

# آینده پزشکی و دیدهبانی فناوری



دکتر ایرج نبیا پور



آینده پزشکی و دیدهبانی فناوری

دکتر ایرج نبیا پور



## The Future of Medicine and Technology Observatory

Dr. Iraj Nabipour



منطقه ویژه علم و فناوری  
خلیج فارس



پارک علم و فناوری خلیج فارس



بنیاد ملی نخبگان  
بنیاد نخبگان استان بوشهر



دانشگاه علوم پزشکی  
و خدمات بهداشتی درمانی بوشهر



مرکز تحقیقات  
طب گرمسیری عمومی خلیج فارس  
مرکز تحقیقات زیست فناوری دریایی خلیج فارس



مرکز آموزش پژوهش‌های توسعه  
و آینده نگری استان بوشهر



بنیاد رشد و اندیشه سازندگی  
استان بوشهر



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

# آینده پزشکی و دیده‌بانی فناوری

دکتر ایرج نبی پور



منطقه ویژه علم و فناوری  
خلیج فارس



پارک علم و فناوری خلیج فارس



بنیاد ملی تحقیقات  
بنیاد تحقیقاتی استان بوشهر



دانشگاه علوم پزشکی  
و خدمات بهداشتی درمانی بوشهر



مرکز تحقیقات  
طب گرمسیری عفونی خلیج فارس



مرکز آموزشی پژوهشی های توسعه  
و آینده نگری استان بوشهر



بنیاد رشد و اندیشه سازدگی  
استان بوشهر

## به نام خداوند جان و خرد

|                     |   |
|---------------------|---|
| سرشناسه             | : نیی پور، ایرج، ۱۳۴۲ -   |
| عنوان و نام پدیدآور | : آینده پزشکی و دیده‌بانی فناوری/ ایرج نیی پور.                 |
| مشخصات نشر          | : بوشهر: دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی بوشهر، ۱۳۹۴. |
| مشخصات ظاهری        | : ۲۵۲ص: مصور.   |
| شابک                | : ۹۷۸-۶۰۰-۵۰۳۲-۵۶-۷   |
| وضعیت فهرست نویسی   | : فیپا  |
| یادداشت             | : کتابنامه.   |
| یادداشت             | : نمایه.  |
| موضوع               | : سیاست پزشکی -- ایران  |
| موضوع               | : سیاست پزشکی -- ایالات متحده                                   |
| موضوع               | : پزشکی -- آینده‌نگری   |
| موضوع               | : تکنولوژی پزشکی -- آینده‌نگری                                  |
| شناسه افزوده        | : دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی استان بوشهر         |
| رده بندی کنگره      | : ۱۳۹۴ ۲۵ الف/۹ RA۳۹۵   |
| رده بندی دیویی      | : ۳۶۲/۱   |
| شماره کتابشناسی ملی | : ۳۹۳۱۵۵۰   |

## آینده پزشکی و دیده‌بانی فناوری

دکتر ایرج نیی پور

چاپ اول: تابستان ۱۳۹۴

حروفچینی و خوانش اولیه: زویا تاجدینی

ویراستاری و صفحه آرایی: دارا جوکار

ناشر: انتشارات دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی بوشهر

چاپ: نزهت

شمارگان: ۱۰۰۰ جلد

قیمت: ریال



منطقه ویژه علم و فناوری  
خلیج فارس



پارک علم و فناوری خلیج فارس



بنیاد علمی بختگان  
بنیاد بختگان استان بوشهر



دانشگاه علوم پزشکی  
و خدمات بهداشتی درمانی بوشهر



مرکز تحقیقات  
طب - گرسسیری علوم خلیج فارس



مرکز آموزش پژوهش‌های توسعه  
و آینده‌نگری استان بوشهر



بنیاد رشد و اندیشه سازندگی  
استان بوشهر

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

تقدیم بہ استاد فریختہ

جناب آقای دکتر محمد مهدی اصفہانی

روسنگر آئندہ تمدن ایرانی - اسلامی



## پیشگفتار

با پایان یافتن انقلاب اطلاعات و گذار از دوران متاورس Metaverse، پارادایم نوینی را لمس خواهیم کرد که انسان‌ها بیش از حد ماشین خواهند شد و ماشین‌ها نیز بیش از حد انسان و این همان پارادایمی است که نام دوران سیمیوتیک Symbiotic را بر خود حمل می‌نماید و در همین زمان است که مرز جدایی میان انسان و ماشین، به دلیل یکپارچگی آن‌ها، به سختی می‌توان یافت کرد و با همین به هم پیوستگی انسان‌ها و ماشین‌ها است که آن‌ها خواهند توانست توان یکدیگر را افزایش دهند. در چنین پارادایمی 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 رو به رو نبوده‌اند. در چنین فضایی که پرتوهای آن در ۲۰۳۰ خواهد درخشید و در ۲۰۵۰ نیز جهان زیست بیولوژیک و فیزیکی ما را دگرگون خواهد کرد، با شکلی از پزشکی و طبابت رو به رو خواهیم شد که مفاهیم و رهیافت‌های کنونی در دانش و عملکرد طب، دیگر پاسخگوی آن نخواهد بود. این همه پیشرفت و تغییر بنیادین در چهارچوب بیولوژی و محیط پیرامونی، برخاسته از ابرروندهایی است که فناوری‌های کنونی را به سوی همگرایی سوق می‌دهند. به زبان دیگر، در پناه رهیافت‌های میان رشته‌ای که در فصل ۳ به آن می‌پردازیم، رشد و تکامل فناوری‌های نوینی را شاهد خواهیم بود که بیش از آن که خود باشند، فناوری دیگری هستند که فناوری‌های دیگر را در خود هضم و همگرا نموده‌اند (فصل ۲).

برای نیل به چنین دست‌آوردهایی، آینده پژوهی در توسعه علمی، جایگاه ویژه‌ای را به خود اختصاص داده است که در فصل ۷ تلاش می‌شود با مفاهیم سناریونویسی برای آینده‌شنایی پیدا کنیم. بر پایه ابروندهای حاکم بر فضای بیرونی است که ما می‌توانیم سیمای سلامت و دانش پزشکی را در فراتر از یک دهه ترسیم کنیم (فصل ۴) و به توصیف پزشکی آینده که بیش از حدّ بر پایه سیستمی خواهد بود بپردازیم (فصل ۱).

همچنین برای نگارش این ابروندها و ترسیم آینده، بایستی به رصد فناوری‌ها نیز اهتمام ورزیم. بر پایه همین دیده‌بانی فناوری‌ها است که می‌توانیم رشد و نموی دانش پایه و کاربردی را در علوم پزشکی پیش‌بینی و به زبان دیگر به نگاشت آینده بپردازیم (فصول ۱ و ۴). کشورهای جهان شمال، به ویژه آمریکا، در پروژه‌های بلند پروازانه و بی‌نهایت پیچیده خود تلاش می‌نمایند با همین ابزارها به سیطره مادام خود بر جهان جنوب ادامه داده و حلقه پسا استعمار نوین را مستحکم نگه دارند؛ لذا در فصل ۹ به تحلیل چنین رهیافتی از دیدگاه اقتصاد دانایی محور، به عنوان ابزار سلطه، خواهیم نگرست. بی شک هم‌اکنون تنها یک مسیر فراروی ما است و آن چیزی جز پرداختن به دانش و فناوری در کریدورهای علم و فناوری نیست (فصل ۸).

هر چند این نوشتار هرگز انسجام یک کتاب جامع پیرامون موضوعات مورد بحث را ندارد و بیشتر از مجموعه مقالاتی است که این حقیر به پیشنهاد و راهنمایی اساتید عزیزم جناب آقای دکتر فریدون عزیزی، جناب آقای دکتر باقر لاریجانی و جناب آقای دکتر مصطفی قانع به رشته تحریر در آورده‌ام، اما علاقمندان و پژوهندگان محترم می‌توانند جهت دریافت متن کامل و PDF این موضوعات که به صورت کتب جداگانه به چاپ رسیده‌اند، به سایت دانشگاه علوم پزشکی بوشهر مراجعه فرمایند.

در اینجا سزاوار است از تلاش‌های مجاهدانه جناب آقای دکتر سید علیرضا مرندی، رئیس محترم فرهنگستان علوم پزشکی جمهوری اسلامی ایران و همکاران این حقیر به ویژه سرکار خانم دکتر زهره الهیان در گروه آینده نگاری، نظریه پردازی و رصد کلان سلامت در فرهنگستان علوم پزشکی جمهوری اسلامی ایران، که از اندیشه‌های برتر آنان خوشه چینی



نموده‌ام، صمیمانه سپاسگزاری نمایم. از جناب آقای دارا جوکار که در بازآفرینی تصاویر و ویرایش متن از هیچ کوششی فروگذاری ننموده‌اند و نیز از سرکار خانم فاطمه مرزوقی و جناب آقای حسین آذری که شکیبانه حروفچینی‌های متوالی متن را پذیرفتند و همچنین از جناب آقای دکتر محمد جواد حائری که در تنظیم منابع مرا یاری نمودند نیز تشکر می‌نمایم.

هر چند که در نوشتار کنونی، تلاش گردیده که از بهترین و معتبرترین منابع بهره‌گیری شود و تصاویر گوناگون از منابع متعدد برای گویایی متن برچیده شوند، اما بی‌شک بسیار نقص آلود و پر عیب است. امید است اندیشه ورزان و جستجوگران عرصه علم و فناوری، نه تنها این حقیر را از لغزش‌های روی داده آگاه نمایند بلکه خود با آفرینش کتب و مقالات عالمانه، جامعه پزشکی رو به رشد پرشتاب ایران را غنا بخشند.

### دکتر ایرج نبی پور

عضو گروه آینده نگاری، نظریه پردازی و رصد کلان سلامت

فرهنگستان علوم پزشکی جمهوری اسلامی ایران



## فهرست مندرجات

### فصل اول: زیرساخت‌های پزشکی سیستمی در نقشه جامع علمی کشور در گستره سلامت .... ۱

- مقدمه ..... ۳
- نقشه علمی آمریکا در گستره سلامت ..... ۹
- تحلیل نقشه علمی آمریکا ..... ۱۱
- الف/ زیرساخت‌هایی برای فناوری‌های نوپدید در گستره علوم زیست - پزشکی ..... ۱۲
- ۱/ پروژه بیان ژنوتیپ - بافت (GTEx) ..... ۱۲
- ۲/ رشد فناوری‌های برتر جهت شناخت اجزاء ساختمانی، مسیرهای بیولوژیک و شبکه‌ها ..... ۱۲
- ۳/ توسعه فناوری‌های نوین به دام اندازی پروتئین ..... ۱۳
- ۴/ کتابخانه‌های ملکولی و تصویربرداری ملکولی ..... ۱۴
- ۵/ کتابخانه امضاءهای سلولی بر پایه شبکه یک پارچه (LINCS) ..... ۱۴
- ۶/ آنالیز تک سلول ..... ۱۵
- ب/ متدهای محاسباتی و ریاضیاتی نوین و بهبود زیرساخت فناوری اطلاعات ..... ۱۶
- ۱/ بیوانفورماتیک و بیولوژی محاسبه گرایانه ..... ۱۶
- ۲/ تصویرسازی از ژنوم با توان دارویی ..... ۱۶
- ۳/ سیستم اطلاعاتی اندازه‌گیری پیامدهای گزارش شده توسط بیماران (PROMIS) ..... ۱۷
- ۴/ شبکه‌های پژوهش‌های بالینی و نکتار ..... ۱۷
- ۵/ تبدیل داده‌های بزرگ به دانش (BD2K) ..... ۱۸
- زیرساخت‌های نقشه علمی ایران برای پزشکی آینده (پزشکی سیستمی) ..... ۱۸
- الف/ فرصت‌های نقشه علمی کشور در گستره سلامت برای توسعه پزشکی سیستمی ..... ۱۹
- ۱/ توجه به فناوری اطلاعات ..... ۱۹
- ۲/ شبکه سازی ..... ۲۰
- ۳/ رهیافت‌های میان رشته‌ای ..... ۲۰

|           |  |
|-----------|--|
| ۲۰        | نوآوری و خطرپذیری  |
| ۲۱        | نگاه هولستیک و جامع‌نگر به سلامت                                     |
| ۲۱        | ب/ تنگناهای توسعه پزشکی سیستمی در نقشه علمی ایران در گستره سلامت     |
| ۲۶        | منابع  |
| <b>۳۱</b> | <b>فصل دوم: فناوری‌های همگرا: شکل دهنده آینده پزشکی</b>              |
| ۳۳        | مقدمه  |
| ۳۷        | انقلاب سوم: همگرایی فناوری   |
| ۴۱        | آشنایی با مفهوم فناوری‌های همگرا در جدیدترین پروژه‌های MIT           |
| ۴۱        | الف) چیپس با نمای عصبی   |
| ۴۱        | ب) ویرایش ژنوم   |
| ۴۱        | ج) نقشه‌برداری مغز   |
| ۴۱        | پزشکی نانو و نانو زیست‌فناوری  |
| ۴۸        | مدل‌های بافتی  |
| ۵۴        | پزشکی بازآفرینی  |
| ۶۴        | منابع  |
| <b>۶۹</b> | <b>فصل سوم: رهیافت میان رشته‌ای در پزشکی</b>                         |
| ۷۱        | مقدمه  |
| ۷۴        | الف/ تفکر سیستمی   |
| ۷۸        | ب/ درهم‌تنیدگی علوم رفتاری و اجتماعی در پژوهش‌های سلامت              |
| ۸۲        | سیاست‌های راهبردی برای رهیافت میان رشته‌ای در بنیاد ملی سلامت آمریکا |
| ۸۵        | چهار گام برنامه پژوهشی بنیاد ملی سلامت آمریکا                        |
| ۸۵        | الف/ کنسرسیوم‌های پژوهش میان رشته‌ای                                 |
| ۸۶        | ۱/ کنسرسیوم بر پایه سیستمی جهت طراحی و مهندسی عضو (sysCODE)          |
| ۸۸        | ۲/ کشف دارو بر پایه ژنومیک انستیتو براد (Broad)                      |
| ۸۹        | ۳/ دانش سالمندی (Geroscience)  |
| ۹۰        | ۴/ کنسرسیوم مهندسی ژنوم شمال غربی                                    |
| ۹۱        | ۵/ کنسرسیوم سرطان - باروری (Oncofertility) نگهداشت باروری زنان       |
| ۹۲        | ۶/ کنسرسیوم فنومیکس (Phenomics) عصب - روانپزشکی                      |

|            |   |
|------------|---|
| ۹۳         | ۷/ انستیتو پژوهشی عصب - درمان‌شناسی   |
| ۹۵         | ۸/ کارگروه پژوهش‌های چاقی در جنوب‌غربی  |
| ۹۷         | ۹/ کنسرسیوم پژوهشی میان رشته‌ای پیرامون استرس، خود‌کنترلی و اعتیاد                                  |
| ۹۷         | ب/ پروژه‌های پیش‌آهنگ تربیتی پژوهش میان رشته‌ای   |
| ۹۸         | ج/ نوآوری در فناوری و روش‌های میان رشته‌ای  |
| ۱۰۰        | د/ پژوهشگر اصلی چندتایی   |
| ۱۰۱        | منابع   |
| <b>۱۰۳</b> | <b>فصل چهارم: تحلیل ابروند سیاست‌های کلان سلامت جمهوری اسلامی ایران</b>                             |
| ۱۰۵        | مقدمه   |
|            | ابروند اول: بیمه سلامت همگانی و چرخشی از پوشش بیمه‌ای بر پایه کارفرما به سوی پوشش بیمه‌ای دولت محور |
| ۱۰۷        |   |
| ۱۰۹        | ابروند دوم: مراقبت‌های سلامت فرامکان (پزشکی از راه دور، سلامت از راه دور، سلامت همراه)              |
| ۱۱۲        | ابروند سوم: تغییر پارادایم از حجم به ارزش در ارائه خدمات سلامت                                      |
| ۱۱۵        | ابروند چهارم: خلق داده‌های بزرگ و تبدیل داده‌های بزرگ به دانش سلامت (BD2K)                          |
| ۱۱۷        | ابروند پنجم: جهانی‌سازی در خدمات سلامت و شکل‌گیری توریسیم پزشکی                                     |
| ۱۱۹        | ابروند ششم: سالمندان و کشش بر نظام سلامت  |
| ۱۲۱        | ابروند هفتم: تحول در نظام آموزش پزشکی   |
| ۱۲۴        | ابروند هشتم: مردم شرکاء ارائه خدمات سلامت خواهند بود؛ شکل‌گیری پزشکی مشارکتی                        |
| ۱۲۶        | ابروند نهم: گذار به ابرنظام‌های سلامت   |
| ۱۲۹        | ابروند دهم: پزشکی P4 (پیشگویی‌کننده، پیشگیری‌کننده، فردگرایانه و مشارکتی)                           |
| ۱۳۳        | منابع   |
| <b>۱۴۱</b> | <b>فصل پنجم: آینده چاپ سه بعدی در علوم زیست پزشکی</b>   |
| ۱۴۳        | مقدمه   |
| ۱۴۵        | کاربردهای پزشکی چاپ سه بعدی   |
| ۱۴۵        | الف/ کاربرد چاپ سه بعدی در ساخت بافت و عضو  |
| ۱۴۷        | ب/ ایمپلنت‌ها و پروتزهای سفارشی   |
| ۱۴۹        | ج/ مدل‌های آناتومیکی برای آزمون اعمال جراحی   |
| ۱۵۱        | د/ داروسازی و پزشکی فردگرایانه  |

نتیجه‌گیری..... ۱۵۲

منابع..... ۱۵۲

## فصل ششم: رصد برنامه تحقیقاتی پیش‌آهنگ مغز (BRAIN) بنیاد ملی سلامت آمریکا..... ۱۵۵

مقدمه..... ۱۵۷

رهیافت مطالعاتی و تحقیقاتی برنامه پیش‌آهنگ مغز..... ۱۵۹

گستره‌های پراولویت پژوهشی برنامه پیش‌آهنگ مغز..... ۱۶۲

الف/ نقشه‌برداری ساختار و اجزاء مسیرهای عصبی..... ۱۶۲

ب/ ردیابی مسیرهای آناتومیک عصبی در مقیاس‌های گوناگون: ترسیم نقشه ساختاری..... ۱۶۳

ج/ دینامیک نرونی: ثبت فعالیت نرونی در گستره زمان و مکان..... ۱۶۳

هـ/ گستره‌های پژوهشی برای پیوند فعالیت مغز با رفتار و ابزارهایی که دینامیک مسیرهای

عصبی را تغییر می‌دهند..... ۱۶۴

و/ شناخت اصول بنیادین: شیوه‌های ترکیب تئوری، مدل‌سازی، آمار و تجربه (چالش

داده‌های بزرگ)..... ۱۶۵

ی/ نیاز به پیشرفت فناوری‌های عصبی (Neurotechnology)..... ۱۶۷

هدف نهایی برنامه پیش‌آهنگ مغز..... ۱۶۹

پیامدهای برنامه پیش‌آهنگ مغز..... ۱۷۰

تحریک کننده‌های ژرف - مغزی (DEEP-BRAIN STIMULATORS)..... ۱۷۱

نتیجه‌گیری..... ۱۷۲

منابع..... ۱۷۴

## فصل هفتم: روش‌شناسی سناریونویسی برای آینده‌نگاری در علوم زیست پزشکی..... ۱۷۷

مقدمه..... ۱۷۹

گام اول: موردکانونی (مورد تصمیم) Focal Issue..... ۱۸۱

گام دوم: عوامل کلیدی Key Factors..... ۱۸۱

گام سوم: نیروهای بیرونی External Forces..... ۱۸۲

گام چهارم: عدم قطعیت‌های بحرانی Critical Uncertainties..... ۱۸۳

گام پنجم: منطق سناریو Scenario Logics..... ۱۸۴

گام ششم: سناریوها Scenarios..... ۱۸۵

گام هفتم: دلالت‌ها و گزینه‌ها Implications and options..... ۱۸۸

|   |       |  |
|---|-------|--|
| ۱۸۹   | ..... | گام هشتم: نشانگرهای نخستین Early indicators  |
| ۱۹۰   | ..... | از سناریو به استراتژی  |
| ۱۹۰   | ..... | منابع  |
| <b>فصل هشتم: نقش دانشگاه‌های خلاق آینده در ماریج سه گانهٔ کریدورهای علم و فناوری ... ۱۹۳</b>  |       |  |
| ۱۹۵   | ..... | مقدمه  |
| ۱۹۷   | ..... | کریدورهای علم و فناوری   |
| ۲۰۲   | ..... | گفتمان دانشگاه با شهر دانایی   |
| ۲۰۴   | ..... | مدل اول: دیدگاه وسواس گرایانه  |
| ۲۰۵   | ..... | مدل دوم: دیدگاه اجتماعی  |
| ۲۰۵   | ..... | مدل سوم: دیدگاه خلاقانه  |
| ۲۰۵   | ..... | مدل چهارم: دیدگاه میانه روانه  |
| ۲۰۹   | ..... | دانشگاه‌ها در گفتمان با کریدورهای علم و فناوری   |
|   |       | دانشگاه‌های خلاق علوم پزشکی در گفتمان با مناطق ویژه علم و فناوری: مطالعه موردی دانشگاه |
| ۲۱۵   | ..... | علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی بوشهر  |
| ۲۲۳   | ..... | منابع  |
| <b>فصل نهم: تحلیل نظری نقشهٔ علمی بنیاد ملی سلامت آمریکا از منظر اقتصاد دانایی محور.. ۲۲۷</b> |       |  |
| ۲۲۹   | ..... | مقدمه  |
| ۲۳۴   | ..... | ذخیره سازی / دست‌یابی دانایی   |
| ۲۳۷   | ..... | اشتراک دانایی  |
| ۲۳۷   | ..... | به کار گیری دانایی   |
| ۲۴۰   | ..... | جامعهٔ شبکه‌ای و شبکه سازی   |
| ۲۴۲   | ..... | نوآوری و خطر پذیری   |
| ۲۴۴   | ..... | سازمان یادگیرنده   |
| ۲۴۸   | ..... | سازمان هوشمند و شکاف در دانایی   |
| ۲۵۱   | ..... | منابع  |
| ۲۵۷   | ..... | نمایه  |





## فصل اول

### زیرساخت‌های پزشکی سیستمی

### در نقشه جامع علمی کشور در گستره سلامت



## مقدمه

هم اکنون پزشکی در گذار انقلابی است که ماهیت و مراقبت‌های سلامت را از حالت واکنش به بیماری‌ها، به سوی پیشگویی و پیشگیری آن‌ها سوق خواهد داد. واکنشی به معنای آن است که هنگامی که بیماری پدیدار می‌شود، دانش پزشکی به کنش برانگیخته می‌شود. اما پیشرفت‌های فناوری (مانند فناوری‌های اومیکس)، مباحث تئوریک (مفاهیم شبکه‌ها و سیستم‌های پیچیده) و نیز مفاهیم (بیولوژی سیستمی) که حداقل طی دهه گذشته روی داده‌اند، موجب انتقال پزشکی به سوی "پزشکی سیستمی" شده‌اند که هسته مرکزی آن سلامت است نه بیماری و به زبان دیگر "نگهداشت سلامت" و نه "مبارزه با بیماری" (۱).

فناوری‌های با توان عملیاتی بالا جهت توالی‌یابی DNA و آنالیز ترانس کریپتوم‌ها، پروتئوم‌ها و متابولوم‌ها، بنیانی را برای آشکارسازی ساختار، تنوع و عملکرد ژنوم انسانی و ارتباط آن‌ها با سلامت و بیماری فراهم آورده‌اند. کارایی بالای توالی‌یابی DNA، امکان آنالیز مقادیر عظیمی از ژنوم‌ها و ترانس کریپتوم‌های فرد را فراهم آورده و ترسیم متابولوم‌ها و پروتئوم‌های مرجع، به صورت کامل با به کار گیری شیوه‌های آنالیتیک قدرتمند بر اساس کروماتوگرافی، اسپکترومتری جرمی و NMR امکان‌پذیر شده‌اند. از سوی دیگر، ابزارهای محاسباتی و ریاضیاتی و توسعه رهیافت‌های سیستمی (جهت آشکارسازی شبکه‌های تنظیمی و عملکردی رفتار سیستم‌های بیولوژیک پیچیده) فراهم شده‌اند.

افزون بر این، به توسعه مفهومی و روش‌شناسی این ابزارها برای یک‌پارچه‌سازی گونه‌های داده‌های متنوع در سطوح چندگانه سازمان و مقطع‌های زمانی (که از ویژگی‌های رشد و نمو انسان، فیزیولوژی و بیماری است) نیز نیاز است (۲). مجموعه این تغییرات و روندها در توسعه علم و فناوری در گستره پزشکی موجب شده‌اند که "دوران پسازنومیک پزشکی" که بر اساس پیشرفت‌های اخیر در فناوری‌های محاسباتی و تجربی با توان عملیاتی

بالا، رشد یافته بود در برگرفتن زمینه‌ای از بیولوژی سیستمی، به سوی پزشکی سیستمی که (سیمایی جامع‌تر دارد)، میل کند (۵-۳).

از این رو پزشکی آینده "پزشکی سیستمی" خواهد بود که می‌تواند بر پیچیدگی‌های بیماری‌ها چیرگی یافته و با آنالیز و هدف‌گیری شبکه‌های آشوب زده با بیماری‌های داروهای نوین را نوید دهد (۶ و ۷).

بر اساس تئوری مفهومی پزشکی سیستمی، بیماری برخاسته از پیامد "شبکه‌های آشوب زده با بیماری" در ارگان دچار بیماری است که از یک یا تعدادی شبکه‌های آشوب زده با بیماری به بسیاری دیگر (با پیشرفت بیماری) سرایت می‌کند. این آشوب‌های بیماری اولیه ممکن است ژنتیکی (مانند جهش‌ها) و یا محیطی (مانند ارگان‌های عفونی) باشند. این آشوب اطلاعاتی را که در این شبکه‌ها به صورت دینامیک بیان می‌شوند تغییر داده و این تغییر در جریان دینامیک اطلاعات می‌تواند پاتوفیزیولوژی بیماری را توصیف نموده و رهیافت‌های نوینی را در تشخیص و درمان ارائه دهد (۸).

در این چشم‌انداز به بیماری، مطالعات پاتوژنز بیماری که در سطح شبکه از طریق رهیافت سیستمی انجام می‌پذیرند، می‌توانند راهبردهای بهتری را جهت تشخیص و درمان، از طریق هدف قرار دادن این "شبکه‌های آشوب زده با بیماری" عرضه نمایند. بر پایه همین چشم‌انداز است که می‌توان پنج اصل بنیادین را در پزشکی آینده متصور شد:

۱/ نگرستن به بیولوژی و در نتیجه پزشکی به صورت دانش اطلاعات که این دو دانش می‌توانند به عنوان کلید آشکارسازی پیچیدگی نقش ایفا نمایند.

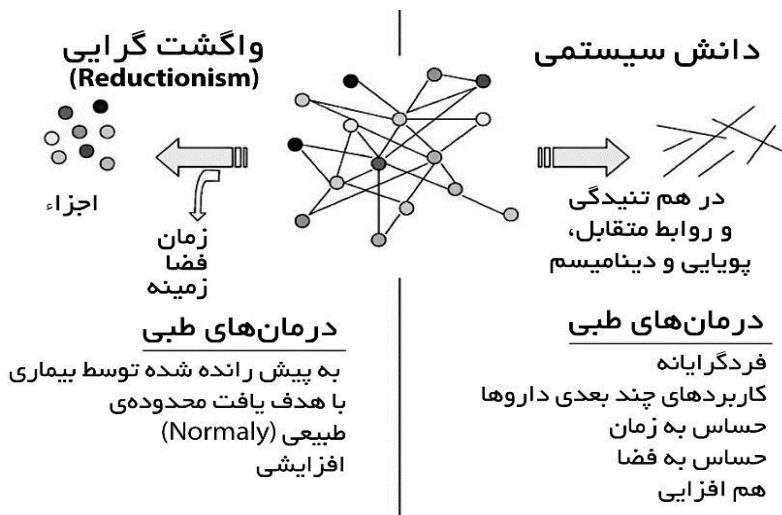
۲/ زیرساخت‌های بیولوژی سیستمی و راهبرد آن یعنی "سه گانه مقدس بیولوژی" (کاربرد بیولوژی پیش‌ران فناوری و فناوری پیش‌ران توسعه محاسبات)، فرهنگ میان رشته‌ای، دموکراتیزه کردن تولید داده‌ها و ابزارهای آنالیز داده‌ها را مورد حمایت قرار می‌دهند.

۳/ رهیافت‌های تجربی سیستمی، جامع‌نگر و هولستیک، بینش‌های ژرفی را نسبت به مکانیسم‌های بیماری‌ها و رهیافت‌های نوینی را به سوی تشخیص و درمان آن‌ها از طریق آنالیز دینامیسم فرایندهای بیماری‌ها امکان‌پذیر می‌نمایند.

۴/ فناوری‌های نوپدید، امکان دستیابی به داده‌های با مقیاس عظیم را فراهم آورده و اجازه کشف ابعاد جدید فضای داده‌ای بیمار را خواهند داد.

۵/ ابزارهای آنالیز کننده دگرگون‌ساز، امکان آشکار نمودن میلیاردها داده نقطه‌ای را برای هر فرد فراهم خواهد کرد و به ترسیم منظرهای تندرستی و بیماری، به شکلی با جزئیات فرادقیق خواهند پرداخت (۹).

با کاربرد این پنج اصل، پزشکی سیستمی می‌تواند به شبکه‌های بیمار شده و آشوب‌زده، با بزرگ‌نمایی و آشکارسازی در حد مقیاس ملکولی بپردازد. بر اساس این تفکر سیستمی و نگرستن به شبکه‌های بیماری است که می‌توان به این درک رسید که پاره‌ای از رویدادهای بیماری‌ها را می‌توان در پیش از تظاهر بیماری، با تشخیص زودرس شناسایی نموده و با چنگ‌اندازی بر نقاط گره‌ای شبکه‌های آشوب زده با بیماری، به شناخت تشخیصی و اقدامات درمانی پرداخت.



شکل ۱-۱: مقایسه درمان‌های طبی در دو تغییر پارادایمی واگشت گرایی و دانش سیستمی

در پزشکی آینده، ارگان‌های دچار بیماری، بافت‌ها و خون بیمار، نمونه‌هایی عالی برای ارزیابی سیستمیک شرایط بیمار، در زمان و فضاهای گوناگون خواهند بود. توالی‌یابی ژنوم و ترانس کریپتوم، پروتئومیک هدفمند از طریق اسپکترومتری جرمی، چیپس‌های پروتئینی، آنالیز تک سلولی و سیستم‌های شناسایی اسید نوکلئوئیک هدفمند از ابزارهایی هستند که پزشکی سیستمی با آن‌ها در داده‌های بیمار به جستجو می‌پردازد. چنین است که احتمالاً در ۱۰ سال آینده، هر فرد با ابری مجازی از میلیاردها داده نقطه‌ای احاطه خواهد شد. چالش کلیدی، یک‌پارچه‌سازی این تپ داده‌های متنوع، یافت همبستگی آن‌ها با فنوتیپ بالینی خاص و تدوین پانل‌های مارکرهای زیستی معنادار جهت هدایت کارهای بالینی خواهد بود (۹). از این رو پزشکی سیستمی، راهبردهای کلیدی و فناوری‌های منحصر به خود را جهت آشکارسازی پیچیدگی‌های بیماری‌ها دارا است.

با این منظر هرگز نباید پزشکی سیستمی آینده را "پزشکی ژنومیک" نامید. زیرا پزشکی ژنومیک تنها یک منظر از ماهیت پزشکی سیستمی است که به اطلاعات نهفته در اسیدهای نوکلئوئیک می‌پردازد. در حالی که پزشکی سیستمی یک دیدگاه جامع و هولستیک است که از تمام گونه‌های اطلاعات بیولوژیک استفاده می‌کند (مانند DNA، RNA، پروتئین‌ها، متابولیت‌ها، ملکول‌های کوچک، برهم کنش‌ها، سلول‌ها، ارگان‌ها، افراد، شبکه‌های اجتماعی و پیام‌های زیست محیطی بیرونی) و آن‌ها را به گونه‌ای یک‌پارچه می‌سازد که به مدل‌های کنش‌پذیر و پیشگویی کننده برای سلامت و بیماری تبدیل می‌کند (۱۰). بنابراین، مدل‌سازی بیماری به صورت یک‌پارچه، یک بخش تفکیک ناپذیر از پزشکی سیستمی خواهد بود (۱۱). در هر صورت هم‌گرایی رهیافت‌های سیستمی به بیماری‌ها فناوری‌های برتر، تصویرنگاری و اندازه‌گیری‌های نوین و ابزارهای محاسباتی و ریاضیاتی جدید، موجب تولد پزشکی سیستمی آینده خواهد شد که بیش از آن که منتظر شود که بیماری بر فرد چیره شود تا واکنش نشان دهد، طی ۱۰ سال آینده مدلی ارائه خواهد داد که پزشکی ماهیت فردگرایانه، پیشگویی کننده، پیشگیرانه و مشارکت جویانه خواهد داشت که نه تنها "هزینه - اثر بخش‌تر" خواهد بود بلکه به صورت فزاینده‌ای نیز بر تندرستی تمرکز خواهد کرد.

این مدل مفهومی ارائه شده از پزشکی سیستمی که P4 نامیده می‌شود توسط لروی‌ای. هود و دیوید جی. گالاس ارائه شده است (۱۰).

بر اساس تئوری پزشکی P4، مطالعه پیچیدگی‌های بیولوژیک بر سه فرض بنیادین استوار است:

۱/ دو گونه اطلاعات بیولوژیک موجود است؛ اطلاعات ژنومی دیجیتالی و اطلاعات محیطی در بیرون از ژنوم که اطلاعات دیجیتالی را تعدیل می‌نماید.

۲/ اطلاعات بیولوژیک برداشت، فرآوری و یک‌پارچه‌سازی گردیده و توسط شبکه‌های بیولوژیک (RNA، پروتئین‌ها، بخش‌های کنترلی ژن‌ها و ملکول‌های کوچک) به سیستم‌های ملکولی که فعالیت حیاتی را به انجام می‌رسانند انتقال می‌یابند.

۳/ اطلاعات بیولوژیک در یک سلسله مراتب چند مقیاسی شامل DNA، RNA، پروتئین‌ها، برهم کنش‌ها، شبکه‌های بیولوژیک، بافت‌ها، ارگان‌ها، افراد و در نهایت اکولوژی‌ها، کدگذاری می‌شوند.

باید در نظر گرفت که محیط زیست بر هر سطح از این سلسله مراتب نیز اثر گذاشته و دریافت اطلاعات دیجیتالی را از ژنوم تعدیل می‌نماید.

بر اساس تئوری پزشکی P4، در طی ۵ تا ۲۰ سال آینده پیشرفت‌های فناورانه و محاسباتی، امکان تجزیه و تحلیل پیچیدگی‌ها برای کاربردهای بالینی و ارائه مراقبت‌های سلامت را فراهم خواهد آورد. از این رو پزشکی آینده فردگرا است؛ یعنی اساس آن بر اطلاعات ژنتیکی هر فرد استوار خواهد بود، پیشگویی کننده است زیرا اطلاعات فردی خواهند توانست خطر بعضی از بیماری‌ها را در هر فرد تعیین کند؛ پیشگیرانه خواهد بود زیرا تخمین خطر، امکان اقدامات پروفیلاکتیک (مانند تغییر شیوه زندگی و یا اقدامات درمانی) جهت کاستن خطر وجود خواهد داشت؛ در نهایت مشارکتی خواهد بود، زیرا در بسیاری از اقدامات پیشگیرانه به مشارکت بیماران نیاز خواهد بود (۱).

تلاش به رازگشایی از ناشناخته‌های بیماری‌ها و بیولوژی انسان و ترسیم سلامت و بیماری در سیمای پزشکی آینده (پزشکی سیستمی)، موجب ایجاد فشار بر مطالعات و

پژوهش‌ها و سوق آن‌ها به نقطه‌ای شده است که رشد و پیشرفت فناوری‌های نوینی را می‌طلبد تا بتوانند ابعاد فضای داده‌ای بیمار را به تصویر بکشانند. از این دیدگاه می‌توان به فناوری‌های زیر اشاره نمود (۱۲):

۱/ توالی‌یابی ژنوم خانوادگی

۲/ پروتئومیکس

۳/ متابولومیکس

۴/ آنالیز تک سلولی

۵/ تصویربرداری ملکولی

۶/ فناوری سلول‌های بنیادی پرتوان القاء شده

گرچه در دهه گذشته، علم و فناوری که پشتیبان رشد پزشکی سیستمی بوده است رشدی بی‌همتایی را از خود نشان داده است ولی هنوز به پیشرفت‌های جدیدی برای این که پزشکی P4 به ظهور برسد نیاز است:

۱/ توسعه شیوه‌هایی برای تعیین ساختار ژنوم‌های فردی (توالی‌یابی ژنوم‌های فردی)

۲/ تکنیک‌های میکروفلوئیدیک، آنالیز سلول‌ها به صورت تک و تصویربرداری ملکولی

۳/ شناسایی و اعتبارسنجی پروتئین ویژه ارگانی، micro RNA و دیگر مارکرهای

ملکولی

۴/ شیوه‌های ریاضیاتی و محاسباتی جدید مانند شبکه‌های دینامیک که امکان مطالعه

آشوب‌های ایجاد شده توسط درمان در شبکه‌های بیولوژیک را فراهم می‌نمایند.

افزون بر این، تغییرات عمده‌ای نیز به همان میزان لازم است که در آموزش بیماران و

دست اندرکاران مراقبت‌های سلامت، پیرامون پزشکی P4 انجام گیرد (۱).

در یک فراگرد کلی پزشکی سیستمی راهبردها، ابزارها و توانمندی‌های محاسباتی و

آنالیتیکی را جهت تجزیه و تحلیل انبوه اطلاعات فراهم می‌آورد (۲). پزشکی P4 این راهبردها

و ابزارها را جهت مبارزه با بیماری‌ها و حفظ تندرستی فرد به کار می‌برد (۱۲).

بی‌شک در سال‌های نه چندان دور، پرتوهای پزشکی سیستمی نیز بر کشور ما تابان



خواهد شد و بر سیستم پزشکی و مراقبت‌های سلامت ایران نیز تأثیری شگرف خواهد گذاشت و نظام سلامت را در کشور متحول خواهد کرد.

در این گذر ما می‌توانیم دو رهیافت داشته باشیم؛ یا به صورت کنشی به دست‌آوردها و پیشرفت‌های این تغییر پارادایمی در پزشکی پاسخ دهیم و تنها مصرف‌کننده باشیم و یا این که خود در خلق آن سهیم شویم.

سهیم بودن در مسیر پرشتاب دانش پزشکی سیستمی نیاز به ساختارهای فرادقیقی در سیستم توسعه علم و فناوری در کشور دارد که بایستی چهارچوب آن در نقشه علمی کشور در گستره سلامت تبلور یابد.

هدف این نوشتار آن است که با نگرستن به زوایای نقشه علمی کشور در گستره سلامت دریابد که آیا در این نقشه راه، چهارچوب‌ها و زیرساخت‌های لازم برای تجلی و رشد و شکوفایی پزشکی سیستمی در پیکره نظام سلامت کشور پیش بینی و طراحی گردیده است. اما پیش از آن با همین هدف، به نقشه علمی آمریکا در گستره سلامت می‌نگریم تا بتوانیم در مقام مقایسه، به فرصت‌ها و چالش‌های موجود در نقشه علمی ایران در حوزه سلامت آگاهی بیابیم. بدین منظور از متدلوژی تحلیلی منظرهای پزشکی سیستمی تدوین شده در کارگاه "از بیولوژی سیستمی به سوی پزشکی سیستمی" کمیسیون اروپا (۱۵-۱۴ ژوئن ۲۰۱۰) (۱۳)، جهت شناسایی "فرصت‌ها، تنگناها و نیازهای توسعه فناوری"، موجود در نقشه‌های علمی آمریکا و ایران در گستره سلامت استفاده می‌کنیم.

### نقشه علمی آمریکا در گستره سلامت

بنیاد ملی سلامت آمریکا (NIH) به عنوان بزرگ‌ترین سازمان پژوهش‌های زیست پزشکی جهان، با ۱۲۵۰ پژوهشگر سازمانی و با بیش از ۲۰۰ هزار دانشمند و پژوهشگر از ۳۱۰۰ سازمان ملی و بین‌المللی، تاکنون پرچم‌دار توسعه علوم زیست - پزشکی در دنیا بوده است.

پس از این که در ماه می ۲۰۰۲ دکتر الیاس زرحونی ریاست بنیاد ملی سلامت آمریکا

را به دست گرفت، مجموعه‌ای از گردهمایی‌هایی را به منظور ترسیم نقشه پژوهش‌های پزشکی قرن ۲۱ ترتیب داد. مقصود از این کوشش‌ها، یافت فرصت‌های عمده و شکاف‌های موجود در تحقیقات زیست - پزشکی بود که هیچ‌کدام از انستیتوهای وابسته به بنیاد ملی سلامت آمریکا نمی‌توانستند خود رأساً به آن بپردازند و در نتیجه تلاش مستقل بنیاد ملی سلامت را طلب می‌کرد (۱۶-۱۴).

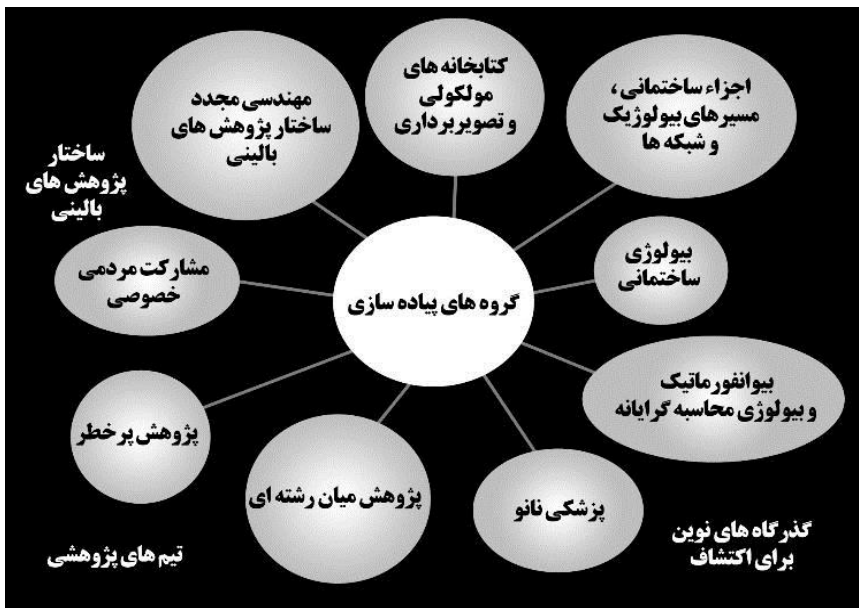
همگام با برون‌دادهای گردهمایی‌هایی با شرکت بیش از ۳۰۰ تن از برجسته‌های شناخته شده ملی از بخش‌های آکادمیک، صنعت، دولت و مردم، نقشه علمی بنیاد ملی سلامت، چهارچوبی را برای اولویت‌های این بنیاد فراهم آورده است که سرمایه‌گذاری بر بخش پژوهش را سنجش نموده و چشم‌اندازی را برای سامانه زاینده و مؤثر پژوهش‌های پزشکی ترسیم کرده است. این نقشه علمی، فرصت‌های برجسته‌ای را فراروی ما گشوده است که شامل گذرگاه‌های نوین برای اکتشاف، تیم‌های پژوهشی آینده و مهندسی مجدد در ساختار پژوهش‌های بالینی می‌باشند (۱۶).

نقشه علمی بنیاد ملی آمریکا یک چشم‌انداز جامع برای ژرفا بخشیدن به درک ما از بیولوژی و تحریک تشکیل تیم‌های تحقیقاتی میان رشته‌ای می‌باشد که تحقیقات بالینی را آن گونه باز شکل‌دهی خواهد کرد که موجب شتاب گرفتن اکتشافات پزشکی و بهبود سلامت مردم آمریکا خواهد شد. بسیاری از پروژه‌ها، از سال ۲۰۰۰ آغاز گردیده‌اند (۱۷).

پدیدار شدن تغییر پارادایمی جدید، موجب تأثیر بر نقشه علمی سلامت آمریکا و میل آن به سوی "پزشکی سیستمی" گردید که شامل بیولوژی با فناوری‌های با توان عملیاتی بالا، پروژه ژنوم انسانی، خلق بیولوژی میان رشته‌ای و بیولوژی سیستمی می‌باشند (۱۰). از این رو می‌بینیم که چگونه این تغییر پارادایمی بر راهبردهای بنیاد ملی سلامت آمریکا اثر گذاشته و برنامه‌های پژوهشی این بنیاد حول این تغییرات پارادایمی چیدمان شده‌اند.

این تغییرات پارادایمی یعنی ۱/ به دست آوردن اطلاعات دیجیتالی ژنومی و اطلاعات محیطی بیرون ژنومی ۲/ نگاه به شبکه‌های بیولوژیک تا حد سیستم‌های ملکولی به عنوان کارگزاران علمکردهای حیاتی و ۳/ نگاه سلسله مراتبی به چیدمان حیات از سطح اسیدهای

نوکلئوتیک، پروتئین‌ها، برهم کنش‌ها، شبکه‌های بیولوژیک، بافت‌ها و ارگان‌ها، افراد و در نهایت اکولوژی‌ها که حاوی اطلاعات کدگذاری شده‌اند، موجب شده‌اند که اصول پزشکی سیستمی در میان نقشه علمی آمریکا، راه خود را به خوبی باز نمایند.



شکل ۱-۲: گروه‌های پیاده سازی نقشه علمی بنیاد ملی سلامت آمریکا

### تحلیل نقشه علمی آمریکا

در ادامه بر اساس تغییرات پارادایمی در حوزه علم و فناوری علوم زیست پزشکی، به تحلیل نقشه علمی آمریکا در دو بُعد می‌پردازیم. بُعد نخست نگاه به پیش بینی و ساماندهی زیرساخت‌های مورد نیاز پذیرش این تغییرات پارادایمی است که نه تنها موجب زایش پزشکی سیستمی شده‌اند بلکه موجب رشد و شکوفایی آن گردیده و به عنوان پیش‌ران آن نیز عمل می‌کنند. بُعد دوم نگاه به انقلاب دیجیتالی و ساماندهی داده‌های عظیم و تبدیل آن به دانایی است که نیاز است به چهارچوب و زیرساخت‌های پیش بینی شده در این نقشه از منظر فناوری اطلاعات زیست پزشکی و بیوانفورماتیک نگرسته شود.

## الف / زیرساخت‌هایی برای فناوری‌های نوپدید در گستره علوم زیست - پزشکی

### ۱/ پروژه بیان ژنوتیپ - بافت (GTEx)

هدف این پروژه، تأمین منبعی برای مطالعه بیان و تنظیم ژن انسانی و ارتباط آن با تنوع ژنتیکی است. در این پروژه تعداد زیادی از بافت‌های انسانی از دهندگان گردآوری و آنالیز خواهند شد تا تنوع ژنتیکی در ژنوم آن‌ها ارزیابی شود. با آنالیز بیان RNA به صورت جامع در بافت‌های منفرد و نگاه به سطوح بیان ژن‌ها به صورت صفات کمی، تنوع در بیان ژن که بسیار با تنوع ژنتیکی همبستگی دارد را می‌توان به صورت لوکوس‌های صفتی کمی (eQTLs) مورد شناسایی قرار داد. یافت همبستگی میان ژنوتیپ و بیان ژن ویژه بافتی کمک به شناسایی مناطقی از ژنوم که اثر می‌گذارد که آیا و چه مقدار از یک ژن بایستی بیان شود خواهد کرد. با وجود پیشرفت‌های اخیر در مطالعات GWAS که در جهت شناسایی تغییرات ژنتیکی که با بیماری‌های انسانی شایع مانند بیماری‌های قلبی - عروقی، سرطان، دیابت، آسم و سکت‌های مغزی انجام گردیده‌اند، مقدار عظیمی از این تغییرات ژنتیکی در بیرون از مناطق کد کننده پروتئین ژن‌ها قرار داشته و حتی اغلب در بیرون از خود ژن‌ها قرار دارند. از این رو بسیار دشوار است که بتوان معین کرد که چه ژن‌هایی اثر گذاشته شده و با یک مکانیسم به شناسایی جامع eQTLs انسانی، در شناخت ژن‌هایی که بیان آن‌ها با تنوع ژنتیکی اثر گذاشته می‌شوند کمک خواهد کرد و پایه ارزشمندی را برای مطالعه مکانیسم‌هایی که چگونه آن ژن تنظیم می‌شود فراهم می‌آورد (۱۸ و ۱۹).

### ۲/ رشد فناوری‌های برتر جهت شناخت اجزاء ساختمانی، مسیرهای بیولوژیک

#### و شبکه‌ها

در مجموعه پروژه‌های نقشه علمی بنیاد سلامت آمریکا، پژوهشگران توجه خود را بر روی توسعه فناوری‌ها و شبکه‌ها معطوف داشته‌اند. یکی از اجزاء مرکزی چنین شبکه‌هایی، مجموعه‌ای از پروتئین‌هایی هستند که توسط ژنوم ارگانیزم کد گردیده و مجموعاً تحت عنوان پروتئوم نامیده می‌شوند. برای درک بهتر پروتئوم نیاز به ابزارهای نوآورانه‌ای است تا بتوان در

زمان حقیقی میزان، جایگاه و ارتباطات تعداد عظیمی از پروتئین‌ها که در سلول واحدی وجود دارند را مشخص سازند. بنیاد ملی سلامت آمریکا، مجموعه‌ای از مراکز تکنولوژیک ملی برای شبکه‌ها و مسیرها را تأسیس نموده‌اند تا تکنولوژی‌های پروتئومیک جدید را ارتقاء دهند. چنین توانمندی، برای گسترش شناسایی مسیرهای بیولوژیک و یافتن بیماری‌های زایش یافته از چنین مسیرهایی، بسیار کارآرایی خواهند داشت (۱۷).

کانون بحرانی دیگر آن است که برای پژوهشگران، ابزارهای تجزیه و تحلیل نوینی برای درک بهتر اجزاء متابولیک و شبکه‌های موجود در سلول که مجموعاً به آن متابولوم گفته می‌شود فراهم گردد. به ویژه پژوهشگران مشتاق تکنولوژی‌هایی هستند که اندازه‌گیری غلظت‌های "در مکان خود" کربوهیدرات‌ها، لیپیدها، آمینواسیدها و دیگر متابولیت‌ها را که در سلول واحد یا حتی در یک بخش ویژه‌ای از یک سلول وجود دارند، امکان‌پذیر گردانند. این گونه اطلاعات جامع، راه را برای شیوه‌های پیشرفته‌تر شناسایی اختلالات متابولیک، در میان سلول‌های طبیعی و بیمار، باز می‌کنند (۱۷، ۲۴-۲۰).

### ۳/ توسعه فناوری‌های نوین به دام اندازی پروتئین

هدف این پروژه نقشه علمی بنیاد ملی آمریکا، تحریک توسعه تکنولوژی‌های فراملکردی برای تولید کتابخانه‌های متنوع از ملکول‌های کوچک است که به شکل ویژه و اختصاصی بتوانند به پروتئین‌های انسانی متصل و آن‌ها را "به دام بیندازند" یا بتوانند در میان تنوع طبیعی یک ملکول واحد، افتراق ایجاد نمایند. این پروژه مکمل تلاش‌های در حال انجام در انستیتوها و مراکز بنیاد ملی سلامت آمریکا که بر روی تکنولوژی‌های آنتی‌بادی کار می‌کنند خواهد بود.

افزون بر این، این پروژه با برنامه‌های دیگر نقشه علمی در بخش‌های کتابخانه‌های ملکولی، نانوپزشکی و بیولوژی ساختمانی ارتباط می‌یابد؛ البته به دلیل ویژگی فراکانونی و اهداف بسیار تعیین شده آن، با این بخش‌ها تمایز بسیار خواهد داشت (۱۷، ۲۵ و ۲۶).

#### ۴/ کتابخانه‌های ملکولی و تصویربرداری ملکولی

برای پژوهشگران ثابت شده است ملکول‌های کوچک با وزن ملکولی ۵۰۰ یا زیر آن، جهت کشف عملکردها در سطح ملکولی، سلولی و *in vivo* فوق‌العاده مهم هستند. همچنین ثابت شده است که این ملکول‌ها برای درمان بیماری‌ها با ارزش می‌باشند و اکثر داروهایی که امروز در بازار وجود دارند از این طبقه هستند. نقشه کتابخانه‌های ملکولی به پژوهشگران زیست - پزشکی در بخش مردمی، توانایی دسترسی به ظرفیت "غربالگری در مقیاس گسترده" را خواهد داد تا ملکول‌های کوچک را شناسایی کرده و به عنوان پروب‌های شیمیایی جهت مطالعه عملکرد ژن‌ها، سلول‌ها و مسیرهای بیوشیمیایی مورد استفاده قرار دهند. این خود موجب گشایش راه‌های جدید برای کشف عملکرد ژن‌ها و مسیرهای پیام‌رسانی در سلامت و بیماری خواهد شد (۱۷، ۲۷ و ۲۸).

#### ۵/ کتابخانه امضاءهای سلولی بر پایه شبکه یک پارچه (LINCS)

اجزاء پایه سیستم‌های بیولوژیک (ژن‌ها، پروتئین‌ها، متابولیت‌ها و دیگر ملکول‌ها) با یکدیگر به صورت بسیار منظم در درون سلول‌ها کار می‌کنند تا رشد و نمو طبیعی را ارتقاء داده و سلامت را ابقاء نمایند. درک آن که چگونه این اجزاء به هم تنیده شبکه‌ها و مسیرهای بیولوژیک در سلامت نگهداری شوند و چگونه با استرس‌های ژنتیکی محیطی آشوب زده می‌شوند و تولید بیماری می‌نمایند، یک چالش بزرگ ولی ضروری است تا بتوان بر اساس آن درمان‌های بهتر و جدیدتر را جهت برگشت شبکه‌های آشوب زده به سطح طبیعی توسعه داد. جهت دستیابی به این هدف برنامه LINCS، هدف توسعه کتابخانه امضاءهای ملکولی بر اساس بیان ژن و دیگر تغییرات سلولی را دنبال می‌کند.

این تغییرات سلولی بیانگر پاسخی هستند که سلول‌های گوناگون در زمانی که به عوامل آشوبگر متنوع برمی‌خورند از خود ساطع می‌کنند که شامل siRNA و ملکول‌های فعال زیستی می‌باشند. رهیافت غربالگری با توان عملیاتی بالا جهت جستجوی سلول‌ها و رهیافت‌های ریاضیاتی به منظور توصیف تغییرات ملکولی و الگوهای پاسخ مورد استفاده قرار خواهند گرفت.

این داده‌ها در یک شیوه منظم، یک پارچه و استاندارد شده، جهت ارتقاء پیوستگی و مقایسه در گونه‌های متفاوت سلولی، گردآوری می‌شوند. پیش فرض زمینه‌ای برنامه LINCS بر آن است که ایجاد اختلال در هر یک از این چندین گام در یک فرایند بیولوژیک، موجب تغییرات وابسته در خصوصیات، رفتار و عملکرد سلولی (فنوتیپ سلولی) و ملکولی خواهند شد. مشاهده آن که چگونه و چه هنگام یک فنوتیپ سلولی با استرس‌زاهای خاصی تغییر می‌کند می‌تواند نشانه‌هایی را پیرامون مکانیسم‌های زمینه‌ای که ایجاد آشوب‌زدگی در شبکه‌های سلولی ملکولی می‌کنند و در نهایت در ایجاد بیماری مؤثرند را به دست دهد.

داده‌های LINCS به صورت منبع عمومی در دسترس قرار خواهد گرفت که می‌توان به آسانی از آن استفاده کرده و آن را تقویت نمود تا گستره‌ای وسیع از پرسش‌های پایه را پاسخ داده و شناسایی هدف‌های بیولوژیک جهت یافت درمان‌های جدید بیماری‌ها تسهیل گردد (۲۹).

## ۶ / آنالیز تک سلول

شواهد اخیر از مطالعه سلول‌های منفرد، این واقعیت را آشکار کرده‌اند که سلول‌های تک در یک جمعیت، با یکدیگر به صورت شگرفی متفاوت هستند و این تفاوت‌ها پیامدهای مهمی را در گستره سلامت و بیماری جمعیت کلی از خود نشان می‌دهند. رهیافت‌های تجربی که تنها به خصوصیات در سطح جمعیتی این سلول‌ها می‌پردازند، نمی‌توانند از ویژگی‌های متفاوت سلولی پرده بردارند.

این در حالی است که نیاز به رهیافت‌های جدید برای آنالیز تک سلول جهت رازگشایی از اصول بیولوژیک پایه و در نهایت بهبودی در تشخیص و درمان بیماری‌ها بسیار احساس می‌شود. از این رو در نقشه علمی آمریکا در بنیاد ملی سلامت این کشور، تأکید فراوانی بر پروژه‌ها و مراکزی شده است که به یک‌پارچه سازی و ترجمان فناوری‌ها جهت ترسیم ویژگی‌های سلول‌های تک می‌پردازند و به شدت از ابزارها و رهیافت‌های نوآورانه در این زمینه حمایت می‌کند. همچنین از مراکزی که تلاش می‌نمایند امضاءهای نسخه برداری سلول‌های

انسانی منفرد را جهت اندازه‌گیری و آنالیز ناهمگنی سلولی و تعریف تیپ‌های سلولی ویژه در یک جمعیت، هدف قرار داده‌اند پشتیبانی می‌کند (۳۰). مجموعه این فعالیت‌ها، راه را برای پزشکی فردگرا آینده باز می‌نماید.

## ب/ متدهای محاسباتی و ریاضیاتی نوین و بهبود زیرساخت فناوری اطلاعات

### ۱/ بیوانفورماتیک و بیولوژی محاسبه‌گرایانه

از پروژه‌های بنیادی نقشه علمی بنیاد ملی سلامت آمریکا، پروژه‌های "بیوانفورماتیک و بیولوژی محاسبه‌گرایانه" است که یک سامانه مهندسی نرم‌افزار ملی را خلق خواهد نمود. از طریق یک شبکه کامپیوتری زیست‌شناسان، شیمیدان‌ها، فیزیکی‌دانان، دانشمندان علوم کامپیوتر و پزشکان در هر کجای کشور، قادر خواهند بود داده‌ها را به کمک یک مجموعه از ابزارهای نرم‌افزاری مشترک به اشتراک گذاشته و آنالیز نمایند. با رهسپار شدن بر کشتی پروژه‌های بیوانفورماتیک و بیولوژی محاسبه‌گرایانه، نقشه علمی بنیاد ملی سلامت آمریکا، آینده را از طریق "ابراه اطلاعات" که مختص پژوهش‌های پزشکی پیشرفته است، طی مسیر می‌کند (۳۱).

### ۲/ تصویرسازی از ژنوم با توان دارویی

هدف غایی این برنامه، افزایش درک خصوصیات و عملکرد پروتئین‌هایی است که در چهار خانواده پروتئینی معروف (که هدف داروها) هستند جای دارند؛ که شامل گیرنده‌های جفت یافته با پروتئین G (GPCRs)، گیرنده‌های هسته‌ای، کانال‌های یونی، کینازهای یونی و کینازهای پروتئینی هستند. این برنامه با یک فاز پایلوت سه ساله آغاز می‌شود که هدف اولیه این پروژه پایلوت، بنیان نهادن یک مرکز مدیریت دانش توسعه راه حل انفورماتیکی یک‌پارچه است که جزء تکمیلی این مرکز، حمایت از پیشرفت یک پرتال شبکه‌ای است که داده‌ها را از منابع گوناگون داده‌ای گردآوری کرده و به شناسایی شکاف در دانش موجود در مورد این پروتئین‌ها می‌پردازد. در نهایت هدف این برنامه، تقویت پژوهش‌های پایه با انبوه نمودن



داده‌های ژنومیک جهت آگاهی از دانش موجود از پروتئوم است. با این هدف، کسب و کارهای کوچک و صنعت دارویی می‌توانند درمان‌های نوینی را جهت افزایش سلامت انسانی طراحی نمایند (۳۲).

### ۳ / سیستم اطلاعاتی اندازه‌گیری پیامدهای گزارش شده توسط بیماران (PROMIS)

هدف این سیستم اطلاعاتی، اندازه‌گیری پیامدهای گزارش شده توسط بیمار (PROs)، مانند درد، خستگی، کارایی فیزیکی، اختلال خلقی و مشارکت اجتماعی است که اثر فراوانی را بر کیفیت زندگی در گستره‌ای از بیماری‌های مزمن ایجاد می‌کنند. اندازه‌گیری بالینی پیامدهای سلامت مانند آزمایش‌های بالینی و تصویربرداری، ممکن است پیوستگی کمی را با عملکرد روز به روز بیماران با بیماری‌های مزمن داشته باشند. اغلب بهترین حالتی که بیماران می‌توانند اثر بخشی درمان‌ها را قضاوت کنند، مطالعه تغییرات در نشانگان و علائم است. هدف برنامه PROMIS بهبودی در گزارش‌دهی و کیفیت تغییرات در پیامدهای گزارش شده توسط بیمار است. این برنامه، پارادایم‌های جدیدی را برای چگونگی گردآوری، کاربرد و گزارش‌دهی اطلاعات پژوهشی بالینی خلق می‌کند. این برنامه یک سیستم بر پایه وب را توسعه می‌دهد که دسترسی پژوهشگران بالینی را به بانک اطلاعات و سیستم آزمون سازگارمند رایانه‌ای (CAT) توان یافته با روان متری را امکان‌پذیر می‌نماید (۳۳).

### ۴ / شبکه‌های پژوهش‌های بالینی و نکتار

”تحقیقات و کارآزمایی‌های بالینی الکترونیکی ملی“ به طور خلاصه ”نکتار“، زیرساخت‌های انفورماتیکی که نقش ستون فقرات شبکه‌های تحقیقاتی کارا و به هم ارتباط یافته را دارند خلق خواهد کرد. تشکیل شبکه‌های پژوهش‌های بالینی و یا نکتار که امکان آزمون درمان‌های جدید و راهبردهای پیشگیرانه در تعداد عظیم‌تری از بیماران را سریع‌تر می‌نماید، از نقاط کلیدی راهبرد شبکه‌سازی بنیاد ملی سلامت آمریکا است (۱۷).

## ۵/ تبدیل داده‌های بزرگ به دانش (BD2K)

همزمان با پیشرفت فزاینده فناوری و ابزارهای زیست پزشکی، پژوهشگران انبوه فزاینده‌ای از داده‌های بیولوژیک پیچیده تولید و تحلیل می‌کنند. ابزارهای تحلیلی نوینی جهت استخراج دانش بحرانی، از این توده داده‌ای مورد نیاز است و سیاست‌های تشویقی جدید بایستی جهت به اشتراک‌گذاری نرم‌افزاری و داده‌ای تدوین گردند تا ارزش داده‌ها برای تمامی پژوهشگران گستره پژوهش‌های زیست پزشکی افزایش یابد. افزون بر این استانداردهای داده‌های و متاداده‌ها که تضمین‌کننده کیفیت و یک‌دستی آن‌ها باشند بایستی توسعه داده شوند.

بنیاد ملی سلامت آمریکا در این برنامه تلاش می‌کند که کاربرد داده‌های بزرگ زیست - پزشکی را تسهیل کرده، شیوه‌های تحلیل داده‌ها و نرم‌افزارهای مربوطه را توسعه بخش نموده، در تربیت نیروی انسانی رشته‌های وابسته به آنالیز داده‌ها در مقیاس عظیم اهتمام ورزیده و مراکز تعالی را برای داده‌های بزرگ زیست پزشکی بنیان نهد (۲۷). این برنامه جدید بنیاد ملی سلامت آمریکا که از سال ۲۰۱۳ آغاز گردیده است می‌تواند تحول عظیمی را در پژوهش‌های زیست پزشکی و مراقبت‌های سلامت ایجاد نماید زیرا تلاش می‌کند داده‌های عظیم را به دانش کنش پذیر جهت ارتقاء سلامت و توسعه علم تبدیل نماید (۳۴).

### زیرساخت‌های نقشه علمی ایران برای پزشکی آینده (پزشکی سیستمی)

نقشه جامع علمی کشور در گستره سلامت، بخشی از نقشه جامع علمی کشور است که هدف آن تدوین برنامه بلند مدت علم، فناوری و نوآوری در ایران است و تلاش می‌کند تا پژوهش، آموزش و بهره‌برداری از دانش را از یک اتفاق، به یک جریان منظم و در راه توسعه کشور قرار دهد. برای تهیه نقشه علمی سلامت کشور، بیش از ۳۰۰ نفر از پژوهشگران، مدیران و خبرگان نظام آموزش، پژوهش، ارائه خدمات و پشتیبانی سلامت طی مدتی نزدیک به یک سال در ۱۳ پانل (آموزشی، ارائه خدمات سلامت، پزشکی ملکولی، پژوهش، تجهیزات پزشکی، دارو، زیست فناوری، سلامت زنان، امنیت غذا و تغذیه، فناوری اطلاعات، محیط زیست،

مدیریت و سیاست‌گذاری سلامت، منابع مالی و انسانی و نانو فناوری) با روش‌های شناخته شده و علمی آینده پژوهی به تدوین نقشه همت گذاشتند.

ماحصل این تلاش جمعی و ساختارمند همراه با متدلوژی علمی در گستره آینده پژوهی، به صورت مونوگرافی توسط کمیته تخصصی سلامت و علوم زیستی شورای عالی انقلاب فرهنگی در وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی تحت عنوان "نقشه جامع علمی سلامت" در اسفند ۱۳۸۸ انتشار یافت (۳۵).

این سند بالا دستی در حوزه علم و فناوری کشور، به دلیل این که نخستین تلاش نظام‌وار و علمی ایران در گستره دانش و فناوری می‌باشد بسیار در خور تحسین است و بی‌شک در شتاب علوم زیست پزشکی در کشور نقش مهمی را ایفاء خواهد کرد.

در این بخش از نوشتار به فرصت‌های موجود در نقشه علمی کشور در گستره سلامت، تنگناها، زیرساخت‌ها و فناوری‌های مورد لزوم برای پذیرش پایه‌های پزشکی نوین (پزشکی سیستمی با پزشکی P4) و رشد و گسترش آن می‌پردازیم:

## الف / فرصت‌های نقشه علمی کشور در گستره سلامت برای توسعه پزشکی

### سیستمی

#### ۱ / توجه به فناوری اطلاعات

در نظام سلامت و محورهای چشم‌انداز نقشه علمی کشور به "مدیریت اطلاعات و دانش سلامت"، به عنوان زیرساخت نگریسته شده است. از این رو در راهبردهای کلان نقشه به "استفاده از فناوری اطلاعات و شبکه جهت تسهیل ارتباطات و همکاری‌ها" اشاره شده است و "گسترش آموزش‌های آکادمیک و غیرآکادمیک دانش عمومی فناوری اطلاعات (IT) در تمام مقاطع تحصیلی" مورد تأکید قرار گرفته است. زیرساخت فناوری اطلاعات برای دیجیتالی کردن گزارش‌های پزشکی در پزشکی سیستمی، برای هر فرد بیمار که در حد گیگابایت داده پزشکی و بیولوژیک دارد، بسیار حیاتی می‌باشد (۳۶) و از سوی دیگر امکان مدیریت تبدیل داده‌های بزرگ به دانش را فراهم می‌آورد. در حقیقت برآمدن بر چالش تبدیل داده‌های بزرگ

به دانش، وظیفه اساسی پزشکی سیستمی است (۱۰). در راهبردهای کلان نقشه نیز به "یک پارچه‌سازی نظام طبقه‌بندی، حفظ و نگهداری موجودی دانش ملی در حوزه سلامت" پافشاری شده است.

## ۲/ شبکه سازی

در نقشه علمی سلامت ایران، "شبکه‌سازی جهت استفاده از قابلیت‌ها و امکانات مرکز تخصصی دولتی و غیردولتی" به صورت یک راهبرد در نظر گرفته شده است و "تأسیس سامانه شبکه ملی کارآزمایی بالینی" و همچنین "ایجاد شبکه جامع الکترونیک آموزش و تصمیم‌گیری سلامت برای بهره‌برداری همگانی و گروه‌های ارائه‌کننده خدمات" نیز اقدامات اساسی محسوب شده‌اند.

## ۳/ رهیافت‌های میان رشته‌ای

در راهبردهای کلان نقشه علمی کشور در گستره سلامت "تقویت علوم پایه سلامت، ژرف‌نگری و ژرفیابی برای گسترش مرزهای دانش و توسعه همکاری‌های بین رشته‌ای سلامت (پایه - کاربرد)" و در بخش الزامات نقشه نیز به "تشکیل انجمن‌های میان رشته‌ای موضوع محور" اشاره شده است.

## ۴/ نوآوری و خطرپذیری

سازمان‌های قرن بیست و یکمی در پی آن هستند تا کارکنان خود را به نوآوران و سازمان خود را به ماشین نوآوری بدل کنند. چرا که بدون نوآوری، هیچ مفهومی نوین، محصول، تکنولوژی، فرایند و هیچ رشد اقتصادی، رقابت‌پذیری و بهره‌وری، روی نخواهد داد (۱۷). از این رو حمایت از پژوهش‌های پرخطر، جهت تشویق متفکرین خلاق بسیار اساسی است. "تسهیل شکل‌گیری بنگاه‌های اقتصادی برای حمایت از پژوهش‌های خطرپذیر" از راهبردهای کلان نقشه علمی کشور می‌باشد.

## ۵/ نگاه هولستیک و جامع‌نگر به سلامت

بیماری‌های غیرواگیر مانند بیماری‌های قلبی - عروقی، تنفسی، متابولیک، روماتولوژیک، نورولوژیک و سرطان‌ها از مسائل عمده و برجسته قرن ۲۱ هستند و به نظر می‌رسد که راهبرد هولستیک به این بیماری‌ها با در نظر گرفتن اثر ژن - محیط زیست و بر هم کنش‌های اقتصادی - اجتماعی می‌تواند فنوتیپ پیچیده آن‌ها را ترسیم نماید (۳۷). در بخش اقدامات نقشه علمی کشور تحت عنوان "انجام پژوهش در خصوص تحول شبکه سلامت کشور با رویکردهای سلامت‌نگر، تعیین‌کننده‌های اجتماعی سلامت، عدالت، تقویت همکاری‌های بین بخشی و مبتنی بر نظام علم، فناوری و نوآوری"، به تعیین‌کننده‌های اجتماعی سلامت، نگاهی ویژه انداخته شده است.

## ب/ تنگناهای توسعه پزشکی سیستمی در نقشه علمی ایران در گستره

### سلامت

- عدم نگاه به بیولوژی و علم پزشکی به عنوان یک دانش اطلاعاتی
- نبود زیرساخت برای آموزش، گسترش و پژوهش در زمینه دانش بیولوژی سیستمی
- عدم وجود نگاه یک‌پارچه به پاتوژنز، تشخیص و درمان بیماری‌های بر اساس دیدگاه‌های سیستمی با رهیافت‌های سیستمی
- عدم توجه به برنامه‌های پژوهشی یک‌پارچه در مقیاس بزرگ در پژوهش‌های زیست پزشکی
- نبود زیرساخت‌های لازم برای مطالعات میان رشته‌ای
- عدم توجه به فناوری‌های نوپدید و فناوری‌های برتر به عنوان راهبردی بنیادین
- عدم توجه به بیولوژی محاسباتی و بیوانفورماتیک
- عدم توجه به مشارکت بیمار در سیستم تشخیصی، درمانی و پژوهشی و طراحی زیرساخت‌های لازم برای پزشکی مشارکتی
- نگاه به پزشکی به شکل واکنشی بوده و نه کنش‌گرا و در نتیجه توجه به سوی بیماری

معطوف گشته است و نه به سوی تندرستی (شکل ۱-۳)

هر چند در نقشه علمی کشور، بهره‌گیری از فناوری‌هایی که کشور را در استفاده از مزیت‌های نسبی و خلق ثروت یاری می‌رسانند به "فناوری‌های زیستی"، "پزشکی"، "ملکولی و سلول‌های بنیادین" و "نانوفناوری" توجه خاص عنایت شده است و از اولویت‌های علم و فناوری سلامت محسوب شده‌اند ولی در بُعد راهبردی نقشه، از توجه ویژه به فناوری‌های پزشکی ملکولی و سلول‌های بنیادین و تدوین برنامه‌های عملیاتی و پروژه‌های مرزשکن نشانی نیست.



شکل ۱-۳: نمایی از علوم زیستی محاسبه گرایانه:

علوم زیستی محاسبه گرایانه یک برنامه میان رشته‌ای است.

این در حالی است که توسعه علمی دانش ژنومیک، پروتئومیک و فناوری‌های مرزشکن مانند بیوانفورماتیک و تصویربرداری‌های ملکولی در دهه اخیر، امکان به واقعیت پیوستن پزشکی سیستمی را هموار کرده‌اند.

همچنین در نقشه علمی کشور سکوهایی برای ذخیره‌سازی داده‌ها برای زمانی طولانی و نیز سکوهایی برای یک‌پارچه‌سازی و تحلیل داده‌های چند متغیری بیماران، دیده نشده است. این در حالی است که در آینده‌ای نزدیک، با انباشتی از داده‌های برخاسته از آنالیز تک سلولی رو به رو خواهیم شد که اطلاعات ترانس کریپتومی و پروتئومی این سلول‌های را نیز شامل می‌شود (۳۸ و ۳۹). توسعه دیگر که می‌بایست در نقشه علمی کشور صورت پذیرد نگاه به دانش جدید "سیستم‌های پیچیده" و "شبکه‌ها" است. در این نگاه شبکه‌های پیچیده ملکولی و مسیرهای بیولوژیک در سطح شبکه‌های پیچیده بیماری‌ها تبلور می‌یابند و خود شبکه بیماری‌ها نیز از شبکه اجتماعی-اقتصادی نیز اثر می‌پذیرد. از این رو می‌بایست به بیماری‌های واگیر و عفونی، سرطان‌ها، بیماری‌های قلبی-عروقی، تنفسی و عصبی نیز از منظری سیستمی نگرین (۴۰-۴۳). این نگرین به این بیماری‌ها، چیزی فراتر از این است که تنها به تعیین کننده‌های اقتصادی و اجتماعی این بیماری‌ها نگاه کرد و باید چشمانداز چنان گسترده باشد تا تمام عوامل به شکلی در آن جای گیرند تا امکان تجلی پزشکی P4 در ابعاد گوناگون آن، به ویژه بعد پیشگویی کنندگی و فردگرایانه آن فراهم آید (۴۴-۴۰). با همین دید نیز می‌بایست به فناوری‌های تصویربرداری، به ویژه تصویربرداری ملکولی نیز نگرین شود (۴۲).

منظری دیگر که می‌بایست در توسعه نقشه علمی کشور نگرین شود، بحث مشارکت جویانه پزشکی آینده (پزشکی P4) است. بخش جدایی ناپذیر پزشکی آینده، پزشکی مشارکتی است که راهبردهای مشارکتی یکی از راه‌های الزام‌آور است که می‌توان پزشکی P4 را به بیماران عرضه نمود (۱۰). از سوی دیگر بیماران توانمند شده با ابزارها و اطلاعات می‌توانند در آینده نقش فعالی را در سلامت خود ایفاء نمایند، در حقیقت در پزشکی مشارکتی آینده، آن‌ها با ارائه دهندگان خدمات سلامت و پزشکان خود، در طراحی، مدیریت و دستیابی به اهداف خود، به صورت مشارکتی نقش ایفا خواهند کرد. از این رو بایستی به بنیان شبکه بیماری‌ها در حد فراگیر که شامل پژوهشگران آکادمیک، سیاست‌گذاران جامعه، ارائه دهندگان خدمات سلامت و نیز توده بیماران و مردم است در توسعه نقشه علمی کشور توجه ویژه نمود. همین شبکه‌های بیماری‌ها هستند که می‌توانند در یک گستره وسیع‌تر، با شبکه‌های به

پیش‌راننده شده بیماران، یک پارچه شده و مفاهیم و اهداف پزشکی مشارکتی را در صحنه عمل به ظهور رسانند (۴۵ و ۴۶).

هر چند که طی دهه گذشته در سایه اندیشه‌های استاد گرانقدر عرصه سلامت، جناب آقای دکتر حسین ملک افضلی، تلاش‌های نوآورانه و بی‌همتایی جهت آشنایی جامعه با مفاهیم پزشکی مشارکتی انجام گردید و می‌رفت که این مفاهیم نه تنها در سطح چهارچوب‌های پژوهشی بلکه در گستره سلامت فراگیر شود ولی در نقشه علمی کشور به زیرساخت‌ها و نیز مفاهیم پزشکی مشارکتی و نقشی که می‌تواند در تحول نظام سلامت داشته باشد (۴۵-۴۹) اعتنایی نشده است.

در یک فراگرد کلی مقایسه نقشه علمی کشور در گستره سلامت با نقشه راه بنیاد ملی سلامت آمریکا، این حقیقت را آشکار می‌سازد که در تدوین نقشه علمی آمریکا، تغییرات پارادایمی در حوزه علم و فناوری‌های وابسته به علوم زیست پزشکی به خوبی درک شده و بر راهبردهای نقشه اثر گذاشته است (۱۷). این در حالی است که در نقشه علمی کشور ما، توجه‌ای بنیادین به تغییر پارادایم‌های اثر فناوری‌های با توان عملیاتی بالا بر عرصه پژوهش‌های زیست - پزشکی صورت نگرفته است و به پروژه ژنوم انسانی، بیولوژی سیستم‌ها و بیولوژی محاسبه‌گرایانه و نیز به ویژه به مطالعات میان رشته‌ای توجه‌ای نشان داده نشده است.

بنیاد ملی سلامت آمریکا، بهترین پروژه‌های پیش‌آهنگ را برای آغاز برنامه‌های میان رشته‌ای در انستیتوهای تحت نظارت خود به اجرا در آورده است و بسیاری از پروژه‌های پژوهشی میان رشته‌ای، در قالب کنسرسیوم‌های میان رشته‌ای برای حل مسائل پیچیده و غامض سلامت و بیماری را سامان داده است و برنامه‌هایی تربیتی و آموزشی برای آشنایی پژوهشگران در تمام مقاطع تا سطوح پسادکتر فراهم کرده و توسعه فناوری‌ها و روش‌های پیشرفته تحلیلی میان رشته‌ای را مورد حمایت خود قرار داده است. این در حالی است که هنوز در بسیاری از دانشگاه‌ها و مراکز آکادمیک پزشکی جهان، هر چند که از لحاظ فکری و تئوریک از برنامه‌های میان رشته‌ای حمایت می‌کنند ولی هنوز در چهارچوب مرزهای رشته‌ای سنتی خود دست و پا می‌زنند. چنین به نظر می‌رسد که میل سیاست‌های راهبردی پزشکی



به سوی برنامه‌های میان رشته‌ای، برخاسته از دو بینش "تفکر سیستمی" و در هم تنیدگی "فاکتورهای بیولوژیک و اجتماعی" در پژوهش‌های سلامت و بیماری باشد (۵۰).

طراحی نقشه علمی سازمان هوشمند بنیاد ملی سلامت آمریکا چنان است که پروژه‌هایی را به انجام می‌رساند که هیچ سازمان یا واحد دیگری نتواند و نخواهد توانست انجام دهد. چنین است که این سازمان، پیشگامی در پروژه‌های اکتشافی حیطه‌های نو و پایه علوم بیومدیکال را در رأس جنبش علمی هزاره جدید خود قرار داده است. از این رو این سازمان می‌خواهد جایگاه شماره یک خود را که در دوران صنعتی داشته و حامی اقتصاد کاپیتالیستی بوده است در دوران پسا سرمایه‌داری اقتصاد دانایی محور که به آن کاپیتالیسم فکری نام نهاده‌اند نیز حفظ کند. به زبان دیگر، این سازمان هوشمند کاپیتالیسم عقلانی قرن بیست و یکم، در پی آن است که برتری جویی امپریالیستی آمریکا را در حوزه‌های زیست پزشکی پاس بدارد. بنابراین شکاف در دانایی و طبقاتی شدن جوامع از دیدگاه مقیاس دانایی، رو به فزونی پرشتاب است (۱۷).

به زبان دیگر هر چند در آینده‌ای نزدیک تغییر پارادایمی پزشکی سیستمی همه گستره مراقبت‌های سلامت را در بخش‌های دولتی و خصوصی و کسب و کار و صنایع وابسته به آن را دچار تغییرات شگرف می‌کند، اما باید به این نکته نیز اشاره کرد که کشورهای جنوب و در حال توسعه که در علم "پزشکی سیستمی" آینده که به شدت دیجیتالی و فناورانه است و ارائه خدمات سلامت در ابعاد پیشگویی کنندگی به شدت بر فناوری‌های نو تکیه خواهد کرد، به عنوان مصرف‌کنندگان کالای پزشکی سیستمی محسوب شده‌اند و طراحان آینده در نظام پسا سرمایه‌داری آمریکا در سودای انتقال این کالا به قیمتی ارزان به کشورهای در حال توسعه می‌باشند و نام این حرکت را دموکراتیزه کردن پزشکی آینده نامیده‌اند (۱۲).

تنها راه فراروی ما، تدوین دقیق نقشه راه آینده کشور به شکلی هوشمندانه است و بایستی کلان روندهای حوزه علم و فناوری و نیز تغییرات پارادایمی دانش پزشکی را رصد کرده و با تدوین راهبردهای کنش‌پذیر، بنیان برافکن و مرزسکن، با پذیرش انقلاب دیجیتالی و اطلاعاتی در تمام گستره‌ها و فراهم آوردن رشد و نمو زیرساخت‌های فناوری‌های نو همانند

فناوری‌های وابسته به ژنومیکس، پروتئومیکس و امیکس‌ها، فناوری آنالیز تک سلول و فناوری‌های میکروفلوئیدیک و همانند آن، بسته‌های لازم را برای شکوفایی و به واقعیت رساندن ریشه‌ای پزشکی سیستمی در کشور و تبدیل نظام سلامت از بیمار - محور به تندرستی - محور و سیمای کنش‌گرا (۵۱) گام برداریم.

از سوی دیگر هرگز فراموش نکنیم که مفهوم توسعه پایدار که به عنوان یک آرمان در چشم‌انداز جوامع کنونی مطرح شده است، ابعاد پیچیده‌ای دارد که نیل به آن توسط ابزارهایی امکان‌پذیر است که تحلیل سیستمی را در سرلوحه کار خود قرار داده‌اند. همچنین، در اندیشه هر آینده پژوه، مفهوم توسعه پایدار به عنوان "کار آینده پژوهی" جای دارد. به زبان دیگر، آینده پژوهی همچون ابزاری برای نیل به توسعه پایدار جلوه می‌کند. در نهایت بایستی به این ادراک دست یابیم که هدف نهایی آینده پژوهی، نیل به توسعه پایدار در فضای جهانی سرشار از پیچیدگی و تغییر است (۵۲).

## منابع

- 1) Sobradillo P, Pozo F, Agustí A. P4 medicine: the future around the corner. Arch Bronconeumol 2011; 47: 35-40.
- 2) Auffray C, Chen Z, Hood L. Systems medicine the future of medical genomics and healthcare. Genome Med 2009; 1: 2.
- 3) Ahn AC, Tewari M, Poon CS, et al. The clinical applications of a systems approach. PLoS Med 2006; 3: e209.
- 4) Schadt EE, Lamb J, Yang X, et al. An integrative genomics approach to infer causal associations between gene expression and disease. Nat Genet 2005; 37: 710-7.
- 5) Butte AJ. Medicine. The ultimate model organism. Science 2008; 320: 325-7.
- 6) Yan Q. The integration of personalized and systems medicine: bioinformatics support for pharmacogenomics and drug discovery. Methods Mol Biol 2008; 448: 1-19.
- 7) Kumar D, RAO KV. Systems biology and medicine. Curr. Trends Sci 2009: 379-393.

- 8) Del Sol A, Balling R, Hood L, et al. Diseases as network perturbations. *Curr Opin Biotechnol* 2010; 21: 566-71.
- 9) Hood L, Tian Q. Systems approaches to biology and disease enable translational systems medicine. *Genomics Proteomics Bioinformatics* 2012; 10: 181-5.
- 10) Hood L, Flores M. A personal view on systems medicine and the emergence of proactive P4 medicine: predictive, preventive, personalized and participatory. *N Biotechnol* 2012; 29: 613-24.
- 11) Younesi E, Hofmann-Apitius M. From integrative disease modeling to predictive, preventive, personalized and participatory (P4) medicine. *EPMA J* 2013; 4: 23.
- 12) Hood L, Balling R, Auffray C. Revolutionizing medicine in the 21st century through systems approaches. *Biotechnol J* 2012; 7: 992-1001.
- 13) Report on European Commission, DG Research, Directorate of Health Workshop: From systems biology to systems medicine. Brussels, 14-15 June 2010.
- 14) Overview of the NIH Roadmap, NIH Roadmap for Medical Research. (Accessed 13 May 2008 at <http://nihroadmap.nih.gov/overview.asp>.)
- 15) Zerhouni EA. US biomedical research: basic, translational, and clinical sciences. *JAMA* 2006; 294: 1352-8.
- 16) Shimada J. Strategy of the National Institutes of Health (NIH) of the US to Accelerate Biomedical Research (NIH Roadmap). *Mis Quarterly* 2004; No 12: 11-5.
- 17) Nabipour I. NIH Road Map and knowledge-based development. Bushehr University of Medical Sciences Press, 2007.
- 18) Genotype-Tissue Expression (GTEx). National Institutes of Health. (Accessed 15 March 2014 at <http://commonfund.nih.gov/GTEx/overview>.)
- 19) GTEx Consortium. The Genotype-Tissue Expression (GTEx) project. *Nat Genet* 2013; 45: 580-5.
- 20) Building Blocks, Biological Pathways, and Networks, NIH Roadmap for Medical Research. (Accessed 13 May 2008 at <http://nihroadmap.nih.gov/buildingblocks/>)
- 21) Castle AL, Fiehn O, Kaddurah-Daouk R, et al. Metabolomics Standards Workshop and the development of international standards for reporting metabolomics experimental results. *Brief in Bioinform* 2006; 7: 159-65.
- 22) Ideker T, Winslow LR, Lauffenburger AD. Bioengineering and System Biology, *Ann Biomed Eng* 2006; 34: 257-264. (Accessed 25 February 2008 at <http://www.cdpcenter.org/files/pubs/ideker-bioengineering-06.pdf>.)
- 23) Sheeley DM, Breen JJ, Old SE. Building integrated approaches for the proteomics of complex, dynamic systems: NIH programs in technology and infrastructure development. *J Proteome Res* 2005; 4: 1114-22.
- 24) Zerhouni EA. Clinical research at a crossroads: the NIH roadmap. *J Investig Med* 2006; 54: 171-3.

- 25) Zerhouni E. *Medicine. The NIH Roadmap*. Science New York, NY 2003; 302: 63-72.
- 26) Zehrouni AE. *Translational and Clinical Science – Time for a New Vision*. N Eng J Med 2005; 353: 1621-3.( Access 25 February 2008 at <http://content.nejm.org/cgi/reprint/353/15/1621.pdf>)
- 27) Shi ZD, Wu H, Ruddy B, Griffiths GL. *Imaging Probe Development Center: a National Institutes of Health core synthesis resource for imaging probes*. J Biomed Opt 2007;12: 051502.
- 28) *Molecular Libraries and Imaging, NIH Roadmap for Medical Research*. (Accessed 13 May 2008 at <http://nihroadmap.nih.gov/molecularlibraries/>)
- 29) *Library of Integrated Network-Based Cellular Signatures (LINCS)*. (Accessed 15 March 2014 at <http://commonfund.nih.gov/LINCS/overview>).
- 30) *Single Cell Analysis*. (Accessed 15 March 2014 at <http://commonfund.nih.gov/Singlecell/snapshot>).
- 31) *Bioinformatics and Computational Biology, NIH Roadmap for Medical Research*. (Accessed 13 May 2008 at <http://nihroadmap.nih.gov/bioinformatics/>)
- 32) *Illuminating the Druggable Genome-Overview*. (Accessed 15 March 2014 at <http://commonfund.nih.gov/idg/overview>).
- 33) Cella D, Yount S, Rothrock N, et al. *The Patient-Reported Outcomes Measurement Information System (PROMIS): progress of an NIH Roadmap cooperative group during its first two years*. Med Care 2007;45: 3-11.
- 34) *Big Data to Knowledge*. (Accessed 15 March 2014 at <http://commonfund.nih.gov/Bd2k/overview>).
- 35) Health Ministry of I.R.Iran. *Especial Committee of health and biosciences. Health Road Map*. 2008.
- 36) Hood L, Galas D. *P4 Medicine Personalized, Predictive, Preventive, Participatory a change of view that changes everything*. (Accessed 15 March 2014 at [http://www.cra.org/ccc/files/docs/init/P4\\_Medicine.pdf](http://www.cra.org/ccc/files/docs/init/P4_Medicine.pdf)).
- 37) Bousquet J, Anto JM, Sterk PJ, et al. *Systems medicine and integrated care to combat chronic noncommunicable diseases*. Genome Med 2011; 3: 43.
- 38) Ma C, Fan R, Ahmad H, et al. *A clinical microchip for evaluation of single immune cells reveals high functional heterogeneity in phenotypically similar T cells*. Nat Med 2011; 17: 738-43.
- 39) Vermesh U, Vermesh O, Wang J, et al. *High-density, multiplexed patterning of cells at single-cell resolution for tissue engineering and other applications*. Angew Chem Int Ed Engl 2011; 50: 7378-80.
- 40) Bengoechea JA. *Infection systems biology: from reactive to proactive (P4) medicine*. Int Microbiol 2012; 15: 55-60.

- 41) Agusti A, Sobradillo P, Celli B. Addressing the complexity of chronic obstructive pulmonary disease: from phenotypes and biomarkers to scale-free networks, systems biology, and P4 medicine. *Am J Respir Crit Care Med* 2011; 183: 1129-37.
- 42) Hood L, Friend SH. Predictive, personalized, preventive, participatory (P4) cancer medicine. *Nat Rev Clin Oncol* 2011; 8: 184-7.
- 43) Tian Q, Price ND, Hood L. Systems cancer medicine: towards realization of predictive, preventive, personalized and participatory (P4) medicine. *J Intern Med* 2012; 271: 111-21.
- 44) Bradley WG, Golding SG, Herold CJ, et al. Globalization of P4 medicine: predictive, personalized, preemptive, and participatory--summary of the proceedings of the Eighth International Symposium of the International Society for Strategic Studies in Radiology, August 27-29, 2009. *Radiology* 2011; 258: 571-82.
- 45) Hood L, Auffray C. Participatory medicine: a driving force for revolutionizing healthcare. *Genome Med* 2013; 5: 110.
- 46) Hood L. Systems Biology and P4 Medicine: Past, Present, and Future. *Rambam Maimonides Med J* 2013; 4: e0012.
- 47) Schwenk TL, Green LA. The Michigan Clinical Research Collaboratory: following the NIH Roadmap to the community. *Ann Fam Med* 2006; 4 (Suppl 1): S49-54.
- 48) Macaulay AC, Nutting PA. Moving the frontiers forward: incorporating community-based participatory research into practice-based research networks. *Ann Fam Med* 2006; 4: 4-7.
- 49) Carlson B. P4 medicine could transform healthcare, but payers and physicians are not yet convinced. *Biotechnol Healthc* 2010; 7: 7-8.
- 50) Nabipour I. *Interdisciplinary theory in medicine*. Bushehr University of Medical Sciences Press, 2011.
- 51) Annual Meeting Reports. P4 Medicine (predictive, personalized, preventive, & participatory): catalyzing a revolution from reactive to proactive medicine. *Science Editor* 2012; 35: 17.
- 52) Nabipour I. *Forecasting in technology, a tool for sustainable development*. Bushehr University of Medical Sciences Press, 2010.



## فصل دوم

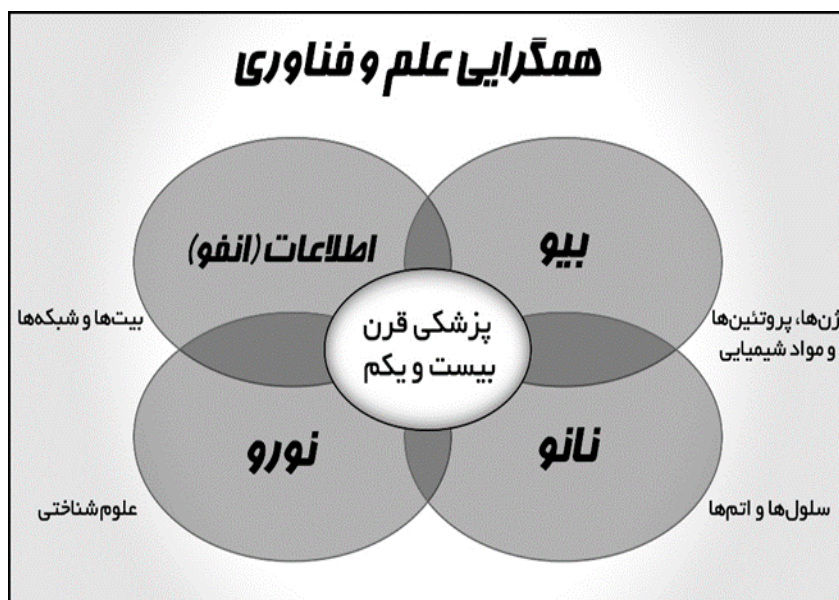
# فناوری‌های همگرا: شکل دهنده آینده پزشکی





### 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 ایمپلنت (شامل تحریک الکترونیک مغز) را در برگیرد. بنابراین، واژه فناوری‌های همگرا، یک جایگاه سنگین فرایند سیاست‌گذاری در علم و فناوری را به خود اختصاص داده است. شاید نخستین بار توجه جامعه علمی بر اساس یافته‌های همایش ژوئن ۲۰۰۲ میلادی که توسط برنامه پیش‌آهنگ نانوفناوری ملی آمریکا برگزار گردید و نتایج آن به صورت گزارشی تحت عنوان "فناوری‌های همگرا برای بهبودی کارایی انسان" پیرامون همگرایی فناوری‌های نانویی، زیستی، اطلاعات و علوم شناختی (NBIC) توسط روکو و بین‌بریج (Roco & Bainbridge) در سال ۲۰۰۳ میلادی انتشار یافت (۴-۲)، به سوی این فناوری‌ها جلب شد.



شکل ۲-۱: پیشرفت پزشکی قرن بیستم بر پایه همگرایی فناوری‌های گوناگون استوار است.

در این گزارش از پردازنده‌های زیست‌نانویی<sup>۱</sup>، خود پایشی تندرستی فیزیولوژیک و اختلال عملکردی، با به کارگیری ادوات کاشت‌نانویی<sup>۲</sup>، روبات‌های نانویی، گونه‌های گوناگون ارتباط شنیداری و بینایی بر پایه سکوه‌های چندنمایی<sup>۳</sup>، 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 کرده و برای انسان در برخورد با محیط فیزیکی، سطح ارتباط جدیدی را خلق نمایند (۱-۳).

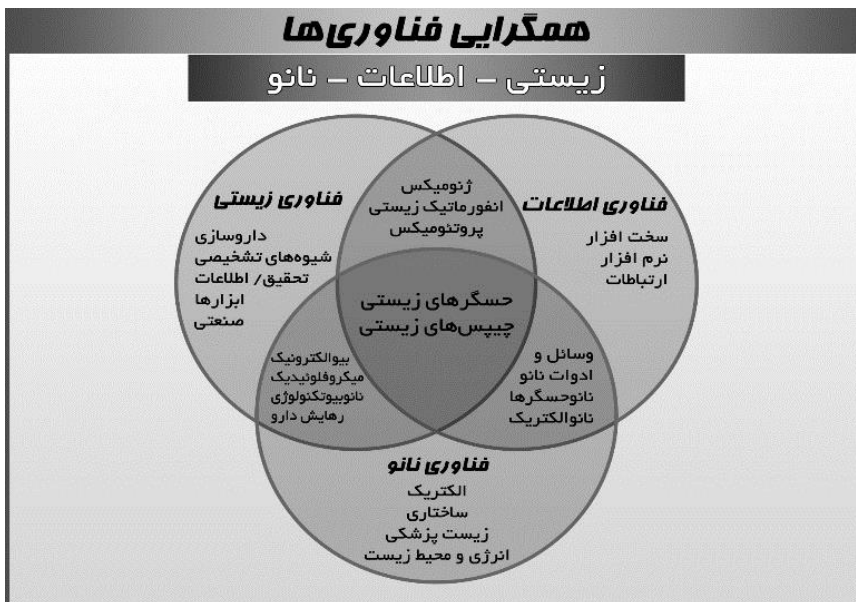
این اندیشه‌ها پیرامون دستاوردهای فناوری‌های همگرا چنان انقلابی و شگفت‌آور بود که

<sup>1</sup> Nano-Bio Processors

<sup>2</sup> Nano Implant Devices

<sup>3</sup> Multimodal Platforms

گروه ETC، بسته فناوری‌های همگرا NBIC (نانو، بیو، انفو و شناختی Cogno) را انفجار کوچک (Little Bang) نام نهاد. زیرا عناصر و بلوک‌های ساختمانی مانند بیت‌ها، اتم‌ها، نرون‌ها و ژن‌ها چنان با یکدیگر در هم آمیختگی می‌یابند که شگفتی‌های برخاسته از مهبانگ (Bang Big) را در ذهن نقش می‌بندند (۳).



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

در ترکیب سینرژیتیک NBIC، چهار عنصر نهفته است که پرشتاب‌ترین رشد را در دهه 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 دیجیتال خلق می‌نمایند. بنابراین، همگرایی فناوری‌ها فقط یک موردِ مربوط به حوزه فناوری نبوده و در حقیقت یک مفهوم توسعه‌ای می‌باشد (۵).

ابروند 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 با یکدیگر در سطح تماس قرار می‌گیرند. زن‌ها و دیگر اجزاء دارای "کد" بوده که قابل دستیابی و خواندن توسط گیرنده‌های زیستی هستند؛ اطلاعات اندیشه 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 زن‌ها 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 سایه 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 زیست زنده هوشمند 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 Frequency Identification) 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). اما اخیراً بنیانگذاران و تئوری‌پردازان همگرایی فناوری، گام را فراتر نهاده‌اند و چشم انداز ۱۰ ساله

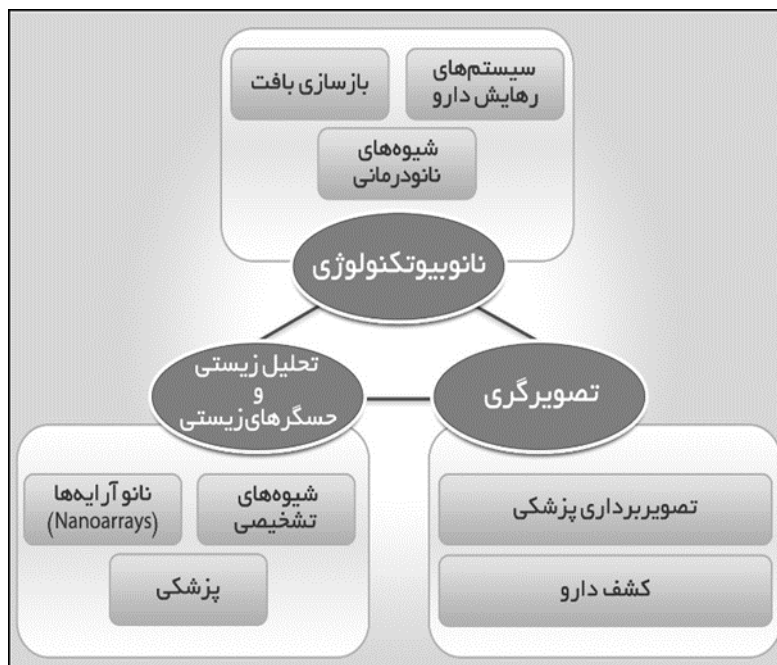
NBIC2 را در چهارچوب دراز مدت همگرایی فناوری و توسعه انسانی که در اصول یگانة NBIC در انقلاب سوم نوید داده شده بود، ترسیم کرده‌اند. به جهان نوینی مملو از اکتشاف، اختراع و نوآوری چنگ انداخته‌اند که برخاسته از همگرایی دانایی، فناوری و جامعه است. روکو و بین بریج، در این تئوری جدید، همگرایی دانایی و فناوری برای سودمندی جامعه (CKTS)<sup>۱</sup> را به عنوان هسته 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، سینرژیسیم، یکپارچگی، خلق ارزش افزوده و رسیدن به اهداف مشترک است. سیر تکامل همگرایی فناوری شامل چند هنگامه طی چند دهه 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. اما 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. پیش بینی می‌شود اثر فناوری‌های همگرا بر زندگی روزانه، به صورت خارق‌العاده‌ای سودمند باشند. همگرایی اجتماعی دارای این پتانسیل است که به صورت عظیم و کارآمدی توانمندی‌های انسان، رقابت‌پذیری در عرصه اقتصاد و امنیت زندگی را بهبود بخشد (۸).

### انقلاب سوم: همگرایی فناوری

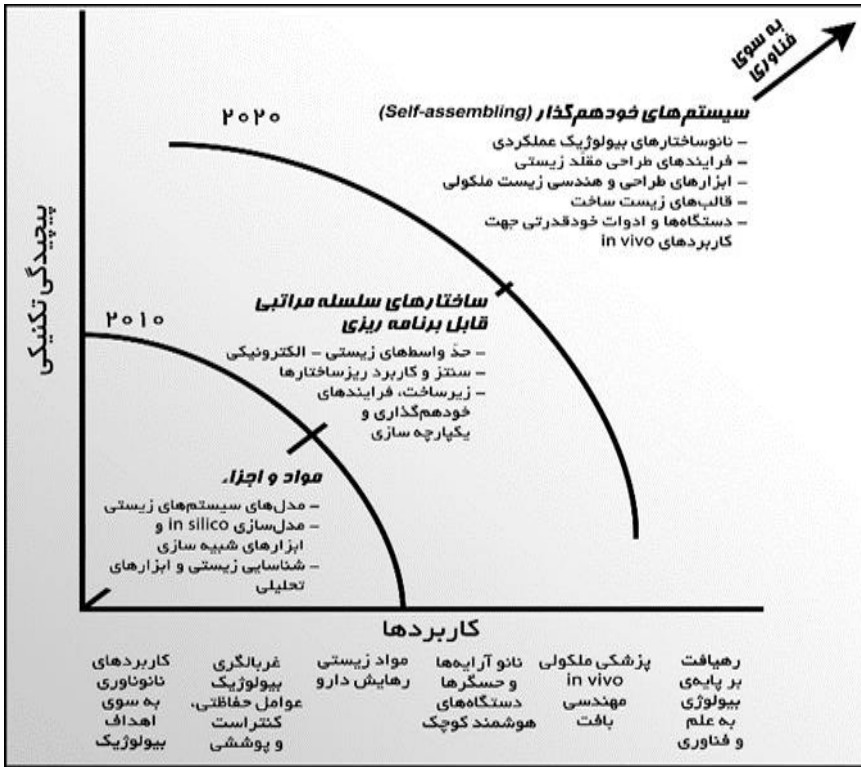
هم اکنون، بیشترین پژوهش‌های علمی هیجان‌انگیز در ترکیب بیولوژی سلولی و ملکولی با ژنومیک، مهندسی و دانش علوم فیزیکی در حال انجام است. از این رو، همگرایی فناوری، سازنده انقلاب بزرگ سوم در علوم زیستی و پژوهش‌های زیست پزشکی است.

<sup>1</sup> Convergence of Knowledge and Technology for the benefit of Society (CKTS)



شکل ۲-۳: همگرایی در فناوری‌های وابسته به پزشکی

همان‌گونه که مشاهده کردیم، همگرایی فناوری فقط به صورت 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 نتیجه یک گرده افشانی عقلانی حقیقی می‌باشد.



شکل ۲-۴: سیر تحول فناوری و کاربردهای آن در گذر زمان

هم اکنون در مراکز دانشگاهی، فضایی عقلانی و پژوهشی ویژه‌ای برای دانشمندان علوم زیستی فراهم آورده‌اند تا با دانشمندان علوم فیزیکی و مهندسی‌ها بر هم کنش نموده و با یکدیگر همکاری نمایند. بنیاد ملی سلامت آمریکا (NIH)، در این مسیر (به ویژه پژوهش‌های سرطان)، پیشگام است. برای مثال، بنیاد ملی سرطان (NIC)، هفت مرکز عالی نانوفناوری سرطان برای پژوهش‌های میان دانشگاهی و میان رشته‌ای ایجاد کرده است. این مراکز، فعالیت‌های متنوعی را شامل توسعه ادوات در مقیاس نانو برای رهاسازی دارو به صورت هدفمند و یا تشخیصی و نیز تصویربرداری غیر تهاجمی و همچنین حس‌ملکولی سرطان‌ها با تأکید بر سرطان‌های پروستات، مغز، ریه، تخمدان و روده بزرگ آغاز کرده‌اند. NCI همچنین یک مرکز یکپارچه 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 عرضه ابزارهای نوین نانوفناورانه خواهند بود (۷).

در حقیقت، مرزسکنی 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 ۲-۵: رهیافت‌های گوناگون در یکپارچه‌سازی فناوری‌ها



## آشنایی با مفهوم فناوری‌های همگرا در جدیدترین پروژه‌های MIT

### الف) چیپس با نمای عصبی<sup>۱</sup>

ریزپردازنده‌هایی 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 عمدی، شیوه‌های جدید خارق‌العاده‌ای جهت مطالعه 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" ( $10^{15}$  Petabytes) 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 پاتوفیزیولوژیک مغز، به صورت خارق‌العاده‌ای تحت تأثیر قرار خواهد داد (۱۱).

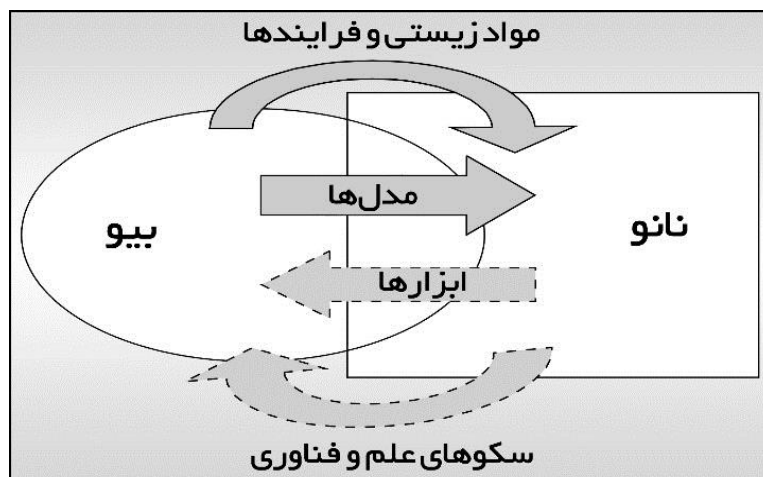
### پزشکی نانو و نانو زیست‌فناوری

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

<sup>۱</sup> Neuromorphic Chips

گاهی نیز به بیماری‌های تهدید کننده حیات منجر شوند. این ملکول‌ها و عوامل عفونی، از لحاظ اندازه در حد نانومتر هستند و ممکن است در سیستم‌های بیولوژیک توسط موانع محصور در حد اندازه نانومتری (مانند منافذ هسته‌ای در حد ۹ نانومتر) 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 ۱۰۰ 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 تصویربرداری سلولی تا درمان سرطان‌ها را پوشش دهند. واژه‌هایی همانند نانوفناوری زیست پزشکی، زیست فناوری و پزشکی نانو برای توصیف این گستره هیبرید استفاده می‌شود (۱۳).



شکل ۲-۶: بر هم کنش‌های کلیدی گستره‌های بیولوژی و نانوفناوری

یکپارچگی مواد زیستی نانویی با علم بیولوژی، موجب توسعه ادوات تشخیصی، عوامل تصویربرداری 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 (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 ملی سلامت آمریکا نیز بازتاب یافته است: "پزشکی نانو به تداخل طبی 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 زیرشاخه برای نانو پزشکی شناسایی شده است:

۱/ ابزارهای آنالیتیک

۲/ تصویربرداری نانویی

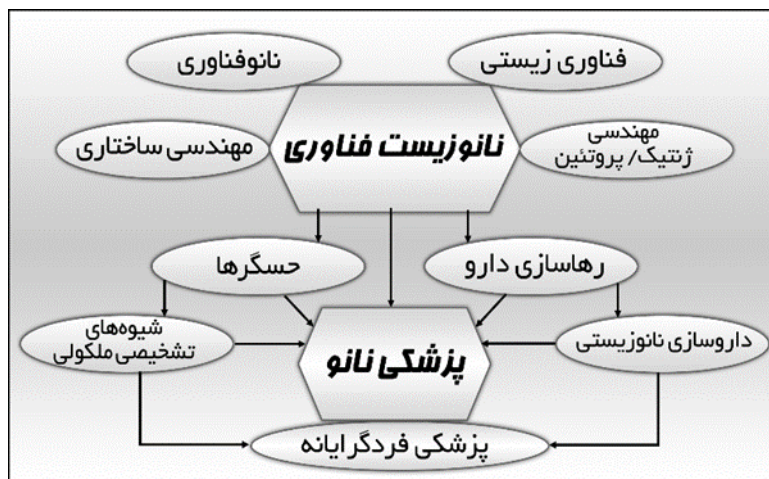
۳/ مواد نانویی و ادوات نانویی

۴/ درمان‌های نوین و سیستم‌های رهاسازی دارویی

۵/ موارد بالینی، قانونی و مسمومیت‌ها

ریچارد اسمالی (R. Smalley)، برنده جایزه نوبل شیمی از دانشگاه رایس آمریکا، پتانسیل کاربردی نانوفناوری در پزشکی و اثر تحولی آن را برای کنگره آمریکا چنین بیان کرد: "در ۲۰ سال آینده، نانوفناوری به ما داروهای ویژه 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 حوزه نانو پزشکی، شاهد معرفی ذرات نانویی شیمی درمانی بر علیه سرطان سینه مقاوم به درمان هستیم (۱۷).



شکل ۲-۷: گذار از نانو زیست فناوری به پزشکی فردگر ایانه

نانوزیست فناوری، به صورت 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 دهه 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 سکوه‌های علم و فناوری کاملاً نوینی شده‌اند که نمونه‌های آن را می‌توان در فارماکولوژی ژنومی، سیستم‌های زیستی بر روی چیپس‌ها، پزشکی بازآفرینشی، علوم اعصاب، مهندسی نورومورفیک (Neuromorphic) و سیستم‌های غذایی مشاهده کرد.

بنابراین، اثر علمی این دست‌آوردها 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 ۲-۸: فناوری نانو به عنوان "کلید" و فناوری زیستی و زیست پزشکی به عنوان "قفل" بر هم کنش دارند.

شتاب تند این دست‌آورد 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 میکروفلئوئیدیک پیش بینی نمود (۱۹) و یا این که می‌توان از مواد نانویی سیلیکایی جهت آزادسازی عوامل تمایز سلول‌های بنیادی جنینی در شرایط *in vivo* استفاده کرد (۲۰). در همگرایی فناوری‌ها نونفناوری با زیست فناوری و دانش بیولوژی و خلق پزشکی نانو، پتانسیل‌های دو طرفه‌ای برای این فناوری‌ها نهفته است. نونفناوری می‌تواند با فراهم آوردن سکوهایی فناوری و خلق ابزارها در پژوهش و دگرگونی در

سیستم‌های زیستی ما را کمک نماید و از سوی دیگر، زیست فناوری نیز می‌تواند مدل‌ها و اجزاء سرهم‌بندی شده 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 نورومورفیک، شبیه‌سازی فتوسنتزی و توسعه 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 برد) (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.

اما قلّه برجسته پزشکی نانو، نانوبوت‌هایی (Nano bots) هستند که ادوات در حد اندازه میکروب می‌باشند ولی نمی‌توانند تکثیر یابند. گونه‌ای از نانوبوت‌ها (Chromalloytes) می‌توانند وارد هسته 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 ۲-۹: کاربردهای نانو زیست فناوری

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

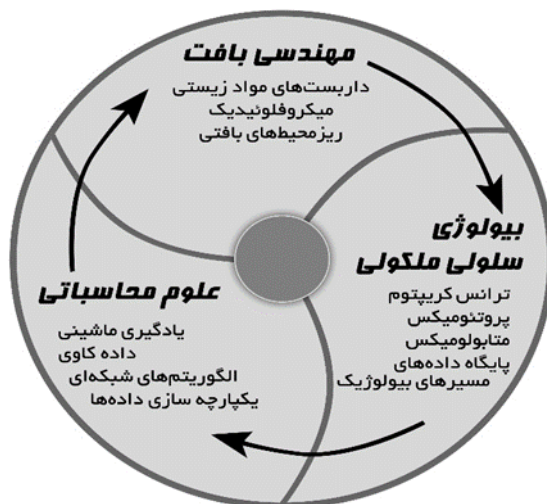
همچنین در آینده می‌توان نانوبوت‌هایی در حد دقت مطلق اتمی طراحی کرد. این حد در مافوق آن چیزی است که سلول طبیعی فعالیت خود را انجام می‌دهند. به صورت عملی، هر اتم در نانوبوت یک عملکرد ویژه را در ساختار کلی از خود نشان خواهد داد. در حقیقت "زیست سیستم‌های انسانی" به گونه‌ای کارآمد و مستقیم، که در ورای آنچه 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، کم‌کم کاربرد خود را در مطالعه 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 توسعه فناوری‌ها جهت پزشکی بازآفرینشی و تشخیص زودرس و نیز غربالگری بافتی به کار می‌روند (۲۱).

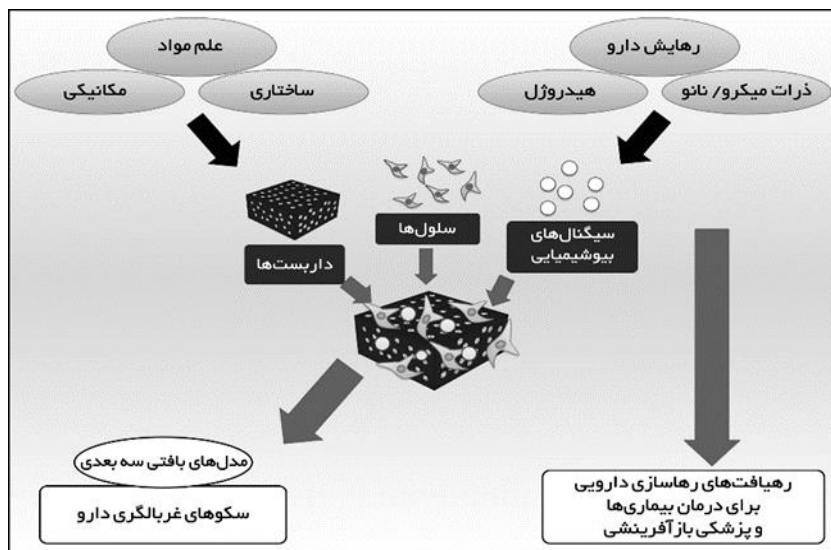
این سیستم‌های مدل بافتی چه در توسعه فناوری به کار برده شوند و چه برای مطالعه فرایندهای فیزیولوژیک یا آزمون محصول، در پیشرفت رهیافت‌های پزشکی بازآفرینی بسیار کمک خواهند کرد. این مدل‌های بافتی سه بُعدی، سرعت آزمایش داروها را افزایش داده و احتمال این که یک فرمولاسیون دارویی جدید در کارآزمایی‌های بالینی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





شکل ۲-۱۰: 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 هزینه 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* 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 میکروفلونیڈیک، بنیانی برای توسعه آزمون‌های در شرایط *in vitro* با عملکرد بالا بر پایه ارگانی فراهم آورده‌اند.



شکل ۲-۱۱: فناوری‌های پایه جهت رشد مدل‌های بافتی سه بعدی

یک پیشرفت مرز شکن 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 به صورت 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 بعدی 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 عمده متابولیسم دارو بوده و اثرات غیر قابل اجتنابی را بر سرنوشت داروها از خود بر جای می‌گذارد.

در شرایط بهینه *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 شیوه 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 *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 سکوه‌های غربالگری دارو در شرایط فیزیولوژیک‌تر امکان‌پذیر شده است. این رهیافت‌های میکروفلوئیدیک، موجب ایجاد درجه 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 پیچیده بیولوژیک چیرگی یافت.



شکل ۲-۱۲: پیوند ارگانیک سلول درمانی، مهندسی بافت و بازآفرینش بافت

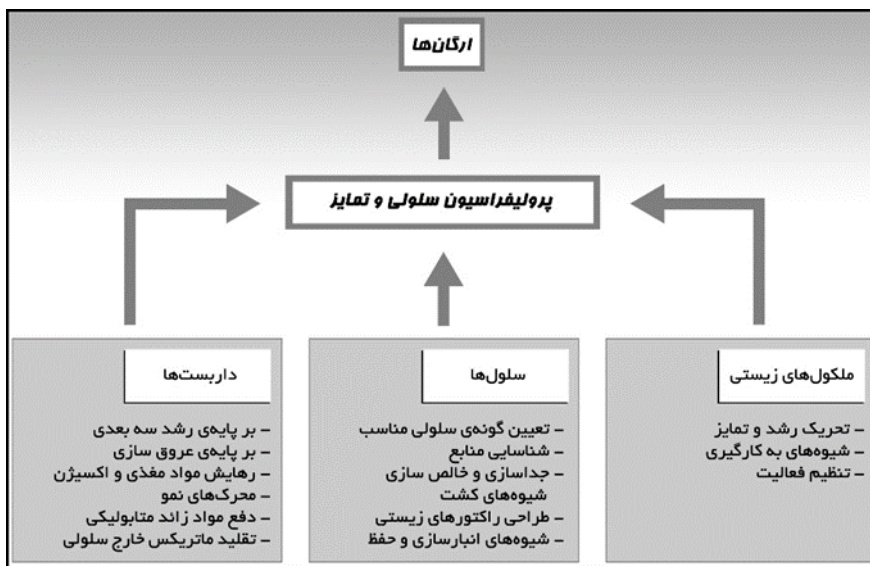
این مدل‌های ریاضی، همراه با تجزیه و تحلیل‌های تجربی، یک سیستم نیرومندی برای درک پیچیدگی‌های فیزیولوژیک عملکرد ریز ارگان در شرایط *in vitro* ایجاد کرده و رهیافت‌های نوید دهنده‌ای را برای پرداختن به بسیاری از مسائل زیستی شامل ارائه‌های ارگان بر روی چیپس جهت غربالگری دارو و مدل‌سازی بیماری، ایجاد می‌کنند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

هیپاتوسیت‌ها به صورت سه بُعدی فراهم آورد. ریزالگوسازی هیپاتوسیت‌های انسانی با فیبروبلاست‌ها و سلول‌های استرومایی دیگر، عملکرد هیپاتوسیت‌ها را بهبودی داده و تکثیر هیپاتوسیت‌ها را امکان‌پذیر نموده است. چنین تصور می‌شود که برای غربالگری پرمحتوای دارو، خلق ساختارهای سه بُعدی از سلول‌های iPS انسانی ویژه بیماری جهت مدل‌سازی in vitro که پیشگویی کننده 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 ۲-۱۳: 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. هم‌اکنون 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)، شیوه تفکرمان را پیرامون توسعه درمان تغییر داد. بر پایه 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 پرتوان برداشت شده از بیمار، امکان دسترسی بی‌انتهایی را برای نمونه‌های تازه بیماری فراهم آورده و می‌توان به شیوه مدل‌سازی بیماری با کاربرد iPSc، درمان‌های نوین قابل اعتماد و نیز مطالعات پاتولوژیک را در سطح فردگرایانه به انجام رساند (۲۵).

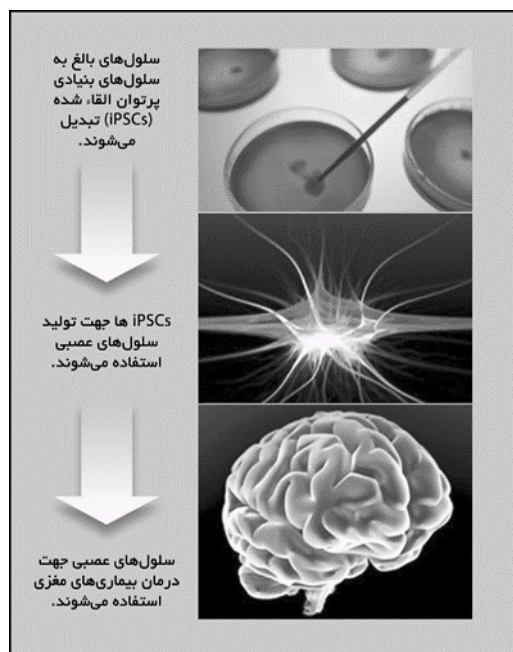
برای نمونه می‌توان به مدل‌سازی بیماری با کاربرد iPSc در قالب پزشکی فردگرایانه، به مطالعات اخیر پیرامون درمان سندرم QT طولانی زودرس، اشاره کرد. امکان رهیافت فردگرایانه به این سندرم در پیش از کاربرد iPSc وجود نداشت (۲۶).

### پزشکی بازآفرینشی<sup>۱</sup>

پزشکی بازآفرینشی یک گستره میان رشته‌ای با رشد پرشتاب و رشد یابنده مطالعاتی است که پژوهش‌های سلول‌های بنیادی، مهندسی بافت، مواد زیستی، فرایندهای بهبودی زخم و دیگر درمان‌های بیولوژیک را شامل می‌شوند (۲۷). پتانسیل برنامه‌ریزی دوباره سلول‌های خود بیمار جهت درمان‌های بیولوژیک، ترمیم بافتی و بازآفرینی برای پزشکی بازآفرینشی،

<sup>۱</sup> Regenerative Medicine

حیاتی هستند. اینگونه پیش بینی می‌شود که جهان پزشکی از ابروند 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 گستره سلول‌های بنیادی در گوگل اسکالر به بیش از دو میلیون مقاله بر می‌خوریم (۲۸).



شکل ۲-۱۴: پزشکی بازآفرینشی (Regenerative Medicine)

پزشکی بازآفرینشی یک گستره هیجان‌انگیز در پزشکی ترجمانی<sup>۱</sup> است و تلاش می‌کند

<sup>۱</sup> Translational

که نتایج پژوهش‌های علوم پایه را در سطح بالینی گسترش دهد و در دامنه 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 اعضا و گستره بالینی، تلاش می‌نماید تا شیوه‌های درمانی نوین را خلق نماید.

برای مثال، یک درمان بر پایه 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 عمده فرایندهای بیماری‌های شایع تنها در نتیجه کمبود یک پروتئین واحد نیست بلکه فرایندهای بیماری‌ها برخاسته از تغییرات، در بر هم کنش‌های پیچیده‌ای از اجزاء متنوع سلولی نهفته می‌باشند.



شکل ۲-۱۵: هرم پزشکی بازآفرینشی



در هر صورت، چالش پزشکی بازآفرینی 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 دکتترین فلسفه پزشکی معاصر پیروی می‌کنند ولی در دکتترین فلسفه آینده پزشکی، نگاه به بیماری‌ها و شیوه‌های درمانی آن‌ها (از دیدگاه مقیاس نانوفناورانه) بسیار پیچیده خواهند بود. هر چند که پزشکی بازآفرینی 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 پیش بینی رو به رو می‌شوند.

آینده‌ای را که می‌توان برای ابروند پزشکی بازآفرینی متصور شد شگفت‌انگیز است و می‌تواند نوید دهنده پیشگیری از نقایص مادرزادی، کنترل رشد غیرطبیعی 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.

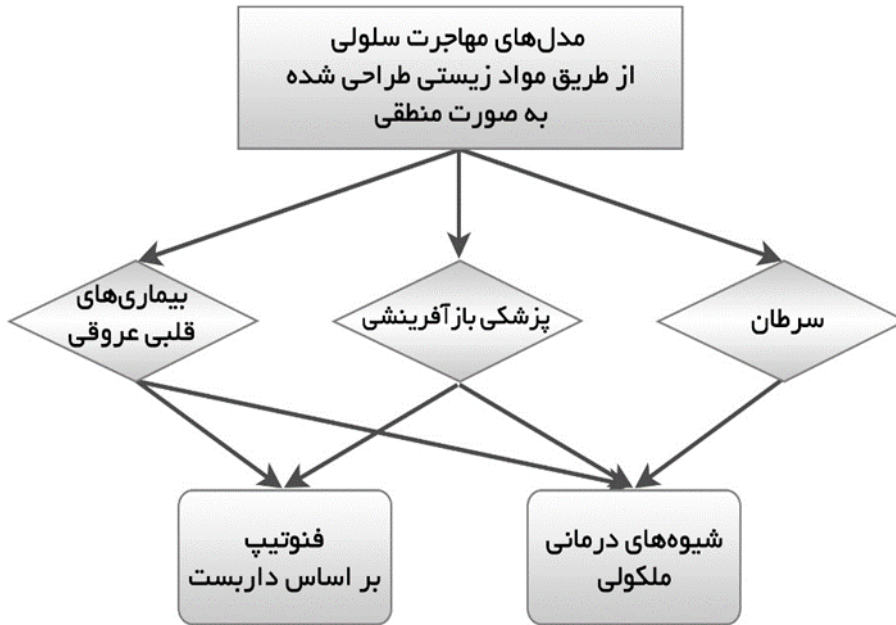
افزون بر این، کاربرد موفقیت‌آمیز الکترونیک زیستی (بیونیک) در پزشکی، با پیشرفت‌های گستره پزشکی بازآفرینی پیوند خواهند یافت (۲۹). با بنیان علمی و استوار، پزشکی بازآفرینی می‌تواند از دوران مشاهده فنومولوژیک به سوی محصولات زنده و پایدار تجاری که در بهبودی جان میلیون‌ها انسان بیمار مؤثر خواهند بود میل نماید. اما هرگز نباید فراموش کرد که در همین دوران کنونی مشاهده فنومولوژیک است که دانش بیولوژی بازآفرینی<sup>۱</sup>، تلاش می‌کند از این که 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 بازآفرینی هموار نمایند. همچنین مشاهدات و پژوهش‌ها در سطح بیولوژی بازآفرینی در کرم‌های پهن پلانارین نیز بسیار هیجان‌انگیز هستند؛ زیرا این ارگانیسم‌های پیچیده دارای تقارن دو طرفه بوده، مغز واقعی دارند و می‌توانند هر بخش از بدن خود را باززایی نمایند (۳۰).

---

<sup>1</sup> Regenerative Biology

همگام با مشاهدات فنومنولوژیک بیولوژی بازآفرینشی، آنچه قلب تپنده 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، اما کاربرد آن‌ها در پژوهش‌های علمی، از دیدگاه اخلاقی مورد کنکاش قرار گرفته است؛ اما 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 شینیا یاماناکا و یک تیم آمریکایی با سرپرستی جیمز تامپسون، گزارش کردند که به صورت 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 (به ترتیب) به چاپ رسید و دروازه 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.

از سوی دیگر، یک سوم از شرکت‌های جهانی پزشکی بازآفرینی، تمرکز خود را بر توسعه مواد زیستی گذاشته‌اند. مواد زیستی، هر ماده 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 هم‌اکنون 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 مثابه فاکتورهای رشد و سلول‌ها، تا پدیده بهبودی را تسریع کرده و به این شیوه خواهند توانست در پیوند اعضا کمک نمایند).



شکل ۲-۱۶: پیوستگی پزشکی بازآفرینشی با بیماری‌های قلبی - عروقی و سرطان‌ها

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

- مهندسی بافت استخوان

- مهندسی بافت قلب

- مهندسی بافت کبد

- مهندسی بافت قرنیه

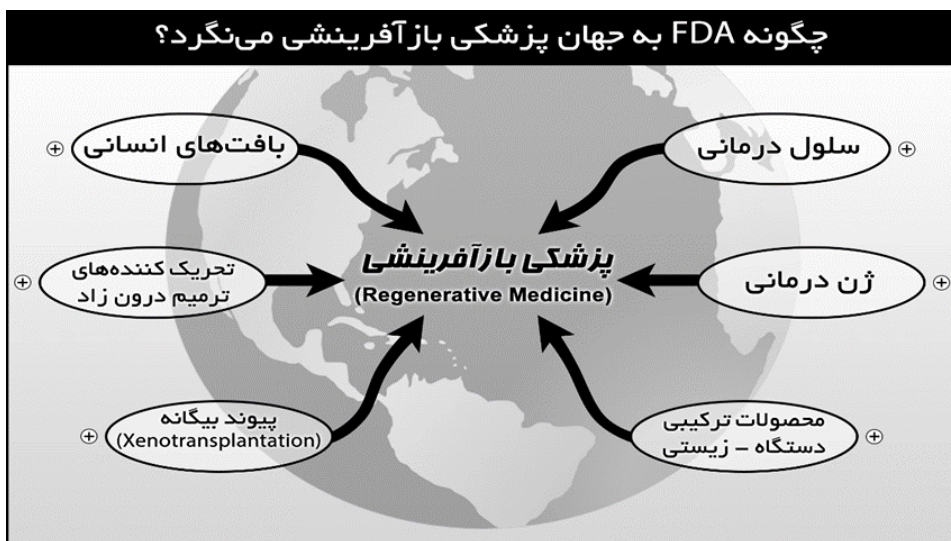
- بهبودی زخم

- بافت مهندسی شده رگ‌های خونی

- توسعه 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 اعضا و درک مفاهیم عمیق پاتوژنز بیماری‌ها نیاز است و برای گسترش و

توسعه این دامنه‌ها، نیاز است که پیوند میمونی میان دانشگاه، صنعت و قانون‌گذاران ایجاد شود (۳۲).

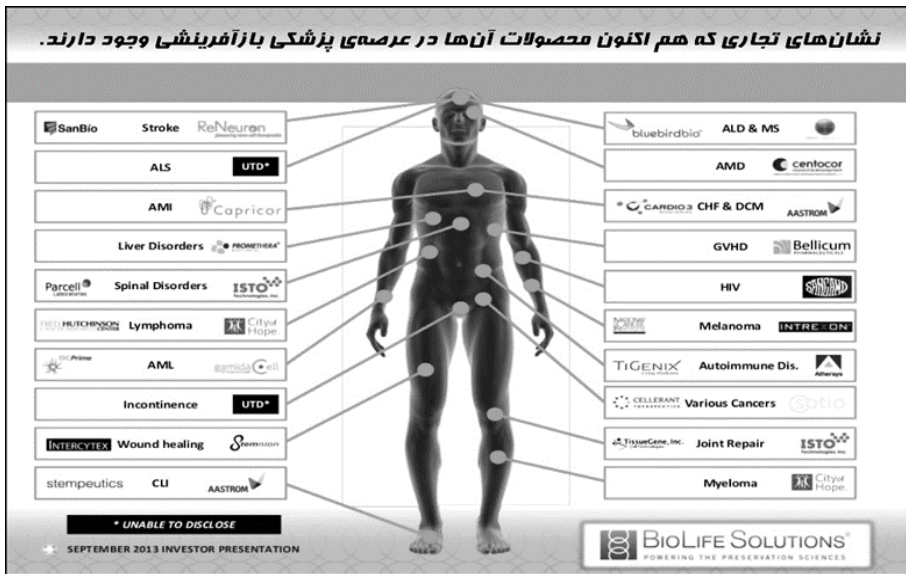


شکل ۲-۱۷: نگرش FDA آمریکا به پزشکی بازآفرینشی

سرعت پرشتاب پزشکی بازآفرینشی چنان زیاد است که می‌توان مشاهده کرد که از زمان آغاز گستره 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. پیش بینی 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)



شکل ۲-۱۸: 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 زمینه 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 زمینه چشم نیز بسیار هیجان‌انگیز بوده و هم اکنون چندین شرکت در حال انجام کارآزمایی‌های بالینی هستند (مانند درمان دژنراسیون ماکولا).

اما نقطه 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 بسازند.

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

اما هر آنچه که زمان در پیش رو داشته باشیم، مدل‌های بیماری بر پایه سلول‌های iPS، بی‌شک نوید دهنده 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 راه‌حلی برای آن‌ها وجود نداشته است، بر جامعه بشری عرضه دارد (۳۴).

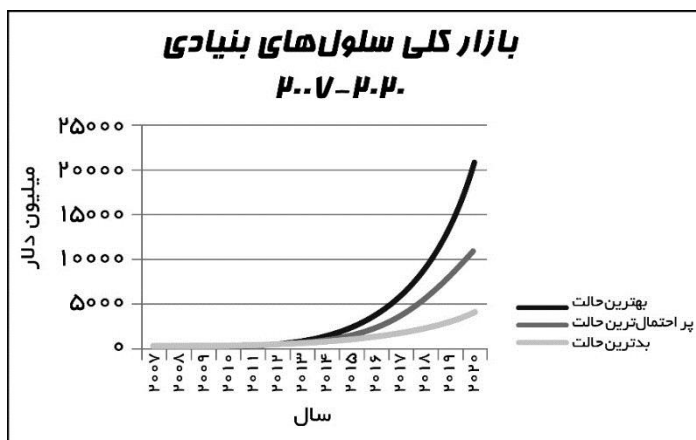


شکل ۲-۱۹: گسترده‌هایی از بیماری‌ها که پزشکی بازآفرینشی به آن‌ها نظر دارد.

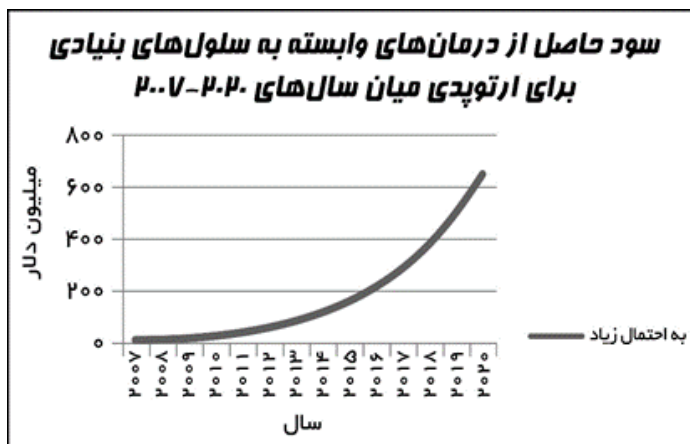
برای دستیابی به پیشرفت‌های برخاسته از ابرروند پزشکی بازآفرینشی، کشورهای پیشرفته در بالاترین مجامع تصمیم‌گیری و سیاست‌گذاری علوم و فناوری ملی خود، به تدوین راهبردها و برنامه‌های پژوهشی اقدام نموده‌اند که می‌توان از کشور ایالات متحده آمریکا نام برد که در بنیاد ملی سلامت خود مرکز پژوهش‌های پزشکی بازآفرینشی را از سال ۲۰۱۰

میلادی با هدف خدمت رسانی به عنوان منبع ملی علوم سلول‌های بنیادی جهت توسعه کاربردهای نوین پزشکی و درمان‌های بر پایه سلول، راه‌اندازی کرده است. تمرکز این مرکز پژوهشی، سلول‌های بنیادی (iPSCs) است. در آنتاریو کانادا نیز برای یافت فرصت‌های تجاری پزشکی بازآفرینشی و به دست آوردن جایگاه رهبری در تولید محصولات تجاری، بخش 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، کمیته علم و فناوری خود را جهت تدوین استراتژی این کشور در زمینه پزشکی سامان داده است (۳۴). در تدوین این استراتژی‌ها بر نظام نوآوری و ارزشی، توسعه محصول، سرمایه‌گذاری بر بخش پژوهش، چالش‌های کارآزمایی‌های بالینی، شناسایی بیماری‌های کلیدی که گستره آینده پزشکی بازآفرینشی خواهد بود، تشویق به پژوهش‌های میان رشته‌ای و نیز طراحی یک سیستم هشدار دهنده پیرامون توسعه‌های بین‌المللی در زمینه پزشکی بازآفرینشی، تأکید نموده‌اند (۳۴).



شکل ۲-۲۰: بازار فروش سلول‌های بنیادی در سناریوهای گوناگون



شکل ۲-۲۱: سود حاصل از درمان‌های بر پایه سلول‌های بنیادی، روندی پرشتاب را از خود نشان می‌دهد.

همه این تلاش‌ها که در سطح جهانی صورت می‌گیرد، نشان دهنده پتانسیل بسیار بالای پزشکی بازآفرینشی در صحنه تجاری‌سازی است. زیرا رشد سالانه بازار کلی سلول‌های بنیادی و درمان‌های وابسته، ابزارهای توسعه دارویی و بانک بند ناف، ۲۹ درصد بوده و این فناوری، بازار فروشی بیش از ۱۱ میلیارد دلار را در سال ۲۰۲۰ میلادی به خود اختصاص خواهد داد (۳۱).

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

## منابع

- 1) Technology convergence. (accessed 13 August 2014 at [http://www.haygroup.com/downloads/MicroSites/L2030/Hay\\_Group\\_Technology\\_convergence\\_2014.pdf](http://www.haygroup.com/downloads/MicroSites/L2030/Hay_Group_Technology_convergence_2014.pdf))



- 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](http://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](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; 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](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>)



## فصل سوم

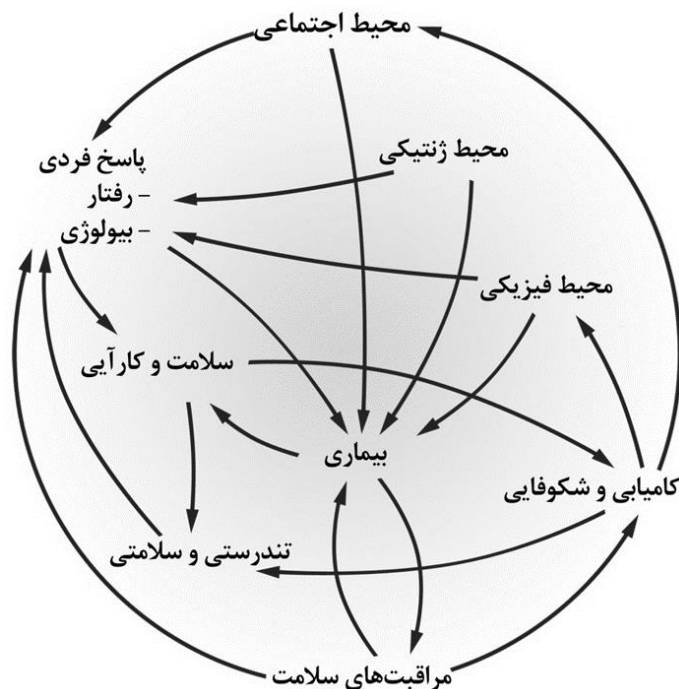
# رهیافت میان رشته‌ای در پزشکی



### مقدمه

هر چند که از دهه‌های پیش، رهیافت چند رشته‌ای در درمان بیماران، مورد توجه فلسفه درمانی پزشکی قرار گرفته بود ولی از چندی پیش، پیوستگی رهیافت میان رشته‌ای در پزشکی با چگونگی کیفیت مراقبت‌های طبی و برآوردن نیازهای متنوع و پیچیده بیماران، مورد سنجش و ارزیابی علمی قرار گرفته است (۵-۱). در این نوشتار بیش از آن که ما در جستجوی بررسی اثر تغییر راهبرد پزشکی به رهیافت میان رشته‌ای بر گستره دست‌آوردهای پزشکی در سلامت و بیماری باشیم، در پی آنیم که چرایی حرکت به سوی این رهیافت را در راهبردهای نوین پزشکی از دید تئوریک بررسی نماییم. آن‌گاه به عرصه عملی این چرخش راهبردی در سیاست‌های سلامت و بیماری بنیاد ملی سلامت آمریکا نظری خواهیم افکند.

انتخاب بنیاد ملی سلامت آمریکا بر این اساس است که نه تنها این نهاد بین‌المللی، بزرگ‌ترین نهاد پزشکی جهان است بلکه از آن رو است که این نهاد بهترین پروژه‌های پیش‌آهنگ را برای آغاز برنامه‌های میان رشته‌ای در انستیتوهای تحت نظارت خود به اجرا درآورده است و بسیاری پروژه‌های پژوهشی میان رشته‌ای، در قالب کنسرسیوم‌های میان رشته‌ای، برای حل مسائل پیچیده و غامض سلامت و بیماری را سامان داده است و برنامه‌های تربیتی و آموزشی برای آشنایی پژوهشگران در تمام مقاطع تا سطوح پسا دکترا را فراهم آورده و توسعه فناوری‌ها و روش‌های پیشرفته تحلیلی میان رشته‌ای را مورد حمایت خود قرار داده است. این در حالی است که هنوز در بسیاری از دانشگاه‌ها و مراکز آکادمیک پزشکی جهان، هر چند که از لحاظ فکری و تئوریک از برنامه‌های میان رشته‌ای حمایت می‌کنند ولی هنوز در چهارچوب مرزهای رشته‌ای سنتی دست و پا می‌زنند (۶).



شکل ۳-۱: بینش پویای سیستم مراقبت‌های سلامت

چنین به نظر می‌رسد که میل سیاست‌های راهبردی پزشکی به سوی برنامه‌های میان رشته‌ای، برخاسته از دو بینش "تفکر سیستمی" و درهم‌تنیدگی "فاکتورهای بیولوژیک و اجتماعی" در پژوهش‌های سلامت و بیماری باشد. هر چند که از مدت‌ها پیش، رهیافت میان رشته‌ای در پژوهش‌های اپیدمیولوژی، دکترین ویژه‌ای را به خود اختصاص داده بود (۶-۷). اما این در حقیقت درهم‌تنیدگی علوم اجتماعی و زیست پزشکی در پژوهش‌های سلامت است که به عنوان یک پارادایم چیره، خود را در فلسفه پزشکی نمایانده است (۸-۹).

بدین سان، دانش اپیدمیولوژی به ارائه مدل‌هایی جهت ادغام فاکتورهای اجتماعی در مطالعات سلامت و بیماری پرداخته و از پتانسیل‌های رهیافت‌های سیستمی در سلامت جامعه به بحث می‌پردازد (۹).





شکل ۳-۲: چهار گستره کلیدی در تفکر سیستمی

چنین اندیشه می‌شود که درهم‌تنیدگی رهیافت‌های اجتماعی و بیولوژیک، موجب درک علمی جامع‌تر از عوامل سلامت و بیماری گردیده و راهبردهای بنیان برافکن پیشگیری از بیماری‌ها را توسعه می‌دهد. از آن‌جا که در این اندیشه جدید، از فرآیند درهم‌تنیدگی عوامل اجتماعی و بیولوژیک یاد می‌شود و نه از میل رهیافت‌های اجتماعی به سوی پزشکی و سلامت عمومی، می‌توان چنین برداشت نمود که بی‌شک فلسفهٔ تئوریک پزشکی در یک تغییر پارادایم، میل به سوی رهیافت میان رشته‌ای را در سر می‌پروراند. بینش دیگر که همچون تکانه‌ای موجب میل سیاست‌های راهبردی پزشکی به سوی برنامه‌های میان رشته‌ای جهت بهبود سلامت مردم شده است، تفکر سیستمی است.

|                            |
|----------------------------|
| علوم و فناوری سلامت        |
| ریاضیات                    |
| فیزیک                      |
| شیمی                       |
| علوم شناختی و مغز          |
| بیولوژی                    |
| مهندسی زیستی               |
| مهندسی برق و علوم کامپیوتر |
| مهندسی شیمی                |
| مهندسی مکانیک              |
| دیگر بخش‌های مهندسی        |
| مدیریت                     |

شکل ۳-۳: پروژه‌های پیش‌آهنگ بیولوژی سیستمی و محاسبه‌گرایانه

### الف / تفکر سیستمی

امروزه علوم سلامت در پی علوم سیستمی است، همان‌گونه که ۴۰ سال پیش، پزشکی همین روند را با جامعه‌شناسی طی نمود. زیرا بینش تفکر سیستمی می‌تواند پیچیدگی‌های نیروهای علیتی را در جوامع گوناگون آشکار نموده و نیز تار و پود لایه‌های مختلف اکولوژیک و همچنین شرایط اجتماعی ارائه خدمات سلامت را نمایان سازد. بدین سان، جهت بهبود سلامت مردم، بسیار ضروری است که درک گسترده‌تری از سیستم‌های سازگار شونده پیچیده، در بُعد علت‌یابی و همچنین حل مسائل سلامت عمومی، داشته باشیم. برای مثال، پیشگیری و کنترل پاندمی آنفولانزا، به همکاری میان شاخه‌های گسترده‌ای از رشته‌ها و میدان‌های پژوهشی نیاز دارد؛ مانند نظام جهانی مراقبت برای شناسایی رخدادهای آنفولانزا، تحلیل

آزمایشگاهی سریع سویه‌های ویروسی جدید جهت توسعه درمان‌های سودمند و خلق ارتباطات گسترده و زیرساخت‌های انفورماتیک به گونه‌ای که جوامع بتوانند به صورت مؤثر خود را آماده پذیرش و واکنش نسبت به اپیدمی‌های آنفلوانزا کنند. همان‌گونه که مشاهده می‌شود این ساختار و عملکردها جهت پیشگیری و کنترل پاندمی آنفلوانزا نمایانگر یک سیستم سازگارمند پیچیده تغییرپذیر است. در حقیقت جان میلیون‌ها نفر بستگی به عملکرد این سیستم پیچیده دارد. بنابراین تفکر سیستمی رهیافتی مناسب برای پرداختن به این مسائل پیچیده‌ی سلامت می‌باشد. برای پردازش تفکر سیستمی در یک مسئله می‌بایست، چهار عملکرد روی دهد:

۱/ مدیریت دانش سیستمی: افزایش توجه به چگونگی دریافت، مدیریت، تبادل، تجزیه

و تحلیل، یک‌پارچه‌سازی و انتشار دانش جدید

۲/ توان شبکه‌های سیستمی میان رشته‌ای: تأکید بر رهیافت شبکه‌ای که تشویق‌کننده

پردازش ارتباطات میان افراد و سازمان‌ها در فراتر از مرزبندی سنتی و گستره‌ها، به منظور دستیابی به اهداف و چشم‌اندازهای مربوطه است.

۳/ روش‌های تحلیل سیستم‌های پیچیده: توسعه مدل‌ها و فرافکنی‌ها با کاربرد

رهیافت‌های تحلیلی متنوع (مانند معادلات دیفرانسیل، مدل‌سازی بر پایه عامل، مدل‌سازی پویایی - سیستم) به منظور بهبود تصمیم‌گیری‌های راهبردی

۴/ سازمان‌دهی سیستمی: به منظور تقویت و بهبود ساختار و عملکرد سازمانی بر قالب

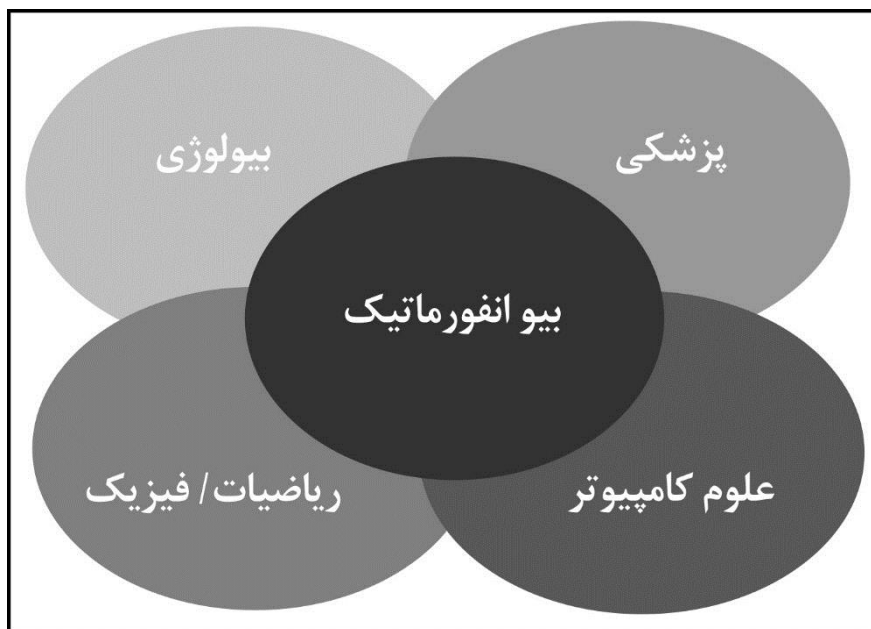
توصیف شده تفکر سیستمی. می‌بینیم که چگونه این نوع تفکر می‌تواند دانش پژوهان را از رشته‌های گوناگون گرد هم آورده تا در کشف، توسعه و تولید دانش، محصولات و خدمات جهت پیشگیری و درمان بیماری‌ها اقدام نمایند.

به زبان ساده‌تر، برای رویارویی با یک اپیدمی بیماری که جان میلیون‌ها نفر را در خطر

می‌اندازد می‌توان با یک رهیافت تفکر سیستمی به پیشگیری و کنترل آن پرداخت:

۱/ با گردآوری عمده و سریع داده‌ها از منابع گوناگون (مدیریت دانش سیستمی)

۲/ ارتباط سریع با شاخه‌های گسترده منابع (شبکه‌های سیستمی میان رشته‌ای)



شکل ۳-۴: برهم‌کنش رشته‌هایی که دانش میان‌رشته‌ای بیوانفورماتیک را می‌سازند.

۳/ علوم فرارشته‌ای به منظور درک و تحلیل داده‌ها از منابع گوناگون (روش‌های تحلیل

سیستم‌های پیچیده)

۴/ مدل‌سازی ارتباطات پیچیده میان اجزای سیستم (سازمان‌دهی سیستمی)

این چهار عملکرد برای پیشگویی و ارائه دستورالعمل‌ها برای سیاست‌گذاران جهت حفظ و ارتقای سلامت در عرصه جامعه، بسیار ضروری هستند (۶-۷). چندین گستره علمی تاکنون توانسته‌اند رهیافت‌های سیستمی متنوعی را با موفقیت توسعه داده و در رشد خود از آن‌ها استفاده کنند (مانند علم بیولوژی، مهندسی و کسب و کار).

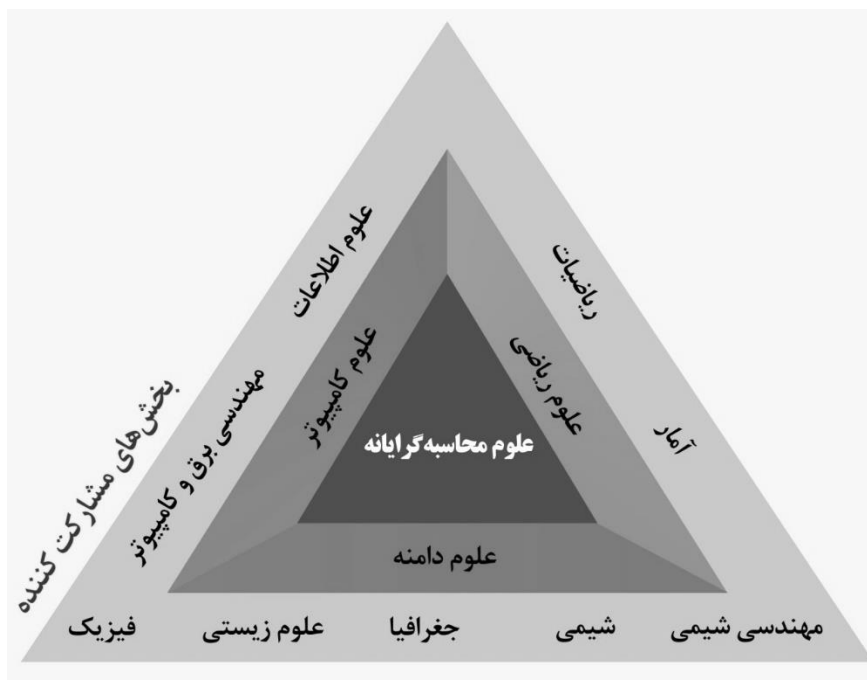
کاربرد رهیافت سیستمی می‌تواند در رهیافت میان‌رشته‌ای برای پرداختن به مسائل پیچیده سلامت نوید دهنده باشد. برای مثال، گرچه پیشرفت‌های علمی فراوانی در کاربرد روش‌های خطی انجام گردیده است ولی کاربرد روش‌های غیرخطی نیز نویدگر پیشرفت‌های آینده می‌باشد. در مقایسه با روش‌های خطی، روش‌های غیرخطی و سیستمی پویا، می‌توانند

برای پرداختن به مسائل سلامت که ویژگی پیچیدگی را از خود نشان داده و فاکتورهای رفتاری و اجتماعی نیز نقش مهمی را در آنها ایفا می‌کنند، بسیار سودمند باشند (۳).

تفکر سیستمی، رهیافتی بسیار فرادقیق برای یافت روابط غیرخطی است که روش‌های استقرایی در علم توان دریافت آنها را ندارند. بنابراین تفکر سیستمی، بینش درک ماهیت کل سیستم را امکان‌پذیر می‌سازد؛ درکی که نمی‌توان بر پایه مطالعه مجزای اجزای سیستم به دست آورد. بدین سان، تفکر سیستمی یک پارادایم است که پیوستگی‌های میان اجزای گوناگون و برهم‌کنش آنها را تحت رصد قرار می‌دهد و از این رو، خود به صورت یک پیوند دهنده میان رشته‌های گوناگون عمل نموده و از این طریق می‌تواند به حل و یا درک مسئله کمک نماید. بنابراین تفکر سیستمی نیازمند تفکر میان رشته‌ای است.

با تفکر سیستمی است که ما می‌توانیم مشاهده کنیم که چگونه تغییر در سطح افراد می‌تواند در سطح جمعیت انباشت بیابد و از این رو می‌تواند به عنوان ابزاری بسیار توانمند در علت‌یابی و مکانیسم سلامت و بیماری به کار آید.

بعضی از پژوهشگران، واژه تفکر سیستمی را با علم سیستمی و پیچیدگی (Complexity) مترادف می‌دانند. از آنجا که در بحث تئوری میان رشته‌ای به موضوع پیچیدگی پرداختیم، از این جا می‌توان دریافت که چقدر تفکر سیستمی با رهیافت میان رشته‌ای پیوستگی دارد و چرا فزونی در توجه به تفکر سیستمی توانسته است در رشد رهیافت میان رشته‌ای که خود کاتالیست رهیافت تفکر سیستمی است، مؤثر افتد.



شکل ۳-۵: علوم محاسبه گرایانه (Computational Science) از ژرفا به صورت علم میان‌رشته‌ای خود را نشان می‌دهد.

### ب/ درهم‌تنیدگی علوم رفتاری و اجتماعی در پژوهش‌های سلامت

همان‌گونه که اشاره شد، نقش عوامل رفتاری و اجتماعی در سلامت و بیماری، مؤلفه نیرومندی بود که توانست در بسط و گسترش رهیافت میان رشته‌ای در علوم پزشکی خود را نشان دهد. امروزه، رشد فزاینده‌ای در این درک حاصل شده است که ریشه بسیاری از مسائل سلامت عمومی در عوامل اجتماعی و رفتاری است. از این رو، برای شناسایی عوامل ایجاد کننده بیماری‌ها و نیز حل مسائل سلامت عمومی، می‌بایست یک همگرایی میان علوم اجتماعی و رفتاری با علوم زیستی حاصل شود.

در حقیقت یکی از روندهای پراگماتیک، در کنار تفکر سیستمی، برای پرداختن به عوامل اجتماعی و رفتاری در پژوهش‌های سلامت، رهیافت میان رشته‌ای است. به زبان دیگر،

رهیافت میان رشته‌ای، جهت فرآیند درهم‌تنیدگی پارادایم‌های زیست پزشکی، مکانیسم‌های علیتی ملکولی و فیزیولوژیک با پارادایم‌های اکولوژیک چند لایه (فرد، گروه، جمعیت، جامعه و کلان)، بهترین روند پراگماتیک است.



شکل ۳-۶: علم میان رشته‌ای عصب - آموزشی (Neuroeducation)

به زبان دیگر رهیافت میان رشته‌ای بهترین روند برای در هم تنیدن گسترده‌تر سه دامنه رشته‌ای بزرگ شامل علوم زیست پزشکی، علوم رفتار فردی و علوم در سطح گروه یا جمعیت جهان اکولوژیک، محسوب می‌شود، زیرا ساخت تصویر بزرگ (تفکر سیستمی) از فاکتورهای گسترده سلامت (بیولوژیک، رفتاری، اجتماعی و محیطی) و پرده‌برداری از پیوستگی‌ها و برهم‌کنش‌های پیچیده آن‌ها، به رهیافتی میان رشته‌ای چشم دوخته است. از

قلب چنین درهم‌تنیدگی‌هایی است که علوم و بینش‌های نوین زایش می‌یابد (مانند روان - عصب - ایمن‌شناسی، علوم اعصاب شناختی و اجتماعی و ژنتیک رفتاری).

پژوهش در زمینه استرس و سرطان، مثال بسیار عالی پیرامون نقش پیوستگی‌های میان رشته‌ای در علوم زیست پزشکی و رفتاری است که می‌توان پیوستگی‌های میان رفتار، بیولوژی و سرطان را آشکار نمود.

شواهد کافی و فزاینده‌ای بر نقش استرس، افسردگی و عدم حمایت اجتماعی در ایجاد خطر برای سرطان وجود دارد. برای مثال، شکست در ازدواج با دو برابر خطر سرطان سینه همراه بوده است و به نظر می‌رسد که افسردگی مزمن درازمدت خطر عمومی سرطان را افزایش می‌دهد. پژوهش‌های پایه در فیزیولوژی نشان داده‌اند که پاسخ استرس با فعالیت سیستم سمپاتیک - آدرنال همراه بوده که کاتکول آمین‌ها، اپی‌نفرین و نور اپی‌نفرین و گلوکوکورتیکوئیدها را آزاد می‌سازد.

به تازگی مدل‌های جانوری نشان داده‌اند که کاتکول آمین‌ها، گلوکوکورتیکوئیدها و هورمون‌های استرسی دیگر بر روی منظرهای چندگانه "ریزمحیط تومور" اثر می‌گذارند که شامل:

۱/ تغییر در منظرهای بی‌شمار عملکرد سیستم ایمنی

۲/ ارتقای رشد سلول سرطانی

۳/ مهاجرت و توانایی نفوذ سلول‌های سرطانی

۴/ تحریک رگ‌زایی با القای تولید سیتوکین‌های پروانژیوتیک

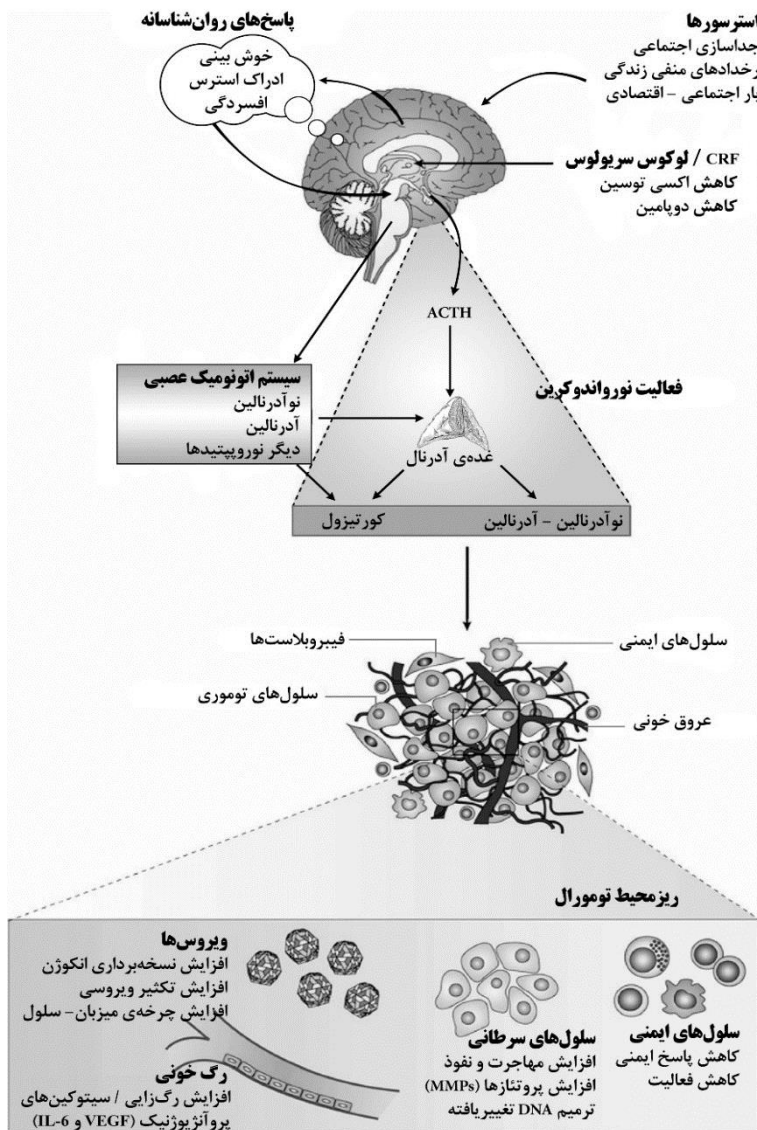
۵/ فعال‌سازی ویروس‌های انکوژن

افزون بر این، مطالعات اخیر نشان داده‌اند که منع دارویی گیرنده‌های نورآدرنرژیک بتا، از تشدید سرطان در موش پیشگیری می‌کند. بنابراین، پیام‌دهی سیستم آدرنرژیک بتا برای اثرات استرس بر روی رشد تومور در مدل‌های جانوری بسیار حیاتی است. داده‌های مشابه در انسان نیز در حال پدیدار شدن هستند.

برای مثال، نشان داده شده است که نور اپی‌نفرین موجب افزایش تنظیم فاکتور رشد



اندوتلیالی عروقی می‌شود که خود این فاکتور بر روی آنژیوژنز در خطوط سلول‌های سرطانی تخمدان انسانی حالت تحریک‌کنندگی دارند.



شکل ۳-۷: اثرات عوامل وابسته به استرس بر روی "رئز محیط تومورال"

این کاتکول آمین‌ها همچنین موجب افزایش مهاجرت سلول‌های سرطان روده بزرگ انسان می‌شوند و هر دو ماده‌ای نفرین و نوراپی‌نفرین نیز موجب برانگیخته شدن نفوذ سلول‌های سرطان تخمدان در شرایط آزمایشگاهی می‌گردند.

در یک فراگرد کلی، چنین داده‌هایی نشانگر آن هستند که یک ماتریکس پیچیده از عوامل روانی، اجتماعی و بیولوژیک در سرطان نقش بازی می‌کند که می‌تواند گستره‌ای را از محرومیت اجتماعی تا عفونت ویروسی شامل شود که خود این فرآیندها بر پیشرفت سرطان اثر دارند.

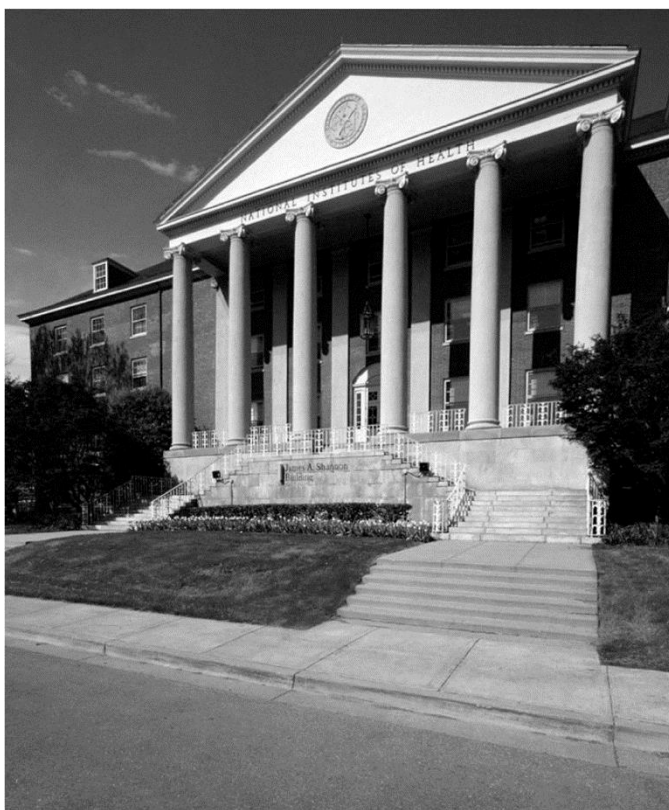
پژوهش‌های دامنه‌دار در این گستره می‌تواند منجر به تداخلات هدفمند جهت اثرگذاری بر رفتار، بیولوژی و یا هر دوی آن‌ها برای کاهش بار سرطان شوند (۱۰).

همچنین نقش برجسته عوامل اجتماعی و رفتاری در گستره سلامت و بیماری بوده که بنیاد ملی سلامت آمریکا را بر آن داشته است که با پی بردن به نقش محوری رهیافت میان رشته‌ای و روش‌های تفکر سیستمی در درک علیت سلامت و بیماری، با هدف بهبودی در تندرستی جامعه، دفتر پژوهش‌های علوم رفتاری و اجتماعی خود را جهت تحریک، یک‌پارچه‌سازی و افزایش حمایت از پژوهش‌های علوم رفتاری و اجتماعی در میان ۲۷ انستیتو و مراکز وابسته به بنیاد ملی سلامت آمریکا، بنیان گذارد. در حقیقت این دفتر در قلب بنیاد ملی سلامت آمریکا، به عنوان پیوندگاهی است جهت پژوهش‌های بنیان برافکن پیرامون عوامل رفتاری و اجتماعی که نقش عمده‌ای را در اتیولوژی، درمان و پیشگیری بیماری و ارتقای سلامت و افزایش کیفیت زندگی بازی می‌کند. از این رو، در بنیاد ملی سلامت آمریکا، بر روی روش‌ها و فناوری‌های نوآورانه و نوینی که از رهیافت میان رشته‌ای جهت در هم تنیدن رشته‌ای علمی پیرامون عوامل اجتماعی و رفتاری با دیگر رشته‌ها تلاش می‌کنند، سرمایه‌گذاری سنگینی شده است (۹).

**سیاست‌های راهبردی برای رهیافت میان رشته‌ای در بنیاد ملی سلامت آمریکا**

به صورت سنتی، پژوهش در گستره سلامت، چنان سازمان بندی شده است که

پژوهشگران را از حوزه‌های گسترده علمی گرد هم آورده و سپس آن‌ها را در بخش‌هایی مشخص بر اساس تخصص خود، جای می‌دهد. اما پیشرفت علمی در دهه گذشته و با دسترسی بیشتر به رازهای ملکولی حیات، دو واقعیت اساسی را آشکار کرده است؛ مطالعه بیولوژی و رفتار انسان یک فرآیند دینامیک است و دوم آن که تقسیم بندی سنتی در حوزه تحقیقات سلامت، در بعضی از مواقع مانع از اکتشافات علمی می‌گردد.



شکل ۳-۸: هدف بنیاد ملی سلامت آمریکا، بهبودی در سلامت مردم آمریکا با هدایت و سرمایه‌گذاری بر روی پژوهش‌های پزشکی است. این بنیاد تربیت دانشمندان را به عهده داشته و به عنوان رابط میان اطلاعات علمی گسترده سلامت و پزشکی با مردم، خانواده‌ها، ارائه دهندگان خدمات سلامت و بیماران نقش ایفا می‌کند. هدف این بنیاد در پژوهش‌های پزشکی، آشکارسازی دانش جدید در مورد پیشگیری، شناسایی، تشخیص و درمان بیماری‌ها و معلولیت‌ها است.

بنابراین، بنیاد ملی سلامت آمریکا (NIH)، به عنوان بزرگ‌ترین سازمان پزشکی جهان، در نقشه علمی خود، همچون سازمان‌های کسب و کار قرن بیست و یکمی که به بازنگری و مهندسی مجدد ساختار و فرآیندهای خود جهت حفظ برتری در رقابت جهانی دست زده‌اند، به چرخشی عظیم به سوی مدیریت دانایی، جهت خلق دانایی، اشتراک دانایی و آفرینش "سازمانی یادگیرنده و هوشمند" در پهنه اقتصاد دانایی محور قرن بیست و یکم روی گردانیده است.

این بنیاد از برون‌دادهای گردهمایی‌هایی با بیش از ۳۰۰ تن از برجسته‌ترین چهره‌های آکادمیک، صنعت، دولت و مردم، چهارچوبی را برای تدوین نقشه علمی سازمان خود برای سرمایه‌گذاری در بخش پژوهش فراهم آورد تا چشم‌اندازی را برای سامانه زاینده و مؤثر پژوهش‌های پزشکی ترسیم کند.

نقشه علمی بنیاد ملی سلامت آمریکا در سه زمینه عمده سامان یافته است که شامل گذرگاه‌های نوین برای اکتشاف، مهندسی مجدد ساختار پژوهش‌های بالینی و تیم‌های پژوهشی آینده می‌باشند.

تیم‌های پژوهشی آینده شامل پژوهش‌های پرخطر، مشارکت‌های بخش خصوصی - مردمی و پژوهش‌های میان رشته‌ای برای کنکاش و چاره‌سازی مسائل تحقیقاتی زیست - پزشکی قرن بیست و یکم در قلب نقشه علمی بنیاد ملی سلامت آمریکا، آشکار شده‌اند (۱۱).

هدف گسترده برنامه میان رشته‌ای بنیاد ملی سلامت آمریکا، تغییر فرهنگ پژوهش آکادمیک در جامعه برون دانشگاهی و همچنین در برنامه‌های برون دانشگاهی خود بنیاد است، به گونه‌ای که رهیافت‌های میان رشته‌ای تسهیل شوند. این برنامه پژوهشی شامل برنامه‌های پیش‌آهنگی است که مرزبندی بخشی آکادمیک را در درون انستیتوهای آکادمیک از میان برداشته و همکاری را میان انستیتوها افزایش داده، دانشمندی را برای ترویج تلاش‌های میان رشته‌ای تربیت نموده و پل‌هایی را میان علوم بیولوژیک و علوم رفتاری و اجتماعی برقرار می‌سازند. در یک فراگرد کلی، چنین تلاش‌هایی به منظور تغییر فرهنگ پژوهش سامان داده شده‌اند. بنابراین، رهیافت‌های میان رشته‌ای و تیم‌های علمی به عنوان رسم طبیعی هدایت

پژوهش قلمداد شده و دانشمندانی که چنین مسیری را پیگیری کنند به خوبی شناخته شده و مورد تقدیر قرار می‌گیرند.



شکل ۳-۹: میدان‌های نوآورانه جدید در مباحث تحقیقات میان رشته‌ای در چهار گستره گوناگون؛ در نقشه علمی بنیاد ملی سلامت آمریکا (NIH) بر روی دو مقوله علوم نانو و بیوانفورماتیک با یک رهیافت میان رشته‌ای توجه شده است.

### چهار گام برنامه پژوهشی بنیاد ملی سلامت آمریکا

#### الف / کنسرسیوم‌های پژوهش میان رشته‌ای

کنسرسیوم‌ها برای فراهم آوردن فضایی جهت خود پیوستگی پژوهشگران در رهیافت میان رشته‌ای مسائل پیچیده‌ی سلامت، طراحی شده‌اند. همچنین این کنسرسیوم‌ها به گونه‌ای طراحی شده‌اند تا بتوانند راهی نوین را برای بنیاد ملی سلامت آمریکا (NIH) در صحنه تجارت فراهم آورند.

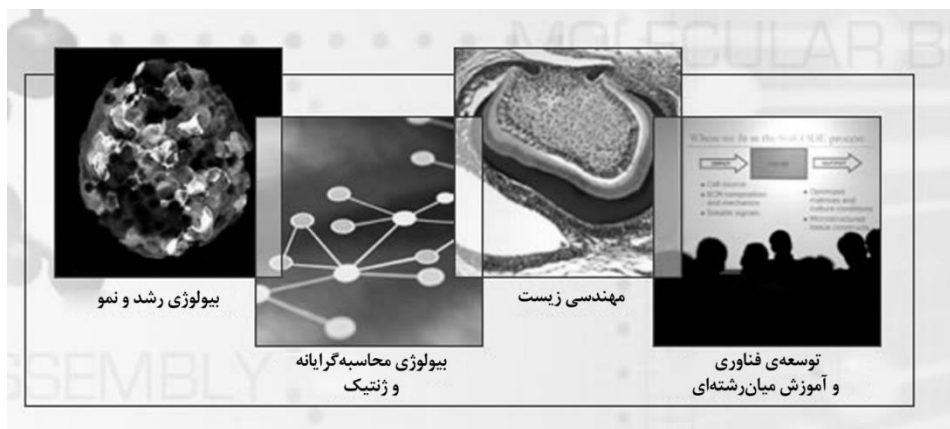
در مجموع، بر روی ۹ کنسرسیوم پژوهش میان رشته‌ای، در این برنامه پیش‌آهنگ، سرمایه‌گذاری شده است. پژوهشگران در هر کنسرسیوم، پروژه‌های پژوهشی ائتلافی، خدمات

مرکزی برنامه‌های آموزشی و ساختاری مدیریتی را توسعه داده‌اند که تضمین کننده کار مشترک اعضا به صورت آسان و پیگیری یک هدف مشترک می‌باشند. در انستیتوهایی از بنیاد ملی سلامت آمریکا که چنین کنسرسیوم‌هایی لانه گزیده‌اند، حمایت‌های مدیریتی خاصی را جهت اجرای اهداف برنامه فراهم آورده‌اند. همچنین این برنامه‌های مدیریتی، تضمین کننده آن هستند که به پژوهشگران برنامه‌های پژوهشی میان رشته‌ای ارج گذاشته شوند و مرزهای میان بخشی در بخش‌ها و یا دانشکده‌های دانشگاهی نیز نتوانند در اهداف کنسرسیوم خللی ایجاد کنند. از این رو، کنسرسیوم‌ها رسم نوینی را در برنامه مدیریتی NIH مورد آزمون قرار می‌دهند. هر چند که هر کنسرسیوم به صورت یک پروژه یک پارچه تک طراحی شده و بر هر جزء واحد به صورت جداگانه‌ای سرمایه‌گذاری شده است؛ ولی به یکدیگر پیوسته هستند. بنابراین هر کنسرسیوم با یک تیم از اعضای خود، مدیریت می‌شود که هر کدام از آنان یک جزء کنسرسیوم را تحت نظر قرار می‌دهند.

این مدیریت پیچیده چند وجهی، در هدایت مشارکت و همکاری پژوهشگران گوناگون در پروژه‌های پیچیده، خود حرکتی در NIH بوده و نویدگر ارائه ساز و کارهای نوآورانه برای افزایش مشارکت و همکاری در آینده است. هر کنسرسیوم دارای گرانت‌های چندگانه همراه خود است که در مجموع برنامه میان رشته‌ای را سامان می‌دهند (۱۰). هم‌اکنون به معرفی این کنسرسیوم می‌پردازیم.

#### ۱/ کنسرسیوم بر پایه سیستمی جهت طراحی و مهندسی عضو (sysCODE)

آسیب به ارگان‌های بدن، یک عامل عمده بیماری‌زایی در انسان است و توسعه شیوه‌های سیستمی برای تولید بخش‌هایی از ارگان جدید می‌تواند دانش پزشکی را متحول سازد.



شکل ۳-۱۰: علوم مهندسی زیستی، بیولوژی رشد و نمو، محاسبه‌گرایانه و ژنتیک در کنسرسیوم بر پایه سیستمی جهت مهندسی و طراحی عضو، نقشی محوری دارند.

هم اکنون، یک رشته واحد که بتواند دانش پیرامون ارگانوژنز، بیولوژی سلول‌های بنیادی، شبکه‌های تنظیم‌کننده ژن و مهندسی بافت را یک‌پارچه ساخته و یک چهارچوب سیستمی که بتواند مورد استفاده ساخت بخش‌هایی از عضو قرار گیرند، هنوز وجود ندارد. کنسرسیوم بر پایه سیستمی جهت طراحی و مهندسی عضو (sysCODE)، از ۲۰ دانشمند برجسته دانشگاه‌های هاروارد و بیمارستان‌های وابسته به آن، MIT، واندربیلت (Vanderbilt) و دانشگاه بوستون؛ در یک تیم جهت توسعه راه‌های جدید بازآیش (Regeneration) بخش‌هایی از عضو از سلول‌های بنیادی، سود می‌برد. جرم دندانی، سلول‌های جزیره پانکراس و دریچه قلب که سطوحی از پیچیدگی و هم‌ویژگی‌های مکانیکی، فیزیولوژیک و دینامیکی خاصی را از خود نشان می‌دهند به عنوان بخش‌های عضوی انتخاب شده‌اند. فرضیه پژوهشگران این کنسرسیوم آن است که شبکه‌های تنظیم‌کننده پویا و پیچیده‌ای که در پس رشد و نمو درون زاد عضو نهفته‌اند، می‌توانند در سطح ملکولی با در هم تنیده شدن رشته‌های گوناگون با هم آشکار شوند و این اطلاعات می‌تواند در طراحی و ساخت بخش‌های عضوی کاربرد بیابند. برنامه پنج ساله کنسرسیوم شامل:

۱/ دریافت داده‌های ژنومیک، پروتئومیک و میکرومکانیک جهت ارگانوژنز هر بخش از عضو

۲/ یک پارچه‌سازی این مجموعه داده‌ها به صورت شبکه‌های تنظیم‌کننده ژنی و

پروتئینی جامع در یک ساختار قابل دسترس

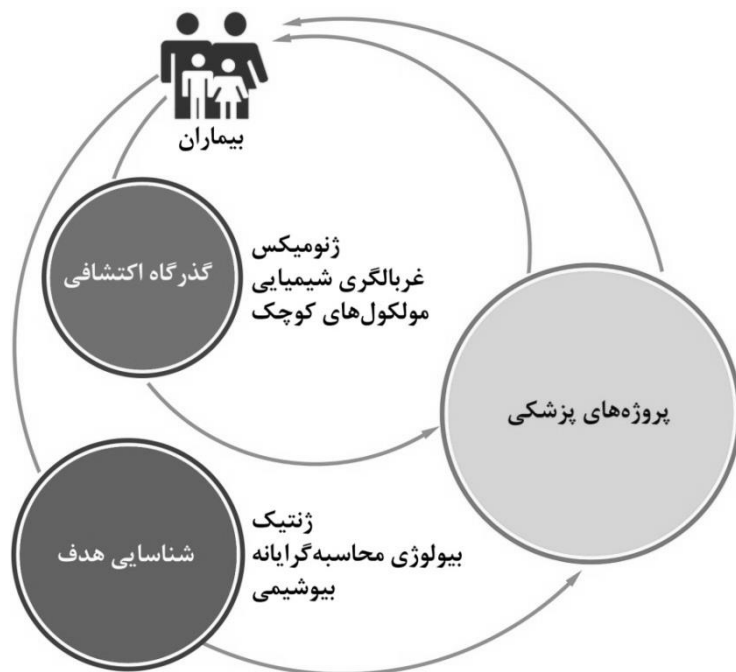
۳/ توسعه رهیافت‌های مهندسی بافت که می‌توانند از این اطلاعات، جهت ساخت

بخش‌های عضوی از سلول‌های بنیادی به کار ببرند (۱۲).

## ۲/ کشف دارو بر پایه ژنومیک انستیتو براد (Broad)

یک کنسرسیون پژوهشی میان رشته‌ای را سامان داده است که هدف آن توسعه یک پارادایم جدید جهت کشف و توسعه دارو است که با بیماران آغاز و به انتها می‌رسد. کنسرسیون از پیشرفت‌های بیولوژی انسانی (به ویژه در ژنتیک و فیزیولوژی) سیراب شده و ترکیبات شیمیایی جدید (ملکول‌های کوچک) را با روش‌های نوآورانه غربالگری فراعملکرد (High-Throughput Screening) که بر چگونگی عملکرد این ملکول‌ها بر سلول‌ها و ارگانیسم‌ها متمرکز است، ترکیب می‌کند. این اثرات عملکردی، یا فنوتیپی (سلول‌ها چگونه به نظر می‌رسند و یا چگونه رفتار می‌کنند) می‌باشند یا ژنتیکی (سلول‌ها چه ژن‌هایی را بیان می‌کنند). شیوه‌های دیگری نیز توسعه یافته‌اند که کمک می‌کنند تا پژوهشگران مکانیسم‌های عملکردی این ملکول‌های کوچک را شناسایی کرده و موارد سمیت احتمالی آن‌ها را در هنگامه‌های نخست چرخه توسعه آشکار نمایند. این شیوه‌ها برای شناسایی روش‌های جدید درمانی سرطان، بیماری‌های روانی و دیگر شرایط پزشکی پیچیده به کار می‌روند (۱۳).





شکل ۳-۱۱: کنسرسیوم میان‌رشته‌ای در انستیتو براد

### ۳/ دانش سالمندی (Geroscience)

بیماری وابسته به سن، به صورت بحث برانگیز، بزرگ‌ترین تک چالش زیست پزشکی در سده ۲۱ است. سالمندی مهم‌ترین عامل خطر برای بیماری در کشورهای توسعه یافته است و در نتیجه اثر اقتصادی و اجتماعی سترگی را از خود بر جای می‌گذارد. توانایی ما برای رویارویی با بیماری‌های وابسته به سن، با عدم درک ما از اصول و مکانیسم‌های سالمندی، به مخاطره می‌افتد. سالمندی مسئله زیست پزشکی پیچیده‌ای است که به نظر نمی‌رسد که بتوان با آن با روش‌های پژوهشی سنتی برخورد کرد. در یک رهیافت میان رشته‌ای، انستیتو باک (Buck) برنامه‌های خود را بر روی سطح تماس (Interface) پدیده سالمندی طبیعی و بیماری‌های برخاسته از سالمندی متمرکز کرده است. از این رو، رهیافت‌های تجربی پیرامون این که چگونه مکانیسم‌های اساسی پیری به رخداد‌های نخستین

بیماری‌های نورولوژیک و سرطان وابسته به سن منتهی می‌شوند، در این انستیتو ترکیب می‌گردند. در این کنسرسیوم که به دانش سالمندی اختصاص دارد، همکاری در موارد زیرین انجام می‌شود:

۱/ درک مکانیسم‌های چگونگی امتداد طول زندگی در ارگان‌های مدل با دیدگاه

مبتنی بر توسعه تداخلات جهت ارتقاء سلامت سالمندی

۲/ توسعه یک برنامه پژوهشی میان رشته‌ای بر روی پیوستگی سالمندی - بیماری با

تأکید بر روی سرطان

۳/ بررسی اثر رویدادهای احتمالی (Stochastic) در سالمندی

۴/ تربیت پژوهشگران پسا دکترا در دانش سالمندی

میل دموگرافیک به سوی جمعیت کهن سال، به صورت یک چالش بسیار چشمگیر در

ارائه خدمات سلامت نمود پیدا کرده است. هدف این کنسرسیوم، توضیح این است که چرا

سالمندی یک عامل مهم در بیماری انسان است. برآورد می‌شود که با مطالعه مکانیسم‌های

ژرف سالمندی، درک بیماری نیز پدیدار گردد. چنین اندیشه می‌شود که این روند به مسیرهای

جدیدی جهت پیشگیری یا درمان بیماری‌هایی همچون آلزایمر، پارکینسون و یا سرطان

منتهی می‌شود (۱۴).

#### ۴ / کنسرسیوم مهندسی ژنوم شمال غربی

پیشرفت‌های فناوری این امکان را به دانشمندان سراسر جهان داده‌اند که از اسرار ژن

پرده بردارند. از این رو، دانشمندان توانسته‌اند چگونگی کارکرد تمام انواع زیستی را مشخص

نمایند. در کنسرسیوم مهندسی شمال غربی بر روی مرز برتر دیگری در بیولوژی کار می‌شود؛

این که چگونه این ژن‌ها را به شکل دقیقی تغییر داد. کار این کنسرسیوم، دانشمندان را توانا

می‌کند که ژن‌های معیوب و بیماری‌زا را اصلاح و یا ژن‌ها را برای افزایش فرآیندهای زیست

فناورانه (مانند تولید غذا یا سوخت زیستی) تغییر دهند (۱۵).

## ۵/ کنسرسیون سرطان - باروری (Oncofertility) نگهداشت باروری زنان

به دلیل پیشرفت‌های درمانی، میزان بقاء در بیماران سرطانی جوان طی چهار دهه گذشته، به صورت یکنواختی افزایش یافته است. امروزه زنان و نیز مردان، چشم به راه زندگی پس از درمان سرطان هستند؛ اما ناباروری در نتیجه خود بیماری و یا درمان‌های وابسته، چالشی در فرارو است.

این کنسرسیون برای پرداختن به مراقبت‌های پیچیده سلامت و موارد کیفیت زندگی که مورد نظر بیماران جوانی که ممکن است باروری آن‌ها در نتیجه سرطان و یا درمان‌های وابسته به مخاطره افتد، طراحی شده است.

|   |   |
|---|---|
| خوشه‌ای از نشانگان که با یکدیگر روی داده و سندرم می‌نامند (مانند شیزوفرنی)                        | <b>سندرم</b>                            |
| گزارش خود بیمار و نیز قضاوت بالینی مسایل رفتاری را نشانگان می‌نامند.                              | <b>نشانگان</b>                          |
| فعالیت سیستم عصبی که در زیرتنوعی از عملکردهای مغزی قرار دارند (مانند ادراک، شناخت، هیجان)         | <b>فنوتیپ شناختی</b>                    |
| سیستم‌های سلولی که چنان سازماندهی شده‌اند تا سیستم‌های پیچیده و شبکه‌های عصبی را در مغز شکل دهند. | <b>سیستم عصبی</b>                       |
| گروه‌های سلولی انباشته شده‌اند تا سیستم‌ها و مسیرهای پیام‌دهی و متابولیک را سامان دهند.           | <b>سیستم سلولی<br/>مسیرهای پیام‌دهی</b> |
| پروتئین‌ها: اجزای ساختمانی سلول‌ها، آنزیم‌ها و دیگر پروتئین‌ها (به ویژه اگر در مغز بیان شوند)     | <b>پروتئوم</b>                          |
| سه میلیارد جفت باز در ژنوم انسانی (کد کننده‌ی پروتئین‌ها)   | <b>ژنوم</b>                             |

شکل ۳-۱۲: توسعه نظریه‌های مکانیستی چند لایه: از ژنوم تا سندرم

کنسرسیوم سرطان - باروری یک پروژه پیش‌آهنگ میان رشته‌ای ملی برای بررسی آینده تولید مثل زندگی یافته‌گان سرطان است. این کنسرسیوم نماینده شبکه ملی، میان رشته‌ای و میان تخصصی، دانشگاهیان و متخصصین پزشکی است که پیوستگی میان سلامت، بیماری، بقا و باروری را در بیماران سرطانی جوان مورد پژوهش قرار می‌دهند. پیامد کار آن‌ها ممکن است که به بیماران دیگری که با تشخیص‌های بیماری‌های جدی دیگری درگیر هستند و می‌بایست تحت درمان‌های تهدید کننده باروری قرار گیرند نیز قابل گسترش است (۱۶).

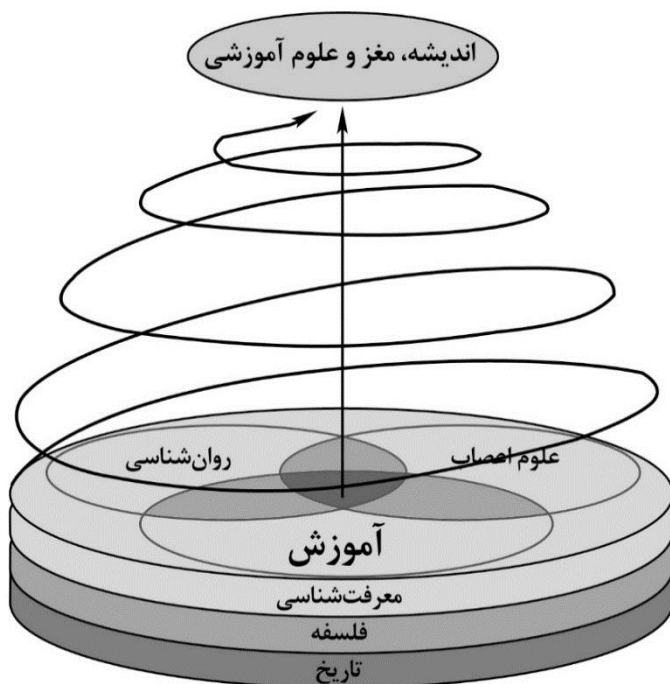
### ۶ / کنسرسیوم فنومیکس (Phenomics) عصب - روانپزشکی

این کنسرسیوم با هدف توانایی ایجاد دست‌آوردهای مرز شکن در درک مغز و رفتار، شکل‌دهی شده است و در جستجوی پیوستگی‌های نوینی میان آن دو است. برای نیل به چشم‌انداز پروژه ژنوم انسانی، تلاش‌های چشمگیری برای پیوسته کردن ژنوتیپ با فنوتیپ (بیان بی‌شمار ژنوتیپ در سطوح ملکولی، سلولی و سیستم‌های پیچیده) مورد نیاز است. فنومیکس یک فرارشته نوپدید است که هدف آن مطالعه سیستمی فنوتیپ‌ها است. برای پژوهش فنوتیپ‌ها در ورای سطوح، از ژنوم به سندرم، یک تیم با بیش از ۵۰ پژوهشگر که بیشتر آن‌ها در UCLA هستند، ساماندهی شده است.

این تیم بر روی فنوتیپ‌های شناختی (به ویژه حافظه و کنترل تکانه) متمرکز شده است؛ زیرا این‌ها با رفتارهای غیرسازش کارانه و سلامت انسان پیوستگی دارند و می‌توان آن‌ها را با ابزارهای علمی علوم پایه تحت بررسی قرار داد.

این کنسرسیوم رشته‌های گوناگون را توسط موضوع‌های مشترک، از ورای گونه‌ها و از ورای چندین سندرم عصب - روانپزشکی پیوند می‌دهد. به این صورت که در این کنسرسیوم، بررسی ژرف فنوتیپی مغز و رفتار انسان برای "همبستگی گستره ژنومی" (Genome-Wide Association) به دستکاری‌های ملکولی پایه و مطالعات فیزیولوژیک دیگر گونه‌ها پیوند داده می‌شود. همچنین کنسرسیوم، ابزارهای فناوری نوین اطلاعات (انفورماتیک)

را برای پیوند دادن مفاهیم و در نتیجه مشخص کردن، تصویرسازی و آزمودن فرضیه‌ها پیرامون پیوستگی‌های ژنوتیپ - فنوتیپ فراهم می‌آورد. اعتقاد بر این است که کنسرسیونوم، درک اساس بیولوژیک رفتار را پیشرفت داده و به عنوان مدلی برای علوم فرارشته‌ای در گستره‌ای از مسائل پیچیده زیست پزشکی نقش ایفا خواهد کرد (۱۷).

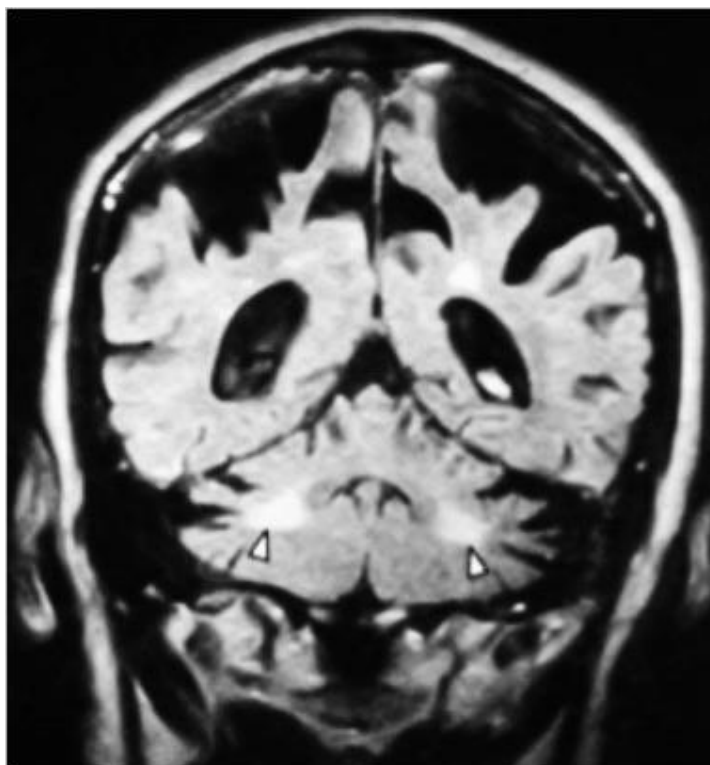


شکل ۳-۱۳: زیرساخت‌های علم میان‌رشته‌ای عصب - آموزشی

### ۷/ انسیتیتو پژوهشی عصب - درمان‌شناسی

انسیتیتو پژوهشی عصب درمان‌شناسی، یک کنسرسیونوم پژوهشی میان رشته‌ای است که هدف اصلی آن توسعه درمان‌های هدفمند برای بیماری‌های نوروتنتیک بر پایه عوامل ملکولی آن‌هاست. پارادایم پژوهشی برای این کنسرسیونوم، سندرم X شکننده توآمان با ترمور/ آتاکسی (FXTAS) می‌باشد که موجب مسائل تعادل، لرزه و حافظه در بعضی از افراد

بزرگسال حامل پیش موتاسیون گستره‌های تکرار CGG (تکرارهای ۲۰۰-۵۵) در ژن X شکننده (Fragile X) می‌شود. گستره‌های بزرگ‌تر (موتاسیون کامل) در همین ژن موجب سندرم X شکننده می‌شود که به شکل اختلال شناختی وراثتی و نیز شکل شناخته شده ژنتیکی اوتیسم (Autism) منتهی می‌شود. با این وجود، FXTAS و سندرم X شکننده از مکانیسم‌های ملکولی جداگانه برمی‌خیزند: توکسیستی RNA منتهی به FXTAS و خاموش‌سازی ژن، به سندرم X شکننده می‌انجامد.



شکل ۳-۱۴: تصویر MRI از مغز یک فرد دچار FXTAS

توان FXTAS به عنوان مدل برای بیماری‌های دژنراسیون عصبی از آن جاست که ژنی که این بیماری را موجب می‌شود، شناخته شده است. بدین سان، بسیاری از ویژگی‌هایی که

FXTAS به صورت مشترک با دیگر بیماری‌های دژنراسیون عصبی با آغاز تأخیری (مانند آلزایمر و پارکینسون) دارد را می‌توان توسط مدل‌های جانوری و سلولی تعریف شده تحت مطالعه قرار داد. چنین مدل‌هایی موجب ایجاد کشف تحول برانگیزی شده است. به این صورت که رویدادهای ملکولی که موجب FXTAS می‌شوند، در حقیقت در هنگامه‌های اولیه رشد و نمو روی داده و از این رو، احتمالاً می‌توان مسائل شناختی و رفتاری را در بعضی از کودکان حامل پیش موتاسیون توضیح دهد. چنین مشاهداتی کاربردهای عملی عمده‌ای برای درمان دارند. این کنسرسیوم برای نیل به هدف اصلی خود، یک تیم پژوهشی بسیار یک‌پارچه را دارد که بیش از سی پژوهشگر رشته‌های گوناگون مانند شیمی، نوروفیزیولوژی سلولی، متخصصین کودکان در زمینه رشد و نمو، رفتار موش، تصویربرداری عصبی، نورولوژی، روانپزشکی و علوم اعصاب شناختی را شامل می‌شوند.

کنسرسیوم از پارادایم FXTAS برای پرداختن به پنج پرسش اساسی که در درک هر بیماری دژنراتیو عصبی یا بیماری عصبی رشد و نمو، نقش مرکزی را دارند، استفاده می‌برد:

- ۱/ چگونه یک بیماری مشخص و تعریف می‌شود؟
- ۲/ چگونه می‌توان مناسبت مدل‌های جانوری یا سلولی را ارزیابی کرد؟
- ۳/ چگونه می‌توان به صورت کارآمد، مواد درمانی را به مغز هدایت کرد؟
- ۴/ چگونه می‌توان کارآمدی درمان را سنجید؟
- ۵/ چگونه تنوع در مکانیسم‌های ملکولی، تغییرات مشخصی را در ساختار و عملکرد مغز خلق می‌کند؟ (۱۸)

## ۸/ کارگروه پژوهش‌های چاقی در جنوب غربی

چاقی و بیماری‌های همراه (بیماری‌های قلبی، دیابت، فشارخون بالا و کبد چرب) نقش مهمی را در مرگ و میر و ناتوانی در ایالات متحده آمریکا دارند. برای یافتن درک جامع از عواملی که ایجاد چاقی و عوارض همراه آن می‌کند، یک تیم میان رشته‌ای با حضور خبرگان دانشگاه تگزاس جنوب غربی گرد هم آمده و این کارگروه را بنیان گذاشتند.

در این کارگروه، بیش از سی پژوهشگر خبره از رشته‌های بسیار متنوع، با هدف ترسیم مکانیسم‌های رفتاری، متابولیک، ژنتیک و سلولی که به ایجاد چاقی و بیماری‌های وابسته به آن منتهی می‌شود، حضور دارند.

مطالعات این کارگروه، بینش‌های مورد نیاز را پیرامون ملکول‌ها و مسیرهای بیولوژیک کلیدی که تنظیم‌کننده متابولیسم هستند را فراهم کرده و این اطلاعات به توسعه رهیافت‌های نوین جهت پیشگیری چاقی و درمان عوارض متابولیک این بیماری، کمک می‌کنند (۱۹).



شکل ۳-۱۵: بیولوژی سیستم‌ها به مطالعه ژن‌ها یا پروتئین‌ها به صورت منفرد نمی‌پردازد، یعنی کاری که بیولوژی سنتی طی ۳۰ سال گذشته انجام داده است، بلکه رفتار و ارتباطات تمام عناصری که در یک سیستم بیولوژیک حکم‌فرما هستند را در حین فعالیت مطالعه می‌کند.



### ۹/ کنسرسیوم پژوهشی میان رشته‌ای پیرامون استرس، خود کنترلی و اعتیاد

این کنسرسیوم نشانگر آن است که یک پیوستگی آشکار میان سلامت فیزیکی و روانی وجود دارد و استرس به صورت جانبی بر روی هر دو اثر می‌گذارد. پژوهش‌ها همچنین نشانگر آن هستند که افراد با مسائل جدی سلامت روانی و اعتیاد، تحت بیماری‌های مزمن قرار گرفته و در سنین پایین‌تر از جامعه می‌میرند. استرس همچنین بر عادات اعتیاد با دخانیات، مصرف زیاد الکل و پرخوری با غذاهای پرچرب که با خطر بیماری‌های مزمن و نرخ بالای مرگ و میر همراه هستند، اثر خود را بر جای می‌گذارد.

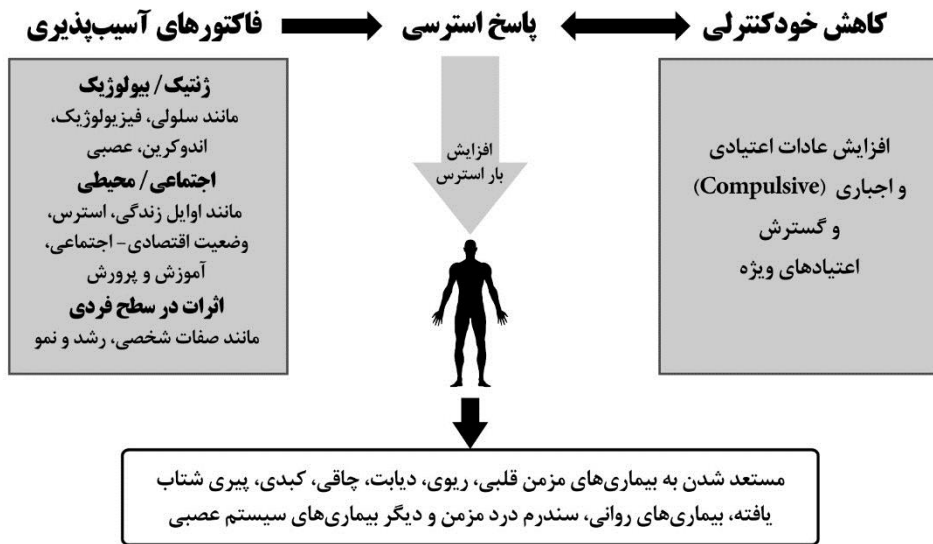
بنیاد ملی سلامت آمریکا بر روی یک کنسرسیوم پژوهشی میان رشته‌ای بزرگی، جهت بررسی استرس، خود کنترلی و اعتیاد، سرمایه‌گذاری نموده است تا بتواند با درک و درمان استرس و عادات بد، به کاهش خطر بیماری‌های مزمن بپردازد.

۵۰ دانشمند برجسته که پژوهش‌هایی را در این گستره در تعدادی از انستیتوهای بنیاد ملی سلامت آمریکا انجام می‌دهند، از ۲۰ رشته گوناگون در پنج دانشکده (پزشکی، هنر و علوم، مدیریت، پرستاری و سلامت عمومی) و سه انستیتوی آکادمیک، در یک تیم، به همکاری با یکدیگر می‌پردازند تا:

- ۱/ مکانیسم‌های پشت پرده ایجاد اثرات وابسته به استرس بر روی خود کنترلی در رفتارهای اعتیادی دخانیات، مصرف الکل و پرخوری را شناسایی کنند.
- ۲/ مکانیسم‌های خود کنترلی در پاتوفیزیولوژی استرس مزمن و اعتیاد را بررسی کنند.
- ۳/ راهبردهای اجتماعی، رفتاری و دارویی جهت افزایش خود کنترلی و کاهش رفتارهای اعتیادی را توسعه دهند.

### ب/ پروژه‌های پیش‌آهنگ تربیتی پژوهش میان رشته‌ای

این پروژه‌ها برای ارائه نظام آموزشی و تربیتی میان رشته‌ای جهت پژوهندگان در تمام مقاطع طراحی شده‌اند. بنابراین پژوهشگران تربیت شده در یک رشته، این فرصت را می‌یابند تا رشته جدیدی را فراگرفته و آن چه می‌آموزند را با آن چه آموخته‌اند در هم آمیخته و به رهیافت‌های میان رشته‌ای جدیدی رهنمود شوند.



شکل ۳-۱۶: مکانیسم‌ها، پیشگیری و درمان اثرات استرس بر روی خودکنترلی و اعتیاد

دو کوشش عمده برای آموزش پژوهشگران جهت پژوهش میان رشته‌ای در دست اجرا است. برنامه پژوهشی سلامت میان رشته‌ای، انستیتوهای تحت نظر بنیاد ملی سلامت آمریکا را قادر می‌سازد که برنامه‌های تربیتی پسا دکترا را توسعه داده تا بتوانند تربیت رسمی خود را در قالب درسنامه و پژوهش، در یک گستره میان رشته‌ای جدید، برای کسانی که در یک رشته کاملاً متفاوت درجات بالایی را اخذ کرده‌اند، ارائه دهند. این برنامه‌های تربیتی، علوم رفتاری و یا علوم اجتماعی را با پژوهش‌های علوم زیست پزشکی سنتی‌تر در هم می‌آمیزند. افزون بر این، این برنامه آموزش پایه در مقاطع اولیه‌تر، علوم اعصاب را تحت حمایت خود قرار می‌دهد. برنامه دیگر با عنوان تربیت برای نیروی کار جدید میان رشته‌ای، دانشمندان در تمام سطوح تا پسا دکترا را تحت حمایت قرار می‌دهد (۲۰).

### ج/ نوآوری در فناوری و روش‌های میان رشته‌ای

این پروژه پیش‌آهنگ، برای پیشرفت در درک سلامت از طریق توسعه روش‌ها و

فناوری‌های جدید و نوآورانه جهت حمایت از یک‌پارچه‌سازی رشته‌های علمی اجتماعی و رفتاری با دیگر رشته‌ها، طرح ریزی شده است.

این پروژه پیش‌آهنگ، پروپوزال‌هایی که سطوح متنوعی از تحلیل را از سطح زیر فردی تا جمعیتی را در هم می‌آمیزند تا عوامل کلان اقتصادی - اجتماعی، زیست محیطی و ژئوپلتیکی را آشکار سازند، تحت حمایت خود قرار می‌دهد.

|                           |                          |
|---------------------------|--------------------------|
| ژنومیکس                   | <input type="checkbox"/> |
| بیوانفورماتیکس            | <input type="checkbox"/> |
| پروتومیکس                 | <input type="checkbox"/> |
| پوپولومیکس (Populomics)   | <input type="checkbox"/> |
| روان - اعصاب - ایمن شناسی | <input type="checkbox"/> |

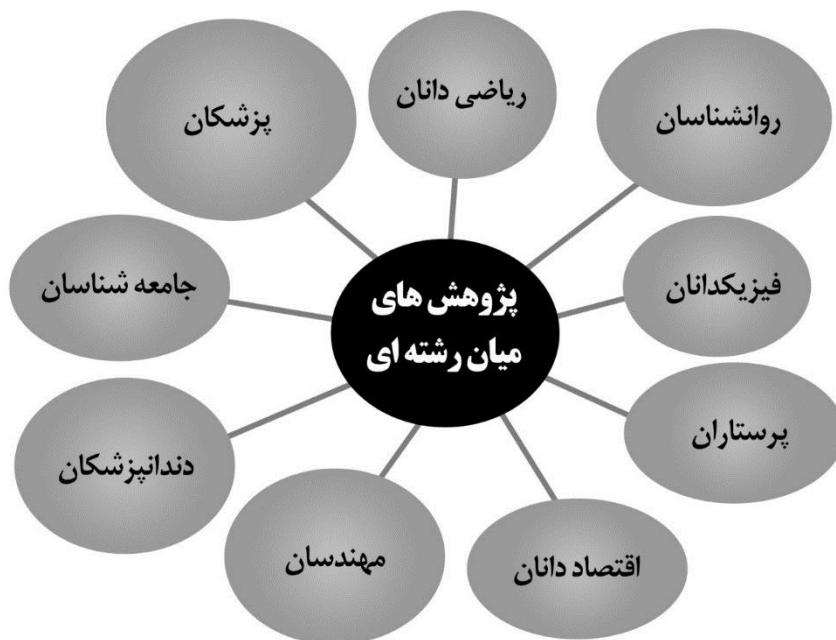
شکل ۳-۱۷: مثال‌های از گستره‌های هیبرید: در بنیاد ملی سلامت آمریکا هدف از پژوهش میان‌رشته‌ای در هم تنیدن و یک‌پارچه‌سازی دو یا چند رشته علمی جداگانه برای خلق یک رشد جدید هیبرید است.

این رهیافت بر این اصل استوار است که افراد به شدت تحت تأثیر عملکرد سطوح متنوعی قرار می‌گیرند که گستره آن از ژنومیک، ملکولی، سلولی، سیستم‌های عضوی تا خانواده، محیط کار و جامعه را شامل می‌شوند. این پروژه همچنین توسعه ابزارها یا روش‌ها و

فناوری‌های میان رشته‌ای شامل اندازه‌گیری، طراحی پروژه‌های پژوهشی و نیز روش و تکنیک‌های تحلیلی را حمایت می‌کند (۱۱).

#### د/ پژوهشگر اصلی چندتایی

یک تغییر عمده در بنیاد ملی سلامت آمریکا که بخشی از آن توسط برنامه میان رشته‌ای برانگیخته گردید، سیاستی بود که در سال ۲۰۰۷ بنیان گذاشته شد. بر اساس آن، امکان پژوهشگر اصلی چندتایی در گرانت‌های بنیاد ملی سلامت آمریکا امکان‌پذیر شد.



شکل ۳-۱۸: نمایی از اعضای تشکیل دهنده پژوهش‌های میان رشته‌ای در نقشه علمی بنیاد ملی سلامت آمریکا

با احترام به عنصر رهبری در سازمان، بنیاد ملی سلامت آمریکا این امید را دارد که انستیتوها را تشویق کند که اصل تیم علمی را ارج نهاده و بر این اساس، سیستم مدیریتی خود را سامان دهند. در هر صورت، بنیاد ملی سلامت آمریکا برای حمایت از پروژه‌های میان رشته‌ای، سیاست پژوهشگر اصلی چندتایی را در گرانت‌های خود پذیرفته است و حتی این امکان فراهم آمده است که چندین پژوهشگر از انستیتوهای گوناگون، به صورت پژوهشگر اصلی در پروژه پژوهشی شرکت کنند. در این رویکرد، میزان پاسخ‌گویی و نیز هدایت پروژه به صورت یکسان بر دوش هر کدام از این پژوهشگران اصلی خواهد بود. همچنین این رویکرد، نشانگر آن است که بنیاد ملی سلامت آمریکا "تیم علمی" را برای اجرای پروژه‌های تحقیقاتی خود در اولویت قرار داده است (۱۱).

## منابع

- 1) Tremblay D, Roberge D, Cazale L, et al. Evaluation of the impact of interdisciplinarity in cancer care. *BMC Health Serv Res* 2011; 11: 144.
- 2) Choi BC, Pak AW. Multidisciplinarity, interdisciplinarity and transdisciplinarity in health research, services, education and policy: 1. Definitions, objectives, and evidence of effectiveness. *Clin Invest Med* 2006;29:351-64.
- 3) Reinhold-Keller E, Beuge N, Latza U, et al. An interdisciplinary approach to the care of patients with Wegener's granulomatosis: long-term outcome in 155 patients. *Arthritis Rheum* 2000;43:1021-32.
- 4) Jacob AL, Regazzoni P, Steinbrich W, et al. The multifunctional therapy room of the future: image guidance, interdisciplinarity, integration and impact on patient pathways. *Eur Radiol* 2000; 10: 1763-9.
- 5) Hall JG, Bainbridge L, Buchan A, et al. A meeting of minds: interdisciplinary research in the health sciences in Canada. *CMAJ* 2006; 175: 763-71.
- 6) Leischow SJ, Best A, Trochim WM, et al. Systems Thinking to Improve the Public's Health. *Am J Prev Med* 2008; 35(2S): S196-203.

- 7) Ben-Shlomo Y, Kuh D. A life course approach to chronic disease epidemiology: conceptual models, empirical challenges and interdisciplinary perspectives. *Int J Epidemiol* 2002; 31: 285-93.
- 8) Diez Roux AV. Integrating Social and Biologic Factors in Health Research: A System View. *Ann Epidemiol* 2007;17:569-574.
- 9) Part II – Full Text of Announcement. Office of Extramural Research.(Access in March 04, 2012 at <http://grants.nih.gov/grants/guide/pa-files/PA-11-077.html#PartII>).
- 10) Mabry PL, Olster DH, Morgan GD, et al. Interdisciplinarity and systems science to improve population health: a view from the NIH Office of Behavioral and Social Sciences Research. *Am J Prev Med* 2008; 35: S211-24.
- 11) Research Teams of the Future. The NIH Common Fund.(Access in March 04, 2012 at <https://commonfund.nih.gov/researchteams/>).
- 12) Systems-Based Consortium for Organ Design and Engineering. The NIH Common Fund.(Access in March 04, 2012 at <http://commonfund.nih.gov/interdisciplinary/consortia/syscode.aspx>).
- 13) Genomic Based Drug Discovery. The NIH Common Fund.(Access in March 04, 2012 at <http://commonfund.nih.gov/interdisciplinary/consortia/broad.aspx>).
- 14) Geroscience. The NIH Common Fund. (Access in March 04, 2012 at <http://commonfund.nih.gov/interdisciplinary/consortia/gero.aspx>).
- 15) Northwest Genome Engineering Consortium. (Access in March 04, 2012 at <http://commonfund.nih.gov/interdisciplinary/consortia/ngec.aspx>).
- 16) The Oncofertility Consortium: Fertility Preservation for Women. (Access in March 04, 2012 at <http://commonfund.nih.gov/interdisciplinary/consortia/oncofer.aspx>).
- 17) Consortium for Neuropsychiatric Phenomics. (Access in March 04, 2012 at <http://commonfund.nih.gov/interdisciplinary/consortia/neuro.aspx>).
- 18) Neuro Therapeutics Research Institute (NTRI).The NIH Common Fund. (Access in March 04, 2012 at <http://commonfund.nih.gov/interdisciplinary/consortia/ntri.aspx>).
- 19) Taskforce for Obesity Research at Southwestern (TORS). The NIH Common Fund.(Access in March 04, 2012 at <http://commonfund.nih.gov/interdisciplinary/consortia/tors.aspx>).
- 20) Interdisciplinary Research Consortium on Stress, Self-Control and Addiction. (Access in March 04, 2012 at <http://commonfund.nih.gov/interdisciplinary/consortia/yale-stress.aspx>).

## فصل چهارم

### تحلیل ابروند سیاست‌های کلان سلامت

### جمهوری اسلامی ایران





### مقدمه

سرعت جهان رشد فزاینده‌ای یافته است و اگر تحول جامعه کشاورزی به جامعه صنعتی طی ۱۰۰ سال به طول انجامید و تحول جامعه صنعتی به جامعه اطلاعاتی طی دو دهه روی داد. از این رو بر اساس نظر جان نیسبت (John Naisbitt)، برای واکنش نسبت به تغییرات بسیار تند هزاره جدید، راهی نداریم جز این که آینده را پیش بینی کنیم (۱). پیش بینی بنیان یافته بر اساس متدلوژی علم آینده پژوهی، می‌تواند در موقعیت جامعه در عرصه‌های اجتماعی و افزایش توان اقتصادی و چیرگی در رقابت‌های فزاینده هزاره جدید، نقش کلیدی را بازی کند. از این رو، مطالعه ابروندها و بررسی اثر آنها بر فعالیت جوامع و گستره‌های کسب و کار، به شیوه‌ای حیاتی برای بقاء در فضای آینده تبدیل شده است.

واژه ابرروند (کلان روند (Megatrend) توسط جان نیسبت در سال ۱۹۸۲ با انتشار کتاب "ابروندها" ابداع گردید. کتاب این مؤلف آمریکایی در ۵۷ کشور انتشار یافت و رتبه پرفروش‌ترین را به خود اختصاص داد. در این کتاب، او چشم‌اندازی را از هزاره بر اساس ۱۰ ابرروند به تصویر کشید. با توجه به نظرات انقلابی وی، شیوه تحلیل روند (trend analysis) در بخش صنعت و کسب و کار و مقولات آینده پژوهی، جایگاهی رفیع یافت (۲).

ابروندها از لحاظ ماهیت، به گونه‌ای فضای کسب و کار و جامعه را تغییر می‌دهند که اثرات آنها نه سال‌ها، بلکه چندین دهه پابرجا می‌ماند. از سوی دیگر، اثر این ابروندها بر هر فرد جامعه انسانی خواهد بود و فرصت‌ها و تهدیدات ویژه خود را بر فضای کسب و کار و جوامع انسانی فرود می‌آورند. از این رو، نگرش به ابروندها در هر فعالیت آینده پژوهی و تدوین سیاست‌های کلان با برد زمانی طولانی، اجباری می‌باشد (۳).

بر این اساس، ابروندها را می‌توان تغییرات بنیادین عمده‌ای در سطح جوامع، فناوری‌ها، عرصه اقتصاد و شرایط سیاسی تعریف کرد که از سه ویژگی اصلی پیروی می‌کنند:

۱/ توسعه ابروندها آهسته است ولی در زمانی که به تبلور می‌رسند اثر آن‌ها حداقل تا ۲۵ سال پابرجا می‌ماند.

۲/ ابروندها بر گستره‌های گوناگون و متنوعی از حیات انسان اثر می‌گذارند.

۳/ ابروندها، خوی و منش جهانی دارند و منحصر به جغرافیا و کشور نیستند هر چند که ممکن است اثر آن‌ها در یک جغرافیای ویژه، چشمگیرتر باشد (۴).

از این رو، در تدوین هر برنامه مبتنی بر آینده‌بایستی به ابروندهای حوزه‌های STEEP-V (ابروندهای اجتماعی، فناوری، محیط زیست، اقتصاد، سیاست و ارزش‌ها) نگریده شود. بی‌شک، در تدوین سیاست‌های کلان سلامت جمهوری اسلامی ایران نیز به ابروندهای عمده در این گستره‌ها به خوبی نگریده شده است و منظرهای آن را می‌توان برای مثال از توجه به مقولات محیط زیست در بندهای ۲-۳ و ۲-۴ یافت نمود. هر چند که نگاه به ابروندهای گستره‌های گوناگون در تدوین سیاست‌های کلان سلامت به خوبی هویدا است اما آنچه ما در این نوشتار در جستجوی آن هستیم، یافت حوزه‌نمود ابروندهای گستره سلامت در تدوین سیاست‌های کلان سلامت جمهوری اسلامی ایران است. به زبان دیگر، با متدلوژی تحلیل ابروندهای حاکم بر فضای سلامت و بیماری (که هم اکنون در حوزه‌های مطالعات آینده پژوهی سراسر جهان آشکار شده‌اند) تلاش می‌کنیم که همخوانی و هم‌راستایی سیاست‌های تدوینی را با این کلان روندهای حوزه سلامت مورد سنجش قرار دهیم. بی‌شک، نپرداختن سیاست‌های راهبردی به فرصت‌ها و تهدیدات برخاسته از این ابروندها می‌تواند در نقصان کارایی و هدفمندی این سیاست‌ها اثرات جبران ناپذیری ایجاد کند. از سوی دیگر، تدوین سیاست‌ها بر پایه این ابروندها می‌تواند نقاط داغ و کلیدی برای تجلی نوآوری در عرصه ارائه خدمات سلامت و خلق فناوری‌های بنیان ساز در حوزه سلامت نقش عظیمی را داشته باشد (۵).

هم اکنون، مفهوم توسعه پایدار به عنوان یک آرمان در چشم‌انداز جوامع مترقی مطرح گردیده است. از این رو، در اندیشه هر آینده پژوهی، مفهوم توسعه پایدار به عنوان "کار آینده پژوهی" جای دارد (۶). به زبان دیگر، آینده پژوهی همچون ابزاری برای نیل به توسعه پایدار جلوه می‌کند. از این رو، هدف نهایی آینده پژوهی، نیل به توسعه پایدار در فضای جهانی

سرشار از پیچیدگی و تغییر است و تحلیل ابروندها، نخستین گام در این پویش است.

## ابروند اول

بیمه سلامت همگانی و چرخشی از پوشش بیمه‌ای بر پایه کارفرما به سوی

### پوشش بیمه‌ای دولت محور

برای آشنایی با این ابروند، بررسی سیستم بیمه سلامت آمریکا که دارای قوی‌ترین ادبیات در بحث بیمه‌ها (به ویژه بیمه‌های مکمل) است، راه‌گشا می‌باشد. در حقیقت پایه نظام بیمه سلامت آمریکا بر دو برنامه ملی می‌باشد که شامل مدیکر بوده که سالمندان و از کارافتادگان را پوشش می‌دهد و برنامه مدیکید که فقرا و افراد نیازمند به درمان که توان مالی ندارند را تحت پوشش قرار داده است. این دو برنامه به عنوان ابزار قوی این کشور در پوشش بسیاری از خدمات بیمه‌ای برای افراد تحت پوشش، نقش دارند (۷).

با وجود گذشتن چند دهه از اجرای این برنامه‌ها، هنوز پوشش همگانی بیمه‌ای برای مردم آمریکا فراهم نیامده است و این بحران به ویژه در بنگاه‌های کسب و کاری که زیر ۵۰ نفر در استخدام دارند به روشنی قابل رؤیت است. از این رو، نظام بیمه‌ای آمریکا که بر اساس پوشش بیمه‌ای بر پایه کارفرما استوار است دچار سه چالش عظیم گردیده است که می‌بایست بر آنان چیرگی یابد. نخستین چالش، تحت پوشش قرار نگرفتن میلیون‌ها آمریکایی از خدمات بیمه سلامت است. دومین چالش وجود فزونی در هزینه‌های مراقبت‌های سلامت است که رشدی فرابنده را به خود اختصاص داده است و سومین چالش، کیفیت خدمات ارائه شده است که از استانداردها فاصله دارد (۸).

طراحی برنامه حمایتی بیماران و ACA که در سال ۲۰۱۰ میلادی توسط دولت اوپاما طراحی گردید با هدف تحت پوشش قرار دادن ۳۰ میلیون آمریکایی راه‌اندازی شد که فاقد پوشش بیمه سلامت بودند (۸ و ۹). این طرح، بنگاه‌های کسب و کار را که به دلیل افزایش حق بیمه توان بیمه کردن مستخدمین خود را نداشته‌اند، هدف قرار می‌دهد (۱۰).

در سال ۲۰۲۵ میلادی شرکت‌های بیمه به صورت بنیادین تغییر خواهند یافت و

سیستم پوشش بیمه‌ای بر پایه کارفرما جای خود را به پوشش بیمه‌ای فراهم آمده توسط دولت فدرال خواهد داد (۱۱ و ۱۲).

این ابرروند موجب ایجاد پوشش همگانی بیمه سلامت شده و می‌تواند بر اساس ساز و کار خود، امکان انتخاب برای مشتریان خدمات سلامت را فراهم آورده و رقابت را در میان بنگاه‌های بیمه‌ای فزونی بخشیده و سطح مراقبت‌های پرکیفیت را فراهم آورد (۱۳). نکته قابل لمس در این ابرروند که در کشور آمریکا در حال شکل‌گیری است، تزریق کردن بخش عمده‌ای از یارانه دولتی برای اجرای آن است (۸). این در حالی است که سهم هزینه‌های بخش سلامت آمریکا در کل تولید ناخالص داخلی از ۵/۳ درصد در سال ۱۹۶۰ میلادی به ۱۳/۴ درصد در سال ۱۹۹۷ میلادی افزایش از خود نشان داده است (۱۴).

در سیاست‌های کلی سلامت جمهوری اسلامی ایران، توجه بسیار برجسته و پیشرفته‌ای نسبت به بیمه همگانی (به ویژه گسترش بیمه‌های مکمل) شده است و در نظام پرداخت نیز به کیفیت عملکرد و نیز ایجاد بازار رقابتی برای ارائه خدمات بیمه درمانی تأکید شده است (بند ۹ و زیر بندهای ۹-۵ و ۹-۷). در بند ۱۰ مربوط به تأمین منابع مالی پایدار در بخش سلامت، تأکید به افزایش سهم سلامت از تولید ناخالص داخلی شده است و در زیر بند ۴-۱۰ نیز به پرداخت یارانه به بخش سلامت اشاره شده است. در سال ۱۳۸۷ شمسی، ۵۸ درصد از هزینه‌های سلامت را مردم متحمل شده بودند و دولت مرکزی و کارفرمایان نیز به ترتیب ۲۷ و ۱۰ درصد این هزینه‌ها را پرداخت کرده بودند (۱۵). از آنجا که اصل ۲۹ قانون اساسی بر هدف "پوشش کلیه خدمات درمانی که عدم ارائه آن‌ها سلامت فرد را به مخاطره می‌اندازد" استوار است، پسندیده است بر نقش پررنگ دولت در آینده در تأمین منابع بیمه همگانی، به ویژه از محل یارانه‌ها در بند ۹ تأکید شود. به زبان دیگر، تأکید بر تخصیص سهمی از یارانه نقدی خانوار، افزون بر مالیات بر درآمد عمومی یا اختصاصی، می‌تواند در فراهم آوردن منبعی مطمئن در ایجاد حساب پیش پرداخت‌ها در چهارچوب نظام بیمه اجتماعی سلامت، نقش ایفا نماید. در هر صورت، نباید فراموش کرد که هزینه‌های درمان، رشد فزاینده‌ای دارد و از پیامدهای آن این است که سالانه بیش از دو درصد خانوارها به علت پرداخت هزینه‌های

بهداشت و درمان، به زیر خط فقر می‌روند (۱۶).

در هر صورت، ابروند آینده در حوزه بیمه همگانی آن است که نقش دولت‌ها به عنوان پرداخت کننده برجسته شده و دولت نقش محوری و مرکزی در برابر نقش کارفرمایان پیدا خواهد کرد (۱۷).

## ابروند دوم

### مراقبت‌های سلامت فرامکان (پزشکی از راه دور، سلامت از راه دور، سلامت همراه)

رشد فزاینده فناوری دیجیتال و علوم کامپیوتر، امکان دسترسی آگاهانه افراد به گزینش مراقبت‌های سلامت توسط خود (فردگرایانه) را فراهم آورده‌اند (۱۸).

امروزه، فناوری‌ها، پیش‌ران ابروندی گردیده‌اند که پیش بینی می‌شود بر پایه این ابروند، طی دهه آینده بیش از ۵۰ درصد از مراقبت‌های سلامت، از سوی بیمارستان‌ها و درمانگاه‌ها، به سوی خانه و جامعه، میل خواهد کرد (۱۷).

شکل‌گیری پزشکی از راه دور، سلامت از راه دور، برنامه‌های کاربردی سلامت همراه در قالب تلفن‌های هوشمند و شکل‌گیری شبکه‌های اجتماعی تا حسگرهای زیستی، خواهند توانست مشتریان سلامت را با اطلاعات بیشتر مسلح نموده و آن‌ها را برای تصمیم‌گیری در حوزه سلامت و مراقبت از خودشان توانمند نمایند. همین فناوری‌ها موجب خواهند شد که درمانگران بتوانند بیماران را در فرامکان‌ها، با گزینه‌های فراوان‌تری تحت درمان قرار دهند (۱۷).

سلامت همراه هم اکنون در راه گذار پارادایمی و انفجاری خود است و با خلق نوآوری‌های مرزشکن، چهره مراقبت‌های سلامت را در آینده تغییر خواهد داد (۱۹).

برنامه رفورم مراقبت‌های سلامت آمریکا که توسط دولت اوباما در دست اجرا است، به ویژه برنامه ACA، موجب تغییر پارادایمی صنعت مراقبت‌های سلامت آمریکا گردیده و این صنعت در جستجوی برآوردن اهداف این برنامه، خود را سازگار می‌کند. پزشکی از راه دور، سلامت از راه دور و سلامت همراه، از پیش‌ران‌های این برنامه هستند.

هم اکنون در بسیاری از ایالت‌های آمریکا، قوانینی تدوین شده تا بازپرداخت هزینه‌های

خدمات از راه دور سلامت را تضمین نمایند.

سلامت همراه، یک مفهوم جدید است که به توصیف خدماتی می‌پردازد که با وسائل ارتباطی همراه پشتیبانی می‌شوند (مانند وسائل مانیتورینگ بیمار به صورت بی‌سیم، تلفن‌های هوشمند، دستیاران دیجیتالی فردی و رایانه‌های تبلت). نرم‌افزاری تلفن همراه، وسائل و تجهیزات و سنسورهای توأم با تلفن همراه، امکان خلق سلامت همراه را فراهم آورده‌اند. تولید انبوه و بازاریابی تلفن‌های هوشمند طی چند سال گذشته موجب شکوفایی "سلامت همراه" گردیده است. برنامه‌های کاربردی سلامت همراه زیرساخت نرم‌افزاری مناسب را برای آمیزش دیجیتالی بیماران فراهم آورده است.

کاربردهای جاری برنامه‌های کاربردی سلامت بر روی ادوات همراه شامل تدارک مستقیم مراقبت‌های سلامت، مانیتورینگ نشانگان حیاتی بیماران، در اختیار قرار دادن اطلاعات بیمار به پزشکان و در مواردی نیز انجام پژوهش‌های بالینی و گردآوری داده‌های مراقبت‌های سلامت جامعه می‌باشند.

حسگرهای ویژه و ادوات گوناگونی که به عنوان پیوست‌های برنامه‌های نرم‌افزاری سلامت کار می‌کنند، موجب خلق ایده‌پردازی و نوآوری‌های شگرفی در گستره مراقبت‌های سلامت شده‌اند.

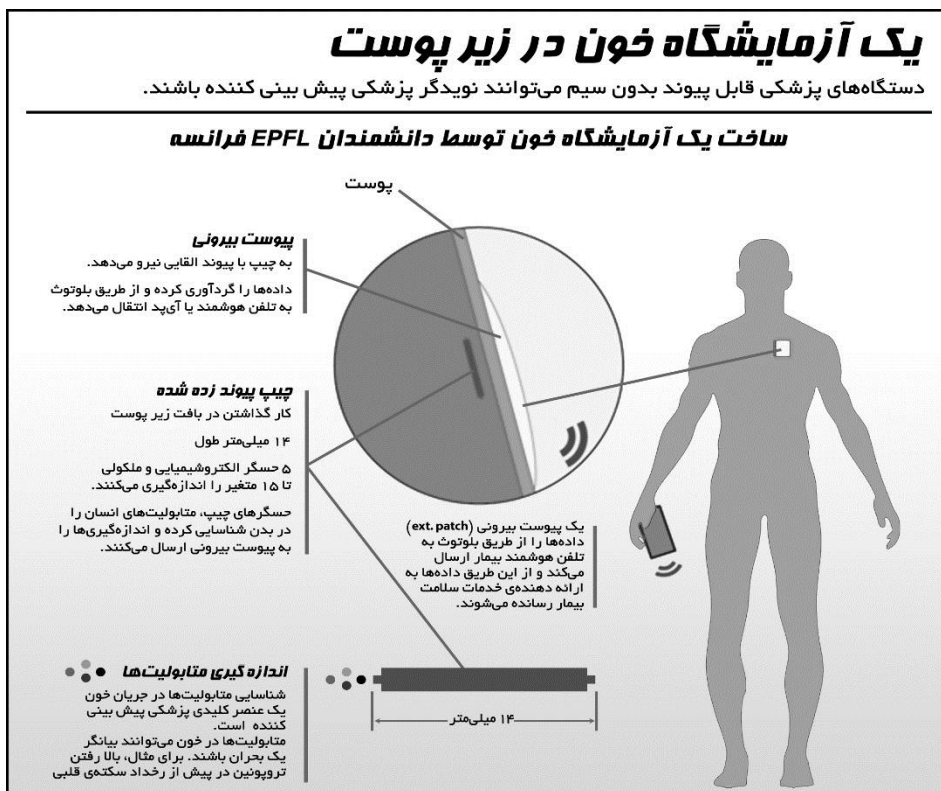
در هر صورت، امید است که با کمک فناوری، امکان ادغام و یک‌پارچه‌سازی پزشکی از راه دور و سلامت همراه (به صورت یک فناوری واحد) امکان‌پذیر شود. اما هم‌اکنون کاملاً پدیدار است که رشد فزاینده و پرسرعت به کارگیری برنامه‌های کاربردی سلامت همراه و تلفن‌های هوشمند، موجب پیش‌راندن پزشکی از راه دور و سلامت از راه دور خواهند شد. این پدیده، خود پیشگام بازساختارسازی عمده در صنعت مراقبت‌های سلامت خواهد گردید (۱۹). در حقیقت پذیرش فناوری سلامت همراه توسط بیماران، موجب افزایش مسئولیت‌پذیری آن‌ها در ارائه خدمات سلامت در قالب خود مراقبتی خواهد شد و درمان‌ها به صورت فردگرایانه بر پایه فناوری میل خواهند کرد.

پژوهش‌های جدید نشان داده‌اند که کاربرد نظام خود مراقبتی در قالب تلفن‌های

هوشمند می‌توانند در مراقبت از بیماری‌های مزمن مانند دیابت، قلب و عروق و سرطان‌ها کارآمد باشند (۲۲-۲۰).

این تلفن‌های هوشمند در تریاژ بیماران با سرطان پوست (۲۲)، برنامه خود مراقبتی دیابت و بهبودی در میزان HbA1C آن‌ها (۲۰) و در درک مراقبت‌های بازتوانایی قلبی (۲۱) مؤثر بوده‌اند و در سطح مطبوعات علمی پزشکی شاهد رشد چشمگیر و تعجب برانگیز کاربرد تلفن‌های هوشمند می‌باشیم. در سطح آموزش پزشکی نیز تلفن‌های هوشمند در ارائه اطلاعات برای پزشکان به صورت بازآموزی و برای دانشجویان به عنوان یک همراه کاری رشد گسترده‌ای داشته‌اند. در یک پژوهش که در ایرلند انجام شده است، ۹۵ درصد از انترن‌ها از تلفن‌های هوشمند استفاده می‌کرده‌اند (۲۳). همچنین این تلفن‌ها در ارائه خدمات سلامت در سطح جمعیت نیز راه یافته‌اند (۲۴). پیش بینی می‌شود که تا سال ۲۰۲۰، بین ۲۵ تا ۵۰ درصد از داد و ستدهای صنعت مراقبت‌های سلامت، به صورت الکترونیکی بوده و شکل تماس ۲۵ درصد از بیماران با ارائه دهندگان خدمات سلامت، به صورت سلامت همراه با کاربرد تلفن‌های هوشمند و ساعت‌های مچی هوشمند خواهد بود (۲۰).

با توجه به اهمیت روزافزون و انقلابی این ابرروند در ارائه خدمات سلامت، هر چند که در نقشه تحول نظام سلامت جمهوری اسلامی ایران، به اقدامات لازم جهت ایجاد سامانه آموزشی جهت افزایش سواد سلامت برای کلیه افراد جامعه، تجهیز واحدهای ارائه کننده پزشکی از راه دور و ارتقاء فرهنگ دسترسی الکترونیکی مردم به منابع و خدمات سلامت در بسته ارائه شده برای فناوری اطلاعات، اشاره شده است ولی متأسفانه در سیاست‌های کلان سلامت، به این ابرروند به شکل ویژه پرداخته نشده است.



شکل ۴-۱: آزمایشگاه خون همراه که توسط دانشمندان فرانسوی اختراع گردیده است.

## ابروند سوم

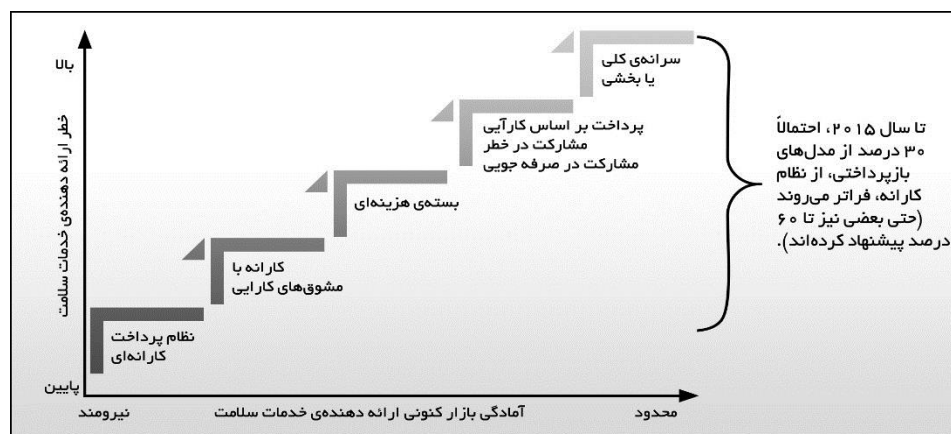
### تغییر پارادایم از حجم به ارزش در ارائه خدمات سلامت

مفهوم ارزش، با ارائه خدمات با کیفیت و با هزینه پایین آمیخته شده است (۲۵) این در حالی است که در نظام‌های مراقبت کنونی، بحث کیفیت و هزینه، با دشواری‌های جدی رو به رو است. یکی از عمده‌ترین این مسائل آن است که نظام پرداخت کنونی خدمات سلامت، مشوق ارائه خدمات به صورت حجم است تا بر پایه ارزش. پزشکان، بیمارستان‌ها و دیگر ارائه دهندگان خدمات سلامت با ارائه خدمات به مردم بیشتر، سود و عایدات بیشتری را جذب می‌کنند و از این طریق در ایجاد افزایش هزینه‌های خدمات سلامت و تورم سهیم می‌شوند.



چنین است که در این فرایند، بهبودی چندانی را در پیامدهای سلامت شاهد نخواهیم بود. در حقیقت این سیستم سنتی پرداخت، نتوانسته است مردم را در سلامت نگهدارد و از کاستن خطاهای پزشکی، عوارض و پرهیز از خدمات غیرضروری نیز ناتوان بوده است. اما، تغییر انقلابی حرکت از حجم به ارزش در ارائه خدمات سلامت و خرید خدمات سلامت بر پایه ارزش در فراهم آوردن خدمات با کیفیت و کاهش هزینه‌ها، سودمندی‌های فراوانی را با خود به ارمغان خواهد آورد (۲۶ و ۲۷).

نظام ارائه خدمات سلامت VBP، یک متدولوژی پرداخت است که در ایجاد کیفیت در خدمات از طریق مشوق‌های پرداختی و ایجاد شفافیت مؤثر است. در حقیقت، در نظام ارائه خدمات سلامت، ارزش، تابعی از کیفیت، کارآمدی، ایمنی و هزینه است. در VBP، ارائه دهندگان خدمات سلامت برای کیفیت و هزینه ارائه خدمات سلامت، پاسخگو می‌باشند. یک نظام از پیش تعریف شده که بر نتایج و پیامدها احاطه دارد و عملکردهای از پیش تعیین شده را مورد سنجش دقیق قرار می‌دهد، بر کارایی VBP نظارت می‌نماید. همچنین در این نظام، مشوق‌هایی برای پرهیز از هزینه‌های گران قیمت، غیر لازم و نامناسب نیز ساختار بندی می‌شود (۲۸).



شکل ۴-۲: سیر تکاملی مورد انتظار برای عقد قراردادها و مدل‌های بازپرداختی، از پرداخت برای حجم به پرداخت برای ارزش

تغییر پارادایم حرکت از حجم به ارزش با سه پیش‌ران عمده نیز شتاب گرفته و موجب تغییرات بنیادین در بازار خدمات سلامت خواهد شد. این سه پیش‌ران شامل: خود مراقبتی فزاینده است که در جستجوی خدمات پرارزش بوده و از این طریق موجب حذف ۵۰۰ میلیارد دلار فعالیت با ارزش پایین در بازار سلامت آمریکا خواهد گردید و منحنی هزینه این کشور را مسطح می‌نماید. دومین پیش‌ران، جنبش به سوی سلامت جامعه است که موجب خلق بازار رشد پاینده ده‌ها میلیارد دلاری آینده خواهد شد و سومین پیش‌ران نیز ورود بازیگران جدید بخش‌های فناوری و خرده‌پا به بازار سلامت است که با رقابت و نوآوری، تنور گرما بخش "سلامت پرارزش" را خواهند افروخت (۲۹).

در چرخه زنجیره VBP، شیوه‌های سنتی پرداخت خدمات سلامت که مبتنی بر کارانه است جای خود را به شیوه‌های نوآورانه مانند مشارکت در خطر، سرانه و بسته‌های خرید خواهند داد (۱۷ و ۲۶). شیوه بسته‌های خرید، یک گذرگاه به سوی پرداخت‌های مراقبت جامع خواهد بود که رضایتمندی بیماران ارائه خدمات پرکیفیت و کم هزینه را نوید می‌دهد (۲۶).

همچنین تأکید بر ارائه مراقبت‌های سلامت، به ویژه در سطح اولیه بر پایه ارزش که توأم با کاهش هزینه‌ها و افزایش کیفیت خواهد بود، در قلب خود تولد سازمان مراقبت‌های سلامت پاسخگو ACO را نوید خواهد داد (۳۰). مفهوم ACO که توسط الیوت فیشر در سال ۲۰۰۶ میلادی ارائه گردید در رشد نظام‌های ارائه خدمات یک‌پارچه که پیش‌نیاز شکل‌گیری VBP است، راه‌گشا خواهد بود. نقطه بحرانی پیاده‌سازی VBP، استانداردسازی و برقراری نظام ارائه اطلاعات شفاف پیرامون پیامدهای بیمار است (۲۸).

خوشبختانه در سیاست‌های کلان سلامت جمهوری اسلامی ایران، در بند ۸ به استانداردسازی، افزایش و بهبود کیفیت و ایمنی خدمات و مراقبت‌های جامع و یک‌پارچه سلامت با محوریت عدالت و تأکید بر پاسخگویی و اطلاع‌رسانی شفاف، اثر بخشی، کارایی و بهره‌وری در قالب شبکه بهداشتی و درمانی منطبق به نظام سطح‌بندی و ارجاع، تأکید فراوان شده است و در بند ۹-۷ نیز به اصلاح نظام پرداخت مبتنی بر کیفیت عملکرد، افزایش کارایی،

ایجاد درآمد عادلانه و ترغیب انگیزه‌های مثبت ارائه‌کنندگان خدمات، توجه‌گردیده است. سوار شدن بر پارادایم حرکت از سوی حجم به ارزش می‌تواند در ارائه خدمات پرکیفیت و کاهش هزینه‌های سرسام‌آور سلامت، نقش مهمی را ایفا نماید. برای مثال، حرکت از سوی پرداخت کارانه که در سیستم مدیکیر آمریکا انجام می‌گیرد (و مبتنی بر پرداخت به خدمات فراوان پرهزینه و پیچیده پزشکی است) به سوی VBP می‌تواند ۲۱۴ میلیارد دلار طی ۱۰ سال آینده، هزینه‌ها را کاهش دهد (۲۸).

### ابروند چهارم

#### خلق داده‌های بزرگ و تبدیل داده‌های بزرگ به دانش سلامت (BD2K)

همزمان با پیشرفت فزاینده فناوری و ابزارهای زیست پزشکی، انبوه فزاینده‌ای از داده‌های زیستی و سلامت، در حد بسیار پیچیده فراهم خواهد شد. از این رو، وجود فناوری برای دیجیتالی کردن داده‌های هر فرد بیمار که در حد گیگابایت داده پزشکی و بیولوژیک دارد، بسیار حیاتی می‌باشد (۳۱ و ۳۲).

از سوی دیگر، امکان مدیریت تبدیل داده‌های بزرگ به دانش (BD2K)، یک چالش فراروی علوم زیست پزشکی آینده است. در حقیقت، برآمدن بر چالش تبدیل داده‌های بزرگ، وظیفه اساسی پزشکی آینده خواهد بود. هم‌اکنون بنیاد ملی سلامت آمریکا در چهارچوب برنامه آینده‌نگرانه خود که از سال ۲۰۱۳ میلادی آغاز کرده است، تلاش می‌کند که کاربرد داده‌های زیست - پزشکی را تسهیل کرده، شیوه‌های تحلیل داده‌ها و نرم‌افزارهای مربوطه را توسعه داده و در تربیت نیروی انسانی رشته‌های وابسته به آنالیز داده در مقیاس بزرگ اهتمام ورزیده و مراکز تعالی را برای داده‌های بزرگ زیست پزشکی بنیان نهد (۳۲). این برنامه جدید بنیاد ملی سلامت آمریکا، می‌تواند تحول عظیمی را در پژوهش‌های زیست پزشکی و مراقبت‌های سلامت ایجاد کند؛ زیرا تلاش می‌کند داده‌های بزرگ را به دانش‌کنش‌پذیر جهت ارتقاء سلامت و توسعه علم تبدیل نماید (۳۳).

همان‌گونه که شرکت IBM بیان کرده است، تلاش برای فناوری تبدیل داده‌های بزرگ

به دانش موجب پیدایش بینش کامل نسبت به بیماران، هماهنگ‌سازی مراقبت‌های سلامت و انجام پرداخت‌ها بر اساس مدل پیامد محور، مدیریت سلامت جامعه و درگیر نمودن بیماران می‌شود. در حقیقت این تلاش موجب برقراری نظام‌های مراقبت از سلامت به شکل پایدار شده و در بهبودی مراقبت‌های سلامت و پیامدها و افزایش دسترسی به خدمات سلامت، نقش مهمی را بازی خواهد کرد (۱۷). زیر ابروندهای مهم این ابروند شامل موارد زیر می‌شوند:

۱/ کاربرد پویای اطلاعات برای بهبودی در تصمیم‌گیری که موجب بهبودی در فرایندهای برنامه‌ریزی، مدیریت کارآمد جامعه و خلق فرصت‌های عظیم برای نوآوری می‌شود.  
 ۲/ در هم‌آمیزی و یک‌پارچه‌سازی مجموعه داده‌های دموگرافیک، ملکولی و بالینی برای توسعه شرکت‌های دارویی و تجهیزات پزشکی جهت ایجاد پیوند میان این شرکت‌ها و ارائه دهندگان خدمات سلامت و دسترسی به ملاحظات ایمنی و استانداردها و ارائه خدمات به صورت هزینه اثربخش، اثر خواهد گذاشت.

۳/ داده‌های بزرگ، انجام کارآزمایی‌های بالینی را تسهیل نموده و در ایجاد نتایج قابل اعتماد و فراهم آوردن بسترهای پژوهشی، انقلابی شگرف ایجاد خواهند کرد (۱۷).  
 از آنجا که برای گذار به انقلاب داده‌های بزرگ، بسترسازی فناوری اطلاعات سلامت اجتناب ناپذیر است، ARRA آمریکا، ۱۹ میلیارد دلار را به صورت هزینه و معافیت‌های مالیاتی جهت سازگarmندی ارائه‌دهندگان خدمات سلامت با فناوری اطلاعات سلامت در نظر گرفته است.

بی‌شک، بهبودی در فناوری اطلاعات سلامت نه تنها می‌تواند موجب بهبودی در پیامدها و کاهش هزینه‌های همراه با رضایتمندی بیماران شود بلکه اشتباهات پزشکی را کاهش داده و هزینه‌های مدیریتی را نیز تقلیل دهد (۳۰).

هر چند که در نظام سلامت و محورهای چشم‌انداز نقشه علمی کشور به "مدیریت اطلاعات و دانش سلامت" به عنوان زیرساخت نگریسته شده است و در راهبردهای کلان نقشه علمی کشور به "یک‌پارچه‌سازی نظام طبقه‌بندی، حفظ و نگهداری موجودی دانش ملی در حوزه سلامت" پافشاری شده است ولی در سیاست‌های کلی سلامت، به هیچ بند ویژه‌ای که

به مقوله فناوری اطلاعات سلامت پرداخته باشد تا راه را برای انقلاب داده‌های بزرگ فراهم نماید، به چشم نمی‌خورد. از آنجا که بدون پذیرش انقلاب داده‌های بزرگ و تحول در فناوری اطلاعات سلامت و بیوانفورماتیک، امکان زیست و تنازع بقاء در هزاره جدید، چالش برانگیز خواهد شد (۳۸-۳۴)، پرداختن به این مقوله در برنامه‌های کلان سلامت، بسیار حیاتی می‌باشد.

## ابروند پنجم

### جهانی‌سازی در خدمات سلامت و شکل‌گیری توریسیم پزشکی

بر اساس مطالعات دانشگاه پرینستون، جهانی‌سازی در کنار رشد اقتصادی، در سلامت جامعه سودمند بوده و چنانچه جریان خدمات سلامت از سوی کشورهای پیشرفته به فقیر ادامه یابد می‌تواند در سلامت کل جهان نقش مهمی را ایفا نماید (۳۹). از این رو، جهانی‌سازی یک چالش کلیدی در برابر سیاست‌گذاران سلامت و ارائه دهندگان خدمات سلامت خودنمایی می‌کند. هر چند در طی سه دهه گذشته شاهد شکل‌گیری این ابروند و تأثیر غیرمستقیم آن بر روی اقتصاد ملی، خانگی و بخش‌های وابسته به سلامت مانند آب، بهسازی و آموزش و اثر مستقیم آن بر روی عوامل خطر ساز فردی و جمعیتی و سیستم مراقبت‌های سلامت بوده‌ایم (۴۰) ولی در این ابروند، بحث بر روی ارائه خدمات سلامت در مقیاس جهانی است و به بحث اثر جهانی‌سازی بر روی سلامت نمی‌پردازد؛ به زبانی دیگر، این ابروند از شکل‌گیری ارائه کالای خدمات سلامت در گستره اقتصاد جهانی و به ویژه در اقتصاد دانایی محور تمرکز دارد.

رشد اقتصاد جهانی، موجب خواهد شد که با شکل‌گیری طبقه متوسط در کشورهای در حال رشد و اقتصادهای نوپا، مردم این کشورها به جستجوی کالای پرکیفیت خدمات سلامت پرداخته و مرزهای ملی خود را در نوردند. از سوی دیگر، این حرکت همیشه از سمت کشورهای در حال توسعه به سوی کشورهای پیشرفته نخواهد بود بلکه با افزایش هزینه سرسام‌آور خدمات سلامت در کشورهای پیشرفته، ممکن است طبقه متوسط این کشورها به کشورهای دیگری که خدمات سلامت را با هزینه کمتری ارائه می‌دهند، میل کنند. بر این

اساس، در سال ۲۰۱۲ میلادی حدس زده می‌شود که بیش از ۱/۶ میلیون نفر از آمریکایی‌ها در جستجوی درمان‌های کم هزینه‌تر، در قالب توریسم پزشکی، به کشورهای دیگر مسافرت کرده باشند (۴۱).

هر چند که توریسم پزشکی یک مفهوم اواخر قرن بیستمی است ولی رشد فزاینده و سرسام‌آور آن را در این هزاره شاهد خواهیم بود (۴۲). در جریان توریسم پزشکی، کشور صادرکننده خدمات سلامت نه تنها ذخیره ارزی خود را فزونی می‌دهد بلکه از فرار مغزها نیز جلوگیری می‌کند و کشور واردکننده خدمات سلامت نیز فشار بر هزینه‌های خدمات سلامت خود را کاسته و لیست انتظار بیماران برای خدمات پیچیده را کاهش می‌دهد؛ هر چند که در این مسیر ممکن است اعتبار کیفیتی و قانونی خود را خدشه دار کند (۴۳). با تمام این سودمندی‌ها و خطرات، کشورها با زیر پا گذاشتن تعهدات نظام‌مند پیشین، مانند گات، کم کم وارد تعهدات دو جانبه و چند جانبه با کشورهای دیگر شده‌اند (۴۳).

در حقیقت در هزاره جدید، فشار بازار سلامت برای فعالیت در گستره جهانی و ارائه خدمات، به شکل فزاینده‌ای در حال رشد است، به گونه‌ای که نظام‌های ارائه خدمات سلامت ملی نمی‌توانند این نیروها را کنترل نمایند. بی شک این روند نه تنها در کشورهای در حال توسعه بلکه در کشورهای صنعتی نیز اثر شگرف خود را نمایان خواهد کرد (۴۴).

اصولاً بحث جهانی‌سازی و سلامت از دو زاویه قابل تعمق است. از یک بُعد اثر جهانی‌سازی بر سلامت جامعه است و از بُعد دیگر اثر آن بر ساختار و عملکرد نظام‌های سلامت می‌باشد. همان‌گونه که اشاره شد اثر عمومی جهانی‌سازی بر سلامت با تمام خطرات شناخته شده مانند حرکت محصولات، پاتوژن‌ها و توکسین‌ها از مرزهای جغرافیایی و محیط‌های تعریف شده مراقبت بیماران و ایجاد شرایط پیچیده (۴۵)، توانسته است بر شرایط سلامت بعضی از جوامع انسانی اثرات سودمندی را حکم‌فرما کرده و امید به زندگی را در این جوامع افزایش دهد (۴۶).

در کشور ما نیز نیاز است که در سطح کلان به فرصت‌ها و تهدیدات برخاسته از جهانی‌سازی توجه خاص عنایت شود و این موضوع به تعریف ساختارهای جدید در سطح

وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی نیاز دارد. امروزه بحث پاندمی‌های جهانی و گذر ویروس از مرزهای جغرافیایی، فشار فزاینده بسیاری را بر اقتصادهای محلی و منطقه‌ای ایجاد می‌کند و برای چیرگی بر این خطر جهانی، عملکرد بسیار هماهنگی نیاز است.

از سوی دیگر، با رشد طبقه متوسط کشور و افزایش رشد اقتصاد ملی، این طبقه بازار خوبی برای شرکت‌های دارویی چند ملیتی و بزرگ خواهند بود که داروهای برند خود را در فراتر از قالب‌های ژنریک و با ارائه خدمات پزشکی از راه دور ارائه دهند. از سوی دیگر همین طبقه می‌تواند در آینده جویای خدمات سلامت در فراتر از مرزهای ملی باشد. از این رو، تدوین نظام قانونی و بهداشتی ملی (برای پاسخگویی به این روند) در ساختار سیاست‌های کلان سلامت، نیاز است. برعکس این پدیده، همان‌گونه که در بند ۱۴ سیاست‌های کلان جمهوری اسلامی ایران، جایگاه برتر در منطقه جنوب غربی آسیا را هدف قرار داده است، می‌توان رسیدن به این مکان را به صورت یک فرصت برای اقتصاد ملی مطرح نمود. به زبان دیگر، می‌توان با تعریف ساختارها و سیاست‌های آینده‌نگرانه نسبت به طراحی و پیاده‌سازی زیرساخت توریسم پزشکی برای کشورهای خاورمیانه، آسیای میانه و قفقاز و حتی تا شرق مدیترانه برنامه‌ریزی کرد. گستره‌های پزشکی زیبایی، جراحی، دندانپزشکی، بیماری‌های قلبی-عروقی، ارتوپدی و سرطان را می‌توان از جنبه‌های برجسته در این توریسم قلمداد نمود (۱۷). همچنین می‌توان هوشمندانه نسبت به صادرات پرجذبه گیاهان دارویی و داروهای طب سنتی، در کنار صادرات داروهای با ارزش افزوده بر پایه فناوری نوین، به کشورهای با اقتصاد در حال رشد منطقه، برنامه‌ریزی کرد. از این رو برای پذیرش فرصت‌های فراروی این ابروند، بایستی در طراحی سیاست‌های کلان سلامت، از سوگیری قالب‌های سنتی "جایگزینی واردات"، به سوی قالب‌های نوآورانه در اقتصاد نوین جهانی، یعنی اقتصاد دانایی محور میل نمود.

## ابروند ششم

### سالمندان و کشش بر نظام سلامت

پیر شدن جمعیت موجب می‌شود که عمده جامعه از بیماری‌های مزمن، بیماری‌های

با هزینه درمان بالا و ناتوانی‌های جسمی و عملکردی در رنج قرار گیرد. این فرایند، بر نظام‌های مراقبت از سلامت فشار عظیمی ایجاد خواهد کرد (۴۱).

در حقیقت افزایش جمعیت سالمند به گونه‌ای خواهد بود که در سال ۲۰۵۰ میلادی، ۸۰ درصد از سالمندان در کشورهای در حال توسعه زندگی خواهند کرد و در خوشبینانه‌ترین حالت نیز یک پنجم جمعیت ایران و در بدبینانه‌ترین حالت، یک چهارم ایرانیان در سال ۲۰۵۰ میلادی، سالمند خواهند بود (۴۷). در حال حاضر ۸/۲ درصد جمعیت کشور را سالمند تشکیل می‌دهد و در سال ۱۴۲۰ خورشیدی حدود ۱۸ تا ۲۰ میلیون نفر از جمعیت کشور سالمندان خواهند بود (۴۸).

بر اساس نتایج بار کلی بیماری‌ها در سال ۲۰۱۰ میلادی، سالمند شدن جمعیت ایران یکی از سه عاملی است که بر پیکره نظام سلامت، اثر عظیمی را وارد می‌کند (۴۹). به دلیل میزان فزاینده سرعت پیر شدن جمعیت ایران، پیش بینی می‌شود در دهه‌های آینده، هزینه سلامت در ایران رشد بسیار بالایی را از خود نشان دهد (۵۰).

هر چند که در طب سنتی ایران از ۱۰۰۰ سال پیش، شیوه‌های متنوعی برای مدیریت سالمندی برقرار بوده است (۵۱) ولی به نظر می‌رسد که با پیر شدن جمعیت کشور، باید ارائه مدل‌های مدیریتی مراقبت و یک‌پارچه‌سازی شیوه‌های سلامت رفتاری، مدّ نظر قرار گیرند (۱۷). با توجه به بار سنگین هزینه‌های مراقبت از بیماری‌های مزمن در دوران سالمندی و پیر شدن پرسرعت جمعیت ایران و فشار مضاعف بر نظام مراقبت‌های سلامت کشور، بایستی در سیاست‌های کلان سلامت کشور، به ابروند پیر شدن جمعیت و فشار بر نظام مراقبت‌های سلامت، توجه ویژه شود و استراتژی پیشنهادی منطقه مدیریتانه شرقی سازمان بهداشت جهانی در زمینه مراقبت از سلامت سالمندان، در متن سیاست‌ها گنجانده شود. اساس این استراتژی‌ها، تأکید بر هماهنگی‌های بین بخشی، ادغام مراقبت‌های سلامت سالمندان در سیستم ارائه خدمات بهداشتی کشور، شبیه‌سازی مراقبت از سالمندان به صورت یک مدل کلی مشتمل بر خدمات اجتماعی- اقتصادی و شناسایی نقش PHC در ارائه بخش عمده مراقبت از سلامت سالمندان در کشورهای عضو با تأکید بر جمعیت روستایی است (۵۲).



در هر صورت، گستره پرداختن به سالمندی و نقش ارائه نظام سلامت کشور در پاسخگویی به نیازمندی‌های پزشکی و عملکردی آن‌ها، به ارائه مدل‌های نوآورانه نیاز دارد.

### ابروند هفتم

#### تحول در نظام آموزش پزشکی

در قرن بیستم، همیشه به آموزش پزشکی به گونه‌ای نگریده می‌شد که می‌بایست خود را با ابروندها هماهنگ سازد و اینگونه برآورد می‌شد که روندهای مالیه و نیروهای اقتصادی و تحولات اجتماعی می‌توانند چه اثراتی بر آموزش پزشکی بگذارند (۵۳). اما دیدگاه قرن بیست و یکمی تغییر کرده است و نه تنها به بررسی ابروندهای گستره سلامت که بر آموزش پزشکی اثر می‌گذارند (مانند پیر شدن جمعیت و ظهور فزاینده بیماری‌های مزمن) پرداخته می‌شود (۵۴)، بلکه بحث تحول در نظام آموزش پزشکی که در حال روی دادن است، خود نیز به صورت یک ابروند بسیار پراهمیت، در گستره سلامت جلوه نموده است (۵۵).

| <b>تحول در آموزش پزشکی در سال ۲۰۱۵</b>                |  |
|---|--|
| <b>آموزش پزشکی از چهار گذرگاه اساسی تحول می‌یابد:</b> |  |
| ۱   | آموزش در دانشکده‌های پزشکی به سه سال کاهش یافته و رزیدنتی نیز کوتاه‌تر می‌شود.                           |
| ۲   | نیمی از آموزش بالینی دانشکده‌های پزشکی در بیرون از بیمارستان انجام خواهد شد.                             |
| ۳   | یکپارچه سازی و ادغام پرستاران، داروسازان، کارکنان امور اجتماعی با دانشجویان پزشکی در آموزش تخصصی چندگانه |
| ۴   | ادغام سلامت جمعیت و مهارت‌های مدیریتی در آموزش و تربیت دانشجویان پزشکی                                   |

شکل ۴-۳: گذرگاه‌های تحول در آموزش پزشکی در سال ۲۰۱۵ میلادی

در بحث تحول در نظام آموزش پزشکی، شاهد بازتعریف صفات یک پزشک خوب هستیم. به اینگونه که نقش سنتی پزشک که بر برج عاج نشسته (مدل فرمانروایانه) به مدل همکاری و مشارکتی با بیمار تبدیل شده است. به زبان دیگر، طب پزشک محوری به طبابت بر پایه بیمار محور، تغییر ماهیت خواهد داد. از سوی دیگر، به دلیل پیچیدگی ارائه خدمات سلامت در هزاره جدید و باز شدن گستره‌های جولان برای پزشکان و تیم درمانگران، مفهوم رهیافت میان رشته‌ای در آموزش پزشکی معنا می‌یابد. همچنین از تحولات دیگر در آموزش پزشکی، تغییرات در گستره فضای آموزشی است؛ به اینگونه که یک جا به جایی فزاینده از فضای بیمارستانی به سرپایی شاهد خواهیم بود. به صورتی که درگیری نهادهای پزشکی مبتنی بر جامعه و مطب‌های خصوصی در امر آموزش پزشکی، فزونی خواهند یافت و مشوق‌هایی برای کسانی که در راه آموزش پزشکی مبتنی بر جامعه تلاش می‌کنند، در نظر گرفته خواهد شد (۵۶). همزمان با مطرح شدن بحث پزشکی فردگرایانه و مراقبت‌های سلامت فردگرایانه، چگونگی ادغام دست‌آوردهای فناوری‌های آمیکس مانند ژنومیکس در عرصه آموزش پزشکی نمایان خواهد شد (۵۷). باز تأکید می‌شود که در فراتر از بحث فناوری‌های نوین، موضوع برجسته در تحول آموزش پزشکی قرن بیست و یکم، مقوله سلامت جامعه است. زیرا به پزشکی نیاز خواهیم داشت که لازم است ضمن داشتن مهارت‌های موجود در دوران بیماری‌های حاد (که در قرن بیستم با آن مواجهه بودیم)، بتوانند مهارت‌های لازم برای چیرگی بر دوران بیماری‌های مزمن پیچیده (که در قرن بیست و یکم با آن‌ها دست و پنجه نرم می‌کنیم)، نیز به دست آورند. تنها از این طریق است که آموزشگران جامعه پزشکی می‌توانند پیمان خود را که با جامعه بسته‌اند تا بیماران را از بار بیماری‌های آزار دهنده رها نمایند، به انجام برسانند (۵۸). از این رو، رسیدن به نقطه بهینه در آموزش پزشکی، سلامت فرد و تمام جامعه است که در نوشتن برنامه‌های آموزش پزشکی و آموزش مداوم انعکاس یافته است (۶۱-۵۹). طراحان استراتژی تحول در نظام سلامت آمریکا که با دولت اوپاما همکاری می‌کنند، اعتقاد به این دارند که شش ابروند با انجام دکترین اوپاما روی خواهد داد که تحول در آموزش پزشکی یکی از آن‌ها می‌باشد. آن‌ها بر این باورند که تا سال ۲۰۲۵ میلادی، آموزش پزشکی به چهار شیوه زیر دچار تحولات بنیادین خواهد شد:

۱/ آموزش پزشکی به سه سال تعدیل خواهد یافت و دوران آموزش تخصصی نیز کوتاه‌تر خواهد شد.

۲/ نیمی از دوران بالینی در دانشکده‌های پزشکی، در بیرون از بیمارستان‌ها انجام خواهد شد.

۳/ پرستاران، داروسازان و کارکنان امور اجتماعی با دانشجویان پزشکی در سیستم تربیتی چند حرفه‌ای ادغام خواهند شد.

۴/ در هم آمیزی رسمی آموزش در گستره‌های سلامت جمعیت و مهارت‌های مدیریتی مربوطه با آموزش پزشکی روی خواهد داد (۵۵).

| ۱۰ ابروند در آموزش پزشکی |   |
|--------------------------|---|
| ۱                        | جهانی سازی  |
| ۲                        | شبیه سازی   |
| ۳                        | افزایش هزینه‌های مراقبت‌های طبی و آموزش پزشکی                         |
| ۴                        | بازتعریف صفات پزشک ایده‌آل  |
| ۵                        | نیاز به استمرار در گستره‌ی جدول زمانی آموزش                           |
| ۶                        | رهیافت میان رشته‌ای و آموزش میان تخصصی                                |
| ۷                        | شناخت آموزش پزشکی به عنوان بخشی از تشکیلات خدمات سلامت                |
| ۸                        | نیاز به آموزش مادام‌العمر و حمایت از حرفه‌ی پزشکی                     |
| ۹                        | تغییرات در مکان آموزش پزشکی (از بیمارستان به سرپایی و مطب‌ها و جامعه) |
| ۱۰                       | فناوری  |

شکل ۴-۴: کمیته راهبری ژنرالیزتهای آموزش پزشکی، ۱۰ روند را در آموزش پزشکی برای زمینه همایش سال ۲۰۰۸ میلادی خود در سان آنتونیو برگزیدند. این ابروندها در تصویر فوق توصیف شده‌اند.

خوشبختانه برنامه ادغام آموزش پزشکی در گستره سلامت جامعه در کشورمان پیشینه داشته و دارای تجربیات مثبت و منفی برجسته‌ای است که می‌توان با برداشت این تجربیات (مانند پزشکی جامعه‌نگر)، نسبت به تدوین سیاست‌های کلان و بازنگری در برنامه‌های آموزش پزشکی کشور اهتمام ورزید. به زبان دیگر، طی دو دهه گذشته، کشور عزیزمان به تجربیاتی گرانقدر در این زمینه دست یافته است و دارای بستر و زیرساخت بسیار مناسبی است که شاید نتوان نمونه آن را در هیچ کشوری دیگر یافت. از این رو در سیاست‌های کلان سلامت، پافشاری بر وجود این پتانسیل‌ها و برنامه‌ریزی‌های کلان حول نقاط درخشان و پرستارورد آن‌ها (در عرصه سلامت فردی و سلامت جامعه)، بسیار خالی بوده و خلأ آن به خوبی احساس می‌شود.

### ابروند هشتم

#### مردم شرکاء ارائه خدمات سلامت خواهند بود؛ شکل‌گیری پزشکی مشارکتی

توانمندسازی و اعتماد به مشتریان خدمات سلامت، می‌تواند کارایی عظیمی را در ارائه خدمات متبلور سازد. در آینده بیماران نه تنها اطلاعات کافی پیرامون بیماری و سلامت خواهند داشت بلکه مسلح به ابزارهایی خواهند بود که بهتر می‌توانند وضعیت سلامت و رفتارهای خود را پایش کنند. همچنین آن‌ها می‌توانند کنترل بهتری را بر سطح مراقبت‌های سلامت خود نشان دهند. از آنجا که عمده هزینه‌های سلامت در آینده مربوط به بیماری‌های مزمن خواهد بود و بسیاری از عوامل خطر ساز این بیماری‌ها قابل پیشگیری هستند می‌توان با تکیه بر رفتارهای سلامت آفرین مردم و توجه آن‌ها به سلامت خود، از فزونی از این هزینه‌ها جلوگیری نمود (۱۷).

روند حاکم بر فضای اطلاعاتی جهانی به گونه‌ای است که امروزه و در آینده مردم با پدیده "اطلاعات در همه جا" رو به رو خواهند بود که بر اساس این اطلاعات، قیمت و هزینه خدمات سلامت از بیمارستانی تا درمانگاهی و نیز شیوه‌های درمانی به صورت شفاف در دسترس مشتریان خدمات سلامت قرار گرفته و در نتیجه خود بیماران می‌توانند خدمات پرکیفیت را با هزینه پایین (به انتخاب خود) برگزینند و بر اساس این پدیده حاکم در دهه

کنونی، در آینده این بیماران خواهند بود که به صورت عظیمی کسب و کار سلامت را به پیش می‌رانند (۶۲).

در این ابروند که با افزایش سلامت و با فزونی در کیفیت خدمات توأم خواهد بود، خود بیماران طرح‌های مراقبت از سلامت خود را به صورت فردگرایانه پایه‌ریزی خواهند کرد (۶۳).

همچنین سکوی فناوری اطلاعات، امکان شکل‌دهی جوامع مجازی بیماران به هم پیوسته را فراهم نموده و با شکل‌گیری فضای اجتماعی عرصه خدمات سلامت که مشتریان آن با یکدیگر در پیوند خواهند بود، بیماران می‌توانند تجربیات خود را از سلامت و بیماری به اشتراک گذاشته و با شکل‌گیری این جوامع آنلاین، بیماران دچار چنان قدرت اجتماعی خواهند شد که تیم درمانگران و ارائه دهندگان خدمات سلامت را به احترام به عقاید و بینش آن‌ها وادار می‌نمایند. در حقیقت در فضای اجتماعی و مجازی خدمات سلامت، با روند شفافیت و پاسخگویی (که از عناصر رو به رشد دهه اخیر است)، بیماران خواهند توانست بهترین اطلاعات سلامت و شیوه‌های درمانی را خود برگزینند. همچنین اطلاعات بالینی همراه با الگوریتم‌های تصمیم‌گیری هوشمندانه، بر روی تلفن‌های هوشمند قرار خواهند گرفت و در نتیجه بیماران به همان اطلاعاتی دسترسی پیدا خواهند کرد که پزشکان، پرستاران و تیم درمانگران در اختیار دارند (۶۲). از این رو، انتخاب گزینه‌های درمانی و احترام درمانگران به انتخاب بیماران، از پایه‌های اصلی شکل‌گیری پزشکی مشارکتی خواهد بود.

از سوی دیگر بیماران فهیم از طریق اطلاعات خود، مسئولیت مدیریت سلامت خود را به عهده خواهند داشت و آن‌ها به صورت فعال در فرایند سلامت و بیماری خود درگیر خواهند شد. این رفتارهای فردی نه تنها در برقراری سلامت سودمند بوده بلکه می‌توانند هزینه‌های سلامت را کاهش دهند. بنابراین در این هزاره، شاهد رشد منابع و فناوری‌هایی هستیم که می‌توانند مراقبت از خود را با محوریت خانه و خود پایشی مورد حمایت قرار دهند. در حقیقت در آینده، بخش عظیمی از سطوح درمان از طریق سرپایی به صورت پزشکی خانگی با مرکزیت بیمار، با تأکید بر خود مدیریتی ارائه خواهد شد (۶۹-۶۴). خودمراقبتی، منظر پراهمیت در

مقوله بیمار محوری است. یافته‌های پزشکی مبتنی بر شاهد، نشانگر مؤثر بودن خود مراقبتی در استراتژی‌های حمایتی می‌باشند (۷۰).

شکل‌گیری تغییر سبک زندگی و تغییر رفتارهای تغذیه‌ای و ورزشی، بر پایه پزشکی مشارکتی استوار بوده و می‌تواند سلامت جامعه را هدف قرار دهد. با مشارکت ارائه دهندگان خدمات سلامت، سیاست‌گذاران عرصه سلامت، پژوهشگران و مردم می‌توان سبک زندگی سالم را برای کاهش هزینه‌های بیماری‌های مزمن و بیماری‌های قابل پیشگیری تغییر داد.

در سیاست‌های کلی سلامت جمهوری اسلامی ایران، به خوبی به ارتقاء سلامت جامعه با ترویج سبک زندگی اسلامی-ایرانی در بند ۳ و اصلاح سبک زندگی در عرصه تغذیه به مدد طب سنتی (بند ۱۲-۶) و نیز افزایش آگاهی، مسئولیت‌پذیری، توانمندی و مشارکت ساختارمند و فعالانه فرد، خانواده و جامعه در تأمین حفظ و ارتقای سلامت با استفاده از ظرفیت نهادها در بند ۱۱ اشاره شده و از نقاط بسیار قوت این سیاست‌ها می‌باشد. انجام این سیاست‌ها تلاش ارائه‌دهندگان خدمات سلامت در سطح کلان را می‌طلبد که با طراحی برنامه‌های ارائه خدمات سلامت در دو بُعد، در به ثمر نشستن آن‌ها اهتمام ورزند. نخست توجه به سیاست‌های حامی خود مراقبتی در ارائه خدمات سلامت و فراهم آوردن زیرساخت‌های فناورانه نوین برای پخش و گسترش و نهادینه کردن آن و دوم اهمیت برجسته به سلامت جامعه و تدوین راه‌کارهایی جهت تغییر رفتار و سبک زندگی، پیرامون شیوه‌های تغذیه‌ای و فعالیت فیزیکی، بر پایه آموزه‌های اجتماعی - اسلامی (زیرا بدون سلامت جامعه، سلامت فردی به دست نخواهد آمد) (۶۲). از این رو، طراحان برنامه‌های راهبردی در عرصه سلامت، بر برقراری سلامت جامعه جهت نیل به سلامت فردی، تأکید فراوان نموده‌اند (۶۹-۶۲).

## ابروند نهم

### گذار به ابرنظام‌های سلامت

نظریه پردازان اوپاما در اوپاما کر پیش بینی کرده‌اند که در سال ۲۰۲۰ میلادی بیش از ۱۰۰۰ بیمارستان آمریکایی که به مراقبت‌های حاد می‌پردازند بسته خواهند شد. با گسترش

و پذیرش فناوری پزشکی از راه دور، مانیتورینگ، آزمایش و درمان بیماران در بیرون از بیمارستان و مطب پزشکان رایج شده و با پیدایی پزشکی دیجیتالی، بسته شدن بیمارستان‌ها وارد مرحله جدی خواهد شد (۵۵). اما تا پیش از رسیدن به این چشم‌انداز، بیمارستان‌ها از روندی دیگر پیروی می‌کنند یعنی روندی که از دهه‌های پیش آغاز شده است. این روند شامل ادغام و تملک بیمارستان‌ها جهت کاهش هزینه‌ها، افزایش کارایی، بهبود کیفیت و برتری طلبی در عرصه رقابت می‌باشد. طی پنج تا هفت سال آینده، بیش از ۲۰ درصد از بیمارستان‌های آمریکا از این استراتژی پیروی خواهند کرد. بر پایه این استراتژی، پیش بینی می‌شود که ادغام و تملک و کسب امتیاز در میان و نیز ورای گروه‌های ذی‌نفع (شامل پرداخت کنندگان، بیمارستان‌ها، نظام‌های سلامت، تأمین کنندگان مواد دارویی و دیگر نهادهای مراقبت سلامت)، موجب خلق ابرنهادهای مراقبت از سلامت خواهد شد که این نهادها با سازمان‌هایی با ابعاد عظیم مدیریت خواهند شد. رشد ابرنهادهای سلامت، دوره پزشکان، درمانگران و بیمارستان‌های مستقل را به پایان خواهد رساند (۱۷).

بسیاری از تحلیل‌گران و آینده پژوهان، به ابروند تجمیع که شامل ادغام و تملک (یا کسب امتیاز) است به عنوان ابروند چشمگیر در جهان صنعتی نگریده‌اند که موجب خلق نظام‌های بیمارستانی با خدمات گسترده و با "اقتصاد بزرگ مقیاس" خواهد گردید که تنها این نظام‌ها می‌توانند با فشارهای فزاینده استراتژیک، اقتصادی و مقرراتی هزاره جدید دست و پنجه نرم کنند (۷۳-۷۱).

در طی فرایند ادغام، عموماً بیمارستان‌هایی که از لحاظ جغرافیایی در مجاورت هم هستند، تحت یک امتیاز مشترک از لحاظ سازمانی هم‌جوشی می‌یابند. ولی فرایند تملک یا کسب امتیاز، عموماً در بیمارستان‌هایی که از لحاظ جغرافیایی در مکان‌های دوری از هم قرار دارند روی داده و بیمارستان تملک یافته، با سازمان خود، زیر نظر بیمارستان کسب کننده امتیاز به فعالیت ادامه می‌دهد (۷۴). در حقیقت مقوله ادغام و تملک بیمارستان‌ها از مقولات رفورم در نظام‌های مراقبت‌های سلامت و اقتصاد سلامت می‌باشد (۷۵). از اهداف این استراتژی، در ورای افزایش کیفیت و کاهش هزینه‌های فزاینده مراقبت‌های سلامت، نیل به

مقوله سلامت جمعیت است (۷۱، ۷۷-۷۵).

سلامت جامعه از این لحاظ اهمیت پیدا کرده است که جمعیت در حال پیر شدن است و همراه با خود بیماری‌های مزمن مادام‌العمری همچون دیابت، نارسایی قلبی و بیماری‌های مزمن ریوی به ارمغان آورده و طبیعت درمان بیماری‌های حاد به بیماری‌های مزمن تغییر ماهیت داده و بیماران آگاه هزاره جدید در جستجوی خدمات پرکیفیت با ارزش و ارائه خدمات آسان، پاسخگو، احترام آمیز و مؤثر هستند. از این رو درمان‌های هزاره جدید، به صورت پویا در جستجوی مدل‌های پزشکی کنش‌پذیر است که در ورای دستورالعمل‌های بالینی بر روی پیشگیری و حمایت از مراقبت‌های سلامت که به صورت خود مراقبتی و خود مدیریتی استوار هستند، میل می‌نماید (۱۷).

به نظر می‌آید که سیمای بیماران بستری آینده با آنچه هم اکنون است بسیار متفاوت باشد. در آینده تعداد بیماران افزوده‌تر خواهد شد، بیماران پیرتر بوده و به دلیل وجود بیماری‌های مزمن و پیچیده، با گستره‌ای از بیماری‌ها گلاویز خواهند بود. از این رو برای پاسخ‌دهی به این نیاز فزاینده با رشد فزاینده مصرف‌گرایی در خدمات سلامت، راهی به جز ادغام در فراروی نهادهای بیمارستانی نخواهد بود، زیرا ماهیت درمان‌ها پیچیده‌تر و پرهزینه‌تر خواهد بود و برای پاسخ‌دهی به عوارض بیماری‌های مزمن جامعه پیر، نیاز است که ساختارهای بازتوانی و مراقبت‌های تسکینی و آسایشگاهی در کنار سیستم پیچیده بر پایه فناوری پیشرفته بیمارستانی که به جراحی‌های رباتیک و پزشکی ترمیمی بر پایه فناوری‌های سلولی - بافتی و جایگزینی ارگان و پزشکی بازآفرینشی می‌پردازند، گنجانده شوند (۶۵). از این رو، در ابرنظام سلامت آینده، ماهیت بیمارستان‌های بزرگ به گونه‌ای خواهد بود که از طیفی از فناوری‌ها شامل مزرعه بیمارستانی که در آنجا جانوران برای پیوند زنوی پرورش داده می‌شوند تا برآورد خطر بیماری‌های مزمن و صنعت مدیریت سلامت جامعه (با زیرساختی از فناوری اطلاعات که چندین میلیارد دلاری خواهد بود) برخوردار خواهند شد (۱۷ و ۷۸).

چنین می‌نماید که این ابرنهادهای سلامت، نیاز به رشد فزاینده شبکه‌های مراقبت‌های اولیه و خدمات بیماران سرپایی را نیز پاسخگو باشند (۷۹). همچنین این مدل ابرنهادی



می‌تواند به نظام مراقبت‌های سلامت پرهزینه آمریکا را که از پدیده‌های ارائه خدمات غیرمنسجم، با عدم هماهنگی کافی و فقدان پاسخگویی مناسب در رنج است (۶۳)، سودرسانی نماید. خوشبختانه در نظام سلامت کشور عزیزمان ایران، مقدمات برجسته و پرتانسلی برای پاسخگویی به نیازهای هزاره جدید در ساختار ادغام شبکه‌های بهداشت، درمان و آموزش پزشکی فراهم آمده است و همچنین گرانیگاه‌های ارزشمندی برای برنامه‌ریزی راهبردی جهت رویارویی با نیازهای آینده وجود دارد که می‌توان بر پایه آن‌ها به اهداف هزاره نائل شد. همچنین نگاه هولستیک به سلامت و مقدم داشتن پیشگیری به درمان در بند ۲ و تأکید بر استقرار نظام سطح بندی با اولویت خدمات ارتقاء سلامت و پیشگیری و ادغام آن‌ها در نظام آموزش علوم پزشکی (بند ۸-۱) از نقاط قوت سیاست‌های کلان سلامت است. بی‌شک در سیاست‌های کلان سلامت، برای افزایش کیفیت و کم کردن هزینه‌ها و پاسخگویی به نیاز فزاینده به پیشگیری و درمان بیماری‌های مزمن (به ویژه در سالمندی)، لازم است که تمهیداتی برای قطب‌بندی جغرافیایی و تشکیل کنسرسیوم‌های پزشکی برای درمان‌های پیچیده در سطح دانشگاه‌های علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی دیده شود و نیز نباید از امکان پرقوت و آتشین و رو به فراموشی برنامه‌های پیشین ادغام مانند پزشکی جامعه‌نگر و پزشک خانواده که می‌توانند در برآورد نیازهای سلامت جمعیت انقلاب ایجاد کنند غافل شد.

### ابروند دهم

#### پزشکی P4 (پیشگویی کننده، پیشگیری کننده، فردگرایانه و مشارکتی)

پزشکی کنونی بر روی علائم فرد - بیمار تأکید می‌کند؛ برعکس در پزشکی آینده (پزشکی سیستمی، پزشکی P4)، به صورت مستقیم پایه ژنتیکی بیماری را هدف قرار داده و کل جمعیت را به زیر گروه‌هایی طبقه‌بندی می‌نماید که هر کدام ویژگی‌های منحصر به فرد خود را خواهند داشت. بر اساس تحلیل زیست پزشکی، سودمندی برخاسته از رهیافت پزشکی P4، ایجاد دقت، کارایی، ایمنی و سرعت در تشخیص و درمان بیماری‌ها خواهد بود. در پزشکی P4 با کاربرد انقلاب در فناوری‌های امیکس (مانند ژنومیکس، سیتومیکس، پروتئومیکس)،

رهیافت‌های جدیدی برای توسعه دارو و نیز یافت شیوه‌های جدید درمانی و تشخیصی و ارائه مراقبت‌های سلامت پدید خواهند آمد (۱۷).

|          |   |
|----------|---|
| <b>P</b> | <p><b>پیشگویی (Predict)</b></p> <p>آزمون‌هایی که اختلالات ژنتیکی را شناسایی کرده و مارکرهای زیستی بیماری‌ها، به بیمار آن تصویر روشن‌تری از خطرات سلامت خواهد داد و سودمندی راهبردهای پیشگیرانه و درمانی در سطح ملکولی را پیشگویی خواهد کرد.</p>   |
| <b>P</b> | <p><b>پیشگیری (Prevent)</b></p> <p>با شناسایی عوامل زمینه‌ای بیماری‌ها، به درمان‌هایی که پیشرفت آن‌ها را منع و یا آهسته خواهند کرد منتهی خواهد شد. اقدامات پیشگیرانه برای هر فرد خاص، به صورت ویژه بوده و بنابراین اثرگذارتر و با اثرات جانبی کمتر، توأم خواهد بود.</p>   |
| <b>P</b> | <p><b>فردگرا (Personalize)</b></p> <p>داده‌های سلامت، رفتاری و محیطی و نیز اطلاعات ژنتیکی هر فرد بیمار، برای خلق طرح مدیریت سلامت فردگرایانه، راهبردهای پیشگیرانه‌ی بیماری ویژه فردی و در مورد لزوم، درمان‌ها و اقدامات مداخله‌ای منحصر به بیماری، به کار خواهند رفت.</p>   |
| <b>P</b> | <p><b>مشارکت (Participate)</b></p> <p>اقدامات مراقبت‌های سلامت در طول زندگی بیمار آن، رضایت‌مندانه‌تر، مؤثرتر، هماهنگ‌تر و راحت‌تر خواهد بود زیرا بیمار آن با اطلاعات و ابزارهایی توانمند خواهند شد که می‌توانند نقش فعال‌تری را در سلامت خود ایفا، نمایند. آن‌ها در کنار ارائه دهندگان خدمات سلامت، در طراحی، مدیریت و نیل به اهداف سلامت خودشان تلاش می‌کنند.</p> |

شکل ۴-۵: چهار P برای پزشکی P4

پزشکی P4 خود برخاسته از نگاه سیستمی نسبت به سلامت و بیماری است. بر اساس تئوری مفهومی پزشکی سیستمی و پزشکی P4، بیماری برخاسته از پیامد "شبکه‌های آشوب‌زده با بیماری" در ارگان دچار بیماری است که از یک یا تعدادی شبکه‌های آشوب‌زده بیماری به بسیاری دیگر (با پیشرفت بیماری) سرایت می‌کند. پزشکی P4 تلاش می‌کند که با کمک فناوری‌های امیکس، مانند فناوری توالی‌یابی ژنوم، پروتئوم و ترانس کریپتومیک و فناوری‌های بس پیچیده‌تر آنالیز تک سلول و تصویربرداری‌های ملکولی، در کمی‌سازی اطلاعات بیولوژیک و رازگشایی از شبکه‌های آشوب‌زده با بیماری ما را یاری نماید. با این فناوری‌ها طی چند سال آینده، هر فردی با ابری حاوی میلیاردها داده‌های بیولوژیک نقطه‌ای

احاطه خواهد شد که با فناوری‌های تبدیل داده‌های بزرگ به دانش می‌توان مدل‌های کنش‌پذیر و پیشگویی کننده برای سلامت و بیماری طراحی نمود که در راه پیشگیری از بیماری‌ها، انقلابی ایجاد خواهند کرد (۸۲-۸۰).

به زبان دیگر، در آینده‌ای نزدیک، همگرایی رهیافت‌های سیستمی به بیماری‌ها، فناوری‌های برتر، تصویرنگاری و اندازه‌گیری‌های نوین و ابزارهای محاسباتی و ریاضیاتی جدید، موجب تولد پزشکی P4 خواهند شد که پیش از آن که منتظر شود که بیماری بر فرد چیره شود تا واکنش نشان دهد، طی ۱۰ سال آینده مدلی ارائه خواهد داد که پزشکی ماهیت پیشگویی کننده و پیشگیرانه در فرد و جامعه خواهد داشت.

در آینده‌ای نه چندان دور که پرتوهای آن از سال ۲۰۲۰ میلادی آغاز به درخشش خواهند کرد، خواهیم دید که تعریف بیماری‌ها، ارگان‌ها و سیستم‌های بیولوژیک تغییر بنیادینی خواهند یافت و شیوه درمان و نگاه به "پیکره شبکه‌های آشوب‌زده با بیماری" دچار چنان انقلابی خواهند شد که هم اکنون نیز تصور آن ممکن است دشوار آید.

جدول ۴-۱: پزشکی P4 در دنیای طبابت یک انقلاب قلمداد می‌شود.

| پزشکی واکنشی (Reactive)<br>پزشکی مبتنی بر شاهد   | پزشکی P4 کنش‌گرا<br>(Proactive P4 Medicine)  |
|--|--|
| پاسخ و واکنش در زمانی که فرد دچار بیماری می‌شود (بر اساس علائم).<br>سیستم بیماری - درمان   | کنش فعال در پیش از آن که فرد دچار بیماری شود (بر اساس مارکرهای پیش علامتی).<br>سیستم نگهداشت تندرستی   |
| اندازه‌گیری محدود و اندک   | اندازه‌گیری‌های فراوان شامل توالی‌یابی کامل ژنومی، تست‌های تشخیصی خونی با پارامترهای بالا، اندازه‌گیری‌های امیکس (omics) طولی  |
| بیماری محور، با استاندارد مراقبت توأم با تشخیص بیماری  | فرد محور؛ با استاندارد مراقبتی که بیشتر تکیه بر اندازه‌گیری‌های چندگانه دارد.  |
| پرونده‌ها چندان با یکدیگر پیوند نیافته‌اند.  | داده‌های بی‌نهایت یک‌پارچه شده که می‌توان از میان آن‌ها بهبودی مداوم در راهبردهای مراقبت‌های سلامت را کسب کرد.   |
| انتشار گسترده اطلاعات پزشکی عمدتاً از طریق پزشکان به تنهایی صورت می‌گیرد.  | شبکه‌سازی اجتماعی بیماران موجب افزایش تجربیات به اشتراک گذاشته آن‌ها شده و همچنین بیماران، دانش مربوطه را با مشاوره پزشکان خودشان انتشار می‌دهند.  |
| داروها در جمعیت‌های بزرگ آزمون می‌شوند. ده‌ها هزار مورد آمار مورد قبول FDA فراهم شود.  | دسته بندی جمعیت‌های بیماری به گروه‌های کوچک‌تر ۵۰ و یا در همین حدود (که می‌توان به صورت کارآمدتر جهت پذیرش FDA عمل نمود).  |
| مراقبت‌های سلامت بر پایه دانش، تقریباً به صورت کامل در درمانگاه‌ها و یا بیمارستان‌ها انجام می‌شود.   | مراقبت‌های سلامت بر پایه دانش در خانه و نیز در درمانگاه توسط مشتریان مراقبت از سلامت "فعال شده و شبکه‌ای شده" با استفاده از کاربرد اطلاعات بیولوژی سیستمی و ابزارهای اندازه‌گیری بدون سیم (wireless) انجام می‌شوند.  |
| دانش اکتشافی و دانش پزشکی، به صورت عمده هر کدام فضاهای جداگانه‌ای را به خود اختصاص داده‌اند که به صورت اولیه از طریق چاپ مقالات در ژورنال‌های معتبر پزشکی با یکدیگر تماس حاصل می‌نمایند. | دانش اکتشافی و کار طبابت یک‌پارچه می‌شوند و این عمل از طریق شبکه‌های دیجیتالی و پایگاه‌های داده‌ای ناهمگن انجام می‌شود که داده‌های بالینی را جهت اهداف اکتشافی گردآوری کرده و به صورت کارآمد، اطلاعات پیرامون بیماری‌ها و جمعیت‌های دسته بندی شده (stratified) را به پزشکان، به شکلی مداوم انتشار می‌دهند. |

در تدوین سیاست‌های کلی، جایگاهی برای تبلور پزشکی P4 یافت نمی‌کنیم. هر چند که طی دهه گذشته در سایه اندیشه‌های استاد گرانقدر عرصه سلامت، جناب آقای دکتر حسین ملک افضلی، تلاش‌های نوآورانه و بی‌همتایی جهت آشنایی جامعه با مفاهیم پزشکی مشارکتی انجام گردید و می‌رفت که این مفاهیم نه تنها در سطح چهارچوب‌های پژوهشی بلکه در گستره سلامت فراگیر شود، ولی در تدوین سیاست‌های کلان سلامت به زیرساخت‌ها و مفاهیم پزشکی مشارکتی و نقشی که می‌تواند در تحول نظام سلامت داشته باشد اشاره‌ای نشده است. پیاده‌سازی بنیان‌ها و زیرساخت‌های پذیرش مفاهیم پزشکی P4 منوط به اجرای سیاست‌های کلان مندرج در نقشه علمی کشور در حوزه سلامت است و بی‌شک نیل به تبدیل ایران به قطب پزشکی منطقه آسیای جنوب غربی و جهان اسلام (بند ۱۴) بدون توجه به روندها و تغییر پارادایم پزشکی که در هزاره کنونی در جریان می‌باشند، امکان‌پذیر نخواهد بود. این حقیر پیرامون تنگناهای توسعه پزشکی P4 در نقشه علمی ایران در گستره سلامت به تفصیل بحث نموده است که علاقمندان می‌توانند تحلیل کلان روندی مذکور را مطالعه بفرمایند (۸۳). اما در یک فراگرد کلی، ما باید کلان روندهای حوزه علم و فناوری و نیز تغییرات پارادایمی دانش پزشکی را رصد کرده و با تدوین راهبردهای کنش‌پذیر، بنیان برافکن و مرزشکن، با پذیرش انقلاب دیجیتالی و اطلاعاتی در تمام گستره‌ها و فراهم آوردن رشد و نمو زیرساخت‌های فناوری‌های نو همانند فناوری‌های وابسته به ژنومیکس، پروتئومیکس و دیگر امیکس‌ها و فناوری‌های برتر همچون آنالیز تک سلول، بسته‌های لازم را برای شکوفایی و به واقعیت رساندن ریشه‌ای پزشکی P4 در کشور و تبدیل نظام سلامت از بیمار محور به تندرستی محور گام برداریم.

## منابع

- 1) Excerpts from megatrends by John Naisbitt. (Accessed 23 June 2014 at [www.nccppr.org/drupal/system/files](http://www.nccppr.org/drupal/system/files)).

- 2) From Megatrend to Innovation The Z\_punkt Megatrend Analysis. (Accessed 23 June 2014 at [http://www.z-punkt.de/fileadmin/be\\_user/englisch/V\\_Newsletter/V\\_2011\\_1\\_Future\\_News/From\\_Megatrend\\_to\\_Innovation.pdf](http://www.z-punkt.de/fileadmin/be_user/englisch/V_Newsletter/V_2011_1_Future_News/From_Megatrend_to_Innovation.pdf)).
- 3) Schwenker B, Raffel T. THOUGHTS megatrends- Roland Berger. (Accessed 23 June 2014 at [http://www.rolandberger.com/media/pdf/Roland\\_Berger\\_RBSE\\_THOUGHTS\\_Megatrends\\_E\\_20120720.pdf](http://www.rolandberger.com/media/pdf/Roland_Berger_RBSE_THOUGHTS_Megatrends_E_20120720.pdf)).
- 4) Moller, Klaus-Johannes (2012) A critical review of the megatrends and their implications for procurement. (Accessed 23 June 2014 at <http://essay.utwente.nl/61742>).
- 5) Linda Kool, Annemieke de Korte, Miriam Leis, Sander van der Molen. Megatrends: a broad outlook on innovation. pp27.(2010) (accessed 13 August 2014 at [http://www.hbo-engineering.nl/groepsdocumenten/megatrends\\_tno\\_report\\_06511.pdf](http://www.hbo-engineering.nl/groepsdocumenten/megatrends_tno_report_06511.pdf)).
- 6) Prandecki, K. Nawrot, K. A. Fronia, M. Wawrzyński, M. Megatrends and Sustainable Development. 2013 (accessed 13 August 2014 <http://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-f45ee009-ad59-48fd-b6db-b8cc9f46a8a0>).
- 7) The Research Center of Parliament of I.R.Iran. A review on the structure of complementary insurances in selected countries and Iran. 2003 (<http://rc.majlis.ir/fa/report/download/729062>)
- 8) Wilensky GR. The shortfalls of "Obamacare". N Engl J Med. 2012 Oct 18;367(16):1479-81.
- 9) Eibner C1, Hussey PS, Girosi F. The effects of the Affordable Care Act on workers' health insurance coverage. N Engl J Med. 2010 Oct 7;363(15):1393-5.
- 10) Miller H, Vandervelde A, Russo G. Healthcare Megatrends: The future of healthcare financing and delivery. (Accessed 23 June at <http://cdn.medicexchange.com>).
- 11) Huber R. Health Care Megatrends Outlined at Feb. 24 Omenn Lecture. Mar 3, 2014. (Accessed at 23 June at <http://www.princeton.edu/news-and-events/news/item/health-care-megatrends-outlined-feb-24-omenn-lecture>).
- 12) Ubel P. Obamacare And The End Of Employer-Based Health Insurance. (Accessed 23 June at <http://www.forbes.com/sites/peterubel/>).
- 13) Enthoven AC1, Fuchs VR. Employment-based health insurance: past, present, and future. Health Aff (Millwood). 2006 Nov-Dec;25(6):1538-47.
- 14) A review on theoretical fundamentals of social insurances for treatment (<http://www.taminpress.com/wp-content/uploads/ssfiles/67-SSO-SEO-Darman.pdf>)
- 15) Hassanzadeh A. The role of insurance on health policy. 2011. ([http://pte.ir/files\\_site/files/r\\_5\\_130209114516.pdf](http://pte.ir/files_site/files/r_5_130209114516.pdf))

- 16) Keshavarz G, Anbaji MZ. Analysis of adverse selection and moral hazard in health insurance of Iran case study of medicine and paraclinical services. *J Econom Res* 2009;44:1-232.
- 17) Enders T Brown B, Smith M, et al. 10 Megatrends Shaping Healthcare's Next 10 Years. (Accessed at 23 June at <http://www.manatt.com/10-Megatrends-Shaping-Healthcares-Next-10-Years.aspx#sthash.VqxNG6hi.dpuf>).
- 18) healthcare mega-trends – FierceHealthcare. Feb 20, 2014. (Accessed 23 June at [www.fiercehealthcare.com/story/4-healthcare-mega-trends/2014-02-20](http://www.fiercehealthcare.com/story/4-healthcare-mega-trends/2014-02-20)).
- 19) Weinstein RS, Lopez AM, Joseph BA, Erps KA, Holcomb M, Barker GP, Krupinski EA. Telemedicine, telehealth, and mobile health applications that work: opportunities and barriers. *Am J Med.* 2014 Mar;127(3):183-7.
- 20) Waki K, Fujita H, Uchimura Y, Omae K, Aramaki E, Kato S, Lee H, Kobayashi H, Kadowaki T, Ohe K . DialBetics: A Novel Smartphone-based Self-management Support System for Type 2 Diabetes Patients. *J Diabetes Sci Technol.* 2014 Mar 13;8(2):209-215.
- 21) Forman DE, LaFond K, Panch T, Allsup K, Manning K, Sattelmair J. Utility and Efficacy of a Smartphone Application to Enhance the Learning and Behavior Goals of Traditional Cardiac Rehabilitation: A FEASIBILITY STUDY. *J Cardiopulm Rehabil Prev.* 2014 May 23.
- 22) Börve A, Dahlén Gyllencreutz J, Terstappen K, Johansson Backman E, Aldenbratt A, Danielsson M, Gillstedt M, Sandberg C, Paoli J. Smartphone Teledermoscopy Referrals: A Novel Process for Improved Triage of Skin Cancer Patients. *Acta Derm Venereol.* 2014 Jun 10.
- 23) O'Connor P, Byrne D, Butt M, Offiah G, Lydon S, Mc Inerney K, Stewart B, Kerin MJ. Interns and their smartphones: use for clinical practice. *Postgrad Med J.* 2014 Feb;90(1060):75-9.
- 24) Derbyshire E, Dancy D. Smartphone Medical Applications for Women's Health: What Is the Evidence-Base and Feedback? *Int J Telemed Appl.* 2013;2013:782074/
- 25) Forbes/Insights. Getting From Volume to Value in Health Care: Balancing Challenges & Opportunities (Accessed 23 June 2014 at <http://www.forbes.com/forbesinsights /allscripts/#sthash.ounOKtcW.dpuf>).
- 26) Miller HD. *Health Aff (Millwood)*. From volume to value: better ways to pay for health care.
- 27) Transforming Healthcare - From Volume to Value. Thailand- KPMG- Research. Sep 2012. (Accessed 23 June 2014 at [www.kpmg.com](http://www.kpmg.com)).
- 28) Value-based Purchasing: A Strategic Overview for Health Care Industry Stakeholders. Deloitte Center for Health Solutions. (Accessed 23 June 2014 [www.deloitte.com/.../US\\_CHS\\_ValueBasedPurchasing](http://www.deloitte.com/.../US_CHS_ValueBasedPurchasing)).
- 29) Main T, Slywotzky. *The Volume-to-Value Revolution - Oliver Wyman.* Spring 2013. (Accessed 23 June 2014 at [www.oliverwyman.com](http://www.oliverwyman.com)).

- 30) Evans AC. Accountable Care Reflects Paradigm Shift from Volume to Value. March 29th, 2013. (Accessed 23 June 2014 at <http://hin.com/blog/2013/03/29/guest-post-accountable-care-reflects-paradigm-shift-from-volume-to-value/>).
- 31) Big Data to Knowledge. (Accessed 15 March 2014 at <http://commonfund.nih.gov/Bd2k/overview>).
- 32) Shi ZD, Wu H, Ruddy B, Griffiths GL. Imaging Probe Development Center: a National Institutes of Health core synthesis resource for imaging probes. *J Biomed Opt* 2007;12: 051502.
- 33) Zehrouni AE. Translational and Clinical Science – Time for a New Vision. *N Eng J Med* 2005; 353: 1621-3.( Access 25 February 2008 at <http://content.nejm.org/cgi/reprint/353/15/1621.pdf>)
- 34) Kwon SW. Surviving in the era of Big Data. *Blood Research* 2013;48:167-8.
- 35) Dutton S. Change How You Work, Live, And Communicate With These 6 Megatrends. March 19, 2014. (Accessed 23 June 2014 at <https://blogs.sap.com/innovation>).
- 36) Choudhury S, Fishman JR, McGowan ML, et al. Big data, open science and the brain: lessons learned from genomics. *Front. Hum. Neurosci.*, 16 May 2014
- 37) Chen J, Qian F, Yan W, Shen B. Translational biomedical informatics in the cloud: present and future. *Biomed Res Int.* 2013;2013:658925. doi: 10.1155/2013/658925. Epub 2013 Mar 17.
- 38) Health Ministry of I.R.Iran. Especial Committee of health and biosciences. Health Road Map. 2008.
- 39) Deaton A. Health in an Age of Globalization. NBER Working Paper No. 10669 Issued in August 2004. (accessed 23 June 2014 at <http://www.nber.org/papers/w10669>).
- 40) Woodward D, Drager N, Beaglehole R, et al. Globalization and health: a framework for analysis and action. *Bulletin of the World Health Organization*, 2001, 79: 875–881.
- 41) Megatrends in global health care. *Harvard Business Review*. (Accessed 23 June at
- 42) Connell J. Contemporary medical tourism: Conceptualisation, culture and commodification. *Tourism Management* 2013;34: 1–13.
- 43) Smith R, Martínez Álvarez M, Chanda R. Medical tourism: a review of the literature and analysis of a role for bi-lateral trade. *Health Policy.* 2011 Dec;103(2-3):276-82.
- 44) Horowitz MD, Rosensweig JA, Jones CA. Medical tourism: globalization of the healthcare marketplace. *MedGenMed.* 2007 Nov 13;9(4):33.
- 45) MacPherson DW, Gushulak BD, Baine WB, Bala S, Gubbins PO, Holtom P, Segarra-Newnham M. Population mobility, globalization, and antimicrobial drug resistance.



- 46) Ioannou A1, Mechili A, Kolokathi A, Diomidous M. Impacts of globalization in health. *Stud Health Technol Inform*. 2013;190:222-4/
- 47) Iran in the gate of elderly wave. 2012 (<http://isna.ir/fa/news/91120805502>)
- 48) Bahar News. Twenty percents of Iranian elderly are under poverty line. 2013 (<http://www.baharnews.ir/vdcdjx0f.yt0596a22y.html>)
- 49) Naghavi M, Shahraz S, Sepanlou SG, Dicker D, Naghavi P, Pourmalek F, Mokdad A, Lozano R, Vos T, Asadi-Lari M, Sayyari AA, Murray CJ, Forouzanfar MH. Health transition in Iran toward chronic diseases based on results of Global Burden of Disease 2010. *Arch Iran Med*. 2014 May;17:321-35.
- 50) Basakha M, Yavari K, Sadeghi H, Naseri A. Health care cost disease as a threat to Iranian aging society. *J Res Health Sci*. 2014;14(2):152-6.
- 51) Emami M, Sadeghpour O, Zarshenas MM. Geriatric management in medieval Persian medicine. *J Midlife Health*. 2013 Oct;4(4):210-215/
- 52) Guideline for integrated and comprehensive care for elderly. 3rd revision. 2009. ([http://phc.muq.ac.ir/uploads/109\\_208\\_bsp.doc](http://phc.muq.ac.ir/uploads/109_208_bsp.doc))
- 53) Balmer JT. The transformation of continuing medical education (CME) in the United States. *Adv Med Educ Pract*. 2013 Sep 19;4:171-82.
- 54) George R. Lueddeke. *Transforming Medical Education for the 21st Century: Megatrends, Priorities and Change*. Radcliffe Pub, 2012.
- 55) Emanuel EJ. Six Healthcare Megatrends Caused by Obamacare. *New Republic*. March 4, 2014 (Accessed 23 June at <http://www.newrepublic.com/article/116838/six-healthcare-megatrends-caused-obamacare>).
- 56) Lazarus C J. 10 Megatrends in Medical Education. *Oncology Times* 2009;31:6-9.
- 57) Ginsburg GS1, Staples J, Abernethy AP. Academic medical centers: ripe for rapid-learning personalized health care. *Sci Transl Med*. 2011 Sep 21;3(101):101cm27.
- 58) Lucey CR. Medical education: part of the problem and part of the solution. *JAMA Intern Med*. 2013 Sep 23;173(17):1639-43.
- 59) Plochg T1, Klazinga NS, Starfield B. Transforming medical professionalism to fit changing health needs. *BMC Med*. 2009 Oct 26;7:64.
- 60) "10 Megatrends in Medical Education". (Accessed 23 June 2014 at <http://www.thegeneralists.org/sites/default/files/2008.pdf>.)
- 61) Golden WE, Olive DA, Friedlander IR. Megatrends in medical education. *Am J Med*. 1986 Jul;81(1):112-6.
- 62) *Megatrends (Critical Survey of Contemporary Fiction)*. (Accessed 23 June 2014 at <http://www.enotes.com/topics/megatrends>).

- 63) Manatt's Healthcare Industry Megatrends. (Accessed 23 June 2014 at [http://www.acmha.org/content/summit/2014/Manatt\\_Megatrends.pdf](http://www.acmha.org/content/summit/2014/Manatt_Megatrends.pdf)).
- 64) Toop L. Primary care: core values. Patient centred primary care. *BMJ*. 1998 Jun 20;316(7148):1882-3.
- 65) American Geriatrics Society Expert Panel on the Care of Older Adults with Multimorbidity. Patient-centered care for older adults with multiple chronic conditions: a stepwise approach from the American Geriatrics Society: American Geriatrics Society Expert Panel on the Care of Older Adults with Multimorbidity. *J Am Geriatr Soc*. 2012 Oct;60(10):1957-68.
- 66) What is patient-centred Healthcare? A review of definitions and principles. International Alliance of Patients' Organizations. (Accessed 23 June 2014 at <http://www.patientsorganizations.org/attach.pl/547/494/IAPO%20Patient-Centred%20Healthcare%20Review%202nd%20edition.pdf>).
- 67) Peeters JM, Wieggers TA, Friele RD. How technology in care at home affects patient self-care and self-management: a scoping review. *Int J Environ Res Public Health*. 2013 Oct 29;10(11):5541-64.
- 68) El-Gayar O1, Timsina P, Nawar N, Eid W. Mobile applications for diabetes self-management: status and potential. *J Diabetes Sci Technol*. 2013 Jan 1;7(1):247-62.
- 69) Task Force on the Vision of Pediatrics. Vision of Pediatrics 2020 Findings: Megatrends, Drivers, Scenarios, and Transformations. January 2010. (Accessed 23 June 2014 at [http://www2.aap.org/visionofpeds/docs/VOP\\_final\\_scenarios.pdf](http://www2.aap.org/visionofpeds/docs/VOP_final_scenarios.pdf)).
- 70) Hairon N. EVIDENCE ON EFFECTIVENESS OF SELF-CARE SUPPORT STRATEGIES. *NT* 4 Dec 2007;103 No 49. (Accessed 23 June 2014 at [www.nursingtimes.net](http://www.nursingtimes.net)).
- 71) Yanci J. Hospital Mergers and Acquisitions. January 2012. (Accessed 23 June at [www.dhgllp.com/](http://www.dhgllp.com/)).
- 72) Breakthroughs: Hospital Merger and Acquisition Strategies. (Accessed 23 June 2014 at <http://www.healthleadersmedia.com/breakthroughs/257025/Hospital-Merger-and-Acquisition-Strategies/>).
- 73) Cuellar AE, Gertler PJ. Trends in hospital consolidation: the formation of local systems. *Health Aff (Millwood)*. 2003 Nov-Dec;22(6):77-87.
- 74) Daccord DA, Irving R, Levin M, et al. PIFALLS IN HEALTHCARE MERGERS AND ACQUISITIONS – EMERGING ISSUES. *The Health Lawyer* 2012;25:42-46.
- 75) McArthur M. MERGER AND ACQUISITION ACTIVITY FOR HOSPITAL AND HEALTH SYSTEMS: POST-REFORM PRIORITIES AND TRENDS. Feb 2011. (Accessed 23 June 2014 at [http://www.healthlawyers.org/Events/Programs/Materials/Documents/PHYHHS11/mcarthur\\_owens.pdf](http://www.healthlawyers.org/Events/Programs/Materials/Documents/PHYHHS11/mcarthur_owens.pdf)).

- 76) Rodak S. Hospital and Health System Strategy in 2012: 6 Key Initiatives. Hospital review. September 11, 2012 . (Accessed 23 June at <http://www.beckershospitalreview.com/strategic-planning/hospital-and-health-system-strategy-in-2012-6-key-initiatives.html>).
- 77) Lockett KM. Integrating hospital and physician revenue cycle operations. Healthc Financ Manage. 2014 Mar;68(3):38-41.
- 78) Schimpff SC. Hospital of the Future - Final Report. October 2008 (Accessed 23 June at [www.tatrc.org/docs/hof\\_report\\_08.pdf](http://www.tatrc.org/docs/hof_report_08.pdf))
- 79) Hegwer LR. 6 strategies for managing value in uncertain times. Healthc Financ Manage. 2013 Aug;67(8):106-11.
- 80) Tian Q, Price ND, Hood L. Systems cancer medicine: towards realization of predictive, preventive, personalized and participatory (P4) medicine. J Intern Med 2012; 271: 111-21.
- 81) Hood L, Friend SH. Predictive, personalized, preventive, participatory (P4) cancer medicine. Nat Rev Clin Oncol 2011; 8: 184-7.
- 82) Hood L. Systems Biology and P4 Medicine: Past, Present, and Future. Rambam Maimonides Med J 2013; 4: e0012.
- 83) Nabipour I. The future of medicine, systems medicine, P4. Bushehr University of Medical Sciences Press, 2014.



## فصل پنجم

# آینده چاپ سه بعدی در علوم زیست پزشکی



## مقدمه

فناوری چاپ سه بعدی که اجسام فیزیکی سه بعدی را بر پایه داده‌های دیجیتالی به صورت لایه به لایه می‌سازد، نخستین بار توسط چارلز هال در سال ۱۹۸۴ پایه‌گذاری شد. او سپس این تکنیک را استرئولیتوگرافی (Stereolithography) نام نهاد. هر چند سامانه‌های استرئولیتوگرافی در پایان دهه ۱۹۸۰ بسیار رایج شدند، فناوری‌هایی همانند <sup>۱</sup>FDM و <sup>۲</sup>SLS نیز معرفی گردیدند و در سال ۱۹۹۳، بنیاد فناوری ماساچوست MIT<sup>۳</sup> نیز فناوری‌های چاپ سه بعدی که همانند فناوری جوهرافشان در چاپگرهای دو بعدی است، ارائه داد (۱).

چاپ سه بعدی یک فناوری افزایشی (additive) است که اجسام سه بعدی را از نشانند لایه به لایه به صورت پشت سر هم از مواد می‌سازد. با کاربرد فناوری جوهرافشان، این فناوری انقلابی، خرید زمان و هزینه با حذف نیاز به طراحی، چاپ و چسباندن اجزاء مدل به صورت جدا از هم را موجب گردید. به زبان دیگر، می‌توان یک مدل کامل را در یک فرایند واحد با به کارگیری چاپگر سه بعدی به انجام رساند. این فناوری، مدل‌های فیزیکی اجسام را یا از طراحی یک برنامه CAD<sup>۴</sup> یا اسکن شده توسط یک اسکنر سه بعدی، تولید می‌کند.

فناوری چاپ سه بعدی، ویژگی‌های عملکردی کلیدی مانند سرعت، شفافیت، عملکرد خودکار، کاربرد آسان، اعتماد و تکرارپذیری را بهبود بخشیده و تنوع در مواد کاربردی، به صورت آمیزش چندین تیپ مواد و در نهایت چاپ جسم واحد را امکان‌پذیر نموده است. محصول نهایی، توانایی ارائه کار را به صورت کامل با تمام سامانه‌های خود مانند حسگرها، باتری، اجزاء الکترونیک، سامانه‌های میکروالکترونیک و غیره عرضه می‌دارد (۲).

<sup>۱</sup> Fused Deposition Modeling - FDM

<sup>۲</sup> Selective Laser Sintering - SLS

<sup>۳</sup> Massachusetts Institute of Technology - MIT

<sup>۴</sup> Computer-Aided Design - CAD

است که موجب شده است هم اکنون بیش از دو سوم از سازگان کالا از توانایی چاپ سه بعدی بهره ببرند (۳).

در حقیقت، چاپ سه بعدی موجب باز تعریف زنجیره ارزش در ساخت و ساز کالا گردیده و پیش بینی می‌شود طی سه تا ۵ سال آینده در بسیاری از بخش‌های صنعت مانند صنایع اتوماتیک، هوافضا، نظامی، ورزشی، خرده‌فروشی و بخش سلامت، رشد کاربردی فزاینده‌ای را از خود نشان دهد (۲ و ۳). از این رو، فناوری چاپ سه بعدی آینده‌ای بسیار روشن و درخشان خواهد داشت. این آینده منحصر به ساخت اجسام بی‌جان نخواهد بود. تیم لوئیز (Lewis) جوهرهای زیستی را برای ساخت بافت‌های زنده توسعه داده است. این تیم با کاربرد سرهای چاپی چندگانه و جوهرهای خاص، بافت‌های زنده پیچیده را خلق کرده است که با عروق خونی کوچک نیز تکمیل شده‌اند. بعضی از شرکت‌های دارویی، هم اکنون از بافت‌های چاپ سه بعدی برای آزمایش داروها استفاده می‌کنند (۲ و ۴).

چاپ زیستی به صورت کلی از دو جوهر استفاده می‌کند. یکی مواد بیولوژیک است و دیگری هیدروژل (Hydrogel) که محیطی را مهیا می‌سازند تا بافت و سلول‌ها رشد کنند. فناوری مرزشکن دیگر در این گستره، افزودن عروق خونی است که جوهر سوم را توسعه داده است. این جوهر دارای ویژگی غیرمعمولی است؛ به این صورت که با سرد شدن (نه با گرم شدن) ذوب می‌شود (۲).

از این رو، چنین می‌نماید که کاربرد پرشتاب فناوری چاپ سه بعدی موجب نه تنها انقلابی در غربالگری ایمنی داروها در صنایع داروسازی شود بلکه مهندسی بافت و پزشکی بازآفرینشی (regenerative) را نیز متحول کند. مثال آشکار آن، لایه‌های سلول‌های کبدی چاپ شده (Organovo) است که با هدف آزمودن داروها تولید شده اما در نهایت در خلق اعضا پیوندی نیز به کار خواهند رفت.

چاپ زیستی هم اکنون در ساخت پوست و استخوان و بافت‌های قلبی و عروقی که موجب ایجاد تحول در پزشکی فردگرایانه (Personalized) می‌شود، کاربرد یافته است (۴). با این افق از دید، هر سامانه چاپ زیستی سه بعدی از دو اصل پیروی می‌کند، نخست می‌بایست



اطلاعات دقیق از بافت و اعضا برای طراحی مدل را داشته باشد و دوم آن که سرویس دهنده باید توانایی انتقال اطلاعات را به پیام‌های الکتریکی جهت کنترل چاپگر برای چاپ بافت‌ها را داشته باشد و همچنین بتواند حیات سلول‌ها را طی فرایند ساخت محفوظ نماید. مواد زیست سازگار و مواد قابل تجزیه زیستی را می‌توان با فناوری چاپ زیستی سه بعدی ترکیب نمود تا زیست ناسازگاری مواد کاهش یابند (۵). با این دور نما، چاپ زیستی سه بعدی موجب زایش یک فناوری نوین انقلابی در عرصه پزشکی خواهد گردید.

### کاربردهای پزشکی چاپ سه بعدی

#### الف/ کاربرد چاپ سه بعدی در ساخت بافت و عضو

از اوایل دهه ۲۰۰۰ که نخستین بار از این فناوری در کاشت‌های دندانی و پروتزها استفاده گردید، رشد روزافزونی را در عرصه پزشکی از خود نشان داد. شاید پرچالش‌ترین کاربرد چاپ سه بعدی در پزشکی، کاربرد آن در ساخت بافت و عضو باشد. در ساخت سنتی بر پایه پزشکی بازآفرینشی (regenerative medicine)، سلول‌های بنیادی را از نمونه‌های بافت‌های کوچک برمی‌داریم و آن‌ها را با فاکتورهای رشد مخلوط کرده و در آزمایشگاه تکثیر می‌دهیم و سپس این سلول‌ها را بر داربست‌هایی که تکثیر سلولی و تمایز به بافت‌های فعال را هدایت می‌کنند، قرار می‌دهیم. در این شیوه سنتی، حمایت اصلی از سوی داربست‌ها انجام می‌گیرد ولی در چاپ سه بعدی امکان جایگزینی فرادقیق سلول و کنترل فرادایجیتال سرعت، کیفیت، غلظت سلولی، حجم قطره چاپی و قطر سلول‌های چاپ شده فراهم می‌گردد (۶). با تمام این سودمندی‌ها که در فناوری چاپ سه بعدی نهفته است ما با چالش بزرگ عدم وجود عروق خونی، عصبی و لنفاتیک در بافت ساخته شده رو به رو هستیم که چنانچه بر این چالش برآییم می‌توانیم شاهد ساخت بافت و عضو در ساختاری بسیار دقیق همراه با عملکرد فیزیولوژیک باشیم.

کار مشترک دانشگاه‌های سیدنی، هاروارد، استنفورد و MIT که موفق شدند شبکه نفوذپذیر مویرگی با عملکرد فیزیولوژیک را به چاپ زیستی برسانند، افق چشم‌انداز این فناوری

را ترسیم نموده است (۷). با این دیدگاه و چشم‌انداز از فناوری، می‌توان چاپ سه بعدی عضو را اینگونه در نظر داشت که اساس آن بر کاربرد گذاشت لایه به لایه سلول و یا توده سلولی بر روی یک ژل سه بعدی است که با استمرار بلوغ آن می‌توان به بافت یا ارگان‌هایی که پرفیوژن داشته و دارای شبکه عروقی می‌باشند، دست یافت. این تعریف از چاپ عضو، به طرح‌های چاپی گوناگون، اجزای فرایند گذاشت مانند چاپگر سلولی بر پایه افشان، پخش کننده‌های سلولی یا ترسیم کننده‌های سلولی، اشکال گوناگون هیدروژل‌های سه بعدی و تیپ‌های سلولی متنوع نیاز دارد (۸).

فرایند چاپ سه بعدی عضو را می‌توان در زیر فرایندهای زیر جای داد:

۱/ تهیه یک نقشه پیش ساخت از عضو با معماری عروقی آن که معروف به طراحی به کمک رایانه (CAD) می‌باشد. این طرح را می‌توان از تصویر دیجیتالی ساخته شده از بافت یا عضو طبیعی به دست آورد. داده‌های تصویر را می‌توان از شیوه‌های گوناگون شامل اسکن غیرتهاجمی بدن مانند سی تی اسکن و یا MRI یا از مقاطع سریال عضو خاص که با جزئیات سه بعدی ساخته شده است، یافت نمود. رهیافت دیگر، مدل سازی ریاضی با کاربرد اصول تئوریک و قوانین مربوط به سازماندهی فضایی است (۸).

۲/ تولید یک طرح فرایندی برای چاپ زیستی

۳/ جداسازی سلول‌های بنیادی

۴/ تمایز سلول‌های بنیادی به سلول‌های ویژه عضو

۵/ تهیه مخازن جوهر زیستی با سلول‌های ویژه عضو، سلول‌های عروق خونی و محیط

حمایتی و گذاشتن آن‌ها در درون چاپگر

۶/ چاپ زیستی

۷/ جاگذاشتن عضو چاپ شده زیستی در درون بیوراکتور در پیش از پیوند (۶).

در چاپ سه بعدی، برای نگهداشت حیات سلولی و برهم کنش‌های سلول به سلول از مواد هیدروژلی که می‌توان به جوهر چاپگرها افزود، استفاده می‌شود. این هیدروژل‌ها دارای ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بوده و گاهی اوقات نیز در شرایط زیستی پس از پیوند، توان

تجزیه پذیری نیز دارند. هیدروژل یک تیپ پلیمر است که می تواند در ساختار سه بعدی، آب زیادی را در خود نگه دارد. ویژگی های مکانیکی و زیستی این مواد می بایست به گونه ای تغییر داد تا امکان چاپ و حیات سلولی را داشته باشند (۵).

چالش دیگر در چاپ زیستی سه بعدی، گرما و فشار زیاد و حلال ها هستند که می توانند موجب مرگ سلول ها شوند. بافت سه بعدی از مخلوطی از سلول ها و هیدروژل ها چاپ می شود که به شرایطی مکانیکی همانند ساختارهای طبیعی نیاز دارد اما در چاپ سه بعدی با محدودیت هایی مانند امکان گسترش (expansion) و عملکرد سلولی رو به رو هستیم که خود نیاز به پژوهش های کاربردی فراوانی دارد (۵).

ترکیب رهیافت مهندسی بافت با مفاهیم بیولوژی رشد و نمو سیالیت بافت جنینی، خلق پیش نمونه های سریع از فناوری چاپ سه بعدی عضو را نوید خواهد داد (۸)؛ اما با این وجود، پیش از آن که چاپ سه بعدی را بتوان به صورت رایج برای ساخت بافت های پیچیده (مانند استخوان، غضروف، ماهیچه، عروق و اعصاب) و یا عضوهای پیچیده با ساختار سه بعدی بسیار دقیق و ظریف (مانند کبد، ارگان های لنفوئید) به کاربرد، این فناوری می بایست بر چالش های بسیار جدی که به توصیف آن پرداختیم، چیرگی یابد (۹ و ۱۰).

شاید بررسی مفاهیم چاپ زیستی سه بعدی و ساخت بافت پوست بر پایه این فناوری بتواند چشم انداز آینده روشن این فناوری را ترسیم کند (۱۱). یک نمونه بافت پوستی با کاربرد فیبروبلاست ها و کراتینوسیت ها اپیدرمیس و کلاژن درمیس ساخته شد که مطالعات ایمنوفلورسنت نشان دادند این بافت از نظر عملکرد و ساختار همانند بافت پوست انسانی است (۱۲). این مطالعات نشان می دهند، هر چند چاپ زیستی در حال گذران دوران نوزادی خود است ولی می تواند با رهیافت میان رشته ای و به کار گیری توان پژوهندگان بیولوژی، مهندسی بافت و دانشمندان مواد به موفقیت های مرز شکن در علوم زیست پزشکی نایل شود (۱۲).

### ب / ایمپلنت ها و پروتزهای سفارشی

ایمپلنت ها و پروتزها را می توان تقریباً در هر هندسه قابل تصویری از طریق ترجمان

تصاویر سی تی اسکن، اشعه ایکس و MRI به فایل‌های چاپ سه بعدی طراحی نمود. بر پایه همین تکنیک می‌توان اندام‌ها و ایمپلنت‌های جراحی را برای ستون فقرات، دندان و مفصل ران، به صورت سفارشی تولید نمود.

پیش از این جراحان مجبور بودند که با گرافت استخوان یا کاربرد چاقوی جراحی و مته، ایمپلنت‌ها را با تراش قطعات فلز و پلاستیک، به اندازه و شکل مورد دلخواه در آورند اما با فناوری چاپ سه بعدی می‌توان ایمپلنت‌ها را در اندازه و شکل مورد دلخواه و در همان اندازه فرد بیمار تولید کرد. کاربرد چاپ سه بعدی در پروتزها نیز نه تنها موجب ساخت آن‌ها به صورت فرادقیق، ویژه هر فرد بیمار، خواهد شد بلکه هزینه‌های سلامت و مراقبت را نیز کاهش می‌دهد (۱۳). هم اکنون چاپ سه بعدی در ساخت وسایل کمک شنوایی نقش تحول برانگیزی را از خود نشان داده است و می‌توان ۹۹ درصد از وسایل کمک شنوایی را که در تناسب با گوش است را با سفارش به طریق سه بعدی ساخت. یک گوش مصنوعی سه بعدی با سلیکون، کندروسیت و ذرات نانویی نقره چاپ شده است که می‌تواند فرکانس‌های الکترومغناطیس را شناسایی کند (۶). کاربرد چاپ زیستی سه بعدی در جراحی پلاستیک سر و صورت و جراحی‌های فک و صورت بسیار حیرت‌انگیز بوده و می‌تواند جراحی پلاستیک و ترمیمی را در آینده‌ای نزدیک تحت تأثیر شگرف خود قرار دهد (۱۵-۱۳).

اشاره به مقاله مجله معتبر نیوانگلند که کاربرد چاپ سه بعدی را نشان می‌دهد مثال خوبی در زمینه کاربرد چاپ سه بعدی در جراحی است. نوزادی که با مالاسی نای برنش متولد شده بود و نوزاد را به سوی کلاپس مجاری هوایی و نارسایی تنفسی سوق داده بود، در ۲۰ هفتگی تحت جراحی قرار گرفت. نای این نوزاد با قطعه‌ای از نای بخیه گردید تا جریان هوا برقرار شود. این قطعه نای از پلیمر زیستی به نام پلی کاپرولاکتون به صورت مستقیم از سی‌تی‌اسکن نای/ برانش با مدل رایانه‌ای بر پایه تصویر در ترکیب با چاپ سه بعدی بر پایه لیزر ساخته شد (۱۶).

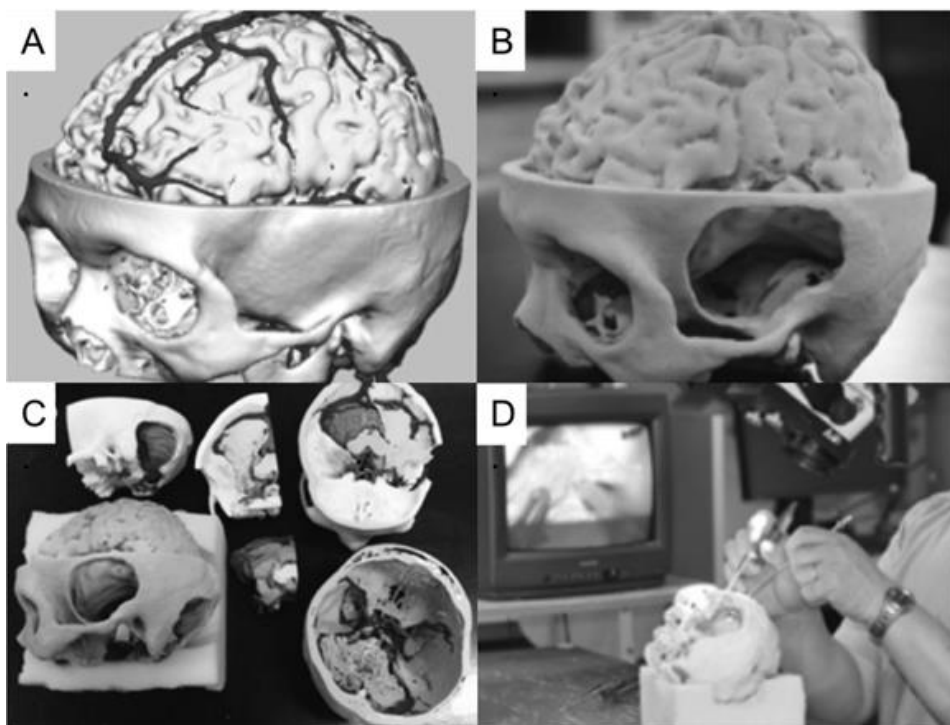
## ج/ مدل‌های آناتومیکی برای آزمون اعمال جراحی

پیچیدگی‌های فردی و تنوع در بدن انسان، به کارگیری مدل‌های چاپ سه بعدی جهت آمادگی برای اعمال جراحی را توجیه می‌نماید. از آنجا که تصاویر دو بعدی سی‌تی‌اسکن‌ها یا MRI، امکان مطالعه یا شبیه‌سازی جراحی را فراهم نمی‌آورند، چاپ سه بعدی می‌تواند با ارائه مدل لمس‌پذیر از آناتومی بیمار، این امکانات را فراهم آورد. همچنین مدل‌های چاپ شده سه بعدی جهت آموزش جراحی، به نسبت جسد‌های انسانی، این برتری را دارد که دسترس پذیرتر بوده و هزینه‌ها را نیز کاهش می‌دهند. همچنین اغلب، اجساد فاقد پاتولوژی‌های لازم برای آموزش بوده و تنها به صورت یک درسنامه آناتومی می‌باشند.

مدل نوروآناتومی چاپ شده همراه با ارائه بعضی از ساختارهای بسیار پیچیده بدن بیماری که می‌بایست جراحی شود، برای جراحان اعصاب بسیار حائز اهمیت می‌باشد (۶). نشان داده شده است که مدل‌های آنوریسم درون مغزی چاپ شده به صورت سه بعدی، بسیار دقیق بوده و همخوانی بسیار خوبی را با منبع آناتومی خود دارند (۱۷). این مدل‌های آناتومیکال از آنوریسم به صورت چاپ سه بعدی نه تنها در طراحی رهیافت‌های جراحی آن‌ها مؤثرند بلکه امکان درمان را بر اساس آناتومی و شکل آنوریسم بیمار جهت تعیین شکل میکروکاترها فراهم می‌آورند (۱۸). از فناوری چاپ سه بعدی در ساخت مدل چشم جهت مطالعه فاندوس نیز استفاده شده است (۱۹).

همچنین چاپ سه بعدی نقایص درون قلبی با تصاویر اکوکاردیوگرافیک سه بعدی نیز انجام شده است که این مدل‌های چاپ شده سه بعدی به صورت دقیق، آناتومی نقایص دیواره بین بطنی را آشکار کرده‌اند. در نتیجه، در پناه همین فناوری نوین است که طراحی اعمال جراحی برای بیماری‌های قلبی مادرزادی امکان‌پذیر شده است (۲۰). در سطح مطبوعات بین‌المللی پزشکی، به موارد فراوانی از کاربرد مدل‌های چاپ شده سه بعدی برای اعمال جراحی برمی‌خوریم. برای مثال، چاپ سه بعدی برای اعمال لاپراسکوپیک نفرکتومی قسمتی تومورهای کلیوی، از دیدگاه طراحی شیوه عمل و آموزش جراحان مورد ارزیابی قرار گرفته است (۲۱). یکی از موارد جالب چاپ سه بعدی برای طراحی عمل جراحی، مورد دختر ۶ ساله‌ای

بوده است که دچار استئوکوندرومای اسکپولا شده بود. با کاربرد چاپگر سه بعدی جهت خلق مدل سه بعدی تومور، جراحان توانستند آن را پیش از عمل مورد مطالعه قرار داده و شیوه عمل را طراحی نمایند (۲۲).



شکل ۵-۱: کاربرد چاپ سه بعدی در طراحی‌ها در پیش از جراحی، از تصاویر رادیولوژی و آنژیوگرافی برای خلق مدل‌های سه بعدی رایانه‌ای آناتومی مجسمه و مغز استفاده می‌شود. از SLS برای چاپ واقعی مدل‌های رنگی آناتومی جهت شبیه‌سازی برداشت تومور به کار برده می‌شود.

A: مدل سه بعدی شماتیک کامپیوتری از تصاویر آناتومی بیمار به دست می‌آید.

B: مدل پلاستری چاپ شده سه بعدی برای شبیه‌سازی استفاده می‌شود.

C: مدل‌های پلاستری چاپ شده فرادقیق سه بعدی برای شبیه‌سازی جراحی

D: انجام آزمون شیوه‌های جراحی بر روی مدل چاپ شده با کمک میکروسکوپ

## د/ داروسازی و پزشکی فردگرایانه

امروزه در تغییر پارادایم پزشکی با پزشکی فردگرایانه (Personalized medicine) رو به رو هستیم که در آن مدیریت سلامت بر اساس داده‌های سلامت، رفتاری، محیطی و نیز اطلاعات ژنتیکی هر فرد بیمار طراحی می‌گردد و راهبردهای پیشگیرانه بیماری ویژه فردی و در مورد لزوم، درمان‌ها و اقدامات مداخله‌ای ویژه همان فرد بیمار، به کار می‌روند (۲۳).

فناوری چاپ سه بعدی، فضایی مناسب را برای پیاده‌سازی پزشکی فردگرایانه فراهم نموده است. فناوری چاپ سه بعدی این امکان را فراهم آورده است که قطعات کوچک در محدوده میکولیتر دارو را با دقت فراوان برای دوزاژبندی به کار برد (۲۴). در یک مثال ساده، می‌توان دوزاژ آنتی‌بیوتیک را بر اساس نیاز هر بیمار، قوی‌تر و یا ضعیف‌تر نمود و داروخانه یا بیمارستان، بدون نیاز به بسته‌بندی کارخانه داروسازی، با کاربرد چاپگر سه بعدی در هر کجای جهان، دارو را در دوزاژ مناسب فرد تولید کند (۲۵).

در دارورسانی در سبک کلاسیک از مخلوطی همسان از مواد حمایتی و دارویی استفاده می‌شود که تک دارو را به صورت پیوسته رها می‌سازد در حالی که در چاپ سه بعدی این امکان وجود دارد که ادوات دارورسانی را به گونه‌ای ساخت تا در ساختاری پرمفد داروهای پودر شده را در خود انباشت کرده و به صورت سریع‌تر رها کند. در این فناوری می‌توان چندین دارو را با هندسه‌های پیچیده چندگانه انباشته کرد و با لایه‌هایی که رهاسازی دارو را تنظیم می‌کنند، محصور نمود (۲۶ و ۲۷).

به نظر می‌رسد چاپ سه بعدی بتواند صنعت دارو را به دلیل ایجاد تغییر در الگوی آزادسازی دارو به صورت کنترل شده، پخش زیستی و انتقال در شرایط زیستی، متحول سازد (۲۸-۳۰). هر چند هنوز کاربردهای چاپ سه بعدی در داروسازی دوران نوزادی خود را طی می‌کند ولی در پیاده‌سازی مفاهیم پزشکی فردگرایانه بسیار نوید دهنده می‌باشد. کاربرد این فناوری به ویژه در مورد داروهایی که دارای شاخص‌های درمانی با محدوده باریک (Narrow Therapeutic Indices) هستند و یا این که بسیار بیشتر تحت تأثیر پلی‌مورفیسم‌های ژنتیکی قرار می‌گیرند، بسیار کارساز خواهد بود (۳۱).

### نتیجه‌گیری

فناوری چاپ سه بعدی از فناوری‌های مرزشکن است که کاربرد روزافزونی را در گستره زیست پزشکی از خود نشان داده است و پیش بینی می‌شود که این صنعت با سود ۸/۴ میلیارد دلاری در سال ۲۰۲۰ رو به رو شود (۳۲). کاربردهای گسترده چاپ سه بعدی در صنایع پزشکی و داروسازی موجب پیاده‌سازی مفاهیم پزشکی فردگرایانه در تغییر پارادایم پزشکی گردیده و پزشکی بازآفرینشی و پیوند بافت و عضو را متحول خواهد کرد.

### منابع

- 1) Tyag G. 3D Printing Technology. (Accessed 21 Jun 2015 at <http://nicsu.up.nic.in/knowdesk/3D-Printing-Technology.pdf>).
- 2) The road ahead for 3-D printers. (Accessed 21 Jun 2015 at <http://www.pwc.com/us/en/technology-forecast/2014/3d-printing/features/future-3d-printing.jhtml>).
- 3) Roundup Of 3D Printing Market Forecasts And Estimates, 2014. (Accessed 21 Jun 2015 at <http://www.forbes.com/sites/louiscolumbus/2014/08/09/roundup-of-3d-printing-market-forecasts-and-estimates-2014/>).
- 4) Meyerson B. Top 10 emerging technologies of 2015. (Accessed 21 Jun 2015 at [http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_Top10\\_Emerging\\_Technologies\\_2015.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_Top10_Emerging_Technologies_2015.pdf)).
- 5) Gu Q, Hao J, Lu Y, et al. Three-dimensional bio-printing. *Sci China Life Sci.* 2015; 58(5): 411-9.
- 6) Ventola CL. Medical Applications for 3D Printing: Current and Projected Uses. *Pharmacy and Therapeutics.* 2014; 39(10): 704-11.
- 7) Bertassoni LE, Cecconi M, Manoharan V, et al. Hydrogel bioprinted microchannel networks for vascularization of tissue engineering constructs. *Lab Chip.* 2014; 14(13): 2202-11.
- 8) Mironov V, Boland T, Trusk T, et al. Organ printing: computer-aided jet-based 3D tissue engineering. *Trends Biotechnol.* 2003; 21(4): 157-61.
- 9) Chia HN, Wu BM. Recent advances in 3D printing of biomaterials. *J Biol Eng.* 2015; 9: 4.



- 10) Zhang X, Zhang Y. Tissue Engineering Applications of Three-Dimensional Bioprinting. *Cell Biochem Biophys*. 2015 Feb 7. [Epub ahead of print].
- 11) Algzlan H, Varada S. Three-dimensional printing of the skin. *JAMA Dermatol*. 2015 Feb;151:207.
- 12) Lee V, Singh G, Trasatti JP, et al. Design and fabrication of human skin by three-dimensional bioprinting. *Tissue Eng Part C Methods*. 2014; 20(6): 473-84.
- 13) Bota N, Coppentrath E, Li D, et al. 3D Printing & The Medical Industry. (Accessed 21 Jun 2015 at [mirrroring.net/DUMP/BIET\\_Final.docx](http://mirrroring.net/DUMP/BIET_Final.docx)).
- 14) Choi JW, Kim N. Clinical application of three-dimensional printing technology in craniofacial plastic surgery. *Arch Plast Surg*. 2015; 42(3): 267-77.
- 15) Lin HH, Lo LJ. Three-dimensional computer-assisted surgical simulation and intraoperative navigation in orthognathic surgery: a literature review. *J Formos Med Assoc*. 2015; 114(4): 300-7.
- 16) Zopf DA. Bioresorbable Airway Splint Created with a Three-Dimensional Printer. *N Engl J Med*. 2013; 368(21): 2043-45. (Accessed 21 Jun 2015 at <http://www.nejm.org/doi/full/10.1056/NEJMc1206319>).
- 17) Anderson JR, Thompson WL, Alkattan AK, et al. Three-dimensional printing of anatomically accurate, patient specific intracranial aneurysm models. *J Neurointerv Surg*. 2015. pii: neurintsurg-2015-011686.
- 18) Namba K, Higaki A, Kaneko N, et al. Microcatheter Shaping for Intracranial Aneurysm Coiling Using the 3-Dimensional Printing Rapid Prototyping Technology: Preliminary Result in the First 10 Consecutive Cases. *World Neurosurg*. 2015;84:178-86.
- 19) Xie P, Hu Z, Zhang X, et al. Application of 3-dimensional printing technology to construct an eye model for fundus viewing study. *PLoS One*. 2014 ;9:e109373.
- 20) Olivieri LJ, Krieger A, Loke YH, et al. Three-dimensional printing of intracardiac defects from three-dimensional echocardiographic images: feasibility and relative accuracy. *J Am Soc Echocardiogr* 2015 28:392-7.
- 21) Zhang Y, Ge HW, Li NC, et al. valuation of three-dimensional printing for laparoscopic partial nephrectomy of renal tumors: a preliminary report. *World J Urol*. 2015 Apr 5. [Epub ahead of print].
- 22) Tam MD, Laycock SD, Bell D, et al. 3-D printout of a DICOM file to aid surgical planning in a 6 year old patient with a large scapular osteochondroma complicating congenital diaphyseal aclasia. *J Radiol Case Rep*. 2012; 6(1): 31-7.
- 23) Nabipour I. Megatrend analysis of the health policies of I.R.Iran. *ISMJ*. 2014; 17 (5):1007-1030.

- 24) Genina N, Kolakovic R, Palo M, et al. Fabrication of printed drug-delivery systems. Society for Imaging Science and Technology. 2013; 236-8. (Accessed 21 Jun 2015 at [http://www.imaging.org/ist/publications/reporter/articles/Rep28\\_4\\_NIP28DF12\\_GENINA\\_PG236.pdf](http://www.imaging.org/ist/publications/reporter/articles/Rep28_4_NIP28DF12_GENINA_PG236.pdf)).
- 25) 3D printing drugs – New technology to revolutionize medical industry. 2014. (Accessed 21 Jun 2015 at <http://rt.com/usa/182120-3d-printer-drugs-science/>).
- 26) Gross BC, Erkal JL, Lockwood SY, et al. Evaluation of 3D printing and its potential impact on biotechnology and the chemical sciences. *Anal Chem*. 2014; 86(7): 3240-53.
- 27) Baldacchini T, Zadoyan R, Nuñez V. High-resolution 3D printing for drug delivery. 2015. (Accessed 21 Jun 2015 at [spie.org/documents/Newsroom/Imported/005842/005842\\_10.pdf](http://spie.org/documents/Newsroom/Imported/005842/005842_10.pdf)).
- 28) Goyanes A, Buanz AB, Hatton GB, et al. 3D printing of modified-release aminosalicylate (4-ASA and 5-ASA) tablets. *Eur J Pharm Biopharm*. 2015; 89: 157-62.
- 29) Xu Y, Wang X. Application of 3D biomimetic models in drug delivery and regenerative medicine. *Curr Pharm Des*. 2015; 21(12): 1618-26.
- 30) Katakam P, Dey B, Assaleh FH, et al. Top-Down and Bottom-Up Approaches in 3D Printing Technologies for Drug Delivery Challenges. *Crit Rev Ther Drug Carrier Syst*. 2015; 32(1): 61-87.
- 31) Ursan ID, Chiu L, Pierce A. Three-dimensional drug printing: a structured review. *J Am Pharm Assoc (2003)*. 2013; 53(2): 136-44.
- 32) Thangaraju S, Chaudhary V. Application of 3D Printing in Healthcare. HCL Technologies. 2014. (Accessed 21 Jun 2015 at <http://www.hcltech.com/white-papers/engineering-services/application-3d-printing-healthcare>).

## فصل ششم

### رصد برنامه تحقیقاتی پیش‌آهنگ مغز (BRAIN)

### بنیاد ملی سلامت آمریکا



## مقدمه

در سال‌های اخیر، پیشرفت‌های شگفت‌انگیز علوم اعصاب به سطحی رسیده‌اند که می‌توان درک جامعی را از فعالیت‌های مغز، ملکول‌های پیام‌رسان، سلول‌ها، مسیرهای عصبی، سامانه‌ها و رفتار متصور گردید. بر پایه این پیشرفت‌ها در علوم اعصاب بوده است که پرزیدنت اوباما در دوم آوریل ۲۰۱۳، آغاز برنامه پیش‌آهنگ مغز (BRAIN)<sup>۱</sup> را کلید زد. اوباما در سخنرانی تاریخی خود، دانشمندان را فراخواند تا تصویر دینامیکی از مغز در عمل فراهم آورده تا بر پایه آن بتوان درک نمود چگونه اندیشه می‌کنیم، چگونه می‌آموزیم و چگونه به یاد می‌آوریم.

در پاسخ به این فراخوان، رئیس بنیاد ملی سلامت آمریکا (NIH)<sup>۲</sup> گروه کاری خود را در قالب یک فرایند میان رشته‌ای شکل داد که کشف الگوهای فعالیت عصبی و مکانیسم‌های مسیرهای زمینه‌ای که فرایندهای روانی و رفتاری ما را شامل درک، حافظه، یادگیری، طراحی، هیجانات و تفکر پیچیده را ساماندهی می‌نمایند، هدف قرار داده است. زیرا جستجو در این الگوهای فعالیت که در بعدهای زمانی و مکانی روی می‌دهند ما را قادر می‌سازد که سامانه‌های ساده‌تر را که چگونه مسیرهای عصبی کار می‌کنند طراحی کرده و همچنین به درک جامع‌تر از این که چگونه مغز تفکرات پیچیده و رفتارها را خلق می‌نماید، نزدیک‌تر کند. این دانش برای هدایت توسعه شیوه‌های تشخیصی و درمانی و حتی امکان درمان قطعی بیماری‌های نورولوژیک که بسیاری از افراد را ناتوانمند نموده‌اند، بسیار ضروری می‌باشد (۱).

در حقیقت، ریشه برنامه پیش‌آهنگ مغز (Brain) در سایه چندین نشست که در بنیاد علمی و انیستیتو مغز آلن<sup>۳</sup> ساماندهی گردید شکل گرفت. این پژوهشگران در پی آن بودند که

---

<sup>1</sup> Brain Research Through Advancing Innovative Neurotechnologies - BRAIN

<sup>2</sup> National Institutes of Health - NIH

<sup>3</sup> Allen Brain Institute

نقشه فعالیت مغز (BAM) را به تصویر بکشاند. به زبان دیگر، این دانشمندان نقشه الگوهای فعالیت تمام نرون‌های مغز را خواستار شدند زیرا بر این باور دست یافته بودند که ویژگی‌های آفرینش یافته از مسیرهای عصبی را نمی‌توان با ثبت نرون‌های واحد یا زیرمجموعه‌ای کوچک از نرون‌ها، به تنهایی به دست آورد. از این رو، برنامه پیش‌آهنگ مغز به صورت اصولی یک ویراسته از پروژه تحقیقاتی نقشه فعالیت مغز (BAM) می‌باشد که بر این اصل استوار است که حتی رصد عملکرد و فعالیت ارگانیسم به تنهایی نیز برای پاسخگویی به این که چگونه مغز کار می‌کند کافی نیست و باید اندازه‌گیری‌های فعالیت و عملکرد نیز در متن و زمینه نقشه‌های ساختاری و رفتاری جای داد (۲).

بنابراین، هدف برنامه پیش‌آهنگ مغز، سرعت بخشیدن به توسعه رهیافت‌های تجربی و نظری و نیز ضروریات فناوری‌های عصبی نوآورانه جهت درک دینامیسم و اصول ساختار و عملکرد مغز می‌باشد (۳).

پرسش علمی در قلب برنامه پیش‌آهنگ مغز آن است که چگونه فعالیت‌های الکتریکی و شیمیایی نوسانی از طریق مسیرهای آناتومیک پایدار جریان می‌یابند تا درک و رفتار ما را خلق نمایند. در آغاز، پل بروکا، در قرن نوزدهم با مطالعه موارد بالینی نشان داد که مناطق گوناگون مغز برای وظایف گوناگون ویژگی یافته‌اند. در بامدادان سده بیستم، سانتیگورامان کاخال و رهروان وی، آغاز به توصیف مسیرهای آناتومیکی نمودند که با پیوند مناطق گوناگون مغز شبکه‌های عملکردی اعصاب را شکل می‌دادند. آنگاه فناوری ثبت یک نرون و بیولوژی ملکولی به ما نشان دادند که نرون‌ها در این شبکه‌ها از خود ویژگی‌های فیزیولوژیک نشان داده و اجزاء ملکولی نیز در این عملکردها سهیم می‌باشند. اخیراً نیز تصویربرداری عملکردی از مغز، تصویرهای فعالیت منطقه‌ای مغز را که با گستره‌ای از عملکردهای شناختی انسان در پیوند می‌باشند را آشکار نموده است (۴). اما با این وجود هنوز نمی‌دانیم چگونه میلیون‌ها نرونی که وظیفه احساس و درک، تفکر، تصمیم و تحرک به صورت دینامیکی را دارند در درون مسیرهای عصبی و شبکه‌ها با یکدیگر پیوند یافته‌اند. حتی ساده‌ترین عمل حسی شامل فعالیت میلیون‌ها نرونی است که در بسیاری از مناطق گوناگون انتشار دارند. چگونه یک حس و درک ساده از

فعالیت عصبی الگودار منشأ می‌گیرد و چگونه این حس و ادراک می‌تواند با هیجان، انگیزش و عمل در پیوند قرار گیرد از رازهای ناشناخته در علوم اعصاب بوده که تاکنون دانش کنونی از پاسخگویی به آن ناتوان بوده است و امید می‌رود برنامه پیش‌آهنگ مغز از این ناشناخته‌ها پرده‌گشایی نماید (۴).

بنیاد ملی علم آمریکا<sup>۱</sup> و بنیاد کاولی<sup>۲</sup> با گرد آوردن بیش از یکصد دانشمند علوم اعصاب در "کارگاه اصول فیزیکی و ریاضی ساختار و عملکرد مغز"، به شناسایی اولویت‌های کلیدی و زیرساخت‌های فناوری جهت دستیابی به اهداف برنامه پیش‌آهنگ مغز پرداختند (۲). بر اساس این دیدگاه، برنامه پیش‌آهنگ مغز در قالب یک برنامه زمانی ۱۰ ساله سامان یافته است که در سال مالی ۲۰۱۶ با هدف اولیه توسعه زیرساخت فناوری در ۵ سال اول و کشف ناشناخته‌ها بر پایه این فناوری‌های توسعه یافته، در ۵ سال دوم آغاز می‌شود (۱). این برنامه چند سازمانی توسط بنیاد ملی سلامت آمریکا (NIH)، بنیاد ملی علم (NSF)، آژانس پروژه‌های تحقیقاتی پیشرفته دفاعی (DARPA)، همراه با حمایت‌های انیستیتو آلن برای علوم مغز، انیستیتو پزشکی هوارد هیگز، بنیاد کاولی و بنیاد سالک برای مطالعات بیولوژیک، به پیش رانده خواهد شد (۵). از این رو می‌بینیم که ابعاد برنامه پیش‌آهنگ مغز آمریکا در مقایسه با پروژه مغز انسان اروپا<sup>۳</sup> و برینتوم چین<sup>۴</sup> بسیار بالاتر است و آن را در اندازه پروژه پیاده سازی انسان بر کره ماه، پروژه ژنوم انسانی و بمب اتم مقایسه نموده‌اند (۶ و ۷).

### رهیافت مطالعاتی و تحقیقاتی برنامه پیش‌آهنگ مغز

دانشمندان مشاور برنامه پیش‌آهنگ مغز پس از تبادل نظر به این نتیجه رسیدند که شناخت و تحلیل مسیرهای عصبی و یافت نرون‌های برهم کنش کننده، منبعی غنی از داده بوده که می‌تواند نوید دهنده توسعه‌های مرز شکن آینده باشد (۱). از سویی دیگر، سه پیشرفت

<sup>1</sup> National Science Foundation

<sup>2</sup> Kavli Foundation

<sup>3</sup> European Human Brain Project

<sup>4</sup> Brainnetome

چشمگیر اخیر در زمینه شیوه‌های پژوهشی در علوم اعصاب، امکان بررسی مغز را در سطح مسیرهای عصبی به صورت تجربی امکان‌پذیر نموده‌اند.

نخستین پیشرفت، توسعه توانمندی‌های ثبت نوین است. برخلاف رهیافت "یک نرون در یک زمان"، آرایه‌های چندین الکترودی<sup>۱</sup>، امکان ثبت صدها نرون در یک زمان را در هر منطقه از مغز فراهم آورده‌اند. نشانگرهای کد شده ژنتیکی، فعالیت نرونی در ترکیب با میکروسکوپ‌ها و اندوسکوپ‌های نوین، امکان ثبت پرچگالی را تقریباً از همه نرون‌ها در منطقه‌ای خاص از مغز یا در جمعیت‌های گزینش یافته بر اساس تیپ سلولی یا مسیرهای آناتومیک فراهم آورده‌اند. این شیوه‌های ثبت جمعیتی نوین به ما اجازه می‌دهند که الگوهای فعالیت عصبی را در زمان رفتار به گونه‌ای که پیش از این امکان آن وجود نداشت را مشاهده کنیم. دومین پیشرفت چشمگیر، توسعه ابزارهای نوین برای برآشتن و برهم زدن فعالیت نرون‌ها به شیوه‌ای دقیق است.

برای مثال، اپتوژنتیک (optogenetics) از ابزارهای ژنتیکی جهت هدف قرار دادن نرون‌های مورد مطالعه می‌باشد که از فعال سازی یا غیرفعال نمودن توسط نور استفاده می‌کند. این کار با بیان کانال‌های حساس به نور باکتری‌ها و یا آغازیان تک سلولی انجام می‌گردد. با این شیوه‌ها، این امکان میسر می‌گردد که نه تنها نرون‌ها را که فعال در یک زمان خاص هستند را مشاهده نمود بلکه پیرامون آن که آیا این نرون‌ها برای یک پیامد رفتاری ضروری هستند را می‌توان مورد جستجو قرار داد.

در سومین پیشرفت، از ابزارهای مفهومی علوم اعصاب محاسباتی جهت شناسایی پیام‌ها که در میان جمعیت‌های سلول‌های عصبی عمده انتشار می‌یابند استفاده می‌شود. این پیشرفت عقلانی همراه با پیشرفت‌های فناورانه در قدرت محاسباتی، امکان تحلیل الگوهای فعالیت از چندین هزار و یا میلیون‌ها نرون که مجموعاً اطلاعات را عرضه می‌دارند و یا محاسبات را انجام می‌دهند، فراهم می‌آورد (۴).

از این رو، در برنامه پیش‌آهنگ مغز، شناخت و شناسایی تمام تیپ‌های سلولی موجود

<sup>1</sup> Multi Electrode Arrays



در مغز، تعریف اتصالات مکانی و منطقه‌ای این سلول‌ها، توسعه شیوه‌هایی برای ثبت فعالیت نرونی در زمان رفتار در مقیاس بزرگ، توسعه شیوه‌های ایجاد آشفتگی و برهم زدن فعالیت‌های نرونی به صورت غیرتهاجمی و نیز توسعه شیوه‌های محاسباتی جهت درک معانی فعالیت نرونی الگو یافته، مدنظر قرار گرفته‌اند. البته باید این را افزود که زمانی این شیوه‌ها به تبلور کارایی می‌رسند که امکان انجام همه آن‌ها در یک زمان به صورت ترکیبی موجود باشد و بدین صورت می‌توان به ثبت فعالیت نرونی، ایجاد آشفتگی در فعالیت نرونی در مجموعه‌ای تعریف شده از نرون‌ها با ارتباطات تعریف شده در هنگام رخداد تنوعی از رفتارها به مطالعه پرداخت. این هدف نهایی برنامه پیش‌آهنگ مغز است که حتی تا چند سال پیش از این نمی‌توان آن را تصور نمود. اما هم اکنون بسیاری از این فناوری‌های ضروری در دست ما است و باید منتظر شد تا نتایج این مطالعات را مشاهده کنیم (۴).

بنابراین چنین به نظر می‌رسد که این شیوه‌های پژوهشی امکان مطالعه از پایین به بالا را فراهم آورده باشند. به زبان دیگر با رهیافت پایین به بالا می‌توان با مدل‌های سلولی و مسیرهای عصبی، جهت درک بهتر عملکرد مغز با به کارگیری مطالعات ملکولی، فناوری‌های ثبت در مقیاس بزرگ، به کارگیری مدل‌های غیر انسانی مانند کنکتوم<sup>۱</sup> دروزوفیلا (*Drosophila*) و نشانگرهای ویروسی یا تکنیک‌های میکروبی جهت بررسی نرون‌ها در مدل‌های حیوانی اقدام نمود. یک رهیافت موازی هم زمان که جهت مطالعه مغز لازم است، رهیافت بالا به پایین است که رشد و توسعه فناوری‌های تصویربرداری عصبی در انسان، این هدف را دنبال می‌نمایند. در حقیقت، این شیوه‌های تصویربرداری عصبی هستند که از پیچیدگی‌های مغز انسانی پرده برمی‌دارند. مغز انسان از بیش از یکصد میلیارد نرون ساخته شده است که هر نرون ۷۰۰۰ ارتباط یا سیناپس با دیگر اجزاء دارد که توسط بیش از یکصد مجموعه تنظیم کننده یا انتقال دهنده عصبی تحریک کننده یا منع کننده تنظیم می‌گردد. این سطح از پیچیدگی نیاز به مطالعه از "بالا به پایین" مغز دارد تا بتواند مسیرهای آناتومیک و عملکردی را هویدا سازد که بسیاری از شیوه‌های تصویربرداری عصبی در پی آن هستند و

<sup>۱</sup> Connectome

در بخش دیگر به آن‌ها خواهیم پرداخت (۸).

رهیافت مطالعاتی سوم در برنامه پیش‌آهنگ مغز، مجموعه مطالعاتی است که می‌بایست بتواند نتایج مطالعات از بالا به پایین و از پایین به بالا را در یک هارمونی، یک پارچه نموده و مورد محاسبه قرار دهد (۸ و ۹). از این رو، رهیافت سوم در جستجوی برآمدن بر چالش بزرگ برخورد با داده‌های بزرگ است که به آن نیز خواهیم پرداخت.

به صورت چکیده، رهیافت‌های مطالعاتی برنامه پیش‌آهنگ مغز در جستجوی آن هستند که رفتار متغیر در زمان ارگانیسم را در یک محیط تعریف شده توصیف نمایند و این تنها در صورتی امکان‌پذیر است که بتوان داده‌های پیچیده و بزرگ برخاسته از مطالعات ساختار و عملکرد مغز را در سطح مسیرهای عصبی با رفتار پیوند داد (۹).

### گستره‌های پراولویت پژوهشی برنامه پیش‌آهنگ مغز

#### الف / نقشه‌برداری ساختار و اجزاء مسیرهای عصبی

یک هدف کوتاه مدت برنامه پیش‌آهنگ مغز، سرشماری تیپ‌های سولی درون مغز است که می‌توان نرون‌ها را بر اساس انتقال دهنده‌های عصبی، مورفولوژی، چگونگی اتصالات، الگوهای بیان ژنی و دیگر ویژگی‌های عملکردی آن‌ها مورد بررسی قرار داد. نهایت این گستره پژوهشی، فراهم آوردن چهارچوب بیوانفورماتیک "نرون - انتولوژی"<sup>۱</sup> همسان چهارچوب "ژن - انتولوژی" در ژنتیک ملکولی است. در هنگام شناسایی نرون‌ها و سلول‌های گلایال مغزی باید بتوانیم یادداشت‌های ملکولی در حد زیرسلولی را ارائه دهیم که این منحصر به بیان mRNA نخواهد بود و کانال‌های یونی، پروتئین سیناپسی، مسیرهای پیام‌دهی درون سلولی و غیره را شامل خواهد شد (۱ و ۱۰). بی‌شک در این گستره، شناخت سامانه واحد عصبی - عروقی<sup>۲</sup> جهت مطالعه برهم کنش میان نرون‌های دستگاه اعصاب مرکزی و مایع مغزی نخاعی نیز اهمیت می‌یابد، زیرا با این سامانه می‌توان به چگونگی دریافت، تغییر و اثر

<sup>1</sup> Neuron-ontology

<sup>2</sup> Neurovascular unit system

داروها در سطح مغزی پی برد (۱۱).

## ب/ ردیابی مسیرهای آناتومیک عصبی در مقیاس‌های گوناگون: ترسیم نقشه ساختاری

هدف از این گستره پژوهشی، شناسایی و ترسیم نقشه پیوندی میان نرون‌ها در سطح مسیرهای عصبی کوچک و گسترده در سطح سیستم‌های مغزی است که می‌توان به درک روابط میان ساختار و عملکرد نرون‌ها پی برد. در این گستره پژوهشی، از مارکرهای ملکولی برای شناخت سیناپس‌ها، ردیاب‌های میان سیناپسی برای شناسایی درون داده‌ها و برون‌داده‌های مسیرهای عصبی و از میکروسکوپ الکترونی جهت نقشه‌برداری مسیرهای عصبی، در حد بزرگنمایی بسیار بالا، استفاده می‌گردد. این اطلاعات در سطح سلولی، مکمل پروژه کونکتوم انسانی (که به شناسایی پیوندها و اتصالات پهن گستر میان مناطق گوناگون مغز می‌پردازد)، خواهد بود (۱ و ۱۲).

## ج/ دینامیک نرونی: ثبت فعالیت نرونی در گستره زمان و مکان

هر چند که نقشه‌های ساختاری مسیرهای عصبی، شناخت ما را از مغز گسترش می‌دهند ولی حتی در سطح بزرگنمایی آناتومیک بسیار بالا نیز نمی‌توان یک مسیر عصبی را به صورت کامل تعریف کرد؛ زیرا سیناپس‌ها از لحاظ قدرت و سیستم تنظیم‌کنندگی، تنوع از خود نشان می‌دهند و این مسئله هنگامی غامض‌تر می‌شود که هر نرون نیز در مسیرهای عصبی، عملکردی گوناگون در شرایط تجربی متفاوت و یا رفتارهای گوناگون، از خود نشان می‌دهد. از این رو، نقشه‌برداری دینامیکی "کونکتوم عملکردی"<sup>۱</sup> الگوها و توالی عملکرد عصبی تمام نرون‌ها بسیار حیاتی می‌باشد (۱۳).

همانگونه که اشاره شد، یکی از اهداف مرکزی برنامه پیش‌آهنگ مغز، توسعه فناوری‌ها

<sup>1</sup> Functional Connectome

در جهت ثبت فعالیت‌های تعداد زیادی نرون و نیز دستکاری این فعالیت‌ها در جانوران در هنگام انجام رفتار است.

فناوری‌های کنونی، تنها به ما امکان ثبت اکثر نرون‌های مغز کوچک لارو ماهی گورخری را می‌دهند و نیاز است فناوری‌های مرز شکنی توسعه یابند تا بتوان فعالیت نرون‌ها در جانورانی به بزرگی موش را ثبت نمود. از این رو، سرمایه‌گذاری در این فناوری‌ها برای ثبت تعداد فراوانی از نرون‌های در حال عمل (برای دریافت پویایی و دینامیسم در زمان و مکان این نرون‌ها) بسیار مورد نیاز است (۹). تکنیک‌های نوری می‌توانند انعطاف‌پذیری فضایی و زمانی را با سطح تهاجمی ناچیز و بزرگنمایی در حد تک سلول در سطح جانوران زنده و حتی در زمانی که جانور بیدار بوده و رفتار می‌نماید از خود نشان دهند (۱۴).

تصویربرداری کلسیمی می‌تواند فعالیت چندین نرونی یک مسیر را اندازه‌گیری کرده و الگوهای فعالیت جمعیت‌های بالاتر از ۱۰۰۰ نرون در شرایط آزمایشگاهی و *in vivo* را ترسیم نماید (۱۵). اما این تصویربرداری کلسیمی هر چند مفید است ولی با این فناوری فقط می‌توان تا مرز شناخت پیام‌های عملکردی واقعی نرون‌ها نزدیک شد و پسندیده است که فعالیت کامل مسیر عصبی را با تصویربرداری ولتاژی به انجام رساند (۱۶).

از این رو، باید پروب‌های الکتریکی کوچک‌تر و پایدارتر توسعه یابند که با شیوه‌های کمتر تهاجمی بتوانند ثبت طولانی از مسیرهای عصبی در زمان و مکان را به صورت آشکارتر فراهم آورند. بنابراین، سرمایه‌گذاری سنگین بر روی نوروفیزیولوژی نوری جهت خلق پروب‌های کد شده ژنتیکی بهتر برای تحریک نرون‌ها و ثبت دینامیک ولتاژ و کلسیم، بسیار مورد نیاز می‌باشد (۹).

**هـ/ گسترده‌های پژوهشی برای پیوند فعالیت مغز با رفتار و ابزارهایی که**

**دینامیک مسیرهای عصبی را تغییر می‌دهند**

دستکاری فعالیت مسیرهای عصبی با تحریک و منع مستقیم جمعیت‌های نرون‌ها، علوم اعصاب را از مشاهده به سوی ترسیم علیت سوق داده است. برای دستکاری مسیرهای

عصبی، نسل نوینی از ابزارها برای تعدیل و تنظیم اپتوژنتیکی، کموژنتیکی<sup>۱</sup>، بیوشیمیایی و الکترومغناطیسی برای کاربرد در سطح جانوران و در نهایت نمونه‌های بیماران انسانی، می‌بایست توسعه یابند (۱). در حقیقت، پژوهش در علوم اعصاب در سطح نمونه‌های غیرانسانی، همگام با پیشرفت‌های اخیر در دستکاری مسیرهای عصبی بر اساس توسعه ابزارهای اپتوژنتیک که بر پایه پمپ‌ها و کانال‌های فعال شده با نور استوار می‌باشند، بسیار تحول برانگیز بوده است. زیرا ترکیب فعال سازی تند، اثرات قابل اعتماد و رهاسازی ژنتیکی کانال‌های اپتوژنتیک به تیپ‌های سلولی ویژه و مناطق مغز، موجب انقلاب در علوم اعصاب مدرن شده است (۱).

## و/ شناخت اصول بنیادین: شیوه‌های ترکیب تئوری، مدل‌سازی، آمار و تجربه (چالش داده‌های بزرگ)

مجموعه داده‌های بزرگی در زمینه مغز با سرعت غیرقابل انتظاری که طی دهه آینده نیز شتاب می‌یابد در حال انباشت است. هدف تئوری مغز آن است که این داده‌ها را به دانش تبدیل نموده تا ادراک ما از عملکرد مغز به حقیقت نزدیک‌تر نماید. برای نیل به این هدف، ما باید به تئوری، شبیه‌سازی و آنالیزهای کمی عالمانه در پژوهش‌های خود روی گردانیم تا بتوانیم مکانیسم‌های زمینه‌ای که ابعاد زمانی و مکانی را در نوردیده و اجزاء و برهم کنش آن‌ها را به رفتار دینامیک سیستم پیوند می‌دهند را درک کنیم.

از این رو، شیوه‌های نوینی برای ترکیب تئوری، مدل‌سازی و تحلیل آماری جهت توسعه درک عملکرد مغز که ماهیت غیرخطی و پیچیده دارد، مورد نیاز است (۱). مغز دارای سیستم‌های دینامیکی پیچیده است که در گستره زمانی میلی ثانیه تا سال‌ها کار می‌کنند. نقشه‌های فعالیت مغز مانند فناوری‌های امیکس و پارادایم بیولوژی سیستمی، به رهیافت تفکر سیستمی، محاسبات سیستم‌های پیچیده و بیوفیزیکی نیاز دارد که در حد فزاینده‌ای متنوع، سازگارپذیر و پیچیده می‌باشد. از این رو، خلق بانک داده‌های بزرگی که ثبت کامل فعالیت مسیرهای عصبی را در خود داشته و دسترس‌پذیر بوده، دور از انتظار نخواهد بود. دسترسی به

<sup>1</sup> Chemogenetics

این داده‌های بزرگ و تبدیل آن‌ها به دانش، بی‌شک علوم اعصاب را متحول خواهد کرد؛ زیرا تحلیل و مدل‌سازی مسیرهای عصبی برای نخستین بار، با داده‌های جامع امکان‌پذیر خواهد شد. همانگونه که پروژه ژنوم انسانی، گستره ژنومیکس را خلق نمود، تولید داده‌های جامع و تبدیل آن‌ها به دانش نیز گستره‌های نوینی را در علوم اعصاب خلق خواهد کرد (۱۳).

بنابراین، یک زیرساخت سیبرنتیکی برای موفقیت آزمایشگاه‌ها، بخش‌ها و دانشگاه‌های تحقیقاتی آینده بسیار مورد نیاز است و آن را می‌توان بر پایه تجربیات دیگر داده‌های بزرگ گستره‌های علم مانند ژنومیکس یا فیزیک انرژی‌های برتر یافت نمود (۹). از این رو مشارکت دانشمندان این گستره‌های دانش، به ویژه دانشمندان فیزیک، ریاضی، مهندسی، علوم کامپیوتر و آمار، در پیاده‌سازی نقشه راه برنامه پیش‌آهنگ مغز، اجتناب‌ناپذیر است (۱ و ۹). همانگونه که طراحان و مشاوران برنامه پیش‌آهنگ مغز عنوان کرده‌اند که خواهان توانایی ثبت آنی از هر نرون مغز در گستره زمانی هستند (۱۷)، باید دید که پیشرفت‌های ثبت چند الکترودی و تصویربرداری کلسیمی دو فوتونی چگونه انبوهی فزاینده از داده از جمعیت‌های نرونی به صورت همزمان در سطح یک تک سلولی را خواهد کرد و نیز به کارگیری شیوه‌های آناتومی نوین به خلق داده‌ها در مقیاس‌های غیرقابل تصور خواهند انجامید و همه این مثال‌ها نمونه‌هایی هستند که نشان می‌دهند چگونه رشد شیوه‌های آماری و تجزیه و تحلیل داده‌ای و خلق دانش جدید اجتناب‌ناپذیر است (۱۸).

هم اکنون دانشمندان کامپیوتر، علوم اعصاب و علوم نانو به این نتیجه دست یافته‌اند که با خلق این حجم از داده، برنامه پیش‌آهنگ مغز به ظرفیت ذخیره‌سازی سه پتابیت نیاز دارد تا بتواند مقدار اطلاعات تولید یافته از یک میلیون نرون در سال را در خود نگه دارد (۱۹). باید این را به یاد داشته باشیم که یک میلیون گیگابیت داده در یک پتابیت جای دارد. شتاب دهنده بزرگ ژنو، حدود ۱۰ پتابیت داده در سال تولید می‌کند. مغز دارای ۸۵ تا ۱۰ میلیارد نرون است که به معنای آن خواهد بود که مغز کامل حدود ۳۰۰ هزار پتابیت داده در هر سال ایجاد می‌کند (۱۹).

از این رو، هم اکنون سازمان‌های بزرگ فعال در زمینه فناوری اطلاعات (مانند گوگل)

در پی آن هستند که زیرساخت‌های لازم را برای رویارویی با مجموعه داده‌های در مقیاس پتابیتی برنامه پیش‌آهنگ مغز را مهیا نمایند (۲۰).

### ی / نیاز به پیشرفت فناوری‌های عصبی (Neurotechnology)

همانگونه که فریمن دیسون (Freeman Dyson) بیان کرده است "راه‌های نوین در علم اغلب بیشتر با ابزارهای نوین گشایش یافته‌اند تا با مفاهیم جدید. اثر انقلاب به پیش رانده شده با مفهوم (concept-driven)، توصیف چیزهای کهن به شیوه‌های جدید است. اثر انقلاب به پیش رانده شده با ابزارهای نوین (tool-driven)، کشف چیزهای جدید است که بایستی آن‌ها را توصیف نمود" (۱۳). این به معنای آن است که همانگونه که طراحان برنامه پیش‌آهنگ مغز پیش بینی کرده‌اند، پنج سال دوم برنامه، هنگام درخشش فناوری‌های نوین و مرزشکن در علوم اعصاب خواهد بود که مرزهای دانش اعصاب را در خواهند نوردید. در هر صورت، از اهداف اولیه این برنامه، شتاب در تلاش‌هایی است که هدف آن‌ها آن است که بتوان از پتانسیل فناوری‌های موجود استفاده و ابزارهای کنونی را توسعه داد و نیز مفاهیم فناورانه نوآورانه در عرصه‌های علوم اعصاب را به گونه‌ای تشویق نموده که به صورت چشمگیری بتوانند درک ما را از این که مغز چگونه کار می‌کند گسترش دهند (۲۱).

توانایی نقشه‌برداری غیرتهاجمی، پایش و دستکاری فعالیت میلیون‌ها نرون در سطح تک سلول و توان تشخیصی میلی ثانیه‌ای به دلیل ماهیت کدر و پراکندگی نور در بافت عصبی زنده، با مانع رو به رو شده است. میکروسکوپ دو فوتونی، اجازه به تصویر کشیدن نرون‌های واحد در عمق یک میلی‌متری را می‌دهد و MRI عملکردی (fMRI)<sup>۱</sup>، شیوه‌ای غیرمستقیم جهت اندازه‌گیری فعالیت یکپارچه کلافی از نرون‌ها را فراهم می‌آورد. در جانور بیدار در حال فعالیت، پروب‌های نوری برای به تصویر کشیدن و دستکاری مسیرهای عصبی در سطح تک سلول تا عمق یک میلی‌متری مورد نیاز است. این پروب‌ها دارای عمق میدانی و پهنای دید محدودی هستند. از این رو، فناوری‌های نوینی جهت رویارویی با این محدودیت جهت توسعه

<sup>۱</sup> Functional MRI

پژوهش‌های علوم اعصاب و توسعه شیوه‌های جدید برای تشخیص و درمان بیماری‌های مغزی مانند آلزایمر، اسکیزوفرنی، افسردگی و اعتیاد به مواد مخدر مورد نیاز است (۲۲). از فناوران و دانشمندان سراسر جهان، به ارسال پروپوزال‌هایی جهت توسعه تکنیک‌های تصویربرداری در عمق با دقت تشخیصی بالا درخواست شده است (۲۲).

در هر صورت، از چالش‌های بسیار بزرگ در نقشه‌برداری از مغز انسان، وجود چالش بزرگ تصویربرداری عصبی با دقت تشخیصی بالا در گستره فضایی - زمانی (Spatiotemporal) است (۲۳).

هم‌اکنون، نقشه‌برداری از ساختار و عملکرد مغز، یک گستره بسیار هیجان‌انگیز برای رشد تکنیک‌ها و فناوری‌های نوآورانه است. فناوری‌های رمزشکنی مانند تصویربرداری دو فوتونی، همراه با تصویربرداری کلسیمی و تصویربرداری ولتاژی، اولین دیدگاه دینامیک که چگونه مغز اطلاعات را در مسیرهای مدولار (modular) کد می‌کند، به ما ارائه داده‌اند (۲۴).

فناوری اپتوژنتیک (Optogenetics) نیز دستکاری دقیق فعالیت مسیر عصبی را با پالس‌های نوری امکان‌پذیر کرده است. این فناوری بدون شک علوم اعصاب را با حد دقت تشخیصی میلی ثانیه دچار تحول خواهد ساخت (۲۵). افزون بر نوآوری‌های تکنیکی که در جانوران آزمایشگاهی انجام شده‌اند، تصویربرداری عصبی از انسان نیز طی دهه گذشته رشد فراوانی را از خود نشان داده است. پروژه کنکتوم انسانی، تصویربرداری از ماده سفید را بهبودی بخشیده و دیدگاه‌های جدیدی را از ساختار سه بعدی دسته‌های فیبری در مغز انسان زنده، ارائه داده است. بهبود فناوری fMRI، نقشه‌های بهتری از فعالیت مغز انسان ارائه داده و این اجازه را فراهم کرده است تا مکان‌یابی دقیقی از فعالیت‌های پیچیده‌ای هم چون زبان، هیجان، تصمیم‌گیری و توهمات انجام شود. حتی آنالیز پیام‌های fMRI از افرادی که کاری انجام نمی‌دهند، یعنی تصویربرداری در حالت استراحت، به عنوان مارکر نیرومندی برای صفات شناختی (Cognitive) مورد کاوش قرار گرفته است (۲۴).

فناوری fMRI دارای حد تشخیصی بالایی در ابعاد فضایی و زمانی بوده و می‌تواند نوید دهنده گستره‌های نوینی در تصویربرداری عصبی در عرصه‌های بالینی باشد (۲۶). باید در نظر



داشت که عملکرد مغز یک فرایند دینامیک است که تغییرات آن در مقیاس میلی ثانیه روی می‌دهد و بسیاری از تکنیک‌های نقشه‌برداری کنونی حالت استاتیک دارند. مسیرهای عصبی شامل حداقل ۱۰۶ سلول در یک شبکه تکرار شونده پیچیده است ولی نوروفیزیولوژی به صورت کلاسیک بر ثبت یک سلول و یا در نتیجه پیشرفت‌های اخیر، ثبت کلافی از سلول‌ها، استوار است. تصویربرداری عصبی انسان می‌تواند مغز در حال عملکرد را نشان دهد اما هر یک میلی‌متر مکعب وکسل (Voxel) شامل حداقل ۸۰ هزار نرون و ۴/۵ میلیون سیناپس است. یک اسکن fMRI با ۶۸۰ هزار وکسل می‌تواند تغییرات موضعی در جریان خون و مصرف اکسیژن را نشان دهد ولی این تغییرات دارای حد بزرگنمایی و تشخیصی پایین بوده و نشانگان کندی برای فعالیت نرونی محسوب می‌شوند. عمده پیشرفت‌ها در دهه گذشته بر پایه بهینه کردن ابزارهای موجود مانند MRI و ثبت فیزیولوژیک همراه بوده است. هم اکنون زمان خلق نسل نوینی از ابزارها است. این چشم‌انداز با مشارکت تیم‌های گوناگون دانشمندان فیزیکی نور، فناوری نانو، شیمی آلی، علوم مواد، بیولوژی ملکولی، علوم محاسباتی و دیگر گستره‌ها، در قالب فعالیت‌های میان رشته‌ای، امکان‌پذیر شده است (۲۴ و ۲۵).

### هدف نهایی برنامه پیش‌آهنگ مغز

با انجام گستره‌های پژوهشی که به آن‌ها اشاره گردید، می‌توان چشم‌انداز نیل به کشف این که چگونه الگوهای دینامیکی فعالیت نرون‌های مغز موجب شناخت (Cognition)، هیجان (Emotion)، درک و احساس (Perception) و عمل در شرایط سلامت و بیماری می‌شوند را متصور شد. به زبان دیگر، هدف نهایی و پیامد مهم برنامه پیش‌آهنگ مغز، رسیدن به درک مکانیستیک و جامع از عملکرد روحی - روانی است که این هدف با کاربرد هم‌افزای فناوری‌های جدید و ساختارهای مفهومی نهفته در این برنامه‌ها روی خواهد داد (۱). در حقیقت، برنامه پیش‌آهنگ مغز در تلاش است که از سلول‌های واحد تا اتصالات، دینامیک جمعیت نرون‌ها و رفتار را به هم پیوند داده و با یک تفکر سیستمی که پشتیبان بیولوژی سیستمی است بتواند از مقیاس‌های چندگانه شامل کلاف‌های خونی، مسیرهای عصبی و شبکه‌های بزرگ مقیاس

به شبکه شبکه‌ها (یا مسیر مسیره‌های عصبی)<sup>۱</sup> دست یابد (۱ و ۲۷).

### پیامدهای برنامه پیش‌آهنگ مغز

بی‌شک نیل به هدف اساسی برنامه پیش‌آهنگ مغز که رازگشایی از چگونگی کارکرد مغز از سطح نرون تا رفتار و فعالیت‌های شناختی و روحی - روانی مغز است بسیار نتایج چشمگیری را بار خواهد داد که از پژوهش‌های پایه در علوم تا کاربردهای ترجمانی و توسعه فناوری‌ها را پوشش می‌دهد (۲۸). مغز انسان، پیچیده‌ترین ماشینی است که می‌شناسیم و برنامه پیش‌آهنگ مغز می‌تواند انقلابی را در راه شناخت این ماشین پیچیده ایجاد کند.

بی‌شک، دست‌آوردهای برنامه پیش‌آهنگ مغز در عرصه اصول شناختی در ایجاد تحول در فناوری‌های شناختی و مسیر توسعه آینده این فناوری‌ها حیرت‌انگیز خواهد بود. یافته‌های اصول شناختی برخاسته از پژوهش‌های زمینه‌ای این برنامه در سیستم‌های یادگیری ماشینی<sup>۲</sup> به کار خواهند رفت. در نتیجه، خلق ماشین‌هایی که دیگر برای هر کار واحدی نیاز به برنامه‌ریزی ندارند، خلق خواهند شد. این ماشین‌های آینده، بر اساس تجربه، تجزیه و تحلیل داده‌ها و ترکیب آن با برنامه‌های پایه، توانایی انجام کارهای متنوع چندگانه را بر اساس شرایط پیش‌رو به دست می‌آورند (۲۹).

به زبان دیگر، این یک‌پارچه سازی رهیافت‌های برنامه پیش‌آهنگ مغز با فناوری‌های شناختی و محاسباتی است که موجب خلق نسل نوینی از هوش مصنوعی خواهد شد (۶ و ۲۹). از سوی دیگر، شناخت ساختار تا عملکرد مغز در زمینه پروژه‌های برنامه پیش‌آهنگ مغز یک بنیانی را برای درک و یافت بینش ژرف‌تر به بیماری‌های ناتوان کننده مزمن مغزی مانند بیماری آلزایمر، پارکینسون، اسکیزوفرنی، بیماری‌های دو قطبی، اتیسم، صرع، بیماری بیش‌فعالی نقصان توجه، صدمات مغزی تروماتیک و یک فهرست بلند بالا از بیماری‌های مغزی، فراهم خواهد آورد. این یافته‌ها، نه تنها در راه تشخیص و درمان بلکه در پیشگیری به

<sup>۱</sup> Circuit of Circuits

<sup>۲</sup> Machine Learning

کار خواهند رفت. از این رو، پیش بینی می‌شود که برنامه پیش‌آهنگ مغز (همانند پروژه ژنوم انسانی که تحول برانگیز علوم زیستی بود) نه تنها علوم اعصاب را متحول نماید بلکه می‌تواند یک چهارچوب عقلانی و فناورانه‌ای را برای رشد شیوه‌های تشخیصی و درمانی بیماری‌های مغزی (نورولوژیک، موادمخدر، بیماری‌های روانی و رفتاری که منبع شماره یک ناتوانی در سطح جهان هستند) ارائه دهد (۲۴).

### تحریک کننده‌های ژرف - مغزی (deep-brain stimulators)

این ابزارها از ابزارهای نوینی هستند که طی چند سال اول برنامه تولید گردیده و در راه درمان بیماران به کار خواهند رفت (۳۰). جمعیت بیمارانی که از این ابزارها بهره می‌برند بسیار بزرگ بوده و رشد یابنده است. برای مثال، الکترودهای تحریک کننده‌های ژرف - مغزی که در مسیرهای عصبی ویژه‌ای در بیزال گانگلیا (Basal ganglia) ایمپلنت می‌شوند می‌توانند در بهبودی شرایط سختی، لرزش و حرکات آهسته بیماران پارکینسونی به کار آیند (۱). بسیاری از فناوری‌های مرزשکن که از قلب این برنامه خیزش خواهند کرد نه تنها موجب همگرایی زیست فناوری و فناوری نانو گردیده بلکه فناوری‌های نوینی جهت تصویربرداری سه بعدی در شرایط فضایی - زمانی و نیز فناوری‌هایی مینیاتوری بسیار حساس با سامانه‌های در مقیاس نانو که هوشمند هستند را نوید خواهند داد.

این فناوری‌ها از آنجا که در قلب چالش با داده‌های بزرگ رشد می‌یابند، می‌توانند در علوم مهندسی و ابزارهای محاسباتی آینده نیز که توانایی ذخیره‌سازی و دستکاری مجموعه داده‌های غول‌آسا را دارند، به کار آیند (۱۳). این گونه است که این برنامه موجب جلب توجه بخش خصوصی صنعت به ویژه در بخش سیبرنتیک شده و شرکت‌هایی مانند مایکروسافت و گوگل را به سرمایه‌گذاری تشویق نموده است (۶ و ۳۰). همانگونه که در پروژه ژنوم انسانی هر یک دلار سرمایه‌گذاری توانست ۱۴۱ دلار را در اقتصاد خلق نماید، فناوری‌ها و نوآوری‌هایی که در پس زمینه برنامه پیش‌آهنگ مغز رشد خواهند یافت، موجب خلق ثروت و ارزش افزوده گردیده و صنایع و سرمایه‌گذاری‌های پرخطر نوینی را نوید خواهند داد (۱۳). پیش بینی چنین

کاربردهایی، می‌تواند گسترده دست‌آوردهای برنامه پیش‌آهنگ مغز را به تصویر کشد. این گستره هیجان‌انگیز موجب شده است سرمایه‌گذاری ۴۰ میلیون دلاری اولیه بر روی این برنامه، به ۴۰۰ میلیون دلار در طی سال‌های مالی ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۰ و ۵۰۰ میلیون دلار از سال مالی ۲۰۲۱ تا ۲۰۲۵ افزایش یابد (۱، ۳۱ و ۳۲). از این رو، این برنامه سنگین‌ترین و بزرگ‌ترین برنامه تاریخ پژوهش‌های مغز است که از پروژه مغز انسان اتحادیه اروپا که شبیه‌سازی رایانه‌ای فعالیت مغز را جستجو می‌نماید، بسیار فراتر و گسترده‌تر می‌باشد (۳۱).

### نتیجه‌گیری

برنامه پیش‌آهنگ مغز که هم‌سنگ برنامه پیاده شدن انسان بر روی کره ماه یا پروژه ژنوم انسانی است و برای برآمدن بر چالش نقشه‌برداری از مسیرهای عصبی مغز، اندازه‌گیری الگوهای نوسانی شیمیایی و الکتریکی این مسیرهای عصبی به صورت دینامیک (در فضا و زمان) طراحی گردیده است، می‌تواند درک ما را از این که چگونه بر هم کنش ساختار و عملکرد، توانمندی‌های شناختی و رفتاری ما را شکل می‌دهند، گسترش دهد. اساس طراحی برنامه پیش‌آهنگ مغز به گونه‌ای است که دو راهبرد را برگزیده است. نخستین راهبرد، به کارگیری رهیافت میان رشته‌ای است و گزینش این راهبرد برخاسته از این اندیشه است که پیشرفت علوم اعصاب به گونه کنونی به دشواری می‌تواند بر چالش‌های سترگ پیروز گردد و این همکاری تیم‌های میان رشته‌ای با مشارکت دانشمندان علوم اعصاب، در کنار ریاضی‌دانان، مهندسی مواد، بیولوژی ملکولی، علوم محاسباتی و بسیاری از رشته‌های دیگر است که می‌تواند در رازگشایی ناشناخته‌های مغز مؤثر افتد. برای مثال، بنیاد ملی علم آمریکا (NSF)، اهتمام خود را بر راهبرد فرارشته‌ای جهت تقویت برنامه پیش‌آهنگ مغز با گرد آوردن گستره‌ای از دانشمندان علوم اعصاب و مهندسان جهت نقشه‌برداری مغز و کشف ناشناخته‌ها (از سیناپس‌ها تا رفتار) شکل داده و تلاش خود را بر سرمایه‌گذاری پرخطر بر روی پژوهش‌های مرزשکن و تحول برانگیز متمرکز کرده است (۳). از لحاظ ساختار و جایگاه ملی و عملکرد، بنیاد ملی علم آمریکا، همسان بنیاد ملی نخبگان ما است و از این رو بنیاد ملی نخبگان ایران

همراه با نهادهای بزرگ تحقیقاتی کشور مانند فرهنگستان‌های علوم پزشکی جمهوری اسلامی ایران می‌توانند ضمن بازنگری و روزآمد کردن نقشه علمی کشور و چیدمان راهبردها و راهکارهای بر پایه رصد کلان برنامه‌های علمی و تحقیقاتی قدرت‌های مطرح جهان در غرب و شرق و به ویژه آمریکا، اتحادیه اروپا، چین و ژاپن، نسبت به تدوین برنامه جامع توسعه و پیشرفت در علوم اعصاب و فناوری‌های مربوطه اقدام نماید.

بی‌شک، ارائه فهرستی از اهداف و تخصیص گرانت‌های ویژه در این زمینه در سطح ملی، می‌تواند همان تجربه‌ای را که در مورد رشد فناوری‌های زیست فناوری و نانوفناوری شاهد بودیم، دوباره در زمینه فناوری‌های هیبرید و نوآورانه و فناوری شناختی ایجاد نماید. حرکت‌هایی که از سوی ستادهای وابسته به بنیاد ملی نخبگان و در دانشگاه‌ها (مانند گروه مطالعات مغز و شناخت (BCSG) دانشگاه شیراز) شکل گرفته‌اند (۳۲)، می‌بایست مورد حمایت‌های جدی قرار گیرند. از این رو، همانگونه که بنیاد ملی سلامت آمریکا، فرصت‌های سرمایه‌گذاری (۳۳) و گرانت‌های پژوهشی (۳۴) را در زمینه برنامه پیش‌آهنگ مغز به صورت سالانه معرفی می‌نماید، ما نیز می‌بایست چنین راهکاری را به صورت کاملاً هدفمندانه و هوشمندانه انجام دهیم.

راهبرد دوم که در برنامه پیش‌آهنگ مغز آمریکا گزینش شده است، بهینه‌سازی فناوری‌های کنونی گستره علوم اعصاب ملی در ۵ سال اول برنامه است که هدف آن ایجاد انقلاب در علوم اعصاب بر پایه به پیش رانش با مفهوم (Concept-driven) می‌باشد. در ۵ ساله دوم برنامه، این فناوری‌های نوآورانه و ابزارهای نوین خواهند بود که در کشف ناشناخته‌ها پیشگام می‌گردند. آنگاه دانشمندان علوم اعصاب بر اساس داده‌های بی‌شمار برخاسته از کاربرد این فناوری‌ها و جولان با داده‌های بزرگ (Big data)، به توصیف این داده‌ها خواهند پرداخت. به زبان دیگر، در پنج سال دوم، ما با انقلاب به پیش رانش با ابزار (Tool-driven) رو به رو خواهیم بود. این پیشرفت‌ها نه تنها فناوری‌ها و رشته‌های نوین خلق خواهند کرد بلکه در رشد و زایش اقتصاد بر پایه دانایی و ایجاد ارزش افزوده در سطح اقتصاد کلان نیز، تحول ایجاد خواهند کرد. از این رو، برای سامان‌یابی و حمایت از اهداف برنامه، بسیاری از نهادها،

بنیادها و انستیتوهای بزرگ ایالات متحده آمریکا با همکاری شرکت‌های غول فناوری در سطح جهان و بخش خصوصی، در کنار یکدیگر، به تدوین برنامه استراتژیک خود پرداخته‌اند. آنچه برای ما آموزنده است این است که این نهادها و انستیتوها، در یک همگرایی هم‌سو با بنیاد ملی سلامت آمریکا (NIH)، زمینه فعالیت‌های خود را گسترانده‌اند.

### منابع

- 1) BRAIN 2025: a scientific vision. Brain Research through Advancing Innovative Neurotechnologies (BRAIN) Working Group Report to the Advisory Committee to the Director, NIH (US National Institutes of Health. 2014). (Accessed in April 05, 2015 at <http://www.nih.gov/science/brain/2025/>)
- 2) Physical and Mathematical Principles of Brain Structure and Function workshop. Virginia. 2013. (Accessed in April 05, 2015 at <http://physicsoflivingsystems.org/brainstructureandfunction/wp-content/uploads/sites/2/2013/10/Report-on-NSF-Kavli-BRAIN-Mtg-1.pdf>).
- 3) Understanding The BRAIN. The National Science Foundation's role in the BRAIN Initiative. (Accessed in April 05, 2015 at [http://www.nsf.gov/news/newsmedia/sfn\\_brain\\_factsheet.pdf](http://www.nsf.gov/news/newsmedia/sfn_brain_factsheet.pdf)).
- 4) Bargmann CI, Newsome WT. The Brain Research Through Advancing Innovative Neurotechnologies (BRAIN) Initiative and Neurology. *JAMA Neurol* 2014; 71: 675-6.
- 5) Fact Sheet: BRAIN Initiative. 2013. (Accessed in April 05, 2015 at <https://www.whitehouse.gov/the-press-office/2013/04/02/fact-sheet-brain-initiative>).
- 6) BRAIN Initiative has Tech connections. (Accessed in April 05, 2015 at <http://www.ugcs.caltech.edu/~techstatic/issue/21.pdf>).
- 7) Markoff J. Obama Seeking to Boost Study of Human Brain. 2013. (Accessed in April 05, 2015 at <http://www.nytimes.com/2013/02/18/science/project-seeks-to-build-map-of-human-brain.html>).
- 8) Sze G, Wintermark M, Law M, et al. Human neuroimaging and the BRAIN initiative: a joint statement from the ASNR and ASFNR, with the support of the RSNA, ACR, ARR, and ISMRM. *Am J Neuroradiol* 2014; 35: 213-4.

- 9) Samuel A, Levine H, Blagoev KB. Scientific priorities for the BRAIN initiative. *Nat Methods* 2013; 10: 713-4.
- 10) NIH delivers BRAIN Initiative Interim Report. *IEEE Life Sciences*. (Accessed in April 05, 2015 at <http://lifesciences.ieee.org/articles/501-nih-delivers-brain-initiative-interim-report>).
- 11) Alcendor DJ, Block III FE, Cliffl DE, et al. Neurovascular unit on a chip: implications for translational applications. *Stem Cell Res Ther*. 2013; 4: S18.
- 12) Zador AM, Dubnau J, Oyibo HK, et al. Sequencing the connectome. *PLoS Biol* 2012; 10: e1001411.
- 13) Alivisatos AP, Chun M, Church GM, et al. The brain activity map project and the challenge of functional connectomics. *Neuron*. 2012; 74: 970-4.
- 14) Helmchen F, Konnerth A, Yuste R. *Imaging in Neuroscience: a Laboratory Manual*. Cold Spring Harbor, New York: Cold Spring Harbor Press; 2011.
- 15) Grienberger C, Konnerth A. Imaging calcium in neurons. *Neuron* 2012; 73: 862-85.
- 16) Peterka DS, Takahashi H, Yuste R. Imaging voltage in neurons. *Neuron* 2011; 69: 9-21.
- 17) Ahrens MB, Orger MB, Robson DN, et al. Whole-brain function imaging at cellular resolution using light-sheet microscopy. *Nat Methods* 2013; 10: 413-20.
- 18) Statistical Research and Training Under the BRAIN Initiative. *ASA White Paper*. 2014. (Accessed in April 05, 2015 at [http://www.amstat.org/policy/pdfs/StatisticsBRAIN\\_April2014.pdf](http://www.amstat.org/policy/pdfs/StatisticsBRAIN_April2014.pdf))
- 19) Connecting the Neural Dots. 2013. (Accessed in April 05, 2015 at <http://www.nytimes.com/2013/02/26/science/proposed-brain-mapping-project-faces-significant-hurdles.html?pagewanted=all>)
- 20) Google joins BRAIN Initiative to help with petabyte-scale data sets. 2014. (Accessed in April 05, 2015 at <http://www.fiercebiotech.com/story/google-joins-brain-initiative-help-petabyte-scale-data-sets/2014-10-06>).
- 21) Devor A, Roe AW, Mahadevan-Jansen A, et al. Special Section Guest Editorial: The BRAIN Initiative. *Neurophotonics* 2014; 1: 011001.
- 22) Pollock JD. Deep imaging technology needed for NIH BRAIN initiative. *J Biomed Opt* 2014; 19: 30601.
- 23) He B, Coleman T, Genin GM, et al. Grand challenges in mapping the human brain: NSF workshop report. *IEEE Trans Biomed Eng* 2013; 60: 2983-92.
- 24) Insel TR, Landis SC, Collins FS. The NIH BRAIN Initiative. *Science* 2013; 340: 687-8.
- 25) Daimiwal N, Sundhararajan M, Shriram R. Applications of fMRI for Brain Mapping. *arXiv preprint arXiv:13010001* 2012.

- 26) Packer AM, Roska B, Häusser M. Targeting neurons and photons for optogenetics. *Nat Neurosci* 2013; 16: 805-15.
- 27) BRAIN initiative is underway, funding new ways to map cells, circuits. 2014. (Accessed in April 05, 2015 at <http://medicalxpress.com/news/2014-10-brain-underway-funding-ways-cells.html>).
- 28) Linking language and cognition to neuroscience via computation. 2013. (Accessed in April 05, 2015 at [http://www.psych.nyu.edu/clash/dp\\_papers/NSF-Workshop-report.pdf](http://www.psych.nyu.edu/clash/dp_papers/NSF-Workshop-report.pdf)).
- 29) Jones M, Shiffrin RM, Tenenbaum JB, et al. Report from the NSF Workshop on Integrating Approaches to Computational Cognition. 2013. (Accessed in April 05, 2015 at <http://matt.colorado.edu/compcogworkshop/report.pdf>).
- 30) Jaffe S. Congress stalls on BRAIN Initiative funding. *Lancet*, 2014; 384: 569.
- 31) Valeo T. Neurology News: The BRAIN Initiative. *Neurology Now* 2014; 10: 12-13.
- 32) Funding Opportunity: Update on BRAIN Initiative Funding and New NSF Solicitation for Understanding Neural and Cognitive Systems. Lewis-Burke Associates LLC. 2014. (Accessed in April 05, 2015 at <http://www.hfes.org/web/HFESBulletin/5.%20Funding%20Opportunity%20-%20Update%20on%20BRAIN%20Initiative%20Funding%20and%20New%20NSF%20Solicitation%20for%20Understanding%20Neural%20and%20Cognitive%20Systems.pdf>).
- 33) The BRAIN Initiative: Funding Opportunities. (Accessed in April 05, 2015 at <http://braininitiative.nih.gov/funding.htm>).
- 34) Fifteen MIT scientists receive NIH BRAIN Initiative grants. 2014. (Accessed in April 05, 2015 at <http://newsoffice.mit.edu/2014/fifteen-mit-scientists-receive-nih-brain-initiative-grants-0930>).



## فصل هفتم

### روش‌شناسی سناریونویسی برای آینده‌نگاری

#### در علوم زیست پزشکی



### مقدمه

از دهه ۱۹۷۰، در مجامع آکادمیک و دنیای کسب و کار، از سناریونویسی برای پرداختن به عدم قطعیت‌هایی که آینده سازمان‌های کسب و کار را احاطه کرده‌اند، استفاده می‌شود. محیط بیرونی آکنده از تغییرات غیرقابل انتظار است و گاهی نیز بسیار دشوار است که روندهای حاکم را جستجو نمود. برای برآمدن بر این تنگناها، مدیران به صورت فزاینده‌ای شیوه سناریونویسی را برگزیده‌اند (۱).

در میان نگاه میکروسکوپی به برنامه‌ریزی بودجه‌ای و نگاه ماکروسکوپی به ژئوپلتیک، سناریونویسی یا برنامه‌ریزی بر پایه سناریو یک ابزار دیگر جهت نگرستن به آینده است. سناریوها، داستان‌هایی هستند که هر یک دارای سرآغاز، میانه و پایان‌هایی هستند که پیچ و تاب‌های مربوط به خود را نشان می‌دهند. بر پایه این سناریوها، درک می‌کنیم که چگونه محیط پیرامون ما در نتیجه آن‌ها با گذشت زمان تغییر می‌یابد (۲).

یک مجموعه خوب از سناریوها حاوی دو تا پنج روایت و حکایت گوناگون است. بیش از پنج سناریو معمولاً موجب سردرگمی گردیده و سه سناریو نیز امکان آن را فراهم می‌آورد که افراد تلاش نمایند راه میانه و یا محتمل‌ترین راه را برگزیده و از دو سناریوی دیگر غافل شوند. طراحی چهار سناریو به نظر می‌رسد پسندیده باشد زیرا نه بسیار زیاد است و نه کم. نکته بعد آن است که هر سناریو برای هر سازمان و هر گستره‌ای از علم و فناوری اختصاصی بوده و می‌بایست به چالش‌های منحصر به فرد آن گستره بپردازد. سناریوها نقش سیاست‌های بیمه‌ای با هزینه نسبتاً پایین را ایفا می‌کنند و می‌توانند فرصت‌های نهفته در بخش سفید را که هنوز اشغال نشده‌اند نشان دهند و در دنیای رقابت‌پذیر و تند کنونی، گوی رقابت را نصیب سازمان آینده پرداز نمایند (۲).

هدف سناریونویسی، پیشگویی آینده نیست بلکه برای ما تصاویر جایگزین و متنوعی از

آینده‌ای که در محیط بیرونی در حال توسعه است را خلق می‌کند. بر این پایه، سناریوهایی که از قلب تحلیل سناریو خلق می‌گردند، عدم قطعیت‌ها را آشکار می‌کنند. این عدم قطعیت‌ها بر تصمیمات استراتژیک مدیران اثری به سزا دارد (۱ و ۳). از این رو، سناریونویسی و تحلیل سناریو همچون ابزاری نیرومند در مدیریت استراتژیک، کاربرد عام یافته است (۴ و ۵).

شرکت کنندگان در فعالیت طراحی سناریو، نخست با انجام پژوهش، نیروهای عمده‌ای را که جهان را در جهت‌های گوناگون ممکن است سوق دهند، مورد شناسایی قرار می‌دهند و سپس به ترسیم آینده‌های جایگزین ممکن که به آن‌ها سناریو گفته می‌شود می‌پردازند و آن‌گاه به روایت این سناریو اهتمام ورزیده و گزینه‌هایی را برای مدیریت سازمان در جهان‌های آینده خلق می‌کنند (۶). از آنجا که طراحی سناریو یک فرایندی است که تفکر خلاقانه و تخیل‌گرایانه را شبیه‌سازی می‌کند، می‌تواند سازمان را بهتر برای آینده آماده سازد.

امروزه انجام فعالیت‌های آینده‌پژوهی نیز در گستره علوم پزشکی بسیار رایج شده است و در بسیاری از کشورها از دهه ۱۹۹۰، به سوی آینده‌نگاری سوق یافته‌اند (۱). از آنجا که مفاهیم عدم قطعیت (Uncertainty) و پیچیدگی (Complexity) در گستره سلامت نمود برجسته‌ای دارند، بنابراین فعالیت آینده‌نگری در این گستره تلاش می‌نماید که زنجیره پیچیده "علت و معلول‌ها" را کشف و از این طریق، نیروهای شکل دهنده به آینده را شناسایی کرده و اقدام‌های سنجیده‌ای برای ساختن آینده، با کم رنگ کردن اثر عدم قطعیت، به انجام رساند (۷). بدین منظور، شاهد روند رو به افزایش فعالیت‌های آینده‌نگاری در گستره علوم زیستی و زیست پزشکی هستیم (۸-۱۱). از روندهای نوین در فرایند آینده‌نگاری در گستره سلامت و علوم زیست پزشکی، گرایش این گستره‌ها به کاربرد روش سناریونویسی برای ترسیم آینده‌های چندگانه می‌باشد که می‌توان نمونه‌های آن را در عرصه پزشکی آکادمیک (۱۲)، ارائه مراقبت‌های سلامت (۱۳)، مراقبت‌های اولیه (۱۴)، علوم زیستی (۸)، آموزش پزشکی (۱۵) و سیاست زیستی (۱۶) یافت نمود.

فرایند سناریونویسی معمولاً از یک شیوه سامان یافته هشت گامی پیروی می‌کند. این فرایند دو بخش عمده دارد که بخش اول فرایند در جستجوی یافت منطق سناریو بوده و پنج

گام اولیه را شامل می‌شود و دومین بخش که گام‌های بعدی را شامل می‌شود به روایت داستان حقیقی، دلالت‌ها و نشانگرهای (اندیکاتورهای) سناریوها می‌پردازد. معمولاً انجام یک پروژه سناریونویسی به سه تا چهار ماه زمان نیاز دارد که آغاز آن با مصاحبه‌ها و برگزاری یک کارگاه اولیه است. سپس یک ماه به پژوهش و نوشتن اختصاص می‌یابد و کارگاه دوم برای ترسیم کاربردها و تدوین سیاست‌های استراتژیک که این عمل از طریق پالایش سناریوها انجام می‌گردد و آنگاه زمانی نیز برای چکیده‌سازی نتایج کارگاه دوم جهت ارائه به ذی‌نفع‌ها صرف خواهد شد (۲).

هر چند شیوه‌های گوناگونی برای تحلیل سناریو و سناریونویسی در فعالیتهای آینده‌نگاری به کار می‌رود ولی عمده روش‌شناسی سناریونویسی متأثر از کارهای پیتر شوارتز، مدیر شبکه کسب و کار جهانی و همکار وی جی اوگیلوی می‌باشد (۲ و ۱۷). اخیراً جی اوگیلوی در مجله مشهور فوربز در سال ۲۰۱۵، به توصیف ساده روش شناسی طراحی سناریو پرداخته است. در این نوشتار تلاش شده است از شیوه روش شناسی سناریونویسی پیتر شوارتز و جی اوگیلوی که در دانشکده کسب و کار هاروارد تدریس می‌شود (۶) استفاده شود؛ هر چند که به فرازهایی از شیوه‌های دیگر نیز پرداخته شده است.

### گام اول: مورد کانونی (مورد تصمیم) Focal Issue

فرایند سناریو با شناسایی یک نقطه مورد تمرکز و تصمیم که به مشکل حقیقی ارتباط دارد، آغاز می‌شود. نقطه مورد تمرکز و تصمیم که به مسئله مورد نظر می‌پردازد، همان است که می‌بایست در نهایت مدیریت شود. در این گام، زمینه نقطه تمرکز (مورد کانونی) نشانه‌گذاری می‌شود (۴). اغلب نقطه تمرکز یک پرسش ویژه است مانند آیا باید در یک فناوری خاص (X) سرمایه‌گذاری کرد؟ یا آینده اقتصاد زیستی (Bioeconomy) چیست؟

### گام دوم: عوامل کلیدی Key Factors

پس از تعیین مورد کانونی، تیم سناریونویسی تلاش می‌کند تا با شیوه ذهن‌انگیزی

(brainstorming) به فهرست بلند بالایی از عواملی که بر مورد کانونی اثر می‌گذارد، دست یابد. بسیاری از این عوامل کلیدی به صورت آشکار هویدا هستند. برای مثال، در دنیای کسب و کار، این عوامل همان‌هایی هستند که معمولاً در یک طرح کسب و کار به آن‌ها پرداخته می‌شود (مانند تقاضای مشتری، تأمین‌کنندگان کالا، رقبا، فناوری‌های تولید، منابع انسانی و غیره). به طور معمول، هنگامی که تیم ۳۰ تا ۴۰ عوامل کلیدی گوناگون را فهرست کرد، فرایند به موارد کمتر آشکار عوامل کلیدی خواهد رسید مانند موارد یافت یک گستره رقابتی جدید و یا فناوری مرز شکن نوین (۲).

### گام سوم: نیروهای بیرونی External Forces

پس از شناسایی عوامل کلیدی درونی در گام دوم، در این گام، عوامل پیش‌ران بیرونی مورد پیمایش قرار می‌گیرند. این عوامل برخلاف پیش‌ران‌های درونی، اثر مستقیمی بر مورد کانونی ندارند و معمولاً می‌بایست از طریق پژوهش و پیمایش محیطی به آن‌ها دست یافت و می‌توان آن‌ها را در ساختاری همچون STEEP (اجتماعی =S، فناوری =T، زیست محیطی =E، سیاسی =P) جای دارد (۱). این عوامل عمدتاً سیمای کلان روندها را از خود نشان می‌دهند و بسیار پسندیده است که پژوهشگران و فعالان کسب و کار نیز به آن‌ها بنگرند؛ زیرا اغلب در محاسبات و طراحی کسب و کار فراموش می‌شوند. همان‌گونه که اشاره شد، این عوامل ممکن است اثر مستقیمی بر گستره مورد نظر و مورد کانونی از خود نشان ندهند. برای مثال، تغییرات کلان آب و هوایی و اقلیمی و نیز توسعه اقتصادی در صحنه کلان، از عوامل بیرونی پیش‌ران در اقتصاد زیستی می‌باشند (۹). بر همین منوال، پژوهشگرانی که اقتصاد زیستی را برای کشورهای OECD آینده‌نگاری کرده‌اند به عوامل بیرونی رشد جمعیت، درآمد ناخالص و دستیابی به آموزش اشاره کرد و بر پایه این عوامل بیرونی پی برده‌اند که بازار عمده آینده زیست فناوری در کشورهای در حال توسعه شکوفا خواهد شد. همچنین تقاضا برای انرژی همراه با رشد فزاینده برای کاهش گازهای گلخانه‌ای نیز بازار خوبی را برای سوخت‌های فسیلی رقم خواهد زد (۱۸). از سوی دیگر رشد جمعیت پیر به عنوان یک عامل بیرونی پیش‌ران

اقتصاد زیستی نیز به درمان بیماری‌های مزمن و دژنراتیو عصبی، بر پایه فناوری زیستی، گسترش خواهد داد (۱۸ و ۱۹).

هر چند که یافت عوامل پیش‌ران بیرونی نیاز به پژوهش دارد ولی حدی را از خلاقیت و تخیل را می‌طلبد. در هر صورت، ماحصل فعالیت تیم سناریونویسی فراهم آوردن ۷۰ تا ۸۰ عامل کلیدی و نیروهای بیرونی است که گردآوری این عوامل و نیروهای پیش‌ران نیز حدی خواهد داشت و نمی‌بایست فراتر از آن حد اقدام نمود؛ زیرا در فراتر از این حد، به عوامل و نیروهایی بر خواهیم خورد که دیگر منطقی نیست در تحلیل سناریونویسی از آن‌ها استفاده کنیم (۲).

### گام چهارم: عدم قطعیت‌های بحرانی Critical Uncertainties

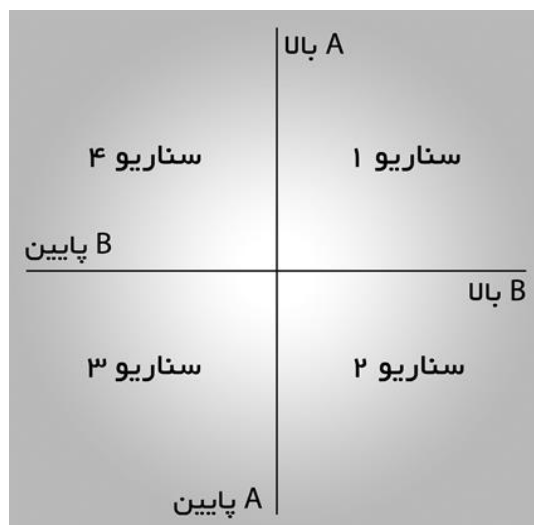
در این گام، عوامل کلیدی و نیروهای بیرونی (عوامل پیش‌ران بیرونی) که در دو گام اخیر یافت شده‌اند بر اساس دو معیار رتبه‌بندی می‌شوند؛ یکی درجه اهمیت آن‌ها برای مورد کانونی که در گام نخست گزینش شده است و دوم درجه عدم قطعیت آن‌ها. در حقیقت، در این گام از سناریونویسی، تیم می‌بایست یک تعادل میان تفکر آغشته به خلاقیت وحشی و آزاد در هنگامه ذهن‌انگیزی در گام‌های دوم و سوم را در مقابل قضاوت خوب بر پایه دانش و تجربه فراهم کند.

در دو گام اخیر سناریونویسی، یک فرایند واگرایانه را شاهد بودیم که در آن تیم تلاش می‌کرد پیرامون هر چیزی که بر مورد کانونی به صورت مستقیم یا غیرمستقیم اثر می‌گذارد را مورد شناسایی قرار دهد. در گام چهارم، تیم در یک فرایند همگرایانه، به اولویت‌سنجی بر اساس دو معیار درجه اهمیت و عدم قطعیت می‌پردازد و به زبان دیگر، تیم از تفکر آسمانی به تفکر زمینی روی گردان می‌شود.

رتبه‌بندی بر اساس دو معیار اهمیت و عدم قطعیت، یک فهرست کوتاه از عدم قطعیت‌های بحرانی را عرضه خواهد داشت (۲). این گام در سناریونویسی بسیار حیاتی است زیرا یافت و درج عوامل با عدم قطعیت است که تفاوت میان سناریوهای گوناگون را تعیین

خواهد کرد، چون که عوامل پیش‌ران و از پیش تعیین شده دیگر در همه سناریوها یکسان هستند (۳). بر همین اساس، مؤلفین بر این اصل پافشاری می‌کنند که نیروهای پیش‌ران حقیقی همان عوامل با عدم قطعیت بحرانی می‌باشند (۲۰).

در رهیافت آینده‌نگری علوم زیستی که ”مرکز مک (Mack) جهت نوآوری فناوری“ انجام داد به فهرستی از این عوامل غیر قطعی در گستره علوم زیستی دست یافت که می‌توان به صورت نمونه به موارد مقبولیت عمومی علوم زیستی، پدیداری اشکال زندگی مصنوعی، رشد پایدار، توانمندی علم برای حل مشکلات و نقش صنایع مکمل اشاره نمود (۸ و ۲۱).



شکل ۶-۱: طراحی سناریو

### گام پنجم: منطق سناریو Scenario Logics

خوشه‌بندی نیروهای پیش‌ران و عوامل کلیدی دو گام اخیر و کاهش آن‌ها به تعداد دو یا سه گستره با ماهیت عدم قطعیت بحرانی، اساس سناریوها را خواهد ساخت (۳). به زبان دیگر، بر اساس فضای رتبه‌بندی دو بعدی که در یک سو ”سطح اثر (بالا/پایین) و در سوی دیگر ”سطح عدم قطعیت“ (بالا/پایین) وجود دارد، اعضای تیم می‌بایست مهم‌ترین و غیرقابل



محتمل‌ترین (عدم قطعیت) عوامل را معین سازند تا در ساخت سناریوهای بعدی به کار آیند (شکل ۶-۱). این همان رهیافتی است که توسط پیتر شوارتز نیز پیشنهاد شده است (۱۷). در حقیقت، در این گام، پس از جمع‌آوری رأی اعضای تیم سناریونویسی در خصوص اولویت‌بندی عوامل با عدم قطعیت بحرانی، گروه می‌بایست بر دو عامل بحرانی با بالاترین عدم قطعیت به توافق برسد تا بتواند ماتریکس ۲×۲ خود را ترسیم نماید. بر اساس همین ماتریکس است که منطق سناریو از عناوین برگزیده بر این دو محور سامان می‌یابد (۲). بدین‌سان، گروه سناریونویس می‌تواند از تعداد نامتناهی از آینده‌های ممکن بر دو یا چند آینده، نیروی خود را تمرکز داده و به بینش‌های استراتژیک دست یابد. برای مثال، در برنامه آینده‌نگری علوم زیستی، دو عامل با عدم قطعیت بحرانی گزینش گردید و محورهای ماتریکس سناریو بر این عوامل تنظیم شد (۱۹). یکی از این عوامل عدم قطعیت، میزان "مقبولیت علوم زیستی نزد مردم و یا رد آن" و دیگری نیز "کامیابی‌های فناورانه یا شکست فناوری‌ها" بود (شکل ۶-۲).

### گام ششم: سناریوها Scenarios

کار عمده دوم در سناریونویسی، بیان داستان و روایت برای هر سناریو می‌باشد که خود نیاز به افراد با درجه بالایی از شهود و مهارت دارد. یک سناریوی خوب هر چند که یک داستان است ولی داستان توسط یک نویسنده نوشته می‌شود نه یک کمیته از افراد. از این رو، ترکیب خلاقیت افراد شرکت کننده در کارگاه سناریونویسی و خلق یک خط روایت واحد در هر سناریو نیاز به کار فراوانی دارد که ممکن است هفته‌ها و یا حتی ماه‌ها به طول انجامد (۲).

با در نظر گرفتن روی دادن عدم قطعیت‌های بحرانی، هر سناریو یک حالت از آینده دیگر را ترسیم خواهد کرد و به اهمیت و پیامدهای این عدم قطعیت‌ها می‌پردازد. جهت ترسیم یک نمودار سناریویی و روایت داستان آن نیاز است که طراحان سناریو به ساختار علیتی نیز توجه نشان داده و هر سناریو را با رویدادها، روندها، عوامل پیش‌ران کلیدی و الگوهایی که در گام‌های دوم و سوم به آن‌ها دست یافته‌اند آغشته نمایند و همه این عوامل کلیدی و بیرونی پیش‌ران را برای هر سناریو مورد توجه قرار دهند. سپس می‌بایست تمام بخش‌های گوناگون

سناریو همچون داستانی به یکدیگر بافته شوند (۳). یکی از شیوه‌های این بافتن، استفاده از روش تحلیل تأثیر متقابل است (۲۲).

برای آشنایی با چهارچوب سناریوهای تدوینی می‌توان به ماتریکس سناریوی آینده نگارانه علوم زیستی ۲۰۲۰ بنگریم (شکل ۶-۲).

#### سناریوی الف: گوشت گاو کجاست؟

در این سناریو، تقاضای جامعه به راه‌حل‌های بر پایه علوم زیستی بهتر، به صورت فرایندها و به گسترش است ولی علوم پزشکی و فناوری‌های وابسته نتوانسته‌اند این تقاضای فزاینده را اجابت کنند. این در حالی است که با فشار جامعه و همکاری دولت، بالاترین بودجه‌ها برای پروژه‌های پیش‌آهنگ پژوهشی در زیست پزشکی و ژن درمانی اختصاص یافته است اما این علوم نتوانسته‌اند تقاضاهای اولیه را پس از طی دهه‌ها پژوهش برآورده کنند.

#### سناریوی ب: دوران نوین پزشکی

این سناریو ادامه شتاب ۲۰ سال گذشته است که داروها نقش شگرفی را در درمان بیماری‌ها و افزایش امید به زندگی از خود نشان دادند. این بهترین نمونه سناریو برای آینده صنعت است. در این سناریو، بیماری‌های شایع، درمان یافته و امید به زندگی نیز فزونی می‌یابد. جامعه با گشاده دستی از علوم زیستی استقبال کرده، پول در بخش تحقیق و توسعه فراوان بوده و صنعت و فناوری‌های وابسته به پزشکی نیز رشد فزاینده‌ای دارند. دستیابی‌های چشمگیر در علوم ملکولی و دیگر گستره‌های پزشکی موجب آغاز دوران نوینی در طب خواهد شد. راه‌حل‌های پزشکی، امکان ریشه‌کنی و کنترل عمده بیماری‌ها، افزایش طول عمر و بهبودی در کیفیت زندگی را فراهم می‌کنند.

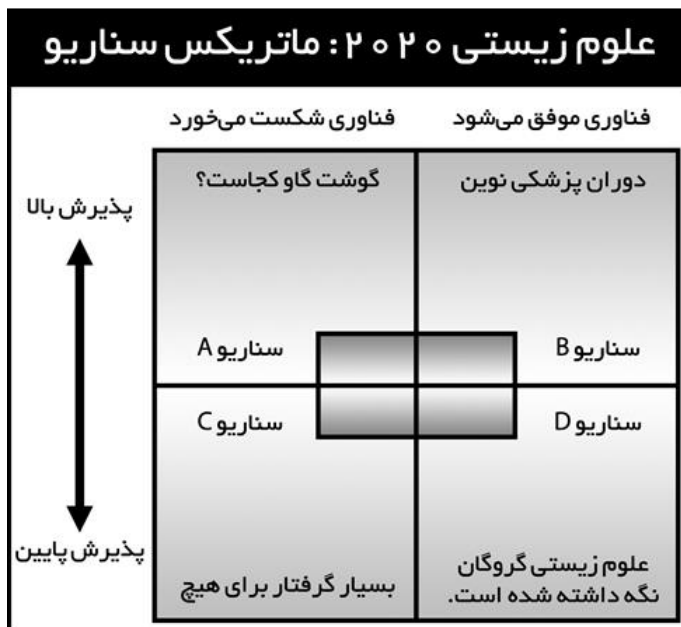
سناریوی ج: بسیار گرفتار برای هیچ. این بدترین سناریو است.

علم کاری انجام نداده و مقبولیت علوم زیستی نزد مردم نیز پایین است. بیش از ۵۰ درصد از شرکت‌های داورپی و زیست فناوری، کسب و کار خود را رها کرده‌اند. هزینه خدمات

سلامت، خانواده، سازمان‌ها و اقتصاد ملی را ناتوان کرده و فرسودگی میان بیماران، سیاست‌گذاران، سرمایه‌گذاران و ارائه‌دهندگان خدمات سلامت ایجاد شده است. فناوری نیز نیازها و راه‌حل‌های پیش‌بینی شده را برآورده نکرده‌اند.

سناریوی د: علوم زیستی گروگان نگه‌داشته شده‌اند.

این سناریو غم‌انگیزترین است. گرچه پیشرفت‌های فناورانه امکان‌پذیر است ولی اجازه داده نمی‌شود. احساسات جامعه، موارد ایمنی، بحث‌های مذهبی، موانع قانونی و نبود بودجه، موجب برچیده شدن محصولات از بازار می‌شوند. بهترین مثال، همان ماجرای است که بر سر فناوری هسته‌ای در سطح جهان بعد از وقایع گوناگون ناخواسته روی داد که پذیرش این فناوری نزد مردم کاسته شد (۸).



شکل ۶-۲: ماتریکس سناریو ارزیابی شده در گزارش علوم زیستی آینده براساس موفقیت یا شکست فناورانه و پذیرش یا رد جامعه

### گام هفتم: دلالت‌ها و گزینه‌ها Implications and options

معمولاً یک ماه تا دو ماه بعد از کارگاه اول، کارگاه دومی ساماندهی می‌شود که هدف آن ترسیم دلالت‌های هر سناریو و یافتن گزینه‌های استراتژیک مناسب آن دلالت‌ها می‌باشد. در این کارگاه، سناریونویسان به هر سناریو به عنوان یک زمین بازی که می‌بایست بازی‌ها در آن‌ها طراحی شوند، نگریده و در بازی با هر سناریو، به پیامدهای آن نیز پرداخته می‌شود. سپس فهرست‌هایی از گزینه‌های استراتژیک مناسب هر سناریو مهیا می‌گردد. آنگاه آن گزینه‌های استراتژیکی که در تمام یا عمده فهرست‌ها یافت می‌شوند به عنوان گزینه‌های استراتژیک خوب قلمداد گردیده و بی‌درنگ کار بر روی آن‌ها آغاز می‌گردد (۲).

گزینه‌های راهبردی خوب که در هر سناریویی نمایان هستند اغلب با عناصر و عوامل کلیدی از پیش تعیین شده (Predetermined) پیوستگی دارند. عوامل کلیدی از پیش تعیین شده قابل پیش بینی بوده و پیامدها و احتمالات آن‌ها نیز به خوبی شناخته شده می‌باشند و در حقیقت می‌توان با دقت بالا آن‌ها را پیشگویی کرد. عوامل دموگرافیک در این گروه قرار می‌گیرند (۳)؛ مانند جمعیت روسیه که رو به کاهش است و یا ژاپن که پیش‌تاز در سالمندی است. برای مابقی موارد غیرقابل پیش بینی که عدم قطعیت‌های بحرانی را شامل می‌شوند، سناریوها توان این را دارند که جایگزین‌های دیگر را در بسته‌های انسجام یافته ارائه دهند (۲). بر اساس سناریوهای طراحی شده در اقتصاد زیستی به سوی ۲۰۳۰، گزینه‌های چالشی برای تدوین سیاست‌های اقتصاد زیستی در عرصه سلامت، موارد زیر را شامل می‌شود (۱۸):

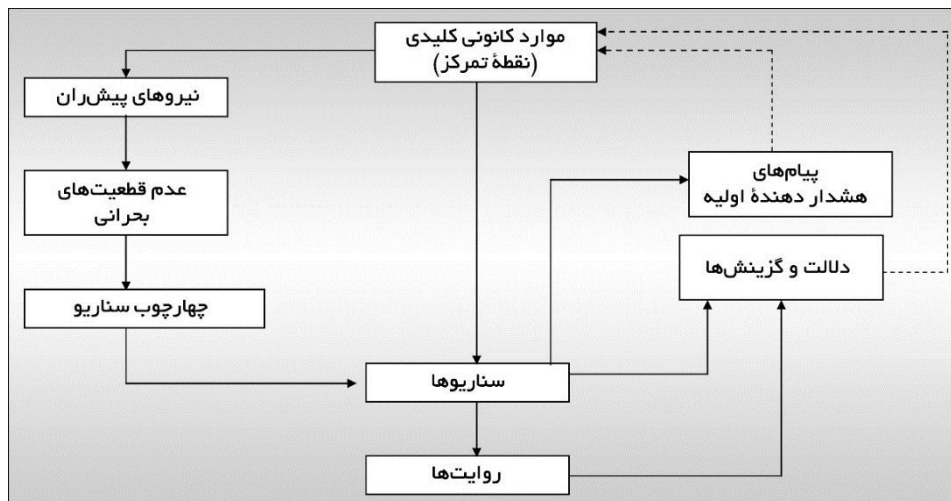
- ترتیب دادن مشوق‌های خصوصی برای توسعه درمان در گستره سلامت که با اهداف سلامت عمومی هم راستا باشند.

- مدیریت جا به جایی پارادایم از پزشکی کنونی به سوی پزشکی بازآفرینشی (Regenerative medicine) و پزشکی پیشگیرانه و فردگرایانه

پزشکی بازآفرینشی و فناوری‌های همگرا (۲۳) و نیز پزشکی سیستمی بر پایه پزشکی P4 (۲۴)، دو ابررشد شناسایی شده گستره سلامت می‌باشند.

### گام هشتم: نشانگرهای نخستین Early indicators

نشانگرهای نخستین بسیار مهم هستند زیرا می‌توان بر پایه آن‌ها از یک مجموعه سناریو به یک استراتژی واحد (در زمانی که نمی‌توان یک استراتژی واحد را مورد شناسایی قرار داد) میل کرد. به زبان دیگر، در هنگامی که نتوان یک استراتژی نیرومندی را مورد شناسایی قرار داد می‌توان با بررسی کردن آنچه در قلب هر سناریو انجام یافتنی است نشانگرهای نخستین را یافت کرد. همین نشانگرهای نخستین هستند که ما را قادر می‌سازند که تصمیم بگیریم آیا در مسیر یک سناریو یا در مسیر سناریویی دیگر گام برداریم.



شکل ۶-۳: اجزاء طراحی سناریو

نشانگرهای نخستین، اولین نشانگان تغییرات بزرگ بوده و موجب افتراق یک سناریو از سناریوی دیگر می‌شوند. گاهی اوقات می‌توان نشانگرهای نخستین را از ژورنال‌ها و انتشاراتی که فناوری‌های نوین را هدف قرار داده و مورد توجه جامعه قرار گرفته‌اند، یافت نمود. گاهی ممکن است این نشانگان در واژگان بیانات یک سیاست‌مدار مهم و یا در رفتار مشتریان نوگرا و یا در میان روایت‌های کوچک یک روزنامه نهفته باشند (۲). هنگامی که نشانگرهای کافی

برای اطمینان از این که کدامیک از سناریوها رو به انجام هستند دریافت شد، آنگاه مناسب‌ترین استراتژی آن سناریو نیز می‌توان اتخاذ و پیاده نمود (۴).

### از سناریو به استراتژی

سناریوها به خودی خود استراتژی‌ها را تعیین نمی‌کنند. یک استراتژی می‌بایست در پرتو مجموعه‌ای از سناریوها توسعه یابد. در یک مثال، سناریو همانند دسته‌های متفاوت کارت‌ها می‌باشند، اما استراتژی شیوه بازی با کارت‌ها است. شیوه‌های گوناگونی برای حرکت از سناریو به استراتژی وجود دارد و انجام این شیوه‌ها بسیار مهم هستند. یافت یک استراتژی که در گستره‌ای از سناریوها توانایی بالایی را از خود نشان می‌دهد، برای حیات سازمانی بسیار مهم است. گاهی اوقات سناریوهای وابسته چنان متنوع هستند که نمی‌توان به یک استراتژی واحدی دست یافت که در تمام سناریوها مصداق داشته باشد. در این شرایط بهتر است که استراتژی مناسب هر سناریو را تدوین کرد و به یافت نشانگرهای نخستین که احتمال برتری یک سناریو را بر سناریوی دیگر فراهم می‌آورند، گوش فراداد (۲).

### منابع

- 1) Postma TJB, Liebl F. How to improve scenario analysis as a strategic management tool? *Technological Forecasting and Social Change*. 2005 Feb; 72(2): 161–73. (Accessed 28 may 2015 at <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040162503001525>).
- 2) Ogilvy J. Scenario Planning and Strategic Forecasting. 2015. (Accessed 28 may 2015 at <http://www.forbes.com/sites/stratfor/2015/01/08/scenario-planning-and-strategic-forecasting/>).
- 3) Schoemaker PJH. When and how to use scenario planning: a Heuristic approach with illustration. *J Forecast* 1991;10:550.

- 4) Bood RP, Postma TJBM. Scenario analysis as a strategic management tool. In Research Report Series of University of Groningen, 1998.
- 5) Zahradníčková L, Vacík E. Scenarios as a Strong Support for Strategic Planning. *Procedia Engineering*. 2014; 69: 665-9. (Accessed 28 may <http://vahabonline.com/wp-content/uploads/2014/05/Scenarios-as-a-Strong-Support.pdf>).
- 6) GARVIN DA, Levesque LC. A Note on Scenario Planning. Harvard Business School. 2004; 306(003): 1-10. (Accessed 28 may 2015 at <https://faculty.washington.edu/socha/css572winter2012/HBR%20A%20note%20on%20scenario%20planning.pdf>).
- 7) Foster MJ. Scenario planning for small business. *Long Rang Plan* 1993;26:32-46.
- 8) The Future of BioSciences: Four Scenarios for 2020 and Beyond... (Accessed 28 may 2015 at <http://www.thinkdsi.com/pdfs/BiosciencesReportHighlights.pdf>).
- 9) Tait J. OECD International Futures Project on “The Bioeconomy to 2030: Designing a Policy Agenda”. 2007. (Accessed 28 may 2015 at <http://www.oecd.org/futures/long-termtechnologicalsocietalchallenges/40922867.pdf>).
- 10) Biomedicine and Health Innovation - Synthesis Report. Organisation for Economic Co-operation and Development, 2010. (Accessed 28 may 2015 at <http://www.oecd.org/sti/biotech/46925602.pdf>).
- 11) A Strategy for UK Regenerative Medicine. 2012. (Accessed 28 may 2015 at <http://www.mrc.ac.uk/news-events/publications/regenerative-medicine-strategypdf/>).
- 12) Clark J, 2005 Five futures for academic medicine: the ICRAM scenarios, *BMJ* 331, 101-105.
- 13) The future of healthcare in Europe. Economist Intelligence Unit. *The Economist*, 2011.
- 14) Primary Care 2025: A Scenario Exploration. Institute for Alternative Futures, 2012. (Accessed 28 may 2015 at <http://www.altfutures.org/pubs/pc2025/IAF-PrimaryCare2025Scenarios.pdf>).
- 15) George R. Lueddeke. *Transforming Medical Education for the 21st Century: Megatrends, Priorities and Change*. Radcliffe Pub, 2012.

- 16) Hayes R. Our biopolitical future. California, USA: World Watch Institute, 2007.
- 17) Schwartz P. The art of the long view. New York: Currency Doubleday, 1996.
- 18) The Bioeconomy to 2030: designing a policy agenda. (Accessed 28 may 2015 at <http://www.oecd.org/futures/thebioeconomyto2030designingapolicyagenda.htm>)
- 19) The Bioeconomy to 2030: designing a policy agenda. Organisation for Economic Co-operation and Development, 2009. (Accessed 28 may 2015 at <http://www.oecd.org/futures/long-termtechnologicalsocietalchallenges/42837897.pdf>).
- 20) Searce D, Fulton K, and the Global Business Network community. What if? The art of scenario thinking for nonprofits. 2004. (Accessed 28 may 2015 at [http://www.monitorinstitute.com/downloads/what-we-think/what-if/What\\_If.pdf](http://www.monitorinstitute.com/downloads/what-we-think/what-if/What_If.pdf)).
- 21) Schoemaker PJH, Lang J, Cacciotti J, et al. The Future of BioSciences: Four Scenarios for 2020. (Accessed 28 may <http://www.thinkdsi.com/pdfs/ExecSummary-eBriefing-FutureOfBioSciences.pdf>).
- 22) Menck N, Weidig C, Aurich JC. Approach for predicting production scenarios focused on cross impact analysis. Proceedings of the 47th CIRP Conference on Manufacturing Systems. 2014; 17: 493–498.
- 23) Nabipour I, Assadi M. Infrastructures for systems medicine in Iran's health roadmap. ISMJ. 2014; 17 (5) :974-992
- 24) Nabipour I. Megatrend analysis of the health policies of I.R.Iran. ISMJ. 2014; 17 (5):1007-1030.



## **فصل هشتم**

### **نقش دانشگاه‌های خلاق آینده**

### **در مارپیچ سه گانهٔ کریدورهای علم و فناوری**



## مقدمه

طی دویست سال گذشته، اقتصاددانان نئوکلاسیک به دو عامل مؤثر در "تولید" می‌نگریستند: نیروی کار و سرمایه؛ آنان "دانایی، بهره‌وری، آموزش و سرمایهٔ فکری" را به عنوان عوامل خارجی می‌انگاشتند. در تئوری رشد جدید که بر اساس کار اقتصاددان استانفوردی، پل رومر و دیگران شکل گرفته است، به عوامل رشد پایدار که در مدل‌های قدیمی اقتصاد به آن توجه نمی‌شد، توجه نشان داده شده است. بر اساس تغییری که پل رومر به مدل نئوکلاسیک اقتصاد داد، تکنولوژی و دانایی‌ای که بر آن بنیان نهاده شده است، به عنوان بخش درونی سامانهٔ اقتصادی در نظر گرفته شد و بر اساس نظر رومر، دانایی اساسی‌ترین شکل سرمایه بوده و رشد اقتصادی با انباشت دانایی، امکان‌پذیر می‌گردد. از این رو، اقتصاد دانایی محور، اقتصادی است که آشکار سازی دانایی در آن، نقش برجسته‌ای را در خلق ثروت بازی می‌کند (۱).

در قرن بیست و یکم، برتری نسبی در صحنهٔ اقتصاد بیشتر از آن که تابعی از دارایی‌های طبیعی، سرمایه‌ای و نیروی کار یک ملت باشد، بر گردهٔ مهارت‌ها و توان فناوری آن کشور است و طبیعت و تاریخ، کمترین نقش را دارند و هوش، مهارت و نوآوری انسان‌ها به عنوان برترین ذخایر ملل مورد توجه قرار می‌گیرند. این تحولات، موجب زایش اقتصاد دانایی محور در هزارهٔ جدید شده است (۲).

در این دوران پرآشوب مملو از تغییرات تند و انتقالی، اگر کشورهای در حال توسعه به سوی اقتصاد دانایی محور گام برندارند، حتی با داشتن منابع سرشار طبیعی نمی‌توانند هرگز رشد اقتصادی را تجربه کنند.

اقتصاد دانایی محور، فرآوردهٔ سه مکانیسم است؛ اولی آموزش و سرمایهٔ انسانی، دوم شبکه‌های ارتباطات دانایی با ابزار فناوری اطلاعات و سوم نوآوری و کارآفرینی (۳).

کریدورهای علم و فناوری (مناطق ویژه علم و فناوری) یکی از زیرساخت‌های توسعه اقتصاد دانایی محور است. از این رو، هیأت وزیران دولت هفتم در جلسه مورخ ۱۳۸۴/۴/۱۲ بنا به پیشنهاد سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور و به استناد اصل ۱۳۸ قانون اساسی جمهوری اسلامی ایران، آیین نامه نحوه فعالیت‌های مشخص به منظور تأسیس و توسعه کریدورهای علم و فناوری کشور را تصویب کرد و در همین راستا هیأت دولت نهم در مورخ ۱۳۸۹/۱/۱۵ بنا به پیشنهاد مشترک وزارتخانه علوم، تحقیقات و فناوری و وزارتخانه ارتباطات و فناوری اطلاعات و به استناد اصل ۱۳۸ قانون اساسی جمهوری اسلامی ایران، آیین نامه نحوه فعالیت‌های مشخص به منظور تأسیس و توسعه مناطق ویژه علم و فناوری کشور را مورد تصویب قرار داد (۴).

منطقه ویژه علم و فناوری مجموعه‌ای متمرکز از دانشگاه‌ها، پارک‌های فناوری، مراکز تحقیقاتی و پژوهشی، شرکت‌های با فناوری برتر، سرمایه‌های مخاطره‌پذیر، امکانات و زیرساخت‌های فیزیکی و نهادی و سرمایه انسانی است که در یک فضای جغرافیایی و در یک منطقه اقتصادی با مدیریت متمرکز و ساختار حقوقی خاص تشکیل و به تولید محصولات و خدمات دانش محور می‌پردازد (۵).

مفهوم کریدورهای علم و فناوری، مناطق دانایی و مناطق ویژه علم و فناوری در گذر هنگامه پیش پارادایمی خود است و از این رو شاید هنوز نتوان خط و مرز روشنی را میان این تعاریف کشید ولی آنچه مسلم است آن است که این مفاهیم برخاسته از همان سه مکانیسم اقتصاد دانایی محور است. ما نیز در اینجا به عمد از این واژه‌ها به جای یکدیگر استفاده می‌کنیم و امید است با رسیدن به بلوغ پارادایمی، بتوان حد و مرز واضحی برای آن‌ها تعریف نمود ولی پرواضح است که مناطق و کریدورهای علم و فناوری، عملکردهای پارک علم و فناوری را در عملکردهای شهری ترکیب نموده‌اند.

در هر صورت، کریدورهای علم و فناوری می‌توانند نقش بی‌همتایی را در خلق دانایی، رشد و توسعه اقتصادی ایفا نمایند و از دید عملکردی، کریدورها (مناطق دانایی) به شیوه‌ای هدفمند به پرورش و فربه نمودن دانایی پرداخته و در خلق اشتغال، رشد پرشتاب در درآمد

جامعه و خلق ثروت، افزایش کیفیت زندگی شهروندان، فراهم آوردن دسترسی مؤثر به زیرساخت‌های حمل و نقلی، طراحی شهری و معماری‌ای که فناوری‌های نوین را پیوند می‌دهد، افزایش سطح رقابت تخصص گرایانه، ایجاد شبکه‌های پرنفوذ تجاری، ایجاد ظرفیت دسترسی به دیگر بازارها، ارتقاء سطح آموزش و مهارت شهروندان، دفاع از فرهنگ کسب و کار مشارکتی و رقابت‌پذیر، ارائه خدمات عمومی خلاقانه و پاسخگو و زمینه‌ساز آشکارسازی فرهنگ تحمل‌پذیری و پذیرنده‌های فرهنگ‌های متنوع بر پایه شایسته‌سالاری نقش ایفا نمایند (۶).

با تغییر نام کریدور علم و فناوری به منطقه ویژه علم و فناوری در سال ۱۳۸۹ و بازنگری آیین نامه و تصویب آیین نامه جدید "نحوه تأسیس و توسعه مناطق ویژه علم و فناوری کشور" استان‌های اصفهان، خراسان رضوی، یزد و بوشهر، مجوز تأسیس مناطق ویژه علوم و فناوری را به دست آوردند.

بی‌شک این مناطق ویژه علم و فناوری، مکان هم‌جوشی مارپیچ سه گانه "دانشگاه"، "کسب و کار" و "دولت" است که برهم کنش این سه گانه مقدس می‌تواند پایه‌های دانایی محور را در این مناطق استوار نماید (۷).

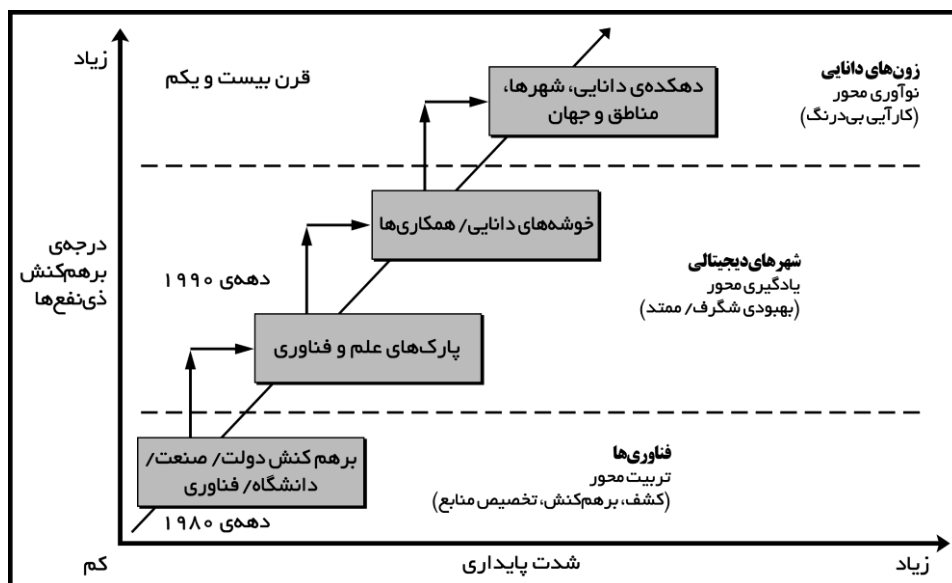
در این نوشتار، تلاش می‌شود که پیرامون نقش کلیدی دانشگاه‌های کشور در این مارپیچ سه گانه کنکاش گردیده و با مطالعه موردی کریدور علم و فناوری بندر بوشهر، به نقش ویژه دانشگاه علوم پزشکی بوشهر که از دید ساختاری و عملکردی مأموریت‌های بس گسترده‌تر از دانشگاه‌های آکادمیک دارد، نگریسته شود تا بر این اساس بتوان فرصت‌ها و ظرفیت‌های موجود را مورد شناسایی قرار داد و با برنامه‌ریزی هوشمندانه به آرمان شهر دانایی نزدیک گردد.

### کریدورهای علم و فناوری

کریدورهای علم و فناوری را ترکیب منسجمی از دانشگاه‌ها، پارک‌های علم و فناوری، مراکز تحقیقاتی و پژوهشی، شرکت‌های با فناوری برتر، سرمایه‌های مخاطره‌پذیر، امکانات و زیرساخت‌های فیزیکی و نهادی و سرمایه انسانی می‌دانند که در یک محدوده خاص جغرافیایی

با یک مدیریت متمرکز و ساختار حقوقی خاص با اتصال به یک بازار مصرف، محصولات و خدمات دانش محور را تولید می‌کنند (۸).

بر اساس عناصر کلیدی نهفته در این تعریف که نشانگر پویایی و دینامیسم چرخش دانایی است می‌توان بازیگران نهادی که در تولید و به اشتراک‌گذاری دانش شرکت دارند را ترسیم نمود. هر چند این تعریف از دیدگاه مفهومی بسیار با "مناطق توسعه فناوری" و شهرهای علمی، "دهکده‌های دانایی" و "شهرهای دانایی"، تعاریف "ابرکریدورهای فناوری"، "مناطق دانایی"، هم‌پوشانی دارد اما از دیدگاه سیر تکامل تاریخی همان‌گونه که در شکل ۸-۱ هویدا است، مفهوم کریدورهای علم و فناوری (مناطق ویژه علم و فناوری) از مفاهیم قرن بیست و یکمی است که در واپس مفاهیم پارک‌های علم و فناوری و خوشه‌های دانایی، تبلور یافته است. از دیدگاه مقیاسی نیز کریدورها و مناطق دانایی ممکن است از دهکده‌های دانایی و شهر دانایی کوچک‌تر باشند (شکل ۸-۲).



شکل ۸-۱: تکامل مفهوم "شهر دانایی"

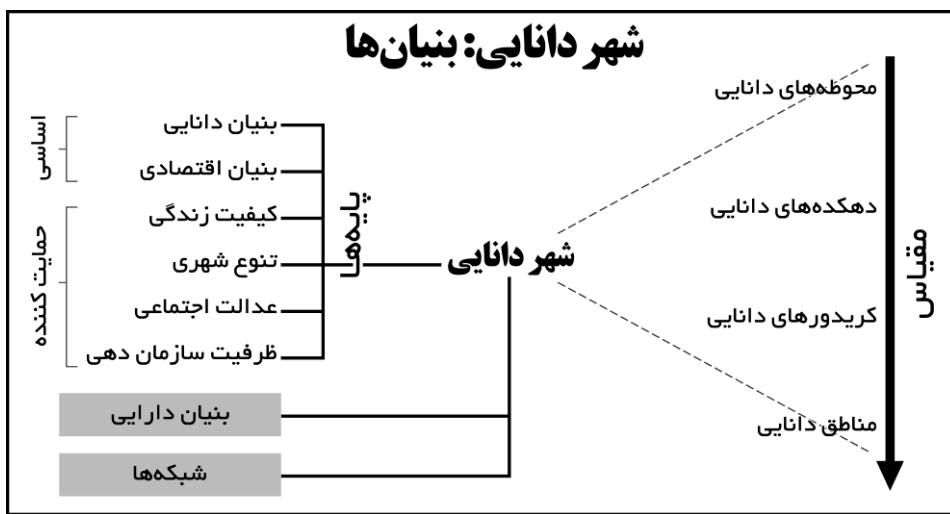
اما باز این مقیاس نسبی است زیرا کریدور دانایی ممکن است جغرافیایی بس گسترده‌تری را در ورای شهرهای دانایی به خود اختصاص دهد؛ مانند کریدور هارتفورد - اسپرینگفیلد که دو هستهٔ عمدهٔ شهری را با شهرهای پیرامونی در نیوانگلند آمریکا شامل می‌شود (۹).

از دیدگاه ترمینولوژی نیز با نام‌ها و ویژگی‌های گوناگونی پیرامون کریدورهای علم و فناوری در گوشه و کنار کشورهای توسعه یافته تا در حال توسعه، در آمریکا، اروپا و آسیا رو به رو می‌شویم؛ (مانند کریدور صنایع با فناوری برتر فلوریدا، کریدور فناوری ولورهامپتون - تلفورد، کریدور فناوری آنتاریو، سوپر کریدور چند رسانه‌ای مالزی، منطقهٔ علمی بنگلور، پارک علمی زانگو ان سان پکن، منطقهٔ آزاد اینچپهون کره، سیلیکون والی آمریکا، سوفیا آنتی پلیس فرانسه (۴). در هر صورت تمام این زیرساخت‌ها چه در قالب منطقهٔ دانایی، منطقهٔ علم و فناوری، زون فناوری، کریدور فناوری و شبکه‌های فناوری پیشرفته، قطب فناوری و غیره، تلاش می‌کنند با گذار دوران پارادایمی خود به مفهوم شهر دانایی که شهرهای استکهلم، مونترال، مونیخ، بارسلون، ملبورن، دوبلین، سنگاپور و دلفت سودای آن را در سر می‌پروانند، نزدیک شوند (۶ و ۱۰).

از این رو، به صورت پیوسته، کارکردها و مفاهیم کریدورهای علم و فناوری با مفاهیم شهری، پیوندی گسست‌ناپذیر یافت می‌کنند.

امروزه مفهوم شهر سرزنده و پویا با جذبه‌های انسانی بالا که در جذب کارگران دانایی نقش بی‌همتایی دارد با زیرساخت‌های کریدورهای علم و فناوری پیوند یافته است (۱۱). زیرا سطح بالای آموزش و استانداردهای زندگی و جذبه‌های شهری که با افزایش کیفیت زندگی شهروندی آمیخته‌اند از مؤلفه‌های بسیار نیرومند در جذب کارگران دانشی به مناطق ویژهٔ علم و فناوری محسوب می‌شوند. از مؤلفه‌های نیرومند دیگر، وجود جاذبه‌های زیست محیطی و احترام به ارزش‌های محیط زیست می‌باشد که در خلق کیفیت زندگی کارگران دانایی اثر بی‌همتایی را از خود نشان می‌دهد (۶). بنابراین، در مفهومی گسترده‌تر، کریدورهای علم و فناوری با فرایندهای اجتماعی - فرهنگی و زیست محیطی پیوند یافته و با این ساز و کارها

تلاش می‌شود که سرمایه انسانی که نمود برجسته آن کارگران دانشی هستند، جذب این کریدورها شوند (۱۱ و ۱۲).



شکل ۸-۲: شهر دانایی: بنیان‌ها

در قلب این پوشش فرهنگی - اجتماعی و زیست محیطی کریدورهای علم و فناوری، مفهوم تپندهٔ تئوریک همجوشی و هم افزایی توان دانش بازیگران و نهادهای مستقر در کریدور نهفته می‌باشد.

مطالعات فراوانی پیرامون چگونگی چرخش سیال دانش در کریدورها و مناطق علم و فناوری وجود دارد که این مطالعات گویای آن هستند که مجاورت و نزدیکی بازیگران تجاری و غیر تجاری، آکادمیک و غیر آکادمیک نه تنها موجب چرخش نرم و پرشتاب دانش در منطقه خواهد شد بلکه با هم‌افزایی و به اشتراک‌گذاری دانش در خلق دانش جدید و محصولات نوین با سطح بالای نوآوری نیز اثر خواهد گذاشت (۱۶-۱۳). شواهد این تئوری در پژوهش‌های انجام شده در مناطق ویژه علم و فناوری اروپا و آمریکا و شرق دور در مالزی خود را نشان می‌دهند (۱۵-۱۳).



بسیار جالب است که به این نکته اشاره شود که تئوری پردازان در ابتدا اینگونه می‌پنداشتند که با رشد فناوری اطلاعات، خوشه‌های علم و فناوری از هم خواهند پاشید و انتقال و جریان سیال دانش از طریق این فناوری روی خواهد داد ولی مطالعات انجام شده در سیلیکون والی نشان داده است که دینامیک دانایی در سیلیکون والی که از طریق مجاورت جغرافیایی بازیگران دانش آن حاصل آمده است در گسترش خوشه‌ها از فناوری اطلاعات (ICT) مهم‌تر بوده است (۱۳).

در حقیقت، در انتشار و نشت دانایی از یک کانون دانایی محور به کانون دانشی دیگر، مجاورت جغرافیایی بالاترین نقش را دارد (۱۷). از این رو، از زیرساخت‌های لازم برای چیدمان کریدورهای علم و فناوری، بهره‌گیری از عنصر جغرافیا و پیوندها به بهترین حالت ممکن است. بنابراین، طراحی شبکهٔ ارتباطی و دسترسی این کانون‌های دانایی محور که می‌توانند شرکت‌های دانش بنیان، شرکت‌های با فناوری بالا، کانون‌های آکادمیک و دیگر نهادها باشند باید به گونه‌ای طراحی شوند که امکان نشت و انتشار دانایی و انجام فرایند هم‌افزایی و به اشتراک‌گذاری دانایی و در نتیجه نوآوری به بهترین شیوه میسر گردد. شبکهٔ حمل و نقلی شامل شبکهٔ جاده‌ای و ریلی (اتوبوس شهری و ریل شهری) در زیرساخت کریدورهای علم و فناوری نقش مهمی را ایفا می‌نمایند (۱۱ و ۱۸).

در یک فراگرد کلی، امروزه به کریدورهای علم و فناوری (مناطق ویژهٔ علم و فناوری) به عنوان یک زیرساخت بسیار برجسته برای تبلور اقتصاد دانایی محور نگریسته می‌شود. به زبان دیگر، گذار به اقتصاد دانایی محور و پسا صنعتی از طریق کریدورهای علم و فناوری امکان‌پذیر می‌شود. این کریدورها نه تنها در سیستم ملی نوآوری نقش بی‌همتایی را بازی می‌کنند بلکه در ایجاد اشتغال نیز بسیار کارآمد هستند. در ابرکریدور مالزی نزدیک به یکصد هزار شغل دانایی محور ایجاد گردیده است (۱۹). کریدور هاتفورد - اسپرینگفیلد با نیروی کار ۱/۱ میلیون نفری که در پیش از ۴۱ هزار کسب و کار مشغولند توانسته GDP بالغ بر ۱۰۰ میلیارد دلار در سال را به دست آورد که این میزان از مجموع مربوط به ۱۶ ایالت آمریکا بالاتر می‌باشد. در این کریدور، ۱۶۰ هزار دانشجو و ۲۹ دانشگاه و دانشکدهٔ هنر قرار دارند (۲). از

این رو، کریدورها نه تنها در خلق نوآوری و به دست آوردن فرصت‌های نوآورانه و تولید دانش و نیز تجاری سازی محصولات با فناوری برتر در صحنه ملی و بین‌المللی فعال هستند بلکه در افزایش بهره‌وری اقتصاد ملی نیز جایگاه ویژه‌ای دارند که در نهایت موجب افزایش شرکت‌های ملی و بین‌المللی دارای فناوری برتر نیز می‌شوند (۸ و ۲۰). به زبان دیگر، کریدورهای علم و فناوری تجسم ظهور ماریپیچ سه گانه (Triple Helix) "کسب و کار"، "پژوهش" و "دولت" می‌باشند (۲۰).

### گفتمان دانشگاه با شهر دانایی

در سال‌های اخیر، دانشگاه‌ها به عنوان یک زیرساخت کلیدی دانایی (به دلیل توانایی آن‌ها به عنوان سکوی تولید، تجاری سازی و انتقال دانایی) در حمایت از شهرهای دانایی، قلمداد شده‌اند. در زمانی، دانشگاه‌ها را همچون برج‌های عاج (Ivory Towers) توصیف می‌کردند که تنها به آموزش و پژوهش آکادمیک سنتی می‌پرداختند و تعهدی را نسبت به فضای پیرامون عرصه‌های اقتصادی - اجتماعی که در آن زیست می‌کردند، احساس نمی‌نمودند. اما با پدیداری اقتصاد دانایی محور، هم اکنون دانشگاه‌ها به صورت پیشرفته‌ای به عنوان پیش‌ران‌های نیرومند دانایی، تغییر در دانش، فناوری و دیگر گستره‌های خلاقانه و از همه مهم‌تر، به عنوان گذرگاهی برای توسعه شهری دانایی محور، نگریسته می‌شوند. دانشگاه‌ها به عنوان فعالان اصلی فرایند تولید دانایی محسوب می‌گردند و از آنجا که بخش دانایی (Knowledge Sector) در تمام مدل‌های درون‌زاد رشد جای دارد، می‌توان بخش دانایی را به صورت انباشتی از تمام دانشگاه‌ها در عرصه اقتصاد توصیف نمود. از این رو، دانشگاه‌ها در جامعه پیچیده ما که اندیشه‌های نوین خلق و خرد موجود را به چالش می‌کشد، نقش محوری دارند (۲۴).

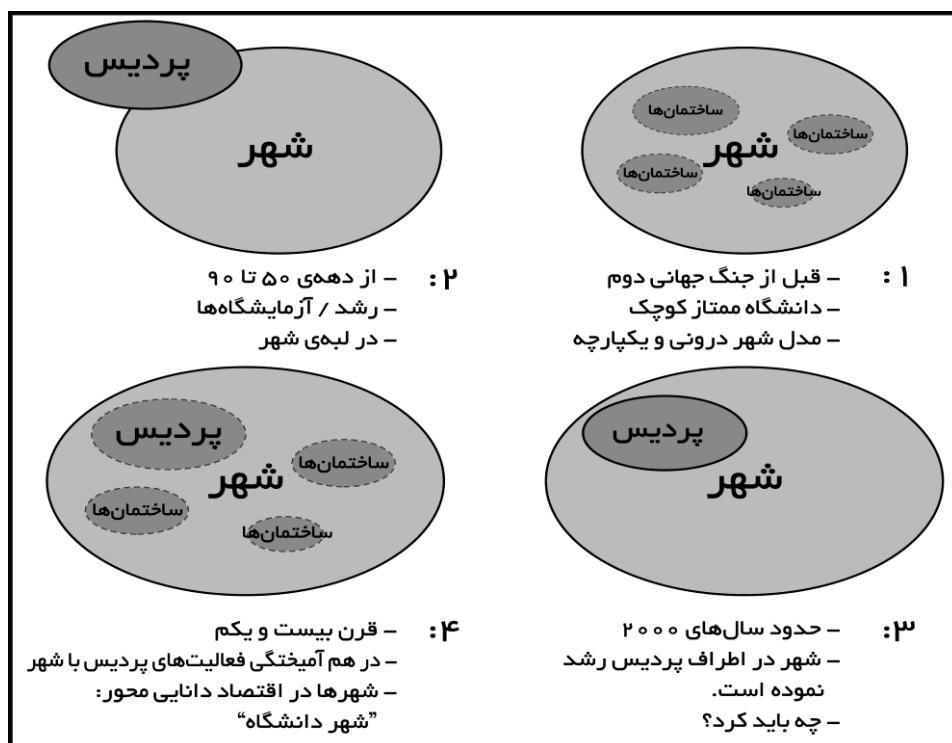
بر اساس مطالعات هنری و پنچ (Henry & Pinch)، شهرهای موفق با رشد خوشه‌های دانایی نهفته در جوامع دانایی که عمدتاً از سوی دانشگاه‌ها مورد حمایت قرار می‌گیرند، پیوند دارند (۲۲).

در حقیقت در سراسر دنیا، بسیاری از دانشگاه‌ها در تدوین چشم‌انداز، راهبرد و برنامه‌های عملیاتی شهرهای خود (جهت تبدیل شدن به شهرهای دانایی محور شکوفا) به صورت مستقیم در کنش و تکاپو هستند.

برای مثال، دفتر سرمایهٔ دانایی در ملبورن (The office of knowledge capital in Melbourne) که توسط هشت دانشگاه ملبورنی بنیان گذاشته شده است، با شورای شهر، بخش دولتی، آکادمیک و بخش کسب و کار، در ارتقاء جایگاه محلی و جهانی ملبورن به عنوان یک شهر دانایی تلاش می‌نماید.

دانشگاه‌ها افزون بر نقش تدوین برنامهٔ راهبردی توسعهٔ شهری، مسئولیت پرورش کارگران دانایی و تولید مجموعهٔ مهارت‌ها و دانایی جدید و نیز به عنوان مرکز رشد صنایع، محصولات و خدمات نوین در دوران اقتصاد دانایی محور را به عهده دارند. این ظرفیت مرکز رشدی، دانشگاه‌ها را به بازیگران کلیدی در فرایند توسعهٔ شهری دانایی محور و تغذیهٔ شهرهای دانایی مبدل نموده است (۲۱).

به زبان دیگر، هم آهنگ با تغییر در تفکر تولید دانایی و سیاست نوآوری، مأموریت دانشگاه‌ها در پیوستگی با جغرافیای زیست آن‌ها نیز تغییر نموده است. به صورت سنتی و نیز پسامدرن، چهار مدل پیرامون پیوستگی دانشگاه با محیط پیرامونی و زیست آن‌ها می‌توان متصور شد. ما با دو مدل اول در طول دهه‌های گذشته آشنایی داشته‌ایم ولی مدل‌های سوم و چهارم از مدل‌های نوپدید است که در دوران اقتصاد دانایی محور با آن‌ها آشنا می‌شویم.



شکل ۸-۳: توسعه پردیس‌های دانشگاهی هلندی در چهار هنگامه

### مدل اول: دیدگاه وسواس گرایانه

این مدل در تیپ دانشگاه همبولتی<sup>۱</sup> برجستگی داشت. در این مدل، دانشگاه یک فاصله بحرانی را از محیط زیست اقتصادی، سیاسی و اجتماعی خود برای بهینه نمودن پتانسیل نوآورانه و منتقدانه نگه می‌دارد و انتقال دانایی در این مدل یک سو بوده و از سوی دانشگاه به سوی ذی‌نفع‌ها در جریان است و دانشگاه‌ها با دید جهانی به امر آموزش و پژوهش می‌پردازند. این منظر دانشگاه‌ها (برج عاج)، از سوی بسیاری از منتقدین به چالش کشیده شده است؛ ولی گذشت زمان نیز نشان خواهد داد که این مدل نگرش دانشگاه به محیط پیرامون، در خود سودمندی‌های پایداری را برای جامعه در دراز مدت به ارمغان خواهد آورد.

<sup>۱</sup> The Humboldtian University

### مدل دوم: دیدگاه اجتماعی

در این مدل، دانشگاه تلاش می‌نماید تا در یک گفت‌وگو با فعالان منطقه‌ای هماهنگ شود تا نیازها و پاسخ به آن‌ها را جویا شود. نقش عمومی دانشگاه در این مدل، توانایی آن در دسترسی گسترده‌تر به دانایی و سودمندی‌های آن در طیف گسترده‌تری از افراد جامعه است. از این رو، دانشگاه اولین نهادی است که در راه شناسایی و تعریف توسعه و چالش‌های آینده و ارائهٔ راه‌حل‌های مسائل و مشکلات پیچیدهٔ جامعه، گام برمی‌دارد.

### مدل سوم: دیدگاه خلاقانه

در مدل سوم، به دانشگاه به عنوان نهادی که باید ضرورتاً به بهینه‌سازی و پرورش پتانسیل خلاق افراد و گروه‌ها بپردازد، نگریسته می‌شود. این بهینه‌سازی ممکن است اغلب شامل ارائهٔ منابع، زمان و فضا برای پژوهش‌های غیر قابل انتظار و پرخطر باشد که نتایج آن از لحاظ اثر بر منطقه و دیگر توسعه‌های بیرونی را نمی‌توان پیش بینی نمود. در این مدل، دانشگاه پذیرای یک ارتباط تحریک‌آمیز دو سویه و حمایتی با دیگر فعالان منطقه در یک هدف مشترک جهت بهینه نمودن شرایط برای چنین فعالیت‌های خلاقانه و فراهم آوردن یک محیط پرآفرینش است. اعضای دانشگاه در این مدل، در جستجوی گفت‌وگو زنده با دیگر شرکاء بیرونی می‌باشند تا جرقه و منظرهای تازهٔ مورد علاقهٔ خود و دیگر گستره‌ها، اجازهٔ ظهور یافته و پتانسیل خلاقانه به صورت کامل امکان خودنمایی بیابد.

### مدل چهارم: دیدگاه میانه روانه

بر اساس این مدل، دانشگاه همچون نهادهای دیگر نیز یک نهاد دانایی محور است که از پایه، از دیگر کسب و کارهای دانایی محور متفاوت نیست؛ هر چند که احتمالاً تعداد بیشتر و گستره‌ای وسیع‌تر از افراد خبره را در اختیار دارد. در این مدل، دانشگاه پیوستگی با محیط زیست خود را به صورت تبادل دانایی و کارگران دانایی با دیگر نهادهای منطقه تعریف می‌کند. در تمام این دیدگاه‌ها، دانشگاه به عنوان یک فعال مرکزی و نه یک موتور کلیدی، در

توسعه منطقه‌ای نگریده می‌شود. البته باید این را یادآور شد که هر دانشگاه، بخش دانشگاهی یا آکادمیسین دانشگاهی، ممکن است یکی یا ترکیبی از این مدل‌ها را برای پیوستگی خود با محیط پیرامون برگزیند. توصیف ساختاری این مدل‌ها در برگزیده چشم‌اندازهای گوناگونی است که چگونه دانشگاه می‌تواند با یک شهر دانایی نیز در گفتمان قرار گیرد (۷) و هر کدام از این مدل‌ها می‌توانند تا حدی در گفتمان تولید، پخش، به کار گیری دانایی و نوآوری جهت رشد اقتصادی به کار آیند.

## پردیس آینده

- ۱) دانش – گاه: کاربرد منحصر به فرد، کاربرد مشترک یا پردیس مجازی
- ۲) دانش – گاه: جذب و تسهیل کننده‌ی کارگران دانایی
- ۳) اهمیت مسکن + کیفیت زندگی شهری  
جهت جذب کارگران دانایی و جذب کسب و کار
- ۴) کیفیت بیشتر و کمیت کمتر برای فضا
- ۵) زندگی جدید برای ساختمان‌های کهنه و قدیمی
- ۶) کاربرد پرشدت و انعطاف پذیر برای تسهیلات با کیفیت برتر
- ۷) حمایت از تصویر دانشکده‌ها و دانشگاه
- ۸) ساختمان‌های عمومی
- ۹) خلق فضا برای دیدار و گفتمان
- ۱۰) فضاهای مشترک در خلق پردیس پایدار نقش ایفا می‌نمایند.

شکل ۸-۴: پردیس آینده

دانشگاه‌ها در ساخت شهرهای دانایی، با حمایت از نظام‌های نوآوری منطقه‌ای و پدیداری خوشه‌های موفق صنایع دانایی نوآور و رقابت‌پذیر، در برانگیختن رشد اقتصادی مشارکت می‌نمایند. از نظر بسیاری از پژوهشگران، نقش مهم منابع منطقه‌ای ویژه در برانگیختن توانمندی‌های نوآورانه و رقابت‌پذیری صنایع دانایی در ارتقاء شهرهای دانایی، پنهان

نمانده است. مطالعات بر روی خوشه‌ها، سرریزهای دانایی<sup>۱</sup> و نوآوری منطقه‌ای نشانگر آن است که انباشت اطلاعات و دانایی و جریان ایده‌ها در یک منطقهٔ جغرافیایی، به تراکم صنایع دانایی و فعالیت‌های تحقیق و توسعه‌ای (R&D)، از جمله دانشگاه‌ها بستگی دارد. ویژگی مهم خوشه‌ها، توانایی آن‌ها در خلق فضا برای یادگیری جمعی و ارتقاء اشتراک دانایی است. دانشگاه ممکن است با صنایع دانایی محور خوشه‌ها، از طریق تأمین و یا حتی تبادل پژوهشگران با مهارت بالا پیوند یابد. دیگر مهارت‌های دولتی و خصوصی نیز در کنار دانشگاه‌ها به ساخت مارپیچی سه گانه<sup>۲</sup> می‌پردازند که برای توسعهٔ خوشه‌های دانایی مورد نیاز هستند. از این رو، فراهم آوردن توسعهٔ زیرساخت‌های مناسب تماس میان نهادهای عمومی، دانشگاه‌ها و بنگاه‌های دانایی محور خصوصی در یک منطقهٔ شهر دانایی، به عنوان بخش بسیار مهم خلق نوآوری و آفرینش شهرها، در سکویی برای رقابت و تبدیل به شهر دانایی، نگریسته می‌شود.

در اقتصاد دانایی محور، فراتر از صنایع دانایی محور، به نخبگی و خلاقیت به عنوان عناصر مهم در شکل‌دهی فرصت‌های اقتصادی در شهرهای دانایی محور چشم دوخته می‌شود. هم اکنون شکوفایی یک شهر به صورت عظیمی به فواید آن در خلق ایده‌های جدید که از دیدگاه اقتصادی سودمند باشند، بستگی دارد. از آنجا که نیروی انسانی به عنوان سرمایهٔ انسانی، در محاسبات اقتصاد دانایی محور و توسعهٔ شهری دانایی پدیدار یافته است، کارگران دانایی، از مهم‌ترین فعالان تولید دانایی درخشش یافته‌اند. کارگر دانایی، به صورت تیپ جدید از کارگر که از هر گونه چیرگی ماشین رها گردیده و به هیچ کارگر صنعتی دیگری ارتباطی ندارد، تعریف شده است.

کارگران دانایی همچنین با مقیاس‌هایی همچون جا گرفتن در هر کدام یک از سه کد شغلی استاندارد (مدیران، متخصصان و کارگران تکنیکی) یا افراد با درجهٔ بالای فارغ‌التحصیلی، تعریف گردیده‌اند (۲۱).

در مدل‌های توسعهٔ اقتصاد دانایی محور، کارگران دانایی نیز به عنوان موتور محرکهٔ

---

<sup>1</sup> Spill Overs

<sup>2</sup> Triple Helix

اقتصاد دانایی و رشد معرفی شده‌اند (۱ و ۲۳).

در اقتصاد دانایی محور، توسعه شهری دانایی محور بر روی جذب کارگران دانایی متمرکز شده است. هر چند برای جذب این کارگران، کیفیت زندگی، تنوع شهری، عدالت اجتماعی و کیفیت مکان، از عناصر ضروری هستند ولی دانشگاه‌ها نه تنها در تأمین کارگران دانایی بلکه در برآورد نیازمندی‌های آن‌ها در شهر دانایی نیز نقشی بی‌همتایی را ایفا می‌نمایند (۲۱).

در دوران اقتصاد دانایی محور و مارپیچ سه گانه دانشگاه، صنعت (بخش خصوصی) و دولت (بخش عمومی)، که دارای هم‌پوشانی‌هایی هستند، شاهد رویش سازمان‌های هیبرید در سطح مشترکات هستیم.

در سطح مطبوعات علمی و آکادمیک، مدل مارپیچ سه گانه که بر روی دانایی، یادگیری و نوآوری تأکید می‌ورزد، برای توسعه اقتصادی و رقابت‌پذیری در سطح منطقه‌ای، نقشی مرکزی را دارد. دانشگاه‌ها در این مارپیچ با تولید دانایی نهان، مهارت‌ها، فرهنگ و فراشمولی اجتماعی که از اجزاء نیرومند راهبردهای اقتصاد منطقه‌ای هستند، نقش مهمی بازی می‌کنند. از سوی دیگر، همان‌گونه که اشاره شد دانشگاه‌ها با جذب کارگران دانایی، تجاری سازی و جذب سرمایه‌گذاری، موجب کارآفرینی و رونق کسب و کار در شهر دانایی می‌گردند و از این رو، روز به روز به عملکرد برجسته دانشگاه در پیوند شهر دانایی با عرصه اقتصاد دانایی محور جهانی، بیشتر پی برده می‌شود.

در طی چند سال اخیر، مطالعات نشان داده‌اند که دانشگاه‌ها و مؤسسات آموزش عالی باید در صحنه منطقه‌ای و محلی بیشتر رخ نمایند. در مطالعه گسترده OECD، بر روی نقش آموزش عالی و دانشگاه در توسعه منطقه‌ای که در سپتامبر ۲۰۰۷ به چاپ رسید، به این اشاره شده که هم اکنون زمان آن رسیده است که آموزش عالی در کنار تعهد ملی و جهانی، به توسعه نقش محلی خود نیز بپردازد. در این مطالعه به سه شیوه که دانشگاه‌ها می‌توانند در توسعه منطقه‌ای (برای مثال توسعه شهر دانایی) اهتمام ورزند، اشاره شده است:

- خلق دانایی در منطقه، از طریق پژوهش و بهره برداری از آن به وسیله انتقال فناوری



شامل شرکت‌های چرخشی، تأمین حقوق معنوی و نقش مشاوره‌ای

- شکل‌دهی به سرمایهٔ انسانی و انتقال دانایی شامل مکان‌دهی فرایند یادگیری به وسیلهٔ یادگیری کار محور، اشتغال فارغ‌التحصیلان در منطقه، آموزش مداوم، توسعهٔ تخصصی و فعالیت‌های یادگیری مادام‌العمر

- توسعهٔ اجتماعی و فرهنگی که به محیط، همبستگی اجتماعی و توسعهٔ پایدار ارتباط داشته و می‌تواند شرایطی را خلق نماید که نوآوری رونق یابد.

بر اساس گزارش OECD و نیز یافته‌های بنیاد کار، در پژوهش‌های ایدئوپولیس، در شهرهایی که صنایع دانایی محور خود را رشد می‌دهند، دانشگاه‌ها بی‌نهایت مهم هستند. این بدان معناست که شهرهای موفق دانایی دارای نیروی کار با سطح بالایی از مهارت هستند که نیازهای اقتصاد دانایی محور خود را پاسخ داده و دارای دانشگاه‌هایی هستند که این سرمایهٔ انسانی را تولید می‌کنند و از این رو شهرهای دانایی در مقولهٔ خلاقیت و تولید کارگران دانایی با سطح مهارت بالا، در زمینهٔ اقتصاد دانایی شهری فعالیت می‌کنند (۲۴ و ۲۵).

### دانشگاه‌ها در گفتمان با کریدورهای علم و فناوری

همان‌گونه که اشاره شد، دیگر مدل برج عاجی و وسواس گرایانه دانشگاه‌ها که در تیپ دانشگاه‌های همبولتی به صورت سنتی شاهد بودیم در هزارهٔ جدید به تنهایی کارساز نیست و مدل‌های یک‌پارچه‌ای که دانشگاه‌ها بیشتر سونگری به محیط زیست، اقتصاد، سیاست و جامعهٔ پیرامونی خود دارند کم‌کم حاکم می‌شود. در این منظر جدید، دانشگاه‌ها را دانشگاه‌های خلاق (creative university) می‌نامند که با شهر - منطقه (city-region) در تعامل قرار می‌گیرند. از این رو، در دانشگاه‌های خلاق آینده، نوآوری و تربیت کارآفرینان به جای مهندسان و آکادمیسین‌های خالص، صحنهٔ معادلات اقتصادی - اجتماعی جامعه را دچار تحول می‌سازد. به زبان دیگر، با حفظ تعالی آکادمیک، محیط دانشگاه با محیط پیرامون همجوشی یافته و در خلق نوآوری در صحنهٔ جامعه (مانند مناطق علم و فناوری) تلاش می‌شود. بنابراین، این چرخش عملکرد دانشگاه در عرصهٔ جامعه چنان انقلابی و بحرانی جلوه می‌نماید که به آن

فرایند "دانشگاه‌ها برای رنسانس نوین" لقب داده‌اند. بی شک واژه رنسانس بسیار پسندیده‌ترینش گردیده است زیرا همسان رنسانس کلاسیک، در این مدل، دانشگاه خلاق، انسان را در مرکز یک فرهنگ فعال و آزاد جای می‌نهد (۳۰).

کریدورها (مناطق ویژه علم و فناوری) بر پایه مکانیسم تعالی مارییچ سه گانه "دانشگاه‌ها"، "دولت" و "کسب و کار" عملکردهای ویژه خود را عرضه می‌نمایند و بی شک آن‌ها به عنوان قلب تپنده مناطق دانایی نمود می‌یابند. بر اساس پژوهش‌های انجام شده، عملکردهای زیر را می‌توان برای دانشگاه‌ها در گفتمان با کریدور علم و فناوری متصور شد (۷):

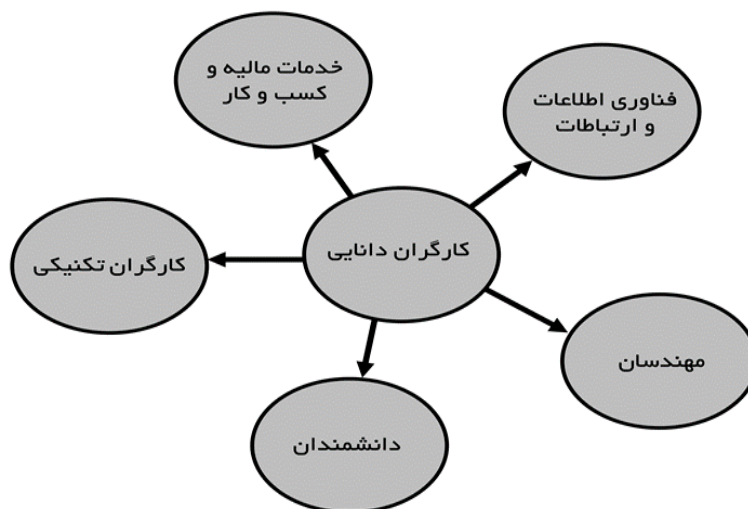
۱/ آکادمی‌سین‌های دانشگاهی نقش یگانه و بی‌همتایی را در شناسایی گستره‌های جدید و برجسته توسعه‌ای در عرصه اقتصاد، سیاست علم و پیشرفت دانش دارند که شاهد این گزاره آن است که بخش عظیم تئوری‌های پیشرفت و توسعه که در فضای کسب و کار مناطق دانایی و کریدورهای علم و فناوری جاری هستند، از قلب دانشگاه سرچشمه گرفته‌اند و این تئوری‌ها در گفتمان پیوسته دانشگاه - مناطق علم و فناوری در حال تکامل هستند.

همچنین در تمام مناطق علم و فناوری، نمایندگان دانشگاه و آکادمی‌سین‌های آن‌ها در معرفی جایگاه و نقش این مناطق و شراکت ذی‌نفع‌ها در پایه‌گذاری آن‌ها و نیز در جلب نظر سیاست‌گذاران جامعه مدنی سهم غیر قابل انکاری را از خود نشان داده‌اند.

۳/ نقش تربیت نیروی تحصیل کرده برای کریدورهای علم و فناوری به صورت سنتی وابسته به فعالیت دانشگاه‌ها بوده است ولی در فضای جدید کسب و کار در این مناطق، دانشگاه‌ها می‌توانند با درک نیازهای کریدورها و وجود فرصت‌های شغلی در تربیت نیروی انسانی ماهر برای کسب این مشاغل وابسته به دانایی به ویژه در صنایع و فناوری‌های برتر اهتمام ورزند. تربیت کارآفرینان و ادغام برنامه آموزش کارآفرینی، رکن اساسی در برنامه آموزشی آینده دانشگاه‌های خلاق بازی خواهد کرد. از این رو، دور از ذهن نخواهد بود که در یک تعامل دو طرفه، دانشگاه نیز از نمایندگان کسب و کار مناطق علم و فناوری به عنوان آموزشگرهای آکادمیک در برنامه‌های آموزشی خود بهره‌برد. در نهایت هدف دانشگاه‌های خلاق آینده، تربیت کارگران دانایی با بهره کارآفرینی و ذهنی خلاق خواهد بود.

جدول ۸-۱: اولویت‌های شهرهای دانایی و نهادهای آموزشی در اقتصاد در حال تغییر

| اولویت‌های شهری   | اولویت‌های نهادهای آموزشی  |
|---|--|
| اقتصاد<br>چه اثر اقتصادی را در یک اقتصاد دانایی محور باید جویا شد؟                            | داشتن مجموعه‌ای متنوع از صنایع پرشدت دانایی ویژه همراه با بهره‌وری بالا که بر پایهٔ نقاط قوت موجود ساخته شده و مشاغل با مهارت برتر خلق می‌نماید.   |
| رهبری<br>چه نقشی رهبری در دست‌یابی به مأموریت کلی بازی می‌کند؟                                | داشتن چشم‌انداز آشکار برای رشد آینده در اقتصاد دانایی محور و ظرفیت آزادسازی آن از طریق نهادهای گوناگون کارکردن با افراد مستعد در بخش‌های گوناگون جذب افراد مستعد به نقش‌های رهبری  |
| مکان<br>به چه اثری بر ساخت محیط و زیرساخت‌های شهری جهت دست‌یابی به مأموریت اصلی، امید می‌رود؟ | داشتن یک شهر جذاب که مردم را برای داشتن یک زندگی پر کیفیت، سفر برای کار و کسب و کار و کارآمد با بهره‌وری توانمند نموده و در جذب و نگهداشت بازدید کنندگان، ساکنین و شرکت‌های کسب و کار کمک می‌نماید.  |
| مردم<br>امید می‌رود بر مردم چه اثری گذاشته شود؟   | جذب و نگهداشت دانش‌آموختگان سطح بالا، کار با FE جهت توسعهٔ مهارت‌های میانی و کار با نهادهای آموزشی جهت کمک به زدایش نابرابری‌ها  |
|   | خلق دانایی، انتقال دانایی، درگیری کارکنان و ارائهٔ مشاغل پر کیفیت به افراد مستعد در سطوح گوناگون، با اثر اقتصادی سودمند که بر بهره‌وری و بازار کار شهر مؤثر است.   |
|   | نیاز به نشان دادن نقش رهبری در مقیاس محلی/جهانی جهت دست‌یابی به مأموریت محلی و جهانی عمل نمودن به صورت یک نهاد لنگرگاه مانند محلی جهت کمک به جذب و ابقاء کارکنان مستعد و دانشجویان جهت کار در و اطراف حوزهٔ دانشگاه حمایت از اثر محلی اقتصاد و نیز توسعهٔ پژوهش‌های پر کیفیت و زایشی |
|   | گسترش پردیس‌های دانشگاهی جهت فراهم آوردن تسهیلات مناسب جهت دانشجویان، کارمندان، شرکت‌های زایشی کسب و کار و پژوهش؛ در بعضی از دانشگاه‌ها، فرو بردن این پردیس‌ها در بخش‌های فرهنگی و تجاری شهر   |
|   | کار با بخش‌های داوطلب محلی و مردمی و به کارگیری مهارت دانشجویان در حمایت از سرمایه‌گذاری بر روی جامعه، افزایش دسترسی به آموزش‌ها و نشان دادن اثر اقتصادی در جاهایی که مناسب است. برای مثال، از طریق خلق مشاغل، چه مستقیم و چه غیر مستقیم   |



شکل ۸-۵: گستره‌های کار کارگران دانایی در شهرهای دانایی محور

۴/ دانشگاه‌های خلاق در پیوند با مناطق دانایی، افزون بر حفظ برتری جایگاه خود در انجام پژوهش‌های بنیادین، می‌بایست به عنوان پایگاه پژوهش‌های کاربردی در عرصه‌های اقتصاد دانایی محور نیز با مناطق علم و فناوری پیوند گسست‌ناپذیری را بنیان نهند. به زبان دیگر، دانشگاه‌ها می‌توانند به عنوان پایگاه انجام پژوهش‌های پرخطر و با ریسک سرمایه‌گذاری بالا، عرصه‌های پژوهشی و آزمایشگاهی خود را بر روی نیازهای پژوهشگران، نوآوران و صاحبان کسب و کار مناطق دانایی گشایش نمایند. این خود مکانیسمی فعال و زنده خواهد بود که دانشگاه‌ها می‌توانند در عرضه پروژه‌های پیش‌تاز سهمیم‌گردیده و در رشد و شکوفایی سامانه ملی نوآوری در گستره کریدورهای علم و فناوری، نقش ایفا نمایند.

۵/ دانشگاه‌ها می‌توانند در انتقال دانش تولید یافته در مناطق علم و فناوری در عرصه جامعه تلاش نموده و از این طریق در انتقال دانایی‌ای که چندان تجاری جلوه نمی‌کند، کوشش کنند. این مفهوم بسیار فراتر از انتقال فناوری که در دفاتر ارتباط دانشگاه با صنعت یا دفاتر ویژه انتقال فناوری دانشگاهی صورت می‌گیرد، جای دارد. به زبان دیگر، در این عملکرد، دانشگاه‌های خلاق کوشش می‌کنند تا ایده‌های نو و محصولات نوآرانه خلق گردیده در

کریدورها را با رسالت فرهنگی خود در سطح جامعه با برگزاری نشست‌ها و پانل‌های علمی دانشگاهی با حضور همهٔ ذی‌نفع‌ها از جمله نمایندگان مردمی و رسانه‌ای و یا تماس با سیاست‌گذاران کلیدی جامعه، معرفی نمایند. در این گذار نه تنها انتقال فناوری و دانش به پیکرهٔ جامعه به شکل کاملاً علمی در ورای مرزهای سودجویانه روی خواهد داد بلکه به جایگاه دانش و علم نیز در منظر جامعه ارزش داده می‌شود.

به زبان دیگر، دانشگاه‌های خلاق آینده تلاش می‌کنند که نه تنها از برج عاج خود را بیرون کشند و در سه گانهٔ مارپیچ مناطق دانایی قرار گیرند بلکه با کشاندن مردم بر سر سفرهٔ علم و فناوری با به اشتراک گذاشتن دانایی تولید یافته با مردم، تلاش خواهند کرد که یک برهم کنش مارپیچ چهارگانه‌ای نوین خلق نمایند که در کنار دانشگاه‌ها، دولت و کسب و کار، (مردم = جامعهٔ مدنی) نیز جای گیرد (۷).

به پایهٔ این چهار گسترهٔ گفتمانی دانشگاه‌ها با مناطق دانایی، عملکردهای زیر را می‌توان برای دانشگاه در تعامل با کریدورهای علم و فناوری چیدمان کرد:

- ۱/ نقش در تولید، تجاری سازی و انتقال دانش
- ۲/ نقش مشاورتی در تدوین برنامهٔ راهبردی توسعهٔ شهری و مناطق علم و فناوری
- ۳/ پرورش و تربیت کارگران دانایی بر اساس نیازهای کنونی و آیندهٔ کریدورها
- ۴/ حمایت از شرکت‌های دانش بنیان و پارک‌های علم و فناوری مستقر در کریدورها و مناطق ویژهٔ علم و فناوری

- ۵/ انجام پژوهش‌های بنیادی در راستای پروژه‌های فعال خوشه‌های دانایی
- ۶/ حمایت و انجام پژوهش‌های پرخطر و با ریسک سرمایه‌گذاری بالا که مورد تقاضای مناطق دانایی می‌باشند.

- ۷/ تقویت سامانهٔ ملی نوآوری با تدوین و اجرای پروژه‌های پیش‌تاز که می‌توانند مکمل و رشد دهندهٔ فعالیت‌های موجود در مناطق دانایی باشند.

- ۸/ حمایت از خوشه‌های با فناوری برتر

- ۹/ تقویت رقابت‌پذیری صنایع دانایی محور بر پایهٔ فناوری برتر

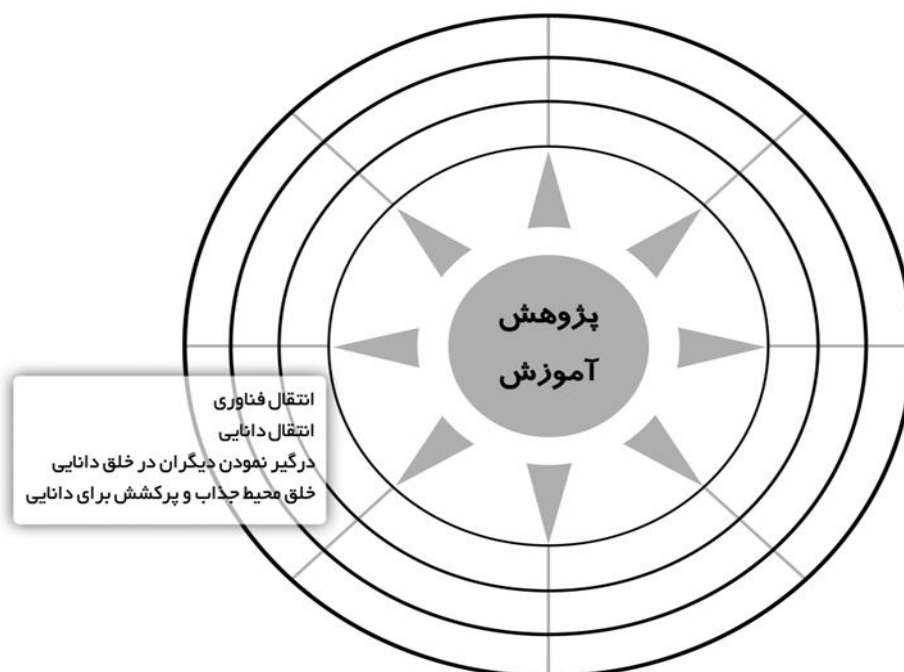
۱۰/ حمایت از نوآوری و تبدیل محیط دانشگاه از قالب سنتی به دانشگاه خلاق که تمام اعضاء دانشگاهی تلاش می‌کنند به شکل فزاینده‌ای در عرضه ایده‌های نوآورانه و خلاقانه رقابت نمایند.

۱۱/ تبادل و یا تأمین پژوهشگران با مهارت بالا که در فناوری برتر کار می‌کنند برای کریدورها و یا مناطق علم و فناوری

۱۲/ تلاش در جذب کارگران دانایی در مناطق علم و فناوری

۱۳/ تربیت نیروی کارآفرین

۱۴/ فراتر رفتن از زاویه بسته دانش و فناوری و درگیر شدن در بخش‌هایی همچون خدمات مالی و کسب و کار و صنایع خلاق که قلب اقتصاد دانایی محور محسوب می‌گردند.



شکل ۸-۶: مأموریت‌های نوین دانشگاه در فراتر از آموزش و پژوهش در عصر دانایی

## دانشگاه‌های خلاق علوم پزشکی در گفتمان با مناطق ویژه علم و فناوری:

### مطالعهٔ موردی دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی بوشهر

افزون بر کارکردهای تعاملی که دانشگاه‌ها می‌توانند به صورت جامع با مناطق ویژه علم و فناوری داشته باشند، دانشگاه‌های علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی کشور به دلیل ساختار منحصر به فرد و مأموریت چندگانهٔ ویژه‌ای که برای آن‌ها تعریف شده است و از لحاظ تنوع و پیچیدگی وظایف از آموزش و پژوهش تا ارائهٔ خدمات سلامت در دورافتاده‌ترین بخش‌های کشور را شامل می‌شود، می‌توانند دارای عملکردهای ویژه‌ای در تعامل با کریدورهای علم و فناوری باشند که این گستره‌های عملکردی برخاسته از پتانسیل‌های نهفته در تیپ مأموریت‌های آن‌ها است. برای برشمردن این پتانسیل‌ها و نیز گستره‌های گفتمانی و عملکردی این نوع دانشگاه‌ها در مارپیچ سه گانهٔ کریدورهای علم و فناوری، کریدور (منطقهٔ ویژه) علم و فناوری بندر بوشهر را به عنوان مدل عملکردی بر می‌گزینیم.

هر چند که بندر بوشهر ویژگی‌های دیگر کلان شهرهای ایران که جهت برقراری مناطق ویژه علم و فناوری برگزیده شده‌اند را ممکن است از خود نشان ندهد اما دارای ویژگی‌های لازم و اساسی است که از دید حوزهٔ توسعهٔ اقتصادی، فرهنگی و سیاسی بی‌نهایت اهمیت دارند.

بر اساس مطالعات توسعهٔ بین‌المللی و شهری بنیاد آمستردام، این ویژگی شامل موارد زیر می‌باشند (۲۷):

الف/ وجود نقش تصمیم ساز در صحنهٔ اقتصاد و سیاست کُلی و بین‌المللی بندر بوشهر با داشتن طولانی‌ترین مرز آبی با خلیج فارس (بیش از ۹۰۰ کیلومتر) و دسترسی به آب‌های آزاد بین‌المللی به عنوان نزدیک‌ترین بندر جنوبی به کشورهای حوزهٔ خلیج فارس محسوب می‌شود که نقش بی‌همتایی را در ژئوپلتیک منطقهٔ بین‌المللی خلیج فارس ایفا می‌کند و این موضوع از دو سدهٔ پیش مورد رصد ابرقدرت‌های بیگانه قرار گرفته است و دولت انگلستان و دیگر ابرقدرت‌های دریایی از این بندر برای سیطرهٔ بر اقیانوس آرام و حوزهٔ خلیج فارس استفاده برده‌اند. امروزه نیز این استان با داشتن ۱۱ بندر تجاری و بزرگ‌ترین میدان

گازی جهان و تنها نیروگاه هسته‌ای خاورمیانه، توجه جهانیان را به خود جلب نموده است. ب/ وجود فرهنگ تنوع‌گرا و پلوریستیک و پذیرنده از نکاتی است که در ایجاد کریدورهای علم و فناوری و تبدیل شهر به شهر دانایی و جلب کارگران دانایی با شیوه‌های گوناگون زیست از فرهنگ‌های متنوع، بسیار اثرگذار است. این همان اکوسیستمی است که به آن "شرایط نرم" می‌گویند (۲۸).

شهر بندری بوشهر نه تنها در جنوب ایران بلکه در منطقه خلیج فارس به عنوان شهر پذیرنده با فرهنگ تحمل‌پذیری در طول تاریخ خودنمایی کرده است و وجود فرهنگ و مذاهب گوناگون از شمال آفریقا، هندوستان تا اروپایی در این شهر گواه بر این ادعاست که شواهد آن را می‌توان در یادمان‌های تاریخی این شهر یافت. همچنین وجود رتبه نخست در امنیت شهری در سطح کشور نیز نمایانگر گستره‌ای پر جاذبه برای جذب سرمایه‌گذاران و کارآفرینان و کارگران دانایی می‌باشد.

ج/ مراکز فرهنگی و تاریخی که به ویژه در مرکز شهر انباشت یافته باشند برای جذب طبقه نخبه و خلاق به عنوان برتری شهرها در کسب جایگاه شهر دانایی قلمداد می‌شوند. وجود بافت منحصر به فرد تاریخی - فرهنگی قدیم شهر بوشهر به وسعت ۴۰ هکتار در پیوست با بندر تاریخی - تجاری بوشهر که در ضلع شمالی کریدور علم و فناوری این شهر قرار دارد، می‌تواند به عنوان یک مغناطیس عمل نماید. سابقه درخشان بندر بوشهر در هنرهای نمایشی و وجود موسیقی پرنفوذ و آیینی همراه با هنر تئاتر و صنعت فیلمسازی پویای این بندر می‌تواند در درخشش این شهر به صورت یک شهر فرهنگی اثرگذار باشد.

د/ شهرهای با منابع سازمانی، مالی و حکومتی خوب می‌توانند با موج مدرنیزاسیونی که لازمه تحولات توأم با تغییرات ساختار جمعیتی و اقتصادی و ایجاد ظرفیت‌های محیطی برای ایجاد صنایع خلاق و نوآور است، خود را هماهنگ نمایند.

بندر بوشهر، ثروتمندترین بندر کرانه شمالی خلیج فارس می‌باشد که با تولید ۷۰ درصد گاز سوز کشور و ۷/۵ درصد گاز جهان، ۷۱ درصد نفت فلات قاره، ارزش صادرات به انضمام میعانات گازی آن که به ۱۵/۸ میلیارد دلار می‌رسد، وجود ۲۵ اسکله در ۱۱ بندر تجاری این



استان با طول ۳۰۰۰ متر و ظرفیت تخلیه و بارگیری سالانه ۵۰ میلیون تن و نیز وجود بزرگ‌ترین پایانهٔ نفتی ایران و صادرات ۹۸ درصد از نفت خام کشور از طریق جزیرهٔ خارگ، به شهری پرتانسسیل از دیدگاه اقتصادی و توان مالی تبدیل یافته است.

هـ/ شهرهای با بنگاه‌های کوچک توأم با فعالیت نیروی کار با سطح مهارت بالا و تخصصی و فعالیت فناوری‌های برتر و نیز شهرهای با سطح بالای صنایع خدماتی می‌توانند از شهرهایی که هنوز بقایای صنایع سنگین را بر دوش خود حمل می‌کنند بهترین عملکرد را از خود در عرصهٔ اقتصاد دانایی محور نمایان کنند. هر چند که شهر بوشهر از دیدگاه صنعت خدمات و مالیه به دلیل بندری بودن و داشتن پایانه‌های صادرات و واردات در تجارت بین‌المللی با ادبیات صنایع خدماتی آشنایی دیرینه‌ای دارد اما از دیدگاه واقع‌گرایانه، از وجود تعداد قابل توجه بنگاه‌های کوچک و متوسط با فناوری بالا به صورت چشمگیر برخوردار نمی‌باشد. اما وجود صنایع دریایی و ساخت سکوه‌های متحرک حفاری دریایی که فناوری با سطح بالایی را در کلاس بین‌المللی می‌طلبد و نیز مراکز پرورش آبزیان و وجود ۲۵ کارخانهٔ فعال فرآوری آبزیان و کسب مقام اول این شهر در تولید میگوی پرورشی در کشور، نشانگر پتانسیل‌های این بخش‌ها برای صنایع با فناوری بالا و زیست فناوری دریایی در بندر بوشهر می‌باشد.

در حقیقت در راستای برقراری کریدور علم و فناوری بوشهر باید به این نکته اشاره نمود که کسب و کار هوشمند و شرکت‌های با فناوری بالای کوچک مکمل شهرهای کوچک بوده که با تعامل با یکدیگر می‌توانند رشد یکدیگر را موجب شوند (۲۹). این حقیقت بر این پافشاری می‌نماید که شهرهای کوچک می‌توانند از گذار شرکت‌های کوچک فناورانه به رشد و توسعه دست یابند (۲۹).

اقدام کلیدی حداقل در موفقیت هر کریدور علم و فناوری، آغاز به کار آن با تعداد کم بنگاه و شرکت فناورانه و کارآفرین است. زیرا بر اساس تحلیل دینامیکی، این شرکت‌های کوچک با فناوری بالا می‌توانند با رشد خود و جذب سرمایه، موجب زایش دیگر شرکت‌ها شوند. ظهور این پدیده در منطقهٔ دانایی بسیار چشمگیر می‌باشد (۳۰).

و/ وجود سیاست‌گذاری در علم و فناوری که به خوبی ساماندهی و ساختاربندی شده

و تلاش به صورت فعال در شناسایی فرصت‌ها و یافتن مزیت‌های نسبی، از برجستگی‌های پر دامنه جهت تبدیل یک شهر به شهر دانایی قلمداد می‌شود. در هر صورت، میل و خواست سیاسی، مهم‌ترین عامل برای موفقیت در راه توسعه شهر دانایی است؛ زیرا این عامل، همچون تکانه‌ای برای کنش‌های بعدی نقش ایفا می‌کند. در هر صورت، هر تلاشی برای تبدیل شهر به یک شهر دانایی محور اگر با یک چشم‌انداز راهبردی روشن هدایت نشود، محکوم به شکست خواهد بود (۶).

همان‌گونه که اشاره شد، دانشگاه‌های محلی، در پیوند با کریدور، نقشی حیاتی را در تدوین مجموعه‌ای از اهداف ویژه، اقدامات و عملکردها به عهده دارند.

خوشبختانه اسناد بالادستی استان بوشهر مانند سند توسعه استان، بر پایه اقتصاد دانایی محور تنظیم یافته‌اند و طرح آمایش علم و فناوری استان نیز بر همین پایه در دست اجرا است و سیاست‌گذاری با هدف جاری ساختن اقتصاد دانایی محور بر پایه فناوری‌های برتر و راه‌اندازی و فعال‌سازی مراکز کارآفرینی به روشنی انجام یافته است. پارک علم و فناوری استان به عنوان یکی از قدیمی‌ترین پارک‌های کشور، در کنار دانشگاه و مراکز فناوری و آموزش عالی، در تدوین راهکارها و راهبردهای کلان سازمان‌دهی کریدور علم و فناوری بندر بوشهر تلاش می‌کند.

از دیدگاه سخت‌افزاری و فیزیکی نیز تنه مدیریت کلان استان، ۲۴ هکتار از اراضی را جهت پارک علم و فناوری خلیج فارس و ۵۰ هکتار از اراضی فاز ۲ منطقه ویژه اقتصادی بوشهر را به عنوان زون توسعه فناوری با رویکرد استقرار واحدهای تحقیق و توسعه صنایع مستقر در منطقه ویژه اختصاص داده است. همچنین جهت استقرار بنگاه‌های تولید محصولات دانش بنیان با فعالیت نفت، گاز، پتروشیمی و دریا میزان ۳۰۰ هکتار از اراضی جزیره نوآوری ایرانیان (جزیره عباسک)، که در تعامل با منطقه آزاد تجاری بوشهر است اختصاص یافته است که مکان استقرار واحدهای صنایع فناورانه برتر و نوآور با رویکرد فناوری پاک خواهد بود.

این مجموعه همراه با مراکز صنعتی و بازارهای صنایع نفت و گاز و پتروشیمی و دریایی، چهارچوب کریدور (منطقه ویژه) علم و فناوری بوشهر را شکل خواهد داد که دربردارنده سه

خوشهٔ فناوری زیر خواهند بود:

- خوشهٔ فناوری نفت، گاز و پتروشیمی

- خوشهٔ فناوری‌های دریایی

- خوشهٔ فناوری‌های برتر (شامل فناوری‌های NBIC).

اکنون با داشتن چنین چشم‌اندازی از منطقهٔ ویژه علم و فناوری بندر بوشهر، می‌توان عملکردهای پرتانسلی را برای دانشگاه‌های استان متصور شد که برای طرح مطالعهٔ موردی به دانشگاه علوم پزشکی بوشهر می‌پردازیم. همان‌گونه که اشاره شد در این بخش به عملکردهای منحصر به فرد این تیپ دانشگاه‌های علوم پزشکی، خواهیم پرداخت؛ هر چند که تمام نکات اشاره شده در زمینهٔ دانشگاه‌ها در تعامل با مناطق دانایی و کریدورهای علم و فناوری نیز در گسترهٔ گفتمان این تیپ دانشگاه‌ها (دانشگاه‌های علوم پزشکی) با مناطق ویژهٔ علم و فناوری نیز حاکم می‌باشند.

بی‌شک این رسالت هر دانشگاه است که زمینه‌های برتر و گستره‌های پرمزیت منطقه‌ای را در گفتمان با مناطق دانایی یافت نموده و برنامهٔ راهبردی خود را بر آن پایه استوار نماید؛ برای نمونه، بخش عظیمی از فعالیت‌های کریدور علم و فناوری بندر بوشهر در خوشه‌های دریایی و خوشهٔ فناوری‌های برتر جای می‌گیرد. دانشگاه علوم پزشکی بوشهر تنها دانشگاه علوم پزشکی کشور است که دارای مرکز تحقیقات زیست فناوری دریایی در گسترهٔ پزشکی است. این مرکز تحقیقات می‌تواند به عنوان نقطهٔ کانونی زیست فناوری پزشکی دریایی در کریدور علم و فناوری بوشهر نقش ایفا نماید. همچنین می‌تواند با بنیان و حمایت از مراکز رشد و شرکت‌های دانش بنیان وابسته و استقرار آن‌ها در کانون کریدور (یعنی جزیرهٔ نوآوری ایرانیان)، به انجام پژوهش‌های بنیادی و کاربردی و خلق گستره‌های نو در پژوهش‌های زیست فناوریانه با محوریت دریا اقدام نماید. منطقهٔ ویژهٔ علم و فناوری بندر بوشهر و جزیرهٔ نوآوری ایرانیان که مکان استقرار بنگاه‌های با فناوری‌های برتر است در مجاورت آب‌های نیلگون خلیج فارس جای دارد. دریا منبع بی پایان و نوین برای یافت داروها و مواد آرایشی و بهداشتی آینده است. از این رو، دریا را داروخانهٔ آینده قلمداد نموده‌اند (۳۱).

دانشگاه علوم پزشکی بوشهر می‌تواند با طراحی نوآورانه دانشکده داروسازی و تربیت نیروی انسانی در فراتر از مرزهای سنتی، به گونه‌ای به تربیت نیروی پژوهشگر و کارآفرین پردازد که در بنگاه‌های آینده کشف فرآورده‌های زیستی از دریا که در این کریدور مستقر خواهند شد، به کار بپردازند. این گستره جایگاه منحصر به فرد با مزیت رقابتی این دانشگاه می‌باشد. هم اکنون مرکز تحقیقات زیست فناوری دریایی خلیج فارس وابسته به دانشگاه علوم پزشکی بوشهر نسبت به تهیه شناسنامه زیست‌مندان دارویی خلیج فارس اهتمام ورزیده است و در آینده نزدیک نیز بانک ژنی در سطح بین‌المللی از این زیست‌مندان را فراهم خواهد آورد.

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، انرژی، حفاظت از محیط زیست و فرایندهای توسعه‌ای دیگر شده‌اند (۳۲).

از این رو، روند همگرایی فناوری‌ها و خلق فناوری‌های همگرا، از مرزهای پیشرفت دانش پزشکی می‌باشند که شاهد این مدعا رشد فزاینده پزشکی بازآفرینشی، پزشکی نانو و نانوزیست فناوری می‌باشد. دانشگاه علوم پزشکی بوشهر می‌تواند در مشارکت با فعالان و بازیگران دیگر فناوری‌های مستقر در کریدور در خلق این فناوری‌های همگرا و هیبرید، با محوریت دریا، اقدام نماید که نمونه بارز آن نانوزیست فناوری دریایی است که می‌تواند گستره پرهیجانی برای کشف سامانه‌های ترمیم سلولی و مهندسی بافت تا زمینه‌های ساخت و پردازش بافت‌های سه بعدی و ارگان‌های هیبرید با منشاء فرآورده‌های دریایی باشد.

از سوی دیگر، در هزاره جدید، رویکرد تخصصی و رشته محوری که در صد سال گذشته بر فضای آکادمیک دانشگاه‌ها حاکم بوده است کم‌کم سیطره خود را از دست می‌دهد و جای خود را به رهیافت‌های میان رشته‌ای می‌دهد زیرا پیشرفت‌های علمی در دهه گذشته با دسترسی بیشتر به رازهای ملکولی حیات، دو واقعیت اساسی را آشکار کرده است که مطالعه بیولوژی و رفتار انسان یک فرایند دینامیک است و دوم آن که تقسیم‌بندی سنتی در حوزه تحقیقات سلامت، در بعضی از مواقع مانع از اکتشافات علمی می‌گردد. این در حالی است که

به دلیل پیچیدگی درونی طبیعت و جامعه، تمایل به کاوش مسائل پژوهش پایه‌ای در سطح مشترک رشته‌ها وجود دارد که همراه با نیاز به حل مسائل پیچیدهٔ اجتماعی و نیاز به خلق بینش‌های انقلابی و فناوری‌های زاینده، رهیافت‌های میان رشته‌ای را می‌طلبد. بی‌شک، مناطق ویژهٔ علم و فناوری، بهترین فضای گفتمانی جهت تدوین پروژه‌های میان رشته‌ای آکادمیسین‌های دانشگاه‌های علوم پزشکی خواهند بود.

از زاویهٔ دیگر، دسترسی بسیار خوب کریدور علم و فناوری بوشهر به بازارهای منطقهٔ خلیج فارس و وجود پتانسیل‌های بندر آزاد در مجاورت تنگاتنگ آن و استقرار بنگاه‌های با فناوری برتر در زون منطقهٔ ویژهٔ اقتصادی و منطقهٔ بندر آزاد، امکان حمایت دانشگاه علوم پزشکی بوشهر از استقرار خوشهٔ دانش سلامت در منطقهٔ ویژهٔ علم و فناوری که به تولید کالا با ارزش افزوده در صنایع با کاربرد فناوری برتر می‌نمایند، فراهم خواهد شد و شرکت‌های برآمده از مرکز رشد سلامت در خوشهٔ سلامت می‌توانند به عنوان پروژه‌های پیش‌تاز کریدور علم و فناوری مطرح گردیده و در سامانهٔ ملی نوآوری در گسترهٔ سلامت، تحولی را ایجاد نمایند. در هر صورت، امروز به سلامت به عنوان یک کالا نگریسته می‌شود و در کریدور علم و فناوری اسپرینگفیلد و هارتفورد آمریکا (که ساز و کار ادبیات کریدور را به صورت درسنامه‌ای می‌توان در آن یافت) ارائهٔ خدمات سلامت به صورت برجسته‌ترین بخش صنعت کلیدی با سطح اشتغال بالا نگریسته می‌شود (۳۳).

به دلیل همجوشی و آمیختگی پرشدت دانایی محور ارائهٔ خدمات مراقبت‌های سلامت به فناوری‌های پیچیده و برتر، دانشگاه‌های علوم پزشکی کشور می‌توانند خود با ارائهٔ خدمات سلامت در کلاس جهانی، در کریدورهای علم و فناوری نه تنها بهترین خدمات سلامت را برای کارگران دانایی فراهم نموده و در جذب و ماندگاری آنان تلاش نمایند بلکه می‌توانند با استقرار بخش‌های پرنفوذ و پرمزیت دارای رقابت و کلیدی خود در این کریدورها به جذب توریست‌های پزشکی اقدام نمایند و در توسعه و رونق مناطق ویژهٔ علم و فناوری نقش ایفا نمایند.

در هزارهٔ جدید، جهانی سازی در خدمات سلامت و شکل‌گیری توریسم پزشکی یک ابرروند در گسترهٔ سلامت محسوب می‌گردد. زیرا رشد اقتصاد جهانی، موجب خواهد شد که با

شکل‌گیری طبقه متوسط در کشورهای در حال رشد و اقتصادهای نوپا، مردم این کشورها به جستجوی کالاهای پرکیفیت خدمات سلامت پرداخته و مرزهای ملی خود را درنوردند. البته این حرکت همیشه از سمت کشورهای در حال توسعه به سوی کشورهای پیشرفته نخواهد بود بلکه با افزایش هزینه‌های سرسام‌آور خدمات سلامت در کشورهای پیشرفته، ممکن است طبقه متوسط این کشورها به کشورهای دیگری که خدمات سلامت را با هزینه کمتری ارائه می‌دهند، میل کنند. بر این اساس، در سال ۲۰۱۲ میلادی حدس زده می‌شود که بیش از ۱/۶ میلیون نفر از آمریکایی‌ها در جستجوی درمان‌های کم هزینه‌تر، در قالب توریسم پزشکی، به کشورهای دیگر مسافرت کرده باشند (۳۴).

دانشگاه علوم پزشکی بوشهر می‌تواند در دو قالب ملی و بین‌المللی از پتانسیل‌های خود در جذب توریست‌های پزشکی در کریدور علم و فناوری بهره‌مند شود. این دانشگاه دارای برترین مرکز تحقیقات پزشکی هسته‌ای کشور بوده و در زمینه تصویربرداری ملکولی پیشگام است. از این رو، به عنوان یک پروژه پیشتاز، با استفاده از معافیت‌های منطقه ویژه، نسبت به استقرار بخش تصویربرداری ملکولی با فناوری برتر بر پایه اسکن PET در مقیاس ملی به جذب توریست پزشکی می‌تواند اقدام نموده و در مقیاس بین‌المللی نیز با راه‌اندازی بخش‌های مدرن خدمات سلامت در قالب دریا درمانی و استفاده از پتانسیل‌های صنعت گردشگری، نسبت به جذب توریست‌های پزشکی در مقیاس جهانی، تلاش کند.

در چشم‌انداز کریدورهای علم و فناوری در سطح جهان به چهار مؤلفه نگریسته می‌شود که شامل مؤلفه‌های ارتباط یافتن (بخش‌های مستقر در کریدور می‌بایست با شبکه حمل و نقلی به یکدیگر ارتباط یابند)، رقابت‌پذیری، سرزنده بودن جامعه شاداب در مکان زیست‌پذیر با کیفیت بالای زندگی) و نیز سبز بودن (حفظ منابع طبیعی و رعایت استانداردهای زیست محیطی) می‌باشد (۱۱).

در دو مؤلفه آخرین، دانشگاه‌های علوم پزشکی کشور می‌توانند حضور و تأثیر پرنفوذ و سنگین خود را به نمایش گذارند. برای مثال، دانشگاه علوم پزشکی بوشهر می‌تواند همراه با پژوهشگران دانشگاه مادر استان یعنی دانشگاه خلیج فارس، در تولید سوخت زیستی از

میکروالگ‌ها و دیگر زیست‌مندان خلیج فارس در قالب پروژه‌های با بازده اقتصادی بالا با تکنیک‌های بیوتکنولوژیک اقدام نموده و به شیوه‌های گوناگون، نوآورانه و با کاربرد فناوری‌های برتر مانند زیست فناوری و نانو بیوتکنولوژی، محیط فیزیکی کریدور را سرشار از انرژی‌های سبز و پاک نماید.

از سوی دیگر، دانشگاه علوم پزشکی بوشهر می‌تواند در قالب مشاور و ناظر، بهترین پیشنهادها را برای ارتقاء کیفیت زندگی کارگران دانایی و ساکنین کریدور ارائه داده و با نهادهای شهری، در بهسازی محیط شهری منطقهٔ ویژه مشارکت کرده و پایه‌های یک شهر سالم با کیفیت زندگی در استاندارد جهانی، با سبک زندگی سالم و پاک، به رسالت خویش پیرامون انسان سالم در جامعهٔ سالم، اهتمام ورزد.

## منابع

- 1) Nabipour I. Knowledge- based economy. Bushehr Medical University Press, 2008.
- 2) Volkov D, Garanina T. Intangible assets: Importance in the knowledge-based economy and the role in value creation of a company. The E J Knowl Manage 2004; 5:539-550.
- 3) Rooney D, Hearn G, Ninan A. Handbook on the knowledge economy. USA: Edward Elger Publishing: 2005.
- 4) Shahnazi R, Moazen Jamshidi H, Akbari N. Effects of the Knowledge-Based Economy on the Science and Technology Corridors. Roshd -e- Fanavari 2013, 9 (36). (<http://www.magiran.com/view.asp?Type=pdf&ID=1219806&l=en>)(Accessed 5 Nov 2014 at [http://daneshbonyan.ir/uploads/29\\_1883.pdf](http://daneshbonyan.ir/uploads/29_1883.pdf)).
- 5) Isfahan Science and Research City. The impact of science and technology corridors on development of Isfahan. Isfahan Science and Research City., Isfahan 2010.
- 6) Nabipour I. Knowledge City. Bushehr Medical University Press, 2013.

- 7) The rise of knowledge regions: emerging opportunities and challenges for universities. European University Association (EUA). (Accessed in May 10, 2013, at [http://www.eua.be/fileadmin/user\\_upload/files/Publications/The\\_Rise\\_of\\_Knowledge\\_Regions.pdf](http://www.eua.be/fileadmin/user_upload/files/Publications/The_Rise_of_Knowledge_Regions.pdf)).
- 8) Sheikh zeinoddin M, Keshmiri M, Khakbaz H, et al. The role of science and technology corridors in knowledge-based economy development. *Roshd-e-Fanavari* 2014, 10(38):2-13. (<http://www.rooyesh.ir/RoshdeFanavariEn/EnglishAbstractDetail.aspx?PID=378>.) (Accessed 5 Nov 2014 at [http://www.sid.ir/fa/VEWSSID/J\\_pdf/43013933801.pdf](http://www.sid.ir/fa/VEWSSID/J_pdf/43013933801.pdf)).
- 9) Knowledge Corridor. (Accessed 5 Nov 2014 at [http://en.wikipedia.org/wiki/Knowledge\\_Corridor](http://en.wikipedia.org/wiki/Knowledge_Corridor))
- 10) Yigitcanlar T. Position paper: Benchmarking the performance of global and emerging knowledge cities. *Sep 2014*, 41 (12), pp 5549–5559. (Accessed 5 Nov 2014 at <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417414001699>).
- 11) Knowledge Corridor 2030 (Accessed 5 Nov 2014 at [http://sustainableknowledgecorridor.org/site/sites/default/files/SKCActionPlan\\_D1\\_11-2013.pdf](http://sustainableknowledgecorridor.org/site/sites/default/files/SKCActionPlan_D1_11-2013.pdf)).
- 12) Sleutjes B. The hard and soft side of European knowledge regions. (Accessed 5 Nov 2014 at [http://locatiekenniswerkers.verdus.nl/upload/forum/B.W.H.Sleutjes@uva.nl/URD\\_HELP%20UVA-VU\\_Report%201.pdf](http://locatiekenniswerkers.verdus.nl/upload/forum/B.W.H.Sleutjes@uva.nl/URD_HELP%20UVA-VU_Report%201.pdf)).
- 13) Brown JS & Duguid P. Mysteries of the Region: Knowledge Dynamics in Silicon Valley. (Accessed 5 Nov 2014 at <http://www.johnseelybrown.com/mystery.html>).
- 14) Paci R & Usai S. Knowledge flows across European regions. *The Annals of Regional Science*. 2009, 43(3), pp:669-690. (Accessed 5 Nov 2014 at <http://crenos.unica.it/crenos/sites/default/files/wp/07-04.pdf>).
- 15) Multimedia Super Corridor Malaysia: Public-private R&D collaboration. (Accessed 5 Nov 2014 at [http://www.techmonitor.net/tm/images/7/73/09sep\\_oct\\_sf4.pdf](http://www.techmonitor.net/tm/images/7/73/09sep_oct_sf4.pdf))
- 16) Hsieh HN. Knowledge patterns and spatial dynamics of industrial districts in knowledge cities: Hsinchu, Taiwan. *Expert Syst. Appl.* 2014, 41 (12), pp 5587-5596. (Accessed 5 Nov 2014 at <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417414000724>)



- 17) Caragliu A & Nijkamp P. Space and Knowledge Spillovers in European Regions –The Impact of Different Forms of Proximity on Spatial Knowledge Diffusion. Sep 2013 . (Accessed 5 Nov 2014 at [http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=2328684](http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2328684))
- 18) Knowledge Corridor Action Plan for a Sustainable Region. (Accessed 5 Nov 2014 at <http://www.sustainableknowledgecorridor.org/site/sites/default/files/Knowledge%20Corridor%20Action%20Plan%20Issues%20Summary.pdf>)
- 19) Hamsha BI. Evaluation of multimedia super corridor (MSC Malaysia) Contribution in Malaysian economy. Sep 2011. (Accessed 5 Nov 2014 at <http://r-cube.ritsumei.ac.jp/bitstream/10367/3642/1/51209604.pdf>)
- 20) Janssen L. The Experience of Regions of Knowledge and the way forward with HORIZON2020. (Accessed 5 Nov 2014 at <http://www.ensea.biz/wp-content/uploads/ENSEA-The-Experience-of-Regions-of-Knowledge-and-the-way-forward-with-HORIZON2020-Janssen.pdf>).
- 21) Yigitcanlar T, Sarimin M. The role of universities in building prosperous knowledge cities: the Malaysian experience. *Built Environment*. 2011;37: 260-280.
- 22) Henry, N, Pinch, S. Spatalising knowledge: placing knowledge community of motor sport valley. *Geoforum* 2000;31:191-208.
- 23) Nabipour I. NIH Roadmap & Knowledge-based economy. Bushehr Medical University Press, 2008.
- 24) Jones A (editor). How can cities thrive in the changing economy? Ideopolis II Final report- the Work Foundation, July 2008.
- 25) Williams L (editor). Embedding Universities in Knowledge Cities. An Ideopolis and Knowledge Economy Programme Paper. The Work Foundation, 2008.
- 26) Powell J. Creative universities and their creative city-regions. *Industry and Higher Education* October 2007: 323-335. (Accessed 5 Nov 2014 at [http://www.eucen.eu/BeFlexPlus/CaseStudies/UPDATEDCASES/UK\\_SalfordCreative.pdf](http://www.eucen.eu/BeFlexPlus/CaseStudies/UPDATEDCASES/UK_SalfordCreative.pdf))
- 27) Comparing paths of creative knowledge regions. (Accessed 5 Nov 2014 at [http://www.nbu.bg/PUBLIC/IMAGES/File/departamenti/centyr\\_soc\\_praktiki/WP3final.pdf](http://www.nbu.bg/PUBLIC/IMAGES/File/departamenti/centyr_soc_praktiki/WP3final.pdf))

- 28) Sleutjes B. The hard and soft side of European knowledge regions. Help UVA-VU report 1. (Accessed 5 Nov 2014 at [http://locatiekenniswerkers.verdus.nl/upload/forum/BW.H.Sleutjes@uva.nl/URD\\_HELP%20UVA-VU\\_Report%201.pdf](http://locatiekenniswerkers.verdus.nl/upload/forum/BW.H.Sleutjes@uva.nl/URD_HELP%20UVA-VU_Report%201.pdf))
- 29) Smart Business: Technology Corridors. (Accessed 5 Nov 2014 at [www.va-interactive.com/inbusiness/documents/HR/SB\\_LM\\_1.DOC](http://www.va-interactive.com/inbusiness/documents/HR/SB_LM_1.DOC))
- 30) Lee IH, Hong E, Sun L. Regional knowledge production and entrepreneurial firm creation: Spatial Dynamic Analyses. Oct 2013, 66 (10), pp 2106-15. (Accessed 5 Nov 2014 at <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0148296313000611>)
- 31) Nabipour I. Marine Medicine. Bushehr Medical University Press, 2008.
- 32) Technology convergence. (Accessed 13 August 2014 at [http://www.haygroup.com/downloads/MicroSites/L2030/Hay\\_Group\\_Technology\\_convergence\\_2014.pdf](http://www.haygroup.com/downloads/MicroSites/L2030/Hay_Group_Technology_convergence_2014.pdf)).
- 33) Knowledge Corridor Talent and Workforce Strategy. Jun 2014. (Accessed 5 Nov 2014 at [http://www.hartfordspringfield.com/sites/default/files/Knowledge-Corridor-Talent-Strategy-Report\\_6\\_13\\_14\\_Final.pdf](http://www.hartfordspringfield.com/sites/default/files/Knowledge-Corridor-Talent-Strategy-Report_6_13_14_Final.pdf))
- 34) Nabipour I. Megatrend analysis of the health policies of I.R.Iran. ISMJ 2014; 17: 1007-1030.

## فصل نهم

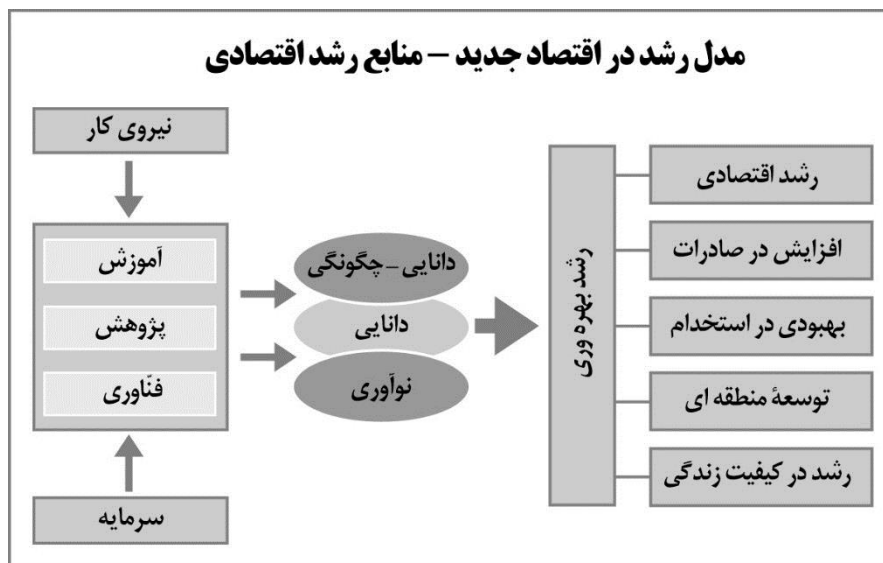
# تحلیل نظری نقشه علمی بنیاد ملی سلامت آمریکا از منظر اقتصاد دانایی محور



## مقدمه

طی دویست سال گذشته، اقتصاددانان نئوکلاسیک، به دو عامل مؤثر در "تولید" می‌نگریستند: نیروی کار و سرمایه؛ و "دانایی، بهره‌وری، آموزش و سرمایه فکری" را به عنوان عوامل خارجی می‌انگاشتند. در تئوری رشد جدید که بر اساس کار اقتصاددان استانفوردی، پل رومر و دیگران شکل گرفته است، به عوامل رشد پایدار که در مدل‌های قدیمی اقتصاد به آن توجه نمی‌شد، توجه نشان داده شده است (۱). بر اساس تغییری که پل رومر به مدل نئوکلاسیک اقتصاد داد، تکنولوژی و دانایی‌ای که بر آن بنیان نهاده شده است، به عنوان بخش درونی سامانه اقتصادی در نظر گرفته شد و بر اساس نظر رومر، دانایی اساسی‌ترین شکل سرمایه بوده و رشد اقتصادی با انباشت دانایی، امکان پذیر می‌گردد (۲). از این رو، اقتصاد دانایی محور، اقتصادی است که آشکار سازی دانایی در آن، نقش برجسته‌ای را در خلق ثروت بازی می‌کند (۳). از این رو شرایط کسب و کار، از دنیای لمس پذیر به سوی سرمایه‌های ناملموس روی می‌گرداند (۴).

سرمایه غیر ملموس (Intangible capital) در دو دامنه جای می‌گیرد: یکی سرمایه‌گذاری در خلق و انتشار دانش (مانند آموزش، تحقیق و توسعه، اطلاعات و هماهنگی)؛ و دیگری، سرمایه‌گذاری بر روی پایدار نمودن شرایط فیزیکی سرمایه انسانی (هزینه‌های سلامت) (۳). بنابراین، بنیاد ملی سلامت آمریکا، به عنوان بزرگ‌ترین سازمان پزشکی جهان، در نقشه علمی خود، همچون سازمان‌های کسب و کار قرن بیستمی که به بازنگری و مهندسی مجدد ساختار و فرایندهای خود برای مدیریت دانایی جهت حفظ برتری در رقابت جهانی دست زده‌اند، به چرخشی عظیم به سوی مدیریت دانایی، جهت خلق، اشتراک، انتشار دانایی و آفرینش "سازمانی یادگیرنده و هوشمند" در پهنه اقتصاد دانایی محور قرن بیستم، روی گردانیده است.

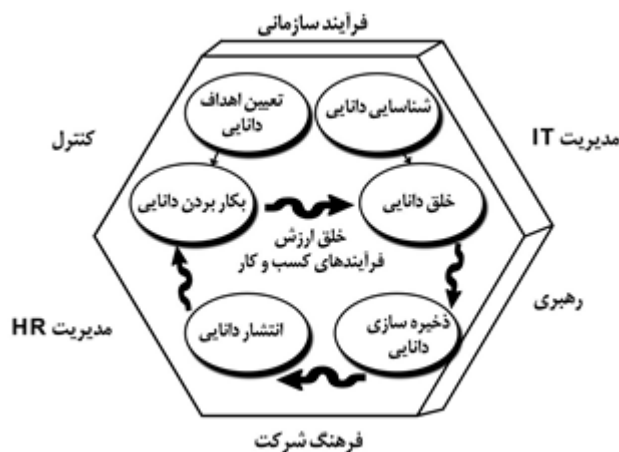


شکل ۹-۱: بر اساس مدل رشد جدید، رشد اقتصادی، ریشه در آموزش، پژوهش و فناوری دارد.

این بنیاد از برون‌دادهای گردهمایی‌هایی که با بیش از ۳۰۰ تن از برجسته‌ترین چهره‌های آکادمیک، صنعت، دولت و مردم انجام داد، چهارچوبی را برای تدوین نقشه علمی سازمان خود برای سرمایه‌گذاری در بخش پژوهش فراهم آورد تا چشم اندازی را برای سامانه زاینده و مؤثر پژوهش‌های پزشکی ترسیم کند. اساس این نقشه علمی، خلق دانش و تکنولوژی‌های نو در گستره زیست پزشکی، تشکیل تیم‌های پژوهشی آینده برای درک پیچیدگی‌ها و امکان ایجاد تفکر سیستمی کشف ناشناخته‌ها از طریق پژوهش‌های میان رشته‌ای و مهندسی مجدد در ساختار پژوهش‌های بالینی است. پروژه‌های تحقیقاتی که در زیر چتر نقشه بنیاد ملی سلامت آمریکا شکل خواهند یافت، در جستجوی آن هستند تا نقش تاریخی این بنیاد را در مرزهای دانش پزشکی حفظ کنند؛ پروژه‌هایی که بنا به گفتار گستاخانه خود این بنیاد، هیچ سازمان یا واحد دیگری در دنیا نتواند و نخواهد توانست به اجرا گذارد (۵).

در این شمایل؛ نقشه علمی این بنیاد، بیش از آن که در پی از میان بردن شکاف در دانایی جوامع و ملت‌ها یا ایجاد سلامتی عدالت محور برای مردمان جهان باشد، در پی حفظ برتری

کاپیتالایسم فکری سده بیست و یکمی امپریالیسم آمریکا است که سیمای جامعه‌ای یادگیرنده و هوشمند را در گستره اقتصاد دانایی محور برای خود منظور کرده است. از این رو، برای آگاهی از پیچیدگی‌های شگردهای این اقتصاد جدید که ابزار فزاینده و آگرایی و قطبی شدن اقتصاد جهانی در هزاره جدید است، کشورهای در حال توسعه جنوب و به ویژه کشورهای اسلامی، می‌بایست به مطالعه‌ای ژرف در ساختار و دینامیسم این اقتصاد پیچیده بپردازند. از این رو، ما نقشه بنیاد ملی سلامت آمریکا را از دید اصول بنیادین اقتصاد که هم‌جوشی جدایی ناپذیری با مدیریت دانش در سازمان‌های یادگیرنده هزاره جدید دارد به چالش می‌کشانیم.



شکل ۹-۲: مدل مدیریت دانایی به عنوان فرآیند هسته‌ای سازمانی که توسط جنبه‌های تکنیکی و انگیزشی مورد حمایت قرار می‌گیرد. در این مدل، فرآیند هسته‌ای مدیریت دانایی به فعالیت‌های مرکزی شامل: خلق دانایی جدید، انباشت دانایی، انتشار دانایی و به کارگیری دانایی شکسته شده است و توسط تعریف اهداف دانایی و شناسایی دانایی در تمام گستره‌ها و سطوح سازمان مورد حمایت قرار می‌گیرد.

در اقتصاد کلاسیک، هدایت و تنظیم نیروی کار و سرمایه بود که خلق ثروت می‌کرد، اما در اقتصاد دانایی محور، سرمایه و نیروی کار، جایگاه خود را به دانایی که در فرایند تولید محصول و خدمات، با آن‌ها عجین گردیده، داده است. متفکران قرن حاضر، مانند دراکر

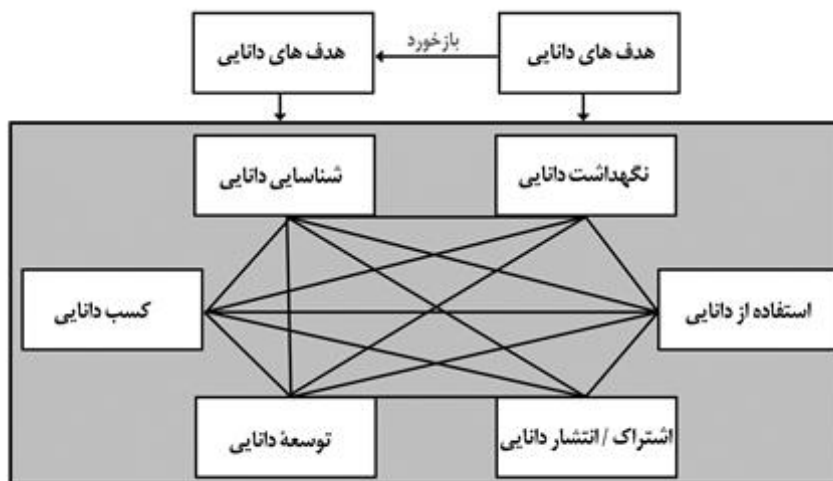
(۱۹۹۳)، گیدنز (۱۹۹۴) و کاستلز (۱۹۹۸) دلایل فراوانی را ارائه داده‌اند که چرا انسان هزاره جدید با ترک محوریت سرمایه و نیروی کار در اقتصاد سنتی به سوی اقتصاد - دانایی محور گام نهاده است. چنین است که امروزه، دانایی نقش برجسته‌ای را نه در فرادست بلکه در تمام لایه‌های حیاتی سازمان‌ها، به خود اختصاص داده است (۱). از این رو خلق دانش، در فرایند تولید، به عنوان درون‌داد (ابزار رقابت) و هم برون‌داد (نوآوری)، به عنوان عامل چیرگی سازمان محسوب می‌شود (۲). همجوشی خلق دانایی جدید خلق شده در فرآیندها، محصولات و سازمان‌ها، می‌تواند بسان سوخت توسعه عمل نماید (۳).

از این رو، دانایی به عنوان کالایی سرمایه‌ای و کالایی عمومی، در اقتصاد دانایی محور، نقش فزاینده‌ای را بازی می‌کند؛ چنان که سازمان‌های موفق در قرن بیست و یکم، آن‌هایی هستند که در خلق دانایی جدید، به صورت دائم فعالیت مستمر دارند. بنیاد ملی سلامت آمریکا، به عنوان بزرگ‌ترین سازمان پژوهش‌های زیست پزشکی جهان، با ۱۲۵۰ پژوهشگر سازمانی و با بیش از ۲۰۰ هزار دانشمند و پژوهشگر از ۳۱۰۰ سازمان ملی و بین‌المللی، تاکنون پرچم دار توسعه علوم زیست - پزشکی در دنیا بوده است. اما اکنون، این سازمان بزرگ پی برده است که برای برتری و حفظ موقعیت پرسروصدای خود، نیاز دارد که در مسیر مسابقه پرسرعت اکتشافات فزاینده زیست - پزشکی، به خلق دانایی جدید اهتمام ورزد (۴).

در اقتصاد هزاره جدید، هیچگاه بقا و حیات سازمان‌ها، اینگونه به خلق دانایی، وابسته نبوده است. چنین است که در تدوین نقشه علمی این بنیاد، گشودن گذرگاه‌های اکتشافات نوین، به عنوان مهم‌ترین راهبرد این سازمان معرفی شده است. با پایان تکمیل توالی ژنوم انسانی، پیشرفت‌های بیشتر در علم پزشکی، نیازمند دانش کمی در مورد شبکه‌ها و ملکول‌هایی است که سلول‌ها و بافت‌ها را در می‌نوردند. این پیشرفت‌ها همچنین به بینش فراتر در مورد آن که چگونه این شبکه‌ها تنظیم گردیده و چگونه با یکدیگر ارتباط می‌یابند، وابسته است. از این رو نقشه بنیاد ملی سلامت آمریکا، "بیولوژی ساختمانی"، پروتئومیک (پژوهش در مورد تعیین مقادیر، مکان‌ها و واکنش‌های تعداد عظیمی از ملکول‌ها که در یک سلول وجود دارند) و متابولومیک (پژوهش در مورد تعیین اجزاء متابولیک و شبکه‌های درون سلولی)، جایگاهی



رفیع را به خود اختصاص داده‌اند و گروه‌های فراوانی از دانشمندان در مورد ساختار پیچیده و بغرنج بیولوژی انسان در فراسوی ارتباطات و شبکه‌های ملکولی، ژنومی و متابولومیکي به خلق دانش جدید پرداخته‌اند (۹-۷).



شکل ۹-۳: عناصر ساختاری مدیریت دانایی در سازمان؛ همانگونه که دیده می‌شود عناصر ساختاری مدیریت دانایی شامل هدف‌های دانایی است که شناسایی، کسب، توسعه، اشتراک، به کار گیری و نگهداری دانایی، به عنوان فرآیندهایی هستند که پس از آن روی داده و با اندازه گیری و بازخورد به اهداف دانایی موجب این پیچش از آغاز می‌گردند.

به زبانی دیگر، دانشمندان بنیاد ملی سلامت آمریکا، به میدان بیولوژی سیستم‌ها Systems biology چنگ انداخته‌اند. این میدان از ریشه‌های انقلاب بیولوژی ملکولی و بیولوژی ژنومیک پدیدار گشته است و چنین تعریف می‌شود: "بیولوژی سیستم‌ها به مطالعه ژن‌ها یا پروتئین‌ها به صورت منفرد نمی‌پردازد، یعنی کاری که بیولوژی سنتی طی ۳۰ سال گذشته انجام داده است، بلکه رفتار و ارتباطات تمام عناصری که در یک سیستم بیولوژیک حکم‌فرما هستند را در حین فعالیت مطالعه می‌کند." یا به گفته کیتانو: "برای درک بیولوژی در حد

سیستمی، باید ساختمان و پویایی سلولی و فعالیت‌های ارگانیسمی را به جای سلول‌ها یا ارگانیسم‌ها به صورت منفرد، تحت بررسی قرار دهیم.“ (۱۰ و ۱۱)

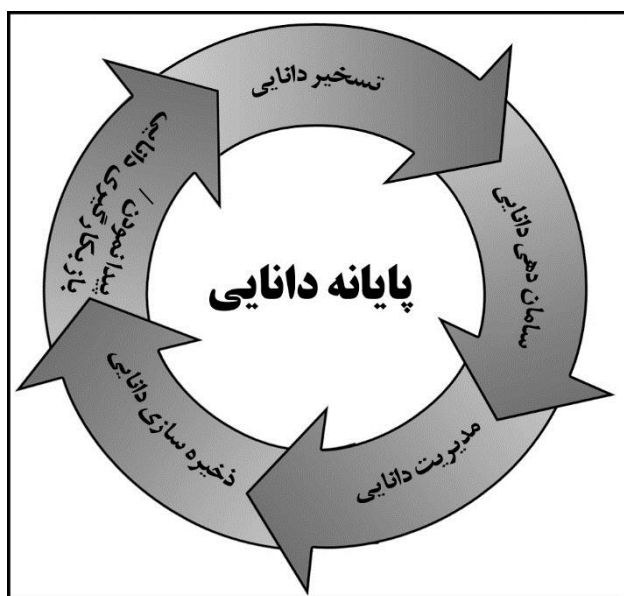
حتی در پروژه‌های نقشه علمی بنیاد، فراتر از این قلمرو نگریسته شده است و ارتباطات جوامع میکروبی با انسان در ”پروژه میکروبیوم انسانی“ در شرایط سلامت و بیماری تحت مطالعه قرار خواهد گرفت.

در این پروژه، با به کار گیری متوازن متانومیک، از رهیافت سنتی در توالی سازی DNA ژنی نیز استفاده می‌شود (۱۲). از حیطه‌های جدید در نقشه علمی بنیاد جهت خلق دانش، مرز نوپدید ”اپیژنتیک“ است که تغییرات در تنظیم فعالیت بیان ژن که وابسته به توالی ژنی نمی‌باشند را مورد مطالعه قرار می‌دهد. برای رسیدن به اهداف این برنامه، اپیژنتیک هم به تغییرات وراثتی در فعالیت و بیان ژن (در پروژنی سلول‌ها یا افراد) و هم به تغییرات دراز مدت و ثابت در پتانسیل نسخه برداری سلول (که الزاماً وراثتی نیستند) می‌پردازد. همزمان با آن که اپی ژنتیک به مطالعه ژن‌های واحد یا مجموعه ژن اشاره دارد، به آنالیز جامع تغییرات اپی ژنتیک در تمام ژنوم نیز توجه می‌کند (۱۳). در هر صورت از لحاظ اقتصادی و فردی، از آنجا که هزینه درمان بیماری‌ها هنگام بروز، سنگین است، یادگیری و به کار گیری پزشکی فرادستی (Preemptive medicine) که در جستجوی شناسایی بیماری، در پیش از ظهور علائم، به کمک دانش فرادقیق ملکولی می‌شتابد و نیز اجرا و هدایت پروژه‌های تداخلاتی در گستره رفتار انسانی، هر دو می‌توانند به عنوان ستون فقرات استراتژی حفظ سلامت در هزاره جدید باشند (۱۴).

### ذخیره سازی / دست‌یابی دانایی

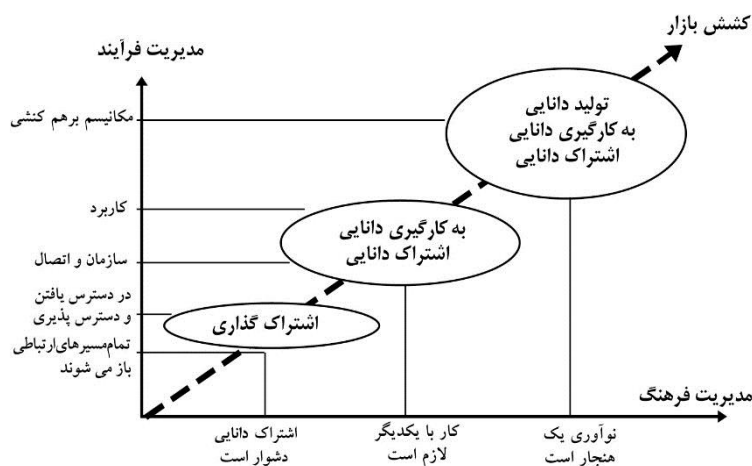
مادامی که سازمان‌های دانایی محور به خلق دانایی می‌پردازند، می‌بایست به ذخیره سازی دانایی خود به عنوان حافظه سازمانی نیز اهتمام ورزند. زیرا ذخیره سازی دانایی، منظر بسیار مهم در مدیریت دانش سازمانی در اقتصاد دانایی محور است (۱۵). انبار ذخیره داده‌ها و بازار داده‌ها، نمایانگر نظام‌های کلیدی فعال پخش و انتشار دانایی می‌باشند. نظام‌های

ذخیره سازی اطلاعات و داده‌های سازمان‌ها در اقتصاد دانایی محور، گنجینه‌های مواد خامی هستند که دانش سازمان باید در پایگاه‌های داده‌های قابل دسترسی ذخیره شود، که به آن‌ها به عنوان پایگاه‌های دانش اشاره می‌کنند. از خصوصیات ذخیره سازی و اشتراک دانایی، نقش آن در ارزش افزوده کالای دانایی است. زیرا با ذخیره سازی و اشتراک دانایی، بر خلاف اقتصاد صنعتی، تولید داده‌ها و افزایش دانایی، شدت یافته و موجب تندتر شدن چرخه دانایی و خلق دانایی جدیدتر می‌شود. از این رو، بنیاد ملی سلامت آمریکا به عنوان یک سازمان دانش بنیان، ذخیره سازی اطلاعات و دانایی آشکار خود را در قالب بانک‌های اطلاعات بیومدیکال، در اختیار دانشمندان درون و برون سازمانی قرار می‌دهد. یکی از این بانک‌های اطلاعاتی، کتابخانه‌های ملکولی و تصویربرداری ملکولی است (۱۵).



شکل ۹-۴: چهارچوب مدیریت دانایی برای هدایت فرآیند مدیریت دانش؛ این مدل، دانایی را در متن معناداری نگهداری نموده و موجب می‌شود که دانایی تسخیر شده، پربارتر و قابل دسترس‌تر، برای استفاده بعدی آماده شود.

شناسایی ملکول‌های کوچک که مؤثر در تنظیم فرایندهای بیولوژیک یا وضعیت بیماری‌ها هستند، از چالش‌های کلیدی می‌باشد. امروزه بیشتر پژوهشگران می‌بایست به صورت سیستماتیک، ده‌ها یا صدها هزار ملکول کوچک را برای پیدا کردن یک ماده شیمیایی و ملکول هدف، غربالگری نمایند. این فرایند به نام غربالگری فراعلمکرد یا (High-throughput) نامیده می‌شود. بانک اطلاعاتی کتابخانه‌های ملکولی به پژوهشگران زیست پزشکی، توانایی دسترسی به ظرفیت "غربالگری در مقیاس گسترده" خواهد داد تا ملکول‌های کوچک را شناسایی کرده و به عنوان پروب‌های شیمیایی جهت عملکرد ژن‌ها، سلول‌ها و مسیرهای بیوشیمیایی مورد استفاده قرار دهند. این خود موجب گشایش راه‌های جدید برای کشف عملکرد ژن‌ها و مسیرهای پیام‌رسانی در سلامت و بیماری خواهد شد (۱۶). این مثال، نشانگر رویکرد ذخیره سازی دانایی و کاربرد آن در فرایند چرخه دانایی برای بازتولید و خلق دانایی جدید و افزایش در ارزش افزوده کالای دانایی است.



شکل ۹-۵: ابعاد مدیریت دانایی (بر اساس کار دی وجست 1998 De Vajst)؛

بعد از کارهای دی وجست، می‌توانیم بپذیریم که مدیریت دانایی برای آن که مؤثر باشد نیازمند کشش بازار است، به زبان دیگر نیازمند بیان نمودن نیاز کاربران انتهایی و یا ذی‌نفع‌ها می‌باشد.

## اشتراک دانایی

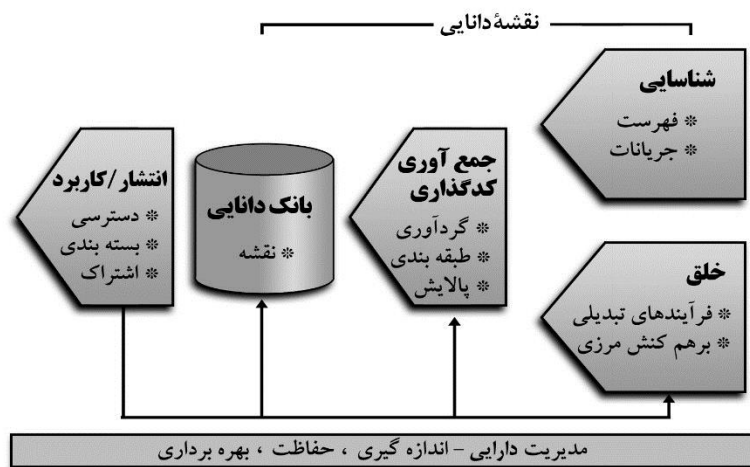
برنامه مدیریت دانایی اقتصاد نو، اشکال متفاوتی را به خود می‌گیرد که یکی از آن‌ها مشارکت در دانایی است که گاهی از آن به عنوان سکوی یادگیری الکترونیکی (e-learning) نیز یاد می‌کنند (۱۷). انقلاب تکنولوژیک اطلاعات/ارتباطات، اکنون این امکان را برای پژوهشگران زیست پزشکی فراهم آورده تا دانایی خود را در پهنه‌ای گسترده به اشتراک گذارند. زیرا اشتراک در دانایی موجب کاهش هزینه‌ها و خطراتی که توأم با نوآوری است خواهد شد. همچنین اشتراک دانایی، در تولید محصولات، ایده‌ها و نوآوری‌های بیشتر، نقش ایفا می‌کند (۱۸). از پروژه‌های بنیادی نقشه علمی بنیاد ملی سلامت آمریکا، پروژه‌های "بیوانفورماتیک و بیولوژی محاسبه‌گرایانه" است که یک سامانه مهندسی نرم افزار ملی را خلق خواهد نمود. از طریق یک شبکه کامپیوتری، زیست شناسان، شیمیدان‌ها، فیزیکدانان، دانشمندان علوم کامپیوتر و پزشکان در هر کجای کشور قادر خواهند بود داده‌ها را به کمک یک مجموعه از ابزارهای نرم افزاری مشترک به اشتراک گذاشته و آنالیز نمایند. با رهسپار شدن بر کشتی پروژه‌های بیوانفورماتیک و بیولوژی محاسبه‌گرایانه، نقشه علمی بنیاد ملی سلامت آمریکا، آینده را از طریق "ابراه اطلاعات" که مختص پژوهش‌های پزشکی پیشرفته است، طی مسیر می‌کند (۱۹).

در این ابراه اطلاعاتی، دانشمندان با به اشتراک گذاشتن دانایی خود، به صورت مؤثر در پارادایم دانش الکترونیکی (e-Science) شرکت نموده و می‌توانند طراحی و اجرای آزمایشات، آنالیز داده‌ها، سنتز اطلاعات و تولید و آزمون فرضیات خود را افزایش دهند (۲۰).

## به کار گیری دانایی

منظر بسیار مهمی که در تئوری دانش بنیان اقتصاد جدید وجود دارد آن است که منبع برتری در رقابت که ارزش آن از دانایی نیز بیشتر است، مقوله به کار گیری دانایی است (۲۱). وفور اطلاعات فزاینده در محیط سلامت دانش بنیان هزاره جدید، نیازمند آن است که این اطلاعات و اکتشافات علمی به شکل کاربردی ترجمه شوند. عموماً چنین اکتشافاتی از

تحقیقات در عرصه علوم پایه - که دانشمندان به مطالعه بیماری‌ها در سطح ملکولی و سلولی می‌پردازند - تا سطح بالینی گسترده‌تری دارد. ثابت شده است که پژوهش‌های ترجمانی، فرایندی نیرومند است که نقش قوه محرکه در تحقیقات بالینی را بازی می‌کند. پژوهش‌های ترجمانی به صورت "حرکت از اکتشافات در حوزه علوم پایه به کاربرد آن در سطح بالینی" تعریف می‌شود. از این رو نقشه علمی بنیاد ملی سلامت آمریکا در پی آن است که به پژوهش‌های ترجمانی از طریق شیوه‌های گوناگون شتاب دهد (۲۲). زیرا فرایند کنونی تبدیل دانش بیولوژی، علوم رفتاری و یافته‌های سلامت و بیماری به روش‌های پیشگیری و درمان مؤثر به خوبی صورت نمی‌گیرد و این هم‌جوشی علوم پایه زیست پزشکی با علوم ترجمانی است که می‌تواند به عنوان یک استراتژی مهم در به کار گیری نو یافته‌ها، نوآوری‌ها و اطلاعات جدید علوم پایه به بالین مؤثر افتد (۲۳ و ۲۴).



شکل ۹-۶: نقشه دانایی

این راهبرد می‌تواند در تسخیر، ترجمان و انتشار دانش زیست پزشکی برای سلامت تمام انسان‌ها تأثیرگذار باشد. پروژه پژوهش‌های ترجمانی در مرکز پزشکی بیمارستان کودکان

سین سیناتی که در سال ۲۰۰۱ آغاز گردید، نشان می‌دهد که چگونه این شیوه به عنوان یک مدل می‌تواند در مرکز سلامت آکادمیک جاری شود (۲۵).

مانع مهم در سر راه پژوهش‌های ترجمانی جهت به کار گیری دانایی، فقدان داده‌های یکسان سازمان یافته در دامنه‌های علوم زیست - پزشکی است. وب مفهومی (Semantic)، به عنوان امتداد وب کنونی، می‌تواند سیر کردن (navigation) در منابع دیجیتالی و کاربرد معنادار منابع دیجیتالی را با فرایندهای اتوماتیک انجام دهد. اساس آن بر روی قالب‌های رایج است که تجمع، هم‌جوشی و هم‌آمیختگی اطلاعات از منابع متنوع را مورد حمایت قرار می‌دهد (۲۶).

در هر صورت یکی از آفات سازمان‌های دانش محور اقتصاد جدید، پراکندگی و هم‌سو نبودن دانایی در پیکره آن‌ها است که از آن به عنوان دانایی پراکنده (Fragmented knowledge) نام می‌برند. با وجود توسعه تکنولوژی‌های جدید و ارتباطاتی، به نظر نمی‌رسد که این تکنولوژی توان حل اتوماتیک مسئله هم‌آمیختگی دانایی (Knowledge integration) را داشته باشند. از این رو، آنچه در حقیقت نیاز است، توسعه جوامع میان رشته‌ای (Interdisciplinary communities) است که شامل گستره‌ای ناهمگن از اعضاء است که می‌توانند در هم آمیختگی دانایی، حذف پراکنش دانایی و به کار گیری دانایی، تأثیر شگرفی را از خود نشان دهند (۳).

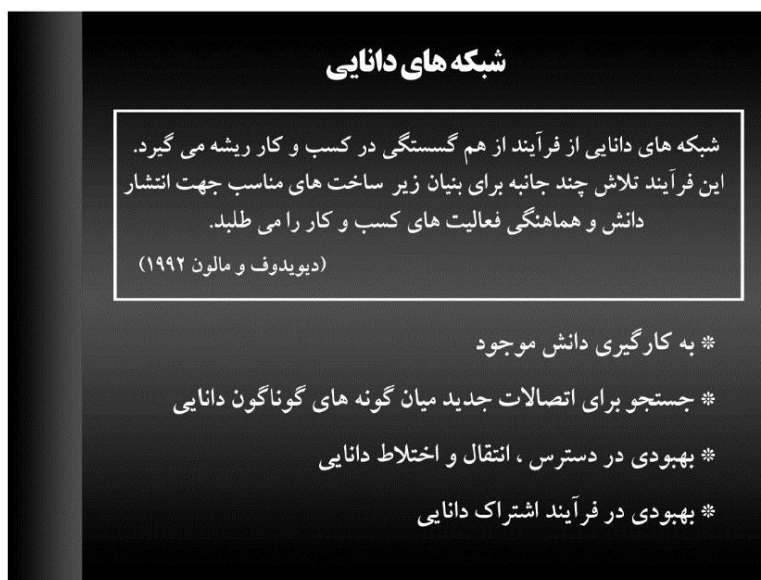
در جهان کنونی، عدم قطعیت و پیچیدگی مسائل آنچنان گسترده است که مانع از کاربرد بی چون و چرای اطلاعات و دانایی به شکل رایج در محیط اقتصاد دانایی محور می‌گردد، از این رو، از گروه‌هایی از افراد که دارای گستره‌های متنوعی از دانایی و تخصص هستند را می‌توان در به کار گیری دانایی انباشت یافته آن‌ها برای حل مسائل استفاده کرد (۲۷).

بنیاد ملی سلامت آمریکا، برای پاسخگویی به مقیاس و پیچیدگی مسائل زیست - پزشکی امروزی و به کار گیری دانایی در حوزه‌های مرتبط ولی جدا یافته بیومدیکال، جهت کاربرد در گستره‌های پزشکی و سلامت، تشکیل تیم‌های تحقیقاتی میان رشته‌ای (Interdisciplinary) را تشویق نموده و به عنوان شاهره اصلی خلق، انتقال و به کار گیری دانایی در حوزه سلامت معرفی نموده است. بنیاد ملی سلامت آمریکا در جستجوی آن است

که روش‌های نوین ترکیب مهارت و سازمان، در هر دو گستره علوم بیولوژیک و فیزیکی را تحریک کند. در پژوهش‌های میان رشته‌ای، از توان تجزیه و تحلیلی دو یا چند رشته علمی جدا از هم، جهت خلق یک نظام دورگه (هیبرید) استفاده می‌گردد. با هم‌آغوشی رشته‌های به ظاهر نامربوط، شکاف‌های سنتی در ترمینولوژی، رهیافت، روش شناسی و مسائل پیچیده کاربرد دانایی به آهستگی حذف می‌شوند (۲۸ و ۲۹).

### جامعه شبکه‌ای و شبکه سازی

اقتصاد دانایی محور، به همان اندازه‌ای که به خلق دانش اهمیت می‌دهد، جایگاه بلند مرتبه‌ای برای انتشار و کاربرد دانش قائل است. از این رو، این اقتصاد، به سلسله مراتبی از شبکه‌ها نیاز دارد تا بتواند جریان زنده انتشار و به کار گیری دانش را در آن به صورت فعال جاری سازد (۳۰).



شکل ۹-۷: تعریف شبکه‌های دانایی از دیدگاه دیویدوف و مالون و کاربردهای شبکه‌های دانایی



آنچه بر اثر سلسله مراتب شبکه ایجاد می‌شود، یک جامعه شبکه‌ای است که در آن فرصت‌ها و توانایی‌های دستیابی و مشارکت در دانایی و یادگیری، روندی فزاینده به خود گرفته و میزان چنگ انداختن هر فرد یا سازمان به این شبکه، میزان بقا و رشد آن را تعیین می‌کند (۳۱).

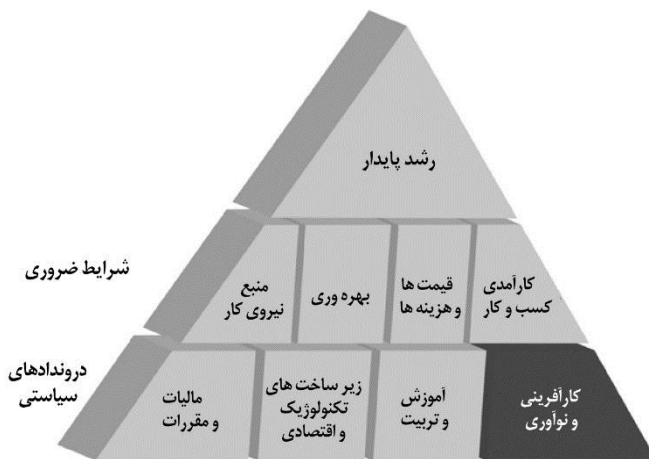
همچنین شبکه سازی موجب می‌گردد تا هزینه‌ها و خطرات نوآوری به صورت شگرفی کاهش یافته و اتصال به شبکه موجب ارتقاء یادگیری فزاینده خلاق سازمانی می‌گردد. همچنین بر عکس اقتصاد سنتی، با مشارکت گذاشتن دانایی در شبکه، ارزش افزوده دانایی با پخش گسترده آن فزونی می‌یابد. مثال کلاسیک آن ماشین فاکسی است که به عنوان یک عدد ماشین، چیز بی‌ارزشی است ولی با افزایش تعداد فاکس‌ها، به ارزش افزوده ماشین فاکس اولیه افزوده می‌گردد (۳۲).

بنیاد ملی سلامت آمریکا، با در شبکه قرار دادن بیش از ۲۰۰ هزار دانشمند از ۳۱۰۰ سازمان ملی و بین‌المللی، به عنوان بزرگ‌ترین شبکه پزشکی جهان خودنمایی می‌کند. این سازمان مدرن‌ترین تئوری‌های شبکه سازی و خوشه سازی (۳۳) را در خود هضم نموده و در فراتر از مرزهای جغرافیایی خود نیز به خوشه سازی پرداخته است. زیرا در مرکز چشم انداز این بنیاد، نیاز به توسعه مشارکت‌های جدید تحقیقاتی با پژوهشگران آکادمیک، ارائه دهندگان خدمات سلامت در گستره جامعه و جوامع سازمان یافته بیماران، آشکار است. این فرایند شامل نیاز به ساخت بهتر شبکه‌های به هم بافته مراکز آکادمیک وابسته به تنه ارائه دهندگان خدمات سلامت جامعه محور که مراقبت‌های گروه‌های تقریباً بزرگ بیماران که علاقمند به کار با پژوهشگران جهت ارائه آزمون‌ها و تداخلات جدید سلامت هستند نیز می‌باشد (۳۴). در این پارادایم جدید، تشکیل شبکه‌های پژوهش‌های بالینی / نکتار (NECTAR) که امکان آزمون درمان‌های جدید و راهبردهای پیشگیرانه در تعداد عظیم‌تری از بیماران را سریع‌تر نموده، از نقاط کلیدی - راهبرد شبکه‌سازی - بنیاد ملی سلامت آمریکا است که در بخش مهندسی مجدد علوم بالینی به آن دوباره خواهیم پرداخت. در هر صورت، توسعه علوم در این بنیاد، چنان طراحی شده است که شبکه‌هایی از پژوهشگران که به خوبی با ابزارهای تسهیل

همکاری و "اشتراک اطلاعات" مجهز شده‌اند، آن را هدایت می‌کنند. در بخش علوم پایه نیز می‌توان به شبکه عظیم مرکزی غربالگری کتابخانه‌های ملکولی (MLSCN) اشاره کرد. این شبکه، کنسرسیومی ملی از مراکز غربالگری ملکول‌های کوچک است که اخیراً برای تولید ابزارهای شیمیایی نوآورانه جهت استفاده در پژوهش‌های بیولوژیک، تأسیس شده است. MLSCN بر روی شیوه‌های سنجش (assay) که توسط جامعه تحقیقاتی ارائه می‌شوند، "غربالگری در مقیاس گسترده" را با استفاده از کتابخانه عظیمی از ملکول‌های کوچک که در انبار ملکولی مرکزی نگهداری می‌شوند به انجام می‌رساند (۳۵).

### نوآوری و خطر پذیری

دیدگاه سنتی بر آن بود که تحقیقات اساس نوآوری است؛ اما تئوری فشار تکنولوژی (Technology push theory) جای خود را به تئوری شبکه اجتماعی نوآوری داده است که در آن دانایی، شاکله شتاب نوآوری است. در اقتصاد دانایی محور، نوآوری گرانیگاه جهان کسب و کار است؛ چنین است که سازمان‌های کوچک و بزرگ، به بازنگری در محصولات، خدمات و فرهنگ مشارکتی خود پرداخته‌اند تا برتری رقابتی خود را در بازار جهانی کنونی حفظ کنند. به زبان دیگر، درک این موضوع که نوآوری، بهترین بیمه حیات سازمانی در بازار پرشتاب و متغیر کنونی است، از اصول اولیه اقتصاد دانایی محور است. زیرا صحنه رقابت، الگوی جهانی به خود گرفته، چرخه حیات محصولات کوتاه گردیده، مشتریان تقاضاهای پیچیده‌تری دارند و تکنولوژی نیز غامض‌تر شده است (۳۶). از این رو، سازمان‌های قرن بیست و یکمی در پی آن هستند تا کارکنان خود را به نوآوران و سازمان خود را به ماشین نوآوری بدل کنند (۳۷). چرا که بدون نوآوری، هیچ مفهوم نو، محصول، تکنولوژی، فرایند و هیچ رشد اقتصادی، رقابت پذیری و بهره‌وری‌ای روی نخواهد داد (۳۸).



شکل ۹-۸: رشد پایدار نیازمند چهار درون‌دادهای سیاستی مالیات و مقررات، زیرساخت‌های تکنولوژیک و اقتصادی، آموزش و تربیت و کارآفرینی و نوآوری است. به زبان دیگر، نوآوری و تغییر در فناوری، مهم‌ترین قوه محرکه رشد بهره‌وری پایدار و رقابت‌پذیری در اقتصاد محسوب می‌گردد.

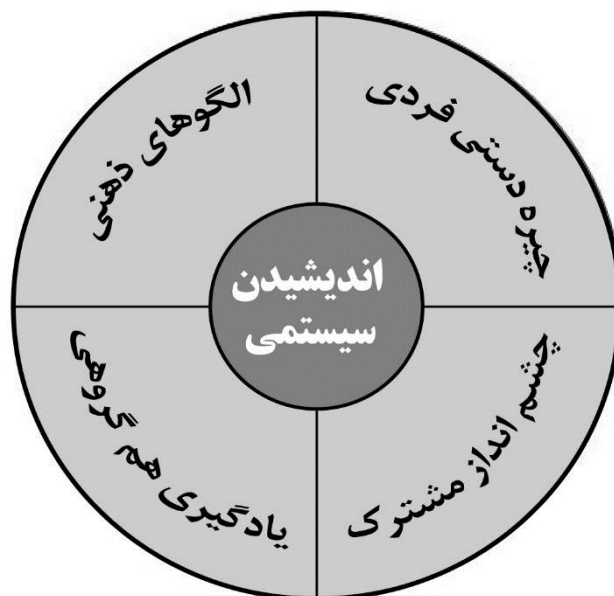
بنیاد ملی سلامت آمریکا، در نقشه علمی خود برای ساماندهی نوآوری و تشکیل تیم‌های تحقیقاتی هزاره جدید، سه رهیافت: (۱) حمایت از پژوهش‌های پرخطر (High risk)؛ (۲) پژوهش‌های میان‌رشته‌ای؛ (۳) مشارکت بخش مردمی - خصوصی، را برگزیده است. برای ادغام نظام نوآوری در سازمان بنیاد، نقشه علمی بنیاد سلامت ملی آمریکا، برنامه جدیدی را بنیان گذاشته است که از آن تحت عنوان جایزه پیشگام مدیر بنیاد ملی سلامت نام برده می‌شود و هدف آن تشویق متفکرین خلاق و فراموش شده است تا ایده‌های نوآورانه و جذاب آن‌ها در حوزه پژوهش‌های زیست‌پزشکی، مورد پیگیری قرار گیرند. گیرندگان جایزه، آزادی فکری بالایی برای تعقیب ایده‌های خود در جهت‌های قابل پیش‌بینی و غیر قابل تصور خواهند داشت (۳۹). این دانشمندان الهام‌گرا، با توسعه تئوری‌ها یا تکنولوژی‌های اصیل خود، موجب جنبش رو به جلو در گستره‌های علم و سرعت یافتن ترجمان پژوهش به سلامت بهتر خواهند شد.

### سازمان یادگیرنده

در دیدگاه سنتی، آموزش راهی است برای بهره‌مندی از اطلاعات و فراهم آوردن مهارت؛ اما در دیدگاه جدید، برنامه‌های آموزشی در سازمان‌ها، تأکید بر آن دارند که بهره‌وری دانایی درونی را بهبودی ببخشند. این تکامل در چشم‌انداز نسبت به آموزش، پس از معرفی مفهوم "سازمان‌های یادگیرنده" توسط پیتر سنگه، در حال پیشرفت است (۴۰).

اعضاء یک سازمان یادگیرنده که به عنوان کارگران دانایی از نظر پیتر دراگر نامیده می‌شوند (یا کارگران یقه طلایی در مقابل کارگران یقه سفید و آبی دوران صنعتی) به عنوان سرمایه‌های فکری (Intellectual capital) باید بتوانند در خلق، انتقال، دستکاری و جا به جایی داده‌ها، اطلاعات و دانایی، سهیم شوند. از این رو، بنیاد ملی سلامت آمریکا، برای کاوش در فرصت‌های رو به گسترش - جهت نیل به پیشرفت‌های پزشکی - از محدودیت منابع سخن نمی‌راند، بلکه مهم‌تر از آن برای "نیروی کار علمی" نقش عمده‌ای منظور می‌کند. از نظر این بنیاد، برای برآوردن هدف موعود پزشکی قرن ۲۱ و پیشرفت بیشتر در کنترل بیماری‌های عمده انسانی، باید کادری از پژوهشگران بالینی که مهارت آن‌ها با نیاز و پیچیدگی‌های فزاینده ساختار پژوهش‌سازش دارد را تربیت کرد (۴۱). در نقشه علمی بنیاد، چندین برنامه عمده برای گسترش، فزونی و توانمندسازی نیروی کار تحقیقات بالینی گنجانده شده است؛ مانند بنیان "برنامه توسعه حرفه پژوهش‌های بالینی چندرشته‌ای" یک کادر از "دانشیاران پژوهش‌های بالینی ملی"؛ و یک برنامه آموزش پژوهش‌های بالینی برای دانشجویان پزشکی و دندانپزشکی.

هدف بنیاد آن است که اعضاء سازمان یادگیرنده پزشکی آمریکا، بتوانند مهارت ترجمان مفاهیم اثبات شده علوم پایه را به بالین مرحله بندی نموده و با زمینه کار تیمی و میان رشته‌ای برای پژوهش‌های نوپدید هزاره جدید آشنا شوند تا توانایی هدایت مطالعات بالینی اپیدمیولوژی، طب رفتاری و تحقیقات بیمار محور (Patient - oriented) را بیابند.



شکل ۹-۹: پنج نظام از دیدگاه پیتر سنگه (۱۹۹۰) که در قلب ساختار سازمان یادگیرنده جای دارد.

از آنجا که یادگیری تیمی و گروهی در سازمان یادگیرنده یکی از اصول پنج گانه‌ای است که سنگه آن را توصیف کرده است، بنیاد ملی سلامت آمریکا، شبکه سازی را به عنوان راهبرد مهندسی مجدد در ساختار پژوهش‌های بالینی خود برگزیده است. با افزایش کارایی شبکه‌های پژوهش‌های بالینی با استفاده از انفورماتیک و تکنولوژی‌های دیگر، پژوهشگران قادر خواهند بود که اطلاعات موجود و زیرساخت‌های آموزشی جهت شناسایی ویژگی‌هایی که در تحریک یا توقف فعالیت‌های یک شبکه موفق تأثیر دارند و نیز ویژگی‌های "بهره‌وری" و توسعه و گسترش زاویه دید تحقیقات را پیدا کنند. زیرساخت انفورماتیکی که نقش ستون فقرات شبکه‌های تحقیقاتی کارا و به هم ارتباط یافته بالینی را دارد از طریق توسعه "تحقیقات و کارآزمایی‌های بالینی الکترونیکی ملی" یا به شکل خلاصه "نکتار NECTAR" خلق خواهد شد. از خصوصیات یک سازمان یادگیرنده، خلق و توافق بر سر اصطلاحات، مفاهیم، گروه

بندی‌ها و واژگان کلیدی مشترک است که موجب تسهیل جریان کار در سازمان شده و چشم انداز مشترکی را از منظر کار در نزد اعضا می‌آفریند (۴۲).

از این رو در مهندسی مجدد در ساختار پژوهش‌های بالینی نقشه علمی، تکنولوژی‌های جدیدی برای بهبودی در "ارزیابی دست‌آوردهای بالینی" آفریده شده است. زیرا بیماری‌های مزمن توانفرسا موجب خستگی، درد و تغییرات خلقی بیماران می‌شوند. اکنون نمی‌توانیم این علائم فوق‌العاده مهم را به صورت لمس‌پذیر که قند خون یا گلبول‌های خونی را شمارش می‌کنیم، مورد سنجش قرار دهیم. تکنولوژی‌هایی مانند "ارزیابی سلامت سازگارمند به شیوه رایانه‌ای" می‌توانند در ارزیابی چگونگی نتایج درمانی و کیفیت علائم بیماران انقلاب ایجاد کنند. با مجهز شدن به این ابزارها، دانشمندان برای درک آن که بیماران چگونه تغییرات وضعیت سلامت خود را از درمان‌های جدید برداشت می‌کنند، به حد روش‌های استاندارد می‌خواهند رسید و از این رهگذر، تحقیقات به سوی درمان‌هایی که توسط خود بیماران "مؤثر و خوب" محسوب می‌شوند، رهسپار خواهد شد. داشتن یک سامانه دینامیک و معتبر برای سنجش کارآمدی نتایج گزارش شده توسط بیماران در مطالعه‌ای که افراد شرکت کننده دارای ویژگی‌های دموگرافیک و بیماری‌های مزمن گسترده‌ای می‌باشند، در دست‌آوردهای بالینی ساختار پژوهشی، تأثیر بزرگی گذاشته و مقایسه میان مطالعات مختلف تحقیقاتی را تسهیل می‌کند. همچنین توسعه بانک‌های عناوین (Item banks)، به دانشمندان سازمان یادگیرنده بنیاد سلامت ملی آمریکا، این اجازه را می‌دهد تا این عنوان‌ها را در مطالعات خود مورد مقایسه قرار داده و مدل‌های آماری ویژه‌ای را برای سنجش پاسخ بیماران طراحی کنند. تمام این سامانه‌ها و زیرساخت‌های انفورماتیک، برای سازمان یادگیرنده جامعه پزشکی که هدایت و اجرای پژوهش‌های بالینی را به عهده دارند، یک چشم‌انداز یکسان و گسترده مشترکی از مفاهیم خلق می‌کند (۴۳ و ۴۴).

سازمان‌های یادگیرنده اقتصاد دانایی محور، در محیطی کار می‌کنند که سرشار از تغییر است و در این محیط‌ها، پدیده‌ها بر اساس روابط علت و معلولی خطی روی نمی‌دهند؛ بنابراین، به پدیده‌ها و جریان‌ها به صورت حلقه علیت (Circle of causality) نگریسته می‌شود. این

سیستم‌ها بسیار پیچیده بوده و به صورت غامض کار می‌کنند. از این رو، سازمان‌های یادگیرنده می‌بایست دارای تفکر سیستمی باشند نه تفکر خطی که در دنیای پسامدرن جهت پاسخگویی به مسائل، به صورت فزاینده‌ای غیرمؤثرند و از این رو، تفکری غیرخطی لازم است که به آن تفکر سیستمی می‌گویند. در تحقیقات بالینی سنتی که یافته‌های علوم پایه به صورت کارآزمایی‌های کنترل شده ترجمان می‌شوند، تمام پیچیدگی شرایطی طبیعی که دارو، یا شیوه درمانی در صحنه کارزار بالینی ایجاد می‌کند را نمی‌توانند شبیه سازی کنند. از این رو، هنگامی که این شیوه‌های درمانی در بالین به صورت رایج به کار گرفته می‌شوند، توان پاسخگویی کامل به مشکلات بیماران و شرایط پیچیده طبیعی بیرون از حلقه کنترل شده کارآزمایی‌های انجام گرفته را ندارند. از این رو با تفکر سیستمی در مورد مسائل پژوهش‌های بالینی، بنیاد ملی سلامت آمریکا در مهندسی مجدد ساختار پژوهش‌های بالینی خود، انجام پژوهش در میدان کارزار طبابت در شرایط طبیعی (که بیماران در برخورد عادی و سرپایی با پزشکان خود هستند) طراحی نموده است و به آن فاز سوم پژوهش‌های ترجمانی را ملحق نموده و تحت عنوان پژوهش مبتنی بر طبابت (Practice-based research) نامیده است. این تحقیقات در بالین بیماران و در مطب‌های پزشکان عمومی و متخصصین غیر دانشگاهی هدایت می‌شوند، یعنی جایی که اکثر بیماران، بیشترین سطح مراقبت‌های خود را دریافت می‌دارند. از این رو، سوژه‌های تحقیقاتی - در مکان حقیقی و در زمان واقعی - دریافت کننده شیوه‌های درمانی جدید و اکتشافات جدید هستند. از طریق این شیوه، شکاف میان توصیه‌های سنتی و رایج در دستورالعمل‌ها و شرایط مراقبت‌های واقعی برداشته شده و آشکار خواهد شد که آیا شیوه درمانی واقعاً مؤثر و پایدار (در شرایط واقعی و طبیعی بیماران سرپایی) است یا خیر؟ از این رو شکاف میان دانشمندان آکادمیک و پزشکان و اطبایی که در صحنه حضور دارند برداشته شده و خود این پزشکان و اطباء که در خط آخر هستند نیز به صورت پژوهشگر بدل شده و سیمای کارگران علمی جامعه یادگیرنده پزشکی قرن ۲۱ را به خود خواهند گرفت. اکنون بیش از ۱۰۰ شبکه به صورت فعال در آمریکا، این نوع پژوهش‌ها را هدایت می‌کنند (۴۲).

این جامعه نوپدید از دانشمندان و کارگران علمی خط آخر، که اجرای دستورالعمل‌های

پزشکی را انجام می‌دهند و حتی خود بیماران که به صورت آگاهانه نتایج درمانی خود را با واژگانی مشترک به شبکه‌ها اطلاع می‌دهند، یک راهکار سیستمی در تفکر را در جامعه یادگیرنده پزشکی هزاره جدید آفریده‌اند. یا به زبان دیگر، از طریق این فرایند، دانایی پنهان به دانایی آشکار تبدیل خواهد شد (۴۵). کارگران دانایی (پژوهشگران، جامعه پزشکی، بیماران) در طی فرایند یادگیری، خودشان موجب تغییر و تعالی سازمان یادگیرنده خود می‌شوند تا این سازمان بتواند در شرایط تغییرات پرشتاب بیرونی، به صورت مؤثر به حیات خود ادامه دهد (۴۶).

### سازمان هوشمند و شکاف در دانایی

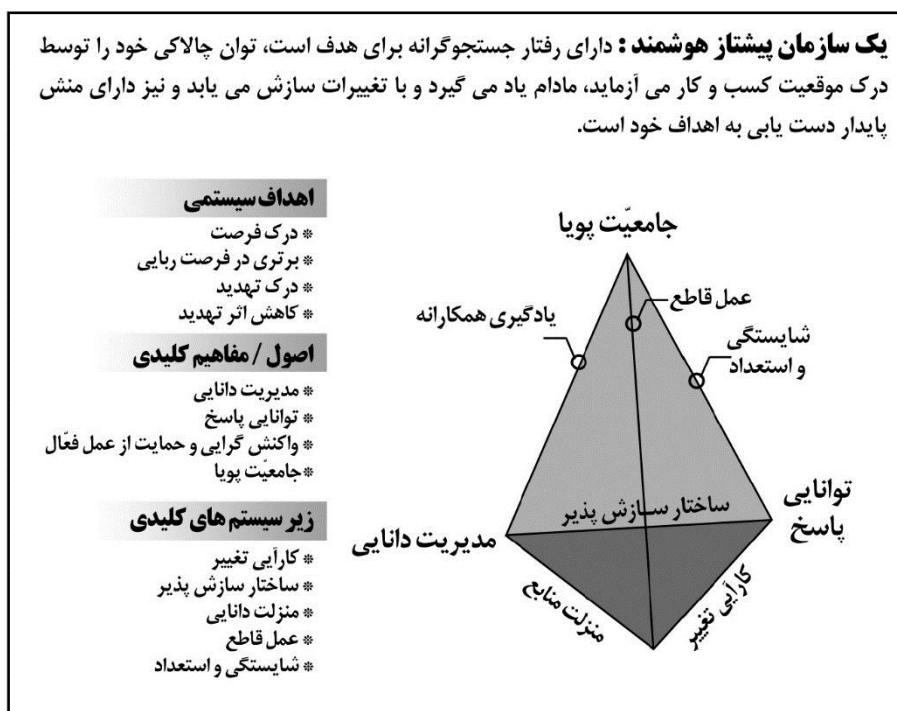
سازمان هوشمند، سازمانی است که کارآیی مؤثری در شرایط کنونی دارد و می‌تواند، با چالش‌های آینده رویارویی مؤثری نیز انجام دهد؛ و با پیاده‌سازی چشم‌انداز و استراتژی‌های خود از طریق عملکرد یکایک کارکنان، سامانه‌ها، سیاست‌ها و ساختار سازمانی منحصر به فردش، اهداف خود را به دست آورد (۴۷). این سازمان‌ها با به کارگیری مدیریت دانش به صورت سیستماتیک، در خلق کیفیت، آمادگی و کاربرد دانایی، می‌توانند با چالش‌ها به مقابله برخیزند و خدماتی که در گذشته نبوده است را بیافرینند. از این رو، سازمان‌های هوشمند از اجزاء اقتصاد دانایی محور بوده و می‌توانند در خلق و بهره‌جویی از فرصت‌های جدید، در محیط پرتغییر و شتابان هزاره جدید، واکنش‌های مناسب را پیش بینی کرده و به حیات خود ادامه دهند. هر چه سازمان هوشمندتر بوده و توان نوآوری بالاتری داشته باشد، رتبه آن در پلکان سرمایه‌گذاری جهانی بالاتر خواهد بود (۴۸).

از این رو، چنین به نظر می‌رسد که در فضای اقتصاد دانایی محور، قطبی شدن اقتصاد، روندی فزاینده پیدا کرده و واگرایی شگرفی را شاهد باشیم. در یک سو، سازمان‌هایی با بسته‌های بی‌شمار دانایی و در سوی دیگر انبوهی از سازمان‌هایی که دچار فقر در دانایی هستند جای خواهند داشت. شاید این گزاره برای آینده درست باشد: "مردم فقیر همانند همه دگر کسان می‌دانند که آنچه آن‌ها را فقیر نموده است نداشتن توان رقابت و فقر در دانایی است."



آدرخش‌های این واگرایی و قطبی شدن جوامع در دانایی و به تبعیت آن، فقر اقتصادی، هم اکنون هویدا بوده و محاسبات و تحلیل‌های نظری نیز نشانگر عمیق‌تر شدن شکاف در دانایی در آینده هستند (۴۹). طراحی نقشه علمی سازمان هوشمند بنیاد ملی سلامت آمریکا چنان است که پروژه‌هایی را به انجام می‌رساند که هیچ سازمان یا واحد دیگری نتواند و نخواهد توانست انجام دهد. چنین است که این سازمان، پیشگامی در پروژه‌های اکتشافی حیطه‌های نو و پایه علوم بیومدیكال را در رأس جنبش علمی هزاره جدید خود قرار داده است. از این رو، این سازمان می‌خواهد جایگاه شماره یک خود را که در دوران صنعتی داشته و حامی اقتصاد کاپیتالیستی بوده است، در دوران پسا سرمایه داری اقتصاد دانایی محور که به آن کاپیتالیسم فکری نام نهاده‌اند نیز حفظ کند. به زبان دیگر، این سازمان هوشمند کاپیتالیسم عقلانی قرن بیست و یکم، در پی آن است که برتری جویی امپریالیستی آمریکا را در حوزه‌های زیست پزشکی پاس بدارد، بنابراین شکاف در دانایی و طبقاتی شدن جوامع از دیدگاه مقیاس دانایی، رو به فزونی پرشتاب است. این نگرش اقتصادی به این سازمان هوشمند، به عنوان یکی از هزار بازوی دانایی محور کاپیتالیسم عقلانی آمریکا، موجب شده است که این سازمان انرژی خود را بر روی تکنولوژی‌های جدید و بیولوژی سیستم‌ها بگذارد و یا به زبانی دیگر، یک رویکرد فنومنولوژیک به حیطه زیست پزشکی داشته باشد و مسائل عمده سلامت عمومی مانند تلاش برای کاهش بار بیماری‌ها در جمعیت‌های انسانی، مطالعات جمعیتی زیست - محیطی، رفتاری و اجتماعی در مقام دوم اهمیت در برنامه علمی این سازمان قرار گیرد (۵۰). وفور دانایی و توسعه سریع تکنولوژی‌های اطلاعات و ارتباطات، پدیداری تکنولوژی‌های جدید و پیاده سازی عملیاتی آن‌ها را شتاب خواهد داد (۵۱). زیرساخت‌های بیوانفورماتیک نقشه علمی بنیاد ملی سلامت آمریکا همزمان با پارادیم نوپدید بیولوژی دیجیتالی و ظهور زیست دانشمندی که مسلح به ابزارهای محاسبه گرایانه رایانه‌ای هستند، در کنار اکتشافات در گستره‌های نوین علوم پایه زیست - پزشکی، موجب رشد بالنده تکنولوژی‌های پروتئومیک، متابولومیک، نانوپزشکی و خلق اسباب‌های بیولوژیک صناعی در مقیاس نانو، مانند حسگرهای ظریف برای اسکن حضور عوامل عفونی یا اختلالات متابولیک که برای بدن دردسر ساز هستند و وسایل

مینیا توری برای نابودی عوامل عفونی یا ثابت کردن بخش‌های شکسته شده در درون سلول‌ها و ساخت نانو روبات‌ها شده است. تکنولوژی نانو پزشکی طی ۲۰-۱۰ سال بعد، موفق خواهد شد که سامانه‌های ماشینی ملکولی و نانو روبات‌ها را در گستره طبابت وارد نموده و موجب تغییرات غیر قابل تصور شگرفی در حیطة پزشکی شود (۵۲).



شکل ۹-۱۰: چهارچوب سیستم سازمان پیشتاز هوشمند؛  
هوشمندی سازمان بستگی به حجم هرم دارد.

در یک فراگرد کلی، سازمان هوشمند بنیاد ملی سلامت آمریکا، با طی مسیر نقشه علمی خود، خواهد توانست در فضای اقتصاد دانایی محور قرن بیست و یکم، موجب فربه شدن دانایی آمریکا و گسترده تر شدن شکاف در دانایی ملت‌های هزاره جدید شود.

## منابع

- 1) Kessels J. Learning Organisations: A Corporate Curriculum for the Knowledge Economy 2001; 33: 497-506. (Accessed 25 February 2008 at <http://www.sciencedirect.com/science>).
- 2) Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). From the Economics of Knowledge to the Learning Economy. Paris: OECD; 2000.
- 3) David PA, Foray D. Economic Fundamentals of the Knowledge Society. Policy Future in Education 2003; 1: 20-49. (Access 26 February 2008 at <http://www.worldwords.co.uk/rss/abstract.asp?j=pfie&aid=1788>)
- 4) Bawany S. Managing in the Knowledge-based Economy -- creating and Sustaining an Organization's Competitive advantage Through Knowledge Management. Ministry of Trade and Industry Singapore (MTI) 2000. (Accessed 26 February 2008 at [http://app.mti.gov.sg/data/article/344/doc/NWS\\_KMKBEArt.pdf](http://app.mti.gov.sg/data/article/344/doc/NWS_KMKBEArt.pdf))
- 5) Overview of the NIH Roadmap, NIH Roadmap for Medical Research. (Accessed 13 May 2008 at <http://nihroadmap.nih.gov/overview.asp>).
- 6) Zerhouni EA. US biomedical research: basic, translational, and clinical sciences. JAMA 2006; 294: 1352-8.
- 7) Shimada J. Strategy of the National Institutes of Health (NIH) of the US to Accelerate Biomedical Research (NIH Roadmap). Mis Quarterly 2004; No 12: 11-5.
- 8) Building Blocks, Biological Pathways, and Networks, NIH Roadmap for Medical Research. (Accessed 13 May 2008 at <http://nihroadmap.nih.gov/buildingblocks/>).
- 9) Castle AL, Fiehn O, Kaddurah-Daouk R, et al. Metabolomics Standards Workshop and the development of international standards for reporting metabolomics experimental results. Brief in Bioinform 2006; 7: 159-65.
- 10) Ideker T, Winslow LR, Lauffenburger AD. Bioengineering and System Biology, Ann Biomed Eng 2006; 34: 257-264. (Accessed 25 February 2008 at <http://www.cdpcenter.org/files/pubs/ideker-bioengineering-06.pdf>)
- 11) Sheeley DM, Breen JJ, Old SE. Building integrated approaches for the proteomics of complex, dynamic systems: NIH programs in technology and infrastructure development. J Proteome Res 2005; 4: 1114-22.

- 12) Human Microbiome Project, NIH Roadmap for Medical Research. (Accessed 13 May 2008 at <http://nihroadmap.nih.gov/hmp/>).
- 13) Epigenomics, NIH Roadmap for Medical Research. (Accessed 13 May 2008 at <http://nihroadmap.nih.gov/epigenomics/>).
- 14) Zerhouni EA. Clinical research at a crossroads: the NIH roadmap. *J Investig Med* 2006; 54: 171-3.
- 15) Shi ZD, Wu H, Ruddy B, Griffiths GL. Imaging Probe Development Center: a National Institutes of Health core synthesis resource for imaging probes. *J Biomed Opt* 2007;12: 051502.
- 16) Swaja RE. Directions in biomedical research: the NIH Roadmap. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc* 2004; 7: 5208.
- 17) Institute of financial services. Winning Through Knowledge. The USA ;2001(Accessed 26 February 2008 at <http://www.powerful-communication.com/km1-financial-services.pdf>)
- 18) Houghton J, Sheehan P. A Primer on the Knowledge Economy. Knowledge economy. Centre for Strategic Economic Studies.(Access 26 February 2008 at <http://www.cfses.com/documents/knowledgeeconprimer.pdf>)
- 19) Bioinformatics and Computational Biology, NIH Roadmap for Medical Research. (Accessed 13 May 2008 at <http://nihroadmap.nih.gov/bioinformatics/>).
- 20) Rubin DL, Lewis SE, Mungall CJ, et al. National Center for Biomedical Ontology: advancing biomedicine through structured organization of scientific knowledge. *OMICS* 2006; 10: 185-98.
- 21) Alavi M, Leidner ED. Knowledge Management and Knowledge Management Systems: Conceptual Foundations And Research Issues. *Mis Quarterly* 2001; 25: 107-36. (Accessed in 29 February 2008 at <http://internet.ktu.lt/lt/mokslas/zurnalai/inzeko/42/1392-2758-2005-2-42-35.pdf>)
- 22) Zerhouni E. *Medicine. The NIH Roadmap*. Science New York, NY 2003; 302: 63-72.
- 23) Zehrouni AE. Translational and Clinical Science – Time for a New Vision. *N Eng J Med* 2005; 353: 1621-3.( Access 25 February 2008 at <http://content.nejm.org/cgi/reprint/353/15/1621.pdf>)
- 24) Porges SW. Asserting the role of biobehavioral sciences in translational research: the behavioral neurobiology revolution. *Dev Psychopathol* 2006;18: 923-33.

- 25) Cripe TP, Thomson B, Boat TF, et al. Promoting translational research in academic health centers: navigating the "roadmap". *Acad Med* 2005; 80: 1012-8.
- 26) Ruttenberg A, Clark T, Bug W, et al. Advancing translational research with the Semantic Web. *BMC Bioinformatics* 2007; 8 : 2.
- 27) Research Teams of the Future, NIH Roadmap for Medical Research. (Accessed 13 May 2008 at <http://nihroadmap.nih.gov/researchteams/>).
- 28) Domino SE, Smith YR, Johnson TR. Opportunities and challenges of interdisciplinary research career development: implementation of a women's health research training program. *J Women's Health (Larchmt)* 2007; 16: 256-61.
- 29) Interdisciplinary Research, NIH Roadmap for Medical Research. (Accessed 13 May 2008 at <http://nihroadmap.nih.gov/interdisciplinary/>).
- 30) Organization for Economic CO-Operation and Development (OECD). *The Knowledge-Based Economy*. Paris; 1996.(Access in 25 February 2008 at <http://www.oecd.org/dataoecd/51/8/1913021.pdf>)
- 31) David P , Fordy D. *Assessing and Expanding the Science and Technology Knowledge Base*. Paris 1995; Sti Rev: No 16, OECD;.
- 32) Klotz U. *The New Economy*. *Frankfurter Allgemeine Zeitung* 2000; No 96: 31.
- 33) Rychen F, Zimmermann JB. Cluster in the global knowledge based economy: knowledge gatekeepers and temporary proximity. DIME\_LIEE/NTUA Conference . 2009 Dec. Athens. (Accessed 26 February 2008 at [http://dime-liee.ntua.gr/Dimeliee\\_Athens2006\\_Conference\\_Abstracts+/Frederic%20Rychen%20&%20Jean-Benoit%20Zimmermann.pdf](http://dime-liee.ntua.gr/Dimeliee_Athens2006_Conference_Abstracts+/Frederic%20Rychen%20&%20Jean-Benoit%20Zimmermann.pdf))
- 34) Re-engineering the Clinical Research Enterprise, NIH Roadmap for Medical Research. (Accessed 13 May 2008 at <http://nihroadmap.nih.gov/clinicalresearch/overview-networks.asp>).
- 35) Molecular Libraries and Imaging, NIH Roadmap for Medical Research. (Accessed 13 May 2008 at <http://nihroadmap.nih.gov/molecularlibraries/>).
- 36) European Commission (EC). *Innovation Management and the Knowledge-Driven Economy*. Brussels-Luxembourg: the Commission; 2004.

- 37) Boothby R. Turning Knowledge Workers into Innovation Creators 2005. Innovation Creators. (Access in 25 February 2008 at <http://www.innovationcreators.com/Turning%20Knowledge%20Workers%20into%20Innovation%20Creators%20-%202005-11-15%20web.pdf>)
- 38) Jacobs D. Creativity and the economy. Background paper preparing the Innovation Lecture ‘Compete with Creativity’. Netherlands 2005.
- 39) High-Risk Research, NIH Roadmap for Medical Research. (Accessed 13 May 2008 at <http://nihroadmap.nih.gov/highrisk/>).
- 40) Peter Senge and the learning Organization, Learning organization – Wikipedia, the free encyclopedia. (Access February 1, 2008, at [http://en.wikipedia.org/wiki/Learning\\_organization](http://en.wikipedia.org/wiki/Learning_organization).)
- 41) Re-engineering the Clinical Research Enterprise, Clinical Research Training, NIH Roadmap for Medical Research. (Accessed 13 May 2008 at <http://nihroadmap.nih.gov/clinicalresearch/overview-training.asp>).
- 42) Westfall JM, Mold J, Fagnan L. Practice-Based Research-“Blue Highways” on the NIH Roadmap. JAMA 2007; 297: 403-6.
- 43) Cella D, Yount S, Rothrock N, et al. The Patient-Reported Outcomes Measurement Information System (PROMIS): progress of an NIH Roadmap cooperative group during its first two years. Med Care 2007;45: 3-11.
- 44) Cella D, Gershon R, Lai JS, et al. The future of outcomes measurement: item banking, tailored short-forms, and computerized adaptive assessment. Qual Life Res 2007;16 :133-41.
- 45) O’Hara K, Shadbolt N. Managing Knowledge Capture: Economic, Technological and Methodological Considerations. AKT EPrint Archive .(Accessed 25 February 2008 at <http://eprints.aktors.org/44/01/valuation-methods.pdf>)
- 46) Kidd A. The Marks are on the Knowledge Worker. Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems: celebrating interdependence. April 24-8 1994, Boston, Massachusetts, USA. New York: ACM, 1994.(Access in 25 February 2008 at <http://interruptions.net/literature/Kidd-CHI94-p186-kidd.pdf>)
- 47) Wiig MK. The Intelligent Enterprise and Knowledge Management. Knowledge Manage Mag (KM) 2000. (Accessed 26 February 2008 at [http://www.krii.com/downloads/intellig\\_enterprise%20&%20km.pdf](http://www.krii.com/downloads/intellig_enterprise%20&%20km.pdf))
- 48) Chair, Information Technology Advisory Group (ITAG). The Knowledge Economy. Newzeland: ERNST & YOUNG; 1999. (Access 26 February 2008 at <http://www.med.govt.nz/upload/31197/knowledge-economy.pdf>)

- 49) Evers HD. Knowledge Society and the Knowledge Gap. Globalisation, Culture and Inequalities. 2002 Aug. 19-21, Kabansaan, Malaysia. (Accessed 26 February 2008 at [http://www.uni-bielefeld.de/soz/iw/pdf/evers\\_2.pdf](http://www.uni-bielefeld.de/soz/iw/pdf/evers_2.pdf))
- 50) Kuller L. Is phenomenology the best approach to health research? *Am J Epidemiology* 2007; 166: 1109-15.
- 51) Pilinkus D, Boguslauskas V. Implementation of new Technologies in Information Society. *Eng econom* 2005; 42: 35-44. (Accessed 28 February 2008 at <http://internet.ktu.lt/lt/mokslas/zurnalai/inzeko/42/1392-2758-2005-2-42-35.pdf>)
- 52) Robert A, Freitas JR. Current Status of Nanomedicine and Medical Nanorobotics. *J Comput Theor Nanosience* 2005; 2: 1-25. (Access in 26 February 2008 at <http://www.nanomedicine.com/Papers/NMRevMar05.pdf>)





## نمایه

| الف   |                              |
|---|------------------------------|
| آشفتگی .....                                    | ۱۶۱                          |
| آشوب .....                                      | ۱۴، ۴                        |
| افسردگی .....                                   | ۱۶۸، ۸۰                      |
| اقتصاد... ۶، ۱۳، ۲۵، ۳۵، ۳۷، ۸۴، ۱۰۵، ۱۰۶، ۱۱۷، |                              |
| ۱۱۹، ۱۲۷، ۱۷۱، ۱۷۳، ۱۸۱، ۱۸۲، ۱۸۷، ۱۸۸،         |                              |
| ۱۹۵، ۱۹۶، ۲۰۱، ۲۰۲، ۲۰۳، ۲۰۷، ۲۰۸، ۲۰۹،         |                              |
| ۲۱۰، ۲۱۱، ۲۱۲، ۲۱۴، ۲۱۵، ۲۱۷، ۲۱۸، ۲۲۱،         |                              |
| ۲۲۷، ۲۲۹، ۲۳۱، ۲۳۲، ۲۳۴، ۲۳۷، ۲۳۹، ۲۴۰،         |                              |
| ۲۴۱، ۲۴۲، ۲۴۳، ۲۴۶، ۲۴۸، ۲۵۰                    |                              |
| اقتصاد بزرگ مقیاس .....                         | ۱۲۷                          |
| اقتصاد جهانی .....                              | ۲۳۱، ۲۲۱، ۱۱۷                |
| اقتصاد دانایی .....                             | ۱۹۵، ۱۱۹، ۱۱۷، ۸۴، ۲۵، ۱۳، ۶ |
| ۱۹۶، ۲۰۱، ۲۰۲، ۲۰۳، ۲۰۷، ۲۰۸، ۲۰۹، ۲۱۱،         |                              |
| ۲۱۲، ۲۱۴، ۲۱۷، ۲۱۸، ۲۲۷، ۲۲۹، ۲۳۱، ۲۳۲،         |                              |
| ۲۳۴، ۲۳۹، ۲۴۰، ۲۴۲، ۲۴۴، ۲۴۶، ۲۴۸، ۲۵۰          |                              |
| اقتصاد دانایی محور .....                        | ۱۱۹، ۱۱۷، ۸۴، ۲۵، ۱۳، ۶      |
| ۱۹۵، ۱۹۶، ۲۰۱، ۲۰۲، ۲۰۳، ۲۰۷، ۲۰۸، ۲۰۹،         |                              |
| ۲۱۱، ۲۱۲، ۲۱۴، ۲۱۷، ۲۱۸، ۲۲۷، ۲۲۹، ۲۳۱،         |                              |
| ۲۳۲، ۲۳۴، ۲۳۹، ۲۴۰، ۲۴۲، ۲۴۴، ۲۴۶، ۲۴۸، ۲۵۰     |                              |
| اقتصاد زیستی .....                              | ۱۸۸، ۱۸۲، ۱۸۱                |
| اقتصاد صنعتی .....                              | ۲۳۵                          |
| اقتصاد ملی .....                                | ۱۱۹، ۱۱۷                     |
| اقتصاد نوین جهانی .....                         | ۱۱۹                          |
| ابراه اطلاعات .....                             | ۲۳۷، ۱۶                      |
| ابروند ۱۱، ۳۶، ۴۴، ۵۵، ۵۷، ۶۲، ۱۰۳، ۱۰۵، ۱۰۷،   |                              |
| ۱۰۸، ۱۰۹، ۱۱۱، ۱۱۲، ۱۱۵، ۱۱۶، ۱۱۷، ۱۱۹،         |                              |
| ۱۲۰، ۱۲۱، ۱۲۲، ۱۲۴، ۱۲۵، ۱۲۶، ۱۲۷، ۱۲۹،         |                              |
| ۱۸۸، ۲۲۱  |                              |
| آبزیان .....                                    | ۲۱۷                          |
| اپتوزنتیک .....                                 | ۱۶۸، ۱۶۵، ۱۶۰                |
| اپیدمیولوژی .....                               | ۲۴۴، ۷۲                      |
| اپی ژنتیک .....                                 | ۲۳۴                          |
| اجتماعی .....                                   | ۱۳۲                          |
| ادوات نانویی .....                              | ۴۶، ۴۳                       |
| ارائه دهندگان خدمات سلامت. ۲۳، ۸۳، ۱۱۱، ۱۱۲،    |                              |
| ۱۱۳، ۱۱۶، ۱۱۷، ۱۲۵، ۱۲۶، ۱۸۷، ۲۴۱               |                              |
| ارتقای سلامت .....                              | ۱۲۶، ۸۲، ۷۶                  |
| ارگانوژنز .....                                 | ۸۷                           |
| اسپکترومتری جرمی .....                          | ۶، ۳                         |
| استاندارد .....                                 | ۱۳۲                          |
| استرس .....                                     | ۹۸، ۹۷، ۸۱، ۸۰، ۱۱           |
| استرئولیتوگرافی .....                           | ۱۴۳                          |
| استقرایی .....                                  | ۷۷                           |
| اسید نوکلئوتیک .....                            | ۶                            |
| اشتراک دانایی .....                             | ۲۳۷، ۲۳۵، ۲۰۷، ۸۴، ۱۳        |
| اشتغال .....                                    | ۲۲۱، ۲۰۹، ۲۰۱، ۱۹۶           |

| ب                              |  |
|--------------------------------|--|
| بار بیماری                     | ..... ۱۲۲، ۲۴۹   |
| باروری                         | ..... ۹۱، ۹۲، ۱۰   |
| بازار سلامت                    | ..... ۱۱۴، ۱۱۸   |
| بازآفرینی                      | ..... ۷، ۵۴  |
| بازتاب                         | ..... ۴۳، ۴۴   |
| بافت سه بُعدی                  | ..... ۶۱   |
| بالینی                         | ..... ۱۳۲  |
| بالینی                         | ..... ۷، ۶، ۱۰، ۱۷، ۲۰، ۴۳، ۴۸، ۴۹، ۵۵، ۵۶، ۶۰، ۶۱، ۶۳، ۸۴، ۱۱۰، ۱۱۶، ۱۲۳، ۱۲۵، ۱۲۸، ۱۳۲، ۱۳۳، ۱۵۸، ۱۶۸، ۲۳۰، ۲۳۸، ۲۴۱، ۲۴۴، ۲۴۵، ۲۴۶، ۲۴۷   |
| بانک بند ناف                   | ..... ۶۴   |
| برنامه                         | ..... ۱۶، ۱۷، ۱۸، ۸۶، ۱۰۶، ۱۰۷، ۱۰۹، ۱۶۷، ۱۷۰، ۱۷۱، ۱۷۳، ۲۳۴، ۲۴۴  |
| برنامه‌ریزی                    | ..... ۵۴، ۱۱۶، ۱۱۹، ۱۲۹، ۱۷۰، ۱۷۹، ۱۹۶، ۱۹۷  |
| برنامه‌های کاربردی سلامت همراه | ..... ۱۰۹، ۱۱۰   |
| بنیاد علوم اروپا               | ..... ۴۳   |
| بنیاد ملی سرطان                | ..... ۳۹   |
| بنیاد ملی سلامت                | ..... ۱۰، ۱۲، ۱۳، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۳، ۱۵، ۱۶، ۱۷، ۱۸، ۲۴، ۲۵، ۳۹، ۴۳، ۶۲، ۷۱، ۸۲، ۸۳، ۸۴، ۸۵، ۹۷، ۹۸، ۱۰۰، ۱۰۱، ۱۵۵، ۱۵۷، ۱۷۳، ۱۷۴، ۲۲۷، ۲۲۹، ۲۳۰، ۲۳۱، ۲۳۲، ۲۳۳، ۲۳۵، ۲۳۷، ۲۳۸، ۲۳۹، ۲۴۱، ۲۴۳، ۲۴۴، ۲۴۵، ۲۴۷، ۲۴۹، ۲۵۰ |
| بنیاد ملی سلامت آمریکا         | ..... ۸۶، ۹۹، ۱۱۵، ۱۵۹   |
| بهداشتی                        | ..... ۲، ۱۳، ۱۱۴، ۱۱۹، ۱۲۰، ۱۲۹، ۲۱۹   |
| بهره‌وری پایدار                | ..... ۲۴۳  |
| بهره‌وری                       | ..... ۲۰، ۱۱۴، ۱۹۵، ۲۰۲، ۲۱۱   |
| بهبودی                         | ..... ۱۱۷، ۲۲۳   |
| بودجه                          | ..... ۱۸۷  |
| آکادمیک                        | ..... ۱۰، ۱۹، ۲۳، ۲۴، ۷۱، ۸۴، ۹۷، ۱۷۹، ۱۸۰، ۱۹۷، ۲۰۰، ۲۰۱، ۲۰۲، ۲۰۳، ۲۰۸، ۲۰۹، ۲۱۰، ۲۲۰، ۲۳۰، ۲۳۹، ۲۴۱، ۲۴۷  |
| اکولوژیک                       | ..... ۷۴، ۷۹   |
| آلزایمر                        | ..... ۹۰، ۹۵، ۱۶۸، ۱۷۰   |
| الکترونیک زیستی                | ..... ۵۷   |
| آموزش                          | ..... ۸، ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۹۸، ۱۱۱، ۱۱۷، ۱۱۹، ۱۲۱، ۱۲۲، ۱۲۳، ۱۲۴، ۱۲۹، ۱۴۹، ۱۸۰، ۱۸۲، ۱۹۵، ۱۹۷، ۱۹۹، ۲۰۲، ۲۰۴، ۲۰۸، ۲۰۹، ۲۱۰، ۲۱۴، ۲۱۵، ۲۱۸، ۲۲۹، ۲۴۳، ۲۴۴   |
| آموزش پزشکی                    | ..... ۱۹، ۱۱۱، ۱۱۹، ۱۲۱، ۱۲۲، ۱۲۳، ۱۲۴، ۱۲۹، ۱۸۰   |
| امیکس                          | ..... ۱۲۹، ۱۳۰، ۱۳۲، ۱۶۵   |
| آنالیز تک سلولی                | ..... ۶، ۸، ۲۳   |
| انتقال دانایی                  | ..... ۲۰۲، ۲۰۴، ۲۰۹، ۲۱۱، ۲۱۲  |
| اندوتلیالی                     | ..... ۵۲، ۸۱   |
| انقلاب بزرگ سوم                | ..... ۳۷   |
| انقلاب دیجیتالی                | ..... ۱۱، ۲۵، ۱۳۳  |
| اوباما                         | ..... ۱۰۷، ۱۰۹، ۱۲۲، ۱۲۶، ۱۵۷  |
| اوباما کر                      | ..... ۱۲۲، ۱۲۶   |
| ایمپلنت                        | ..... ۳۳، ۱۷۱  |
| ایمن‌شناسی                     | ..... ۸۰   |
| ایمنی                          | ..... ۸۰، ۱۱۳، ۱۱۴، ۱۱۶، ۱۲۹، ۱۴۴، ۱۸۷   |
| آینده                          | ..... ۲، ۷، ۱۳، ۶، ۷، ۱۰، ۱۶، ۱۹، ۲۳، ۲۵، ۲۶، ۳۶، ۴۱، ۴۳، ۴۴، ۴۵، ۴۶، ۴۷، ۶۰، ۶۱، ۶۲   |
|                                | ..... ۶۴، ۷۶، ۸۴، ۸۶، ۱۰۵، ۱۰۶، ۱۰۸، ۱۰۹، ۱۱۴، ۱۱۵، ۱۱۹، ۱۲۰، ۱۲۴، ۱۲۵، ۱۲۷، ۱۲۸، ۱۲۹، ۱۳۰، ۱۳۱، ۱۳۴، ۱۵۹، ۱۶۵، ۱۶۶، ۱۷۰، ۱۷۱، ۱۷۹، ۱۸۰، ۱۸۵، ۱۸۶، ۱۹۳، ۲۰۵، ۲۰۶، ۲۰۹، ۲۱۰، ۲۱۱، ۲۱۳، ۲۱۹، ۲۳۰، ۲۳۷، ۲۴۸           |
| آینده پژوهی                    | ..... ۶، ۱۹، ۲۶، ۱۰۵، ۱۰۶  |
| آینده نگاری                    | ..... ۶، ۷   |

- بیمارستان ..... ۱۲۶، ۱۲۷، ۱۵۱، ۲۳۸
- بیماری‌های قلبی - عروقی ..... ۱۲، ۲۱، ۵۹
- بیماری‌های مزمن ..... ۱۷، ۹۷، ۱۱۱، ۱۱۹، ۱۲۰، ۱۲۱، ۱۲۲، ۱۲۴، ۱۲۶، ۱۲۸، ۱۲۹، ۱۸۳
- بیماری‌های مزمن ریوی ..... ۱۲۸
- بیماری‌های مغزی ..... ۴۱، ۱۶۸، ۱۷۰
- بیماری‌های نورولوژیک ..... ۹۰، ۱۵۷
- بیماری‌های واگیر ..... ۲۳
- بیمه‌های مکمل ..... ۱۰۷، ۱۰۸
- بیوانفورماتیک ..... ۹، ۱۱، ۱۶، ۲۱، ۲۲، ۷۶، ۸۵، ۱۱۷، ۱۶۲، ۲۳۷، ۲۴۹
- بیوتکنولوژی ..... ۲۲۳
- بیولوژی ..... ۵، ۹، ۳، ۴، ۷، ۹، ۱۰، ۱۳، ۱۶، ۲۱، ۲۴، ۳۶، ۳۷، ۳۹، ۴۲، ۴۳، ۴۴، ۴۵، ۴۹، ۵۰، ۵۶، ۵۷، ۵۸، ۷۴، ۷۶، ۸۰، ۸۲، ۸۳، ۸۷، ۸۸، ۹۰، ۹۶، ۱۳۲، ۱۴۷، ۱۵۸، ۱۶۵، ۱۶۹، ۱۷۲، ۲۲۰، ۲۳۲، ۲۳۳، ۲۳۷، ۲۳۸، ۲۴۹
- بیولوژی ساختمانی ..... ۱۳، ۲۳۲
- بیولوژی سرطان ..... ۳۹
- بیولوژی سیستمی ..... ۳، ۴، ۹، ۱۰، ۲۱، ۴۰، ۷۴، ۱۳۲، ۱۶۵، ۱۶۹
- بیولوژی سینتتیک ..... ۳۶
- بیولوژی محاسباتی ..... ۲۱
- بیولوژی محاسبه گرایانه ..... ۹، ۱۶، ۲۴، ۲۳۷
- بیولوژیک ..... ۵، ۹، ۳، ۶، ۷، ۸، ۱۰، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۸، ۱۹، ۲۳، ۲۵، ۳۶، ۳۸، ۴۱، ۴۲، ۴۴، ۵۱، ۵۴، ۵۷، ۵۸، ۷۲، ۷۳، ۷۹، ۸۲، ۸۴، ۹۳، ۹۶، ۱۱۵، ۱۳۰، ۱۳۱، ۱۴۴، ۱۵۹، ۲۳۳، ۲۳۶، ۲۴۰، ۲۴۲، ۲۴۹
- بیونیک ..... ۵۷
- 
- پ
- 
- پاتوژنز ..... ۴، ۲۱، ۵۹
- پاتوفیزیولوژی ..... ۴، ۹۷
- پاتولوژیک ..... ۴۸، ۵۳، ۵۴، ۵۶
- پارادایم ..... ۵، ۱۱، ۷۲، ۷۳، ۷۷، ۸۸، ۹۳، ۹۵، ۱۱۲، ۱۱۴، ۱۱۵، ۱۳۳، ۱۵۱، ۱۵۲، ۱۶۵، ۱۸۸، ۲۴۱
- پارکینسون ..... ۹۰، ۹۵، ۱۷۰
- پراگماتیک ..... ۷۸
- پروتئوم ..... ۱۲، ۱۷، ۱۳۰
- پروتئومیکس ..... ۸، ۲۶، ۱۲۹، ۱۳۳
- پروژه پیش‌آهنگ ..... ۹۲، ۹۸، ۹۹
- پروژه کونکتوم انسانی ..... ۱۶۳
- پروژه مغز انسان اروپا ..... ۱۵۹
- پروژه‌های پیش‌آهنگ ..... ۱۱، ۲۴، ۷۱، ۷۴، ۹۷، ۱۸۶
- پزشک خانواده ..... ۱۲۹
- پزشک محور ..... ۱۲۲
- پزشکان ..... ۱۳۲
- پزشکی P4 ..... ۷، ۸، ۱۹، ۲۳، ۱۲۹، ۱۳۰، ۱۳۱، ۱۳۲، ۱۳۳، ۱۸۸
- پزشکی از راه دور ..... ۱۱، ۱۰۹، ۱۱۰، ۱۱۱، ۱۱۹
- پزشکی آینده ..... ۹، ۴، ۶، ۷، ۱۸، ۲۳، ۲۵، ۱۱۵، ۱۲۹
- پزشکی بازآفرینشی ..... ۱۰، ۴۴، ۴۸، ۴۹، ۵۳، ۵۴، ۵۵، ۵۶، ۵۷، ۵۸، ۵۹، ۶۰، ۶۱، ۶۲، ۶۳، ۶۴، ۱۴۴، ۱۴۵، ۱۴۷، ۱۵۲، ۱۸۸، ۲۲۰
- پزشکی بازآفرینی ..... ۴۸، ۵۸
- پزشکی ترمیمی ..... ۱۲۸
- پزشکی جامعه‌نگر ..... ۱۲۴، ۱۲۹
- پزشکی خانگی ..... ۱۲۵
- پزشکی دیجیتالی ..... ۱۲۷
- پزشکی ژنومیک ..... ۶
- پزشکی سیستمی ..... ۹، ۱۰، ۱، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۸، ۱۹، ۲۱، ۲۲، ۲۵، ۲۶، ۴۹، ۱۲۹، ۱۳۰، ۱۸۸
- پزشکی فرادستی ..... ۲۳۴

- پزشکی فردگرا... ۱۱، ۱۶، ۴۴، ۵۴، ۱۲۲، ۱۴۴، ۱۵۱، ۱۵۲
- پزشکی فردگرایانه... ۱۱، ۴۴، ۵۴، ۱۲۲، ۱۴۴، ۱۵۱، ۱۵۲
- پزشکی مبتنی بر جامعه... ۱۲۲
- پزشکی مبتنی بر شاهد... ۱۲۶، ۱۳۲
- پزشکی مشارکتی... ۱۱، ۲۱، ۲۳، ۲۴، ۱۲۴، ۱۲۵، ۱۲۶، ۱۳۳
- پزشکی نانو... ۱۰، ۴۱، ۴۲، ۴۳، ۴۵، ۴۶، ۲۲۰
- پژوهش و توسعه... ۳۳، ۴۹، ۲۲۰
- پژوهش‌های بالینی... ۱۷، ۲۴۱، ۲۴۷
- پژوهش‌های پرخطر... ۲۰، ۸۴، ۲۱۲، ۲۱۳، ۲۴۳
- پژوهش‌های ترجمانی... ۲۳۸، ۲۴۷
- پوشش بیمه... ۱۱، ۱۰۷، ۱۰۸
- پوشش همگانی بیمه... ۱۰۷
- پیامدهای سلامت... ۱۷، ۱۱۳
- پیچیدگی... ۴، ۲۶، ۴۱، ۵۷، ۷۷، ۸۷، ۱۰۷، ۱۲۲، ۱۶۱، ۱۸۰، ۲۱۵، ۲۲۱، ۲۳۹، ۲۴۴، ۲۴۷
- پیچیده... ۳، ۱۸، ۲۳، ۳۸، ۴۱، ۵۷، ۷۴، ۷۶، ۸۲، ۸۶، ۹۲، ۱۱۵، ۱۱۸، ۱۲۲، ۱۲۸، ۱۲۹
- ۱۴۴، ۱۴۷، ۱۵۷، ۱۶۲، ۱۶۵، ۱۶۹، ۱۷۰، ۲۲۱، ۲۳۱، ۲۳۳، ۲۴۲، ۲۴۷
- پیر شدن جمعیت... ۱۱۹، ۱۲۰، ۱۲۱
- پیشگویی کننده... ۱۱، ۶، ۷، ۱۲۹، ۱۳۱
- پیشگیرانه... ۶، ۷، ۱۷، ۱۳۱، ۱۸۸، ۲۴۱
- پیشگیری... ۱۱، ۳، ۴۳، ۵۷، ۷۳، ۷۴، ۷۵، ۸۰، ۸۲، ۸۳، ۹۰، ۹۶، ۱۲۴، ۱۲۶، ۱۲۸، ۱۲۹، ۱۳۱
- ۱۷۰، ۲۳۸
- پیوند اعضا... ۵۶، ۵۸، ۵۹
- پیوند زنوی... ۱۲۸
- 
- تجارت... ۸۵، ۲۱۷
- 
- تحلیل روند... ۱۰۵
- تحلیل سناریو... ۱۸۰، ۱۸۱، ۱۸۳
- ترانس کریپتوم... ۳، ۶، ۲۳
- ترمیم بافتی... ۵۴
- تصویربرداری ملکولی... ۹، ۸، ۱۴، ۲۳، ۲۲۲، ۲۳۵
- تفکر سیستمی... ۱۰، ۵، ۲۵، ۷۲، ۷۳، ۷۴، ۷۵، ۷۷، ۷۸، ۷۹، ۸۲، ۱۶۵، ۱۶۹، ۲۳۰، ۲۴۷
- تکنولوژی... ۲، ۲۰، ۱۹۵، ۲۲۹، ۲۳۰، ۲۳۹، ۲۴۲، ۲۴۵، ۲۴۶
- تلفن‌های هوشمند... ۹، ۱۰، ۱۱۰، ۱۱۱، ۱۲۵
- تندرستی... ۵، ۶، ۸، ۲۲، ۲۶، ۳۴، ۸۲، ۱۳۲، ۱۳۳
- توالی‌یابی... ۳، ۶، ۸، ۱۳۰، ۱۳۲
- توالی‌یابی DNA... ۳
- توالی‌یابی ژنوم... ۶، ۸، ۱۳۰
- توریسم پزشکی... ۱۱، ۱۱۷، ۱۱۸، ۱۱۹، ۲۲۱
- توسعه پایدار... ۲۶، ۱۰۶، ۲۰۹
- توسعه علمی... ۶، ۲۲
- 
- ج
- 
- جراحی سلول... ۴۷
- جراحی‌های رباتیک... ۱۲۸
- جغرافیایی... ۱۱۸، ۱۱۹، ۱۲۷، ۱۲۹، ۱۹۶، ۱۹۷، ۱۹۹، ۲۰۱، ۲۰۷، ۲۴۱
- جمعیت... ۱۵، ۱۶، ۷۷، ۷۹، ۹۰، ۱۱۱، ۱۲۰، ۱۲۳، ۱۲۸، ۱۲۹، ۱۶۹، ۱۷۱، ۱۸۲، ۱۸۸
- جهانی سازی... ۲۲۱
- جوامع میان رشته‌ای... ۲۳۹
- جوهر زیستی... ۱۴۶
- 
- چ
- 
- چاپ زیستی... ۱۴۴، ۱۴۵، ۱۴۶، ۱۴۷، ۱۴۸
- چاپ سه بعدی... ۱۱، ۱۴۱، ۱۴۳، ۱۴۴، ۱۴۵، ۱۴۶
- ۱۴۷، ۱۴۸، ۱۴۹، ۱۵۰، ۱۵۱، ۱۵۲

دولت... ۱۱، ۱۰، ۸۴، ۱۰۷، ۱۰۸، ۱۰۹، ۱۲۲، ۱۸۶،  
 ۱۹۶، ۱۹۷، ۲۰۲، ۲۰۸، ۲۱۰، ۲۱۳، ۲۱۵، ۲۳۰  
 دولت محور..... ۱۱، ۱۰۷  
 دیابت..... ۱۲، ۵۶، ۶۲، ۹۵، ۱۱۱، ۱۲۸

## ر

رفاه..... ۳۵  
 رفتارهای تغذیه‌ای..... ۱۲۶  
 رهاسازی دارو..... ۴۳  
 رهبری..... ۶۳، ۱۰۱، ۲۱۱  
 رهیافت میان رشته‌ای..... ۱۰، ۶۹، ۷۱، ۷۲، ۷۳، ۷۶،  
 ۷۷، ۷۸، ۷۹، ۸۲، ۸۵، ۸۹، ۱۲۲، ۱۴۷، ۱۷۲  
 رهیافت‌های میان رشته‌ای..... ۵، ۹، ۲۰، ۸۴، ۹۷، ۲۲۰

## ز

زرحونی..... ۹  
 زیست - پزشکی..... ۹، ۱۰، ۱۲، ۱۴، ۱۸، ۲۴، ۸۴،  
 ۱۱۵، ۲۳۲، ۲۳۹  
 زیست پزشکی..... ۱۱، ۱۲، ۹، ۱۱، ۱۸، ۱۹، ۲۱، ۲۴،  
 ۲۵، ۳۵، ۳۷، ۴۲، ۴۵، ۴۶، ۷۲، ۷۹، ۸۰، ۸۹،  
 ۹۳، ۹۸، ۱۱۵، ۱۲۹، ۱۴۱، ۱۴۷، ۱۵۲، ۱۷۷،  
 ۱۸۰، ۱۸۶، ۲۳۰، ۲۳۲، ۲۳۶، ۲۳۷، ۲۳۸، ۲۴۳،  
 ۲۴۹  
 زیست فناوری..... ۱۸، ۳۵، ۴۲، ۴۴، ۴۵، ۴۶، ۱۷۱،  
 ۱۷۳، ۱۸۲، ۱۸۶، ۲۱۷، ۲۱۹، ۲۲۰، ۲۲۳  
 زیست فناوری دریایی..... ۲۱۷، ۲۱۹، ۲۲۰  
 زیست محیط..... ۶، ۹۹، ۱۸۲، ۱۹۹، ۲۰۰، ۲۲۲  
 زیست محیطی..... ۶، ۹۹، ۱۸۲، ۱۹۹، ۲۰۰، ۲۲۲

## ژ

ژن..... ۱۲، ۱۴، ۲۱، ۵۹، ۸۷، ۹۰، ۹۴، ۱۶۲، ۱۸۶،  
 ۲۳۴  
 ژنتیک..... ۳۵، ۸۰، ۸۷، ۸۸، ۹۶، ۱۶۲، ۲۳۴

چاقی..... ۱۱، ۹۵، ۹۶  
 چرخه دانایی..... ۲۳۵، ۲۳۶  
 چشم‌انداز..... ۴، ۱۰، ۱۹، ۲۶، ۶۲، ۹۲، ۱۰۶، ۱۱۶،  
 ۱۲۷، ۱۴۵، ۱۴۷، ۱۶۹، ۲۰۳، ۲۱۱، ۲۱۸، ۲۲۲  
 چند رشته‌ای..... ۷۱  
 چیپس‌های پروتئینی..... ۶

## ح

حجم به ارزش..... ۱۱، ۱۱۲، ۱۱۳، ۱۱۴، ۱۱۵  
 حسگرهای زیستی..... ۴۶، ۱۰۹  
 حسگرهای ویژه..... ۱۱۰

## خ

خطر پذیری..... ۱۳، ۲۴۲  
 خود مراقبتی..... ۱۱۰، ۱۱۱، ۱۱۴، ۱۲۶، ۱۲۸  
 خوشه سازی..... ۲۴۱  
 خوشه‌های دانایی..... ۱۹۸، ۲۰۲، ۲۰۷، ۲۱۳  
 خون..... ۶، ۳۶، ۴۶، ۵۴، ۱۱۲، ۱۶۹، ۲۴۶

## د

داده‌های بزرگ..... ۹، ۱۱، ۱۲، ۱۸، ۱۹، ۱۱۵، ۱۱۶،  
 ۱۱۷، ۱۳۱، ۱۶۲، ۱۶۵، ۱۶۶، ۱۷۱، ۱۷۳  
 دارو... ۱۰، ۱۸، ۳۳، ۳۹، ۴۸، ۴۹، ۵۰، ۵۱، ۵۲، ۵۳،  
 ۸۸، ۱۳۰، ۱۵۱، ۲۴۷  
 دانایی محور..... ۱۹۷، ۲۰۱، ۲۰۲، ۲۰۳، ۲۰۵، ۲۰۷،  
 ۲۰۸، ۲۰۹، ۲۱۳، ۲۱۸، ۲۲۱، ۲۳۲، ۲۳۴، ۲۴۲،  
 ۲۴۹  
 درمان..... ۱۳۲  
 درمانگاه..... ۱۳۲  
 دژنراتیو عصبی..... ۹۵، ۱۸۳  
 دموگرافیک..... ۹۰، ۱۱۶، ۱۸۸، ۲۴۶  
 دهکده‌های دانایی..... ۱۹۸

|   |  |
|---|--|
| سیاست‌گذاران سلامت ..... ۱۱۷                        | ژنوتیپ ..... ۹۳، ۹۲، ۱۲، ۹                                       |
| سیستمی ... ۲۵، ۲۳، ۲۱، ۲۰، ۹، ۶، ۵، ۴، ۳، ۱۰، ۶، ۲۶ | ژنوتیپ - بافت ..... ۱۲، ۹  |
| ۱۳۱، ۲۳۴، ۲۴۷، ۲۴۸                                  | ژنوم... ۹، ۱۰، ۳، ۷، ۱۰، ۱۲، ۱۶، ۲۴، ۹۰، ۹۱، ۹۲                  |
| سیلیکایی ..... ۴۵                                   | ۱۵۹، ۱۶۶، ۱۷۱، ۱۷۲، ۲۳۲، ۲۳۴                                     |
| سیلیکون والی ..... ۲۰۱، ۱۹۹                         | ژنوم انسان... ۳، ۱۰، ۲۴، ۹۲، ۱۵۹، ۱۶۶، ۱۷۱، ۱۷۲، ۲۳۲             |
| سیمبیوتیک ..... ۵                                   | ژنومیک... ۱۰، ۶، ۱۷، ۲۲، ۳۶، ۳۷، ۸۷، ۸۸، ۹۹، ۲۳۳                 |
| سینرژتیک ..... ۳۵                                   | ژنومیکس ..... ۲۶، ۱۲۲، ۱۲۹، ۱۳۳، ۱۶۶                             |
| سینرژیسیم ..... ۳۷                                  |  |
|   | <b>س</b>   |
| <b>ش</b>  |  |
| شبکه سازی ..... ۲۴۵، ۲۴۱، ۲۴۰، ۲۰، ۱۳، ۹            | سازمان بهداشت جهانی ..... ۱۲۰                                    |
| شبکه‌های اجتماعی ..... ۱۰۹، ۶                       | سازمان یادگیرنده ..... ۲۴۶، ۲۴۵، ۲۴۴، ۱۳                         |
| شبکه‌های آشوب زده ..... ۱۴، ۵، ۴                    | سازمان‌های یادگیرنده ..... ۲۴۷، ۲۴۴                              |
| شبکه‌های بهداشت ..... ۱۲۹                           | سالمندان ..... ۱۲۰، ۱۱۹، ۱۰۷، ۱۱                                 |
| شبکه‌های پژوهش‌های بالینی ..... ۲۴۵، ۱۷، ۹          | سالمندی ..... ۱۸۸، ۱۲۹، ۱۲۱، ۱۲۰، ۹۰، ۸۹، ۱۰                     |
| شبکه‌های دانایی ..... ۲۴۰                           | سیک زندگی ..... ۲۲۳، ۱۲۶   |
| شبه سازی ..... ۲۴۷، ۱۵۰                             | سرطان ..... ۹۰، ۸۸، ۸۲، ۸۰، ۶۰، ۴۳، ۳۹، ۱۲، ۱۰، ۹۱، ۹۲، ۱۱۱، ۱۱۹ |
| شکاف دیجیتالی ..... ۳۶                              | سرمایه انسانی . ۱۹۵، ۱۹۶، ۱۹۷، ۲۰۰، ۲۰۷، ۲۰۹، ۲۲۹                |
| شناختی .. ۳۳، ۳۵، ۳۶، ۴۴، ۸۰، ۹۲، ۹۴، ۹۵، ۱۵۸       | سکوی فناوری اطلاعات ..... ۱۲۵                                    |
| ۱۶۸، ۱۷۰، ۱۷۲، ۱۷۳                                  | سلامت از راه دور ..... ۱۱۰، ۱۰۹، ۱۱                              |
| شهر دانایی ۱۳، ۱۹۷، ۱۹۸، ۱۹۹، ۲۰۰، ۲۰۲، ۲۰۳         | سلامت همراه ..... ۱۱۱، ۱۱۰، ۱۰۹، ۱۱                              |
| ۲۰۶، ۲۰۷، ۲۰۸، ۲۱۶، ۲۱۸                             | سلول ... ۹، ۱۳، ۱۵، ۲۶، ۴۶، ۴۷، ۵۲، ۵۳، ۵۸، ۶۳                   |
| شهرهای دانایی ۱۹۸، ۱۹۹، ۲۰۲، ۲۰۳، ۲۰۶، ۲۰۷          | ۸۰، ۱۳۰، ۱۳۳، ۱۴۵، ۱۴۶، ۱۶۴، ۱۶۷، ۱۶۹                            |
| ۲۰۹، ۲۱۱، ۲۱۲                                       | ۲۳۲، ۲۳۴   |
| <b>ص</b>  | سلول‌های بنیادی ۸، ۲۲، ۴۵، ۵۳، ۵۴، ۵۶، ۵۸، ۵۹                    |
| صنعت ..... ۱۱۱، ۱۱۰، ۱۰۹، ۱۰۵، ۸۴، ۶۰، ۱۷، ۱۰       | ۶۰، ۶۱، ۶۳، ۶۴، ۸۷، ۸۸، ۱۴۵، ۱۴۶                                 |
| ۱۲۸، ۱۴۴، ۱۵۱، ۱۵۲، ۱۷۱، ۱۸۶، ۲۰۸، ۲۱۲              | سلول‌های بنیادی پرتوان ..... ۸، ۵۴، ۵۵، ۵۸، ۶۰                   |
| ۲۱۶، ۲۱۷، ۲۲۱، ۲۲۲، ۲۳۰                             | سلول‌های سرطانی ..... ۸۱، ۸۰، ۴۷، ۴۳                             |
| <b>ط</b>  | سلول‌های مزانشیمی ..... ۶۱                                       |
| طب سنتی ..... ۱۲۶، ۱۲۰، ۱۱۹                         | سناریونویسی . ۶، ۱۲، ۱۷۷، ۱۷۹، ۱۸۰، ۱۸۱، ۱۸۳                     |
|   | ۱۸۵  |
|   | سه گانه مقدس ..... ۱۹۷، ۴  |

فناوری اطلاعات ..... ۹، ۱۱، ۱۶، ۱۸، ۱۹، ۳۵، ۱۱۱،

۱۱۶، ۱۱۷، ۱۲۸، ۱۶۶، ۱۹۵، ۱۹۶، ۲۰۱

فناوری برتر ..... ۱۹۶، ۱۹۷، ۱۹۹، ۲۰۲، ۲۱۳، ۲۱۴،

۲۲۱، ۲۲۲

فناوری پزشکی ..... ۵۵، ۱۲۷، ۲۱۹

فناوری چپیس ..... ۳۳

فناوری دیجیتال ..... ۱۰۹

فناوری زیستی ..... ۳۴، ۳۵، ۴۵، ۱۸۳

فناوری‌های اومیکس ..... ۳

فناوری‌های برتر ..... ۹، ۶، ۱۲، ۲۱، ۱۳۱، ۱۳۳، ۲۱۰،

۲۱۷، ۲۱۸، ۲۱۹، ۲۲۳

فناوری‌های زاینده ..... ۲۲۱

فناوری‌های زیستی ..... ۲۲، ۳۳، ۲۲۰

فناوری‌های سلولی - بافتی ..... ۱۲۸

فناوری‌های نوپدید ..... ۹، ۵، ۱۲، ۲۱

فناوری‌های نوین ..... ۵، ۹، ۸، ۱۳، ۳۷، ۱۲۲، ۱۶۷،

۱۷۱، ۱۸۹، ۱۹۷

فناوری‌های همگرا ..... ۱۰، ۳۱، ۳۳، ۳۴، ۳۷، ۴۰، ۴۱،

۱۸۸، ۲۲۰

فنتوپ ..... ۶، ۱۵، ۲۱، ۹۲، ۹۳

فنتویی ..... ۸۸، ۹۲

فنومیکس ..... ۱۰، ۹۲

فیزیک ..... ۱۶۶، ۱۶۹

فیزیولوژی ..... ۳، ۸۰، ۸۸

فیزیولوژیک ..... ۳۴، ۴۸، ۵۰، ۵۲، ۷۹، ۸۷، ۹۲، ۱۴۵،

۱۵۸، ۱۶۹

## ک

کارآفرینی ..... ۱۹۵، ۲۰۸، ۲۱۰، ۲۱۸، ۲۴۳

کارآمدی ..... ۳۷، ۹۵، ۱۱۳، ۲۴۶

کارگران دانایی ..... ۱۹۹، ۲۰۳، ۲۰۵، ۲۰۷، ۲۰۸، ۲۰۹،

۲۱۰، ۲۱۲، ۲۱۳، ۲۱۴، ۲۱۶، ۲۲۱، ۲۲۳، ۲۴۴،

۲۴۸

طبابت ..... ۱۳۲

## ع

عدالت ..... ۲۱، ۱۱۴، ۲۰۸، ۲۳۰

علوم اعصاب ..... ۳۵، ۴۱، ۴۴، ۸۰، ۹۵، ۹۸، ۱۵۷، ۱۵۹،

۱۶۰، ۱۶۴، ۱۶۶، ۱۶۷، ۱۶۸، ۱۷۱، ۱۷۲، ۱۷۳

علوم رفتاری ..... ۱۰، ۷۸، ۸۲، ۸۴، ۹۸، ۲۳۸

علوم زیستی محاسبه گرایانه ..... ۲۲

علوم سلامت ..... ۷۴

علوم شناختی ..... ۳۳، ۳۴، ۳۵، ۲۲۰

علوم کامپیوتر ..... ۱۶، ۳۵، ۱۰۹، ۱۶۶، ۲۳۷

## غ

غریبالگری ..... ۱۴، ۴۸، ۵۰، ۵۱، ۵۲، ۵۳، ۸۸، ۱۴۴،

۲۳۶، ۲۴۲

## ف

فارماکولوژی ژنومی ..... ۴۴

فرارشته‌ای ..... ۷۶، ۹۳، ۱۷۲

فقر ۱۰۹، ۲۴۸

فناورانه ..... ۷، ۲۵، ۴۰، ۴۵، ۹۰، ۱۶۰، ۱۸۵، ۱۸۷،

۲۱۷، ۲۱۹

فناوری .. ۱، ۲، ۵، ۶، ۷، ۹، ۱۱، ۳، ۴، ۸، ۹، ۱۱، ۱۶،

۱۸، ۲۱، ۲۲، ۲۵، ۳۳، ۳۴، ۳۵، ۳۶، ۳۸،

۳۹، ۴۲، ۴۳، ۴۴، ۴۵، ۴۸، ۴۹، ۵۱، ۵۴، ۵۵،

۶۲، ۶۳، ۶۴، ۹۰، ۹۲، ۹۸، ۱۰۶، ۱۰۹، ۱۱۰،

۱۱۱، ۱۱۴، ۱۱۵، ۱۱۶، ۱۱۷، ۱۱۹، ۱۲۷، ۱۲۸،

۱۳۰، ۱۳۳، ۱۴۳، ۱۴۴، ۱۴۵، ۱۴۷، ۱۴۸، ۱۴۹،

۱۵۱، ۱۵۲، ۱۵۹، ۱۵۸، ۱۶۴، ۱۶۶، ۱۶۸، ۱۷۱،

۱۷۳، ۱۷۴، ۱۷۹، ۱۸۱، ۱۸۲، ۱۸۴، ۱۸۷، ۱۹۵،

۱۹۶، ۱۹۷، ۱۹۸، ۱۹۹، ۲۰۰، ۲۰۱، ۲۰۲، ۲۰۸،

۲۰۹، ۲۱۰، ۲۱۲، ۲۱۳، ۲۱۴، ۲۱۵، ۲۱۷، ۲۱۸،

۲۱۹، ۲۲۰، ۲۲۱، ۲۲۲، ۲۳۰

- محیط زیست ..... ۷، ۱۸، ۲۱، ۳۳، ۳۶، ۱۰۶، ۱۹۹، ۲۰۴، ۲۰۵، ۲۰۹، ۲۲۰
- مدل‌های بافتی ..... ۱۰، ۴۸، ۵۰
- مدل‌های جانوری ..... ۴۸، ۵۳، ۵۴، ۸۰، ۹۵
- مدل‌های ریاضی ..... ۵۲
- مدیریت ۱۶، ۱۹، ۲۳، ۷۵، ۸۴، ۸۶، ۹۷، ۱۱۵، ۱۱۶، ۱۲۰، ۱۲۵، ۱۲۷، ۱۲۸، ۱۵۱، ۱۸۰، ۱۸۱، ۱۸۸، ۱۹۶، ۱۹۸، ۲۱۸، ۲۲۹، ۲۳۱، ۲۳۳، ۲۳۴، ۲۳۵، ۲۳۶، ۲۳۷، ۲۴۸
- مدیریت اطلاعات ..... ۱۹، ۱۱۶
- مدیریت دانایی ..... ۸۴، ۲۲۹، ۲۳۱، ۲۳۳، ۲۳۵، ۲۳۶، ۲۳۷
- مدیریت سلامت ..... ۱۱۶، ۱۲۵، ۱۲۸، ۱۵۱
- مدیکید ..... ۱۰۷
- مدیکیر ..... ۱۰۷، ۱۱۵
- مراقبت ..... ۷۴، ۱۰۹، ۱۱۱، ۱۱۲، ۱۱۴، ۱۱۶، ۱۱۸، ۱۲۰، ۱۲۵، ۱۲۷، ۱۳۲، ۱۴۸، ۲۴۱
- مراقبت‌های سلامت ..... ۳، ۷، ۸، ۹، ۱۸، ۲۵، ۵۶، ۷۲، ۱۰۷، ۱۰۹، ۱۱۰، ۱۱۱، ۱۱۴، ۱۱۵، ۱۱۶
- ۱۱۷، ۱۲۰، ۱۲۲، ۱۲۴، ۱۲۷، ۱۲۸، ۱۲۹، ۱۳۰، ۱۳۲، ۱۸۰، ۲۲۱
- مراقبت‌های سلامت پاسخگو ..... ۱۱۴
- مراقبت‌های سلامت فرامکان ..... ۱۱، ۱۰۹
- مراکز تعالی ..... ۱۸، ۱۱۵
- مزم ..... ۱۷، ۸۰، ۹۷، ۱۲۸، ۱۷۰، ۲۴۶
- مسائل پیچیده ..... ۲۴، ۷۱، ۷۵، ۸۵، ۹۳
- مسمومیت ..... ۵۰
- مسیرهای آناتومیک ..... ۱۲، ۱۵۸، ۱۶۰، ۱۶۱، ۱۶۳
- مشارکتی ..... ۷، ۱۱، ۲۳، ۲۴، ۲۴۲، ۱۲۲، ۱۲۹، ۱۳۳، ۱۹۷، ۲۴۲
- مشتریان خدمات سلامت ..... ۱۰۸، ۱۲۴
- مشتریان سلامت ..... ۱۰۹
- کارگزاران ..... ۱۰
- کتابخانه‌های ملکولی ... ۹، ۱۳، ۱۴، ۲۳۵، ۲۳۶، ۲۴۲
- کروماتوگرافی ..... ۳
- کریدور علم و فناوری. ۱۹۷، ۲۱۰، ۲۱۶، ۲۱۷، ۲۱۸، ۲۱۹، ۲۲۱، ۲۲۲
- کریدورهای علم و فناوری. ۶، ۱۳، ۱۹۳، ۱۹۶، ۱۹۷، ۱۹۸، ۱۹۹، ۲۰۰، ۲۰۱، ۲۰۹، ۲۱۰، ۲۱۲، ۲۱۳، ۲۱۶، ۲۱۹، ۲۲۲
- کسب و کار ..... ۱۷، ۲۵، ۷۶، ۸۴، ۱۰۵، ۱۰۷، ۱۲۵، ۱۷۹، ۱۸۱، ۱۸۲، ۱۸۶، ۱۹۷، ۲۰۱، ۲۰۳، ۲۰۵، ۲۰۸، ۲۱۰، ۲۱۱، ۲۱۲، ۲۱۳، ۲۱۴، ۲۱۷، ۲۲۹، ۲۴۲
- کشاورزی ..... ۱۰۵
- کنسرسیونوم ۱۰، ۱۱، ۸۵، ۸۶، ۸۷، ۸۸، ۸۹، ۹۰، ۹۱، ۹۲، ۹۳، ۹۵، ۹۷
- کودکان ..... ۲۳۸، ۹۵
- کونکتوم عملکردی ..... ۱۶۳
- 
- ل
- 
- لاین‌های سلولی ..... ۵۰، ۵۴
- 
- م
- 
- مارپیچ سه گانه ..... ۱۹۷، ۲۰۸
- مارکرهای زیستی ..... ۶، ۴۶
- مبتنی بر شاهد ..... ۱۳۲
- متابولوم ..... ۱۳
- متابولومیکس ..... ۸
- متابولیک ..... ۱۳، ۲۱، ۹۶، ۲۳۲، ۲۴۹
- متازنوم ..... ۲۳۴
- متاورس ..... ۵
- مجازی‌سازی ..... ۳۳، ۲۲۰
- محاسبه گرایانه ..... ۲۲، ۷۸



- ناهمگن ..... ۱۳۲، ۲۳۹  
 نرون ..... ۱۵۸، ۱۶۰، ۱۶۱، ۱۶۲، ۱۶۳، ۱۶۴، ۱۶۶  
 ۱۶۷، ۱۶۹، ۱۷۰
- نسخه برداری ..... ۱۵، ۲۳۴  
 نظام آموزش پزشکی ..... ۱۱، ۱۲۱، ۱۲۲  
 نظام بیمه ..... ۱۰۷  
 نظام خود مراقبتی ..... ۱۱۰  
 نظام سطح بندی ..... ۱۲۹  
 نظام سلامت ۱۱، ۹، ۱۹، ۲۴، ۲۶، ۱۱۱، ۱۱۶، ۱۱۹،  
 ۱۲۰، ۱۲۱، ۱۲۲، ۱۲۹، ۱۳۳
- نظام نوآوری ..... ۶۳، ۲۴۳  
 نقشه جامع علمی ..... ۹، ۱، ۱۸، ۱۹  
 نقشه فعالیت مغز ..... ۱۵۸  
 نقشه برداری مغز ..... ۱۰، ۴۱، ۱۷۲  
 نکتار ..... ۹، ۱۷، ۲۴۱، ۲۴۵  
 نهادهای آموزشی ..... ۲۱۱  
 نوآور ..... ۲۰۶، ۲۱۶، ۲۱۸  
 نوآوری ..... ۱۰، ۱۱، ۱۳، ۱۸، ۲۰، ۲۱، ۳۳، ۳۶، ۳۷،  
 ۹۸، ۱۰۶، ۱۱۴، ۱۱۶، ۱۸۴، ۱۹۵، ۲۰۰، ۲۰۱،  
 ۲۰۳، ۲۰۶، ۲۰۸، ۲۰۹، ۲۱۲، ۲۱۳، ۲۱۴، ۲۱۸،  
 ۲۱۹، ۲۲۰، ۲۲۱، ۲۳۲، ۲۳۷، ۲۴۱، ۲۴۲، ۲۴۳،  
 ۲۴۸
- نوروفیزیولوژی ..... ۹۵، ۱۶۴، ۱۶۹  
 نورولوژیک ..... ۲۱، ۱۷۱  
 نیروی کار ..... ۶۳، ۹۸، ۱۹۵، ۲۰۱، ۲۰۹، ۲۱۴، ۲۱۷،  
 ۲۲۹، ۲۳۱، ۲۴۴
- مغز ..... ۱۲، ۳۳، ۳۴، ۳۹، ۴۱، ۵۷، ۹۲، ۹۴، ۹۵، ۱۵۰،  
 ۱۵۵، ۱۵۷، ۱۵۸، ۱۵۹، ۱۶۰، ۱۶۱، ۱۶۲، ۱۶۳،  
 ۱۶۴، ۱۶۵، ۱۶۶، ۱۶۷، ۱۶۸، ۱۶۹، ۱۷۰، ۱۷۱،  
 ۱۷۲، ۱۷۳
- مناطق ویژه علم و فناوری ..... ۱۳، ۱۹۶، ۱۹۷، ۱۹۸،  
 ۱۹۹، ۲۰۰، ۲۰۱، ۲۱۰، ۲۱۳، ۲۱۵، ۲۱۹، ۲۲۱  
 منطقه ویژه علم و فناوری ..... ۱۹۶، ۱۹۷، ۲۱۹، ۲۲۱  
 مهندسی بافت ..... ۴۸، ۴۹، ۵۲، ۵۴، ۵۶، ۵۸، ۵۹، ۸۷،  
 ۸۸، ۱۴۴، ۱۴۷، ۲۲۰  
 مهندسی مجدد ..... ۱۰، ۸۴، ۲۲۹، ۲۳۰، ۲۴۱، ۲۴۵،  
 ۲۴۶، ۲۴۷
- مهندسی نورومورفیک ..... ۴۴، ۴۶  
 مواد زیستی ..... ۴۳، ۵۴، ۵۶، ۵۷، ۵۸، ۵۹  
 مواد کمپوزیت ..... ۵۸  
 مواد مخدر ..... ۱۶۸  
 مواد نانویی ..... ۳۶، ۴۲، ۴۳، ۴۵، ۴۶  
 موتاسیون ..... ۴۱، ۹۴، ۹۵  
 میان رشته‌ای ..... ۱۰، ۱۱، ۴، ۱۰، ۲۰، ۲۱، ۲۲، ۲۴،  
 ۳۹، ۴۰، ۵۴، ۵۹، ۶۳، ۷۱، ۷۲، ۷۳، ۷۵، ۷۷،  
 ۷۹، ۸۰، ۸۲، ۸۴، ۸۵، ۸۶، ۸۸، ۹۰، ۹۲، ۹۳،  
 ۹۵، ۹۷، ۹۸، ۱۰۰، ۱۰۱، ۱۵۷، ۱۶۹، ۱۷۲،  
 ۲۲۱، ۲۳۹، ۲۴۳، ۲۴۴
- میکروسکوپ الکترونی ..... ۱۶۳  
 میکروفلوئیدیک ..... ۸، ۲۶، ۴۵، ۴۹، ۵۰، ۵۱، ۵۲  
 مینیاتورسازی ..... ۳۳، ۵۱

## ن

- نانو ..... ۱۰، ۳۵، ۳۶، ۳۹، ۴۱، ۴۳، ۴۴، ۴۵، ۴۶، ۴۷،  
 ۵۷، ۸۵، ۱۶۶، ۱۶۹، ۱۷۱، ۲۲۳، ۲۴۹
- نانو زیست فناوری ..... ۴۴، ۴۷  
 نانوبوت ..... ۴۷  
 نانوفناوری ..... ۱۹، ۲۲، ۳۳، ۳۵، ۳۶، ۳۹، ۴۲، ۴۳، ۴۴،  
 ۴۵، ۴۶، ۱۷۳
- هزینه سلامت ..... ۱۲۰  
 همگرایی فناوری ..... ۱۰، ۳۳، ۳۴، ۳۵، ۳۶، ۳۷، ۳۸،  
 ۴۰، ۴۴، ۴۵، ۴۶، ۲۲۰
- هوش ..... ۱۷۰، ۱۹۵  
 هوش مصنوعی ..... ۱۷۰

|                          |   |
|--------------------------|---|
| ویرایش ژنوم ..... ۴۱، ۱۰ | هولستیک ..... ۱۲۹، ۲۱، ۶، ۴، ۱۰             |
| ویروس ..... ۱۱۹          | هیبرید ..... ۲۴۰، ۲۲۰، ۲۰۸، ۱۷۳، ۹۹، ۴۶، ۴۲ |
|                          | هیدورژل ..... ۱۴۴                           |
| <b>D</b>                 | <b>و</b>                                    |
| DNA ..... ۲۳۴، ۷، ۶، ۳   | وراثتی ..... ۲۳۴، ۹۴                        |