



سازوکار یادگیری در مغز

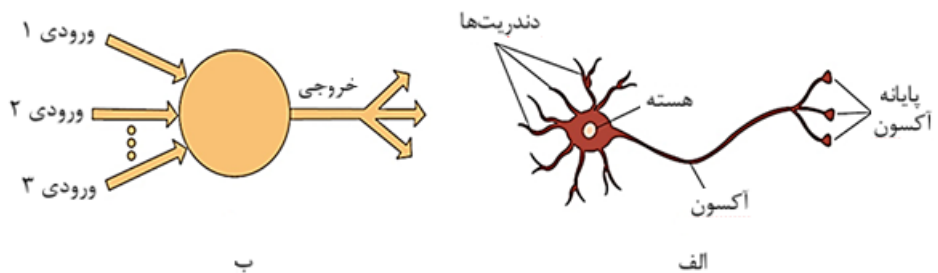
دکتر حسین معماریان

یادگیری چیست و چگونه انجام می‌شود؟ بخش‌های مختلف مغز چه نقشی در یادگیری دارند؟

یادگیری

یادگیری حاصل فرآیندهایی است که باعث می‌شوند انسان چیزی را دریافت، پردازش، ذخیره و دوباره بازیابی کند. توانایی یادگیری، در دسترس انسان‌ها، جانوران، گیاهان، و انواعی از ماشین‌ها قرار دارد. یادگیری به صورت آبی انجام نمی‌شود، بلکه بر پایه دانسته‌های گذشته رشد می‌کند. یادگیری، در نهایت به تغییراتی می‌انجامد که معمولاً دائمی هستند. یادگیری ممکن است خودآگاه یا ناخودآگاه باشد. یادگیری، چه در مغز انسان چه توسط هوش مصنوعی، حاصل تغییر در ارتباطات بین نورون‌هاست. این فرایند در مغز به صورت تغییرات شیمیایی و ساختاری در سیناپس‌ها، و در شبکه‌های عصبی مصنوعی تغییر در مقادیر وزن‌ها با الگوریتم‌های ریاضی است.

در مغز انسان نورون‌ها سلول‌های عصبی است که پیام‌های الکتروشیمیایی را پردازش و منتقل می‌کنند. هر نورون ورودی را می‌گیرد، پردازش می‌کند و خروجی را به دست می‌دهد. در اینجا دندریت‌ها ورودی را می‌گیرند و آکسون خروجی را منتقل می‌کند (شکل ۱/الف). سیناپس نقطه اتصال بین دو نورون است. شدت ارتباط سیناپسی تعیین می‌کند که چقدر سیگنال از یک نورون به نورون دیگر منتقل بشود. یادگیری در مغز حاصل تغییر قدرت یا تعداد سیناپس‌هاست. وقتی دو نورون با هم فعال می‌شوند، اتصالشان قوی‌تر می‌شود و «یادگیری» رخ می‌دهد.



شکل ۱. مقایسه نرون‌ها در مغز انسان (الف) و شبکه عصبی مصنوعی (ب).

در شبکه‌های عصبی مصنوعی، نورون مصنوعی یک واحد محاسباتی ریاضی است که ورودی را می‌گیرد (اعداد)، روی آن وزنی اعمال می‌کند، جمع می‌کند و بعد از طریق تابع فعال‌سازی، خروجی می‌دهد. سیناپس مصنوعی همان وزن‌ها هستند. هر اتصال بین دو نورون یک وزن دارد که اهمیت آن ورودی را تعیین می‌کند. شبکه عصبی مصنوعی مجموعه‌ای از نورون‌های متصل به هم، لایه به لایه است. یادگیری در شبکه عصبی مصنوعی تغییر وزن‌ها (شبیه تغییر قدرت سیناپس‌ها در مغز) است. الگوریتم‌های مناسب، این وزن‌ها را تنظیم می‌کنند تا خروجی شبکه به هدف نزدیک‌تر بشود (شکل ۱/ب).

پژوهش‌ها در روان‌شناسی، علوم اعصاب و تعلیم و تربیت نشان می‌دهند که یادگیری ترکیبی از فرآیندهای شناختی، عاطفی و اجتماعی است. یادگیری در چند سطح عمل کرده و حاصل تعامل بین توجه، پردازش ذهنی، انگیزه و تعامل اجتماعی است که در مغز به صورت تغییر در شبکه‌های عصبی ثبت می‌شود.

۱. سطح شناختی (ذهنی): که چند مرحله دارد

- توجه و ادراک: اولین گام، انتخاب و دریافت اطلاعات از محیط است. اگر چیزی توجه ما را جلب نکند، وارد حافظه نمی‌شود.
- پردازش اطلاعات: اطلاعات وارد حافظه کاری می‌شود، جایی که ذهن آن را مرتب می‌کند و با دانش قبلی پیوند می‌دهد.
- ذخیره‌سازی در حافظه بلندمدت: وقتی ارتباطات عصبی تقویت می‌شوند، آموخته‌ها در حافظه بلندمدت جاگیر می‌شوند.
- بازیابی: توانایی یادآوری یا به‌کارگیری آموخته‌ها در موقعیت‌های جدید.

۲. سطح عاطفی (انگیزشی): انگیزه، هیجان و نگرش نقش کلیدی در این سطح از یادگیری دارند. یادگیرنده وقتی فعالانه درگیر باشد و یادگیری برایش معنادار باشد، بهتر می‌آموزد. احساس امنیت، علاقه و پاداش‌های درونی یا بیرونی نیز می‌تواند سرعت و عمق یادگیری را افزایش دهد.

۳. سطح اجتماعی: یادگیری تنها در ذهن فرد رخ نمی‌دهد؛ بلکه در تعامل با دیگران (آموزشگر، همسالان، محیط فرهنگی) شکل می‌گیرد. بررسی‌ها نشان داده است که فرد با کمک دیگران می‌تواند به سطحی از یادگیری برسد که به تنهایی قادر به آن نیست.

۴. سطح عصب‌شناختی: یادگیری با تغییر در اتصال‌های عصبی (سیناپس‌ها) اتفاق می‌افتد. نورون‌هایی که همزمان فعال می‌شوند، ارتباطشان قوی‌تر می‌شود.

حاصل یادگیری به خاطر سپاری دانش‌ها، مهارت‌ها و نگرش‌هاست. این جُستار را به درآمدی بر یادگیری از دیدگاه عصب شناختی اختصاص داده‌ایم

انواع یادگیری

مغز انسان بر اساس تجربه، تمرین، و تغییرات سیناپسی یاد می‌گیرد. رایج‌ترین طبقه‌بندی یادگیری در مغز شامل پنج دسته اصلی است: تداعی‌گر (شرطی‌سازی کلاسیک و کنشی)، غیرتداعی‌گر (عادت‌پذیری و حساس‌شدن)، مشاهده‌ای (اجتماعی)، مهارتی/رویه‌ای، و آشکار (واقع‌های و معنایی) است.

۱. یادگیری تداعی‌گر

- شرطی‌سازی کلاسیک، وقتی است که دو محرک به هم مرتبط می‌شوند. مثال: سگ پاولوف یاد گرفت که با شنیدن صدای زنگ، بزاق ترشح کند، چون همیشه زنگ همراه غذا بود.
- شرطی‌سازی کنشی، وقتی که یادگیری بر اساس پاداش و تنبیه است. مثال: کودکی که برای مرتب کردن اتاقش شکلات می‌گیرد، و یاد می‌گیرد این کار را تکرار کند.

۲. یادگیری غیرتداعی‌گر

- عادت‌پذیری یا کاهش واکنش به محرک تکراری. مثال: عادت کردن به صدای فن کولر.
- حساس‌شدن یا افزایش واکنش به محرک تکراری یا قوی. مثال: حساس‌تر شدن به یک صدای آزار دهنده.
- ۳. یادگیری مشاهده‌ای (اجتماعی) یا یادگیری با دیدن و تقلید از دیگران. مثال: کودکی که از والدین خود آشپزی کردن را یاد می‌گیرد.

۴. یادگیری مهارتی یا رویه‌ای، یا یاد گرفتن مهارت‌ها و حرکات پیچیده. مثال: رانندگی، دوچرخه‌سواری، و تایپ کردن که معمولاً ناخودآگاه است و با تمرین تقویت می‌شود.

۵. یادگیری آشکار و بر پایه حافظه آگاهانه:

- معنایی یا دانش عمومی، مثلاً «تهران پایتخت ایران است».
- واقع‌های (اپیزودیک) یا خاطرات شخصی، مثلاً «اولین روز مدرسه‌ام را به یاد دارم».

حافظه

حافظه و یادسپاری قسمتی از شناخت یا ذهن است که رمزگذاری، طبقه‌بندی و بازخوانی اطلاعات را بر عهده دارد. بر طبق رایج‌ترین طبقه‌بندی، حافظه به سه بخش حسی، کوتاه مدت و بلند مدت تقسیم می‌شود (شکل ۲).

حافظه حسی: کوتاه‌ترین نوع حافظه (چند ثانیه) است و اطلاعات حسی (دیداری، شنیداری، لامسه و ...) را به مدت بسیار کوتاه ذخیره می‌کند. مثال: وقتی یک تصویر سریع می‌بینیم و بعد از بسته شدن چشم، برای لحظه‌ای هنوز آن را به یاد داریم.

حافظه کوتاه‌مدت: این حافظه ظرفیت محدودی داشته (معمولاً حدود 7 ± 2 واحد اطلاعاتی) و مدت زمان نگهداری اطلاعات در آن از چند ثانیه تا حداکثر چند دقیقه است. کارکرد حافظه کوتاه مدت نگهداری موقت اطلاعاتی است که هم اکنون به آنها توجه کرده‌ایم (مثل شماره‌ای که می‌شنویم یا جمله‌ای که می‌خوانیم). مثال: وقتی شماره تلفنی را می‌شنویم فقط چند لحظه آنرا در ذهن نگه می‌داریم تا آنرا وارد گوشی کرده یا یادداشت کنیم. **حافظه کاری** نوعی حافظه کوتاه‌مدت فعال برای پردازش و دستکاری اطلاعات بوده و در حل مسئله، یادگیری، و استدلال بسیار مهم است. مثل وقتی که هم‌زمان در ذهن خود یک محاسبه ریاضی را انجام می‌دهیم.

حافظه بلندمدت: ظرفیت عملاً نامحدود داشته و مدت زمان نگهداری اطلاعات در آن از چند روز تا تمام عمر است. کارکرد حافظه بلند مدت ذخیره‌سازی پایدار دانش، مهارت‌ها، خاطرات و تجربه‌ها است. حافظه بلند مدت به دو دسته اصلی تقسیم می‌شود:

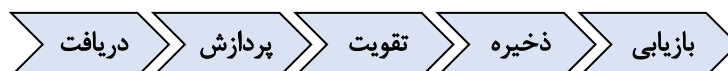
- **حافظه آشکار** و آگاهانه: شامل حافظه واقعه‌ای (اپیزودیک) خاطرات شخصی و رویدادها (مثلاً سفر یا جشن تولد). و حافظه معنایی: دانسته‌ها و مفاهیم (مثلاً اینکه آب در ۱۰۰ درجه می‌جوشد).

- **حافظه ناآشکار** و ناخودآگاه: شامل حافظه رویه‌ای چون مهارت‌های حرکتی و ذهنی (مثل دوچرخه‌سواری، رانندگی)؛ و شرطی‌سازی چون خاطرات رویدادی (مثلاً ترس از یک صدای خاص).

رابطه بین دو نوع حافظه کوتاه مدت و بلند مدت چنین است که اطلاعات ابتدا وارد حافظه کوتاه‌مدت می‌شود. اگر تکرار، توجه یا پردازش عمیق روی آن انجام گیرد، به کمک هیپوکامپ به حافظه بلندمدت منتقل می‌شود. خواب، تمرین و هیجان نقش مهمی در این انتقال دارند. حافظه کوتاه‌مدت مثل یک دفترچه یادداشت کوچک و موقتی است، اما حافظه بلندمدت مثل کتابخانه‌ای عظیم است که دانش و تجربه‌ها در آن برای مدت طولانی ذخیره می‌شوند. در جدول ۱ انواع حافظه و بخش‌های مرتبط با آن در مغز معرفی شده‌اند.

سازوکار یادگیری در مغز

یادگیری در مغز حاصل اتفاقاتی است که در سطح عصبی و زیستی رخ می‌دهد تا ما بتوانیم چیزی را یاد بگیریم. یادگیری در مغز از چند مرحله تشکیل شده است (شکل ۲):



شکل ۲. مراحل یادگیری در مغز

۱. **دریافت اطلاعات (حسی):** هر چیزی که می‌آموزیم ابتدا از طریق حواس (بینایی، شنوایی، لامسه و ...) وارد مغز می‌شود؛ و قشر حسی مغز (مانند قشر بینایی و قشر شنوایی) این داده‌ها را پردازش اولیه می‌کند.

۲. **پردازش و رمزگردانی:** در این مرحله اطلاعات وارد حافظه کاری می‌شود (محدود و کوتاه‌مدت)؛ و مغز برای تثبیت آنرا با دانش موجود در **قشر پیش‌پیشانی** و **هیپوکامپ** پیوند می‌دهد. این مرحله در عمل مثل برچسب‌زدن و دسته‌بندی اطلاعات است.

۳. **تثبیت در حافظه بلندمدت:** هیپوکامپ نقش کلیدی در تبدیل حافظه کوتاه‌مدت به بلندمدت دارد. وقتی اتصالات بین نورون‌ها (سیناپس‌ها) به‌طور مکرر فعال شوند، پدیده‌ای به نام **تقویت درازمدت سیناپسی (LTP)**¹ رخ می‌دهد و نورون‌ها مسیر ارتباطی قوی‌تری می‌سازند. در این فرایند، پروتئین‌ها ساخته می‌شوند و ساختار سیناپس‌ها تغییر می‌کند.

۴. **بازیابی و استفاده از دانش:** وقتی می‌خواهیم چیزی را به خاطر بیاوریم، قشر پیش‌پیشانی مسیرهای ذخیره‌شده در قشر مخ و هیپوکامپ را دوباره فعال می‌کند. هر بار یادآوری، یادگیری را تقویت می‌کند (چون مسیر عصبی باز هم محکم‌تر می‌شود).

۵. **نقش هیجان و انگیزش:** در این مرحله آمیگدال (بادامه مغزی) احساسات را با یادگیری پیوند می‌دهد. اطلاعاتی که با هیجان (ترس، شادی، علاقه) همراه باشند، بسیار ماندگارتر می‌شوند. سیستم پاداش مغز (دوپامین) انگیزه را بالا می‌برد و باعث می‌شود یادگیری لذت بخش شود.

سازوکار یادگیری در مغز را به نحو زیر می‌توان خلاصه کرد: اطلاعات از طریق حواس وارد می‌شود؛ سپس در هیپوکامپ و قشر پیش‌پیشانی پردازش می‌گردد. به دنبال آن آمیگدال احساسات را به یادگیری پیوند می‌دهد و سپس دانش در حافظه بلندمدت ذخیره می‌شود. در نهایت از طریق بازیابی دوباره فراخوانی و استفاده می‌گردد.

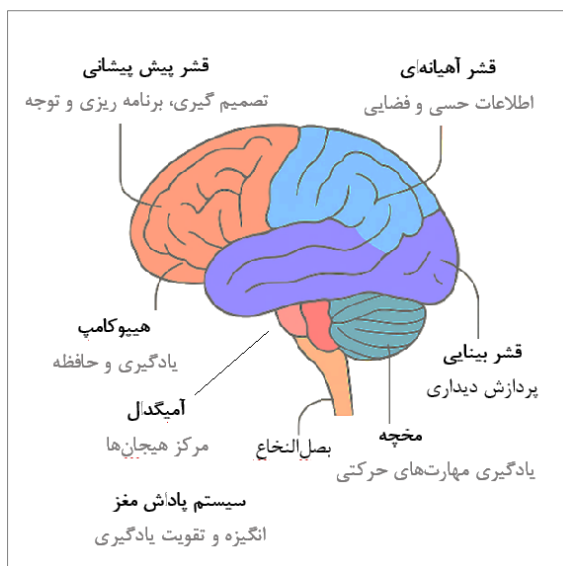
نقش بخش‌های مختلف مغز در یادگیری

نقش بخش‌های مختلف مغز (شکل ۳) در یادگیری بسیار پیچیده و هماهنگ است. هر بخش کارکرد ویژه‌ای داشته و در تعامل با همدیگر فرایند یادگیری را شکل می‌دهند. به‌طور خلاصه، یادگیری حاصل تعامل حافظه (هیپوکامپ)، توجه (قشر پیش‌پیشانی)، هیجان (آمیگدال) و تجربه حسی-حرکتی (مخچه و قشرهای حسی) است (جدول ۳).

- **قشر پیش‌پیشانی:** مرکز تصمیم‌گیری، برنامه‌ریزی و توجه بوده و نقش مهمی در تمرکز بر مطالب درسی، حل مسئله و سازمان‌دهی اطلاعات دارد. این قسمت مسئول انتخاب راهکار درست و جلوگیری از حواس‌پرتی است. همچنین در بازیابی خاطرات و تصمیم‌گیری بر اساس تجربیات گذشته نقش دارد.
- **هیپوکامپ:** یکی از مهم‌ترین نواحی برای یادگیری و حافظه بوده و مسئول تبدیل حافظه کوتاه‌مدت به حافظه بلندمدت است. هیپوکامپ نقش اساسی در یادگیری فضایی (مثل جهت‌یابی و نقشه ذهنی) دارد.
- **آمیگدال:** مرکز هیجان‌ها (مثل ترس و انگیزه) است. احساسات می‌توانند باعث تقویت یا تضعیف یادگیری شوند. خاطراتی که با هیجان (مثل شادی یا ترس) همراه باشند قوی‌تر ذخیره می‌شوند. آمیگدال در شرطی‌سازی هیجانی (مثل ترس از یک تجربه بد) هم نقش دارد.
- **مخچه:** نقش اصلی در یادگیری مهارت‌های حرکتی و هماهنگی بدنی دارد و در یادگیری مهارت‌های تکراری و ناخودآگاه (مثل رانندگی یا نواختن موسیقی) بسیار مهم است.
- **قشر آهیانه‌ای:** به پردازش و بازیابی حافظه اپیزودیک و توجه به جزئیات کمک می‌کند و در پردازش اطلاعات حسی و ریاضی، و مهارت‌های فضایی نقش دارد.
- **قشر گیجگاهی:** دخیل در حافظه معنایی (دانسته‌ها و مفاهیم) و ذخیره اطلاعات زبانی و شنیداری است.
- **قشر بینایی:** مسئول پردازش دیداری است و در یادگیری تصویری (نقشه‌ها، نمودارها، تصاویر) نقش کلیدی دارد.
- **عقدده‌های قاعده‌ای:** در یادگیری عادت‌ها و مهارت‌های تکراری نقش داشته و در شکل‌گیری حافظه رویه‌ای و شرطی‌سازی اهمیت دارند.

¹ Long-Term Potentiation (LTP)

- سیستم پاداش مغز: باعث ایجاد انگیزه و تقویت یادگیری می‌شوند. وقتی یادگیری با پاداش یا لذت همراه باشد، مغز سریع‌تر و بهتر آنرا ثبت می‌کند.



شکل ۳. نقش بخش‌های مختلف مغز در یادگیری

جدول ۱. انواع حافظه و بخش‌های مرتبط با آن در مغز

نوع حافظه	بخش‌های اصلی درگیر مغز	کارکرد
حافظه کاری (Working Memory)	قشر پیش پیشانی	نگهداری و پردازش موقت اطلاعات (مثلاً به خاطر سپردن شماره تلفن کوتاه‌مدت)
حافظه واقعه‌ای (Episodic Memory)	هیپوکامپ، قشر گیجگاهی، قشر آهیانه‌ای	ذخیره رویدادها و تجربیات شخصی (مثلاً خاطره یک سفر)
حافظه معنایی (Semantic Memory)	قشر گیجگاهی، قشر پیش پیشانی	ذخیره دانسته‌ها، مفاهیم و اطلاعات عمومی (مثلاً دانستن اینکه تهران پایتخت ایران است)
حافظه هیجانی (Emotional Memory)	آمیگدال، هیپوکامپ	ذخیره خاطرات همراه با احساس (مثلاً ترس از یک تجربه ناخوشایند)
حافظه رویه‌ای (Procedural Memory)	مخچه، عقده‌های قاعده‌ای	یادگیری مهارت‌های حرکتی و عادت‌ها (مثلاً دوچرخه‌سواری یا تایپ کردن)
حافظه بلندمدت (Long-term Memory)	هیپوکامپ (برای تثبیت)، قشر مخ (برای ذخیره‌سازی نهایی)	نگهداری پایدار اطلاعات و تجربیات درازمدت

جدول ۲. نقش بخش‌های مختلف مغز در یادگیری

بخش مغز	نقش در یادگیری
قشر پیش پیشانی (Prefrontal Cortex)	تمرکز، توجه، تصمیم‌گیری، حل مسئله و سازمان‌دهی اطلاعات
هیپوکامپ (Hippocampus)	تثبیت حافظه، تبدیل حافظه کوتاه‌مدت به بلندمدت، یادگیری اپیزودیک و فضایی
آمیگدال (Amygdala)	یادگیری هیجانی، تقویت یا تضعیف یادگیری بر اساس احساسات (ترس، انگیزه، شادی)
مخچه (Cerebellum)	یادگیری مهارت‌های حرکتی و هماهنگی بدنی، حافظه رویه‌ای (مثل دوچرخه‌سواری)
عقده‌های قاعده‌ای (Basal Ganglia)	یادگیری عادت‌ها، مهارت‌های تکراری و شرطی‌سازی
قشر گیجگاهی (Temporal Cortex)	یادگیری زبانی، پردازش شنیداری، حافظه معنایی
قشر آهیانه‌ای (Parietal Cortex)	پردازش اطلاعات حسی و فضایی، نقش در ریاضیات و جزئیات حافظه
قشر پس‌سری (Occipital Cortex)	یادگیری دیداری، پردازش تصاویر و نمادها
سیستم پاداش (Dopaminergic System)	ایجاد انگیزه و تقویت یادگیری از طریق لذت و پاداش

برای مطالعه بیشتر

- Andersen, Peter, Richard Morris, David Amaral, Tim Bliss, and John O'Keefe, eds. (2007) *The Hippocampus Book*. Oxford: Oxford University Press.
- Gluck, Mark A., Eduardo Mercado, and Catherine E. Myers (2020). *Learning and Memory: From Brain to Behavior*. 4th ed. New York: Worth Publishers.
- Hannaford, Carla (2005). *Smart Moves: Why Learning Is Not All in Your Head*. 2nd ed. Salt Lake City: Great River Books.
- Kandel, Eric R., and Larry R. Squire (2008). *Memory: From Mind to Molecules*. 2nd ed. Greenwood Village, CO: Roberts and Company Publishers.
- McGaugh, James L. (2003) *Memory and Emotion: The Making of Lasting Memories*. New York: Columbia University Press.
- Squire, Larry R., and Eric R. Kandel, eds. (2009) *Memory, Mind, and Molecules: Exploring the Biology of Memory*. Oxford: Oxford University Press.
- اسلاتنیک، اسکات (۱۴۰۰) علوم اعصاب شناختی حافظه. ترجمه صدف حسنی، فرزانه خدابنده، سیدعبدالکریم قاسمی و امیرمحمد مهدی‌نیا. تهران: نشر تیمورزاده
- بلیک‌مور، سارا جین، و یوتا فریث (۱۳۹۹) مغز یادگیرنده: درس‌هایی برای آموزش و پرورش. ترجمه سیدکمال خرازی. تهران: سمت.
- گلوک، مارک ای، ادواردو مرکادو، و کترین ای. مایرز (۱۳۹۸) یادگیری و حافظه. ترجمه مرتضی مرادی و پریسا مهدی‌پور. تهران: انتشارات ارجمند.

دکتر حسین معاریان

زمستان ۱۴۰۴