

# نوروسیکولوژی تکاملی

مقدمه‌ای بر تکامل ساختارها و کارکردهای مغز انسان

# فهرست

۷	مقدمه مترجم .....
۱۰	پیشگفتار مؤلف .....
۱۲	فهرست کلمات اختصاری .....
۱۵	۱: خلاصه‌ای از تاریخچه حیات و تکامل مغز .....
۴۹	۲: تکامل در نظام‌های یادگیری و حافظه .....
۸۴	۳: مقدمه‌ای بر مغز .....
۱۳۷	۴: لوب‌های پیشانی .....
۱۶۱	۵: لوب‌های آهیانه .....
۱۸۲	۶: لوب‌های گیجگاهی .....
۲۱۲	۷: منحنی .....
۲۳۰	۸: هیپوکامپ .....
۲۴۹	۹: تکامل خواب و رویا .....
۲۸۷	۱۰: دیرینه آسیب‌شناسی روانی .....
۳۲۵	اصطلاحات .....
۳۳۷	منابع .....

## مقدمه مترجم

آمده اول به اقلیم جماد	وز جمادی در نباتی اوفتاد
سالها اندر نباتی عمر کرد	وز جمادی یاد ناورد از نبرد
وز نباتی چون به حیوانی فتاد	نامدش حال نباتی هیچ یاد....
هم چنین اقلیم تا اقلیم رفت	تا شد اکنون عاقل و دانا و زفت
عقل های اولین یاد نیست	هم ازین عقلش تحول کردنیست

می توان چنین ادعا کرد که به جز چند گونه جانوری، تقریباً همه حیوانات دارای سیستم عصبی هستند. در بین حیوانات، تنوع شگفت‌انگیزی در ساختار و کارکرد سیستم‌های عصبی و الگوهای رفتاری ناشی از آن وجود دارد. سوالی که ذهن را به خود مشغول می‌کند، این است که منشأ این تنوع در ساختار و کارکردها چیست و از کجا ناشی شده است؟ چگونه می‌توان تنوع ساختارهای تشکیل‌دهنده مغز مهره‌داران را توضیح داد؟ صرف نظر از توصیف‌ها و داستان‌هایی که اغلب دلایلی را برای تبیین تنوع دستگاه عصبی در گونه‌های جانوری بیان می‌کنند، یکی از مهم‌ترین حوزه‌هایی که به تبیین این تنوع و تفاوت‌ها پرداخت کرده است، رویکرد تکاملی می‌باشد.

هرچند رویکرد تکاملی تلاش نموده است که در سال‌های اخیر با استفاده از فناوری‌های نوین و پیشرفت‌های رخ داده در حوزه تکنولوژی، پاسخ‌های قابل قبولی را برای برخی از سؤالات ارائه دهد، اما چالش‌هایی در این مسیر وجود دارد. یکی از چالش‌ها این است که دقیقاً مشخص نیست چگونه افزایش نسبی در اندازه مغز و به عبارت بهتر، تغییر در اندازه ساختار، باعث ایجاد تفاوت‌های کارکردی شده است. هرچند افزایش در تعداد سلول‌های عصبی و یا ارتباطات بین آنها، ممکن است قدرت و سرعت پردازش اطلاعات را افزایش دهد، اما هیچ رابطه روشن و اثبات‌شده‌ای بین چنین اقدامات و نتایج رفتاری یا شناختی آن وجود ندارد. به طور کلی، اندازه مغز در

طول تکامل در چندین نسب پستانداران و به ویژه در نخستی‌ها، افزایش یافته است. اندازه مغز نسبت به بدن در دودمان انسان تبارها، بسیار بیشتر از معمول سایر نخستی‌ها، افزایش یافته است که این امر نشان می‌دهد که اندازه مغز در انسان تبارها به صورت قابل توجهی بیشتر از حد افزایش رخ داده در اندازه بدن، افزایش یافته است. وزن مغزی انسان مدرن که به طور متوسط ۱۴۰۰ گرم است، تقریباً سه برابر بیشتر از میمون‌های بزرگ، نزدیک‌ترین خویشاوندان زنده انسان‌هاست. شواهد حاصل از مطالعات مقایسه‌ای عصبی نشان می‌دهند که انسان‌ها در ابعاد مختلف سازماندهی مغز با سایر نخستی‌ها متفاوت هستند. تفاوت در معماری، ارتباط و بیان ژن‌ها نشان می‌دهد که بازسازی اساسی ریزساختار مغز و زیست‌شناسی مولکولی در طول تکامل انسان رخ داده است و این تغییرات احتمالاً با تخصص‌های شناختی مرتبط است.

یافته‌های اخیر نشان می‌دهند که بافت عصبی از نظر ساختار آناتومیکی و زیست‌شناسی مولکولی، در گونه‌های پستانداران متفاوت است و از نظر قابلیت پردازش نیز یکسان نیست. الگوهای اتصال می‌توانند در گونه‌ها متفاوت از هم باشند و باعث افزایش انتخابی اتصالات در مغز شوند. تغییرات در الگوهای عصب‌دهی برای انتقال‌دهنده‌های عصبی مختلف نیز، ممکن است در مقیاس میکروسکوپی رخ دهد که همه این موارد، می‌توانند تغییراتی اساسی در عملکرد شناختی مغز ایجاد کنند.

برهمن اساس، نوروپسیکولوژی یا عصب روانشناسی، دانشی است که با نقش تاثیرگذار دستگاه عصبی بر رفتار و شناخت موجودات سر و کار داشته و در این میان، به صورت اختصاصی بر نقش آسیب‌ها و بیماری‌های مغزی بر کارکردهای شناختی و رفتاری متمرکز شده است. با توجه به اهمیت سیر تغییرات مغز و دستگاه عصبی در قلمرو مباحث تکامل از یک طرف و مباحث مورد مطالعه در حوزه نوروپسیکولوژی، چنین به نظر می‌رسد بررسی تکاملی سیر تحول دستگاه عصبی و آسیب‌های رخ داده در طول تاریخ، می‌تواند بر درک و فهم کارکردهای کنونی آن تاثیرگذار باشد که این موضوع، یکی از مهم‌ترین اهداف در تالیف کتاب حاضر بوده است.

فردریک کولیچ، استاد روان‌شناسی دانشگاه کلورادو و متخصص در حوزه دیرینه‌شناسی شناختی است که تاکنون مقالات و کتب متعددی در حوزه تکامل و ارتباط آن با فرایندهای شناختی به رشته تحریر درآورده است. وی یکی از طراحان

«فرضیه حافظه فعال افزایش یافته» می‌باشد که بر نقش تکامل در تغییرات چشمگیر ظرفیت پردازشی حافظه فعال پرداخته است. از جمله آثار مشهور وی می‌توان به کتاب «ظهور هموساپینس‌ها: تکامل تفکر مدرن» (۲۰۰۹)، «دیرینه‌شناسی شناختی و تکامل انسان (۲۰۰۹)»، «چگونه می‌توان مانند یک ناندرتال فکر کرد» (۲۰۱۲) و «مدل‌های شناختی در دیرینه‌شناسی پالئولیتیک» (۲۰۱۷) اشاره کرد. اثر حاضر اولین کتاب در قلمرو نوروپسیکولوژی تکاملی است که با هدف بررسی روند تکاملی مغز و تغییرات رخ داده در کارکردهای شناختی توسط وی تألیف شده است. در کتاب حاضر، نویسنده تلاش کرده است ابتدا با مروری کلی، تاریخچه تکامل انسان را تشریح نماید. سپس به مسیر پیدایی و تحول بخش‌های مهم دستگاه عصبی (از دیدگاه مؤلف) پرداخته شده است، اما قبل از توصیف روند تحول بخش‌های مغزی، به دو کارکرد شناختی مهم یعنی حافظه و یادگیری اشاره شده است که به زعم نویسنده، تغییرات بخش‌های مغزی را رقم زده‌اند. در فصول پایانی نیز دو کارکرد خواب و رویا و همچنین آگاهی و در انتها آسیب‌شناسی روانی از دیدگاه نوروپسیکولوژی تکاملی مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

در ترجمه این اثر تلاش شد تا با رعایت حداکثر امانت‌داری، تا حد ممکن دخل و تصرفی در مفاهیم، واژه‌ها و توصیف‌های ارایه شده توسط مؤلف صورت نگیرد و صرفاً مواردی که نیاز به توضیح برخی مفاهیم احساس شد، به صورت زیرنویس ارایه گردید. متن چندین بار مورد بازبینی قرار گرفت تا شیوایی لازم را برای انتقال مفهوم به مخاطبان و علاقمندان این حوزه داشته باشد، هرچند این تلاش با نواقص و کاستی‌هایی همراه بوده که از کلیه اندیشمندان و خوانندگان فرزانه این کتاب تقاضا می‌شود، مترجمان را از پیشنهادات سازنده خویش محروم نسازند.

با آرزوی سلامتی و شادکامی

**دکتر غلامرضا چلیانلو**

رعنا پرواز

پاییز ۱۴۰۰

## پیشگفتار مؤلف

نوروپسیکولوژی یا عصب روانشناسی تکاملی یک رشته‌ی تخصصی علمی است که بر اهداف و منشأ تکاملی ساختارهای مغز و عملکردهای تخصصی آن‌ها متمرکز است. این کتاب در جهت رفع کنجکاوی ذهنی تمامی محققان دانشگاهی در سطوح مختلف و همچنین روانشناسان، با تمرکز بر جنبه‌های مختلف رفتار انسان طراحی شده است. رشته نوروپسیکولوژی، در نوع خود یک شاخه علمی بین‌رشته‌ای جدیدی است که از یافته‌های تجربی رشته‌های مختلفی مانند تکامل، علوم اعصاب، علوم اعصاب شناختی، روانشناسی، انسان‌شناسی و باستان‌شناسی استفاده می‌کند. پایه و اساس نوروپسیکولوژی تکاملی این فرضیه است که عملکرد اختصاصی نواحی مغز، ناشی از سازگاری‌هایی است که به‌طور طبیعی در پاسخ به چالش‌های مختلف زیست محیطی در طی میلیاردها سال تکامل، رخ داده است. این سازگاری‌ها و نواحی مغزی و مدارهای مرتبط با آن‌ها ممکن است اکنون عملکردهای جدیدی داشته باشند که به آن‌ها «تغییر کارکرد» گفته می‌شود و به‌صورت ویژه در عملکردهای شناختی بالاتر نقش دارند. همان‌طور که چارلز داروین در سال ۱۸۶۲ اشاره کرد: «ممکن است یک عضو در ابتدا برای کارکرد خاصی ایجاد نشده باشد، اما اکنون در جهت هدفی خاص از آن استفاده شود، در این مواقع چنین تغییری را این‌گونه توجیه می‌کنیم که برای عملکرد آن عضو، سازگاری ویژه‌ای صورت گرفته است... بنابراین تقریباً در سراسر طبیعت، تقریباً هر قسمت از موجودات زنده در شرایطی خاص برای اهداف متنوعی، اصلاح شده و مورد استفاده قرار گرفته‌اند» (ص. ۳۴۸)؛ بنابراین، داروین اولین کسی بود که تشخیص داد تغییر کارکرد اعضای بدن ممکن است به هدف دیگری منجر شود. پر پرندگان، نمونه‌ای کلاسیک از تغییر کارکرد می‌باشند. در ابتدا پرها به منظور تنظیم دمای بدن پرندگان توسط طبیعت انتخاب شدند. پس از آن، میلیون‌ها سال جهش ژنتیکی، باعث شد تا برخی از موجودات از پرها برای پرواز و سهولت حرکت استفاده کنند. این تغییر کارکرد، موجب برتری تولیدمثلی این موجودات نسبت به

آن‌هایی شد که از نظر حرکتی کندتر بودند و توانایی پرواز نداشتند. این کتاب، با بهره‌گیری از یافته‌های بنیادین نوروسیکولوژی تکاملی، شواهدی را ارائه می‌دهد که کارکردهای سلول‌های عصبی و مدارهای نورونی متأثر از تغییرات ژنتیکی و اپی-ژنتیکی، با هدف ایجاد کارکردهای جدیدتر و فعالیت‌های شناختی بالاتر، بازآرایی شده و هدف‌گذاری‌های جدیدی پیدا کرده است که این تغییرات باعث شده‌اند مغز انسان مدرن، به صورت منحصربه‌فرد کنونی درآید.

این کتاب با مروری بر منشأ حیات و مغز، آغاز می‌شود و تاریخچه مختصری از جدول زمانی حیات را از انعقاد مولکول‌ها، به اولین ارگانسیم‌های تک‌سلولی تا انسان خردمند امروزی ارائه می‌دهد. سپس، با فصل بحث‌انگیز (فصل ۲) پیرامون منشأ دستگاه‌های یادگیری و حافظه ادامه می‌یابد، در این فصل، خاستگاه اولیه نظام‌های زیربنایی این کارکردها یعنی آفئته<sup>۱</sup> (ترکیب مولکول‌ها) و عدم آفئته شیمیایی، ردیابی می‌شود که این آفئته‌ها بر اساس خواص و فعالیت‌های ذرات زیر اتمی ساخته شده‌اند. این کتاب سپس سازگاری‌ها و تغییر کارکردهای عصبی را از طریق لوب‌های اصلی مغز (پیشانی، آهیانه، گیجگاهی و پس‌سری) و مناطق دیگر (از جمله مخچه و هیپوکامپ) دنبال می‌کند که این نواحی برای عملکردهای شناختی بالاتر مانند زبان، استدلال، تصمیم‌گیری و نظریه ذهن، حیاتی هستند (یعنی درک مناسب نگرش‌ها، اهداف و احساسات دیگران). فصل ۹ آخرین جهش بزرگ انسان‌ها و مغزهای آن‌ها را در برمی‌گیرد که از حدود ۲ میلیون سال پیش آغاز شده است، یعنی زمانی که گونه جدیدی از زندگی گیاهی به زندگی کامل زمینی تبدیل شد. این گونه جدید، انسان راست‌قامت بود که گذار از روش زندگی شبه میمونی به یک روش زندگی، شبیه‌تر به شیوه انسان را آغاز کرد. فصل آخر (فصل ۱۰)، با عنوان آسیب‌شناسی روانی باستانی، به بررسی اختلالات روانی شایع، ناتوان‌کننده و ناسازگار مانند PTSD، ADHD، اختلالات شخصیتی و اسکیزوفرنی، از این منظر پرداخت می‌کند که این اختلالات ممکن است در محیط و دوران حیات اجداد، دارای ارزش انطباقی بوده‌اند اما در محیط زندگی فعلی ناسازگار به نظر می‌رسند.

---

۱. توضیح مترجم: وابستگی و کشش؛ قدرت اتصال یک پاراتوپ به اپی‌توپ آنتی‌ژن

# فهرست کلمات اختصاری

A	اسید آمینه آدنین
AASM	انجمن آمریکایی طب خواب
ACC	قشر قدامی سینگولیت
ADD	اختلال نقص توجه
ADHD	اختلال نقص توجه توام به بیش فعالی
AG	شکنج زاویه ای
AIC	قشر اینسولار قدامی
APCs	مدارهای ادراک عمل
ASD	اختلال طیف اوتیسم
aSMG	شکنج سوپرمارجینال قدامی
BA	نواحی برودمن
C	اسید آمینه سیتوزین
CCAS	سندرم عاطفی شناختی قشری
CIA	انجمن مرکزی هوش
CR	پاسخ شرطی شده
CS	محرک شرطی
DLPFC	قشر خلفی جانبی پیشانی
DMN	شبکه حالت استراحت
DNA	دی اکسی ریبونوکئیک اسید
DSM	راهنمای تشخیصی و آماری بیماری‌های روانی
DSM-5	راهنمای تشخیصی و آماری بیماری‌های روانی (ویرایش ۵)
E.coli	ایشرشیا کولی
EEA	محیط سازگاری تکاملی
EEG	الکتروانسفالوگرام
EQ	ضریب قشری سازی
ESS	راهبردهای پایدار تکاملی
FFA	ناحیه چهره ای فوزیفرم
fMRI	تصویربرداری تشدید مغناطیسی کارکردی
G	اسید آمینه گوانین



hIPS	شیار فراآهیانه افقی
H.M.	بیماری به نام H.M.
IPL	لوب آهیانه تحتانی
IQ	ضریب هوشی
K-selection	انتخاب ظرفیت محدود
MBD	بدکارکردی جزئی مغز
MCPH1	ژن میکروسفالین
MDR	فرضیه بازآرایی گسترده
MPI	سرمایه گذاری والدین مردانه
MS	اسکلروزیس چندگانه
NOTCH	گروهی از ژن‌ها
NOTCH 2NL	سه ژن خاص در گروه NOTCH
N1	مرحله اول خواب
N2	مرحله دوم خواب
N3	مرحله سوم خواب
O	مفعول ( در یک جمله)
OFC	قشر حدقه ای پیشانی
OFFPFC	قشر حدقه ای پیش پیشانی
OSV	مفعول فاعل فعل
OVS	مفعول فعل فاعل
PAS	ذخیره سازی پیش طبقه ای
PET	توموگرافی با نشر پوزیترون
PFC	قشر پیش پیشانی
POT	اتصال آهیانه پس سری گیجگاهی
PTSD	اختلال استرس پس از سانحه
R	خواب رم
REM	حرکات سریع چشم
RNA	ریبونوکلئیک اسید
RSC	قشر رترواسپینال
r-selection	نرخ انتخاب
rSMG	شکنج سوپرامارجینال راست
S	فاعل ( در جمله)
SMG	شکنج سوپرامارجینال
SMGp	شکنج سوپرامارجینال خلفی
SOV	فاعل مفعول فعل (ترتیب کلمه)
SPL	لوب آهیانه فوقانی

SVO	فاعل فعل مفعول ( ترتیب کلمه )
SWS	خواب با امواج آهسته
T	اسید آمینه تیمین
ToM	نظریه ذهن
TOP	اتصال گیجگاهی آهیانه پس سری
TPJ	اتصال گیجگاهی آهیانه
U	اسید آمینه یوراسیل
UAL	یادگیری تداعی محدودنشده
UCR	پاسخ غیرشرطی
UCS	محرک غیرشرطی
V	فعل (در جمله)
VENs	نورون‌های ون اکونومو
VMPFC	قشر بطنی میانی پیش پیشانی
W	بیداری

# خلاصه‌ای از تاریخچه حیات و تکامل مغز

## سازگاری‌ها و تغییرات کارکرد

نوروپسیکولوژی تکاملی، مطالعه تکامل ساختارها و کارکردهای مغز انسان است. این حوزه یک شاخه علمی بین‌رشته‌ای مهیج است که بر پایه حوزه‌های تکامل، علوم اعصاب شناختی، روانشناسی، انسان‌شناسی و بسیاری دیگر از رشته‌ها بنا شده است. نکته مهم این است که فرض می‌شود مناطق فعلی مغز انسان و کارکرد آن‌ها، محصول سازگاری با نیازهای اجداد دور، در شرایط و محیط‌های مختلفی بوده است که اکنون ممکن است عملکردها یا اهدافی داشته باشند که متفاوت از آن چیزی است که در ابتدا برای آن ساخته شده بوده‌اند. چارلز داروین در سال ۱۸۶۲ در مورد مشاهدات آخر خود در یکی از ناشناخته‌ترین کتاب‌هایش با عنوان *تدابیر متنوعی که به وسیله آن‌ها ارکیده‌های انگلیسی و خارجی توسط حشرات، بارور می‌شوند*، اظهار داشت:

«...گرچه ممکن است یک عضو در ابتدا برای مقاصد خاصی ایجاد نشده باشد، اما اکنون در جهت هدفی خاص بکار برده می‌شود، با این توجیه می‌گوییم که برای عضو، سازگاری ویژه‌ای صورت گرفته است. مطابق همین قاعده، اگر فردی بخواهد ماشین خاصی را برای مقاصد ویژه‌ای بسازد، اما از چرخ‌های قدیمی، فنرها و قرقره‌های قدیمی استفاده کند، فقط با اندکی تغییر، ممکن است گفته شود که کل دستگاه و تمام قسمت‌های آن، مطابق اهداف خاص تغییر یافته‌اند؛ بنابراین تقریباً در سراسر طبیعت، هر بخش از موجودات زنده در شرایطی خاص برای اهدافی متنوع، اصلاح شده و مورد استفاده قرار گرفته‌اند» (ص. ۳۴۸).

## تکامل و انتخاب طبیعی اولیه

در آغاز این کتاب، تعریف برخی اصطلاحات تکامل که غالباً به اشتباه تعبیر می‌شوند، حائز اهمیت است. نظریه انتخاب طبیعی، که به صورت مستقل توسط چارلز داروین و آلفرد راسل والاس پیشنهاد شده است، بیان می‌کند که تغییر در ساختار یا رفتار یک گونه در بین نسل‌های متوالی، به دلیل انتخاب طبیعی آن‌ها در محیط‌هایشان است؛ زیرا این صفات یا رفتارها به موفقیت یا شایستگی تولیدمثلی آن‌ها (به‌عنوان تعداد فرزندان که پس از یک نسل از فرد باقی‌مانده تعریف می‌شود) کمک می‌کند؛ بنابراین، «بقای قوی‌ترین» یک تصور غلط در مورد ماهیت انتخاب طبیعی است و «بقای شایسته‌ترین» نیز این چنین است، مگر این که اصطلاح دومی، طبق نظر داروین و والاس تعریف شود. آن‌هایی که زنده مانده‌اند، لزوماً قوی‌ترین موجودات نیستند، بلکه موجوداتی هستند که در تولید مثل در یک محیط خاص، موفق‌تر از سایرین عمل کرده‌اند. آن‌ها موجوداتی هستند که «زنده می‌مانند» تا آرایش ژنتیکی خود را به نسل‌های بعدی منتقل کنند؛ بنابراین، انتخاب طبیعی یک فرآیند تصادفی نیست، بلکه فرایندی مبتنی بر جهش‌های ژنتیکی تصادفی است. این جهش‌های تصادفی، بخش اساسی تکامل هستند و ممکن است منجر به نتایج مثبت یا منفی شوند (و ممکن است اثر قابل‌توجهی هم نداشته باشند). یک جهش با نتایج مثبت، موفقیت تولیدمثلی یک ارگانیسم را افزایش می‌دهد. موارد منفی، غالباً منجر به سقط‌های خودبه‌خودی می‌شوند و بدیهی است که چنین آن موجود از خزانه ژنتیکی خارج می‌شود. احتمالاً جهش‌هایی که نه تأثیر مثبت و نه منفی دارند (جهش‌های خنثی نامیده می‌شوند)، متداول هستند، با این حال، ممکن است منجر به تغییرات ساختار یا رفتار (فنوتیپ) بشوند یا نشوند. در طول تاریخ تکامل، این تصادفی بودن جهش‌های ژنتیکی بسیار مفید بوده است، زیرا وقتی که شرایط محیطی به شدت در حال تغییر بوده‌اند، تغییرات رخ داده در فنوتیپ، نوعی شبکه‌ایمن را فراهم ساخته است. اگر همه موجودات متعلق به یک گونه، فنوتیپ‌های یکسانی داشته باشند، در موقعیت‌هایی که شرایط محیطی به‌طور ناگهانی تغییر کند، آن

موجودات در معرض خطر انقراض قرار می‌گیرند؛ بنابراین فرایند تکامل شامل عناصر تصادفی (همانند تکثیر ژنتیکی) و غیر تصادفی می‌باشد؛ به نحوی که در خلال آن، انتخاب طبیعی از فنوتیپ‌هایی استقبال می‌کند که محصول ژنوتیپ‌هایی (آرایش ژنتیکی اساسی شخص) هستند که در مقایسه با فنوتیپ سایر ژنوتیپ‌ها، از بحران‌های مربوط به چالش‌های زیست‌محیطی جان سالم به در برده و زنده مانده‌اند و با موفقیت بیشتری تولید مثل کرده‌اند؛ بنابراین انتخاب طبیعی، قوی‌ترین یا «بهترین» را انتخاب نمی‌کند و انتخاب طبیعی هیچ هدف بلندمدت یا نهایی ندارد. در حقیقت، در فصل آخر، خواهید دید که انتخاب طبیعی، بهترین یا کامل‌ترین ارگانیسم بیولوژیکی را ایجاد نمی‌کند، چراکه انتخاب طبیعی تدریجی و محدود به انتخاب‌های قبلی است، بنابراین موجودات زنده با محیط‌های فعلی خود سازگار می‌شوند و هنگامی که محیط تغییر می‌کند، انتخاب طبیعی عقب می‌ماند. به‌عنوان مثال، هنگامی که محیط اجداد و پیشینیان ما، افرادی فعال، تکانشی و سریع‌العمل را ترجیح می‌داد، رفتارهای آن‌ها مورد حمایت قرار می‌گرفتند (موفقیت تولیدمثل افتراقی). با این حال از زمانی که محیط به جای شکار به نفع فعالیت‌های آهسته‌تر (مانند کشاورزی)، تغییر پیدا کرد، در محیط‌های مدرسه که اکثراً غیرفعال هستند، ژن‌هایی که به نفع افراد بسیار فعال بودند، اهمیت خود را از دست دادند و به‌عنوان مثال کودکان مبتلا به اختلال نقص توجه بیش‌فعالی (ADHD)، افرادی واجد رفتارهای مضر یا آسیب‌شناختی در نظر گرفته شدند. به‌طور خلاصه، ممکن است تکامل به‌عنوان یک نتیجه در نظر گرفته شود. تکامل فرایندی است که محصول جهش‌های تصادفی در تکثیر DNA و موفقیت تولیدمثلی فنوتیپ‌های مربوط به ژنوتیپ فرد می‌باشد، به نحوی که این ویژگی‌های ژنتیکی در بین نسل‌های مختلف بعدی جریان می‌یابد (برای مطالعه درباره سایر برداشت‌های غلط در مورد انتخاب طبیعی به الشواف، زریک و بوس، ۲۰۱۸، مراجعه کنید).

حدود ۱۲۰ سال بعد از آنکه داروین و والاس نظریه انتخاب طبیعی را مطرح کردند، استفان جی گولد و الیزابت وربا (۱۹۸۲)، دو متخصص دیرینه‌شناسی، اصطلاح **تغییر کارکرد** را برای اشاره به ویژگی‌هایی به کار بردند که نسبت به کارکردهای سازشی اولیه تغییر یافته‌اند، اما در عین حال، در شرایط کنونی باعث تقویت قدرت

تکاملی فرد می‌شوند. آن‌ها بعدها پیشنهاد کردند که همان‌طور که داروین در ابتدای کار پیشنهاد کرده بود، اصطلاح سازگاری به ویژگی‌هایی محدود شود که توسط انتخاب طبیعی برای هدف جاری ایجاد شده‌اند. یک مثال کلاسیک از مفهوم اصطلاح سازگاری و تغییر کارکرد، مربوط به پر پرندگان می‌باشد. شواهدی همگرا وجود دارند که نشان می‌دهند پرها در ابتدا به منظور تنظیم دمای بدن موجود زنده، انتخاب شده بودند. میلیون‌ها سال جهش ژنتیکی، موجب شد تا موجودات سبک‌تر قدرت تولیدمثلی خود را با استفاده از پرها افزایش دهند؛ زیرا این امر به آن‌ها امکان می‌داد تا تحرک و پرواز بیشتری داشته باشند. تغییر کارکرد، موجب قدرت بالاتر تولیدمثلی این موجودات نسبت به موجوداتی شد که کندتر بوده و توانایی پرواز نداشتند؛ بنابراین، به نظر می‌رسد که مناطق مختلفی از مغز و حتی سلول‌های مغزی در طول زمان در جهت اهداف متفاوتی انتخاب شده‌اند. یک نمونه کلاسیک در این کتاب (به فصل ۵ مراجعه کنید) منطقه آهیانه ای مغز است. یکی از سازگاری‌های اصلی آن ادغام اطلاعات حسی برای کمک به حرکات، هم‌راستا یا خلاف جهت موجودات و شرایط محیطی (یا مواد غذایی، خطرات و غیره) بوده است. در حال حاضر، شواهد قابل‌توجهی مبنی بر درگیری شدید منطقه آهیانه در جنبه‌های آگاهی، وجود دارد؛ از جمله این احساس که ما فکر می‌کنیم چه کسی هستیم و در مورد افراد دیگر چه فکری می‌کنیم، بنابراین به نظر می‌رسد تغییر کارکرد قطعه آهیانه ای، هنوز هم در رابطه با مفهوم حرکت وجود دارد، اما این بار حرکت بامعنای استعاری خاصی در آهیانه رخ می‌دهد: ما کی هستیم، چه می‌کنیم و به کجا می‌رویم.

مطمئناً در تلاش برای توصیف آنچه در سازگاری اصلی مغز انسان یا حتی کارکردهای اصلی آن نقش داشته، مخاطراتی وجود دارند. با این حال، این ایده را راضی‌کننده می‌دانم که یکی از مهم‌ترین اهداف اصلی مغز، حرکت بوده است. در این راستا، مدل‌های محاسباتی مغز و مدل‌های رایانه‌ای ساختارها و کارکردهای مغز، همیشه برای من رضایت‌بخش نبوده‌اند. از نظر من هدف اصلی رایانه یا دلیل ایجاد آن، هیچ ارتباطی با حرکت ندارد. اگر بنا بود صرفاً به ۶۰۰ میلیون سال قبل، یعنی زمان زندگی اولین گونه‌های چندسلولی مانند شانه‌داران و اسفنج‌ها، برگردیم، شاید در آن

صورت استفاده از مدل‌های رایانه‌ای توجیه‌پذیر بودند؛ چرا که شانه‌داران برای حرکت مژک داشتند و اسفنج‌های نوجوان تا وقتی در یک نقطه مستقر شوند، شناور بودند؛ اما موضوع فقط به آن دوره ختم نمی‌شود، بلکه به زمان‌های قبل‌تر باید بازگشت. در زمان‌های دور، به نظر می‌رسد که برخی سلول‌ها به دلایل مختلفی انتخاب شده‌اند مثلاً برخی به دلیل توانایی خود برای طبقه‌بندی موقعیت‌های محیطی (سلول‌های حسی)، برخی سلول‌ها به واسطه کمک به فرایند حرکت (سلول‌های حرکتی) و برخی سلول‌ها به دلیل تخصص‌یافتگی‌شان برای هماهنگی این دو فعالیت (حسی و حرکتی) به منظور عملکرد بهینه (مانند خوردن و تولیدمثل). سلول‌های دسته سوم، به اولین جوهره و خمیر مایه، مغزهای امروزی تبدیل شدند.

## سلول‌های مغزی

در ابتدای کتاب، لازم است در مورد دو نوع سلول مغزی بحث کنیم: نورون‌ها که تخمین زده می‌شود تعداد آن‌ها حدود ۸۶ تا ۱۰۰ میلیارد سلول باشد و سلول‌های گلیال (که تقریباً به همان تعداد نورون‌ها وجود دارند). نورون‌ها با یکدیگر به صورت الکتروشیمیایی ارتباط برقرار می‌کنند. آن‌ها از یک آکسون تشکیل شده‌اند که سیگنال‌هایی را در نتیجه تحریک، از جسم سلولی دریافت کرده و به صورت یک سیگنال الکتروشیمیایی در طول آکسون هدایت می‌کنند. دندریت‌ها (ساختارهای شاخه‌ای) که به آکسون‌های نورون‌های دیگر متصل هستند، این پیام الکتروشیمیایی را از طریق تماس با آکسون حدود ۱۵۰۰۰ نورون دیگر، دریافت می‌کنند. این سیگنال‌های الکتروشیمیایی، انتقال‌دهنده‌های عصبی نامیده می‌شوند که انواع مختلفی از قبیل دوپامین، نوراپی‌نفرین، سروتونین و غیره را شامل می‌شوند. انتهای آکسون‌ها حاوی این انتقال‌دهنده‌های عصبی در وزیکول‌های سیناپسی (پایانه‌های عصبی) هستند که در صورت دریافت سیگنال تحریک، محتویات خود را در فاصله و فضای بین دندریت‌ها و آکسون‌ها آزاد می‌کنند. به این فاصله، سیناپس یا فضای سیناپسی گفته می‌شود. سانتیاگو رامون کاجال، برنده جایزه نوبل اسپانیایی قرن بیستم، اولین بار سیناپس‌ها را به عنوان «بوسه‌های پروتوپلاسمی» توصیف کرد (کلون-راموس، ۲۰۱۶). این

دندریتهای مجاور دارای گیرندههای پس سیناپسی هستند که سیگنالهای خود را فقط از انتقال دهندههای عصبی خاص دریافت کرده و آن اطلاعات را به جسم سلولی نورون بعدی می فرستند.

۵۰٪ باقیمانده سلولهای مغزی، سلولهای گلیال نامیده می شوند (که از واژه یونانی «چسب» گرفته شده است) و در ابتدا تصور می شد آنها به واسطه فعالیت هایی مانند تهیه اکسیژن و نگه داشتن نورونها در کنار یکدیگر، تنها وظیفه حمایت از نورونهای مغزی را بر عهده دارند. با این حال، مطالعات اخیر نشان داده است که سلولهای گلیال بسیار پیشرفته تر از آن چیزی هستند که در ابتدا تصور می شد. به نظر می رسد سلولهای گلیال نورونها را احاطه کرده و آنها را در جای خود ثابت نگه می دارند، اکسیژن و سایر مواد مغذی مورد نیاز نورونها را تأمین می کنند، همچنین نورونها را در مقابل عوامل بیماریزا محافظت می کنند، سلولهای عصبی مرده را از بین می برند و سیناپسهای انتقال دهنده شیمیایی غیر ضروری را پاک می کنند. همچنین در طول فرایند رشد مغز، سلولهای گلیال، وظیفه انتقال نورونها به مکان مناسب خود را انجام داده و به نظر می رسد که رشد آکسونها را نیز تنظیم می کنند. همچنین رشد دندریتهای آنها را تنظیم می کنند. حداقل چهار نوع مختلف از سلولهای گلیال وجود دارند. یک نوع آن، آستروسیتها که حدود ۲۰ تا ۴۰ درصد از کل سلولهای گلیال را تشکیل می دهند، برای تداوم بازسازی هیپوکامپ بزرگسالان (که یکی از دو ناحیه از مغز انسان بالغ است که سلولهای آن توانایی بازسازی دارند؛ ناحیه دیگر، پیاز بویایی است) مهم هستند. در حقیقت، آستروسیتها به نورونهای (سلولهای) بنیادین تشبیه شده اند که در عین حال که برای تمامی فرایندهای مربوط به تحول و رشد مغزی بسیار مهم هستند، می توانند عملکرد اصلی خود را تغییر دهند. حدود ۱۵٪ از کل سرطانهای مغزی مرتبط با گلیوبلاستوما است که غالباً آستروسیتها را درگیر می کنند. شاید به دلیل ماهیت بنیادی این سلولها، این نوع تومورها، مرگبارترین شکل سرطان مغز می باشند که اکثر قربانیان، در طی ۳ تا ۱۵ ماه پس از تشخیص (با یا بدون دریافت درمان) از بین می روند.



## به‌کارگیری مجدد نرونی: یک اصل اساسی در سازمان‌دهی مغز

روانشناس، مایکل اندرسون (۲۰۱۰، ۲۰۱۴) پیشنهاد کرد که به‌کارگیری مجدد بافت مغز، برای اهدافی به‌جز مواردی که با سازگاری اصلی آن مرتبط است؛ احتمالاً نه تنها یک ویژگی فراگیر سازمان‌دهی مغز می‌باشد، بلکه می‌تواند به‌عنوان یک اصل سازمان‌دهی مرکزی برای تکامل عملکردهای شناختی بالاتر مغز در نظر گرفته شود. او این ایده را فرضیه بازآرایی گسترده<sup>۱</sup> (MDR) نامید. MDR در اصل این فرضیه را مطرح می‌کند که «ملاحظات تکاملی، اغلب ممکن است به‌کارگیری مجدد اجزای موجود برای تکالیف جدید را با هدف گسترش مدارهای جدید، ترجیح دهد» (ص ۲۴۶). یکی از مهم‌ترین پیش‌بینی‌های MDR، که توسط شواهد تجربی قابل‌توجهی تأیید شده است، این عقیده است که یک منطقه خاص مغز ممکن است در بسیاری از کارکردهای شناختی متنوع نقش داشته باشد. اندرسون مثالی از ناحیه بروکا ارائه می‌دهد که از نظر کلاسیک مسئول تولید گفتار، در نظر گرفته می‌شود، اما نشان داده شده است که در سایر انواع فعالیت‌های شناختی و ادراکی-حرکتی مانند توالی فعالیت‌ها، آماده‌سازی حرکات، تقلید فعالیت، بازشناسی فعالیت‌ها و بسیاری دیگر از کارکردها، نقش حائز اهمیت بر عهده دارد. وی با مروری بر روی ۱,۴۶۹ مطالعه تصویربرداری رزونانس مغناطیسی کارکردی (fMRI)، در مورد فعالیت یک ناحیه قشر مغزی مشخص، مشخص شد ناحیه مورد نظر، در نه تکلیف شناختی متفاوت نقش ایفا می‌کند. نتیجه بدیهی پیش‌بینی وی، این بود که یک تکلیف شناختی واحد، اغلب توسط چندین ناحیه قشر مغزی کنترل می‌شود.

نظریه‌های متفاوتی در مورد به‌کارگیری مجدد نرونی وجود دارد، به‌عنوان مثال، دانشمند علوم اعصاب شناختی استفان داهین (۲۰۰۵)، «فرضیه بازایافت عصبی» را مطرح کرد. هرچند این فرضیه مشابه فرضیه بازآرایی گسترده اندرسون است، ولی به جای توجه به چشم‌انداز طولانی تاریخچه تکاملی مربوط به‌کارگیری سلول‌های مغزی، بیشتر به کارکردهای شناختی تکامل‌یافته اخیر مانند خواندن و ریاضیات توجه کرده

---

1. massive redeployment hypothesis

است. کارکردهای شناختی مانند خواندن و ریاضیات ممکن است زمان تکاملی کافی برای ایجاد مدارهای قشری ویژه را نداشته‌اند، اما به نظر می‌رسد که دارای خوشه‌های عصبی تخصص‌یافته هستند؛ بنابراین، برای یادگیری خواندن یا انجام عملیات ریاضی، این کارکردها به مدارهای عصبی خاصی از پیش موجود با درجه‌ای از انعطاف‌پذیری عصبی، وابسته هستند تا این مدارها بتوانند افکار و انجام فعالیت‌های جدید را پشتیبانی کنند. به‌عنوان مثال، بخشی از عملیات پیچیده ریاضی، توسط مناطق قشری مغز در لوب گیجگاهی میانی، لوب‌های آهیانه، شکنج زاویه‌دار یا انگولار و شیار درون آهیانه‌ای کنترل می‌شود (که همه در فصل ۳ مورد بحث قرار گرفته‌اند). شیار درون آهیانه‌ای دارای نورون‌هایی است که به محاسبه سریع (توانایی در ایجاد تمایز بین یک، دو و سه چیز) و انجام مقایسه اندازه بین مجموعه‌های کوچک‌تر و بزرگ‌تر (تمایز بین ۲۵ شیء و ۵۰ شیء) اختصاص دارند. این دو فرآیند اصلی، یک توانایی اساسی به نام «توانایی عددی» را تشکیل می‌دهند (به‌عنوان مثال کولیک و اورمن، ۲۰۱۲). بدیهی است که کارکردهای پیچیده‌تر ریاضی نیز به شکل گسترده‌تری به این مدارهای عصبی، انعطاف‌پذیری عصبی و همچنین توانایی درگیری سایر نواحی قشر مغز، وابسته هستند.

## تاریخچه مختصری از حیات

مبدأ حیات را می‌توان مدتی پس از تولد زمین ردیابی کرد. زمین حدود ۴/۵۶۷ میلیارد سال پیش شروع به پیدایش نمود و موجودات زنده در حدود ۳/۹ میلیارد سال پیش، به تدریج به وجود آمدند، یعنی حدوداً زمانی که زمین از فعالیت آتش‌فشانی و بمباران‌های شهاب‌سنگی، دگرگونی کمتری را تجربه کرده بود. چگونگی آغاز حیات شیمیایی و زیستی هنوز در هاله‌ای از ابهام قرار دارد. اینکه دانشمندان هنوز نتوانسته‌اند مبدأ حیات را در آزمایشگاه شبیه‌سازی کنند، لزوماً دلالت بر منشأ ماورای طبیعی آن ندارد. این چالش، به سادگی ممکن است به این معنا باشد که دانشمندان هنوز موفق به پیدا کردن شرایط دقیق برای مبدأ حیات نشده‌اند. یک فرضیه رایج این است که یک مخزن مملو از مواد شیمیایی وجود داشته و برخورد صاعقه به آن، باعث ایجاد جرقه اولیه و پیدایش حیات شده است. برخی دیگر از دانشمندان تصور می‌کنند که صاعقه

در مقایسه با منبع بسیار برجسته و تقریباً ثابت خورشید، منبع انرژی کم قدرتی برای ایجاد چنین انفجاری است. این دانشمندان پیشنهاد می‌کنند که ممکن است مواد شیمیایی مناسب و نور خورشید حیات را آغاز کرده باشند. با این حال، این ایده مخالفان خود را دارد، زیرا این مواد شیمیایی و شرایط هنوز توانسته‌اند در آزمایشگاه حیات را ایجاد کنند. با این حال، فرضیه سوم و جدیدتر این است که حیات میلیاردها سال پیش توسط یک شهاب‌سنگ یا ستاره دنباله‌دار به زمین آورده شده است. با وجود بحث‌برانگیز بودن، این فرضیه هنوز نتوانسته روند شروع زندگی، محل شروع و چگونگی نحوه ایجاد آن توسط یک ستاره دنباله‌دار را توضیح دهد. با وجود این، دانشمندان عموماً قبول دارند آنچه را که می‌توان حیات در نظر گرفت، چیزی در حدود ۳ تا ۴ میلیارد سال پیش آغاز شده است.

شاید قبل از بحث درباره تکامل حیات، باید تعریف آن مورد بحث قرار گیرد. خصوصیات مشترک یک موجود زنده چیست؟ اول، موجودات زنده برای حفظ انرژی خود و دفع مواد زائد، باید مواد شیمیایی یا مواد دیگری را در جهت واکنش‌های مرتبط با انرژی جذب کنند، این فرآیند **سوخت و ساز** نامیده می‌شود. همچنین ممکن است موجودات زنده، بتوانند انرژی مورد نیاز خود را تولید کنند، اما باز هم به یک منبع خارجی انرژی و وسیله‌ای برای تبدیل آن نیاز دارند. یک نمونه متداول از چنین فرایندی، فتوسنتز می‌باشد؛ که به موجب آن، سلول نور خورشید را به شکل شیمیایی تغییر می‌دهد که می‌تواند انرژی لازم برای فعالیت سلول را فراهم کند. دوم، موجودات زنده یا نیاز به تولیدمثل دارند یا اینکه به محض پدید آمدن، جاودانه یا نیمه جاودانه خواهند بود (این فرضیه چندان ناگوار نیست، زیرا بعضی از انواع باکتری‌ها و ویروس‌ها از نظر طول عمر بسیار قوی به نظر می‌رسند و شاید عمر آن‌ها میلیاردها سال برآورد شود).

ممکن است دیواره سلولی اولین عامل پیشرفت تکاملی در حیات باشد. اولین سلول‌های دارای دیواره که پروکاریوت‌ها نامیده می‌شدند، فاقد هسته بودند و در آن‌ها یک تک رشته RNA (مانند باکتری‌های اولیه) وجود داشت. از گذشته تاکنون تغییرات گسترده‌ای در باکتری‌ها به وقوع پیوسته است که موجب شده حتی اکنون نیز بتوانند در

شرایط سخت زندگی کنند (مانند چشمه‌های آب گرم گوگرد). احتمالاً ۱ تا ۱.۵ میلیارد سال پس از آن، برخی از این سلول‌های پروکاریوتی RNA خود را با یک غشای دیگر احاطه کرده و یک هسته را تشکیل داده‌اند، آن‌ها **یوکاریوت‌ها** نامیده شدند؛ بنابراین، پروکاریوت‌ها را می‌توان اجداد تمام گونه‌های گیاهان و حیوانات امروزی دانست. همچنین ممکن است استدلال شود که یوکاریوت‌ها، با هسته درون سلول، فعالیت‌های خود را هدایت می‌کردند و ممکن است نمونه‌ای از بدن و مغز در آن‌ها در نظر گرفته شود.

اولین گروه‌های زندگی چند سلولی، شانه‌داران و اسفنج‌ها بوده‌اند که در حدود ۷۰۰ تا ۶۰۰ میلیون سال پیش پدیدار شدند. احتمالاً در آن زمان اکسیژن کمتری در اقیانوس‌ها وجود داشته است. در طی این دوره، شاید اکسیژن اقیانوس‌ها توسط برخی از فعالیت‌های تغذیه‌ای و دفعی پروکاریوت‌ها، یوکاریوت‌ها و زندگی چندسلولی‌ها افزایش یافت. برای اینکه ارگانیسم بتواند حیات خود را حفظ کند، باید قادر به تغذیه، دفع مواد زائد و تکثیر یا تولیدمثل باشد. همه این فعالیت‌ها ممکن است با استفاده از توانایی حرکت، افزایش یافته باشند. ارگانیسم‌هایی که واجد سلول‌هایی برای حرکت شده‌اند، ممکن است از نظر تکاملی از یک مزیت متمایز تغذیه‌ای و تولیدمثلی برخوردار شده‌اند؛ بنابراین، انتخاب طبیعی برای تمایز سلول‌هایی برای حرکت (سلول‌های حرکتی)، برای کشف مواد غذایی، جفت‌یابی و شکارگری (سلول‌های حسی) و برای سلول‌هایی که می‌توانند فعالیت‌های آن دو دسته سلول (سلول‌های مغزی اولیه) را هماهنگ کنند، آغاز شد. برخلاف بحث‌های گسترده‌ای که صورت گرفته، شاید جای تعجب باشد که معیار انتخاب طبیعی نه پیچیدگی رفتار، بلکه ممکن است تنوع و گوناگونی رفتار باشد، مانند دوره‌های بحرانی و آشفتگی محیطی (به‌عنوان مثال، انفجارهای آتش‌فشانی، بمباران‌های شهاب‌سنگی و غیره)؛ «شایستگی» ممکن است تابعی از صفات از پیش موجود باشد که امکان زنده ماندن موجود در یک محیط بحرانی و آشفتنه را فراهم می‌آورد (انفجارهای آتش‌فشانی، زمین‌لرزه‌ها، سیل و غیره). شاید یک مثال رایج از این موضوع، آفت موز کشنده باشد (پژمردگی قارچی). از آنجا که بیشتر موزهای موجود در بازار از یک گونه (کاوندیش) نبوده و مستعد ابتلا به این