نشریه فرهنگ و ارتقای سلامت فرهنگستان علوم پزشکی
سال سوم، شماره اول، بهار ۹۸، صفحات ۶۵ تا ۷۹

پیش‌نویس نقشه راه فناوری‌های همگرا در دانشگاه‌های علوم پزشکی برای کسب مرجعیت علمی

نویسنده:
ایرج نبی‌پور[۱،۲]

چکیده

زمینه و هدف: فناوری‌های همگرا که حاصل گذار از مرز رشته‌ای و یکپارچه‌سازی ابزارها و روش‌های علمی در گستره‌ای از علوم سلامت، فیزیک، ریاضیات، علوم محاسبه‌ای، رشته‌های مهندسی است، نقش بی‌همتایی در رشد و توسعه پزشکی نوین و خلق رشته‌های جدید فراهم آورده‌اند. بی‌شک پیشگامی در فناوری‌های همگرا می‌تواند دانشگاه‌های علوم پزشکی کشور را در کسب مرجعیت علمی شتاب دهد.

روش کار: از چارچوب مشترک نقشه راه همگرایی پیشنهادی گروه راهبردی آلبرایت که شامل چهارگام است، برای تدوین نقشه راه فناوری‌های همگرا در دانشگاه‌های علوم پزشکی کشور استفاده شد. گام اول، تعریف و باز نمودن گستره فناوری‌های همگراست؛ در گام دوم، مسیر حرکت فناوری‌های همگرا براساس ساختار و عناصر ترسیم می‌شود؛ در گام سوم از مهم‌ترین فناوری‌هایی پرده برداری می‌شود که می‌توانند رقابت‌پذیری را در سطح بالا ابقاء کنند؛ در گام چهارم، برنامه عملیاتی و نظام سرمایه‌گذاری، ارائه می‌شود.

یافته‌ها: گستره‌های فناوری‌های همگرا در رهیافت‌هایی که پتانسیل زایش فناوری‌های همگرا را دارند شامل، فزونی فیزیکی (زیست پزشکی)، فزونی (تقویت) سیستم عصبی/مغزی، بیولوژی سینتتیک، هوش مصنوعی و رباتیک، هم‌کنشگاه ماشین ـ انسان، پزشکی سیستمی (پزشکی شبکه‌ای)، بیولوژی سیستمی، پزشکی فرا دقیق و زیست حسگرها هستند. در طرح عملیاتی و راهبرد سرمایه‌گذاری تشکیل گروه‌های میان رشته‌ای، کمیته همگرایی، آزمایشگاه‌های میان رشته‌ای، مرکز دیده‌بانی فناوری‌های همگرا، ایجاد پلاتفورم (سکو) فناوری‌های همگرا، جایزه همگرایی، تدوین پروژه‌های کلان پیشاهنگ در زمینه همگرایی، آموزش همگرایی و تربیت نسل جوان پژوهشگر میان رشته‌ای و سرمایه‌گذاری بر پایه گستره‌های فناوری‌های همگرا، باید مورد توجه قرار گیرند.

نتیجه‌گیری: در تدوین نقشه راه فناوری برای دانشگاه‌های علوم پزشکی باید بر ماهیت سیستمی پزشکی و بیولوژی در گستره پژوهش‌های زیست پزشکی و یکپارچه‌سازی امیکس‌های (omics) دهگانه در پزشکی فرادقیق، تأکید ورزید و همچنین به برهم کنش انسان-ماشین، هوش مصنوعی و رباتیک و کاربرد فناوری‌های امیکس در علوم اعصاب نیز توجه ویژه نشان داد تا بتوان در مرز دانش برای کسب مرجعیت علمی به رقابت پرداخت.

کلید واژه‌ها: آموزش پزشکی، برنامه‌ریزی آموزشی، دانشگاه‌ها، همگرایی

مقدمه

شاید نخستین‌بار توجه جامعه علمی براساس یافته‌های همایش ژوئن ۲۰۰۲ میلادی که توسط برنامه پیشاهنگ نانوفناوری ملی آمریکا برگزار شد و نتایج آن به‌صورت گزارشی تحت عنوان "فناوری‌های همگرا برای بهبودی کارایی انسان" پیرامون همگرایی فناوری‌های نانویی، زیستی، اطلاعات و علوم شناختی (NBIC) توسط روکو و بین بریج (Roco & Bainbridge) در سال ۲۰۰۳ میلادی انتشار یافت، به سوی این فناوری‌ها جلب شد. در این گزارش، از پردازنده‌های زیست نانویی[۳]، خود پایشی تندرستی فیزیولوژیک و اختلال عملکردی، با به‌کارگیری ادوات کاشت نانویی[۴]، روبوت‌های نانویی، گونه‌های گوناگون ارتباط شنیداری و بینایی بر پایه سکوهای چندنمایی[۵]، همچنین ایجاد سطح تماس (واسط) مغز با مغز، مغز با ماشین، خلق محیط‌های مجازی به‌صورت 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 کند. از این رو، فناوری‌های

۱. عضو پیوسته فرهنگستان علوم پزشکی جمهوری اسلامی ایران
۲. عضو گروه آینده‌نگاری، نظریه‌پردازی و رصد کلان سلامت

3. Nano-Bio Processors
4. Nano Implant Devices
5. Multimodal Platforms

[Downloaded from ijhp.ir on 2026-11-07]

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

انقلاب همگرایی، یک جابجایی پارادایمی است، اما نه آن جابجایی 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 شویم. به زبان دیگر، انقلاب همگرایی، بر پیشرفت علمی ویژه‌ای خود را استوار نمی‌سازد بلکه جویای یک رهیافت یکپارچه برای 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 را که در سراسر جهان وجود دارد، حل کنند و به اقتصاد پویای نوین و توسعه 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 کند(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 (Posthuman) 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 پایه چنین اثرات شگرف در نتیجه جابجایی پارادایمی حاصل از همگرایی فناوری‌ها است که کشورهای پیشرفته جهان از دهه قبل، برنامه‌های هماهنگ خود را برای دریافت سودمندی‌های فناوری‌های همگرا آغاز کرده‌اند. در کره جنوبی، به شکل وسواس گرایانه‌ای، با مفهوم همگرایی روبه‌رو شده و یک استراتژی ملی هماهنگ شده مرکزی را برای هدایت همگرایی میان سازمان‌های پژوهشی و صنعت تدارک دیده است و در سال ۲۰۰۸، دولت کره جنوبی، اولین طرح توسعه ملی 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 توسعه فناوری کشور را براساس فناوری‌های همگرا مورد نشانه قرار داده است. در فرهنگستان علوم پزشکی، زیر گروه همگرایی در علوم پایه پزشکی تحت ریاست جناب آقای دکتر مسلم بهادری با حضور برجسته‌ترین صاحب‌نظران این حوزه، تشکیل شده است که تلاش می‌کند یک سیر تحولی را در علوم پایه پزشکی کشور برای پذیرش این پارادایم پرنفوذ، ترسیم کند.

چارچوب پیشنهادی برای تدوین نقشه راه حرکت به سوی فناوری‌های همگرا در علوم پایه پزشکی ایران برگرفته از چارچوب مشترک نقشه راه ریچاردای آلبرایت (Richard E. Albright) است که ساختار این نقشه راه تلاش می‌کند پرسش‌های (چرا، چه، چگونه) را پاسخ داده و برنامه عملیاتی را برای "انجام کار" آشکار نماید(۱۰). این چارچوب شامل چهار گام است که هدف گام اول تعریف و باز کردن گستره فناوری‌های همگرا است؛ در گام دوم مسیر حرکت فناوری‌های همگرا براساس ساختار و عناصر ترسیم می‌شود؛ در گام سوم از مهم‌ترین فناوری‌هایی پرده‌برداری می‌شود که می‌توانند رقابت‌پذیری را در سطح بالا ابقاء کنند؛ در گام چهارم، برنامه عملیاتی و نظام سرمایه‌گذاری، ارائه می‌شود.

طرح پرسش عالمانه چگونگی پذیرا شدن از پارادایم پرنفوذ فناوری‌های همگرا در علوم پایه پزشکی و برگزاری نشست‌های علمی در زیر گروه همگرایی گروه علوم پایه فرهنگستان علوم پزشکی جمهوری اسلامی ایران خود نشانگر اهمیت بسزای فناوری‌های همگرا در آینده پزشکی و ارائه خدمات کارآمد سلامت در سطح جامعه است. همان‌گونه که با گشایش دانشکده 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 نخستین‌بار در جهان، آینده آموزش پزشکی را برای قرن بیستم ترسیم کرد و موجب شکوفایی علوم پزشکی و بالینی و کشفیات مرزشکن در علوم تجربی شد، بی‌شک یکپارچه‌سازی فناوری‌های همگرا و حرکت به سوی علوم میان رشته‌ای در علوم پایه پزشکی، می‌تواند همچون انقلابی نوین در عرصه آموزش پزشکی در کشور خود را نشان دهد. فناوری‌های همگرا با گسترش فضای نوآوری باز و نیز ایجاد پویایی در اقتصاد زیستی (Bio-economy)، دوران پسا امیکس (post-omics) پرهیجانی را در آینده پزشکی خلق خواهند کرد.

چنین است که پژوهش در فناوری‌های همگرا، از موضوعات داغ در راهبردهای رقابتی میان آکادمی‌ها و دانشگاه‌های بزرگ دنیا است و سیطره هر گروه و مؤسسه علمی در این گستره می‌تواند موجب چیرگی و ربودن گوی مرجعیت علمی در دانش زیست پزشکی آینده شود.

هدف از این نوشتار، ارائه یک طرح پیشنهادی برای نقشه راه حرکت به سوی فناوری‌های همگرا در علوم پایه پزشکی ایران است. این نوشتار که می‌تواند با گشایش موضوعات عمده موجب غنای بحث در این زمینه

[Downloaded from ijhp.ir on 2026-11-07]



شکل ۱ ـ **چهارچوب نقشه راه چهار گامی آلبرایت**

شود، راه را بـرای گفتمـان نقادانـه و عقلایـی بـاز مـی کنـد و از ایـن رو، دانشگاه‌های علوم پزشکی کشور نه تنها می توانند در هنگامه پیش رقابتی این فناوری‌ها ورود کننـد بلکـه خواهنـد توانسـت بـه گسـتره‌هـای داغ و جنجالی نهفته در هر یک از موضـوعات فنـاوری‌هـای همگـرا نیـز چنـگ انداخته و بدین‌سان در کسب مرجعیت در معنای عام و خـاص آن تـلاش کرده و آبشار پژوهش‌های بنیادین را در قالب فرا رشته‌ای، دنبال کنند.

روش‌کار: در تدوین بخش نقشه فناوری در ایـن نقشـه راه (گـام سـوم)، فناوری‌های بحرانی که می‌توانند در قالب فرا رشته‌ای به زایش ایـده‌هـای نوین و کسب مرجعیت در علوم پزشکی منتهی شوند، مورد مطالعـه قـرار می‌گیرند. اساس این بخش حاصل مطالعات پـروژه اروپـایی CONTECS و بررسی اسناد بالا دستی توسعه علمی و فناوری ملی شـامل نقشـه علمـی کشور در حوزه سلامت و سیاست‌های کلان سـلامت جمهـوری اسـلامی ایران، آنالیز ابر روندهای سلامت و آینده پزشکی، نقشه علمی بنیاد علمی سلامت آمریکا (NIH) و پروژه‌های میان رشته‌ای مؤسسه‌های وابسته آن و نیز نقشه راه تدوین یافته وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشـکی بـرای حرکت به سوی دانشگاه نسل سوم است.

گام اول: گستره و تعریف فناوری‌های همگرا

همگرایی یک رهیافت حل مسئله است که از مرزهای رشته‌ای عبـور 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 برای رویارویی با چالش‌های علمی و اجتماعی که در هم کنشگاه (محل تلاقی) گستره‌های چندگانـه وجـود دارند را خلق کند. با یکپارچه‌سازی این گستره‌های متنوع در یک شبکه از

[Downloaded from ijhp.ir on 2026-11-07]

مشارکت‌ها، همگرایی، نـوآوری را از علـوم پایـه تـا کاربردهـای ترجمـانی تحریـک مـی‌کنـد. در واقـع، همگرایـی زمـین حاصـل‌خیـزی را بـرای همکاری‌های نوین فراهم می‌آورد که ذی‌نفع‌ها و شرکا را نه‌تنها از بخـش دانشگاهی بلکه در سطح ملی، صـنعت، آزمایشـگاه‌هـا و بیمارسـتان‌هـا و چیدمان‌های بالینی تا پیکره‌های سرمایه‌گذاری، درگیر می‌کند(۱۱).

هم‌اکنون، جهان در حال تجربه کـردن بنیـان‌هـای انقـلاب صـنعتی چهارم است. انقلابی که بر روی همجوشی و همگرایی فناوری‌ها است. این حرکت به سوی انقلاب صنعتی چهارم که خود را بـه شـکل یـک ابرونـد نشان داده است، موجب شده است که خطوط میان فناوری‌های فیزیکـی، دیجیتالی و بیولوژیکی محو شوند. در حقیقـت، دیجیتـالی شـدن، سـتون فقرات انقلاب صنعتی چهارم است که به واسطه آن همگرایی فناوری‌هـا و رشته‌های علوم روی داده و دانش‌ها و فناوری‌هـای نـوینی، در ایـن گـذار پدیدار می‌شوند که نمونه‌های آن‌ها را می‌توان در هوش مصنوعی، واقعیت افزوده مجازی، اینترنت اشیاء (IOT)، خودروهای خودران، پهبادهـا، چـاپ سه بعدی، نانوفناوری، زیست فناوری، علوم مواد پیشـرفته، ذخیـره‌سـازی انرژی و رایانش کوانتومی مشـاهده کـرد. خـود ایـن فنـاوری‌هـا موجـب یکپارچه‌سازی سیستم‌های "سایبری-فیزیکی-بیولوژیکی" می‌شوند(۱۲).

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

۱. درک سامانه‌های بیولوژیک پیچیده مانند دستگاه عصبی و به‌کارگیری درک حاصله از آن‌ها برای طراحی درمان‌های نوین پزشکی
۲. بهبودی پیامدهای بیماران از طریق یکپارچه‌سازی مـدیریت دانـش و پزشکی فرادقیق (Medicine Precision)
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 نیازهـای جهـانی بـرای تـامین غـذای ایمـن در شـرایط تغییرات اقلیمی (۱۱).

مطالعات جدید نشـان داده‌انـد کـه همگرایـی فنـاوری‌هـا مـی‌توانـد توسعه‌هایی چشـمگیر را در مبـارزه بـا سـرطان، دمـانس و بیمـاری‌هـای سالخوردگی، بیماری‌های عفونی و گستره‌ای از چالش‌هایی که بر سـلامت فشار می‌آورند را ایجاد کند؛ زیرا هم‌اکنون آشکار شده است که با همگرایی فناوری‌ها، پیشـرفت‌هـایی شـگرفی در ارائـه فنـاوری‌هـای تصـویربرداری فرادقیق، به‌کارگیری فناوری نانو در تشخیص بیمـاری‌هـا و رهـایش دارو، خاموش‌سازی ژن‌های سرطانی و بازساخت بخش‌های آسیب‌دیده بـدن و پرده‌برداری از پیچیدگی‌های بیماری‌های مزمن، روی خواهند داد.

اگر همگرایی را ماحصل مشارکت شیوه‌ها و ایـده‌هـای شـیمی‌دانـان، فیزیک‌دانان، دانشمندان علوم رایانه‌ای، مهندسان، ریاضیدانان و دانشمندان علـوم زیسـتی در گسـتره‌هـای چندگانـه و صـنایع بنگـریم آن‌گـاه ایـن یکپارچه‌سازی در بینش‌ها و رهیافت‌های رشته‌های متمایز علمی است که مفهوم همگرایی را شکل می‌دهد (۱۳). براساس این تعاریف، همگرایی در حد نهایت فعالیـت‌هـای میـان رشـته‌ای قـرار دارد؛ یعنـی آنچـه کـه در رهنمودهای انقلاب صنعتی چهـارم مشـاهده مـی‌کنـیم. در حقیقـت، در همگرایی که تم اصلی انقلاب صنعتی چهارم است، فنـاوری‌هـا یکـدیگر را تشدید می‌کنند؛ به‌گونه‌ای که همجوشی میان فناوری‌ها، در گسـتره‌هـای فیزیکی، دیجیتالی و بیولوژی روی می‌دهد.

این گداختگی و همگرایی فنـاوری‌هـا، گسـتره‌ای از تغییـرات بنیـان برافکن را در زمینه‌های اقتصادی، اجتماعی، فردی و محیط کار به وجـود می‌آورند که "گزینش عنوان انقلاب صنعتی چهارم" بـرای توصـیف ایـن تغییرات بنیان برافکن مناسبت می‌یابد (۸). براساس چنین ابروندی که بر جهان علم، سیاست و جامعه فرود می‌آید، می‌توان انتظـار داشـت کـه بـه سرعت و با گستردگی بی‌انتهـایی، نیازهـای جامعـه و مـردم و بـازار نیـز تحولات شگرفی را شاهد باشند. به زبان دیگـر، در ایـن شـرایط و فضـای آکنده از ظهور فناوری‌های پیچیده برخاسته از همگرایـی فنـاوری‌هـا، مـا خواهیم دید که نیازهای بازار و مشتریان به گونه‌ای خواهند بود که موجب کشش (Pull) در فناوری‌های همگـرا مـی‌شـوند. از سـوی دیگـر، جریـان نوآوری‌ها و خلق فناوری‌های نوپدید در همگرایی چنان پر محصول خواهد بود که با خلق این فناوری‌های برخاسته از همگرایی، نیازهای جدیدی در بازار پدیدار خواهند شد؛ به گونه‌ای که فناوری‌های همگرا مـی‌تواننـد بـه آن‌ها خدمت‌رسانی کنند هر چند که این نیازها خود زایش یافته از فشـار (Push) دست آوردهای فناوری‌های همگرا بوده‌اند.

از این رو می‌بینیم که نه‌تنها با مکانیسم بازار کشش بلکه بـا سـازوکار فشار فناوری‌های همگرا، نیازهای جدیدی در بخش بازار و اقتصـاد پدیـد خواهند آمد که موجب رشد و شکوفایی و سرعت‌یـابی حرکـت پرشـتاب همگرایی خواهند شد.

چنین است که در یک بازار سرشار از رقابت، گسـترده شـدن حلقـه‌هـای همگرایی می‌تواند در سـامان‌یـابی جامعـه دانـایی (Knowledge Society) نقـش اساسی را ایفاکند. از این رو، در جوامع اروپایی، پروژه‌های پیش‌آهنگ پژوهشی برای فناوری‌های همگرا در قالب فعالیت‌های آینده‌پژوهانه ملـی و برنامـه‌هـای تخصیص بودجه‌ای، جایگاه رفیعی را به خود اختصاص داده‌اند (۱۴).

هم‌اکنون، در بنیاد سلامت ملی آمریکا (NIH) به‌عنوان بزرگترین نهاد پژوهشی جهان، حداقل ۲۰ درصد از بودجـه پژوهشـی بـه پـژوهش‌هـای فناوری‌های همگرا تخصیص داده شده است. در می ۲۰۱۶ نیز بنیاد ملـی علوم آمریکا (NSF)، پژوهش‌های همگرا را در قالب یکی از نه "ایده بزرگ برای آینده" برای آینده این بنیاد اعلام کرد. وریلی (Verily) در حلقه علوم زیستی گوگل در حال توسعه و بـه‌کـارگیری فنـاوری‌هـای همگـرا بـرای "نقشه‌بندی" بدن انسان سالم است که هدف آن تا آنجایی که امکان‌پذیر باشد، پیش‌بینی آغاز بیماری‌ها و همچنین توسعه درمان‌هـای فردگرایانـه (Personalized) براساس داده‌های بیولوژیکی، ژنتیکی، رفتاری و محیطی و

[Downloaded from ijhp.ir on 2026-11-07]



شکل ۲ ـ **ابزارهای بنیادی/پلاتفورم NBIC و پژوهش‌های زایشی از هر کدامیک از این فناوری‌ها (زیستی ـ اطلاعاتی، نانویی و شناختی)**

شناخت نشانگرهای زیستی برای برآورد حساسیت فرد به بیماری‌های گوناگون است.

شرکت‌های رایانه‌ای و نرم افزاری غول جهان مانند اپل، IBM و میکروسافت نیز نوآوری‌های همگرایانه‌ای را مورد حمایت قرار می‌دهند که بتوانند علوم اطلاعاتی، تصویربرداری و حس‌گرها را ترکیب کنند. تا بدین‌گونه 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 جمع‌آوری ژرف و طولانی مدت داده‌ها پیرامون شرکت‌کنندگان در کارآزمایی‌های بالینی یاری رسانی شود.

در سطح آکادمیک نیز مشاهده می‌کنیم 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 آن‌ها در دانشگاه‌های بزرگ، به اشکال متنوع، ظهور یافته‌اند (۱۳).

سازمان همکاری‌های اقتصادی و توسعه (OECD) گزارشی در سال ۲۰۰۸ فراهم آورد و تصمیم گرفت کمیته‌ای را برای همگرایی ایجاد کند؛ هر چند در اروپا در سال ۲۰۰۴ یک گروه عالی رتبه از خبرگان، گزارشی را تحت عنوان "فناوری‌های همگرا برای جامعه دانایی اروپایی"[1] (CTEKS) تولید کرده بود. واژه همگرایی در برنامه 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 به‌کارگیری را از طریق تئوری‌ها، اصول و شیوه‌های ویژه برای پیاده‌سازی در گستره‌های پژوهش، آموزش، تولید و دیگر فعالیت‌های جامعه، ارائه می‌دهد.

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

دو توسعه بنیان برافکن در علوم زیستی طی 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، به‌ویژه پیشرفت‌های دو انقلاب اخیر در بیولوژی

1. The European Knowledge Society

[Downloaded from ijhp.ir on 2026-11-07]

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، نویددهنده دسترسی بهتر مراقبت‌های سلامت برای مشتریان، کاهش هزینه‌ها و خطاهای مراقبت‌های بهداشتی و پزشکی، میل نمودن پزشکی به سوی خدمات سلامت فردگرایانه (Personalized) و در نهایت بهبودی در پیامدهای سلامت و کارآمدی خدمات سلامت خواهد بود (۱۷).

اکنون که به اهمیت چشمگیر گستره همگرایی و تعریف فناوری‌های همگرا، همچنین پیش ران‌های 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 نقشه راه که شامل "ساختار و عناصر" نقشه راه است، می‌پردازیم.

گام دوم: مسیر (ساختار و عناصر) همگرایی

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

"مطالعات میان رشته‌ای به‌صورت 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 اندازه کافی با یک رشته یا تخصص به آن پرداخت."

در رهیافت میان رشته‌ای، نه تنها بر روی یک پروژه 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 می‌شود 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 میان رشته‌ای نیازمند است:

الف- پیچیدگی درونی طبیعت و جامعه

ب- تمایل به کاوش مسایل پژوهش پایه‌ای در سطح مشترک رشته‌ها

پ ـ نیاز به حل مسایل پیچیده اجتماعی

ت - نیاز به خلق بینش‌های انقلابی و فناوری‌های زاینده

بنیاد ملی سلامت آمریکا (NIH)، به‌عنوان بزرگترین نهاد پزشکی جهان، بهترین پروژه‌های پیش آهنگ را برای آغاز برنامه‌های میان رشته‌ای در انیستیتوهای تحت نظارت خود به اجرا در آورده است و بسیاری پروژه‌های پژوهشی میان رشته‌ای را در قالب کنسرسیوم‌های میان رشته‌ای، برای حل مسایل پیچیده و غامض سلامت و بیماری، سامان داده است که به پاره‌ای از آن‌ها در زیر اشاره می‌شود.

۱. کنسرسیوم برپایه سیستمی جهت طراحی و مهندسی عضو (sysCODE)

۲. کشف دارو بر پایه ژنومیک انیستیتو براد (Broad)

۳. دانش سالمندی (Geroscience)

۴. کنسرسیوم مهندسی ژنوم شمال غربی

۵. کنسرسیوم سرطان-باروری (Oncofertility) نگهداشت باروری زنان

۶. کنسرسیوم فنومیکس (Phenomics) عصب-روانپزشکی

۷. انیستیتو پژوهشی عصب-درمان‌شناسی

۸. کارگروه پژوهش‌های چاقی در جنوب غربی

۹. کنسرسیوم پژوهشی میان رشته‌ای پیرامون استرس، خود کنترلی و اعتیاد (۱۸)

بی‌شک، حرکت به سوی پژوهش‌های میان رشته‌ای یک روند است که در دانشگاه‌های کشور نیز از دهه گذشته حضور خود را در قالب پروژه‌ها و مراکز تحقیقاتی میان رشته‌ای (هرچند انگشت‌شمار) نشان داده است؛ اما باید همان‌گونه که در بخش پیشین نیز به آن اشاره شد، تأکید شود که همگرایی در ورای حوزه میان رشته‌ای جای دارد و در حقیقت همگرایی یک شکل گسترش یافته از پژوهش میان رشته‌ای است.

دانشمندان فعال در حوزه 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 می‌توانند در هنگامی که به حد کمال همگرایی می‌رسد از حوزه فکری، ایده‌ای و ابزاری دیگر شاخه علم بهره بی‌نهایت را کسب کنند و بدین‌سان حل مسایل پیچیده در جهان آکنده از پیچیدگی و پاسخ به سؤالات بی‌شمار در حال پدید، انجام گیرد. هر چند که همگرایی و پژوهش میان رشته‌ای بسیار به یکدیگر نزدیکی دارند (تا حدی که به جای یکدیگر نیز در ادبیات سیاست علمی استفاده می‌شوند) اما همان‌گونه که یادآوری گردید باید به همگرایی در فراتر از حوزه میان رشته‌ای نگریسته شود.

در حقیقت، همگرایی از پژوهش میان رشته‌ای گذر می‌کند و به فراتر از همکاری چنگ می‌اندازد. "همگرایی، یکپارچه‌سازی رشته‌ها و فناوری‌های از لحاظ تاریخی متمایز از یکدیگر است که به‌صورت یک کل وحدت یافته تجلی می‌یابد و بدین‌سان 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 هم‌اکنون آغاز به ایجاد تحول در علوم زیستی نموده‌اند (۱۳). با این توصیف از این روندها، آشکار می‌گردد که حرکت به سوی همگرایی از مسیر میان رشته‌ای گذر می‌کند و به خلق فناوری‌های همگرا می‌انجامد. با وجود لمس چنین روند نیرومندی در محافل آکادمیک ایران، اما چالش‌هایی نیز نمایان شده‌اند. نخست آنکه اعضای هیئت علمی دانشگاه‌ها در اتمسفر میان رشته‌ای رشد نیافته‌اند و بسیار محصور در

[Downloaded from ijhp.ir on 2026-11-07]

قالب‌های رشته‌ای خود هستند. از سوی دیگر، دانشگاه‌های علوم پزشکی پس از انفکاک 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 کرد.

عنصر غالب در ساختار نقشه راه پیشنهادی حرکت به سوی همگرایی، تشکیل گروه‌های میان رشته‌ای 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 (Cross-Faculty) به خود می‌گیرد.

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

چنانچه در دانشکده‌ای مرکز تحقیقاتی از جنس فناوری‌های NBIC داشته باشد، با توجه به ماهیت میان رشته‌ای 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 هسته همگرایی را تشکیل دهند. این هسته‌های همگرایی می‌توانند در قالب ساختاری دیگر، با گروه‌های پژوهشی میان رشته‌ای فوق‌الذکر، یکپارچه شوند و یا شبکه‌سازی انجام دهند.

برای برآمدن بر چالش دیگر یعنی انفکاک دانشگاه‌های علوم پزشکی از علوم، می‌توان در چهارچوب‌های عملیاتی که در بخش چهارم این نوشتار به آن‌ها می‌پردازیم، اعضایی نیز از هیئت علمی دانشگاه‌های علوم در گروه‌های میان رشته‌ای به‌عنوان مهمان و یا همکار پذیرفته شوند و در حل مسایل پیچیده و به اشتراک‌گذاری 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 میان رشته‌ای، حضور پژوهشگران پسا دکترا، دکتری و حتی فوق‌لیسانس نیز بسیار ضروری است. در شکل‌دهی به این گروه‌ها یا هسته‌های "میان رشته‌ای - همگرا"، پژوهشگران مراکز تحقیقاتی نیز نقش بسزایی خواهند داشت.

براساس پژوهشی که در میان ۲۵ دانشگاه برتر آمریکایی که به‌طور میانگین ۱۰۰ مرکز تحقیقاتی را دارا بوده‌اند، انجام شده است، مشخص شد که حرکت به سوی گذار از پژوهش‌های رشته‌ای به فرا رشته‌ای، شدت یافته است (۱۱). همچنین براساس پژوهش میدانی انجام شده، آشکار شده است که در دانشگاه‌هایی که به سوی دانشگاه نسل سوم گام بر می‌دارند، عمده پژوهشگران بیان نموده‌اند که بیشترین زمان خود را با همکاران دانشگاهی از دیگر دانشکده‌ها (تا با اعضای دانشکده 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، تاکنون شکل گرفته‌اند، رخت بر خواهند بست و به جای آن‌ها، در دانشگاه‌های نسل سوم، مؤسسه‌های پژوهشی همگرا پدیدار خواهند شد (۱۲).

در پاره‌ای از دانشگاه‌های برتر دنیا، چنین تغییرات بنیادین و ریشه‌ای شکل گرفته است و ساختار سازمانی آن‌ها به‌گونه‌ای 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 دانشکده جدید که در فراتر از رشته‌های قالب یافته سنتی هستند، ایجاد کردند (مانند مؤسسه‌های فرا (Beyond)، طراحی زیستی و سامانه‌های سازگارمند پیچیده). هدف از این تلاش‌ها، خلق اکوسیستمی جدید برای تقویت خلق دانش در فضایی آکنده از همگرایی با گذر از ساختارهای بر پایه بخش بوده است. یا در دانشگاه استانفورد که ۱۸ مؤسسه میان رشته‌ای را ایجاد کرده است (مانند Bio-X) می‌توان چنین روندی را رصد کرد (۱۱).

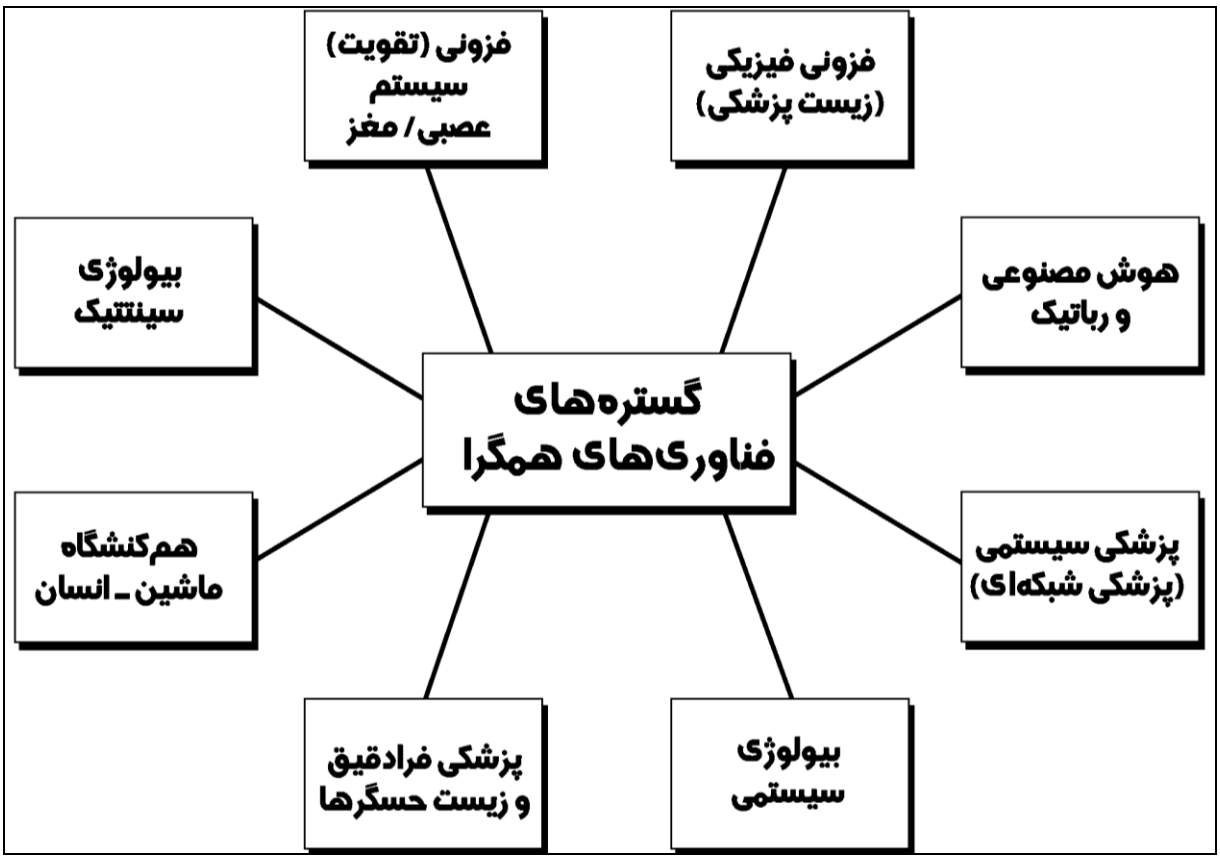
در طرح پیشنهادی در نقشه راه حرکت به سوی همگرایی در علوم پایه پزشکی ایران، ما از مدل دوم که همان سامان‌دهی به گروه‌های میان رشته‌ای و هسته‌های همگرایی است برای دوران گذار استفاده می‌کنیم. چنین رهیافتی نیز در غالب کشورهای پیشرفته برای گذار به همگرایی، گزینش شده است (۱۱و۱۳).

گام سوم: نقشه راه فناوری

سومین گام از تدوین نقشه راه به سوی فناوری‌های همگرا، تصمیم‌گیری پیرامون طراحی نقشه فناوری است؛ بدین‌گونه که چه فناوری‌هایی مهم‌ترین هستند تا گزینش شوند؟ چگونه می‌توان پیش ران‌ها را با فناوری‌ها و سیر تکاملی آن‌ها پیوند داد و در نهایت حوزه‌های سرمایه‌گذاری بر فناوری‌های چند نسلی (Multi-generation) برای نگهداشت سطح رقابت‌پذیری مورد شناسایی قرار می‌گیرند. یعنی در اینجا می‌باید چشم‌انداز رقابتی و نقشه راه را تا حد عناصر فناورانه آن ترسیم کرد.

پیش از ورود به بحث ترسیم نقشه راه فناوری برای تدوین نقشه راه فناوری‌های همگرا، یادآوری این نکته مهم ضروری است که هنوز تفاهمی

[Downloaded from ijhp.ir on 2026-11-07]



شکل ۳ ـ **نقشه راه فناوری برای علوم پایه پزشکی ایران (گستره‌های فناوری‌های همگرا و رهیافت‌هایی که پتانسیل زایش فناوری‌های همگرا را دارند.)**

در سطح ادبیات سیاست علمی جهان پیرامون اینکه 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 حیاتی نامید. این خود برخاسته از این موضوع است که هنوز در تعریف واژه فناوری‌های همگرا، یک اجماع در سطح جامعه علمی، وجود ندارد؛ برای مثال، از دیدگاه مکتب آمریکایی، همگرایی در گستره فناوری‌های NBIC نهفته است و از دید این مکتب، یک سینرژیسم از ترکیب فناوری‌های نانو، زیستی، شناختی و اطلاعاتی روی می‌دهد؛ اما در اروپا، براساس 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 حوزه فناوری وجود دارد که به همگرایی میل کند و از این رو، در اروپا، گزاره "فناوری‌های همگرا برای جامعه دانایی اروپا (CTEKS)"، تدوین شد (۲۰).

در سناریوی آمریکایی، فرض بر این استوار است که این فناوری‌ها به حد اشباع رسیده‌اند و آن‌ها باید با یکدیگر امتزاج بیابند تا راه پرشتاب رشد را طی کنند. اما 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 به‌عنوان یک پیشاهنگ و ضربان‌ساز برای ایجاد مرزشکنی در دانش و نوآوری، نقش خود را ایفا کند.

در طراحی نقشه راه فناوری برای علوم پایه 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 توسعه فناوری را در گستره‌های مورد نظر برانگیخته نمایند، تمرکز می‌یابیم.

به زبان دیگر، در تدوین این نقشه 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 گستره زیست پزشکی و علوم سلامت منتهی کردند، شناسایی شوند. برای یافت این فناوری‌های حیاتی که خود نه تنها زایش یافته فعالیت‌های همگرایی بوده بلکه همگرایی‌های فراوانی را نویدگر هستند، از مطالعات بیکرت و همکاران در قالب پروژه اروپایی CONTECS استفاده می‌کنیم ولی به آن بسنده نیز نکرده و با نگاه به چشم‌انداز اسناد بالادستی توسعه علمی و فناوری ملی شامل نقشه علمی کشور در حوزه سلامت و سیاست‌های کلان سلامت جمهوری اسلامی ایران، بررسی ابرروندهای حاکم بر فضای سلامت و آینده پزشکی، رصد کلان رشد و تحول فناوری‌های حوزه سلامت، نقشه علمی بنیاد ملی سلامت آمریکا (NIH) و پروژه‌های میان‌رشته‌ای مؤسسه‌های وابسته آن و نیز نقشه راه تدوین‌یافته وزارت

1. The High Level Expert Groupes

[Downloaded from ijhp.ir on 2026-11-07]

بهداشت، درمان و آموزش پزشکی برای حرکت به سوی دانشگاه‌های نسل سوم، فناوری‌های همگرا و رهیافت‌های پارادایمی پزشکی که بر آینده پزشکی تأثیرگذار هستند، مورد شناسایی قرار می‌دهیم.

در حقیقت، این فهرست از فناوری‌ها، خود خوشه‌ای از فعالیت‌های میان رشته‌ای است که تاکنون انجام شده‌اند و در گذار تکاملی خود به سوی همگرایی و خلق فناوری‌های دیگر، سیر می‌کنند. از این رو، هر کدام از فناوری‌های این فهرست می‌تواند سرلوحه کار و نام گروه و هسته‌های میان رشته‌ای باشد که شرح آن در بخش پیشین، ارائه شد؛ زیرا همچنان تأکید می‌کنیم، که پژوهش‌های میان رشته‌ای و توسعه آن می‌تواند درقالب فناوری‌های همگرا، روی دهند.

بی‌شک، در گزینش این فهرست، پتانسیل کاربردهای آن‌ها، همکاری‌های میان رشته‌ای و انباشت رو به فزونی پروژه‌های تحقیقاتی مؤثر بوده‌اند. به زبان دیگر، با مطالعه پروژه‌های علمی در حوزه سلامت و علوم زیست پزشکی، می‌توان آن‌ها را خوشه‌بندی کرد و در یکی از این فناوری‌ها جا داد.

گروه بیکرت با همین تمرین خوشه‌سازی (Clustering exercise)، به هشت گستره فناوری دست یافته است (۲۰). در تدوین نقشه فناوری برای علوم پایه پزشکی ایران، هر چند از این هشت گستره خوشه چینی می‌کنیم ولی به‌دلیل رخداد پارادایم پزشکی فرادقیق (Precision medicine) و پزشکی سیستمی (Systems medicine)، از این رهیافت‌ها که خود حاوی بسیاری فناوری‌های همگرا هستند نیز بی‌نهایت استفاده خواهیم کرد.

ما برای یافت فناوری‌های بحرانی، (همان‌گونه که توصیف شد) نه‌تنها از کارهای گروه بیکرت بهره بردیم بلکه از رهیافتی آینده‌پژوهانه در آینده پزشکی و فناوری‌های وابسته، به شیوه آنالیز روند استفاده کردیم. با نگریستن به ابرروندها به گستره‌هایی از فناوری‌ها (به پایین بنگرید) دست یافتیم زیرا آکنده از فرصت‌های خلق فناوری‌های همگرا هستند. تفاوت بنیادین فهرست ما با فهرست بیکرت که برای پروژه اروپایی CONTECS فراهم آمده بود آن است که فهرست ما میل به علوم زیست پزشکی دارد، فهرست بیکرت عمدتاً از فناوری‌های همگرا در حوزه 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 است. زیرا درک مغز، فزونی دادن به آن، مدل‌سازی و دستکاری مغز می‌تواند اثرات چشمگیری را در توسعه کاربردهای فناوری اطلاعات داشته باشد و از سوی دیگر سخت افزارهای رایانه‌ای نوین و تکنیک‌های فرآوری داده‌ها در این رایانه‌ها به فهم بهتر فرایندهای مغزی کمک می‌کنند (۲۰).

فزونی (تقویت) سیستم عصبی/مغز

در سال‌های اخیر، پیشرفت‌های شگفت‌انگیز علوم اعصاب به سلول‌ها، مسیرهای عصبی، سامانه‌ها و رفتار متمایل شد. بر پایه این پیشرفت‌ها در علوم اعصاب، پرزیدنت اوباما در دوم آوریل ۲۰۱۳، آغاز برنامه 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 پایه آن بتوان درک کرد چگونه اندیشه می‌کنیم، چگونه می‌آموزیم و چگونه به یاد می‌آوریم. برنامه پیش‌آهنگ مغز، هم‌سنگ برنامه پیاده شدن انسان بر روی کره ماه یا پروژه ژنوم انسانی است.

طراحان این برنامه پیش‌بینی کرده‌اند که پنج سال دوم برنامه، هنگامه 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 توسعه شیوه‌های تشخیصی و درمانی و حتی امکان درمان قطعی بیماری‌های نورولوژیک که بسیاری از افراد را ناتوانمند کرده‌اند، بسیار ضروری است (۲۱). در چشم‌انداز این 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 (Cognition)، ساخت ساختارهای جایگزین مغز به‌عنوان امتداد حافظه بیرونی (External Memory)، دانلود کامل محتویات مغز انسان بر روی چیپ رایانه‌ای، هدف قرار گرفته‌اند (۲۰).

هم‌کنشگاه (Interface) انسان ـ ماشین

هدف نهایی این گستره پژوهشی توسعه هم کنشگاه‌هایی 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 کرد تا بازوهای رباتیک را کنترل کنند. در واقع، دستاوردهای هم کنشگاه انسان - ماشین، نقش اساسی را در ربات‌ها و ماشین‌ها در کاربرد در عرصه عمومی به‌ویژه برای افراد سالمند و سالخورده که توانایی و یا دانش سخت‌افزاری و نرم‌افزاری ندارند، ایفا خواهد کرد (۲۲).

پزشکی فرادقیق (Precision Medicine) و زیست حسگرها

در بیستم ژانویه ۲۰۱۵، باراک اوباما، رییس جمهور آمریکا در سخنرانی سالانه خود در سال میلادی ۲۰۱۵ در میان گردهمایی مشترک نمایندگان مجالس آمریکا، هدف از آغاز پروژه پیشاهنگ پزشکی فرادقیق را چنین کلید زد "برای نیل به درمان بیماری‌هایی همچون سرطان، دیابت و فراهم آوردن امکان دستیابی به اطلاعات مورد نیاز فردی برای نگهداشت خود و اعضای خانواده در شرایط سالم‌تر" (۲۳). در حقیقت،

1. Brain Research Through Advancing Innovative Neurotechnologies-BRAIN

[Downloaded from ijhp.ir on 2026-11-07]

پزشکی فرادقیق، رهیافتی در پزشکی است کـه تفـاوت‌هـای ژنـی افـراد، محیط‌زیست و شیوه زندگی آن‌ها را مدنظر قرار می‌دهد و این هدف را بـا بازتعریف آگاهی ما از آغاز و پیشرفت، پاسخ درمانی و پیامدهای سلامت، از طریق اندازه‌گیری‌های دقیق ملکولی و عوامل محیط‌زیست و رفتاری که در سلامت و بیماری نقش دارند، فراهم می‌آورد.

بی‌شک، پیشرفت‌های فناوری‌های امیکس مانند ژنومیکس، فنـاوری‌هـای گردآوری داده‌ها و ذخیره‌سازی آن‌هـا، آنـالیز رایانـه‌ای و کاربردهـای سـلامت فناوری تلفن همراه طـی دهـه گذشـته، رشـد بـی‌امـان پزشـکی فرادقیـق را امکان‌پذیر کرده‌اند. به زبان دیگر، پزشکی فرادقیق در جستجوی این است کـه این تغییرات فردی در سطح ژنوم، محیط زیسـت و الگوهـای زنـدگی را بـرای شناسایی، درمان و پیشگیری بیماری، به کار ببرد. بنابراین، پزشـکی فرادقیـق، گستره‌ای از پزشکی است که تفاوت‌های ژنـومی، میکروبیـوم، محـیط‌زیسـت، تاریخچه خانوادگی و شیوه‌های زندگی را برای تدوین شیوه‌هـای تشخیصـی و راهبردهای درمانی ویژه هر فرد بیمار، مدنظر قرار می‌دهد (۲۴).

از این رو، پزشکی فرادقیق، رهیافتی برای توسعه فناوری‌ها در پزشکی آینده اسـت. در یـک فراگـردی دیگـر، پزشـکی فرادقیـق حاصـل کـنش همگرایی فناوری‌های همگرا است که در ده فناوری امیکس شناخته شده کنونی جای دارند (۲۴)، زیرا در پزشکی فرادقیق، تلاش می‌شود که الگوی GIS هر انسانی براساس چندین لایه اطلاعات که هـر لایـه بـا یکـی از ده فناوری امیکس که می‌شناسیم، ترسیم شود. این امیکس‌هـای ده گانـه از ژنـومیکس تـا فیزیـوم، اکسـپوزوم، فنـوم و ترسـیم نگـار اجتمـاعی (Social/graph) را شامل می‌شوند.

همان‌گونه که مشاهده می‌شود، قلب تپنده پزشکی فرادقیق، اطلاعات زیستی است که از طریق سامانه‌های گوناگون گردآوری می‌شـوند کـه در این خصوص نقش زیست حسگرهای همراه و پوشیدنی و یـا کاشـتنی در بدن که داده‌ها و پارامترهای فیزیولوژیـک تـن آدمـی را شـامل اطلاعـات فیزیکی، رفتاری و زیست‌محیطی را گردآوری کرده و به ساخت داده‌هـای بزرگ (Big Data) می‌انجامند، بسیار حایز اهمیت هستند.

تلفن‌های همراه هوشمند، نقـش میـانجی را در میـان حـس‌گرهـای زیستی قابل پوشیدن و انسان برای پارامترهای فیزیولوژیک مانند تـنفس، دستگاه گردش خون، متابولیت‌های بدن و ژنوم انسان، بازی خواهند کـرد (۲۳). از این رو، ساخت و به‌کارگیری حس‌گرهای زیستی قابل پوشیدنی، کاشتنی و ثبت و نگارش داده‌های بزرگ، نویدگر فناوری‌های بسیار تحول برانگیز آینده در گستره زیست پزشکی است.

بیولوژی سینتتیک

بیولوژی سینتتیک یک گستره پژوهشی نوپدید است که با خـود انبـوهی از امکانات و کاربردهای بالقوه را حمل می‌کند و از آنجا که رشته‌های گونـاگون را از مهندسی تا علوم پایه با یکدیگر در هم می‌آمیزد، بیشتر چنـین مـی‌نمایـد که سیمای یک علم میان رشته‌ای را داشته باشد. در گزارش آکادمی سـلطنتی مهندسی، بیولوژی سینتتیک را به‌صـورت رشـته‌ای کـه طراحـی و مهندسـی اجزاء (Parts)، ادوات (Devices)، سامانه‌ها (Systems) بر پایـه بیولـوژی را هـدف قرار داده، تعریف شده است (۱، کتاب سینتتیک). بر پایه این تعریف، مـی‌تـوان بیولوژی سینتتیک را به‌صورت کاربرد اصول مهندسی در سطح اجـزاء اساسـی و پایه "بیولوژی"، خلاصه کرد.

از این دیدگاه، بیولوژی سینتتیک در واقع مهندسی بیولوژی است که چشم‌اندازهای مهندسی را در تمـام سـطوح سلسـله مراتـب سـاختارهای بیولوژیک، از سطح ملکول‌های واحد تا کل سلول‌ها، بافت‌ها و ارگانیسم‌ها به‌کار می‌برد. از دیـدگاه جـوهری، بیولـوژی سـینتتیک مـی‌توانـد طـرح "سامانه‌های بیولوژیک" را به شیوه‌ای منطقی و سیستمی جلوه دهد (۲۵). چنین می‌نماید که بیولوژی سینتتیک، دارای ویژگی میان رشته‌ای یا فـرا رشته‌ای است که در تقاطع میان بیولوژی، مهندسی شیمی، مهندسی برق، فیزیک و علوم رایانه‌ای قرار می‌گیرد. بیولوژی سینتتیک می‌تواند با خلـق مواد بیولوژیک مشتری مدار، بر بسیاری از چالش‌های قرن بیست‌ویکم که انسان‌ها با آن‌ها رو در رو هستند، چیرگی یابد. این چالش‌ها، گستره‌هـای محیط‌زیست، انرژی، تولید غذا و سلامت را پوشش می‌دهند. شاید هیجان انگیزترین نقطه بحث کاربرد بیولوژی سینتتیک در عرصه پزشکی و تولید محصولات در گستره سلامت باشد. در این عرصه، با مهندسی شبکه‌هـای ژنی پیچیده، با هدف درمانی، بیولوژی سینتتیک در پی درمان بیماری‌های پیچیده، از سطح ریشه‌ای و درمان علایم بیماری‌ها و کمک بـه شناسـایی مواد دارویی برای افزایش تولید مواد زیستی فعال با تـوان درمـانی اسـت. همچنین بیولوژی سینتتیک دارای پتانسیل ایجاد انقلاب در رهیافت‌هـای درمانی دقیق مانند ژن درمانی و سلول درمانی است. در آینده‌ای نزدیـک، مدارهای سینتتیک به کار آزمایی‌های بالینی وارد خواهند شد (۲۶).

بیولوژی سیستمی

بیولوژی سیستمی را شاید بتوان مترادف با تحلیل شبکه‌های بزرگـی که ویژگی‌های ژنوم‌های کامل، یا ویژگی‌های پروتئـوم و اینتراکتـوم‌هـای (interactome) وابسـته، نقشـه‌بنـدی جـامع و یکپارچـه‌سـازی عملکـردی مسیرهای متابولیک، با ترکیبی از همه این سیستم‌هـا را در مقیـاس‌هـای گوناگون سازمان بیولوژیک به تصویر می‌کشد، قلمداد کرد. به‌صورت عملی، بیولوژی سیستمی، مطالعه رفتار سازمان و فرایندهای بیولوژیک پیچیده در سطوح مولکول‌های تشکیل دهنده آن سیستم است. بیولـوژی سیسـتمی این کار را از طریق اندازه‌گیری‌های کمی، مدل‌سازی، ساخت و ساز و نیـز تئوری‌پردازی، به انجام می‌رساند.

بسیار مهم است که توجه کنیم که در منظر بیولوژی سیستمی، ابعـادی از فرایندهای بیولوژیک که تاکنون ما به آن توجه نشان نداده‌ایم در معـرض دیـد ما قرار می‌گیرد. برای نیل به این هدف، ما به آنالیز جامع و کمـی عملکردهـای

[Downloaded from ijhp.ir on 2026-11-07]

ملکولی و برهم کنش آن‌ها به شیوه‌ای نیاز داریم که ابعاد فضایی، زمانی و تناوبی آن‌ها را ترسیم کند. برای 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).

پزشکی سیستمی (پزشکی شبکه‌ای)

امروزه به دانش بیولوژی و در نتیجه پزشکی به‌صورت دانش اطلاعات 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 جامع نگر، یکپارچه و هولستیک ایجاد کند. چنین تغییر پارادایمی در دانش بیولوژی موجب ایجاد تغییر در پارادایم فلسفه پزشکی شده 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 فلسفه پزشکی سیستمی، شبکه‌های پیچیده‌ای وجود دارند که بر یکدیگر بر هم کنش دارند. این شبکه در یک سطح می‌تواند ملکول‌های زیستی باشند که در مسیرهای بیولوژیک[3] با یکدیگر به‌صورت بسیار پیچیده‌ای بر هم کنش دارند.

خود این شبکه‌های برهم‌کنشی، شبکه‌ای بزرگ شامل گستره متنوعی از ملکول‌های زیستی تشکیل می‌دهد که با شبکه بیماری‌ها بر هم کنش دارد. در شبکه بیماری‌ها، هر بیماری از بیماری‌های دیگر اثر پذیرفته و بر آن‌ها اثر القاء می‌کند و در حقیقت، در این شبکه تنیده، هر بیماری نقش یک گره با پیوندهای پیچیده را ایفا می‌کند و با دیگر بیماری‌ها برهم‌کنش دارد. خود این شبکه بزرگ با شبکه‌ای بزرگ از عوامل زیست ـ محیطی، اقتصادی و اجتماعی در بر هم کنش است و همه این شبکه‌ها در این سه سطح، تشکیل شبکه‌ای از شبکه‌ها[4] را می‌دهند. براساس تئوری مفهومی پزشکی سیستمی، بیماری برخاسته از پیامد "شبکه‌های آشوب‌زده 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 به‌صورت دینامیک بیان می‌شوند تغییر داده و این تغییر در جریان دینامیک اطلاعات می‌تواند پاتوفیزیولوژی بیماری را توصیف کرده 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 برای تشخیص و درمان، از طریق هدف قرار دادن این "شبکه‌های آشوب‌زده با بیماری" عرضه کنند. 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 ترانس کریپتومیک و دیگر فناوری‌های امیکس داریم تا بتوانیم در کمی‌سازی اطلاعات بیولوژیک و رازگشایی از شبکه‌های بیولوژیک ما را یاری کنند. با این فناوری‌ها، طی 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[5] می‌نامند (۲۸).

آشکار است که پزشکی سیستمی نه‌تنها عرصه‌ای از برهم کنش‌های ژنومیک، زیست‌محیطی و تعیین‌کنندگان اجتماعی بیماری را به شکل نظام‌مندی پیوند می‌دهد و تصویری زنده از درک سه بعدی بیماری را فراهم می‌آورد بلکه جولانگاهی بی‌انتها برای خلق و گسترش فناوری‌های همگرا برای یکپارچه‌سازی زیست پزشکی با رهیافت زیست اجتماعی (Biosocial) می‌آفریند که نه‌تنها موجب آفرینش نوآوری‌های فناورانه بلکه نوآوری‌های اجتماعی می‌شود و در یک تصویر کلی، پزشکی سیستمی دوران پسا امیکس آینده پزشکی را به تصویر می‌کشد (۲۸و ۲۹).

تا اینجا تلاش شد که گستره‌هایی که آکنده از فناوری‌های همگرا هستند و می‌توانند بر حوزه زیست پزشکی اثر گذارند، ترسیم شود. در گزارش سال ۲۰۱۶ از سوی MIT که با مشارکت اعضای هیئت علمی و دیگر پژوهندگان و اندیشمندان از بسیاری از دانشگاه‌ها، سازمان‌ها و 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 آینده تشخیص و درمان اثر گذارند و بنابراین آینده سلامت را شکل دهند، فراهم آورد. این چهار رهیافت همگرایی شامل:

۱- تصویربرداری؛ ۲- نانوفناوری؛ ۳- پزشکی بازآفرینشی (Regenerative Medicine)؛ ۴- پزشکی داده‌های بزرگ و فناوری اطلاعات سلامت می‌باشند (۱۳).

این فناوری‌های همگرا، نویدگر توسعه مرزهای پژوهش و فشار بر پزشکی برای حرکت به سوی رهیافت فردگرایانه (Personalized) بیشتر است به گونه‌ای که اثرات جانبی داروها و شیوه‌های درمانی، کاهش بیابند (۴).

طرح عملیاتی و راهبرد سرمایه‌گذاری

در این گام که آخرین مرحله از چارچوب چهاربخشی نقشه راه است،

1. System Biology
2. System Medicine
3. Biological Pathways
4. Network of Network
5. Big Data to Knowledge

[Downloaded from ijhp.ir on 2026-11-07]

طرح عملیاتی شامل شناسایی عوامل کلیدی توسعه عملیات، منابع مورد نیاز، خطرها و استراتژی سرمایه‌گذاری بر فناوری‌ها، ارائه می‌شود. طرح عملیاتی پیشنهادی برای دانشگاه‌های علوم پزشکی ایران که در اینجا ارائه می‌شود با دو فرض عدم نیاز به ایجاد ساختارهای موازی و یا جدید در قلب ساختارهای کنونی دانشکده‌ای و نیز حرکت به سوی میان رشته‌ای تدوین شده است. از این رو، ساختار پسندیده بر پایه چنین فرضیاتی همان ساختار تشکیل گروه‌های میان رشته‌ای با اهداف همگرایی برای انجام پژوهش در فناوری‌های همگرا است. ممکن است در دانشگاه‌هایی، مراکز و یا پژوهشکده‌هایی با ویژگی‌های میان رشته‌ای و عملکرد در عرصه پژوهش‌های همگرا وجود 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 همه دانشگاه‌ها، با هر سطح از خبرگی و رتبه پژوهشی، ارائه می‌دهد.

گروه‌های میان‌رشته‌ای

بنیاد ملی سلامت آمریکا در باز طراحی نقشه 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 مؤسسه‌های میان‌رشته‌ای است (۳۰).

براساس چنین مدلی و ساختار توصیف شده در گام دوم نقشه راه، تشکیل ۱ تا ۳ گروه میان رشته‌ای در هر دانشکده پیشنهاد می‌شود. این گروه‌ها براساس پروژه‌های پیشاهنگ پژوهش همگرا، تدوین شده توسط گروه‌های علوم پایه با مشارکت اعضای هیئت علمی دانشگاه‌های مادر (علوم) از بخش‌های شیمی، فیزیک، زیست شناسی، علوم رایانه‌ای، مهندسی، مواد و ریاضیات، تشکیل می‌شوند.

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

بی‌شک در گذر زمان و مشارکت دانشجویان پسا دکتری، دکتری و کارشناسی ارشد در پروژه هسته‌ای گروه، زیر پروژه‌های 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 (Cross-Faculty). با توجه به ساختار دینامیک و سیال این گروه‌های میان رشته‌ای، 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.

کمیته همگرایی

با توجه به چند جانبه گرایی، تنوع عملیاتی، مرزشکنی، گام‌های نوآورانه و چارچوب‌های نوین در حوزه کار تیم‌های میان رشته‌ای و نیاز به حمایت از فعالیت‌های آن‌ها، یک توصیه کلیدی، ایجاد کارگروه همگرایی؛ در سطح دانشگاه است. این کارگروه با مشارکت معاونان آموزشی، پژوهشی، خبرگان همگرایی از درون دانشگاه و بیرون دانشگاه، به‌ویژه بخش صنعت (ترجیحاً صنایع با فناوری‌های برتر)، سیاست‌گذارانی از سطح جامعه محلی آشنا و علاقمند به گستره‌های سیاست علمی، تشکیل می‌شود.

کارگروه، عمل هماهنگی بین گروه‌های میان رشته‌ای، اتخاذ استراتژی پژوهشی در زمینه توسعه همگرایی، شناسایی فرصت‌های نویدگر برای پژوهش و اولویت سنجی در گستره‌های سلامت برای ورود به مباحث همگرایی را دنبال می‌کند و از این رو نام "کمیته مشاوره‌ای خبرگان همگرایی" شاید زیبنده این کارگروه باشد (۱۳). ایجاد این کمیته همچنین می‌تواند در ایجاد اکوسیستم همگرایی در سطح دانشگاه و جامعه نقش حیاتی را ایفا کند.

سرمایه‌گذاری برپایه گستره‌های فناوری‌های همگرا

توصیه کلیدی دیگر در برنامه عملیاتی، استقرار یک نظام پایدار بودجه‌ای برای حمایت از فعالیت‌های همگرایی است. هم اکنون در بنیاد ملی سلامت آمریکا (NIH) حداقل ۲۰ درصد از پژوهش‌های آن به سوی پژوهش در فناوری‌های همگرا سوق یافته است (۱۳). مؤسسه ملی توسعه تحقیقات علوم پزشکی ایران (نیماد) می‌تواند نقش مرکزی را در هدایت پروژه‌های میان رشته‌ای 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، مسایل 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 میان رشته‌ای فوق‌الذکر در دانشگاه‌ها، نسبت به تخصیص گرانت مربوطه اقدام کند. شرط پذیرش چنین پروژه‌هایی می‌تواند مشارکت حداقل دو دامنه یا مرکز تحقیقاتی در فرایند اجرای آن است.

در یک فراگرد کلی، نیماد با شناسایی گستره‌های بحرانی فناوری‌های همگرا (به گام سوم در بالا بنگرید) و پیشنهاد پروژه‌های ملی، نسبت به پشتیبانی سرمایه‌ای از پروژه‌های ارائه شده از گروه‌های میان رشته‌ای که مورد تصویب کمیته همگرایی دانشگاه قرار گرفته‌اند، اقدام می‌کند. از سوی دیگر، در سطح دانشگاه‌ها نیز گرانت‌های میان رشته‌ای برای حمایت از پروژه‌های فناوری‌های همگرا باید برقرار شود و نسبت به تحریک انجام چنین پروژه‌هایی

[Downloaded from ijhp.ir on 2026-11-07]

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 جامعه رو به رشد، آینده پاسخ دهد.

تدوین پروژه‌های کلان پیشاهنگ

نه تنها در سطح مؤسسه ملی توسعه تحقیقات علوم پزشکی ایران (نیماد) بلکه در سطح دانشگاه‌ها نیز با مشارکت معاونت‌های پژوهشی و آموزشی، پروژه‌هایی کلان در گستره‌های نویددهنده همگرایی مانند پزشکی فرادقیق و زیست حسگرها، پروژه تصویربرداری و نقشه‌بندی مغز، بیولوژی سینتتیک و غیره باید تعریف شوند و پژوهشگران گروه‌های میان رشته‌ای را تشویق نمایند که براساس این پروژه‌های پیشاهنگ، پروژه‌های خود را تدوین کنند.

تدوین این پروژه‌های پیشاهنگ باید بر دو پایه استوار باشد یکی آن که با هماهنگی با مسئول بسته مرجعیت علمی دانشگاه که در بسته 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 می‌شود.

دوّم آن‌که، با هماهنگی با مسئول بسته 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.

آموزش همگرایی و تربیت نسل جوان پژوهشگر میان‌رشته‌ای

افزون بر آموزش میان رشته‌ای، برای دانشجویان و اعضای هیئت علمی، دستیابی به مهارت‌های کار گروهی و آشنایی با گستره‌های فناوری‌های همگرا که در سطح دانشگاه از سوی کمیته همگرایی ارائه می‌گردند، توصیه می‌شود. تربیت دانشجویان PhD پژوهشی، فلوشیب و پزشک پژوهشگر ارشد در قلب پروژه‌های پیشاهنگ که به شکل ویژه بر روی تم‌های همگرایی تمرکز دارند، می‌تواند در خلق نسل آینده پژوهشگران میان رشته‌ای 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 اعضای هیئت علمی به‌گونه‌ای 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 برنامه مسیرهای جدید بنیاد ملون (Mellon Foundation)، در دست اجرا است (۱۳).

مرکز دیده‌بانی فناوری‌های همگرا

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

این مرکز دیده‌بانی همچنین در هدایت پروژه‌های کلان پیشاهنگ و زیر پروژه‌ها، بسیار کمک کننده خواهد بود (۱۴). بر پایه 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.

جایزه همگرایی

هدف از تأسیس جایزه‌ای تحت عنوان، جایزه پیشگامی در فناوری‌های همگرا، تشویق متفکرین و پژوهشگران خلاق و فراموش شده است تا ایده‌های نوآورانه و جذاب آن‌ها در فناوری‌های همگرا در حوزه 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 گستره زیست پزشکی دنبال می‌کنند، شناسایی شوند. دریافت‌کنندگان جایزه نیز آزادی عقلانی بالایی را برای تعقیب ایده‌های خود در برای‌های قابل پیش‌بینی و غیر قابل تصور، خواهند داشت (۳۰). این جایزه می‌تواند در سطح دانشگاهی و ملی، جایگاه داشته باشد. توصیه دیگر، اختصاص جایزه‌ای ویژه برای فناوری‌های همگرا در جشنواره‌های ملی (مانند رازی، فارابی و خوارزمی) است.

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 (Core) اقدام شده که خود این آزمایشگاه‌ها می‌توانند با داشتن ماهیت میان رشته‌ای، نسبت به توسعه مشارکت، ایجاد همکاری و سینرژیسم میان پژوهشگران از مراکز و دانشکده‌های گوناگون اقدام کرده و

[Downloaded from ijhp.ir on 2026-11-07]

انتقال کارآمد فناوری‌های برخاسته از پژوهش‌های همگرا را تسهیل کنند. از سوی دیگر، وجود چنین آزمایشگاه‌هایی نسبت به خلق ایده و کارگروهی بر روی فناوری‌های همگرا، بسیار کارآمد هستند و برون ده آن‌ها، محصولات و خدمات جدیدی خواهند بود که از پژوهش‌های همگرا بیرون می‌آیند.

ایجاد پلاتفورم (سکو) فناوری‌های همگرا

راهبرد سکویی (پلاتفورمی)، می‌تواند راهی عملی برای توسعه نوآوری باز و توسعه اکوسیستم نوآوری برای آموزش و پژوهش در فناوری‌های همگرا باشد (۸). به شکل عمومی، پلاتفورم فناوری، مکانیسمی برای ایجاد وحدت در تلاش‌ها است تا راهبرد توسعه‌ای مشترکی ایجاد شده و در راه مسیر ویژه‌ای که علایق همه شرکاء حفظ می‌شود، گام برداشته شود. در حقیقت راهبرد، پلاتفورمی ابزاری است که علایق شرکای متنوع را در گستره خاصی از صنعت که هدف آن پرداختن به مسایل ویژه عمومی و ملی است، سازمان‌دهی می‌کند (۳۱).

به شکل آشکار، سکوی فناوری، یک پلاتفورم ارتباطی نوین است که مهم‌ترین پروژه‌های همگرایانه را از دیدگاه توسعه، تولید و تجاری‌سازی، از بخش‌های گوناگون فرآیند همگرایی، عرضه می‌دارد و بدین‌سان اولویت سنجی در گستره‌های نوآوری، خلق ارتباطات علمی جدید با بخش صنعت، هماهنگی مکانیسم‌هایی برای پیاده‌سازی برنامه‌های بودجه‌ای در مشارکت‌های بخش خصوصی-عمومی، افزایش برهم کنش 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 (۳۱و ۸).

A Roadmap Draft for Converging Technologies in the Universities of Medical Sciences to Achieve Scientific Authority

Iraj Nabipour[1,2]

Abstract

Background: The converging technologies are production of transition from disciplinary limits and the integration of tools and scientific methods in health sciences, physics, mathematics, computational sciences, and engineering. They have provided a unique role in the advancement of future medicine and the creation of new scientific disciplines. Undoubtedly, being pioneer in the establishment of converging technologies can promote the universities of medical sciences to achieve scientific authority.

Methods: The Albright Strategy Group's roadmapping convergence conceptual of framework consisting of four steps was used to design a roadmap draft for converging technologies the universities of medical sciences. The first step is definition and scope, the second step is research direction based on structure, the third step is technology roadmap to find the most competitive technologies, and the fourth step presents investment summary and action plan

Results: The technological fields which have potentials of convergence in their approach include physical enhancement/biomedicine, neuro/brain enhancement, synthetic biology, artificial intelligence and robotics, human-machine interfaces, systems medicine (network medicine), systems biology, and precision medicine and biosensors. The establishment of interdisciplinary groups, convergence committee, interdisciplinary laboratories, observatory center for convergence, convergence platform, convergence awards, convergence education and training of young scientists for interdisciplinary research, initiatives for converging technologies and investment in converging technologies should be encouraged in the investment summary and action plan step.

Conclusion: The nature of systems medicine and biology in the biomedicine research and the integration of omics technologies should be emphasized in the design of a roadmap draft for converging technologies at the universities of medical sciences. A particular attention should also be paid to human-machine interfaces, robotics and at the application of omics technologies in neuroscience to achieve scientific authority.

Keywords: Convergence, Educational Planning, Medical Education, Universities

1. Fellow of Academy of medical sciences of I.R of Iran
2. Member of Forecasting , theorizing and macro health observation group of Academy of medical sciences of I.R of Iran

[Downloaded from ijhp.ir on 2026-11-07]

منابع

1. Parsons L, Watson J, Connolly P, et al. Improving Human Health and Physical Capabilities. In: Roco MC, Bainbndge WS, editors. Converging Technologies for Improving Human Performance. Dordrecht: Springer; 2003. P. 179-273.
2. Doorn M. Converging Technologies: Innovation Patterns and Impacts on Society. Den Haag: Study Centre for Technology Trends; 2006.
3. Roco MC, Bainbridge WS. Converging Technologies for Improving Human Performance. Dordrecht: Springer; 2003
4. The Third Revolution: The Convergence of the Life Sciences, Physical Sciences, and Engineering. 2011. Massachusetts Institute of Technology. Available at: https://www.aplu.org/projects-and-initiatives/research-science-and-technology /MITwhitepaper.pdf
5. Park HS. Technology convergence, open innovation, and dynamic economy. J Open Innov Technol Mark Complex 2017; 3(4): 24.
6. Convergence of Knowledge, Technology, and Society: Beyond Convergence of Nano-Bio-Info-Cognitive Technologies. 2013. Available at: 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. 2008. Available at: https://cordis.europa.eu/docs/results /28/28837/124377001-6_en.pdf
8. Schwab K. The Fourth Industrial Revolution. Translated by I. Nabipour. Bushehr: Bushehr University of Medical Sciences; 2017. [In Persian]
9. Workshop Report: Convergence of Disciplines. 2014. Available at: https://www.scienceeurope.org/media/u0ycrqkz/workshop_report_convergence_final.pdf
10. Albright RE. Roadmapping Convergence. 2003. Available at: http://www.albrightstrategy.com/papers/Roadmapping_Convergence.pdf
11. National Research Council. Convergence: Facilitating Transdisciplinary Integration of Life Sciences, Physical Sciences, Engineering, and Beyond. Washington: The National Academic Press; 2014.
12. Nabipour I. The third generation university in the fourth industrial revolution. Bushehr: Bushehr University of Medical Sciences; 2018. [In Persian]
13. Sharp P, Hockfield S. Convergence: The future of health. Science 2017; 355(6325): 589.
14. Nordmann A. Converging technologies: shaping the future of European societies. Luxembourg: Publications Office of the European Union; 2004.
15. Bainbridge WS, Roco MC. Science and technology convergence: with emphasis for nanotechnology-inspired convergence. J Nanopart Res 2016; 18: 211.
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: implications for engaging the unengaged. 2014. Available at: https://www.lexology.com/library/detail.aspx?g=8834207c-e0a0-4d4d-bc5b-6150c69229ab
18. Nabipour I. Theory of interdisciplinary approach in medicine. Bushehr: Bushehr University of Medical Sciences; 2012. [In Persian]
19. Wissema JG. Towards the third generation university: managing the university in transition. Cheltenham: Edward Elgar Publishing; 2009.
20. Beckert B, Blumel C, Friedewald M. Visions and Realities in Converging Technologies: Exploring the technology base for convergence. Innovation 2007; 20(4): 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. [In Persian]
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. Available at: 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. [In Persian]
24. Nabipour I. The Future of Medicine. Bushehr: Bushehr University of Medical Sciences; 2016. [In Persian]
25. Nabipour I. A Roadmap Draft for the Development of Synthetic Biology in I.R. Iran. Iran South Med J 2017; 20(5): 501-518. [In Persian]
26. Nabipour I. Philosophy, ethics and politics in synthetic biology. Bushehr: Bushehr University of Medical Sciences; 2018. [In Persian]
27. Hood L. Systems biology and p4 medicine: past, present, and future. Rambam Maimonides Med J 2013 Apr 30; 4(2): e0012.
28. Nabipour I, Asadi M. Systems medicine P4 medicine. Bushehr: Bushehr University of Medical Sciences; 2014. [In Persian]
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.
30. Nabipour I. NIH Roadmap for Medical Research and Knowledge Based Economy. Bushehr: Bushehr University of Medical Sciences; 2008. [In Persian]
31. Matyushenk I, Sviatukha I, Sahno A. Prospects for Governmental Support of Convergent Technologies Development in the World and Ukraine. Advanced Science Journal 2017; 1: 10-24.

[Downloaded from ijhp.ir on 2026-11-07]