

مبانی نظری علوم اعصاب overview & Neurons I

سعید تقوی^۱

مهم‌ترین پرسش علوم شناختی محاسباتی، چگونگی پردازش اطلاعات در سطوح مختلف مغز است. موضوعات و مسائل اصلی مورد مطالعه و پژوهش در حوزه پهناور علوم اعصاب محاسباتی را می‌توان به صورت‌های گوناگون شمارش و دسته‌بندی کرد. در این دوره از بین حوزه‌های متفاوت علوم اعصاب محاسباتی، تمرکز ما بیشتر بر روی مدل‌سازی تک نورون، مدل‌سازی جمعیت‌های نورونی و فعالیت شبکه، حافظه و انعطاف‌پذیری سیناپسی و بررسی مسیر اطلاعات در شبکه‌های نورونی می‌باشد. فرآیندهای زیر سلولی نظیر تولید و انتقال ناقل‌های عصبی، شکل و هندسه سلول عصبی، نحوه کارکرد کانال‌های یونی و موارد دیگر بسیار پیچیده هستند، با این حال ما می‌توانیم بررسی خود را از مدل‌سازی تک نورون آغاز کنیم. سلول‌های عصبی را دو دسته سلول که از دید ساختاری کاملن ناهمسان هستند تشکیل می‌دهند؛ این دو دسته عبارتند از:

- سلول‌های تحریک‌پذیر (نورون‌ها) که مسئول پردازش و انتقال اطلاعات هستند.
- سلول‌های تحریک‌ناپذیر (سلول‌های گلیال در برگیرنده: آستروسیت‌ها، میکروگلیال‌ها، و الیگودندروسیت‌ها) و سلول‌شوان نام‌برد؛ که وظیفه حمایت و تغذیه دستگاه عصبی را بر عهده دارند.

نورون‌ها سه بخش اصلی دارند: جسم سلولی، دندريت و آکسون. جسم سلولی بخشی از نورون است که دارای هسته بوده و تولید موادی را که نورون برای رشد و انجام وظایفش به آنها نیاز دارد تنظیم می‌کند. دندريت، انشعابات سلول عصبی که اطلاعات را دریافت می‌کند و آن را به جسم سلولی می‌برد. آکسون، بخشی از سلول عصبی است که اطلاعات را از جسم سلولی به سمت سلول‌های دیگر هدایت می‌کند. در اغلب اوقات هر سلول عصبی فقط یک آکسون دارد. سه دسته کلی نورون داریم: نورون‌های حسی (آوران)، حرکتی (وابران) و میانجی (ارتباطی). نورون‌های آوران، تحریکات حسی دریافت شده توسط گیرنده‌های حسی را به دستگاه عصبی می‌رسانند. نورون‌های وابران، حامل پیام‌هایی هستند که از مغز یا نخاع به اعضای پاسخ‌دهنده مانند عضلات و یا غده‌ها می‌روند. نورون‌های ارتباطی، از اندام‌های حسی پیام‌هایی دریافت می‌کنند و تکانه‌هایی را به سایر نورون‌های میاجی یا نورون‌های حرکتی می‌فرستند. این نورون‌ها فقط در مغز و چشم و نخاع وجود دارد. نورون‌ها تقسیم نمی‌شوند. نورون‌ها، اصلی‌ترین سلول‌های عصبی هستند. بین سلول‌های بدن، نورون‌ها به خاطر قابلیت‌شان در انتشار سریع سیگنال‌ها در مسافت‌های بزرگ بسیار خاص و قابل توجه هستند. این سلول‌ها وظیفه انتقال داده‌های عصبی را بردوش دارند. آن‌ها این کار را از راه تولید و هدایت پالس الکتریکی مشخصی به نام پتانسیل عمل (اسپایک) انجام می‌دهند؛ اسپایک‌هایی در ولتاژ که می‌توانند در طول رشته‌های عصبی حرکت کنند. اسپایک‌ها گذارهای سریع، و کوتاه مدت و نوک تیزی در ولتاژ الکتریکی (اسپایک‌های ولتاژ) و یا در جریان الکتریکی (اسپایک‌های جریان) هستند.

از اواخر قرن هجده نشان داده شده که حرکت پاهای قورباغه مرده با «الکتریسته حیوان» ایجاد می‌شود، فرضیه‌های مختلفی درباره این که چگونه ممکن است اعصاب، شبیه سیم، پیام‌های الکتریکی را انتقال دهند و چگونه می‌توانند موجب انقباض عضلانی شوند، پیشنهاد شده است. از چند لحاظ، نورون بسیار شبیه دیگر انواع سلول‌ها است. آنچه نورون را مثلن از سلول کبد متمایز می‌کند، دو ویژگی کلیدی است:

¹Email: s.taghavi@iasbs.ac.ir

● غشا سلول تحریک پذیر است؛ یعنی ویژگی ای دارد که آن را برای ایجاد پیام های الکتریکی مبنای ارتباط ها توانمند می کند؛

● نورون ها از نظر شکل می توانند خیلی متنوع و خیلی بلند باشند.

وقتی نورون ها را زیر میکروسکوپ نگاه می کنیم، مشخص می شود که آنها می توانند به اشکال متفاوت ظاهر شوند؛ ولی به هر حال تمام نورون ها الگوی بنیادینی مشابهی دارند و نواحی مختلف سلول (جسم سلولی یا سُم، اکسون، دندریت، پایانه ها و موارد دیگر)، کنش های ویژه ای را بر عهده دارند. این آرایش در شکل نشان داده شده است. در اولین قدم سعی می کنیم که به کمک ریاضیات و فیزیک رفتار غشا نورون ها را مدل سازی کنیم.

۱ غشا نورون

غشا نورون از فسفولیپیدها تشکیل شده است. فسفولیپیدها مولکول های بزرگی هستند که دارای یک سر آب دوست و یک سر آب گریز می باشند. محیط درون و بیرون سلول ها همواره سراسر آب است به همین دلیل برای پایداری بیشتر، دو صفحه فسفولیپید به طوری قرار میگیرند که سر آبگریز آن ها به هم نزدیک و سر آب دوست آن ها در دو طرف قرار دارد. بنابراین غشا نورون تشکیل شده است از یک دو لایه فسفولیپید که سر آب دوست آن ها در دو طرف صفحه قرار دارد و سر آب گریز آن ها در دو وسط این صفحه قرار دارد.

غشا سلول قسمت درون سلول را از بیرون سلول جدا می کند. با اینکه در هر دو طرف غشا (درون و بیرون)، ماده غالب آب است اما ترکیب آب درون و بیرون سلول با هم متفاوت است. ترکیب آب بیرون سلول بسیار شبیه به ترکیب آب دریاست، به این معنی که غلظت یون های سدیم و کلر در آن زیاد است؛ این مسئله را می توان به نحوی به خاطره سلول ها از تکامل نیز تعبیر کرد. همانطور که می دانید، اولین سلول های زنده در آب دریا ها بوجود آمده اند و هنوز هم ترکیب آب بیرون سلول ها شبیه به محیط های اولیه ایست که سلول های اولیه در آن تشکیل شده اند. غشا سلول از چربی (فسفولیپید دولایه) تشکیل شده است که حالت عایق (نارسانا) را ایجاد می کند؛ مثل خازن که می تواند بار الکتریکی را ذخیره کند. گفتیم که غشا سلول علی الاصول نارساناست، اما غشای سلول عصبی پر از پرتئین هایی است که به شکل منافذ یا مجاری نفوذ، به یون ها اجازه عبور می دهند؛ این منافذ را کانال های یونی می نامند. گذر بار از کانال های یونی می تواند کنترل شود. این کنترل گذر بارها از کانال ها را می توان به وجود نوعی هوشمندی در سلول ها تعبیر کرد. توانایی ذخیره و اضافه شدن بار و سپس از دست دادن آن به آرامی با نفوذ و نشت از کانال ها اتفاق می افتد که برای کنش عصبی بسیار اساسی است.

۱.۱ کانال های پتاسیم

علاوه بر نشت و نفوذ غیر انتخابی کانال ها، در غشا کانال هایی داریم که فقط به یون پتاسیم اجازه عبور می دهند. پمپ یونی غلظت پتاسیم را درون نورون ۳۰ تا ۴۰ بار بیشتر از بیرون نگه می دارد.

$$\Phi(r) = \frac{-GM}{\sqrt{r^2 + b^2}} \quad (1)$$

که توسط چگالی ۲ ایجاد می شود

$$\rho(r) = \frac{3M}{4\pi b^3} \left(1 + \frac{r^2}{b^2}\right)^{-5/2}. \quad (2)$$

برای محاسبه مدار ها ابتدا باید به کمک مشتق گیری از پتانسیل، شتاب وارد بر یک ذره درون این پتانسیل را بدست آوریم.

$$\vec{a} = -\nabla\Phi \quad (3)$$

$$\begin{cases} \ddot{r} = -\frac{\partial}{\partial r}\Phi = \frac{-GM}{(r^2+b^2)^{3/2}} \\ \ddot{\varphi} = 0 \Rightarrow \dot{\varphi} = \text{cte.} \Rightarrow \varphi = \alpha t + \varphi_0 \end{cases}$$

روابط ۳، معادلات حرکت ذره درون پتانسیل ۱ هستند و به کمک آن ها می توانیم مدار ذره را در این پتانسیل به دست بیاوریم.

انتظار می رود که پتانسیل گرانشی مرتبط با کهکشان ها با زمان تغییر کند. تحت این شرایط کمیت هایی نظیر انرژی، نقاط اوج و حضیض و همچنین فرکانس تک تک مدار ها دیگر پایسته نیستند. بر این اساس مطالعه چگونگی تأثیرگذاری پتانسیل های وابسته به زمان روی ساختار مدارها از اهمیت خاصی برخوردار است. برای دستیابی به این هدف، مدلی ساده از یک کهکشان ماهواره ای را در نظر می گیریم که با یک کره پلامریکپارچه می شود؛ و جرم کره پلامر بر اساس رابطه ۴ تغییر می کند.

$$M(t) = M_0 \exp(t/t_{scale}) \quad (4)$$

Hi I am saeed