دوماهنامه طبّ جنوب
پژوهشکده زیست- پزشکی خلیج فارس
دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی بوشهر
سال هجدهم، شماره ۶، صفحه ۱۲۹۸– ۱۲۸۷ (بهمن و اسفند ۱۳۹۴)
چشم‌انداز و سیاست علمی
ISMJ 2016; 18(6): 1287-1298

تکینگی فناوری و پزشکی‌نمایی

ایرج نبی‌پور [۱ و ۲*]، مجید اسدی [۳]

[۱] عضو گروه آیندنگاری، نظریه‌پردازی و رصد کلان سلامت، فرهنگستان علوم پزشکی جمهوری اسلامی ایران
[۲] مرکز تحقیقات زیست فناوری دریایی خلیج‌فارس، پژوهشکده‌ی علوم زیست پزشکی خلیج‌فارس، دانشگاه علوم پزشکی بوشهر، بوشهر، ایران
[۳] مرکز تحقیقات پزشکی هسته‌ای، پژوهشکده‌ی علوم زیست پزشکی خلیج‌فارس، دانشگاه علوم پزشکی بوشهر، بوشهر، ایران

(دریافت مقاله: ۹۴/۹/۸- پذیرش مقاله: ۹۴/۱۰/۱۰)

چکیده

تکینگی فناوری (Singularity) که در سال ۲۰۴۵ روی می‌دهد، نقطه‌ای است که هوش مصنوعی و غیربیولوژیک از انسان‌ها هوشمندتر شده و این ماشین‌ها می‌توانند به صورت پیشرفت‌مندی خود را باز طراحی کرده و به صورت خودکار، ماشین‌های هوشمندتر از خود بسازند. در این نقطه، انسان‌ها با ماشین‌ها یکپارچه می‌شوند و این همزیستی انسان و ماشین، اثری شگرف بر گستره‌ی پزشکی خواهد گذاشت که طلیعه‌های آن در صنعت مراقبت‌های سلامت و پزشکی آینده که از سال ۲۰۲۵ نمود می‌یابد، بسیار ژرف خواهد بود. از نظر آینده پژوه بزرگ، ری کورزویل، پیشرفت علم و فناوری درژنتیک و علوم ملکولی، نانوفناوری و روبوتیک (هوش مصنوعی) موجب گردیده است که پزشکی، رشد نمایی (Exponential) از خود نشان داده و موجب خلق فناوری‌های بنیان برافکن و مرزشکن شود. پزشکی نمایی، فلسفهٔ طبّ را دچار تحول بنیادین کرده و بی شک بر سطح مراقبت‌های سلامت و ارتباط پزشک - بیمار اثرات غیرقابل انکاری را خواهد گذاشت.

واژگان کلیدی: تکینگی، پزشکی نمایی، پزشکی فردگرایانه، فناوری

* بوشهر، مرکز تحقیقات زیست فناوری دریایی خلیج‌فارس، پژوهشکده علوم زیست پزشکی خلیج‌فارس، دانشگاه علوم پزشکی بوشهر، بوشهر، ایران
Email: Inabipour@gmail.com

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.7508/ismj.1394.06.018]

مقدمه

ری‌کورزویل، مخترع و آینده‌پژوه بسیار خبره‌ای است که با کتاب "تکینگی (Singularity) نزدیک است"، معروفیت جهانی یافت. او در این کتاب پیرامون هوش مصنوعی و آیندهٔ بشریت بحث کرده و پیش‌بینی نموده است که پیشرفت‌های فناورانه، به صورت غیر قابل بازگشتی، انسان‌ها را با فزونی در ذهن و بدن، با تغییرات ژنتیکی، نانوفناوری و هوش مصنوعی متحول خواهند ساخت و هوش ماشینی به صورت غیرمتعارفی، از هوش انسان‌ها برتری می‌یابد. او بنیان‌گذار مفهوم تکینگی فناوری (Technology Singularity) در مباحث حوزهٔ آینده‌پژوهی و آینده‌نگاری است. از نظر او تکینگی فناورانه، یک همگرایی طرح‌ریزی شده میان انسان‌ها و ماشین‌ها است که به نظر وی در میانهٔ قرن بیست‌ویکم در زمانی که هوش ماشین‌ها از انسان‌های خالق آن‌ها پیشی می‌گیرد، روی می‌دهد (۱).

نخستین درخشش‌های برجستهٔ تکینگی از سال ۲۰۲۵ آغاز و در ۲۰۴۵ نمود می‌یابد و بر پزشکی و گسترهٔ سلامت و صنعت مراقبت‌های سلامت نیز اثر بسیار شگرفی خواهد گذاشت. در همین راستا است که چنین به نظر می‌آید که فناوری‌های وابسته به پزشکی، رشد خطی خود را به منحنی رشد نمایی (exponential) سوق داده و موجب انفجار داده‌ها، خلق داده‌های بزرگ (Big data) و زایش دستاوردهای بسیار شگرفی خواهند شد که پیش از این، انسان به عنوان هوشمندترین زیستمند کرهٔ خاکی، تجربهٔ آن را نداشته است (۲).

از آنجا که مفهوم تکینگی فناوری از سال ۲۰۰۵ که کورزویل کتاب خود را نوشت مورد استفاده دانش‌پژوهان و آینده‌پژوهان قرار گرفته و آنان چهارچوب منظر نگاه به آیندهٔ خود را بر پایهٔ مفهوم تکینگی بنیان گذاشته‌اند، پرداختن به این مفهوم و بازتاب آن در پزشکی نمایی برای دانش‌پژوهان کشور بسیار حیاتی است. از این رو، نخست به معرفی مفهوم تکینگی فناورانه می‌پردازیم و نیم نگاهی نیز به تعاریف موجود در پشت پردهٔ پزشکی نمایی خواهیم انداخت و سپس جهت پذیرش دوران پسا اطلاعات که دوران همزیستی انسان – ماشین و ورود به دوران تکینگی است، پیشنهاداتی مطرح می‌نماییم.

تکینگی چیست؟

تکینگی، واژه‌ای است که نخست در دانش ریاضیات روایی یافت و معنای آن نقطه‌ای است که یک معادله راه حلی ندارد. در فیزیک اثبات شده است که یک ستارهٔ بزرگ در هنگامهٔ چروکیدگی در نهایت به سیاه چاله بدل خواهد شد و چگالی آن چنان زیاد است که گرانش آن موجب خواهد شد که تکینگی در فضا – زمان روی دهد که در آن نقطه هیچ‌کدام یک از معادلات استاندارد فیزیک، راه حلی ندارند. در فراتر از افق رویداد (event horizon) این سیاه چاله، ما جهان شناخته شده را داریم ولی در درون آن کسی نمی‌تواند تفاوت میان یک چیز با چیز دیگر را هویدا نماید. واژهٔ تکینگی در هندسه، علوم طبیعی، علوم انسانی و ادبیات و نیز فناوری کاربرد دارد (۱ و ۳).

تکینگی فناوری نیز یک رویداد فرضی است که هوش عمومی مصنوعی (برای مثال شامل رایانه هوشمند، شبکه‌های رایانه‌ای یا روبوت‌ها) می‌توانند به صورت پیشرفت‌مندانه‌ای خود را باز طراحی کرده و یا به صورت خودکار ماشین‌هایی هوشمندانه‌تر و نیز نیرومندتر از خود را بسازند. در اینجا ما به نقطهٔ انفجار

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.7508/ismj.1394.06.018]

هوشمندی می‌رسیم که در این نقطه به چنان پایه‌ای از هوشمندی دست خواهیم یافت که از تمام کنترل رایج انسانی و درک او گذر می‌کند. از آنجا که هیچ انسانی، توانمندی‌های موجود در چنین هوشمندی‌ای که فراهوش انسانی است را نمی‌تواند درک نماید، از آن به عنوان تکینگی فناوری یاد کرده‌اند که نقطه‌ای است که فراتر از آن رویدادها غیرقابل پیش‌بینی بوده و در حد هوش انسانی رویدادها غیر قابل ادراک خواهند بود (۴).

از دیدگاه ری کورزویل، تکینگی فناوری در زمانی روی می‌دهد که هوش مصنوعی از توانمندی‌های انسان به عنوان هوشمندترین و توانمندترین گونهٔ حیات روی زمین، عبور می‌نماید و توسعهٔ فناورانه آینده توسط این ماشین‌ها روی خواهد داد. این ماشین‌ها می‌توانند فکر کرده، عمل کنند و به گونه‌ای تند ارتباط برقرار کرده که انسان‌های عادی نمی‌توانند آن چه روی می‌دهد را درک نمایند. این ماشین‌ها به یک واکنش مملو از چرخه‌های خود – بهبودی وارد می‌شوند؛ به گونه‌ای که هر نسل از هوش مصنوعی، از پیشینیان خود تندتر و تندتر خواهد بود. از این نقطه به بعد، توسعه فناوری، حالت انفجاری خواهد یافت که کنترل آن در دستان ماشین‌ها بوده و از این رو نمی‌توان آن را به صورت دقیق پیش‌بینی نمود. بدین‌سان، ری کورزویل از واژهٔ تکینگی در کتاب خود استفاده می‌کند (۱). او می‌نویسد: *" واژهٔ "تکینگی" در کتاب من با کاربرد این اصطلاح در عالم فیزیک، قابل مقایسه است. همان‌گونه که برای ما دشوار است که فراتر از افق رویداد یک سیاه چاله را مشاهده کنیم، برای ما دشوار است که فراتر از افق رویداد تکینگی تاریخی را نیز ببینیم. چگونه ما با مغزهای بیولوژیک محدود خود می‌توانیم تمدن آیندهٔ خود که هوش چند تریلیون برابر را دارد تصور کنیم که چگونه فکر و عمل می‌کند؟ با این وجود، همان‌گونه که ما می‌توانیم ماهیت سیاه چاله‌ها را از طریق تفکر مفهومی که دارند (با وجودی که هرگز تاکنون واقعاً در درون آن‌ها نبوده‌ایم) ترسیم کنیم، تفکر امروزی ما به اندازهٔ کافی قوی است که بخواهد پیش‌بینی‌های معناداری را پیرامون دلالت‌های تکینگی یافت نماید. این همان چیزی است که من تلاش کرده‌ام در کتابم بازگو کنم."* (۵).

فناوری‌نمایی چیست؟

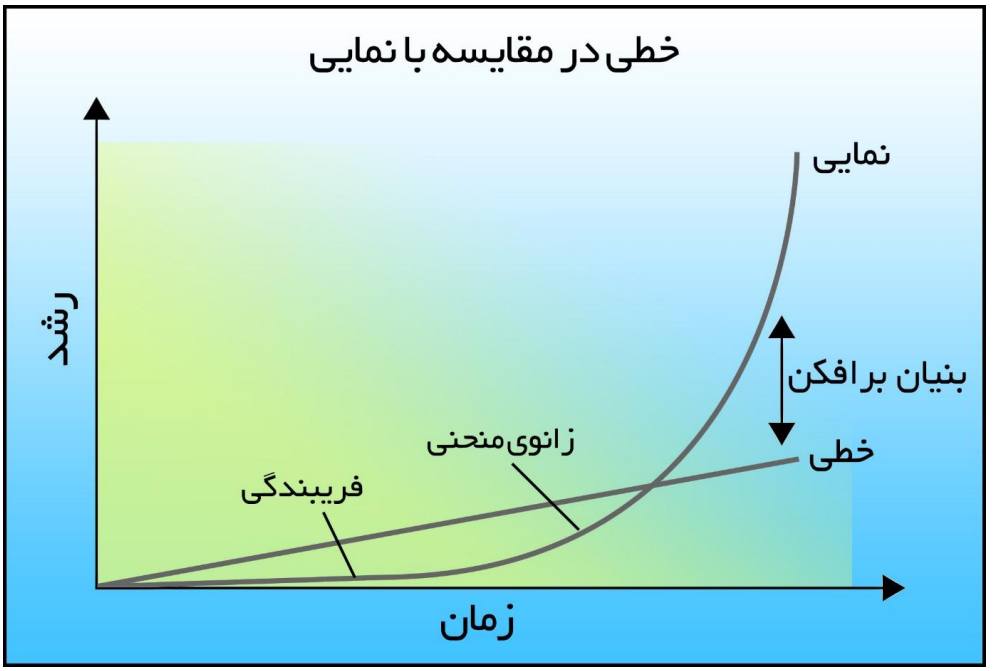
ما همگی با قانون مور (Moore’ s law) آشنایی داریم که مدعی بود افت حجمی ترانزیستورها بر روی یک مدار یکپارچه، اجازهٔ ظهور دو برابر عملکرد مثبتی ادوات الکترونیک را در هر سال فراهم می‌آورد (۵)؛ امّا پیشرفت‌های فناورانهٔ دو دههٔ اخیر حاکی از آن است که رشد فناوری از آنچه که مور نیز پیش‌بینی کرده بود فزونی یافته و با نرخ نمایی (Exponential rate) رشد می‌یابد. پیتردیامندس که بنیانگذار دانشگاه تکینگی و نیز جایزهٔ ایکس است با مشاهدهٔ پیشرفت‌های موجود در داده‌های بزرگ (big data)، پزشکی فردگرایانه (personalized medicine)، چاپ سه بعدی و هوش مصنوعی، معتقد است که فناوری وارد دورهٔ رشد نمایی خود شده است 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 گسترهٔ مراقبت‌های سلامت خواهد شد (۶).

بر اساس منحنی ترسیم شده در شکل ۱ می‌توان مراحل رشد و تکامل فناوری‌های با رشد نمایی را تجسم کرد. نخست، فناوری‌ها با چنان نرخی رشد می‌نمایند که به نظر می‌رسد که خطی باشد و این هنگامه، دوران نهان رشد فناوری است که آن را

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.7508/ismj.1394.06.018]

هنگامهٔ فریبندگی (deceptive) می‌نامند. در این دوران، پیشرفت ناچیز بوده و عملکرد نیز پایین‌تر از سطح انتظار است. امّا هنگامی که کارآیی به زانوی منحنی می‌رسد، وارد مرحلهٔ رشد بنیان برافکن می‌شود، بدین صورت آنچه آفریده می‌شود در فراتر از حد انتظار خواهد بود و این در هنگامه‌ای است که فناوری دچار از دست دادن هویت مادی (dematerialise)، افت ارزش پولی و دموکراتیزاسیون می‌شود. برای مثال، فناوری سیلیکونی، تعداد بی‌شمار از سخت افزارها را از هویت مادی برانداخت و همهٔ آن‌ها را در یک تلفن هوشمند جای داد و یا دوربین‌های دیجیتالی که هزینهٔ یک عکس را به هیچ سوق دادند و فناوری شبکهٔ موبایل، ارتباطات بی‌سیم گسترده، حتی در فقیرترین بخش‌های جهان را ایجاد کرد (۷).



شکل ۱) مقایسه منحنی رشد خطی و رشد نمایی (Exponential)

ری کورزویل، از این نرخ تغییرات فناورانه در کتاب خود *"تکینگی نزدیک است"* به نام *"قانون بازگشت‌های پرشتاب"* یاد کرده است که در حقیقت استنتاجی از قانون مور می‌باشد (۱). خود او پیرامون رشد نمایی فناوری و روند تکامل آن چنین می‌نویسد: *"مدل‌های من نشان می‌دهند که نرخ جابه‌جایی پارادایمی ما هر دهه دو برابر می‌شود. به این گونه که سرعت پیشرفت در سدهٔ بیستم تدریجاً افزایش یافت تا به نرخ پیشرفت خود در انتهای قرن رسید. به زبان دیگر، آنچه در انتهای قرن بیستم به دست آمده در تراز با بیست سال پیشرفت با نرخ سرعت پیشرفت در سال ۲۰۰۰ قابل مقایسه است. ما بیست سال پیشرفت بعدی را فقط تا سال ۲۰۱۴ تجربه کردیم و سپس همین میزان بیست سال پیشرفت را تنها در هفت سال آینده به دست خواهیم آورد. به زبان دیگر، ما یکصد سال پیشرفت فناورانه را در قرن بیست و یکم تجربه نخواهیم کرد بلکه بر اساس محاسبهٔ نرخ پیشرفت در سال ۲۰۰۰، انتظار ما آن است که ۲۰ هزار سال*

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-02]
[DOI: 10.7508/ismj.1394.06.018]

پیشرفت و با حدود ۱۰۰۰ بار رشد بیش از آنکه در قرن بیستم به دست آوردیم را تجربه کنیم. رشد نمایی فناوری‌های اطلاعات حتی از این هم عظیم‌تر است؛ فناوری‌های اطلاعات را اگر بر اساس عملکرد قیمتی، پهنای باند، ظرفیت و بسیاری دیگر از اندازه‌گیری‌ها محاسبه کنیم، هر سال دو برابر می‌شود. این به معنای فاکتور هزار در ده سال، یک میلیون در بیست سال و یک میلیارد در سی سال است. این بیش از آن چیزی است که در قانون مور با آن روبرو بودیم." (۵).

اکنون با درک مفاهیم تفکر نمایی پیرامون فناوری‌ها، می‌توانیم پدیداری یک صنعت بنیان برافکن در پی صنعت دیگر را ترسیم کنیم. یک چهارچوب که به صورت شش D نشان داده می‌شود، فرایندهای رشد نمایی را در فناوری ترسیم می‌کند:

۱/ دیجیتالی شدن (Digitalized)

نخست هر فناوری که روند رشد نمایی را پیگیری می‌نماید، می‌بایست توان دیجیتالی شدن را داشته باشد (مانند: فناوری عکس‌برداری).

۲/ فریبندگی (Deceptive)

یک الگوی رشد که در نخست سیمای فریبندگی دارد آشکار می‌شود ولی در نهایت رشد، الگوی بنیان برافکنی را از خود نشان می‌دهد. به زبان دیگر، بعد از یک رشد خطی گول زننده، به رشد نمایی (برای مثال هر ۱/۵ تا ۲ سال دوبرابر شدن) دست می‌یابد.

۳/ بنیان برافکنی (Disruptive)

این در هنگامی است که الگوی رشد فناوری بر منحنی رشد نمایی مسلط می‌شود و اثر خود را هویدا می‌سازد.

۴/ از دست دادن هویت مادی (Dematerialize)

هنگامی روی می‌دهد که یک فناوری نوین، چیزهای دیگر را به از کار افتاده تبدیل می‌کند. تصور این را داشته باشید که هم اکنون شما اجسامی را که هویت مادی خود را از دست داده‌اند دیگر بر دوش نمی‌کشید، مانند ادوات مکان‌یاب جغرافیایی (GPS)، نمایشگرهای CD، وسایل ضبط صوت، ماشین حساب، دوربین‌های ویدئویی که همهٔ آن‌ها هم اکنون از کار افتاده به نظر می‌رسند؛ زیرا تمام آن‌ها را در گوشی هوشمند خود دارید.

۵/ افت ارزش پولی (Demonetize)

هنگامی که اشیاء هویت مادی خود را از دست می‌دهند، به صورت اصولی رایگان می‌شوند (مانند گوشی‌های هوشمندکه دوربین‌ها و سامانه‌های مکان یاب جغرافیایی را از ارزش پولی انداختند و اسکایپ نیز هزینهٔ تلفن‌های راه دور را افت داد و غیره).

۶/ دموکراتیزاسیون (Democratize)

هنگامی که اشیاء هویت مادی خود را از دست می‌دهند و افت ارزش پولی پیدا می‌کنند، وارد فرایند دموکراتیزاسیون می‌شوند که معنای آن این است که تعداد زیادتری از افراد به آن‌ها دسترسی پیدا خواهند کرد. برای مثال، پیش‌بینی می‌شود که سه میلیارد ذهن جدید آنلاین خواهند شد که این سه میلیارد ذهن جدید، که آنلاین می‌شوند به معنای خلق جدید مشتریان و مخترعان است که به این فناوری‌های بنیان برافکن دسترسی خواهند داشت (۲).

پزشکی نمایی

پیتر دیامندیس فارغ التحصیل دانشکدهٔ پزشکی هاروارد در طب بوده و درجهٔ بیولوژی ملکولی و مهندسی هوافضا را از MIT اخذ کرده و بنیانگذار چندین شرکت با فناوری برتر و کمپانی‌هایی است که در حوزهٔ فضا کار می‌کنند. او با دید یک آینده‌پژوه با گذار از تنگناهای طب کلاسیک به پزشکی آینده می‌نگرد و دستاوردها را در

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.7508/ismj.1394.06.018]

زمینهٔ طب کلاسیک به پزشکی آینده متصل کرده است. او آن‌چنان در این زمینه موفق بوده است که آینده‌پژوهی مشهور همچون ری کورزویل به ستایش کتاب او "*فراونی: آینده بهتر از آن است که شما فکر می‌کنید*" پرداخته است. او بر اساس تفکر و مطالعات خود به این نتیجه رسیده است که به دلیل خوشه چینی صنعت مراقبت‌های سلامت از فناوری‌های بنیان افکن دیگر که رشد نمایی دارند، صنعت مراقبت‌های سلامت از تمام دیگر فناوری‌ها بنیان برافکن‌تر بوده و این رشد بی‌همتای فناوری‌های وابسته به پزشکی موجب تولّد پزشکی نمایی (Exponential medicine) شده است که دستاوردهای آن موجب شگفتی ما خواهند شد (۲، ۶ و ۷).

جدول ۱) فناوری‌های نمایی در گستره علوم پزشکی

هوش مصنوعی و مراقبت‌های سلامت

هوش مصنوعی خواهد توانست پیشنهادات پزشکی فردگرایانه و تشخیص‌های بهتر طبی را ارائه دهد:

- *شرکت‌هایی مانند انلیتیک (Enlitic) از هوش مصنوعی و یادگیری ژرف (Deep Learning) به منظور بهبودی در تصویربرداری تشخیص طبی و شناسایی تومور و نیز یکپارچه سازی داده‌های طبی جهت فرآهم آوردن توصیه‌های علمی بهتر برای بیماران و پزشکان، به صورت یکسان، استفاده می‌کنند.*
- *جانسون و جانسون، ابرکامپیوتر IBM به نام واتسون را آموزش می‌دهند که می‌تواند مقالات علمی با جزئیات کارآزمایی‌های بالینی را خوانده و درک نماید. حتی شرکت اپل نیز با واتسون IBM مشارکت کرده تا امکان دسترسی به داده‌های سلامت از طرف برنامه‌های کاربردی تلفن همراه فراهم شود.*
- *با چنین روندی، سامانهٔ واتسون شامل ۴ میلیون استناد است که به معنای هضم ۲۷ هزار سند در روز به صورت متوسط است که می‌تواند بینش‌های لازم را برای هزاران کاربر فرآهم آورد. پس از یک سال، موفقیت تشخیص طبی واتسون برای سرطان سینه ۹۰ درصد است (در مقایسه با ۵۰ درصد برای پزشکان کنونی).*

حس‌گرهای مراقبت‌های سلامت

ادوات و برنامه‌های کاربردی خود کمی شده و به هم اتصال یافته و قابل پوشیدن (Wearable) به ما اجازهٔ گردآوری مقادیر چشمگیری از اطلاعات سودمند را می‌دهند.

- *ادوات پوشیدنی مانند مچ بند Quanttus و Vital Connect می‌توانند داده‌های نوار قلب، نشانگان حیاتی، سطوح وضعیتی و استرسی ما را در هر کجای سیاره انتقال دهند.*
- *شرکت گوگل، حس‌گرهای درونی و بیرونی گسترده‌ای (مانند لنزهای تماسی هوشمند گوگل) را که داده‌های حیاتی شامل سطوح گلوکز تا مواد شیمیایی خون را پایش می‌نمایند، توسعه می‌دهد.*
- *تری کوردر (Tricorder) مشهور فیلم پیشتازان فضا (Star Trek) نه تنها برای پزشکان یا پرستاران بلکه برای شما به عنوان مصرف کننده، به بازار خواهد آمد.*

روبوتیک و مراقبت‌های سلامت

روبوت‌های پزشکی با توان دقت، حساسیت و جا به جایی بالایی که دارند به ما اجازهٔ خدمت به بیماران بیشتر را در سراسر جهان با سرعت بیشتر و هزینهٔ کمتر را می‌دهند.

- *تاکنون بیش از ۳ میلیون جراحی در سراسر جهان با سامانهٔ جراحی روبوتیک داوینچی با کاربرد دید 3D HD در درون بدن با حرکات دقیق که فاقد لرزش‌های دست انسانی است، انجام گردیده است.*
- *یک نسل از روبوت‌های جراحی در حال توسعه هستند که به صورت خودکار و دقیق اعمال جراحی رایج را می‌توانند بدون خطای انسانی با هزینهٔ کم انجام داده و بدین طریق جراحی را به دوران افت ارزش پول و*

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-02]
[DOI: 10.7508/ismj.1394.06.018]

دموکراتیزاسیون هدایت نمایند.

- *فناوری‌های حضور دور مانند فناوری مناسب BEAM و سلامت In Touch به پزشکان برجسته امکان حضور در سراسر مکان‌های جهان جهت مشاوره و راند بیمارستان‌ها را خواهند داد.*

چاپ سه بعدی

ساخت ادوات ارزان و قابل دسترس که مورد تقاضای میلیون‌ها نفر می‌باشند، کمبود منابع برای پیوند اعضاء را رفع می‌نمایند.

- *سامانه‌های سه بعدی به چاپ دقیق مدل‌های آناتومیک و اندامی پرداخته و امکان جراحی‌ها، کاشت ادوات، اسکلت‌های بیرونی، ادوات کمک شنوایی، پروتزها، ادوات برای اسکولیوز و دیگر کاربردها بر اساس نیاز بیمار و شرایط فردی وی امکان‌پذیر می‌نمایند.*
- *دانشجویان در دانشگاه واشنگتن، یک بازوی روبوتیک را با چاپ سه بعدی با هزینهٔ دویست دلاری فراهم کردند و این در حالی است که اعضاء روبوتیک سنتی هزینهٔ ۵۰ تا ۷۰ هزار دلاری داشته و با رشد کودک نیز می‌بایست جایگزین شوند.*
- *شرکت‌هایی مانند Organovo و تیم دکتر آنتونی آتالا در حال چاپ زیستی سه بعدی با سلول‌ها هستند که بافت‌ها، عروق خونی و حتی اعضاء کوچک را تولید می‌کنند.*

ژنومیک و داده‌های بزرگ

هزینهٔ توالی یابی ژنومی ۱۰۰ هزار بار کاهش یافته است و به این صورت که از هزینهٔ ۱۰۰ میلیون دلاری برای هر ژنوم در سال ۲۰۰۱ بود هم اکنون به یک هزار دلار سقوط یافته است که این به معنای درنوردیدن قانون مور با ۳ برابر سرعت بوده است.

- *در شرکت فزونی عمر انسان، مأموریت گردآوری عظیم‌ترین داده‌های مجموعهٔ ژنومیک تعریف شده است. HLI، یک میلیون ژنوم کامل انسانی را توالی یابی کرده و اطلاعات میکروبیوم، اسکن‌های تصویربرداری بدن با MRI، متابولوم‌ها و غیره ... را گرد خواهد آورد.*
- *آنگاه با مجموعهٔ چنین داده‌های بزرگی، HLI می‌تواند از رموز بیولوژی ما پرده برداری نماید. با یافت بینش‌های نوین خواهیم توانست سرطان، بیماری‌های قلبی و دژنراتیو عصبی را درمان و در نهایت طول عمر انسان را افزایش دهیم.*

سلول‌های بنیادی

ما هم اکنون در مراحل آغازین توسعهٔ درمان‌های بر پایهٔ سلول‌های بنیادی هستیم. درمان‌های آینده، تحول برانگیز و حیرت‌آور، خواهند بود.

- *درمان با سلول‌های بنیادی، بازآفرینش و نوسازی بافتی را نوید می‌دهد و می‌تواند هر چیزی را از کوری تا آسیب‌های نخاعی، دیابت تیپ یک، بیماری پارکینسون، آلزایمر، بیماری‌های قلبی، سکته‌های مغزی، سوختگی‌ها، سرطان و آرتروز را درمان کند.*
- *در سال ۲۰۱۲، پژوهشگران Cedars-Sinai، یکی از درمان‌های با سلول‌های بنیادی موفق خود را گزارش کردند. آن‌ها با استفاده از سلول‌های بنیادی خود بیمار، بافت قلبی را بازآفرینش کرده و آسیب برخاسته از حملهٔ قلبی را زدودند.*

امروزه، پزشکی در میانه راه تکاملی خود است و با فناوری‌های نمایی به پیش رانده می‌شود؛ فناوری‌هایی همچون هوش مصنوعی، حس‌گرها، ربات‌ها، چاپ سه بعدی، ژنومیک و سلول‌های بنیادی. هم اکنون صنعت مراقبت‌های سلامت سه تریلیون دلاری در هنگامهٔ فریبندگی (deceptive) منحنی رشد نمایی

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.7508/ismj.1394.06.018]

خود است؛ بدین‌سان، به سوی از دست دادن هویت مادی، افت ارزش پولی و دموکراتیزاسیون خود میل می‌کند؛ یعنی آنچه که ما آن را رشد نمایی نامیدیم و از ویژگی‌های فناوری‌های نمایی (مانند پزشکی نمایی) محسوب می‌گردد، بر اساس چنین برداشتی از پزشکی نمایی می‌توان آیندهٔ ده سالهٔ آن را که از سال ۲۰۲۵ هویدا می‌شود، چنین تجسم کرد.

* *اسکن‌های سلامت خودکار توانمند شده با هوش مصنوعی، بهترین شیوه‌های تشخیصی را برای فقیرترین و ثروتمندترین افراد روی زمین فراهم خواهند آورد.*

* *توالی‌یابی ژنومیک گسترده مقیاس و یادگیری ماشینی، ما را توانمند می‌سازند تا ریشهٔ بیماری‌هایی همچون سرطان، بیماری‌های قلبی- عروقی و بیماری‌های دژنراتیو عصبی را درک کنیم.*

* *جراحان روبوتیک اعمال دقیق را در هر مقیاس زمانی با هزینهٔ ناچیز انجام خواهند داد.*

ما می‌توانیم شاهد رشد قلب، کبد، ریه و کلیه با پزشکی بازآفرینشی باشیم و دیگر نیازی به انتظار دهندهٔ عضو نخواهد بود.

این همه آینده‌پردازی، برخاسته از همگرایی فناوری‌های پرشتابی خواهد بود که در شکل ۱ ترسیم شده‌اند (۸).

هر چند امروزه، اثرات هوش مصنوعی، نانوفناوری و بیولوژی کوانتومی بر پزشکی در آغاز راه خود هستند و پیامدهای مستقیم شگرفی بر پزشکی کنونی نداشته‌اند ولی دستاورد آن‌ها بر پزشکی آینده، بنیان برافکن خواهد بود (۹). از نظر ری کورزویل، سه انقلاب عمده ما را به سرمنزلِ تکینگی در سال ۲۰۴۵ خواهند رساند؛ این سه انقلاب شامل انقلاب در ژنتیک، انقلاب در نانوفناوری و انقلاب در روبوتیک است (۱۰). این سه انقلاب همان سه انقلابی هستند که در مرز پیشروندهٔ پزشکی نمایی جای دارند و موتور محرکهٔ ایجاد رشد نمایی بوده و پیشرفت تند خارق‌العادهٔ پزشکی آینده را رقم خواهند زد. شاید برترین آن‌ها همان انقلاب روبوتیک (هوش مصنوعی نیرومند) باشد که معنای آن خلق رایانه‌هایی است که دارای توان تفکری هستند که از توان تفکر انسان‌ها پیشی می‌جوید و در نتیجه ما در تکینگی به جایی خواهیم رسید که دیگر انسان کنونی که ما به عنوان هوش غالب بر روی زمین می‌شناسیم دیگر هوش غالب بر زمین نخواهد بود و در پایان قرن بیست و یکم، هوش ماشینی و غیربیولوژیک یا محاسبه ای، تریلیون‌ها بار از قدرت مغز انسان‌ها، برتر خواهد بود (۱۰) و این همان نقطهٔ تکینگی فناوری است که در آن قدرت ماشین‌های هوشمند از انسان‌ها پیشی می‌گیرند.

بر پایهٔ چنین تجسمی است که مفاهیم تکینگی و پزشکی‌نمایی درهم آمیخته شده‌اند و به عنوان مفاهیم تفکیک ناپذیر در حوزهٔ آینده پژوهی پزشکی مطرح می‌شوند.

نشانگان پزشکی نمایی و تکینگی فناوری

دکتر جیمز کانتون یک آینده‌پژوه سرشناس جهانی است که مشاورهٔ ۱۰۰ شرکت موفق و دولت پیرامون ابرروندهای آینده و راهبردهای نوآوری را بر عهده دارد و مقالات وی در مجلات معتبر وال استریت، فورچون، فوربز و نیویورک تایمز به چاپ می‌رسد و اکنون به عنوان یک کارآفرین دیجیتالی، در بخش مدیریت کاخ سفید، انجام وظیفه می‌نماید. او با رصد مفاهیم تکینگی فناوری ری کورزویل و خوشه چینی از افکار پیتر دیامندیس، در سال ۲۰۱۵ کتاب "*هوشمندی آینده Future smart*" را به چاپ رساند.

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.7508/ismj.1394.06.018]

در بخش پزشکی این کتاب که به آینده پژوهی طب اختصاص دارد می‌توان مصادیق و نشانگان پزشکی نمایی و تکینگی فناوری را یافت نمود. از نظر او هفت انقلاب در پزشکی به صورت رشد نمایی، پزشکی را به سوی پزشکی نمایی سوق می‌دهند. این انقلاب‌ها شامل فناوری DNA نوترکیب، ژنومیک و توالی‌یابی ژن، انقلاب در داده‌های بزرگ (Big data) و رشد پزشکی فردگرایانه با اساس قراردادن DNA فردی و دیگر شیوه‌های تشخیص پزشکی، انقلاب در مراقبت‌های سلامت دیجیتالی با ایجاد کارآمدی و ایمنی از طریق شبکه‌های مجازی، iPads، فناوری وب و فناوری پوشیدنی (wearable)، انقلاب در پزشکی بازآفرینشی (regenerative medicine)، انقلاب فزونی در سلامت با کاربرد پیش‌بینی، پیشگیری و سپس درمان با ارتقاء سیستم ایمنی جهت مقابله با بیماری، افزایش کارآیی شناختی، بهینه سازی قدرت بدنی و عملکرد عضوی، طراوت بخشیدن به نرمینگی (Plasticity) عصبی، افزایش حافظه و چالاکی قوای روانی و انقلاب در افزایش طول عمر و فناوری‌های ضد پیری و افزایش گسترهٔ زندگی سالم در فراتر از یکصد سال می‌باشند (۱۱).

چنین می‌نماید که فناوری‌های نانو، زیستی، شناختی و دیجیتالی، برای گسترش زندگی سالم و پرنشاط در گسترهٔ آینده‌نگاری (۲۰۵۰-۲۰۲۰ میلادی) به کار گرفته خواهند شد و ما را به مکان نقطه تکینگی که حدس زده می‌شود در سال ۲۰۴۵ تجلی یابد، سوق می‌دهند. طلیعه‌دار پزشکی نمایی، پیشرفت‌های حاصله در پزشکی ژنومیک است که خود نیز نوید دهندهٔ تابان شدن تکینگی ژنومیک می‌باشد. هم اکنون کمپانی آیلومینا برنامهٔ کاربردی *"ژنوم من"* را توسعه داده است که به صورت یک ابزار آموزشی برای مشاهدهٔ داده‌های ژنومیک به کار می‌آید و می‌تواند به عنوان یک پورتال، سطح گفتمان را برای پزشک و بیمار جهت اطلاعات ژنتیکی و پزشکی فراهم آورد. ایلومینا، تجزیه و تحلیل گزارش موتاسیون در ۱۶۰۰ ژن شامل ۱۲۰۰ بیماری را برای بیمارانی که پزشکان آن‌ها را TruGenome™ Predisposition screen سفارش داده باشند، ارائه می‌دهد. این نشانگان، اولین گام‌ها به سوی *"تکینگی ژنومیک"* است که در آن هنگامه افراد خواهند توانست به صورت روزانه در هر زمان که بخواهند، ژنوم خود را توالی‌یابی نموده و از اخبار روزانهٔ DNA خود از طریق برنامه‌های کاربردی تلفن همراه آگاهی یافته و به درمان بیماری در پیش از ظهور نشانگان بالینی، اقدام نمایند (۱۲).

این نشانگان که طلیعه‌دار دوران تکینگی فناوری و اوج پزشکی نمایی است خود تکینگی در مراقبت‌های سلامت را به ارمغان خواهد آورد و از این نقطه به بعد دیگر فقط می‌توان با نظریه‌پردازی به دوران پسا تکینگی در مراقبت‌های سلامت نگریست (۱۳). در این دوران است که تکامل همزمان همزیست انسان- ماشین- وب روی خواهد داد و پزشکان مجازی مستقر در وب و روبوت‌ها (هوش‌های مصنوعی) در تارنماهای پیچیده، نبض بیماران را در دست خواهند گرفت (۱۳).

پیشنهاد

چنین می‌نماید که تکینگی فناوری موجب پیش رانش پزشکی نمایی گردیده و حد فاصل دانش و کار بالینی را در خواهد نوردید و موجب زایش نسخهٔ ۲/۰ پزشکی در آینده خواهد شد (۸ و ۱۴)؛ هر چند که نقدهای مهمی بر علیه نظریهٔ تکینگی فناوری از دیدگاه تجزیه و تحلیل فلسفی و علمی وجود دارد (۱۰، ۱۵ و

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.7508/ismj.1394.06.018]

۱۶). با وجود چنین فضاهای پر تنش پیرامون شکل‌گیری تکینگی فناوری در محافل علمی، پیشرفت‌های دهۀ اخیر همگی نشانگر خیزش تکینگی فناوری بوده و ما باید خود را برای آینده‌ای که تابش آن از ۲۰۲۵ در گسترۀ پزشکی هویدا خواهد شد آماده سازیم؛ زیرا نه تنها حرفه پزشکی دچار تحولات بنیان برافکن می‌شود بلکه ارتباط پزشک و بیمار نیز دچار تغییرات دینامیک حیرت‌انگیزی خواهد شد (۱۷). با تمام این چالش‌ها، ما تنها نباید نظاره‌گر رخ‌نمایی پزشکی نمایی و تکینگی فناوری باشیم بلکه باید به صورت فعال و کنش‌گر با آن روبرو شده و خود نیز در خلق این آیندۀ شگفت‌انگیز مشارکت نماییم.

در پذیرایی از این ابر روند حاکم بر فضای پزشکی، نخست لازم است یک ضرب آهنگ متوازن و همسان در میان تلاش‌های پراکنده که در نقشه علمی کشور در گسترۀ سلامت، سیاست‌های کلان سلامت جمهوری اسلامی ایران و فعالیت‌های معاونت علمی ریاست جمهوری در پشتیبانی از علم و فناوری‌های نوین به ویژه زیست فناوری، فناوری اطلاعات، فناوری نانو و فناوری شناختی (NCBI) روی می‌دهد، ایجاد کرد. این همگرایی واحد در سیاست علمی کشور در قالب شکل‌گیری یک بنیاد ملّی علم که تدوین‌گر سیاست واحد برای گام نهادن در این گستره‌های نوین است، امکان‌پذیر می‌شود. به زبان دیگر، در راهبردهای تدوینی توسط بنیاد ملّی علم که چارچوب آن از طریق تمام ذی نفع‌ها و کنش‌گران گسترۀ علم و فناوری در فضای ملّی فراهم می‌شود، می‌بایست یک پلاتفورم عملکردی را جهت اقدامات راهبردی در سطح ملّی برای فناوری‌های نوین (NCBI) سامان دهی نمود.

این پلاتفورم می‌تواند ضمن برشمردن مأموریت‌های دانشگاه‌ها و پارک‌های علم و فناوری به شکل‌دهی خوشه‌های علوم نوین (NCBI) به شکل هوشمندانۀ تخصص گرایانه (Smart Specialization) در قالب مناطق ویژۀ علم و فناوری، بپردازد (۱۸). این به معنای آن است که شکل دهی به مناطق ویژه علم و فناوری با مأموریت تعریف شده در قالب تخصص‌گرایی برخاسته از نگرش به ابرروندها به صورت هوشمندانه، می‌تواند راهبرد پسندیده‌ای برای گذار به دنیای فناوری‌های نوین باشد. همانند کشورهای پیشرو که خود را آمادۀ پذیرایی از دستاوردهای پزشکی نمایی می‌نمایند، برگزاری دوره‌های آشنایی با مفاهیم آینده‌نگری در گسترۀ پزشکی با تأکید بر تکینگی فناوری در قالب دوره‌های کوتاه مدت و مجازی و یا برگزاری همایش‌های سالانۀ پزشکی نمایی، جهت نشان دادن مرزهای دانش، می‌تواند بسیار راه‌گشا باشد. در هر صورت، می‌بایست مفاهیم پزشکی آینده و فلسفۀ حاکم بر آن و فناوری‌های مرزشکن و بحرانی، با خوی و منش نمایی را برای جامعۀ علمی به زبان ساده آموزش داد. از سوی دیگر، برای ساماندهی یک مرکز رصد علم و فناوری برای دیده‌بانی فناوری‌های مرزشکن و نمایی در سطح جهان و تدوین راهبردهای سنجیده برای انتقال، بومی سازی و رشد فناوری‌های نوپدید اهتمام ورزید. این رصدخانۀ علم و فناوری می‌تواند چارچوب گفتمان علمی و چگونگی واکنش به پدیداری فناوری‌های نمایی و مرزشکن را سامان داده و نقاط بحرانی را برای رشد این فناوری‌ها در نقشه راه توسعۀ علمی کشور بر مبنای آمایش سرزمین، ترسیم نماید.

References:

1.Kurzweil R. The singularity is near. New York: Penguin Books, 2005.

2.Exponential Medicine Conference Report. San Diego, California, USA. 2014. (Accessed Feb

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.7508/ismj.1394.06.018]

8, 2016, at http://robertoascione.com/wp-content/uploads/2015/07/Exponential-Medicine-Conference-Report-1.pdf)
3.Singularity. (Accessed Feb 8, 2016, at https://en.wikipedia.org/wiki/Singularity)
4.Technological singularity. (Accessed Feb 8, 2016, at https://en.wikipedia.org/wiki/Technological_singularity)
5.Kurzweil R. (Accessed Feb 8, 2016, at http://www.singularity.com/qanda.html)
6.Diamandis P, Kotler S. Abundance, The future is better than you think. New York: Free Press, 2012, 189-204.
7.Popa S. Exponential Medicine Conference. San Diego, California, USA. 2014. (Accessed Feb 8, 2016, at http://www.ipem.ac.uk/Portals/0/Documents/Conferences/Conference%20Reports/2014/Travel%20bursary%20-%20Popa%20-%20for%20web.pdf)
8.Diamandis P. Disrupting today's healthcare system. 2015. (Accessed Feb 8, 2016, at http://www.huffingtonpost.com/peter-diamandis/disrupting-todays-healthc_b_8512200.html.)
9.Solez K, Bernier A, Crichton J, et al. Bridging the gap between the technological singularity and mainstream medicine: highlighting a course on technology and the future of medicine. Glob J Health Sci 2013; 5: 112-25.
10.Tucker P. The Singularity and human destiny. 2006. (Accessed Feb 08, 2016, at http://www.singularity.com/KurzweilFuturist.pdf)
11.Canton J. Future smart: Managing the game-changing trends that will transform your world. Philadelphia: Da Capo Press, 2015, 218-230.
12.Marusina K. Genomic singularity is nar. 2014. Genetic Engineering Biotechnol News 2014; 34: 1: 38-40.
13.Gillam M, Feied C, Handler J, et al. The Healthcare Singularity and the Age of Semantic Medicine. 2009. (Accessed Feb 8, 2016, at http://research.microsoft.com/en-us/collaboration/fourthparadigm/4th_paradigm_book_part2_gillam.pdf).
14.Tobin MJ. Generalizability and singularity. The crossroads between science and clinical practice. Am J Respir Crit Care Med 2014; 189: 761-2.
15.Chalmers D. The singularity: A philosophical analysis. J Conscious Stud 2010: 17: 7-65.
16.Goertzel B. Human-level artificial general intelligence and the possibility of a technological singularity: A reaction to Ray Kurzweil's The Singularity Is Near, and McDermott's critique of Kurzweil. Artificial Intelligence 2007; 171: 1161-73.
17.Amarasingham R. The Approaching singularity in medicine: When computers exceed physician performance. 2014. (Accessed Feb 8, 2016, at https://repositories.tdl.org/utswmed-ir/handle/2152.5/1390).
18.Nabipour I. The Knowledge region. Bushehr: University and Medical Sciences Press, 2015.

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.7508/ismj.1394.06.018]

ISMJ 2016; 18(6):1287-1298

Review Article

The technological singularity and exponential medicine

I. Nabipour [1,2*], M. Assadi [3]

[1] Future Studies Group, The Academy of Medical Sciences of the I.R.Iran

[2] The Persian Gulf Marine Biotechnology Research Center, The Persian Gulf Biomedical Research Institute, Bushehr University of Medical Sciences, Bushehr, Iran

[3] The Persian Gulf Nuclear Medicine Research Center, The Persian Gulf Biomedical Research Institute, Bushehr University of Medical Sciences, Bushehr, Iran

(Received 29 Nov, 2015 Accepted 31 Dec, 2015)

Abstract

The "technological singularity" is forecasted to occur in 2045. It is a point when non-biological intelligence becomes more intelligent than humans and each generation of intelligent machines re-designs itself smarter. Beyond this point, there is a symbiosis between machines and humans. This co-existence will produce incredible impacts on medicine that its sparkles could be seen in healthcare industry and the future medicine since 2025. Ray Kurzweil, the great futurist, suggested that three revolutions in science and technology consisting genetic and molecular science, nanotechnology, and robotic (artificial intelligence) provided an exponential growth rate for medicine. The "exponential medicine" is going to create more disruptive technologies in healthcare industry. The exponential medicine shifts the paradigm of medical philosophy and produces significant impacts on the healthcare system and patient-physician relationship.

Keywords: singularity, exponential medicine, personalized medicine, technology

**Address for correspondence*: The Persian Gulf Marine Biotechnology Research Center, The Persian Gulf Biomedical Research Institute, Bushehr University of Medical Sciences, Bushehr, Iran. E-mail: Inabipour@gmail.com

Website: http://bpums.ac.ir
Journal Address: http://ismj.bpums.ac.ir

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.7508/ismj.1394.06.018]