]

این تئوری برگرفته از مفهوم راهبرد نظامی است که در علم و فناوری و احتمالاً در گستره‌های دیگر کاربرد دارد. در جنگ‌های کلاسیک، ارتش‌ها در جبهه‌ای گسترده با یکدیگر تلاقی می‌یابند. چنانچه یک ارتش در نقطه‌ای ویژه شروع به پیشروی کند، این تهاجم به مرز دشمن، به عنوان پیش‌رفتگی[2]، نامیده می‌شود؛ امّا اگر یک ارتش در تمام خط جبهه به جزء یک بخش که از حرکت بازمانده است، پیشروی کند آن بخش جامانده را پیش‌رفتگی معکوس می‌نامند.

اگر چنانچه علوم و حوزه‌های فناوری و مهندسی بدون ایجاد همگرایی چندان میان خودشان، پیشرفت کنند، بعضی از گستره‌ها که در بین رشته‌ها هستند، از پیشرفت باز خواهند ماند؛ به سان پیش‌رفتگی‌های معکوس که در علوم نظامی به آن اشاره شد. بدین سان، همگرایی فقط اگر که رشته‌های مرتبط همکاری با یکدیگر را بهبودی ببخشد فرصت‌های عظیمی را برای پیشرفت عرضه می‌دارد.

در پژوهش‌های مواد نانویی[3]، بسیار ضروری است که فرایند و پدیده‌های مقیاس نانویی را به شیوه‌ای همگرایانه، شامل وابستگی‌های غیرخطی آن‌ها، مورد کاوش قرار داد؛ زیرا پدیده‌های مقیاس نانویی هم‌زمانی دارند و نمی‌توان آن را همانند مقیاس‌های بزرگتر، جدا از هم

[1] The Reverse Salient Theory
[2] Salient
[3] Nanomaterials

کرد. توماس پی هیگز[1] در سال ۱۹۸۳، مفهوم پیش‌رفتگی معکوس را برای تجزیه و تحلیل توسعهٔ فناورانه در یک مثال بسیار همگرا و چشمگیر بیان کرد. این مثال توسعهٔ نیروی برق و صنایع دستگاه‌های الکتریکی در طیّ سال‌های ۱۸۸۰-۱۹۰۳ اروپا بود. وسایل الکتریکی اولیه مجبور بودند نیرو را خود به مشتریان انتقال دهند زیرا آن‌ها برق مستقیم (DC) تولید می‌کردند و نه جریان متناوب (AC) (که سپس به اثبات رسید جریان متناوب برای انتقال نیرو بسیار کارآمدتر و ارزان‌تر می‌باشد). پیشرفت در وسایل الکتریکی نیاز به جابه‌جایی از جریان مستقیم به تناوبی را داشت ولی این انتقال از دیدگاه سیاسی و تکنیکی دشوار بود و غلبه بر این پیش‌رفتگی معکوس موجب رشد و توسعهٔ وسایل الکتریکی شد. این موضوع نشان می‌دهد که چگونه وجود یک پیش‌رفتگی معکوس می‌تواند مانع پیشرفت در تمام خط توسعه شود.

توسعه‌های بسیار پرسرعت دهه‌های اخیر در گستره‌های نوپدید بنیادی مانند فناوری اطلاعات، نانوفناوری و زیست‌فناوری، اشاره به این دارند که بسیاری از دیگر گستره‌ها هستند که عقب مانده‌اند و به شکل مؤثری تبدیل به پیش‌رفتگی‌های معکوس شده‌اند.

تئوری اصول بنیادی[2]

این تئوری از آنجا ریشه گرفته است که علم و فناوری به شکل

[1] Thomas P. Hughes
[2] The Fundamental Principles Theory

سنگینی به ریاضیات وابسته هستند و بعضی از اصول ریاضی یکسان را می‌توان به گستره‌ای از پدیده‌ها به کار برد. این تئوری لزوم وجود زبان‌های چند حوزه‌ای با سطح بالاتر را گوشزد می‌نماید. همچنین این موضوع را باید در نظر گرفت که علم حاصل جمع یک تلاش انسانی است و ما از یک مغز یکسان برای پژوهش‌های اخترشناسی و نیز خلق فناوری نانویی استفاده می‌کنیم و بدین سان تعدادی از شیوه‌های انسانی تفکراتی بنیادین ما یک چهارچوب را برای درک همهٔ گستره‌ها فراهم می‌آورد. هم چنان که تعدادی از حوزه‌ها پیشرفت می‌کنند، آن‌ها ممکن است سیستم‌هایی از مفاهیم را توسعه دهند که در حوزه‌های دیگر نیز بتوان به کار برد. این کاربرد به صورت استعاره‌ای نمی‌باشد بلکه شدیداً با تعدیل‌های مناسب بر پایهٔ تجزیه و تحلیل داده‌ها، انجام می‌پذیرد. برای مثال، در علوم نانویی[1]، باید مفاهیم و شیوه‌های بنیادین جدیدی برای بوم‌زیست ویژهٔ پدیده‌های مقیاس نانویی فرمول بندی شوند تا امکان ارائه راه‌حل‌های وابسته و کارآمد برای مسائلی که ضرورتاً از مقیاس‌های میکرو و ماکرو متفاوت هستند، حاصل شود.

ما هم اکنون به نقطه‌ای از تاریخ رسیده‌ایم که بسیاری از حوزه‌های اکتشاف و اختراع، رویدادها و واقعیت‌های خود را با زبان قوانین، چکیده نموده‌اند و هم اکنون ما می‌توانیم با کاربرد زبان‌های چند حوزه‌ای با سطح بالاتر، آن‌ها را مورد مقایسه قرار داده، پیوند دهیم و از

[1] Nanoscience

میان رشته های سنتی آن ها را با هم ترکیب کنیم. یک مثال آن، توالی یابی ژن به صورت رایانه‌ای[1] است که در آن بیولوژی ملکولی، مدلی از ساختار DNA و ابزارهایی را برای اندازه‌گیری تنوع در یک سیستم مفهومی، توسعه داده است که به تجزیه و تحلیل رایانه‌ای تمایل دارد. چهار باز هسته‌ای DNA، از لحاظ مفهومی ایزومورفیک با دو بیت حافظه کامپیوتر هستند: ۰۱، ۰۰، ۱۰ و ۱۱. این واقعیت که حافظه بیشتری می‌گیرد تا ساختار هر باز، هر جفت باز و یک رشتهٔ کل DNA نمایش داده شود، لزوم پیوند یافتگی دو رشتهٔ عقلانی در سطح انتزاع مناسب یک هدف واحد را ترسیم می‌نماید.

مثال‌های زیادی وجود دارند که نشان می‌دهند چگونه یک مفهوم از یکی از علوم طبیعی، پیشرفت در علوم اجتماعی را تسهیل نموده است. برای مثال، پدیداری اکولوژی انسانی در یک قرن گذشته، شهرها را به واسطهٔ اصطلاحاتی که از اکولوژی در زیست شناسی استخراج شده‌اند، مفهوم‌سازی می‌کند؛ همچنین انتقال مفاهیم از فیزیک نیمه هادی‌ها به تجزیه و تحلیل مسیرهای شغلی حرفه‌ای انسانی، مثالی دیگر است.

تئوری خط مجانب پیشرفت[2]

این تئوری فرض بر این دارد که حدّ و مرزهایی طبیعی در آنچه که می‌توان با علم کشف کرد و یا با مهندسی خلق نمود، وجود دارند. این

[1] Computerized gene sequencing
[2] The Progress Asymptote Theory

موضوع در طراحی زمینهٔ چشم‌انداز و اهداف، برای فرایندهای همگرا، مهم می‌باشد. بسیار دشوار است تا بتوان نرخ سرعت پیشرفت را اندازه‌گیری کرد زیرا طبیعت اکتشافات، اختراعات و نوآوری‌ها در تغییر هستند ولی حداقل تعدادی از مشاهده‌گران شایسته گفته‌اند ممکن است فیزیک و تعدادی دیگر از علوم به حدّ و مرز خودشان، در حال رسیدن باشند. در یک مطالعهٔ شگرفی که توسط اقتصاددان بسیار برجسته، گوردون[1]؛ در سال ۲۰۱۶ انجام گردید، نشان داده شد که توسعهٔ فناورانه و رشد اقتصادی به شکل غیرعادی‌ای در ایالات متحدهٔ آمریکا در طیّ ۱۹۷۰-۱۸۷۰، قوی بوده و از آن زمان به بعد بسیار ضعیف‌تر شده‌اند. اگر ما واقعاً به حدّ و مرزهای طبیعی علم و فناوری در حال نزدیک شدن هستیم، آن گاه پیشرفت‌های اندک آخری در علم و فناوری، به سرمایه‌گذاری‌های بزرگ غیرمعمول، نه تنها از لحاظ مالی بلکه از لحاظ تنوع در خبرگان فنی، نیاز خواهند داشت؛ مثال آن پروژهٔ LIGO است که در بالا به آن اشاره کردیم.

تئوری انقلاب بیرونی[2]

اشاره به این دارد که علم و فناوری، نهادهایی اجتماعی هستند که تاریخ آن‌ها به شکل چشمگیری از نهادهای دیگر انسانی، اثر می‌پذیرند. برای مثال، تحول رادیکال در جایی دیگر می‌تواند تحول در حوزه‌های فنی را برانگیزد. فرایندهای همگرایی در میان حوزه‌هایی که در وهلهٔ نخست

[1] Gordon
[2] The Exogenous Revolution Theory

متمایز به نظر می‌آیند، اهمیت می‌یابد. شاهد معروف برای این تئوری که به نقطهٔ متضاد آن می‌نگرد، شکست تمدن‌های کلاسیک یونان و روم برای دستیابی به انقلاب‌های صنعتی علمی است که تا یک هزار سال، با وجود پیشرفت در ریاضیات و علوم طبیعی در پیش از زوال تمدن روم، به تأخیر افتاد. بر اساس تاریخ انقلاب کوپرنیکی در اخترشناسی که یونان باستان تا نزدیکی‌های آن دست یافته بود، توماس کوهن[1]، تئوری‌ای از انقلاب‌های علمی را توسعه داد. فرض این تئوری بر این بود که هر علم بالغی، یک پارادایم ثابتی را دارد که نسبت به تغییر مقاوم است. امّا جابه‌جایی‌های اجتماعی مانند تغییرات اقتصادی می‌توانند موجب رشد در یک صنعت جدید و یا توسعه‌های غیرقابل انتظار در حوزهٔ مجاور شوند و بدین سان ایستایی‌ای را که یک رشته در آن به انجماد کشیده شده است را شکسته و آن را به گونه‌ای آزاد نمایند تا به واسطهٔ همگرایی غیرقابل انتظار حاصل از نیروهای بیرونی به پیشرفت‌های جدیدی، نائل آید.

برای مثال، فناوری نانو و همگرایی فناوری‌های NBIC به سطحی از رسمیت و حمایت اجتماعی در طیّ ۱۵ سال گذشته رسیده‌اند که موجب ایجاد پیشرفت چشمگیری در گستره‌هایی مانند علم، پزشکی، الکترونیک، زیست محیطی، انرژی و فضا شده‌اند.

تئوری کلاسیک پارادایم‌های علمی توماس کوهن (۱۹۶۲) را می‌توان در سه وضعیتی که یک علم در آن به سر می‌برد، خلاصه نمود:

[1] Thomas Kuhn

۱) علم پیش‌پارادایمی که هیچ مجموعه اصول فراگیر در آن هنوز برقرار نگردیده است.
۲) علم طبیعی که مجموعه‌ای از اصول برقرار گردیده است و برای دستیابی به پیشرفت تدریجی به خوبی کار می‌کنند.
۳) علم انقلابی که یک جابه‌جایی پارادایمی روی می‌دهد.

مدل معمول جابه‌جایی پارادایمی فقط یک تأخیر و واماندگی فرهنگی[1] بسیار معتدلی را در نظر می‌گیرد زیرا داده‌ها انباشت گردیده‌اند و اشاره بر این می‌نمایند که پارادایم موجود نیاز به تغییر دارد و نسل جوان‌تر دانشمندان، آماده ارتقاء دادن این تغییر هستند.

امّا کار کوهن بر اساس مطالعهٔ تاریخی انقلاب‌های علمی بود که واقعاً رخ دادند و این احتمال که تعدادی از این انقلاب‌ها شکست خورده و یا به شکل غیرمعمولی با تأخیر مواجه شوند را از دست داد. احتمال چهارمی هم وجود دارد که ممکن است در علومی روی داده باشد که امروزه به نظر می‌رسند به شکل غیرمعمولی به آهستگی پیشرفت می‌کنند، یعنی در حقیقت به یک شکل از فلج، دچار شده باشند. شاید به این علت که داده‌هایی که ممکن است پارادایم کهنه را از اعتبار بیندازند، مورد غفلت واقع شده‌اند و یا اعضاء نسل جوان‌تر به حدّ اعلی در آموزش‌هایشان به شیوه‌های کهن تفکر، عجین یافته باشند. در این نقطه، تئوری چالش و

[1] Cultural lag

پاسخ[1] آرنولد توین بی[2]، به میان کشیده می‌شود. او برهان می‌آورد که یک جامعهٔ ثابت با نخبگانی هدایت می‌شود که توسط آن جامعه قدر داشته می‌شود زیرا آن‌ها بوده‌اند که مشکلات اجتماعی عمده آن جامعه را حل نموده‌اند. امّا این ثبات می‌تواند ناکارآمد باشد زیرا نخبگان گاهی به واسطهٔ این که چگونه به خوبی به چالش‌های بیرونی پاسخ می‌دهند، مورد آزمون قرار می‌گیرند. اگر گستره‌هایی از علم و فناوری امروزه در ثبات خود خیلی راحت و آسوده هستند، ممکن است با چالش‌های غیرقابل انتظاری که زنجیره‌های عرف و قرارداد را می‌شکنند، رو به رو گردیده و موجب برانگیختن نوآوری از سوی جامعهٔ گسترده شوند.

تئوری پاسخ به مسائل اجتماعی[3]

این تئوری ناظر بر این است که علم و فناوری گاهی در فهرست پاسخ عمومی به یک مسئله اجتماعی حاد مانند جنگ، بیماری اپیدمیک یا رکود اقتصادی قرار می‌گیرند و هر مسئله‌ای ممکن است به مشارکت نوین خاصی از میان‌رشته‌هایی که تا کنون همگرا نشده باشند، نیاز داشته باشد. بسیار ساده است که به مثال‌های همگرایی از جنگ جهانی دوم که در نهایت در فناوری‌های صلح‌آمیز بعدی مشارکت کردند، نظر بیفکنیم مانند انرژی اتمی برآمده از سلاح‌های اتمی، راکت‌های ماهواره رسان و رادارهای هوانوردی.

---

[1] Challenge and response theory
[2] Arnold Toynbee
[3] The Response to Social Problems Theory

امّا هم اکنون بسیار دشوار است که بتوان هزینه‌های کلی را در برابر سودمندی‌های پژوهش‌های نظامی، ارزیابی نمود. این را نیز باید در نظر گرفت که هزینهٔ این پژوهش‌ها از منابع عمومی برداشت شده‌اند و سرّی بودن این پژوهش‌ها، مانع از همگرایی خردمندانه آن‌ها است.

یک مثال رایج پیرامون این تئوری این است که یک عدم قطعیت دربارهٔ این که آیا فناوری اطلاعات، بیکاری را تقویت می‌نماید یا خیر وجود دارد؛ هر چند که نقدهای پرمغز و نیز مطالعات پژوهشی، زنگ خطر را به صدا در آورده‌اند امّا این فناوری می‌تواند فرصت‌های شغلی، را اگر برنامه‌های آموزشی کافی وجود داشته باشند تا نیروی کار را برای پیشرفت آماده سازند، افزایش دهد. بعضی از شواهد نشان می‌دهند که کاهش ثروت و امنیت طبقهٔ کار در کشورهای پیشرفته نه حاصل از فناوری اطلاعات است بلکه از استثمار فزاینده توسط نخبگان اجتماعی و برون سپاری در شغل‌ها به دیگر ملّت‌ها به وجود می‌آید. امّا دقیقاً چه گونه‌ای از نوآوری فناورانه می‌تواند بهترین پاسخ‌ها را به این مسئله پیچیده بدهد را نمی‌توان در اینجا پیش‌بینی کرد، هر چند که آشکارا، همگرایی در بخش مرکزی هر راه‌حل جدی‌ای جای دارد. تجارت جهانی خودش یک شکل از همگرایی است که با همگرا شدن فناوری اطلاعات با حوزه‌هایی که بسیاری از صنایع بر آن پایه‌گذاری شده‌اند، تسهیل می‌گردد. بدین سان، مسائل اجتماعی، انسان را در مرکز توجه قرار می‌دهد و بنابراین آیندهٔ بهتر به همگرایی علم با علوم اجتماعی و انسانی نیاز دارد.

این فصل ترجمه‌ای منتخب از منابع زیر بود:

- Bainbridge WS, Roco MC. Science and technology convergence: with emphasis for nanotechnology-inspired convergence. J Nanopart Res 2016;18: 211.
- Roco MC, Bainbridge WS. The new world of discovery, invention, and innovation: convergence of knowledge, technology, and society. J Nanopart Res 2013; 15: 1946.
- Bainbridge WS, Roco MC. The era of convergence. In: Bainbridge WS, Roco MC (eds) Handbook of science and technology convergence. Springer, Berlin, 2016, pp 1-14.
- Roco MC. Knowledge technology in a convergence spiral. University of Miami, Feb 20, 2018. (http://coe.miami.edu/eblast/dss/DrMihailC-Roco/ConvergenceSpiral_Roco.pdf)

فصل سوم

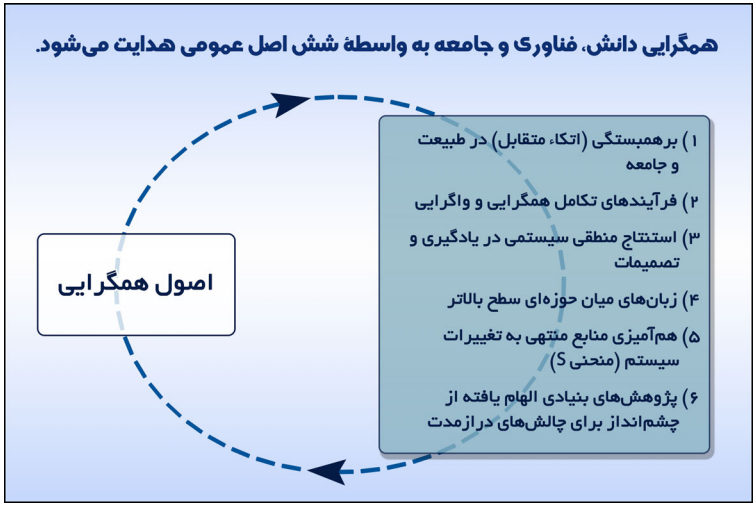
اصول و شیوه‌های همگرایی

نویسندگان:

ام. سی. روکو (Mihail C. Roco)

دبلیو. اس. بین بریج (Wiliam S. Bainbridge)

بدون شک، همگرایی علم و فناوری بیش از ایجاد سادهٔ تیم‌های میان‌رشته‌ای است که ارتباط کارآمد و مؤثر دارند. همگرایی به تغییر بوم‌زیست‌های مربوط به توسعهٔ مفاهیم و متدلوژی‌های تحقیقاتی، طراحی، تولید و همکاری نیاز دارد تا بدین طریق بتواند بین حوزه‌های گوناگون پل ایجاد کرده و شایستگی‌های نوینی را در گذر زمان، زایش دهد. این بخش، اصول و شیوه‌هایی را به صورت چکیده ارائه می‌دهد. این



شکل ۷: اصول همگرایی دانش، فناوری و جامعه

اصول می‌توانند همگرایی را بهبودی داده و به پیش ببرند. شیوه‌های همگرایی بر اساس به کارگیری شش اصل پایه‌گذاری شده‌اند:

اصل اول: بهره‌برداری از برهمبستگی (اتکاء متقابل) در میان حوزه‌ها[1]

این اصل ناظر بر این است که همهٔ منظرهای سیستم‌های فعالیت طبیعی و انسانی، یک واحد جامع و کل‌نگر را می‌سازند. به کارگیری اصل برهمبستگی، در تلاش‌های همگرایی علم و فناوری، در میان فرایندهای منفرد انسجام ایجاد می‌کند و این کار را از طریق ساختاربندی شبکه‌ای، دگرگونی و برهم‌کنش‌ها میان فرایندها انجام می‌دهد. سپس خود، این فرایند تغییراتی را در سیستم خلق می‌کند و پیوندها، گره‌ها[2] و همهٔ سیستم را در گسترهٔ زمان تغییر می‌دهد. این خود موجب ایجاد ساختارهای سلسله مراتبی تکاملی (سیستم‌های چند مرکزی[3]، الگوهای هم‌رفتی و انتشار دانش نوین) می‌شود که همگی با یکدیگر تکامل درازمدت سیستم را تعیین می‌کنند.

شیوه‌های کلیدی جهت تسهیل همگرایی بر اساس بهره‌برداری و ترویج برهمبستگی در میان حوزه‌های علم و فناوری، اشکال متنوعی را شکل می‌دهد:

---

[1] Exploiting Interdependence Among Domains
[2] Nodes
[3] Polycentric systems

الف) شناسایی سکوها (پلتفورم‌های) ضروری همگرایی

ب) یکپارچه نمودن حوزه‌هایی از علم و فناوری که در اصل متمایز به نظر می‌آیند.

ج) بنیان‌گذاری مجموعهٔ پایگاه‌های داده و سیستم‌های خبره چند موضوعی[1] بزرگ

د) شکل‌دهی به علم کارآمد[2] و شبکه‌های تولید و بوم‌زیست‌ها[3]

ه) معرفی علم سیستمی[4]، علم تیمی[5]، یادگیری باز[6]، شبکه‌سازی اجتماعی، پیوند زدن محیط‌های فرهنگی متنوع و دیگر شیوه‌هایی که از مزیت برهمبستگی بهره می‌برند.

الف) شناسایی پلتفورم‌های (سکوهای) ضروری همگرایی

این شناسایی هنگامی در بهترین حالت انجام می‌شود که مفاهیم، ابزارها، بازیگران مشترک و معماری شبکه مورد ارزیابی قرار گیرند. پنج پلتفورم همگرایی برای سیستم فعالیت کامل انسانی توسط روکو و بین بریج (۲۰۱۳)، بر اساس بازیگران اصلی، ابزارها و اهداف متحد شده، مورد شناسایی قرار گرفتند که شامل:

[1] Multi-topic
[2] Efficient Science
[3] Ecosystems
[4] System science
[5] Team science
[6] Open learning

۱) ابزارهای علم و فناوری بنیادین

۲) سیستم‌های مقیاس انسانی[1] و کیفیت زندگی

۳) سیستم‌های مقیاس زمینی[2]

۴) سیستم‌های مقیاس اجتماعی[3]

۵) پلتفورم رفتار سیستمی[4]

در درون هر کدامیک از این پلتفورم‌ها، پلتفورم‌های سلسله مراتبی دیگری وجود دارند که در سطح پایین‌تر ممکن است مورد شناسایی قرار گیرند.

ب) یکپارچه نمودن حوزه‌هایی از علم و فناوری که در اصل متمایز به نظر می‌آیند.

راهی است برای بهره‌برداری از سودمندی‌های برهمبستگی و سینرژیسم در سیستم‌های بزرگ. یک رهیافت در علم و فناوری، کاربرد یکپارچه‌سازهای[5] فناوری مانند فناوری نانو یا فناوری اطلاعات در گستره‌های کاربردی چندگانه است. ایجاد مشارکت میان‌رشته‌ها و بخش‌های متمایز، از مکانیسم‌های دیگر برای تحریک همگرایی و افزایش همکاری میان بخش‌های آکادمیک، صنعت و دولت می‌باشند. همچنان

[1] Human-scale
[2] Earth-scale
[3] Societal-scale
[4] System behavior platform
[5] Integrators

که بخش صنعت، سرمایه‌گذاری خود را در بخش پژوهش‌های بنیادی داخلی[1] کاهش داده است، به جامعهٔ دانشگاهی جهت پژوهش‌های اکتشافی چشم دوخته است. برای مثال، صنعت نیمه‌هادی‌ها چندین مشارکت گسترش یافته با دولت‌ها را در سطح فدرال و ایالتی تشکیل داده است تا پژوهش‌های بنیادین مورد علاقهٔ خود را تأمین اعتبار نماید. پروژهٔ پژوهشی پیشاهنگ نانوالکترونیک بنگاه تحقیقاتی نیمه‌هادی‌ها[2]، توسط بخش صنعت، بنیاد ملّی علم آمریکا (NSF) و بنیاد ملّی استاندارد و فناوری (NIST)، سرمایه‌گذاری مشترک شده است و برنامهٔ تحقیقاتی مرکز کانونی بنگاه تحقیقاتی نیمه‌هادی‌ها (SRC)[3]، با شراکت دولت در هزینه‌ها به صورت نصف-نصف، ایجاد شده است. مثال دیگر، مشارکت‌های بین‌المللی سازمان OECD[4] است یعنی جایی که یک گروه همگرا با تمرکز بر زیست فناوری و نانو فناوری ایجاد گردیده است.

ج) بنیان گذاری مجموعهٔ پایگاه‌های داده و سیستم‌های خبرهٔ چند موضوعی[5]

این کار از حوزه‌های متمایز علم و فناوری، با به کارگیری دانش انفورماتیک و شبیه‌سازی‌های کامپیوتری، انجام می‌شود. نقب زدن در

[1] Internal basic research
[2] Semiconductor Research Corporation's (SRC) Nanoelectronics Research Initiative
[3] The SRC's Focus Center Research Program
[4] The Organization of Economic Co-operation and Development
[5] Multi-topic

میان موضوعات، راهی برای فزونی دادن در برهمبستگی و برهم‌کنش میان گستره‌هایی است که پتانسیل هم‌افزایی را دارند.

د) شکل‌دهی به علم کارآمد و شبکه‌های تولید و بوم‌زیست‌ها

این کار را می‌توان با تغییر دادن برهم‌کنش‌های محلی، عملکردهای گره‌ای[1] یا ساختارهای شبکه‌ای جهت ایجاد پیامدهای مطلوب، انجام داد. یک رهیافت ویژه بر پایهٔ درک پویایی سیستمی[2]، خودسازمانی در سیستم‌های پیچیدهٔ بزرگتر است که با مکانیسم‌های برهم‌کنشی محلی برانگیخته شده‌اند. برای مثال، خلق زیست‌بوم‌ها را می‌توان در همگرایی دانش و فناوری‌ای که پزشکی فردگرایانه[3] را مورد حمایت قرار می‌دهد، استنباط کرد؛ پزشکی فردگرایانه ریشه در یکپارچه‌سازی پزشکی، الکترونیک، روبوتیک، بیونیک و ساماندهی به داده‌ها را دارد که خود موجب افزایش امید به زندگی انسان می‌شود. مثال دیگر، آموزش آنلاین فردگرایانه[4] است که ریشه در توسعه‌های علوم اعصاب، ارتباطات، روانشناسی و درک فرایند یادگیری (جهت یادگیری مادام‌العمر رسمی و غیررسمی) ریشه دارد.

سیستم‌های شبکه‌ای پژوهشگران گوناگون، به داده‌های نهادهای

[1] Node functions
[2] System dynamics
[3] Personalized medicine
[4] Personalized online education

تحقیقاتی و دانشگاهی، از طریق سیستم‌های وب سایتی، اتصال یافته‌اند؛ مانند:

1) VIVO
2) Harvard Catalyst Profiles
3) Stanford CAP Network
4) Elsevier SciVal Experts
5) Academia. edu

این سیستم‌ها به صورت اولیه به شکل خدمات پروفایلی عمل می‌کنند یعنی جایی که اعضاء می‌توانند افراد خبره را در سیستم‌ها پیدا کنند. امّا این سیستم‌ها هم اکنون فاقد فرصت‌هایی هستند که به واسطهٔ عملکردی ارتباط باز[1] و به اشتراک گذاری منبع ایجاد شده‌اند؛ لذا همکاری می‌بایست از طریق ایمیل، در خارج از این سیستم‌ها، انجام شود. HUBzero، مفهوم شبکهٔ پژوهشگر بر پایهٔ وب را با فراهم آوردن یک فضای آنلاین برای به اشتراک گذاری منابع و همکاری‌ها، پیشرفت داده است امّا هنوز محدود فقط به اعضاء است و هر هاب نیز فقط برای یک گروه خبرهٔ ویژه، قابل دسترس است. برای مثال، nanoHUB برای پژوهشگران علوم نانو و هاب C3Bio مختص پژوهشگرانی است که در حوزهٔ انرژی و کارآمدی کربن در تولید سوخت زیستی کار می‌کنند.

ه) معرفی علم سیستمی[2]، علم تیمی، یادگیری باز[3]، شبکه سازی اجتماعی،

[1] Open communication functionality
[2] System science
[3] Open-learning

پیوند زدن محیط‌های فرهنگی متنوع و دیگر شیوه‌هایی که از مزیت برهمبستگی بهره می‌برند.

معرفی مفاهیم علم سیستمی و علم تیمی در دستورالعمل‌های تحقیق و توسعه، به پژوهشگران این اجازه را می‌دهد که از مزیت برهمبستگی و اتکاء متقابل و هم‌افزایی، به شیوه‌ای نظام‌مند، بهره ببرند.

شیوه‌های همگرایی که علم سیستمی را مورد حمایت قرار می‌دهند شامل ابزارهای ویژه‌ای همچون شبکه‌سازی عصبی و مدل‌های منطقی[1] هستند که شالودهٔ برهم‌کنش‌های سیستمی را تشکیل می‌دهند؛ این موضوع در بیولوژی تکاملی و طراحی محاسبه‌گرانهٔ تکاملی[2] برای همگرایی سیستمی هویدا می‌باشد. دانش علم تیمی، رهیافتی است که به نقطه‌ای تکامل یافته که یک سازمان حرفه‌ای را شکل داده است[3].

نگاه توأمان به علوم سخت و اجتماعی در علوم سیستمی، به ویژه در پروژه‌های اقتصادی اجتماعی، می‌بایست از شروع برنامه‌های همگرایی انجام شود. شیوه‌های احتمالی دیگری نیز جهت حمایت از همگرایی بر پایهٔ برهمبستگی میان حوزه‌های علم و فناوری وجود دارند.

- *توسعهٔ آموزش میان فردی و فرافردی[4] و پیاده‌سازی مدیریت جامع و کل‌نگر، شیوه‌های ویژه‌ای هستند که با محیط‌های کاری متنوع و*

[1] Logic models
[2] Evolutionary computational design
[3] http://scienceofteamscience.org/
[4] Intrapersonal

شبکه‌ای شدهٔ رو به گسترش امروز مناسبت دارند. خلق شبکه‌سازی اجتماعی اختصاص یافته به علم و فناوری، توسعهٔ نسبتاً اخیری است که انشعابات رو به رشدی را از خود نشان داده است.

- *همگرایی در اکتشافات پدیده‌های طبیعی (مشابه همگرایی در تعریفی واحد از نیروهای موجود در طبیعت)، کارآمدی فناورانهٔ جامعه را سرعت بخشیده و مورد حمایت قرار خواهد داد.*
- *سیستم‌های یادگیری باز (مانند آکادمی خان[1] برای گروه‌های بزرگ، برنامهٔ کارآموزی آموزشی و پژوهشی یکپارچهٔ بنیاد ملّی علم آمریکا و بسیاری دیگر) آموزش یکپارچه‌تر شده و برهم‌کنشی[2] را ارتقاء داده و همگرایی را تقویت می‌کنند.*
- *مکاشفه[3]، رهیافتی برای پیوندسازی میان رویدادهای دور و نزدیک (در فضا و زمان) می‌باشد.*
- *یک هدف سراسری همگرایی حمایت از فرهنگی است که به واسطهٔ اصول برهمبستگی و پیوندیافتگی[4] هدایت می‌شود.*

علم آزاد[5]، یک رهیافت کلیدی در هنگامهٔ نوآوری و خلاقیت فرایند همگرایی است و تا کنون توانسته است تغییر فرهنگ علم و فناوری را

[1] Khan
[2] Interaction
[3] Meditation
[4] Connectivity
[5] Open science

آغاز کند. علم آزاد به صورت اولیه شامل "سازمان‌های شبکه‌ای همکاری"[1] و علم شهروندی[2] است که در این شرایط همکاری‌ها تقریباً کاملاً به صورت مجازی هستند. هم اکنون، دانشمندان آغاز به بحث پیرامون علم آزاد به عنوان یک رهیافت نموده‌اند که به واسطهٔ آن متخصصین، دانشمندان غیرمتخصص و غیردانشمندان، به سادگی می‌توانند از طریق ابزارهای جدید ارتباطی بر پایهٔ اینترنت و متدلوژی‌های تحقیقاتی نوین، به همکاری بپردازند. انتظار می‌رود چندین توسعهٔ فناوری اطلاعاتی مهم در آینده با یکدیگر همگرا شوند که نتیجهٔ آن ایجاد سودمندی‌های شگفت‌آور برای اتحاد بخشی به علوم است:

- *تکامل آرشیو داده‌های علمی به کتابخانه‌های دیجیتال در دههٔ ۱۹۹۰ انجام گردید و به شکل سازمان مجازی همکاری‌ها[3] در دههٔ ۲۰۰۰ ادامه یافت. نمونه‌های برجسته آن شامل بانک داده‌های پروتئین[4]، سازمان مجازی توموگرافی رایانه‌ای و شبکهٔ آرشیوهای بر پایهٔ رایانهٔ به اشتراک گذاشته شده توسط اخترشناسان است.*
- *پدیداری علم شهروندی آنلاین[5] در طیّ دههٔ گذشته با استفاده از مردم معمولی به عنوان داوطلب جهت جمع‌آوری و طبقه‌بندی داده‌ها آغاز شد و هم اکنون نیز داوطلبانی با زمینه‌های فنی متنوع به عنوان*

[1] Collaboratories
[2] Citizen science
[3] Virtual Organization collaboratories
[4] Protein Data Bank
[5] Online Citizen Science

همکاران حقیقی شروع به کار در آن نموده‌اند. یک مثال در استفاده از رهیافت فناوری اطلاعات نوآورانه جهت متحد کردن زیست‌شناسی با علوم نانویی، پروژهٔ فولدیت[1] است که در آن داوطلبان غیردانشمند به شکل جمعی توانسته‌اند مسائل دشوار در تاخوردگی پروتئین[2] را از طریق یک بازی آنلاین، حل کنند.

- *تمرکز فزاینده‌ای بر روی جوامعی خواهد بود که در حال تعریف کردن نیازهای خود با استفاده از فرایندهای همگرایی جهت پرداختن به موارد عمده‌ای است که بر آن‌ها مؤثر هستند و این عمل را بر پایهٔ در صورت لزوم یا در صورت تقاضا، با اتکاء به خودتنظیمی[3] (از طریق جوامع تخصصی، سازمان‌های غیردولتی و غیره)، به شیوه‌ای انجام می‌دهند که کمتر نسبت به سیستم‌های کنونی، پدرسالارانه هستند.*

انتظار ایجاد تغییرات در کسب و کار و تولید نیز وجود دارد. برهمبستگی میان حوزه‌ها و شیوه‌های ارتباطاتی بهتر، به شرکت‌های بزرگ و عمومی اجازه داده‌اند تا بیشتر توزیع یافته و تخصصی‌تر شوند و آن‌ها این کار را با استفاده از فناوری اطلاعات و پیوند یافتگی پیشرفتهٔ توانمند شده با رایانه، انجام می‌دهند.

تغییرات در پژوهش و حاکمیت آموزش در اقدامات جدیدی که در سازمان‌های تحقیق و توسعه و سازمان‌های سرمایه گذار انجام می‌شوند،

---

[1] Foldit Project
[2] Protein Folding
[3] Self-regulation

بازتاب خواهند یافت.

- *نیاز است میان‌رشته‌ای، میان‌بخشی، میان‌فرهنگی و به اشتراک‌گذاری بین‌المللی سازمان‌ها، پروژه‌ها و مدل‌ها در تلاش‌های تحقیق و توسعه، بر پایهٔ علایق دوطرفه، تشویق شوند. ایجاد سیستم اطلاعاتی پیرامون فرصت‌های سرمایه‌گذاری و مکانیسم‌های منطبق با همکاری برای همهٔ عوامل سرمایه‌گذار در یک منطقه (مانند آمریکا یا اتحادیهٔ اروپا)، یک مثال از این شیوه است.*
- *رهیافت دیگر، حمایت گسترده‌تر از موضوعات چندحوزه‌ای[1] در تقاضاهای برنامهٔ تحقیق و توسعه است که این عمل با مرور و بازنگری در آن‌ها توسط افراد خبره با خبرگی‌های گوناگون انجام می‌شود. مثال‌های آن دو برنامهٔ بنیاد ملّی علم آمریکا (NSF) است یعنی تیم تحقیقاتی میان‌رشته‌ای مقیاس نانویی[2] (NIRT) که پژوهشگران اصلی پروژه‌های تحقیقاتی آن می‌بایست حداقل از سه بخش گوناگون در تحقیقات درگیر شوند و دیگری برنامهٔ حمایتی یکپارچهٔ NSF برای ارتقاء آموزش و تحقیق میان‌رشته‌ای[3] است که یک پروژه می‌بایست حداقل با دو بخش یا حداقل دو برنامهٔ رشته‌ای متمایز از هم از دیدگاه NSF، بر روی آن‌ها سرمایه‌گذاری مشترک انجام شود.*
- *رهیافت دیگر تأسیس یا بزرگ نمودن واحدهای چندرشته‌ای و*

[1] Multidomain
[2] Nanoscale Interdisciplinary Research Team
[3] The Integrated NSF Support Promoting Interdisciplinary Programs

چندحوزه‌ای تحقیق و آموزش است تا بتوان بوم‌زیست‌های بهتری از همکاری را ایجاد کرد. چنین بوم‌زیست‌هایی با اهداف مشترک و توزیع فضاها و دستورالعمل‌ها برای فعالیت‌های تحقیقاتی مشترک شروع می‌شوند. مثال‌های آن‌ها بسیاری از ترکیبات دانشگاهی بخش‌های آکادمیک مانند بیوشیمی و بخش‌های متنوع تخصصی مهندسی است. مرکز علوم مقیاس نانویی و مهندسی آلبانی[1]، رشته‌های علوم پایه تا حوزه‌های مرزشکن تحقیق و توسعه هم چون الکترونیک قدرت و لیتوگرافی ماوراءبنفش بی‌نهایت[2] تا تجاری‌سازی کسب و کارهای نوآورانه، به ویژه با مشارکت‌های دولت و صنعت را تحت هدف مشترک آموزش و ارتقاء یک نیروی کار پیشگام آینده در علوم مقیاس نانویی و مهندسی گرد هم آورده است.

- تغییر دادن سیستم پذیرش[3]، پژوهشگران و دانشکده‌ها جهت حمایت از کار میان‌رشته‌ای دقیق که این می‌تواند شامل دادن اعتبار دادن به برون ده تحقیقاتی جایگزین[4] مانند پژوهش در مرزهای چندحوزه‌ای، انجام پژوهش در مراکز میان‌حوزه‌ای[5] یا دیگر همکاری‌های خارج از واحدهای تحقیقاتی و آموزشی پژوهشگران باشد.
- دانشجویان نیز به همین طریق ممکن است تشویق شوند که دو مشاور

[1] The Center for Nanoscale Science and Engineering in Albany
[2] Extreme ultraviolet lithography
[3] Recognition system
[4] Alternate
[5] Cross-domain centers

حداقل از دو بخش متفاوت داشته باشند. برنامهٔ IGERT بنیاد ملّی علم آمریکا (NSF)، مثالی است که بودجه به دانشجویانی می‌دهند که حداقل تحت سه مشاور موضوعی گوناگون، کار کنند.

- *ممکن است سازمان‌های بودجه‌گذار تحقیق و توسعه و سیاست‌گذار تشویق شوند تا سرمایه‌گذاری بر روی شبکه‌های تحقیق و آموزش جدید و همچنین ایجاد حمایت و تقویت شبکه‌سازی موجود را در میان دانشجویان افزایش دهند. یک مثال می‌تواند شبکهٔ منبع آزاد، دسترسی آزاد شبیه‌سازی، محاسبه‌گری و آموزش nanoHUB حمایت شده توسط NSF باشد که بیش از ۳۰۰,۰۰۰ کاربر از دانشگاه، صنعت و دولت از سراسر دنیا از آگوست ۲۰۱۳ تا ژولای ۲۰۱۴ وجود داشته‌اند.*
- *تغییرات هماهنگ شده مربوطه در ساختارهای سازمانی، طرح‌ریزی پژوهش راهبردی، تجزیه و تحلیل تصمیم و اقدامات جهت حمایت از ارزیابی تحقیق و توسعهٔ چندحوزه‌ای، تصمیم‌سازی و حل تضادها مورد نیاز هستند. ساختارهای سازمانی دولتی و مقررات نیاز خواهند داشت که مورد بازنگری و روزآمد شوند تا فرایندهای همگرایی برای مؤثر بودن و فراهم آوردن سودمندی‌های فزون یافته برای جامعه، حاصل شوند. برقراری ارزیابی و سازمان‌های شبکه‌سازی مانند دستهٔ کاری زیست‌فناوری، فناوری نانو و فناوری‌های همگرایی OECD که در سال ۲۰۱۴ تأسیس شد، یک مثال از این گونه فعالیت‌ها است.*

مثال دیگر، شکل‌گیری هیئت مدیرهٔ پژوهش همگرا در شورای ملی علم و فناوری تحقیقاتی کشور کره در سال ۲۰۱۴ است که شامل همگرایی برنامه‌های آموزشی دانشجویان از طریق نیازمندی‌های سازمان‌های اعتباربخشی دانشکده‌ای (مانند ABET در ایالات متحدهٔ آمریکا) می‌باشد. بنیاد دولتی غیرانتفاعی علم و فناوری آمریکا سازمانی است که در حدّ فاصل میان برنامه‌های معمولاً تکه‌تکه شدهٔ منطقه‌ای، دولتی و ملّی نوآوری و تجاری‌سازی علم و فناوری، جای می‌گیرد.

اصل دوم: بهبودی در چرخهٔ همگرایی - واگرایی

اصل بهبودی در چرخهٔ تکاملی همگرایی-واگرایی با استفاده از مزیت توالی در فرایندهای طبیعی حل مسئلهٔ انسانی[1] در شناخت پیامدها[2]، در پاسخ به شرایط بوم‌زیستی، اجتماعی و علمی‌ای که امروزه با شتاب در حال تغییر هستند، هدف قرار داده است. چرخهٔ همگرایی - واگرایی در توسعهٔ علم و فناوری از استدلال طلبی مغز انسان برای رسیدن به هدف ریشه می‌گیرد.

[1] Natural human problem-solving processes
[2] Outcomes

در نخست، افراد بر برهم‌گذاری[1] و یکپارچه‌سازی اطلاعات، پیاده‌سازی طرح عملیاتی و سپس به کارگیری اطلاعات در سناریوهای جدید، تمرکز می‌یابند. یک فرایند کلاسیک تکاملی علم و فناوری با جمع‌آوری دانش از حوزه‌های متنوع توسط افراد و برهم‌گذاری آن به راه‌های نوین جهت رسیدن به یک پیامد یکپارچه (مرحلهٔ همگرایی)، آغاز می‌شود و سپس هنگامی که دانش به گستره‌های جدید از طریق نوآوری و خلق خبرگی، صنایع، کسب و کارها و حوزه‌های فناوری، پخش می‌گردد، ادامه می‌یابد (مرحلهٔ واگرایی).

شکل ۸: مجسمه‌ای از سی. برانکوسی
که مفهوم چرخهٔ همگرایی - واگرایی را نشان می‌دهد.

[1] Assembling

همگرایی، کشف و اختراع را آفرینش می‌کند؛ واگرایی نوآوری و زایش‌هایی[1] را حاصل می‌دهد که آن‌ها توسعهٔ مفاهیم و محصولات کاملاً نوین را مهمیز می‌زنند. هر دوی همگرایی و واگرایی برای فرایند دانش و پرداختن به مسائل غامض اجتماعی، بخش‌هایی جداناپذیر هستند. فرایند همگرایی - واگرایی، نخست برای برنامه‌های بزرگ تحقیق و توسعه شناسایی شد. بهبودی و سرعت بخشی به فرایندهای چرخهٔ همگرایی - واگرایی برای نیل به پیامدهای بهینه، چالشی برای جامعه محسوب می‌شوند.

شیوه‌های کلیدی جهت تسهیل همگرایی بر اساس بهبودی در چرخهٔ همگرایی - واگرایی، الزاماً به فراهم بودن حمایت متوازن از کل چرخه (از جمله فازهای همگرایی و واگرایی آن) وابسته می‌باشند. در گذشته، فازهای واگرایی، به شکل کامل، در تجزیه و تحلیل، ملاحظه نشده‌اند. فازهای همگرایی و واگرایی شامل موارد زیرین می‌باشند:

الف) فاز خلاقیت

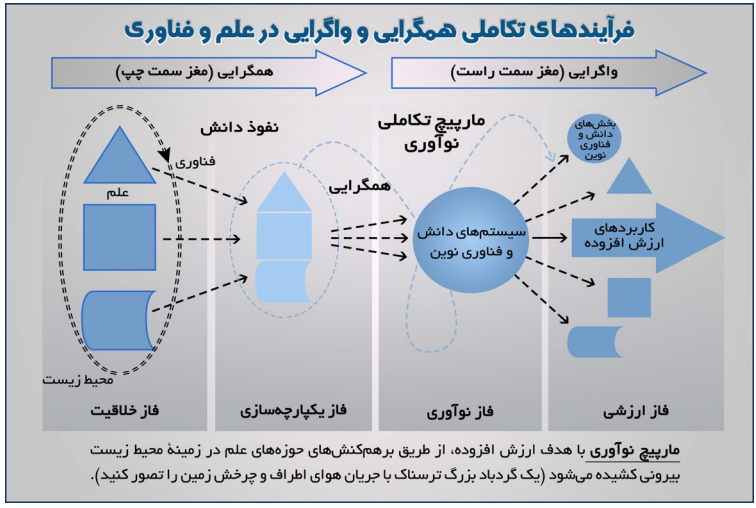
ب) فاز یکپارچه‌سازی[2]

ج) فاز نوآوری با مارپیچ نوآوری آن

د) فاز پیامد/ زایش

[1] spin-offs

[2] Integration



شکل ۹: چرخهٔ تکاملی همگرایی و واگرایی فرآیندهای سیستم فعالیت انسانی که چهار فاز چرخه شامل خلاقیت، یکپارچه‌سازی، نوآوری و ارزش را نشان می‌دهد.

افزون بر این، یک فاز ارزیابی و پیوندیافتگی[1] در انتهای هر چرخه و پیش از چرخه‌های آینده وجود دارد که به انتخاب طبیعی داروینی یا کارآمدی در تکامل پژوهش، منتهی می‌گردد. برنامه‌ریزی پژوهش و توسعه و حاکمیت برای چرخهٔ کامل، می‌بایست فشار رو به جلو[2] (از فازهای همگرایی) علم و فناوری را ترکیب کرده و از کشش‌های[3] اجتماعی (از فازهای واگرایی) را مورد حمایت قرار دهد. تسهیل نمودن دسترسی آزاد، همکاری و نوآوری میان بازیگران کلیدی برای برهم‌کنش میان

[1] Connectivity
[2] Pushes
[3] Pulls

فازهای همان چرخه و در میان چرخه‌ها ضروری می‌باشند. بهبودی در انتشار دانش و فناوری و مقیاس گذاری در فاز واگرایی، ضروری هستند.

از تجزیه و تحلیل مارپیچ نوآوری[1] تعیین گردید که پیامدهای نوآوری در تناسب مستقیم با مربع اندازهٔ دامنهٔ همگرایی که می‌توان برای یک پروژهٔ انتخابی، به عنوان بخشی از سیستم فعالیت انسانی شکل داد افزایش می‌یابد و در تناسب معکوس با مربع سرعت چرخه می‌باشد. بر این اساس، عوامل اصلی برای بهبودی در همگرایی، افزایش دادن اندازه دامنه و سرعت برهم‌کنش‌ها از فاز خلاقیت تا فاز زایش است.

یک شیوه برای بهبودی در فاز خلاقیت/ برهم‌گذاری[2]، فراهم آوردن حمایت از برهم‌کنش میان‌رشته‌ای در میان دانشمندان و مهندسین از رشته‌های سنتی مختلف است. چنین حمایتی هم اکنون رو به افزایش است. مطالعهٔ اخیر، خلاقیت را به گونه‌ای توصیف می‌کند که به واسطهٔ محیط‌های فیزیکی واقعی، خلاقیت مهمیز زده می‌شود یعنی جایی که مردم و ایده‌ها، همگرایی یافته و هم‌افزایی‌ها خیزش می‌یابند. در تعدادی از شرکت‌های بزرگ مانند 3Mو IBM، دانشمندان از یک بخش به بخش بعدی چرخش می‌کنند (بدون در نظر گرفتن آموزش و تربیت پیشین آن‌ها تا موجبات برانگیختن تفکر هم‌افزایانه و خلاق در آن‌ها فراهم شود).

در چندین دانشگاه مانند دانشگاه کورنل[3] و MIT، دانشجویان مقطع

[1] The spiral of innovation
[2] The Creative/assembling phase
[3] Cornell University

PhD در طیّ دوران دانشجویی در آزمایشگاه‌های متنوع گردش می‌کنند. ایجاد فضاهای پردیس چندرشته‌ای برای دانشجویان و دانشکده‌ها، یک واقعیت موجود در تعداد از پردیس‌های رو به رشد مانند دانشگاه کالیفرنیا، لوس آنجلس و دانشگاه ملّی سئول می‌باشد. از این رو، می‌توان اساتید را که از یک بخش به بخش دیگر در چرخش هستند، تصور نمود. چنین تجربیاتی می‌بایست نظام‌مند بوده و گسترش بیابند.

چندین شیوه برای بهبودی فاز یکپارچه سازی/ گداختگی و ادغام[1] چرخهٔ همگرایی - واگرایی وجود دارد:

- *بهره‌برداری از "پلتفورم‌های علم و فناوری گستردهٔ پایه"[2] که فرصت‌های یکپارچه‌سازی بیشتری را ارائه می‌دهند. چنین پلتفورم‌هایی ممکن است با ترکیب کردن یا کار کردن در تقاطع پنج پلتفورم علم و فناوری، تشکیل شوند. این پلتفورم‌ها شامل ابزارهای بنیادین، مقیاس انسانی، مقیاس زمینی، پلتفورم‌های مقیاس اجتماعی و پلتفورم رفتار سیستمی می‌باشند.*
- *استفاده از شیوه‌های طراحی چندرشته‌ای مانند ترکیب کردن رهیافت‌های طراحی الکترونیک، اپتیک، مکانیک سیالات، گرمایی و مکانیکی در اپتوالکترونیک[3]*
- *خلق شیوه‌های متنوع تولیدی و فازهای تولید که با فرایند*

[1] Integration/Fusion
[2] Broad-based S&T platforms
[3] Optoelectronics

یکپارچه‌سازی، هم استقراری[1] و شبیه‌سازی مشترک سیستم‌های تولیدی منطبق بوده و هم‌افزایی ایجاد می‌کنند و همچنین به واسطهٔ توسعه دادن توسط سیستم‌های ذهنی - سایبری - فیزیکی[2] پیشرفته.

چندین شیوه برای بهبودی فاز نوآوری چرخهٔ همگرایی - واگرایی وجود دارد:

- *ترویج رهیافت‌های کاربر - رانشی[3] مانند پژوهش بنیادی الهام یافته از استفاده[4]*
- *ارتقاء نوآوری باز و انتشار نوآوری*
- *پیگیری طرح مشارکتی و حاکمیت مانند طراحی و افزایش نوآوری جهت اثرات واگرایی بهینه[5] و پیگیری شیوه‌هایی برای تولید هیبرید و توزیع یافته*
- *به کار بردن نرم‌افزار تخصصی‌ای که جایگزین‌های مفهومی را برای تصمیم‌سازی فراهم می‌آورد.*

چندین شیوه برای بهبودی و ارزیابی فاز پیامدها/ زایش[6] در چرخهٔ همگرایی - واگرایی وجود دارد:

- *ترویج پژوهش الهام یافته از چشم‌انداز[7]*

---

[1] Co-location
[2] Mind-Cyber-Physical
[3] User-driven
[4] Use-inspired basic research
[5] Optimal divergence effects
[6] Outcomes/Spin-off
[7] Vision-inspired research

- *شناسایی و پیگیری ارزش‌ها و اهداف مشترک با اولویت بالا*
- *حمایت از مطالعات آینده‌نگرانه شامل به کار بردن تجزیه و تحلیل روند[1]، فرایندهای دلفی[2]، تکنیک‌های سناریونویسی، بررسی فعالیت‌های پایین دستی برای شناسایی یکپارچه‌سازان[3] علم و فناوری و شیوه‌های واقعیت مجازی*
- *افزایش دادن به برنامه ریزی طولانی مدت و مشارکت شهروندان، برای مثال، بازاریابی و برداشتن گام‌هایی برای بازترتیبی شاخص‌هایی برای کسب موفقیت جامعه با افزودن شاخص‌هایی (در کنار GDP به عنوان برون‌ده اقتصادی) همچون انباشت در دانش و فناوری، آمادگی برای آینده و تغییرات در آموزش و زیرساخت. مثال دیگر، پذیرفتن مسئولیت همگرایی خود تنظیمی[4] در جوامع خودمتکی جهت حمایت از پایداری محیط زیست می‌باشد.*

ایجاد امکانات برای بهبودی حاکمیت تحقیق و توسعه در برنامه‌ریزی علم و فناوری در خور توجه است؛ چون که بدین طریق، امکان مشارکت همهٔ چهار فاز چرخهٔ همگرایی - واگرایی فراهم می‌گردد و این کار با استفاده از شیوه‌های مختلف در فازهای گوناگون چرخه انجام گردیده و گذار آرام بین فازها و بین چرخه‌ها تضمین می‌شود. بدین سان، توجه

[1] Trend analysis
[2] Delphi processes
[3] Integrators
[4] Self-regulating convergence

ویژه‌ای به فاز واگرایی جهت پیش‌بینی این که کجا شایستگی‌های صعودپذیر، محصولات و صنایع جدید ممکن است ایجاد شوند، نشان داده خواهد شد.

"نوآوری باز"[1] و رهیافت‌های تکاملی می‌بایست نقش فزاینده‌ای در پیوند دادن چهار فاز چرخهٔ همگرایی - واگرایی و به ویژه آن‌هایی که در فاز واگرایی هستند، بازی کنند. چس برو[2]، نوآوری باز را به صورت یک پارادایم تحقیق و توسعه تعریف کرد که شامل یک سازمان تحقیق و توسعه است که در جستجو و بهره‌برداری هر و همهٔ اشکال داخلی و خارجی همکاری جهت ایجاد مالکیت فکری جدید در علم و فناوری و همچنین شیوه‌های نوین استفاده و انتشار آن مالکیت فکری می‌باشد. برنامهٔ سرمایه‌گذاری گروه نوآوری بنیاد ملّی علم آمریکا[3]، یک مثال از ابزارهای نهادی جهت تسهیل نظام‌مند شبکه‌سازی در حدفاصل میان جامعهٔ پژوهشی و جامعهٔ کسب و کار است.

اصل سوم: حل مسئله و تصمیم‌گیری استنتاجی با منطق سیستمی[4]

اصول به کارگیری استنتاج با منطق سیستمی جهت تصمیم‌گیری و حل مسئله ناظر بر این است که پیامدهای بهینه در سیستم‌های پیچیدهٔ

[1] Open innovation
[2] Chesbrough
[3] NSF's Innovation Corps funding program
[4] System-logic Deductive Decision Making and problem solving

علم و فناوری اغلب از پژوهشگرانی بر می‌خیزند که تصویری بزرگ[1] و رهیافت‌های چندگانه را در نظر می‌گیرند. همهٔ فعالیت‌های انسانی از طریق یک سیستم تکاملی که تصمیم‌ها و راه‌حل‌های اتخاذی را چهارچوب می‌دهد، به یکدیگر وابسته هستند. در نظر گرفتن برهم‌کنش‌ها در سرتاسر همهٔ سیستم و گزینش بهترین ابزارهای در دسترس از حوزه‌های مختلف، چالش‌هایی برای تصمیم‌گیری و حل مسئله می‌باشند.

شیوه‌های کلیدی برای تسهیل همگرایی بر پایهٔ منطق سیستمی و تصمیم‌گیری استنتاجی شامل موارد زیرین هستند:

۱) اتخاذ یک رهیافت استنتاجی جامع و کل‌نگر با در نظر گرفتن مسیرهای برهم‌کنشی چندگانه در سیستم‌های پیچیده

۲) ترکیب کردن بالا و پایین[2]، پایین به بالا[3]، میان‌رشته‌ای افقی و رهیافت‌های تکاملی جهت تصمیم‌گیری و حل مسئله

۳) تسهیل نمودن همکاری شبکه‌ای انسان - رایانه[4] و ماشین - ارتباطات[5]

۴) به کار بردن دانش نقشه برداری[6]، دیدارسازی شبکه[7]، آنالیز

---

[1] Big picture
[2] Top-down
[3] Bottom-up
[4] Human-Computer
[5] Machine-Communication
[6] Mapping
[7] Network visualization

فراکتال[1] جهت شناسایی الگوهای سیستمی علت و معلولی مربوطه.

رهیافت استنتاجی کل‌نگر[2]، همهٔ اجزاء سیستم و تکامل علتی آن‌ها را در نظر می‌گیرد و این کار را با به کار بردن ترکیبی از توانمندی‌های انسانی، رایانه‌ای و شبکه‌ای به انجام می‌رساند. کاربردی بودن رهیافت جامع و کل‌نگر تابعی است از این که چگونه به خوبی ساختار سلسله مراتبی سیستم مربوطه شناخته می‌شود و آیا فرایندهای پایین به بالا، بالا به پایین، میان‌رشته‌ای افقی و پیوندهای با محدودهٔ طولانی‌تر[3]، به خوبی درک شده‌اند. مثال آن سلسله مراتب نیازهای مازلو[4] است یعنی جایی که تصمیم‌های استنتاجی مهم در زندگی، بسته به سن فرد را می‌توان بر پنج سطح سلسله مراتبی، اتخاذ نمود؛ این پنج سطح شامل: سلامت، تندرستی (فیزیکی و روانی) پیوندهای اجتماعی (برای مثال دوستان و ارتباطات)، استقلال (برای مثال در حمل و نقل و تصمیم‌گیری) و به خود واقعیت دادن (با دستیابی به موفقیت، هویت و میراث) می‌باشد. در چهارچوبی دیگر، راه‌حل برای تبدیل انرژی، بستگی به زمینهٔ سلسله مراتبی آن دارد و بسته به این که آیا فقط یک پلتفورم فناوری مورد نظر قرار می‌گیرد (مانند کارآمدترین فناوری گازسوز) یا اهداف اجتماعی سلسله مراتبی

[1] Fractal analysis
[2] The holistic deductive approach
[3] Longer-range links
[4] Maslow

سطح بالاتر (مانند به کار بردن انرژی تجدیدپذیر در شهرها)، متفاوت می‌باشد.

ترکیب کردن شیوه‌های بالا به پایین، پایین به بالا و دیگر شیوه‌ها برای تصمیم گیری و حل مسئله، یک رهیافتی سودمند است. این رهیافت، استقراء[1] (از پایین به بالا، از تجزیه و تحلیل مقیاس نانویی تا یافته‌های مقیاس ماکرو)، استنتاج سلسله مراتبی سیستمی[2] (بالا به پایین، علم و فناوری رانش یافته با هدف اجتماعی)، برهم‌کنش‌های جانبی همتایان[3] (بین رویدادها در سطحی یکسان یا در حوزه‌های دیگر در یک ساختار سلسله مراتبی ویژه)، و تکامل زمانی همگرایی - واگرایی را ترکیب می‌نماید. رهیافت استنتاجی بالا به پایین در همگرایی جهت رسیدن به تصمیم‌های سودمند فراگیر ضروری است. بدین سان نتایج در مقایسه با همکاری‌های تصادفی یا کار میان‌رشته‌ای بهبودی داده می شوند.

همچنین، تصمیم‌ها و راه‌حل‌ها برای مسائل مشابه به عنوان تابعی از اندازهٔ سیستم پیچیدهٔ تحت ملاحظه، متفاوت هستند. برای مثال، راه‌حل‌های انرژی تجدیدپذیر ممکن است با منابع در دسترس در یک حوزهٔ فناوری موجود یا گسترهٔ جغرافیایی، با محدودیت روبه‌رو شوند.

توسعهٔ فناوری‌ها برای تسهیل نمودن همکاری شبکه‌ای انسان - رایانه، متضمن استفاده از علوم اعصاب، مهندسی نرم‌افزار،

[1] Induction
[2] System hierarchial deduction
[3] Peer lateral interactions

فناوری‌های حسگر، مهندسی نورومورفیک[1] و درون‌داد‌های دیگر است. ترکیب کردن توانمندی‌های قابلیت شبکه - انسان - ماشین یک روند در تصمیم‌گیری است. به عنوان مثال، عوامل اثرگذار بر کارآمدی پروژه‌های پیشاهنگ علم میان‌رشته‌ای، عوامل میان فردی (مانند انسجام تیمی) و فرافردی[2] (مانند منش‌های به سوی ایجاد همکاری) بوده و موارد وابسته به محیط فیزیکی (مانند مجاورت فضایی مکان‌های کاری تیمی) و سیاست‌ها (سیاست‌های سازمانی، فناورانه، اجتماعی و علمی) را شامل می‌شوند.

نقشه‌برداری دانش[3]، تکنیک‌های دیدارسازی شبکه و تجزیه و تحلیل فراکتال، شیوه‌هایی هستند برای شناسایی الگوهای بزرگ در سیستم‌های دانش، فناوری و اجتماعی؛ همچنین کارهای وابسته که در جوامع تخصصی دیگر و سطوح سلسله مراتبی دیگر در جریان بوده و این کارها از ایجاد همکاری ممکن است بهره مند شوند.

ممکن است پیکرهای گوناگون حاکمیتی تحقیق و توسعهٔ، شیوه‌های منطقی سیستمی خاصی را مدنظر قرار دهند:

- *تصمیم‌گیری برای ایجاد توازن در سرمایه‌گذاری در فناوری‌های همگرا و نوپدید میان برنامه‌های رانش یافته به وسیلهٔ اکتشاف پایین*

[1] Neuromorphic engineering
[2] Intrapersonal
[3] Knowledge mapping

به بالا[1] (که به آن بودجه‌بندی هسته‌ای) می‌گویند و چشم‌انداز بالا به پایین یا برنامه‌های رانش یافته به وسیلهٔ چالش عظیم[2] (که به آن بودجه‌بندی بر روی پروژه‌های پیشاهنگ می‌گویند). این همچنین به معنای ایجاد توازن در تأمین اعتبار میان وجوه بخش تأمین[3] گرنت‌ها و قراردادها با واحدهای پژوهشی توسط پژوهشگران اصلی) و مدل‌های تقاضایی[4] (فلوشیپ‌ها و جوایز به دانشجویان و دانشجویان پسادکتری و پژوهشگران) است. یک رهیافت منطقی سیستمی نیز در اقتصاد، جهت تسریع پیشرفت در نفوذ پژوهش‌های بنیادین در علوم نانو، بیو، اطلاعاتی و شناختی (NBIC) لازم است تا بتوان صنایع نوین و مشاغل جدید در مرزها و حدفاصل‌های آن‌ها خلق نمود.

- ایجاد سامانه‌های منطقی سلسله مراتبی برای تصمیم‌سازی در برنامه‌های سرمایه‌گذاری تحقیق و توسعه. برای مثال، برای جنبه‌های تنظیمی فناوری‌های نوپدید، عملکردهای حاکمیتی در چهار سطح حاکمیت به کار می‌روند که شامل:

الف) پذیرفتن مقررات و سازمان‌های موجود

ب) بنیان‌گذاری سازمان‌ها، مقررات و برنامه‌های جدید

ج) ساخت ظرفیت برای پرداختن به این موارد در سیاست‌های ملّی

[1] Bottom-up discovery-driven programs
[2] Grand challenge-driven programs
[3] Supply models
[4] Demand models

و نهادها

د) توسعه دادن به توافق‌های بین‌المللی و مشارکت‌ها

- *به کار بردن انفورماتیک و رهیافت‌های تصمیم‌سازی بر پایهٔ منابع چندگانه، شاخص‌های ارزیابی و سطوح سلسله مراتبی*
- *به کار بردن شیوه‌های غیررسمی برای پرداختن به وضعیت‌های جدید که مربوط به فناوری‌های نوپدید[1] بوده ولی به شکل کامل در سیستم‌های بوروکراتیک مورد توجه قرار نمی‌گیرند و برای دریافت نمودن درون‌داد درازمدت[2]*
- *به کار بردن اقدامات مقرراتی داوطلبانه در جایی که سیستم‌های تصویبی مقرراتی رسمی زمان‌بر و بیش از حد پیچیده‌ای، وجود دارند.*

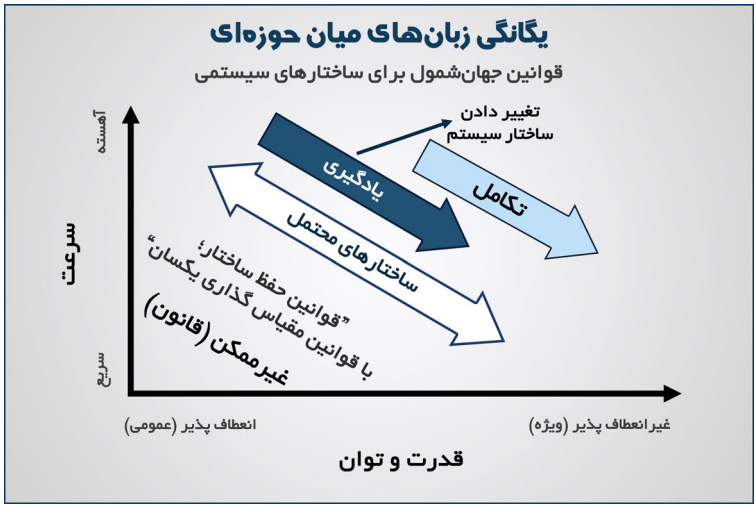
اصل چهارم: خلق و به کار گیری زبان‌های میان حوزه‌ای سطح بالا[3]

اصل خلق و به کار گیری زبان‌های میان‌حوزه‌ای سطح بالا ناظر بر این است هنگامی که فرهنگ لغات حوزه‌های گوناگون بسیار باریک و خاص می‌شوند، ایجاد درک توسط افراد در حوزه‌های دیگر مسدود می‌گردد و برعکس، هنگامی که فرهنگ لغات و ترکیبات مشترک را بتوان بین حوزه‌ها برقرار کرد، همگی از طریق باروری متقاطع ایده‌های حاصله، بهره‌مند می‌شوند. به وسیلهٔ "زبان همگرایی" ما درک مفاهیم مشترک،

[1] Emerging technologies
[2] Long-range input
[3] High-level Cross-Domain Languages

نام‌گذاری، ارتباطات شبکه‌ای و متدلوژی‌هایی استفاده شده در حوزه‌های چندگانهٔ علم، فناوری و جامعه را فراهم می‌سازیم. زبان‌ها در طیّ زمان تکامل می‌یابند. هر تخصص علمی و گسترهٔ فناوری، زبان ویژهٔ خود را دارد. یک فرایند کارآمد که بر فراز پلتفورم علم و فناوری گذر می‌کند به تلاش خاص جهت ایجاد یک زبان جامع برای برقراری ارتباط سهل و هم‌افزایی میان تخصص‌های آن، گستره‌های مربوطه و ذی‌نفع‌ها یا فرهنگ‌ها، نیاز خواهد داشت.

این به یکپارچه‌سازی بهتر اجزاء و سریع‌تر شدن مارپیچ‌های خلاقیت و نوآوری اجازه خواهد داد. برقراری زبان‌های همگرا شده چندحوزه‌ای (یا سطح بالاتر) بستگی به یافتن آن دارد که چه چیز مشترک و ضروری در تقاطع با حوزه‌ها و واژگان است و همچنین وابسته به معین کردن اصطلاحات و قواعد ترکیبی است که مناسب همه افراد درگیر می‌باشد. بهره‌مندی از زبان‌های سطح بالا در حمایت تفکر "ضروری" و انتقال بارور و کاربرد دانش جدید، مهم می‌باشد.



شکل ۱۰: توان و قدرت در برابر سرعت در ساختارهای سیستم پیچیده

شیوه‌های کلیدی تسهیل کردن همگرایی بر اساس خلق و به کارگیری زبان‌های میان حوزه‌ای، سطح بالا شامل موارد زیرین است:

الف) یافت دیگر حوزه‌هایی که صفات و اهداف مشترک دارند.

ب) به کار گیری زبان‌های همگرایی موجود

ج) ایجاد و به اشتراک‌گذاری بانک داده‌های چندحوزه‌ای بزرگ با هدف ایجاد یک بانک دادهٔ زبانی فراگیر و همگانی

د) ایجاد "زون‌های تجاری"[1]، میان گستره‌های پژوهش و آموزشِ با صفات مشترک در گستره‌های کاربردی متمایز از هم

[1] Trading zones

ه) انجام دادن ترازیابی چند حوزه‌ای[1]

یافت حوزه‌های گوناگون که صفات و اهداف مشترک دارند (صفاتی مانند متحد نمودن تئوری‌ها و مفاهیم فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی یا متحد نمودن اهداف برای فناوری‌های مختلف)، پس از انجام کار اولیهٔ پژوهشگران در یک حوزهٔ واحد، بسیار پرثمر است، بدین سان، این تجربه ممکن است برای خلق مفاهیم میان‌حوزه‌ای، یکپارچه‌سازهای تئوریک و فناوری[2] و شیوه‌های دگرگون‌ساز، استفاده شود. یک رهیافت برای برقراری پلتفورم همگرایی و زبان همگرایی مناسب، شناسایی یکپارچه‌سازهای دانش و فناوری‌ای است که سیماهای ضروری پلتفورم را توصیف می‌کنند. یک سطح بالاتر عمومیت پلتفورم همگرایی و زبان آن هنگامی فرا می‌رسد که یکپارچه‌سازهای مربوطه برای حوزه‌های بزرگتر و با تبادلات اطلاعاتی سریع‌تر، قابل کاربرد باشند.

سه فاز پیاپی همگرایی، با استفاده از یکپارچه‌سازها در زبان‌های با سطح بالاتر متوالی، بلوغ یافته‌اند؛ اول نانوفناوری در سال ۲۰۰۰؛ دوم ابزارهای بنیادین فناوری‌های همگرا (NBIC) در سال ۲۰۰۲؛ و سوم همگرایی دانش، فناوری و جامعه (CKTS) در سال ۲۰۱۲. هر فاز تدریجاً، گستردگی و رسیدن به زبان‌های علم و فناوری مشترک را توسعه داده است:

---

[1] Multidomain benchmarking

[2] Theoretical and technology integrators

- *فاز فناوری نانو (سال ۲۰۰۰)، به یکپارچه‌سازی دانش و رشته‌ها برای همهٔ بخش‌های جهان مادی، با شروع در مقیاس نو، منتهی گردید.*
- *فاز NBIC (سال ۲۰۰۲)، به یکپارچه‌سازی فناوری‌های بنیادین و نوپدید از عناصر (اتم‌ها، بیت‌ها، DNA و سیناپس‌ها) به درون سیستم‌های مقیاس بزرگتر با مدل‌های ساختاری رایانه‌ای به هم پیوند یافته[1]، منتهی شد.*
- *فاز CKTS (از سال ۲۰۱۲)، به یکپارچه‌سازی پلتفورم‌های ضروری همگرایی در فعالیت‌های انسانی شامل دانش، فناوری، رفتار انسانی و اجتماعی (رانش یافته با نیازها و ارزش‌های اجتماعی) منتهی می‌گردد.*

به کار بردن زبان‌های همگرایی موجود شامل زبان‌های همگانی هم چون انتزاع ریاضیاتی، موسیقی، معماری‌های سیستمی عمومی و یک رهیافت "بی‌آلایشی و سادگی"[2] برای پرداختن به منظرهای ضروری زبان مورد لزوم برای ارتباط سازنده است.

انتزاع ریاضیاتی، یک زبان همگرایی موجود است که به درک و استفاده از الگوها در گستره‌های متنوع مربوطه، همچنین شبیه‌سازی گستره‌های گوناگون در جامعهٔ دانشی و پیوند دادن آن‌ها از طریق فرمولاسیون یک مدل ریاضی، متکی است. یک زبان همگرایی که هم

[1] Interconnected computer architecture models
[2] Simplicity

اکنون در توسعه است، زبانی می‌باشد که درک، برهان و تجزیه و تحلیل تصمیم در رابطه با شیوه‌ها، الگوها و داده‌های غیرساختارمند را مورد حمایت قرار خواهد داد. چنین زبانی، اجازهٔ عمومیت یافتگی در میان گستره‌های ظاهراً غیروابسته، راه‌حل‌های جدید و مفاهیم ریاضیاتی نوین را خواهد داد.

موسیقی یک ابزار (زبانی) ارتباطی موجود است که می‌تواند به پل زدن بر جدایی‌های فرهنگی در مقیاس‌های انسانی و اجتماعی کمک کند. در سرتاسر تاریخ انسانی، احتمالاً قبل از زبان رانش یافته با واژه[1]، از موسیقی جهت خلق خاطر مشترک، آوردن مردم با یکدیگر در هنگام رویدادهای اجتماعی مهم (از نشست‌های قبیله‌ای تا مراسم نظامی و خاکسپاری‌ها) استفاده شده است؛ موسیقی یک ابزار همگانی ارتباطاتی است. آموزش موسیقی می‌تواند در توسعهٔ شخصیت انسانی مشارکت کند و می‌توان از آن در درمان وضعیت‌های دشوار زندگی استفاده کرد و همچنین می‌تواند وسیله‌ای برای ارتباط و درک دوجانبه میان فرهنگ‌های مختلف در فرایندهای حل مسئله باشد.

نیاز است توسعهٔ زبان‌های همگرایی سطح بالا بر پایهٔ ساختارهای سیستمی، مفاهیم مشترک، روابط، شیوه‌های به اشتراک گذاشته شده، بنیان گذاشته شود تا یکپارچه‌سازی اجزاء از سطوح زبانی متمایز جهت موضوعات خاص، امکان‌پذیر شود. این فرایند، یکپارچه‌سازی به درون و

[1] Word-driven language

در میان پلتفورم‌های ضروری را تسهیل خواهد کرد و این به نوبهٔ خود نوآوری (تلاقی جریان‌ها) و تولید بهبود یافته (شیوه‌های هیبرید کردن NBIC و سیستم‌های ذهن - سایبری - فیزیکی) را تسهیل خواهد داد و همهٔ فناوری‌های نوپدید را توسعه می‌دهد. برای مثال، تئوری اتحاد یافتهٔ نیروهای فیزیکی و شیمیایی یک زبان سطح بالا را به جای زبان بررسی نیروهای مکانیکی واحد فراهم می‌نماید و مفاهیم فناوری‌های همگرا درجهٔ بالاتری از عمومیت یافتگی در مقایسه با مفاهیم یک فناوری خاص (همچون زیست فناوری) دارا می‌باشد. استفاده از زبان‌های همگرا، درک سیستم‌های پیچیدهٔ اطراف را فزونی خواهد داد و امکان درک این که چگونه دانش در طیّ زمان زایش می‌یابد و از میان حوزه‌های چندگانه گذر می‌نماید را با استفاده از مدل‌های منطقی (الگوها) فراهم می‌آورد. انسان شناسان در حوزهٔ فرهنگی، برای ساخت چنین گذاری، کمک خواهند کرد.

رهیافت سادگی[1]، فقط منظرهای ضروری برای توصیف مسئله و تصمیم‌گیری در یک سیستم بغرنج با اهداف نسبتاً پیچیده در نظر می‌گیرد. هدف رسیدن به نتایج ضروری و مجانبی با تلاش نسبتاً ناچیز است تا این که همهٔ منظرها در نظر گرفته شوند.

خلق و به اشتراک‌گذاری بانک‌های دادهٔ بزرگ چندحوزه‌ای، گام‌هایی به سوی خلق بانک دادهٔ زبانی همگانی است. استفاده از پایگاه

[1] Simplicity approach

داده‌های به اشتراک گذاشته شده جهت پیوند دادن شبیه‌سازی‌های رایانه‌ای و شیوه‌های ارزیابی برای پلتفورم‌های همگرا گوناگون (مانند ابزارهای NBIC یا تحقیق و توسعهٔ در مقیاس زمینی[1]، مثالی از یک فرایند جهت برقراری زبان‌های همگرا است. خلق پایگاه‌های داده‌های بزرگ مشترک، راهی برای آوردن اطلاعات از یک حوزه به حوزهٔ دیگر به صورت تقریباً بی‌درنگ است و امکان پرده‌برداری از روندهای کیفی جدید فراهم می‌گردد. این شیوه می‌تواند برهم‌کنش‌ها و اصول گستردهٔ بهینه‌سازی را تسهیل نماید. یک پایگاه داده "همگانی و فراگیر" و یک سیستم خبره را می‌توان ایجاد کرد تا بتوان شیوه‌های همگرایی در موقعیت‌های داده شده را جهت سرعت بخشیدن به اکتشافات و نوآوری بی سابقه انتخاب نمود.

خلق "زون‌های تجاری[2]"، میان گستره‌های پژوهش و آموزش با صفات مشترک در گستره‌های متمایز کاربردی، یک کنایه برای کار با یکدیگر یا کارکردن با قواعد و زبان‌های مشابه در تخصص‌ها، فناوری‌ها، گروه‌ها یا سازمان‌های مختلف است. زون‌های تجاری ممکن است محدوده‌ای از گزینه‌ها را پوشش دهد که ممکن است از زون تجاری سلسله مراتبی به واسطهٔ حکم بالا به پایین تا یک زون تجاری ذهنی به اشتراک گذاشته شده بر پایهٔ درک دوجانبه از آنچه که باید انجام شود را

[1] Earth-scale R&D
[2] Trading Zones

شامل گردد.

انجام ترازیابی چندحوزه‌ای[1]، (سنجش مقایسه‌ای برای دو یا چند حوزه)، یک رهیافت جهت ارتباط دادن سیستم‌های پیچیدهٔ متمایز از هم با استفاده از شاخص‌های مقایسه‌ای سطح بالاتر معتبر در میان‌رشته‌های تخصصی، فناوری‌ها و دامنه‌های کاربردی است. ترازیابی[2]، یک شکل از زبان سطح بالاتر مربوط به گستره‌های هر دوی دانش و فناوری است. از آن می‌توان در فازهای خلاقیت و واگرایی چرخهٔ همگرایی - واگرایی استفاده کرد. ترازیابی ممکن است به شناسایی این که کجا تلاش‌ها باید تمرکز یابند، کجا علایق و کوشش‌ها برای وسعت دادن به اهداف هدایت شوند و چه گستره‌های کلیدی برای خلاقیت و نوآوری و بهتر ارتباط برقرار کردن در میان گستره‌ها مورد توجه قرار گیرند، کمک نماید. یک چنین شاخص مقایسه‌ای برای ترازیابی، یافت همبستگی عمومی میان توان و سرعت به عنوان تابعی از ساختارهای محتمل سیستم پیچیده در گستره‌های گوناگون مربوطه است. یک چهارچوب ریاضی برای سیستم‌های پیچیده توسط دویل وست[3] معرفی شده است.

مثال دیگر برای به کار بردن ترازیابی جهت حوزهٔ خاصی از کاربرد (مثلاً عملکرد دستگاه برای نیمه‌هادی‌ها) به کار بردن همبستگی میان انرژی پراکنده شده و تأخیر پاسخ دستگاه است. پذیرفتن استانداردهای

[1] Multidomain benchmarking
[2] Benchmarking
[3] Doyle & Csete

علم در نهادهای آموزشی از طریق ترازیابی به شناسایی منظرهای ضروری مربوط به آموزش و یادگیری در محیط و سطوح آموزش گوناگون نیاز دارد. مثال واضح دیگر، به کار بردن همبستگی میان کیفیت ثبت اختراع[۱] (میانگین استناد به هر ثبت اختراع) و هزینهٔ پروژهٔ تحقیق و توسعه (متوسط سرمایه‌گذاری)، به عنوان شاخصی برای نرخ اختراع است.

در حاکمیت تحقیق و توسعه (R&D) مربوط به توسعه و استفاده از زبان‌های متحد شده، یک توازن می‌بایست میان حمایت از رشته تخصصی خاص و رهیافت آموزشی پژوهشی چند حوزه‌ای جستجو نمود (معروف به رهیافت "T"). در محیط تحقیق و توسعه آکادمیک، نیاز است بر مفاهیم بنیادین هسته‌ای[۲] با استفاده از زبان‌های تخصصی و عمومی و کاهش تکه تکه شدن[۳] در درون دانشکده‌ها و بخش‌ها به واسطهٔ وسعت یافتن حوزه‌های پوششی هر واحد، تمرکز یافت. چندین فرصت شامل موارد زیرین هستند:

- *تمرکز آموزش بر منظرهای بنیادین هسته‌ای و به کار بردن رهیافت‌های متحد شده*
- *به کار بردن ترازیابی چندحوزه‌ای در انتخاب راه‌حل‌های تحقیق و توسعهٔ آینده. یک مثال، گزینش به واسطهٔ ترازیابی عمومیت یافتهٔ*[۴]

[1] Patent quality
[2] Core Foundational concepts
[3] Fragmentation
[4] Generalized benchmarking

دستگاه‌های نوین برای دستگاه‌های الکترونیک جهت جایگزینی فناوری CMOS سیلیکون تحت پروژهٔ پیشاهنگ پژوهشی نانوالکترونیک ایالات متحدهٔ آمریکا است.

- *پذیرفتن ساختارهای سیستمی درست جهت برنامه‌های تحقیق و توسعه مربوط به نیازمندی‌های اجتماعی جهت توان (نیرومندی) و سرعت*[1]
- *پذیرفتن اصول سطح بالا در حاکمیت: مسئولیت پذیری، نوآوری برای پیامدهای دگرگون‌ساز، دربرداری*[2] *و چشم‌انداز*

اصل پنجم: به کار بردن پژوهش‌های بنیادی الهام یافته از چشم‌انداز برای پرداختن به چالش‌های درازمدت

اصل پژوهش الهام یافته از چشم‌انداز[3] منتهی به حوزه‌های نوین و چالش‌های سترگ، ناظر بر این است که نتایج منحصر به فرد و گستره‌های کاربردی جدید را می‌توان از درک پژوهشی که الهام را با آینده‌نگری ترکیب می‌نماید، به دست آورد که این کار به واسطهٔ تلاش جهت مشاهده در درون آینده جهت تعیین این که چه انواعی از پژوهش به بهترین حالت ممکن به نیازهای نوپدید می‌پردازند، انجام می‌شود. یکی از نافذترین چهارچوب‌های مفهومی جهت تفکر پیرامون اهداف پژوهشی توسط دونالد

[1] Robustness & Speed
[2] Inclusion
[3] Vision-inspired basic research

استوک[1] در سال ۱۹۹۷ پیشنهاد شده است. او تمرکز پژوهش بر آنچه که او آن را "چارک پاستور"[2] نامید را جهت هدایت پژوهش‌های بنیادی برای یک کاربرد ناشناخته پیشنهاد نمود. این به این صورت تعریف می‌شود که پژوهش‌ها به گونه‌ای برانگیخته می‌گردند تا پرسش‌های زیر به شکل مثبت پاسخ داده شوند:

آیا ملاحظات فایدهٔ عملی نتایج، قاطع و حیاتی هستند؟

آیا پژوهش یک جستجو برای درک بنیادین است؟

مفهوم "پژوهش بنیادی الهام یافته از چشم‌انداز" که توسط روکو[3] و دیگران در سال ۲۰۱۳ پیشنهاد شد ممکن است هر دوی این شاخص‌ها را در نظر گیرد ولی همچنین نیاز دارد که دو پرسش دیگری نیز به شکل مثبت پاسخ دهند:

"آیا پژوهش به کاربردهای نوپدید در فراتر از کاربردهای ناشناخته شده، منتهی می‌شود؟"

"آیا کار پژوهشی از این دید که ایده‌های کاملاً جدید تحت کاوش و اختراع قرار می‌گیرند، آنقدر تحول برانگیز و دگرگون‌ساز است؟"

[1] Donald stoke
[2] Pasteur's quadrant
[3] Roco

شکل ۱۱: دیاگرام تغییر یافتهٔ استوکس (Stokes)

تصور یک چشم‌انداز برای علم، فناوری و چالش‌های سترگ جامعه به فراتر رفتن از مفاهیم شناخته شده و گستره‌های کاربردی همراه با یک متدلوژی ویژه، نیاز دارد. شیوه‌های همگرایی ویژه‌ای ممکن است جهت برقرار کردن پیوندها میان چشم‌اندازهای علم و فناوری در طولانی‌مدت و فعالیت‌های پژوهشی بنیادی، به کار برده شوند. همانگونه که در شکل ۱۱ نشان داده شده است، حوزهٔ "پژوهش‌های بنیادی الهام یافته از چشم‌انداز" چهار حوزهٔ دیاگرام استوکس[1] را گسترش خواهد داد تا تخصیصی نوین به پژوهش‌های بنیادی جهت کاربردهای نوپدید الهام یافته توسط یک چشم‌انداز از نیازهای آینده را شامل شود.

[1] Stokes diagram

شیوه‌های کلیدی جهت تسهیل همگرایی بر پایهٔ استفاده از پژوهش‌های بنیادی رانش یافته از چشم‌انداز جهت پرداختن به چالش‌های درازمدت اجتماعی شامل موارد زیرین هستند:

الف) آینده‌نگری و سناریونویسی

ب) ارتقاء یک فرهنگ همگرایی بر پایهٔ اهداف مشترک

ج) اقدامات پیش‌نگرانه برای آماده‌سازی مردم، ابزارها، سازمان‌ها و زیرساخت

د) نقشه‌برداری و برنامه ریزی معکوس

با استفاده از آینده‌نگری، سناریونویسی، نشانگان اولیهٔ تغییر و دیگر رهیافت‌ها، این امکان وجود دارد که چشم‌انداز قابل باوری را برای آنچه در طولانی‌مدت برای یک حوزهٔ علم و دانش مورد تمایل است، بنیان گذاشت. سپس، یک رهیافت پیشنهادی این است که کار را از چشم‌انداز ترسیم شده به سوی عقب آغاز کرد تا بتوان رهیافت‌ها و گام‌های پژوهشی میانه را مورد کاوش قرار داد. از این رهیافت، در نوشتن و تحقیق در دو گزارش مربوط به پژوهش‌های فناوری نانو اولیه، استفاده شد.

آینده‌نگری به صورت خیلی نزدیکی به الزام پژوهش بنیادی الهام یافته از چشم‌انداز که در بالا به آن اشاره شد، گره خورده است. یک فرایند کلاسیک همگرایی - واگرایی علم و فناوری، چهار فاز دارد که در پیش از این به آن‌ها اشاره شد (برهم‌گذاری خلاقانه، یکپارچه‌سازی سیستم برای کاربردهای شناخته شده، نوآوری و پیامدهایی که به کاربردهای جدید

نوپدید منتهی می‌شوند)؛ رهیافت پژوهشی مجبور به پذیرفتن فازهای مربوطهٔ فرایند است. شیوه‌های همگرایی متنوع، پیوندهای میان چشم‌انداز علم و فناوری درازمدت و فعالیت‌های پژوهشی پایه در هر فاز را می‌توانند فراهم نمایند. چهارگوش پژوهش بنیادی الهام یافته از چشم‌انداز که به تازگی افزوده شده است به گستره‌های جدید و نوپدید پژوهش و کاربردها می‌پردازد. برای دستیابی به سودمندی‌های پژوهشی در عرصه‌های نوین، به صورت کارآمد و مسئولیت پذیرانه، نیاز است همواره از فرایندهای همگرایی جهت شناسایی چشم‌انداز و عرصه‌های پژوهش‌های بنیادین راهبردی استفاده شوند؛ همچنین اولویت‌ها به صورت دوره‌ای، همزمان که وابستگی‌های متقابل تغییر می‌کنند، اهداف کهنه حاصل می‌شوند و اهداف جدیدی در تیررس قرار می‌گیرند، تغییر داده شوند. به کار بردن شیوه‌های آینده‌نگری، سناریونویسی و تحقیقاتی می‌توانند موارد احتمالی‌ای که ممکن است در آغاز برنامه‌ریزی اجتماعی نامرئی بوده باشند را آشکار نمایند.

ارتقاء یک فرهنگ همگرایی بر پایهٔ اهداف مشترک و حاکمیت پیش‌نگرانه[1]، یک رهیافت پیگیرانه پس از برقراری اهداف برخاسته از چشم‌انداز است. ارزیابی‌های فناوری به صورت سازگارمند، پیش‌نگرانه و مشارکتی و تصمیم‌گیری، مواردی هستند که به آماده کردن مردم، ابزارها، سازمان‌ها و زیرساخت جهت تعمیر و نوآوری هدایت یافته با

[1] Anticipatory governance

مسئولیت‌پذیری[1] کمک می‌کنند. ایدهٔ ارزیابی پیش‌نگرانهٔ فناوری برای CKTS، به خوبی در درون یک جنبش ملّی و فراگیر بزرگتر با هدف دستیابی به پایداری در توسعه و استفادهٔ شیمیایی، ماده‌ای و محصولی جا می‌گیرد. برای مثال، این که جامعه نسبت به فناوری نانو چه پاسخ‌هایی را می‌دهد نیاز است که کار مقایسه‌ای دقیقی نیز با دیگر فناوری‌های همگرا یا ادغام یافتهٔ معاصر مانند نورولوژی و بیولوژی سینتتیک و همچنین فناوری‌های گذشته انجام شود و مناقشات پرخطری که پیرامون زیست فناوری و قدرت هسته‌ای موجود هستند را به میان کشید. ارزیابی پیش‌نگرانهٔ فناوری به یک رهیافت بازتابی نسبت به توسعهٔ فرایندهای همگرایی علم و فناوری نیاز خواهد داشت. این به معنای آن است که لازم خواهد بود که به خود فناوری به شکلی نقادانه، در قامت اثرات و همچنین سودمندی‌های آن، نگریسته شود.

موضوع بعدی، نقشه‌برداری معکوس و برنامه‌ریزی می‌باشد. در یک محیط تحقیق و توسعه، پژوهش بنیادی الهام گرفته از چشم‌انداز می‌تواند بین برنامه‌های بزرگ و رضایتبخشِ با اثر مثبت روی آموزش، فناوری و اقتصاد، تفاوت ایجاد کند. توسعهٔ یک نقشه راه فناوری ده ساله، رضایتبخش است زیرا ده سال و یا در همین حدود زمان طول می‌کشد تا بتوان از اکتشافات علمی بنیادی به سوی کاربردهای صنعتی گام برداشت و بدین سان می‌توان نشانه‌های تغییر را در پیش‌تر، تخمین زد. هنگامی که اهداف

[1] Responsibly guided innovation

درازمدت (مثلاً ده ساله) تنظیم می‌شوند، می‌توان آنچه که مورد نیاز است را تخمین زد و با حرکت به عقب از سوی چشم‌انداز، پی به اهداف برد.

مفهوم پژوهش بنیادی الهام یافته از چشم‌انداز، معانی مهمی به شرح زیر دارد:

- *برنامه‌ریزی تحقیق و توسعهٔ درازمدت برای چالش‌های سترگ و مدیریت برنامه‌های مربوطه. برای مثال، برنامهٔ پیشاهنگ ملّی نانوفناوری[1] (NNI) با چشم‌انداز ۲۰ تا ۳۰ ساله هدایت شده است (پیگیری کنترل نظام‌مند در مقیاس نانو، به انقلاب فناوری با هدف سودمند نمودن جامعه، منتهی خواهد شد) و از نقشه‌برداری معکوس و برنامه‌ریزی برای تنظیم نمودن اهداف پژوهش بنیادی الهام یافته از چشم‌انداز، در آغاز این برنامهٔ پیشاهنگ، استفاده گردید.*
- *حمایت از نقشه‌برداری علم و فناوری و آینده‌نگری شیوه‌ها و سازمان‌ها*
- *حمایت از حاکمیت خطر[2] در علم و فناوری که نمی‌توان آن را بدون سناریونویسی پیرامون رویدادهای آینده و احتمال رخداد آن‌ها، انجام داد. اهمیت پژوهش الهام گرفته از چشم‌انداز فقط با تسریع توسعهٔ علم و فناوری در مسیری نیمه‌نمایی[3] و با برهمبستگی‌های متقابل بس پیچیده‌تر، می‌تواند افزایش بیابد.*

[1] National Nanotechnology Initiative
[2] Risk governance
[3] Quasi-exponential path

ملاحظات پایانی

فرایند همگرایی علم و فناوری یک فرایند حاکمیتی همکارانه است که از حکم راندن بالا به پایین یا توسعه دادن پژوهش‌های میان‌رشته‌ای یا شبکه‌سازی، متفاوت می‌باشد. همگرایی کارآمد و مؤثر شامل یک فرهنگ مناسب برهم‌کنش با راه‌حل‌های تحول برانگیز و ارزیابی طولی در یک فرایند رانش یافته با هدف در جوامع بس بزرگ‌تر، میان‌رشته‌ای و تعاملی در سطح دانشگاه، صنعت و دولت است. فرایند همگرایی علم و فناوری وسیله‌ای برای دستیابی به خلاقیت، نوآوری و بهره وری سترگ‌تر در جامعه می‌باشد که در نهایت مردم را توانمند می‌سازد که مسائل محلی و فراگیر و جهانی‌ای که به نظر می‌آیند با راه‌حل‌ها سر ستیز دارند را حل نمایند.

معانی متدلوژی‌های همگرایی برای علم و فناوری ممکن است گسترده باشد (مانند ایجاد یک بوم‌زیست آموزش و پژوهش مناسب با اهداف برخاسته از چشم‌انداز و یک فرهنگ نوین، یا اختصاصی‌تر مانند انواع ویژه‌برنامه‌های آموزش همگرایی یا شامل کردن شاخص‌های همگرایی در پروژه‌های ارزیابی تحقیق و توسعه). نوآوری یک پیوند سودمند از سوی اکتشافات علمی و اختراعات فناورانه به سوی تجاری‌سازی و پذیرش اجتماعی است. یک سیستم که فقط بر روی نوآوری تمرکز یافته است، فقط در طی چند سال ناپایدار خواهد بود.

چندین فرصت بی درنگ برای ایده‌های همگرایی در تولید توزیعی[1]، پایداری یکپارچه شده، برنامه‌ریزی علم و فناوری، سیاست‌های سرمایه‌گذاری، آموزش و تجزیه و تحلیل تصمیم، وجود دارند. این نوشتار، پوشه‌ای از شیوه‌ها را ترسیم می‌کند تا بتوان همگرایی علم و فناوری که در حاکمیت علم و فناوری به کار برده می‌شوند را اجرا و تسریع کرد.

یک زیرساخت مورد نیاز است تا بتوان به صورت کارآمد و مؤثر به یکپارچه‌سازی و هم‌افزایی در همگرایی علم و فناوری در ورای حوزه‌های موجود و نوپدید علم و فناوری، دست یافت:

- *ایجاد شبکه‌ها و ابزارهای تخصصی برای ارتباطات که در آنجا می‌توان مشارکت افراد شرکت کننده و جوامع را یکپارچه نمود تا بوم‌زیست‌های کارآمد و مؤثری شکل گیرند. سیستم‌های اطلاعاتی افقی در دانشگاه، صنعت و سازمان‌های دولتی، تمرکز فزاینده‌ای بر تولید دانش یکپارچه خواهند داشت تا این که فقط به صورت ساده، عمل رساندن اطلاعات را انجام دهند. ساخت فرهنگ و فضاهای همکاری رانش یافته با همگرایی می‌بایست از مرزبندی‌های جغرافیایی، تنگناهای سازمانی و محدودیت‌های تک حوزه‌ای، آزاد و رها باشند.*
- *توسعهٔ شیوه و ابزارها برای توسعهٔ همگرایی در برنامه‌ریزی، تجزیه و تحلیل تصمیم، آینده‌نگری، سیاست سرمایه‌گذاری و دیگر گستره‌ها،*

[1] Distributed manufacturing

جهت بنیان نهادن یک علم همگرایی. توسعهٔ سیستم‌های اطلاعاتی می‌بایست شامل پیداکردن خبرگان و شرکاء از حوزه‌های گوناگون در سراسر جهان باشد و فضاهای ارتباطی را با پذیرش عملکردهای برنامه‌های کاربردی تخصصی و اجتماعی موجود فراهم نمود.

- *مهیا نمودن اشتراک‌گذاری منابع و تبادل دانش با طراحی خدمات پروفایلی دانش همراه با منابع به خوبی تعریف شده همچون داده‌ها، نرم‌افزار، کد منبع، فضاهای ارتباطی، مستندسازی با فرمت‌های استاندارد شده، انتشارات، آزمایشگاه‌ها و غیره. این شامل فراهم آوردن ابزارها یا خدمات برای تجزیه و تحلیل و دیدارسازی روندها، شبکه‌ها، پیشرفت پروژه و بحث در مورد موضوعات است. فضاهای مهم ارتباطات که جهت ارتقاء همگرایی نیاز به بهبودی دارند شامل انتشارات و سیستم‌های ثبت اختراع و همچنین شیوهٔ عملکرد جوامع تخصصی و مدل‌های مورد استفاده در مشارکت‌ها می‌باشند.*
- *پرداختن به نوآوری‌های مسئولیت پذیر شامل ارزیابی سودمندی‌ها و زیان‌های همگرایی علم و فناوری را می‌بایست به واسطهٔ لحاظ نمودن علوم اجتماعی و دانشمندان اجتماعی، از آغاز همهٔ پروژه‌های رانش یافته با همگرایی، انجام داد؛ در غیر این صورت، خطرات عمدهٔ اختصاصی اجتناب ناپذیر هستند. این خطرات با ابزارهای قدرتمندتر و تحول برانگیزتر که ممکن است کاربرد دوگانه داشته باشند همراه بوده یا این که به توسعهٔ غیریکنواخت در مناطق گوناگون جهان و*

تغییرات در قدرت نسبی اقتصادی آن‌ها منتهی می‌شوند، یا این که ممکن است پیامدها و نتایجی بر خلاف میل به دلیل برداشت ضعیف راه‌حل‌ها از یک پلتفورم اقتصادی - اجتماعی به پلتفورم دیگر داشته باشند و یا این که تنش را میان پژوهش‌های پایین به بالا و چشم‌انداز بالا به پایین در سازمان‌های فراهم کنندهٔ تحقیق و توسعه و تأمین کنندهٔ بودجه نمایان سازند.

- *به کار بردن اصول و شیوه‌های فوق الذکر جهت تسهیل همگرایی، این پتانسیل را دارد که بوم‌زیست‌های کارآمدتر علم و فناوری را با الهام گرفتن از اهداف در پاسخ به جهان تقاضامندتر، تندتر و تعاملی‌تر تغییر داده و یا خلق نمود.*

این فصل ترجمه‌ای منتخب از منابع زیر بود:

- Bainbridge WS, Roco MC. Science and technology convergence: with emphasis for nanotechnology-inspired convergence. J Nanopart Res 2016;18: 211.
- Roco MC, Bainbridge WS. The new world of discovery, invention, and innovation: convergence of knowledge, technology, and society. J Nanopart Res 2013; 15: 1946.
- Bainbridge WS, Roco MC. The era of convergence. In: Bainbridge WS, Roco MC (eds) Handbook of science and technology convergence. Springer, Berlin, 2016, pp 1-14.
- Roco MC. Knowledge technology in a convergence spiral. University of Miami, Feb 20, 2018. (http://coe.miami.edu/eblast/dss/DrMihailC-Roco/ConvergenceSpiral_Roco.pdf)

فصل چهارم

دانشگاه نسل سوم

و همگرایی علم، فناوری و جامعه

نویسنده:

دکتر ایرج نبی پور

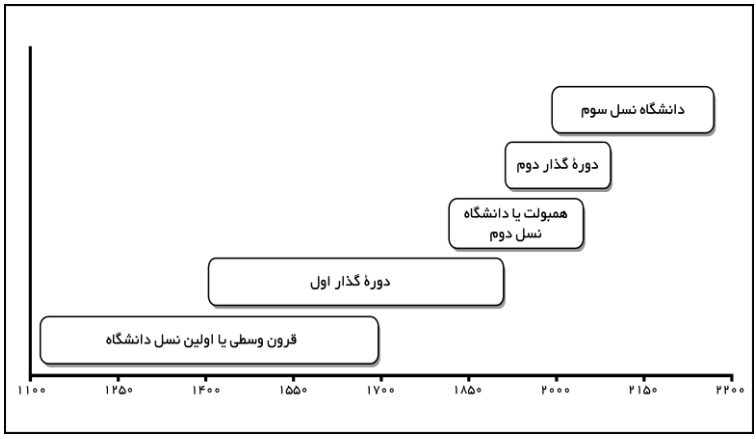
نخستین دانشگاه‌های اروپایی که در طیّ سده‌های یازدهم و سیزدهم (مانند بلونیا، پاریس و آکسفورد) پدیدار شدند، نهادهایی صرفاً آموزشی بودند که دانشجویان را از سراسر قارّه فرا می‌خواندند تا به خطابه‌های مدرّسین مشهور گوش فرا دهند؛ امّا این در هنگامهٔ سدهٔ نوزدهم بود که دانشگاه‌های آلمانی، دانشکده‌های خود را مأمور در تولید و انتشار دانش نیز نمودند و دانشگاه‌های تیپ همبولتی در آلمان پدید آمدند. مدل همبولتی دانشگاه‌ها نیز پس از جنگ‌های داخلی آمریکا، در این قاره نیز آغاز به شکوفایی نمودند. در هنگامهٔ سدهٔ بیستم، رشد این نوع دانشگاه‌ها به صورت دانشگاه‌هایی که مأموریت پژوهش را در کنار آموزش به عهده داشتند و با خود نام دانشگاه‌های تحقیقاتی را یدک می‌کشیدند، رو به فزونی گذاشت. شماری از این دانشگاه‌های آمریکایی، سرآمد دانشگاه‌های جهان شدند[۱].

در دهه‌های پایانی سدهٔ بیستم، به ویژه در دههٔ ۱۹۸۰، نقش دانش و فناوری به عنوان متغیر درونی در توصیف شرایط اقتصادی تولید، توسط اقتصاددانان در نظر گرفته شد و این چرخشی بود که در مدل نئوکلاسیک سولو[1] انجام یافت، مدلی که تابع تولید آن بر پایهٔ نیروی کار و سرمایه

[1] Solow

استوار بود و به دانش به عنوان متغیر مستقل در بیرون از سامانهٔ اقتصادی نگریسته می‌شد. امّا در مدل رشد اقتصادی درون‌زاد، عامل جدیدی یعنی دانش (و فناوری) ارائه گردید. بر پایهٔ این سناریو، به نقش دانشگاه به عنوان فراهم آورندهٔ دانش (و فناوری) با محتوای نوآوری، به عنوان منبع مهم رشد اقتصادی، نگریسته شد[۲].

با رشد فناوری ICT، مفاهیمی همچون جامعهٔ اطلاعاتی، جامعهٔ دانش‌بنیان یا جامعهٔ یادگیرنده، به مقولات اقتصادی، ورود نمودند و دارایی با ارزش این جوامع، سرمایه‌گذاری بر سرمایهٔ انسانی، گسترش فناوری ICT و شکوفایی نوآوری قلمداد گردید. مجموعهٔ این سه عامل (سرمایهٔ انسانی، فناوری ICT و نوآوری)، شالودهٔ اقتصاد دانش‌بنیان (اقتصاد دانایی‌محور) را شکل می‌دهند[۳]. بر این پایه، جامعهٔ دانش‌بنیان، رشد خلاقیت و نوآوری، جهت آغاز تغییرات نوین در جامعه را هدف‌گذاری نموده است. در چنین جامعه‌ای است که نقش کارآفرین تجلی می‌یابد. بر اساس تعریف شامپیتر، کارآفرین، کسی است که اقتصاد را با فناوری‌های نوین غنی نموده و دانش را مردمی می‌سازد[۴]. در چنین جامعه‌ای، مفاهیم نوآوری و فعالیت‌های کارآفرینی، بذر توسعهٔ اقتصادی محسوب می‌شوند و دانشگاه‌ها در قلب سامانه‌های ملّی نوآوری جای می‌گیرند و مفاهیم دانشگاه‌های کارآفرین و دانشگاه‌های نسل سوم می‌درخشند.



شکل ۱۲: تاریخ دانشگاه‌ها

مفهوم «دانشگاه کارآفرین» توسط اتزکویتز و کلارک (۱۹۸۳) بنیان گذاشته شد[۵]. بر پایهٔ اندیشهٔ اتزکویتز، انقلاب دوم در عرصهٔ آکادمیک، ایجاد دانشگاه کارآفرین است که مقولهٔ «بازار» را به قلب دانشگاه پیوند می‌دهد. در حقیقت، دانشگاه‌های کارآفرین، ترسیم‌گر دانشگاه‌های آینده هستند. در انقلاب دوم، دانشگاه‌ها به عنوان موتور توسعهٔ اقتصادی - اجتماعی جامعه قلمداد می‌شوند و از این رو، مأموریت سوم دانشگاه‌ها در انقلاب دوم آکادمیک، درگیر شدن آن‌ها در توسعهٔ اقتصادی - اجتماعی جامعه است. دانشگاه‌های همبولتی (دانشگاه نسل دوم) که حاصل انقلاب اول بودند و مأموریت پژوهش و انجام تحقیقات و تولید علم و فناوری را هدف قرار داده بودند، در این انقلاب (انقلاب دوم)، می‌بایست بهره‌برداری از دانش را همگام با آموزش و پژوهش، به عنوان

هدف و مأموریت سوم خود برگزینند و بدین سان، دانشگاه‌های کارآفرین را بنیان نهند[۶و۷].

وایسما (۲۰۰۹)، از سوی دیگر، به این تغییرات انقلابی در عرصهٔ آکادمیک با مفهوم دانشگاه نسل سوم می‌نگرد. او که خود بنیان‌گذار مفهوم «دانشگاه نسل سوم» است چنین بیان می‌دارد که دانشگاه‌ها به شیوه‌ای بنیادی به گونه‌ای تغییر می‌یابند تا بتوانند رشد فزایندهٔ مورد تقاضای اقتصاد دانش بنیان جامعه را پاسخگو باشند[۱]. با در نظر گرفتن هر دو دیدگاه یعنی «دانشگاه کارآفرین» اتزکویتز و «دانشگاه نسل سوم» وایسما، چنین می‌نماید که مأموریت سوم دانشگاه‌ها، به توسعهٔ اقتصادی و اجتماعی جامعه در پیوند بوده و مفاهیم نوآوری و کارآفرینی، نقش جدایی‌ناپذیر را در این مسیر توسعه‌ای، ایفا می‌کنند[۲].

بی‌شک، گزینش این مأموریت سوم برای دانشگاه‌های نسل سوم می‌تواند بر چالش‌های برخاسته از جهان مملو از عدم‌قطعیت و پیچیدگی که تغییرات کارآفرینانه را فرا می‌خوانند، پاسخگو باشد. برای دستیابی به چنین توانمندی، دانشگاه‌ها باید فضای آموزشی - پژوهشی خود را به گونه‌ای تغییر دهند که با رویکردهای میان‌رشته‌ای و فرارشته‌ای، مشارکت‌جویی، سونگری به حل مسئله، تفکر سیستمی، آینده پژوهشی و تفکر نقادانه، بتوانند پذیرای توسعهٔ پایدار در شرایط سیال عدم‌قطعیت و پیچیدگی باشند. با چنین تغییر رفتاری، دانشگاه‌ها می‌توانند خلق فضاهای آموزش عالی برای توسعهٔ پایدار را نوید دهند[۸]. در این مدل،

دانشگاه کارآفرین همچون فرد کارآفرینی می‌نماید که با شتاب در تولید، انتشار و به کارگیری دانش و ایده‌های نوآورانه در تغییر و رشد اقتصاد بازار تلاش می‌نماید. از این رو، دانشگاه نسل سوم در فراتر از انتقال فناوری (از طریق ثبت پتنت، شرکت‌های زایشی و نوپا) عمل نموده و در رهبری و خلق تفکر کارآفرینانه، نهادسازی و آفرینش سرمایهٔ کارآفرینی و خلق جامعهٔ کارآفرینانه، مشارکت می‌نماید[۲و۹].

در کشور عزیزمان ایران نیز سه رویداد موجب گردیده است که به چشم‌انداز خلق دانشگاه‌های آینده بر پایهٔ مفاهیم مأموریت سوم نگریسته شود. این رویدادها شامل چرخش برنامهٔ چهارم توسعهٔ اقتصادی کشور به سوی اقتصاد دانایی محور، تدوین نقشهٔ علمی و نیز رویکرد توسعه‌ای به اقتصاد دانایی محور بر اساس برنامهٔ اقتصاد مقاومتی (اقتصاد دانش‌بنیان) است. از این رو، در وزارت علوم و تحقیقات، به مأموریت سوم دانشگاه‌ها در قالب مفهوم «دانشگاه کارآفرین» و در وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی نیز به مفهوم «دانشگاه نسل سوم» به شکل ویژه نگریسته شده است.

در برنامهٔ تحولی معاونت آموزشی وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی، «حرکت به سوی دانشگاه‌های نسل سوم» به صورت یک «بستهٔ ویژه» در نظر گرفته شده است و از دانشگاه‌ها درخواست گردیده که برنامهٔ بنیادین آموزشی و توسعه‌ای خود را با لحاظ نمودن مأموریت سوم، در قلب بستهٔ «حرکت به سوی دانشگاه‌های نسل سوم» تدوین نمایند. این

نوشتار، راهبردهای نیل به این رویکرد را از لابه‌لای ادبیات موجود در سطح جهان و ایران، جستجو می‌نماید.

دانشگاه نسل دوم	دانشگاه نسل سوم
۱) دو هدف: پژوهش و آموزش، بدون علاقه به کاربرد دانش خلق شده	۱) بهره‌برداری از دانش، کسب و کار مرکزی است و تبدیل به هدف سوم شده است.
۲) عمل در بازار محلی؛ به دانشگاه‌های دیگر، به عنوان همکاران دانشگاهی نگریسته می‌شود.	۲) عمل در یک بازار رقابتی جهانی
۳) نهادهای تنها، بدون پیوند رسمی با دیگر سازمان‌ها	۳) دانشگاه‌های باز، همکاری با بسیاری از شرکاء
٤) پژوهش تک رشته‌ای و چیرگی دانشکده‌ها	٤) پژوهش فرارشته‌ای و خیزش پژوهشکده‌های دانشگاهی
۵) آموزش نخبگانی دانشجویان خوب	۵) سازمان‌های چند فرهنگی؛ آموزش توده‌ای و نخبه‌ای
۶) دانشگاه ملّی	۶) دانشگاه جهان وطنی
۷) نقش مهم سرمایه گذاری دولتی و دخالت دولت	۷) فقدان سرمایه گذاری دولتی؛ فقدان دخالت دولت و حکومت

شکل ۱۳: ویژگی‌های دانشگاه‌های نسل دوم و نسل سوم

در طیّ سه دهۀ گذشته، در سوی دیگر، یعنی جامعه نیز تغییراتی صورت گرفته است و تعاریف و معانی جدیدی پدید آمده‌اند مانند پارادایم همگرایی که به تدریج در این پارادایم، سیر تحول تکاملی مفهوم همگرایی را مشاهده می‌کنیم که این گذار پارادایمی را می‌توان در چهار قالب دنبال کرد:

۱) هنگامۀ ابتدایی همگرایی

از آنجا که بسیاری از موضوعات پژوهشی از مرزهای تخصصی تک‌رشته‌ای فراتر می‌روند، رهیافت میان‌رشته‌ای جهت توصیف هنگامۀ اولیۀ همگرایی علم و فناوری، به ویژه در نیمۀ دوم قرن بیستم، اثبات کرد

که در توصیف، تئوری، مشاهده و طراحی بسیار سودمند است. تلاقی تصادفی رشته‌های تخصصی، به شیوه‌های تحقیقاتی بهتر در پژوهش و آموزش، حوزه‌های نوین علم و فناوری و پدیداری گستره‌های میان‌رشته‌ای نوین مربوط به مسائل اجتماعی منتهی گردید.

۲) هنگامهٔ همگرایی فناوری نانو

در اواخر دههٔ ۱۹۹۰ به سوی ۲۰۰۰، گسترهٔ نانوفناوری، یکپارچه‌سازی رشته‌های تخصصی و بخش‌های فناوری جهان مادی بر پا شده بر پایهٔ دانش نوین مقیاس نانویی و الهام گرفته از هدف کنترل مواد در آن مقیاس را فراهم آورد. در هنگامی که دانش مقیاس نانویی به جهان مواد به کار برده شد تلاش‌های هماهنگ جهت تحقیق و توسعهٔ فناوری نانو، کانون توجه را به همگرایی بسیاری از رشته‌های تخصصی علمی و مهندسی که به صورت رسمی متمایز از یکدیگر بودند، کشاند.

۳) همگرایی فناوری‌های نانویی، زیستی، اطلاعاتی و شناختی (NBIC)

در اوایل دههٔ ۲۰۰۰، همگرایی NBIC، با آغاز از عناصر اصلی کلیدی (اتم‌ها، DNA، بیت‌ها و سیناپس‌ها) با استفاده از رهیافت سیستمی[1] منجر به خلق ابزارهای بنیادین نوین، حوزه‌های علم و فناوری در حال پدید متنوع با تحولات بنیادی و سیستم‌های چند عملکردی[2] گردید.

[1] System approach
[2] Multifunctional systems

۴) همگرایی، علم، فناوری و جامعه[1] (CKTS)

به این همگرایی فراتر از NBIC[2] نیز گفته می‌شود. به شکل نظام‌مند در حدود سال ۲۰۱۰ این چهارمین هنگامهٔ تحول همگرایی از یکپارچه‌سازی فعالیت‌های ضروری انسانی در علم، فناوری، رفتار انسانی و جامعه که نقش برجستهٔ آن تمرکز هدفمند بر روی حمایت از ارزش‌ها و نیازها می‌باشد، تشکیل یافت[۱۰].

در این هنگامه، همگرایی به صورت زیر تعریف گردید:

"همگرایی علم، فناوری و جامعه (CKTS)، به صورت برهم‌کنش‌های تشدید یابنده و دگرگون شونده در میان رشته‌های به ظاهر متفاوت، فناوری‌ها، جوامع و حوزه‌های فعالیت انسانی است که هدف آن دستیابی به تطابق‌پذیری، هم‌افزایی دو جانبه و یکپارچه‌سازی می‌باشد و به واسطهٔ این فرایند خلق ارزش افزوده، گسترش و ایجاد تنوع جهت برآوردن نیازهای انسانی و اهداف مشترک انجام می‌پذیرد. همگرایی بدین طریق این اجازه را به جامعه می‌دهد که پرسش‌ها را پاسخ داده و مسائلی که قابلیت‌های منفرد نمی‌توانستند از پس آن برآیند را حل نموده و همچنین شایستگی‌های دانش و فناوری‌های نوینی را بر این پایه و اساس خلق نماید" [۱۱].

---

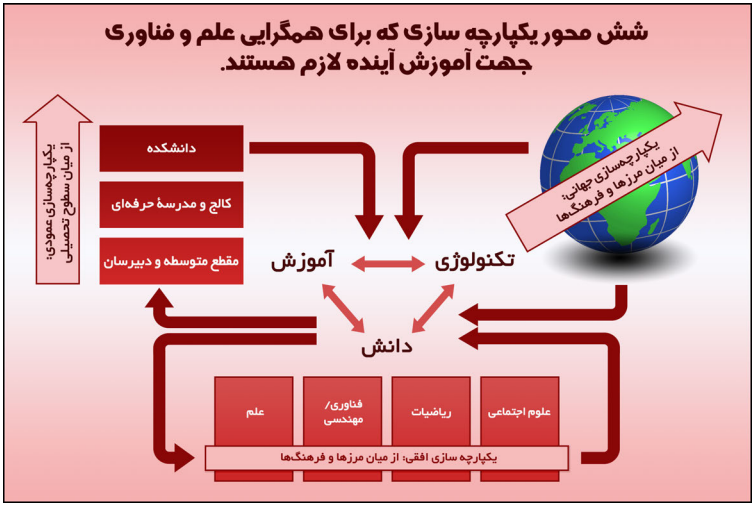
[1] Convergence of Knowledge, Technology and Society (CKTS)

[2] Beyond-NBIC

شکل ۱۴: تکامل تاریخی مفهوم همگرایی علم و فناوری و جامعه

از این رو، همگرایی در حدّ و مرز اکتشافات علمی و توسعهٔ فناوری قرار دارد و سرشار از دانش یکپارچه شده و بنیادین برای توسعهٔ جامعهٔ قرن بیست و یکمی است. بنابراین، پرداختن به همگرایی و کالبد شکافی آن برای یافت خمیرمایه‌های رشد و شکوفایی دانشگاه‌های قرن بیست و یکمی (دانشگاه‌های نسل سوم) بسیار ضروری است. پیکرهٔ CKTS را در اینجا بر پایهٔ رهیافت روکو و بین بریج، از نظریه‌پردازان اصلی پارادایم همگرایی، می‌شکافیم. از آنجا که بر اساس نظر این دانشمندان، همگرایی بر پایهٔ پنج پلتفورم استوار است ما این پلتفورم‌ها را برای یافت قابلیت‌ها و پتانسیل‌های اجتماعی جهت حرکت دانشگاه‌ها به سوی دانشگاه‌های نسل سوم جستجو می‌کنیم؛ البته بدیهی است که خود دانشگاه‌ها نیز که

در حال حرکت پارادایمی به سوی دانشگاه‌های نسل سوم هستند نیز بر همگرایی علم و فناوری و جامعه اثرات شگرفی را می‌توانند فرود آورند امّا این موضوع دیگری است که در جایی و نوشتاری دیگر به آن می‌پردازیم و آنچه در این نوشتار در کانون توجه قرار گرفته است کالبدشکافی CKTS بر پایهٔ پنج پلتفورم آن و یافت پتانسیل‌هایی برای حرکت دانشگاه‌ها به سوی دانشگاه‌های نسل سوم است.



شکل ۱۵: شش محور یکپارچه‌سازی برای همگرایی علم و فناوری

پلتفورم فناوری‌های بنیادین

رهیافت میان‌رشته‌ای، از ویژگی‌های ذاتی و درون‌زاد دانشگاه‌های نسل سوم هستند که امکان رشد و توسعهٔ دانشگاه، بدون اقدامات پیشگامانه به

سوی رهیافت میان‌رشته‌ای، هرگز تحول برانگیز نخواهد بود[۱۲]. نظریه‌پردازان معاصر همانند کلین و نیوول، رهیافت میان‌رشته‌ای را چنین توصیف کرده‌اند:

"مطالعات میان‌رشته‌ای به صورت یک فرایند پاسخ یک پرسش، حل مسئله و پرداختن به موضوعی است که در ماهیت چنان گسترده و یا پیچیده می‌باشد که نمی‌توان به اندازهٔ کافی با یک رشته یا تخصص به آن پرداخت" [۱۳].

در رهیافت میان‌رشته‌ای نه تنها بر روی یک پروژهٔ مشترک کار می‌شود (مانند آنچه که در رهیافت چند رشته‌ای انجام می‌شود) بلکه یک درهم‌تنیدگی و یکپارچگی نیز در روش‌ها، تئوری‌ها و مفاهیم رشته‌های گوناگون انجام می‌گردد تا درک ژرفی از الگوهای سیستم‌های پیچیده و نیز فرایند درهم‌تنیدگی به دست آید. دانش و فناوری امروز به چند دلیل به رهیافت میان‌رشته‌ای نیازمند است:

الف) پیچیدگی درونی طبیعت و جامعه

ب) تمایل به کاوش در مسائل پژوهش‌های بنیادین در سطح مشترک رشته‌ها

ج) نیاز به حل مسائل پیچیدهٔ اجتماعی

د) نیاز به خلق بینش‌های انقلابی و فناوری‌های زاینده [۱۳]

از این رو، یکی از برترین راهبردهای حرکت به سوی دانشگاه‌های نسل سوم، تشکیل تیم‌های میان دانشکده‌ای (یا نهادهای دانشگاهی

میان‌رشته‌ای است که نه تنها پژوهش‌های همگرا و میان‌رشته‌ای یا فرارشته‌ای در این تیم‌ها انجام می‌شود بلکه بسیاری از دوره‌های فوق‌لیسانس نیز توسط اعضاء این تیم‌ها ارائه می‌گردد. با چنین حرکت خزنده‌ای، دانشکده‌هایی که ما امروز می‌شناسیم رخت خواهند بست و به جای آن‌ها انستیتوهای پژوهشی که آموزش، پژوهش و بهره‌برداری از دانش (مأموریت سوم) را دنبال می‌نمایند، پدیدار خواهند شد.

در چنین تغییر ساختار سازمانی، عنصر برجستهٔ دانشگاه نسل سوم، ساختارهای میان‌رشته‌ای و فرارشته‌ای خواهند بود و ساختارهای عملکردی دانشکده‌ای یا نابود می‌گردد یا این که به عناصر هماهنگ کننده بدل خواهند شد[۱۴].

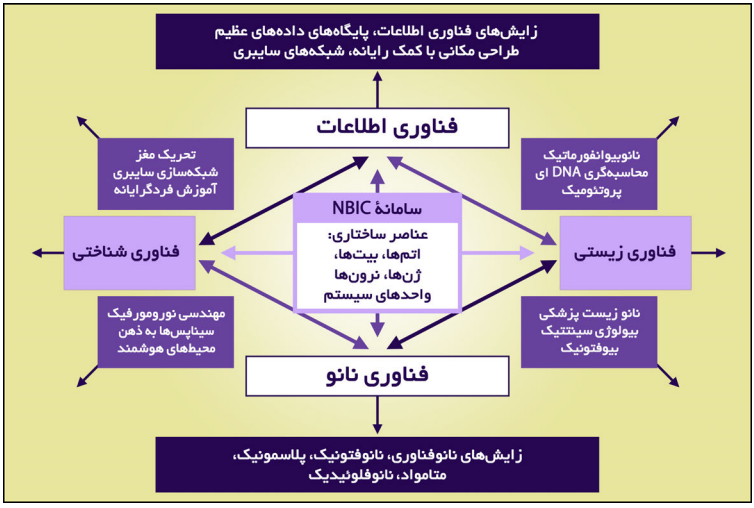
اگر انجام پژوهش و آموزش در عرصهٔ دانشگاه‌های نسل سوم به صورت میان‌رشته‌ای را یک راهبرد اصلی در نظر بگیریم آنگاه پی خواهیم برد که اتخاذ چهارچوب مفهومی همگرایی در حرکت به سوی دانشگاه‌های نسل سوم می‌تواند بسیاری از پتانسیل‌های موجود را برای شکل‌دهی به کانون‌های ایجاد میان‌رشته‌ای و فرارشته‌ای هموار سازد.

این ابرروند می‌تواند نه تنها موجب همگرایی بین علوم محض و فناوری شود بلکه بین علوم تجربی و علوم اجتماعی، هنر، علوم انسانی، مدیریت و اقتصاد نیز پیوندهای نوینی را می‌گستراند که از دل این همگرایی، علوم و فنون جدید تجربی و اجتماعی، زایش خواهند یافت که به حل مسائل پیچیدهٔ جهان سراسر آکنده از پیچیدگی می‌پردازند و راه‌حل‌هایی را برای مسائل غامض ارائه می‌دهند که بی‌شک ارائه این راه‌حل‌ها از توان یک

رشته فراتر خواهند بود. امّا همان گونه که پیش از این نیز اشاره شد همگرایی علم و فناوری در این پویش چیزی بیش از خلق سادهٔ تیم‌های پژوهشی - آموزشی چند رشته‌ای برای پرداختن به مسائل است و در حقیقت در فرایند همگرایی هر چند کار میان‌رشته‌ای و فرارشته‌ای نیز صورت می‌گیرد ولی توسعهٔ مفاهیم نوین و متدلوژی‌های جدیدی برای پژوهش، برنامه ریزی و همکاری فراهم آورده می‌شوند که می‌توانند در میان رشته‌ها و حوزه‌های تخصصی علم و فناوری، پل ایجاد کنند[۱۰].

داشتن چنین پتانسیلی که از قلب همگرایی بیرون می‌آید، چیزی بسیار فراتر از راهبرد میان‌رشته‌ای در دانشگاه‌های نسل سوم است. از این رو، گام زدن به سوی همگرایی علم و فناوری می‌تواند راهبرد نوینی برای دانشگاه‌های نسل سوم باشد که در خود نه تنها نطفهٔ میان‌رشته‌ای را حمل می‌نماید بلکه عرصه‌ها و پتانسیل‌های شگرف‌تری را برای عملکرد دانشگاه‌های نسل سوم (ارائه خدمت به جامعه و بهره‌برداری از دانش خلق یافته) عرضه می‌دارد. همگرایی علم و فناوری، در سطح پیشرفتهٔ آن، با جامعه نیز اتحاد برقرار می‌کند و باید دید که چگونه در مسیر پراگماتیک آن در دههٔ آینده این پویش برقرار می‌شود ولی در سطح ساده‌تر همگرایی، پلتفورم فناوری‌های بنیادین شکل می‌گیرند که مثال سادهٔ آن پلتفورم فناوری‌های همگرا NBIC است که روند آن از اوایل سال ۲۰۰۰ آغاز گردیده است. هر کدامیک از فناوری‌های NBIC از عناصر پایه (اتم، DNA، بیت یا سیناپس) شروع می‌شوند که آن‌ها عناصر ساختاری قرن بیست و یکمی پیشرفت را ساخته و در درون سیستم‌های چندگانه یکپارچه گردیده

و در نهایت فناوری‌های NBIC را می‌سازند. با یک رهیافت سیستمی با هدف عمومی[1]، همهٔ چهار فناوری‌های NBIC، به یکدیگر پیوند می‌یابند و هر فناوری نوپدید بنیادی، زایش‌های در گسترهٔ خود و یا در خط برخورد با یکی یا بیشتر حوزه‌های دیگر NBIC را دارد (شکل ۱۶)[۱۵].



شکل ۱۶: فناوری‌های NBIC

در واقع، در گزارش سال ۲۰۰۳ فناوری‌های همگرا برای بهبود عملکرد انسانی[2]، حوزه‌های چهارگانهٔ NBIC در یک مفهوم واحد گنجانده شدند به این گونه که همگی این چهار فناوری بر پایهٔ ساختاری منسجم[3]

[1] General purpose system approach
[2] Converging technologies for improving human performance
[3] Cohesive structure

بوده و از رفتار ماده در مقیاس نانو[1] تبعیت می‌کنند و این که پژوهش در هر گستره از این فناوری‌ها، از هم‌افزایی با سه فناوری دیگر بهره‌مند می‌شود. این برهم بستگی میان فناوری‌های چهارگانهٔ بنیادین چنان است که امروز تقریباً هیچ تحقیق و توسعه توسط یک فناوری در یک حوزهٔ منفرد پیشرفت نمی‌کند مگر آن که کار میان‌رشته‌ای در حوزه‌های چندگانه انجام شود.

دو مثال این مفهوم را می‌توان در گوشی‌های سلولی[2] و توالی‌یابی ژنی[3] یافت که وابستگی آن‌ها به همگرایی فناوری‌های چندگانه منجر به توسعه‌های سریع و تند در عملکرد آن‌ها، کاهش در هزینه‌های عملکردی و نرخ بی‌سابقهٔ پذیرش اجتماعی آن‌ها شده است. مجموعه‌ای از ابزارهای فیزیکی و تئوریک در همهٔ حوزه‌های NBIC امکان دیدارسازی، تصویرسازی، دستکاری، شبیه‌سازی و سنتز مواد را فراهم آورده‌اند. این‌ها همگی نوید تغییر شکل بنیادین تعدادی از گستره‌های علوم و فناوری، از الکترونیک، اپتیک و علم مواد تا ارائه مراقبت‌های سلامت، درمان سرطان، کشاورزی هوشمند، حسگری از راه دور و مدیریت داده‌ها، محاسبه‌گری، ارتباطات و ساخت و تولید را می‌دهند[۱۱].

[1] Nano scale
[2] Cell phones
[3] Gene sequencing

شکل ۱۷: سه مسیر پژوهش برای ساخت افزودنی داربست‌ها با دقت در مقیاس نانو

از همگرایی حوزه‌های علوم و فناوری NBIC بنیادین در یک پلتفورم، انتظار می‌رود که معانی اجتماعی چشمگیری را داشته باشد و هر کدامیک از این معانی نیز می‌تواند در پیشبرد اهداف حرکت به سوی دانشگاه نسل سوم به عنوان منبعی از پتانسیل‌های بی‌شمار، محسوب شود:

- *دانش بنیادین نوین و حوزه‌های علم و فناوری مورد بحث جدید*

نمونه‌های آن را می‌توان موارد زیر مثال آورد: توصیف‌های جدید گذار از ماده از حالت بی‌جان به سیستم‌های زنده، داروهای ملکولی بر پایهٔ درمان‌های زیر سلولی، درک اثرات کوانتوم در هر دوی سیستم‌های

بیولوژیک و ساختار کهکشان در جهان و بی‌شماری از حوزه‌های نوپدید علم و فناوری مورد بحث، مانند پلاسمونیک[1]، بیولوژی سینتتیک[2]، نانوبیوانفورماتیک و مهندسی نورومورفیک[3]

- *پیشرفت‌های چشمگیر در محصولات و خدمات و تولید پلتفورم‌های فناوری‌های جدید*

برای نمونه می‌توان از موارد زیر یاد کرد: پلتفورم‌های تولیدی NBIC سایبری[4]، پزشکی فردگرایانه[5]، خدمات رانش یافته با اینترنت (مانند اوبر[6])، سیستم‌های اجتماعی و سایبر - فیزیکی اینترنت اشیاء (IoT)، خدمات سایبری ابر[7] برای محاسبه‌گری و ارتباطات (مانند گوگل، مایکروسافت، فیسبوک و توئیتر) و هاب‌های نوآوری انرژی DOE (مراکز پژوهشی میان‌رشته‌ای که پس از آزمایشگاه‌های بل[8] و Xerox PARC مدل یافتند و تلاش می‌کنند پژوهش‌های کاربردی و پایه را با یکدیگر برای توسعهٔ فناوری‌های نوین نوآورانه خلق کنند.)

- *پیوند دادن شهروندان و تقویت درگیری نمودن آن‌ها در علم و آموزش*

---

[1] Plasmonics
[2] Synthetic biology
[3] Neuromorphic engineering
[4] Cyber-NBIC manufacturing platforms
[5] Personalized medicine
[6] Uber
[7] Cloud cyber services
[8] Bell Labs

مثال‌ها شامل: فعالیت‌های «انجمن علم شهروندان[1]» از سال ۲۰۱۲ که بازتاب مشارکت عموم در پژوهش‌های علمی (علم شهروندی[2]، پایش نمودن داوطلبانه، شراکت‌های Pro-Am، پژوهش‌های مبتنی بر جامعه[3] و موارد دیگر) و آزمایشگاه زنده[4] (از سال ۲۰۰۵) در موزهٔ علم بوستون جهت بهبودی بخشیدن به آموزش کودکان، با هدف آموزش دادن به عموم مردم دربارهٔ نمو کودک به واسطهٔ غوطه‌ور نمودن بازدیدکنندگان در فرایند کشف علمی

- *ایجاد بهبودی در پتانسیل انسانی و حس تندرستی در فعالیت‌های روزانه* از طریق دست‌یابی به فزونی‌های بر پایهٔ NBIC در تئوری یادگیری و ابزارها، کارآمدی کار، مراقبت‌های سلامت و ابقاء ظرفیت فیزیکی و روانی برای افراد سالخورده، همچنین فراهم آوردن سرگرمی و ایمنی
- *ترکیب کردن محتوی وب غنی‌تر و مرورگرهای سریع‌تر با اینترنت و داده‌های بزرگ[5] جهت ایجاد انقلاب در هر منظری از زندگی انسان*

برای مثال، به شکل ابزارهای ارتباطی سریع‌تر و گسترده‌تر و دسترسی به دانش و اطلاعات. همچنین، فرایند علمی چنین دگرگونی بر اساس توانمندی‌های بر پایهٔ IT که به تندی در حال گسترش هستند را

[1] Citizens Science Association
[2] Citizen Science
[3] Community-based research
[4] Living Laboratory
[5] Big data

جهت دسترسی، آنالیز و ادغام مجموعه داده‌های بزرگ و پیچیده، در حال انجام است. خبرگان می‌گویند که وب علمی[1] جدید، علم با کیفیت بالاتری را حاصل خواهد داد، بینش‌های بیشتری در هر تجربه و دموکراسی علمی فزون یافته‌تری را ارائه داده و اثر بالاتری از سرمایه‌گذاری‌های عمده در ابزارهای علمی به دست می‌دهد.

- *شانس بیشتر پذیرفته شدن رهیافت سیستمی در سیاست‌های زیست محیطی، سلامت و ایمنی (EHS) و اخلاقی، قانونی و اجتماعی (ELSI) در رابطه با فناوری‌های نوپدید جهت پرداختن به معانی و دلالت‌های ثانویهٔ آن‌ها به صورتی کنش‌وار*[2]

چشم‌اندازی که برای توسعهٔ پلتفورم همگرایی فناوری‌های بنیادین NBIC می‌توان در دههٔ آینده متصور شد به گونه‌ای است که می‌تواند رشد و شکوفایی دانشگاه‌های نسل سوم را چنانچه فرایند همگرایی پذیرا شوند و مکان توسعهٔ فناوری‌های همگرا، به ویژه NBIC، شوند، پیش‌بینی کند؛ زیرا در این چشم‌انداز، می‌توان گذار از میان‌رشته‌ای به سوی فرارشته‌ای[3] را مشاهده کرد. بر اساس رشد و توسعهٔ فرایند فرارشته‌ای، بی‌شک خلق رشته‌های کاملاً جدید در این دانشگاه‌ها را در خط برخورد رشته‌های سنتی، شاهد خواهیم بود.

---

[1] Science web
[2] Proactively
[3] Transdisciplinary

شکل ۱۸: فناوری‌های NBIC که در سال ۲۰۱۵ به NBICA تغییر یافت.

در گذار این توسعه، هر رشتهٔ تخصصی، به سادگی و راحتی خواهد توانست از ابزارها و متدلوژی‌هایی که کاملاً مختص رشتهٔ تخصصی دیگر است و توسط خبرگان آن حوزه توسعه یافته‌اند، در رشتهٔ تخصصی دیگر استفاده کند. همچنین این امکان فراهم خواهد شد که مجموعه‌ای کاملاً نوین از ابزارهای فناوری‌های همگرا خلق شوند که ویژهٔ یک رشتهٔ خاص نبوده و بتوان به شکل عام در همهٔ رشته‌هایی که به آن‌ها هم بستگی دارند، به کار برد. از دست‌آوردهای این پویش، خلق فناوری‌های زایشی[1] جدید در تلاقی حوزه‌های فناوری NBIC است.

از مزیّت‌های دیگر حمایت از این پلتفورم، ایجاد پارادایم‌های آموزشی

[1] Spin-off technologies

جدید است که به دانشجویان و دانشمندان و مهندسین، ژرفانگری و گسترش دانشی را می‌دهند که آن‌ها در ساخت و استفاده کردن از ابزارهای جدید نیاز دارند. از سوی دیگر، ارتباطات و پتانسیل شناختی برای افراد و گروه‌ها افزایش خواهد یافت و پتانسیل فیزیکی و سلامتی افراد جهت پیشبرد در تندرستی نیز فزونی خواهد یافت. افزون بر این، بهره‌وری و مرز محدودیت‌های پایداری[1] گسترش یافته و بدین سان دانشگاه نسل سوم خواهد توانست نوید پیشرفت فناوری‌های همگرا را در ایجاد جامعه‌ای که تعهدِ به کارگیری دانش تولید یافته را دارد، به خوبی به انجام برساند.

از این رو، به دلیل وجود چنین پتانسیل‌هایی در چشم‌انداز دهۀ آینده فناوری‌های همگرا، بسیار ضروری است که در دانشگاه‌های نسل سوم نیز محیط و فضای حاکمیتی را مناسب نیازهای رشد و شکوفایی پلتفورم فناوری‌های بنیادین NBIC نمایند. این دانشگاه‌ها می‌توانند از طریق حاکمیت خوب علوم و فناوری‌های همگرا با به کار بردن عناصر مندرج در زیر که از موارد ضروری مدیریت کارآمد محسوب می‌شوند این کار را به صورت عقلایی و متوازن به سرانجام برسانند.

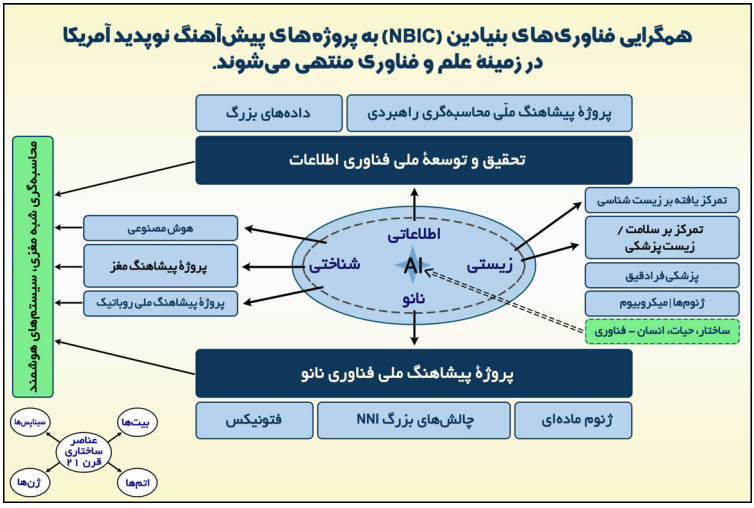
دگرگون شونده[2]: حاکمیت همگرایی NBIC باید بتواند ارزش افزوده را به دانش، فناوری و ابعاد انسانی علم و فناوری در مقایسه با حاکمیت موجود رشته‌ها و فناوری‌های منفرد، بیاورد.

---

[1] Sustainability

[2] Transformative

مسئولیت پذیرنده[1]: حاکمیت همگرایی NBIC باید به بهبود سودمندی‌های اجتماعی تحقیق و توسعه بدون افزایش خطرات ایمنی، سلامت و غیره به مردم و سیارهٔ زمین، تمرکز یابد.



شکل ۱۹: پروژه‌های پیشاهنگ آمریکا که برخاسته از فناوری‌های NBIC هستند.

در بر گیرنده[2]: حاکمیت همگرایی NBIC باید پیشگام مشارکت در بر گیرنده به صورت گسترده در تصمیم‌گیری علم و فناوری و درگیر نمودن همهٔ ذی‌نفع‌های کلیدی باشد.

چشم‌اندازی[3]: حاکمیت همگرایی NBIC باید چشم‌اندازهای به

[1] Responsible
[2] Inclusive
[3] Visionary

اشتراک گذاشته شده و یا اهداف مشترک که می توان سرمایه گذاری پایدار شده‌ای را القاء نماید، مورد شناسایی و حمایت قرار دهد[۱۰].

پلتفورم مقیاس انسانی[1]

این بخش بر مشارکت میان افراد جامعهٔ انسانی، فناوری های نوپدید و توسعهٔ فعالیت علمی تأکید می‌ورزد. ویژگی این پلتفورم به هم‌کنش های میان افراد، به واسطهٔ جفت‌ها و در گروه‌ها، میان انسان‌ها، ماشین‌ها، رایانه‌ها، میان انسان‌ها و محیط زیست می‌باشد. این پلتفورم توسط دو حوزهٔ عمومی (انسان - فناوری - محیط زیست و یکپارچه‌سازی انسان - ارتباطات که هر دو در شکل ۲۰ نشان داده شده‌اند) و دو پیش‌ران کلیدی نیازهای بیوفیزیکی[2] و نیازهای شناختی[3]، توانمند می‌شود[۱۵].

امروزه این پلتفورم از فناوری‌های NBIC بسیار تأثیر می‌پذیرد ولی بخش فناوری اطلاعات NBIC در این پلتفورم، بیشترین حضور را دارد و در آیندهٔ نزدیک نیز چشمگیرترین اثر را نشان خواهد داد؛ هر چند که هم اکنون مفاهیم برهم‌کنش‌های انسان - روبات[4] و کیفیت زندگی[5] در آن نمود یافته‌اند ولی در چشم‌انداز دههٔ آیندهٔ این پلتفورم، مفاهیم بسیار

[1] Human-scale platform
[2] Bio-physical needs
[3] Cognitive needs
[4] Human-Robot
[5] Quality-of-life

تحول برانگیزی همچون تمدن اطلاعاتی[۱]، مدل‌های منبع آزاد[۲]، علم شهروند[۳] و ربات‌های همراه[۴] نهفته‌اند[۱۱].

شکل ۲۰: پلتفورم مقیاس انسانی

در واقع، در این پلتفورم، یک همگرایی و برهم‌کنش میان افراد، بین انسان‌ها و ماشین‌ها، و بین انسان‌ها و محیط زیست محلی وجود دارد؛ به زبان دیگر، در قلب این پلتفورم، همکاری میان انسان - فناوری[۵] نهفته است[۱۶].

[1] The information civilization
[2] Open-source models
[3] Citizen science
[4] Co-robots
[5] Human-Technology Collaboration

موتور رانشی این همکاری ظهور پارادایم منبع آزاد[1] است که تولید، توسعه، تکثیر و پذیرش اشکال سازمانی مشارکتی[2] را شتاب می‌دهد[۱۱]. در چنین فضا و محیطی است که مفهوم علم شهروندی ظهور می‌یابد. در طول تاریخ بشری، دانشمندان آماتور که تحصیلات آکادمیک نداشته‌اند و یا آکادمیسین نبوده‌اند، مشارکت بی‌همتایی را در توسعهٔ علم داشته‌اند (مانند گالیله، نیوتن، داروین و ...)؛ امّا با خلق اینترنت و تعداد فزاینده‌ای از پروژه‌های مهم، تعداد بسیاری از افراد معمولی و دانشمندان آماتور به این تیم‌های پژوهشی دعوت نموده‌اند و در این میان مفهوم جدیدی را سامان داده‌اند که علم شهروندی نامیده می‌شود.

تاکنون نوآوری و اختراعات انجام شده به گونه‌ای مفهوم‌سازی می‌شد که جامعه به شیوه‌های غیرفعالانه‌ای به این تغییرات پاسخ می‌داد و از تئوری جبرگرای فناورانه[3] پیروی می‌کرده است و در بهترین حالت، پس از دوره‌ای، خود را با تغییرات متعادل می‌ساخته که به آن دورهٔ "تأخیر فرهنگی"[4] می‌گویند. امّا امروزه، همگرایی، منظری خوش‌بینانه‌تر و بسیار متفاوت‌تر را ارائه داده است؛ به گونه‌ای که شهروندان معمولی می‌توانند از شرکاء دستیابی به پیشرفت علمی باشند.

نمونهٔ کلاسیک علم شهروندی eBird و Galaxy Zoo می‌باشند. افراد

[1] Open-source paradigm
[2] Participatory organizational forms
[3] Technological determinist theory
[4] Cultural lag

علاقمند به پرنده‌نگری، جامعه‌ای تحت عنوان eBird را تشکیل داده‌اند که در حقیقت سیستمی است برای گردآوری داده‌های بسیار گسترده و وسیع دربارهٔ پخش و گسترش گونه‌های پرندگان که با این داده‌ها نه تنها از تنوع رفتاری و ارتباطات پیچیدهٔ پرندگان با محیط در حال تغییر اطلاعات با ارزشی فراهم می‌شود بلکه از اقلیم در حال تغییر نیز اطلاعات بسیار مستقیمی به دست می‌آید. به زبان دیگر، در این سیستم، افراد آماتور و علاقمند در تولید دانش، مشارکت می‌نمایند.

در پروژهٔ اولیهٔ Galaxy Zoo با فهرست کردن داوطلبان که معمولاً اخترشناسان آماتور بودند، به طبقه‌بندی تصاویر ۹۰۰ هزار کهکشان تصمیم گرفته شد. این طبقه‌بندی از طریق شیوه‌هایی بس اعتمادپذیر و ایجاد همکاری‌های محکمی میان متخصصین آماتور، به کار خود ادامه داد. این جامعهٔ علمی به Zooinverse تکامل یافت که نه تنها گونه‌های دیگر داده‌های اخترشناسی را اضافه نمود بلکه به گستره‌های دیگر نیز نفوذ یافت مانند ترجمان نوشتارهای پاپیروسی یونان باستان، توسعهٔ درک تاریخی تجربهٔ سربازان در جنگ جهانی اول بر اساس مستنداتی همچون خاطرات سربازان و غیره، تجزیه و تحلیل ارتباطات میان وال‌ها، مدل‌سازی جمعیت شیرهای پارک سرنگتی، طبقه‌بندی تصاویر سلول‌های سرطانی، به عنوان بخشی از پروژه‌ای که شامل بیان پروتئین و ژنتیک می‌باشد[۱۷].

بسیار مهم است که بین علم آزاد[1] و منبع آزاد[2] تفاوت و تمایز قائل شد. واژهٔ منبع آزاد از پروژه‌های نرم افزار رایانه‌ای مانند سیستم عامل لینوکس[3] می‌آید. در این سیستم عامل، کسانی که مشارکت در توسعهٔ آن نمودند داوطلبانی بودند که شایستگی‌های فنی در سطح برنامه‌ریزان حرفه‌ای را دارا بودند و سازمان اجتماعی پروژه نیز از عمدهٔ پروژه‌های علم شهروندی، به نسبت، کمتر حالت سلسله مراتبی[4] را داشت؛ زیرا در علم شهروندی، عمدتاً داوطلبان شهروند تا تیمی از دانشمندان، وجود دارند. امّا واژهٔ جدید علم شهروندی، ویراستهٔ دو[5] به پروژه‌هایی ارجاع می‌شود که داوطلبان شایستگی بسیار بیشتر نسبت به پروژه‌های eBird و Galaxy Zoo دارند و این نشانگر تکامل علم شهروندی و گسترش آن به حوزه‌های جدید است و بدین سان ممکن است علم شهروندی به سوی علم آزاد، دگردیسی بیابد.

با این توصیف مقدماتی می‌توان مشاهده نمود که همگرایی در رشد و تکامل علم شهروندی، به چهار شیوه، نقش مرکزی را ایفا می‌کند. نخست، مشارکت غیرحرفه‌ای‌ها در پژوهش در علوم سنتی، به نوآوری در فناوری اطلاعات که نقش حمایت کننده را دارد، نیازمند است و این کار غالباً در قالب سازماندهی تیم‌های متنوع و توزیع یافته بر پایهٔ بینش‌های حاصله از علوم اجتماعی صورت می‌پذیرد. دوم آن که شهروندان داوطلب

[1] Open Science
[2] Open sourse
[3] Linux
[4] Hierarchical
[5] Citizen Science 2.0

در پروژه‌ای در یک حوزه، اغلب آموزش و تربیتی در گسترهٔ فنی متفاوت دیگر را به دست خواهند آورد و بدین سان در موقعیتی قرار خواهند گرفت که می‌توانند عناصر هر دو حوزه را با یکدیگر ترکیب و ممزوج نمایند.

سوم آن که علم شهروندی، منطق‌گرایی زبان، آرشیو داده‌ها و مفهوم‌سازی انتزاعی مورد استفاده در پژوهش را تشویق خواهد کرد و بدین سان همگرایی عمومی‌تر آن علم را با دیگر علوم تسهیل می‌نماید. چهارم آن که علم شهروندی، ساز و کاری عمده برای یکپارچه‌سازی علم در اندرون جامعه می‌تواند باشد و بدین سان جامعه را به گفتمان علمی هدایت نموده و علم را با نیازهای انسانی سازگار می‌سازد[۱۸].

از دیدگاه نظریه‌پردازی برای دانشگاه‌های نسل سوم، علم شهروندی، محیطی مناسب برای انتشار دانش تولیدی در پیکرهٔ جامعه و ارتباط دانشگاه با شهروندان است و از این طریق نه تنها علم را می‌توان مردمی ساخت بلکه از توان علمی شهروندان غیرحرفه‌ای که در تولید علم پیش رقابتی مشارکت می‌نمایند نیز بهره‌مند شد.

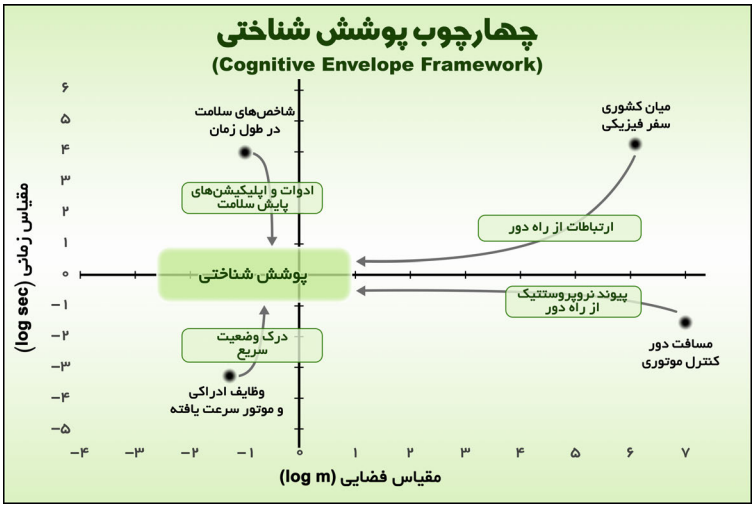
برای مثال، بیولوژی سینتتیک یکی از دوازده فناوری برتر دههٔ آینده است و رشد فناوری اطلاعات، زیرساخت آموزش، گسترش و توسعهٔ این علم را در بیرون از مرزهای آکادمیک، فراهم آورده است و تعداد زیادی از دانشمندان غیرحرفه‌ای و افراد علاقمند در کار با قطعات زیستی و ادوات بیولوژیک و ماشین‌های زیستی با استفاده از فضای منابع آزاد و دسترسی آسان به این منابع به تولید محصولات بیولوژی سینتتیک روی آورده‌اند.

این جامعهٔ افراد آماتور و کسانی که بیولوژی را در اتمسفر بیرون از مجامع آکادمیک آزمون می‌کنند، معروف به جامعهٔ بیولوژیست‌های گاراژی[1] بوده و در حلقهٔ تعریفی علم شهروندی قرار می‌گیرند. این جامعه می‌تواند منبعی بزرگ برای رشد و شکوفایی فناوری‌های نوین و نوپدید برای دانشگاه‌های نسل سوم باشد؛ زیرا مردمی کردن علم و به کارگیری یافته‌های تولید علمی در سرلوحهٔ کار دانشگاه‌های نسل سوم قرار دارند.

از سوی دیگر، کار با جوامع گوناگون چند ملیتی درگیر با علم شهروندی، راهبرد جهان وطنی بودن و بین‌المللی بودن دانشگاه‌های نسل سوم را به منصهٔ ظهور می‌رساند. به زبان دیگر، علم شهروندی، جولانگاهی دیگر برای پیگیری راهبرد بین‌المللی شدن دانشگاه‌های نسل سوم به صورت بسیار فراگسترده‌تر می‌باشد که چون از فناوری اطلاعات و فضای وب استفاده می‌کند می‌تواند فضا و مکان را در نوردد و خمیرمایهٔ پژوهش‌های پیش‌رقابتی را برای این نوع دانشگاه‌ها فراهم آورد.

از دیدگاه نظریه‌پردازان معاصر، درگیر نمودن جامعه و شراکت عامهٔ مردم در فرایند تولید علم موجب می‌شود که چیزی فراتر از درک طبیعت صورت پذیرد و ارزش این درک منحصر به حرفه‌مندان محصور در برج عاج دانشگاه‌ها (دانشگاه نسل دوم) نشده و علم با گسترش به پیکرهٔ جامعه، با یکپارچه‌سازی در فرهنگ انسانی، در خدمت انسانیت قرار گیرد (هدف نهایی دانشگاه نسل سوم).

[1] Garage Biologists

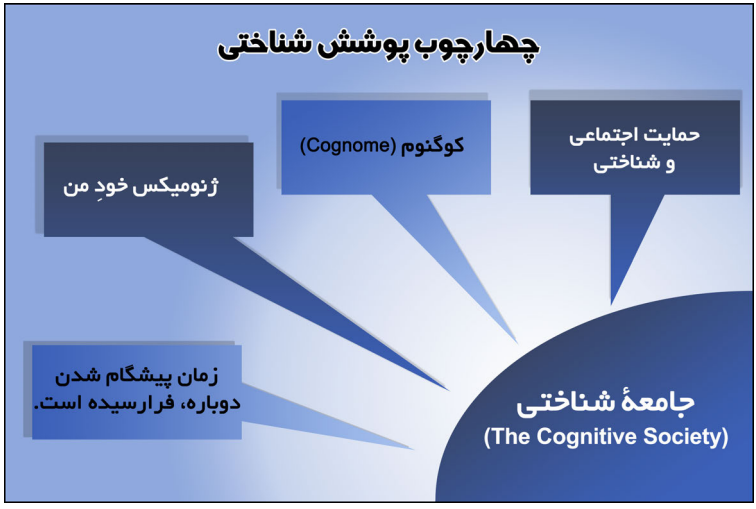


شکل ۲۱: تصویری از اتصالات زمانی (به صورت لگاریتم ثانیه‌ای) و فضایی (به صورت لگاریتم متری) پوشش شناختی (Cognitive envelpe) در رابطه با فرآیندهای دیگر جهان که به زمان و فضا بسته شده‌اند.

همان گونه که اشاره شد، از دست‌آوردهای پلتفورم همگرایی مقیاس انسانی که بر پایهٔ فناوری اطلاعات استوار است، یکپارچه‌سازی مجازی «ارتباطات - انسان» و یکپارچه‌سازی «انسان - فناوری - محیط زیست» است. این همکاری «انسان - ماشین» به آنجا خواهد انجامید که به جای رایانه‌های کنونی، فناوری‌ای با هدف عمومی دیگر خواهد نشست که دستیاران شناختی هوشمند مدولاری[1] خلق می‌نماید؛ این دستیاران می‌توانند وظایف متنوعی را برای انسان انجام دهند. این هوشمندی

[1] Modular intelligent cognitive assistants

ماشینی[1] با توانمندی‌های شناختی همه کاره خود (مانند حل مسائل جدید با زبان‌های سطح بالاتر)، به صورت حد فاصل میان انسان‌ها و محیط زیست آن‌ها عمل می‌نماید. در حقیقت، دستیاران شخصی هوشمند مصنوعی، به عنوان واسطه‌هایی بین فرد و همهٔ دانش بشری عمل خواهند نمود؛ یعنی شکل پیشرفته‌ای از فناوری شناختی که کاربر را با شکل نوینی از جامعهٔ شناختی انسانی[2]، پیوند می‌دهد[۱۷].



شکل ۲۲: خلق یک جامعهٔ شناختی شامل فراهم آوردن حمایت‌های شناختی و اجتماعی افراد و جوامع؛ بهبودی در درک ما از کوگنوم (به سان ژنوم) و ژنوم فردگرایانه می‌باشد.

[1] Machine intelligence
[2] Human cognitive society

برای رسیدن به چنین سطحی از فناوری، به همگرایی و همکاری خبرگان در حوزه‌های الکترونیک نانویی، فتونیک، علوم اعصاب، معماران رایانه، مقلدین زیستی، دیدارسازی مغز، شبکه‌های عصبی، مهندسی نورومورفیک، هوش مصنوعی، روانشناسی، حدفاصل انسان - ماشین، تئوری سیستمی، حسگرهای نانویی و سیستم‌های حسی، نیاز است[۱۷].

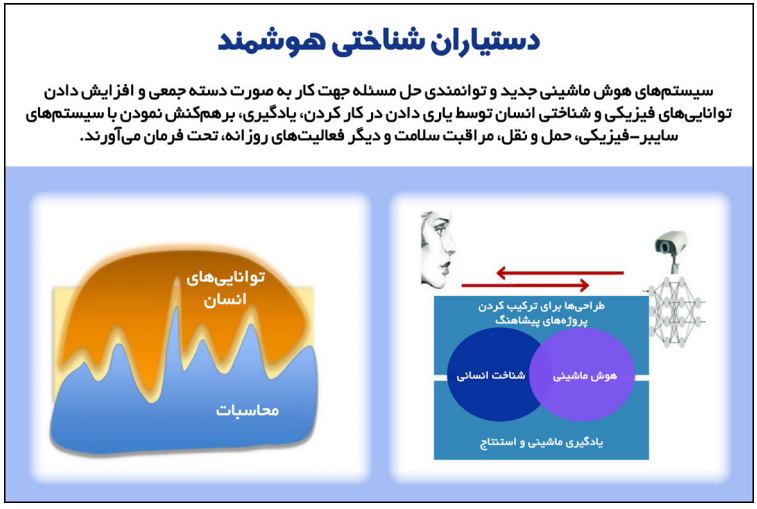
این همگرایی گسترده که در دستیاران شناختی هوشمند[1] تجلی دارد را می‌توان در مفهوم روبات همراه که انسان‌ها و روبات به شکل شریک یکدیگر عمل می‌کنند، یافت نمود. این مفهوم، شکل جدید همگرایی را در کاربردهای پژوهشی و همکاری، رخنمود می‌سازد؛ بدین صورت که اغلب روبات‌های همراه، به شکل مستقل، همهٔ کارها را انجام نمی‌دهند بلکه در همکاری با شریک انسانی وظایف خود را که ممکن است کارهای اجتماعی (حمایت از رشد اجتماعی و شناختی کاربر)، خدماتی (انجام وظایف خانگی کاربری که آموزش در روباتیک ندارد) و همکارانه (کار شانه به شانه با کارگران برای حل مسائل تولید و وظایف هم‌گذاری[2] را انجام می‌دهند.

در شکل رباتیک حامی اجتماعی (Socially Assistive Robotics)، روبات تماس فیزیکی با کاربر نداشته و محیط وی را نیز دستکاری نمی‌کند. در این شکل، روبات‌ها در نقش درمانگر، مربی، معلم یا راهنما قرار می‌گیرند و برای کاربر، حمایت اجتماعی یا شناختی و نه صرفاً

[1] Intelligent cognitive assistants
[2] Assembly

فیزیکی را فراهم می‌آورند (۱۹).

در شکل رباتیک حامی اجتماعی (SAR)، منظرهای مهندسی، علوم سلامت، روانشناسی، علوم اجتماعی و علوم شناختی با یکدیگر همگرایی می‌یابند و کیفیت زندگی کاربر را ارتقاء می‌دهند. به منظور عملکرد در محیط سرشار از پیچیدگی، نامحدود و پویا و همچنین برهم‌کنش با انسان‌ها، این روبات‌ها به شایستگی‌های شناختی، زبانی، اجتماعی، حسی و ادراکی و حرکتی، در فراتر از سطح مهارت کنونی، نیاز دارند و این تناسب از شایستگی‌ها می‌بایست در هماهنگی و هم‌سازی، عملکرد خود را نمایان سازد.



شکل ۲۳: دستیاران شناختی هوشمند

از آنجا که تم دانشگاه‌های نسل سوم بر همگرایی، طراحی و خلاقیت استوار است و در دهۀ آینده SAR همراه با رشد و شکوفایی هوش مصنوعی جایگاهی تحولی را در مدل‌سازی پیچیدگی‌های زیست محیطی انسانی و درگیر نمودن انسان‌ها در برهم‌کنش‌های همکارانه و فردگرایانه خواهد داشت، دانشگاه‌های نسل سوم از طریق پیاده‌سازی راهبردهای همگرایی می‌توانند با گردآوردن دانشمندان علوم مهندسی، جامعه‌شناسی، روانشناسی، مراقبت‌های سلامت و علوم شناختی، راه را برای خلق SAR فراهم آورند. از سوی دیگر، دانشگاه‌های نسل سوم در فضای پیچیدۀ یادگیری در جامعۀ دانایی آینده، می‌توانند از شکل‌های پیشرفته SAR، برای اهداف آموزشی خود استفاده کنند. در حقیقت، در شکل پیشرفتۀ SAR، موجوداتی خلق خواهند شد که فرم‌های زندۀ هوش مصنوعی خودکار[1] می‌باشند و می‌توانند به شکل بسیار نزدیکی با انسان‌ها ارتباط برقرار کرده و با او به مطالعه پرداخته، آموزش دهند و در دانشگاه، با او نیز به پژوهش بپردازند[۱۴و۱۹].

در مورد دست‌آوردهای پلتفورم مقیاس انسانی همگرایی مانند منابع آموزشی آزاد و دوره‌های آنلاین آزاد عظیم[2] (MOOCS)، هوش مصنوعی و فناوری‌های پوشیدنی همراه با فناوری واقعیت افزوده و رهیافت تفکر پلتفورمی[3]، لطفاً به کتاب "دانشگاه نسل سوم در انقلاب صنعتی چهارم"،

[1] Autonomous Intelligent Artificial Lifeforms - Alife
[2] Massive Open Online Courses
[3] Platform thinking

از انتشارات دانشگاه علوم پزشکی بوشهر که مؤلف به این مباحث پرداخته است، مراجعه بفرمایید.

پلتفورم مقیاس اجتماعی[1]

ویژگی این پلتفورم به واسطهٔ فعالیت‌ها و سیستم‌هایی است که افراد و گروه‌ها را در چندین مقیاس بزرگتر پیوند می‌دهد. این پلتفورم شامل فعالیت‌های جمعی، سازمان‌ها، دستورالعمل‌ها همراه با حاکمیت است. پلتفورم مقیاس اجتماعی با دو حوزهٔ عمومی («هم‌تکاملی انسان - فناوری» و «حاکمیت، سیاست‌ها، سرمایه‌گذاری و مقررات» که هر دو در شکل ۲۴ نشان داده شده‌اند) و دو پیش‌ران کلیدی بیوفیزیکی (سلامت، آموزش، زیرساخت) و نیازهای شناختی (اخلاقی و معنوی) معنا می‌یابد.

جزء کلیدی در حاکمیت پلتفورم مقیاس اجتماعی، توسعهٔ شیوه‌هایی جهت بهبود و سرعت بخشیدن به همگرایی با هدف ارتقاء خلاقیت، اختراع، نوآوری و پروژه‌های اجتماعی - اقتصادی است[۱۱].

در این پلتفورم، برای حمایت از همگرایی در همهٔ فازهای مارپیچ نوآوری[2]، شیوه‌های بر پایهٔ سیستمی بهبود یافته، رهیافت‌های همکارانه مانند پلتفورم‌های ذهنی - سایبری - فیزیکی[3]، انفورماتیک، رهیافت‌های

[1] The Societal-scale platform
[2] Innovation spiral
[3] Mind-Cyber-Physical Platform

تولیدی، مدل تأمین اعتبار پژوهش‌های بنیادی الهام یافته از چشم‌انداز[۱]، جوامع خود اتکاء و حاکمیت آزاد و زبان‌های همگرایی سطح بالاتر، نیاز است. به زبان دیگر، یک علم همگرایی[۲] جهت تصمیم گیری، تولید و دیگر زمینه‌ها، پدید خواهد آمد و مشارکت افراد و بخش خصوصی - عمومی[۳] در سیستم فعالیت انسانی با ابزارهای جدید همگرایی، شکل خواهد پذیرفت[۱۱].

شکل ۲۴: اجزاء پلتفورم مقیاس اجتماعی

[1] Vision-inspired basic research
[2] Science of convergence
[3] public-private

در حقیقت، این پلتفورم، بر این پایه شکل گرفته است که پدیداری جامعهٔ فراگیر[1] به درک راه هایی که همهٔ افراد ممکن است به شکل مثبتی از طریق به کارگیری عاقلانهٔ علم و فناوری همکاری داشته باشند، نیاز دارد. آنچه این پلتفورم جویای آن است بر این واقعیت است که چشم‌انداز همگرایی، یکپارچه‌سازی دانش، فناوری و جامعه است و از این رو، درک این که چگونه اجزاء علم مدرن، فناوری و جامعه، هم اکنون برهم‌کنش دارند و می توانند به شکل سودمندانه تری همکاری نمایند، موضوعی است که موجب شکل‌گیری این پلتفورم شده است. این پلتفورم، جامعهٔ قرن بیست و یکمی را از زاویه‌ای دیگر جستجو می‌کند زیرا بر این باور است که دوران جدیدی آغاز گردیده است که معنای آن این است که پایانی برای دورهٔ گذشته روی داده که همراه با پایان مرحله‌ای از تکامل است که با خود مسائل جدیدی را می‌آفریند و نشانگر عدم کارایی و در نتیجه حذف شدن نهادهای اجتماعی کلیدی می‌باشد. لذا، پرسش‌های گسترده‌ای که هنوز پاسخی برای آن‌ها وجود ندارد، نوید دهندهٔ لزوم شکل‌گیری ارتباطات و نهادهای نوین است[۲۰].

[1] Global society

شکل ۲۵: اهداف توسعهٔ هزارهٔ سازمان ملل متحد

به زبان دیگر، فرایند همگرایی مدرن موجب ایجاد تغییرات بنیادین در ساختار نهادهای انسانی می‌شود که نمود آن را می‌توان در شکل‌گیری نهادهایی همچون دولت دیجیتالی[1] و حاکمیت چند مرکزی[2] و جامعهٔ شناختی[3]، یافت نمود. در جامعهٔ شناختی، فناوری‌های شناختی همگرا و فراگیر، تصمیمات، کنش‌ها و سلامت، انسان را آگاه‌مند می‌سازند. به زبان دیگر، در جامعهٔ شناختی، فرایندهای شناختی بر پایهٔ دانش، چه به شکل طبیعی و چه مصنوعی، شالودهٔ عملکردهایی که حول آن‌ها فعالیت‌های انسانی سازماندهی می‌شود را پایه‌گذاری می‌کنند. این‌ها مفاهیمی

[1] Digital government
[2] Polycentric governance
[3] Cognitive society

هستند که در جایی و نوشتاری دیگر به آن‌ها خواهیم پرداخت ولی آنچه که در حوزهٔ مفهومی پلتفورم مقیاس اجتماعی برای ما در تغییر پارادایم دانشگاه نسل سوم مهم است، نگاشت نهادهایی تحت عنوان «سازمان‌های کرانه‌ای»[1] می‌باشد. این نهاد، ناظر بر این اصل است که رسیدن به پارادایم نوپدید همگرایی نه تنها به همگرایی رشته‌های چندگانهٔ علمی و مهندسی نیاز دارد بلکه می‌بایست حوزه‌های علوم انسانی (به ویژه اخلاق)، علوم اجتماعی و علوم رفتاری را نیز در برگیرد تا اهدافی همانند کیفیت زندگی پایدار، توانمندسازی افراد و گروه‌ها و ایجاد توسعهٔ اجتماعی، حاصل آیند.

نظریه‌پردازان همگرایی، شبکهٔ فناوری همگرا[2] را یک سازمان کرانه‌ای معرفی کرده‌اند که موجب تسهیل زون‌های تجاری[3] و تصور معناگرا[4] در میان جوامع درگیر در همگرایی علم و فناوری شامل عوامل سیاست‌گذاری، سازمان‌های غیردولتی (NGO's) و دیگر ذی‌نفع‌ها می‌شود[۲۱].

اصطلاح زون‌های تجارتی را پیترگالیسون[5] از انسان شناسی به قرض گرفته است. او که یک تاریخ‌دان و فیزیک‌دان بود سعی کرد که توصیف کند چگونه فیزیک‌دانان از جوامع نمونه‌ای گوناگون می‌توانند بر روی یک پروژه مانند توسعهٔ شناساگرهای ذرات و رادار کار کنند. در این موارد نه تنها فیزیک‌دانان نظری با مدل‌های ذهنی متفاوت مجبور هستند با

[1] Boundary organizations
[2] Convergent technology network
[3] Trading Zones
[4] Moral Imagination
[5] Peter Galison

یکدیگر کار کنند بلکه باید با فیزیک‌دانان تجربی و مهندسانی که ادوات را طراحی و آزمون می‌کنند، همکاری داشته باشند. در مورد رادار، فیزیک‌دانان نیز باید با ارتش کار کنند و نیازهای خلبان‌هایی که از رادار در هواپیما استفاده می‌کنند نیز پیش‌بینی نمایند.

این جوامع با زبان‌های بیگانه از یکدیگر و گاهی گنگ، با مدل‌های ذهنی متفاوت، بر اساس مدل زون تجاری که گالیسون پیشنهاد نموده است، با یکدیگر کار می‌کنند. در نتیجه، شرکت کنندگان در زون‌های تجارتی مجبورند به آرامی یک زبان مشترک را توسعه دهند که بتوانند مقداری هماهنگی و درک دو جانبه در کار را فراهم آورند. در شکل پیشرفته همگرایی، با بنیان یافتن زبان‌های سطح بالاتر امکان ساخت ترمینولوژی اشتراکی و مفاهیمی که در حوزه‌های چندگانه ضروری هستند، فراهم می‌شود. جهت فرار از گنگی و نامفهومی و تفاوت ارزش‌ها و جهان‌بینی‌ها، زون‌های تجارتی باید با تصور معناگرا توأم شوند. تصور معناگرا این مفهوم را در خود دارد که باید بتوان در کفش‌های دیگری راه رفت و مدل‌های ذهنی آن‌ها را دید که چگونه باید زندگی کرد. اولین گام در تصور معناگرا، درک این موضوع است که هر کدامیک از ما منظری از جهان خود داریم و نه یک واقعیت مطلق. دومین گام، مقایسه کردن این منظرها یا مدل‌ها ذهنی با هدف رسیدن به چیزی بهتر است. سومین گام، ارزیابی مسیرهای گوناگون عملی است که از جایگزین بهتر می‌تواند ریشه بگیرد.

این عناصر، یعنی زون‌های تجاری و تصور معناگرا، برای سازمان

کرانه‌ای هم چون شبکهٔ فناوری همگرا، لازم هستند و خود شبکهٔ فناوری همگرا نیز نقش مهمی در حاکمیت پیش‌بینانه[1] دارد. در حاکمیت پیش‌بینانه است که می‌توان سناریوهای آیندهٔ محتمل را برای فناوری‌های همگرا ترسیم کرد و به انگاشت نتایج اخلاقی و معنوی آن‌ها پرداخت. همانگونه که در شکل ۲۶ نشان داده شده است، شبکهٔ فناوری همگرا به عنوان یک سازمان کرانه‌ای، یک زون تجاری را میان سازمان‌هایی مانند پارلمان‌ها، سازمان‌های مردم نهاد، سازمان‌های دولتی، آزمایشگاه‌ها، دانشگاه‌ها، کسب و کار و غیره ایجاد می‌کند[۲۱].

وایسما، نظریه‌پرداز دانشگاه نسل سوم، مشابه مفهوم شبکهٔ فناوری همگرا را در گزارهٔ هاب دانش کاربردی یا «گردون بهره‌برداری از دانش» چکیده نموده است. از نظر او، یک دانشگاه نسل سوم، نیاز دارد که خود را به صورت هاب، برای گروهی از نهادهایی که بر بهره‌برداری از دانش تمرکز دارند، توسعه دهد. از این رو، این نظریه‌پرداز، هاب دانش کاربردی «گردون بهره‌برداری از دانش» را این گونه تعریف می‌کند.

"گروهی از نهادها در درون و پیرامون دانشگاه، ترجیحاً در عرصه و اعیان آن هستند که با دانشگاه، تیم‌های دانشگاهی و پژوهشی و با یکدیگر همکاری می‌کنند".

[1] Anticipatory governance

شکل ۲۶: شبکهٔ فناوری همگرا نقش یک سازمان مرزی را بازی می‌کند و زون تجاری را در میان سازمان‌های پیوسته به خود خلق می‌نماید. مرکز فناوری‌های همگرا می‌تواند از قلب شبکه رشد یافته و به عنوان یک مرکز تحقیقاتی عمل نماید تا دانشوران علم و فناوری را تأمین کرده تا در کسب و کارهای ویژه، آژانس‌ها، سازمان‌های مردم نهاد، کمیته‌ها و غیره قرار گیرند.

افزون بر آموزش و پژوهش دانشگاهی، یک هاب بهره‌برداری از دانش، شامل نهادهای تحقیق و توسعه، بنگاه‌ها، نهادهای تخصصی تحقیق و توسعهٔ مستقل، تسهیلات برای آغازگران فناوری، سرمایه‌گذاران و خدمات حرفه‌ای از تمام انواع مانند حسابداران، وکلا، مشاوران مدیریت، مشاوران بازاریابی و متخصصان مالکیت معنوی می‌باشد. هر چند عناصر بیشتری وجود داشته باشند و هر چه برهم‌کنش بیشتری داشته باشند، هاب نیرومندتر خواهد بود[۱۲].

چنین به نظر می‌رسد که هاب بهره‌برداری از دانش وایسما از نظر عملکردی بسان شبکهٔ فناوری همگرا که در بالا به آن اشاره شد می‌باشد. از این رو، این هاب یک سازمان کرانه‌ای است که خلق زون تجاری در میان سازمان‌های در پیوند به آن را می‌توان مشاهده نمود. بنابراین، مفهوم هاب بهره‌برداری از دانش در این تعریف همان کریدور علم و فناوری و یا در ادبیات توسعهٔ علمی ایران منطقهٔ ویژهٔ علم و فناوری است. بر اساس تعریف، کریدور علم و فناوری را شرکت‌های با فناوری برتر، سرمایه‌های مخاطره‌پذیر، امکانات و زیرساخت‌های فیزیکی و نهادی و سرمایهٔ انسانی می‌دانند که در یک محدودهٔ خاص جغرافیایی با یک مدیریت متمرکز و ساختار حقوقی خاص با اتصال به یک بازار مصرف، محصولات و خدمات دانش بنیان را تولید می‌کنند[۲۲].

در واقع، بر اساس این تعاریف و معانی، این گونه می‌توان استنباط نمود که در فرایند همگرایی و شکل‌گیری شبکهٔ فناوری همگرا، این پتانسیل نیز برای دانشگاه‌های نسل سوم وجود دارد که بتوانند از طریق مکانیسم ایجاد زون‌های تجاری و تصور معناگرایانه، نسبت به همگرایی عناصر موجود در این شبکه اقدام کرده و با ایجاد درک دو جانبه و تصویرسازی از سناریوی حرکت به سوی آینده، در فرایند همگرایی شرکت نموده و با حاکمیت پیش‌بینانه نسبت به تسهیل این فرایند، تلاش نمایند. علاقمندان جهت کسب اطلاعات بیشتر و ساز و کار دانشگاه نسل سوم در تعامل با عناصر شبکهٔ فناوری همگرا و بهره‌برداری از هاب گردون دانش

و چیدمان زون‌های تجاری، به فصل متدلوژی همگرایی در این کتاب و نیز فصول مربوطه در کتاب منطقهٔ ویژهٔ علم و فناوری، از انتشارات دانشگاه علوم پزشکی بوشهر، مراجعه بفرمایند.

پلتفورم مقیاس سیارهٔ زمینی[1]

حفظ زمین به عنوان خانهٔ واحد انسان به همکاری‌های گوناگون بین‌المللی، میان فرهنگی و زیست محیطی در مقیاس بزرگ نیاز دارد. در زمانی، احتمالاً در آیندهٔ دور، جامعهٔ انسانی در فراتر از سیارهٔ کوچک‌مان گسترش خواهد یافت و منظومهٔ شمسی را در بر می‌گیرد ولی هم اکنون، بزرگترین مقیاس فعالیت‌های انسانی، پلتفورم مقیاس سیارهٔ زمینی است. محیط زیست برای فعالیت‌های انسانی شامل سیستم‌های طبیعی جهانی، سیستم‌های ارتباطی و اقتصاد جهانی است که در خود محدودیت‌هایی را برای تداخلات انسانی دارند. این پلتفورم به واسطهٔ دو حوزهٔ عمومی («یکپارچه‌سازی زمین - فناوری» و «سیستم‌های زمینی» که هر دو در شکل ۲۷ نشان داده شده‌اند) و دو پیش‌ران کلیدی (نیازهای بیوفیزیکی جهانی و نیازهای شناختی جهانی) توان می‌یابد[۱۵].

[1] Earth-scale platform

شکل ۲۷: اجزاء پلتفورم مقیاس زمینی

حفظ زمین به عنوان سفینهٔ فضاپیمای انسان در جهان هستی به درک جوهری از سیستم‌های یکپارچه در مقیاس زمین نیاز دارد؛ زیرا زمین تنها خانهٔ ارث‌پذیر انسان است که حفظ حیات آن وظیفهٔ پایان‌ناپذیر هر فرد انسانی می‌باشد. برای دستیابی به این وظیفه، توجه همه جانبهٔ فراگیر سیستم‌های مقیاس زمینی را می‌طلبد تا حیات روی زمین مورد حمایت قرار گیرد. از این چشم‌انداز، سیارهٔ زمین، پلتفورمی برای مطالعه و یافت راه‌حل‌هایی است که در میان سیستم‌های یکپارچه شده، عملکرد خود را نشان می‌دهند. بدین سان، چالش عمدهٔ انسانیت، مدیریت سیستم‌های حامی زیست یکپارچه طبیعی سیارهٔ زمین به واسطهٔ

خلاقیت بنیان برافکن[1] است که شالودهٔ اقتصاد زمین را ساخته و سیستم انسان آورد[2] را تغییر می‌دهد.

مدیریت سیستم‌های طبیعی در مقیاس زمین و سیستم‌های انسان آورد که در تماس با طبیعت حادث می‌شوند و همچنین برهم‌کنش‌های آن‌ها، یک مسئلهٔ نابکار است که با دانش متناقض، تعداد افراد درگیر، هزینه‌های بالا و پیوندهای میانی بسیار با دیگر مسائل، خود را نشان می‌دهد. این مدیریت نه تنها به درک سیستم‌ها، بلکه درک سیستمی از سیستم‌ها[3] نیاز دارد که مفاهیم و مدل‌های چندگانه را می‌طلبد که با یکدیگر دیده شوند. با در نظر گرفتن مقیاس در حدّ زمینی این چالش، همهٔ دانش بشری در شکل کلیّت آن نیاز است همگرایی یابد که این همگرایی نه تنها برای درک هر سیستم بلکه جهت درک همبستگی‌های میان سیستم‌ها و اقدامات و کنش‌ها و واکنش‌های آبشاری میان و در میان سیستم‌ها، به کار آید.

حل مسائل در مقیاس زمین بر پایهٔ همگرایی علم و فناوری می‌تواند مسائل مربوط به اهداف توسعهٔ پایداری که در سازمان ملل متحد بر روی آن توافق کرده‌اند یعنی اهداف اجتماعی (برای مثال پایان دادن به فقر و دستیابی به تساوی جنسی)، اهداف اقتصادی (ساخت زیرساخت تاب‌آور[4])

[1] Creative destruction
[2] Anthropogenic system
[3] System of systems
[4] Resilient infrastructure

و اهداف زیست محیطی (مانند حفاظت از اقیانوس‌ها و سیستم‌های خشکی) را برآورده سازد. برای سنجش پیشرفت به سوی دستیابی به این اهداف، سیستم پایش زمینی جامع و هم‌گرایی علم و فناوری جهت درک سیستم‌های مقیاس زمینی یکپارچه[1] نیاز است که هم علت و هم راه‌حل مسائل باشند.

برای مثال، علم و فناوری‌ها با یکدیگر همگرایی می‌یابند تا از این طریق بتوانند از گزینه‌های سیاست‌گذاری‌ای حمایت کنند که تسکین و سازش با تغییرات اقلیمی را جستجو می‌کنند. این اقدامات را می‌توان در حوزهٔ تولید انرژی و گرفتن کربن و مناطق جداسازی[2]، مواد کامپوزیت برای توربین‌های بادی، سلول‌های فتوولتائیک[3]، فناوری شبکه‌ای هوشمند و انبوهی از فناوری‌های ذخیره‌سازی انرژی مشاهده نمود. بخش فناوری شناختی فناوری‌های NBIC نیز در زمینهٔ اقتصاد رفتاری، بازاریابی اجتماعی و رفتار مصرف انرژی، نقش ایفا می‌کند.

در حقیقت، برای برآمدن بر چالش‌های در مقیاس زمینی به سیستم‌های دانشی[4] که ماحصل همگرایی علم و فناوری و جامعه است نیاز است[۲۳]. سیستم تفکر سیستمی[5]، تفکر همزمان در مورد سیستم

[1] Integrated earth-scale system
[2] Carbon capture & sequestration area
[3] Photovoltaic cells
[4] Knowledge system
[5] System of systems thinking

سیستم‌های[1] اقتصادی، فناوری، اجتماعی، سیاسی و زیست محیطی را تسهیل می‌نماید. تفکر سیستمی، رهیافتی بسیار فرادقیق برای دریافت روابط غیرخطی است که روش‌های استقرایی در علم، توان دریافت آن‌ها را ندارد. بنابراین تفکر سیستمی، بینش درک ماهیت سیستم را امکان‌پذیر می‌سازد؛ درکی که نمی‌توان بر پایهٔ مطالعه مجزای اجزای سیستم به دست آورد. بدین سان، تفکر سیستمی، یک پارادایم است که پیوستگی‌های میان اجزای گوناگون و برهم‌کنش آن‌ها را تحت رصد قرار می‌دهد و از این رو، خود به صورت یک پیوند دهنده میان‌رشته‌ای گوناگون عمل نموده و از این طریق می‌تواند به حل و یا درک مسئله کمک نماید[۱۳].

پلتفورم مقیاس زمینی، بیش از هر پلتفورم همگرایی دیگر، با آینده‌پژوهی و آینده‌نگری سروکار دارد؛ زیرا این همگرایی دانش و فناوری در مقیاس زمینی است که پشتیبان آینده‌پژوهی می‌باشد و این دست‌آوردهای ترسیم یافته از آینده‌پژوهی است که به عملکردهای فردی و جهانی، در مقیاس زمینی، معنا می‌دهد[۲۳]. از آنجا که مأموریت سوم در دانشگاه‌های نسل سوم، نقش مشارکتی دانشگاه در توسعهٔ اجتماعی - اقتصادی جامعه با بهره‌برداری از دانش خلق شدهٔ آن در ارتباط است و این مأموریت شامل *"همهٔ فعالیت‌هایی است که با خلق، به کار گیری، کاربرد و آشکارسازی دانش و دیگر توانمندی‌های دانشگاه در حلقهٔ بیرونی محیط آکادمیک در پیوند می‌باشد"*، پلتفورم مقیاس زمینی،

[1] System of systems

گستره‌ای بس گسترده‌تر را در فراروی این نوع دانشگاه‌ها برای خلق و به کار گیری دانش‌های آکادمیک، عرضه می‌دارد.

دانشگاه‌های نسل سوم می‌توانند با تفکر سیستمی و تفکر همگرا[1] همراه با آینده‌پژوهی به درک و حل مسائل سیارهٔ ما پرداخته و به توسعهٔ پایدار کمک نمایند. از سوی دیگر، چون برای درک سیستم‌های زمینی، همگرایی علم، فناوری و جامعه مورد نیاز است، دانشگاه‌های نسل سوم می‌توانند با پلتفورم همگرایی در فناوری‌های NBIC خود، نوید سودمندی‌های پایداری[2] را در مقیاس جامعه و زمین ارائه دهند. از منظری دیگر، به دلیل وجود تلاش‌های منظم و پر شدت و با شتاب فراوان بیرون از دانشگاه برای همگرا کردن فناوری‌های پیشرفته جهت کاهش تقاضا برای انرژی، کاهش برون‌ده‌های گازهای گلخانه‌ای، پیشگیری از آلودگی آب و خاک و ضایعات صنعتی و به زبان دیگر تلاش جهت کاهش اثرات «خلاقیت بنیان برافکن» و یا پیامدهای «انسان آورد»[3]، دانشگاه‌های نسل سوم می‌توانند پتانسیل و قابلیت‌های بی‌انتهایی را در سیستم‌های این همگرایی یافت کرده و ضمن تولید دانش‌های مربوطه (مانند بیولوژی سینتتیک جهت حفظ گونه‌ها و مقابله با انقراض انواع) نسبت به تدوین سیستم‌های پایش بی‌درنگ[4]، سیستم‌های دانشی، سیستم‌های ارتباطی[5]،

[1] Convergent thinking
[2] Sustainability
[3] Anthropogenic
[4] Real-time monitoring systems
[5] Communication systems

و سیستم‌های مدیریتی[1] (به ویژه در بخش انرژی جهت ایجاد صنایع و فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر) اقدام نمایند.

شکل ۲۸: اجزاء و زیرساخت‌هایی که برای همگرایی لازم هستند.

[1] Management systems

منابع

1) Wissema, JG. Towards the third generation university: managing the university in transition. Edward Elgar Publishing, 2009.
2) Guerrero M, Urbano D, Fayolle A, et al. Entrepreneurial universities: emerging models in the new social and economic landscape. Small Business Economics. 2016; 47(3): 551–563. (Accessed 12 Feb 2017 at http://link.springer.com/article/10. 1007/s11187-016-9755-4).
3) Nabipour, I. Knowledge-based economy. Bushehr University of Medical Sciences Press, 2008. [in Persian].
4) Leja K, Nagucka E. Creative destruction of the university. Gdansk University of Technology. 2013; 14: 1-22. (Accessed 12 Feb 2017 http://cpp.amu.edu.pl/pdf/CPP_RPS_vol. 43_Leja_Nagucka. pdf).
5) Etzkowitz, H. Entrepreneurial scientists and entrepreneurial universities in American academic science. Minerva 1983;21: 198-233.
6) Kyrö P, Mattila J. Towards future university by integrating Entrepreneurial and the 3rd Generation University concepts. (Accessed 12 Feb 2017 http://pyk2.aalto.fi/ncsb2012/Kyro.pdf).
7) Nelles J, Vorley T. Constructing an Entrepreneurial Architecture: An Emergent Framework for Studying the Contemporary University Beyond the Entrepreneurial Turn. Innovative Higher Education. 2010; 35(3): 161-176· (Accessed 12 Feb 2017 http://link.springer.com/article/10.1007/s10755-009-9130-3).
8) Rieckmann M. Future-Oriented Higher Education: Which Key Competencies Should Be Fostered Through University Teaching and Learning? Futures. 2012; 44(2): 127-135. (Accessed 12 Feb

2017 http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S00163287 11002448).

9) Audretsch DB. From the entrepreneurial university to the university for the entrepreneurial society. The Journal of Technology Transfer. 2014; 39(3): 313-321. (Accessed 12 Feb 2017 http://link.springer. com/article/10.1007/s10961-012-9288-1).

10) Bainbridge WS, Roco MC. NBIC. In: Bainbridge WS, Roco MC (eds) Handbook of science and technology convergence. Springer, Berlin, 2016, pp209-226.

11) Roco MC, Bainbridge WS, Tonn B, Whitesides G. Convergence of knowledge, technology, and society: Beyond convergence of Nano-Bio-Info-Cognitive technologies. NSF/WTEC report 2013 (http://www.wtec.org/NBIC2/Docs/WTEC-Convergence%20of %20KTS-010814. pdf).

۱۲) وایسما، یوهان جی. دانشگاه نسل سوم و دانشگاه کار آفرین. ترجمه ایرج نبی‌پور. انتشارات دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی بوشهر، ۱۳۹۵.

۱۳) نبی‌پور، ایرج. نظریه رهیافت میان‌رشته‌ای در پزشکی. انتشارات دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی بوشهر، ۱۳۹۱.

۱۴) نبی‌پور، ایرج. دانشگاه نسل سوم در انقلاب صنعتی چهارم. انتشارات دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی بوشهر، ۱۳۹۷.

15) Roco MC, Bainbridge WS. The new world of discovery, invention, and innovation: convergence of knowledge, technology, and society. J Nanopart Res 2013; 15: 1946.

16) Bainbridge WS. Human-technology collaboration. In: Bainbridge WS, Roco MC (eds) Handbook of science and technology convergence. Springer, Berlin, 2016, pp363-376.

17) Bainbridge WS, Roco MC. Science and technology convergence: with emphasis for nanotechnology-inspired convergence. J

Nanopart Res 2016;18: 211.

18) Bainbridge WS. Citizen science. In: Bainbridge WS, Roco MC (eds) Handbook of science and technology convergence. Springer, Berlin, 2016, pp377-390.

19) Scassellati B, Tsui KM. Co-robots: Humans and robots operating as partners. In: Bainbridge WS, Roco MC (eds) Handbook of science and technology convergence. Springer, Berlin, 2016, pp427-440.

20) Bainbridge WS. Twenty-first century society. In: Bainbridge WS, Roco MC (eds) Handbook of science and technology convergence. Springer, Berlin, 2016, pp713-727.

21) Gorman ME. Boundary organizations. In: Bainbridge WS, Roco MC (eds) Handbook of science and technology convergence. Springer, Berlin, 2016, pp729-741.

22) Knowledge Corridor. (Accessed 12 Feb 2017 http://en.wikipedia.org/wiki/Knowledge_Corridor).

23) Tonn B, Stiefel D. The earth-scale system. In: Bainbridge WS, Roco MC (eds) Handbook of science and technology convergence. Springer, Berlin, 2016, pp533-544.

فصل پنجم

پیش‌نویسی برای نقشهٔ راه فناوری‌های همگرا در دانشگاه‌های علوم پزشکی جهت کسب مرجعیت علمی

نویسنده

دکتر ایرج نبی پور

مقدمه

شاید نخستین بار توجه جامعهٔ علمی بر اساس یافته‌های همایش ژوئن ۲۰۰۲ میلادی که توسط برنامهٔ پیشاهنگ نانوفناوری ملّی آمریکا برگزار گردید و نتایج آن به صورت گزارشی تحت عنوان «فناوری‌های همگرا برای بهبودی کارایی انسان» پیرامون همگرایی فناوری‌های نانویی، زیستی، اطلاعات و علوم شناختی (NBIC) توسط روکو و بین بریج[1] در سال ۲۰۰۳ میلادی انتشار یافت، به سوی این فناوری‌ها جلب شد. در این گزارش، از پردازنده‌های زیست نانویی[2]، خود پایشی تندرستی فیزیولوژیک و اختلال عملکردی، با به کارگیری ادوات کاشت نانویی[3]، روبوت‌های نانویی، گونه‌های گوناگون ارتباط شنیداری و بینایی بر پایهٔ سکوهای چندنمایی[4]، همچنین ایجاد سطح تماس (واسط) مغز با مغز، مغز با ماشین، خلق محیط‌های مجازی به صورت جغرافیا و محیط‌های مجازی رئالیستیک، به تفصیل بحث شده است. برای مثال، فناوری زیستی در پناه علوم شناختی می‌تواند سطح تماس برای انسان ایجاد کند که او بتواند فضاهای مجازی را با شدت هر چه بیشتر تجربه نماید. از این رو، این

[1] Roco & Bainbridge
[2] Nano-Bio Processors
[3] Nano Implant Devices
[4] Multimodal Platforms

فناوری‌های همگرا می‌توانند از مرزهای حس انسان گذر کرده و برای انسان در برخورد با محیط فیزیکی، سطح ارتباط جدیدی را خلق نمایند. این اندیشه‌ها پیرامون دستاوردهای فناوری‌های همگرا چنان انقلابی و شگفت‌آور بود که گروه ETC، بستهٔ فناوری‌های همگرا NBIC (نانو، بیو، انفو و شناختی[1]) را انفجار کوچک[2] نام نهاد. زیرا عناصر و بلوک‌های ساختمانی مانند بیت‌ها، اتم‌ها، نرون‌ها و ژن‌ها، چنان با یکدیگر در هم‌آمیختگی می‌یابند که شگفتی‌های برخاسته از مهبانگ[3] را در ذهن نقش می‌بندند[۳-۱].

انقلاب همگرایی، یک جابه‌جایی پارادایمی است، امّا نه آن جابه‌جایی پارادایمی در درون یک شاخه از علم که توماس کوهن آن را توصیف کرد. در حقیقت، همگرایی یک بازتفکر در این است که چگونه می‌توان پژوهش علمی را به گونه‌ای هدایت کرد که ما از گستره‌ای از دانش، از میکروب‌شناسی تا علوم رایانه‌ای و طراحی مهندسی، بهره‌مند گردیم. به زبان دیگر، انقلاب همگرایی، بر پیشرفت علمی ویژه‌ای خود را استوار نمی‌سازد بلکه جویای یک رهیافت یکپارچه جهت دستیابی به پیشرفت‌ها است. از این رو، همگرایی یک طرح و نقشه برای نوآوری است[۴].

بسیاری بر این باورند که نوآوری باز، و خلق بازارهای جدید از طریق فناوری‌های نوپدید و فناوری‌های همگرا می‌توانند بحران اقتصادی کنونی

---

[1] Cogno
[2] Little Bang
[3] Big Bang

را که در سراسر جهان وجود دارد، حل نمایند و به اقتصاد پویای نوین و توسعهٔ پایدار منتهی شوند[۵]؛ زیرا همگرایی در دانش و فناوری، این پتانسیل را دارد که راه‌حل‌هایی را برای بهبودی بهره‌وری اقتصادی، خلق صنایع، مشاغل و محصولات جدید، فراهم کرده و توان فیزیکی و شناختی انسان را فزونی داده و کیفیت پایدار برای زندگی را تضمین نماید[۶]. از این دیدگاه، همگرایی نه تنها به فزونی یافتن انسان راه می‌یابد بلکه به نیازها و تقاضاهای اجتماعی او نیز پاسخ داده و به خلق پسا انسان[1] توفیق می‌یابد[۷].

با چنین چشم‌اندازی، در همگرایی میان علوم زیستی، فیزیکی و دیجیتالی، ما انقلاب صنعتی نوینی را تجربه خواهیم کرد که به «انقلاب صنعتی چهارم» موسوم است که آذرخش‌های آن نه تنها در صنایع و فناوری‌های آینده بازتاب دارند بلکه بر ماهیت انسان از دیدگاه فردی، اقتصاد و جهان کسب و کار نیز فرود خواهند آمد[۸]. بر پایهٔ چنین اثرات شگرف در نتیجهٔ جابه‌جایی پارادایمی حاصل از همگرایی فناوری‌ها است که کشورهای پیشرفتهٔ جهان از دههٔ قبل برنامه‌های هماهنگ خود را برای دریافت سودمندی‌های فناوری‌های همگرا آغاز کرده‌اند. در کرهٔ جنوبی، به شکل وسواس گرایانه‌ای، با مفهوم همگرایی رو به رو گردیده و یک استراتژی ملّی هماهنگ شدهٔ مرکزی را برای هدایت همگرایی میان سازمان‌های پژوهشی و صنعت تدارک دیده است و در سال ۲۰۰۸، دولت

[1] Posthuman

کرۀ جنوبی، اولین طرح توسعۀ ملّی برای فناوری‌های همگرا را بنیان گذاشت که این سیاست همچنان ادامه دارد[۹].

خوشبختانه، در معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری ایران نیز مرکز راهبردی فناوری‌های همگرا تشکیل شده است که محور توسعۀ فناوری کشور را بر اساس فناوری‌های همگرا مورد نشانه قرار داده است. در فرهنگستان علوم پزشکی کشور، زیرگروه همگرایی در علوم پایۀ پزشکی تحت ریاست جناب آقای دکتر مسلم بهادری با حضور برجسته‌ترین صاحب نظران این حوزه، تشکیل گردیده است که تلاش می‌نماید یک سیر تحولی را در علوم پایۀ پزشکی کشور جهت پذیرش این پارادایم پرنفوذ، ترسیم نماید.

چهارچوب پیشنهادی برای تدوین نقشۀ راه حرکت به سوی فناوری‌های همگرا در علوم پایۀ پزشکی ایران برگرفته از چهارچوب مشترک نقشۀ راه ریچارد ای آلبرایت[1] است که ساختار این نقشۀ راه تلاش می‌کند پرسش‌های (چرا، چه، چگونه) را پاسخ داده و برنامۀ عملیاتی را برای «انجام کار» آشکار نماید[۱۰]. این چهارچوب شامل چهار گام است که هدف گام اول تعریف و بازکردن گسترۀ فناوری‌های همگرا است؛ در گام دوم مسیر حرکت فناوری‌های همگرا بر اساس ساختار و عناصر ترسیم می‌گردد؛ در گام سوم از مهم‌ترین فناوری‌هایی پرده‌برداری می‌شود که می‌توانند رقابت‌پذیری را در سطح بالا ابقاء نمایند؛ در گام چهارم، برنامۀ

[1] Richard E. Albright

عملیاتی و نظام سرمایه‌گذاری، ارائه می‌شود.

طرح پرسش عالمانهٔ چگونگی پذیرا شدن از پارادایم پرنفوذ فناوری‌های همگرا در علوم پایهٔ پزشکی و برگزاری نشست‌های علمی در زیرگروه همگرایی گروه علوم پایهٔ فرهنگستان علوم پزشکی جمهوری اسلامی ایران خود نشانگر اهمیت به سزای فناوری‌های همگرا در آیندهٔ پزشکی و ارائه خدمات کارآمد سلامت در سطح جامعه است. همانگونه که با گشایش دانشکدهٔ پزشکی جان هاپکینز در سال ۱۸۹۳ جهان دچار انقلابی در پزشکی نوین شد و این دانشکده با ادغام آموزش علوم پایه و علوم آزمایشگاهی در بالین برای نخستین بار در جهان، آیندهٔ آموزش پزشکی را برای قرن بیستم ترسیم کرد و موجب شکوفایی علوم پزشکی و بالینی و کشفیات مرزشکن در علوم تجربی گردید، بی‌شک نیز یکپارچه‌سازی فناوری‌های همگرا و حرکت به سوی علوم میان‌رشته‌ای در علوم پایهٔ پزشکی، می‌تواند هم چون انقلابی نوین در عرصهٔ آموزش پزشکی در کشور خود را نشان دهد. فناوری‌های همگرا با گسترش فضای نوآوری باز و نیز ایجاد پویایی در اقتصاد زیستی[1]، دوران پسا امیکس پرهیجانی را در آیندهٔ پزشکی خلق خواهند کرد.

چنین است که پژوهش در فناوری‌های همگرا، از موضوعات داغ در راهبردهای رقابتی میان آکادمی‌ها و دانشگاه‌های بزرگ دنیا می‌باشد و سیطرهٔ هر گروه و مؤسسهٔ علمی در این گستره می‌تواند موجب چیرگی

[1] Bio-economy

و ربودن گوی مرجعیت علمی در دانش زیست پزشکی آینده شود.

هدف از این نوشتار، ارائه یک طرح پیشنهادی برای نقشهٔ راه حرکت به سوی فناوری‌های همگرا در علوم پایهٔ پزشکی ایران است. این نوشتار که می‌تواند با گشایش موضوعات عمده موجب غنای بحث در این زمینه شود، راه را برای گفتمان نقادانه و عقلایی باز می‌نماید و از این رو، دانشگاه‌های علوم پزشکی کشور نه تنها می‌توانند در هنگامهٔ پیش‌رقابتی این فناوری‌ها ورود نمایند بلکه خواهند توانست به گستره‌های داغ و جنجالی نهفته در هر کدامیک از موضوعات فناوری‌های همگرا نیز چنگ انداخته و بدین سان در کسب مرجعیت در معنای عام و خاص آن تلاش نموده و آبشار پژوهش‌های بنیادین را در قالب فرارشته‌ای، دنبال نمایند.

روش کار

در تدوین بخش نقشهٔ فناوری در این نقشهٔ راه (گام سوم)، فناوری‌های بحرانی که می‌توانند در قالب فرارشته‌ای به زایش ایده‌های نوین و کسب مرجعیت در علوم پزشکی منتهی گردند، مورد مطالعه قرار می‌گیرند. اساس این بخش حاصل مطالعات پروژهٔ اروپایی CONTECS و بررسی اسناد بالا دستی توسعهٔ علمی و فناوری ملّی شامل نقشهٔ علمی کشور در حوزهٔ سلامت و سیاست‌های کلان سلامت جمهوری اسلامی ایران، آنالیز ابرروندهای سلامت و آیندهٔ پزشکی، نقشهٔ علمی بنیاد علمی سلامت آمریکا (NIH) و پروژه‌های میان‌رشته‌ای انستیتوهای وابستهٔ آن

و نیز نقشهٔ راه تدوین یافتهٔ وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی جهت حرکت به سوی دانشگاه نسل سوم است.

شکل ۲۹: چهارچوب نقشهٔ راه چهار گامی آلبرایت

گام اول: گستره و تعریف فناوری‌های همگرا

همگرایی یک رهیافت حل مسئله است که از مرزهای رشته‌ای عبور می‌کند و دانش، ابزارها و شیوه‌های تفکراتی پیرامون زندگی، علوم

سلامت، فیزیکی، ریاضیات، علوم محاسبه‌ای، رشته‌های مهندسی و فراتر را یکپارچه می‌سازد تا چهارچوب صناعی جامعی را جهت رویارویی با چالش‌های علمی و اجتماعی که در هم‌کنش‌گاه (محل تلاقی) گستره‌های چندگانه وجود دارند را خلق نماید. با یکپارچه‌سازی این گستره‌های متنوع در یک شبکه از مشارکت‌ها، همگرایی، نوآوری را از علوم پایه تا کاربردهای ترجمانی تحریک می‌کند. در واقع، همگرایی زمین حاصلخیزی را برای همکاری‌های نوین فراهم می‌آورد که ذی‌نفع‌ها و شرکاء را نه تنها از بخش دانشگاهی بلکه در سطح ملّی، صنعت، آزمایشگاه‌ها و بیمارستان‌ها و چیدمان‌های بالینی تا پیکره‌های سرمایه‌گذاری، درگیر می‌نماید[۱۱].

هم اکنون، جهان در حال تجربه کردن بنیان‌های انقلاب صنعتی چهارم است. انقلابی که بر روی همجوشی و همگرایی فناوری‌ها است. این حرکت به سوی انقلاب صنعتی چهارم که خود را به شکل یک ابرروند نشان داده است، موجب شده است که خطوط میان فناوری‌های فیزیکی، دیجیتالی و بیولوژیکی محو شوند. در حقیقت، دیجیتالی شدن، ستون فقرات انقلاب صنعتی چهارم است که به واسطهٔ آن همگرایی فناوری‌ها و رشته‌های علوم روی داده و دانش‌ها و فناوری‌های نوینی، در این گذار پدیدار می‌شوند که نمونه‌های آن‌ها را می‌توان در هوش مصنوعی، واقعیت افزودهٔ مجازی، اینترنت اشیاء (IOT)، خودروهای خودران، پهپادها، چاپ سه بعدی، نانوفناوری، زیست فناوری، علوم مواد پیشرفته، ذخیره‌سازی

انرژی و رایانش کوانتومی مشاهده کرد. خود این فناوری‌ها موجب یکپارچه‌سازی سیستم‌های "سایبری - فیزیکی - بیولوژیکی" می‌شوند[۱۲].

در علوم زیستی نیز دانش خلق یافته با فرایند همگرایی می‌تواند در موارد زیر خود را نشان دهد:

۱) *درک سامانه‌های بیولوژیک پیچیده مانند دستگاه عصبی و به کارگیری درک حاصله از آن‌ها جهت طراحی درمان‌های نوین پزشکی*

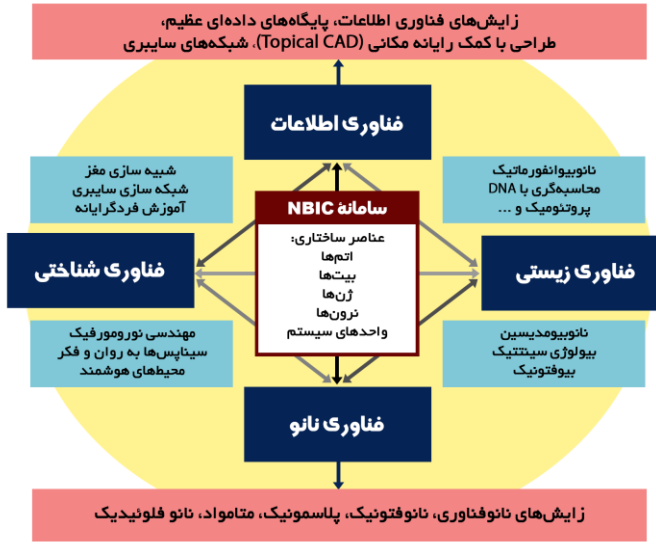
۲) *بهبودی پیامدهای بیماران از طریق یکپارچه‌سازی مدیریت دانش و پزشکی فرادقیق*[1]

۳) *ایجاد انقلاب در ساخت از طریق پیشرفت‌هایی مانند چاپ سه بعدی*

۴) *خلق سوخت‌های زیستی نوین و بهبودی در سامانه‌های ذخیره‌سازی انرژی*

۵) *پرداختن به نیازهای جهانی جهت تأمین غذای ایمن در شرایط تغییرات اقلیمی[۱۱].*

[1] Precision Medicine



شکل ۳۰: ابزارهای بنیادی/ پلتفورم NBIC و پژوهش‌های زایشی از هر کدامیک از این فناوری‌ها (زیستی - اطلاعاتی، نانویی و شناختی)

مطالعات جدید نشان داده‌اند که همگرایی فناوری‌ها می‌تواند توسعه‌هایی چشمگیر را در مبارزه با سرطان، دمانس و بیماری‌های سالخوردگی، بیماری‌های عفونی و گستره‌ای از چالش‌هایی که بر سلامت فشار می‌آورند را ایجاد کند؛ زیرا هم اکنون آشکار شده است که با همگرایی فناوری‌ها، پیشرفت‌هایی شگرفی در ارائه فناوری‌های تصویربرداری فرادقیق، به کارگیری فناوری نانو در تشخیص بیماری‌ها و رهایش دارو، خاموش‌سازی ژن‌های سرطانی و بازساخت بخش‌های آسیب دیدهٔ بدن و پرده برداری از پیچیدگی‌های بیماری‌های مزمن، روی خواهند داد.

اگر همگرایی را ماحصل مشارکت شیوه‌ها و ایده‌های شیمی‌دانان، فیزیک‌دانان، دانشمندان علوم رایانه‌ای، مهندسین، ریاضی‌دانان و دانشمندان علوم زیستی در گستره‌های چندگانه و صنایع بنگریم آنگاه این انجام یکپارچه‌سازی در بینش‌ها و رهیافت‌های در رشته‌های متمایز علمی است که مفهوم همگرایی را شکل می‌دهد[۱۳]. در این مرحله بر اساس این تعاریف، همگرایی در حدّ نهایت فعالیت‌های میان‌رشته‌ای قرار دارد؛ یعنی آنچه که در رخنمودهای انقلاب صنعتی چهارم مشاهده می‌کنیم. در حقیقت، در همگرایی که تم اصلی انقلاب صنعتی چهارم است، فناوری‌ها یکدیگر را تشدید می‌کنند؛ به گونه‌ای که همجوشی میان فناوری‌ها، در گستره‌های فیزیکی، دیجیتالی و بیولوژی روی می‌دهد.

این گداختگی و همگرایی فناوری‌ها، گستره‌ای از تغییرات بنیان برافکن را در زمینه‌های اقتصادی، اجتماعی، فردی و محیط کار به وجود می‌آورند که «گزینش عنوان انقلاب صنعتی چهارم» برای توصیف این تغییرات بنیان برافکن مناسبت می‌یابد[۸]. بر اساس چنین ابرروندی که بر جهان علم، سیاست و جامعه فرود می‌آید، می‌توان انتظار داشت که به سرعت و با گستردگی بی‌انتهایی، نیازهای جامعه و مردم و بازار نیز تحولات شگرفی را شاهد باشند. به زبان دیگر، در این شرایط و فضای آکنده از ظهور فناوری‌های پیچیده برخاسته از همگرایی فناوری‌ها، ما خواهیم دید که نیازهای بازار و مشتریان به گونه‌ای خواهند بود که موجب

کشش[1] در فناوری‌های همگرا می‌گردند. از سوی دیگر، جریان نوآوری‌ها و خلق فناوری‌های نوپدید در همگرایی چنان پرمحصول خواهد بود که با خلق این فناوری‌های برخاسته از همگرایی، نیازهای جدیدی در بازار پدیدار خواهند شد؛ به گونه‌ای که فناوری‌های همگرا می‌توانند به آن‌ها خدمت رسانی کنند هر چند که این نیازها خود زایش یافته از فشار[2] دست‌آوردهای فناوری‌های همگرا بوده‌اند.

از این رو می‌بینیم که نه تنها با مکانیسم بازار کشش بلکه با ساز و کار فشار فناوری‌های همگرا، نیازهای جدیدی در بخش بازار و اقتصاد پدید خواهند آمد که موجب رشد و شکوفایی و سرعت یابی حرکت پرشتاب همگرایی خواهند شد.

چنین است که در یک بازار سرشار از رقابت، گسترده شدن حلقه‌های همگرایی می‌تواند در سامان یابی جامعهٔ دانایی[3] نقش اساسی را ایفا نماید. از این رو در جوامع اروپایی، پروژه‌های پیشاهنگ پژوهشی برای فناوری‌های همگرا در قالب فعالیت‌های آینده پژوهانهٔ ملّی و برنامه‌های تخصیص بودجه‌ای، جایگاه رفیعی را به خود اختصاص داده‌اند[۱۴].

هم اکنون، در بنیاد سلامت ملّی آمریکا (NIH) به عنوان بزرگترین نهاد پژوهشی جهان، حداقل ۲۰ درصد از بودجهٔ پژوهشی به پژوهش‌های فناوری‌های همگرا تخصیص داده شده است. در می ۲۰۱۶ نیز بنیاد ملّی

[1] Pull
[2] Push
[3] Knowledge Society

علوم آمریکا (NSF)، پژوهش‌های همگرا را در قالب یکی از نُه «ایدهٔ بزرگ برای آیندهٔ» برای آیندهٔ این بنیاد اعلام کرده است. وریلی[1] که در حلقهٔ علوم زیستی گوگل بود در حال توسعه و به کار گیری فناوری‌های همگرا جهت «نقشه‌بندی» بدن انسان سالم است که هدف آن تا آنجایی که امکان‌پذیر باشد، پیش‌بینی آغاز بیماری‌ها و همچنین توسعهٔ درمان‌های فردگرایانه[2] بر اساس داده‌های بیولوژیکی، ژنتیکی، رفتاری و محیطی و شناخت مارکرهای زیستی برای برآورد حساسیت فرد به بیماری‌های گوناگون است.

شرکت‌های رایانه‌ای و نرم‌افزاری غول جهان مانند اپل، IBM و مایکروسافت نیز نوآوری‌های همگرایانه‌ای را مورد حمایت قرار می‌دهند که بتوانند علوم اطلاعاتی، تصویربرداری و حسگرها را ترکیب نمایند. تا بدین گونه سلامت و بیماری مورد پایش و ردیابی قرار گیرد، به نظام‌های مراقبت‌های سلامت بیمارستان‌ها و شرکت‌های بیمه‌ای کمک شود تا هزینه‌های خود را کاهش دهند و نیز در جمع آوری ژرف و طولانی مدت داده‌ها پیرامون شرکت کنندگان در کارآزمایی‌های بالینی یاری‌رسانی شود.

در سطح آکادمیک نیز مشاهده می‌نماییم که یک روند گسترده و ژرف در ادغام آموزش اصول همگرایی و داده‌های بزرگ در برنامه‌های جامع آموزش دانشگاهی در حال انجام است که بسیاری از نمونه‌های

[1] Verily
[2] Personalized

آن‌ها در دانشگاه‌های بزرگ، به اشکال متنوع، ظهور یافته‌اند[۱۳].

سازمان همکاری‌های اقتصادی و توسعه (OECD) که گزارشی در سال ۲۰۰۸ فراهم آورده بود تصمیم گرفت که کمیته‌ای را برای همگرایی ایجاد کند؛ هر چند که در اروپا در سال ۲۰۰۴ یک گروه بسیار عالی‌رتبه از خبرگان، گزارشی را تحت عنوان «فناوری‌های همگرا برای جامعهٔ دانایی اروپایی»[1] (CTEKS) تولید کرده بود. واژهٔ همگرایی در برنامهٔ چهارچوب هفتم اتحادیه اروپا نیز به کار برده شده است و در فعالیت‌های نهفته در قالب Horizon 2020 نیز مثال‌های برجسته‌ای از همگرایی را می‌توان یافت کرد[۹].

در هر صورت، هم اکنون مسلم شده است که همگرایی، یک جهان نوین از اکتشاف، نوآوری و فرصت‌های به کارگیری را از طریق تئوری‌های، اصول و شیوه‌های ویژه جهت پیاده‌سازی در گستره‌های پژوهش، آموزش، تولید و دیگر فعالیت‌های جامعه، ارائه می‌دهد.

با به کار گیری یک رهیافت جامع با اهداف مشترک، همگرایی مستولی شدن بر محدوده‌های موجود انسان جهت دستیابی به شرایط برنامهٔ بهبود یافته جهت کار، یادگیری، سالخوردگی، سلامت شناختی و فیزیکی را جستجو می‌کند[۱۵]. از این رو، «همگرایی دانش و فناوری برای سودمندی جامعه» (CKTS) به عنوان قلب فرصت جهت پیشرفت در قرن بیست و یکم معرفی شده است[۱۶].

[1] The European Knowledge Society

دو توسعهٔ بنیان برافکن در علوم زیستی طیّ ۵۰ سال گذشته روی داده است؛ یکی انقلاب اول که انقلاب سلولی - ملکولی بوده است و دیگری انقلاب ژنومیک. در حقیقت، فضای کنونی به سوی انقلاب سوم در علوم زیستی در حرکت است که همان انقلاب همگرایی است. باور دانشمندان بر این است که در ترکیب شدن دانش مهندسی و علوم فیزیکی با علوم زیستی، به ویژه پیشرفت‌های دو انقلاب اخیر در بیولوژی سلولی - مولکولی و ژنومیک، باید منتظر درخشش آذرخش‌های آینده در پیشرفت علوم و ایجاد مرزشکنی‌ها در دانش بود[۴].

ماحصل این همگرایی یعنی روند همجوشی و یکپارچه‌سازی فناوری‌های برتر با علوم زیستی، نوید دهندهٔ در دسترس بیشتر قرار گرفتن مراقبت‌های سلامت برای مشتریان، کاهش هزینه‌ها و خطاهای مراقبت‌های بهداشتی و پزشکی، میل نمودن پزشکی به سوی خدمات سلامت فردگرایانه و در نهایت بهبودی در پیامدهای سلامت و کارآمدی خدمات سلامت خواهد بود[۱۷].

اکنون که به اهمیت چشمگیر گسترهٔ همگرایی و تعریف فناوری‌های همگرا، همچنین پیش‌ران‌های علمی و اجتماعی آن‌ها، ابرروند انقلاب صنعتی چهارم و پیامدهای بنیان برافکن این انقلاب بر سطح ارائه خدمات سلامت و بهبودی در مراقبت‌های بهداشتی - پزشکی و پیشرفت در علوم زیستی و سلامت پی بردیم، در بخش بعدی به مسیر پژوهشی نقشهٔ راه که شامل «ساختار و عناصر» نقشهٔ راه است، می‌پردازیم.

گام دوم: مسیر (ساختار و عناصر) همگرایی

روند غالب در مجامع آکادمیک، حرکت به سوی انجام پژوهش به صورت فرارشته‌ای یا میان‌رشته‌ای است. نظریه‌پردازان معاصر همانند کلین و نیوول، رهیافت میان‌رشته‌ای را چنین توصیف کرده‌اند:

"مطالعات میان‌رشته‌ای به صورت یک فرایند پاسخ به یک پرسش، حل مسئله و پرداختن به موضوعی است که در ماهیت چنان گسترده و یا پیچیده می‌باشد که نمی‌توان به اندازهٔ کافی با یک رشته یا تخصص به آن پرداخت".

در رهیافت میان‌رشته‌ای، نه تنها بر روی یک پروژهٔ مشترک کار می‌شود (مانند آنچه که در رهیافت چند رشته‌ای انجام می‌شود) بلکه یک در هم تنیدگی و یکپارچگی نیز در روش‌ها، تئوری‌ها و مفاهیم رشته‌های گوناگون انجام می‌گردد تا درک ژرفی از الگوهای سیستم‌های پیچیده و نیز فرایند در هم تنیدگی به دست آید. دانش و فناوری امروز، به چند دلیل، به رهیافت میان‌رشته‌ای نیازمند است:

الف) پیچیدگی درونی طبیعت و جامعه

ب) تمایل به کاوش مسائل پژوهش پایه‌ای در سطح مشترک رشته‌ها

ج) نیاز به حل مسائل پیچیدهٔ اجتماعی

د) نیاز به خلق بینش‌های انقلابی و فناوری‌های زاینده

بنیاد ملّی سلامت آمریکا (NIH)، به عنوان بزرگترین نهاد پزشکی جهان، بهترین پروژه‌های پیشاهنگ را برای آغاز برنامه‌های میان‌رشته‌ای

در انستیتوهای تحت نظارت خود به اجرا در آورده است و بسیاری پروژه‌های پژوهشی میان‌رشته‌ای را در قالب کنسرسیوم‌های میان‌رشته‌ای، جهت حل مسائل پیچیده و غامض سلامت و بیماری، سامان داده است که به پاره‌ای از آن‌ها در زیر اشاره می‌شود.

۱) کنسرسیوم بر پایهٔ سیستمی جهت طراحی و مهندسی عضو[1]

۲) کشف دارو بر پایهٔ ژنومیک انستیتو براد[2]

۳) دانش سالمندی[3]

۴) کنسرسیوم مهندسی ژنوم شمال غربی

۵) کنسرسیوم سرطان - باروری[4] *نگهداشت باروری زنان*

۶) کنسرسیوم فنومیکس[5] *عصب - روانپزشکی*

۷) انستیتو پژوهشی عصب - درمان شناسی

۸) کارگروه پژوهش‌های چاقی در جنوب غربی

۹) کنسرسیوم پژوهشی میان‌رشته‌ای پیرامون استرس، خود کنترلی و اعتیاد [۱۸]

بی‌شک، حرکت به سوی پژوهش‌های میان‌رشته‌ای یک روند است که در دانشگاه‌های کشور نیز از دههٔ گذشته حضور خود را در قالب پروژه‌ها و مراکز تحقیقاتی میان‌رشته‌ای (هر چند انگشت شمار) نشان

[1] sysCODE
[2] Broad
[3] Geroscience
[4] Oncofertility
[5] Phenomics

داده است؛ امّا باید همانگونه که در بخش پیشین نیز به آن اشاره شد، تأکید ورزیده شود که همگرایی در ورای حوزهٔ میان‌رشته‌ای جای دارد و در حقیقت همگرایی یک شکل گسترش یافته از پژوهش میان‌رشته‌ای است.

دانشمندان فعال در حوزهٔ فناوری‌های همگرا به این واقعیت با قلب خود دست یافته‌اند که در همگرایی علوم فیزیکی، زیستی و دیجیتالی (انقلاب صنعتی چهارم)، هر کدامیک از این شاخه‌های علوم می‌تواند در هنگامی که به حدّ کمال همگرایی می‌رسد از حوزهٔ فکری، ایده‌ای و ابزاری دیگر شاخهٔ علم بهرهٔ بی‌نهایت را کسب کند و بدین سان حل مسائل پیچیده در جهان آکنده از پیچیدگی و پاسخ به سؤالات بی‌شمار در حال پدید، انجام گیرد. هر چند که همگرایی و پژوهش میان‌رشته‌ای بسیار به یکدیگر نزدیکی دارند (تا حدی که به جای یکدیگر نیز در ادبیات سیاست علمی استفاده می‌شوند) امّا همان گونه که یادآوری گردید باید به همگرایی در فراتر از حوزهٔ میان‌رشته‌ای نگریسته شود.

در حقیقت، همگرایی از پژوهش میان‌رشته‌ای گذر می‌کند و به فراتر از همکاری چنگ می‌اندازد.

> "همگرایی، یکپارچه‌سازی رشته‌ها و فناوری‌های از لحاظ تاریخی متمایز از یکدیگر است که به صورت یک کل وحدت یافته تجلی می‌یابد و بدین سان به شکل بنیادین فرصت‌های نوینی را برای علوم زیستی و پزشکی خلق می‌گردد"[۱۳].

همگرایی در این تعریف یک شاهراه برای نوآوری است. توسعه در فناوری اطلاعات، مواد، تصویربرداری، فناوری نانو، اپتیک، فیزیک کوانتومی همراه با پیشرفت‌ها در محاسبه‌گری، مدل‌سازی و شبیه‌سازی، علوم فیزیکی را متحول کرده‌اند. این روندها هم اکنون آغاز به ایجاد تحول در علوم زیستی نموده‌اند[۱۳]. با این توصیف از این روندها، آشکار می‌گردد که حرکت به سوی همگرایی از مسیر میان‌رشته‌ای گذر می‌کند و به خلق فناوری‌های همگرا می‌انجامد. با وجود لمس چنین روند نیرومندی در محافل آکادمیک ایران، امّا چالش‌هایی نیز نمایان شده‌اند. نخست آن که اعضاء هیئت علمی دانشگاه‌ها در اتمسفر میان‌رشته‌ای رشد نیافته‌اند و بسیار محصور در قالب‌های رشته‌ای خود می‌باشند. از سوی دیگر، دانشگاه‌های علوم پزشکی پس از جدا شدن از دانشگاه‌های علوم، از بسیاری از رشته‌های فیزیکی به دور مانده‌اند و چنانچه یکپارچه‌سازی علوم زیستی، فیزیکی و دیجیتالی اولین قدم در راه همگرایی برای تجلی فناوری‌های همگرا باشند، این گسست خود را به شکل مانعی سترگ، نمایان خواهد نمود.

عنصر غالب در ساختار نقشهٔ راه پیشنهادی حرکت به سوی همگرایی، تشکیل گروه‌های میان‌رشته‌ای در سطح دانشکده‌ها در بین بخش‌های علوم پایه پزشکی با حضور خبرگان بالینی از بخش‌های درمان و ارائه خدمات سلامت است که گاهی ریخت‌شناسی این گروه‌ها از مرز

دانشکده‌ای نیز گذر نموده و سیمای میان دانشکده‌ای[1] را به خود می‌گیرد.

چنین گروه‌های میان‌رشته‌ای می‌توانند بر اساس پروژه‌های میان‌رشته‌ای که در فراسوی خود خلق فناوری‌های همگرا را نوید می‌دهند و توسط اعضاء گروه گزینش می‌شوند، تشکیل شوند. از این رو، در هنگامهٔ گذار به همگرایی و میان‌رشته‌ای می‌توان از چنین عناصر ساختاری (یعنی سازماندهی به گروه‌های میان‌رشته‌ای) بدون ایجاد هزینهٔ مضاعف برای ایجاد مراکز تحقیقاتی جدید یا بخش‌های نوین، بهره برد. بی‌شک، در مواقعی این گروه‌های میان‌رشته‌ای (که عنصر غالب ساختار همگرایی هستند) می‌توانند با یکدیگر یکپارچه شوند و ساختارهای تیمی را جهت حل مسائل پیچیده که نیاز به رهیافت و ابزارهای گسترده‌تری را دارند، تشکیل دهند.

چنانچه در دانشکده‌ای مرکز تحقیقاتی از جنس فناوری‌های NBIC داشته باشد، با توجه به ماهیت میان‌رشته‌ای هر کدامیک از این مراکز، شکل دیگری از همگرایی را می‌توان برای چنین موارد متصور شد؛ به این صورت که برای مثال مرکز زیست فناوری با مرکز تحقیقاتی نانوفناوری و یا یکی دیگر از فناوری‌های NBIC، یک هستهٔ همگرایی را تشکیل دهند. این هسته‌های همگرایی می‌توانند در قالب ساختاری دیگر، با گروه‌های پژوهشی میان‌رشته‌ای فوق‌الذکر، یکپارچه شوند و یا شبکه‌سازی انجام دهند.

برای برآمدن بر چالش دیگر یعنی جدا شدن دانشگاه‌های علوم پزشکی

[1] Cross-Faculty

از علوم، می‌توان در چهارچوب‌های عملیاتی که در بخش چهارم این نوشتار به آن‌ها می‌پردازیم، اعضایی نیز از هیئت علمی دانشگاه‌های علوم در گروه‌های میان‌رشته‌ای به عنوان مهمان و یا همکار پذیرفته شوند و در حل مسائل پیچیده و به اشتراک گذاری ایده و اتخاذ رهیافت یکسان از پتانسیل‌های آن‌ها بهره‌مند شد. در نهایت، در مسیر حرکت به سوی همگرایی، می‌بایست یکپارچه‌سازی علوم زیستی با علوم فیزیکی، مهندسی، ریاضی، رایانه‌ای، شیمی و حتی علوم اجتماعی و هنر، انجام گیرد.

بدون تردید، در این گروه‌های میان‌رشته‌ای، حضور پژوهشگران پسادکترا، دکتری و حتی فوق‌لیسانس نیز بسیار ضروری می‌باشد. در شکل دهی به این گروه‌ها یا هسته‌های «میان‌رشته‌ای - همگرا»، پژوهشگران مراکز تحقیقاتی نیز نقش به سزایی خواهند داشت.

بر اساس پژوهشی که در میان ۲۵ دانشگاه برتر آمریکایی که به طور میانگین ۱۰۰ مرکز تحقیقاتی را دارا بوده‌اند، انجام گردیده است، مشخص شد که حرکت به سوی گذار از پژوهش‌های رشته‌ای به فرارشته‌ای، شدت یافته است[۱۱]. همچنین بر اساس پژوهش میدانی انجام شده، آشکار شده است که در دانشگاه‌هایی که به سوی دانشگاه نسل سوم گام بر می‌دارند، عمدهٔ پژوهشگران بیان نموده‌اند که آن‌ها بیشترین زمان خود را با همکاران دانشگاهی از دیگر دانشکده‌ها (تا با اعضاء دانشکدهٔ خود) سپری می‌کنند[۱۹].

در یک چشم‌انداز آینده‌نگرانه، با چنین حرکت به سوی همگرایی،

بخش‌ها و دانشکده‌هایی که به شکل سنتی در قالب رشته‌های به لحاظ تاریخی متمایز از هم، تا کنون شکل گرفته‌اند، رخت بر خواهند بست و به جای آن‌ها، در دانشگاه‌های نسل سوم، انستیتوهای پژوهشی همگرا پدیدار خواهند شد[۱۲].

در پاره‌ای از دانشگاه‌های برتر دنیا، چنین تغییرات بنیادین و ریشه‌ای شکل گرفته است و ساختار سازمانی آن‌ها به گونه‌ای متحول شده‌اند تا مفهوم همگرایی را به شکل عنصری بنیادین، پذیرا باشند. برای مثال، در دانشگاه ایالتی آریزونا، تقریباً تمام بخش‌های آکادمیک موجود را منحل نمودند و به جای آن‌ها ۲۳ دانشکدهٔ جدید که در فراتر از رشته‌های قالب یافتهٔ سنتی هستند، ایجاد کردند (مانند انستیتوهای فرا[1]، طراحی زیستی و سامانه‌های سازگارمند پیچیده). هدف از این تلاش‌ها، خلق اکوسیستمی جدید جهت تقویت خلق دانش در فضایی آکنده از همگرایی با گذر از ساختارهای بر پایهٔ بخش بوده است. یا در دانشگاه استانفورد که ۱۸ انستیتو میان‌رشته‌ای را ایجاد کرده است (مانند Bio-X) می‌توان چنین روندی را رصد کرد[۱۱].

در طرح پیشنهادی در نقشهٔ راه حرکت به سوی همگرایی در علوم پایهٔ پزشکی ایران، ما از مدل دوم که همان سامان‌دهی به گروه‌های میان‌رشته‌ای و هسته‌های همگرایی است برای دوران گذار استفاده می‌کنیم. چنین رهیافتی نیز در غالب کشورهای پیشرفته برای گذار به

[1] Beyond

همگرایی، گزینش شده است[۱۱و۱۳].

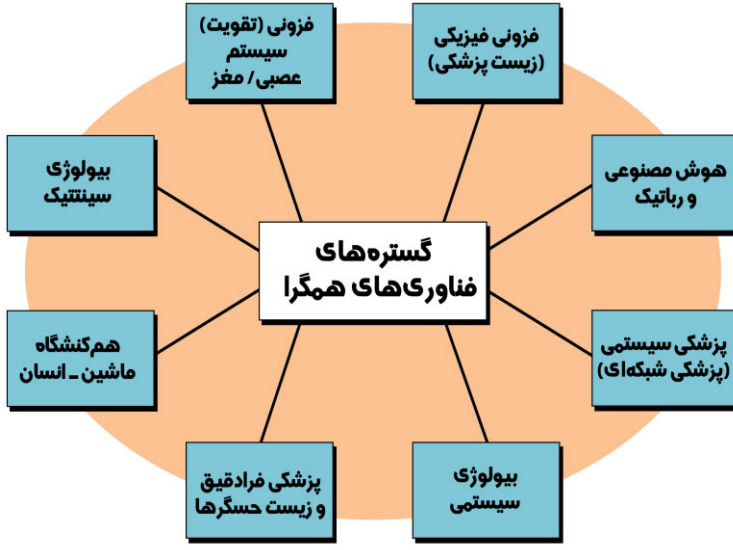
گام سوم: نقشهٔ راه فناوری

سومین گام از تدوین نقشهٔ راه به سوی فناوری‌های همگرا، تصمیم‌گیری پیرامون طراحی نقشهٔ فناوری است؛ بدین گونه که چه فناوری‌هایی مهم‌ترین هستند تا گزینش شوند؟ چگونه می‌توان پیش‌ران‌ها را با فناوری‌ها و سیر تکاملی آن‌ها پیوند داد و در نهایت حوزه‌های سرمایه‌گذاری بر فناوری‌های چند نسلی[1] جهت نگهداشت سطح رقابت‌پذیری مورد شناسایی قرار می‌گیرند. یعنی در اینجا می‌بایست چشم‌انداز رقابتی و نقشهٔ راه را تا حد عناصر فناورانه آن ترسیم نمود.

پیش از ورود به بحث ترسیم نقشهٔ راه فناوری جهت تدوین نقشهٔ راه فناوری‌های همگرا، یادآوری این نکتهٔ مهم ضروری است که هنوز تفاهمی در سطح ادبیات سیاست علمی جهان پیرامون این که چه گستره‌هایی از فناوری و پژوهش و تحقیق در زیر چتر همگرایی قرار می‌گیرند، وجود ندارد و هنوز چندان آشکار نیست که کدامیک از این فناوری‌ها را می‌توان برای همگرایی بحرانی نامید. این خود برخاسته از این موضوع است که هنوز در تعریف واژهٔ فناوری‌های همگرا، یک اجماع در سطح جامعهٔ علمی، وجود ندارد؛ برای مثال، از دیدگاه مکتب آمریکایی، همگرایی در گسترهٔ فناوری‌های NBIC نهفته است و از دید این مکتب، یک سینرژیسم از

[1] Multi-generation

ترکیب فناوری‌های نانو، زیستی، شناختی و اطلاعاتی روی می‌دهد؛ امّا در اروپا، بر اساس نظر گروه‌های خبرگان سطح بالا[1] (HLEG)، مفهوم همگرایی در تنوعی گسترده از حوزه‌های علمی و فناوری، قابل طرح و کاربرد است و این پتانسیل برای هر حوزهٔ فناوری وجود دارد که به همگرایی میل کند و از این رو، در اروپا، گذارهٔ «فناوری‌های همگرا برای جامعه دانایی اروپا (CTEKS)»، تدوین گردید[۲۰].



شکل ۳۱: نقشهٔ راه فناوری برای علوم پایهٔ پزشکی ایران (گستره‌های فناوری‌های همگرا و رهیافت‌هایی که پتانسیل زایش فناوری‌های همگرا را دارند.)

[1] The High Level Expert Groups

در سناریوی آمریکایی، فرض بر این استوار است که این فناوری‌ها به حدّ اشباع رسیده‌اند و آن‌ها باید با یکدیگر امتزاج بیابند تا راه پرشتاب رشد را طی کنند. امّا در سناریوی اروپایی، بر گستره‌های کاربردی که همگرایی ممکن است خود را نشان دهد، تمرکز اصلی وجود ندارد بلکه بر آن پافشاری می‌شود تا گستره‌هایی از فناوری را یافت نمایند که همگرایی می‌تواند به عنوان یک پیشاهنگ و ضربان‌ساز جهت ایجاد مرزشکنی در دانش و نوآوری، نقش خود را ایفا نماید.

در طراحی نقشهٔ راه فناوری برای علوم پایهٔ پزشکی ایران، توجه اصلی ما بر رویکرد اروپایی استوار است. به زبان دیگر، ما بر موضوعات، گستره‌ها، رهیافت‌ها و حوزه‌های پزشکی که پر ارزش هستند و می‌توانند توسعهٔ فناوری را در گستره‌های مورد نظر برانگیخته نمایند، تمرکز می‌یابیم.

به زبان دیگر، در تدوین این نقشهٔ فناوری، اصرار ما بر این است فناوری‌های بحرانی که می‌توانند با ترکیب رهیافت‌ها و شیوه‌های گوناگون از رشته‌ها و حوزه‌های مهندسی و علمی متفاوت، به زایش نوآوری در گسترهٔ زیست پزشکی و علوم سلامت منتهی کردند، شناسایی شوند. برای یافت این فناوری‌های بحرانی که خود نه تنها زایش یافتهٔ فعالیت‌های همگرایی بوده بلکه همگرایی‌های فراوانی را نویدگر هستند، از مطالعات بیکرت و همکاران در قالب پروژهٔ اروپایی CONTECS استفاده می‌کنیم ولی به آن بسنده نیز نکرده و با نگاه به چشم‌انداز اسناد بالادستی توسعهٔ علمی و فناوری ملّی شامل نقشهٔ علمی کشور در حوزهٔ سلامت و

سیاست‌های کلان سلامت جمهوری اسلامی ایران، بررسی ابرروندهای حاکم بر فضای سلامت و آیندهٔ پزشکی، رصد کلان رشد و تحول فناوری‌های حوزهٔ سلامت، نقشهٔ علمی بنیاد ملی سلامت آمریکا (NIH) و پروژه‌های میان‌رشته‌ای انستیتوهای وابستهٔ آن و نیز نقشهٔ راه تدوین یافته وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی جهت حرکت به سوی دانشگاه‌های نسل سوم، فناوری‌های همگرا و رهیافت‌های پارادایمی پزشکی که بر آیندهٔ پزشکی تأثیرگذار هستند، مورد شناسایی قرار می‌دهیم.

در حقیقت، این فهرست از فناوری‌ها، خود خوشه‌ای از فعالیت‌های میان‌رشته‌ای است که تاکنون انجام شده‌اند و در گذار تکاملی خود به سوی همگرایی و خلق فناوری‌های دیگر، سیر می‌کنند. از این رو، هر کدامیک از فناوری‌های این فهرست می‌تواند سرلوحهٔ کار و نام گروه و هسته‌های میان‌رشته‌ای باشد که شرح آن در بخش پیشین، ارائه گردید؛ زیرا همچنان تأکید می‌نماییم، که پژوهش‌های میان‌رشته‌ای و توسعهٔ آن می‌تواند در قالب فناوری‌های همگرا، روی دهند.

بی‌شک، در گزینش این فهرست، پتانسیل کاربردهای آن‌ها، همکاری‌های میان‌رشته‌ای و انباشت رو به فزونی پروژه‌های تحقیقاتی مؤثر بوده‌اند. به زبان دیگر، با مطالعهٔ پروژه‌های علمی در حوزهٔ سلامت و علوم زیست پزشکی، می‌توان آن‌ها را خوشه بندی نمود و در یکی از این فناوری‌ها جا داد.

گروه بیکرت با همین تمرین خوشه‌سازی[1]، به هشت گسترهٔ فناوری دست یافته است[۲۰]. در تدوین نقشهٔ فناوری برای علوم پایهٔ پزشکی ایران، هر چند از این هشت گستره، خوشه‌چینی می‌نماییم ولی به دلیل رخداد پارادایم پزشکی فرادقیق[2] و پزشکی سیستمی[3]، از این رهیافت‌ها که خود حاوی بسیاری فناوری‌های همگرا هستند نیز بی‌نهایت استفاده خواهیم کرد.

ما برای یافت فناوری‌های بحرانی، (همانگونه که توصیف گردید) نه تنها از کارهای گروه بیکرت بهره جستیم بلکه از رهیافتی آینده پژوهانه در آیندهٔ پزشکی و فناوری‌های وابسته، به شیوهٔ آنالیز روند استفاده کردیم. با نگریستن به ابرروندها به گستره‌هایی از فناوری‌ها (به پایین بنگرید) دست یافتیم زیر که آکنده از فرصت‌های خلق فناوری‌های همگرا هستند. تفاوت بنیادین فهرست ما با فهرست بیکرت که برای پروژهٔ اروپایی CONTECS فراهم آمده بود آن است که فهرست ما میل به علوم زیست پزشکی دارد، فهرست بیکرت عمدتاً از فناوری‌های همگرا در حوزهٔ زیست پزشکی تأثیر می‌پذیرد و از نظر این گروه، ضربان‌ساز و پیشاهنگ جریان همگرایی، فناوری‌های فزونی در سیستم عصبی و فیزیکی و نیز بیولوژی سینتتیک می‌باشد. زیرا درک مغز، فزونی دادن به آن، مدل‌سازی و دستکاری مغز می‌تواند اثرات چشمگیری را در توسعهٔ کاربردهای فناوری

[1] Clustering exercise
[2] Precision medicine
[3] Systems medicine

اطلاعات داشته باشد و از سوی دیگر سخت‌افزارهای رایانه‌ای نوین و تکنیک‌های فرآوری داده‌ها در این رایانه‌ها به فهم بهتر فرایندهای مغزی کمک می‌کنند[۲۰].

۱) فزونی (تقویت) سیستم عصبی/ مغز

در سال‌های اخیر، پیشرفت‌های شگفت‌انگیز علوم اعصاب به سلول‌ها، مسیرهای عصبی، سامانه‌ها و رفتار متمایل گردید. بر پایهٔ این پیشرفت‌ها در علوم اعصاب، پرزیدنت اوباما در دوم آوریل ۲۰۱۳، آغاز برنامهٔ پیشاهنگ مغز[1] (BRAIN) را کلید زد. اوباما در سخنرانی تاریخی خود، دانشمندان را فراخواند تا تصویر دینامیکی از مغز در عمل را فراهم آورند تا بر پایهٔ آن بتوان درک نمود چگونه اندیشه می‌کنیم، چگونه می‌آموزیم و چگونه به یاد می‌آوریم. برنامهٔ پیشاهنگ مغز، هم‌سنگ برنامهٔ پیاده شدن انسان بر روی کرهٔ ماه یا پروژهٔ ژنوم انسانی است.

طراحان این برنامه پیش‌بینی کرده‌اند که پنج سال دوم برنامه، هنگامهٔ درخشش فناوری‌های نوین و مرزشکن در علوم اعصاب خواهد بود که مرزهای دانش اعصاب را در خواهند نوردید. این فناوری‌های همگرا زایش یافته از قلب این برنامه، برای هدایت توسعهٔ شیوه‌های تشخیصی و درمانی و حتی امکان درمان قطعی بیماری‌های نورولوژیک که بسیاری از افراد را ناتوان نموده‌اند، بسیار ضروری می‌باشد[۲۱]. در چشم‌انداز این

[1] Brain Research Through Advancing Innovative Neurotechnologies-BRAIN

فناوری همگرا، تحریک و تقویت مغز انسان با کمک محصولات دارویی، تغییرات ژنتیکی و ادوات تکنیکی مانند ایمپلنت‌ها یا پروتزهای عصبی برای آینده نهفته است. در این فناوری، افزایش حافظه، شناخت[1]، ساخت ساختارهای جایگزین مغز به عنوان امتداد حافظهٔ بیرونی[2]، دانلود کامل محتویات مغز انسان بر روی چیپ رایانه‌ای، هدف قرار گرفته‌اند[۲۰].

۲) هم‌کنش‌گاه[3] انسان - ماشین

هدف نهایی این گسترهٔ پژوهشی توسعهٔ هم‌کنش‌گاه‌هایی است که ارتباطات مستقیم میان مغز انسان و اندام‌های مصنوعی و نیز انسان‌ها، رایانه‌ها و دیگر ماشین‌ها را فراهم می‌آورد. این گستره‌ای از همگرایی میان فناوری اطلاعات، علوم رایانه‌ای، گستره‌هایی از علوم شناختی، روانشناسی، علوم مواد، مکانیک زیستی و مهندسی است[۲۰]. در چشم‌انداز آن می‌توان با کنترل ربات‌ها توسط اندیشه، بیماران فلج را قادر نمود تا بازوهای رباتیک را کنترل کنند. در واقع، دست‌آوردهای هم‌کنش‌گاه انسان - ماشین، نقش اساسی را در ربات‌ها و ماشین‌ها در کاربرد در عرصهٔ عمومی به ویژه جهت افراد سالمند و سالخورده که توانایی و یا دانش سخت‌افزاری و نرم‌افزاری ندارند، ایفا خواهد کرد[۲۲].

[1] Cognition
[2] External Memory
[3] Interface

۳) پزشکی فرادقیق و زیست حسگرها

در بیستم ژانویه ۲۰۱۵، باراک اوباما، رئیس جمهور آمریکا در سخنرانی سالانهٔ خود در سال میلادی ۲۰۱۵ در میان گردهمایی مشترک نمایندگان مجالس آمریکا، هدف از آغاز پروژهٔ پیشاهنگ پزشکی فرادقیق را چنین کلید زد *"جهت نیل به درمان بیماری‌هایی همچون سرطان، دیابت و فراهم آوردن امکان دستیابی به اطلاعات مورد نیاز فردی برای نگهداشت خود و اعضاء خانواده در شرایط سالم‌تر"* [۲۳]. در حقیقت، پزشکی فرادقیق، رهیافتی در پزشکی است که تفاوت‌های ژنی افراد، محیط زیست و شیوهٔ زندگی آن‌ها را مدنظر قرار می‌دهد و این هدف را با بازتعریف آگاهی ما از آغاز و پیشرفت، پاسخ درمانی و پیامدهای سلامت، از طریق اندازه‌گیری‌های دقیق ملکولی و عوامل محیط زیست و رفتاری که در سلامت و بیماری نقش دارند، فراهم می‌آورد.

بی‌شک، پیشرفت‌های فناوری‌های امیکس مانند ژنومیکس، فناوری‌های گردآوری داده‌ها و ذخیره‌سازی آن‌ها، آنالیز رایانه‌ای و کاربردهای سلامت فناوری تلفن همراه در طیّ دههٔ گذشته، رشد بی‌امان پزشکی فرادقیق را امکان پذیر نموده‌اند. به زبان دیگر، پزشکی فرادقیق در جستجوی آن است که این تغییرات فردی در سطح ژنوم، محیط زیست و الگوهای زندگی را برای شناسایی، درمان و پیشگیری بیماری، به کار ببرد. بنابراین، پزشکی فرادقیق، گستره‌ای از پزشکی است که تفاوت‌های ژنومی، میکروبیوم، محیط زیست، تاریخچهٔ خانوادگی و شیوه‌های زندگی

را برای تدوین شیوه‌های تشخیصی و راهبردهای درمانی ویژه هر فرد بیمار، مدّنظر قرار می‌دهد[۲۴].

از این رو، پزشکی فرادقیق، رهیافتی برای توسعهٔ فناوری‌ها در پزشکی آینده است. در فراگردی دیگر، پزشکی فرادقیق حاصل کنش همگرایی فناوری‌های همگرا است که در ده فناوری امیکس شناخته شدهٔ کنونی جای دارند[۲۴]، زیرا در پزشکی فرادقیق، تلاش می‌شود که الگوی GIS هر انسانی بر اساس چندین لایه اطلاعات که هر لایه با یکی از ده فناوری امیکس[1] که می‌شناسیم، ترسیم گردد. این امیکس‌های ده گانه از ژنومیکس تا فیزیوم، اکسپوزوم، فنوم و ترسیم نگار اجتماعی[2] را شامل می‌شوند.

همانگونه که مشاهده می‌شود، قلب تپندهٔ پزشکی فرادقیق، اطلاعات زیستی است که از طریق سامانه‌های گوناگون گردآوری می‌شوند که در این خصوص نقش زیست حسگرهای همراه و پوشیدنی و یا کاشتنی در بدن که داده‌ها و پارامترهای فیزیولوژیک تن آدمی را شامل اطلاعات فیزیکی، رفتاری و زیست محیطی را گردآوری نموده و به ساخت داده‌های بزرگ[3] می‌انجامند، بسیار حائز اهمیت می‌باشند.

تلفن‌های همراه هوشمند، نقش میانجی را در میان حسگرهای زیستی قابل پوشیدن و انسان برای پارامترهای فیزیولوژیک مانند تنفس،

[1] Omics
[2] Social/graph
[3] Big Data

دستگاه گردش خون، متابولیت‌های بدن و ژنوم انسان، بازی خواهند کرد[۲۳]. از این رو، ساخت و به کار گیری حسگرهای زیستی قابل پوشیدن، کاشتن و ثبت و نگارش داده‌های بزرگ، نویدگر فناوری‌های بسیار تحول برانگیز آینده در گسترهٔ زیست پزشکی است.

۴) بیولوژی سینتتیک

بیولوژی سینتتیک یک گسترهٔ پژوهشی نوپدید است که با خود انبوهی از امکانات و کاربردهای بالقوه را حمل می‌نماید و از آنجا که رشته‌های گوناگون را از مهندسی تا علوم پایه با یکدیگر در هم می‌آمیزد، بیشتر چنین می‌نماید که سیمای یک علم میان‌رشته‌ای را داشته باشد. در گزارش آکادمی سلطنتی مهندسی، بیولوژی سینتتیک را به صورت رشته‌ای که طراحی و مهندسی اجزاء[۱]، ادوات[۲]، سامانه‌ها[۳] بر پایهٔ بیولوژی را هدف قرار داده است، تعریف شده است[۳۲]. بر پایهٔ این تعریف، می‌توان بیولوژی سینتتیک را به صورت کاربرد اصول مهندسی در سطح اجزاء اساسی و پایهٔ «بیولوژی»، چکیده نمود.

از این دیدگاه، بیولوژی سینتتیک در واقع مهندسی بیولوژی است که چشم‌اندازهای مهندسی را در تمام سطوح سلسله مراتب ساختارهای بیولوژیک، از سطح ملکول‌های واحد تا کل سلول‌ها، بافت‌ها و ارگانیسم‌ها

[1] Parts
[2] Devices
[3] Systems

به کار می‌برد. از دیدگاه جوهری، بیولوژی سینتتیک می‌تواند طرح «سامانه‌های بیولوژیک» را به شیوه‌ای منطقی و سیستمی جلوه دهد[۲۵]. چنین می‌نماید که بیولوژی سینتتیک، دارای ویژگی میان‌رشته‌ای یا فرارشته‌ای است که در تقاطع میان بیولوژی، مهندسی شیمی، مهندسی برق، فیزیک و علوم رایانه‌ای قرار می‌گیرد. بیولوژی سینتتیک می‌تواند با خلق موارد بیولوژیک مشتری مدار، بر بسیاری از چالش‌های قرن بیست و یکم که انسان‌ها با آن‌ها رو در رو هستند، چیرگی یابد. این چالش‌ها، گستره‌های محیط زیست، انرژی، تولید غذا و سلامت را پوشش می‌دهند. شاید هیجان انگیزترین نقطهٔ بحث کاربرد بیولوژی سینتتیک در عرصهٔ پزشکی و تولید محصولات در گسترهٔ سلامت باشد. در این عرصه، با مهندسی شبکه‌های ژنی پیچیده، با هدف درمانی، بیولوژی سینتتیک در پی درمان بیماری‌های پیچیده، از سطح ریشه‌ای و درمان علائم بیماری‌ها و کمک به شناسایی مواد دارویی جهت افزایش تولید مواد زیستی فعال با توان درمانی می‌باشد. همچنین بیولوژی سینتتیک دارای پتانسیل ایجاد انقلاب در رهیافت‌های درمانی دقیق مانند ژن درمانی و سلول درمانی است. در آینده‌ای نزدیک، مدارهای سینتتیک به کارآزمایی‌های بالینی وارد خواهند شد[۲۶].

۵) بیولوژی سیستمی

بیولوژی سیستمی را شاید بتوان مترادف با تحلیل شبکه‌های بزرگی

که ویژگی‌های ژنوم‌های کامل، یا ویژگی‌های پروتئوم و اینترکتوم‌های[1] وابسته، نقشه بندی جامع و یکپارچه‌سازی عملکردی مسیرهای متابولیک، با ترکیبی از همهٔ این سیستم‌ها را در مقیاس‌های گوناگون سازمان بیولوژیک به تصویر می‌کشد، قلمداد نمود. به صورت عملی، بیولوژی سیستمی، مطالعهٔ رفتار سازمان و فرایندهای بیولوژیک پیچیده در سطوح مولکول‌های تشکیل دهندهٔ آن سیستم است. بیولوژی سیستمی این کار را از طریق اندازه‌گیری‌های کمّی، مدل‌سازی، ساخت و ساز و نیز تئوری پردازی، به انجام می‌رساند.

بسیار مهم است که توجه نماییم که در منظر بیولوژی سیستمی، ابعادی از فرایندهای بیولوژیک که تا کنون ما به آن توجه نشان نداده‌ایم در معرض دید ما قرار می‌گیرد. برای نیل به این هدف، ما به آنالیز جامع و کمّی عملکردهای ملکولی و برهم‌کنش آن‌ها به شیوه‌ای نیاز داریم که ابعاد فضایی، زمانی و تناوبی آن‌ها را ترسیم نماید. جهت برآورد این نیاز، به گردآوردن پژوهشگران و دانشمندان گستره‌های متنوعی از علم مانند بیولوژی مولکولی، بیوشیمی، پروتئومیکس، ژنومیکس، فیزیولوژی، فیزیک، ریاضیات، آمار و علوم کامپیوتر، در میان علوم دیگر، محتاج هستیم[۲۸و۲۷].

۶) پزشکی سیستمی (پزشکی شبکه‌ای)

امروزه به دانش بیولوژی و در نتیجه پزشکی به صورت دانش اطلاعات

[1] Interactome

نگریسته می‌شود. اطلاعات در دو بخش نهفته هستند، بخشی از اطلاعات در ژنوم و بخشی دیگر نیز از محیط زیست ارگانیسم بر می‌خیزد. علم نوپای بیولوژی سیستمی[1] در پی آن است که یک رهیافت جامع‌نگر، یکپارچه و هولستیک ایجاد کند. چنین تغییر پارادایمی در دانش بیولوژی موجب ایجاد تغییر در پارادایم فلسفهٔ پزشکی گردیده است و پزشکی آینده به سوی پزشکی سیستمی[2] گام بر می‌دارد. پزشکی سیستمی در حقیقت فرزند زایش یافته از تفکر بیولوژی سیستمی است که با رهیافتی سیستمی به سلامت و بیماری نظر می‌کند. در فلسفهٔ پزشکی سیستمی، شبکه‌های پیچیده‌ای وجود دارند که بر یکدیگر برهم‌کنش دارند. این شبکه در یک سطح می‌تواند ملکول‌های زیستی باشند که در مسیرهای بیولوژیک[3] با یکدیگر به صورت بسیار پیچیده‌ای برهم‌کنش دارند.

خود این شبکه‌های برهم‌کنشی، تشکیل شبکه‌ای بزرگ شامل گسترهٔ متنوعی از ملکول‌های زیستی می‌دهد که با شبکهٔ بیماری‌ها برهم‌کنش دارد. در شبکهٔ بیماری‌ها، هر بیماری از بیماری‌های دیگر اثر پذیرفته و بر آن‌ها اثر القاء می‌کند و در حقیقت، در این شبکهٔ تنیده، هر بیماری نقش یک گره با پیوندهای پیچیده را ایفا می‌کند و با دیگر بیماری‌ها بر هم کنش دارد. خود این شبکهٔ بزرگ با شبکه‌ای بزرگ از عوامل زیست - محیطی، اقتصادی و اجتماعی در بر هم کنش است و همهٔ

[1] System Biology
[2] System Medicine
[3] Biological Pathways

این شبکه‌ها در این سه سطح، تشکیل شبکه‌ای از شبکه‌ها[1] را می‌دهند. بر اساس تئوری مفهومی پزشکی سیستمی، بیماری برخاسته از پیامد «شبکه‌های آشوب زده با بیماری» در ارگان دچار بیماری است که از یک یا تعدادی شبکه‌های آشوب زده با بیماری به بسیاری دیگر (با پیشرفت بیماری) سرایت می‌کند. این آشوب‌های بیماری اولیه ممکن است ژنتیکی (مانند جهش‌ها) و یا محیطی (مانند ارگانیسم‌های عفونی) باشند. این آشوب، اطلاعاتی را که در این شبکه‌ها به صورت دینامیک بیان می‌شوند تغییر داده و این تغییر در جریان دینامیک اطلاعات می‌تواند پاتوفیزیولوژی بیماری را توصیف نموده و رهیافت‌های نوینی را در تشخیص و درمان ارائه دهد.

در این چشم‌انداز به بیماری، مطالعات پاتوژنز بیماری که در سطح شبکه از طریق رهیافت سیستمی انجام می‌پذیرند، می‌توانند راهبردهای بهتری را جهت تشخیص و درمان، از طریق هدف قرار دادن این «شبکه‌های آشوب‌زده با بیماری» عرضه نمایند. برای نگریستن در این پیچیدگی‌ها و یافت شبکه‌های آشوب‌زده با بیماری و فراهم آوردن اطلاعات زیستی، ما نیاز به فناوری‌های بس پیچیده و برتر همانند آنالیز تک سلولی، تصویربرداری‌های ملکولی، توالی‌یابی ژنوم، فناوری‌های پروتئومیک و ترانس‌کریپتومیک و دیگر فناوری‌های امیکس داریم تا بتوانیم در کمّی‌سازی اطلاعات بیولوژیک و رازگشایی از شبکه‌های

[1] Network of Networks

بیولوژیک ما را یاری نمایند. با این فناوری‌ها، طیّ چند سال آینده، هر فردی با ابری حاوی میلیاردها داده‌های بیولوژیک نقطه‌ای احاطه خواهد شد که برای تبدیل آن‌ها به دانش به فناوری‌ها و ابزارهای ریاضیاتی و محاسباتی پیشرفته نیاز خواهیم داشت و این همان است که امروزه آن را تبدیل داده‌های بزرگ به دانش[1] می‌نامند[۲۸].

آشکار است که پزشکی سیستمی نه تنها عرصه‌ای از برهم‌کنش‌های ژنومیک، زیست محیطی و تعیین کنندگان اجتماعی بیماری را به شکل نظام‌مندی پیوند می‌دهد و تصویری زنده از درک سه بعدی بیماری را فراهم می‌آورد بلکه جولانگاهی بی‌انتها را برای خلق و گسترش فناوری‌های همگرا برای یکپارچه‌سازی زیست پزشکی با رهیافت زیست اجتماعی[2] می‌آفریند که موجب نه تنها آفرینش نوآوری‌های فناورانه بلکه نوآوری‌های اجتماعی می‌شود و در یک تصویر کلی، پزشکی سیستمی دوران پسا امیکس آیندهٔ پزشکی را به تصویر می‌کشد[۲۸و۲۹].

تا اینجا تلاش شد که گستره‌هایی که آکنده از فناوری‌های همگرا هستند و می‌توانند بر حوزهٔ زیست پزشکی اثر گذارند، ترسیم شود. در گزارش سال ۲۰۱۶ از سوی MIT که با مشارکت اعضاء هیئت علمی و دیگر پژوهندگان و اندیشمندان از بسیاری از دانشگاه‌ها، سازمان‌ها و

[1] Big Data to Knowledge
[2] Biosocial

بنگاه‌ها ارائه گردید، چهار رهیافت همگرایی و فناوری‌های نهفته در آن‌ها را ترسیم نمود. در حقیقت، این گزارش مثال‌هایی از استراتژی‌های همگرایی ویژه که می‌تواند بر نسل آیندهٔ تشخیص و درمان اثر گذارند و بنابراین آیندهٔ سلامت را شکل دهند، فراهم آورد. این چهار رهیافت همگرایی شامل:

۱) تصویربرداری

۲) نانوفناوری

۳) پزشکی بازآفرینشی[1]

۴) پزشکی داده‌های بزرگ و فناوری اطلاعات سلامت می‌باشند[۱۳].

این فناوری‌های همگرا، نویدگر توسعهٔ مرزهای پژوهش و فشار بر پزشکی جهت حرکت به سوی رهیافت فردگرایانهٔ بیشتر است به گونه‌ای که اثرات جانبی داروها و شیوه‌های درمانی، کاهش بیابند[۴].

گام چهارم: طرح عملیاتی و راهبرد سرمایه‌گذاری

در این گام که آخرین مرحله از چهارچوب چهار بخشی نقشهٔ راه است، طرح عملیاتی شامل شناسایی عوامل کلیدی توسعهٔ عملیات، منابع مورد نیاز، ریسک‌ها و استراتژی سرمایه‌گذاری بر فناوری‌ها، ارائه می‌شود. طرح عملیاتی پیشنهادی برای دانشگاه‌های علوم پزشکی ایران که در

[1] Regenerative Medicine

اینجا ارائه می گردد با دو فرض عدم نیاز به ایجاد ساختارهای موازی و یا جدید در قلب ساختارهای کنونی دانشکده‌ای و نیز حرکت به سوی میان‌رشته‌ای تدوین گردیده است. از این رو، ساختار پسندیده بر پایهٔ چنین فرضیاتی همان ساختار تشکیل گروه‌های میان‌رشته‌ای با اهداف همگرایی جهت انجام پژوهش در فناوری‌های همگرا است. ممکن است در دانشگاه‌هایی، مراکز و یا پژوهشکده‌هایی با ویژگی‌های میان‌رشته‌ای و عملکرد در عرصهٔ پژوهش‌های همگرا را داشته باشد، ارائه چنین طرح عملیاتی پیشنهادی از وزیر در ورای چنین ساختارهایی است و به زبان دیگر به شکل عام، یک طرح جامع را برای همهٔ دانشگاه‌ها، با هر سطح از خبرگی و رتبهٔ پژوهشی، ارائه می‌دهد.

۱) گروه‌های میان‌رشته‌ای

بنیاد ملّی سلامت آمریکا در باز طراحی نقشهٔ علمی خود برای مرزشکنی در دانش با مشارکت بیش از ۳۰۰ تن از برجسته‌ترین چهره‌های آکادمیک، محور را بر پژوهش میان‌رشته‌ای گذاشته است و در این طرح یکی از عمده‌ترین راهبردهای آن تشکیل تیم‌های پژوهشی و انستیتوهای میان‌رشته‌ای است[۳۰].

بر اساس چنین مدلی و ساختار توصیف شده در گام دوم نقشهٔ راه، تشکیل یک تا سه گروه میان‌رشته‌ای در هر دانشکده پیشنهاد می گردد. این گروه‌ها بر اساس پروژه‌های پیشاهنگ پژوهش همگرا، تدوین شده

توسط گروه‌های علوم پایه با مشارکت اعضاء هیئت علمی دانشگاه‌های مادر (علوم) از بخش‌های شیمی، فیزیک، زیست شناسی، علوم رایانه‌ای، مهندسی، مواد و ریاضیات، تشکیل می‌گردند.

ممکن است عنوان گروه با پروژه برگرفته در گسترهٔ فناوری‌های همگرا همسان باشد.

بی‌شک در گذر زمان و مشارکت دانشجویان پسادکتری، دکتری و فوق‌لیسانس در پروژهٔ هسته‌ای گروه، زیرپروژه‌های دیگر رشد و نمو خواهند کرد و به گستردگی کار و حتی ممکن است به خلق فناوری‌های همگرا جدیدی منتهی شوند.

ساختار گروه چون که در ورای سازمان‌بندی بوروکراتیک سنتی است می‌تواند از مرز دانشکده نیز عبور نموده و اعضایی را از دیگر دانشکده‌ها در خود بپذیرد[1]. با توجه به ساختار دینامیک و سیال این گروه‌های میان‌رشته‌ای، ممکن است با پایان یافتن پروژه، خود گروه به گروه و یا گروه‌های دیگر نیز دگردیسی بیابد و مرزهای جدیدی و گستره‌های نوینی را زیر چتر خود قرار دهد. همچنین این گروه‌ها می‌توانند با مراکز تحقیقاتی فناوری‌های NBIC امتزاج بیابند و به پژوهش‌های پرخطر در فناوری‌های امیکس بپردازند.

[1] Cross-Faculty

۲) کمیتهٔ همگرایی

با توجه به چند جانبه‌گرایی، تنوع عملیاتی، مرزشکنی، گام‌های نوآورانه و چهارچوب‌های نوین در حوزهٔ کار تیم‌های میان‌رشته‌ای و نیاز به حمایت از فعالیت‌های آن‌ها، یک توصیهٔ کلیدی، ایجاد کارگروه همگرایی؛ در سطح دانشگاه است. این کارگروه با مشارکت معاونین آموزشی، پژوهشی، خبرگان همگرایی از درون دانشگاه و بیرون دانشگاه، به ویژه بخش صنعت (ترجیحاً صنایع با فناوری‌های برتر)، سیاست‌گذارانی از سطح جامعهٔ محلی آشنا و علاقمند به گستره‌های سیاست علمی، تشکیل می‌گردد.

کارگروه، عمل هماهنگی بین گروه‌های میان‌رشته‌ای، اتخاذ استراتژی پژوهشی در زمینهٔ توسعهٔ همگرایی، شناسایی فرصت‌های نویدگر جهت پژوهش و اولویت سنجی در گستره‌های سلامت جهت ورود به مباحث همگرایی را دنبال می‌نماید و از این رو نام «کمیتهٔ مشاوره‌ای خبرگان همگرایی» شاید زیبندهٔ این کارگروه باشد[۱۳]. ایجاد این کمیته همچنین می‌تواند در ایجاد اکوسیستم همگرایی در سطح دانشگاه و جامعه نقش حیاتی را ایفا نماید.

۳) سرمایه‌گذاری بر پایهٔ گستره‌های فناوری‌های همگرا

توصیهٔ کلیدی دیگر در برنامهٔ عملیاتی، استقرار یک نظام پایدار بودجه‌ای جهت حمایت از فعالیت‌های همگرایی است. هم اکنون در بنیاد

ملّی سلامت آمریکا (NIH) حداقل ۲۰ درصد از پژوهش‌های آن به سوی پژوهش در فناوری‌های همگرا سوق یافته است[۱۳]. مؤسسه ملّی توسعهٔ تحقیقات علوم پزشکی ایران (نیماد) می‌تواند نقش مرکزی را در هدایت پروژه‌های میان‌رشته‌ای و همگرا در سطح دانشگاه‌ها داشته باشد. در کمیته‌های این مؤسسه (همانند آنچه که در NIH روی می‌دهد) یک اختصاص حداقل ۲۰ درصدی از بودجه بر روی پژوهش در فناوری‌های همگرا، می‌تواند انجام شود.

برای ساماندهی این نظام بودجه‌بندی می‌بایست، با حضور خبرگان همگرایی، مسائل کلیدی که حل آن‌ها نیاز به رهیافت‌های همگرایانه دارند مورد شناسایی قرار گیرند؛ تا از این طریق، قالب اولویت‌ها و گستره‌های پژوهشی در فناوری‌های همگرا مشخص شوند. سپس مؤسسه نیماد با پذیرش طرح‌های پژوهشی از سوی گروه‌های میان‌رشته‌ای فوق‌الذکر در دانشگاه‌ها، نسبت به تخصیص گرانت مربوطه اقدام نماید. شرط پذیرش چنین پروژه‌هایی می‌تواند مشارکت حداقل دو دامنه یا مرکز تحقیقاتی در فرایند اجرای آن می‌باشد.

در یک فراگرد کلی، نیماد با شناسایی گستره‌های بحرانی فناوری‌های همگرا (به گام سوم در بالا بنگرید) و پیشنهاد پروژه‌های ملّی، نسبت به پشتیبانی سرمایه‌ای از پروژه‌های ارائه شده از گروه‌های میان‌رشته‌ای که مورد تصویب کمیتهٔ همگرایی دانشگاه قرار گرفته‌اند، اقدام می‌نماید. از سوی دیگر، در سطح دانشگاه‌ها نیز گرانت‌های

میان‌رشته‌ای جهت حمایت از پروژه‌های فناوری‌های همگرا می‌بایست برقرار گردد و نسبت به تحریک انجام چنین پروژه‌هایی با حمایت‌های سرمایه‌ای دانشگاه، اقدامات اصولی انجام پذیرد. در چنین رویکردی نیز دانشگاه‌ها تا حد ۲۰ درصد از بودجه پژوهشی خود را می‌توانند به گستره‌های پر اولویت فناوری‌های همگرا، اختصاص دهند.

در هر صورت، به یاد داشته باشیم که سرمایه‌گذاری عقلایی بر روی فناوری‌های همگرا، پژوهش در علم و فناوری را تحریک نموده، رقابت‌پذیری اقتصادی را تقویت کرده و به نیازهای جامعهٔ رو به رشد، آینده پاسخ دهد.

۴) تدوین پروژه‌های کلان پیشاهنگ

نه تنها در سطح مؤسسهٔ ملّی توسعهٔ تحقیقات علوم پزشکی ایران (نیماد) بلکه در سطح دانشگاه‌ها نیز با مشارکت معاونت‌های پژوهشی و آموزشی، پروژه‌هایی کلان در گستره‌های نوید دهنده برای همگرایی مانند پزشکی فرادقیق و زیست حسگرها، پروژهٔ تصویربرداری و نقشه بندی مغز، بیولوژی سینتتیک و غیره می‌بایست تعریف شوند و پژوهشگران گروه‌های میان‌رشته‌ای را تشویق نمایند که بر اساس این پروژه‌های پیشاهنگ، پروژه‌های خود را تدوین کنند.

تدوین این پروژه‌های پیشاهنگ می‌بایست بر دو پایه استوار باشد یکی آن که با هماهنگی با مسئول بستهٔ مرجعیت علمی دانشگاه که در

بستهٔ تحول آموزشی دانشگاه مستقر است، پروژه‌ها باید در راستای مرجعیت دانشگاه، با تأکید بر فناوری همگرا تعریف شوند، به زبان دیگر، یک تخصص‌گرایی هوشمندانه در راهبرد پژوهشی در این زمینه اتخاذ می‌گردد.

دوّم آن که با هماهنگی با مسئول بستهٔ حرکت به سوی دانشگاه نسل سوم باید از پتانسیل‌های تجاری‌سازی این کلان پروژه‌های پیشاهنگ، اطمینان حاصل شود و نسبت به ترجمان دانش از طریق ارتباط با دفاتر انتقال فناوری (TTO) دانشگاه، اقدامات لازم انجام گیرد.

۵) آموزش همگرایی و تربیت نسل جوان پژوهشگر میان‌رشته‌ای

افزون بر آموزش میان‌رشته‌ای، برای دانشجویان و اعضاء هیئت علمی، دستیابی به مهارت‌های کار تیمی و آشنایی با گستره‌های فناوری‌های همگرا که در سطح دانشگاه از سوی کمیتهٔ همگرایی ارائه می‌گردند، توصیه می‌شود. تربیت دانشجویان PhD پژوهشی، فلوشیپ و پزشک پژوهشگر ارشد در قلب پروژه‌های پیشاهنگ که به شکل ویژه بر روی تم‌های همگرایی تمرکز دارند، می‌تواند در خلق نسل آیندهٔ پژوهشگران میان‌رشته‌ای بسیار مؤثر باشد. در چنین فضایی، دانشجویان خود را محصور به یک بخش واحد دانشگاهی نمی‌بینند و در نتیجه دسترسی انعطاف‌پذیرتر نسبت به دیگران خواهند داشت، در چنین فضاهایی، بیولوژیست‌ها با مهندسین، دانشمندان علوم رایانه‌ای و

فیزیکدانان، می‌توانند اختلاط بیابند[۱۳].

همچنین فرصت‌های مطالعاتی اعضاء هیئت علمی به گونه‌ای مورد حمایت قرار گیرند که این پژوهشگران با مطالعه در گستره‌ای بیرون از کار کنونی خود بتوانند در بازگشت به دانشگاه بر روی گستره‌ای دیگر و یا حوزه‌ای وابسته به آن، به مطالعه و پژوهش بپردازند. این رهیافت که به Staybatical معروف است در برنامهٔ مسیرهای جدید بنیاد ملون[1]، در دست اجرا است[۱۳].

۶) مرکز دیده‌بانی فناوری‌های همگرا

توصیه می‌شود در هر دانشگاه حتی به صورت غیررسمی، یک مرکز رصد و دیده‌بانی برای پایش بلادرنگ و ارزیابی اثربخشی فناوری‌های بحرانی بنیان گذاشته شود. این مرکز دیده‌بانی می‌تواند خط دهندهٔ راهبردهای سرمایه‌گذاری بر روی پژوهش میان‌رشته‌ای مرزشکن با توان تجاری‌سازی بالا باشد.

این مرکز دیده‌بانی همچنین در هدایت پروژه‌های کلان پیشاهنگ و زیرپروژه‌ها، بسیار کمک کننده خواهد بود[۱۴]. بر پایهٔ همین دیده‌بانی فناوری‌های همگرا است که می‌توانیم رشد و نمو علوم پایه را در علوم پزشکی پیش‌بینی کرده و به زبان دیگر، به نگاشت آینده بپردازیم.

[1] Mellon Foundation

۷) جایزهٔ همگرایی

هدف از تأسیس جایزه‌ای تحت عنوان جایزهٔ پیشگامی در فناوری‌های همگرا، تشویق متفکرین و پژوهشگران خلاق و فراموش شده است تا ایده‌های نوآورانه و جذاب آن‌ها در فناوری‌های همگرا در حوزهٔ زیست پزشکی مورد پیگیری قرار گیرند. با در نظر گرفتن ماهیت منحصر به فرد این جایزه، کاندیداها تحت فرایند ارزیابی قرار می‌گیرند تا پژوهشگرانی که با احتمال بالا، رهیافت پیشگامانه‌ای را برای مسئله‌ای چشمگیر در گسترهٔ زیست پزشکی دنبال می‌کنند، شناسایی شوند. دریافت کنندگان جایزه نیز آزادی عقلانی بالایی را برای تعقیب ایده‌های خود در جهت‌های قابل پیش‌بینی و غیرقابل تصور، خواهند داشت[۳۰]. این جایزه می‌تواند در سطح دانشگاهی و ملّی، جایگاه داشته باشد. توصیه دیگر، اختصاص جایزه‌ای ویژه برای فناوری‌های همگرا در جشنواره‌های ملّی (مانند رازی، فارابی و خوارزمی) است.

۸) آزمایشگاه میان‌رشته‌ای

خوشبختانه در بسیاری از دانشگاه‌های علوم پزشکی، با حمایت معاونت محترم تحقیقات و فناوری وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی، نسبت به ایجاد و حمایت از آزمایشگاه‌های مرکزی[1] اقدام گردیده است که خود این آزمایشگاه‌ها می‌توانند با داشتن ماهیت میان‌رشته‌ای،

[1] Core

نسبت به توسعهٔ مشارکت، ایجاد همکاری و سینرژیسم میان پژوهشگران از مراکز و دانشکده‌های گوناگون اقدام کرده و انتقال کارآمد فناوری‌های برخاسته از پژوهش‌های همگرا را تسهیل نمایند. از سوی دیگر، وجود چنین آزمایشگاه‌هایی نسبت به خلق ایده و کار گروهی بر روی فناوری‌های همگرا، بسیار کارآمد هستند و برون‌ده آن‌ها، محصولات و خدمات جدیدی خواهند بود که از پژوهش‌های همگرا بیرون می‌آیند.

۹) ایجاد پلتفورم (سکو) فناوری‌های همگرا

راهبرد سکویی (پلتفورمی)، می‌تواند راهی عملی برای توسعهٔ نوآوری باز و توسعهٔ اکوسیستم نوآوری جهت آموزش و پژوهش در فناوری‌های همگرا باشد[۸]. به شکل عمومی، پلتفورم فناوری، مکانیسمی برای ایجاد وحدت در تلاش‌ها است تا راهبرد توسعه‌ای مشترکی ایجاد گردیده و در راه مسیر ویژه‌ای که علائق همهٔ شرکاء حفظ می‌گردد، گام برداشته شود. در حقیقت راهبرد، پلتفورمی ابزاری است که علائق شرکاء متنوع را در گسترهٔ خاصی از صنعت که هدف آن پرداختن به مسائل ویژهٔ عمومی و ملّی است، سازماندهی می‌کند[۳۱].

به شکل آشکار، سکوی فناوری، یک پلتفورم ارتباطی نوین است که مهم‌ترین پروژه‌های همگرایانه را از دیدگاه توسعه، تولید و تجاری‌سازی، از بخش‌های گوناگون فرآیند همگرایی، عرضه می‌دارد و بدین سان اولویت‌سنجی در گستره‌های نوآوری، خلق ارتباطات علمی جدید با بخش

صنعت، هماهنگی مکانیسم‌هایی برای پیاده‌سازی برنامه‌های بودجه‌ای در مشارکت‌های بخش خصوصی - عمومی، افزایش برهم‌کنش و ایجاد فرصت‌های همکاری، تسهیل حاکمیت و مدیریت راهبردی و درگیر نمودن همراه با مسئولیت‌پذیری شرکاء و به اشتراک‌گذاری ایده‌ها و ابزارها در فناوری‌های همگرا را میسر می‌سازد[۳۱و۸].

منابع

1) Parsons L, Watson J, Connolly P, et al. Improving Human Health and Physical Capabilities. Converging Technologies for Improving Human Performance: Springer; 2003: 179-273.
2) Doorn M. Converging Technologies. Study Centre for Technology Trends, STT 2006;71.
3) Roco MC, Bainbridge WS. Converging Technologies for Improving Human Performance: Integrating From the Nanoscale. JNR 2002; 4: 281-95.
4) The Third Revolution: The Convergence of the Life Sciences,. Physical Sciences, and Engineering. Massachusetts Institute of Technology. 2011. (https://www.aplu.org/projects-and-initiatives/research-science-and ... /MITwhitepaper. pdf)
5) Park HS. Technology convergence, open innovation, and dynamic economy. J. Open Innov. Technol. Mark. Complex. 2017, 3(4), 24.
6) EXECUTIVE SUMMARY 1 Convergence of Knowledge , Technology , and Society: Beyond Convergence of Nano-Bio-Info-Cognitive Technologies. 2013 (https://www.semanticscholar.org/paper/EXECUTIVE-SUMMARY-1-Convergence-of-Knowledge-%2C-%2C-%3A/f33e6611adac1ae37547299d799b7f210913cff2).
7) Andler D, Barthelmé S, Beckert B, et al. 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, Final Report, May 2008. (https://cordis.europa.eu/docs/publications/1243/124377001-6_ en. pdf).

۸) شواب، کلوس. انقلاب صنعتی چهارم. ترجمه دکتر ایرج نبی‌پور. انتشارات دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی بوشهر، ۱۳۹۶.

9) Convergence of Disciplines. WORKSHOP. BRUSSELS, 18 AND 19 SEPTEMBER 2014 (https://www.scienceeurope.org/wp-content/uploads/2015/12/Workshop_Report_Convergence_FINAL.pdf).

10) Albright RE. Roadmapping Convergence - Albright Strategy. (http://www.albrightstrategy. com/papers/Roadmapping_Convergence.pdf.).

11) National Research Council. Convergence: Facilitating Transdisciplinary Integration of Life Sciences, Physical Sciences, Engineering, and Beyond. The National Academic Press, Washington DC: 2014.

۱۲) نبی‌پور، ایرج. دانشگاه نسل سوم در انقلاب صنعتی چهارم. انتشارات دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی بوشهر، ۱۳۹۷.

13) Sharp P, Hockfield S. Convergence: The future of health. Science. 2017;10;355(6325): 589.

14) Nordmann A. Converging technologies: shaping the future of European societies. European Commission. Report 2004.

15) Bainbridge WS, Roco MC. Science and technology convergence: with emphasis for nanotechnology-inspired convergence. J Nanopart Res 2016;18: 211.

16) 16. Roco MC, Bainbridge WS. The new world of discovery, invention, and innovation: convergence of knowledge, technology, and society. J Nanopart Res 2013; 15: 1946.

17) Ellis V, Mayer M. The convergence of life sciences and high tech. Daily Journal Aug 27 2014.

۱۸) نبی‌پور، ایرج. نظریه رهیافت میان‌رشته‌ای در پزشکی. انتشارات دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی بوشهر، ۱۳۹۱.

19) Wissema, JG. Towards the third generation university: managing the university in transition. Edward Elgar Publishing, 2009.

20) Beckert, Bernd & Bluemel, Clemens & Friedewald, Michael. Visions and Realities in Converging Technologies: Exploring the technology base for convergence. Innovation 2007;20: 375-394.

21) Nabipour I, Assadi M. A scientific vision into the BRAIN Initiative, National Institutes of Health. Iran South Med J. 2015; 18 (2): 433-447

22) James Cannan J, Hu H. Human-Machine Interaction (HMI): A Survey. Technical Report: CES-508. School of Computer Science & Electronic Engineering. University of Essex (http: //citeseerx. ist. psu. edu/viewdoc/download?doi=10. 1. 1. 186. 1644&rep=rep1&type=pdf).

23) Nabipour I, Assadi M. Precision medicine, an approach for development of the future medicine technologies. Iran South Med J. 2016; 19 (1): 167-184.

۲۴) توپال، اریک. کولیس، پیتر. پزشکی فرادقیق، تألیف و ترجمه دکتر ایرج نبی پور. انتشارات دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی بوشهر، ۱۳۹۵.

25) Nabipour I. A Roadmap Draft for the Development of Synthetic Biology in I. R. Iran. Iran South Med J. 2017; 20 (5): 501-518Nabipour I. A Roadmap Draft for the Development of Synthetic Biology in I. R. Iran. Iran South Med J. 2017; 20 (5): 501-518.

۲۶) نبی‌پور، ایرج. فلسفه، اخلاق و سیاست در بیولوژی سینتتیک. انتشارات دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی بوشهر، ۱۳۹۷.

27) Hood L. Systems biology and p4 medicine: past, present, and future. Rambam Maimonides Med J. 2013 Apr 30;4(2): e0012.

۲۸) نبی‌پور، ایرج، اسدی، مجید. پزشکی آینده، پزشکی سیستمی، پزشکی P4. انتشارات دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی بوشهر، ۱۳۹۳.

29) Greene JA, Loscalzo J. Putting the Patient Back Together - Social Medicine, Network Medicine, and the Limits of Reductionism. N Engl J Med 2017;21;377(25): 2493-2499.

۳۰) نبی‌پور، ایرج. نقشهٔ علمی بنیاد ملّی سلامت آمریکا و اقتصاد دانایی محور. انتشارات دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی بوشهر، ۱۳۸۷.

31) Matyushenk I, Sviatukha I, Sahno A. PROSPECTS FOR GOVERNMENTAL SUPPORT OF CONVERGENT TECHNOLOGIES DEVELOPMENT IN THE WORLD AND UKRAINE. Advanced Science Journal. 2017. 10-24.

32) Synthetic Biology: scope, applications and implications. 2009. Royal Academy of Engineering. (Accessed 29 Oct 2017 at http://www.raeng.org.uk/publications/reports/ synthetic-biology-report).

.

Science and Technology Convergence

An Approach to the 3rd Generation University

ISBN:978-600-5032-96-3

دانشگاه علوم پزشکی
و خدمات بهداشتی درمانی بوشهر

بنیاد رشد و اندیشهٔ سازندگی
استان بوشهر

جمهوری اسلامی ایران
وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی
کلان منطقهٔ پنج

دانشگاه علوم پزشکی
و خدمات بهداشتی درمانی بوشهر
مرکز تحقیقات زیست فناوری دریایی خلیج فارس

جمهوری اسلامی ایران
وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی
معاونت آموزشی

پارک علم و فناوری
خلیج فارس

IRAMOT
انجمن
مدیریت فناوری و نوآوری
ایران - شعبه بوشهر