دوماهنامه طبّ جنوب
پژوهشکده زیست- پزشکی خلیج فارس
دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی بوشهر
سال هفدهم، شماره ۶، صفحه ۱۰۶۷– ۱۰۴۵ (بهمن و اسفند ۱۳۹۳)

ISMJ 2015; 17(6): 1045-1067

فناوری‌های همگرا: شکل دهنده آینده پزشکی

ایرج نبی‌پور [۱ و ۲*]، مجید اسدی [۳]

[۱] عضو گروه آینده‌نگاری، نظریه‌پردازی و رصد کلان سلامت، فرهنگستان علوم پزشکی جمهوری اسلامی ایران
[۲] مرکز تحقیقات زیست فناوری دریایی خلیج فارس، پژوهشکده‌ی علوم زیست پزشکی خلیج فارس، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی بوشهر
[۳] مرکز تحقیقات پزشکی هسته‌ای خلیج فارس، پژوهشکده‌ی علوم زیست پزشکی خلیج فارس، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی بوشهر

(دریافت مقاله: ۹۳/۶/۳۰- پذیرش مقاله: ۹۳/۷/۲۵)

چکیده

دو فرایند مینیاتورسازی و مجازی‌سازی موجب پیش‌رانی همگرایی میان فناوری‌های زیستی، نانویی، اطلاعات و نیز علوم شناختی گردیده و با برانگیختن نوآوری و شتاب یافتن پژوهش و توسعه در بسیاری از گستره‌ها، موجب پیشرفت‌های انقلابی و پرشتاب در پزشکی شده‌اند. این همگرایی در فناوری‌ها، ما را در خلق نقاط تماس میان مغزها و کامپیوترها، در رشد نانوفناوری ملکولی، ساخت سلول‌های تنفسی، پلاکت‌های مکانیکی، فاگوسیت‌های نانوروبوتی، نانوبوت‌های که می‌توانند وارد هسته یک سلول شده و مواد ژنتیکی را برداشت کرده و آن را با نسخه‌ای که فاقد جفت بازهای ناقص هستند و در آزمایشگاه ساخته شده‌اند را جایگزین نمایند، توانمند خواهند ساخت. این‌گونه پیش‌بینی می‌شود که جهان پزشکی از ابرروند در حال تکامل "پزشکی باز آفرینشی" دچار انقلابی عظیم در عرصه‌های علوم و فناوری پزشکی و گستره‌های بالینی شود. پزشکی باز آفرینشی که یک گستره‌ی کاربردی از فناوری‌های همگرا و هیجان‌انگیز در پزشکی ترجمانی است، تلاش می‌کند که از دستاوردهای رشد فناوری مهندسی بافت برای خلق مدل‌های آزمایشگاهی سه بُعدی بافت‌ها و ارگان‌ها به صورت مدل‌های زیستی "زنده" و فناوری سلول‌های بنیادی القا شده در دامنه‌ی مراقبت‌های سلامت یک جابجایی پارادایمی ایجاد کند. بر پایه وزن شواهد فناوری‌های همگرا این پتانسیل را برای پزشکی بازآفرینشی فراهم خواهند آورد که درمان‌های نوین، نوآورانه و حتی درمان کامل بیماری‌هایی را که با شیوه‌ها و رهیافت‌های سنتی راه حلی برای آن‌ها وجود نداشته است را بر جامعه‌ی بشری عرضه دارد.

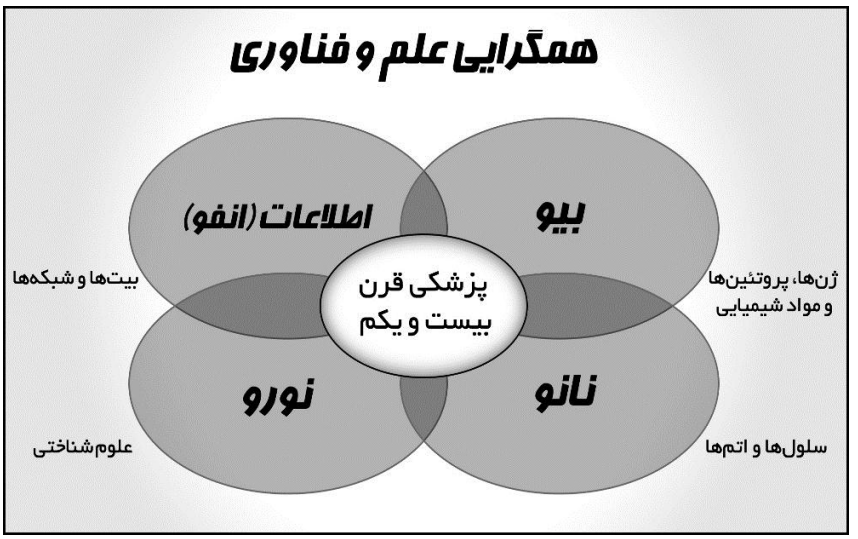
واژگان کلیدی: فناوری‌های همگرا، فناوری زیستی، پزشکی باز آفرینشی، فناوری سلول‌های بنیادی القا شده

* بوشهر، مرکز تحقیقات زیست فناوری دریایی خلیج‌فارس، پژوهشکده‌ی علوم زیست پزشکی خلیج‌فارس، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی بوشهر
Email: inabipour@gmail.com

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-01]

مقدمه

دو فرایند مینیاتورسازی (Miniaturization) و مجازی‌سازی موجب پیش‌رانی همگرایی میان فناوری‌های زیستی، نانویی، اطلاعات و نیز علوم شناختی (Cognitive Sciences) گردیده و با برانگیختن نوآوری و شتاب یافتن پژوهش و توسعه در بسیاری از گستره‌ها، موجب پیشرفت‌های انقلابی و پرشتاب در پزشکی، انرژی، حفاظت از محیط زیست و فرایندهای توسعه‌ای دیگر شده‌اند (۱). این تغییرات شگرف می‌تواند از فناوری چیپس (Chips) تا رهاسازی دارو و ایمپلانت (شامل تحریک الکترونیک مغز) را در بر گیرد. بنابراین، واژه‌ی فناوری‌های همگرا، یک جایگاه سنگین فرایند سیاست‌گذاری در علم و فناوری را به خود اختصاص داده است. شاید نخستین بار توجه جامعه‌ی علمی بر اساس یافته‌های همایش ژوئن ۲۰۰۲ میلادی که توسط برنامه‌ی پیشاهنگ نانوفناوری ملی آمریکا برگزار گردید 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 بین‌بریج (Roco & Bainbridge) در سال ۲۰۰۳ میلادی انتشار یافت (۴-۲)، به سوی این فناوری‌ها جلب شد.



شکل ۱) پیشرفت پزشکی قرن بیستم بر پایه‌ی همگرایی فناوری‌های گوناگون استوار است.

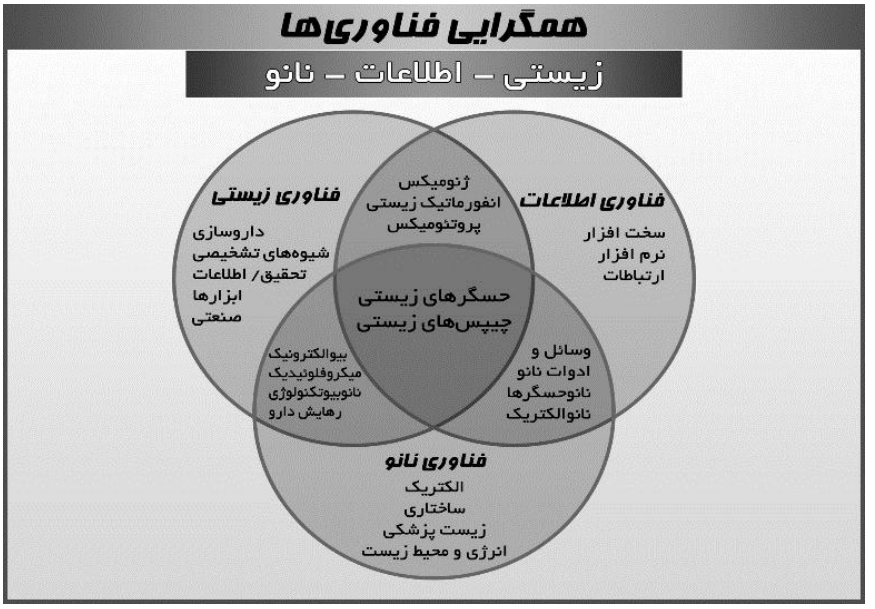
در این گزارش از پردازنده‌های زیست نانویی[1]، خود پایشی تندرستی فیزیولوژیک و اختلال عملکردی، با به‌کارگیری ادوات کاشت نانویی[2]، روبوت‌های نانویی، گونه‌های گوناگون ارتباط شنیداری و بینایی بر پایه‌ی سکوهای چندنمایی[3]، همچنین ایجاد سطح تماس (واسط) مغز با مغز، مغز با ماشین، خلق محیط‌های مجازی به صورت جغرافیا و محیط‌های مجازی رئالیستیک به تفصیل، بحث شده است. برای مثال، فناوری زیستی در پناه علوم شناختی می‌تواند سطح تماس برای انسان ایجاد کند که او بتواند فضاهای مجازی را با شدت هر چه بیشتر تجربه نماید. از این رو، این فناوری‌های همگرا می‌توانند از مرز حس انسان گذر

[1] Nano-Bio Processors
[2] Nano Implant Devices
[3] Multimodal Platforms

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-01]

کرده و برای انسان در برخورد با محیط فیزیکی، سطح ارتباط جدیدی را خلق نمایند (۳-۱).

این اندیشه‌ها پیرامون دستاورهای فناوری‌های همگرا چنان انقلابی و شگفت‌آور بود که گروه ETC، بسته‌ی 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).



شکل ۲) نمونه‌هایی از همگرایی فناوری‌ها در گستره‌های زیست فناوری، اطلاعات و نانوفناوری

در ترکیب سینرژیتیک NBIC، چهار عنصر نهفته است که پرشتاب‌ترین رشد را در دهه‌ی گذشته از خود نشان داده‌اند؛ یعنی علوم نانو و فناوری نانو، فناوری زیستی و زیست پزشکی (شامل مهندسی ژنتیک)، فناوری اطلاعات (شامل علوم کامپیوتر و ارتباطات)، علوم شناختی (شامل علوم اعصاب شناختی) (۴).

همگرایی فناوری‌ها، نقش مهمی را در جامعه از دیدگاه اقتصادی، اجتماعی و منظرهای توسعه‌ای از خود نشان می‌دهند و با سیاست‌گذاری مناسب می‌توان رفاه، اقتصاد توسعه یافته، فرایند نوآوری و تولید محصولات و خدمات با ارزش افزوده را برای جامعه فراهم آورد و از این منظر، همگرایی فناوری‌ها، فرصت‌های جدیدی را برای اهداف توسعه‌ای و زدودن شکاف دیجیتالی خلق می‌نمایند. بنابراین، همگرایی فناوری‌ها فقط یک موردِ مربوط به حوزه‌ی فناوری نبوده و در حقیقت یک مفهوم توسعه‌ای می‌باشد (۵).

ابرروند همگرایی فناوری‌ها دارای دو ویژگی اساسی است که اطلاعات‌سازی (Informatization) و مینیاتورسازی شامل می‌شود. برای توصیف فرایندهای بی‌شماری که در جهان ارگانیک، غیر ارگانیک و نیز جهان شناختی روی می‌دهند، از واژه‌های کسب، فراهم آوردن، فرایندسازی و بازخورد اطلاعات استفاده می‌شود. در نتیجه، عناصری که پیش از این هیچ‌گونه ارتباطی برای آنان نمی‌توانستیم متصور شویم، هم اکنون

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-01]

با یکدیگر در سطح تماس قرار می‌گیرند. ژن‌ها و دیگر اجزاء دارای "کد" بوده که قابل دست‌یابی و خواندن توسط گیرنده‌های زیستی هستند؛ اطلاعات اندیشه‌ی ما را می‌توان بر روی کامپیوترها جای داد و برعکس؛ "فناوری واداری" (Persuasive Technology) می‌تواند رفتار ما را با رو در رو کردن مغزمان با بعضی از اطلاعات، تحت کنترل قرار دهد؛ بیولوژی سینتتیک (Synthetic Biology) در راه است زیرا در آینده ما خودمان می‌توانیم اطلاعات نهفته در ژن‌ها را ترکیب و تغییر دهیم و ارگانیسم‌ها را بر مسیری که توسط خودمان تعیین شده است، به پیش برانیم.

ویژگی دیگر همگرایی فناوری، مینیاتورسازی ادوات است که در سایه‌ی علوم نانو و نانوفناوری امکان‌پذیر شده است. این فناوری‌ها، ما را در خلق نقاط تماس میان مغزها و کامپیوترها، میان مواد در جریان خون و حسگرهای تر (Wet Sensors)، میان لباس فرد و محیط زیستِ زنده‌ی هوشمندِ پیرامون، توانمند نموده‌اند. این به معنای آن است که ما می‌توانیم سلول‌ها را از بلوک‌های ساختمانی بیولوژیک گرد هم آوریم. مواد نانویی مانند الکترودهای minuscule و چیپ‌های RFID (Radio Ferquency Identification (RFID) برای رشد انفجاری در تبادل اطلاعات و بازخوردها، حیاتی هستند (۶). اگر انقلاب اول را بیولوژی سلولی و ملکولی و انقلاب دوم را ژنومیک قلمداد کنیم، همگرایی فناوری نیز انقلاب سوم است (۷). امّا اخیراً، بنیانگذاران و تئوری‌پردازان همگرایی فناوری، گام را فراتر نهاده‌اند و چشم انداز ۱۰ ساله‌ی NBIC2 را در چارچوب دراز مدت همگرایی فناوری و توسعه‌ی انسانی که در اصول یگانه‌ی NBICدر انقلاب سوم نوید داده شده بود، ترسیم کرده‌اند. به جهان نوینی مملو از اکتشاف، اختراع و نوآوری چنگ انداخته‌اند که برخاسته از همگرایی دانایی، فناوری و جامعه است. روکو و بین بریج، در این تئوری جدید، همگرایی دانایی و فناوری برای سودمندی جامعه (CKTS)[4] را به عنوان هسته‌ی فرصت برای پیشرفت در قرن بیست و یکم معرفی کرده‌اند. در حقیقت CKTS، یک برهم کنش دگرگون‌ساز میان رشته‌های به نظر گوناگون، فناوری‌ها، جوامع و دامنه‌های فعالیت انسانی با هدف نیل به همسازی دو طرفه، سینرژیسم، یکپارچگی، خلق ارزش افزوده و رسیدن به اهداف مشترک است. سیر تکامل همگرایی فناوری شامل چند هنگامه طی چند دهه‌ی گذشته بوده است. آغاز آن با نانوفناوری در جهان مواد بوده است که سپس با فناوری‌های همگرا در قالب NBIC در زمان پدیداری فناوری‌های نوین امتداد یافت. امّا سطح سوم همگرایی، CKTS است (۸).

کامیابی برخاسته از دانایی، ایده‌ها، مواد و فناوری‌های نوین که از فعالیت‌های همگرایی پدیدار می‌شوند، به شدت هیجان‌انگیز است. پیش‌بینی می‌شود اثر فناوری‌های همگرا بر زندگی روزانه، به صورت خارق‌العاده‌ای سودمند باشند. همگرایی اجتماعی دارای این پتانسیل است که به‌صورت عظیم و کارآمدی توانمندی‌های انسان، رقابت‌پذیری در عرصه‌ی اقتصاد و امنیت زندگی را بهبود بخشد (۸).

انقلاب سوم: همگرایی فناوری

هم اکنون، بیشترین پژوهش‌های علمی هیجان‌انگیز در ترکیب بیولوژی سلولی و ملکولی با ژنومیک، مهندسی و دانش علوم فیزیکی در حال انجام است. از این رو، همگرایی فناوری، سازنده‌ی انقلاب بزرگ سوم در علوم زیستی و پژوهش‌های زیست پزشکی است.

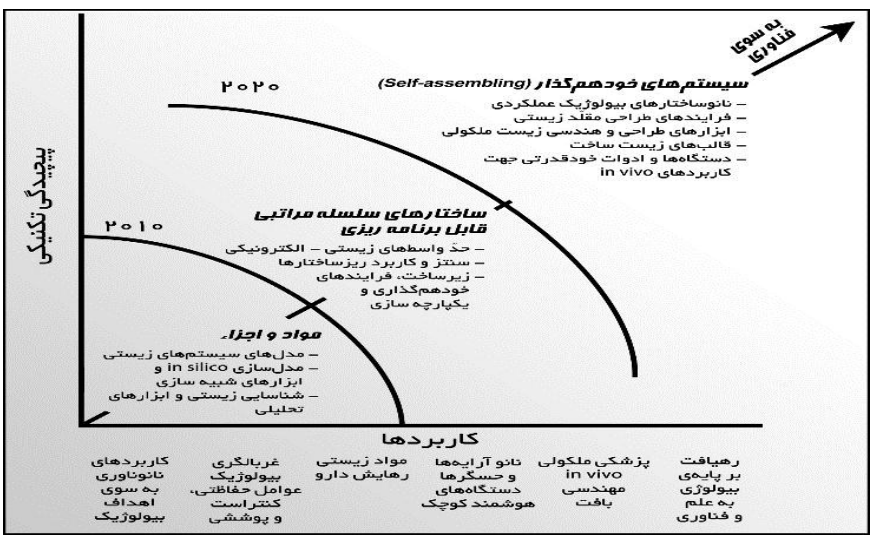
[4] Convergence of Knowledge and Technology for the benefit of Society (CKTS)

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-01]



شکل ۳) همگرایی در فناوری‌های وابسته به پزشکی

همان‌گونه که مشاهده کردیم، همگرایی فناوری فقط به‌صورت ساده شامل انتقال ابزار از یک شاخه از علم به دیگری نیست بلکه به صورت اساسی، رهیافت‌های مفهومی گوناگون از علوم فیزیکی و مهندسی به سوی پژوهش‌های بیولوژیک وارد گردیده و همزمان درک علوم زیستی از نظام‌های تکاملی پیچیده به صورت متقابل بر علوم فیزیکی و مهندسی اثر می‌گذارند. بنابراین، همگرایی فناوری، در نتیجه‌ی یک گرده افشانی عقلانی حقیقی می‌باشد.



شکل ۴) سیر تحول فناوری و کاربردهای آن در گذر زمان

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-01]

هم اکنون در مراکز دانشگاهی، فضایی عقلانی و پژوهشی ویژه‌ای برای دانشمندان علوم زیستی فراهم آورده‌اند تا با دانشمندان علوم فیزیکی و مهندس‌ها بر هم کنش نموده و با یکدیگر همکاری نمایند. بنیاد ملّی سلامت آمریکا (NIH)، در این مسیر (به‌ویژه پژوهش‌های سرطان)، پیشگام است. برای مثال، بنیاد ملّی سرطان (NIC)، هفت مرکز تعالی نانوفناوری سرطان برای پژوهش‌های میان دانشگاهی و میان رشته‌ای ایجاد کرده است. این مراکز، فعالیت‌های متنوعی را شامل توسعه‌ی ادوات در مقیاس نانو برای رهاسازی دارو به صورت هدفمند و یا تشخیصی و نیز تصویربرداری غیر تهاجمی و همچنین حس ملکولی سرطان‌ها با تأکید بر سرطان‌های پروستات، مغز، ریه، تخمدان و روده‌ی بزرگ آغاز کرده‌اند. NCI همچنین یک مرکز یکپارچه‌ی برنامه‌ای را برای بیولوژی سرطان در سراسر کشور ایجاد کرده است که نشانگر رهیافت همگرایی فناورانه است. این مراکز با رهیافت بیولوژی سیستمی، در جستجوی کارآمدترین گره‌های تنظیمی سلولی جهت درک و درمان سرطان هستند. این کارها، کاربرد مستقیم برای شناسایی بهترین اهداف تشخیصی و عرضه‌ی ابزارهای نوین نانوفناورانه خواهند بود (۷). در حقیقت، مرزشکنی رهیافت همگرایی فناوری‌ها، فراتر از آن است که بنیادهای پژوهشی جدید بتوانند فضای مشترکی را برای رشته‌های گوناگون فراهم آورند بلکه بیشتر بر تیم‌های پژوهشی میان رشته‌ای در قالب همکاری‌های علمی تکیه می‌نماید؛ که برای مثال می‌توان از جدیدترین پروژه‌های MIT که در این قالب در حال انجام است به موارد زیر جهت آشنایی با مفهوم فناوری‌های همگرا اشاره کرد:



شکل ۵) رهیافت‌های گوناگون در یکپارچه‌سازی فناوری‌ها

الف) چیپس با نمای عصبی[5]

ریز پردازنده‌هایی که بیشتر مانند مغز طراحی شده‌اند تا چیپس‌های سنتی، می‌توانند در آینده‌ای نزدیک رایانه‌هایی را خلق کنند که در مورد آنچه در پیرامون آن‌ها می‌گذرد، زیرکانه پاسخ دهند (۹).

ب) ویرایش ژنوم

توانایی خلق پستانداران نخستین با جهش‌های تعمدی، شیوه‌های جدید خارق‌العاده‌ای جهت مطالعه‌ی

[5] Neuromorphic Chips

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-01]

بیماری‌های مغزی پیچیده و از دیدگاه ژنتیکی گیج کننده، فراهم می‌آورد (۱۰).

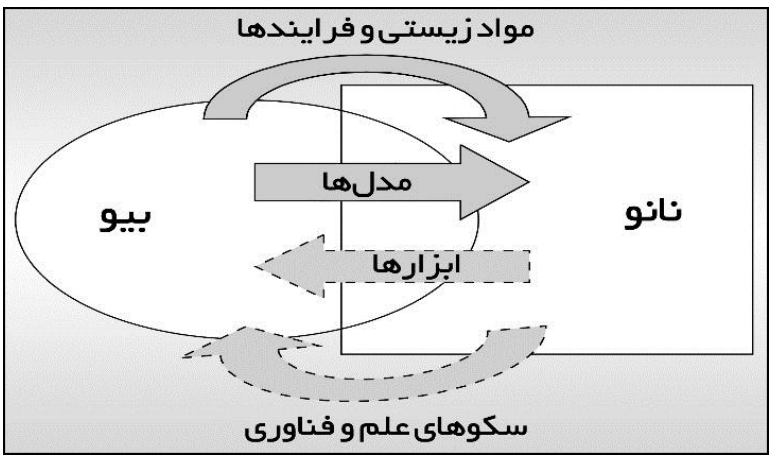
ج) نقشه‌برداری مغز

برای پرده‌برداری از پیچیدگی بیکران مغز، فناوری‌های همگرا در آینده خواهند توانست در فراتر از حد دقت، سلول‌های واقعی را نشان دهند که در حد یک یا دو میکرومتر خواهد بود و چنین نقشه سه بُعدی از مغزی حاوی چندین "پتابایت داده" ((Petabytes (10^{15}) خواهد بود که هم اکنون این حجم اطلاعات از توان کامپیوترهای کنونی خارج است. این اطلاعات برخاسته از نقشه‌برداری مغز، توان دانشمندان علوم اعصاب را برای شناخت پیچیدگی‌های بیولوژیک و پاتوفیزلوژیک مغز، به‌صورت خارق‌العاده‌ای تحت تأثیر قرار خواهد داد (۱۱).

پزشکی نانو و نانو زیست‌فناوری

بسیاری از بیماری‌ها از تغییرات در فرایندهای زیستی در سطح ملکولی با مقیاس نانو برمی‌خیزند. ژن‌های موتاسیون یافته، پروتئین‌های تغییر ساختار یافته و عفونت‌های ویروسی و باکتریایی می‌توانند موجب اختلال عملکردی و ارتباطات ناهنجار در سطح سلولی شده و گاهی نیز به بیماری‌های تهدید کننده‌ی حیات منجر شوند. این ملکول‌ها و عوامل عفونی، از لحاظ اندازه در حد نانومتر هستند و ممکن است در سیستم‌های بیولوژیک توسط موانع محصوری در حد اندازه‌ی نانومتری (مانند منافذ هسته‌ای در حد ۹ نانو) محافظت شوند. ویژگی‌های شیمیایی، اندازه و شکل آن‌ها بر جا به جایی ملکول‌ها به اشکوبه‌های بیولوژیک خاص و بر هم کنش میان ملکول‌ها فرمان می‌رانند. نانوفناوری به "طراحی، ویژگی یافتگی، تولید و کاربرد مواد، ساختارها، ادوات و سیستم‌ها با کنترل اندازه و شکل آن‌ها در مقیاس نانو (بین یک تا صد نانومتر)" تعریف می‌شود. از آنجا که مواد نانویی در مقیاس، همانند ملکول‌ها و سیستم‌های زیستی هستند می‌توان آن‌ها را به گونه‌ای مهندسی کرد که عملکرد متنوعی داشته باشند و از این رو فناوری نانو برای کاربردهای پزشکی، گستره‌ای بی‌همتا است (۱۲).

این کاربردها می‌توانند از مواد کنتراست برای تصویر برداری سلولی تا درمان سرطان‌ها را پوشش دهند. واژه‌هایی همانند نانوفناوری زیست پزشکی، زیست فناوری و پزشکی نانو برای توصیف این گستره‌ی هیبرید استفاده می‌شود (۱۳).



شکل ۶) بر هم کنش‌های کلیدی گستره‌های بیولوژی و نانوفناوری

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-01]

یکپارچگی مواد زیستی نانویی با علم بیولوژی، موجب توسعه‌ی ادوات تشخیصی، عوامل تصویر برداری سلولی، ابزارهای آنالیتیک، کاربردهای درمانی فیزیکی و رهاسازی داروها شده‌اند.

در هر صورت پزشکی نانو، رشته‌ای نوپدید در زیر چتر فناوری نانو است. در گزارش بنیاد علوم اروپا (ESF) (European Science Foundation (ESF))، پزشکی نانو به صورت "دانش و فناوری تشخیصی، درمان و پیشگیری بیماری و آسیب‌های تروماتیک، تسکین درد، نگهداشت و بهبودی سلامت انسان با کاربرد ابزارهای ملکولی و دانش ملکولی در سطح بدن انسان " تعریف شده است (۱۴). این تعریف، در تعریف بنیاد ملّی سلامت آمریکا نیز بازتاب یافته است: "پزشکی نانو به تداخل طبّی بسیار ویژه در مقیاس ملکولی برای درمان بیماری و یا ترمیم بافت‌های صدمه دیده مانند استخوان، ماهیچه و یا عصب است"(۱۵). در تعریف ESF پنج زیر شاخه برای نانو پزشکی شناسایی شده است:

۱/ ابزارهای آنالیتیک

۲/ تصویر برداری نانویی

۳/ مواد نانویی و ادوات نانویی

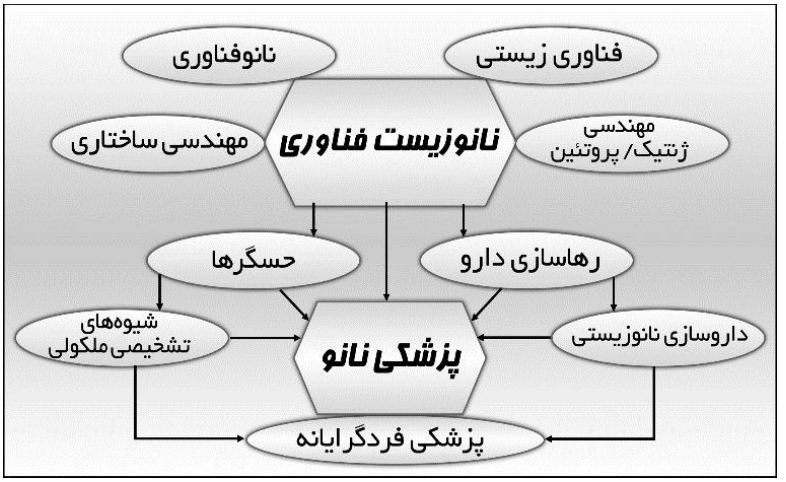
۴/ درمان‌های نوین و سیستم‌های رهایش دارویی

۵/ موارد بالینی، قانونی و مسمومیت‌ها

ریشارد اسمالی (R. Smalley)، برنده‌ی جایزه‌ی نوبل شیمی از دانشگاه رایس آمریکا، پتانسیل کاربردی نانوفناوری در پزشکی و اثر تحولی آن را برای کنگره‌ی آمریکا چنین بیان کرد:

"در بیست سال آینده، نانوفناوری به ما داروهای ویژه‌ی مهندسی شده که به شکل اختصاصی فقط سلول‌های سرطانی جهش یافته را در بدن هدف قرار می‌دهند و چیزهای دیگر را به حال خود وا می‌گذارند، عرضه خواهد کرد و از این رو، سرطان دیگر چیزی مربوط به گذشته خواهد بود" (۱۶).

بر اساس همین دیدگاه است که امروزه در جدیدترین تحولات در حوزه‌ی نانو پزشکی، شاهد معرفی ذرات نانویی شیمی درمانی بر علیه سرطان سینه‌ی مقاوم به درمان هستیم (۱۷).



شکل ۷) گذار از نانو زیست فناوری به پزشکی فردگرایانه

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-01]

نانوزیست فناوری، به‌صورت گستره‌ای تعریف می‌شود که شامل کاربرد اصول در مقیاس نانو و شیوه‌های نانوفناوری جهت درک و ایجاد دگرگونی و تبدیل سیستم‌های زیستی (زنده یا غیر زنده) بوده که اصول بیولوژیک و مواد را جهت خلق ادوات و سیستم‌های جدید در مقیاس نانو به کار می‌برد (۱۸).

همگرایی فناوری‌های نانوفناوری و زیست فناوری و نیز فناوری ارتباطات توأم با فناوری شناختی، طی دهه‌ی آینده شتاب خواهد گرفت. در حقیقت، همگرایی علوم در مقیاس نانو با بیولوژی مدرن و پزشکی، یک ابرروند است که در سیاست‌گذاری‌های علم و فناوری نیز بازتاب یافته است (۱۸).

پژوهش‌ها در مقیاس نانو و در سیستم‌های زیستی و آمیختن آن‌ها با فناوری‌های اطلاعاتی و شناختی موجب ایجاد سکوهای علم و فناوری کاملاً نوینی شده‌اند که نمونه‌های آن را می‌توان در فارماکولوژی ژنومی، سیستم‌های زیستی بر روی چیپس‌ها، پزشکی بازآفرینشی، علوم اعصاب، مهندسی نوروموروفیک (Neuromorphic) و سیستم‌های غذایی مشاهده کرد. بنابراین، اثر علمی این دستاوردها آنچنان است که در برنامه‌های بودجه‌ای دولت‌ها و سیاست‌گذاری‌های علم و فناوری برای آینده کاملاً محسوس است و می‌توان نشانه‌های آن را در کشورهای پیشرفته مانند آمریکا، انگلستان، آلمان، استرالیا، ژاپن و سوئیس مشاهده کرد (۱۸).



شکل ۸) فناوری نانو به عنوان " کلید " و فناوری زیستی و زیست پزشکی به عنوان " قفل " بر هم کنش دارند.

شتاب تند این دستاورد که حاصل این همگرایی فناوری‌ها است را می‌توان در سطح مطبوعات بین‌المللی پزشکی نیز احساس نمود. برای مثال، هم اکنون می‌توان رفتار ذرات نانویی در بدن زیست‌مند را با فناوری میکروفلوئیدیک پیش‌بینی نمود (۱۹) و یا اینکه می‌توان از مواد نانویی سیلیکایی جهت آزادسازی عوامل تمایز سلول‌های بنیادی جنینی در شرایط in vivo استفاده کرد (۲۰). در همگرایی فناورانه نانوفناوری با زیست فناوری و دانش بیولوژی و خلق پزشکی نانو، پتانسیل‌های دو طرفه‌ای برای این فناوری‌ها نهفته است. نانوفناوری می‌تواند با فراهم آوردن سکوهای فناوری و خلق ابزارها در پژوهش و

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-01]

دگرگونی در سیستم‌های زیستی ما را کمک نماید و از سوی دیگر، زیست فناوری نیز می‌تواند مدل‌ها و اجزاء سرهم‌بندی شده‌ی زیستی (bio- assembled) را به نانوفناوری ارائه دهد، بر این اساس می‌توان موارد زیر را برای همگرایی فناوری‌ها در مقیاس نانو انتظار داشت:

۱/ نانوفناوری ابزارهایی را برای اندازه‌گیری و درک سیستم‌های زیستی فراهم می‌آورد.

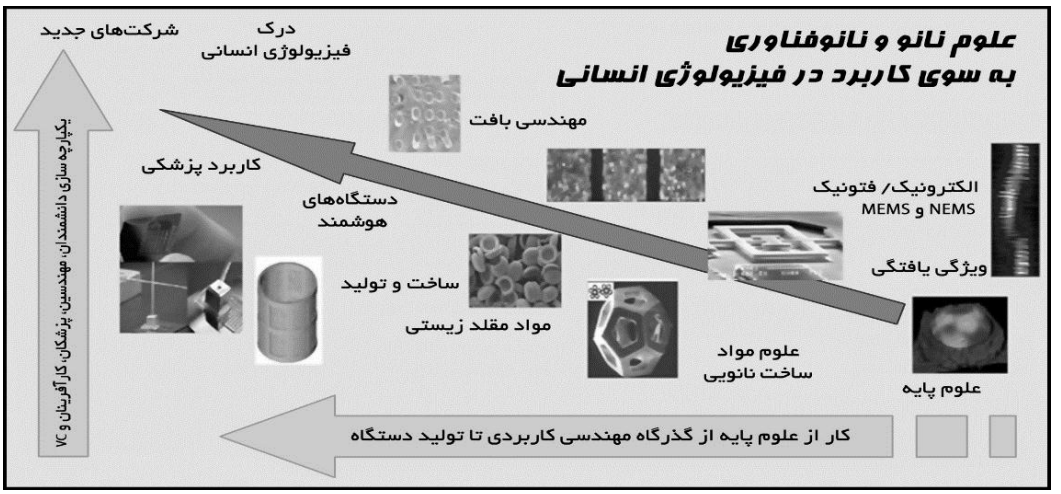
۲/ نانوفناوری راه‌حل‌هایی را برای زیست فناوری و زیست پزشکی عرضه می‌دارد.

۳/ سیستم‌های زیستی، مدل‌هایی را برای نانوفناوری ارائه می‌دهند (مانند خلق ساختارهای ملکولی بزرگتر، تکثیر ساختارها، مهندسی نوروموروفیک، شبیه‌سازی فتوسنتزی و توسعه‌ی گیرنده‌ها و مارکرهای زیستی)

۴/ سیستم‌های زیستی، مواد نانویی زیستی و اجزاء در مقیاس نانویی را برای ساخت در اختیار نانوفناوری قرار می‌دهد (مانند مواد هیبرید ارگانیک – غیر ارگانیک، خلق بلوک‌های ساختمانی نانویی به نام لگوهای ملکولی که می‌تواند ادوات نانویی را برای ساخت حسگرهای زیستی و یا پوششی به کار ببرد) (۱۸).

در همگرایی فناوری‌ها در آینده، در پزشکی نانو شاهد رشد نانوفناوری ملکولی، ساخت سلول‌های تنفسی (Respirocytes) (طرحی برای ساخت سلول‌های خونی مصنوعی)، پلاکت‌های مکانیکی (Clottocytes)، فاگوسیت‌های نانوروبوتی (Microbivores) (که نقش گلبول‌های سفید خون مصنوعی را بازی خواهند کرد)، خواهیم بود.

امّا قلّه‌ی برجسته‌ی پزشکی نانو، نانوبوت‌هایی (Nano bots) هستند که ادوات در حد اندازه‌ی میکروب می‌باشند ولی نمی‌توانند تکثیر یابند. گونه‌ای از نانوبوت‌ها (Chromallocytes) می‌توانند وارد هسته‌ی یک سلول شده و مواد ژنتیکی ناقص را برداشت کرده و آن را با نسخه‌ای که شامل جفت بازهای کامل هستند و در آزمایشگاه ساخته شده‌اند، جایگزین نمایند.



شکل ۹) کاربردهای نانو زیست فناوری

نتیجه‌ی این جراحی سلولی که به نام درمان جایگزین کروموزومی (Chromosome Replacement Therapy (CRT) معروف است آن خواهد بود که تمام ژن‌های ناقص وراثت یافته برداشت شده و می‌توان

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-01]

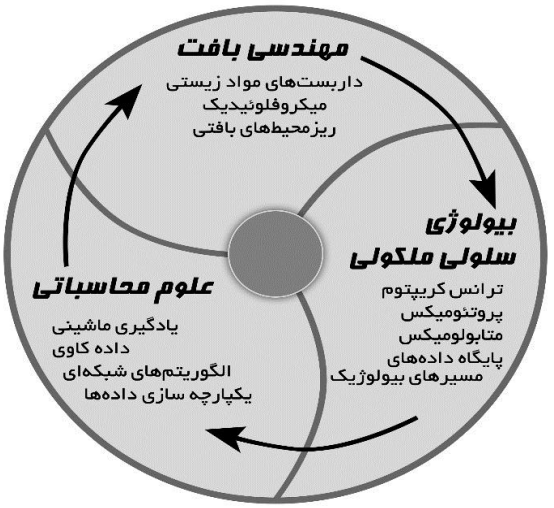
سلول‌های سرطانی را باز برنامه‌نویسی کرده و به حالت سلامت برگرداند و در نتیجه در آینده انسان می‌تواند تمام بیماری‌های ژنتیکی و یا ترکیبی از بیماری‌های ژنتیکی را که خود بیمار گزینش می‌نماید، برای همیشه درمان کند.

همچنین در آینده می‌توان نانوبوت‌هایی در حد دقت مطلق اتمی طراحی کرد. این حد در مافوق آن چیزی است که سلول طبیعی فعالیت خود را انجام می‌دهند. به صورت عملی، هر اتم در نانوبوت یک عملکرد ویژه را در ساختار کلی از خود نشان خواهد داد. در حقیقت "زیست سیستم‌های انسانی" به گونه‌ای کارآمد و مستقیم، که در ورای آنچه در طبیعت وجود دارد، هوشمندانه طراحی خواهند شد (۱۳).

مدل‌های بافتی

در مسیر پیشرفت‌های پزشکی بازآفرینشی، شاهد رشد فناوری مهندسی بافت برای خلق مدل‌های آزمایشگاهی سه بُعدی بافت‌ها و ارگان‌ها به صورت مدل‌های زیستی "زنده" هستیم. این مدل‌های سه بُعدی، بسیار واقعی‌تر از مدل‌های کشت سلولی دو بُعدی بوده و می‌توان برای آزمون منظرهای ویژه‌ای از عملکرد بافت‌ها، با سطح بالایی از کنترل تجربی و با کمترین نگرانی‌های اخلاقی نسبت به مدل‌های جانوری، به کار برد. این سیستم‌های مدل بافتی، کم کم کاربرد خود را در مطالعه‌ی عملکرد طبیعی و پاتولوژیک به دست آورده و به منظور آزمون پتانسیل‌های درمانی، جایگاه ویژه‌ای می‌یابند. افزون بر این، این مدل‌ها به صورت ابزارهای سودمندی جهت توسعه‌ی فناوری‌ها جهت پزشکی بازآفرینشی و تشخیص زودرس و نیز غربالگری بافتی به کار می‌روند (۲۱).

این سیستم‌های مدل بافتی چه در توسعه‌ی فناوری به کار برده شوند و چه برای مطالعه‌ی فرایندهای فیزیولوژیک یا آزمون محصول، در پیشرفت رهیافت‌های پزشکی بازآفرینی بسیار کمک خواهند کرد. این مدل‌های بافتی سه بُعدی، سرعت آزمایش داروها را افزایش داده و احتمال اینکه یک فرمولاسیون دارویی جدید در کارآزمایی‌های بالینی با موفقیت بیرون آید را بهبودی داده و در گردآوری داده‌ها (که در بهینه‌سازی فرمولاسیون دارویی کمک کننده هستند) را تسهیل می‌نمایند. نتیجه‌ی این روند، کاهش در هزینه‌های توسعه‌ی دارو و کاربرد ایمن داروهای طراحی شده‌ی نوین است (۲۲).



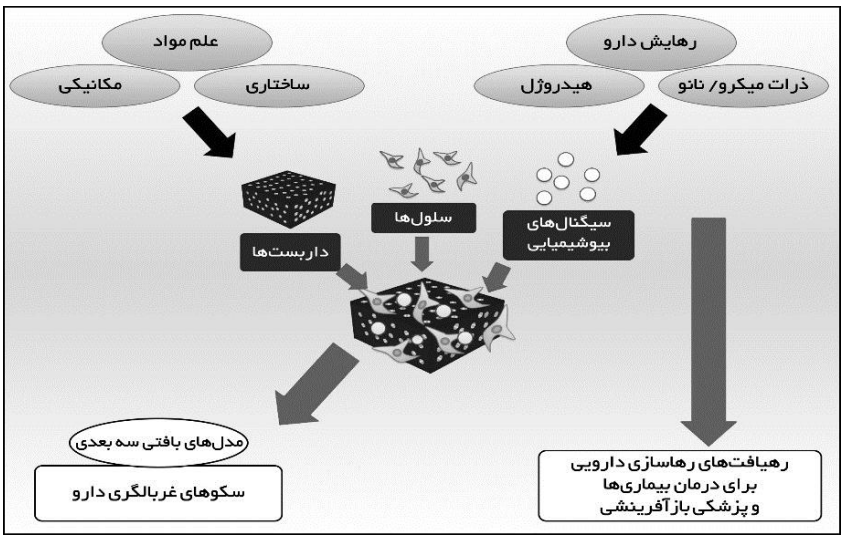
شکل ۱۰) پیوند مهندسی بافت با بیولوژی سلولی ملکولی و علوم محاسباتی

همان‌گونه که در بخش پزشکی سیستمی عنوان شد، از هر ۱۰ هزار ترکیبی که وارد بخش پژوهش و توسعه می‌شود، تقریباً ۵ تا ۱۰ دارو به فاز کارآزمایی‌های بالینی ورود پیدا می‌کنند و در نهایت فقط یک دارو توسط FDA آمریکا مورد تأیید قرار می‌گیرد. از این رو، این فرایند حدود ۱۰ تا ۱۵ سال طول کشیده و هزینه‌ی آن بالغ بر ۸۰۰ میلیون تا یک میلیارد دلار است. بنابراین، همان‌گونه که توسط پژوهشگران علوم وابسته به پزشکی بازآفرینشی تئوری پردازی شده است، می‌توان تمام این موارد را با سیستم‌های میکروفیزیولوژیک in vitro

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-01]

اختصاصی که عملکرد در سطح ارگان را در سطح بافت عرضه می‌دارند، سر و سامان داد (۲۳).

در حقیقت، پیشرفت در بیولوژی سلولی و فناوری میکروفلوئیدیک، بنیانی برای توسعه‌ی آزمون‌های در شرایط in vitro با عملکرد بالا بر پایه‌ی ارگانی فراهم آورده‌اند.



شکل ۱۱) فناوری‌های پایه جهت رشد مدل‌های بافتی سه بعدی

یک پیشرفت مرزشکن در دانش بیولوژی، کشف سلول‌های انسانی بنیادی پرتوان القاء شده است (iPS) که می‌توان برای مدل‌سازی بیماری و غربالگری داروهای مورد پژوهش، از لحاظ مسمومیت مورد استفاده قرار داد. سلول‌های iPS این توانایی را دارند که بتوان به صورت مستمر در محیط کشت به‌صورت غیر تمایز یافته کشت داده و سپس به لاین‌های سلولی گوناگون (برای مثال سلول‌های ماهیچه‌ای، کبدی و آدیپوسیت یا نرون‌ها) تمایز داد. با خلق شرایط ریز محیط فیزیولوژیک وابسته در ادوات میکروفلوئیدیک و کاربرد سلول‌های iPS انسانی، هم اکنون امکان ساخت مدل‌های بافتی سه بُعدی گوناگون که بتوان به عنوان سیستم‌های غربالگری دارو به کار برد، فراهم آمده است. از این مدل‌ها، مدل‌های کبدی و قلبی، بسیار حائز اهمیت هستند. زیرا کاردیوتوکسیستی، یک سوم از عدم ورود به بازار داروها را شامل می‌شود و کبد نیز مکان عمده‌ی متابولیسم دارو بوده و اثرات غیر قابل اجتنابی را بر سرنوشت داروها از خود بر جای می‌گذارد.

در شرایط بهینه‌ی in vitro، می‌توان سیستم‌های فیزیولوژیک پویا را با ترکیب بافت‌های قلب و کبد جهت تسریع در فرایند کشف داروهای جدید فراهم آورد و از این رو در صرفه‌جویی اقتصادی و ایجاد مدل‌های قابل پیش‌بینی و کارا مشارکت نمود. این شیوه‌ی برخاسته از مفاهیم مدل‌سازی بافتی، بسیار پیشرفته‌تر از سیستم‌های کشت کلاسیک سلول‌ها در ظرف‌های کشت چند چاهکی است که برای آزمون داروها به کار می‌رود و در این حالت امکان تغییر شرایط به صورت فیزیولوژیک (با شرایط ارگان و بافت مربوطه) وجود ندارد. کاربرد فناوری میکروفلوئیدیک امکان‌گذار از شکاف میان شرایط آزمایشگاهی و

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-01]

in vitro را ایجاد کرده است. در این محیط میکروفلوئیدیک، کنترل شرایط شیمیایی و فیزیکی که در شیوه‌های دیگر میسر نیست، در ابعاد فضایی- زمانی و ساخت سکوهای غربالگری دارو در شرایط فیزیولوژیک‌تر امکان‌پذیر شده است. این رهیافت‌های میکروفلوئیدیک، موجب ایجاد درجه‌ی بالایی از موازی‌سازی (Parallelization)، مینیاتورسازی سیستم‌های بزرگ برای ساده‌سازی شرایط عمل و کاهش کاربرد معرف‌ها و کنترل معماری و ابعادی ساختاری کار شده‌اند.

افزون‌بر این، از آنجا که جریان مایع در کانال‌های میکروفلوئیدیک، لامینار است، می‌توان آن را به صورت ریاضی مدل‌سازی کرد تا بتوان به صورت پیش‌بینی‌های تئوریک بر مسائل سیستم‌های پیچیده‌ی بیولوژیک چیرگی یافت.



شکل ۱۲) پیوند ارگانیک سلول درمانی، مهندسی بافت و بازآفرینش بافت

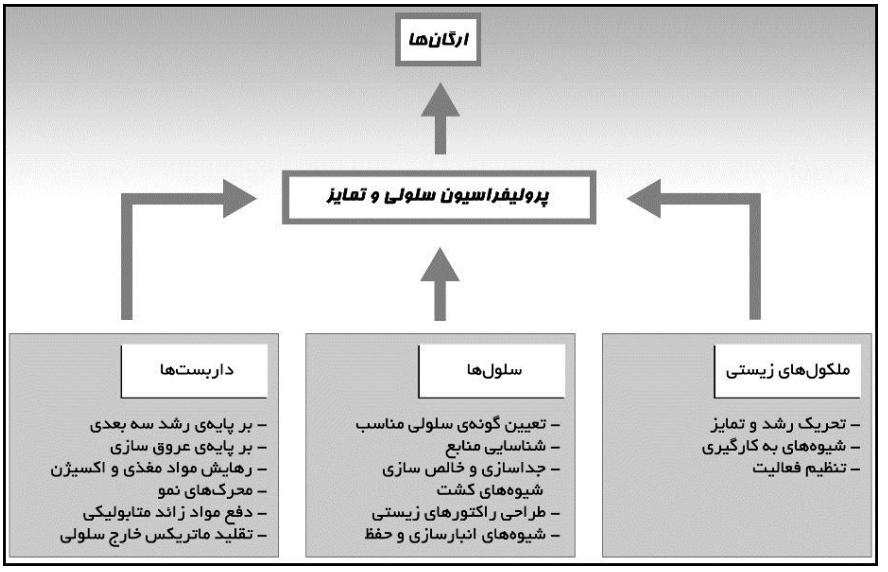
این مدل‌های ریاضی، همراه با تجزیه و تحلیل‌های تجربی، یک سیستم نیرومندی برای درک پیچیدگی‌های فیزیولوژیک عملکرد ریز ارگان در شرایط in vitro ایجاد کرده و رهیافت‌های نوید دهنده‌ای را برای پرداختن به بسیاری از مسائل زیستی شامل ارائه‌های ارگان بر روی چیپس جهت غربالگری دارو و مدل‌سازی بیماری، ایجاد می‌کنند (۲۳).

در سال‌های اخیر، سیستم‌های میکروفلوئیدیک و ریز ابزارانه، برای مقاصد گوناگون به کار رفته‌اند. لی (Lee) و همکاران وی یک سینوزوئید مصنوعی کبدی را طراحی و آزمون نمودند که ساختار سه بُعدی هپاتوسیت‌ها را شبیه‌سازی می‌کرد. آن‌ها از یک سد شبیه اندوتلیالی جهت کنترل انتشار مواد مغذی و رهاسازی دارو نیز استفاده کردند (۲۴). با بهبود شرایط اتصال سلول به سلول، این ساختار می‌تواند شرایط مناسب‌تری را برای نگهداشت پرانباشت هپاتوسیت‌ها به صورت سه بُعدی فراهم آورد. ریز الگوسازی هپاتوسیت‌های انسانی با فیبروبلاست‌ها و سلول‌های

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-01]

استرومایی دیگر، عملکرد هپاتوسیت‌ها را بهبودی داده و تکثیر هپاتوسیت‌ها را امکان‌پذیر نموده است. چنین تصور می‌شود که برای غربالگری پرمحتوای دارو، خلق ساختارهای سه بُعدی از سلول‌های iPS انسانی ویژه‌ی بیماری جهت مدل‌سازی in vitro که پیشگویی کننده‌ی شرایط in vitro هستند، حیاتی باشد (۲۳).

این سکوهای in vitro سه بُعدی ریز مهندسی شده جهت غربالگری پرمحتوای دارو برای بررسی اثرات درمانی و توکسیک، یک پتانسیل واقعی را در جهت کاهش وابستگی به مدل‌های جانوری در خود نهفته دارد که در نهایت جایگزین مطالعات حیوانات آزمایشگاهی خواهند شد.



شکل ۱۳) دانش و فناوری‌های وابسته به پزشکی جهت رشد پزشکی بازآفرینشی و خلق ارگان

مدل‌سازی بیماری و سلول درمانی با سلول‌های iPS نیز آینده‌ای بسیار درخشان دارند. زیرا کاربرد دانش سلول‌های بنیادی iPS برای مدل‌سازی بیماری که شرایط پاتولوژیک انسانی را شبیه‌سازی می‌نمایند، می‌توانند جایگزین کارآزمایی‌های وابسته به مدل‌های جانوری و لاین‌های سلولی شوند. هم اکنون امکان آفرینش iPSc از منابع سلولی مختص بیمار (مانند سلول‌های فیبروبلاست پوست، سلول‌های فولیکول، نمونه‌های خونی بیمار و حتی مقادیر کم سلول‌های اپیتلیال ادرار) وجود دارد. این iPScها مشابه سلول‌های بنیادی جنینی برای بازآفرینش بافت و حتی کل ارگانیسم هستند. بر اساس تکنیک‌های مدرن کنونی، رؤیای پزشکی فردگرایانه در سطح سلولی نیز به حقیقت پیوسته است زیرا می‌توان با این تکنیک‌ها و خلق iPSc فردگرایانه (Personalized iPSc)، شیوه‌ی تفکرمان را پیرامون توسعه‌ی درمان تغییر داد. بر پایه‌ی این فناوری، می‌توانیم گزینه‌های درمانی جدید را از نمونه‌هایی که از بیماران گرفته‌ایم، بدون محدودیت، مورد آزمون قرار دهیم. به زبان دیگر، می‌توان بافت‌های مورد نیاز مانند خون سازگارمند با بیمار، ماهیچه‌ها و نرون‌ها را بازآفرینش نمود.

از سوی دیگر، سلول‌های بنیادی پرتوانِ برداشت شده از بیمار، امکان دسترسی بی‌انتهایی را برای نمونه‌های تازه‌ی بیماری فراهم آورده و می‌توان به شیوه‌ی

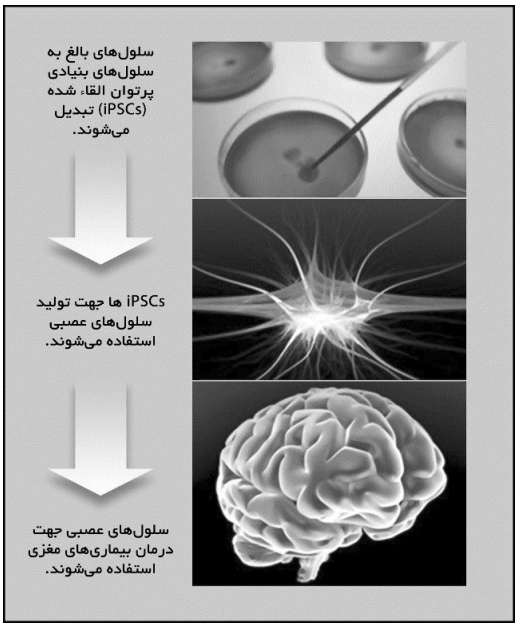
[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-01]

مدل‌سازی بیماری با کاربرد iPSc، درمان‌های نوین قابل اعتماد و نیز مطالعات پاتولوژیک را در سطح فردگرایانه به انجام رساند (۲۵).

برای نمونه می‌توان به مدل‌سازی بیماری با کاربرد iPSc در قالب پزشکی فردگرایانه، به مطالعات اخیر پیرامون درمان سندرم QT طولانی زودرس، اشاره کرد. امکان رهیافت فردگرایانه به این سندرم در پیش از کاربرد iPSc وجود نداشت (۲۶).

پزشکی بازآفرینشی[6]

پزشکی بازآفرینشی یک گستره‌ی میان رشته‌ای با رشد پرشتاب و رشد یابنده‌ی مطالعاتی است که پژوهش‌های سلول‌های بنیادی، مهندسی بافت، مواد زیستی، فرایندهای بهبودی زخم و دیگر درمان‌های بیولوژیک را شامل می‌شوند (۲۷). پتانسیل برنامه‌ریزی دوباره‌ی سلول‌های خود بیمار جهت درمان‌های بیولوژیک، ترمیم بافتی و بازآفرینی برای پزشکی بازآفرینشی، حیاتی هستند. اینگونه پیش بینی می‌شود که جهان پزشکی از ابرروند در حال تکامل "پزشکی بازآفرینشی" دچار انقلابی عظیم در عرصه‌های علوم و فناوری پزشکی و گستره‌های بالینی شود. برای مثال، سلول‌های بنیادی مزانشیمی می‌توانند به سوی سلول‌های استخوانی، چربی و غضروفی تمایز یابند. سلول‌های پوست را می‌توان با برنامه‌ریزی دوباره به سوی سلول‌های بنیادی پرتوان (iPSCs) القا نمود. در سطح مطبوعات پزشکی نیز شاهد انفجار مقالات وابسته به پزشکی بازآفرینشی هستیم و تنها در گستره‌ی سلول‌های بنیادی در گوگل اسکالر به بیش از دو میلیون مقاله بر می‌خوریم (۲۸).



شکل ۱۴) پزشکی بازآفرینشی (Regenerative Medicine)

پزشکی بازآفرینشی یک گستره‌ی هیجان‌انگیز در پزشکی ترجمانی[7] است و تلاش می‌کند که نتایج پژوهش‌های علوم پایه را در سطح بالینی گسترش دهد و در دامنه‌ی مراقبت‌های سلامت یک جا به جایی پارادایمی ایجاد کند. در حقیقت، در پزشکی بازآفرینشی در سطح برخورد رشته‌هایی همچون بیولوژی سلول‌های بنیادی، ایمونولوژی، مهندسی بافت، بیولوژی ملکولی، مواد زیستی، بیولوژی پیوند اعضاء و گستره‌ی بالینی، تلاش می‌نماید تا شیوه‌های درمانی نوین را خلق نماید.

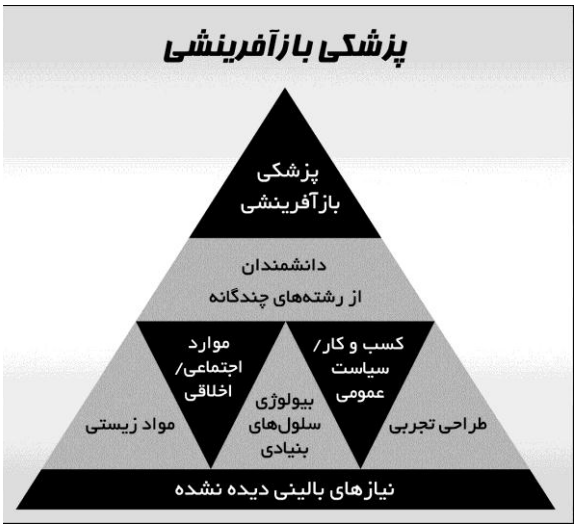
برای مثال، یک درمان بر پایه‌ی سلول‌های بنیادی می‌تواند به یک سکوی درمانی برای گستره‌ای از درمان بیماری‌ها توسعه یابد. اخیراً موفقیت‌هایی برای درمان زخم‌های پوستی، دیابت، بیماری‌های کبدی، ترمیم غضروف و استخوان به دست آمده است. هر چند که هم اکنون موفقیت این درمان‌ها به اثبات رسیده‌اند ولی هنوز نمی‌توانند به صورت کامل شرایط پاتولوژیک را واگردانده و یا تصحیح نمایند زیرا عمده‌ی فرایندهای

[6] Regenerative Medicine

[7] Translational

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-01]

بیماری‌های شایع تنها در نتیجه‌ی کمبود یک پروتئین واحد نیست بلکه فرایندهای بیماری‌ها برخاسته از تغییرات، در بر هم کنش‌های پیچیده‌ای از اجزاء متنوع سلولی نهفته می‌باشند.



شکل ۱۵) هرم پزشکی بازآفرینشی

در هر صورت، چالش پزشکی بازآفرینشی تنها ترکیب این رشته‌های متنوع پایه نیست بلکه تلاش می‌کند تا با خلق فلسفه و درک جدیدی از پزشکی، به بیماری‌ها بپردازد. زیرا درمان‌های پیشین بیشتر ساده بوده و از دکترین فلسفه‌ی پزشکی معاصر پیروی می‌کنند ولی در دکترین فلسفه‌ی آینده‌ی پزشکی، نگاه به بیماری‌ها و شیوه‌های درمانی آن‌ها (از دیدگاه مقیاس نانوفناورانه) بسیار پیچیده خواهند بود. هر چند که پزشکی بازآفرینشی درمان‌هایی را عرضه می‌دارد که در نگاه نخست به صورت مفهومی خود را ساده نشان می‌دهند، ولی پژوهشگران بارها و بارها، با تلاش برای درک و کنترل فرایندهای بیولوژیک و مواد زیستی که عملکرد آن‌ها در مقیاس نانو است، با پیچیدگی فزاینده و عوارضی غیر قابل پیش‌بینی رو به رو می‌شوند.

آینده‌ای را که می‌توان برای ابرروند پزشکی بازآفرینشی متصور شد شگفت‌انگیز است و می‌تواند نوید دهنده‌ی پیشگیری از نقایص مادرزادی، کنترل رشد غیر طبیعی بافت‌ها، کاهش سرعت تحلیل و پیر شدن بافت‌ها و تسهیل در ترمیم، باززایی و جایگزینی بافت‌های آسیب دیده باشند. همچنین می‌توان تولید آزمایشگاهی بافت‌ها و اندام‌های جایگزین را متصور شد.

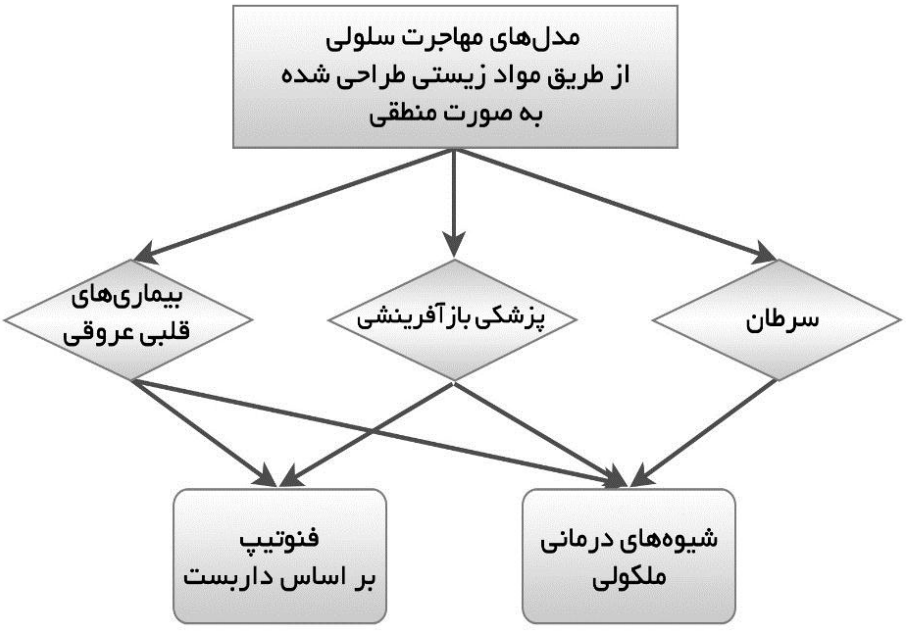
افزون‌بر این، کاربرد موفقیت‌آمیز الکترونیک زیستی (بیونیک) در پزشکی، با پیشرفت‌های گستره‌ی پزشکی بازآفرینشی پیوند خواهند یافت (۲۹). با بنیان علمی و استوار، پزشکی بازآفرینشی می‌تواند از دوران مشاهده‌ی فنومنولوژیک به سوی محصولات زنده و پایدار تجاری که در بهبودی جان میلیون‌ها انسان بیمار مؤثر خواهند بود میل نماید. امّا هرگز نباید فراموش کرد که در همین دوران کنونی مشاهده‌ی فنومنولوژیک است که دانش بیولوژی بازآفرینشی[8]، تلاش می‌کند از اینکه چگونه بعضی از ارگانیسم‌ها می‌توانند تمام اندام، چشم، آرواره‌ها، قلب و بخش‌هایی از مغز خود را کامل بازساخت نمایند را توصیف نماید. این مشاهدات می‌توانند راه را برای پزشکی بازآفرینشی هموار نمایند. همچنین مشاهدات و پژوهش‌ها در سطح بیولوژی بازآفرینشی در کرم‌های پهن پلانارین نیز بسیار هیجان انگیز هستند؛ زیرا این ارگانیسم‌های پیچیده دارای تقارن دو طرفه بوده، مغز واقعی دارند و می‌توانند هر بخش از بدن خود را باززایی نمایند (۳۰).

همگام با مشاهدات فنومنولوژیک بیولوژی بازآفرینشی، آنچه قلب تپنده‌ی پزشکی بازآفرینشی را به جنبش در آورده است پژوهش‌ها پیرامون سلول‌های بنیادی (چه سلول‌های بنیادی جنینی و چه بالغ) است. هر چند که سلول‌های بنیادی جنینی توانایی تمایز به هر تیپ سلول ویژه‌ای را دارند، امّا کاربرد آن‌ها در پژوهش‌های علمی، از دیدگاه اخلاقی مورد کنکاش قرار گرفته است؛ امّا

[8] Regenerative Biology

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-01]

مرزشکنی عمده که توسط دو تیم پژوهشی مستقل به انجام رسید این موضوع را تحت شعاع خود قرار داده است. در نوامبر ۲۰۰۷ میلادی، یک تیم ژاپنی تحت هدایت شینیایاماناکا و یک تیم آمریکایی با سرپرستی جیمز تامپسون، گزارش کردند که به‌صورت موفقیت‌آمیزی سلول‌های بنیادی شبه جنینی را از سلول‌های پوست انسان بالغ آفریده‌اند و آن را سلول‌های بنیادی پرتوان القاء شده (iPS) نامیدند. نتایج آن‌ها در مجلات سلول (Cell) و ساینس (به‌ترتیب) به چاپ رسید و دروازه‌ی انقلاب در پژوهش‌های پزشکی بازآفرینشی را گشایش نمودند. همانند درمان با سلول‌های بنیادی، مهندسی بافت و مواد زیستی نیز توجه فراوانی را به خود جلب نمودند. مهندسی بافت در سطح پایه، به داربست‌های بافتی سه بُعدی (مواد زیستی) با سلول‌هایی که می‌توانند ارگان فعال را بازآفرینش نمایند، نظر دارد. از این نظر، هدف مهندسی بافت، حل کمبود بحرانی ارگان است که آن را با خلق ارگان‌های زیست مصنوعی حیات‌پذیر، انجام می‌دهد.



شکل ۱۶) پیوستگی پزشکی بازآفرینشی با بیماری‌های قلبی – عروقی و سرطان‌ها

از سوی دیگر، یک سوم از شرکت‌های جهانی پزشکی بازآفرینی، تمرکز خود را بر توسعه‌ی مواد زیستی گذاشته‌اند. مواد زیستی، هر ماده‌ی طبیعی و یا مصنوعی است که با بافت زنده و یا مایعات بیولوژیک در سطح تماس قرار می‌گیرد. پلی‌مرها، فلزات (مانند تیتانیوم)، سرامیک‌ها و مواد کمپوزیت را می‌توان به صورت مواد "زیست سازگار" توسعه داد و هم اکنون در ایمپلنت‌های مفصلی و دندانی و در استنت‌های قلبی به کار می‌روند. این مواد زیستی را می‌توان به گونه‌ای تغییر داد که فعالیت بیولوژیک را نیز به خود پیوند دهند (به مثابه‌ی فاکتورهای رشد و سلول‌ها، تا پدیده‌ی بهبودی را تسریع کرده و به این شیوه خواهند توانست در پیوند اعضاء کمک نمایند).

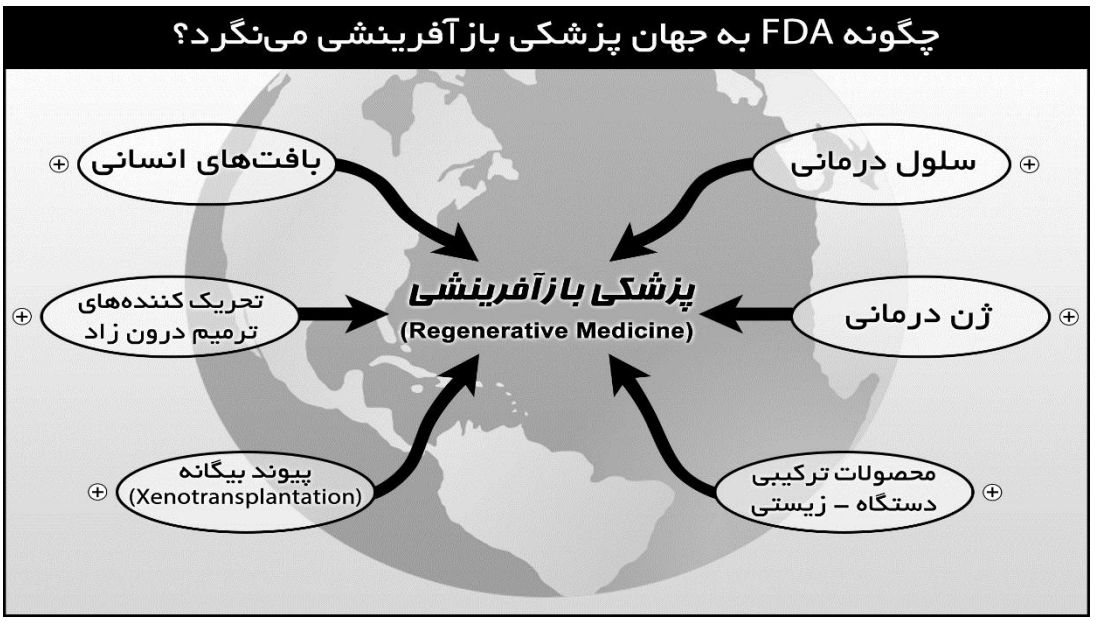
هم اکنون مهندسی بافت و مواد زیستی، گستره‌های زیر را پوشش می‌دهند:

– مهندسی بافت استخوان

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-01]

- مهندسی بافت قلب
- مهندسی بافت کبد
- مهندسی بافت قرنیه
- بهبودی زخم
-بافت مهندسی شده‌ی رگ‌های خونی
-توسعه‌ی داربست‌ها با مواد زیستی (۳۱)

برای نیل به کامیابی در گستره‌های داغ مهندسی بافت، مواد زیستی و سلول‌های بنیادی، به تشکیل تیم‌های میان رشته‌ای از تکنولوژیست‌های پزشکی و نیز دانش ژن درمانی، ایمونولوژی پیوند اعضاء و درک مفاهیم عمیق پاتوژنز بیماری‌ها نیاز است و برای گسترش و توسعه‌ی این دامنه‌ها، نیاز است که پیوند میمونی میان دانشگاه، صنعت و قانون‌گذاران ایجاد شود (۳۲).



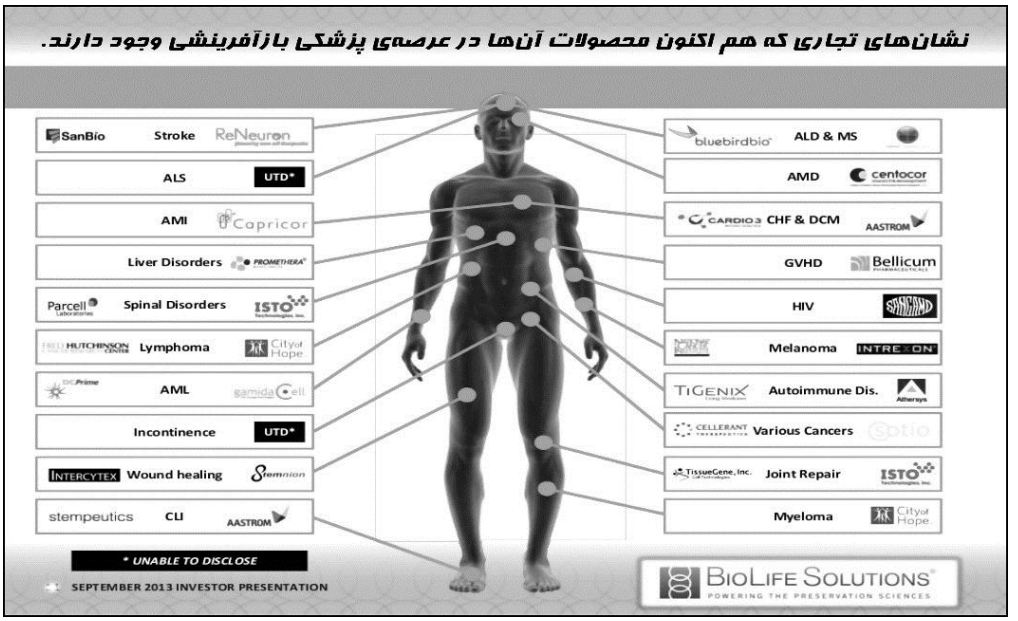
شکل ۱۷) نگرش FDA آمریکا به پزشکی بازآفرینشی

سرعت پرشتاب پزشکی بازآفرینشی چنان زیاد است که می‌توان مشاهده کرد که از زمان آغاز گستره‌ی سلول‌های بنیادی پرتوان که ۱۴ تا ۱۵ سال از تولد آن می‌گذرد، شاهد انجام کارآزمایی‌های بالینی هستیم و این در حالی است که معمولاً برای رسیدن یک محصول دارویی به بازار ۱۰ تا ۱۴ سال طول می‌کشد.

هم اکنون، محصولات پزشکی بازآفرینشی برای سرطان پروستات (Provenge)، درمان زخم‌های پای دیابتی (Appligraf)، جایگزینی غضروف زانو (Carticel)، تسریع بهبودی پس از جراحی لثه (Gintuit) و جایگزینی فیبروبلاست‌ها (Fibrocell)، در بازارهای آمریکا و دیگر کشورها یافت می‌شوند. پیش‌بینی می‌شود طی کمتر از پنج سال آینده، پزشکی بازآفرینشی در زمینه‌های زیر به موفقیت‌های مرزشکنی نائل شود:

۱/ آنچه به سلول‌های بنیادی مزانشیمی وابسته است.
۲/ سلول‌های عصبی
۳/ چشم
۴/ ساخت در سه بُعد (با کاربرد مخلوطی از سلول‌ها و ساختارها)

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-01]



شکل ۱۸) ورود فرآورده‌های پزشکی بازآفرینشی به بازار، روندی پرشتاب یافته است.

برای مثال، از سلول‌های مزانشیمی می‌توان جهت درمان‌های قلبی، رگ‌های خونی و بیماری کرون استفاده کرد. در زمینه‌ی سلول‌های عصبی نیز در آینده به تعداد فراوان به سلول‌های دستگاه مرکزی اعصاب دست خواهیم یافت تا بتوان در مورد پتانسیل‌های درمانی مربوطه اندیشه نمود.

در زمینه‌ی چشم نیز بسیار هیجان‌انگیز بوده و هم اکنون چندین شرکت در حال انجام کارآزمایی‌های بالینی هستند (مانند درمان دژنراسیون ماکولا).

امّا نقطه‌ی اوج این روند، ساخت بافت سه بُعدی است که کسی بتواند ساختارها را در ترکیب با سلول‌ها به گونه‌ای چیدمان کند که سلول‌ها بتوانند بافت سه بُعدی را برای ما بسازند.

امّا این‌ها طی کمتر از پنج سال آینده روی خواهند داد ولی آنچه که در مرکز توجه و علاقه‌ی پژوهشگران پزشکی بازآفرینشی برای آینده است درمان بیماری‌های قلبی و دیابت است ولی نیل به این چشم‌انداز به یک دهه تلاش نیاز دارد (۳۳).

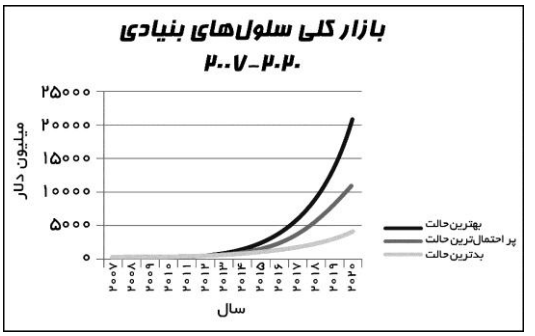
امّا هر آنچه که زمان در پیش رو داشته باشیم، مدل‌های بیماری بر پایه‌ی سلول‌های iPS، بی‌شک نوید دهنده‌ی شیوه‌های درمانی نوین در آینده می‌باشند (۳۲)؛ به گونه‌ای که وزن شواهد آنچنان است که پزشکی بازآفرینشی این پتانسیل را دارد که درمان‌های نوین، نوآورانه و حتی درمان کامل بیماری‌هایی را که با شیوه‌ها و رهیافت‌های سنتی راه حلی برای آن‌ها وجود نداشته است، بر جامعه‌ی بشری عرضه دارد (۳۴).



شکل ۱۹) گستره‌هایی از بیماری‌ها که پزشکی بازآفرینشی به آن‌ها نظر دارد.

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-01]

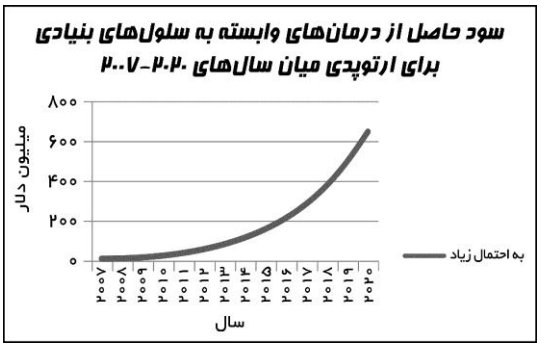
برای دست‌یابی به پیشرفت‌های برخاسته از ابرروند پزشکی بازآفرینشی، کشورهای پیشرفته در بالاترین مجامع تصمیم‌گیری و سیاست‌گذاری علوم و فناوری ملّی خود، به تدوین راهبردها و برنامه‌های پژوهشی اقدام نموده‌اند که می‌توان از کشور ایالات متحده‌ی آمریکا نام برد که در بنیاد ملّی سلامت خود مرکز پژوهش‌های پزشکی بازآفرینشی را از سال ۲۰۱۰ میلادی با هدف خدمت رسانی به عنوان منبع ملّی علوم سلول‌های بنیادی جهت توسعه‌ی کاربردهای نوین پزشکی و درمان‌های بر پایه‌ی سلول، راه‌اندازی کرده است. تمرکز این مرکز پژوهشی، سلول‌های بنیادی (iPScs) است. در آنتاریور کانادا نیز برای یافت فرصت‌های تجاری پزشکی بازآفرینشی و به دست آوردن جایگاه رهبری در تولید محصولات تجاری، بخش



شکل ۲۰) بازار فروش سلول‌های بنیادی در سناریوهای گوناگون

همه‌ی این تلاش‌ها که در سطح جهانی صورت می‌گیرد، نشان دهنده‌ی پتانسیل بسیار بالای پزشکی بازآفرینشی در صحنه‌ی تجاری‌سازی است. زیرا رشد سالانه‌ی بازار کلی سلول‌های بنیادی و درمان‌های وابسته، ابزارهای توسعه‌ی دارویی و بانک بند ناف، ۲۹ درصد بوده و این فناوری، بازار فروشی بیش از ۱۱ صنایع وابسته را فعال نموده‌اند (۳۱). آلمان نیز با ۲۷ هزار نیروی کار در بخش زیست‌فناوری و ۷۰۰ نهاد پژوهشی در این زمینه، تلاش می‌کند تا معروفیت جهانی به دست آورد (۲۲).

اخیراً، انگلستان نیز در سطح مجلس اعیان، کمیته‌ی علم و فناوری خود را جهت تدوین استراتژی این کشور در زمینه‌ی پزشکی سامان داده است (۳۴). در تدوین این استراتژی‌ها بر نظام نوآوری و ارزشی، توسعه‌ی محصول، سرمایه‌گذاری بر بخش پژوهش، چالش‌های کارآزمایی‌های بالینی، شناسایی بیماری‌های کلیدی که گستره‌ی آینده‌ی پزشکی بازآفرینشی خواهد بود، تشویق به پژوهش‌های میان رشته‌ای و نیز طراحی یک سیستم هشدار دهنده پیرامون توسعه‌های بین‌المللی در زمینه‌ی پزشکی بازآفرینشی، تأکید نموده‌اند (۳۴).



شکل ۲۱) سود حاصل از درمان‌های بر پایه‌ی سلول‌های بنیادی، روندی پرشتاب را از خود نشان می‌دهد.

میلیارد دلار را در سال ۲۰۲۰ میلادی به خود اختصاص خواهد داد (۳۱).

در چشم انداز نهایی طی بیست سال آینده، با حمایت و سرمایه گذاری ملّی در پزشکی بازآفرینشی، رؤیای "بافت‌ها در خدمت تقاضا" به عالم واقعیت خواهد پیوست.

References

1.Technology convergence. (accessed 13 August 2014 at http://www.haygroup.com/downloads/MicroSites/L2030/Hay_Group_Technology_ convergence_2014.pdf)

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-01]

2.Parsons L, Watson J, Connolly P, et al. Improving Human Health and Physical Capabilities. Converging Technologies for Improving Human Performance: Springer; 2003:179-273.
3.Doorn M. Converging Technologies. Study Centre for Technology Trends, STT 2006;71.
4.Roco MC, Bainbridge WS. Converging Technologies for Improving Human Performance: Integrating From the Nanoscale. JNR 2002; 4: 281-95.
5.Arenaza S. TECHNOLOGICAL CONVERGENCE. (accessed 13 August 2014 at http://www.itu.int/osg/spu/youngminds/2007/essays/ArenazaSonia.pdf)
6.Swierstra T, Boenink M, Walhout B, et al. Converging Technologies, Shifting Boundaries. Nanoethics 2009; 3: 213-6.
7.Sharp P, Cooney C, Kastner M, et al. The third revolution: the convergence of the life sciences, physical sciences, and engineering. Massachusetts Institute of Technology 2011.
8.Roco MC, Bainbridge WS.The new world of discovery, invention, and innovation: convergence of knowledge, technology, and society. JNR 2013; 15: 1-17.
9.Microprocessors configured more like brains than traditional chips could soon make computers far more astute about what's going on around them. (accessed 13 August 2014 at http://www.technologyreview.com/featuredstory/526506/neuromorphic-chips/)
10.The ability to create primates with intentional mutations could provide powerful new ways to study complex and genetically baffling brain disorders. (accessed 13 August 2014 at http://www.technologyreview.com/featuredstory/526511/genome-editing/)
11.A new map, a decade in the works, shows structures of the brain in far greater detail than ever before, providing neuroscientists with a guide to its immense complexity. (accessed 13 August 2014 at http://www.technologyreview.com/featuredstory/526501/ brain-mapping/)
12.Betty Y.S. Kim.Nanomedicine.2010 .N Engl J Med 2010; 363:2434-2443
13.Abeer A. Future Medicine: Nanomedicine.2012 (accessed 13 August 2014 at http://medind.nic.in/jav/t12/i3/javt12i3p187.pdf)
14.European Science Foundation nanomedicine report www.esf.org/publication/214/Nanomedicine.pdf
15.US NIH Nanomedicine road map http://nihroadmap.nih.gov/nanomedicine/
16.Sahoo SK. Applications of Nanomedicine. Asia Pac Biotech News 2005, 9: 1048-50.
17.Tumor on a chip microfluidic device measures in vivo nanoparticle behavior. (accessed 13 August 2014 at http://www.futuremedicine.com/doi/pdf/10.2217/nnm.13.211)
18.Roco MC. Nanotechnology: convergence with modern biology and medicine. Curr Opin Biotechnol. 2003;14: 337-46.
19.Jang SF, Liu WH, Song WS, et al. Nanomedicine-Based Neuroprotective Strategies in Patient Specific-iPSC and Personalized Medicine. Int J Mol Sci 2014; 15: 3904–3925.
20. Christoph S. Patient-specific Induced Pluripotent Stem Cells as a Platform for Disease Modeling, Drug Discovery and Precision Personalized Medicine. J Stem Cell Res Ther 2012; S10-010.
21.Carlijn Bouten. Tissue Models.pp 118-164 (accessed 13 August 2014 at http://stt.nl/wp/wp-content/uploads/2013/02/STT71-converging_technologies-publicatie-2006.pdf)
22.Regenerative Medicine in Germany.2010.pp 51 (accessed 13 August 2014 at http://www.biotechnologie.de/BIO/Redaktion/PDF/de/Broschueren/regmed-eng,property=pdf,bereich=bio,sprache=de,rwb=true.pdf)
23.Mathur A, Loskill P, Hong S, et al. Human induced pluripotent stem cell-based microphysiological tissue models of myocardium and liver for drug development. Stem Cell Res Ther 2013; S14.
24.Lee PJ, Hung PJ, Lee LP: An artificial liver sinusoid with a microfluidic endothelial-like barrier for primary hepatocyte culture.Biotechnol Bioeng 2007; 97: 1340-6.
25.Kim C. Disease modeling and cell based therapy with iPSC: future therapeutic option with fast and safe application. Blood Res. 2014;

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-01]

49: 7-14.
26.Terrenoire C, Wang K, Tung KW, et al. Induced pluripotent stem cells used to reveal drug actions in a long QT syndrome family with complex genetics. J Gen Physiol. 2013; 141: 61–72.
27.Polykandriotis E, Popescu LM, Horch RE. Regenerative medicine: then and now--an update of recent history into future possibilities. J Cell Mol Med 2010; 14: 2350-8.
28.Chen C, Hu Z, Liu S, et al. Emerging trends in regenerative medicine: a scientometric analysis in CiteSpace. Expert Opin Biol Ther. 2012; 12: 593-608.
29.Meijer G, van Blitterswijk C. Future Perspectives of Regenerative Medicine.pp 58-72 accessed 13 August 2014 at http://stt.nl/wp/wp-content/uploads /2013/02/STT71-converging_technologies-publicatie-2006.pdf)
30.Levin M. The wisdom of the body: future techniques and approaches to morphogenetic fields in regenerative medicine, developmental biology and cancer. Regen Med 2011; 6: 667-73.
31.Regenerative Medicine: Industry Briefing.2009.pp 3,6 (accessed 13 August 2014 at http://www.marsdd.com/wp-content/uploads/2011/02/MaRSReport-Regenerative-Medicine.pdf)
32.Andrades JA, Becerra J, Murioz-Chapuli R, et al. Stem cells therapy for regenerative medicine: Principles of present and future practice. J Biomed Sci Eng 2014; 7: 49-57.
33.Gorman C (2013) What's Next for Stem Cells and Regenerative Medicine? (accessed 13 August 2014 at http://www.scientificamerican.com/article/regenerative-medicine-whats-next-stem-cells/)
34.Regenerative medicine Report (accessed 13 August 2014 at http://www.publications.parliament.uk/pa/ld201314/ldselect/ldsctech/23/23.pdf)

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-01]

ISMJ 2015; 17(6): 1045-1067

Review Article

Converging technologies: shaping the future of 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 Center, Bushehr University of Medical Sceince, Bushehr, IRAN
[3] The Persian Gulf Nuclear Medicine Research Center, The Persian Gulf Biomedical Research Center, Bushehr University of Medical Sceince, Bushehr, IRAN

(Received 21 Sep, 2014 Accepted 17 Oct, 2014)

Abstract

The miniaturization and virtualization processes drive converging technologies from interactions between the NBIC (Nano, Bio, Info, and Cogno) technologies. The converging technologies stimulate innovation, promote research and development in different fields and produce revolutionary progresses in medicine. These technologies enable us to create contacts between brains and machines, the growth in molecular nanotechnology, the construction of respirocytes, chromallocytes, clottocytes, nanorobotic phagocytes, and nanobots. Nanobots would enter the nucleus of a cell and extract all of the genetic material and replace it with a synthetically produced copy of the original that has been manufactured in a laboratory to contain only non-defective base-pairs. It is predicted that "the regenerative medicine", as a megatrend, will have an enormous effect on medical technologies and clinical sciences. Regenerative medicine is an application field of converging technologies in translational medicine. It attempts to translate the results of tissue engineering to construct 3D tissues and organs. Regenerative medicine is also an exciting field for induced pluripotent stem cell (iPSC) and promises to bring about a paradigm shift to health care. Accumulating evidence indicates that converging technologies will offer great potentials for regenerative medicine to create innovative treatments for diseases that the traditional therapies have not been effective yet.

Key words: Converging Technologies, Biotechnology, Regenerative Medicine, induced Pluripotent Stem Cell Technology (iPSC)

*****Address for correspondence*: The Persian Gulf Marine Biotechnology Research Center, The Persian Gulf Biomedical Research Center, Bushehr University of Medical Sceince, Bushehr, IRAN. Email: inabipour@gmail.com

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-01]