

## یادگیری فاصله‌دار: ایجاد فضای مناسب برای علوم اعصاب در کلاس درس

فیروزه علویان<sup>۱</sup>

### چکیده

دانش نوین به اهمیت تقویت نیروی حافظه، افزایش ظرفیت سلول‌های مغزی و افزایش توان بازخوانی داده‌ها توجه زیادی دارد. امروزه کارشناسان علوم آموزشی برای یادگیری مؤثرتر و تقویت حافظه روش‌های متنوعی پیشنهاد می‌کنند که یکی از این روش‌ها مطالعه با فاصله یا Spaced learning است. در واقع، Spaced learning یک روش یادگیری برای به حداقل رساندن فراموشی است که در آن محتوای یادگیری در سه زمان و سه بار تکرار خلاصه شده است، در فاصله این سه بار تکرار، دو مرحله استراحت وجود دارد که در طی آن‌ها، فعالیت‌های فیزیکی کاملاً متفاوت با موضوع درس توسط فراگیران انجام می‌شود. هدف از این پژوهش آشنایی با شیوه خاصی است که با انعطاف‌پذیری، به ایجاد ارتباط‌های مناسب بین سلول‌های مغزی و افزایش بازده یادگیری کمک شایانی می‌کنند. این پژوهش از نوع کیفی بوده و برای رسیدن به اهداف از شیوه تحلیلی با استفاده از مطالعات اسنادی و کتابخانه‌ای استفاده شد. در این بررسی، اثربخشی آموزش فاصله‌دار، با در نظر گرفتن تقویت مسیرهای مرتبط با حافظه و مولکول‌های فعال شده در این مسیر تأیید شد.

**کلید واژه‌ها:** یادگیری فاصله‌دار، آموزش، حافظه.

---

<sup>۱</sup> استادیار گروه علوم پایه دانشگاه فرهنگیان، ایران، نویسنده مسئول، f.alavian@cfu.ac.ir

## مقدمه

تقویت حافظه در بهبود امر آموزش و یادگیری، مدت‌هاست مورد توجه متخصصان تعلیم و تربیت قرار گرفته است. موضوعی که مورد توجه است این است که راهبردهای یادگیری مؤثر نه تنها باید به ما کمک کند تا حد ممکن به سرعت و کارآمد یاد بگیریم، بلکه فراموشی را هم به حداقل برساند. اما چه می‌توانیم بکنیم؟ واضح است که به روش دیگری برای تکمیل یادگیری نیاز داریم؛ چیزی که کمک خواهد کرد در کنار یادگیری، فراموشی را نیز به حداقل برسانیم؛ این رویکرد «یادگیری با فاصله» است.

شروع این آموزش از کار اینگهاوس<sup>۱</sup> نشأت می‌گیرد. به گفته او، این روش منجر به شکل‌گیری حافظه قوی‌تری نسبت به آموزش پیوسته و حجیم؛ که شامل فواصل زمانی کوتاه و یا حتی بدون این فواصل است می‌شود. اینگهاوس اظهار داشت: «با هر تعداد قابل توجهی از تکرار مناسب فواصل در زمان مشخص، یادگیری با صرفه‌تر از تجمع آن‌ها در یک زمان واحد است (Rey, Vallet, Riou, Lesourd, & Versace, 2015). به طور مشابه، فواصل بین تکرار ممکن است بسته به محتوا و مخاطب تنظیم می‌شود. اینگهاوس اعتقاد داشت که ما نه تنها یک «منحنی یادگیری» داریم بلکه همچنین یک «منحنی فراموشی» نیز داریم.

آزمایش‌های اینگهاوس به روشنی ارزش تلاش شخص برای کدگذاری اطلاعات در حافظه بلندمدت از طریق تکرار و مرور را نمایان می‌سازد. نتایج کارهای وی نشان داد که توانایی فراخوانی اطلاعات به طور چشمگیری توسط مرور مکرر مطالبی که می‌خواهیم به خاطر بسپاریم، افزایش می‌یابد. سرعت فراموشی یک مطلب، متأثر از عواملی است چون میزان مشکل بودن آن مطلب، میزان فشار روانی در لحظه آموختن و مقدار توجه به آن مطلب (Murre & Dros, 2015).

در مطالعات اینگهاوس، یادگیری و به خاطر آوری اطلاعات در یک زمان معین و کنترل شده انجام می‌گرفت، بین آموزش مطالب، فاصله با زمان‌های متفاوتی قرار می‌داد. عوامل مداخله‌گر در یادگیری و یادآوری مطالب را کنترل می‌کرد و یادگیری و یادآوری را در شرایط طبیعی و

عادی زندگی انجام می‌داد. او به دنبال شرایط عجیب و غریب نبود. اینگهاوس برای اندازه‌گیری حافظه، از زمان و به خاطر آوری کلمات استفاده می‌کرد. او از سه رویکرد عدم شباهت بین منابع یادگیری، نامتعارف بودن شرایط بیرونی، و شرایط درونی که ناشی از نظریه‌ها، نگرش‌ها و عقاید فرد است در بررسی کارهای خود بهره برد. به کار بستن این روش‌ها و دقت علمی او بدون شک نقش مهمی در مطالعات علمی امروز حافظه داشته است (Rey et al., 2015).

اینگهاوس در آزمایش‌های خود، روش هوشمندانه‌ای برای اندازه‌گیری فراموشی ارائه داد. او جدولی از هجاهای سه حرفی را که قابل خواندن، اما کاملاً بی‌معنی بودند تهیه کرد (مانند AKX یا VUO) و این جدول را آنقدر تکرار کرد تا توانست آن را کاملاً حفظ کند. سپس در فواصل زمانی متفاوت، از ۲۰ دقیقه تا ۳۱ روز، سعی کرد آن‌ها را به خاطر آورد. با انجام این آزمایش توسط جداول متعدد، اینگهاوس دریافت که سرعت فراموشی نسبتاً یکنواخت (و نه ثابت) است. فراموشی در ابتدا نسبتاً سریع اتفاق می‌افتد و به تدریج کمتر می‌شود. روان‌شناسان دیگر پس از او تأیید کرده‌اند که منحنی فراموشی در مورد بسیاری از انواع موضوعات صادق است. برخی تحقیقات نشان داده که شیب منحنی فراموشی در مورد مطالبی که به خوبی آموخته شده‌اند، به تدریج به صفر نزدیک می‌شود، بدین معنی که فراموشی دیگر اتفاق نمی‌افتد. هر چه تعداد مرورهای بعدی بیش‌تر می‌شود، شیب فراموشی کم‌تر و کم‌تر می‌شود، به طوری که پس از مرور مرحله پنجم، این شیب تقریباً از بین می‌رود و یادگیری، ماندگار می‌شود (Rey et al., 2015).

اثر بخشی این روش در حوزه‌های مختلف نیز نشان داده شده است؛ از اقتصاد گرفته تا یادگیری طب (Landauer & Ross, 1977; Logan, Castel, Haber, & Viehman, 2012).

یادگیری فاصله‌دار به بهبود حافظه در بی‌مهرگان نیز کمک می‌کند؛ مانند صدف *Aplysia* (Mauelshagen, Sherff, & Carew, 1998)، مگس سرکه (Beck, Schroeder, & Davis, 2000)، زنبور عسل (Menzel, Manz, Menzel, & Greggers, 2001)، در خرگوش‌ها (Robbins & Bush, 1973) و میمون‌ها (Bello-Medina, 2013).

این در عمل به چه معنی است و مسئله و هدف چیست؟ یکی از مشکلاتی که خصوصاً در آموزش سنتی با آن روبه‌رو هستیم، فراگرفتن حجم انبوهی از مطالب در محدوده زمانی تعریف شده است که اغلب با فراموشی همراه است، اما اگر در حال طراحی یک برنامه یادگیری با فاصله در ذهن خود باشید، یک سری ارتباطاتی در مغز شما در حال شکل‌گیری است که سبب می‌شود پس از روزها، هفته‌ها یا ماه‌ها آن مطلب را به یاد آورید.

از طرف دیگر، تکرار مفهوم ممکن است به سادگی به معنی معرفی دوباره این مفهوم دقیقاً همان‌طور که پیش از آن ارائه بود باشد و یا ارائه آن در روشی متفاوت باشد. به عنوان مثال، مفاهیم ممکن است با استفاده از انواع رسانه‌های مختلف، داستان و غیره ارائه شوند. آن‌ها همچنین ممکن است به صورت مجموعه‌ای از تمرین‌های عملی مشابه اما متمایز، و یا شبیه‌سازی شده در طول زمان ارائه باشند. طراحان استفاده‌کننده از روش فاصله‌انداز، به جای فکر کردن در مورد بهترین راه منفرد، نیاز به ارائه راه‌های مختلفی برای حل یک معضل دارند. Spaced learning، یک روش تقویت حافظه بلندمدت ما از طریق تکرار است. اساساً، این یادگیری هیچ تفاوتی با آنچه ما در طول زمان یاد می‌گیریم و ما را به حال خود بگذارند، ندارد (Raman et al., 2010).

آیا تا به حال نیاز به یادآوری چیزی داشته‌اید و با وجود تلاش زیاد نتوانسته‌اید آن را به خاطر آورید؟ در واقع شما با بازیابی اطلاعات مشکل دارید. ما یک مسیر عصبی متصل به حافظه خود داریم که اگر به اندازه کافی از آن استفاده نکرده باشیم، تقویت نشده و بنابراین بازیافت مطالب با مشکل روبه‌رو خواهد شد. با تکرار مطالب، این مسیر عصبی بارها تحریک شده و دسترسی مجدد به مطالب نیز امکان‌پذیر خواهد شد. هنگامی که می‌شنویم، می‌بینیم و یا کاری را برای یک بار انجام می‌دهیم، در حافظه کوتاه‌مدت ما ذخیره می‌شود. اگر مطلبی را بارها بشنویم و یا بارها و بارها تکرار کنیم، آن را در حافظه بلندمدت وارد کرده‌ایم و یادگیری فاصله‌دار روند این یادگیری بلندمدت را بسیار سریع پوشش می‌دهد. در واقع، این فرایند تکرار ساختارمند سریع که با استراحت جدا شده است، در واقع، جاسازی اطلاعات در حافظه بلندمدت است (Jones et al., 2001).

Spaced learning از روش‌های ایجاد مسیرهای عصبی در آغاز یک واحد کار (اکتساب حافظه) است که پس از آن می‌توان در فواصل مختلف در طول زمان بازبینی شود. بنابراین زمانی که به آن اطلاعات نیاز دارید، دسترسی به آن‌ها برای شما آسان‌تر خواهد بود (Mauelshagen et al., 1998; Zhang et al., 2012).

این رویکرد «یادگیری با فاصله» است؛ مطلبی که در این مقاله به آن خواهیم پرداخت و البته مکانیسم‌های درگیر در این روش. امید است با به کار بستن آن در سیستم آموزشی ایران، به ارتقای سطح بهینه یادگیری دست یابیم.

## روش پژوهش

این پژوهش از نوع کیفی بوده و برای رسیدن به اهداف از شیوه تحلیلی با استفاده از مطالعات اسنادی و کتابخانه‌ای استفاده شد. ضمن مطالعه مستمر، ابتدا همه داده‌ها به طور جداگانه مقوله‌بندی و سپس مقوله‌ها کدگذاری، دسته‌بندی مقایسه و مورد تفسیر قرار گرفت.

در واقع، در عصر جدید، دیگر نمی‌توان به شیوه‌های سنتی و انتقال یک طرفه انبوهی از اطلاعات توسط سخنرانی پیوسته معلم، اقدام کرد. طراحی مناسب آموزشی با فواصل مناسب، رویکردی نوین و پژوهشی کاربردی است که با به کارگیری شبکه‌ای از سلول‌های مغزی و تقویت حافظه، نتایج بهتری در افزایش علاقه به علم، تفکر نقادانه و حل مسئله حاصل می‌کند.

## جزئیات مرحله به مرحله (Bradley & Patton, 2013)

**ورودی اول:** اطلاعاتی است که معلم از دانش‌آموزان می‌خواهد از درس به دست آورند. مدت این ورودی محدود نشده است، اما نگه داشتن توجه دانش‌آموزان پس از ۱۵-۱۰ دقیقه دشوار می‌شود. مسیرهای عصبی شروع به پردازش خاطرات معین از این درس می‌کنند.

**وقفه اول (استراحت اول):** در بین دو نیمه اول، هدف تحریک بخش‌های مختلف مغز است تا مسیرهای عصبی مربوط به اولین ورودی تشکیل شود. این فعالیت نیاز دارد تا حداقل ۱۰

دقیقه باشد؛ زیرا مسیرها در حال شکل‌گیری هستند و به منظور تقویت مسیرهای عصبی و ثبت اطلاعات به دست آمده در ورودی اول، قبل از تحریک بعدی نیاز به «استراحت» دارند، این فعالیت باید هیچ ارتباطی با محتوای درس نداشته باشد تا خطر اخلال در تشکیل مسیر عصبی در حال شکل‌گیری مورد نظر را به حداقل رساند.

**ورودی دوم:** طی ورودی دوم، معلم دوباره محتوای اولین ورودی را بازنگری می‌کند؛ همان راه‌های عصبی دوباره تحریک خواهند شد، که نشان دهنده اهمیت آن‌ها برای مغز است. برای تغییر این ورودی و تعاملی کردن بیشتر آن، بهتر است روش ارائه قبلی محتوای تغییر کند. این را می‌توان با استفاده از مثال‌های مختلف از همان چیز یا اطلاعات کلیدی فراموش شده به دست آورد. در این ورودی به دانش‌آموزان اجازه داده می‌شود ببینند از ورودی اول چه چیزهایی به یاد می‌آورند.

در ارزشیابی این ورودی اطلاعات کلیدی‌ای که لازم است دانش‌آموزان به خاطر آورند به صورت جاخالی ارائه می‌شود تا توجه دانش‌آموزان به سمت آن نکات کشیده شود و آن‌ها را به خاطر آورند.

**وقفه دوم (استراحت دوم):** در استراحت دوم، همان اصول استراحت اول اعمال می‌شود. راه‌های عصبی حاوی اطلاعات دوباره به مدت ۱۰ دقیقه دیگر استراحت می‌کنند. فعالیت این زمان می‌تواند تغییر، یا تنوع داشته باشد. باز هم، مهم است که فعالیت به محتوای درس ارتباطی نداشته باشد.

**ورودی سوم:** در این مرحله، معلم دوباره از محتوای اولین ورودی استفاده می‌کند. این ورودی بیشتر بر روی دانش‌آموزان تأکید دارد، که نشان می‌دهد آن‌ها درس را درک کرده‌اند یا نه. این را می‌توان با دادن یک فعالیت به دانش‌آموزان که نیاز به استفاده از محتوای ورودی اول دارد انجام داد.

در این حال، معلم می‌تواند در بین دانش‌آموزان حرکت کند و به بررسی دانش / درک دانش‌آموزان از محتوای درس بپردازد.

## Spaced learning و یادگیری مبتنی بر تحقیق

جذابیت Spaced learning برای مدارس کشورهایی که این روش را به کار می‌برند، به دلیل پتانسیل آشکار آن برای کمک به دانش‌آموزان در فراخوان مطالب در امتحانات؛ خصوصاً کشور فنلاند، ثابت شده است (Bhat, 2016). با این حال، دلیل حمایت آموزش آتی از Spaced learning به دلیل پتانسیل قوی آن برای فعال کردن دانش‌آموزان بر اساس تحقیق و پژوهش در یادگیری (EBL)، (McDougall & Sanders, 2011)، و مبتنی بر پروژه یادگیری (PBL)، (Mioduser & Betzer, 2008)، است.

EBL نوعی یادگیری با دنبال کردن و ارزیابی اطلاعات به منظور پاسخ به سؤالات و حل مشکلات است. دانش‌آموزانی که به سؤالات پاسخ می‌دهند به یادگیرندگان متخصص تبدیل خواهند شد، قادر به پیدا کردن، تفسیر و ارزیابی اطلاعات خود بوده و مهارت‌ها و دانش خود را در انواع زمینه‌ها افزایش می‌دهند. در روش PBL، دانش‌آموزان سؤالات خود را به عنوان بخشی از یک پروژه طولانی با یک خروجی ملموس اجرا می‌کنند. با این حال، Spaced learning به همان اندازه PBL در مدارس قابل اجرا است.

یکی از چالش‌های طراحی EBL در مدارس، اطمینان از این موضوع است که دانش‌آموزان علاوه بر انجام پژوهش به رنج مناسبی از محتوای درسی نیز دست یابند. این جایی است که Spaced leaning وارد عمل می‌شود. با اجرای متعدد جلسات Spaced learning، و رهبری سؤالات دانش‌آموزان، معلمان می‌توانند اطمینان حاصل کنند که دانش‌آموزان دانش مرتبط را بدون از دست دادن گستره یادگیری به دست آورده‌اند.

معلمانی که این روش‌ها را به کار می‌بردند متوجه شده‌اند که ترکیبی از Spaced learning و EBL به دانش‌آموزان اجازه می‌دهد تا به مطالعه موضوعاتی پردازند که به مراتب فراتر از برنامه درسی استاندارد است. برای مثال، آن‌ها تشریح قلب را در واحد متمرکز بر سلامت درس بهداشت گنجانیده‌اند؛ در حالی که این کار جزو برنامه پیش‌بینی شده این درس نبوده است. در واقع آزادی عمل در این برنامه بسیار مهم است (Bradley & Patton, 2013).

سؤال کلیدی دیگر این است که آیا درک مکانیسم فواصل بهینه می‌تواند بینشی برای طراحی دارویی تقویت حافظه فراهم کند؟ مدل‌های محاسباتی کامپیوتری بر اساس چنین درکی ممکن است قادر به پیش‌بینی روش‌های پیچیده‌تر بهبود حافظه باشد که در آن استفاده از داروهای متعدد، و یا ترکیبی از دارو و پروتکل‌های آموزشی، می‌تواند سبب افزایش حافظه یا درمان اختلالات یادگیری و حافظه شود.

### نظریه‌های مرتبط و مکانیسم عمل Spaced learning

در این بخش، شرح خواهیم داد که چگونه بینش‌های جدید مطالعات مولکولی می‌توانند اثربخشی آموزش فاصله‌دار را توضیح دهند. همچنین به بررسی مسیریایی که در شکل‌پذیری ارتباطات نورونی (نورون‌ها سلول‌های اصلی مغز هستند و محل ارتباط نورون‌ها سیناپس نام دارد) درگیر هستند می‌پردازیم، و آزمایش‌های تجربی معتبر، و پروتکل‌های آموزشی که به بهبود یادگیری کمک می‌کنند را از طریق ایجاد اختلال و حذف عناصر مولکولی کلیدی در مسیر این آبشار پیام‌رسانی را معرفی می‌کنیم.

#### ۱. تئوری‌های یادگیری مرسوم در آموزش فاصله‌دار

ما به طور خلاصه به سه نظریه شناختی در توضیح برتری آموزش فاصله‌دار نسبت به آموزش تجمعی می‌پردازیم: نظریه تغییرپذیری کدگذاری، تئوری بازیابی، نظریه نقص در پردازش و نظریه تثبیت.

**نظریه تغییرپذیری کدگذاری یا رمزگردانی:** یعنی تغییر اطلاعات به شکلی که قابل طبقه‌بندی و ذخیره‌سازی در حافظه باشند. پس از آن که اطلاعات به صورت کد در مغز جای گرفتند، باید بتوانیم آن‌ها را برای مدت طولانی نگه داریم؛ این مرحله را ذخیره‌سازی می‌نامند. برای ذخیره‌سازی اطلاعات باید آن‌ها را به دقت تکرار کرد.

در بحث تغییرپذیری کدگذاری، با تکرار محرک‌ها در فواصل بیشتر، امکان تنوع طبقه‌بندی اطلاعات و یادگیری افزایش می‌یابد. نتیجه این امر، حافظه قوی‌تر است و طبیعتاً بازیابی و

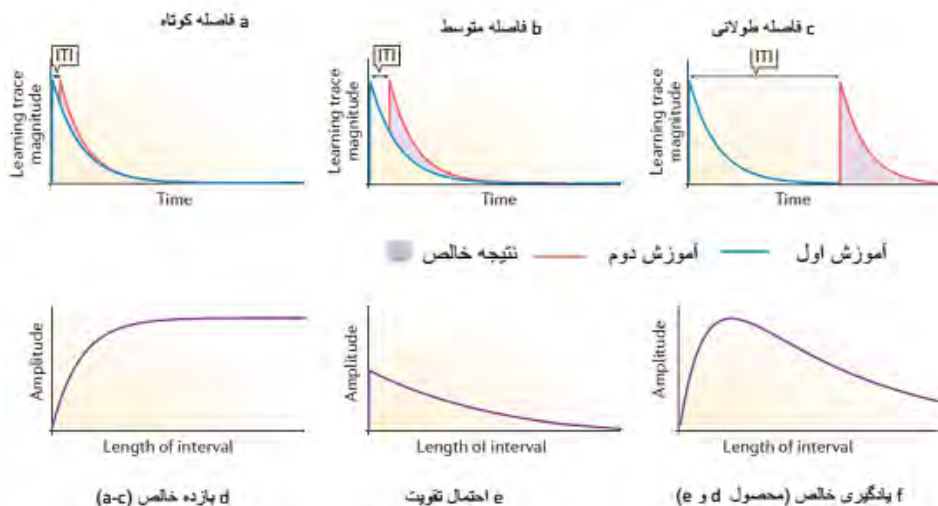


استخراج اطلاعات نیز بیشتر خواهد بود ( Benjamin & Tullis, 2010; Madigan, 1969; Melton, 1970).

**در فرضیه بازیافت:** ارائه فاصله‌دار محرک در بازیافت اطلاعات مؤثرتر از ارائه تجمعی آن‌هاست. زیرا هر فاصله موجب بازیابی و فعال شدن مجدد یک مسیر حافظه می‌شود. در مقابل، با مطالب تجمعی و فاصله‌های کوتاه، حافظه قبلی هنوز فعال است و بنابراین بازیافت فعال نمی‌شود و نمی‌توان حافظه را تقویت کرد (Greene, 1980; Tzeng & Cotton, 1989). در این فرضیه به اهمیت عدم فاصله طولانی نیز پرداخته شده است؛ زیرا در این شرایط مسیرهای قبلی حافظه نمی‌توانند بازیابی شوند (Siegel & Kahana, 2014).

**نظریه تثبیت حافظه:** عبارت است از انتقال اطلاعات از حافظه کوتاه‌مدت به حافظه بلندمدت. در سال ۱۹۰۰، مولر و پیل زاگر، اولین بار نظریه تثبیت را ارائه دادند (Lechner, Squire, & Byrne, 1999). آن‌ها عقیده داشتند که ضمن تثبیت حافظه، جریان عصبی برای مدتی بعد از یادگیری ادامه می‌یابد و فعالیت مکرر مسیرهای عصبی و افزایش ارتباطات سیناپسی به برقراری یادگیری مؤثر کمک می‌کنند و بنابراین اطلاعات وارد حافظه درازمدت می‌شود. با ورود اطلاعات به حافظه بلندمدت، احتمال از بین رفتن آن‌ها کاهش می‌یابد. به نظر می‌رسد هیپوکامپ در تثبیت حافظه نقش اصلی را داشته باشد (Winkler & Cowan, 2005).

فواصل کوتاه، برای تثبیت و جمع ناشی از آثار حافظه کافی نیستند. دوره مقاوم به نظر می‌رسد برای تکمیل مستعد شدن خارهای دندریتی (لازم به ذکر است که نورون‌ها دو دسته زائده دارند؛ دندریت‌ها و آکسون‌ها. دندریت‌ها برآمدگی‌های کوچکی هستند که در بسیاری از سیناپس‌ها وجود دارند) که تحریک شده بودند لازم باشد؛ اما توسط اولین محرک‌هایی که پشت سر هم اعمال شده بودند نیرومند نمی‌شوند. مستعد شدن به این خارها اجازه می‌دهد که پس از وارد کردن دومین محرک‌ها تشکیل یک مسیر بیوشیمیایی را دهند (شکل 2a, Id). شکل‌گیری چنین مسیرهایی که نیمه عمری طولانی دارند شرایط آموزش بهینه را فراهم می‌کند (Smolen, Zhang, & Byrne, 2016).



شکل ۱. مدل مفهومی اولیه چگونگی تولید مسیر یادگیری در یک بازه زمانی مطلوب. همان‌طور که توسط مدل اولیه لاندائو توصیف شد، آموزش فاصله‌دار مؤثرتر از آموزش تجمعی سبب تقویت برخی از مسیرهای مربوط به ذخیره‌سازی حافظه در مغز است، اگر چه این مدل مفهومی یک فرم بیوشیمیایی یا ساختاری برای مسیر فرض نیست. در این مدل فرض شده است که تشکیل حافظه با فواصل طولانی‌تر بین جلسات آموزشی به دلیل کاهش همپوشانی زمانی پی در پی، نسبت به یادگیری با فواصل کوتاه‌مدت، مؤثرتر است. (a-c) اثرات یادگیری دو نوع آموزش با فاصله کم و فاصله زیاد نشان داده شده است. زیرمجموعه‌ای که با خط قرمز نشان داده شده، بازه خالص آموزش تقویت شده است. فواصل کوتاه‌تر با همپوشانی بیشتر مسیرهای یادگیری و بازه خالص کمتر همراه هستند. بنابراین، آموزش تقویت شده پس از یک دوره استراحت طولانی‌تر مؤثرتر است. (d) در مجموع، سود خالص بیشتر، برای فواصل طولانی‌تر بین محرک رخ می‌دهد؛ برای فواصل بسیار طولانی، تأثیر جدیدی مشاهده نمی‌شود و نمودار مسطح می‌شود. در صورت عدم وجود فاصله، احتمالاً به دلیل همپوشانی بین مسیرها و آموزش پی در پی، یادگیری به صفر می‌رسد (قسمت ابتدای منحنی). (e) با فاصله زمانی بسیار طولانی بین آموزش‌ها، احتمال اثربخشی کاهش می‌یابد. (f) بازه زمانی بهینه برای به حداکثر رساندن قدرت مسیرهای حافظه بلندمدت زمانی حاصل می‌شود که فاصله تا حد معینی افزایش یابد و افزایش فاصله به بیش از آن حد، احتمالاً به آرامی سبب کاهش تقویت خواهد شد. فاصله بهینه برای یادگیری خالص آنی است که سبب ایجاد قله منحنی f شود (Smolen, Zhang et al. 2016). فاصله آموزشی: inter-trial interval (ITI).

یکی از اولین محققانی بود که مدلی مفهومی برای توضیح اثربخشی آموزش با فاصله را ارائه داد (Landauer & Ross, 1977). هر چند این مدل برای توضیح اثرات فاصله

کوتاه بر روی حافظه شکل گرفت، اما به راحتی می‌توان برای اثرات فاصله بلندمدت نیز آن را تعمیم داد (شکل ۱). این مدل بر دو فرض استوار است: (۱) جریان عصبی ایجاد شده به دنبال اولین یادگیری، اگر بدون فرصت زمانی باشد به اندازه کافی مسیرهای حافظه را تقویت نمی‌کند (شکل 1a)؛ بنابراین در یادگیری تجمعی بین مسیرهای حافظه همپوشانی ایجاد می‌شود که نتیجه آن اشباع غیر اختصاصی مکانیسم‌های ملکولی و کاهش آثار آن بر روی تثبیت حافظه است.

تنها زمانی که اثرات آزمایش اول (اولین آموزش) تنزل پیدا کند، اثرات آزمایش دوم (دومین آموزش) می‌تواند به طور کامل بیان شود (شکل 1b, c)، که منجر به حافظه قوی‌تری در فاصله طولانی‌تر می‌شود (شکل 1d).

فرض دوم این است که احتمال این که آزمایش دوم بتواند تنزل آزمایش اول را با گذشت زمان تقویت کند، وجود دارد. (شکل 1e).

از ادغام این دو فرض، یک بازه زمانی بهینه برای یادگیری با فاصله پیش‌بینی می‌شود (شکل 1d).

## ۲. مسیرهای مولکولی

پیشرفت قابل توجهی در درک مکانیسم‌های مولکولی حافظه صورت گرفته است. با توجه به این پیشرفت، در این بخش به مکانیسم‌های مولکولی بالقوه اثر فاصله در شکل‌گیری حافظه بلندمدت متمرکز می‌شود.

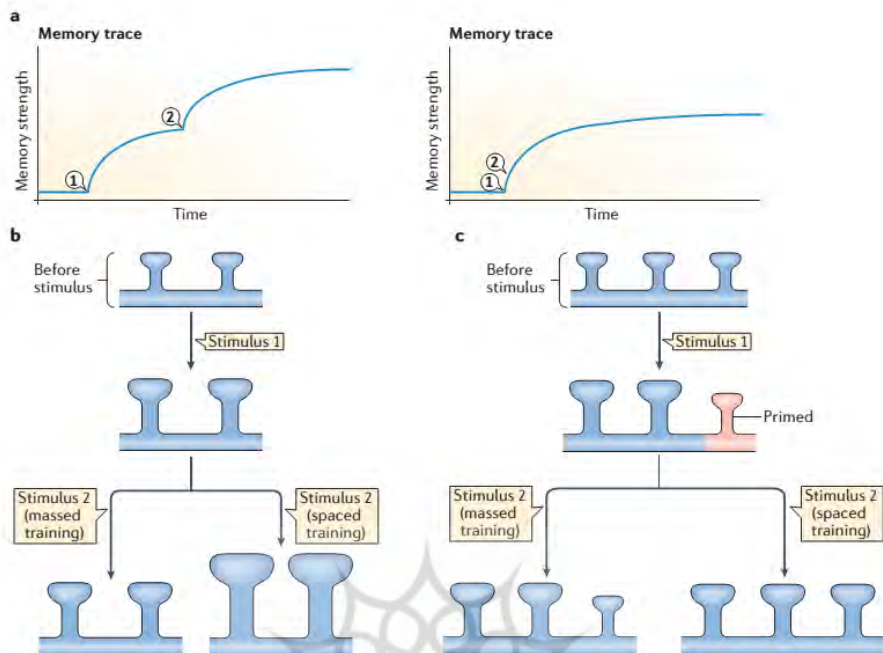
در حال حاضر توافق بر این موضوع وجود دارد که یادگیری حداقل، توسط تغییر در قدرت سیناپسی (شکل‌پذیری سیناپسی بین سلول‌های عصبی) وجود دارد. به عنوان مثال، خاطرات ترس شرطی شده را می‌توان به تناوب پاک کرد و یا دوباره برقرار نمود؛ از طریق سرکوب طولانی‌مدت (LTD) و یا تقویت طولانی‌مدت حافظه (LTP) (Nabavi et al., 2014). بنابراین، فرایندهای مولکولی که برای آموزش فاصله‌دار ضروری هستند ممکن است سبب تقویت LTP شوند.

ارتباط LTP در این مورد، بازسازی و طولی شدن خارهای دندریتی نوروها است (Bell et al., 2014)، بنابراین، مطالعه بازسازی خارهای دندریتی به دنبال محرک فاصله‌دار، احتمالاً بینشی در اثربخشی Spaced learning است. مطالعاتی که با استفاده از برش‌های هیپوکمپ (مرکز حافظه مغز) موش صورت گرفته نشان داده است که تحریکات مکرر، سبب افزایش تعداد خارهای دندریتی و افزایش LTP می‌شود (Bell et al., 2014; Bourne & Harris, 2011). و تحریک بعدی اعمال شده با فاصله ۶۰ دقیقه یا بیشتر بین آموزش، برای تقویت مناسب LTP لازم است (Cao & Harris, 2014). بازسازی خارهای دندریتی در فاصله دوره زمانی یک ساعته منجر به طولی و متراکم شدن آن‌ها می‌شود (Bell et al., 2011; Bourne & Harris, 2014) که نتیجه آن، افزایش بزرگی LTP است.

دو فرضیه که در بازسازی خارهای دندریتی درگیرند، اثربخشی مؤثرتر آموزش فاصله‌دار نسبت به آموزش تجمعی در شکل‌گیری حافظه را توجیه می‌کنند (Kramar et al., 2012). این فرضیه‌ها یک موضوع مشترک دارند و آن این که فرآیند یادگیری شامل دوره‌ای مقاوم است که طی آن اگر فاصله محرک دوم با محرک اول خیلی کم باشد، محرک اول بی اثر خواهد بود (شکل 2a).

یک فرضیه این است که یادگیری با فاصله اجازه می‌دهد که دوره مقاومت بر طرف شود و منجر به طولی شدن مکرر مجموعه‌ای از خارهای دندریتی و تقویت ارتباطات نورونی در محل سیناپس، به واسطه این برآمدگی‌ها شود (شکل 2b).

فرضیه دیگر (Lynch, Kram, Babayan, Rumbaugh, & Gall, 2013) و (Kramar et al., 2012) این است که فرایندهای مولکولی القاء LTP فعال شده توسط محرک فاصله‌دار، سبب شروع طولی شدن خارها نمی‌شوند. در این مورد، آموزش فاصله‌دار؛ اما نه تجمعی، اجازه شروع یک فرآیند مولکولی در این خارها را می‌دهد (مستعد کردن خارها). پس از آن، این برآمدگی‌ها با محرک بعدی تقویت می‌شوند و با مسیرهای حافظه ادغام می‌شوند (شکل 2c). در حال حاضر، اجزای مولکولی چنین روندی به خوبی شناخته شده نیستند.



شکل ۲. مدل‌های توصیف کننده تقویت سیناپسی در یادگیری فاصله‌دار. (a) در حالت مقاوم، محرک فاصله‌دار (پنل سمت چپ؛ محرک ۱، که با فاصله زمانی قابل ملاحظه‌ای توسط محرک شماره ۲ دنبال می‌شود) سبب تقویت مسیر حافظه می‌شود (جریان زمانی آبی). در مقابل، محرک تجمعی (پنل سمت راست؛ محرک ۱ که با فاصله زمانی کوتاهی توسط محرک شماره ۲ دنبال می‌شود) موفق به تقویت مسیر حافظه نیست. (b) تقویت سیناپسی در آموزش فاصله‌دار ممکن است به دلیل افزایش تقویت طولانی مدت (LTP) باشد (در اینجا به دلیل افزایش حجم دندریتی). بنابراین، در یکی از دو فرضیه فعلی توصیف کننده تقویت سیناپسی یادگیری فاصله‌دار، محرک ۱ سبب بزرگ شدن برآمدگی‌های دندریتی‌ها می‌شود. اگر محرک ۲ مدت کوتاهی پس از تحریک اول (که در آموزش تجمعی اعمال می‌شود) وارد شود، بر روی برآمدگی خارهای دندریتی تأثیر نمی‌گذارد. (c) در روش دیگر، افزایش LTP می‌تواند از دوره‌های پی در پی تقویت ارتباطات سیناپسی جدید حاصل شود. بنابراین، در فرضیه جریان دوم، محرک ۱ تنها بر روی یک زیر مجموعه از برآمدگی‌های دندریتی اثر می‌کند و بقیه را مستعد می‌کند. اگر محرک دوم مدت کوتاهی پس از محرک اول اعمال شود (همان‌طور که در آموزش تجمعی اتفاق می‌افتد)، بدون تأثیر است. اگر محرک ۲ با فاصله اعمال شود (همانند آموزش فاصله‌دار) زیرمجموعه دیگری از خارهای دندریتی را افزایش حجم نمی‌دهد. در عوض، محرک ۲ سبب طویل شدن آن دسته از خارهای دندریتی است که قبلاً مستعد شده بودند ولی با محرک شماره یک طویل نشده بودند (Smolen, Zhang et al. 2016). آموزش تجمعی: Massed training؛ آموزش فاصله‌دار: Spaced training.

در برش‌های ناحیه هیپوکامپ موش، اعمال محرک در فواصل ۱۰ یا ۴۰ دقیقه سبب افزایش LTP نمی‌شوند. با این حال، برای فواصل طولانی‌تر ۶۰ یا ۹۰ دقیقه افزایش در LTP مشاهده می‌شود. در این شرایط، هر محرک منجر به ساخت رشته‌های پروتئینی به نام اکتین در خارهای دندریتی شده که برای تثبیت LTP مهم است (Rex et al., 2009).

اگر محرک دوم در فاصله ۶۰ تا ۹۰ دقیقه اعمال شود، باعث ساخت اکتین در خارهایی است که ظاهراً تحت تأثیر محرک اول قرار نگرفته‌اند. در این حال، مستعد کردن خارها در تمام سیناپس‌ها رخ می‌دهد؛ اما افزایش قدرت ارتباطات سیناپسی و تثبیت فقط در تعدادی از سیناپس‌ها رخ می‌دهد. این خارهای مستعد شده‌ای که تثبیت و تقویت نشده‌اند، یک دوره مقاومت ۶۰ دقیقه‌ای را نشان می‌دهند که بیانگر این موضوع است که مستعد شدن نیاز به زمان دارد (شکل 2a). اگر محرک دوم پس از طی شدن دوره مقاومت اعمال شود، برخی یا تمامی خارهای مستعد شده تقویت خواهند شد. این اطلاعات موافق با فرضیه دوم است، زیرا اولین محرک ظاهراً سبب تحریک طویل شدن و تقویت تعدادی از خارها شده و بقیه را مستعد نموده است.

طیف بسیار گسترده‌ای از فواصل بین آموزش، از ثانیه تا روز برای یادگیری با فاصله استفاده می‌شود. برای مثال، در یادگیری بویایی زنبور عسل، فاصله کارآمد آموزش می‌تواند با فواصل کوتاه ۱ دقیقه رخ دهد.

در آزمایشی دیگر، دو شوک الکتریکی برای القاء LTP به کار رفت. ماکزیمم LTP زمانی بود که دو محرک به فاصله ۴۵ دقیقه اعمال می‌شدند (Philips, Tzvetkova, & Carew, 2007). در فاصله ۴۵ دقیقه، بسیاری از فاکتورهای فعال کننده حافظه طولانی‌مدت فعال می‌شدند.

به طور مشابه، آموزش با فاصله ۶۰ دقیقه، و نه ۲۰ یا ۱۲۰ دقیقه سبب افزایش یادگیری در موش‌ها می‌شد. با بررسی‌های به عمل آمده مشخص شد که علاوه بر فاکتورهای مورد نظر در

حافظه طولانی مدت، تعداد سیناپس‌های بین سلول‌های عصبی در گیر نیز افزایش داشته است (Kramar et al., 2012).

فعال شدن مجدد مسیرهای حافظه ممکن است به یک بستر زمانی اضافی (حتی تا یک هفته) نیاز داشته باشد. چنین فواصلی به احتمال زیاد به فعال شدن دوباره مسیرها و تقویت سیناپس‌های مرتبط با حافظه که توسط فعالیت شبکه عصبی حفظ می‌شوند، برمی‌گردد (Wei & Koulakov, 2014). یادگیری با چنین فاصله طولانی احتمالاً در جهت فعال کردن دوباره اجزای حیاتی این سیناپس‌ها است.

### فاصله نامنظم می‌تواند سبب افزایش یادگیری شود

تلاش برای بهینه‌سازی اثر فاصله به طور عمومی بر رویکردهای آزمون و خطا استوار است. در نتیجه، اکثر پروتکل‌های آموزشی، اگر نه همه، مورد استفاده در مطالعات حیوانی و انسانی احتمالاً مطلوب نیستند. تقریباً برای تمام الگوهای یادگیری، فواصل آموزشی ثابت هستند، اگر چه در یک نوع از الگوهای آموزش فاصله‌دار، فواصل بین جلسات به تدریج طولانی می‌شود (Cepeda, Pashler, Vul, Wixted, & Rohrer, 2006) با این حال، مطالعات انجام شده هیچ شاهد قابل توجهی در برتری این روش در شرایط شکل‌گیری و تقویت حافظه بلندمدت نشان نمی‌دهند (Karpicke & Roediger, 2010).

می‌توان از دانش پویایی مکانیزم حافظه به منظور افزایش حافظه پیش‌بینی شده توسط پروتکل‌های آموزش بهینه استفاده کرد، احتمالاً با فواصل نامنظم آموزشی؟ یکی از این روش‌ها توسعه مدل‌های آبخار بیوشیمیایی داخل سلولی (فعال شدن یک عامل و اثرگذاری بر روی عامل بعدی به شکل آبخاری) است که زمینه‌ساز شکل‌گیری حافظه است و استفاده از شبیه‌سازی به منظور تست سریع اثر بخشی پروتکل‌های آموزشی مختلف در حال آزمایش است (Zhang et al., 2012) در سال‌های اخیر، مدل‌ها پویایی واکنش‌های بیوشیمیایی که انتقال بی‌محرک به LTP را به عهده دارند توصیف می‌کنند (Kim, Huang, Abel, & Blackwell, 2010). هر آبخار پیام‌رسانی در این مدل نمایشگر یک دوره زمان مشخص است.

بنابراین، این احتمال وجود دارد که برخی از عواقب مربوط به این فواصل نامنظم، در به حداکثر رساندن القای LTP نقش مؤثری داشته باشند. به عنوان مثال، آموزش‌های بعدی که در زمان ارائه همزمان با قله فعالیت برخی فاکتورها همراه باشند، ممکن است یادگیری بهینه را تقویت کنند.

## آموزش فاصله‌دار و اهداف دارویی بهبود حافظه

با توجه به اینکه آبشار بیوشیمیایی می‌تواند به توسعه مدلی برای پیش‌بینی پروتکل‌های آموزش بهینه کمک کند، آیا این مدل‌ها همچنین می‌توانند برای پیش‌بینی اهداف دارویی بهبود حافظه استفاده شوند؟

زمان ممکن است برای چنین رویکردی ضروری باشد. برای مثال، نقص تقویت LTP، ممکن است توسط ترکیب با اثرات دارویی شناخته شده در مدل‌های حیوانی نجات داده شوند. اخیراً در یک مطالعه (Smolen, Baxter, & Byrne, 2014)، بررسی اثرات دارویی بر روی LTP با تغییر پارامترهای مدل (مانند CREB و...) صورت گرفته است. در این مدل، بزرگی القای LTP در ارتباط با یک افزایش در تغییرات سیناپسی تحریک شده با دارو بود. سپس، پارامترها با استفاده از داروی خاص تغییر داده شدند. به هر حال، اثرات داروی تکی به طور کامل سبب نجات LTP نشد. بنابراین، تنها جفت شدن تغییرات پارامترها با اثرات دوز قابل قبولی از داروها مثر ثمر خواهد بود. افزودن همزمان چند دارو، همزمان با فاصله مناسب آموزشی، یک اثر ترکیبی ایجاد می‌کند که بیش از اثرات منحصر دارویی است.

توسعه بیشتر از این استراتژی، و تست تجربی، ممکن است سبب افزایش شکل‌پذیری سیناپسی شود؛ زمانی که دارو درمانی با پروتکل طراحی فاصله ترکیب شده باشد (Lynch, Cox, & Gall, 2014).



## بحث

با توجه به شواهد موجود، به نظر می‌رسد که حداقل بخشی از بهبود یادگیری که با الگوهای آموزش فاصله‌دار یافت شده‌اند، می‌توانند توسط روابط پویا بین روش‌های آموزشی و مکانیسم‌های مولکولی اساسی سلولی مرتبط با حافظه توضیح داده شوند.

مطابق با نظریه‌های معرفی شده، تنها آموزش فاصله‌دار می‌تواند تمرینات شناختی کافی و یا فعالیت دوباره حافظه لازم برای حمایت از تثبیت حافظه بلندمدت را توجیه کند. همچنین ممکن است با یافته‌های تجربی مطابقت داشته باشد، که نتیجه آن برآمدگی دندریتی اضافی است که توسط مستعد شدن اولیه محرک‌های قبلی ایجاد شده است.

وجود طیف گسترده‌ای از فواصل بین آموزش، از ثانیه تا روز در افزایش بازده یادگیری در موجودات مختلف را چنین می‌توان توجیه کرد که احتمالاً فواصل کوتاه زمان لازم برای فعال شدن فاکتورهای کلیدی LTP و فعال کردن عوامل رونویسی از قبل ساخته شده است و فواصل طولانی‌تر در بیان ژن‌هایی خاص که زمان طولانی تری را می‌طلبد و تغییرات ساختاری قابل ملاحظه خارهای دندریتی، باشد.

با این حال، به نظر می‌رسد که نوعی مکانیسم رقابت بین یک فعال‌کننده حافظه بلندمدت و یک مهارکننده، بر اساس فواصل زمانی وارد عمل شوند. که احیاناً در فواصل زمانی کوتاه‌مدت، مهارکننده و در فواصل طولانی‌تر، فعال‌کننده درگیر باشد.

با توجه به مطالعات محدود انجام شده و نبود اطلاعات کافی از فرایندهای مولکولی، هنوز نمی‌توان اظهار نظر دقیقی در مورد راه‌هایی که مسیرهای پیام‌رسانی داخل سلولی در تولید حداقل و حداکثر فواصل می‌توانند با هم همکاری کنند، داشته باشیم. برای حداکثر فواصل، یک فرض کیفی معقول است که هر آموزش یا محرکی یک مسیر بیوشیمیایی جداگانه‌ای تولید می‌کند، برای فاصله یادگیری مؤثر، این آثار باید با هم همپوشانی داشته باشند و توانایی جمع‌پذیری و تقویت سیناپسی در ناحیه سیناپسی را داشته باشند. این پویایی شبیه به همپوشانی

در مدل مفهومی لاندر (شکل 1a-c) است. برای فواصل طولانی تر از حداکثر، مسیرهای بیوشیمیایی دچار نقص می‌شوند و با هم همپوشانی ندارند (Smolen et al., 2016).

مفهوم شرح داده شده در بالا این است که دامنه زمانی متعددی از آموزش فاصله‌دار ممکن است در فاصله آموزش درگیر باشد. مطالعات اندکی برای هر سیستم در تعیین حداقل و حداکثر فواصل مؤثر صورت گرفته است. اما با توجه به شواهد ارائه شده فوق، برای برخی گونه‌ها فواصل ۵-۱۰ دقیقه، و برخی دیگر ۴۵ دقیقه بهترین زمان است.

فعال‌سازی فاکتور رونویسی نیز به منزله اثری بیوشیمیایی مطرح است، و در برخی از سیستم‌های آموزشی تنها زمانی مؤثر است که فواصل بین آموزش به اندازه کافی زیاد باشد به طور مشابه، آموزش تجمعی بدون فاصله ممکن است به میزان کافی، یا مدت زمان کافی، فاکتورهای مورد نیاز برای حمایت و تثبیت حافظه بلندمدت را تضمین نکند (Fioriti et al., 2015) و (Pettigrew, Smolen, Baxter & Byrne, 2005).

فعال‌سازی دوباره حافظه شبیه محرکی است که با مستعد و نیرومند کردن شروع می‌شود. همچنین قابل قبول به نظر می‌رسد که فعال‌سازی دوباره حافظه ممکن است دور بیشتری از رونویسی از ژن‌های درگیر در LTP را القاء کند. نتیجه، حمایت از تحکیم و تثبیت هر چه بیشتر حافظه بلندمدت است (Bell et al., 2014).

برای ارتباط بیشتر، باید فرض کنیم که در فعال‌سازی دوباره حافظه، همان نورون‌ها و سیناپس‌های جلسات آموزشی اولیه فعال می‌شوند. در این راه، تمرین و یادگیری، حافظه را در همان مسیر تقویت می‌کنند. این فرض قابل قبول به نظر می‌رسد اما نیاز به تحقیقات بیشتر تجربی بیشتری دارد. یک مطالعه با استفاده از MRI عملکردی در طول یادگیری کلامی از این فرض حمایت می‌کند (Callan & Schweighofer, 2014)؛ در این مطالعه، یک منطقه خاص مغز که در ارتباط با تمرین حافظه کلامی است و در جلو نیمکره چپ مغز قرار دارد، در طول یادگیری فاصله‌دار نسبت به آموزش تجمعی بیشتر فعال شد.

جای امیدواری است که مدل‌های پیش‌بینی تعیین فواصل مطلوب آموزش و یادگیری در آینده نزدیک در دسترس خواهد بود، چرا که داده‌های مولکولی که برای توسعه چنین مدل لازم است و می‌تواند پویایی مسیرهای پیام‌رسانی برای LTP و حافظه بلندمدت مهم هستند را ترسیم کنند، همچنان به سرعت در حال تجمع و پیشرفت هستند. با این حال، با وجود پیشرفت در درک مکانیسم‌های مولکولی اثرات فاصله، برخی از جنبه‌های این اثر را نمی‌توان توسط مدل‌های فعلی توضیح داد و این مسیر مهمی برای تحقیقات آینده را تشکیل می‌دهند. برای مثال، در یادگیری کلامی انسان، یک همبستگی مثبت جالب بین طول فواصل بین آموزش یادگیری مؤثر و حفظ فاصله وجود دارد. فاصله آموزشی در رنج ۱ دقیقه تا ۳ ساعت منجر به یادگیری زبانی بزرگ‌تری نسبت به فاصله ۲ روز یا بیشتر می‌شود (Cepeda et al., 2006). اما با فاصله خیلی کم (کمتر از ۳۰ ثانیه)، یادگیری مؤثر نخواهد بود. این همبستگی بین فواصل آموزش نشان می‌دهد که فواصل آموزش طولانی‌تر، ترجیحاً مسیرهای حافظه با نیمه‌عمر بسیار طولانی‌تری ایجاد می‌کنند. تعیین این که آیا فعال‌سازی دوباره حافظه ذخیره شده در سطح شبکه در این فاصله امکان‌پذیر است، و یا این که آیا امکان انتقال این بازنمودها بین مناطق مختلف مغز وجود دارد، جالب خواهد بود.

چالش دیگر استفاده از استراتژی‌های نوآورانه در پیش‌بینی‌های نظریه‌های شناختی برای تأثیر فاصله است. به عنوان مثال، همبستگی عصبی تمرینات، موجه و مقبول بودن آنها، و فعال شدن نورون‌های خاصی که به عنوان یک منبع ذخیره‌سازی حافظه بلندمدت مطرح هستند، مهم است. به طور تجربی، آیا چنین فعال‌شدن‌های تکراری برای تداوم حافظه برای روزها یا بیشتر لازم است؟ و آیا در این فاصله فعال شدن خودبه‌خودی گروه‌های خاص نورونی اتفاق خواهد افتاد (Miller, Ayzenshtat, Carrillo-Reid, & Yuste, 2014). همچنان که تکرار یا تمرین گروه‌هایی که تجربیات اخیر را کد می‌کنند نیز مؤثر است (Wu & Foster, 2014).

## نتیجه گیری

علی‌رغم تشویق نوآوری‌ها در درک بهبود حافظه طولانی‌مدت، این دستکاری‌ها فاقد دقت لازم برای اثبات قطعی فعال شدن مجدد گروه خاصی از نورون‌ها هستند که برای تداوم حافظه بلندمدت ضروری‌اند. مطالعات آینده با استفاده از تکنیک اپتوژنیک (به معنی توانایی تحریک سلول‌های عصبی خاص در مغز به توسط یک باریکه از نور است. این تکنولوژی را مهمترین پیشرفت چند دهه اخیر در رشته علوم اعصاب می‌دانند) است. اگر بتوان سلول مغزی را کنترل کرد، می‌توان دریافت که قدرت آن‌ها چگونه است و از کجا می‌آید، چگونه بر روی ارگان‌ها و عصب‌ها تأثیر می‌گذارند و علاوه بر آن می‌توان دریافت که اگر بتوان کنترل مغز را به دست گرفت، درمان‌های جدیدی را نیز می‌توان ابداع کرد، مشکلات ناشی از عقب‌ماندگی ذهنی را درمان کرد و اختلالات عصبی و یا روانی که در مقابل یادگیری قرار دارند را رفع نمود (Smolen et al., 2016).

## منابع

- Beck, C. D. O., Schroeder, B., & Davis, R. L. (2000). Learning Performance of Normal and Mutant *Drosophila* after Repeated Conditioning Trials with Discrete Stimuli. *The Journal of Neuroscience*, 20(8), 2944–2953.
- Bell, M. E., Bourne, J. N., Chirillo, M. A., Mendenhall, J. M., Kuwajima, M., & Harris, K. M. (2014). Dynamics of nascent and active zone ultrastructure as synapses enlarge during long term potentiation in mature hippocampus. *Journal of Comparative Neurology*, 522(17), 3861–3884.
- Bello-Medina, P. C. (2013). Differential effects of spaced vs. massed training in long-term object-identity and object-location recognition memory. *Behavioural brain research*, 250, 102–113.
- Benjamin, A. S., & Tullis, J. (2010). What makes distributed practice effective? *Cognitive psychology*, 61(3), 228–247.

- Bhat, M. (2016). MODERN TRENDS IN EDUCATION DIFFERENT APPROACHES TO LEARNING. *Indian Journal of Applied Research*, 6(1).
- Bourne, J. N., & Harris, K. M. (2011). Coordination of size and number of excitatory and inhibitory synapses results in a balanced structural plasticity along mature hippocampal CA1 dendrites during LTP. *Hippocampus*, 21(4), 354–373.
- Bradley, A., & Patton, A. (2013). Spaced Learning: Making Memories Stick. Accessed at a [www.innovationunit.org/sites/.../Spaced\\_Learning-downloadable\\_1.pdf](http://www.innovationunit.org/sites/.../Spaced_Learning-downloadable_1.pdf).
- Callan, D. E., & Schweighofer, N. (2014). Neural correlates of the spacing effect in explicit verbal semantic encoding support the deficient processing theory. *Human brain mapping*, 31(4), 645–659.
- Cao, G., & Harris, K. M. (2014). Augmenting saturated LTP by broadly spaced episodes of theta-burst stimulation in hippocampal area CA1 of adult rats and mice. *Journal of neurophysiology*, 112(8), 1916–1924.
- Cepeda, N. J., Pashler, H., Vul, E., Wixted, J. T., & Rohrer, D. (2006). Distributed practice in verbal recall tasks: A review and quantitative synthesis. *Psychological bulletin*, 132(3), 354.
- Fioriti, L., Myers, C., Huang, Y.-Y., Li, X., Stephan, J. S., Trifilieff, P., et al. (2015). The persistence of hippocampal-based memory requires protein synthesis mediated by the prion-like protein CPEB3. *Neuron*, 86(6), 1433–1448.
- Greene, R. L. (1989). Spacing effects in memory: Evidence for a two-process account. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 15(3), 371.
- Jones, M. W., Errington, M. L., French, P. J., Fine, A., Bliss, T. V. P., Garel, S., et al. (2001). A requirement for the immediate early gene Zif268 in the expression of late LTP and long-term memories. *Nature neuroscience*, 4(3), 289–296.
- Karpicke, J. D., & Roediger, H. L. (2010). Is expanding retrieval a superior method for learning text materials? *Memory & Cognition*, 38(1), 116–124.

- Kim, M., Huang, T., Abel, T., & Blackwell, K. T. (2010). Temporal sensitivity of protein kinase a activation in late-phase long term potentiation. *PLoS Comput Biol*, 6(2), e1000691.
- Kramar, B. A., Babayan, A. H., Gavin, C. F., Cox, C. D., Jafari, M., Gall, C. M., et al. (2012). Synaptic evidence for the efficacy of spaced learning. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(13), 5121–5126.
- Landauer, T. K., & Ross, B. H. (1977). Can simple instructions to use spaced practice improve ability to remember a fact?: An experimental test using telephone numbers. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 10(3), (215–218).
- Lechner, H. A., Squire, L. R., & Byrne, J. H. (1999). 100 years of consolidation—remembering Müller and Pilzecker. *Learning & Memory*, 6(2), 77–87.
- Logan, J. M., Castel, A. D., Haber, S., & Viehman, E. J. (2012). Metacognition and the spacing effect: the role of repetition, feedback, and instruction on judgments of learning for massed and spaced rehearsal. *Metacognition and Learning*, 7(3), 175–195.
- Lynch, G., Cox, C. D., & Gall, C. M. (2014). Pharmacological enhancement of memory or cognition in normal subjects. *Frontiers in systems neuroscience*, 8.
- Lynch, G., Kramar, E. A., Babayan, A. H., Rumbaugh, G., & Gall, C. M. (2013). Differences between synaptic plasticity thresholds result in new timing rules for maximizing long-term potentiation. *Neuropharmacology*, 64, 27–36.
- Madigan, S. A. (1969). Intraserial repetition and coding processes in free recall. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 8(6), 828–835.
- Mauelshagen, J., Sherff, C. M., & Carew, T. J. (1998). Differential induction of long-term synaptic facilitation by spaced and massed applications of serotonin at sensory neuron synapses of *Aplysia californica*. *Learning & Memory*, 5(3), 246–256.
- McDougall, J., & Sanders, R. (2011). What our students have taught us about virtual learning. *Networks*.

- Melton, A. W. (1970). The situation with respect to the spacing of repetitions and memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 9(5), 596–606.
- Menzel, R., Manz, G., Menzel, R., & Greggers, U. (2001). Massed and spaced learning in honeybees: the role of CS, US, the intertrial interval, and the test interval. *Learning & Memory*, 8(4), 198–208.
- Miller, J.-e. K., Ayzenshtat, I., Carrillo-Reid, L., & Yuste, R. (2014). Visual stimuli recruit intrinsically generated cortical ensembles. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(38), E4053-E4061.
- Mioduser, D., & Betzer, N. (2008). The contribution of Project-based-learning to high-achievers' acquisition of technological knowledge and skills. *International Journal of Technology and Design Education*, 18(1), 59–77.
- Murre, J. M. J., & Dros, J. (2015). Replication and Analysis of Ebbinghaus' Forgetting Curve. *PloS one*, 10(7), e0120644.
- Nabavi, S., Fox, R., Proulx, C. D., Lin, J. Y., Tsien, R. Y., & Malinow, R. (2014). Engineering a memory with LTD and LTP. *Nature*.
- Pettigrew, D. B., Smolen, P., Baxter, D. A., & Byrne, J. H. (2005). Dynamic properties of regulatory motifs associated with induction of three temporal domains of memory in aplysia. *Journal of computational neuroscience*, 18(2), (163–181).
- Philips, G. T., Tzvetkova, E. I., & Carew, T. J. (2007). Transient mitogen-activated protein kinase activation is confined to a narrow temporal window required for the induction of two-trial long-term memory in Aplysia. *The Journal of Neuroscience*, 27(50), 13701–13705.
- Raman, M., McLaughlin, K., Violato, C., Rostom, A., Allard, J. P., & Coderre, S. (2010). Teaching in small portions dispersed over time enhances long-term knowledge retention. *Medical teacher*, 32(3), 250–255.
- Rex, C. S., Chen, L. Y., Sharma, A., Liu, J., Babayan, A. H., Gall, C. M., et al. (2009). Different Rho GTPase-dependent signaling pathways initiate sequential steps in the consolidation of long-term potentiation. *The Journal of cell biology*, 186(1), 85–97.

- Rey, A. E., Vallet, G. T., Riou, B., Lesourd, M., & Versace, R. m. (2015). Memory plays tricks on me: Perceptual bias induced by memory reactivated size in Ebbinghaus illusion. *Acta psychologica*, 161, 104–109.
- Robbins, D., & Bush, C. T. (1973). Memory in great apes. *Journal of Experimental Psychology*, 97(3), 344.
- Siegel, L. L., & Kahana, M. J. (2014). A retrieved context account of spacing and repetition effects in free recall. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 40(3), 755.
- Smolen, P., Baxter, D. A., & Byrne, J. H. (2014). Simulations suggest pharmacological methods for rescuing long-term potentiation. *Journal of theoretical biology*, 360, 243–250.
- Smolen, P., Zhang, Y., & Byrne, J. H. (2016). The right time to learn: mechanisms and optimization of spaced learning. *Nature Reviews Neuroscience*, 17(2), 77–88.
- Tzeng, O. J., & Cotton, B. (1980). A study-phase retrieval model of temporal coding. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, 6(6), 705.
- Wei, Y., & Koulakov, A. A. (2014). Long-term memory stabilized by noise-induced rehearsal. *The Journal of Neuroscience*, 34(47), 15804–15815.
- Winkler, I. n., & Cowan, N. (2005). From sensory to long-term memory: evidence from auditory memory reactivation studies. *Experimental psychology*, 52(1), 3–20.
- Wu, X., & Foster, D. J. (2014). Hippocampal replay captures the unique topological structure of a novel environment. *The Journal of Neuroscience*, 34(19), 6459–6469.
- Zhang, Y., Liu, R.-Y., Heberton, G. A., Smolen, P., Baxter, D. A., Cleary, L. J., et al. (2012). Computational design of enhanced learning protocols. *Nature neuroscience*, 15(2), 294–297.



# Distance Learning: Creating the Right Space for Neuroscience in the Classroom

Firoze Alavian<sup>1</sup>

## Abstract

New knowledge pays close attention to the importance of boosting memory, increasing the capacity of brain cells, and increasing the ability to reading out data. Nowadays, educational science experts offer a variety of methods for learning more effectively and strengthening memory, one of which is distance learning. In fact, distance learning is a learning method to minimize forgetfulness in which learning content is summarized in three times and three repetitions. Between these three repetitions, there are two stages of rest, during which physical activity completely different from the subject of the lesson is done by the learners. The aim of this study is to get acquainted with a special method that, with flexibility, helps to make proper connections between brain cells and increase learning efficiency. This research is of qualitative type. To achieve the goals, analytical method was used. In this study, the effectiveness of distance learning was confirmed by considering strengthening memory-related pathways and molecules activated in this pathway.

**Keywords:** Distance Learning, Education, Memory.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی  
رتال جامع علوم انسانی

---

<sup>1</sup> Assistant professor, Basic Sciences Department, Farhangian University, IRAN,  
f.alavian@cfu.ac.ir