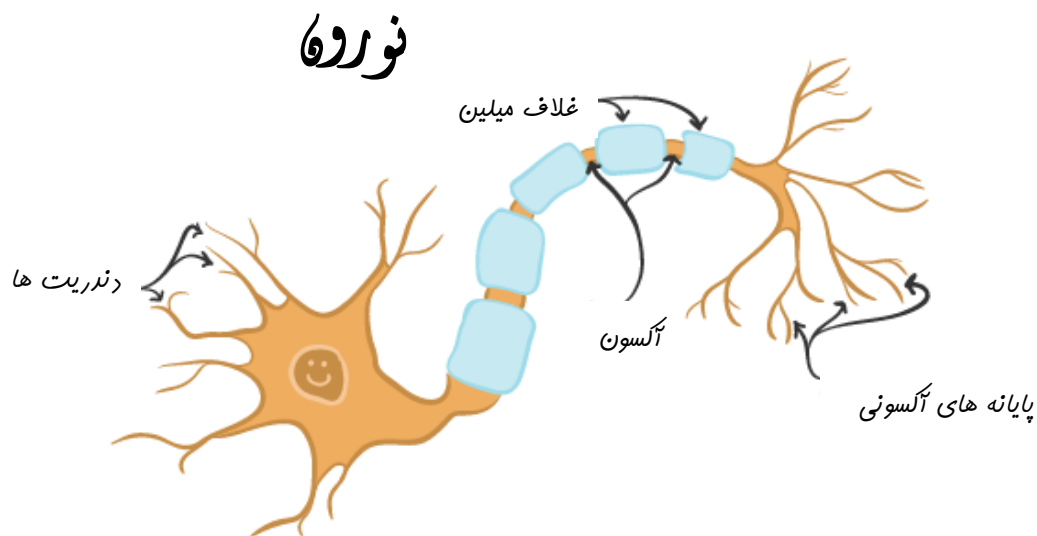


## اسپایک (تیزه) یا پتانسیل عمل (action potential)

همانطور که می دانید پتانسیل عمل زبان نوروها برای ارتباط برقرار کردن باهم است. به عبارتی وقتی یک نورو به آستانه ی تحریکش برسد اسپایک می زند یا به عبارتی پیغ می کشد. حالا می فوایم یکم دقیق تر درباره ی ماهیت بیوشیمیایی (بررسی از لحاظ زیستی و شیمیایی) پتانسیل عمل و سافتار نوروها برونییم.



شکل ۱: سافتار یک سلول عصبی به طور کلی

سافتار سلول عصبی از سه بخش کلی تشکیل شده:

۱. دندریت ها
۲. جسم سلولی
۳. آکسون ( در اغلب سلول ها غلاف میلین بر روی آکسون وجود دارد که جلوتر توضیح می دیم )

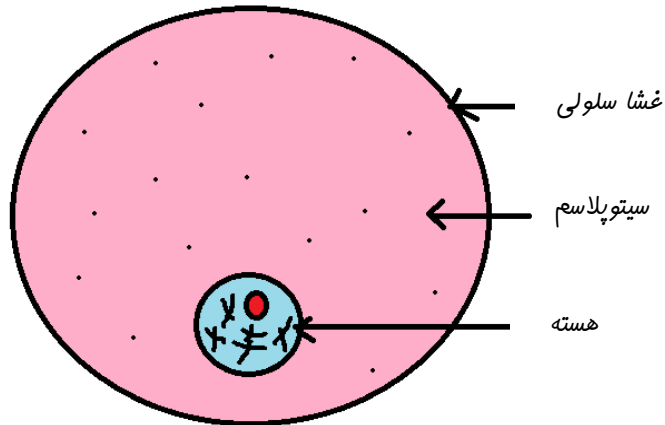
اگر بفوایم نوروها را به یک ماشین تشبیه کنیم، دندریت ها اطلاعات را دریافت می کنند و ورودی ماشین هستند. جسم سلولی نقش هسته ی مرکزی برای پردازش اطلاعات را داشته و آکسون ها اطلاعات پردازش شده را منتقل یا به عبارتی فروبی ماشین هستند.

سلول‌های بدن ما به طور کلی سه بخش دارند: (همان‌طور که در شکل می‌بینید).

۱. هسته

۲. مایع سیتوپلاسمی (مایعی که فضای درونی سلول را دربر گرفته است و شامل یون‌ها، اندامک‌ها و ... می‌شود).

۳. غشا سلولی



شکل ۲: ساختار کلی سلول‌ها

غشا سلولی از مولکول‌های لیپیدی (لیپیدها دسته‌ای از مولکول‌های بزرگ مهم درون سلول‌ها هستند که بارزترین مثال آن‌ها چربی‌هاست که با آن‌ها آشنا هستیم) و پروتئین‌ها (به نسبت فیلی کمتر از لیپیدها) تشکیل شده است. عبور مواد از غشا به چند روش صورت می‌گیرد. مولکول‌های کوچک همانند اکسیژن و کربن دی‌اکسید و تا حدودی آب از طریق انتشار ساده (یعنی جابه‌جایی از جایی که غلظت بیشتر است به جایی که غلظت کمتر می‌باشد از طریق غشا نیمه تراوا<sup>۱</sup>) از غشا عبور می‌کنند ولی مولکول‌های بزرگتر به کمک پروتئین‌ها جابه‌جا می‌شوند. دو نوع از انواع پروتئین‌های غشایی عبارتند از: کانال‌های پروتئینی و پمپ‌ها. (هر دو مفهومی هستند که به مولکول‌ها اجازه عبور از غشا را می‌دهند).

کانال‌ها وظیفه‌شان جابه‌جایی موادی مثل یون‌ها در جهت شیب غلظت (انتشار تسهیل شده<sup>۲</sup>) و پمپ‌ها دقیقاً برعکس، جابه‌جایی آن‌ها در خلاف جهت شیب غلظت است. چون پمپ‌ها یون‌ها را در جهتی جابه‌جا می‌کنند که دوست ندارند بدن (!) باید انرژی مصرف کنند، (انتقال فعال<sup>۳</sup>)

انواع کانال‌ها (به طور کلی) ← دریچه دار (gated channels): با محرک‌های خاصی باز می‌شوند.

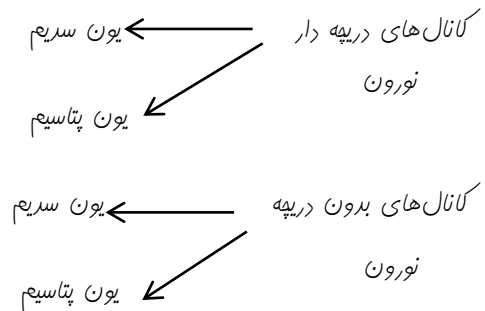
← بدون دریچه (non-gated channels): همیشه باز هستند.

۱. غشا نیمه تراوا غشایی است که به مولکول‌های مشخصی اجازه عبور می‌دهد؛ یعنی نفوذپذیری انتخابی دارد.

۲. انتشار تسهیل شده انتشاری است که به کمک کانال‌ها صورت می‌گیرد.

۳. انتقال فعال نوعی دیگر از جابه‌جایی مواد با کمک پروتئین‌ها می‌باشد که در آن انرژی مصرف می‌شود و جابه‌جایی در خلاف جهت شیب غلظت می‌باشد.

حال اگر بفواهیم اختصاصی تر در مورد کانال‌هایی که در پتانسیل عمل سلول‌های عصبی نقش دارند حرف بزنیم، باید دسته بندیشون کنیم. نورون‌ها هم کانال‌های دریچه دار دارند هم کانال‌های بدون دریچه که هر دو نوع مربوط به یون‌های سدیم و پتاسیم است :

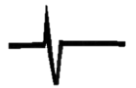


خب حالا به نظرتون یون سدیم و یون پتاسیم دوست‌دارن بیان تو سلول یا برن بیرون؟

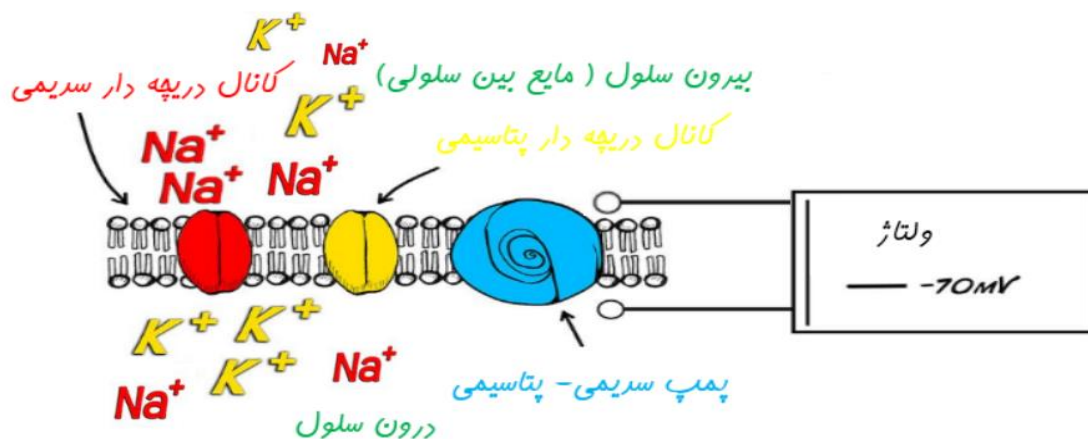
در حالت استراحت سلول یعنی زمانی که سلول تفریک نشده و بیج نمی زند، یون پتاسیم در داخل سلول بیشتر از خارج سلوله پس در حالت طبیعی طبق شیب غلظت، یون پتاسیم دوست‌دارد از سلول بیرون برود و از طریق کانال‌های بدون دریچه پتاسیمی خارج می شود. یون سدیم برعکس پتاسیم غلظتش خارج از سلول ( یعنی در مایع بین سلولی) بیشتر است. پس دوست دارد به درون سلول برود و از طریق کانال‌های بدون دریچه سدیمی وارد سلول می شود.

پمپی که به صورت اختصاصی در پتانسیل عمل نقش دارد پمپ سدیمی- پتاسیمی می باشد. این پمپ در طی هر فعالیت خود دو یون پتاسیم را وارد سلول و سه یون سدیم را از سلول خارج می کند.

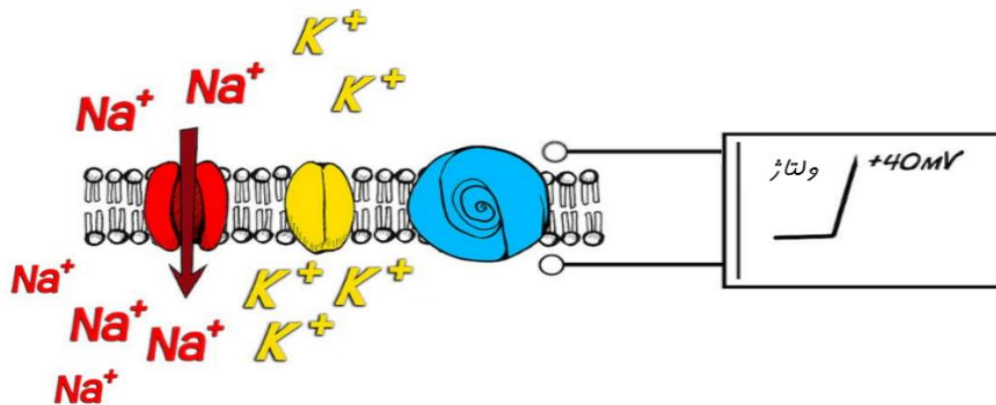
تعداد کانال‌های بدون دریچه پتاسیمی بیشتر از کانال‌های بدون دریچه سدیمی است. پس تعداد یون‌های پتاسیم خارج شده بیشتر از تعداد یون‌های سدیم وارد شده است. از طرفی طی هر فعالیت پمپ، یک بار مثبت از سلول خارج می شود.



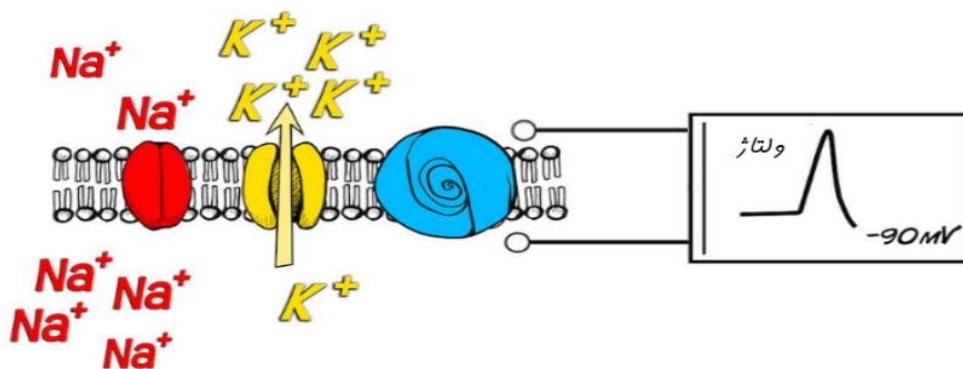
بیشتر بودن کانال‌های بدون دریچه پتاسیمی و فعالیت پمپ، باعث می‌شوند که در حالت استراحت بین داخل سلول و خارج آن ( مایع بین سلولی) اختلاف پتانسیلی به وجود بیاد که به آن پتانسیل استراحت (**resting potential**) می‌گویند. پتانسیل استراحت حدود  $-70$  میلی ولت ( یا در برخی منابع ممکنه بین  $-65$  تا  $-75$  میلی ولت ) می‌باشد.



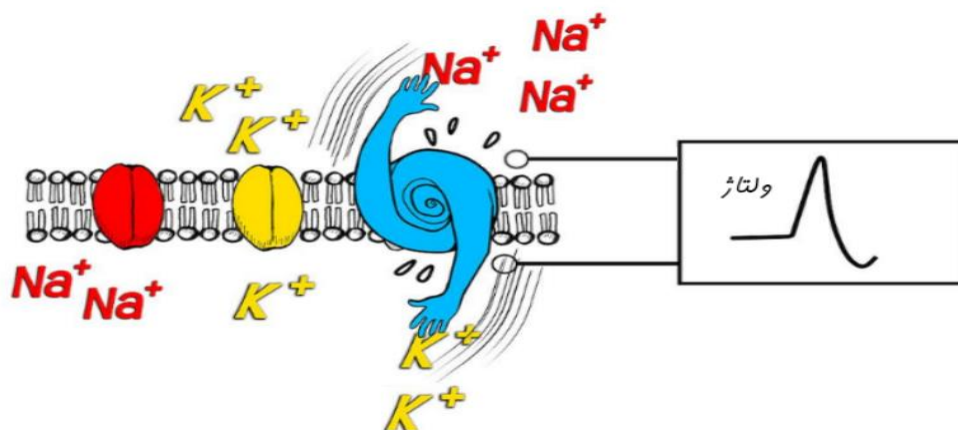
وقتی محرک نورون خاصی به اندازه کافی قوی باشد که بتواند نورون را به حد آستانه اش برساند باعث می شود نورون اسپایک بزند. این اسپایک از طریق جابه جایی یون های پتاسیم و سدیم از طریق کانال های دریچه دار صورت می گیرد. یعنی محرک باعث می شود کانال های دریچه دار سدیمی باز شده و یون سدیم که دوست دارد بیاد درون سلول به سرعت وارد شده و این انتقال باعث می شود پتانسیل تغییر کرده و به  $+40$  (در برخی منابع ممکنه  $+30$  ببینید) برسد.



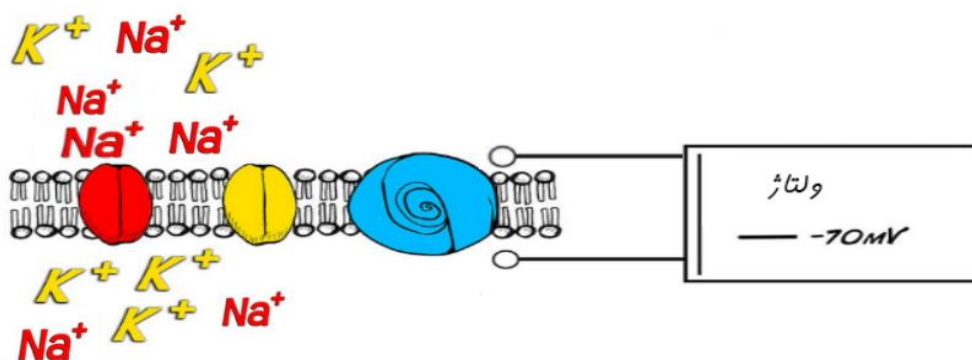
وقتی پتانسیل به  $+40$  رسید کانال های دریچه دار سدیمی بسته می شوند. حالا کانال های دریچه دار پتاسیمی که به ولتاژ حساس هستند به دلیل این تغییر پتانسیل باز شده و حجم زیادی از یون پتاسیم از سلول خارج شده و باعث می شود پتانسیل به حدودی  $-90$  برسد.



در این زمان فعالیت پمپ سدیمی-پتاسیمی افزایش می یابد (توجه کنید پمپ همیشه فعالیت دارد ولی الان فعالیتش بیشینه شده است) و پتانسیل عمل پایان می یابد.

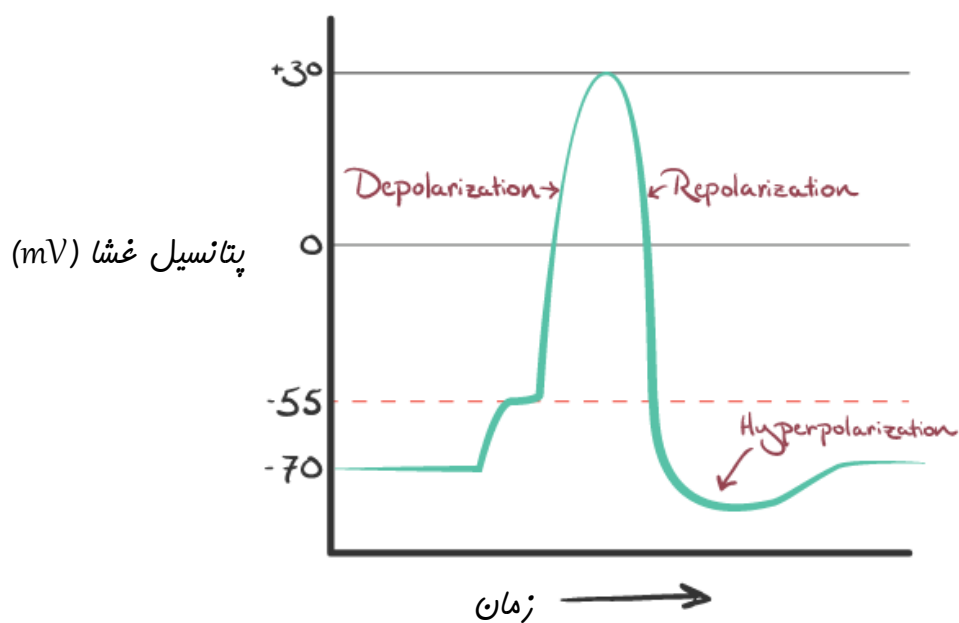


در زمانی که پتانسیل به  $-90$  میلی ولت رسیده است آستانه ی نورو ن تغییر می کند یعنی برای تحریک شدن نورو ن در این زمان شدت محرک باید بیشتر از حالت عادی باشد.



نمودار پتانسیل عمل؛

### پتانسیل غشا در طول پتانسیل عمل



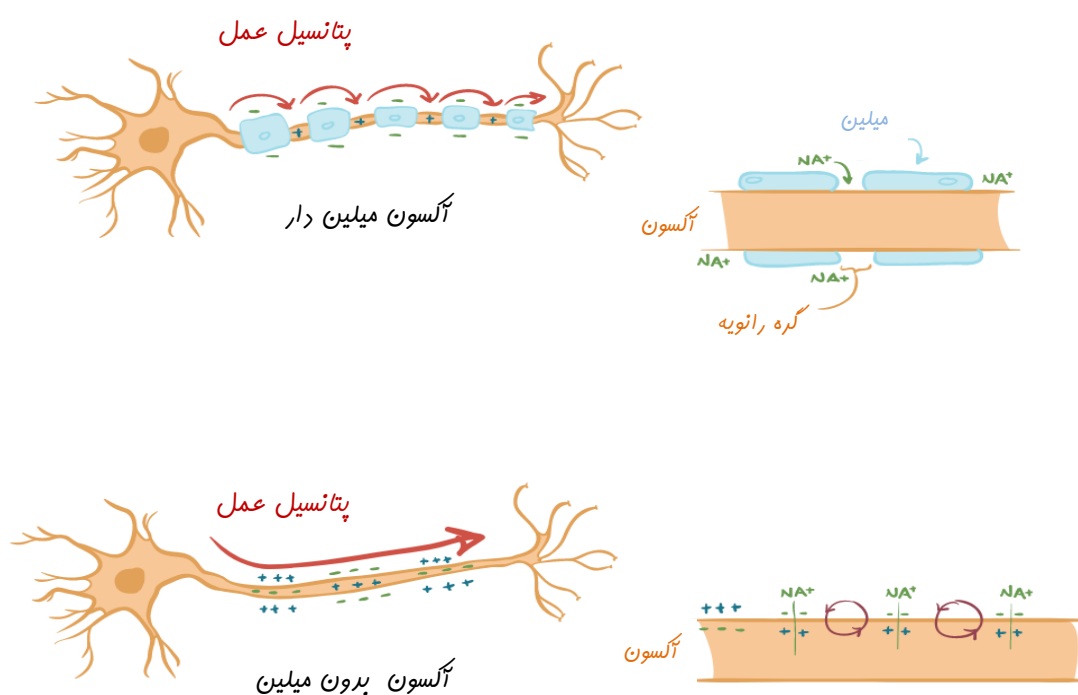
شب بالا بیابان از روی نمودار در مورد پتانسیل عمل حرف بزنیم. در حالت اول که سلول در حالت استراحت پتانسیل  $-70$  را داریم. بعد محرک ایجاد شده و پتانسیل سلول به  $-55$  می‌رسد. (معمولاً هر محرکی که شدت آن به اندازه‌ای باشد که بتواند پتانسیل را به تقریباً  $-55$  برساند توانایی ایجاد اسپایک را دارد.) پتانسیل عمل معمولاً از ابتدای آکسون آغاز می‌شود. (زیرای در ابتدای آکسون تعداد کانال‌های دریچه دار سریمی بیشتر است.) به مرحله اول یا همون وارد شدن یون‌های سریم و رسیدن پتانسیل به  $+40$  یا  $+30$ ، **depolarization** و به مرحله دوم که خارج شدن یون‌های پتاسیم و رسیدن پتانسیل به کمتر از پتانسیل استراحت **repolarization** و به مرحله سوم که فعالیت پمپ سریمی-پتاسیمی افزایش یافته و نوروں سفت‌تر تحریک می‌شود **hyperpolarization** گفته می‌شود.

پتانسیل عمل ایجاد شده در نوروں برای انتقال باید به سمت پایانه‌های آکسونی حرکت کند. این انتقال نقطه به نقطه صورت می‌گیرد؛ یعنی وقتی در قسمتی از غشا پتانسیل عمل ایجاد شد و یون‌های سریم وارد شدند، این یون‌های سریم می‌توانند بر روی کانال‌های دریچه دار سریمی مجاور تاثیر گذاشته و آن‌ها را باز کرده و پتانسیل عمل را در نقطه بعدی ایجاد کنند.

اگر پیام های عصبی قرار بود به این صورت حرکت کنند نسل بشر تا الان منقرض شده بود !!

حرکت نقطه به نقطه سرعت بسیار پایینی دارد. بنابراین برای حل این مشکل غلاف های میلین آفریده شدند!

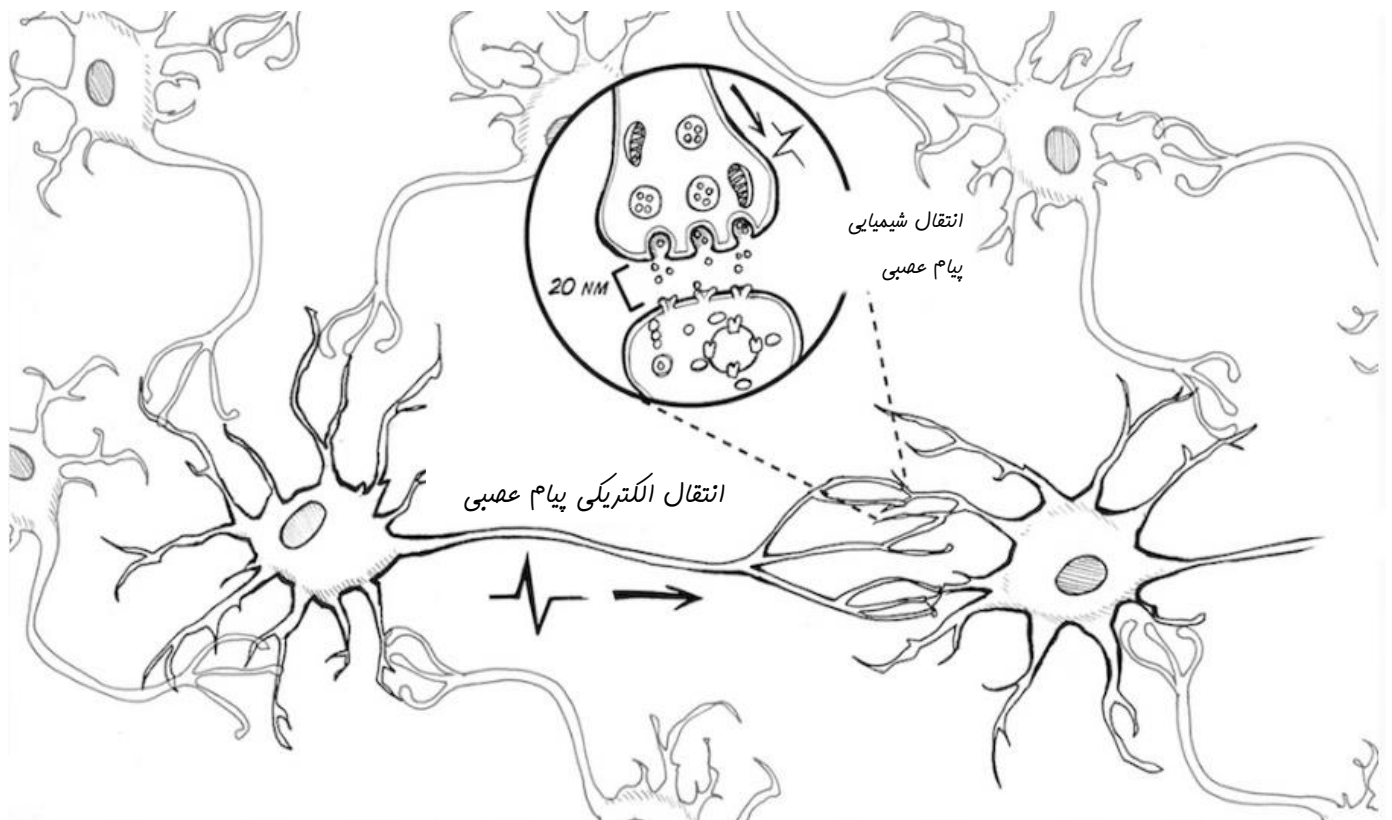
غلاف میلین از جنس غشا بوده و نمی تواند پیام عصبی را منتقل کند. در واقع نقش عایق را دارد (پتانسیل عمل در آن ایجاد نمی شود). و کمک می کنند پیام عصبی به جای حرکت نقطه به نقطه، جهش داشته باشد و تنها در نقاطی که غلاف میلین نیست یعنی گره های رانویه ایجاد شود.



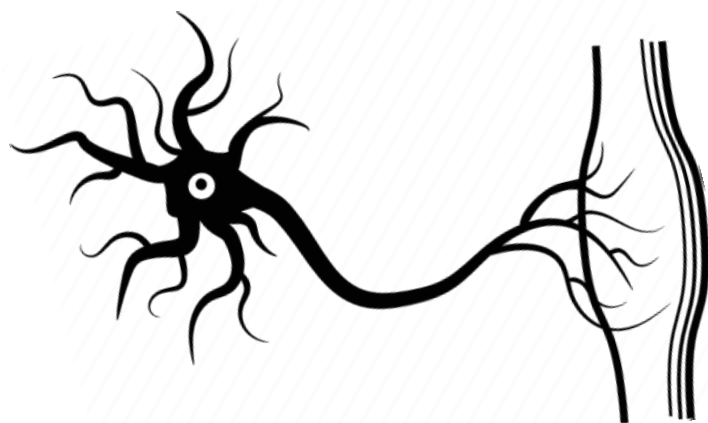
البته بعضی از سلول های عصبی مثل نورون های رابط نافع غلاف میلین ندارند.

گفتیم آکسون فروبی نورون و دندریت ورودی نورون می باشد بنابراین برای انتقال پیام عصبی پایانه آکسون یک نورون و دندریت نورون بعدی به هم نزدیک شده و سیناپس تشکیل می دهند. در داخل پایانه های آکسونی نورون ها کیسه های کوچکی از جنس غشا وجود دارند که این کیسه ها حاوی مولکول هایی شیمیایی به اسم انتقال دهنده عصبی (**neurotransmitter**) هستند. انتقال دهنده های عصبی با توجه به مکانی که نورون قرار گرفته، نوع فعالیت آن و ... انواع مختلفی دارند. هنگامی که پتانسیل عمل به پایانه آکسونی می رسد، این انتقال دهنده های عصبی از نورون پیش سیناپسی خارج شده و بر روی نورون پس سیناپسی تاثیر می گذارد که این تاثیر می تواند باعث تمریک یا مهار نورون بعدی شود. یکی از انتقال دهنده های عصبی مهم استیل کولین می باشد که در تمریک ماهیچه ها توسط نورون های حرکتی نقش دارد. گابا (گاما آمینوبوتیریک اسید-**GABA**) یکی دیگر از انتقال دهنده های عصبی در پستانداران می باشد که بیشتر نقش مهار می دارد. سیناپس های دیگری به جز آکسون به دندریت هم وجود دارند! مثل دندریت به دندریت

در یک سلول عصبی همزمان چندین پتانسیل عمل می تواند رخ دهد؛ یعنی به طور مثال در هالیکه یک پتانسیل عمل به پایانه آکسونی رسیده است یک پتانسیل عمل دیگر می تواند در ابتدای آکسون باشد.



انتقال پیام های عصبی به صورت شیمیایی فقط بین نورون ها نمی باشد و پیام های عصبی از نورون ها به ماهیچه ها و غدد هم می توانند منتقل شوند. همانطور که گفته شد استیل کولین یکی از انتقال دهنده های عصبی دخیل در این انتقال پیام می باشد. استیل کولین مسیر هایی درون سلولی را فعال می کند که در نهایت سبب رها شدن یون کلسیم در سیتوپلاسم سلول های ماهیچه ای و انقباض آن ها می شود.



## تمرین

- با توجه به کوچکتر بودن اندازه یون سدیم نسبت به یون پتاسیم چرا یون سدیم توانایی عبور از کانال برون دریمه پتاسیمی را ندارد؟ (راهنمایی: با توجه به ساختار کانال توضیح دهید)

راه‌های ارتباطی:

[Sogolkermanian3131@gmail.com](mailto:Sogolkermanian3131@gmail.com)

[m.ali.damavandi@gmail.com](mailto:m.ali.damavandi@gmail.com)

منابع:

1. سایت Backyardbrains.com

2. کتاب فیزیولوژی کنترل<sup>۴</sup>

3. کتاب علوم اعصاب شناختی کازانیکا<sup>۵</sup>

موفق باشید.

سوگل کرمانیان

---

<sup>4</sup>. PRINCIPLES OF NEURAL SCIENCE by ERIC R. KANDEL, JAMES H. SCHWARTZ, THOMAS M. JESSELL, ...

<sup>5</sup>. COGNITIVE NEUROSCIENCE: THE BIOLOGY OF THE MIND by Michael S. Gazzaniga, Richard B. Ivry, and George R. Mangun