

## پتانسیل آرامش - پتانسیل عمل

- پتانسیل آرامش
- پتانسیل عمل

## اختلاف پتانسیل الکتریکی در دو سوی غشای نورون

## پتانسیل آرامش

- ✓ زمانی است که نورون در حال فعالیت عصبی نیست (در حالت استراحت است).
- ✓ در هنگام پتانسیل آرامش، پتانسیل درون سلول نسبت به بیرون آن، منفی و برابر ۶۵- میلی‌ولت است.
- ۱. در حالت آرامش، غلظت یون‌های سدیم در خارج از نورون (یعنی مایع میان‌بافتی)، بیش‌تر از داخل و غلظت یون‌های پتاسیم در داخل سلول (یعنی درون سیتوپلاسم)، بیش‌تر از خارج است، بنابراین یون‌های سدیم تمایل دارند که در جهت شیب غلظت به داخل سلول وارد شوند و یون‌های پتاسیم نیز تمایل دارند که در جهت شیب غلظت، از نورون خارج شوند؛ بنابراین طی فرایند «انتشار تسهیل‌شده» و از طریق کانال‌های پروتئینی (همیشه‌باز) و بدون مصرف انرژی، سدیم از خارج سلول، به داخل و پتاسیم از داخل سلول، به خارج می‌رود. البته توجه فرمایید تعداد کانال‌های همیشه‌باز پتاسیمی در غشای سلول، بسیار بیش‌تر از کانال‌های همیشه‌باز سدیمی است؛ لذا همواره نفوذپذیری غشا نسبت به یون پتاسیم، بسیار بیش‌تر از نفوذپذیری آن نسبت به یون سدیم می‌باشد.
- ۲. برای این‌که پتانسیل درون نورون نسبت به بیرون آن - که در هنگام آرامش ۶۵- میلی‌ولت است - ثابت بماند، پروتئین ناقلی به نام «پمپ سدیم - پتاسیم»، با مصرف انرژی (ATP) و طی فرایند انتقال فعال، یون‌های سدیم را بر خلاف شیب غلظت به خارج سلول، و یون‌های پتاسیم را نیز بر خلاف شیب غلظت به داخل سلول منتقل کرده و اختلاف پتانسیل دو سوی غشای نورون را همان ۶۵- میلی‌ولت ثابت نگه می‌دارد؛ به عبارت دیگر، پمپ سدیم - پتاسیم با مصرف انرژی و طی فرایند انتقال فعال، عکس انتشار تسهیل‌شده عمل می‌کند.

- ✓ در حالت آرامش، سدیم و پتاسیم، هم وارد سلول می‌شوند و هم از سلول خارج می‌شوند.
- ✓ در هنگام پتانسیل آرامش، داخل سلول نسبت به خارج آن، به اندازه‌ی ۶۵ میلی‌ولت بار مثبت کم‌تری دارد (۶۵- میلی‌ولت) و یا: خارج سلول نسبت به داخل آن، به اندازه‌ی ۶۵ میلی‌ولت بار مثبت بیش‌تری دارد (۶۵+ میلی‌ولت)؛ البته طبق قرارداد، مبدأ سنجش را درون سلول نسبت به بیرون آن در نظر می‌گیرند.
- ✓ برای اندازه‌گیری پتانسیل آرامش، بین الکترودها و نوسان‌نما، یک تقویت‌کننده قرار می‌دهند.
- ✓ توجه فرمایید سلول‌های عصبی طی پتانسیل آرامش، فعالیت عصبی ندارند، ولی به دلیل زنده‌بودن، همچنان مشغول سایر فعالیت‌های متابولیکی خود هستند.

## خلاصه

## در مرحله‌ی استراحت یا پتانسیل آرامش:

- الف) کانال‌های پروتئینی همیشه‌باز | یون سدیم را از خارج، به داخل سلول منتقل می‌کنند.
- در جهت شیب غلظت و بدون مصرف انرژی | یون پتاسیم را از داخل، به خارج از سلول منتقل می‌کنند.
- (البته نفوذپذیری غشا نسبت به یون پتاسیم، بسیار بیش‌تر از نفوذپذیری آن نسبت به یون سدیم می‌باشد)

- ب) پمپ سدیم - پتاسیم | یون سدیم را از داخل، به خارج از سلول بازمی‌گردانند.
- در خلاف شیب غلظت و با مصرف انرژی | یون‌های پتاسیم را از خارج، به داخل سلول بازمی‌گردانند.

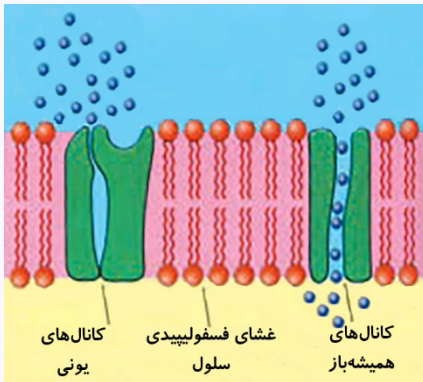
**نتیجه:** در حالت آرامش، پتانسیل درون سلول نسبت به بیرون آن، منفی و برابر ۶۵- میلی‌ولت خواهد بود.

## نکته:

وجود اختلاف پتانسیل الکتریکی در دو سوی غشای نورون، به دلیل عدم توازن بارهای الکتریکی در دو سوی غشاست. برای این پدیده، دو علت وجود دارد:

**الف) فعالیت پمپ سدیم - پتاسیم:** در متن بعد، در مورد پمپ سدیم - پتاسیم، توضیحات مفصلی ارائه شده است.

**ب) فعالیت کانال‌های پروتئینی همیشه‌باز:** در حالت آرامش، نفوذپذیری غشای



سلول نسبت به یون‌های پتاسیم، بسیار بیش‌تر از نفوذپذیری آن نسبت به یون‌های سدیم است؛ لذا یون‌های پتاسیم به راحتی از سلول خارج می‌شوند، ولی یون‌های سدیم زیادی به سلول وارد نمی‌شود؛ به عبارت دیگر، مقدار یون مثبت خارج شده از نورون، بسیار بیش‌تر از مقدار یون مثبت وارد شده به آن است؛ به همین دلیل، در حالت آرامش، درون سلول نسبت به بیرون، بار مثبت کم‌تری دارد؛ به عبارت دیگر می‌توان گفت: در حالت آرامش، یون‌های پتاسیم بیش‌تری نسبت به یون‌های سدیم، در جهت شیب غلظت و از طریق کانال‌های پروتئینی همیشه‌باز، از داخل سلول به خارج می‌رود.

پیش‌تر بدانید (خارج از کتاب درسی):

۱. نفوذپذیری غشا نسبت به یون پتاسیم، حدوداً ۱۰۰ برابر نفوذپذیری آن به نسبت به یون سدیم است.

۲. نسبت یون‌های پتاسیم داخل سلول به خارج سلول، ۳۵ به ۱ است.

۳. نسبت یون‌های سدیم خارج سلول به داخل سلول، ۱۰ به ۱ است.

## پمپ سدیم - پتاسیم

✓ با توجه به تمایل یون پتاسیم برای خروج از سلول و تمایل یون سدیم برای ورود به درون آن، انتظار می‌رود که درون سلول، آکنده از یون‌های سدیم و بیرون آن، آکنده از یون‌های پتاسیم شود، ولی پمپ سدیم - پتاسیم مانع از تحقق این امر می‌شود؛ به این صورت که این پمپ با انتقال فعال، یون‌های سدیم را از سلول خارج کرده و یون‌های پتاسیم را وارد سلول می‌کند و همواره اختلاف غلظت این یون‌ها را در درون و بیرون سلول حفظ می‌کند.

✓ ویژگی مهم پمپ سدیم - پتاسیم این است که به طور کلی همیشه و در هر حالتی، مقدار سدیم بیرون سلول را بیش‌تر از درون، و مقدار پتاسیم درون سلول را بیش‌تر از بیرون نگه می‌دارد؛ به عبارت دیگر، این پمپ در هر بار فعالیت، با مصرف یک مولکول ATP، دو یون پتاسیم را وارد سلول کرده و سه یون سدیم را از سلول خارج می‌کند؛ نتیجه این است که همواره در حالت آرامش، درون سلول نسبت به بیرون آن، به اندازه‌ی ۶۵ میلی‌ولت بار مثبت کم‌تری دارد و در عین حال، این عمل پمپ سدیم - پتاسیم، سبب کاهش غلظت یون‌های درون سلول می‌شود.

✓ فعالیت پمپ سدیم - پتاسیم در خلاف شیب غلظت (از غلظت کم‌تر به غلظت بیش‌تر) و با مصرف انرژی و طی فرایند انتقال فعال صورت می‌گیرد. به این نکته نیز توجه داشته باشید که کانال‌های پروتئینی (همیشه‌باز) و دریچه‌دار نیازی به صرف انرژی ندارند.

✓ پمپ سدیم - پتاسیم یک پروتئین هیدرولیزکننده‌ی ATP می‌باشد که طی فرایند **انتقال فعال**، ATP را به ADP و یک گروه فسفات پرنانرژی تجزیه می‌کند.

✓ پمپ سدیم - پتاسیم، عامل اصلی ایجاد اختلاف بار الکتریکی در دو سوی غشای سلول و **حفظ (نه ایجاد!)** پتانسیل آرامش در آن است.

✓ با توجه به این‌که طی پتانسیل آرامش، نفوذپذیری غشا نسبت به یون‌های پتاسیم، بسیار بیش‌تر از یون‌های سدیم است، می‌توان نتیجه گرفت در صورتی که به هر دلیل، پمپ‌های سدیم - پتاسیم در غشای سلول غیرفعال شوند، بیش از آن‌که یون‌های سدیم وارد سلول شوند، یون‌های پتاسیم از سلول خارج می‌شوند، لذا درون سلول نسبت به بیرون، بیش‌تر منفی می‌شود.

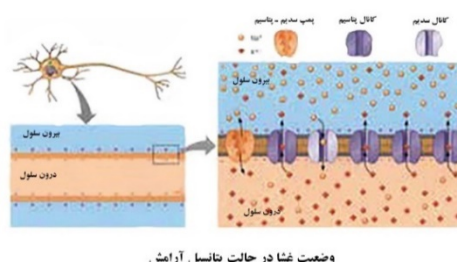
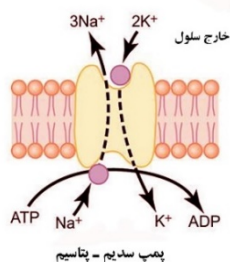
✓ پمپ سدیم - پتاسیم در **همه‌ی** سلول‌های زنده‌ی بدن وجود دارد.

## نتیجه‌ی عملکرد پمپ سدیم - پتاسیم

۱. افزایش سدیم مایع میان‌بافتی (کاهش سدیم در سیتوپلاسم سلول)  
 ۲. کاهش پتاسیم مایع میان‌بافتی (افزایش پتاسیم در سیتوپلاسم سلول)

## نکات ترکیبی

- ✓ جنس پمپ سدیم - پتاسیم (همانند کانال‌های همیشه‌باز و دریچه‌دار)، پروتئین است و توسط ریبوزوم‌های متصل به شبکه‌ی آندوپلاسمی زیر ساخته می‌شود. این پمپ پس از ساخته شدن، در ساختار غشای پلاسمایی سلول سازنده‌ی خود قرار می‌گیرد. (فصل دوم سال دوم)
- ✓ یون‌های سدیم و پتاسیم هیچ‌گاه از طریق انتشار ساده منتقل نمی‌شوند؛ بلکه یا از طریق انتشار تسهیل‌شده و در جهت شیب غلظت و یا از طریق انتقال فعال و در خلاف شیب غلظت انتقال می‌یابند. (فصل چهارم سال دوم)



## پتانسیل عمل

- ✓ پتانسیل عمل، همان پیام عصبی است که تحت تأثیر یک محرک (با انرژی و شدت مناسب) و با تبدیل پتانسیل آرامش نورون به پتانسیل عمل، شروع می‌شود.
- ✓ برای ایجاد پتانسیل عمل، الزاماً باید شدت محرک به اندازه‌ی کافی قوی باشد، به طوری که اختلاف پتانسیل بین دو سوی غشای نورون، به طور ناگهانی و شدید تغییر کند. در صورتی که شدت محرک به اندازه‌ی کافی قوی نباشد، پتانسیل عمل ایجاد نخواهد شد.
- ✓ اگر شدت و انرژی محرک به اندازه‌ی کافی و مناسب باشد، به جریان عصبی تبدیل می‌شود که در واقع همان ایجاد پتانسیل عمل است سپس جریان عصبی در طول نورون، از دندریت تا پایانه‌ی آکسون هدایت می‌شود و در نهایت، در پایانه‌ی آکسون، انتقال جریان عصبی توسط انتقال‌دهنده‌ها به یک سلول دیگر روی می‌دهد.
- ✓ پتانسیل عمل به صورت نقطه به نقطه در طول نورون حرکت می‌کند؛ به عبارت دیگر در یک لحظه، تمام طول نورون دارای پتانسیل عمل نمی‌شود، بلکه مطابق شکل در زمانی که پتانسیل عمل در نقطه‌ی A ایجاد می‌شود، نقاط B و C در حالت آرامش قرار دارند؛ با انتقال پتانسیل عمل به نقطه‌ی B، نقاط A و C، در حال آرامش‌اند و ...



البته توجه فرمایید که در نورون‌های میلی‌دار، پتانسیل عمل فقط در گره‌های رانویه تشکیل می‌شود و از یک گره رانویه به گره رانویه بعدی جهش می‌کند.

- ✓ در نورون‌های میلی‌دار، علاوه بر پتانسیل عمل، پتانسیل آرامش نیز در محل گره‌های رانویه ایجاد می‌شود.

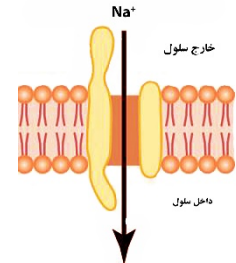
## چگونگی ایجاد پتانسیل عمل:

- ✓ پتانسیل عمل در اثر تغییر ناگهانی و شدید اختلاف پتانسیل بین دو سوی غشای نورون ایجاد می‌شود که در نتیجه‌ی آن:
۱. پتانسیل داخل سلول نسبت به خارج آن، در زمانی بسیار کوتاه (چند هزارم ثانیه) مثبت‌تر می‌شود.
۲. بلافاصله پتانسیل غشا به حالت اول برمی‌گردد؛ یعنی مجدداً داخل سلول نسبت به خارج، منفی‌تر می‌شود.
- ✓ چون پتانسیل عمل، بعد از تولید در یک نقطه از سلول عصبی، در نقاط یا گره‌های مجاور هم ایجاد می‌شود و نقطه به نقطه در طول رشته‌ی عصبی سیر می‌کند، به آن پیام عصبی نیز گفته می‌شود.

## مکانیسم پتانسیل عمل

## مرحله اول (قسمت بالارو)

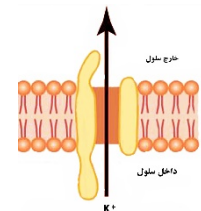
مثبت شدن درون سلول نسبت به بیرون



## مرحله دوم

## (قسمت پایین‌رو)

بازگشت به حالت اولیه



۱. در اثر تحریک نورون توسط محرک، کانال‌های دریچه‌دار سدیمی باز می‌شوند.
۲. یون‌های سدیم به طور ناگهانی و از طریق کانال‌های دریچه‌دار سدیمی (و همچنین از طریق کانال‌های همیشه‌باز سدیمی) وارد سلول می‌شوند. (البته کانال‌های همیشه‌باز پتاسیمی نیز مانند حالت آرامش، کماکان در حال انتقال پتاسیم به خارج سلول هستند).
۳. با ورود یون‌های سدیم، پتانسیل درون سلول به طور ناگهانی از  $-65$  میلی‌ولت به  $+40$  میلی‌ولت می‌رسد؛ به عبارت دیگر، درون سلول به طور ناگهانی و شدید، مثبت‌تر از بیرون می‌شود. (تغییرات پتانسیل غشا به حدود  $105$  میلی‌ولت می‌رسد).
۴. وقتی که پتانسیل غشا به  $+40$  میلی‌ولت می‌رسد، کانال‌های دریچه‌دار سدیمی بسته شده و مرحله‌ی اول به پایان می‌رسد.

۱. در پتانسیل  $+40$  میلی‌ولت، بعد از بسته شدن کانال‌های دریچه‌دار سدیمی، کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی باز می‌شوند. از این جمله می‌توان این‌طور استنباط کرد که در ولتاژ  $+40$ ، برای یک لحظه‌ی بسیار بسیار کوتاه، هر دو کانال دریچه‌دار سدیمی و پتاسیمی بسته‌اند.
۲. یون‌های پتاسیم نیز به طور ناگهانی از طریق کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی (و همچنین از طریق کانال‌های همیشه‌باز پتاسیمی) از سلول خارج می‌شوند. (البته کانال‌های همیشه‌باز سدیمی نیز، کماکان در حال انتقال سدیم به داخل سلول می‌باشند).
۳. با خروج یون‌های پتاسیم، پتانسیل درون سلول از  $+40$  میلی‌ولت، مجدداً به حدود  $-65$  میلی‌ولت می‌رسد؛ در این حالت، کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی بسته شده و پتانسیل عمل به اتمام می‌رسد. (یعنی دوباره درون سلول نسبت به بیرون آن منفی شده و پتانسیل غشا مجدداً به حالت آرامش خود برمی‌گردد).

## نکته‌ی مهم؛

دلیل رسیدن سلول به حالت آرامش، فعالیت پمپ سدیم - پتاسیم نیست، بلکه باز شدن کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی و خروج یون‌های پتاسیم از داخل سلول است که پتانسیل درون سلول را نسبت به بیرون، منفی می‌کند؛ به عبارت دیگر، با این‌که بلافاصله بعد از پایان پتانسیل عمل، غلظت یون‌های سدیم و پتاسیم در درون و بیرون سلول، برعکس حالت آرامش اولیه است، ولی به هر حال، اختلاف پتانسیل درون سلول نسبت به بیرون آن، حدود  $-65$  میلی‌ولت می‌شود، که سلول را در حالت آرامش قرار می‌دهد.

## بلافاصله پس از پایان پتانسیل عمل

- ✓ درست قبل از پایان پتانسیل عمل، میزان تراکم پتاسیم در داخل سلول شدیداً کاهش می‌یابد، ولی پس از پایان پتانسیل عمل، فعالیت پمپ سدیم - پتاسیم موجب می‌شود که مجدداً میزان یون‌های سدیم و پتاسیم در دو سوی سلول، به حالت آرامش اولیه درآید.
- ✓ بلافاصله بعد از پایان پتانسیل عمل، علیرغم این‌که دوباره سلول به حالت آرامش بازگشته است، ولی به دلیل ورود زیاد یون‌های سدیم و خروج یون‌های پتاسیم، غلظت‌هایی که در حالت آرامش اولیه برقرار بود، از بین رفته است؛ در این‌جا، نقش پمپ سدیم - پتاسیم پررنگ می‌شود، به این‌صورت که با فعالیت حداکثری خود، مجدداً این غلظت‌ها را به حالت اولیه‌ی خود برمی‌گرداند (یعنی غلظت یون سدیم را در خارج از سلول، بیش‌تر از داخل و غلظت یون پتاسیم را در داخل سلول، بیش‌تر از خارج می‌رساند، به شکلی که اختلاف پتانسیل دو سوی غشا، همان  $-65$  میلی‌ولت حفظ شود. خلاصه این‌که:

پمپ سدیم - پتاسیم، باعث ایجاد پتانسیل آرامش در سلول نمی‌شود، بلکه پتانسیل آرامش را در سلول حفظ می‌کند.

## تست

۱. چند مورد، عبارت زیر را به درستی تکمیل می‌کند؟

«در انسان، هر سلول بافت عصبی، .....»

الف. فاقد توانایی تقسیم است.

ب. توانایی تبدیل اثر محرک به پیام عصبی را دارد.

ج. نسبت به سایر سلول‌های بافت عصبی، ژنوم هسته‌ای یکسانی دارد.

د. می‌تواند پیام عصبی تولید و از بخشی از بدن، به بخش دیگر هدایت کند.

۴ (۱) ۳ (۲) ۲ (۳) ۱ (۴)

۲. چند مورد، عبارت زیر را به درستی تکمیل می‌کند؟

«هر سلول ..... موجود در بافت عصبی بدن انسان، .....»

الف. عصبی – در پایانه‌ی آکسون خود دارای DNA می‌باشد.

ب. غیرعصبی – در افزایش سرعت هدایت پیام عصبی مؤثر است.

ج. عصبی – که دارای دندریت غیرمنشعب می‌باشد، همانند نورون‌هایی که کم‌ترین سرعت هدایت پیام عصبی دارند، با سلول‌های پشتیبان در ارتباط است.

د. غیرعصبی – به طور حتم، در عبور یون سدیم از غشای سلول نقش دارد.

ه. عصبی – دارای ژن‌های آنزیم تولیدکننده‌ی غلاف میلین می‌باشد.

۴ (۱) ۳ (۲) ۲ (۳) ۱ (۴)

۳. چند مورد، عبارت زیر را به درستی تکمیل می‌کند؟

«اگر اختلاف پتانسیل دو سوی غشای یک نورون صفر باشد، غیر ممکن است .....»

الف. پمپ سدیم پتانسیم در حداکثر فعالیت باشد.

ب. کانال‌های دریچه‌دار سدیمی باز و پتاسیمی بسته باشد.

ج. کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی باز و سدیمی بسته باشد.

د. سدیم وارد سلول نشود.

۴ (۱) ۳ (۲) ۲ (۳) ۱ (۴)

۴. هنگام ثبت اختلاف پتانسیل در دو سوی غشای نورون حرکتی عضله‌ی جلوی ران، نوسان‌نما برای مرتبه‌ی دوم، هیچ اختلافی در

پتانسیل دو الکترود ثبت نکرده است. کدام نتیجه‌گیری صحیح می‌باشد؟

(۱) در مدت ثبت اختلاف پتانسیل دو سوی غشا، نورون در حال استراحت بوده و پتانسیل عمل روی نداده است.

(۲) امکان ثبت بیش‌ترین تراکم ممکن یون‌های مثبت در سلول وجود نداشته است.

(۳) بیش‌ترین تغییرات پتانسیل بین دو سوی غشای نورون قابل ثبت نبوده است.

(۴) پتانسیل دو سوی غشای نورون، هم با کاهش مواجه بوده و هم با افزایش.

۵. چند مورد، عبارت زیر را به نادرستی تکمیل می‌کند؟

«در یک نورون، زمانی که کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی بسته است، غیر ممکن است .....»

الف. کانال‌های دریچه‌دار سدیمی بسته باشد.

ب. پمپ سدیم پتانسیم بیش‌ترین فعالیت ممکن را داشته باشد.

ج. یون‌های سدیم در درون سلول و یون‌های پتاسیم در بیرون آن نسبت به حالت آرامش بیش‌تر باشد.

د. غلظت یون سدیم در بیرون سلول، کم‌تر از غلظت یون سدیم در درون سلول باشد.

۳ (۱) ۴ (۲) ۱ (۳) ۲ (۴)

۶. کدام‌یک از تغییرات زیر، کم‌ترین تأثیر را در پتانسیل آرامش یک سلول دارد؟

(۱) افزایش نفوذپذیری غشا نسبت به یون سدیم

(۲) کاهش نفوذپذیری غشا نسبت به یون سدیم

(۳) افزایش نفوذپذیری غشا نسبت به یون پتاسیم

(۴) کاهش نفوذپذیری غشا نسبت به یون پتاسیم

۷. چند مورد، عبارت زیر را به نادرستی تکمیل می‌کند؟

«ضمن هدایت پتانسیل عمل در طول دندریت نورون حسی در انعکاس زردپی زیر زانو، ..... پتانسیل عمل .....»

الف. افزایش فعالیت کانال‌های یونی در بخش بالارو – می‌تواند سبب تغییر شیب غلظت یون‌های سدیم در دو سوی غشای سلول شود.

ب. در قسمت‌های میلین‌دار دندریت و در بخش پایین‌رو – کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی، سبب کاهش تراکم پتانسیم در درون سلول می‌شوند.

ج. بعد از پتانسیل +۴۰، کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی در بخش پایین‌رو - سبب آغاز خروج یون‌های پتاسیم از سیتوپلاسم می‌گردند.  
د. یون‌های سدیم می‌توانند همواره در تمام بخش‌های - از طریق کانال‌های همیشه باز، وارد مایع بین سلولی گردند.

۴ (۱) ۳ (۲) ۲ (۳) ۱ (۴)

۸. چند مورد از عبارات زیر، نادرست است؟

الف. بلافاصله بعد از ورود ناگهانی یون‌های سدیم به درون نورون، تعداد زیادی وزیکول سیناپسی به غشا متصل می‌شود.

ب. بعد از پایان پتانسیل عمل، تراکم پتاسیم در داخل سلول، شدیداً کاهش می‌یابد.

ج. پمپ سدیم - پتاسیم در همه‌ی بخش‌های نورون حسی فعال است.

د. نفوذپذیری غشای نورون نسبت به یون‌های پتاسیم، همواره بسیار بیش‌تر از یون‌های سدیم است.

۴ (۱) ۳ (۲) ۲ (۳) ۱ (۴)

۹. در هنگام پتانسیل عمل، پس از منفی‌شدن پتانسیل الکتریکی درون سلول نسبت به مایع میان‌بافتی، ..... .

۱) قطعاً به دنبال بسته‌شدن کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی، پتانسیل آرامش ایجاد می‌شود.

۲) ممکن است پتانسیل الکتریکی درون سلول نسبت به مایع میان‌بافتی مثبت شود.

۳) به دنبال بسته‌شدن کانال‌های دریچه‌دار سدیمی، فشار اسمزی درون سلول افزایش می‌یابد.

۴) قطعاً تراکم یون‌های سدیم و پتاسیم در درون سلول، در حال افزایش است.

۱۰. چند مورد، عبارت زیر را به درستی تکمیل می‌کند؟

«به‌طور معمول، اگر گیرنده‌های درد در پوست به میزان کافی تحریک شوند، ..... .»

الف. به دنبال بسته‌شدن کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی در غشای نورون، تراکم سدیم سیتوپلاسم کاهش می‌یابد.

ب. اختلاف پتانسیل دو سوی غشا، همواره کم‌تر از پتانسیل آرامش می‌شود.

ج. از میزان سدیم در بافت پوششی کاسته می‌شود.

د. از طریق سیناپس، پیام عصبی را به نورون حسی منتقل می‌کنند.

ه. جریان عصبی از رشته‌های سیتوپلاسمی با انشعابات زیاد، به سمت جسم سلولی هدایت می‌شود.

۴ (۱) ۳ (۲) ۲ (۳) ۱ (۴)

۱۱. چند مورد، عبارت زیر را به درستی تکمیل می‌کند؟

«طی پتانسیل عمل، در مدتی که پتانسیل بیرون غشای یک عصب مغزی نسبت به درون آن منفی است، ..... .»

الف. ممکن است فشار اسمزی درون سلول به حداکثر برسد.

ب. قطعاً شاهد فعالیت حداکثری پمپ سدیم - پتاسیم نیستیم.

ج. اختلاف پتانسیل درون سلول نسبت به بیرون، هم افزایش می‌یابد و هم کاهش.

د. قطعاً شاهد افزایش تراکم یون‌های سدیم در درون سلول خواهیم بود.

۴ (۱) ۳ (۲) ۲ (۳) ۱ (۴)

۱۲. چند مورد، عبارت روبه‌رو را به درستی تکمیل می‌کند؟ « ..... همواره ..... .»

الف. در هدایت پیام عصبی - پتانسیل عمل از دندریت آغاز و تا پایانه‌ی آکسون ادامه پیدا می‌کند.

ب. انتقال پیام عصبی - با تغییر اختلاف پتانسیل سلول پس‌سیناپسی همراه است.

ج. هدایت پیام عصبی - در ریشه‌ی پشتی نخاع برخلاف ریشه‌ی شکمی، به سوی دستگاه عصبی مرکزی است.

د. در انتقال پیام عصبی - انتقال‌دهنده‌ی عصبی پس از ورود به غشای سلول پس‌سیناپسی، سبب هماهنگ‌کردن فعالیت‌های بدن می‌شوند.

۴ (۱) ۳ (۲) ۲ (۳) ۱ (۴)

۱۳. چند مورد، عبارت زیر را به درستی تکمیل می‌کند؟

«در فردی که سال‌ها مصرف مداوم سیگار دارد، ..... .»

الف. نیکوتین بیش‌تر از استیل‌کولین به گیرنده‌های استیل‌کولین متصل می‌شود.

ب. در صورت اتصال استیل‌کولین به گیرنده‌های اختصاصی خود، نورون‌ها و سیناپس‌های مغزی نمی‌توانند به طور طبیعی فعالیت کنند.

ج. نیکوتین می‌تواند عملکرد طبیعی نورون‌های مراکز کنترل مغز را تغییر دهد.

د. بعضاً انتقال پیام عصبی به سلول‌های عضلات اسکلتی با اختلال مواجه می‌شود.

ه. اتصال نیکوتین به گیرنده‌های استیل‌کولین، باعث تغییر در ساختار نورون‌ها و سیناپس‌های عصبی مغز می‌شود.

۴ (۱) ۳ (۲) ۲ (۳) ۱ (۴)



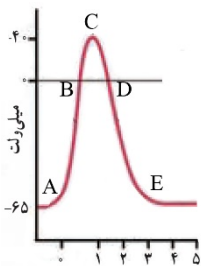
**عبارت الف: درست؛** اگر اختلاف پتانسیل دو سوی غشای نورون صفر باشد، قطعاً سلول در مرحله‌ی پتانسیل عمل است؛ در این حالت، پمپ سدیم-پتاسیم، حداقل فعالیت را دارد. توجه فرمایید در طول پتانسیل عمل، دو مرتبه اختلاف پتانسیل دو سوی غشای نورون صفر می‌شود؛ یک بار در مرحله‌ی بالارو و بار دیگر، در مرحله‌ی پایین‌رو پتانسیل عمل.

**عبارت ب: نادرست؛** در قسمت بالا رو پتانسیل عمل، کانال‌های دریچه‌دار سدیمی باز و پتاسیمی بسته‌اند.

**عبارت ج: نادرست؛** در قسمت پایین‌رو پتانسیل عمل، کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی باز و سدیمی بسته‌اند.

**عبارت د: درست؛** سدیم همواره از طریق کانال‌های همیشه باز وارد سلول می‌شود.

۴ گزینه‌ی ۴



**گزینه‌ی ۱: نادرست؛** نوسان‌ها دو مرتبه هیچ اختلاف پتانسیلی بین دو سوی غشای نورون ثبت نکرده است. مفهوم این جمله این است که دو مرتبه اختلاف پتانسیل دو سوی غشای نورون، به صفر رسیده است (نقاط B و D).

با توجه به توضیح فوق، مشخص می‌شود که نورون در حال پتانسیل عمل بوده است.

**گزینه‌ی ۲: نادرست؛** بیش‌ترین تراکم ممکن یون‌های مثبت (سدیم و پتاسیم)، در پتانسیل  $+40$  و در نقطه‌ی C روی داده است. در پتانسیل  $+40$ ، کانال‌های دریچه‌دار سدیمی و پتاسیمی بسته‌اند و در سلول، بیش‌ترین میزان ممکن یون‌های سدیم و پتاسیم دیده می‌شود.

**گزینه‌ی ۳: نادرست؛** با ورود سدیم توسط کانال‌های دریچه‌دار سدیمی، درون سلول به طور ناگهانی از  $-65$  به  $+40$  میلی‌ولت می‌رسد؛ به عبارت دیگر، بین نقاط A و C، بیش‌ترین تغییرات پتانسیل غشا دیده می‌شود (حدود  $105$  میلی‌ولت).

**گزینه‌ی ۴: درست؛** پتانسیل دو سوی غشا از نقطه‌ی A تا B، کاهش، از نقطه‌ی B تا C افزایش و از نقطه‌ی C تا D، مجدداً کاهش یافته است.

۵ گزینه‌ی ۱

عبارات «الف، ب و ج»، متن مورد نظر را به درستی تکمیل نمی‌کنند.

کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی، به جز در مرحله‌ی دوم پتانسیل عمل (قسمت پایین‌رو)، همواره بسته‌اند.

**عبارت الف: درست؛** در حالت آرامش، کانال‌های دریچه‌دار سدیمی و پتاسیمی بسته است.

۱ گزینه‌ی ۴

**عبارت الف: نادرست؛** در بافت عصبی، هم سلول‌های عصبی و هم سلول‌های غیرعصبی وجود دارد. سلول‌های عصبی توانایی تقسیم‌شدن ندارند، ولی سلول‌های غیرعصبی (نوروگلیاها) می‌توانند تقسیم شوند؛ بنابراین، می‌توان گفت برخی از سلول‌های بافت عصبی، توانایی تقسیم شدن را دارند.

**عبارت ب: نادرست؛** سلول‌های پشتیبان (نوروگلیاها) نیز متعلق به بافت عصبی هستند، ولی نمی‌توانند مانند نورون‌ها، اثر محرک را به پیام عصبی تبدیل کنند.

**عبارت ج: درست؛** ژنوم هسته‌ی انسان از ۲۲ کروموزوم غیرجنسی (اتوزوم) و دو کروموزوم جنسی X و Y تشکیل شده است، لذا می‌توان نتیجه گرفت ژنوم هسته‌ی نورون‌ها و سلول‌های پشتیبان در بافت عصبی، با سایر سلول‌های بدن کاملاً یکسان است.

**عبارت د: نادرست؛** در بافت عصبی، نورون‌ها توانایی تولید پیام عصبی را دارند، ولی سلول‌های پشتیبان، فاقد توانایی تولید پیام عصبی هستند.

۲ گزینه‌ی ۱

**عبارت الف: درست؛** در جسم سلولی نورون‌ها، هم DNA یوکاریوتی (در هسته) و هم DNA پروکاریوتی (در میتوکندری‌ها) وجود دارد، ولی در دندريت، آکسون و پایانه‌ی آکسون، فقط DNA پروکاریوتی را می‌توان دید (به دلیل وجود میتوکندری‌ها).

**عبارت ب: نادرست؛** برخی از (نه همه‌ی!) سلول‌های غیرعصبی (سلول‌های پشتیبان)، با ساخت غلاف میلین، در افزایش سرعت هدایت پیام عصبی مؤثراند، برخی دیگر از سلول‌های غیرعصبی نیز وظیفه‌ی تغذیه و محافظت از سلول‌های عصبی را برعهده دارند.

**عبارت ج: درست؛** فقط نورون‌های حسی، دارای دندريت غیرمنشعب هستند؛ از طرفی، کم‌ترین سرعت هدایت پیام عصبی در بین نورون‌های هم‌قطر، مربوط به نورون‌های رابط است. توجه داشته باشید که تمامی نورون‌ها - از جمله نورون‌های رابط - برای تأمین مواد غذایی خود، با گروهی از سلول‌های پشتیبان ارتباط دارند.

**عبارت د: درست؛** تمام سلول‌های بدن - از جمله سلول‌های پشتیبان - دارای پمپ سدیم - پتاسیم هستند. پمپ سدیم - پتاسیم به ازای مصرف هر مولکول ATP، سه یون سدیم را از سلول خارج و دو یون پتاسیم را به درون سلول وارد می‌کند.

**عبارت ه: درست؛** تمام سلول‌های هسته‌دار پیکری بدن انسان، ژن‌های مشترک و یکسانی دارند، اما در هر سلول، تعدادی از ژن‌ها روشن، و تعدادی خاموش هستند؛ به عنوان مثال، تمام سلول‌های هسته‌دار بدن انسان - از جمله نورون‌ها - ژن‌های آنزیم تولیدکننده‌ی غلاف میلین را دارند، ولی این ژن‌ها در درون نورون‌ها خاموش است و بیان نمی‌شوند (یعنی نمی‌توانند غلاف میلین تولید کنند).

**۸) گزینه‌ی ۱**

**عبارت الف: نادرست؛** قبل از شروع پتانسیل عمل، ابتدا تعداد زیادی وزیکول سیناپسی به غشا متصل شده و انتقال‌دهنده‌های عصبی پس از آگزوسیتوز، وارد فضای سیناپسی شده و به گیرنده‌های خود در سلول پس‌سیناپسی متصل می‌گردند و بعد از آن، در سلول پس‌سیناپسی، پتانسیل عمل شروع می‌شود.

**عبارت ب: نادرست؛ درست قبل از** پایان پتانسیل عمل، میزان تراکم پتاسیم در داخل سلول شدیداً کاهش می‌یابد، ولی **پس از** پایان پتانسیل عمل، فعالیت پمپ سدیم - پتاسیم باعث می‌شود که مجدداً میزان یون‌های سدیم و پتاسیم در دو سوی سلول، به حالت آرامش اولیه درآید.

**عبارت ج: نادرست؛** پمپ‌های سدیم - پتاسیم و کانال‌های پروتئینی، در نواحی میلین‌دار نورون‌ها غیرفعال‌اند.

**عبارت د: نادرست؛** در حالت آرامش سلول، به دلیل تعدد بیش‌تر کانال‌های همیشه‌باز پتاسیمی نسبت به کانال‌های همیشه‌باز سدیمی، نفوذپذیری غشا نسبت به یون‌های پتاسیم، بسیار بیش‌تر از یون‌های سدیم است، ولی در مراحل پتانسیل عمل، نفوذپذیری غشا نسبت به یون‌های سدیم و پتاسیم، با حالت آرامش سلول متفاوت است (در قسمت بالارو پتانسیل عمل، به دلیل فعالیت کانال‌های دریچه‌دار سدیمی، نفوذپذیری غشا نسبت به یون‌های سدیم، بسیار بیش‌تر از یون‌های پتاسیم است).

**۹) گزینه‌ی ۱**

**گزینه‌ی ۱: درست؛** در پتانسیل عمل، در دو مرحله پتانسیل درون سلول نسبت به مایع میان‌بافتی، منفی است (یک مرحله از پتانسیل ۶۵- تا صفر و بار دیگر از پتانسیل صفر تا حدود ۶۵- میلی‌ولت)، ولی **فقط یک بار** پتانسیل درون سلول نسبت به مایع میان‌بافتی **منفی می‌شود** (در قسمت پایین‌رو از پتانسیل صفر تا حدود ۶۵- میلی‌ولت). توجه فرمایید در ابتدای قسمت بالارو (از پتانسیل ۶۵- تا صفر)، پتانسیل درون سلول نسبت به بیرون، اساساً منفی است (منفی نمی‌شود، بلکه از قبل منفی بوده است)؛ لذا پس از منفی شدن پتانسیل الکتریکی درون سلول نسبت به مایع میان‌بافتی (در قسمت پایین‌رو پتانسیل عمل)، به دنبال بسته شدن کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی، در سلول پتانسیل آرامش ایجاد می‌شود.

**گزینه‌ی ۲: نادرست؛** در پایان قسمت بالارو پتانسیل عمل، پتانسیل الکتریکی درون سلول نسبت به بیرون مثبت می‌شود که با توجه به توضیحات فوق، این گزینه، عبارت متن تست را به درستی تکمیل نمی‌کند.

**گزینه‌ی ۳: نادرست؛** در قسمت بالارو پتانسیل عمل، به دنبال بسته شدن کانال‌های دریچه‌دار سدیمی، در پتانسیل ۴۰+ میلی‌ولت، فشار اسمزی درون سلول، حداکثر است.

**عبارت ب: پمپ سدیم - پتاسیم** بلافاصله پس از پایان پتانسیل عمل که کانال‌های دریچه‌دار سدیمی و پتاسیمی بسته شده‌اند، حداکثر فعالیت ممکن را دارد.

**عبارت ج: بلافاصله** پس از پایان پتانسیل عمل که کانال‌های دریچه‌دار بسته شده‌اند، درون سلول آکنده از یون‌های سدیم و بیرون آن، آکنده از یون‌های پتاسیم است که در نهایت، پمپ سدیم - پتاسیم با صرف انرژی و طی فرایند انتقال فعال، غلظت یون‌های سدیم و پتاسیم را در دو سوی غشای سلول، به حالت اولیه‌ی خود (پتانسیل آرامش اولیه) برمی‌گرداند. (به تذکر مهم در انتهای پاسخ این تست، دقت فرمایید.)

**عبارت د: چه** در زمان پتانسیل آرامش و چه در زمان پتانسیل عمل، همواره میزان یون‌های سدیم در خارج سلول، بیش از داخل و میزان یون‌های پتاسیم در داخل سلول، بیش از خارج است.

**تذکر مهم:** همان‌طور که در توضیح عبارت «د» ذکر شد، میزان یون‌های سدیم در خارج سلول، همواره بیش از داخل و میزان یون‌های پتاسیم در داخل سلول، همواره بیش از خارج است. در عبارت «ج»، مقایسه‌ی غلظت یون‌های سدیم و پتاسیم نسبت به حالت «پتانسیل آرامش» مد نظر بوده است.

**۱۰) گزینه‌ی ۲**

در حالت آرامش، نفوذپذیری غشا به یون پتاسیم، بسیار بیش‌تر از یون سدیم است؛ بنابراین کاهش نفوذپذیری سدیم، تأثیر چندانی بر پتانسیل غشا ندارد، چون در حالت آرامش، نفوذپذیری غشا نسبت به یون سدیم، **بسیار کم‌تر** از یون پتاسیم است و کم‌تر شدن آن نیز، تأثیر چندانی در پتانسیل آرامش سلول ندارد.

**۱۱) گزینه‌ی ۱**

هر چهار گزینه، عبارت را به نادرستی تکمیل می‌کنند.

**عبارت الف: نادرست؛** در بخش بالارو پتانسیل عمل، باز شدن ناگهانی کانال‌های دریچه‌دار سدیمی، موجب افزایش غلظت یون سدیم در درون سیتوپلاسم می‌شود، ولی به این نکته توجه فرمایید که همواره غلظت سدیم در خارج از سلول (در مایع بین سلولی)، بیش از داخل آن (سیتوپلاسم سلول) می‌باشد.

**عبارت ب: نادرست؛** در قسمت‌های میلین‌دار، غشای نورون عایق شده است و کانال‌های دریچه‌دار فعالیتی ندارند. این کانال‌ها فقط در محل گره‌های رانویه می‌توانند فعالیت داشته باشند.

**عبارت ج: نادرست؛** بعد از پتانسیل ۴۰+، کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی سبب خروج یون‌های پتاسیم از سیتوپلاسم می‌گردند، اما تا قبل از این مرحله نیز، یون‌های پتاسیم از طریق کانال‌های همیشه باز، از سیتوپلاسم خارج می‌شدند.

**عبارت د: نادرست؛** یون‌های سدیم همواره می‌توانند از طریق کانال‌های همیشه باز، وارد سیتوپلاسم سلول (نه مایع بین سلولی) گردند.



**عبارت ب: درست؛** پمپ سدیم - پتاسیم بعد از پایان پتانسیل عمل، به منظور برگرداندن غلظت یون‌های سدیم و پتاسیم در دو سوی غشا به حالت آرامش اولیه، فعالیت حداکثری خواهد داشت.

**عبارت ج: درست؛** در قسمت بالارو، اختلاف پتانسیل درون سلول نسبت به بیرون، افزایش می‌یابد (از صفر به  $+40$  می‌رسد) و در قسمت پایین‌رو، اختلاف پتانسیل درون سلول نسبت به بیرون، کاهش خواهد یافت (از  $+40$  به صفر می‌رسد).

**عبارت د: درست؛** در قسمت بالارو (از پتانسیل صفر تا  $+40$ )، فعالیت کانال‌های همیشه‌باز و دریچه‌دار سدیمی، باعث ورود سدیم به درون سلول می‌شود و در قسمت پایین‌رو (از پتانسیل  $+40$  تا صفر) نیز فعالیت کانال‌های همیشه‌باز، سبب ورود و افزایش غلظت یون‌های سدیم در درون سلول خواهد گردید. البته توجه فرمایید پمپ سدیم - پتاسیم نیز طی پتانسیل عمل فعال است و با انتقال فعال، سبب خروج یون‌های سدیم از درون سلول می‌شود، اما دقت داشته باشید که در حین پتانسیل عمل، فعالیت پمپ سدیم - پتاسیم به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد.

### ۱۲) گزینه‌ی ۳

**عبارت الف: نادرست؛** هدایت پیام عصبی در طول یک نورون پس‌سیناپسی، از محل سیناپس شروع شده و تا پایانه‌ی آکسون ادامه پیدا می‌کند. پایانه‌ی آکسون نورون پیش‌سیناپسی ممکن است با دندریت، جسم سلولی و یا آکسون نورون پس‌سیناپسی، سیناپس تشکیل دهد؛ به عنوان مثال، اگر سیناپس در محل جسم سلولی نورون پس‌سیناپسی تشکیل شود، پتانسیل عمل از جسم سلولی شروع شده و تا پایانه‌ی آکسون ادامه پیدا می‌کند.

**عبارت ب: درست؛** در انتقال پیام عصبی از نورون پیش‌سیناپسی به سلول پس‌سیناپسی، (نورون، سلول ماهیچه یا غدد)، قطعاً اختلاف پتانسیل سلول پس‌سیناپسی تغییر می‌کند:

**الف.** اگر با کاهش اختلاف پتانسیل سلول پس‌سیناپسی، درون سلول کم‌تر منفی شود (مثلاً از  $-65$  به صفر برسد)، این سلول تحریک می‌شود.

**ب.** اگر با افزایش اختلاف پتانسیل سلول پس‌سیناپسی، درون سلول بیش‌تر منفی شود (مثلاً از  $-65$  به  $-85$  برسد)، این سلول مهار می‌گردد.

**عبارت ج: درست؛** ریشه‌ی پشتی نخاع، حاوی نورون حسی و ریشه‌ی شکمی، محتوی نورون حرکتی است. ریشه‌ی پشتی، پیام حسی را به نخاع نزدیک و ریشه‌ی شکمی، پیام حرکتی را از نخاع دور می‌کند.

**عبارت د: نادرست؛** انتقال‌دهنده‌های عصبی در هماهنگ‌کردن فعالیت‌های بدن نقش دارند، ولی هرگز توانایی عبور از غشای پلاسمایی سلول پس‌سیناپسی و ورود به داخل آن را ندارند.

**گزینه‌ی ۴: نادرست؛** با منفی‌شدن پتانسیل الکتریکی درون سلول نسبت به بیرون (در قسمت پایین‌رو پتانسیل عمل)، تراکم یون‌های پتاسیم در درون سلول شدیداً کاهش می‌یابد.

### ۱۰) گزینه‌ی ۲

گیرنده‌های درد در بافت پوششی قرار دارند. با تحریک مناسب این گیرنده‌ها (دندریت نورون‌های حسی)، اثر محرک در این نورون‌ها به پیام عصبی تبدیل شده و پتانسیل عمل ایجاد می‌شود.

**عبارت الف: درست؛** در مرحله‌ی ادامه‌ی پتانسیل عمل، کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی باز شده و یون‌های پتاسیم را از سیتوپلاسم خارج می‌کند. در انتهای پتانسیل عمل، این کانال‌ها بسته شده و پتانسیل عمل به پایان می‌رسد. پس از بسته‌شدن کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی و اتمام پتانسیل عمل، پمپ سدیم - پتاسیم با فعالیت حداکثری خود، باعث کاهش تراکم سدیم و افزایش تراکم پتاسیم در درون سیتوپلاسم می‌شود (غلظت یون‌های سدیم و پتاسیم را در دو سوی غشای سلول، به حالت آرامش اولیه برمی‌گرداند).

**عبارت ب: درست؛** اختلاف پتانسیل دو سوی غشا در حالت آرامش، حدود  $-65$  میلی‌ولت است. طی پتانسیل عمل، اختلاف پتانسیل دو سوی غشا، ابتدا در قسمت بالارو، از  $65$  به صفر و از صفر به  $40$  و پس از آن در قسمت پایین‌رو، از  $40$  به صفر و از صفر به  $65$  میلی‌ولت می‌رسد؛ بنابراین طی پتانسیل عمل، اختلاف پتانسیل دو سوی غشا، همواره کم‌تر از پتانسیل آرامش است.

**عبارت ج: درست؛** طی پتانسیل عمل، یون‌های سدیم وارد سلول می‌شوند؛ بنابراین، تراکم سدیم در بافت پوششی کاهش یافته و تراکم آن در درون دندریت نورون حسی (گیرنده‌ی درد)، افزایش می‌یابد.

**عبارت د: نادرست؛** گیرنده‌های درد (و به‌طور کلی گیرنده‌های پوست)، خودشان دندریت نورون حسی هستند؛ لذا نمی‌توانند با یک نورون حسی دیگر، سیناپس برقرار کنند.

**عبارت ه: نادرست؛** گیرنده‌های درد، در واقع دندریت نورون‌های حسی هستند که جریان عصبی را به سمت جسم سلولی هدایت می‌کنند. دندریت نورون‌های حسی، فاقد انشعاب می‌باشند.

### ۱۱) گزینه‌ی ۱

**عبارت الف: درست؛** مطابق شکل، در قسمت بالارو از پتانسیل صفر تا  $+40$ ، و در قسمت پایین‌رو از پتانسیل  $+40$  تا صفر، پتانسیل درون سلول نسبت به بیرون، مثبت و پتانسیل بیرون سلول نسبت به درون، منفی است. در پتانسیل  $+40$  به دلیل غلظت بالای یون‌های سدیم و پتاسیم در درون سلول، فشار اسمزی آن به حداکثر میزان خود می‌رسد.

