

## اسرار مغز

فناوری‌های نوین از بزرگترین معمای حل‌نشده زیست‌شناسی پرده برمی‌دارند:  
مغز واقعاً چگونه کار می‌کند؟

## قسمت دوم

نوشته کارل زیمر<sup>۱</sup>ترجمه‌ای از مقاله چاپ‌شده در مجله نشنال جئوگرافیک  
فوریه ۲۰۱۴ترجمه فاطمه راوندی  
دانشجوی کارشناسی مهندسی مکانیک  
دانشگاه شهید چمران اهواز

دست یافتند. بعد از اینکه به این طریق مغز یک موش را شفاف کردند، دانشمندان قادر خواهند بود آن را به‌گونه‌ای به مواد شیمیایی درخشانی آغشته کنند که تنها به پروتئین‌های خاصی متصل می‌شوند و یا مسیرهای ویژه‌ای که نورون‌ها را در نواحی دورافتاده مغز به هم ارتباط می‌دهد، مشخص می‌کنند. سپس می‌توانند این گروه از محلول‌های شیمیایی را شستشو داده و نوع دیگری را که محل و ساختار انواع مختلف نورون‌ها آشکار می‌سازد، اضافه کنند. به این ترتیب مشکلات پیچیده شبکه‌های عصبی یکی پس از دیگری حل می‌شوند. دیسروث بیان می‌کند: "دیگر برای نمایش شبکه‌بندی مغز به تکه‌تکه کردن آن نیازی نداریم." تحت تأثیر قراردادن عصب‌شناسان کار ساده‌ای نیست، اما روش دیسروث؛ یعنی شفافیت، سبب بهت‌زدگی همکارانش شده است. کریستوف کوچ<sup>۸</sup> رئیس هیئت مدیره مؤسسه آلن می‌گوید: "این مشکل‌آفرین است." ون ودین<sup>۹</sup> این پژوهش را نادر و تماشایی خوانده است. به سبب میراث تکاملی مشترک، مغز شفافیت‌یافته یک موش می‌تواند بخش عظیمی از چگونگی عملکرد مغز انسان را آشکار سازد. اما

در دیدار از آزمایشگاه دیسروث<sup>۲</sup>، جنل والاس<sup>۳</sup>، دانشجوی دوره کارشناسی، مرا به سمت میزی هدایت کرد که روی آن تعدادی بشر در بسته‌ای از فوم پلاستیکی قرار داشت. یکی از آنها را خارج کرد و به مغز یک موش که به اندازه دانه انگوری بود و در پایین بشر قرار داشت اشاره کرد. با نگاهی به مغز موش دیدم تقریباً به شفافیت یک مرمر شیشه‌ای است. لازم به ذکر نیست که مغز انسان یا موش در حالت معمولی کدر و غیرشفاف است و سلول‌های آن در بستری از چربی و دیگر ترکیبات قرار گرفته‌اند که مانع ورود نور می‌شوند. به همین دلیل است که کایال<sup>۴</sup> ناچار است برای دیدن نورون‌ها آنها را رنگ کند و یا گروه لیچمن<sup>۵</sup> و دانشمندان مؤسسه علوم مغزی آلن<sup>۶</sup>؛ مغز را به لایه‌های بسیار نازک تبدیل کنند تا به نقاط عمیق‌تر درون آن دست یابند. مزیت یک مغز شفاف این است که ما را قادر می‌سازد تا با دقت به نحوه عملکرد آن زمانی که هنوز سالم و دست‌نخورده است بنگریم. دیسروث به همراه یک محقق دوره فرا دکتری به نام کوانگون چانگ<sup>۷</sup> به دستورالعملی برای جایگزینی ترکیبات پراکنده‌کننده نور با مولکول‌های شفاف



هدف نهایی دیسروث ایجاد چنین دگرگونی مشابهی برای مغز انسان است، که امری است بسیار طاقت‌فرسا؛ زیرا مغز یک انسان ۳۰۰۰ برابر بزرگتر از مغز یک موش است. یک تصویر شفاف که نشان‌دهنده مکان تنها یک نوع پروتئین در مغز انسان است می‌تواند انبوهی از اطلاعات را خلق کند. (حدود ۲ پتابایت، یا معادل چندصد هزار فیلم با کیفیت اچ. دی. ۱۰) دیسروث پیش‌بینی می‌کند که این شفافیت ممکن است روزی برای افرادی که وی در حرفه روانپزشکی مواجه می‌کند، از طریق آشکار نمودن جنبه‌های پنهان اختلالاتی نظیر اوتیسم<sup>۱۱</sup> و افسردگی، مثر ثمر باشد. اما در حال حاضر او این امید را نزد خود نگه داشته است.

دیسروث بیان می‌کند: "ما هنوز راهی بسیار طولانی برای دستیابی به معالجاتی که به مردم وعده می‌دهیم در پیش داریم، حتی هنوز درباره آن فکر نمی‌کنیم. در حال حاضر این فقط یک سفر اکتشافی محسوب می‌شود."

هر اندازه که یک مغز شفاف ممکن است آشکارکننده باشد، باز هم مغز یک انسان مرده خواهد بود. دانشمندان به تجهیزات گوناگونی برای کاوش در مغز انسان زنده نیازمندند. اسکنرهایی که ودین برای ترسیم ماده سفید<sup>۱۲</sup> مغز استفاده می‌کند، با برنامه‌ریزی‌های متفاوت می‌توانند عملکرد مغز را در حال فعالیت ثبت کنند. تصویرسازی تشدید مغناطیسی کارکردی<sup>۱۳</sup> به مناطقی از مغز که در طی یک فعالیت ذهنی مورد استفاده قرار می‌گیرد اشاره دقیقی می‌کند. طی چند دهه اخیر، تصویرسازی تشدید مغناطیسی کارکردی به آشکار سازی شبکه‌هایی کمک نموده است که در تمام فرایندهای فکری نظیر توانایی تشخیص چهره افراد یا لذت بردن از نوشیدن یک فنجان قهوه و یا به خاطر آوردن یک حادثه غم‌انگیز دخیل بوده‌اند.

شگفت‌زده شدن با تصاویر حاصل از تصویرسازی تشدید مغناطیسی کارکردی که مغز را مانند رنگ‌های یک رنگین‌کمان هلالی شکل نشان می‌دهند آسان است. اما مهم این است که به خاطر داشته باشیم این تصاویر از

بخش‌های مغز نسبتاً درشت هستند. قدرتمندترین اسکنرها می‌توانند در اندازه‌های تا مقیاس یک میلی‌متر مکعب از فعالیت را ثبت نمایند که در حدود یک دانه کنجد از بافت می‌باشد. در این اندازه صدها هزار نورون در الگوهای هماهنگ در حال شلیک و رد و بدل کردن سیگنال‌ها هستند. اینکه چگونه این سیگنال‌ها سبب پدید آمدن مدل‌های بزرگتر در تصاویر fMRI می‌شوند، همچنان مبهم باقی مانده است.

کلی ریڈ<sup>۱۴</sup> همکار سابق لیچمن در دانشگاه هاروارد، که در سال ۲۰۱۲ م به مؤسسه علوم مغزی آن ملحق شده است، بیان می‌کند: "سئوالات بسیار ساده‌ای درباره بافت مغز وجود دارد که به هیچ عنوان پاسخی برای آنها نداریم." ریڈ به این امید به سیاتل آمده است تا پاسخ برخی از این پرسش‌ها را به کمک یک سری آزمایش که او و همکارانش گستره ذهن<sup>۱۵</sup> می‌نامند، بیابد. هدف آنها دریافت این نکته است که چگونه شمار زیادی از نورون‌ها وظیفه پیچیده خاصی را انجام می‌دهند.

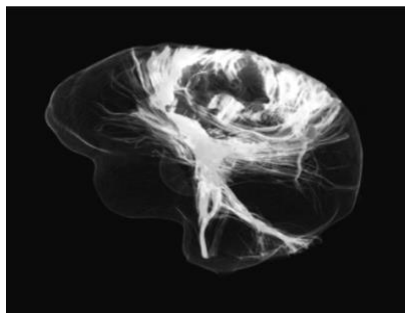
عملکردی که ریڈ و همکارانش برای اکتشاف برگزیده‌اند، بینایی است. دانشمندان در مورد نحوه دیدن، طی چند دهه تحقیق کرده‌اند، اما توانسته‌اند تنها به صورت تدریجی آن را مورد مطالعه قرار دهند. یک عصب‌شناس ممکن است یک الکتروود در ناحیه‌ای از مغز موش که در ادراک بینایی تداخل دارد، قرار دهد و مشاهده کند آیا زمانی که حیوان تصویر خاصی را می‌بیند، در نورون‌های مجاور شلیک صورت می‌گیرد یا نه؟ این رویکرد دانشمندان را قادر ساخته است تا برخی از نواحی بخش بینایی مغز را که وظایف مختلفی مانند پیدا کردن لبه‌های یک شیء یا درک روشنایی برعهده دارند، ترسیم کنند. اما دانشمندان هنوز نمی‌توانند تمامی این نواحی را که با یکدیگر کار می‌کنند به صورت یکپارچه مشاهده کنند، مثلاً برای اینکه ببینند موش از دیدن یک گربه چگونه اطلاعات حدود یک میلیون نورون‌های بخش بینایی خود را در آن واحد کنار هم می‌گذارد. ریڈ و همکارانش در تلاش‌اند تا این مشکل را با مهندسی کردن

موش برطرف کنند، به این ترتیب نورون‌های بینایی آنها زمانی که در حالت شلیک قرار می‌گیرند پرتوهایی از نور ساطع می‌کنند. این پرتوها فعالیت‌های عصبی را زمانی که موش هدف خاصی از جمله گربه، مار یا یک تکه پنیر



شکل ۱. جایی برای خطا وجود ندارد. برداشتن تومورهای مغزی امری پر مخاطره است. جراحان باید بیشترین حجم ممکن از تومور را خارج کنند، بدون اینکه به نورون‌های اساسی برای عملکردهایی نظیر تکلم، بینایی، حافظه و رشته‌های رابط بین آنها آسیب بزنند. دیوید فورتین<sup>۱۶</sup> جراح مغز و اعصاب در دانشگاه شبروک کانادا<sup>۱۷</sup> با تکیه بر یک نقشه دقیق از مغز بیمار، از بروز رویدادهای ناگوار در حین عمل جلوگیری می‌کند.

خوشمزه را می‌بیند، ثبت می‌کند. سپس دانشمندان می‌توانند این داده‌ها را گردآوری نمایند تا مدل‌های ریاضی عظیمی از بینایی تهیه کنند. اگر این مدل‌ها دقیق باشند، محققان قادر خواهند بود ذهن یک موش را عملاً بخوانند.



شکل ۲. اسکن‌هایی از مغز یکی از بیماران فورتین، یک تومور را نشان می‌دهد که در ناحیه کنترل حرکات دست و پا رشد کرده است. وقتی فورتین بخش‌هایی از تومور را برداشت، جریانی به این ناحیه اعمال می‌کند تا تشخیص دهد آیا نورون‌های مجاور برای حرکت، ضروری هستند یا نه؟ ماکسیم دکوتو<sup>۱۸</sup> می‌گوید: "بسیاری از عملکردهای حرکتی در این بیمار هنوز فعال‌اند. جراح در این مورد، محافظه‌کارانه عمل کرد تا مهاجمانه."

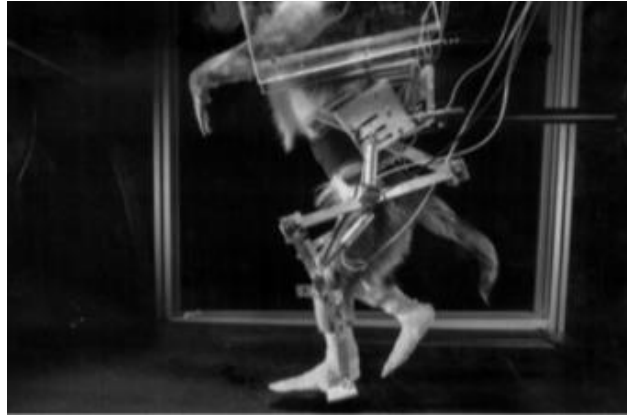
رید بیان می‌کند: "هدف ما این است که آنچه را موش می‌بیند بازسازی کنیم. فکر می‌کنم قادر به انجام این کار هستیم." تحقیق رید روی بینایی موش‌ها گام دیگری در راه هدف نهایی عصب‌شناسی است: تصویری جامع از نحوه عملکرد این اندام پیچیده؛ چیزی که دانشمندان آن را تئوری مغز می‌نامند. چنین تحقیق گسترده‌ای هنوز راهی طولانی در پیشروی دارد و زمان زیادی مانده تا بتواند در معالجه بیماران اثرگذار باشد. اما بخشی از این تحقیق به‌نام رابط‌های مغز - ماشین، با کمک نقشه‌برداری از ذهن آغاز به تحول زندگی در انسان‌ها نموده است. کتی هاتکینسون<sup>۱۹</sup> در سن ۴۳ سالگی دچار یک سکته مغزی شد که توانایی حرکت و تکلم را از وی گرفت. وقتی او در بیمارستان عمومی ماساچوست<sup>۲۰</sup> در بستر بیماری افتاده بود، کم‌کم دریافت که پزشکان او دقیقاً نمی‌دانند وی دچار مرگ مغزی شده یا هنوز هوشیار است؟ خواهرش از

هاتکینسون سؤال کرد او را می‌فهمد؟ او توانست با بالابردن چشمانش پاسخ دهد. هاتکینسون هفده سال بعد به من می‌گوید: "این برایم آسایشی خیالی بود؛ زیرا همگان طوری در مورد من صحبت می‌کردند که گویی در حال مرگم." امروز یک روز بسیار سرد زمستانی، در منزل هاتکینسون در ماساچوست شرقی است و او با لباس ورزشی و کفش کتانی روی ویلچر در وسط اتاق نشیمن نشسته است؛ درحالی‌که هنوز کاملاً فلج بود و قادر به تکلم نیز نیست، با نگاه‌کردن به حروفی ردیف‌شده که روی صفحه کامپیوتری که به ویلچرش پیچ شده بود، ارتباط برقرار می‌کند. یک دوربین حرکات دیسک فلزی کوچکی که به مرکز عینک او متصل شده است را دنبال می‌کند. در نزدیکی قسمت فوقانی مغز ناحیه‌ای به‌نام قشر حرکتی<sup>۲۱</sup> وجود دارد که فرمان‌های لازم برای حرکت‌دادن عضلات را تولید می‌کند. بیش از یک قرن است که می‌دانیم هر



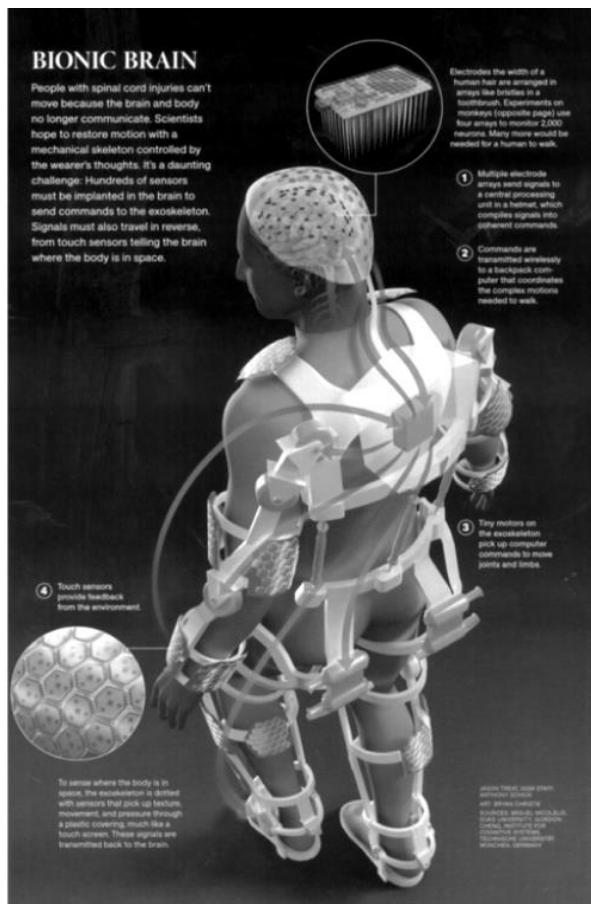
قسمت از قشر حرکتی مغز به ناحیه خاصی از بدن مربوط است. وقتی افرادی نظیر هاتکینسون فلج می‌شوند، قشر حرکتی اغلب سالم باقی می‌ماند، اما نمی‌تواند با بقیه اندام‌های بدن ارتباط برقرار کند؛ زیرا اتصالات آن آسیب دیده است. یک عصب‌شناس به نام جان دونوگوته<sup>۲۲</sup> از دانشگاه براون<sup>۲۳</sup> قصد داشت راهی بیاید تا به بیمارانی که معلول حرکتی‌اند، از طریق ضربه‌های آهسته به سیگنال‌های قشر حرکتی کمک کند. شاید آنها بیاموزند که با افکارشان با کامپیوتر تایپ کنند، یا ماشینی را به‌راه بیاورند. دونوگوته سال‌ها وقت صرف طرح و توسعه یک نوع ایمپلنت و تست آن روی میمون‌ها نمود. زمانی که او و همکارانش از ایمن بودن آن مطمئن شوند، آمادگی لازم را برای کار با بیماران پیدا خواهند کرد. یکی از این بیماران هاتکینسون بود. در سال ۲۰۰۵ م، جراحان در بیمارستان رود آیلند<sup>۲۴</sup>، حفره‌ای به اندازه چند میلی‌متر در جمجمه هاتکینسون به‌وجود آوردند و حسگری در داخل آن ایمپلنت کردند. حسگر با اندازه یک دانه عدس، شامل صد سوزن بسیار ریز بود که در قشر حرکتی مغز هاتکینسون فرو رفته بود و سیگنال‌های نورون‌های مجاور را ثبت می‌کرد. یک دسته‌سیم که به این وسیله متصل شده بود، از سوراخ جمجمه وی عبور کرده و به یک جعبه تقسیم که روی جمجمه او قرار دارد، وصل می‌شد. بعد از بهبودی جراحی، محققان دانشگاه براون خروجی ایمپلنت‌های هاتکینسون را با کابلی که نمونه سیگنال‌های مغز او را به یک سری کامپیوتر که در روی یک شاسی قرار داشتند مرتبط می‌ساخت. به‌عنوان گام نخست دانشمندان کامپیوترها را پشت سرهم وصل می‌کردند تا سیگنال‌های قشر حرکتی مغز را شناسایی کنند و از آن برای حرکت دادن نشانگر کامپیوتری روی مانیتور استفاده کنند. در اولین آزمایش به این موفقیت دست یافتند؛ زیرا آموخته بودند که چگونه داده‌های مغز را به حرکت تبدیل کنند. دو سال بعد، نوعی بازوی رباتیک را به کامپیوترها متصل کردند که با بهبود برنامه می‌توانست سیگنال‌های مغز هاتکینسون را به‌گونه‌ای

تفسیر کند تا وی قادر به جلو و عقب‌بردن بازو، بالا و پایین‌بردن آن، بازکردن انگشتان رباتیکی خود و یا فشردن آنها باشد. بعد از چند جلسه، هاتکینسون، کامپیوتر و بازوی رباتیکی، همه به‌صورت یک تیم واحد درآمدند. او می‌گوید: "بسیار طبیعی به نظر می‌رسید." آنقدر طبیعی که یک روز او دستش را برای برداشتن یک فنجان چای دارچین دراز کرد، آن را گرفت و به سمت لبانش برد تا بنوشد. دونوگوته می‌گوید: "لبخند کتی زمانی که نوشیدنی را پایین آورد همه‌چیز بود." امروزه دونوگوته و دیگر دانشمندان از آن موفقیت به‌عنوان پلی برای پیشرفت استفاده می‌کنند و امیدوارند بتوانند رابط‌های ماشینی - انسانی خلق کنند که قدرتمند، ایمن و آسان جهت استفاده‌اند. در دانشگاه دوک<sup>۲۵</sup>، میگوئل نیکولیس<sup>۲۶</sup> با اسکلت خارجی<sup>۲۷</sup> که روی بدن نصب می‌شود آزمایش‌هایی انجام داده است. سیگنال‌های ارسالی از مغز هریک از اعضاء را کنترل می‌کنند. تاکنون او از میمون‌ها برای کنترل اسکلت‌های خارجی تمام‌قد استفاده کرده است. اگر همه‌چیز به‌خوبی پیش رود، یک فرد معلول که یک نمونه ساده‌تر از دستگاه را بر تن دارد، شوت آغازین مسابقات جام جهانی ۲۰۱۴ را در سرزمین مادری میگوئل نیکولیس، برزیل، خواهد زد! میگوئل نیکولیس می‌گوید: "سرانجام ایمپلنت‌های مغز به اندازه ایمپلنت‌های قلب متداول خواهند شد. من هیچ شکی در این مورد ندارم." وقتی صحبت مغز در میان باشد، پیشگویی آینده یک بازی ماهرانه است. پیشرفت‌های گذشته، انتظارات بی‌پایه‌ای را القاء کرده که هنوز دیده نشده است. کریستوف کوچ می‌گوید: "ما نمی‌توانیم یک مغز اسکیزوفرنیایی را از مغزی که دچار بیماری درخود ماندگی است و یا از یک مغز سالم تمیز دهیم." اما وی اعتقاد دارد تحقیقاتی که اکنون در مسیر انجام است، علم عصب‌شناسی را به جایگاه قابل توجهی سوق می‌دهد. او می‌گوید: "فکر می‌کنم ما می‌توانیم شروع به کنار هم گذاشتن قطعات کنیم."



شکل ۳. یک میمون رزوس<sup>۲۸</sup> با کمک نوعی اسکلت خارجی که توان آن توسط هوای فشرده تأمین می‌شود، قادر به راه رفتن است؛ این اسکلت توسط کامپیوتری کنترل می‌شود که سیگنال‌ها را از الکترودهایی که در ناحیه قشر حرکتی مغز میمون جاگذاری شده‌اند، بازخوانی می‌کند. میگوئل نیکولیس و همکارانش در دانشگاه دوک در حال توسعه دستگاه‌های مشابهی هستند تا افراد معلول را قادر به حرکت سازند.

شکل ۴. مغز بیونیک<sup>۲۹</sup>: افراد با آسیب‌های طناب نخاعی قادر به حرکت نمی‌باشند؛ زیرا مغز و جسم آنها دیگر با هم در ارتباط نیستند. دانشمندان امیدوارند تا با استفاده از یک اسکلت مکانیکی که توسط افکار فرد استفاده کننده کنترل می‌شود، توانایی حرکتی را به حالت اول بازگردانند. این یک عمل چالش برانگیز است: صدها حسگر باید در مغز قرار داده شوند تا فرمان‌ها را به اسکلت خارجی ارسال کنند. این سیگنال‌ها همچنین باید همین مسیر را از حسگرهای لامسه بازگردند تا به مغز اطلاع دهند که کدام قسمت از بدن در حال حرکت است. الکترودهایی با پهنای یک تار موی انسان، در ردیف‌هایی منظم مانند برس‌های یک مسواک قرار گرفته‌اند. در آزمایشات انجام‌شده روی میمون‌ها، از چهار ردیف برای نمایش ۲۰۰۰ نورون استفاده شده است. به تعداد بسیار بیشتری الکترودهای راه رفتن یک انسان نیاز است. ۱. چندین ردیف از الکترودهای چندگانه، سیگنال‌هایی را به واحد پردازش مرکزی در یک کلاه ارسال می‌کنند که این واحد، سیگنال‌ها را به فرمان‌های مرتبط هدایت می‌کند. ۲. فرمان‌ها به صورت بی‌سیم به یک کامپیوتر که در پشت اسکلت خارجی تعبیه شده ارسال می‌شوند، تا این کامپیوتر حرکات پیچیده‌ای را که برای راه رفتن نیاز است هماهنگ کند. ۳. موتورهای بسیار کوچکی که روی اسکلت خارجی قرار دارند فرمان‌های کامپیوتر را دریافت می‌کنند تا مفاصل و اعضاء را به حرکت درآورند.



۴. حسگرهای حسی بازخوردی از محیط فراهم می‌سازند. برای حس کردن اینکه کدام قسمت از بدن در حال حرکت است، اسکلت خارجی شامل حسگرهایی است که ساختار، حرکت و فشار را از طریق یک رویه پلاستیکی که همانند یک صفحه لمسی است، دریافت می‌کنند. این سیگنال‌ها به مغز برگردانده می‌شوند.

1. Carl Zimmer
2. Karl Diesseroth
3. Jenelle Wallace
4. Cajal
5. Jeff Lichtman
6. Allen Institute for Brain Science
7. Kwanghun Chung
8. Christof Koch
9. Van Wedeen
10. HD


۱۱. درخودماندگی یا اوتیسم (Autism) نوعی اختلال رشدی (از جنس روابط

اجتماعی) است که با رفتارهای ارتباطی - کلامی غیرطبیعی مشخص می‌شود. علائم این اختلال تا پیش از سه‌سالگی بروز می‌کند و علت اصلی بروز آن ناشناخته است. این اختلال در پسران شایع‌تر از دختران است. وضعیت اقتصادی، اجتماعی، سبک زندگی و سطح تحصیلات والدین در بروز این اختلال نقشی ندارد. درخودماندگی بر رشد طبیعی مغز در حیطه تعاملات اجتماعی و مهارت‌های ارتباطی اثر می‌گذارد. کودکان و بزرگسالان مبتلا به اوتیسم، در ارتباطات کلامی و غیرکلامی، تعاملات اجتماعی و فعالیت‌های مربوط به بازی مشکل دارند؛ به‌طوری‌که این اختلال، ارتباط با دیگران و دنیای خارج را برای آنها دشوار می‌کند. در پارهای از موارد رفتارهای خودآزارانه و پرخاشگری نیز دیده می‌شود. در این افراد حرکات تکراری (دست‌زدن، پریدن) پاسخ‌های غیرمعمول به افراد، دلبستگی به اشیاء یا مقاومت در برابر تغییر نیز دیده می‌شود و ممکن است در حواس پنج‌گانه نیز حساسیت‌های غیرمعمول دیده شود. هسته مرکزی اختلال در اوتیسم، اختلال در ارتباط است [ویراستار].

۱۲. ماده سفید از جمله بخش‌های سیستم عصبی مرکزی است. سیستم عصبی مرکزی از دو ناحیه ماده سفید و ماده خاکستری تشکیل شده است. این ماده بخش اصلی مغز و بخش سطحی نخاع را تشکیل می‌دهد و به‌طور عمده از سلول‌های گلیال و آکسون‌های میلینه تشکیل شده است. این آکسون‌ها پیام‌ها را از مخ به سایر بخش‌های سیستم عصبی منتقل می‌کنند. در ماده سفید به‌جز بافت چربی، مویزها و عروق مشاهده می‌شوند [ویراستار].

13. Functional magnetic resonance imaging
14. Clay Reid
15. Mind scope
16. David Fortin
17. universite de Sherbrooke in Canada
18. Maxime Descoteaux

19. Cathy Hutchinson
20. Massachusetts General Hospital
21. Motor cortex
22. John Donoghue
23. Brown University
24. Rhode Island hospital
25. Duke university
26. Miguel Nicolelis
27. Exoskeleton
28. Rhesus macaque
29. Bionic Brain



## شرکت ایتراک

مهندسی و ساخت تجهیزات صنایع ایران

---

**طراحی و ساخت تجهیزات صنایع :**

به ویژه برای :

- صنایع غذایی و دارویی
- صنایع شیمیایی و پتروشیمی
- تجهیزات کشتارگاهها و صنایع جنبی گوشت
- سیستم‌های انتقال مواد
- تجهیزات خطوط رنگ کارخانه‌ها
- کوره‌های زباله‌سوز و لاشه سوز
- مخازن تحت فشار و راکتورها
- سازه‌های صنعتی و انواع گریتنینگ با گالوانیزه گرم

---

تهران - خیابان ظفر - خیابان نصیری - بلوار سیما جنوبی - شماره ۱۶  
صندوق پستی ۱۱۳۶ - ۱۹۳۹۵  
تلفن: ۰۲۲۶۰۷۴۲ - ۲۲۲۷۲۸۳۹ تلفکس: ۰۲۲۶۰۹۹۰  
web site: www.itrac-co.com  
E-mail: info@itrac-co.com

