رایانش زیستی

کد موضوعی: ۲۸۰
شماره مسلسل:۱۴۹۷۰
شهریورماه ۱۳۹۵

معاونت پژوهش‌های زیربنایی و امور تولیدی
دفتر: مطالعات ارتباطات و فناوری‌های نوین

به‌نام خدا

فهرست مطالب

چکیده ۱
مقدمه ۱
۱. زنجیره اطلاعات زیستی ۲
۲. رایانش زیستی ۵
۳. تاریخچه ۵
۴. کاربردهای رایانش زیستی ۶
۵. بازار جهانی رایانش زیستی ۱۸
۶. ضرورت رایانش زیستی در ایران ۱۸
۷. الزامات توسعه رایانش زیستی ۲۱
جمع‌بندی و پیشنهادها ۳۱
منابع و مآخذ ۳۵

رایانش زیستی

چکیده

زنجیره علوم اطلاعات زیستی شامل دانش‌هایی است که در آن کلیه اطلاعات زیستی از سطح مولکولی تا سطح جامعه جمع‌آوری، تحلیل و مدیریت می‌شود. رایانش زیستی به‌عنوان یکی از شاخه‌های این دانش با به‌کارگیری و تحلیل داده‌های زیستی، به توسعه الگوریتم‌های مدل‌سازی و شبیه‌سازی یک فرآیند زیستی در بستر فناوری اطلاعات می‌پردازد. امروزه کارکردهای رایانش زیستی در حوزه‌های مختلفی از قبیل کشاورزی، پزشکی و سلامت و سایر خدمات شهروندی درحال گسترش است. افزایش توجه به توسعه فناوری‌های زیستی در جهان نشان می‌دهد که در سال‌های آتی، حوزه سلامت به سمت توسعه خدمات مبتنی‌بر رایانش زیستی حرکت خواهد کرد. در کشور ما نیز علاوه‌بر لزوم حرکت مطابق با روند جهانی، مسائلی از قبیل مدیریت حفاظت و بهره‌برداری از ذخایر ژنتیکی و اجرایی کردن سیاست‌های سلامت با هدف تقدم پیشگیری بر درمان و بهبود کیفیت زندگی، توسعه رایانش زیستی را اجتناب‌ناپذیر می‌سازد. به این منظور، تقویت زیرساخت‌های فنی از قبیل تجهیزات کافی و پیشرفته برای اخذ نمونه و استخراج داده و بستر مناسبی برای ذخیره‌سازی و یکپارچه‌سازی، تحلیل و حفاظت از داده‌ها مورد نیاز است. علاوه‌بر آن، زیرساخت‌های قانونی برای حفظ حریم خصوصی و تعیین سطوح دسترسی به اطلاعات، مالکیت فکری و سایر الزامات قراردادی استفاده از داده‌ها نیز باید ایجاد گردد. در این میان توجه به مسائلی از قبیل تربیت نیروی متخصص و با تجربه، تأمین اعتبارات لازم ازسوی دولت و بخش خصوصی، فرهنگ‌سازی و آموزش جامعه و همگرایی متولیان اجرایی و ذینفعان ازجمله وزارت ارتباطات و اطلاعات، وزارت بهداشت، جهاد کشاورزی، قوه قضائیه، بیمه‌ها، شرکت‌های دارویی و تجهیزات پزشکی نیز از دیگر الزامات مهم توسعه رایانش زیستی در کشور است.

مقدمه

در این دوره که با پیشرفت‌های زیادی درباره دستیابی، استفاده و مدیریت داده‌های عظیم[1] مواجه هستیم، زیست‌فناوری نیز از این تحول دور نمانده است و امکان دسترسی به اطلاعات زیستی با جزئیات کامل و پیچیده، هر روز بیشتر می‌شود. این روند، از یک‌سو پردازش داده‌های زیستی و ازسویی دیگر مدیریت و ساماندهی آنها و توسعه ابزارهای فناوری اطلاعات خاص این حوزه را الزامی می‌سازد.

1. Big Data

الحاق اطلاعاتی که در سطوح مختلف زیستی حاصل شده‌اند، از قبیل اطلاعات ژن‌ها و پروتئین‌های بدن موجود زنده و پردازش و تفسیر آنها، دید بهتری را نسبت به نحوه عملکرد کلی آن موجود زنده فراهم می‌آورد. بر این اساس، مفهومی به نام رایانش زیستی[1] مطرح شده که هدف از آن توسعه ابزارها، الگوریتم‌ها، مدل‌ها و روش‌هایی است که به پردازش داده‌های زیستی و استفاده از نتایج آن می‌انجامد.

این گزارش به بررسی مفهوم رایانش زیستی، ضرورت،کاربردها، ابزارها و زیرساخت‌های مورد نیاز برای آن می‌پردازد.

۱. زنجیره اطلاعات زیستی

زنجیره اطلاعات زیستی (COB)[2] توصیف چند بُعدی از زیست‌شناسی مولکولی تا کل جامعه به همراه کلیه ابزارهای مورد نیاز برای ترسیم همبستگی‌های موجود در این زنجیره است. توسعه ابزارهای مورد نیاز برای استخراج اطلاعات زیستی اجزای سازنده بدن موجودات زنده از قبیل دی‌ان‌آ،[3] پروتئین‌ها، سلول‌ها و بافت‌ها و نیز مدیریت اطلاعات موجود و تحلیل ارتباط و هماهنگی آنها باعث شده شناخت بیشتری از فرآیندها و مکانیسم‌های زیستی و در نتیجه عملکرد یکپارچه بدن حاصل شود. در این زنجیره، اطلاعات همه مقیاس‌ها جمع‌آوری و ارتباط آنها نشان داده می‌شود. مثلاً جمع‌آوری اطلاعات فردی و تبدیل آن به اطلاعات جامعه (مانند آمارهای مراقبت‌های بهداشتی) بسیار ارزشمند است، چون اطلاعات فرد را در شرایط محیطی کل جامعه قرار می‌دهد. آنچه اطلاعات زیستی را ارزشمند و کلید حل مشکلات می‌سازد، پیدا کردن رابطه میان علت‌ها (نظیر بیان ژن، واکنش‌های پروتئینی و نظیر آن) و معلول‌ها (نظیر نتایج مراقبت‌های بهداشتی برای افراد و جوامع) است.

زنجیره اطلاعات زیستی را می‌توان در چند بخش دسته‌بندی کرد:

ـ **بیوانفورماتیک:** سری اطلاعات پایدار مستخرج از اجزای سازنده موجود زنده که برای مدت زمان نامحدودی قابل نگهداری در پایگاه‌های اطلاعاتی است.

ـ **رایانش زیستی:**[4] ابزارهای الگوریتمی برای انجام تحلیل‌های زیست‌شناسی روی اطلاعات زیستی.

ـ **زیرساخت‌های اطلاعاتی:**[5] مجموعه کاملی از سیستم‌های مدیریت و فناوری اطلاعات، شبکه‌های ارتباطی پشتیبان و ابزارهای تحلیل اطلاعات زیستی از قبیل نرم‌افزارهای مدلسازی و شبیه‌سازی.

1. Computational Biology
2. Continuum of Bio Informatics
3. DNA
4. Computational Biology
5. Infrastructures

۱-۱. جمع‌آوری اطلاعات زیستی

برای اینکه زنجیره اطلاعات زیستی تکمیل و قابل استفاده گردد، باید در ابتدا اطلاعاتی که توصیف‌کننده خصوصیات زیستی در مقیاس‌های چندگانه (از مولکول تا کل وجود زنده) هستند به‌طور دقیق جمع‌آوری شوند. بسته به مقیاس زیستی از مکانیسم‌های مختلفی برای اخذ اطلاعات استفاده می‌شود. جدول ۱ سطوح اطلاعات زیستی و ابزارهای مورد نیاز برای جمع‌آوری اطلاعات به صورت دیجیتالی با سطح معینی از دقت را نشان می‌دهد.

جدول ۱. ابزار مورد نیاز برای گرفتن اطلاعات زیستی انسان در مقیاس‌های مختلف

مقیاس زیستی	ابزارهای گرفتن اطلاعات
دی‌ان‌آ، ژن‌ها	توالی‌های دی‌ان‌آ الکتروفورز میکروآرایش‌های مشابه
پروتئین‌ها	الکتروفورز طیف‌سنجی جرمی میکروآرایش‌های مشابه
سلول‌ها	ارزیابی‌های زیستی بررسی فلوئورسنت تصویربرداری دیجیتالی
بافت‌ها	تصویربرداری دیجیتالی آنالیزهای فوق کمی
موجود زنده	رادیولوژی دیجیتالی (اشعه X، CT، MRI، PET) اطلاعات شیمی ثبت مراقبت‌های بهداشتی
جامعه	ثبت مراقبت‌های بهداشتی جمع‌آوری شده

اگرچه بهترین حالت این است که کل اطلاعات در همه مقیاس‌ها جمع‌آوری و ثبت شوند، اما این کار عملاً امکانپذیر نیست و معمولاً در گام اول تنها قسمتی از اطلاعات، تولید شده و مورد استفاده قرار می‌گیرد و سپس این اطلاعات با گذشت زمان غنی‌تر می‌شود.

۲-۱. پایگاه‌های داده زیستی

یکی از ابعاد مدیریت اطلاعات، ذخیره‌سازی و بازیابی داده‌هاست. در دهه‌های گذشته مدیریت اطلاعات با حجم بالا بسیار دشوار بود؛ ولی این کار امروزه آسان‌تر شده است. اکنون سیستم‌های کامپیوتری سریع با توانایی ذخیره‌سازی بسیار وسیع (ابرکامپیوترها) در بازار وجود دارند. علاوه‌بر آن پایگاه‌های

اطلاعات زیستی نیز وجود دارند که حاوی داده‌های ژنتیکی یا غیرژنتیکی هستند. به‌عنوان مثال سه پایگاه داده مهم GenBank، DDBJ و EMBL، اعضای پایگاه داده بین‌المللی مشترک توالی‌های نوکلئوتیدی[1] هستند که اطلاعات مربوط به توالی‌های ژنتیکی و پروتئینی را به صورت رایگان در اختیار عموم قرار می‌دهند.

GenBank در مرکز اطلاعات بیوتکنولوژی (NCBI)[2] در محل انستیتوی ملی سلامت آمریکا (NIH) واقع شده و حاوی اطلاعاتی در مورد توالی‌های ژنتیکی و پروتئینی و پروژه‌های ژنوم و توضیحاتی از کتاب‌های مرجع می‌باشد. NCBI در سال ۱۹۹۸ به‌منظور هدایت پروژه‌های دارویی و پزشکی به کمک روش‌های کامپیوتری پردازش اطلاعات ایجاد شد و امروزه به‌عنوان بزرگ‌ترین مرکز تحقیقات اطلاعات ژنتیکی به‌خصوص در حوزه پزشکی و دارویی در دنیا شناخته می‌شود. NCBI جهت رسیدن به اهداف خود فعالیت‌های زیر را دنبال می‌کند:

- هدایت تحقیقاتی در سطح مولکولی با بهره‌گیری از روش‌های ریاضی و کامپیوتری
- همکاری با انستیتوهای دیگر، دانشگاه‌ها، صنعت و دیگر سازمان‌های دولتی
- ایجاد ارتباط‌های علمی با برگزاری همایش‌ها، کارگاه‌های آموزشی و سلسله سخنرانی‌ها
- دوره‌های آموزشی برای دانشجویان در زمینه‌های بیولوژی کامپیوتری
- توسعه و انتشار نرم‌افزارها و پایگاه داده‌های مختلف

داده‌های این پایگاه به‌صورت روزانه با بانک داده‌های دی‌ان‌آ ژاپن (DDBJ) و آزمایشگاه بیولوژی مولکولی اروپا (EMBL) درحال تبادل است. این اطلاعات از طریق تحقیقات پژوهشگران دنیا و یا مراکز توالی‌یابی ژنوم‌ها در دنیا تولید شده و در پایگاه‌های مذکور بارگذاری می‌شود.

توالی‌هایی که توسط مراکز تحقیقاتی یا محققین کشف می‌شوند و به بانک داده جهت انتشار ارائه می‌گردند ابتدا در مکان‌های خاصی از بانک‌ها قرار گرفته تا صحت آن مورد تأیید قرار گیرد (بانک‌های اولیه) و بعد از تأیید، جهت استفاده محققین در بانک‌های اصلی قرار داده می‌شوند (بانک‌های ثانویه). این اطلاعات معمولاً از طریق برخط یا نرم‌افزاری و یا پست الکترونیک ارسال می‌شوند که البته ارسال برخط، بیش از روش‌های دیگر انجام می‌پذیرد.

۳-۱. کسب ارزش از زنجیره اطلاعات زیستی

اطلاعات زیستی موجودات زنده (انسان، حیوان، گیاهان، میکروارگانیسم‌ها) در حوزه‌های مختلفی کاربرد دارد. جدول ۲ لیست مختصری از این کاربردها را نشان می‌دهد.

1. International Nucleotide Sequence Database Collaboration
2. National Center for Biotechnology Information

جدول ۲. کاربردهای اطلاعات زیستی در بخش‌های چندگانه

کاربردهای دانشگاهی	- آموزش - تحقیقات
کاربردهای صنعتی	- تهیه دارو - تهیه وسایل پزشکی - مهندسی بافت - بازاریابی
کاربردهای دولتی	- همه‌گیرشناسی جمعیت‌ها - مسیریابی بیماری‌ها - مدیریت هزینه مراقبت‌های بهداشتی

۲. رایانش زیستی

الحاق مفاهیم مرتبط با دو حوزه فناوری اطلاعات و بیولوژی، باعث ایجاد دو شاخه علمی و فناوری به نام بیوانفورماتیک و رایانش زیستی گردیده که اگر چه همپوشانی‌های زیادی با یکدیگر دارند، اما الزاماً از یک جنس نیستند. آنچه این دو شاخه را از یکدیگر متمایز می‌سازد نحوه به‌کارگیری و تعامل علوم زیستی با فناوری‌های اطلاعاتی است. هدف از حوزه بیوانفورماتیک، توسعه ابزارها و نرم‌افزارهای محاسباتی است تا داده‌های زیستی قابل ذخیره‌سازی، بازیابی، سازماندهی، آرشیو، تجزیه و تحلیل و بصری‌سازی شوند. در عوض رایانش زیستی عمدتاً به توسعه دانش و رویکردهای محاسباتی، ایجاد الگوریتم‌های ریاضی در قالب مدل‌سازی و شبیه‌سازی و استفاده از فناوری اطلاعات برای پردازش و تحلیل داده‌های زیستی می‌پردازد.

ظهور تکنیک‌هایی با کارآیی بالا مانند توالی‌یابی خودکار دی‌ان‌آ، آنالیز جامع بیان ژن (به کمک میکروآرایه‌ها) و آنالیزهای پروتئوم (به کمک اسپکتومتری جرمی مدرن) که استخراج داده‌های زیستی را سریع‌تر و آسان‌تر نموده است از یکسو و افزایش قدرت پردازش کامپیوترها و قابلیت استفاده از بستر وب جهت تعامل و یکپارچگی داده‌ها ازسویی دیگر موجب رشد سریع موقعیت این شاخه از علم در حوزه‌های کشاورزی، پزشکی، ژنتیک، زیست‌شناسی و دیگر علوم مرتبط، شده است.

۳. تاریخچه

تاریخچه پردازش داده‌های زیستی را می‌توان به زمان تعیین ساختار دی‌ان‌آ نسبت داد. دی‌ان‌آ موجود زنده حاوی ژن‌های آن موجود است که خصوصیات وراثتی (ژنوتیپی) و ظاهری (فنوتیپی) آن را ایجاد می‌کند. ۴ مولکول شیمیایی خاص (نوکلئوتید)[1] در رشته‌های دی‌ان‌آ وجود دارند که آنها را در اصطلاح

1. Nucleotide

کدهای ژنتیکی می‌نامند. چینش کدهای ژنتیکی در کنار یکدیگر، ژن‌ها را تعیین کرده و تفاوت در نحوه چینش، ژن‌های مختلفی را به‌وجود می‌آورد. کل ژن‌های موجود زنده بر روی دی‌ان‌آ را ژنوم می‌گویند. ژن‌ها طی فرآیندهای خاصی در نهایت در بدن موجود زنده پروتئین تولید می‌کنند. این پروتئین‌ها در نحوه متابولیسم بدن، دفاع در برابر عفونت‌ها و بیماری‌ها و پاسخ به محرک‌های محیطی دخالت دارند. بازهای سازنده دی‌ان‌آ، میلیون‌ها یا میلیاردها بار در تمام ژنوم تکرار می‌شوند. به‌عنوان مثال ژنوم انسان سه میلیارد جفت باز دارد. نحوه و ترتیب چینش این بازها در موجودات مختلف متفاوت است و به همین دلیل هر دسته از موجودات (انسان و انواع گیاه، میکروارگانیزم و حیوانات) ژنوم خاص خود را دارند. پیش از تعیین توالی ژنوم انسان، ژنوم موجودات ساده‌ای مثل باکتری‌ها توالی‌یابی (شناسایی نحوه چینش کدهای ژنتیکی) شده بود. توالی‌یابی ژنوم انسان که پیچیده‌ترین ساختار را دارد از ۱۹۹۰ شروع شد. اگرچه این پروژه ۱۵ ساله طراحی شده بود اما پیشرفت سریع فناوری باعث شتاب در کار شد و کل ژنوم انسان در سال ۲۰۰۳ شناسایی گردید. در این پروژه با استفاده از ابرکامپیوترها و روش‌های مختلف، توالی‌های کل ژنوم مشخص شده و به‌منظور ذخیره‌سازی، نگهداری و تحلیل اطلاعات توالی‌ها و نیز به‌روزرسانی و دسترسی سایر افراد به اطلاعات، در یک پایگاه داده قرار گرفت. این اطلاعات در ادامه به کمک رایانش زیستی و استفاده از الگوریتم‌های قدرتمند ریاضی و ابزارهای نرم‌افزاری و سخت‌افزاری نظیر ابرکامپیوترها، مدل‌سازی و شبیه‌سازی می‌شوند.

۴. کاربردهای رایانش زیستی

رایانش زیستی در حوزه‌های مختلفی کاربرد دارد که در ادامه شرح داده می‌شوند.

۴-۱. حفاظت از منابع ژنتیکی و زیستی

منابع ژنتیکی و زیستی هر کشوری به‌عنوان سرمایه عظیم ملی و رکن اصلی در تحقیقات و پژوهش‌های زیستی به‌شمار می‌رود و بهره‌برداری از این ثروت در زمینه‌های مختلف نقش مهمی در ارتقای امنیت اقتصادی، امنیت سلامت و امنیت غذایی دارد. منابع ژنتیکی ایران به‌دلیل وسعت زیاد اکوسیستم‌های طبیعی، تنوع آب و هوایی و موقعیت خاص جغرافیایی از اهمیت زیادی برخوردار است به‌طوری که نامگذاری یک روز در تقویم کشور (۱۵ فروردین هر سال) به نام روز ملی «ذخایر ژنتیکی و زیستی»، اهمیت این منابع و لزوم فرهنگ‌سازی در این زمینه را نشان می‌دهد. امروزه به‌دلایل متعددی منابع ژنتیکی بومی در کل جهان تحت تأثیر فرسایش شدید و نابودی قرار دارند و به همین دلیل اتخاذ تمهیدات مؤثر برای حفاظت کشورها از این منابع، از مسائل استراتژیک محسوب می‌شود. علاوه‌بر آن پیشرفت فناوری و توسعه علوم جدید باعث طراحی و تولید منابع ژنتیکی جدید و کاربردی شده است که نیاز به راهکارهای

حفظ مالکیت فکری در مورد آنها احساس می‌شود. دو مورد از مهمترین سیاست‌های کشورها در رابطه با حفظ، نگهداری و حمایت از حقوق مالکیت فکری منابع ژنتیکی و زیستی در پرتو زیرساخت‌های قانونی، توسعه و ایجاد بانک داده‌های زیستی است. مراکز ملی نگهداری منابع ژنتیکی با هدف گردآوری، تعیین هویت، کنترل کیفی، طبقه‌بندی، ثبت، نگهداری، تکثیر و توزیع انواع سلول‌های زیستی موجودات مختلف از میکروارگانیزم گرفته تا انسان، DNA و دیگر فرآورده‌های نوکلئوتیدی تأسیس می‌شوند و در کنار نگهداری فیزیکی از این منابع به ارائه خدماتی از قبیل فروش انواع فرآورده‌های زیستی به متقاضیان بخش پژوهش و صنعت نیز می‌پردازند. اما امروزه دسترسی و بهره‌برداری از منابع ژنتیکی منحصر به ماهیت فیزیکی آنها نیست، زیرا کاربردهای فناوری اطلاعات و توسعه تجهیزات پیشرفته زیست‌فناوری باعث شده است امکان استخراج سریع اطلاعات ژنتیکی موجودات زنده، استفاده از این اطلاعات و ساخت ژن در فضای آزمایشگاهی و بیرون از بدن به کمک مهندسی ژنتیک میسر شود. ازاین‌رو محافظت فیزیکی از منابع ژنتیکی به تنهایی کافی نیست. زیرا منابع ژنتیکی به هر دلیلی ممکن است از بین بروند اما اطلاعات زیستی مستخرج از آنها علاوه‌بر اینکه ماندگار است و به نوعی معادل با خود آن منبع ژنتیکی محسوب می‌شود، از لحاظ دسترسی و استفاده نیز آسان‌تر است. به همین دلیل ایجاد بانک‌داده‌های زیستی از دیگر سیاست‌های مهم حفاظت از منابع ژنتیکی محسوب می‌شود. با این رویکرد، به کمک بیوانفورماتیک و رایانش زیستی امکان استخراج اطلاعات ژنتیکی، ثبت و ذخیره این اطلاعات و به‌دنبال آن تحلیل با الگوریتم‌های مختلف وجود دارد. از دستاوردهای این کار می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

ـ حفاظت از اطلاعات منابع ژنتیکی و زیستی و در نتیجه حفاظت از خطر انقراض و نابودی؛

ـ ثبت اطلاعات منابع ژنتیکی و زیستی ملی به‌منظور جلوگیری از سوءاستفاده و سرقت‌های زیستی و نظارت و کنترل دسترسی و بهره‌برداری از منابع و اطلاعات آنها؛

ـ توسعه پایگاه‌های اطلاعات زیستی ملی که به صورت هدفمند در تعامل و اشتراک اطلاعات با سایر پایگاه‌های زیستی بین‌المللی بوده و در پژوهش‌ها و توسعه تجربی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۲-۴. کشاورزی

طبق آنچه از اهداف و کاربردهای عمومی رایانش زیستی بیان شد، مهمترین کاربردهای آن در کشاورزی عبارتند از:

ـ پروژه‌های ژنوم گیاهان و حیوانات از طریق ذخیره و بازیابی توالی‌های «دی‌ان‌آ» و «آر ان آ».[1]

ـ به‌نژادی گیاهی و دامی از طریق شناسایی نشانگرهای مولکولی در ژنوم گیاهان و حیوانات.

ـ مهندسی ژنتیک به‌واسطه انتقال ژن‌های مطلوب یا خاموش‌سازی ژن‌های نامطلوب در گیاهان و حیوانات.

1. RNA

ـ تولید داروهای ایمن‌تر، هوشمندتر و سازگار با محیط زیست در حوزه کشاورزی از طریق کشف مکانیسم‌های فیزیولوژیکی بیماری‌ها و درک برهم‌کنش مولکولی.

ـ بیماری‌شناسی گیاهی.

ـ تغییرات رشد و نمو گیاهان.

در ادامه برخی از مهمترین کاربردهای رایانش زیستی در کشاورزی شرح داده شده است.

۱-۲-۴. توالی‌یابی ژنوم گیاهان و حیوانات

با استفاده از تکنیک‌های توالی‌یابی، تمامی ژن‌های گیاهان و حیوانات (ژنوم) قابلیت استخراج و تبدیل شدن به داده‌های زیستی را دارند. تعداد گیاهانی که ژنوم آنها توالی‌یابی می‌شوند، همگام با پیشرفت فناوری‌ها و تجهیزات توالی‌یابی، سال به سال درحال افزایش هستند. با اینکه بسیاری از ژنوم‌های گیاهی منتشر شده هنوز کامل نیستند، اما همین اطلاعات، ابزار ارزشمندی برای درک صفات زراعی مهم مانند زمان رسیدن میوه، صفات دانه و سازگاری زمان گل‌دهی ارائه کرده است. در حوزه دام و طیور نیز تلاش‌های خوبی انجام شده است. در سال‌های اخیر، ژنوم حیوانات اهلی چون مرغ، گاو، گوسفند و اسب به‌طور جزئی و یا کامل توالی‌یابی و چیدمان شده است. چیدمان توالی‌ها یا نواحی‌های مورد نظر از ژنوم یک حیوان خاص در تحقیقات کشاورزی جهت انجام مقایسه‌های ژنتیکی میان حیوانات با عملکردهای متفاوت دارای اهمیت ویژه‌ای می‌باشد. هدف مهم در این حوزه، دستیابی به راه‌حل‌هایی از قبیل چگونگی پاسخ حیوانات به مدل‌های مختلف محیطی مثل آثار تغذیه در سطح مولکولی و سلولی است.

با آشکار شدن اهمیت ژن‌ها و تأثیرات متقابل آنها با محیط، سرعت بهبود ژنتیکی نیز افزایش خواهد یافت. بنابراین روشن است که تکنولوژی‌های نوین توالی‌یابی ازجمله NGS[1] می‌تواند دانشمندان علوم دامی را در افزایش راندمان و کاهش هزینه‌های تولید و پیشگیری بهتر بیماری‌های عفونی یاری دهند.

۲-۲-۴. به‌نژادی گیاهی و دامی به کمک نشانگرهای مولکولی

نشانگرهای مولکولی، از ابزارهای مفید این حوزه هستند که استفاده از آنها به‌عنوان مکمل روش‌های سنتی و کلاسیک، در سرعت بخشیدن به برنامه‌های به‌نژادی، افزایش دقت و صرفه‌جویی در نیروی کار و هزینه‌ها، نقش چشمگیری دارد. نشانگرهای مولکولی در عرصه مطالعات ژنتیک، رده‌بندی و به‌نژادی گیاهان و حیوانات، دارای کاربردهای متعددی هستند که سه مورد از مهمترین آنها به‌شرح زیر می‌باشند:

ـ **بررسی روابط خویشاوندی و روند تکاملی:** شناخت تنوع ژنتیکی و طبقه‌بندی ذخایر توارثی، یک امر زیربنایی برای طراحی موفق برنامه‌های به‌نژادی در گیاهان و حیوانات است و علاوه‌بر

1. Next Generation Sequencing

آن مدیریت حفظ و نگهداری از مجموعه‌های ژنتیکی گیاهی و حیوانی را تسهیل می‌کند. همچنین می‌توان با شناسایی و حذف نمونه‌های تکراری موجود در بانک ژن از هزینه‌های اضافی برای تکثیر و نگهداری آنها جلوگیری نمود.

ـ **تعیین نقشه ژنتیکی:** تعیین نقشه ژنتیکی موجودات در مطالعات ژنتیک پایه و به‌نژادی اهمیت دارد. نقشه‌یابی و تعیین توالی ژنوم گیاهان و حیوانات همچنین به روشن شدن عمل ژن و تنظیم بیان آن کمک می‌کند. امروزه ردیابی صفات مطلوب و مهم کمّی‌وکیفی در حوزه زراعی و دامی از قبیل مقاومت به آفات و بیماری‌ها، علف‌کش‌ها، خشکی، شوری، عملکرد و... با تکنیک‌هایی مثل «انتخاب به کمک نشانگرها (MAS)[1]» امکانپذیر شده است. این موضوع، امکان گزینش سریع و دقیق گونه‌های مطلوب را در مراحل اولیه رشد فراهم کرده و طول دوره به‌نژادی را کوتاه می‌نماید. اگرچه روش‌های مرسوم (سنتی) برای ارزیابی مقاومت به آفات و بیماری‌ها توانسته‌اند نتایج بسیار خوبی ارائه دهند، ولی اغلب به هزینه و زمان زیاد نیاز دارند. همچنین همیشه گیاهانی هستند که از نظر ژنتیکی حساس هستند اما از بیماری‌ها یا آفات فرار می‌کنند و حساسیت آنها در نسل‌های بعدی بروز می‌کند. این امر باعث شده است طی سال‌های اخیر تکنیک‌های به‌نژادی به شدت مورد توجه قرار گرفته و موفقیت‌های زیادی از قبیل تشخیص گیاهان مقاوم به یک آفت یا بیماری که در برنامه‌های به‌نژادی و اجرای مقررات قرنطینه نباتی اهمیت دارند، به دست آمده است.

ـ **مهندسی ژنتیک:** مهندسی ژنتیک پیچیده‌ترین شاخه زیست‌فناوری است که فنون و روش‌های مبتنی‌بر ژنتیک سلولی و مولکولی، نشانگرهای مولکولی، کشت سلول و بافت، میکروبیولوژی و بیوشیمی را دربرمی‌گیرد. مهندسی ژنتیک درواقع عبارت است از تغییر مواد ژنتیکی یک ارگانیسم با استفاده از تکنولوژی دی‌ان‌آ نوترکیب به نحوی که این تغییر قابل توارث باشد (یعنی به نسل بعد منتقل شود). به‌طور کلی مهندسی ژنتیک شامل استفاده از روش‌های انتخاب ژن موردنظر، مکان‌یابی، جداسازی، خالص‌سازی، تکثیر، انتقال ژن‌ها و ارزیابی بروز آنها در موجود زنده است. این فناوری امکاناتی را فراهم می‌آورد که با روش‌های سنتی (کلاسیک) امکانپذیر نیست. تاکنون بیش از ۶۰ گیاه باغی و زینتی از طریق مهندسی ژنتیک و با انتقال صفات ژنتیکی همچون مقاومت به آفات، بیماری‌ها، علف‌کش‌ها، بهبود کیفیت پروتئین و روغن و غیره، به‌صورت تراریخته تولید شده‌اند و تعداد گیاهان تراریخته روز به روز درحال افزایش است. به کمک بانک‌های اطلاعاتی حاوی توالی تمام پروتئین‌ها و ژن‌های کشف شده تاکنون، می‌توان ژن‌ها و پروتئین‌های عامل این صفات را پیدا کرد و اقدام به ساخت این قطعات با روش‌های مصنوعی نمود. همچنین انتقال این ژن‌ها به گیاه دیگری که دارای این ویژگی‌ها نیست می‌تواند درگیاه مذکور نیز چنین ویژگی‌هایی ایجاد کند. قبل از اینکه گیاهان مورد

1. Marker-assisted selection

نظر تولید شوند، تولید گیاه با ویژگی‌های جدید مثل مقاومت به شوری و خشکی یا آفات از طریق رایانش زیستی شبیه‌سازی یا مدل‌سازی گردیده و احتمال موفقیت کار و سایر ویژگی‌ها سنجیده می‌شود. در حوزه حیوانات نیز، انواع مختلفی از حیوانات ترانس‌ژنیک (تغییر ژنتیکی یافته) به‌ویژه جهت تولید دارو، پیوند عضو از حیوانات به انسان و تولید پروتئین‌های دارویی تولید شده‌اند.

۴-۲-۳. بیماری‌شناسی گیاهی

در بیماری‌شناسی گیاهی، مطالعات ساختاری پروتئین به درک بهتر برهم‌کنش میزبان ـ پروتئین کمک می‌کند. این مطالعات می‌تواند مربوط به پاتوژن‌های گیاهی (حشرات، عوامل بیماریزا و غیره) باشد یا برهم‌کنش بین پروتئین ـ دی‌ان‌آ و برهم‌کنش بین پروتئین‌های درگیر.

۴-۲-۴. تغییرات نمو گیاهان

در زمینه تغییرات نمو گیاهان، اطلاعات حاصل از ساختارها و توانایی پروتئین‌های عملکردی که از یک مرحله نمو به مرحله دیگر و یک سلول یا یک ارگانیسم مختلف تغییر می‌کند به کمک رایانش زیستی تحلیل می‌شود. محیط خارجی سلول (سیستم) همیشه یک اثر عمیق بر غلظت یک پروتئین خاص در بخشی از سلول (به‌دلیل تنظیم این ترکیبات توسط سلول) دارد. همچنین برهم‌کنش پروتئین با دی‌ان‌آ در سلول نیز در مراحل مختلف نمو وجود دارد که سبب ایجاد تغییرات ساختاری می‌گردد.

۴-۳. پزشکی و سلامت

رایانش زیستی در حوزه پزشکی و سلامت کاربردهای متنوع‌تری دارد. با کامل شدن نقشه ژنوم انسان و تحلیل و مدل‌سازی داده‌های ژنتیکی، امکان شناسایی عوامل ژنتیکی که بروز سرطان را افزایش داده یا بر روی آن مؤثرند و نیز شبیه‌سازی سرطان و درمان آن فراهم شده و امید رسیدن به یک درمان موفق و نهایی افزایش یافته است. با استفاده از رایانش زیستی، پیش‌بینی هزینه مراقبت‌های بهداشتی با دقت بیشتری صورت می‌گیرد. همچنین شناخت بهتر مکانیسم‌های بیماری، نحوه گسترش بیماری در کل جمعیت و نحوه درمان بهتر بیماری‌ها میسر می‌شود و دستاورد مهم آن این است که به جای الگوهای کلی تندرستی و بیماری برای جامعه، به ازای هر فرد الگوی سلامتی و بیماری استخراج شده و درمان‌ها یا پیشگیری‌ها را منحصر به فرد خواهد نمود. بر این اساس، تحول عظیمی در زمینه داروهای تولیدی و مصرفی، درمان و شناسایی بیماری‌های نوظهور ایجاد می‌شود.

۴-۳-۱. دارو

فرصت‌های متنوعی به کمک رایانش زیستی در حوزه دارو خلق می‌شود که عبارتند از:

ـ **کشف دارو:** برای فعال کردن یا غیرفعال کردن یک ژن و تولید پروتئین، با کمک پایگاه

داده‌های ژنتیکی و پروتئینی، اطلاعات در دسترس قرار می‌گیرد و با استفاده از این اطلاعات در الگوریتم‌های مناسب، عملکرد داروهای ژنتیکی انسانی جدید می‌تواند شبیه‌سازی شود.

ـ **تولید دارو در موجود زنده**: مدل‌سازی و شبیه‌سازی انتقال ژن جدید به موجود زنده‌ای که به‌طور ذاتی آن ژن را ندارد می‌تواند در نهایت به اصلاح ژنتیکی یا مهندسی مسیرهای متابولیکی منجر شده و در نتیجه ترکیبات دارویی و غذایی تولید شود که در حالت عادی ساخت آنها یا استخراجشان از منابع طبیعی بسیار هزینه‌بر می‌باشد.

ـ **مصرف دارو:** امنیت و کارآیی داروهای توسعه‌یافته و جدید و قابل مصرف براساس ویژگی‌های ژنتیکی افراد، افزایش می‌یابد. داروهای یکسان ممکن است براساس ژنتیک افراد، آثار متفاوتی در بدن آنها ایجاد نمایند. مطالعه اثر تنوع ژنتیکی بر روی پاسخ‌های دارویی از اوایل ۱۹۵۰ شروع و منجر به ظهور شاخه علمی جدیدی حاصل از تلفیق علم ژنتیک، بیوشیمی و داروسازی شد که ژنتیک دارویی یا فارماکوژنتیک نامیده می‌شود. این دانش که یکی از زیربناهای اصلی راهکاری به نام «پزشکی شخصی‌سازی شده»[1] محسوب می‌شود، با تلفیق ویژگی‌های ژنتیکی فرد، شرایط محیطی زندگی و سابقه خانوادگی و بالینی وی، راه‌های درمانی مختص به همان بیمار را ارائه می‌نماید.

ـ **مراقبت از بیمار**: تجزیه و تحلیل ژنوم افراد در کنار دانش فارماکوژنتیک می‌تواند بیمارانی را که به داروی خاص پاسخ خواهند داد شناسایی کند و بیمارانی را که دارو بر روی آنها آثار کم یا حتی آثار جانبی نامطلوبی باقی خواهد گذاشت را جدا نماید.

۲-۳-۴. پزشکی شخصی‌سازی شده

معمولاً بسیاری از داروها آثار متفاوتی را در اشخاص مختلف ایجاد می‌کنند. تفاوت در میزان حساسیت و پاسخ به دارو در افراد مختلف، باعث شده است که به‌عنوان مثال بیماران در مقایسه با یکدیگر برای دستیابی به درمان مشخص، به مقدار کمتر یا بیشتری از یک دارو نیاز داشته باشند. همچنین ممکن است برخی داروها درحالی که بیشتر مردم آن را بدون هیچ مشکلی مصرف می‌کنند برای عده اندکی سبب حساسیت یا واکنش‌های جانبی در بدن شود. عوامل محیطی و شیوه زندگی و همچنین توانایی یک فرد در جذب یا متابولیزه کردن دارو و یا مصرف چند داروی همزمان و تداخلات دارویی می‌تواند بر این مسئله تأثیرگذار باشد. این تفاوت‌ها ریشه در تنوع ژنتیکی افراد دارد. اگرچه حدود ۹۹/۹ درصد از توالی ژنوم در همه انسان‌ها همسان است اما وجود همین ۰/۱ درصد تفاوت، بیانگر تنوع ژنتیکی است که خطر ابتلای فرد به یک بیماری، شدت بیماری و چگونگی پاسخ فرد به درمان را تعیین می‌کند. ژن‌ها نحوه تولید و تشکیل پروتئین‌های بدن را تعیین می‌کنند، بنابراین تغییر اندک اما طبیعی در ژن‌ها می‌تواند پروتئین‌هایی تولید کند که در افراد مختلف به‌طور متفاوت عمل کرده و باعث ایجاد پاسخ‌های

1. Personalized Medicine

مختلفی به دارو شود. برای نمونه برخی مسکن‌های خاص تنها زمانی عمل می‌کنند که پروتئین‌های بدن بتوانند آنها را از یک شکل غیرفعال به شکل فعال تبدیل کنند و اینکه تا چه اندازه این پروتئین‌ها وظیفه خود را به خوبی انجام دهند به‌طور چشمگیری در بین افراد، متفاوت است.

چهار مرحله اصلی که تنوع ژنتیکی در آنها می‌تواند بر پاسخ بیمار به یک دارو مؤثر باشد عبارتند از:

۱. جذب دارو: افراد ممکن است در توانایی انتقال یک داروی خوراکی به جریان خون خود با یکدیگر متفاوت باشند.

۲. فعال‌سازی دارو: بیشتر داروها به شکل یک پیش ـ دارو مصرف می‌شوند که در ادامه باید در کبد دستخوش یک واکنش آنزیمی شده و به شکل فعال تبدیل شوند.

۳. غلظت مطلوب دارو: برای اینکه یک دارو به سطح اثردهی برسد، نیاز به غلظت خاصی است که در هر کس شاید متفاوت باشد.

۴. مصرف و دفع دارو: افراد اغلب در سرعت مصرف مولکول فعال دارو شبیه همدیگر نیستند. در افرادی که سرعت مصرف و دفع دارو از بدن کندتر است پاسخ به دارو طولانی‌تر و قوی‌تر از افرادی است که دارو سریعاً در بدن آنها مصرف و دفع می‌شود.

دانشمندان بر این باورند که کشف تغییرات در آرایش ژنتیکی افراد باعث شناخت و درک بیشتر این فرآیندها و علاوه‌بر آن، شناخت ژن‌هایی می‌شود که عامل بیماری‌هایی مثل سرطان، بیماری قلب، دیابت و افسردگی و آسم بوده یا در آنها مشارکت دارند. این فرآیند به مشاورین مراقبت‌های پزشکی کمک می‌کند که داروی مناسب را به میزان مورد نیاز برای هر فرد تجویز کنند و به این ترتیب از آثار جانبی و منفی تجویز و مصرف مقدار اضافی دارو برای هر بیمار پیشگیری کنند. شناسایی ژن‌های مشکوک مربوط به بیماری‌های خاص نیز به پزشکان اجازه می‌دهد خطر پیشرفت یک بیماری خاص را برای فرد به‌صورت دقیق‌تر پیش‌بینی کنند. به کمک این اطلاعات، پیشگیری، به تأخیر انداختن ابتلا به یک بیماری و یا تشخیص و درمان مؤثرتر امکانپذیر می‌شود.

با ذکر این نکات، حوزه تازه و درحال پیشرفتی در زمینه مراقبت‌های پزشکی، به نام پزشکی شخصی‌سازی شده ایجاد شده است. این حوزه بر پایه داده‌های بالینی، ژنتیکی و محیطی برای یک فرد برنامه‌ریزی می‌شود. با پیشرفت علم ژنتیک و مهندسی ژنتیک، آزمایش‌های ژنتیکی برای پیش‌بینی پاسخ به دارو انجام شدنی است و در نتیجه تجویز دارو و درمان ویژه هرکس بر پایه آرایش ژنتیکی او انجام می‌شود. به‌طور ساده پزشکی شخصی‌سازی شده به معنی تجویز دارو و درمان‌های خاص است که بهترین اثر را بر روی فرد دارد و از خطاهای روش‌های درمانی مرسوم جلوگیری می‌کند. هدف از پزشکی شخصی‌سازی شده این است که تداخل دارویی را به کمترین حد ممکن برساند و شرایط را برای تجویز داروهای مؤثرتر، ایمن‌تر و مختص هر فرد فراهم آورد.

۳-۳-۴. مزایای پزشکی شخصی‌سازی شده

پزشکی شخصی‌سازی شده اگرچه حوزه جدیدی است اما مزایای بسیاری برای آن پیش‌بینی شده است که عبارتند از:

ـ **داروهای مؤثرتر:** کشف دارو و درمان با آن به کمک بررسی دقیق پروتئین‌ها، آنزیم‌ها و ژن‌ها امکانپذیر می‌شود. این داروها نه تنها می‌توانند تأثیرات درمانی حداکثری داشته باشند بلکه آسیب به سلول‌های سالم مجاور را نیز کاهش می‌دهند.

ـ **داروهای ایمن‌تر:** درحال حاضر انتخاب داروی مناسب و موثر بر بیمار معمولاً با آزمون و خطا همراه است. اما تجزیه و تحلیل تاریخچه ژنتیکی فرد، پزشک را قادر خواهد ساخت که بهترین روش درمانی با داروی مناسب و در دسترس تجویز نماید. این روش علاوه‌بر سرعت بخشیدن به بهبود بیماری، با به حداقل رساندن احتمال واکنش‌های جانبی، ایمنی دارو را افزایش می‌دهد.

ـ **مقدار داروی مصرفی دقیق‌تر:** درحال حاضر برای تعیین مقدار دارویی که فرد باید مصرف کند به سن و وزن بیمار توجه می‌شود اما جایگزینی این روش با روش تعیین مقدار مصرف دارو براساس ژنتیک فرد، اثر دارو را افزایش و عوارض جانبی و میزان مرگ‌ومیر بر اثر مسمومیت‌ها و حساسیت‌های دارویی را کاهش خواهد داد.

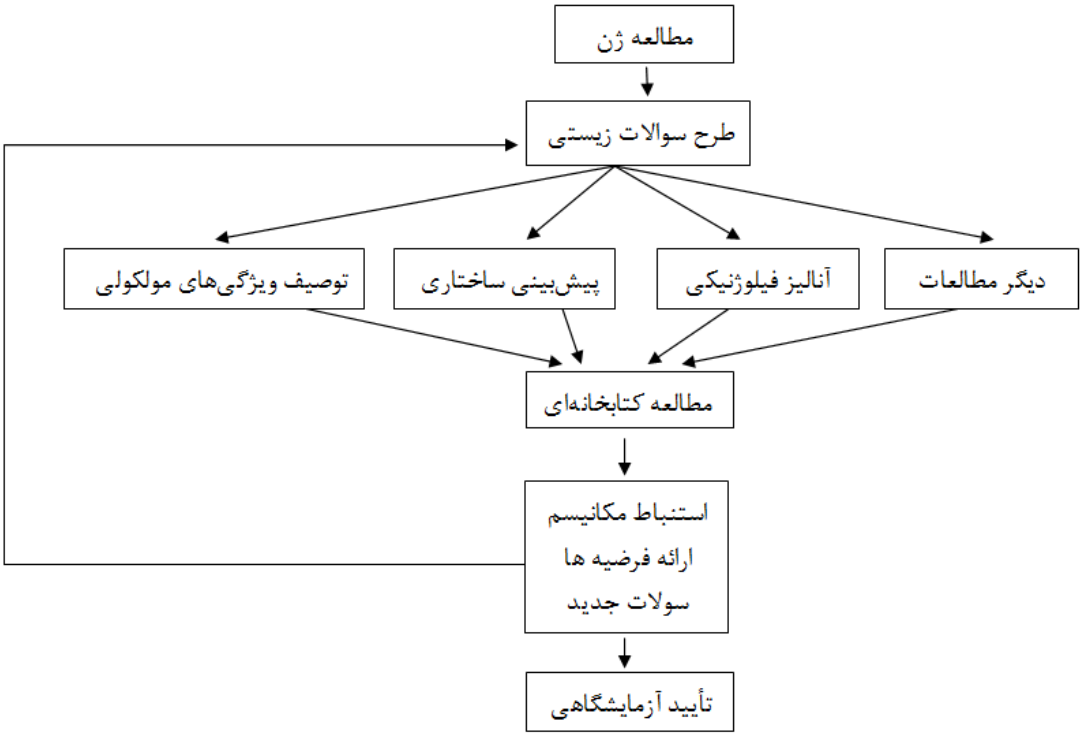
ـ **غربالگری بیماری:** با آگاهی از کد ژنتیکی فرد و سوابق خانوادگی وی، امکان پیشگیری از بیماری‌های خاص مانند سرطان و همچنین کنترل دقیق‌تر بیماری و فرآیند درمان امکانپذیر می‌شود.

ـ **کاهش هزینه لازم برای مراقبت پزشکی:** کمتر شدن واکنش‌های جانبی بدن به دارو، کاهش مقدار داروی مصرفی و زمان مورد نیاز برای درمان، همچنین کاهش تعداد داروهایی که بیمار مجبور است امتحان کند تا راه مؤثر درمان آشکار شود، همگی سبب کاهش در هزینه‌های مراقبت پزشکی خواهد شد.

۴-۳-۴. مطالعه و درک مکانیسم بیماری‌های نوظهور

یکی از راه‌های شناخت بیماری‌های نوظهور، مدل‌سازی براساس رایانش زیستی است که چارچوب آن در شکل ۱ آورده شده است. در این چارچوب با مطالعه ژن‌های مرتبط با بیماری و سپس تحلیل بیماری نوظهور به کمک دانش موجود، آنالیزهای محاسباتی ازجمله بررسی ویژگی‌های مولکولی، پیش‌بینی ساختار پروتئین‌های درگیر بیماری، طراحی دارو و دیگر مدل‌سازی‌های مورد نیاز برای تعیین بر هم کنش دارو و سلول انجام می‌شود. در نهایت نیز کارکردهای زیستی مشخصی براساس نتایج شبیه‌سازی پیش‌بینی می‌شود و این پیش‌بینی‌ها می‌توانند توسط آزمایش‌های تجربی اعتبارسنجی شوند. همچنین می‌توان فرضیات زیستی جدید را مطرح و مراحل قبلی را تکرار کرد.

شکل ۱. چارچوب مدل‌سازی برای درک بیماری‌های نوظهور



۴-۴. خدمات شهروندی

۴-۴-۱. تشخیص هویت و کارت‌های شناسایی ژنتیکی

استفاده از رایانش زیستی در امور بیومتریک سابقه‌ای طولانی دارد. در بیومتریک، با استفاده از روش‌های مبتنی‌بر خصوصیات فیزیکی، رفتاری و ژنتیکی افراد، هویت آنان تشخیص داده می‌شود که از مهمترین کاربردهای آن شناسایی قربانیان حوادث مختلف ازجمله انواع تصادفات (سقوط هواپیما، آتش‌سوزی‌ها و...)، تعیین والدین، مسائل جنایی و حتی مسائل امنیتی برای شناسایی مجرمان و خرابکاران به کمک بقایای مواد بیولوژیک به جا مانده در صحنه می‌باشد.

انگشت‌نگاری ژنتیکی که از قدیمی‌ترین و آشناترین تکنیک‌های تشخیص هویت افراد است به این معنی است که با استفاده از سلول‌هایی از بدن، اعم از پوست، مو، استخوان یا اندام‌های دیگر، مولکول‌های دی‌ان‌آ فرد استخراج می‌شود و می‌توان هویت ژنتیکی او را شناسایی کرد و با بررسی همان نواحی تکراری که در دی‌ان‌آ افراد مختلف متفاوت است، به تفاوت‌های انسان‌ها با یکدیگر پی برد. با ثبت اثر انگشت ژنتیکی یا پروفایل‌های دی‌ان‌آ و اطلاعات حیاتی و بیولوژیکی افراد در یک بانک اطلاعات ژنتیکی و مقایسه این نشانگرهای ژنتیکی، عمل تعیین هویت سریع‌تر صورت می‌گیرد. طرح تهیه کارت‌های شناسایی ژنتیکی که در راستای تسهیل شناسایی هویت ژنتیکی افراد دنبال می‌شود می‌تواند در امور مختلف به‌خصوص امور امنیتی برای احراز هویت واقعی افراد مورد توجه قرار گیرد.

۲-۴-۴. حسگرهای پوشیدنی[1]

در طول دهه‌های اخیر دانش تولید لباس‌ها، دستبندها، کلاه‌ها و دیگر پوشش‌هایی که دارای حسگرهای اندازه‌گیری داده‌های فیزیولوژیکی یا بیوشیمیایی بدن از قبیل نحوه تنفس، دمای بدن، ضربان قلب، فشار خون، قند خون و یا علائم مربوط به تارهای عصبی و ماهیچه‌ها و پوست باشند (لباس‌های زیستی)، بسیار پیشرفت کرده است. یکی از مهمترین مسائلی که در مورد این لباس‌ها وجود دارد، پردازش و استفاده از داده‌های تولید شده است که حجم بسیار بالایی دارند.

حسگرهای پوشیدنی در حوزه‌های مختلفی قابل استفاده و بهره‌برداری هستند. به‌عنوان مثال برخی از این حسگرها به‌منظور کنترل وضعیت بیماری افرادی که دارای یک سابقه بیماری خاص هستند (مثل افراد دارای دیابت، آلزایمر، بیماری تنفسی و...)، افرادی که به‌واسطه مشاغلشان در معرض آسیب جسمی هستند از قبیل آتش‌نشانان و نظامیان و حتی افراد معمولی برای کنترل و اطمینان از سلامتی طراحی شده‌اند. علائم هشداردهنده این حسگرها ممکن است منجر به یک پاسخ درمانی و دارویی آنی شود و یا به‌صورت بیسیم[2] به واحدهای درمانی ارسال شده، تیم پزشکی را برای انتقال فرد به بیمارستان و درمان وی مهیا سازد. در پردازش این حجم عظیم داده‌های پیچیده زیستی که ترکیبی از علوم و فنون مختلف از قبیل رایانش زیستی، تصویربرداری، الکترونیک و اطلاعات پزشکی و سلامت مورد نیاز است، زمان و منبع پردازش سیگنال‌های حیاتی بسیار مهم است. از آنجا که امروزه سطح اطلاعات تولید شده به کمک حسگرهای پوشیدنی توسعه یافته است، سطح پردازش آنها نیز برای ایجاد خدمات ارزشمندتر روزبه‌روز پیشرفت می‌کند.

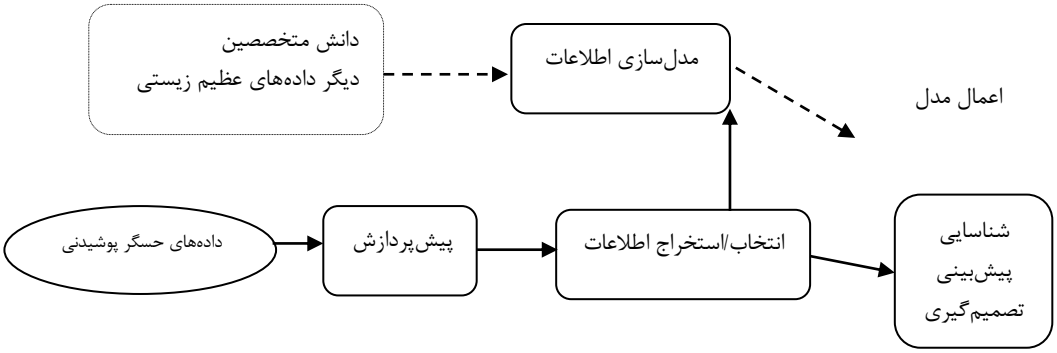
نقش رایانش زیستی در پایش اطلاعات حسگرهای پوشیدنی شامل موارد زیر است:

- ذخیره‌سازی و بازیابی داده‌ها،
- پردازش داده‌ها،
- انتخاب داده‌های مفید و صحیح از میان کلیه داده‌های موجود،
- پردازش مجدد داده‌های صحیح و استخراج اطلاعات،
- انتقال نتایج حاصله به متخصصین،
- الحاق داده‌ها و تحلیل‌ها به دیگر اطلاعات زیستی موجود در پرونده افراد،
- مدل‌سازی و شبیه‌سازی شرایط،
- شناسایی، پیش‌بینی و تصمیم درخصوص اعمال پاسخ مناسب.

شکل ۲ این فرآیند را به‌صورت شماتیک نشان می‌دهد.

1. Wearble Sensors
2. Wireless

شکل ۲. نقش رایانش زیستی در پایش اطلاعات حسگرهای پوشیدنی



به‌طور کلی داده‌کاوی و پردازش اطلاعات حسگرهای پوشیدنی در سه بخش دنبال می‌شود. این سه بخش شامل «پیش‌بینی‌ها»، «شناسایی ناهنجاری‌ها و ایجاد هشدار» و «تشخیص و تصمیم‌گیری» می‌شود که در ادامه توضیح داده می‌شوند.

ـ پیش‌بینی‌ها

پیش‌بینی رخدادهای آینده یکی از اصول مهم داده‌کاوی در زمینه سلامتی افراد جامعه و به‌خصوص بیماران محسوب می‌شود. ازجمله مثال‌های این بخش می‌توان به پیش‌بینی سطح استرس افراد نسبت به حوادث، وضعیت بیماران دیالیزی و نیاز به تجدید دیالیز و غیره اشاره کرد. پیش‌بینی وضعیت‌های ناگهانی به مراتب سخت‌تر از شرایط مشخص (مثل افرادی با سابقه بیماری معلوم) است. با این‌حال امروزه توسعه سیستم‌های پردازش و شبیه‌سازی وضعیت‌های ناگهانی و اعمال پاسخ‌های مناسب به آنها به‌شدت دنبال می‌شود.

ـ شناسایی ناهنجاری‌ها و ایجاد هشدار

هدف بخش شناسایی ناهنجاری‌ها، تشخیص رفتارهای غیرعادی و سیگنال‌های فیزیولوژیکی یا بیوشیمیایی غیرقابل انتظار است. شناسایی ناهنجاری‌ها به کمک مقایسه زمانی بین سری داده‌های تولید شده و داده‌های استاندارد صورت می‌گیرد. شناسایی تغییرات غیرعادی پارامترهای سلامت به‌خصوص در حسگرهای پایش خانگی، پزشکان را قادر می‌سازد که در زمان کوتاه تصمیم صحیحی اتخاذ نمایند.

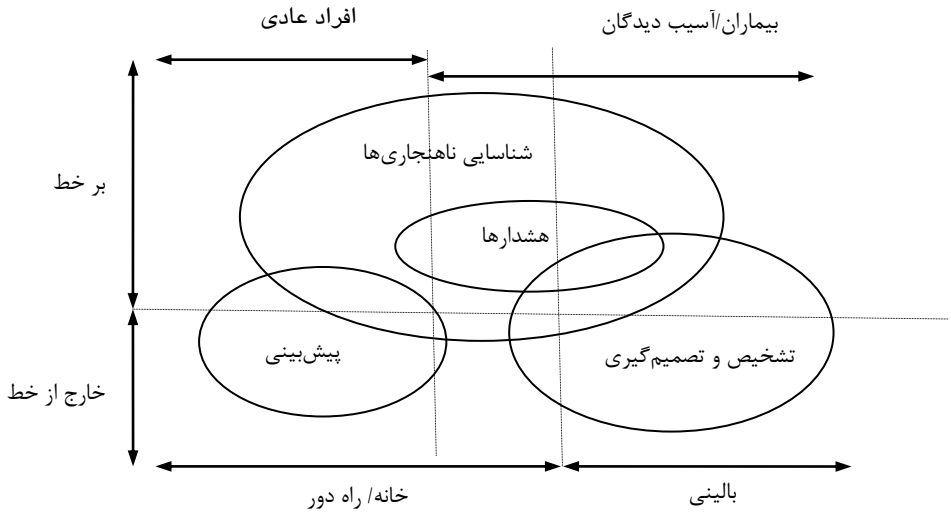
ـ تشخیص و تصمیم‌گیری

تشخیص و تصمیم‌گیری یکی از وظایف اصلی سامانه‌های بالینی است که باید براساس پردازش داده‌های حیاتی حسگرها و دیگر اطلاعات موجود در پرونده سلامت فراهم شود.

شکل ۳ نمایی از کارکردهای حسگرهای پوشیدنی را در ابعاد مختلف نشان می‌دهد. با توجه به

شکل، پایش داده‌ها می‌تواند در منزل و به صورت نظارت از راه دور صورت گیرد و یا به شکل بالینی و در محیط درمانی باشد. در این میان شناسایی بخش عمده‌ای از ناهنجاری‌ها، ایجاد علائم هشدار، پیش‌بینی کامل وضعیت آتی سلامت افراد و حتی بخشی از تصمیم‌گیری‌ها در منزل و از راه دور قابل پردازش و کنترل است. به همین نسبت در تشخیص دقیق‌تر و اتخاذ تصمیمات صحیح، به داده‌های بالینی بیشتری نیاز است که معمولاً در منزل قابل دستیابی نیستند. افرادی که از خدمات حاصل از حسگرهای پوشیدنی بهره می‌برند نیز به دو دسته کلی قابل تقسیم هستند. یک دسته شامل افراد عادی جامعه هستند که معمولاً برای اطمینان از وضعیت سلامت خود و کنترل پارامترهای مرتبط با آن (قند خون، چربی خون و...) از حسگرهای پوشیدنی برای پیش‌بینی و شناسایی وضعیت غیرطبیعی استفاده می‌نمایند. دسته دیگر افراد بیمار و آسیب‌دیده هستند که به کمک حسگرهای پوشیدنی، ناهنجاری‌ها در آنها شناسایی و پیغام‌های هشداردهنده توسط حسگرها اعلام می‌شود. در ادامه نیز فرآیند تشخیص و تصمیم‌گیری اعمال می‌گردد.

شکل ۳. کارکرد حسگرهای پوشیدنی از ابعاد مختلف



پردازش داده‌ها در بخش‌های مختلف و مکان‌های مختلف می‌تواند به صورت برخط[1] یا خارج از خط[2] باشد. در این میان اگرچه داده‌های دریافتی از شناسایی ناهنجاری‌ها و علائم هشدار دهنده عمدتاً به صورت برخط است، اما پیش‌بینی‌ها بیشتر به صورت خارج از خط انجام می‌شود. تشخیص و تصمیم‌گیری نیز می‌تواند به صورت برخط یا خارج از خط انجام شود.

1. On-line
2. Of-line

۵. بازار جهانی رایانش زیستی

گسترش تحقیق و توسعه در زمینه توالی‌یابی ژن‌ها باعث شناخت بهتری از سیستم‌های بیولوژیکی شده و تعداد مطالعات تجربی در حوزه‌های مختلف، افزایش قابل توجهی یافته است؛ به‌گونه‌ای که پیش‌بینی می‌شود که بازار جهانی رایانش زیستی تا سال ۲۰۲۰ با ۲۲ درصد رشد نسبت به سال ۲۰۱۳ به بیش از ۴ میلیارد دلار برسد.[1]

آمریکای شمالی با داشتن ۵۸ درصد بازار جهانی رایانش زیستی در سال ۲۰۱۳ در این حوزه پیشرو بوده است. با این حال پیش‌بینی می‌شود کشورهای منطقه آسیا ـ اقیانوسیه به‌خصوص هند و چین با گسترش آزمایش‌های بالینی در حوزه ژنتیک و سینیتیک دارویی، در سال‌های آتی رشد سریعی را در بازار جهانی تجربه نمایند. کشف دارو، مدل‌سازی بیماری‌ها و درمان آنها از پرکاربردترین و پرفروش‌ترین بازارهای جهانی رایانش زیستی بوده‌اند. توسعه پایگاه داده‌های ژنتیکی، تولید مستمر داده‌های ژنتیکی و پروتئینی، داده‌کاوی زیستی و به‌دنبال آن توسعه نرم‌افزارها و ابزارهای تحلیلی از دیگر محصولات و خدمات رایانش زیستی بوده و سهم قابل توجهی را در بازار درآمد جهانی به‌خود اختصاص داده است.

۶. ضرورت رایانش زیستی در ایران

در کشور ما ضرورت توجه به رایانش زیستی و بیوانفورماتیک از ابعادی همچون مدیریت حفاظت و بهره‌برداری از ذخایر ژنتیکی کشور، اجرای سیاست‌های سلامت و ارتقای کیفیت زندگی در قالب خدمات شهروندی قابل بررسی است.

۱-۶. مدیریت حفاظت و بهره‌برداری از منابع ژنتیکی کشور

کشور ایران جزء کشورهای غنی از لحاظ تنوع ژنتیکی در حوزه‌های مختلف گیاهی، دامی و انسانی به‌شمار می‌آید. به‌کارگیری و بهره‌برداری مطمئن از این تنوع ژنتیکی نیازمند مدیریت قوی درخصوص ثبت ملی و نگهداری این منابع برای جلوگیری از سرقت‌های زیستی و سوءاستفاده‌های احتمالی است. در ایران نیز مشابه با دیگر نقاط دنیا مراکز متعددی جهت ثبت، نگهداری و حفاظت فیزیکی از منابع ژنتیکی از قبیل مرکز ملی ذخایر ژنتیکی، مرکز کلکسیون میکروارگانیسم‌های صنعتی ایران، بانک ژن گیاهی ملی ایران و سایر مجموعه‌ها وجود دارند که زیر نظر دستگاه‌های اجرایی متعدد اداره می‌شوند. با این‌حال مدیریت ذخایر ژنتیکی کشور و صیانت از آنها تنها با نگهداری منابع ژنتیکی در بانک‌های ذخیره سلولی و مولکولی کافی نیست؛ زیرا در این دوره در کشورهای پیشرفته به کمک فناوری‌هایی با

1. https://www.grandviewresearch.com/press-release/global-computational-biology-market

کارآیی بالا[1] به سرعت و راحتی اطلاعات موجودات زنده از سطح مولکول‌ها و سلول‌ها گرفته تا کل ژنوم و پیکره، استخراج شده و توسط پایگاه داده‌های زیستی به شکل اینترنتی و برخط در اختیار همگان قرار می‌گیرد، به همین دلیل می‌بایست سلسله تمهیداتی اندیشیده شود تا امکان استخراج اطلاعات ذخایر ژنتیکی، ذخیره‌سازی، نگهداری، طبقه‌بندی و پردازش اطلاعات و ثبت ملی انواع ذخایر ژنتیکی کشور نیز در کنار نظارت و کنترل دسترسی و استفاده از آنها تسهیل گردد.

۲-۶. اجرای سیاست‌های سلامت در کشور

هرچند که استخراج داده‌های زیستی در حوزه‌های کشاورزی و دامپروری بیشتر با هدف بهبود ویژگی‌های ژنتیکی صورت می‌گیرد اما در بخش سلامت به‌دلیل تلاش برای ایجاد راهکارهای مؤثر پیشگیری و مقابله با بیماری‌ها، کاربردهای آن اهمیت بیشتری یافته است.

طبق گزارش‌های سازمان همکاری‌های اقتصادی و توسعه (OECD)، روند جهانی بازار محصولات حوزه سلامت و پزشکی تا سال ۲۰۳۰ به سمت توسعه مقررات و سامانه‌های ثبت داده و سوابق سلامت به‌ویژه اطلاعات ژنتیکی افراد حرکت خواهد کرد که با هدف تقدم پیشگیری بر درمان و توسعه پزشکی شخصی‌سازی شده صورت می‌گیرد. به همین دلیل، اتخاذ سیاست‌های مناسب مطابق با روند جهانی امری اجتناب‌ناپذیر است. در همین راستا در ماده (۲) سیاست‌های کلی سلامت ابلاغی مقام معظم رهبری در سال ۱۳۹۳ نیز بر تحقق رویکرد سلامت همه‌جانبه و انسان سالم با لحاظ کردن چند حکم سیاستی از قبیل اولویت پیشگیری بر درمان، روزآمد نمودن برنامه‌های بهداشتی و درمانی و ارتقای شاخص‌های سلامت برای دستیابی به جایگاه اول در منطقه تأکید شده است.

حساسیت بحث سلامت و درگیر بودن همه اقشار جامعه با مسائل آن، ضرورت توجه به رایانش زیستی، خدمات آن و راهکارهای روزآمد و نوینی که در اختیار حوزه پزشکی و سلامت قرار می‌دهد را بیشتر نمایان ساخته است. غربالگری و پیشگیری از بیماری‌های صعب‌العلاج ازجمله سرطان و تجویز داروی مناسب با مقدار مصرف مناسب براساس ژنتیک هر فرد می‌تواند از مهمترین خدمات رایانش زیستی در حوزه سلامت کشور باشد و نه تنها هزینه‌های گزافی را که برای دارو و درمان صرف می‌شود، کاهش دهد بلکه در مجموع شاخص‌های ملی سلامت را ارتقا بخشد. توجه به این دسته از عملکردهای رایانش زیستی از آن جهت دارای اهمیت است که در کشور ما پس از بیماری‌های قلبی و عروقی و سوانح و حوادث، سرطان سومین عامل مرگ‌ومیر است. سالیانه بیش از سی هزار نفر از ایرانیان در اثر سرطان جان خود را از دست می‌دهند. این درحالی است که با غربالگری به موقع ژنتیکی سرطان‌هایی که منشأ ژنتیکی و ارثی دارند تا حد زیادی قابل پیشگیری و کنترل خواهند بود. در حوزه دارو نیز آمار بالای مصرف داروها در جامعه، از یک‌سو احتمال بروز

1. High Troughput Technologies

تداخلات دارویی را بالا خواهد برد و ازسوی دیگر اشتباهاتی که ضمن تجویز و مصرف دارو به صورت ناخواسته صورت می‌گیرد، ممکن است بیمار را به سمت مصرف مقادیر بالاتر از دوز درمانی و درنتیجه مسمومیت دارویی سوق دهد. این امر خصوصاً در مصرف دارو توسط سالمندان حائز اهمیت است. آمار به‌دست آمده از مراکز اطلاع‌رسانی داروها و سموم کشور نشان می‌دهد که حدود ۶۰ درصد از کل مسمومیت‌های ثبت شده در این مراکز، مسمومیت‌های ناشی از مصرف دارو بوده است. اگرچه راهکارهای متفاوتی برای انتخاب داروهای مناسب، میزان مصرف دارو و جلوگیری از تداخلات دارویی در نظر گرفته می‌شود اما اتخاذ روش‌های نوین که شامل انتخاب داروی اثربخش و میزان مصرف آن براساس ژنتیک افراد است می‌تواند هزینه‌های تحمیل شده بر بیماران و حتی دولت را از نظر واردات دارو و یا پرداخت حق بیمه کاهش دهد.

۳-۶. ارتقای کیفیت خدمات شهروندی

اگرچه تشخیص هویت ژنتیکی افراد از دیرباز در سوانح (سقوط هواپیما، آتش‌سوزی‌ها و...) و امور قضایی یا امنیتی (تعیین والدین، شناسایی مجرمان و خرابکاران و...) از دیرباز انجام می‌شده اما کیفیت ارائه این خدمات به کمک رایانش زیستی درحال تغییر است. در کشور ما راه‌اندازی بانک‌های اطلاعات هویت ژنتیکی افراد، با تشکیل بانک اطلاعات هویت ژنتیکی مجرمان سابقه‌دار درحال اجرایی شدن است. بانک اطلاعات هویت ژنتیکی مجرمان به‌دنبال اجرای بند «۱-ز» ماده (۲۱۱) قانون برنامه پنجم توسعه ایجاد شد. براساس این بند، «قوه قضائیه مکلف است به‌منظور تسهیل در رسیدگی به پرونده‌ها و ارتقای کیفیت رسیدگی به پرونده‌ها، با همکاری سازمان پزشکی قانونی، دادستانی کل کشور و نیروی انتظامی جمهوری اسلامی ایران، اقدامات لازم را جهت تقویت و انسجام گروه‌های بررسی صحنه جرم و تهیه شناسنامه هویت ژنتیکی افراد با بهره‌گیری از نیروهای متخصص و روش‌ها و تجهیزات روزآمد به‌عمل آورد».

در همین راستا بنابر اعلام رئیس سازمان پزشکی قانونی کشور، حدود ده هزار پروفایل از اطلاعات هویتی و ژنتیکی مجرمان، زندانیان و معتادان در این بانک جمع‌آوری و نگهداری خواهد شد. انتظار می‌رود که اطلاعات هویت ژنتیکی مربوط به سایر اقشار جامعه نیز در آینده در همین بانک یا بانک‌هایی مشابه و در تعامل با این بانک ذخیره شده[1] و کارت‌های شناسایی با بارکد ژنتیکی تولید شوند. هدف از این کار ایجاد امنیت در جامعه به کمک احراز هویت واقعی افراد در شغل یا زندگی روزمره آنهاست. به‌عنوان مثال در ایران کارت‌های ژنتیک برای شاغلین در شغل‌های پرخطر ازجمله خلبانان، کادرهای پرواز و نظامیان، در دست تولید می‌باشد.[2]

در جدیدترین رویکرد قانونی در مورد این حوزه، نمایندگان مجلس شورای اسلامی در اردیبهشت‌ماه

1. http://www.tabnak.ir/fa/news/547668/
2. http://hamshahrionline.ir/details/84511

۱۳۹۵ در جریان بررسی مواد الحاقی به «لایحه تنظیم برخی از احکام برنامه‌های توسعه کشور» در ماده الحاقی ۱۴ با راه‌اندازی بانک اطلاعات هویتی و ژنتیکی موافقت کردند. طبق این ماده، «به‌منظور تسریع در شناسایی و تشخیص هویت ایرانیان و اتباع خارجی در حوادث و سوانح و افزایش سرعت و توان کشف علمی جرائم، نیروی انتظامی جمهوری اسلامی موظف است بانک هویت ژنتیکی و اثر انگشت ایرانیان و اتباع خارجی را به‌تدریج ایجاد نماید. آیین‌نامه اجرایی ایجاد، نگهداری و به‌روزرسانی این بانک توسط وزارت دادگستری با همکاری ناجا حداکثر ظرف ۶ ماه پس از ابلاغ این قانون تهیه می‌شود و به تصویب هیئت وزیران می‌رسد. هزینه‌های لازم برای ایجاد و نگهداری، به‌روزرسانی و تأسیس زیرساخت این بانک، همه‌ساله متناسباً در اعتبارات سنواتی نیروی انتظامی پیش‌بینی می‌شود»[1].

در زمینه حسگرهای پوشیدنی هوشمند نیز اگرچه بازار جهانی هنوز در مرحله توسعه و رشد است، اما توسعه این ابزارها با توجه به کاربرد آنها در استخراج و تحلیل اطلاعات زیستی و اعمال پاسخ مناسب در لحظه و حتی اعلام هشدار از راه دور به پزشک و بیمارستان، می‌تواند در کشور ما که دیابت، بیماری‌های قلبی و عروقی و بیماری‌های تنفسی در آن رایج بوده و نیازمند مراقبت دائمی است، متقاضیان بسیاری داشته باشد. علاوه‌بر آن، افرادی با مشاغل پرخطر مانند آتش‌نشانان و نظامیان نیز می‌توانند در صورت بروز حادثه از این ابزارهای پیشرفته برای امدادرسانی به خویشتن استفاده نمایند.

۷. الزامات توسعه رایانش زیستی

همان‌گونه که پیش از این بیان شد از مهمترین پیشران‌های جهانی توسعه رایانش زیستی، پیشگیری از بیماری، تأمین سلامت و غذاست که باعث شده استفاده از اطلاعات زیستی و الگوریتم‌های تحلیل آن در حوزه‌های مختلف بازار درآمدزایی را فراهم نماید. در این میان مراحل اجرایی طرح‌های رایانش زیستی از قبیل اخذ نمونه از افراد، استخراج داده‌های زیستی، شناسایی و ثبت ویژگی‌های ژنتیکی، نگهداری و ذخیره‌سازی این اطلاعات و دسترسی و تحلیل آنها با الگوریتم‌های مناسب، زیرساخت‌های فنی و قانونی می‌طلبد که در ادامه شرح داده می‌شود.

۷-۱. زیرساخت‌های فیزیکی برای اخذ نمونه و تعیین خصوصیات ژنتیکی موجود زنده

اخذ نمونه ژنتیکی و غیرژنتیکی باید با استفاده از روش‌های استاندارد و از پیش تعریف شده که مطابق با پروتکل‌های جهانی است انجام شود. برای نمونه‌های ژنتیکی (ژن) اگرچه تعداد محدودی شرکت تخصصی در کشور وجود دارند که به‌طور عمده در زمینه نمونه‌برداری از انسان فعالیت می‌کنند، اما اجرایی و فراگیر شدن اخذ نمونه نه تنها از انسان که از دیگر ذخایر ژنتیکی کشور نیز نیاز به آموزش در

1. http://rc.majlis.ir/fa/news/show/962555

تعداد بیشتری از مراکز موجود و راه‌اندازی مراکز جدید دارد. بعد از اخذ، نمونه مورد نظر باید به یک مرکز که در آن امکان توالی‌یابی ژن و تعیین خصوصیات ژنتیکی موجود زنده وجود دارد، ارسال شود. درحال حاضر در دنیا با بهره‌گیری از فناوری و امکانات پیشرفته، استخراج داده‌های ژنتیکی از لحاظ زمانی و هزینه‌های اقتصادی بسیار بهبود یافته است. هر چند که در سطح جهانی شرکت‌های چینی، هلندی، آمریکایی و... وجود دارند که خدماتی را در این خصوص ارائه می‌دهند، ایجاد زیرساخت‌های فیزیکی از قبیل تهیه دستگاه‌های به روز و کارآ در تعیین توالی ژنتیکی نه تنها برای اجرای طرح‌های رایانش زیستی مهم است، بلکه همان‌طور که گفته شد باید از منظر استقلال و حفاظت از سرقت و یا سوءاستفاده از داده‌های زیستی که از ذخایر ملی به حساب می‌آیند نیز مورد توجه قرار گیرد.

۲-۷. بستر ذخیره‌سازی و تحلیل اطلاعات

بعد از استخراج داده‌های ژنتیکی و فیزیولوژیکی، این داده‌ها باید در فضایی ذخیره‌سازی و تحلیل شوند. ذخیره‌سازی، پردازش و تحلیل حجم عظیم داده‌ها نیازمند زیرساخت‌های رایانشی قوی است. ذخیره‌سازی هر نوعی از اطلاعات در ابتدا به کمک رایانه‌های کوچک و ابررایانه‌ها و یا ایجاد شبکه‌ای از چند رایانه که به کمک یک سرور کنترل می‌شد امکانپذیر بود. امروزه افزایش سرعت و همه‌گیری شبکه‌های مقیاس وسیع مانند اینترنت، بازار رقابت شدیدی را برای به‌روزرسانی مداوم داده‌ها و اطلاعات، به‌وجود آورده و تلاش در برآورده کردن نیازهای جدید منجر به بلوغ مدل رایانش شبکه‌ای در قالب یک مدل جدید به نام رایانش ابری[1] شده است؛ به‌طوری که برای استفاده از خدمات رایانشی، شبکه‌های وسیع مثل اینترنت در همه زمان‌ها و مکان‌ها با سرعت بالا در دسترس هستند و از مزایای آن پرداخت هزینه‌های اندک بابت خدمات متنوعی است که از این طریق ارائه می‌شود. با افزایش سرعت نقل و انتقال داده در شبکه جهانی وب، زمان تبادل اطلاعات و هزینه‌های انتقال داده و ترافیک نیز روندی کاهشی پیدا می‌کند. در حوزه زیستی نیز لزوم ثبت اطلاعات ژنتیکی و امکان دسترسی سریع و بهره‌برداری از آنها، ایجاد زیرساخت‌های استاندارد اطلاعاتی و ارتباطی مرتبط را ضروری ساخته است. علاوه‌بر آن، درحال حاضر نقش رایانش زیستی از یک سیستم ذخیره‌سازی و ثبت اطلاعات فراتر رفته و با در اختیار داشتن اطلاعات متنوع و گسترده، در نقش ابرکامپیوترهایی ظاهر خواهد شد که توان تجزیه و تحلیل اطلاعات را خواهد داشت. این روند منجر به توسعه نرم‌افزارهایی شده که تحلیل‌های تخصصی را به کمک فعالیت‌های رایانشی از قبیل توسعه و انتخاب الگوریتم‌ها و برنامه‌های مناسب، به پاسخ نهایی می‌رساند. تحلیل‌های حاصل شده در ادامه باید به کمک داده‌های استاندارد، با نتایج موجود در بانک‌های جهانی یا منطقه‌ای اطلاعات ژنتیکی و فیزیولوژیکی مقایسه و از

1. Cloud Computing

صحت آنها اطمینان حاصل شود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که زیرساخت‌های اطلاعاتی و ارتباطی فقط منحصر به ایجاد و توسعه پایگاه‌های داده در داخل کشور نمی‌باشند، بلکه دسترسی به نتایج پایگاه‌های زیستی معتبر دنیا و نیز نرم‌افزارها و تحلیل‌های تخصصی که در این پایگاه‌ها به اشتراک نهاده می‌شود برای اعتبارسنجی نتایج تحقیق و توسعه داخل کشور ضروری است.

۳-۷. جمع‌آوری و تجمیع یکپارچه اطلاعات

اطلاعات زیستی موجودات زنده فقط منحصر به داده‌های ژنتیکی نمی‌شود بلکه سایر اطلاعات فیزیولوژیکی، محیطی، گونه و خانواده، بیماری و... نیز برای تحلیل و شبیه‌سازی هر چه واقعی‌تر پاسخ‌ها و عملکردهای آن موجود باید استخراج و جمع‌آوری شوند. تجمیع این اطلاعات در یک سند یا برنامه در مرحله بعدی قرار دارد. در حوزه سلامت و پزشکی، یکپارچگی اطلاعات سلامت شهروندان اهمیت بیشتری دارد. یکپارچه نبودن اطلاعات سلامت باعث می‌شود که افراد جامعه دارای پرونده پزشکی کاملی نباشند. این موضوع علاوه‌بر آنکه تشخیص صحیح پزشکی با توجه به سابقه کامل ژنتیکی و فیزیولوژیکی فرد را به مخاطره می‌اندازد، باعث می‌شود از کیفیت مدیریت و برنامه‌ریزی نظام سلامت نیز کاسته شود؛ چراکه متولیان نظام سلامت کشور در بسیاری از موارد به اجبار براساس اطلاعات ناقص و پراکنده تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی می‌کنند. همین امر موجب افت کیفیت این برنامه‌ها و به هدر رفتن منابع انسانی و مالی می‌گردد. سازمان‌های بیمه‌گر نیز به علت عدم یکپارچگی اطلاعات و حتی در بعضی موارد عدم وجود اطلاعات سلامت، قادر به تشخیص مناسب خدمات ارائه شده به شهروندان نیستند و این مسئله موجب بروز اختلافات و مشکلات متعدد آنها با نظام سلامت کشور شده است.

۴-۷. مدیریت امنیت اطلاعات و حفظ حریم خصوصی

در مدیریت امنیت اطلاعات و حفظ حریم خصوصی، پارامترهایی از قبیل سرعت انتقال اطلاعات، اطمینان از دقت و صحت آن، انکارناپذیری و تمامیت داده‌های منتقل شده حائز اهمیت است. این مسئله به‌خصوص در حوزه بیوانفورماتیک و رایانش زیستی که با استفاده از آنها ویژگی‌های ژنتیکی موجودات زنده به داده اطلاعاتی تبدیل شده و دسترس‌پذیر می‌شود ضروری‌تر است. امنیت داده‌ها به معنی تضمین یکپارچگی داده‌ها، دسترسی مطمئن و صحت داده‌ها (جعلی نبودن) است و برای پیاده‌سازی آن باید مسائلی همچون احراز هویت، تعیین دسترسی اقشار مختلف به اطلاعات و ممیزی را در نظر گرفت. محرمانگی نیز به معنی نگهداری امن و محرمانه داده‌هاست. حریم خصوصی، بسته به فرهنگ و زمینه‌های اجتماعی و محیطی در کشورهای مختلف متفاوت است. این نکته قابل ذکر است که حمایت از داده‌ها و مدیریت امنیت اطلاعات دارای ماهیتی فنی و کاربردی است و با حریم

خصوصی که یک مفهوم حقوق بشری است تفاوت دارد، اما ابعاد مشترک فراوانی نیز با یکدیگر دارند. این حوزه مشترک را می‌توان «حریم اطلاعات خصوصی» یا «حریم داده‌های خصوصی» نامید. در بسیاری از کشورها مفاهیم مدیریت امن اطلاعات، حفاظت از داده‌ها و محرمانگی اطلاعات با یکدیگر پیوند خورده است. هرچند استفاده از خدمات الکترونیکی و رایانشی با وجود پیشرفت‌های سریع و تولید داده‌های عظیم زیستی می‌تواند زمان و هزینه‌های دسترسی به اطلاعات را کاهش دهد، اما باید به این نکته توجه کرد که وجود این اطلاعات به شیوه الکترونیکی، میزان دسترسی افراد در هر زمان و مکان را بسیار آسان می‌سازد. به همین دلیل اتخاذ قوانین و اقدامات اجرایی لازم برای جلوگیری از نقض حریم خصوصی و سوءاستفاده از اطلاعات موجودات زنده که می‌توانند گونه‌های بومی و منحصر به فرد کشور باشند و مهمتر از آن اطلاعات شخصی شهروندان، اهمیت فراوانی دارد. روش اجرای یکپارچه‌سازی اطلاعات پزشکی و شکل‌دهی به آن تحت قالب پرونده الکترونیک سلامت می‌تواند ملاحظاتی را درخصوص حفاظت از امنیت داده‌ها ایجاد نماید. در صورت برون‌سپاری اجرای طرح‌های رایانش زیستی و یا سلامت الکترونیک و استفاده از خدمات رایانش ابری مثل اینترنت به‌منظور ایجاد بانک یا بانک‌های متمرکز اطلاعات زیستی، می‌بایست ریسک نقض حریم خصوصی و امنیت و محرمانگی اطلاعات پرونده و پایگاه داده از ابعاد مختلف قانونی، حقوقی و اجرایی کاهش یابد.

کشورهای پیشرو در این زمینه، مدیریت تعیین سطح دسترسی به اطلاعات زیستی را بسته به حوزه کاربرد داده‌های زیستی تعیین کرده‌اند. به‌عنوان مثال در حوزه سلامت، سطح دسترسی به اطلاعات حاصل از پردازش داده‌ها به خود فرد واگذار شده است. به این معنی که فرد دارای پرونده سلامت قادر است تعیین کند چه کسانی به محتوای پرونده وی دسترسی داشته باشند و بر این اساس حریم خصوصی خود را مدیریت نماید.

۵-۷. زیرساخت‌های حقوقی و قانونی

حفاظت و بهره‌برداری از منابع ژنتیکی، حقوق مالکیت فکری داده‌ها، الزامات قراردادی داده‌ها، حفاظت از داده‌ها و حریم خصوصی افراد از اصلی‌ترین زیرساخت‌های حقوقی و قانونی اجرای طرح‌های رایانش زیستی محسوب می‌شوند.

ایجاد زیرساخت‌های قانونی در حفاظت و بهره‌برداری از منابع ژنتیکی به‌منظور مقابله با مشکلاتی همچون خروج غیرقانونی و بهره‌برداری‌های غیرمجاز، سرقت‌های زیستی، پراکندگی مراکز نگهداری و احیای منابع ژنتیکی (زیست‌بانک‌ها)، ارتباط ضعیف زیست‌بانک‌ها برای اشتراک‌گذاری اطلاعات و نبود بانک اطلاعات جامع منابع ژنتیکی، عدم ثبت ملی و بین‌المللی ذخایر ژنتیکی کشور و تعدد مراکز تصمیم‌گیری و موازی‌کاری نهادهای متولی این حوزه ضروری است.

سازوکار حفاظت و صیانت از ذخایر ژنتیکی به‌عنوان ثروت عظیم ملی و ظرفیت‌سازی در استفاده بهینه از آن برای شکوفایی اقتصاد ملی، در سیاست‌های کلان و سایر قوانین کشور مورد توجه قرار گرفته است. به‌عنوان مثال طبق بند «۲» «سیاست‌های کلی منابع طبیعی» ابلاغی مقام معظم رهبری، به «تلاش برای شناسایی و حفاظت منابع آب و خاک و ذخایر ژنتیکی گیاهی ـ جانوری و بالا بردن غنای حیاتی خاک‌ها و بهره‌برداری بهینه براساس استعداد منابع و حمایت مؤثر از سرمایه‌گذاری در آن» تأکید شده است. از طرف دیگر قوانینی از قبیل «قانون حفاظت و بهسازی محیط زیست» (سال ۱۳۵۳)، «قانون نظام جامع دامپروری» (سال ۱۳۸۸)، (، «قانون ایمنی زیستی» (سال ۱۳۸۸)، «قانون ثبت ارقام گیاهی و کنترل و گواهی بذر و نهال» (سال ۱۳۸۲) و «طرح جامع منابع طبیعی» (سال ۱۳۹۳) وجود دارند که در ارتباط با منابع ژنتیکی هستند که گاهاً یا اجرا نشده‌اند و یا سیاست‌های واحد با یکدیگر همپوشانی داشته و بعضاً در تضاد با یکدیگرند. ازاین‌رو به‌منظور اتخاذ سیاست‌های کلان و یکپارچه در حفظ و بهره‌برداری از تنوع زیستی، امکان ورود مقتدرانه و هوشمندانه به عرصه بین‌المللی و تعامل با مراکز جهانی و رفع سایر دغدغه‌های موجود، داشتن قانونی منسجم و جامع که ابعاد ذکر شده را پوشش دهد، ضروری است. در این راستا لایحه «حفاظت و بهربرداری از منابع ژنتیکی» در مجلس شورای اسلامی در دست بررسی قرار دارد. علاوه‌بر آن «لایحه الحاق به پروتکل ناگویا» نیز که در رابطه با دسترسی به منابع ژنتیکی و تسهیم عادلانه و منصفانه منافع حاصل از استفاده آنها در سطح بین‌المللی است، از دیگر لوایحی است که تصمیم‌گیری در مورد آن منوط به بررسی و تصویب لایحه حفاظت و بهره‌برداری از منابع ژنتیکی و ایجاد زیرساخت‌های قانونی در کشور شده است. پیوستن به این پروتکل از آن جهت حائز اهمیت است که زمینه‌ساز حفاظت از منابع ژنتیکی کشور و دانش سنتی این منابع در سطح بین‌المللی است و نیز طرح دعوی در دادگاه‌های بین‌المللی در صورت بروز چالش‌هایی از قبیل سرقت زیستی را امکانپذیر می‌سازد. در عین حال امکان دسترسی به منابع ژنتیکی کشورها در چارچوب این پروتکل، می‌تواند به ایجاد درآمد و ارزش حاصل از تسهیم منافع مرتبط با منابع و دانش سنتی این حوزه شود.

در حوزه حقوق مالکیت فکری باید زیرساخت‌های قانونی و حقوقی برای مسائلی از قبیل کپی‌رایت، قوانین پایگاه داده و محرمانگی داده‌ها فراهم شود. علاوه‌بر آن الزامات قراردادی داده‌های زیستی نیز با توجه به نکاتی ازجمله هدف و چگونگی استفاده از داده‌ها، حقوق اطلاعات استخراج شده از داده‌ها، تضمین انطباق با قوانین و مقررات دیگر، امکان استفاده از داده‌ها پس از پایان یافتن مدت عرضه خدمات و مسائلی از این دست تنظیم می‌شوند. همچنین باید مصادیق حریم خصوصی این حوزه با توجه به فرهنگ جامعه تعریف شده و جزئیات حقوقی و قانونی مترتب بر دسترسی و بهره‌برداری‌هایی که در آنها محرمانگی و امنیت داده‌ها تضمین شده است، شکل گیرد. آنچه در بحث

حفظ حریم خصوصی دنبال می‌شود کنترل و نظارت افراد بر اطلاعات شخصی‌شان است و به این ترتیب تنها بحث افشای اطلاعات مطرح نیست بلکه استفاده‌های مکرر یا آتی را نیز شامل می‌شود. در برخی از کشورها به‌منظور حمایت از حریم خصوصی به‌ویژه در حوزه سلامت و اطلاعات پزشکی افراد، قوانینی تحت عنوان حمایت از داده‌ها به تصویب رسیده است.

در کشور ما اگرچه اسناد بالادستی به‌ویژه قانون اساسی بر حفظ حریم خصوصی افراد تأکید نموده، اما قوانین و مقررات حاکم، حافظ حریم خصوصی در فضای مجازی نیست. البته در قانون «تجارت الکترونیک ایران» مصوب سال ۱۳۸۲ که شامل اصول و قواعدی برای مبادله آسان و ایمن اطلاعات در واسط‌های الکترونیکی و سیستم‌های ارتباطی است، به موضوع حمایت از داده‌ها پرداخته شده است، اما ماهیت داده‌های زیستی ایجاب می‌کند که به‌طور دقیق‌تر و اجرایی‌تر بتوان از آنها حفاظت کرده و استفاده نمود. بر همین اساس نیز در ماده (۶۰) این قانون، موارد مرتبط با «ذخیره، پردازش یا توزیع داده پیام‌های مربوط به سوابق پزشکی و بهداشتی» تابع آیین‌نامه اجرایی این ماده شده است که باید به پیشنهاد وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی و سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور تهیه و به تصویب هیئت وزیران برسد. هرچند این آیین‌نامه هنوز تهیه و تصویب نشده است اما وجود آن می‌تواند یکی از پیشران‌های قانونی مؤثر در حوزه استفاده از زنجیره اطلاعات زیستی در کشور باشد.

«سند راهبردی نظام جامع فناوری اطلاعات جمهوری اسلامی ایران» مصوب ۱۳۸۸ هیئت وزیران که دامنه فعالیت‌های دولت در زمینه فناوری اطلاعات را تعیین نموده است، یکی دیگر از زیرساخت‌های اصلی استفاده از رایانش زیستی در چارچوب فناوری ارتباطات و اطلاعات محسوب می‌شود. با توجه به سند مذکور، راهبردهای نظام جامع فناوری اطلاعات که اجرا شدن آنها تأثیر مهمی در پیشرفت و توسعه رایانش زیستی در حوزه‌های مختلف خواهد داشت در زیر آمده است:[۱]

- فراهم کردن فرصت‌های برابر، عادلانه و امن فناوری اطلاعات برای همه شهروندان
- گسترش شبکه‌های ارتباطی امن، پایدار، آسان و ارزان برای استفاده عموم
- ایجاد نظام اطلاع‌رسانی صحیح، سریع و به موقع برای عموم مردم
- صیانت از حقوق شهروندی در فضای الکترونیکی
- استانداردسازی و یکپارچگی سیستم‌ها و نظامات فناوری اطلاعات و ارتباطات در کشور
- یکپارچگی و استانداردسازی سامانه‌ها، نرم‌افزارهای عمومی و اختصاصی و پایگاه‌های داده ملی برای تعامل و استفاده بهینه از منابع اطلاعاتی

از طرفی، علاوه‌بر سیاست‌های مختص به فناوری اطلاعات، وجود سیاست‌های کلان و بخشی در

---

۱. بند «الف-۴» سند راهبردي نظام جامع فناوري اطلاعات جمهوري اسلامي ايران.

سایر بخش‌های اجرایی که بر استفاده از داده‌های اطلاعاتی تأکید نمایند نیز می‌تواند پیشران مؤثری در اجرای برنامه‌های رایانشی به‌خصوص در حوزه زیستی کشور باشد. به‌عنوان مثال در بخش سلامت برای اجرای سیاست‌هایی[۱] از قبیل اولویت پیشگیری بر درمان، روزآمد نمودن برنامه‌های بهداشتی و درمانی و ارتقای شاخص سلامت برای دستیابی به جایگاه اول در منطقه آسیای جنوب غربی باید ابزارهای مختلفی به‌کار گرفته شود که یکی از آنها به‌کارگیری فناوری‌های نوین و خدمات پیشرفته در حوزه سلامت است. در این میان برنامه‌هایی درخصوص جمع‌آوری، تجمیع و یکپارچه‌سازی اطلاعات سلامت افراد در قالب فناوری اطلاعات به‌عنوان اولین گام اجرایی خدمات سلامت، در اسناد کلان مورد توجه قرار گرفته است. به همین دلیل در بند «هـ» ماده (۸۸) قانون برنامه چهارم توسعه (۱۳۸۹-۱۳۸۴)، وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی موظف شد به‌منظور ارتقای مستمر کیفیت خدمات سلامت و تعالی عملکرد خدمات بالینی، افزایش بهره‌وری و استفاده بهینه از امکانات بهداشتی درمانی کشور، به «طراحی و استقرار نظام جامع سلامت شهروندان ایرانی» بپردازد. در مصوبه شورای عالی سلامت مورخ ۱۳۸۷ /۷/۲[۲] نیز وزارت بهداشت و درمان با همکاری سایر نهادها و وزارتخانه‌های مرتبط موظف به توسعه «پرونده سلامت الکترونیک» در یک بازه زمانی ده‌ساله است. ایجاد پرونده سلامت الکترونیک در اسناد و قوانین دیگر ازجمله قانون برنامه پنجم توسعه دنبال و تأکید شده است.[۳] پرونده سلامت الکترونیک یکی از ابزارهای مهم در تجمیع، دسترس‌پذیری اطلاعات و ارائه خدمات سلامت الکترونیک به‌حساب می‌آید. این پرونده مجموعه اطلاعات مرتبط با سلامت شهروندان از پیش از تولد، شامل

---

۱. ماده (۲) سیاست‌هاي کلي سلامت ابلاغي مقام معظم رهبري در سال۱۳۹۳، تحقق رویکرد سلامت همه‌جانبه و انسان سالم در همه قوانین، سیاست‌هاي اجرايي و مقررات را با رعايت مفاد زير تأكيد نموده است:

۲-۱. اولويت پيشگيري بر درمان

۲-۲. روزآمد نمودن برنامه‌هاي بهداشتي و درماني

۲-۳. كاهش مخاطرات و آلودگي‌هاي تهديدكننده سلامت مبتني‌بر شواهد علمي

۲-٤. تهيه پيوست سلامت براي طرح‌هاي كلان توسعه‌اي

۲-۵. ارتقاي شاخص‌هاي سلامت براي دستيابي به جايگاه اول در منطقه آسياي جنوب غربي

۲-٦. اصلاح و تكميل نظام‌هاي پايش، نظارت و ارزيابي براي صيانت قانونمند از حقوق مردم و بيماران و اجراي صحيح سياست‌هاي كلي

۲. مصوبه شوراي عالي سلامت مورخ ۱۳۸۷/۷/۲:

در اجراي ماده (۸۸) قانون برنامه توسعه چهارم، وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشكي با همكاري وزارتخانه‌هاي رفاه و تأمين اجتماعي، ارتباطات و فناوري اطلاعات، شوراي عالي فناوري اطلاعات كشور، شوراي عالي انفورماتيك و سازمان پزشكي قانوني موظفند برنامه عملياتي و آيين‌نامه اجرايي ايجاد و توسعه پرونده الكترونيك سلامت (نظام جامع اطلاعات سلامت شهروندان) را ظرف يك سال تهيه و تدوين كنند تا در يك دوره ده‌ساله، بسترهاي اطلاعاتي مناسب براي ارائه خدمات نوين به شهروندان ايجاد شود. معاون برنامه‌ريزي و نظارت راهبردي رياست‌جمهوري اعتبارات لازم اين برنامه را در بودجه سنواتي لحاظ مي‌كند.

۳. در مصوبه هيئت وزيران مورخ ۱۳۸۷/۱۰/۲۹ بر توسعه سلامت الكترونيك تأكيد شده و طبق آن وزارت بهداشت موظف شده است ضمن اختصاص بودجه سالیانه به سلامت الكترونيك، ظرف ده سال آتي طي دو برنامه بلندمدت پنج‌ساله اين طرح را در سطح كشور اجرايي سازد كه پنج سال اول شامل توسعه و استقرار سيستم‌هاي اطلاعاتي است و در پنج سال دوم نيازها و ايده‌هاي جديد حوزه فناوري و بهداشت بررسي مي‌شود. در اين راستا به‌طور شفاف‌تري در ماده (۳۵) قانون برنامه پنجم توسعه نيز استقرار و توسعه پرونده الكترونيك سلامت ديده و دولت موظف شده است «به‌منظور حفظ يكپارچگي در مديريت دانش و اطلاعات حوزه سلامت، اقدام‌هاي زير را انجام دهد:

الف) وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشكي با اهداف ارائه خدمات الكترونيكي سلامت نسبت به استقرار سامانه پرونده الكترونيكي سلامت ايرانيان و سامانه‌هاي اطلاعاتي مراكز سلامت در هماهنگي پايگاه ملي مركز آمار ايران و براساس اطلاعات طبقه‌بندي شده اقدام مي‌نمايد.كليه مراكز سلامت اعم از دولتي و غيردولتي موظف به همكاري در اين زمينه مي‌باشد.

ب) وزارت رفاه و تأمين اجتماعي با همكاري سازمان‌ها و مراكز خدمات درماني و بيمه‌اي، حداكثر ظرف دو سال اول برنامه، خدمات بيمه سلامت را به صورت يكپارچه و مبتني‌بر فناوري اطلاعات و در تعامل با سامانه پرونده الكترونيكي سلامت ايرانيان ساماندهي مي‌نمايد. كليه واحدهاي ذيربط اعم از دولتي و غيردولتي موظف به همكاري در اين زمينه مي‌باشند».

اطلاعات دوران جنینی و ماقبل آن تا پس از مرگ است که به صورت مداوم و با گذشت زمان به شکل الکترونیکی ذخیره می‌گردد و در صورت نیاز بدون محدودیت زمانی و مکانی، تمام یا بخشی از آن در دسترس افراد مجاز (مانند پزشک معالج) قرار خواهد گرفت. هدف اصلی پرونده الکترونیکی سلامت، تداوم مراقبت‌های بهداشتی با کیفیت و مؤثر بوده و شامل اطلاعات گذشته‌نگر، حال و آینده‌نگر است. مدیریت و یکپارچه‌سازی اطلاعات سلامت مستلزم پردازش انبوهی از اطلاعات متنوع است که در مقوله بهداشت و درمان تولید می‌شوند. لذا استفاده از فناوری اطلاعات و ارتباطات می‌تواند نقش مؤثری در این حوزه ایفا نماید. به این ترتیب استفاده از خدمات رایانش زیستی نه تنها منجر به تولید اطلاعات مفید برای پرونده سلامت الکترونیک افراد خواهد شد بلکه می‌توان گفت ارتباط دو طرفه‌ای برقرار است به نحوی که استفاده از اطلاعات موجود در پرونده سلامت الکترونیک نیز به دقت تحلیل‌ها کمک می‌نماید.

هرچند که بررسی عملکرد دولت در اجرایی کردن پرونده سلامت الکترونیک نشان می‌دهد استقرار این سامانه تاکنون به‌دلایل مختلف ازجمله کافی نبودن زیرساخت‌های فنی تبادل اطلاعات و عدم هماهنگی و همکاری مراجع مسئول در جمع‌آوری و ارسال اطلاعات[1] میسر نشده و براساس پاسخ نامه ارسالی ازسوی وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی، نسبت افراد دارای پرونده الکترونیک سلامت به کل جمعیت کشور حدود ۴ درصد برآورده شده است،[2] اما به‌طور قطع استقرار این سامانه یکی از زیرساخت‌های لازم برای اجرای طرح رایانش زیستی است. به این ترتیب اطلاعات موجود در پرونده سلامت الکترونیک افراد و دیگر داده‌های زیستی برای تحلیل‌های رایانشی مورد استفاده قرار می‌گیرند و منجر به ایجاد اطلاعات جدیدی می‌شوند که مجدداً به پرونده سلامت الکترونیک هر فرد الحاق می‌شود. یکپارچگی و تجمیع این اطلاعات نقش بسیار مؤثری در تحلیل‌های کامل و صحیح داشته و سرعت و دقت پیشگیری و درمان را متناسب با ویژگی‌ها و سوابق آن فرد افزایش خواهد داد.

۶-۷. همگرایی متولیان اجرایی و حضور ذینفعان

همگرایی و همکاری کلیه متولیان اجرایی و ذینفع، یکی از ارکان مهم در اجرایی شدن طرح‌های رایانش زیستی است. وزارت بهداشت و درمان، وزارت جهاد کشاورزی، قوه قضائیه و وزارت ارتباطات و فناوری اطلاعات از مهمترین متولیان و مجریان طرح‌های رایانشی در کشور هستند. مهمترین ذینفعان و بهره‌بردارانی که از توسعه رایانش زیستی منتفع می‌شوند شهروندان جامعه، کشاورزان، شرکت‌های بیمه‌ای، سازمان تأمین اجتماعی، سازمان بهزیستی، شرکت‌های غذایی و دارویی و... می‌باشند. مسائلی از قبیل نگهداری از ذخایر ژنتیکی ملی و مقابله با بیوتروریسم و حفظ امنیت ملی نیز می‌تواند دولت را نه تنها به‌عنوان متولی توسعه بلکه به‌عنوان یکی دیگر از ذینفعان و بهره‌برداران مطرح سازد. تعدد بازیگران و

۱. گزارش عملکرد قانون برنامه پنجم توسعه در سال ۱۳۹۲، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزي کشور، جلد دوم، صص ۱۷ و ۱۸.
۲. پاسخ نامه ازسوي وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکي.

ذینفعان این حوزه ایجاب می‌نماید که وظایف سیاستگذاران، متولیان، مجریان و بهره‌برداران، تفکیک و شفاف‌سازی شده و راهکارهای لازم برای یکپارچگی بین فعالان این حوزه نیز اتخاذ گردد.

سیاستگذاران عرصه رایانش زیستی پزشکی و سلامت، شورای عالی سلامت[1] و شورای عالی فناوری اطلاعات[2] هستند که با تصویب مصوبات و اسناد قانونی خط و مشی‌های اساسی را برای دیگر متولی یا متولیان مشخص می‌کنند.

نوع سیاست‌هایی که وزارت بهداشت و درمان به‌عنوان مجری برنامه‌های سلامت الکترونیک در مورد پیشگیری از بیماری، کنترل سرطان، داروهای مصرفی و امور بیمه‌ای و خدمات اجتماعی اتخاذ می‌نماید می‌تواند تأثیر مستقیمی بر میزان و زمان توسعه و اشاعه خدمات رایانش زیستی داشته باشد. در این حوزه، اجرای طرح‌های رایانش زیستی به‌دلیل چند بعدی بودن و وجود بهره‌برداران متنوع به حمایت و همکاری نهادهای مختلفی ازجمله وزارت ارتباطات و فناوری اطلاعات، وزارت رفاه و تأمین اجتماعی و قوه قضائیه نیازمند است. اتخاذ سیاست‌های مناسب برای حضور و همکاری ذینفعان خصوصی ازجمله شرکت‌های دارویی و تجهیزات پزشکی هوشمند و سازمان‌های بیمه‌ای نیز از اهرم‌های مفید و کارآ در اجرای طرح‌های رایانش زیستی است. ارتباط شرکت‌های دارویی و تجهیزات پزشکی با طرح‌ها و خدمات رایانش زیستی از دو جنبه قابل ارزیابی است. هرچند که این شرکت‌ها برای تولید داروهای خاص و براساس داده‌های ژنتیکی و یا ابزارهای هوشمند اندازه‌گیری و پردازش از راه دور سلامت، متحمل هزینه‌های بیشتری شده و قیمت تمام شده محصول آنها افزایش می‌یابد و تا

---

۱. آیین‌نامه تشکیل شوراي عالي سلامت و امنیت غذایي (مصوب ۱۳۹۰)
ماده (۱) – به‌منظور تأمین، حفظ و ارتقای عادلانه سلامت، فراهم شدن شرایط دسترسی و برخورداری آحاد جامعه از سبد غذایی سالم و مطلوب و بهبود کیفیت و شیوه زندگی آحاد مردم، «شورای عالی سلامت و امنیت غذایی» که در این آیین‌نامه به اختصار «شورای عالی» نامیده می‌شود، به‌عنوان مرجع اصلی سیاستگذاری و تصمیم‌گیری درخصوص سلامت و امنیت غذایی تشکیل می‌گردد.
۲. وظایف و اختیارات وزارت ارتباطات و فناوري اطلاعات
ماده (٤)- به‌منظور سیاستگذاری و تدوین راهبردهای ملی و در قلمرو فناوری اطلاعات، تدوین برنامه‌های میان‌مدت و بلندمدت برای توسعه پژوهش‌های بنیادی و کاربردی در قلمرو فناوری اطلاعات و همچنین گسترش کاربری فناوری اطلاعات و ارتباطات در کشور و برنامه‌های توسعه بخش‌های مختلف، شورای عالی فناوری اطلاعات با استفاده از امکانات و نیروی انسانی دفتر مدیریت و تجهیز منابع اطلاعات وزارت ارتباطات و فناوری اطلاعات و در چارچوب سیاست‌های کلی نظام تشکیل می‌گردد.
تصمیمات شورا با رعایت سیاست‌های کلی نظام در چارچوب قوانین و مقررات پس از تأیید رئیس‌جمهور توسط وزیر ارتباطات و فناوری اطلاعات ابلاغ می‌گردد و مسئولیت و نظارت بر حسن اجرای آن به‌عهده وی خواهد بود.
الف) ریاست شورای عالی با رئیس‌جمهور بوده و در غیاب ایشان، معاون اول وی این وظیفه را به‌عهده خواهد داشت.
ب) دبیرخانه شورای عالی در وزارت ارتباطات و فناوری با استفاده از امکانات و نیروی انسانی دفتر مدیریت و تجهیز منابع اطلاعات وزارت مذکور تشکیل و دبیر آن به پیشنهاد وزارت ارتباطات و فناوری اطلاعات و با حکم ریاست جمهور منصوب می‌شود.
ج) اساسنامه شورای عالی توسط وزارت ارتباطات و فناوری اطلاعات و با هماهنگی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور تهیه و به تصویب هیئت وزیران خواهد رسید.
د) سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور موظف است تشکیلات لازم متناسب با اهداف و وظایف این شورای عالی را با هماهنگی دبیرخانه شورای عالی تهیه و تصویب نموده و برای اعتبارات مربوط، ردیف مستقل در نظر بگیرد.
هـ) وظایف شورای عالی فناوری به‌شرح ذیل می‌باشد:
۱. تدوین اهداف کلان و راهبردی توسعه فناوری اطلاعات در کشور.
۲. سیاستگذاری و تدوین راهبردهای لازم برای گسترش به‌کارگیری فناوری اطلاعات در زمینه‌های مختلف اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی.
۳. تمهید و تدوین نظام جامع فناوری اطلاعات و تعیین وظایف بخش‌های مختلف کشور در نظام جامع مذکور.
٤. تدوین مقررات و آیین‌نامه‌ها و ضوابط لازم برای قلمرو فناوری اطلاعات.
۵. تدوین برنامه‌های کلان پژوهش در جهت توسعه فناوری اطلاعات در کشور.
٦. تدوین برنامه‌های همکاری‌های ارتباطات بین‌المللی در قلمرو فناوری اطلاعات.
۷. تبصره- کلیه موارد موضوع این بند پس از طی مراحل قانونی لازم‌الاجراست.

حدی بازار فروش را تحت تأثیر قرار خواهد داد اما سیاست افزایش سطح خدمات سلامت که در اکثر کشورهای توسعه‌یافته به جدیت دنبال می‌شود، باعث شده است که استراتژی شرکت‌های بزرگ دارویی به سمت گسترش پزشکی شخصی‌سازی شده و تولید دارو و تجهیزات پزشکی براساس ویژگی‌های افراد تغییر کند. به همین دلیل و در راستای اسناد کلان کشور و تأکید آنها بر ارتقای خدمات سلامت، شرکت‌های داخلی نیز با تغییر نگاه و فرهنگ تولید و مصرف دارو و تجهیزات پزشکی می‌توانند بازار پر درآمدی را در این حوزه خلق کنند. خدمات رایانش زیستی می‌تواند در صنعت بیمه نیز تحول زیادی ایجاد نماید. شرکت‌های بیمه وظیفه پرداخت بخش عمده‌ای از هزینه‌های درمانی در کشور را برعهده دارند. سالیانه پرداخت هزینه‌های درمان و دارو به‌خصوص در بیماری‌های صعب‌العلاج هزینه‌های زیادی را بر شرکت‌های بیمه تحمیل می‌سازد. توسعه خدمات رایانش زیستی و تولید و مصرف دارو با در نظر گرفتن بسیاری از عوامل ژنتیکی افراد و نیز امکان پیشگیری از ابتلا به برخی بیماری‌ها که براساس سوابق ژنتیکی قابل پیش‌بینی است می‌تواند علاوه‌بر کاهش هزینه‌های درمان، بار مالی پرداخت حق بیمه برای شرکت‌های بیمه را کاهش دهد. اتخاذ این نوع نگاه ازسوی شرکت‌های بیمه‌ای و نقش حمایتی آنها مطمئناً در توسعه خدمات رایانش زیستی بسیار مثمرثمر خواهد بود. تکمیل پرونده سلامت الکترونیک افراد با الحاق سوابق دقیق‌تر، سازمان‌های بیمه را در پرداخت‌ها و تحقق دیگر خدمات بیمه‌ای می‌رساند. ازاین‌رو سازمان‌های بیمه به‌ویژه در بخش خصوصی تمایل زیادی به تکمیل و یکپارچگی اطلاعات سلامت بیمه‌گذاران خود دارند. به‌طوری‌که بیمه‌های غیردولتی حتی قبل از تشکیل سازمان بیمه سلامت اقداماتی را در راستای بیمه الکترونیکی انجام داده‌اند هرچند که تعامل و تبادل اطلاعات بیمه‌ای آنها با سازمان بیمه سلامت هنوز انجام نشده است.

۷-۷. تأمین اعتبار

در تأمین اعتبار طرح‌های رایانش زیستی، دولت می‌تواند ردیف بودجه اختصاصی را در قالب حمایت از استقرار و مدیریت بانک‌های ذخیره سلولی و بانک داده‌های زیستی برای حوزه‌ها و دستگاه‌های مختلف اختصاص دهد. به‌عنوان مثال براساس ماده الحاقی (۱۴) به لایحه «تنظیم برخی از احکام برنامه‌های توسعه کشور»، باید هزینه‌های لازم برای ایجاد و نگهداری، به‌روزرسانی و تأسیس زیرساخت بانک هویت ژنتیکی و اثر انگشت که توسط نیروی انتظامی ایجاد خواهد شد، همه‌ساله متناسباً در اعتبارات سنواتی نیروی انتظامی پیش‌بینی شود. در حوزه سلامت دولت علاوه‌بر اینکه قادر است در قالب راه‌اندازی نظام جامع سلامت و طرح‌های سلامت الکترونیک ردیف بودجه اختصاصی منظور نماید، می‌تواند با ترغیب شرکت‌های بیمه دولتی و خصوصی، حمایت از دستگاه‌هایی مانند سازمان بهزیستی، سازمان تأمین اجتماعی، بنیاد شهید، کمیته امداد امام خمینی (ره) و دیگر نهادهای دولتی که در ایجاد پرونده سلامت

الکترونیک در چارچوب ساختار سازمانی خود قدم برداشته و فعالیت‌هایی نیز داشته‌اند و ایجاد انگیزه برای دیگر بخش‌های خصوصی به‌خصوص شرکت‌های فعال در حوزه‌های ژنتیکی و داده‌کاوی و امور فناوری اطلاعات، سرمایه مناسب جذب نماید. توسعه جایگاه الگوهای جدید تأمین مالی نوآوری همچون سرمایه‌گذاری خطرپذیر و تأمین مالی جمعی در نظام مالی کشور (استفاده از کمک‌های مالی خیرین) نیز از دیگر راهکارهای حمایتی دولت از رایانش زیستی است. البته باید یادآوری نمود به‌منظور استفاده از مشارکت‌های مادی و غیرمادی نهادها به‌خصوص نهادهای خصوصی در این حوزه، ایجاد زیرساخت‌های قانونی درخصوص دسترسی به اطلاعات و بهره‌برداری از آنها ضروری است.

راه‌اندازی زیرساخت‌های مورد نیاز برای اجرای طرح‌های رایانش زیستی در کشور در مراحل اولیه می‌تواند هزینه‌بر و حتی زمانبر باشد اما آثار و دستاوردهای نهایی آن در ارتقای شاخص‌های توسعه پایدار از قبیل حفاظت از محیط زیست، امنیت غذایی و امنیت سلامت بسیار سودمند بوده و در نهایت منجر به کاهش هزینه‌ها نیز می‌گردد.

۸-۷. فرهنگ‌سازی

یکی از عوامل مهم در توسعه خدمات رایانش زیستی بحث فرهنگ‌سازی و آموزش است. توجه به گسترش روزافزون این نوع خدمات در کشور و معرفی بازار آن به مردم، باعث تحریک تقاضا می‌شود و افراد تمایل بیشتری به هزینه کردن برای رسیدن به راهکارهای مؤثر و اطمینان بخش‌تری که از این طریق ارائه می‌شود نشان خواهند داد.

معرفی کارکردهای رایانش زیستی به افراد جامعه در قالب خدماتی همچون تغذیه و درمان هدفمند، مصرف داروی مناسب با ویژگی‌های ژنتیکی و فیزیولوژیکی هر فرد، کاهش هزینه‌ها با درک صحیح‌تر از بیماری‌ها و اقدامات پیشگیرانه در جهت کاهش احتمال ابتلا به بیماری، باعث افزایش درک شهروندان شده و پیشران مفیدی در ایجاد تمایل به صرف هزینه و تکمیل اطلاعات پرونده سلامت خواهد بود.

جمع‌بندی و پیشنهادها

امروزه کاربردهای رایانش زیستی در حوزه‌های مختلفی از قبیل کشاورزی، پزشکی و سلامت و سایر خدمات شهروندی درحال گسترش است. به‌نژادی گیاهان و حیوانات و بیماری‌شناسی از مهمترین کاربردهای رایانش زیستی در حوزه کشاورزی است. در عین حال محصولات و خدمات رایانش زیستی عمدتاً در حوزه پزشکی و ژنتیک ارائه می‌شود که دستاورد این خدمات، اجرایی شدن مفهومی به نام «پزشکی شخصی‌سازی شده» است. در پزشکی شخصی‌سازی شده، براساس ویژگی‌های فیزیولوژیکی و

ژنتیکی، نحوه پیشگیری از ابتلا به بیماری، نوع دارو و مقدار داروی مصرفی و در نتیجه درمان هر فرد اختصاصی می‌شود. در حوزه خدمات شهروندی نیز اگرچه خدمات تشخیص هویت از دیرباز وجود داشته ولی توسعه رایانش زیستی، درحال حاضر به ارائه کارت‌های شناسایی ژنتیکی در جهت احراز هویت واقعی افراد منجر شده است. طراحی حسگرهایی که با اتصال به بدن اشخاص، اطلاعات زیستی را استخراج، تحلیل و پاسخ‌های مناسب را اعمال می‌سازد (مثلاً تزریق انسولین به فرد دیابتی و یا ارسال پیام از راه دور به پزشک فرد در شرایط اورژانسی)، از دیگر خدمات رایانش زیستی در حوزه شهروندی است. توجه به توسعه فناوری‌های زیستی در جهان نشان می‌دهد که در سال‌های آتی، حوزه سلامت به سمت توسعه خدمات مبتنی‌بر رایانش زیستی حرکت خواهد نمود.

لزوم توسعه رایانش زیستی در کشور ما نیز از ابعاد مختلفی قابل بررسی است. اولین اقدام اساسی در مدیریت حفاظت و بهره‌برداری از منابع ژنتیکی کشور به‌خصوص در حوزه کشاورزی، ثبت ملی و شناسنامه‌دار کردن آنهاست. ثبت اطلاعات زیستی موجود زنده از سلول تا کل پیکره آن موجود نیازمند ایجاد زیرساخت‌های لازم برای نگهداری، طبقه‌بندی و پردازش اطلاعات است. این زیرساخت‌ها به کمک زنجیره علوم اطلاعات زیستی (بیوانفورماتیک و رایانش زیستی) تأمین می‌شود. صیانت و جلوگیری از سرقت‌های زیستی و سوءاستفاده‌های احتمالی، توسعه پایگاه‌های اطلاعات زیستی کشور و کنترل دسترسی و بهره‌برداری از اطلاعات و منابع، از مزایای شناسنامه‌دار شدن منابع ژنتیکی است.

حساسیت بحث تأمین سلامت و بهداشت و ارتباط همه اقشار جامعه با مسائل آن نیز ضرورت توجه به رایانش زیستی را بیشتر نمایان می‌سازد. عملکردهای رایانش زیستی در حوزه درمان و سلامت از این جهت حائز اهمیت است که در کشور ما بیماری‌هایی نظیر سرطان، بیماری‌های قلبی و عروقی و دیابت متأسفانه درحال گسترش است. استخراج اطلاعات ژنتیکی افراد و تحلیل آن با الگوریتم‌های مناسب، علاوه‌بر اینکه می‌تواند احتمال ابتلا به این بیماری‌ها را پیش‌بینی و از آن پیشگیری نماید، بازار کسب‌وکار پر درآمدی را نیز در زمینه طراحی و ساخت حسگرهای پوشیدنی ایجاد می‌کند. در حوزه دارو، آمار بالای مصرف دارو در کشور، مسمومیت‌ها و تداخلات دارویی را به‌شدت افزایش داده است. در این میان برای مواجهه با این چالش، رایانش زیستی قادر است با اتخاذ روش‌های نوین که شامل انتخاب داروی اثربخش و مصرف مناسب براساس ژنتیک افراد است علاوه‌بر کاهش هزینه‌های نهایی تحمیل شده به بیمار و حتی دولت، پاسخ به درمان را مؤثرتر و عوارض جانبی ناشی از مصرف زیاد دارو، تجویز داروهای اشتباه و تداخلات دارویی را کاهش دهد. همچنین در غربالگری برخی بیماری‌ها و اقدامات پیشگیرانه، نقش پویایی خواهد داشت.

اجرای طرح رایانش زیستی در حوزه‌های مختلف، حجم گسترده‌ای از داده و اطلاعات را تولید می‌نماید. داده‌های زیستی که از منابع مختلفی مثل اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی، استخراج از پایگاه‌های

اطلاعاتی و پیش‌بینی براساس مدل‌سازی‌ها و شبیه‌سازی‌های محاسباتی پدید می‌آیند با ابزارهای سنتی مدیریت داده، قابل ساماندهی نیستند و جمع‌آوری، ذخیره‌سازی، اشتراک‌گذاری، پردازش و مدیریت آنها به‌عنوان داده‌های عظیم به زیرساخت‌های فنی و قانونی و نیز راهکارهای اجرایی نیازمند است. جدول زیر دسته‌بندی مهمترین زیرساخت‌های مورد نیاز در این حوزه را نشان می‌دهد.

زیرساخت‌های فنی	۱. زیرساخت‌های فیزیکی و تجهیزات آزمایشگاهی برای اخذ نمونه ژنتیکی و تعیین خصوصیت ژنتیکی ۲. بستر ذخیره‌سازی و تحلیل اطلاعات به کمک ابزارهای فناوری اطلاعات ۳. یکپارچه‌سازی اطلاعات زیستی (مثال: اطلاعات سلامت در پرونده الکترونیک سلامت) ۴. دسترسی و همکاری با پایگاه داده‌های معتبر بین‌المللی ۵. مدیریت امنیت اطلاعات
زیرساخت‌های قانونی و حقوقی	۱. حفظ حریم خصوصی افراد ۲. تعیین سطوح دسترسی به‌منظور حفاظت از داده‌ها ۳. حقوق مالکیت فکری داده‌ها ۴. چارچوب‌های قانونی در همکاری‌های بین‌المللی به‌منظور جلوگیری از سرقت زیستی
سایر	۱. تربیت نیروی انسانی متخصص ۲. تأمین اعتبار ۳. همگرایی متولیان اجرایی و حضور ذینفعان ۴. فرهنگ‌سازی

- زیرساخت‌های فنی

گام اول در توسعه رایانش زیستی در کشور تأمین زیرساخت‌های فنی این حوزه است. این زیرساخت‌ها ازسویی شامل تجهیزات تخصصی نمونه‌برداری، توالی‌یابی و استخراج داده‌های زیستی است و ازسویی دیگر بستر مورد نیاز برای ذخیره‌سازی و تحلیل داده‌ها به کمک فناوری اطلاعات و علوم کامپیوتر، یکپارچه‌سازی اطلاعات زیستی و دسترسی به پایگاه داده‌های زیستی معتبر را دربر می‌گیرد. مدیریت امنیت اطلاعات که شامل تضمین یکپارچگی داده‌ها، امکان دسترسی مطمئن و صحت آنها (جعلی نبودن) است نیز ماهیتی فنی و کاربردی دارد و برعهده متخصصین فناوری اطلاعات و ارتباطات است.

پرونده سلامت الکترونیک که در اسناد و قوانین کشور ازجمله قانون برنامه پنجم توسعه دنبال و تأکید شده است، یکی از ابزارهای مهم در تجمیع و دسترس‌پذیری اطلاعات و ارائه خدمات الکترونیک به‌حساب می‌آید. استقرار این سامانه یکی از زیرساخت‌های لازم برای اجرای طرح رایانش زیستی در حوزه سلامت است چراکه ازسویی با در اختیار نهادن اطلاعات موجود از سوابق افراد، تحلیل‌های رایانشی و پیش‌بینی‌ها را دقیق‌تر می‌نماید و ازسویی دیگر این تحلیل‌ها به نوبه خود منجر به ایجاد

اطلاعات جدید قابل الحاق به پرونده سلامت الکترونیک و در نتیجه تکمیل این پرونده خواهد شد.

ـ زیرساخت‌های قانونی و حقوقی

استفاده از خدمات رایانش زیستی در سطح جامعه نیازمند وجود زیرساخت‌های حقوقی و قانونی متناسب با این حوزه است. یکی از مهمترین قوانین پایه و اساسی در این حوزه مربوط به حفاظت و بهره‌برداری از منابع ژنتیکی می‌باشد. با استفاده از یک زیرساخت قانونی منسجم و جامع، نحوه دسترسی، بهره‌برداری و استفاده از منابع ژنتیکی و اطلاعات زیستی در جهت حفاظت از تنوع گسترده و غنی این منابع، رفع معضل فرسایش و نابودی آنها، ثبت ملی و بین‌المللی و جلوگیری از سرقت‌های زیستی کنترل می‌شود. بحث حفظ حریم خصوصی، تعیین سطوح دسترسی به اطلاعات و نحوه دسترسی، افشا و استفاده از اطلاعات زیستی به خصوص در حوزه سلامت نیز بسیار مهم بوده و زیرساخت‌های قانونی را می‌طلبد. اگرچه در اسناد بالادستی کشور به حفظ حریم خصوصی افراد تأکید شده اما قوانین و مقررات حاکم، حافظ حریم خصوصی در فضای مجازی نیست. به‌علاوه ماهیت متفاوت داده‌های زیستی نسبت به دیگر داده‌ها ایجاب می‌کند که قوانین و دستورالعمل‌های تکمیلی برای ذخیره، پردازش و بهره‌برداری از این نوع اطلاعات متناسب با حوزه عملکرد (کشاورزی، خدمات شهروندی و امور قضایی، سلامت و پزشکی) وجود داشته باشد. کپی‌رایت، قوانین پایگاه داده و محرمانه بودن نیز از مهمترین ابعاد موضوع تأمین حقوق مالکیت فکری داده‌های زیستی و نیازمند زیرساخت‌های قانونی مناسب است.

ـ سایر الزامات

تربیت نیروی متخصص و تأمین اعتبار ازسوی دولت از دیگر ابزارهای مهم توسعه رایانش زیستی در کشور است. دولت می‌تواند جهت تأمین اعتبار این حوزه علاوه‌بر اختصاص ردیف بودجه به فعالیت‌های مرتبط دستگاه‌های اجرایی، اقدامات لازم را درخصوص توسعه جایگاه الگوهای جدید تأمین مالی نوآوری همچون سرمایه‌گذاری خطرپذیر و تأمین مالی جمعی در نظام مالی کشور اتخاذ نماید.

در اجرایی شدن طرح‌های رایانش زیستی، همگرایی و همکاری کلیه متولیان سیاستگذاری و اجرایی ازجمله وزارت بهداشت و درمان، وزارت جهاد کشاورزی، قوه قضائیه و وزارت ارتباطات و اطلاعات اهمیت فراوانی دارد. اتخاذ سیاست‌های مناسب برای حضور و همکاری ذینفعان خصوصی ازجمله شرکت‌های خدمات سلامت، شرکت‌های غذایی و دارویی و تجهیزات پزشکی هوشمند و سازمان‌های بیمه‌ای نیز از اهرم‌های مفید و کارآ در اجرای طرح‌های رایانش زیستی در حوزه سلامت می‌باشد.

در کنار این الزامات، فرهنگ‌سازی، آموزش و آگاه‌سازی جامعه نسبت به مفاهیمی از قبیل تغذیه مناسب، درمان هدفمند با مصرف داروهای متناسب با ویژگی‌های فیزیولوژیکی و ژنتیکی افراد، تعیین احتمال ابتلا به بیماری‌ها براساس سوابق و اطلاعات سلامت و اقدامات پیشگیرانه که از کاربردهای

رایانش زیستی هستند، باعث تحریک تقاضای جامعه در دسترسی به این خدمات شده و پیشران مهمی در توسعه رایانش زیستی محسوب می‌شود.

ذکر این نکته ضروری است که اگرچه تـأمین الزامـات توسـعه رایـانش زیسـتی در مراحـل اولیـه می‌تواند هزینه‌بر و حتی زمانبر باشد اما آثار و دستاوردهای نهایی آن در ارتقـای شـاخص‌هـای توسـعه پایدار از قبیل حفاظت از محیط زیست، امنیت غذایی و امنیت سلامت بسیار سودمند بوده و در نهایـت منجر به کاهش هزینه‌ها نیز می‌گردد.

در این راستا، اهتمام به اجرای سند راهبردی نظام جامع فناوری اطلاعات، طراحی و استقرار نظام جامع سلامت و به‌ویژه اجرای طرح سلامت الکترونیک که تاکنون به‌دلایل مختلف ازجمله کافی نبـودن زیرساخت‌های فنی تبادل اطلاعات و عدم هماهنگی و همکاری مراجع مسئول در جمـع‌آوری و ارسـال اطلاعات به خوبی میسر نشده است در اولویت قرار دارد. همچنـین تـأمین زیرسـاخت‌هـای قـانونی بـا بررسی و تصویب لوایحی از قبیل «لایحه حفاظت و بهره‌برداری از منابع ژنتیکی» و «لایحـه الحـاق بـه پروتکل ناگویا»، تهیه آیین‌نامه‌های اجرایی همچون آیین‌نامـه مـاده (۶۰) قـانون «تجـارت الکترونیـک ایران» درباره ذخیره، پردازش یا توزیع داده پیام‌های مربوط بـه سـوابق پزشـکی و بهداشـتی و تـدوین قانون‌های مربوط به حفاظت از حقوق مالکیت فکری اطلاعـات زیسـتی و حـریم خصوصـی، در توسـعه رایانش زیستی بسیار ضروری است.

منابع و مآخذ

۱. پوراسماعیل، حسن و مهدی فقیهی. «بررسی وضعیت سلامت الکترونیک در ایـران»، مرکـز پـژوهش‌هـای مجلـس شورای اسلامی، دفتری فناوری‌های نوین، شماره مسلسل ۹۹۰۷، ۱۳۸۸.

۲. رجبی، ابوالقاسم. «رایانش ابری»، مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسـلامی، دفتـری فنـاوری‌هـای نـوین، شـماره مسلسل ۱۲۰۳۸، ۱۳۹۰.

۳. سند راهبردی نظام جامع فناوری اطلاعات جمهوری اسلامی ایران، ۱۳۸۸، قابل دسترس در http://rc.majlis.ir/fa/law/show/136242

۴. شجاعی، مسلم و مجتبی طهمورث‌پور. «نسل جدید تکنولوژی‌های توالی‌یابی و چشم‌اندازهای آینده توالی‌یابی ژنـوم حیوانات اهلی»، سومین همایش ملی بیوتکنولوژی کشاورزی ایران (گیاهی، دامی و صنعتی)، مشهد، دانشگاه فردوسـی مشهد، ۱۳۹۱.

۵. صنعتی، محمد حسین، «راهبرد ملی زیست‌فناوری حیوانات اهلی و آبزیان (بررسی محیط بـین‌الملـل)»، انتشـارات پژوهشگاه ملی مهندسی ژنتیک و زیست فناوری، تهران، ۱۳۸۳.

۶. صنعتی، محمد حسین، «راهبرد ملی زیست‌فناوری گیاهی (شناخت محیط ملی)»، مرکز ملی تحقیقـات مهندسـی ژنتیک و تکنولوژی زیستی، تهران، ۱۳۸۳.

۷. غلامرضا صالحی جوزانی. «بیوتکنولوژی (فناوری زیستی) و اهمیت آن در کشاورزی»، ستاد زیست‌فناوری کشور، ۱۳۸۷.

۸. فاضلی‌نسب، بهمن. «بیوانفورماتیک و کاربرد آن در کشاورزی»، فصلنامه نظام مهندسی کشاورزی و منابع طبیعی، سال ششم، شماره ۲۲، ۱۳۸۷.

۹. فقیهی، مهدی و غلامرضا معمارزاده طهران، ۱۳۹۰، «شناسایی اولویت‌های خط و مشی‌گذاری؛ توسعه سلامت الکترونیک در ایران»، مجله مدیریت سلامت، شماره ۱۴، ۱۳۹۰.

۱۰.فقیهی، مهدی و مریم جلیلیان عطار، «فناوری داده‌های عظیم و الزامات قانونی آن»، مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، دفتری فناوری‌های نوین، شماره مسلسل ۱۴۲۷۳، ۱۳۹۴.

۱۱.فقیهی، مهدی، غلامرضا معمارزاده طهران و حسین رفوگر آستانه، ۱۳۸۹، «حفظ حریم خصوصی بیماران، پیش‌نیاز توسعه سلامت الکترونیک»، فصلنامه اخلاق پزشکی، سال چهارم، شماره ۱۲، ۱۳۸۹.

۱۲.قانون برنامه پنجم توسعه، ۱۳۸۹، قابل دسترس در: http://rc.majlis.ir/fa/law/show/790196

۱۳.مرسلی، پریسا، «بیوانفورماتیک»، مجله دانشکده پیراپزشکی ارتش جمهوری اسلامی ایران، سال چهارم، شماره ۲، ۱۳۸۸.

۱۴.مصداقی‌نیا، علیرضا و کوروش اعتماد، «برنامه جامع ملی کنترل سرطان»، وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی، معاونت بهداشت، مرکز مدیریت بیماری‌های غیرواگیر، ۱۳۹۰، اداره سرطان، قابل دسترس در :
phc.umsu.ac.ir/uploads/barname-jame-saratan.pdf

۱۵.معاونت علمی و فناوری ریاست‌جمهوری، «گزارش نهایی طراحی زنجیره ارزش رایانش زیستی»، ۱۳۹۴، ستاد توسعه زیست‌فناوری، کارگروه رایانش زیستی.

۱۶.ولیان بروجنی، صادق، پریناز مهدی‌پور و سیدامیر حسینی، «پزشکی فردی: درمان براساس تنوع ریخته ژنتیکی»، مجله تشخیص آزمایشگاهی، سال چهاردهم، شماره ۷۶، ۱۳۹۱.

17. Akula, Balaji & James Cusick, 2009, “Biological Computing Fundamentals and Futures”, last accessed on June 13, 2016 at http://arxiv.org/abs/0911.1672

18. Alessandro Guffanti and Georg Fuellen, “The Economic Impact of Biocomputing”, last accessed on June 13, 2016 at http://www.hrbc-genomics.net/training/bcd/ForAll/Econom/welcome.html

19. Banaee, Hadi, Mobyen Uddin Ahmed and Amy Loutfi, 2013, “Data Mining for Wearable Sensors in: Health Monitoring: A Review of Recent Trends and Challenges”, Sensors, 13. 17472-17500.

20. Bolger ME, Weisshaar B, Scholz U, Stein N, Usadel B, Mayer KF., 2014, “Plant genome sequencing - applications for crop improvement”, Current Opinion Biotechnology. 26:31-7.

21. Celia WG,1997, “Sequence and Structural Features Of Plant And Fungal Tyrosinases”, Phytochemistry. 45: 1309-1323.

22. Domokos, A.D., 2008, “Bioinformatics and Computational Biology”, Bulletin UASVM, Horticulture. 65: 571-574.

23. Gilbert, Harry J., 2010, “The Biochemistry and Structural Biology of Plant Cell Wall Deconstruction”, Plant Physiology. 153: 444-455.

24. Hamilton JP1, Buell CR, 2012, “Advances in plant genome sequencing”, Plant Journal. 70: 177-90.

25. Hopkins, M.M., 2006, The Patenting of Human DNA: Global Trends in Public and Private Sector Activity, Report for the European Commission, compiled by SPRU, Brighton, UK, November., last accessed on: June 13, 2016 at www.sussex.ac.uk/spru/documents/patgen_finalreport.pdf

26. OECD, 2009, “The Bioeconomy to 2030: Designing a Policy Agenda”, OECD Publishing, last accessed on: June 13, 2016 at http://dx.doi.org/10.1787/9789264056886-9-en
27. Roland Eils and Andres Kriete, “Introducing Computational Systems Biology”, last accessed on: June 13, 2016 at https://www.google.com/?gws_rd=ssl#q=samples.sainsburysebooks.co.uk%2F9780080459349_sample_733160.pdf
28. Sajjan, S. P., 2015, “Algorithmic approach to computational biology using graphs”, last accessed on: June 13, 2016 at http://www.slideshare.net/sajjanvsl/algorithmic-approach-to-computational-biology-using-graphs
29. Scilingo, E.p., Bonfiglio, Antonio Lanatà and Alessandro Tognetti, “Sensors for wearable systems”, in: “Wearable Monitoring Systems”, Editors: Annalisa and Danilo De Rossi, 2011, Springer New York Dordrecht Heidelberg London, DOI 10.1007/978-1-4419-7384-9.
30. Searls, David B., 2012, “Computational biology”, last accessed on: June 13, 2016 at http://www.britannica.com/science/computational-biology
31. Wan, Xiu-Feng, Demet Ataman and Dong Xu, 2004, “Application of computational biology in understanding emerging infectious disease”, last accessed on: June 13, 2016 at http://www.genomes2life.org/publications/sars_Wan.pdf
32. Xie, Hong-Guang and Felix W Frueb, 2005, “Pharmacogenomics steps toward personalized medicine”, Personalized medicine. 2: 325-337.
33. Yang, Jeremy, Application in Biocomuting, 2010, last accessed on: June 13, 2016 at http://www.slideshare.net/jeremyjyang/cyberinfrastructure-day-2010-applications-in-biocomputing

شناسنامه گزارش	مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی	شماره مسلسل: ۱۴۹۷۰

عنوان گزارش: رایانش زیستی

نام دفتر: مطالعات ارتباطات و فناوری‌های نوین (گروه فناوری‌های نو)

تهیه و تدوین: سهیلا خردمندنیا

همکار مطالعه: مرتضی براتی

ناظر علمی: مهدی فقیهی

مدیر مطالعه: پریسا علیزاده

متقاضی: معاونت پژوهش‌های زیربنایی و امور تولیدی

ویراستار تخصصی: ـــــــ

ویراستار ادبی: ـــــــ

واژه‌های کلیدی:

۱. رایانش زیستی

۲. ذخایر ژنتیکی

۳. پرونده سلامت الکترونیک

۴. پزشکی شخصی‌سازی شده

۵. حریم خصوصی

۶. امنیت داده

تاریخ انتشار: ۱۳۹۵/۶/۱