

پژوهشی

فن آوری‌های نوپدید حوزه سلامت و چشم‌انداز آینده: فرصت‌ها و چالش‌ها

مصطفی قانع^۱، ایرج نبی‌پور^۲، حمیدرضا خانکه^۳، رضا دهنویه^۴، فاطمه اخوان انوری^۵، حسین رستگار^{۶*}

۱. عضو پیوسته فرهنگستان علوم پزشکی، رییس گروه آینده‌نگری فرهنگستان علوم پزشکی، تهران، ایران، استاد دانشگاه علوم پزشکی بقیه‌الله العظمی (عج)، دبیر ستاد توسعه زیست فناوری
۲. عضو پیوسته فرهنگستان علوم پزشکی، عضو گروه آینده‌نگری فرهنگستان علوم پزشکی، مرکز تحقیقات زیست فن آوری دریایی خلیج فارس، پژوهشکده علوم زیست پزشکی خلیج فارس، دانشگاه علوم پزشکی بوشهر، بوشهر، ایران
۳. عضو پیوسته فرهنگستان علوم پزشکی، استاد، عضو گروه آینده‌نگری فرهنگستان علوم پزشکی، مرکز تحقیقات سلامت در حوادث و بلایا، انشگاه علوم توانبخشی و سلامت اجتماعی، تهران، ایران
۴. عضو گروه آینده‌نگری فرهنگستان علوم پزشکی، رییس مرکز تحقیقات آینده‌نگری و نوآوری در سلامت دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی کرمان، کرمان، ایران
۵. کارشناس ارشد ویروس‌شناسی، گروه آینده‌نگری، نظریه‌پردازی و رصد کلان سلامت فرهنگستان علوم پزشکی، تهران، ایران
۶. *نویسنده مسئول: عضو گروه آینده‌نگری فرهنگستان علوم پزشکی، استاد مرکز تحقیقات فرآورده های آرایشی و بهداشتی سازمان غذا و دارو وزارت بهداشت درمان و آموزش پزشکی، تهران، ایران، mhrastegar2@yahoo.com

پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۸/۰۹

دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۳/۳۱

چکیده

زمینه و هدف: از اواخر سده بیستم، مفهوم فن آوری‌های نوپدید، شبکه دانشی و حکمروایی آن‌ها، مورد توجه دانشگاهیان، رسانه‌ها و سیاست‌گذاران قرار گرفته‌اند. فن آوری‌های نوپدید، توسعه‌های علمی-فن آورانانه نوین رادیکال، مرزشکن و کمابیش با شتاب تندی می‌باشند که ممکن است اثرات چشمگیر اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی به همراه داشته باشند.

روش: در بحث‌های گروهی با حضور متخصصان حوزه‌های علوم و فن آوری (پانل خبرگان) به ثبت دیدگاه‌های آنها در زمینه فن آوری‌های نوپدید پرداخته شد. سپس فهرست حاصل از این ذهن‌انگیزی در پانل خبرگان، به شیوه پیشنهادی ام. سی. روکو و دبلیو اس. بین بریج، در قالب زیر حوزه‌های علوم و فن آوری‌های بنیادی گروه‌بندی شد.

یافته‌ها: فرصت‌های چشمگیری در علوم و فن آوری‌های نوپدید مانند هوش مصنوعی، پزشکی از راه دور و سلامت دیجیتال، مهندسی بافت و پزشکی بازآفرینی، بیولوژی سینتتیک، ویرایش ژن، فن آوری‌های عصبی، زیست حس‌گرها، چاپ سه بعدی و رباتیک برای کسب مرجعیت علمی، ارتقای عدالت و خلق امنیت اجتماعی وجود دارند. ماهیت عمده این فن آوری‌های نوپدید آن است که در گستره فن آوری‌های همگرا قرار می‌گیرند. از این رو، با خود چالش‌های بحرانی در زمینه‌های ایمنی زیستی و امنیت زیستی می‌آفرینند.

نتیجه‌گیری: فرصت‌های راهبردی در سامانه فن آوری‌های بنیادی علم و فن آوری یافت می‌شوند که با مدد این فن آوری‌های نوپدید می‌توان به پیشرفت‌های شگفت‌انگیز در گستره سلامت، توسعه دارو و درمان، استقرار عدالت و امنیت اجتماعی دست یافت. از اینرو، راهکارهای دستیابی به فن آوری‌های همگرا برای کسب مرجعیت علمی می‌بایست مد نظر قرار گیرند.

کلیدواژه‌ها: چشم‌انداز آینده، فرصت‌ها و چالش‌ها، فن آوری‌های نوپدید، همگرایی

مقدمه

فن آوری‌های نوپدید با انقلاب صنعتی چهارم نزدیکی یافته است. انقلاب صنعتی چهارم را می‌توان با گستره‌ای از فن آوری‌های نوپدید تعریف کرد. این انقلاب، جهان‌های فیزیکی، دیجیتالی و زیستی را به یکدیگر پیوند داده و بر همه رشته‌ها، اقتصاد و صنایع، اثر خود را فرود می‌آورد (۲). جدول ۱، ویژگی‌های انقلاب صنعتی چهارم در حوزه‌های گوناگون علوم و فنون را نشان می‌دهد.

گرچه هنوز تعریفی که مورد پذیرش عموم باشد برای فن آوری‌های نوپدید در دست نیست؛ اما این اصطلاح با توسعه‌های علمی-فناورانه نوین رادیکال، مرزشکن و کمابیش با شتاب تند ولی هنوز در حال تولد توأمان می‌باشد که ممکن است اثرات برجسته اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی نیز داشته باشند (۱). امروزه بیش از هر زمانی، مفهوم

ویژگی‌های انقلاب صنعتی چهارم در حوزه‌های مختلف علوم و فنون

- انقلاب صنعتی چهارم ترکیبی از فناوری‌های هوش مصنوعی، رباتیک پیشرفته، اینترنت اشیا، خودروهایی خودران، چاپ سه بعدی، فناوری نانو، فناوری زیستی، علوم مواد و ذخیره انرژی می‌باشد.
- از لحاظ مقیاس با آن چه تاکنون بشر تجربه کرده بسیار متفاوت‌تر است.
- این انقلاب نه تنها چابکی و چگونگی انجام کارها، بلکه هویت ما را تغییر می‌دهد.
- ما هنوز نتوانسته‌ایم سرعت و وسعت این انقلاب را درک کنیم و بدانیم تا کجا بسط خواهد یافت.
- تغییرات آنچنان عمیق است که جهان آستان وعده‌های بزرگ و مغاظرات بالقوه خواهد شد.
- سرعت نهایی به جای خطی به صورت نمایی بروز کرده و گستره عمیقی بر اقتصاد کسب و کار جامعه داشته و به طور کلی تحول عمیقی بر تمام سیستم‌های حاکمیتی و غیرحاکمیتی کشورهای دنیا خواهد داشت.
- انتخاب دو گزینه «قبول کن و زندگی کن» یا «رد کن و بدون آن زندگی کن».
- این تغییرات به صورت عمده از سال ۲۰۱۱ شروع و احتمالاً در سال ۲۰۳۰ به اوج خود می‌رسد.
- سطح مورد نیاز رهبری و درک تغییرات در حال وقوع چه در سطح ملی و جهانی ناکافی یا پایین است.
- جهان فاقد روایت منسجم و مشترکی از تغییرات اساسی در حال وقوع می‌باشد.



جدول ۱- ویژگی‌های انقلاب صنعتی چهارم در حوزه‌های گوناگون علوم و فنون

اطلاعات و علوم شناختی و هوش مصنوعی می‌توان بسیاری از نیازهای حوزه علوم داروسازی و پزشکی را مرتفع کرد. در جایی که این فن‌آوری‌ها با ابزارها و روش‌هایی مانند ژن‌تراپی، سلول‌های بنیادی و سلول‌درمانی، مهندسی بافت، چاپگر سه بعدی، هوش مصنوعی، بیوانفورماتیک، پزشکی فردی، داروهای با فن‌آوری بالا مانند فرآورده‌های نوترکیب، مونوکلونال آنتی‌بادی، mRNA، microRNA، آپتامر، پپتیدهای نوین، رادیوداروها و واکسن‌های اسید نوکلئیکی و پروتئینی یا واکسن‌های خوراکی، رفع ناباروری و کلونینگ، فرآورده‌های نانو، فرآورده‌های بیومتریال‌های هوشمند، مواد و روش‌های نوین دندانپزشکی و فن‌آوری‌های نوین تشخیصی و آزمایشگاهی بالینی و فن‌آوری بیورزونانس، تصویربرداری، تجهیزات پزشکی و سیستم‌های مبتنی بر میکروفلوئیدیک و حسگرهای زیستی و همچنین محصولات فناورانه غذایی، دریایی و آرایشی و بهداشتی و بطور کلی در یک جبهه وسیع با بهره‌گیری از فن‌آوری اطلاعات می‌توانیم انقلاب بزرگی را در حوزه پزشکی و داروسازی به همراه داشته باشیم که تمام این فن‌آوری‌ها را امروزه به نام فن‌آوری‌های نوین یا ابررونده‌های بنیان برافکن در حوزه‌های علوم و فن‌آوری می‌شناسند؛ چنانچه در سال ۲۰۵۰ می‌توان شاهد شکوفایی غیر قابل تصور و حداکثری این علوم و فن‌آوری‌های نوین و همگرا و تغییرات غیر قابل باور در حوزه پزشکی و داروسازی باشیم به طوری که علوم پزشکی و داروسازی فعلی در آینده ۲۰۵۰ از جهاتی علوم سنتی شناخته خواهد شد (۴).

در چنین پارادایم فن‌آورانه‌ای است که انسان‌ها افزایش طول زندگی و توان مغزی و فیزیکی خود را به گونه‌ای تجربه خواهند کرد که پیش از این در طول تاریخ تکامل خود با آن روبرو نبوده‌اند. این فضایی است که

بی‌شک، انقلاب صنعتی چهارم با خود انباشتی بی‌انتهای آن‌ها از خلق فن‌آوری‌های نوپدید به ارمغان خواهد آورد که موجب می‌شود رشد و توسعه فن‌آوری‌های نوین از رشد نمایی (Exponential) پیروی کنند. همگی با قانون مور (Moore's Law) آشنایی داریم که مدعی بود افت حجمی ترانزیستورها بر روی یک مدار یکپارچه، اجازه ظهور دو برابر عملکرد مثبت ادوات الکترونیک را در هر سال فراهم می‌آورد؛ اما پیشرفت‌های فناورانه دو دهه اخیر حاکی از آن است که رشد فن‌آوری از آنچه که مور نیز پیش بینی کرده بود فزونی یافته و با نرخ نمایی (Exponential rate) رشد می‌یابد. پیش‌تر دیمانندس که بنیانگذار دانشگاه تکینگی و نیز جایزه ایکس است با مشاهده پیشرفت‌های موجود در داده‌های بزرگ (Big data)، پزشکی فردگرایانه (Personalized medicine)، چاپ سه بعدی و هوش مصنوعی، معتقد است که فن‌آوری وارد دوره رشد نمایی خود شده است به گونه‌ای که سرعت آن به اندازه‌ای تند شده است که از قانون مور نیز پیشی جسته است و این خود موجب ایجاد تحولات بنیان برافکن در گستره مراقبت‌های سلامت خواهد شد (۳).

رشد علم و فن‌آوری با نرخ نمایی، انقلاب صنعتی و خلق فن‌آوری‌های نوپدید با یکدیگر چنان آمیختگی مفهومی یافته‌اند که بدون اندیشه پیرامون آن‌ها امکان درک حرکت علم و فن‌آوری در هزاره جدید میسر نخواهد بود. از سوی دیگر، در سی سال آینده، مهمترین مشکلات بشر در حوزه انرژی، آب، غذا، محیط زیست، فقر، تروریسم (جنگ)، بیماری، آموزش، دموکراسی و جمعیت خواهد بود و بهره‌گیری از فن‌آوری‌های نوپدید تنها راه برون رفت از این دشواری‌ها است. درحال حاضر به نظر می‌رسد با بهره‌گیری از فن‌آوری‌های همگرا و پیشرفته مانند بیوتکنولوژی، نانو تکنولوژی، فن‌آوری

پرتوهای آن از سال ۲۰۳۰ خواهد درخشید و در سال ۲۰۵۰ نیز جهان بیولوژیک و فیزیکی ما را دگرگون خواهد کرد و با شکلی از پزشکی و طبابت روبرو خواهیم شد که مفاهیم و رهیافت‌های کنونی موجود در دانش و عملکرد طبّ جاری، دیگر پاسخ‌گوی آن نخواهند بود و پزشکی به سوی پزشکی فرادقیق سوق می‌یابد.

پزشکی فرادقیق، رهیافتی در پزشکی است که تفاوت‌های ژنی افراد، محیط زیست و شیوه 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. بدون تردید، پیشرفت‌های فن‌آوری‌های امیکس مانند ژنومیکس، فن‌آوری‌های گردآوری داده‌ها و ذخیره‌سازی آن‌ها، آنالیز رایانه‌ای و کاربردهای سلامت فن‌آوری تلفن هوشمند طی دهه گذشته، رشد بی‌امان پزشکی فرادقیق را امکان‌پذیر کرده‌اند. برای نیل به چنین هدفی، در پزشکی فرادقیق آینده تلاش می‌شود که الگوی سلامت و بیماری هر انسان بر اساس چندین لایه اطلاعات ترسیم شود. این لایه‌های اطلاعاتی از همه فن‌آوری‌های امیکس دهگانه که می‌شناسیم از ژنومیکس تا فیزیوم، اکسپوزوم، فنوم و ترسیم نگار اجتماعی Social graph برگرفته می‌شوند. در قلب این فن‌آوری‌ها، فن‌آوری‌های بسیار پیچیده، همگرا و نوپدید نهفته‌اند که ظهور و پیدایی آن‌ها با فرصت‌ها و چالش‌های فراوانی همراه می‌باشند (۳). چنین است که حکمروایی فن‌آوری‌های نوپدید خود به یک مقوله جذاب و بسیار فزاینده از دید رقابتی در سیاست علم و فن‌آوری کشورها تبدیل شده است. پرداختن به چالش‌ها در این زمینه از منظر عدم قطعیت‌ها درباره فرصت‌ها و خطرات شامل ایمنی درازمدت این فن‌آوری‌ها و اثرات زیست محیطی و اقتصادی-اجتماعی آن‌ها، موضوع کنکاش قرار گرفته‌اند.

روش

مطالعه مربوط به این پژوهش از نوع تحلیلی و توصیفی است که در فاز اول از طریق جمع‌آوری اطلاعات از پایگاه‌های داده‌های اطلاعات الکترونیکی تحت وب و PubMed با کلید واژه فن‌آوری‌های نوپدید در حوزه‌های علوم پزشکی و زیست پزشکی صورت پذیرفت. در فاز دوم با طرح موضوع و ارائه نتایج فاز اول در بحث‌های گروهی با حضور متخصصان حوزه‌های علوم و فن‌آوری (پانل خبرگان) به ثبت دیدگاه‌های آنها با چشم انداز آینده در زمینه فن‌آوری‌های نوپدید پرداخته شد. آن‌گاه فهرست حاصل از این ذهن انگیزی در پانل خبرگان، به شیوه ام. سی. روکو و دبلیو اس. بین بریج (۵)، در قالب زیر حوزه‌های علوم و فن‌آوری‌های بنیادی (Foundational Science and Technology)، گروه‌بندی شد. درنهایت در فاز سوم، راهبردهای عملیاتی در دستیابی به توسعه و بکارگیری مدیرانه فن‌آوری‌های نوپدید و نوین حوزه سلامت ارائه شد.

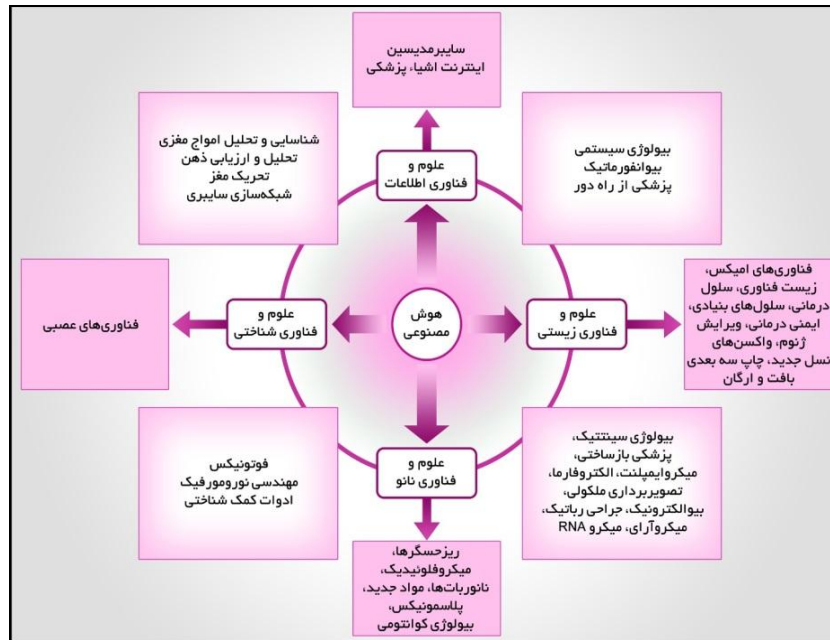
نتایج

افراد شرکت کننده در پانل خبرگان به مزایا و فرصت‌های در پیوست با فن‌آوری‌های نوپدید به شرح ذیل اشاره کردند:

مزایا و فرصت‌های ملی در کسب و دستیابی به فن‌آوری‌های

نوظهور و نوین

۱. کسب جایگاه مناسب و شایسته در سطوح ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی؛
 ۲. عدم وابستگی به سایر کشورها برای بهره‌مندی از محصولات و خدمات فن‌آوری نوین؛
 ۳. دستیابی به جدیدترین و بروزترین فن‌آوری‌های جدید در داخل کشور؛
 ۴. امکان مشارکت و اجرای طرح‌های مشترک با سایر مراکز فن‌آوری دنیا؛
 ۵. کسب بازارهای منطقه‌ای و جهانی و ارتقای GDP کشور؛
 ۶. ارتقای توریست سلامت و ممانعت از خروج بیماران برای درمان به خارج کشور؛
 ۷. حفظ نخبگان و ممانعت از مهاجرت آنها به خارج از کشور؛
 ۸. امکان کسب مرجعیت فن‌آوری در سطوح ملی، بین‌المللی و منطقه‌ای؛
 ۹. رونق بازار و کسب و کار سلامت در داخل کشور و صادرات خدمات و کالاهای فن‌آورانه به خارج از کشور؛
 ۱۰. رقابت با کشورهای معتبر و مطرح در حوزه فن‌آوری؛
 ۱۱. امکان آموزش‌های لازم در حوزه فن‌آوری و ایجاد مرجعیت فن‌آوری در داخل کشور؛
 ۱۲. ارتقای امنیت ملی حوزه سلامت و گسترش عدالت اجتماعی در سطح جامعه.
- افراد شرکت کننده در پانل خبرگان، فهرست اولیه علوم و فن‌آوری‌های نوپدید در گستره علوم پزشکی را اولویت سنجی کرده و به شیوه طوفان فکری آن‌ها را در زیر حوزه‌های علوم و فن‌آوری‌های بنیادی (زیستی، شناختی، اطلاعاتی و نانویی) و سامانه فن‌آوری‌های همگرا بنیادی علم و فن‌آوری (به اختصار (NBICA)، گروه‌بندی کردند. همان‌گونه که در شکل ۱ مشاهده می‌شود پاره‌ای از این علوم و فن‌آوری‌ها در بخش علوم و فن‌آوری‌های بنیادی و برخی دیگر نیز در حد فاصل همگرایی متقاطع علوم و فن‌آوری‌های بنیادی قرار گرفتند.
- نکته حائز اهمیت در این فاز از مطالعه این است که بسیاری از این علوم و فن‌آوری‌های نوپدید، در مدار چرخشی در میان این حوزه‌های چهارگانه علوم و فن‌آوری‌های بنیادی، جای گرفتند؛ به زبان دیگر، چنین به نظر می‌رسد که این علوم و فن‌آوری‌های نوپدید بیشتر ماهیت علوم و فن‌آوری‌های همگرا NBICA دارا می‌باشند.
- پانل خبرگان به چالش‌های حرکت به سوی فن‌آوری‌های نوپدید به شرح ذیل نیز پرداختند:



شکل ۱- علوم و فن‌آوری‌های کلیدی و نوپدید در حال توسعه در حوزه‌های علوم پزشکی

۳. همگرایی ظرفیت‌های مختلف موجود در حوزه‌های مختلف کشور برای دستیابی به فن‌آوری‌های نوین؛
۴. تقویت و توسعه مراکز حمایتی از استارت‌آپ‌ها، شتاب‌دهنده‌ها، مراکز تولیدی در حوزه‌های فن‌آوری‌های نوین؛
۵. پیاده‌سازی راهبردهای همگرایی علم، فن‌آوری و جامعه در کشور به منظور هدفمندسازی تحقیقات پایه و کاربردی به سمت تجاری‌سازی دستاوردهای حاصل تحقیقات همگرا و خروجی‌های میان‌رشته‌ای در حوزه فن‌آوری‌های نوین و نوظهور؛
۶. گسترش رهیافت‌های میان‌رشته‌ای برای مشارکت حوزه‌های علوم پزشکی و غیر علوم پزشکی در دستیابی و بهره‌مندی حداکثری از فن‌آوری‌های نوین برای حرکت به سمت پزشکی فرادقیق و حوزه سلامت دیجیتال و هوش مصنوعی؛
۷. گذار از بیولوژی سیستمی به پزشکی سیستمی و پیاده‌سازی پزشکی فرا دقیق و بیولوژی سینتتیک در کشور؛
۸. اجرایی‌سازی کامل سندهای ملی و مستندات کاربردی در حوزه فن‌آوری‌های نوین؛
۹. تحولات بنیادی در سطوح دانشگاهی، صنایع و سیستم‌های نظارتی در حوزه‌های فن‌آوری‌های نوین و نوظهور و الزام به مسئولیت‌پذیری آنها؛
۱۰. حمایت عملی و ملموس از نخبگان، متخصصان و استادان فن در توسعه و گسترش فن‌آوری‌های نوین و اجرای برنامه‌های مؤثر و کارآمد در مانع‌زدایی از مهاجرت آنها؛
۱۱. فراهم آوردن امکان جذب نخبگان ایرانی مقیم خارج از کشور توسط دانشگاه‌ها و مراکز علمی؛

تهدیدها و چالش‌های بالقوه در کسب و دستیابی به فن‌آوری‌های نوظهور و نوین

- عدم حفظ اسرار بیماران و امنیت اجتماعی آنها؛
 - عدم امکان عدم دسترسی و بهره‌مندی همگانی از خدمات فن‌آورانه و خدشه بر عدالت اجتماعی بیماران؛
 - کاهش شدید ارتباطات حضوری خانوادگی و اجتماعی با توجه به گسترش خدمات مجازی و فن‌آورانه؛
 - تخریب محیط زیست و فجایع طبیعی ناشی از توسعه فن‌آوری؛
 - دستکاری‌های ژنتیکی و فجایع غیر قابل کنترل در سطوح مختلف اجتماعی؛
 - گسترش حوزه تروریسم و بیوتروریسم با بکارگیری ناصحیح و غیرمترعارف از فن‌آوری‌های نوین؛
 - دور شدن از اهداف متعالی انسانی با بکارگیری ناصحیح و مخرب از فن‌آوری‌های نوین.
- در فاز نهایی، خبرگان در پانل به راهبردهای عملیاتی در دستیابی به توسعه و به کارگیری فن‌آوری‌های نوپدید و نوین در حوزه سلامت نیز اشاره کردند که این راهبردها شامل موارد ذیل می‌باشند:

راهبردهای عملیاتی در دستیابی به توسعه و به‌کارگیری فن‌آوری‌های نوظهور و نوین حوزه سلامت:

۱. برنامه‌ریزی و مدیریت هدفمند در توسعه و بکارگیری فن‌آوری‌های نوظهور و نوین حوزه سلامت؛
۲. ایجاد یا گسترش زیرساخت‌های دانشگاهی، تحقیقاتی و صنعتی در حوزه فن‌آوری‌های نوظهور و نوین؛

بحث

از اواخر سده بیستم، مفهوم فن آوری‌های نوپدید، گستره‌های موردنظر و حکمروایی آن‌ها، مورد توجه دانشگاهیان، رسانه‌ها و سیاست‌گذاران قرار گرفته‌اند. این مفهوم همچنین نیرومندان به گستره میان رشته‌ای ارزیابی فن آوری (Technology assessment)، پژوهش‌های در پیوست با پایداری (Sustainability Research) و فعالیت‌ها و بحث‌ها درباره پژوهش و نوآوری (Responsible Research and Innovation) چنگ می‌اندازد (۱). ایالات متحده آمریکا، شناسایی فرصت‌های حاصل از فن آوری‌های نوپدید را برای امنیت و رشد اقتصادی بحرانی محسوب کرده است. پایگاه نوآوری امنیت ملی ایالات متحده آمریکا (United States National Security Innovation Base (NSIB) در ذیل استراتژی امنیت ملی این کشور به صورت شبکه دانش، توانمندی‌ها و مردم (شامل دانشگاهیان، آزمایشگاه‌های ملی و بخش خصوصی) تعریف شده است که هدف این پایگاه تبدیل ایده‌ها به نوآوری‌ها، کشفیات به محصولات و شرکت‌های تجاری موفق، افزایش سبک زندگی آمریکایی و حفاظت از آن است (۶).

شورای نوآوری اروپایی (European Innovation Council; EIC) در سال ۲۰۲۲ نیز به شناسایی فن آوری‌های نوپدید و نوآوری‌های مرزشکن پرداخته و رویکرد خود را در این سال انتشار داده است (۷). توجه به این فن آوری‌ها به ویژه طی دو سال گذشته که جهان با همه‌گیری ویروس کرونا روبرو بوده است بسیار مورد توجه شورای نوآوری اروپایی قرار گرفته است و از دیدگاه این شورا، برای رویارویی با چالش‌های روز افزون جهان معاصر به همکاری‌های فراگیر اروپایی و بین‌المللی در بخش سلامت و بخش‌های وابسته نزدیک به آن نیاز است. شورای نوآوری اروپایی در گستره پیچیده سلامت و مراقبت‌های مربوطه، گستره‌ای از فن آوری‌های نوپدید و نوآوری‌های مرزشکن را مورد شناسایی قرار داده است که از پژوهش‌های نوین در حوزه مهندسی بافت و پزشکی بازآفرینشی (Regenerative medicine)، کاردیوژنومیک (Cardiogenomics)، کشف دارو با توان هوش مصنوعی، ادوات تشخیصی همراه سرطان، سلول درمانی، ژن درمانی، بیولوژی سینتتیک، درمان‌های وابسته به RNA، تا نقشه‌های داده‌های بزرگ چند مارکری را پوشش می‌دهد (۷). مقایسه فهرست مورد توجه شورای نوآوری اروپایی با فهرست به دست آمده از طریق پانل خبرگانی ایرانی که ما در این پژوهش به دست آوردیم نشان‌دهنده یک همسانی و هم پوشانی منحصر به فرد میان آن دو می‌باشد.

در سال ۲۰۲۲ نیز سازمان بهداشت جهانی (WHO) نیز به فن آوری‌های نوپدید توجه نشان داده و یک پیمایش ویژه در گستره سلامت عمومی را ارائه کرد که حاصل آن شناسایی ۱۵ فن آوری نوین و نوپدید و پیشرفت‌های علمی است که آن‌ها اثر چشمگیری را طی دو دهه آینده بر حوزه سلامت فرود می‌آوردند (۸). بررسی در اولویت‌های مورد نظر سازمان بهداشت جهانی در گستره فن آوری‌های نوپدید نشانگر رویکرد این سازمان به این فن آوری‌ها و

۱۲. افزایش امکان و تسهیل فرایند به‌کارگیری دانش‌آموختگان در حوزه‌های فن آوری، آموزشی و تحقیقاتی؛
۱۳. افزایش حمایت اجتماعی از جوانان، زنان و زوج‌های جوان با گسترش و بکارگیری علوم و فن آوری‌های نوین؛
۱۴. توسعه ارتباطات بین‌المللی به منظور شکل‌گیری شبکه‌های تحقیقاتی کاربردی و فن‌آورانه با مشارکت نخبگان؛
۱۵. افزایش شفافیت در فرآیندها و جلب مشارکت مردم با بهره‌مندی از فن آوری‌های نوین در تمامی امور به منظور افزایش اعتماد و سرمایه اجتماعی؛
۱۶. مبارزه همه‌جانبه با فساد، تضاد منافع و رانت و تقویت شایسته‌سالاری با کمک ساختارهای فن‌آورانه برای دستیابی عدالت در جامعه؛
۱۷. جلب سرمایه‌گذاری داخلی و خارجی در مناطق محروم با راهکارهای تشویقی و معافیت‌های مرتبط به منظور تسهیل توسعه و اشتغال‌زایی جوانان و تقویت و مشارک شرکت‌های دانش بنیان و هسته‌های فن‌آور در برنامه‌های مربوطه؛
۱۸. آسیب‌شناسی و تقویت نظام نوآوری فن آوری‌های سلامت در سطح ملی و مناطق آمایشی کشور با مشارکت همه بازیگران این نظام؛
۱۹. رصد مداوم فن آوری‌های نوظهور و افق‌بایی فن آوری‌های سلامت برای افزایش هوشیاری نظام سلامت در حوزه فن آوری‌های نوظهور؛
۲۰. انجام مطالعات آینده‌نگر در خصوص اثرات فن آوری‌های کلیدی بر نظام سلامت و تدوین نقشه راه مواجهه با این فن آوری‌ها؛
۲۱. تقویت جایگاه ارزیابی فن آوری سلامت در نظام سیاست‌گذاری حوزه سلامت و ایجاد زیرساخت‌های لازم برای آن؛
۲۲. تدوین قوانین و مقررات لازم برای حوزه‌های مغفول واقع شده فن آوری‌های سلامت؛
۲۳. آموزش و اطلاع‌رسانی فراگیر برای ارتقای فرهنگ استفاده از فن آوری‌های نوین در ذینفعان مختلف اعم از سیاست‌گذاران، ارایه‌دهندگان و جامعه؛
۲۴. تقویت ساختار کل نگر در علوم پزشکی کشور برای رشد متوازن فن آوری در حوزه‌های مختلف؛
۲۵. فراهم سازی امکان استفاده عادلانه از فن آوری‌ها و برنامه‌ریزی مناسب برای توسعه و توزیع فن آوری‌های سلامت در کشور؛
۲۶. تدوین مکانیزم‌های نظارتی مناسب برای استفاده منطقی و هدفمند از فن آوری‌ها توسط ارایه‌دهندگان خدمت و جلوگیری از تقاضای القایی؛
۲۷. تقویت ارتباطات بین مراکز، دانشگاه‌ها و مناطق آمایشی و دیدن بخش خصوصی در کنار بخش دولتی برای استفاده منطقی‌تر از فن آوری‌های نوظهور.

انسان ایجاد کند که او بتواند فضاهای مجازی را با شدت هر چه بیشتر تجربه کند. از اینرو، این فن‌آوری‌های همگرا می‌توانند از مرزهای حس انسان گذر کرده و برای انسان در برخورد با محیط فیزیکی، سطح ارتباط جدیدی را خلق کنند. این اندیشه‌ها درباره دستاوردهای فن‌آوری‌های همگرا چنان انقلابی و شگفت آور بود که گروه ETC بسته فن‌آوری‌های 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 (۱۳-۱۵).

فن‌آوری‌های همگرا که حاصل گذار از مرز رشته‌ای و یکپارچه‌سازی ابزارها و روش‌های علمی در گستره‌ای از علوم سلامت، فیزیک، ریاضیات، علوم محاسبه‌ای و رشته‌های مهندسی است، نقش بی‌همتایی در رشد و توسعه پزشکی نوین و خلق رشته‌های جدید فراهم آورده‌اند. بی‌شک، پیشگامی در فن‌آوری‌های همگرا می‌تواند دانشگاه‌های علوم پزشکی کشور را در راه کسب مرجعیت علمی شتاب دهد. همان‌گونه که شکل ۱ نشان می‌دهد، فن‌آوری‌های نوپدید مورد اشاره از سوی خبرگان در پژوهش ما نیز بیشتر از جنس همگرا می‌باشند و لذا برای دستیابی به این فن‌آوری‌های نوپدید همگرا می‌بایست به تدوین طرح عملیاتی و راهکارهای عملکردی اقدام کرد. ما در پیش از این، در پیش نویس نقشه راه فن‌آوری‌های همگرا در دانشگاه‌های علوم پزشکی برای کسب مرجعیت علمی، به این طرح عملیاتی پرداخته بودیم (۱۶).

در این طرح عملیاتی، به ده راهکار برای توسعه و گسترش همگرایی علم و فن‌آوری در سطح کشور اشاره شده است (جدول ۲). در این طرح عملیاتی تشکیل گروه‌های میان رشته‌ای، کمیته همگرایی، آزمایشگاه‌های میان رشته‌ای، مرکز دیده‌بانی فن‌آوری‌های همگرا، ایجاد پلتفرم (سکو) فن‌آوری‌های همگرا، جایزه همگرایی، تدوین پروژه‌های کلان پیشاهنگ در زمینه همگرایی، آموزش همگرایی و تربیت نسل جوان پژوهشگر میان رشته‌ای و سرمایه‌گذاری بر پایه گستره‌های فن‌آوری‌های همگرا، مورد تأکید قرار گرفته‌اند (۱۶).

اکثر فن‌آوری‌های نوپدید مورد اشاره در پژوهش ما را می‌توان در یکی از پنج پارادایم همگرایی عملکردی در حوزه پزشکی که مورد توجه اندیشکده‌های مطرح جهان قرار گرفته‌اند (۱۷)، جای داد. این پنج پارادایم آینده شامل یادگیری ماشین و هوش مصنوعی در حوزه توسعه و غربالگری دارو، آنالیز داده‌ها و بازی‌سازی (gamification) و واقعیت افزوده در حوزه تشخیص و درمان‌های دیجیتال، ردیابی ژنومیک، نشانگرهای زیستی، چاپ سه بعدی و رباتیک در حوزه درمان‌های فردگرایانه و اقدامات با پزشکی فرادقیق، ژنومیک، تصویربرداری ملکولی، زیست حس‌گرها و یادگیری ماشین در حوزه حمایت‌های تصمیمی (Decision support)، پزشکی راه دور با استفاده از ویدئو، پایش در خانه و ادوات تشخیصی خانگی در حوزه پیشگیری و تشخیص زودرس، می‌باشند (۱۷).

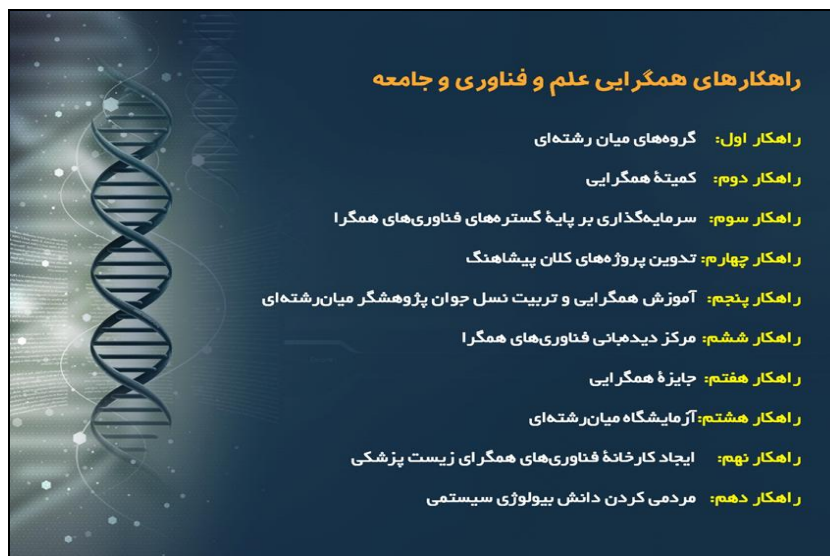
نوآوری‌ها در چهار چوب زمانی یک دوره ده ساله است که پزشکی از راه دور، درمان‌های بر پایه میکروبیوم، شیوه‌های تشخیصی بر پایه حس‌گرهای زیستی، درمان فاژ مهندسی شده ژنتیکی (Genetically engineered phage therapy)، تا سلامت دیجیتالی و سامانه‌های حمایت منطقی بالینی توانمند یافته با هوش مصنوعی را پوشش می‌دهد (۸).

فورم اقتصادی جهان (World Economic Forum) نیز به‌تازگی ده فن‌آوری نوپدید برتر جهان در سال ۲۰۲۱ را انتشار داده است (۹). در میان این ده فن‌آوری برتر چهار فن‌آوری نوپدید در حوزه پزشکی و داروسازی می‌باشند که شامل: حس‌گرهای تنفسی برای تشخیص بیماری‌ها، ساخت دارو بر پایه تقاضا، مهندسی سالخورده‌گی بهتر و ادوات نشانگر زیستی به صورت بی‌سیم می‌شوند (۹).

خدمات ملی سلامت (NHS) انگلستان نیز چهار گستره فن‌آورانه بزرگ را که با خود فن‌آوری‌های نوپدید برای خدمات سلامت و پزشکی به ارمغان آورده‌اند مورد شناسایی قرار داده است که در حوزه‌های ژنومیک، پزشکی فرادقیق، مراقبت‌های از راه دور و هوش مصنوعی قرار می‌گیرند (۱۰).

دیده‌بانی کلان فن‌آوری‌های نوپدید در گستره سلامت و پزشکی توسط پژوهشگران، بر نقش هوش مصنوعی و فن‌آوری‌های دیجیتال، واقعیت افزوده و مجازی (VR/AR)، اینترنت اشیاء پزشکی، رباتیک و دستاوردهای انقلاب صنعتی چهارم صحنه می‌گذارند (۱۱، ۱۲). ارزیابی ماهیت فن‌آوری‌های مرز شکن نوپدید حاکی از آن است که ماهیت این فن‌آوری‌ها بیشتر از حوزه‌های بنیادی چهارگانه (زیستی، شناختی، اطلاعاتی و نانویی) گذر کرده و به سامانه فن‌آوری‌های همگرا بنیادی علم و فن‌آوری (به اختصار NBICA (Nano-Bio-Info Cogno-AI) میل کرده است. این سامانه از یکپارچه‌سازی میان حوزه‌ای و سلسله مراتبی بلوک‌های ساختمانی گوناگون بنیادی (بیت‌ها، نرون‌ها، ژن‌ها، اتم‌ها و کیوبیت‌ها) ساخته می‌شود (۵). خلق این سامانه فن‌آوری‌های همگرا بنیادی علم و فن‌آوری که از آن با عنوان انقلاب همگرایی یاد می‌کنند، یک جابجایی پارادایمی است.

شاید نخستین بار توجه جامعه علمی براساس یافته‌های همایش ژوئن ۲۰۰۲ میلادی که توسط برنامه پیشاهنگ نانوفن‌آوری ملی آمریکا برگزار شد و نتایج آن به صورت گزارشی تحت عنوان «فن‌آوری‌های همگرا برای بهبودی کارایی انسان» درباره همگرایی فن‌آوری‌های نانویی، زیستی، اطلاعات و علوم شناختی (NBIC) توسط روکو و بین بریج (Roco & Bainbridge) در سال ۲۰۰۳ میلادی انتشار یافت، به سوی این فن‌آوری‌ها جلب شد. در این گزارش، از پردازنده‌های زیست نانویی، خود پایشی تندرستی فیزیولوژیک و اختلال عملکردی، با به کارگیری ادوات کاشت نانویی، روبات‌های نانویی، گونه‌های گوناگون ارتباط شنیداری و بینایی بر پایه سکوها چندمنامی، 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، فن‌آوری زیستی در پناه علوم شناختی می‌تواند سطح تماس برای



جدول ۲- راهکارهایی برای رهیافت همگرای علم و فن آوری

با فن آوری‌های نوپدید انقلابی عظیم را در نوآوری باز و اقتصاد دانش بنیان خلق کنند (۲۴).

همان گونه که در پژوهش ما آشکار شد، در روبرویی با فن آوری‌های نوپدید چالش‌هایی وجود دارند که طیفی را از موضوعات از جمله: برابری و عدالت، در برگیرندگی آحاد جامعه، مسئولیت‌پذیری، شفافیت و پاسخ‌گویی را شامل می‌شوند که یک مجموعه ارزشی را سامان می‌دهند. عدم رعایت این ارزش‌ها ممکن است اثرات منفی را بر توسعه فن آوران ایجاد کند؛ زیرا این فن آوری‌های نوپدید نمی‌بایست نابرابری‌های اقتصادی-اجتماعی موجود را تشدید کنند و بر تخریب محیط زیست بیفزایند (۲۵). این چالش‌ها با خود نه تنها مسایل فن آوران در پیوست با فن آوری‌های خلق می‌کنند؛ بلکه چالش‌های انسانی بسیار مهمی را نیز مطرح می‌کنند (۲۶، ۲۷).

در بعد انسانی این چالش‌ها، مسئله پذیرش فن آوری‌های نوپدید و یکپارچه کردن آن در سامانه‌های جاری مطرح می‌باشد. اما شاید مهم‌ترین مسئله همان طور که خبرگان در این پژوهش اشاره کردند حفظ حریمیت شخصی، حفظ اسرار بیماران و امنیت اجتماعی است. این مقوله به ویژه با کاربرد روزافزون و گسترده بانک‌های اطلاعاتی و شکل‌گیری داده‌های بزرگ و تجزیه و تحلیل آن‌ها با هوش مصنوعی به صورت فزاینده‌ای خودنمایی می‌کند؛ زیرا حریمیت، حفاظت از اطلاعات شخصی و ایمنی داده‌ها از چالش‌های برجسته در کاربرد هوش مصنوعی در گستره سلامت می‌باشند (۲۸).

از چالش‌های دیگر در مواجهه با فن آوری‌های نوپدید در حوزه فن آوری‌های زیستی، بحث ایمنی زیستی و امنیت زیستی، به ویژه در بیولوژی سینتتیک است. ایمنی زیستی به شیوه بازداري و ديگر اقداماتی می‌پردازد که کارکردن ایمن یا کاربرد عوامل بیولوژیک بالقوه خطرناک را تضمین می‌کنند. منطق اخلاقی کلیدی در ایمنی زیستی، حفاظت از زیان و ضرر است و از این رو بسیار مهم است که این اقدامات، تضمین کنند که

در پروژه پژوهشی هدایت شده توسط فرهنگستان علوم پزشکی جمهوری اسلامی ایران برای ترسیم سناریو پزشکی آینده و تدوین نقشه راه فن آوری در حوزه پزشکی و جهت گیری به سوی سلامت دیجیتالی همراه با کاربرد هوش مصنوعی در گستره نظام سلامت تاکید شده است (۱۸). چشم‌انداز سلامت دیجیتالی را می‌توان در کاربرد فراگستر فن آوری اطلاعات و ارتباطات در جوامع دیجیتالی با کاربرد هوش مصنوعی، ربات‌ها، یادگیری ماشین، اینترنت اشیا، برنامه‌های کاربردی سلامت، واقعیت مجازی و سامانه‌های آنالیتیک دانست که بر «تندرستی» تمرکز یافته‌اند. همانند دیگر بخش‌های کسب‌وکار و جهان تجارت، در سلامت دیجیتالی نیز شهروندان انتظار دارند که خدمات سلامت خود را در هر زمان و مکان که نیاز داشته باشند، دریافت کنند. سلامت دیجیتالی در این منظر بر مشتری‌مداری (در مرکز قرار دادن بیمار در سطح مراقبت‌های سلامت) هماهنگ با شیوه‌های زندگی تمرکز کرده و امکان پیوند یافتگی منابع جدید اطلاعاتی (مانند داده‌های شبکه‌های اجتماعی، زیست حس‌گرها و حس‌گرهای پوشیدنی) را به سامانه‌های سلامت، فراهم می‌سازد (۱۹). هم اکنون سلامت دیجیتالی، غنایی از امکانات را برای شکل دهی به آینده ارایه مراقبت‌های اولیه سلامت (PHC) و تضمین عملکرد کارآمد آن در گستره سلامت عمومی ارایه کرده است که شامل حوزه‌های آموزش، سیاست‌گذاری سلامت و همچنین الگوهای جدید ارتباط با بیماران، توانمندسازی و درگیر کردن آن‌ها در فرآیند سلامت است (۲۰). پرونده الکترونیک سلامت برای اهداف (PHC) ضروری است و ضمن ارایه اطلاعات بلادرنگ سلامت، برای هر بیمار، امکان تصمیم‌سازی برای بهبود عملکرد (PHC) را به ویژه اگر از فضای فن آوری ابر (cloud) برای داده‌های سلامت استفاده شود، امکان پذیر می‌کند (۲۲، ۲۱ و ۲۳).

با بررسی پارادایم‌های آینده آشکار می‌شود که چگونه اینترنت اشیا (IoT)، داده‌های بزرگ (Big data) و هوش مصنوعی می‌توانند در همگرایی

حوزه‌های ده گانه کلان مناطق طرح تحول آموزش پزشکی وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی می‌بایست به صورت هوشمند به سوی گروه یا گروه‌های ویژه‌ای از فن‌آوری‌های نوپدید و همگرا بر پایه توانمندی خود سوق یابند و آن‌گاه در یک همکاری متقاطع و فرا سرزمینی به گفتمان فن‌آورانه و تقسیم کار مشترک بپردازند. در این میان پیاده‌سازی نقشه علمی کشور در حوزه سلامت بر پایه آمایش سرزمینی می‌تواند بسیار راه گشا باشد. در گروه راهبردهای عملکردی می‌توان همانند شورای نوآوری اروپایی (EIC)، سه فاز را در رویارویی با فن‌آوری‌های نوپدید مدنظر قرار داد. در فاز «پیشگامی» از دانش لبه مرزی میان رشته‌ای با خطر بالا حمایت می‌شود که امکان مرزکنی فن‌آورانه را در خود نهفته دارد؛ در فاز «گذار» بر شکاف میان مرحله پژوهش و کاربردهای تجاری احتمالی برای فن‌آوری‌های، پل زده می‌شود و این در حالی است که در فاز شتاب دهنده‌گی، از استارت‌آپ‌ها و شرکت‌های کوچک و متوسط (SMEs) در مسیر رشد و توسعه و تجاری‌سازی فن‌آوری‌های مرزکن نوپدید و نوآوری‌ها، حمایت می‌شود (۷). در هر کدامیک از این فازها، گستره‌ای از فرصت‌ها و چالش‌ها وجود دارند که می‌بایست از آن‌ها استفاده کرد و بر چالش‌های موجود نیز چیرگی یافت.

تقدیر و تشکر

از همکاری صمیمانه گروه آینده‌نگری، نظریه‌پردازی و رصد کلان سلامت و کارشناس محترم علمی گروه سرکار خانم فاطمه اخوان انوری برای همکاری در تهیه و تألیف این مقاله کمال تشکر می‌شود.

محصولات بیولوژیک سینتتیک برای جمعیت‌های انسانی یا محیط زیست، خطر آفرین نمی‌باشند. امنیت زیستی به پیشگیری از استفاده نادرست مانند از دست دادن، سرقت، انحراف یا رهاسازی عمدی پاتوژن‌ها، توکسین‌ها و دیگر مواد زیستی نظر دارد (۲۹).

در بخش انتهایی این پژوهش، ما به راهبردهای عملیاتی در دستیابی به توسعه و به‌کارگیری فن‌آوری‌های نوپدید و نوین در حوزه سلامت پرداختیم. این راهبردها را می‌توان در گروه‌های الف/ زیرساختی، ب/ رویکردی، ج/ آمایش سرزمینی و د/ عملکردی تقسیم‌بندی کرد. در گروه «زیر ساختی» چنین به نظر می‌رسد که می‌بایست به نیروی انسانی بسان سرمایه «سرمایه انسانی» نگریسته شود که می‌تواند به عنوان نیروی محرکه دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی و صنعتی نقش ایفا کند (۲۷). حرکت دانشگاه‌ها به سوی دانشگاه‌های نسل سوم همراه با پذیرش انقلاب صنعتی چهارم به عنوان یک بستر مناسب برای دیده‌بانی فن‌آوری‌های نوپدید و برتر و پیاده سازی ایده‌های نوآورانه می‌تواند یک راهبرد اصلی در گروه زیرساختی قلمداد شود (۳۰). در گروه راهبردی «رویکردی»، میل به سوی پژوهش‌های میان رشته‌ای و فرارشته‌ای و توجه به فن‌آوری‌های همگرا در حوزه زیست پزشکی باید مدنظر قرار داده شود که به پاره‌ای از راهکارهای این راهبرد مهم در پیش از این اشاره شد (جدول ۲). در گروه راهبردهای «آمایش سرزمینی» به مقوله تخصص‌گرایی هوشمندانه بر پایه ظرفیت‌های سرزمینی در حوزه عملکردی هر دانشگاه در کریدور علم و فن‌آوری مربوطه می‌بایست نگریسته شود. این بدان معنا است که هر کلان منطقه آمایشی در حوزه علوم پزشکی از

منابع

1. König H, Baumann MF, Coenen C. Emerging Technologies and Innovation—Hopes for and Obstacles to Inclusive Societal Co-Construction. *Sustainability* 2021; 13(23): 13197.
2. Schwab K. The Fourth Industrial Revolution. Translation by Dr Iraj Nabipour. Bushehr University of Medical Sciences; 1396: pp1-2.
3. Topal E, Colis P. Precision Medicine. Translation and Authoring by Dr Iraj Nabipour. Bushehr University of Medical Sciences; 1395.
4. Rastegar H, et.al. Top New Medical and Pharmaceutical Technologies; Perspective to 2050. Rouyan pajoooh publication.; 1401.
5. Roco MC. Principles of convergence in nature and society and their application: from nanoscale, digits, and logic steps to global progress. *J Nanopart Res* 2020; 22(11): 321.
6. The National Strategy for Critical and Emerging Technologies was issued by the White House on 15 October 2020. Available at: <https://www.hsdl.org/?view&did=845571>
7. Eic working paper 1/2022 identification of emerging technologies and breakthrough inovations Available at: https://www.horizontevropa.cz/files_public/elfinder/2382/EIC-Emerging-Tech-and-Breakthrough-Innov-report-2022.pdf
8. World Health Organization. Emerging trends and technologies: a horizon scan for global public health. World Health Organization; 2022. Available at: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/352385>
9. World Economic Forum. Top 10 Emerging Technologies of 2021 insight report november 202 Available at: https://www.weforum.org/docs/WEF_Top_10_Emerging_Technologies_of_2021.pdf
10. Castle-Clarke S. What will new technology mean for the NHS and its patients? Four big technological trends; 2018. Available at: https://www.kingsfund.org.uk/sites/default/files/2018-06/NHS_at_70_what_will_new_technology_mean_for_the_NHS_0.pdf
11. Dac-Nhuong Le, Chung Van Le, Jolanda G. Tromp, Gia Nhu Nguyen. Emerging Technologies for Health and Medicine: Virtual Reality, Augmented Reality, Artificial Intelligence, Internet of Things, Robotics and Industry 4.0; 2018. Wiley Online Library.
12. Reznick RK. Artificial intelligence (AI) and emerging digital technologies; 2020. Available at: <https://www.royalcollege.ca/rcsite/health-policy/initiatives/ai-task-force-e>
13. Parsons L, Watson J, Connolly P, et al. Improving Human Health and Physical Capabilities. In: Roco MC, Bainbridge WS, editors. *Converging Technologies for Improving Human Performance* Dordrecht: pringer; 2003. P179-273.
14. Doorn M. Converging Technologies. Study Centre for Technology Trends, STT 2006;71.
15. Roco MC, Bainbridge WS. Converging Technologies for Improving Human Performance: Integrating From the Nanoscale. *JNR* 2002; 4: 281-95.
16. Nabipour I. Draft of convergent technologies Roadmap on medical universities for scientific reference; 1398.
17. Deloitte. Is it time for life sciences organizations to pivot? 2021.

- Available at: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/us/Documents/life-sciences-health-care/us-lshc-convergence-in-life-sciences.pdf>
18. Jorjani M., Moghadamnia H., Asadi M., Ghanbari H., Fasihi-Harandi M., Nabipour I. Strategies for future of Iran Medicine. *South Medicine* 2022; 25(1): 7.
 19. World Health Organization. Global strategy on digital health 2020-2025. World Health Organization; 2021. Available at: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/344249>. License: CC BY-NC-SA 3.0 IGO
 20. WHO Headquarters. Digital technologies: shaping the future of primary health care. Geneva: Technical Series on Primary Health Care; 2018.
 21. Cilliers L, Wright G. Electronic Health Records in the Cloud: Improving Primary Health Care Delivery in South Africa. *Stud Health Technol Inform* 2017; 245: 35-39.
 22. Barigela R, Kodali PB, Hense S. What is Stopping Primary Health Centers to Go Digital? Findings of a Mixed-method Study at a District Level Health System in Southern India. *Indian J Community Med* 2021; 46(1): 97-101.
 23. Rodriguez Llorian E, Mason G. Electronic medical records and primary care quality: Evidence from Manitoba. *Health Econ* 2021; 30(5): 1124-1138.
 24. Park, H.S. Technology convergence, open innovation, and dynamic economy. *J. open innov* 2017; 3: 24.
 25. Kavanagh C. New Tech, New Threats, and New Governance Challenges: An Opportunity to Craft Smarter Responses? 2019. Available at: <https://carnegieendowment.org/2019/08/28/new-tech-new-threats-and-new-governance-challenges-opportunity-to-craft-smarter-responses-pub-79736>.
 26. El Haj AJ. The Grand Challenges of Medical Technology. *Front Med Technol*. 2020; 2: 1.
 27. Bashir S, Dahlman CJ, Kanehira N, Tilmes K. The Converging Technology Revolution and Human Capital : Potential and Implications for South Asia. Washington, DC: South Asia Development Forum; 2021.
 28. Murdoch B. Privacy and artificial intelligence: challenges for protecting health information in a new era. *BMC Med Ethics* 2021; 22(1): 122.
 29. Nabipour I. Philosophy of Synthetic Biology. *Iran South Med J* 2018; 21(1): 1-18. [In Persian]
 30. Nabipour I. The Third Generation of University in the Fourth Industrial Revolution. *Bushehr University of Medical Sciences*; 2018.

Original

Health Newfound Technologies and Future Perspective: Opportunities and Challenges

Mostafa Ghanei¹, Iraj Nabipour², Hamid Reza Khankeh³, Reza Dehnavieh⁴, Fatemeh akhavan anvari⁵, Hossein Rastegar^{6*}

1. Future Studies Group the Academy of Medical Sciences of the I.R. Iran, General Director of Biotechnology Development Council, Vice-Presidency for Science and Technology, Professor in Baqiyatallah University of Medical Sciences (BMSU), Tehran, Iran
2. 2-Future Studies Group, The Academy of Medical Sciences of the I.R. Iran, The Persian Gulf Marine Biotechnology Research Center, The Persian Gulf Biomedical Sciences Research Institute, Bushehr University of Medical Sciences, Bushehr, Iran
3. Professor of Emergency and Disaster Health, Department of Health in Emergency and Disaster, University of Social Welfare and Rehabilitation Science, Tehran, Iran
4. Professor of Health Services Management, Health Foresight and Innovation Research Center, Institute for Future Studies in Health, Kerman University of Medical Sciences, Kerman, Iran
5. Future Studies Group, The Academy of Medical Sciences of the I.R. I, Tehran, Iran
6. *Corresponding Author: Cosmetic products Research center, Iran Food and Drug Administration, MOHE, Tehran, Iran Future studies Group, the Academy of medical sciences of The I.R. Iran, Tehran, Iran, mhrastegar2@yahoo.com

Abstract

Background: Since the end of the twentieth century, the concept of emerging technologies and their science network and governance have been considered by academia, media and policy makers. The emerging technologies are “radically novel or disruptive and relatively fast-developing, but still nascent, scientific-technological developments that may have prominent economic, environment or social impacts”.

Methods: In focus group discussions with the presence of experts in science and technology (expert panel), their opinions about the emerging technologies were recorded. Subsequently, a list of these technologies that were determined by brain storming in the expert panel, was categorized in subsectors of the Roco and Bainbridge convergence foundational science and technology system (Nano-Bio-Info-Cogno-AI, in brief NBICA).

Results: There is considerable opportunity in the emerging science and technologies (e.g., artificial intelligence, telemedicine and digital health, tissue engineering and regenerative medicine, synthetic biology, gene editing, neurotechnology, biosensors, 3D printing and robotics) for achieving scientific authority, promotion of justice and creation of social security. The majority of these emerging technologies were revealed to be converging technologies in nature. Therefore, they produce significant challenges in the biosafety and biosecurity domains.

Conclusion: There is a strategic opportunity in the convergence foundational science and technology system (NBICA). Wonderful advancements can be achieved in health sector, therapeutic and drug development, social security and justice with the help of these emerging technologies. Hence, a particular attention should be paid to approaches for achieving scientific authority in converging technologies.

Keywords: Convergence, Future Perspective, Newfound Technologies, Opportunities and Challenges