From bioinformatics to Neuroinformatics

Emran Heshmati

Department of Biology, University of Zanjan, Zanjan, Iran

Abstract

Biomedical science has expanded its field of data processing even more and now studies the most complex product of evolution, the human brain. In this article, modeling of the emerging knowledge of neuroinformatics from bioinformatics has been discussed. After an overview of bioinformatics, history, different areas of neuroinformatics and the complexity and heterogeneity of its data are examined, and finally, methodological limitations in the field of brain research are pointed out.

Keywords: bioinformatics, neuroinformatics, brain, data processing,Iau Science.

[Downloaded from ncmbjpiau.ir on 2025-12-08]

Corresponding author:
Department of Biology, University of Zanjan. Zanjan, Iran
Email: heshmati@znu.ac.ir

از بیوانفورماتیک تا نوروانفورماتیک

عمران حشمتی
گروه زیست شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

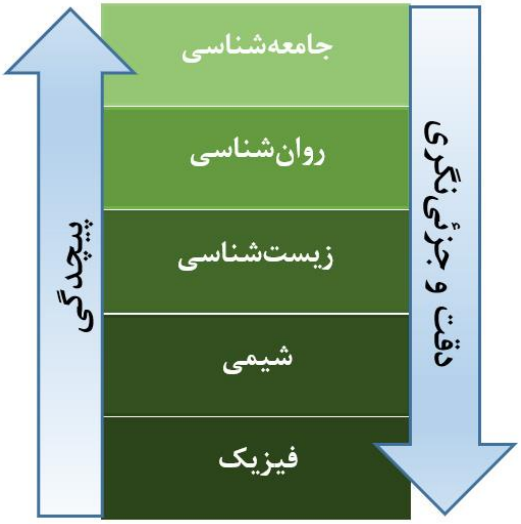
چکیده

علوم زیست‌پزشکی حوزه داده‌ورزی خود را بیش از پیش گسترش داده است و اینک به مطالعه پیچیده‌ترین محصول تکامل یعنی مغز انسان می‌پردازد. در این مقاله به الگوبرداری دانش نوظهور نوروانفورماتیک از بیوانفورماتیک پرداخته شده است. پس از مروری بر بیوانفورماتیک، تارخچه، حوزه‌های مختلف نوروانفورماتیک و پیچیدگی و ناهمگونی داده‌های آن بررسی شده و در انتها به محدودیت‌های روش‌شناختی در زمینه پژوهش در حوزه مغز اشاره شده است.

واژگان کلیدی: بیوانفورماتیک، نوروانفورماتیک، مغز، داده‌ورزی،Iau Science .

مقدمه

نوروانفورماتیک به‌عنوان مطالعه علمی جریان اطلاعات و پردازش آن در دستگاه عصبی تعریف شده است. این شاخه از علم به توسعه پایگاه‌های داده و اطلاعات و همچنین، مدل‌های محاسباتی و ابزارهای لازم برای به اشتراک‌گذاری، ادغام و تجزیه‌وتحلیل داده‌های تجربی و پیشرفت نظری در مورد عملکرد دستگاه عصبی می‌پردازد. طبق تعریف ارائه‌شده توسط «مرکز هماهنگی بین‌المللی نوروانفورماتیک[1]»، موضوع این شاخه از علم، بررسی اطلاعات علمی در مورد داده‌های تجربی اولیه، هستی‌شناسی، تهیه و آنالیز ابرداده‌ها، ابزارهای تحلیلی و مدل‌های محاسباتی دستگاه عصبی است. ازآنجاکه بررسی تجربی دستگاه عصبی در سطوح مختلف موضوع «علوم اعصاب»[2] است، نوروانفورماتیک را می‌توان داده‌ورزی در علوم اعصاب دانست. چنان‌که مشاهده می‌شود، نوروانفورماتیک علمی بین‌رشته‌ای و ترکیبی است. به‌منظور رسیدن به درک درست‌تری از این علم و جایگاه آن در بین سایر علوم، نگاهی به سلسله‌مراتب علوم می‌اندازیم. علوم مختلف را می‌توان بر اساس تشابهات و تفاوت‌ها گروه‌بندی کرد. یکی از راه‌های دسته‌بندی علوم، بر اساس رابطه‌ای است که با یکدیگر دارند. فی‌المثل می‌توانیم به این بیندیشیم که رابطه علم‌های شیمی و فیزیک با یکدیگر چگونه است. آیا رابطه‌ای متقارن دارند؟ به‌وضوح مشاهده می‌کنیم که شیمی‌دان برای توجیه پدیده‌های موجود در علم شیمی، نیازمند دانستن قوانین فیزیک است درحالی‌که فیزیک‌دان نیازی به دانش شیمی احساس نمی‌کند. این موضوع در تعداد واحدهای درسی که دانشجویان هر رشته می‌گذرانند نیز منعکس شده است. چنین روندی را می‌توان برای سایر علوم نیز مشاهده نمود (شکل ۱).



شکل ۱: سلسله‌مراتب علوم

[1] International Neuroinformatics Coordinating Facility

[2] Neuroscience

[Downloaded from ncmbjpiau.ir on 2025-12-08]

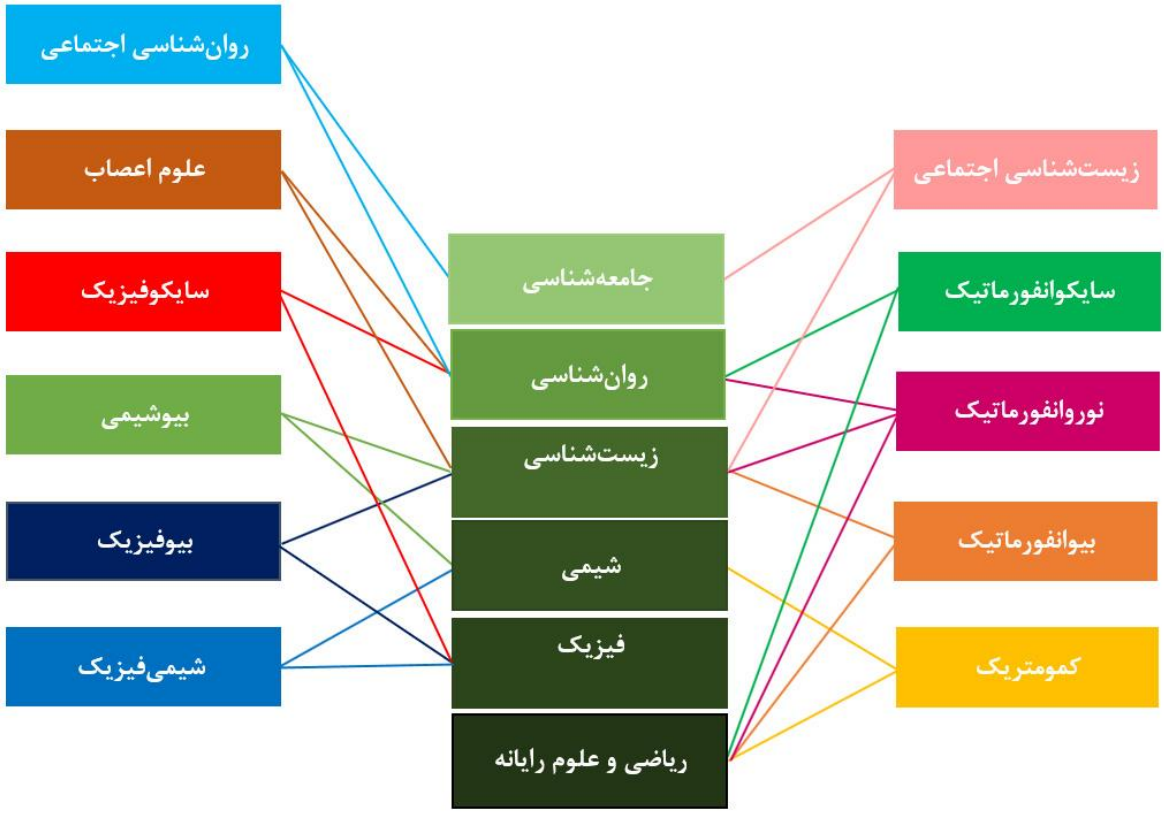
طبق این رویکرد، هرچه از پایین به سطوح بالای این نمودار می‌رسیم، موضوع آن علم پیچیده‌تر می‌گردد و به همین دلیل کمّی‌سازی آن‌ها نیز مشکل‌تر است. از طرفی، هر علم به تمام علوم زیرین خود برای توجیه و تبیین نیازمند است. اگر با اندکی تسامح، «ریاضیات و علوم رایانه» را زیربنای این سلسله‌مراتب قرار دهیم، می‌توانیم آن را تکمیل کنیم و تصویر کامل‌تری ارائه کنیم که علوم بین‌رشته‌ای نیز شامل شود (شکل ۲). برای رسیدن به مفهوم و زمینه مطالعاتی نوروانفورماتیک لازم است به علوم اعصاب بپردازیم. علوم اعصاب در بین این علوم، موقعیت ویژه‌ای از لحاظ سطوح مختلف داده‌ها و موضوع موردبررسی دارد (۱). می‌توان علوم اعصاب را لولای علوم دانست زیرا در جایی قرار گرفته است که درصدد ارتباط پدیده‌های فوق‌العاده پیچیده ذهنی با اندام مغز و اجزای سازنده آن است. به‌عبارت‌دیگر، این شاخهٔ علم درنهایت می‌خواهد به چیزی که از آن به‌عنوان **مسئله دشوار**[1] یاد می‌شود، بپردازد. منظور از مسئله دشوار پاسخ به این پرسش است که چرا یک سوژه، خودآگاه است، درحالی‌که می‌تواند نباشد. نوروانفورماتیک را می‌توان داده‌ورزی در علوم اعصاب دانست (۲) و رابطه این دو علم درست مانند رابطه بیوانفورماتیک و زیست‌شناسی است (۵-۳). مضافاً این‌که موفقیت «پروژه ژنوم انسانی»[2] در زیست‌شناسی مولکولی، الهام‌بخش آغاز «پروژه مغز انسانی»[3] در علوم اعصاب بوده است (۵، ۶). پس از ذکر این مقدمه، به ویژگی‌ها و ماهیت داده‌ها در بیوانفورماتیک می‌پردازیم.

بیوانفورماتیک و زیست‌شناسی مولکولی

در طی ۴۰ سال گذشته، علوم زیست‌پزشکی با انفجاری عظیم در حجم داده‌های تولیدشدهٔ مبتنی بر روش‌های آزمایشگاهی همراه بوده است که به دلیل ابداع ابزارهای پیچیده و روش‌های جدید در اندازه‌گیری، ماهیت کمی و دقت این داده‌ها نیز بالاتر رفته است. درک و تجزیه‌وتحلیل سامانه‌های پیچیده زیستی در سطوح متفاوت از ساختار ژنوم و داده‌های بیان ژن گرفته تا ساختار و برهم‌کنش پروتئین‌ها، مستلزم پردازش مقادیر انبوهی از داده‌های مختلف است که هرکدام مستقل از یکدیگر به دست آمده‌اند. فعالیت‌های وسیع در زمینه‌های خاص مانند نقشه‌برداری ژنوم انسانی به این معنی است که مجموعه داده‌های بزرگ توسط گروه‌های تحقیقاتی متعددی تولید می‌شود و این امر خود نیاز به زبانی مشترک دارد که بیوانفورماتیک از طریق یکپارچه‌سازی، کنترل و ذخیره نظام‌مند داده‌ها آن را فراهم می‌آورد. این گروه‌ها غالباً در رشته‌های گوناگون و در سطح بین‌المللی مشغول به کار هستند، هر گروه با جنبه‌ای از پروژه تحقیقاتی اصلی سروکار دارد. در چنین فضایی، کدگذاری سریع و نمایه‌سازی داده‌ها به‌منظور به اشتراک‌گذاری آن‌ها در یک بانک اطلاعاتی مشترک، ابداع سامانه‌های مرجع و بازیابی انعطاف‌پذیر از ضروریات است.

[1] Hard problem
[2] Human Genome Project (HGP)
[3] Human Brain project (HBP)

[Downloaded from ncmbjpiau.ir on 2025-12-08]



شکل ۲: سلسله مراتب علوم و مشتقات آن‌ها

در این راستا، به‌موازات پیشرفت علمی و حجم داده‌های تولیدی در زیست‌شناسی مولکولی، فناوری رایانه نیز روزبه‌روز پیشرفت کرده است. بانک‌های اطلاعاتی مقرون به‌صرفه‌تر و درعین‌حال توانمندتر، سامانه‌های پایگاه داده قابل‌دسترسی از طریق اینترنت، معماری رایانه سرور-مشتری و نرم‌افزار دیداری و شبیه‌سازی، ابزارهایی را ارائه داده‌اند که تحقیقات زیست‌پزشکی را بیش‌ازپیش سرعت بخشیده است.یک مرحله دیگر در ادامه این نوع مطالعات، مدل‌سازی داده‌ها است، به این معنا که داده‌هایی با سنخ متفاوت مرتبط با یک حالت[1] سلول، باید در کنار یکدیگر قرار گرفته و همگی، توصیفی مناسب و هماهنگ از آن حالت را بیان کنند. با توجه به اندازه بزرگ داده‌ها و تنوع آن‌ها، در این مرحله نیز الگوریتم‌های کامپیوتری چنین امکانی را فراهم می‌کنند. بدیهی است که ورودی این مرحله، پس از فیلتر کردن داده‌های موجود در پایگاه‌های اطلاعاتی بیوانفورماتیکی متناسب با مسئله موردنظر، تأمین می‌شود. با انجام محاسبات و ایجاد مدل برای هر یک از حالت‌های سلول مانند حالت نرمال، سرطانی، دیابتی و ... می‌توان از آن مدل برای پیش‌بینی پدیده موردنظر استفاده کرد. آنچه امروزه با عنوان حوزه نوین زیست‌شناسی سامانه‌ای[2] مطرح شده است، درواقع همین مدل‌سازی پدیده‌های مختلف زیستی با استفاده از اطلاعات آزمایشگاهی موجود در پایگاه‌های اطلاعاتی بیوانفورماتیکی است. بر این اساس، نوعی درهم‌تنیدگی بین بیوانفورماتیک و زیست‌شناسی سامانه‌ای وجود دارد، به‌طوری‌که می‌توان وجه کاربردی‌تر بیوانفورماتیک را با عنوان زیست‌شناسی سامانه‌ای مورد اشاره قرار داد؛ بنابراین بسیاری از تحقیقات زیست‌پزشکی مدرن

[1] - State

[2] - Systems Biology

[Downloaded from ncmbjpiau.ir on 2025-12-08]

چنان با فناوری محاسباتی درهم‌تنیده است که محیط محاسباتی به‌عنوان بخش جدایی‌ناپذیر تحقیقات زیست‌پزشکی درآمده است. بیوانفورماتیک نام اختصاصی رشته‌ای است که به چنین کاربرد بسیار تخصصی علوم رایانه و فن‌آوری اطلاعات برای بررسی چالش‌های مفهومی، تحقیق و فهرست‌نویسی در علوم زیستی می‌پردازد. بیوانفورماتیک، به‌عنوان یک رشته، هویت مشخصی بین علوم زیستی به معنای عام ازیک‌طرف و علوم رایانه از طرف دیگر، به خود اختصاص داده است. این علم جای خود را در بین تمام گرایش‌های زیست‌شناسی باز می‌کند، درست شبیه رویکرد مولکولی که به رویکرد غالب در تمام زیست گرایش‌های زیست‌پزشکی شده است. در چند دهه گذشته تعداد زیادی کتاب و مجله در زمینهٔ بیوانفورماتیک منتشر شده است و این رشته در بسیاری از کشورها ازجمله ایران، در مقطع کارشناسی ارشد و دکترا راه‌اندازی شده است. ژنتیک و زیست‌شناسی مولکولی زیرشاخه‌هایی از علوم زیست‌پزشکی هستند که برای اولین بار به وابستگی تحقیقاتی به سامانه‌های انفورماتیکی پی بردند. ازاین‌رو این رشته‌ها اولین مواردی بودند که دارای سامانه‌های انفورماتیک مفصل و زیرساخت‌های زیست‌شناختی کاملاً توسعه یافته شدند. شناخته‌شده‌ترین کار بیوانفورماتیک مربوط به پروژه ژنوم انسانی است که با هماهنگی موسسه ملی بهداشت و وزارت انرژی ایالات متحده انجام شده است. پروژه ژنوم انسانی علیرغم این‌که بسیار بلندپروازانه بود، به لطف پیشرفت‌های فنی تنها ۱۳ سال (۱۹۹۰ تا ۲۰۰۳) به طول انجامید. اهداف اصلی آن توالی‌یابی یعنی تعیین جفت بازهای تمام ژنوم انسانی بود. این پروژه پیش از موعد تعیین‌شده رسماً تکمیل شد، اما کار بر روی برخی از اهداف باقی‌مانده ادامه یافت و کماکان ادامه دارد. آنچه طی پروژه ژنوم انسانی حاصل شد به‌خوبی نمایانگر جنبه‌های بی‌شماری از مفهوم بیوانفورماتیک در مقیاس بزرگ بود. این امر به دلیل نیاز به پردازش مقادیر انبوه داده‌ها و تدوین داده‌پایه‌ها به‌منظور درک سامانه‌های زیستی پیچیده، ضروری است. این ابزارهای نوآورانه رایانه‌ای که برای تجمیع داده‌های زیستی طراحی شده‌اند، امکان اشتراک داده‌ها در سطحی وسیع از محققین پروژه ژنوم گرفته تا سایر کاربران فراهم می‌آورند. داده‌های تولیدشده به بانک‌های اطلاعاتی متمرکز که به‌راحتی و به‌صورت مجانی در اختیار گروه‌های تحقیقاتی در سطح بین‌المللی قرار می‌گیرند وارد شدند. ابزارهای تحلیلی برای ارزیابی تخصصی داده‌ها ابداع شده است (و برخی از گروه‌ها فقط روی ارزیابی داده‌های ذخیره‌شده متمرکز شده‌اند). پروژه ژنوم انسانی نمونه‌ای بسیار موفق از همکاری دانشمندان رشته‌های مختلف شامل زیست شناسان، ریاضیدانان و متخصصان رایانه و فناوری اطلاعات بود که مهارت‌های آن‌ها را به طرق مختلف در هم می‌آمیخت. از ویژگی‌های بارز پروژه ژنوم انسانی، بین‌المللی بودن تحقیقات، داشتن نهادی مشخص برای هماهنگی و علاوه بر این‌ها، داشتن اهدافی عینی و مشخص بود. این کار باعث ایجاد درک روشنی از تقسیم وظایف و ایجاد پروتکل‌های تحقیقاتی مکمل، آن‌چنان‌که شایسته یک مأموریت جهانی کارآمد بود، گردید و این به‌نوبه خود مانع از هدر رفتن منابع از طریق انجام کارهای تکراری می‌گردید. پروژه ژنوم انسانی مدیریت سازمانی قدرتمندی داشت که بودجه و زیرساخت‌ها را برای استمرار پروژه تضمین می‌کرد. چنان‌که در مورد پروژه ژنوم انسانی و ادامه آن دیده شد، بیوانفورماتیک سطوح اطلاعاتی متفاوتی را شامل می‌شود. بیوانفورماتیک می‌تواند الگوریتم‌ها، داده‌پایه‌ها و ابزارهای تجزیه‌وتحلیل که برای تحقیقات بیشتر درزمینهٔ زیست‌پزشکی استفاده می‌شود، دربربگیرد. امروزه تحقیقات ژنتیک و سامانه‌های اطلاعاتی ارتباط قدرتمندی باهم دارند به‌طوری‌که اصطلاح ژنومیک برای توصیف این حوزه ابداع شده است. به همین ترتیب، میزان وابستگی تحقیقات در حوزه ساختار پروتئین به علوم انفورماتیک باعث ایجاد پروتئومیک شده است. بسیاری از زیررشته‌های دیگر در زیست‌شناسی و پزشکی از آن زمان ناگزیر به حوزه بیوانفورماتیک کشیده شده‌اند که یکی از مهم‌ترین آن‌ها علوم اعصاب است.

نوروانفورماتیک و علوم اعصاب

نوروانفورماتیک مطالعه علمی جریان و پردازش اطلاعات در دستگاه عصبی است یعنی نوروانفورماتیک در تقاطع علوم اعصاب و علم اطلاعات قرار دارد. این علم به اطلاعات علمی در مورد داده‌های تجربی اولیه، هستی‌شناسی، ابرداده‌ها، ابزارهای تحلیلی و مدل‌های محاسباتی دستگاه عصبی اطلاق می‌شود (۴). ازاین‌رو است که نوروانفورماتیک، علوم اعصاب و پروژه مغز انسان کاملاً درهم‌تنیده‌اند، به‌طوری‌که در بسیاری از مواقع این سه مورد، همراه باهم بررسی می‌گردد(۹-۷).

[Downloaded from ncmbjpiau.ir on 2025-12-08]

تاریخچه

در سال ۱۹۸۹، مرکز تحقیقات ملی بهداشت روانی[1]، مرکز تحقیقات ملی سوءمصرف مواد[2] و بنیاد ملی علوم[3] در ایالات متحده آمریکا، بودجه لازم را در اختیار مرکز تحقیقات پزشکی در آکادمی ملی علوم گذاشتند تا بررسی دقیقی در مورد لزوم ایجاد داده‌پایه‌ها و بررسی اینکه چگونه فن‌آوری اطلاعات می‌تواند ابزارهای موردنیاز برای افزایش حجم و مکان‌ها و به اشتراک‌گذاری داده‌های علوم اعصاب را فراهم کند، صورت دهد (۱۰). پاسخ به این امکان‌سنجی، نظر موافقی بود که در سال ۱۹۹۱ گزارش شد. به دنبال این گزارش موافق، مرکز تحقیقات ملی بهداشت روانی به سرپرستی آلن لشنر[4] در ۱۹۹۳ اولین کمک مالی را برای ایجاد «پروژه مغز انسانی» دریافت کرد. مدیریت پروژه مغز انسانی به استفان کازلو[5] سپرده شد که همکاری‌هایی از سایر مؤسسات مانند مرکز تحقیقات ملی بهداشت[6]، بنیاد ملی علوم، اداره ملی هوانوردی و فضایی[7] و دپارتمان انرژی[8] دریافت می‌کرد. ابتکار عمل و تأمین بودجه برای این پروژه، اندکی پیش از گسترش انفجاری شبکه جهانی وب بود. از سال ۱۹۹۳ تا ۲۰۰۴ این برنامه به بیش از ۱۰۰ میلیون دلار کمک بلاعوض دست یافت. کازلو در ادامه، جهانی‌سازی پروژه مغز انسانی و نوروانفورماتیک را از طریق اتحادیه اروپا[9] و سازمان همکاری و توسعه اقتصادی[10] در پاریس دنبال کرد. در سال ۱۹۹۶ دو رویداد درباره نوروانفورماتیک صورت گرفت. نخست، تأسیس کمیتهٔ نوروانفورماتیک اروپا به ریاست کازلو که حاصل کارگروه مشترک ایالات متحده آمریکا و اروپا به ریاست مری کلیتر از بنیاد ملی علوم بود. وظیفه اصلی این کمیته، حمایت از فعالیت‌های تحقیقی و آموزشی نوروانفورماتیک تعریف گردید (۱۱). دومین مورد که نوروانفورماتیک را جهانی و بین‌المللی کرد تصمیم دولت‌های عضو سازمان همکاری و توسعه اقتصادی شرکت‌کننده در انجمن علوم عظیم[11] بود. جیم ادواردز از بنیاد ملی علوم، از پایگاه داده‌ها و به‌اشتراک‌گذاری داده‌ها در حوزه تنوع زیستی پشتیبانی کرد و کازلو پروژه مغز انسانی را به‌عنوان الگویی برای به اشتراک‌گذاری داده‌های علوم اعصاب، با عنوان جدید نوروانفورماتیک پیشنهاد کرد. این ابتکار توسط دفتر سیاست و علوم کاخ سفید پشتیبانی و از طرف ادواردز و کازلو به کشورهای عضو سازمان همکاری و توسعه اقتصادی شرکت‌کننده در انجمن علوم عظیم ارائه شد. در انجمن علوم عظیم کمیتهٔ انفورماتیک زیست‌شناختی با دو زیرگروه تشکیل شد: یکی زیرگروه تنوع زیستی به سرپرستی جیمز ادواردز از بنیاد ملی علوم و دیگری زیرگروه نوروانفورماتیک به سرپرستی استفان کازلو از مرکز تحقیقات ملی بهداشت. پس از گذشت دو سال، زیرگروه نوروانفورماتیک گزارشی را برای حمایت از تلاشی جهانی درزمینهٔ نوروانفورماتیک منتشر کرد. کازلو ضمن همکاری با مرکز تحقیقات ملی بهداشت و دفتر سیاست‌گذاری علوم و فن‌آوری کاخ سفید، اقدام به ایجاد کارگروه جدید نوروانفورماتیک با هدف بسط و گسترش پیشنهادهای ویژه در جهت پشتیبانی از توصیه‌های ذکرشده در گزارش خود نمود. سازمان همکاری و توسعه اقتصادی، ضمن تغییر عنوان «انجمن علوم عظیم» به «انجمن جهانی علوم[12]» از این پیشنهاد حمایت کرد. سرانجام پروژه مغز انسانی با بودجه‌ای حدود یک و نیم میلیارد دلار در سال ۲۰۱۲ با چشم‌اندازی ۱۰ ساله زیر نظر اتحادیه اروپا آغاز به کار کرد.

چالش‌ها

به نظر می‌رسد چالش اساسی در علوم اعصاب تلاش برای درک ساختار، عملکرد و توسعه دستگاه عصبی در شرایط بسیار متنوع (ازجمله سلامت و بیماری) است، چراکه چنین درکی نیازمند ادغام مقادیر عظیمی از داده‌های ناهمگن و پیچیده است که در چندین سطح تحقیق جمع‌آوری شده است. مهم‌ترین چالش در نوروانفورماتیک، دستیابی به یکپارچه‌سازی پیشرفته، درنهایت یکپارچگی تمام داده‌های لازم برای درک دستگاه عصبی است (۱۳-۱۲). ادغام داده‌های

[1] National Institute of Mental Health (NIMH)
[2] National Institute of Drug Abuse (NIDA)
[3] National Science Foundation (NSF)
[4] Allan Leshner
[5] Stephen Koslow
[6] National Institute of Health (NIH)
[7] National Aeronautics and Space Administration
[8] Department of Energy
[9] European Union
[10] Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD)
[11] Mega Science Forum (MSF)
[12] Global Science Forum

[Downloaded from ncmbjpiau.ir on 2025-12-08]

علوم اعصاب را می‌توان معمایی چندبعدی دانست. یک بعد معما زمان است بدین معنی که مغز در هر مرحله از رشد، مجموعه داده‌های ساختاری و عملکردی خاص خود را دارد. از این لحاظ داده‌های علوم اعصاب حتی از داده‌های پروتئومیکس هم پیچیده‌تر است. یکی از پیچیدگی‌های مغز، پویایی ساختاری-عملکردی آن است. مغز با گذشت زمان و افزایش تجارب فرد تغییر می‌کند که از آن به‌عنوان شکل‌پذیری عصبی[1] یاد می‌شود. بعد دیگر، سطوح تحقیق است. می‌توان دستگاه عصبی و مغز را در سطح بیان ژن و مولکول‌های ویژه در سیناپس‌ها، سلول‌های دستگاه عصبی (نورون)، شبکه‌های نورونی، مناطق مغز، مغز کامل و درنهایت ارتباط آن با رفتار و پدیده‌های شناختی بررسی کرد. متناسب کردن داده‌ها در طول زمان و در بسیاری از سطوح تحقیق یک چالش بزرگ است. در این بین نوروانفورماتیک با سه چالش روبه‌رو است (۱۳): «چالش ایجاد پایگاه داده‌ای»[2] که با انباشت، ذخیره‌سازی، مدیریت و به اشتراک‌گذاری داده‌ها توصیف شود، «چالش ابزاری»[3] که به توسعه و به اشتراک‌گذاری ابزارها و نرم‌افزارها برای تجزیه‌وتحلیل داده‌ها می‌پردازد و «چالش مدل‌سازی»[4] که موضوع آن ایجاد و اعتبارسنجی مدل‌های محاسباتی از ساختار و عملکرد مغز با استفاده از داده‌های موجود است (۱۴).

چالش پایگاه داده

هر یک از چندین سطح تحقیق مقادیر زیادی از داده‌های اولیه با اشکال مختلف را تولید می‌کنند. چالش‌های مربوط به تحولات بانک اطلاعاتی شامل ایجاد استانداردهای مربوط به هستی‌شناسی، توضیحات ابرداده‌ها و قالب‌های آن‌ها و ایجاد مکانیسم‌ها برای به اشتراک گذاشتن حجم عظیم داده‌ها در بین محققان است (از مسائل فنی گرفته تا مسائل جامعه‌شناختی و حقوقی) هستی‌شناسی[5] چیزی بیش از مجموعه اصطلاحات هر شاخه علم است. هستی‌شناسی یک پایگاه داده، تعریف عناصر و روابط بین عناصر موجود در پایگاه داده است. دستیابی به یک هستی‌شناسی استاندارد کار دشواری است اما تلاش برای روشن شدن تعاریف و مفاهیم، باعث می‌گردد داده‌ها به‌راحتی مقایسه و تفسیر شوند. ابرداده یا «داده در مورد داده‌ها»، از تفسیر و توصیف داده‌هایی اولیه تحقیق حاصل می‌شود. داده‌های جمع‌آوری‌شده در یک آزمایش تنها درصورتی‌که شرایط و پارامترهای آزمایشی ارائه‌شده باشد، معنی‌دار است. مقالات تحقیق شامل ابرداده هستند اما ساختارمند نیستند. انواع زیادی از قالب‌های داده[6] در نوروانفورماتیک استفاده می‌شوند. قالب‌های استانداردشده امکان استفاده آسان‌تر از ابزارهای مشترک و مقایسه داده‌های تولیدشده توسط مراکز و آزمایشگاه‌های مختلف را فراهم می‌آورد. شیوه‌های استاندارد برای به اشتراک‌گذاری داده‌ها همچنین برای توسعه پایگاه داده‌های بزرگ مهم هستند. با افزایش تعداد پایگاه داده‌های بزرگ، به اشتراک‌گذاری داده‌ها در علوم اعصاب ممکن است به‌تدریج به همان اندازه که در ژنومیک معمول و مفید است، مفید باشد، جایی که وجود اجسام داده‌های بسیار بزرگ منجر به افزایش دانش و همچنین محصولات و خدمات مرتبط با بهبود می‌شود. سلامتی انسان (۵).

چالش ابزارها

تکنیک‌های بسیاری برای به تصویر کشیدن و تجزیه‌وتحلیل داده‌ها توسط سایر زمینه‌ها ایجاد شده است . این امر راه را برای علم نوظهور نوروانفورماتیک می‌گشاید اما مجموعه علوم اعصاب نیاز به ابزارهای خاص، بهینه‌سازی شده و الگوریتم‌های اختصاصی خود دارد. پیمایش و دست‌کاری داده‌ها به ابزارهای زیادی احتیاج دارد. ادغام نه‌تنها در انباشت داده‌ها در بسیاری از سطوح تحقیق بلکه در ابزارهایی که برای مقایسه داده‌ها، ایجاد بازنمایی مرتبه بالاتر و استخراج اصول مورداستفاده قرار می‌گیرد، بنا نهاده شده است. با گذشت زمان، برخی از این ابزارها حتی ممکن است به محققان علوم اطلاعات در جهت توسعه ابازارهای آنان نیز کمک نماید.

چالش مدل‌سازی

مانند همه علوم، درک سیستم‌ها و پدیده‌های موردمطالعه شامل توسعه مدل‌هایی است که ازنظر توصیفی کمک‌کننده بوده و همچنین پیش‌بینی کننده و تبیین‌کننده باشند. در

[1] Neuroplasticity
[2] Databasing challenge
[3] Tools challenge
[4] Modeling challenge
[5] Ontology
[6] Data formats

[Downloaded from ncmbjpiau.ir on 2025-12-08]

علوم اعصاب، سیستم‌ها و پدیده‌ها به دلیل بسیاری برای درک عملکرد و پیچیدگی‌های موجود در هر سطح، ازجمله سخت‌ترین مدل‌ها هستند. در اینجا نیز بسته به سطح مورد مطالعه، مدل‌سازی نیز متفاوت خواهد بود. مدل‌سازی در سطح مولکولی (به‌عنوان نمونه برهمکنش‌های مولکولی در سیناپس‌ها) و در سطح سلولی (مثلاً مدل‌سازی پتانسیل عمل یا انتقال سیگنال در طول نورون) همان است که در بیوفیزیک محاسباتی با آن روبه‌رو بوده‌ایم. چالش عمده در مدل‌سازی پدیده‌های مغز در سطوح بالاتر است (۱۵). مدل‌سازی پدیده‌های شناختی مانند تفکر، هیجان و استدلال در پیچیده‌ترین حالت قرار دارند. تنها راه اعتبارسنجی مدل‌های این فرایندهای پیچیده دستگاه عصبی، به‌کارگیری مجموعه داده‌های علوم اعصاب، با استفاده از ابزارهایی است که از طریق نوروانفورماتیک تولید شده است. تمام چالش‌های ذکرشده در بالا جدی است. تعداد کمی از آزمایشگاه‌های علوم اعصاب از ترکیبی از تخصص‌ها برای مقابله با همهٔ جنبه‌های نوروانفورماتیک شامل بانک اطلاعاتی، توسعه ابزار، به اشتراک‌گذاری و مدل‌سازی برخوردارند. اکثر آزمایشگاه‌های علوم اعصاب فقط معدود پژوهشگر باتجربه‌ای دارند و مسئولیت آموزش محققان جوان را بر عهده دارند.

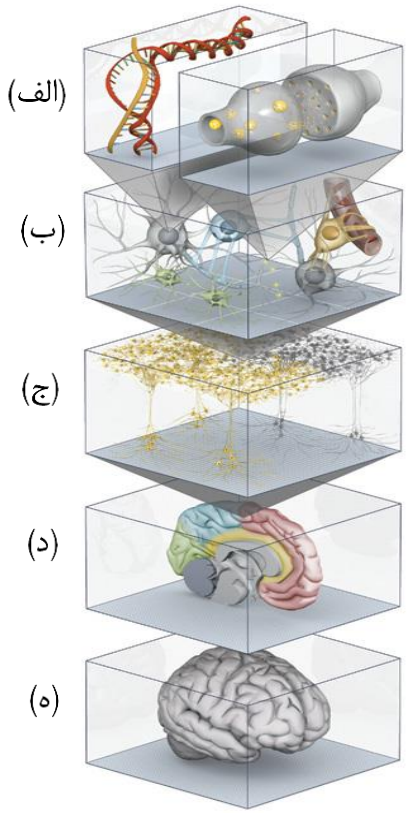
سطوح داده‌ها مغز پیچیده‌ترین دستگاه پردازش اطلاعات است. این بدین معنی است که مغز اطلاعات و دانش را در سطوح مختلف پردازش می‌کند. مدل‌سازی مغز به‌عنوان یک دستگاه پردازش اطلاعات، بسته به اهداف مدل‌ها و جزئیاتی که مدل‌ها با آن‌ها نمایانگر قوانین ژنتیکی، بیولوژیکی، شیمیایی، فیزیکی، فیزیولوژیکی و روانی و قوانین حاکم بر عملکرد و رفتار مغز هستند، نتایج متفاوتی دارد. داده‌های مغز و روش‌های مدل‌سازی آن را می‌توان به روش‌های مختلفی تقسیم‌بندی کرد (۱۷-۱۶). در این‌جا به سطوح بررسی را از نظر آناتومیک (از ریز به درشت) بررسی می‌کنیم (۱۸).

سطح مولکولی- ژنتیکی

در این سطح، دست ورزی داده‌های علوم اعصاب مولکولی[1] صورت می‌گیرد. نورون‌های بخش‌های مختلف مغز اگرچه عملکردهای متفاوتی ازجمله حافظه، یادگیری، کنترل، شنوایی و بینایی و ... دارند، به روشی مشابه عمل می‌کنند. عملکرد انواع نورون‌ها درنهایت توسط اطلاعات ژنتیکی آن‌ها تعریف می‌شود. این اصل می‌تواند به‌عنوان رویکردی یکپارچه برای ساختن مدل‌های مختلف عصبی برای انجام کارکردهای مختلف مانند تشخیص گفتار، بینایی، یادگیری و تکامل آن مورداستفاده قرار گیرد. ژن‌های مرتبط با کارکردهای خاص می‌توانند به عنوان مجموعه‌ای از پارامترهای یک نورون در نظر گرفته شوند.

[Downloaded from ncmbjpiau.ir on 2025-12-08]

[1] Molecular neuroscience



شکل ۳: ساختار سلسله‌مراتبی مغز که به‌ترتیب شامل سطح مولکولی (الف)، سطح سلولی (ب)، سطح شبکه عصبی (ج)، سطح زیرمغزی (د) و سطح شناختی (ه) است.

پارامترها نحوه عملکرد نورون را تعریف می‌کنند و می‌توانند از طریق بازخورد از خروجی نورون اصلاح شوند. در این سطح، برهمکنش مولکول‌ها نیز موردبررسی قرار می‌گیرد؛ که نمونه بارز آن، برهمکنش‌های واسطه‌های عصبی با گیرنده‌های خود در سیناپس‌ها است (۱۹).

سطح سلولی (تک نورون)

در این سطح، از اطلاعات آزمایشگاهی در زمینهٔ مولکولی، سلولی و فیزیولوژی به‌منظور مدل‌سازی سلول عصبی (نورون) استفاده می‌شود. بسیاری از مدل‌های اطلاعاتی سلول‌های عصبی وجود دارند که در تئوری شبکه عصبی موردبررسی قرارگرفته‌اند. ازجمله آن‌ها می‌توان به مدل‌های تحلیلی، به‌عنوان نمونه مدل هاجکین-هاکسلی، مدل‌ها مک کالوک که توصیفگر ساده‌ترین نورون مصنوعی است یا مدل‌های عصبی اسپایکی که به‌طور دقیق‌تری از شبکه‌های عصبی زیستی الهام می‌گیرند می‌توان نام برد.

سطح شبکهٔ عصبی (مجتمع‌های نورونی[1])

اطلاعات در مجموعه نورون‌هایی که یک ناحیه عملکردی مشخصی از مغز را تشکیل می‌دهند، پردازش می‌شوند. مغز انسان به‌طور عمده اطلاعات خود را از پنج حس بینایی، شنوایی، لامسه، چشایی و بویایی می‌گیرد. هرکدام از این حس‌ها دارای گیرنده‌های ویژه‌ای است. تحریک توسط گیرنده دریافت شده، به‌صورت اطلاعات از طریق تحریک پتانسیل‌های عملکرد عصبی منتقل می‌شوند. اطلاعات با استفاده از میانگین پالس یا فاصله زمانی بین پالس‌ها رمزگذاری می‌شوند. به نظر می‌رسد این فرایند از الگویی مشترک برای همه حس‌ها پیروی می‌کند اما هنوز سؤالات بی‌پاسخ بسیاری در مورد نحوه رمزگذاری اطلاعات در مغز وجود دارد که موضوع نوروانفورماتیک در این سطح است.

سطح زیرمغزی-مدارهای مغزی

مجموعه‌های نورونی در سطحی وسیع‌تر مدارهای مغزی را می‌سازند و بخش‌های مختلف مغز را به هم مرتبط می‌سازند. مثلاً مدار پاداش از چندین ناحیه قشری و زیرقشری مغز تشکیل شده است که شبکه‌ای پیچیده را برای واسطه‌گری جنبه‌های مختلف یادگیری تشویقی تشکیل می‌دهند و منجر

[1] Ensemble

[Downloaded from ncmbjpiau.ir on 2025-12-08]

به رفتارهای سازگارانه و تصمیم‌گیری مناسب می‌شوند. این مدار نقش عمده‌ای در رفتارهای اعتیادی دارد (۲۰).

سطح شناختی

اطلاعات در کل مغز از طریق بسیاری از ماژول‌های تعامل پردازش می‌شوند. بسیاری از ماژول‌های شبکه عصبی به یکدیگر متصل می‌شوند تا از یک ساختار پیچیده مغز و الگوریتم‌های یادگیری استفاده کنند. در این سطح با مسائل بسیار پیچیده‌ای روبه‌رو هستیم. گرچه در این سطح از جانوران آزمایشگاهی برای تحقیق استفاده می‌گردد، با مسائلی که از سطح جانوری فراتر می‌رود و اختصاص به گونه انسان دارد سروکار داریم (۲۱). پدیده‌هایی مانند تفکر و زبان، تجربه پدیدارشناسانه هیجان‌ها و درنهایت مسئله دشوار آگاهی در این سطح موردبررسی قرار می‌گیرند (۲۲).

بحث و نتیجه‌گیری

از مباحث مطرح‌شده می‌توان چنین نتیجه گرفت که نوروانفورماتیک حیطه‌ای وسیع و درعین‌حال پراکنده و متنوع از اطلاعات را در برمی‌گیرد. ناهمگونی سطوح اطلاعاتی در علوم اعصاب تاکنون مانع از ایجاد یک‌دستی لازم در ماهیت داده‌های نوروانفورماتیک شده است. نمود بارز این امر را در عدم موفقیت پروژه مغز انسانی که قرار بود در دوره‌ای ۱۰ ساله در سال ۲۰۲۳ به اتمام برسد می‌توان دید (۲۳). مهم‌ترین هدف این پروژه شبیه‌سازی مغز کامل[1] بود که تاکنون محقق نشده و به‌احتمال‌قوی تا پایان پروژه نیز محقق نخواهد شد. این عدم موفقیت را می‌توان به دو عامل کلی نسبت داد. نخستین عامل، پیچیدگی فراتر از تصور مغز و دستگاه عصبی انسان است (۲۴، ۷، ۶). با ادامه پروژه مغز انسانی که مغز واقعیت‌های خود را نشان داد و هیجانات اولیه فرو خوابید، مشخص شد که بودجه این پروژه (۱,۶۳ میلیارد دلار) به مرتب کمتر از حد نیاز برآورد گردیده است، بخصوص وقتی آن را با برنامه آپولو[2] با بودجهٔ ۱۰۴,۲۷ میلیارد دلار یا حتی پروژه ژنوم انسانی با بودجهٔ ۴,۷۳ میلیارد دلار مقایسه می‌شود (۲۵). به‌هرحال علاوه بر بودجه، محدودیت‌های فنی و نیروی انسانی، آن چنانکه مسئله دشوار می‌طلبد باعث گردیده نوروانفورماتیک کماکان در مراحل اولیه خود بماند (۲۶، ۲۷). دومین عامل، درنظر نگرفتن مسائلی است که اساساً فلسفی است. سؤالی که در اینجا مطرح می‌گردد این است که آیا می‌توان مغز و فعالیت‌های آن را با بررسی اجزای تشکیل‌دهنده آن شناخت؟ جای این پرسش بنیادین که در فلسفه علم تحت عنوان تقلیل‌گرایی[3] مطرح است، در پروژهٔ مغز انسانی خالی است. در بخش مقدمه، به رابطه بین علوم مختلف اشاره گردید. این دیدگاه سلسله‌مراتبی علم، علیرغم کمک بزرگی که به پیشرفت علم کرده است، منتقدان جدی دارد. به نظر این منتقدان هرگاه بخواهیم یک کل را با شناخت اجزایش بشناسیم، لزوماً به شناخت کامل آن نخواهد انجامید (۲۸). جمله مشهور «هر کل چیزی بیشتر از اجزایش دارد» مؤید همین واقعیت است. این «چیز» اضافی را که «ارزش افزوده» حاصل از پیچیدگی مغز است، چگونه باید مورد مطالعه قرار گیرد و آیا اساساً تن به بررسی علمی می‌دهد؟ اگر پدیده‌های شناختی کلان مغز ازجمله «آگاهی[4]» از جنس این «ارزش افزوده» باشد، در این صورت چگونه می‌توان آن را بررسی کرد؟ مسلم است که روش‌های علمی موجود در شناخت پیچیدگی‌های مغز کاملاً توانمند نیستند و این امر نیاز به روش‌شناسی جدید را مطرح می‌سازد (۱۷). تا آن زمان که روش‌شناسی جدید کارآیی خود را به اثبات برساند باید با روش‌های موجود به انباشت جزئیات پرداخت. به نظر می‌رسد مدل‌سازی کل مغز ناممکن نیست، بااین‌حال رسیدن به این هدف سال‌ها طول خواهد کشید. هر پیشرفتی هرچند اندک در این زمینه، باعث ایجاد انگیزه مثبت در جهت ادامه مسیر خواهد بود.

[Downloaded from ncmbjpiau.ir on 2025-12-08]

[1] Whole brain
[2] Apollo program
[3] Reductionism
[4] Consciousness

منابع

1. Bjaalie JG. Understanding the brain through neuroinformatics. Front Neurosci. 2009;2(AUG):19–21.
2. Jagaroo V. Neuroinformatics for neuropsychology. 1st ed. Neuroinformatics for Neuropsychology. Boston,: Springer US; 2009. 1–124 p.
3. Amari SI, Beltrame F, Bjaalie JG, Dalkara T, De Schutter E, Egan GF, et al. Neuroinformatics: the integration of shared databases and tools towards integrative neuroscience. J Integr Neurosci. 2002;1(2):117–28.
4. French L, Pavlidis P. Informatics in neuroscience. Brief Bioinform. 2007;8(6):446–56.
5. Salles A, Bjaalie JG, Evers K, Farisco M, Fothergill BT, Guerrero M, et al. The Human Brain Project: Responsible Brain Research for the Benefit of Society. Neuron [Internet]. 2019;101(3):380–4. Available from: https://doi.org/10.1016/j.neuron.2019.01.005
6. Amunts K, Ebell C, Muller J, Telefont M, Knoll A, Lippert T. The Human Brain Project: Creating a European Research Infrastructure to Decode the Human Brain. Neuron [Internet]. 2016;92(3):574–81. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/j.neuron.2016.10.046
7. Amunts Ik, Knoll AC, Lippert T, Pennartz CMA, Ryvlin P, Destexhe A, et al. The Human Brain Project — Synergy between neuroscience, computing, informatics, and brain-inspired technologies. PLOS Biol. 2019;July 1:1–7.
8. D'Angelo E. The human brain project AND ITS MISSION. Funct Neurol. 2012;27(4):205.
9. Kasabov N. Handbook of Bio-/Neuro-Informatics [Internet]. 1st ed. Kasabov N, editor. Springer Handbook of Bio-/Neuroinformatics. Berlin Heidelberg; 2014. 235–245 p. Available from: citeulike-article-id:12824647%5Cnhttp://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-30574-0_15
10. Frégnac Y, Laurent G. Neuroscience: Where is the brain in the Human Brain Project? Nature. 2014;513(7516).
11. Overview [Internet]. [cited 2023 Sep 9]. Available from: https://www.humanbrainproject.eu/en/about/overview/
12. Beltrame F, Koslow SH. Neuroinformatics as a megascience issue. IEEE Trans Inf Technol Biomed. 1999;3(3):239–40.
13. Ascoli GA. Neuroinformatics grand challenges. Neuroinformatics. 2008;6(1):1–3.
14. Bash E. Computing the Brain, A Guide to Neuroinformatics. Vol. 1, PhD Proposal. 2015.
15. Arbib MA. The Handbook of Brain Theory and Neural Networks TL. 2nd ed. Michael A. Arbib, editor. THE MIT PRESS. Massachussets; 2018.
16. Kötter R. Neuroscience databases: a practical guide. 2003. 310 p.
17. Montag C, Duke É, Markowetz A. Toward Psychoinformatics: Computer Science Meets Psychology. Comput Math Methods Med. 2016;2016:1–10.
18. Markram BH. transform neuroscience and medicine and reveal new ways of making more powerful computers It ' s time to change the way we study the brain . 2012;50–5.
19. Negi SK, Guda C. Global gene expression profiling of healthy human brain and its application in studying neurological disorders. Sci Rep. 2017;7(1).

[Downloaded from ncmbjpiau.ir on 2025-12-08]

20. Volkow ND, Wang G-J, Fowler JS, Tomasi D. Addiction Circuitry in the Human Brain. Focus (Madison). 2015;

21. Yarkoni T. Psychoinformatics: New Horizons at the Interface of the Psychological and Computing Sciences. Curr Dir Psychol Sci. 2012;

22. Kirshner HS. Cognitive Neuroscience of Memory. Vol. 33, Cognitive and behavioral neurology : official journal of the Society for Behavioral and Cognitive Neurology. 2020. 230–231 p.

23. Why did the Human Brain Project Crash and Burn? | Mind Matters [Internet]. [cited 2023 Sep 9]. Available from: https://mindmatters.ai/2020/12/why-did-the-human-brain-project-crash-and-burn/

24. The one billion euro brain | Research and Innovation [Internet]. [cited 2023 Sep 9]. Available from: https://ec.europa.eu/research-and-innovation/en/horizon-magazine/one-billion-euro-brain

25. Underwood E. Brain project draws presidential interest, but mixed reactions. Vol. 339, Science. 2013.

26. Theil S. Why the Human Brain Project Went Wrong—and How to Fix It. Sci Am. 2015;

27. Gustavsson A, Svensson M, Jacobi F, Allgulander C, Alonso J, Beghi E, et al. Cost of disorders of the brain in Europe 2010. Eur Neuropsychopharmacol. 2011;21(10):718–79.

28. How big science failed to unlock the mysteries of the human brain | MIT Technology Review [Internet]. [cited 2023 Sep 9]. Available from: https://www.technologyreview.com/2021/08/25/1032133/big-science-human-brain-failure/

[Downloaded from ncmbjpiau.ir on 2025-12-08]