



همسر عزیزم که در این مدت با صبوری من را در تألیف این کتاب همراهی کرد.  
موسی بیات

عزیزانم، ضحی و برسام

مالک اشتر اسفندیاری

...

## مقدمه ناشر

### دوستان باوفا و باصفا

سلام!

زیست‌شناسی کنکورتان چند وقتی است که خیلی سخت شده. دوستان طراح سؤال در سازمان محترم متعجب هر سال سعی می‌کنند سؤالاتی بدهند که در هیچ کتابی به آن‌ها (بعضی‌هایشان) اشاره‌ای نشده باشد. اصلاً بنابراین لزوم خواندن دقیق و چندباره کتاب درسی و درس‌نامه‌های تألیفی استاندارد بیشتر از پیش حس می‌شود.

این کتاب حاصل تلاش دوستان عزیزم موسی بیات، مالک اشتر اسفندیلری و گروه مهربان و کاربلد زیست خیلی‌سبز به‌ویژه خانم فاطمه آقاچان‌پور است.

در این کتاب کامل و باحال سعی شده به میزان کافی و لازم (با شایدم لازم و کافی) به همه نکات زیست پرداخته شود. هم‌چنین کتاب خوب و خلاقانه دوستان عزیزم در گروه آموزشی ماژ (زیست‌شناسی جامع خیلی‌سبز) می‌تواند منبع تستی خوبی برای این کتاب باشد.

تا اوضاع جهان کمی بهتر بشود، مراقب خودتان باشید.

حال دلتان؛

خوش!

## مقدمه مؤلفان

دلمون می‌خواست در ابتدای مقدمه کتاب یاد کنیم از بزرگی که صدایش از نوجوانی در جسم و جانمان خانه کرده و چه زیبا این حس را حسین یاشاراده روی جلد کتاب به تصویر کشیده است. استاد شجریان عزیز تا ابد در قلب همه ایرانیان خواهی ماند -

تألیف اولیه این کتاب حدود یک سال و نیم طول کشید. هی نوشتیم و نوشتیم. هی با هم بحث کردیم. یک سری مطالب رو پاک کردیم، دوباره اضافه کردیم، یا به علامه آدم متخصص مشورت کردیم، کلی کتاب‌های دانشگاهی نگاه کردیم، رفتیم سر کلاس، ایده‌ها گرفتیم، دوباره اومدیم متن‌ها رو تمیز دادیم، تا آخرش رسیدیم به این‌که، آخیش... عجب کتابی شد! اما توضیحاتی در رابطه با این کتاب:

در تألیف این کتاب وسوسه و دقت فراوانی صورت گرفته و تمام تلاش‌ها بر این بوده که آن‌چه نیاز دارید، در اختیارتان قرار یگیرد.

• همان‌طور که می‌دانید تعدادی از فصل‌های کتاب‌های درسی شما نسبت به سایر فصول، حجیم‌تر و دشوارتر هستند. بنابراین سعی کردیم تا حد ممکن این فصول را برای شما ساده‌تر و کامل‌تر بنویسیم.

• در تعدادی از فصل‌ها از بیان مطالب با ترتیب و روند کتاب درسی اجتناب کردیم و با دسته‌بندی بهتر و روان‌تری به تألیف پرداختیم که دچار سردرگمی نشوید. این موضوع را در فصل گوارش به وضوح می‌بینید.

• شکل‌های کتاب درسی در نظام جدید اهمیت دوچندان پیدا کرده‌اند؛ بنابراین به طور کامل به بیان نکات شکل‌ها پرداختیم و خیال شما عزیزان را از شکل‌ها راحت کردیم. حتی در بخش‌هایی که شکل کتاب درسی، شفافیت کافی نداشته، شکل‌های مناسب‌تری را از کتاب‌های مرجع انتخاب و استفاده نمودیم تا درک بهتری نسبت به موضوع پیدا کنید.

• برای صرفه‌جویی در زمان مطالعه شما و جمع‌بندی آسان مطالب، تا حد امکان به جمع‌بندی مطالب کتاب در جدول‌های مختلف پرداختیم که در یک نگاه بتوانید موضوعات را برای خود دوره کنید.

• همان‌طور که می‌دانید، بخش‌هایی از کتاب درسی مطالب را به اختصار بیان نموده، بنابراین درک مطالب را دشوار می‌کند. برای شفافیت‌بخشیدن به این مطالب، کادری با عنوان «یک پله بالاتر» قرار دادیم و در آن‌جا با زبان خودمانی، به توضیح مفصل پرداختیم تا در عین حال که مطالب کتاب را راحت‌تر متوجه شوید، خرد زیستی هم پیدا کنید و خلاقیت ذهنی خود را تقویت کنید.

• بخش‌هایی از کتاب را به «نامه‌ها» اختصاص داده‌ایم؛ برای مثال «مخاطنامه»، «جیرجیرک‌نامه» و... این بخش‌ها جنبه ترکیبی دارند؛ یعنی هر آن‌چه که در کتاب‌های درسی در رابطه با موضوعی گفته را یکجا و خلاصه تحت عنوان «نامه» نوشتیم.



• در جای جای این کتاب، نکات ترکیبی فراوانی می‌بینید که برای جلوگیری از سردرگمی شما عزیزان، آخر هر نکته آدرس ترکیب‌شدن را ذکر کردیم.

• در نوشتن متون از پیچیده‌گویی و بیان مطالب درهم و گیج‌کننده دوری کردیم و سیاست ما ساده‌نویسی بوده است. در همین راستا همه فصول را با یک ریتم و روایت خاص نوشتیم؛ یعنی علاوه بر دستبندی ظاهری مطالب که می‌بینید، قبل از تألیف هر فصل، در مورد اسکلت و ساختمان آن فصل، بسیار فکر کردیم و هر فصل براساس یک روند آموزشی صحیح شروع و در نهایت به پایان رسیده است.

• البته باید حتماً متذکر شویم که فقط نامهٔ ناتواسته علری از هرگونه خطاست. پس از همه شما دانش‌آموزان، همکاران و صاحب‌نظران عزیزی که به مطالعهٔ این کتاب می‌پردازید، خواهشمندیم که ما را از نظرات خوب خودتان محروم نکنید و اما در پایان

از آقای دکتر کمیل نصری عزیز تشکر ویژه می‌کنم که از ابتدا تا انتهای کتاب با رهنمودهای خوب و خلاقانه، ما را در تألیف و بهترشدن این کتاب راهنمایی کردند.

از خانم دکتر فاطمه آقاچان‌پور تشکر می‌کنیم؛ اگر ایشان نبودند، این کتاب هم نبود.

هم‌چنین تشکر می‌کنیم از سرکار خانم ملیکا مهری که در شرایط قرمز کرونایی، لحظه‌ای ما را به حال خود فرونگذاشتند و با پیگیری‌های فراوان کار را به سرانجام رساندند.

سروراستاران عزیز خانم‌ها روزا امیری کجالی، فاطمه شاهمرادی، محدثه افروشه، ثریا سفیدرو، راضیه نصراله‌زاده و فاطمه تاج‌بخش بابت دقت و همراهی فراوان شما بسیار سپاس‌گزاریم.

از اساتید و همکاران عزیز و هم‌چنین واحد ویراستاری و واحد تولید که بارها زحمت ویرایش را کشیدند و همه دست‌اندرکاران که در خوب‌شدن کتاب به ما کمک کردند، کمال تشکر و قدردانی را به عمل می‌آوریم و اطمینان داریم که پشت هر کار خوبی یک تیم خوب وجود دارد.

راستی از آقای مهدی هاشمی عزیز مؤلف درجه یک فیزیک تشکر می‌کنیم که حضورشون در انتشارات خیلی سبز همیشه لتری بخش هست.

فروردین ۱۴۰۳

موسی بیات - دکتر مالک اشتر اسفندیاری

 @bayatbio

 @bayatbiology

 @ZisteMalekAshtar

## ❖ پایه دهم

- فصل ۱: دنیای زنده ..... ۹
- فصل ۲: گوارش و جذب مواد ..... ۲۹
- فصل ۳: تبدلات گازی ..... ۵۹
- فصل ۴: گردش مواد در بدن ..... ۸۲
- فصل ۵: تنظیم اسمزی و دفع مواد زائد ..... ۱۱۲
- فصل ۶: از یاخته تا گیاه ..... ۱۲۶
- فصل ۷: جذب و انتقال مواد در گیاهان ..... ۱۴۹

## ❖ پایه یازدهم

- فصل ۱: تنظیم عصبی ..... ۱۶۶
- فصل ۲: حواس ..... ۱۹۳
- فصل ۳: دستگاه حرکتی ..... ۲۱۸
- فصل ۴: تنظیم شیمیایی ..... ۲۴۰
- فصل ۵: ایمنی ..... ۲۶۰
- فصل ۶: تقسیم یاخته ..... ۲۸۵
- فصل ۷: تولیدمثل ..... ۳۱۱
- فصل ۸: تولیدمثل نهان دانگان ..... ۳۳۷
- فصل ۹: پاسخ گیاهان به محرکها ..... ۳۵۷

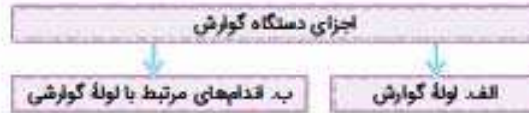
## ❖ پایه دوازدهم

- فصل ۱: مولکولهای اطلاعاتی ..... ۳۷۲
- فصل ۲: جریان اطلاعات در یاخته ..... ۳۹۷
- فصل ۳: انتقال اطلاعات در نسلها ..... ۴۲۱
- فصل ۴: تغییر در اطلاعات وراثتی ..... ۴۴۳
- فصل ۵: از ماده به انرژی ..... ۴۶۶
- فصل ۶: از انرژی به ماده ..... ۴۸۵
- فصل ۷: فناوریهای نوین زیستی ..... ۵۱۳
- فصل ۸: رفتارهای جانوران ..... ۵۳۶

## ساختار و عملکرد لوله گوارش

همان‌طور که می‌دانیم موجودات زنده برای ادامه حیات نیاز به فرایند جذب و استفاده از انرژی دارند. بنابراین غذاخوردن علاوه بر ایجاد لذت انرژی لازم را برای سالم ماندن، درست عمل کردن و رشد و نمو یاخته‌های بدن تأمین می‌کند. در واقع این دستگاه گوارش است که غذا را به شکلی قابل جذب و استفاده درمی‌آورد. دستگاه گوارش از **۱** لوله گوارش **۲** به همراه اندام‌های دیگر مرتبط با آن تشکیل شده است. این اندام‌ها به لوله گوارش، در گوارش مواد غذایی یاری‌رسانی می‌کنند.

### اجزای دستگاه گوارش

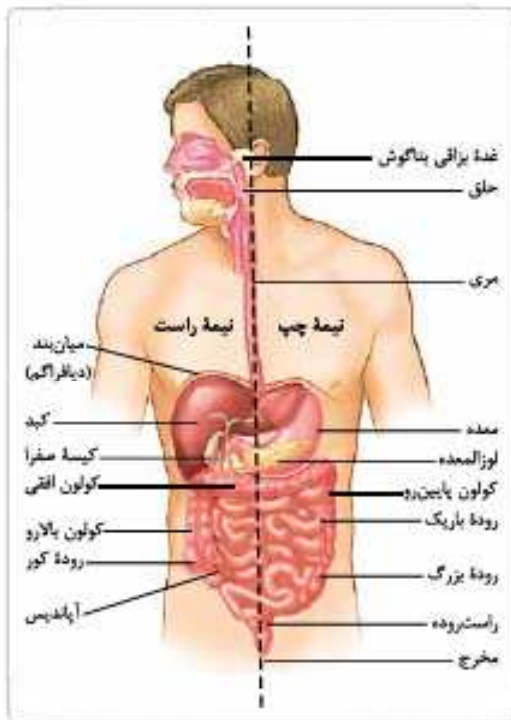


**الف. لوله گوارش** لوله‌ای پیوسته است که از دهان آغاز می‌شود و به مخرج ختم می‌گردد. این لوله شامل:

- ۱** دهان **۲** حلق **۳** مری **۴** معده **۵** روده باریک **۶** روده بزرگ **۷** راست‌روده **۸** مخرج می‌باشد.

### نکات شکل

- مری با عبور از میان‌بند (دیافراگم) در نیمه چپ بدن به معده متصل می‌شود. پس بنداره انتهایی مری در نیمه چپ بدن قرار دارد.
- بیشتر بخش‌های این لوله درون حفره شکمی و پایین‌تر از میان‌بند (دیافراگم) قرار گرفته‌اند و درون حفره شکمی از طریق بخشی از صفاق به یکدیگر متصل هستند.
- به علت حجیم‌تر بودن لوب راست کبد، سطح پرده میان‌بند در نیمه راست بدن، بالاتر از نیمه چپ است.
- قسمت بیشتر معده در نیمه چپ بدن قرار دارد.
- معده در نیمه راست بدن به دوازده متصل می‌شود.
- بنداره پیلور در نیمه راست بدن قرار دارد.
- لوب بزرگ کبد در نیمه راست بدن قرار دارد.
- بخش کوچکی از کبد که در نیمه چپ بدن قرار دارد قسمتی از معده را می‌پوشاند.
- کیسه صفرا در نیمه راست بدن در زیر لوب بزرگ کبد قرار دارد.
- لوزالمعده به موازات معده و زیر آن قرار گرفته است، بخش پهن لوزالمعده در سمت راست در فرورفتگی ابتدای دوازده قرار دارد.
- طول بخش‌های مختلف روده بزرگ از زیاد به کم به ترتیب شامل کولون پایین‌رو، کولون افقی، کولون بالایارو و روده کور می‌باشد.
- آپاندیس، روده کور و کولون بالایارو در نیمه راست بدن قرار دارند.
- کولون پایین‌رو در نیمه چپ بدن قرار دارد.
- طحال در پشت معده و نیمه چپ بدن قرار دارد.



**بندارهای لوله گوارش** در بخش‌های مختلف لوله گوارشی ماهیچه‌های حلقوی به نام بنداره (اسفنکتر) وجود دارد. این ماهیچه‌ها در اغلب اوقات (به‌جز هنگام عبور مواد) بسته هستند و علاوه بر این که از برگشت محتویات لوله به بخش قبلی، جلوگیری می‌کنند در تنظیم عبور مواد از بخشی از لوله گوارش به بخشی دیگر نقش دارند. اغلب این بندارها از جنس ماهیچه صاف بوده و برخی نیز ماهیچه اسکلتی هستند.

### جمع‌بندی تعدادی از اسفنکترهای مهم مسیر لوله گوارشی به شرح زیر است:

| نام بنداره              | نوع ماهیچه | نوع عمل  | نوع عصب‌دهی توسط دستگاه عصبی محیطی | محل بنداره                                | وظیفه بنداره                                                                              |
|-------------------------|------------|----------|------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| ۱. ابتدای مری (مخاط)    | اسکلتی     | غیرارادی | پیکری                              | ابتدای مری                                | ۱) تنظیم عبور مواد از حلق به مری و ۲) جلوگیری از بازگشت غذا از مری به حلق                 |
| ۲. انتهایی مری          | صاف        | غیرارادی | خودمختار                           | بین مری و معده                            | ۱) تنظیم عبور مواد از مری به معده و ۲) جلوگیری از بازگشت غذا از معده به مری               |
| ۳. انتهایی معده (پیلور) | صاف        | غیرارادی | خودمختار                           | در محل اتصال معده به روده باریک (دوازدهه) | ۱) تنظیم عبور مواد از معده به روده باریک و ۲) جلوگیری از بازگشت غذا از روده باریک به معده |

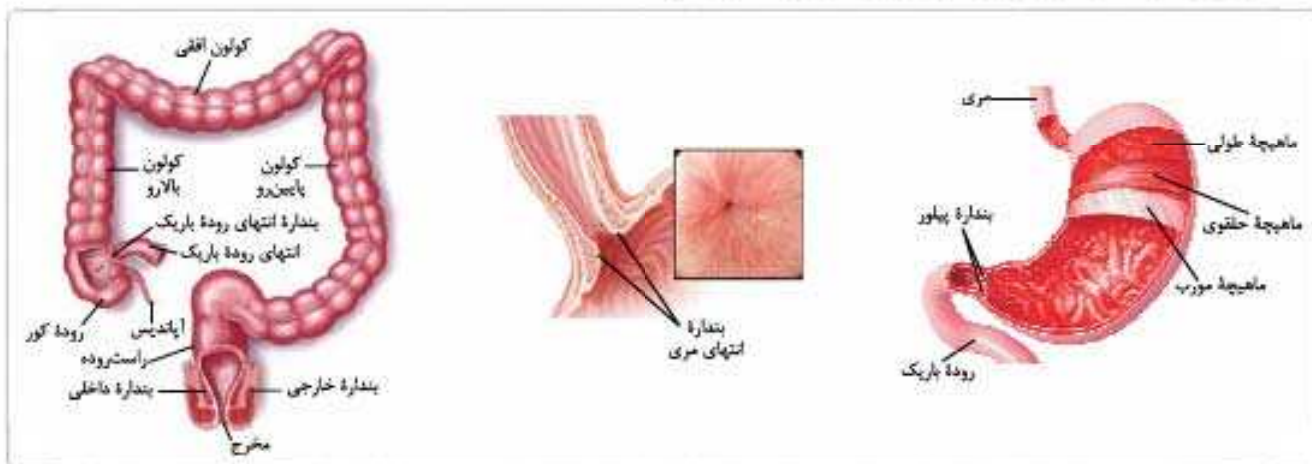


| نام بنداره           | نوع ماهیچه    | نوع عمل  | نوع عصب‌دهی توسط دستگاه عصبی محیطی | محل بنداره                                             | وظیفه بنداره                                                                                          |
|----------------------|---------------|----------|------------------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ۴. انتهای روده باریک | صاف           | غیرارادی | خودمختار                           | در محل اتصال روده باریک به ابتدای روده بزرگ (روده کور) | ۱) تنظیم عبور مواد از روده باریک به روده بزرگ<br>۲) جلوگیری از بازگشت مواد از روده بزرگ به روده باریک |
| ۵. داخلی مخرج        | صاف           | غیرارادی | خودمختار                           | انتهای راست‌روده                                       | ممانعت از خروج مدفوع تا زمان فعال شدن انعکاس دفع                                                      |
| ۶. خارجی مخرج        | اسکلتی (مخطط) | ارادی    | پیکری                              | انتهای راست‌روده                                       | جلوگیری از خروج غیرارادی مدفوع                                                                        |

**تذکره!** در کتاب درسی از بنداره ابتدای مری و بنداره انتهای روده باریک نامی برده نشده است ولی چون کتاب درسی وظیفه بنداره‌ها را تنظیم عبور مواد می‌داند، لذا توصیه می‌شود این دو بنداره را نیز یاد بگیرید.

#### نکات

- در محل بنداره‌ها، دیگر لایه‌های لوله گوارشی تیز وجود دارد، اما در این محل‌ها، ماهیچه حلقوی لایه ماهیچه‌های ضخامت بیشتری دارد.
- در برخی از این بنداره‌ها هنگام استفراغ، مواد در جهت برعکس عبور می‌کنند.
- بنداره ابتدای مری بالای میان‌بند (دیافراگم) قرار دارد، بقیه بنداره‌های لوله گوارشی زیر پرده میان‌بند قرار دارند.
- هر کدام از اندام‌های مری و راست‌روده (در محل مخرج)، دو بنداره دارند.
- به‌جز مری، هیچ اندام دیگری از لوله گوارش، در ابتدای خود بنداره ندارد.



به اندام‌های مرتبط با لوله گوارش اندام‌هایی که جزء لوله گوارش نیستند، اما جزء دستگاه گوارش بوده و در گوارش غذا نقش دارند. شامل: **۱** غده‌های بزاقی **۲** پانکراس (لوزالمعده) **۳** کبد **۴** کیسه صفرا.

#### نکات

- آپاندیس نیز در محل روده کور با لوله گوارش مرتبط است ولی چون در گوارش غذا نقشی ندارد، جزء دستگاه گوارشی محسوب نمی‌شود. آپاندیس جزء دستگاه لنفی است؛ پس لزوماً این‌گونه نیست که هر اندامی که با لوله گوارش مرتبط است جزء دستگاه گوارشی باشد.
- اندام‌هایی که به لوله گوارش راه دارند ولی جزء دستگاه گوارش نیستند عبارت‌اند از: گوش میانی، بینی، حنجره و آپاندیس.

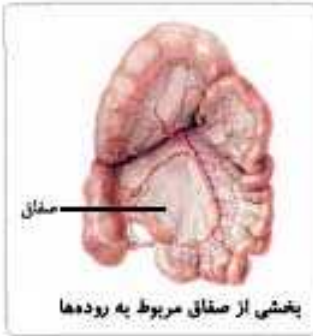
#### ساختار لوله گوارش

دیواره بخش‌های مختلف لوله گوارش، ساختار تقریباً مشابهی دارند؛ این لوله از خارج به داخل، چهار لایه دارد که در شکل مقابل به ترتیب از خارج به داخل می‌بینید:

- لایه بیرونی** خارجی‌ترین لایه لوله گوارش شامل بافت‌های متنوعی است که در آن بافت پیوندی سست، رگ‌های خونی، لنفی و اعصاب دیده می‌شوند. لایه بیرونی لوله گوارشی در حفره شکمی (زیر میان‌بند) بخشی از صفاق است؛ به عبارت دیگر، در حفره شکمی بخشی از صفاق، لایه بیرونی لوله گوارشی را می‌سازد.
- لایه بیرونی قسمت‌هایی از لوله گوارشی که خارج از حفره شکمی هستند (دهان، حلق و بخش عمده مری) بخشی از صفاق نیست.







♦ **صفاق:** پرده‌ای است که در ساختار آن بافت پیوندی سست و بافت‌های دیگر به کار رفته است. این پرده علاوه بر این که بخشی از آن در تشکیل لایه بیرونی لوله گوارشی حفره شکمی شرکت می‌کند، قسمت‌هایی از لوله گوارشی (معد، روده باریک، روده بزرگ) و اندام‌های درون حفره شکم، مانند کبد، لوزالمعده، طحال، مثانه، تخمدان‌ها و رحم را از خارج به هم وصل می‌کند. پرده صفاق شفاف بوده و در آن سرخرگ‌ها، سیاهرگ‌ها (از جمله سیاهرگ باب)، رگ‌های لنفی و اعصاب حضور دارند.

#### نکات

- ♦ بخش انتهایی مری، بنداره انتهایی مری، معد، بنداره پیلور، روده باریک، بنداره انتهایی روده باریک، روده بزرگ، اندام‌های کبد، کیسه صفرا، لوزالمعده، طحال، رحم، تخمدان‌ها و مثانه همگی در زیر میان‌بند (دیافراگم) و در حفره شکمی قرار دارند.
- ♦ کلیه‌ها اگرچه پایین‌تر از دیافراگم قرار دارند، اما خارج از محدوده صفاق می‌باشند.

۲. **لایه ماهیچه‌ای:** این لایه در ۱ دهان، ۲ حلق، ۳ ابتدای مری و ۴ بنداره خارجی مخرج از نوع ماهیچه اسکلتی (مخصلط) بوده و در دیگر قسمت‌های لوله گوارشی (بخش عمده مری، معد، روده باریک، روده بزرگ، راست‌روده و بنداره داخلی مخرج) از نوع ماهیچه صاف می‌باشد. ماهیچه اسکلتی لوله گوارش تحت عصب‌دهی اعصاب بخش پیکری می‌باشد. اما ماهیچه صاف آن تحت عصب‌دهی اعصاب بخش خودمختار قرار دارد. انقباض ماهیچه‌ها در این لایه موجب خرد و نرم شدن غذا (گوارش مکانیکی)، مخلوط‌شدن آن با شیره‌های گوارشی (گوارش شیمیایی) و حرکت محتویات لوله می‌شود. در طول لوله گوارشی (به‌جز معد) یاخته‌های لایه ماهیچه‌ای صاف به دو شکل طولی و حلقوی سازمان یافته‌اند. لایه ماهیچه‌ای طولی به سطح داخلی لایه بیرونی (خارجی‌تر است) و لایه ماهیچه‌ای حلقوی به لایه زیرمخاط (داخلی‌تر است) متصل است. در معد سه لایه ماهیچه‌ای به شکل طولی، حلقوی و مورب وجود دارد. لایه طولی با سطح داخلی لایه بیرونی و لایه مورب یا لایه زیرمخاط (داخلی‌تر است) در تماس است. در طول لوله گوارشی، یاخته‌های ماهیچه‌ای در لایه ماهیچه‌ای، در بخش‌هایی که از جنس ماهیچه اسکلتی است، می‌توانند (ته حتماً) به دو شکل حلقوی و طولی سازمان‌دهی شوند.

#### نکات

- ♦ ضخامت لایه ماهیچه‌ای در معد، بیشتر از سایر بخش‌های لوله گوارش است.
- ♦ در طول لوله گوارشی، بین لایه ماهیچه‌ای طولی و حلقوی، یک لایه نازک از بافت پیوندی سست وجود دارد.
- ♦ در طول لوله گوارشی، از مری تا مخرج بین لایه ماهیچه‌ای طولی و حلقوی، شبکه یاخته‌ای عصبی (شبکه عصبی رودهای) دیده می‌شود.
- ♦ در لایه ماهیچه‌ای، رگ‌های خونی و لنفی نیز مشاهده می‌شوند.

۳. **لایه زیرمخاطی (زیرمخاط):** این لایه از داخل با لایه مخاطی و از خارج با لایه ماهیچه‌ای حلقوی (در معد با ماهیچه مورب) در ارتباط بوده و شامل بافت پیوندی سست است. این ساختار (زیرمخاط) باعث می‌شود که، لایه مخاطی ۱ روی لایه ماهیچه‌ای بچسبد و ۲ به راحتی روی آن (لایه ماهیچه‌ای) بلغزد یا چین بخورد.

#### نکات

- ♦ در این لایه رگ‌های خونی و لنفی فراوان مشاهده می‌شود.
- ♦ در این لایه (از مری تا مخرج) همانند لایه ماهیچه‌ای، شبکه یاخته‌ای عصبی نیز دیده می‌شود.
- ♦ شبکه یاخته‌ای عصبی از مری تا مخرج در دو محل (۱ لایه ماهیچه‌ای و ۲ لایه زیرمخاطی) دیده می‌شود.
- ♦ عروق خونی در ساختار دیواره خود بافت پیوندی، ماهیچه صاف و بافت پوششی سنگفرشی یک‌لایه دارد (در فصل ۴ با آن‌ها آشنا می‌شوید). به سبب وجود عروق خونی در لایه زیرمخاط، بافت ماهیچه‌ای (صاف) و بافت پوششی (سنگفرشی تک‌لایه) و بافت پیوندی در این لایه دیده می‌شود.
- ♦ **لایه مخاطی (مخاط):** این لایه نیز خود شامل سه نوع بافت است که به ترتیب از داخل به خارج عبارت‌اند از:

۱. **بافت پوششی:** که سطح درونی لوله گوارش را می‌پوشاند. این بافت در سراسر لوله گوارش به ترشح ماده مخاطی (موسین + آب) می‌پردازد و در بعضی از قسمت‌های لوله گوارشی (دهان، معد، روده باریک و روده بزرگ) در جذب مواد نقش دارد.

بافت پوششی در دهان، حلق و مری از نوع سنگفرشی چندلایه و در معد و روده‌ها از نوع استوانه‌ای یک‌لایه است. در زیر این یاخته‌های پوششی، غشای پایه قرار دارد.

**نکته** ♦ ماده مخاطی در طول لوله گوارشی توسط برخی از یاخته‌های پوششی از نوع سنگفرشی چندلایه و استوانه‌ای یک‌لایه ترشح می‌شود.

۲. **بافت پیوندی سست:** به صورت آستر در اطراف بافت پوششی است و به نوعی از بافت پوششی پشتیبانی می‌کند. این بخش شامل رگ‌ها و مویرگ‌های خونی و لنفی است. این بافت در ساختار پرزهای روده نیز شرکت می‌کند.

۳. **ماهیچه مخاطی:** در مجاورت لایه زیرمخاطی قرار گرفته است. از جنس ماهیچه صاف است.

#### نکات

- ♦ در مخاط لوله گوارش از داخل به خارج به ترتیب: ۱ ماده مخاطی ۲ بافت پوششی ۳ بافت پیوندی سست ۴ یاخته‌های ماهیچه‌ای صاف دیده می‌شود.
- ♦ لایه مخاطی سطح درونی مجاری گوارشی، ۱ تنفسی و ۲ اندراری - تناسلی را که با محیط بیرون در تماس‌اند، می‌پوشاند.
- ♦ در لوله گوارش ضخامت لایه مخاطی از لایه زیرمخاط بیشتر است.





### نکات ترکیبی

- لایه مخاطی در مجاری تنفسی و ادراری - تناسلی، شامل بافت پوششی است که بر روی آستری از بافت پیوندی قرار دارد و فاقد ماهیچه مخاطی است. به عبارت دیگر، ماهیچه مخاطی فقط در لایه مخاطی لوله گوارش دیده می‌شود. (شکل ۵ - یازدهم)
- لایه مخاطی در مجاری تنفسی و لوله‌های قالب‌دار دارای یاخته‌های پوششی مزکدار است. (شکل ۳، ۴، ۵ - یازدهم)

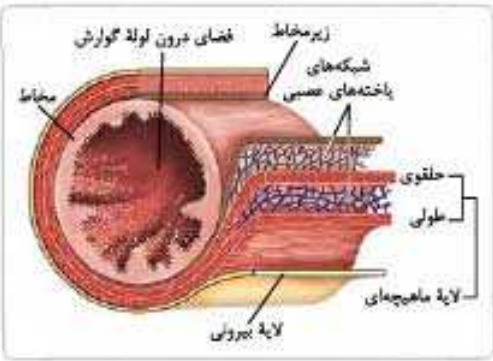
### جمع‌بندی «لایه مخاطی در یک نگاه»

|              |                                                                                                                                                                                                                                       |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| لایه مخاطی   | در مجاری؛ از داخل به خارج به ترتیب شامل ماده مخاطی، بافت پوششی و بافت پیوندی سست می‌باشد که البته در لوله گوارش دارای ماهیچه مخاطی نیز هست.                                                                                           |
| ماده مخاطی   | همان گلیکوپروتئین موسین است که آب فراوان جذب کرده است.                                                                                                                                                                                |
| ترشحات مخاطی | یاخته‌های لایه مخاطی علاوه بر ترشح ماده مخاطی، مواد دیگری نیز ترشح می‌کنند، مثلاً در دهان علاوه بر ماده مخاطی (موسین + آب) آنزیم‌های لیزوزیم، آمیلاز و یون‌هایی مانند بی‌کربنات نیز ترشح می‌شود که همگی ترشحات مخاطی به حساب می‌آیند. |

### نکات

- در همه لایه‌های لوله گوارش رگ خونی، رگ لنفی و اعصاب قابل مشاهده است. در ضمن در ساختار سرخرگ‌ها و سیاهرگ‌ها، بافت پوششی، بافت ماهیچه صاف و بافت پیوندی به کار رفته است. پس می‌توان نتیجه گرفت که بافت‌های پوششی، ماهیچه‌ای و پیوندی در هر ۴ لایه لوله گوارش یافت می‌شوند.
- به دلیل این‌که در تمامی لایه‌های لوله گوارش بافت پیوندی (سست) وجود دارد، پس در همه لایه‌ها رشته‌های کلاژن و رشته‌های کشسان و ماده زمینه‌ای دیده می‌شود.

### جمع‌بندی «لایه‌های لوله گوارش در یک نگاه»



| ویژگی                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | جنس بافت                                                                          | لایه‌ها        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| در حفره شکمی، این لایه بخشی از صفاق است.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | انواعی از بافت‌ها مانند پیوندی سست به همراه رگ‌های خونی و لنفی و قسمت‌هایی از عصب | لایه بیرونی    |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>تحت عصب‌دهی اعصاب بخش پیکری بوده و به صورت ارادی یا انعکاسی (تغییرارادی) منقبض می‌شود.</li> <li>یاخته‌های لایه ماهیچه‌ای در بخش‌هایی از این قسمت‌های لوله گوارشی (مانند حلق و ابتدای مری) به دو شکل طولی (خارجی‌تر) و حلقوی (داخلی‌تر) سازمان‌دهی می‌شوند.</li> <li>بین ماهیچه‌های طولی و حلقوی بافت پیوندی سست قرار دارد.</li> <li>در مری بین دو ماهیچه طولی و حلقوی علاوه بر بافت پیوندی سست، شبکه یاخته‌ای عصبی نیز وجود دارد.</li> <li>در دهان و بنداره خارجی مخرج یاخته‌های ماهیچه‌ای به دو صورت طولی و حلقوی سازمان‌دهی نشده‌اند.</li> </ul>                                                                                                                                                        | ماهیچه اسکلتی در دهان، حلق، اوایل مری و بنداره خارجی مخرج                         | لایه ماهیچه‌ای |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>این ماهیچه‌ها تحت عصب‌دهی اعصاب بخش خودمختار و شبکه عصبی رودهای هستند و به صورت تغییرارادی منقبض می‌شوند.</li> <li>یاخته‌های لایه ماهیچه‌ای در این قسمت‌های لوله گوارشی (بجز معده) به دو شکل طولی (خارجی‌تر) و حلقوی (داخلی‌تر) سازمان‌دهی می‌شوند. در معده ماهیچه مورب نیز در زیر ماهیچه حلقوی وجود دارد.</li> <li>بین ماهیچه‌های طولی و حلقوی بافت پیوندی سست قرار دارد.</li> <li>در معده علاوه بر این‌که بین دو لایه طولی و حلقوی بافت پیوندی سست دیده می‌شود، بین دو لایه ماهیچه حلقوی و مورب نیز بافت پیوندی سست دیده می‌شود.</li> <li>در این قسمت از لوله گوارشی (از ادامه مری تا مخرج) بین دو لایه ماهیچه‌ای طولی و حلقوی علاوه بر بافت پیوندی سست، شبکه یاخته‌ای عصبی نیز دیده می‌شود.</li> </ul> | ماهیچه صاف در ادامه مری، معده و رودها و بنداره داخلی مخرج                         |                |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>موجب می‌شود مخاط روی لایه ماهیچه‌ای بچسبد و به راحتی روی آن بلغزد یا چین بخورد.</li> <li>ضخامت این لایه کم‌تر از لایه مخاطی است.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | شامل بافت پیوندی سست، رگ‌های خونی و لنفی فراوان، شبکه یاخته‌ای عصبی               | لایه زیرمخاط   |



| ویژگی                                                                                                                            | جنس بافت        | لایه‌ها    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>از جنس ماهیچه صاف است.</li> <li>در روده باریک به حرکت پرزها کمک می‌کند.</li> </ul>        | ماهیچه مخاطی    | لایه مخاطی |
| بافت پوششی و ماهیچه مخاطی را به هم می‌چسباند.                                                                                    | بافت پیوندی سست |            |
| در دهان، حلق و مری از نوع بافت پوششی سنگفرشی چندلایه و در معده و روده باریک، روده بزرگ از نوع بافت پوششی استوانه‌ای تک‌لایه است. | بافت پوششی      |            |
| موسین (که از جنس گلیکوپروتئین است) با جذب آب فراوان ماده مخاطی را ایجاد می‌کند.                                                  | ماده مخاطی      |            |

### حرکات لوله گوارش

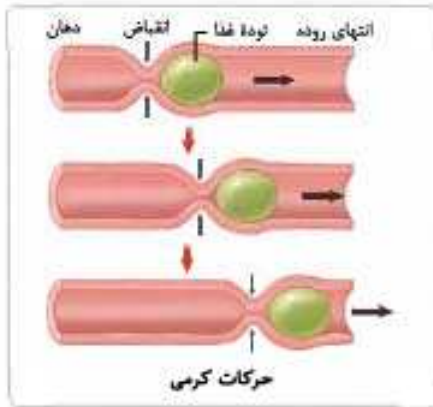
در اثر انقباض ماهیچه‌های لوله گوارش، حرکات منظمی در این لوله ایجاد می‌شود. لوله گوارش، دو حرکت گرمی‌شکل و قطعه‌قطعه‌کننده دارد.

**الف. حرکات گرمی‌شکل** محرک شروع حرکات گرمی، کشیدگی (اتساع) لوله گوارش در اثر ورود غذا می‌باشد که سبب تحریک یاخته‌های عصبی دیواره لوله گوارش می‌شود.

دقت کنید که بخش‌هایی از لوله گوارش که لایه ماهیچه‌ای از جنس اسکلتی است، توسط اعصاب بخش پیگری و بخش‌هایی که دارای ماهیچه صاف است، توسط اعصاب خودمختار و شبکه یاخته‌های عصبی، عصبدهی شده و به انقباض درمی‌آیند. حرکات گرمی‌شکل دو نقش دارند:

**1** نقش پیش‌برندگی، این حرکات از دهان به سمت مخرج وجود دارد که به صورت یک حلقه انقباضی ظاهر می‌شود.

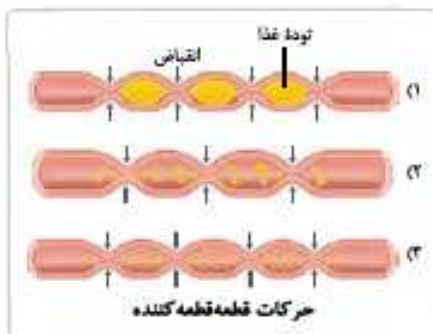
ماهیچه‌های پشت توده غذا منقبض و ماهیچه‌های جلوی توده غذا در حالت استراحت قرار گرفته که باعث تشکیل یک حلقه انقباضی در پشت توده غذایی شده و غذا را در طول لوله گوارشی به جلو می‌راند. **2** نقش مخلوط‌کنندگی، حرکات گرمی‌شکل علاوه بر جلوراندن مواد غذایی، نقش مخلوط‌کنندگی نیز دارند البته در برخی محل‌ها که در آن‌جا محتویات لوله به بنداره (مانند پیلور) برخورد می‌کند، فقط نقش مخلوط‌کنندگی دارد.



**نکته** حرکات گرمی از حلق آغاز شده و به سمت مخرج ادامه می‌یابد.

**نکته ترکیبی** حرکات گرمی‌شکل تنها مختص لوله گوارش نیستند! مثلاً در فصل ۵ خواهید خواند که ادرار پس از ساخته شدن در کلیه‌ها، توسط ۲ لوله به نام میزنای به مثانه منتقل می‌شود. حرکات ادرار در میزنای به واسطه انقباضات گرمی‌شکل ماهیچه‌های صاف دیواره میزنای انجام می‌شود. (فصل ۵ - رهم)

**ب. حرکات قطعه‌قطعه‌کننده** این حرکات در روده باریک باعث ریزتر کردن غذا و مخلوط کردن غذا با شیرۀ گوارشی می‌شود. طی این حرکات بخش‌هایی از عضلات لوله گوارش به صورت یکی‌درمیان منقبض می‌شوند، سپس این بخش‌ها از حالت انقباض خارج و بخش‌های دیگر منقبض می‌شوند. تداوم این حرکات باعث ریزتر کردن و مخلوط شدن بیشتر محتویات لوله با شیرمهای گوارشی می‌شود.



### نکات

- حرکات قطعه‌قطعه‌کننده در تمامی طول لوله گوارشی دیده نمی‌شود و در بخش‌هایی از لوله گوارشی مانند روده باریک دیده می‌شود.
- در انعکاس استرغ، حرکات گرمی در جهت برعکس انجام می‌شود و محتویات لوله گوارش از معده و حتی بخش ابتدای روده باریک (دوازدهه) به سرعت رو به دهان حرکت می‌کند.

**یک پله بالاتر** در استرغ عادی که محتویات لوله گوارشی از معده به دهان برمی‌گردد دو بنداره باز می‌شود (بنداره ابتدا و انتهای مری)، ولی در استرغ شدیدتر که محتویات لوله گوارشی از ابتدای روده باریک به دهان بازمی‌گردد، سه بنداره باز می‌شود (پیلور و بنداره‌های ابتدا و انتهای مری). مرکز کنترل استرغ در بصل‌النخاع قرار دارد.



غذا در دستگاه گوارش با فرایند گوارش مکانیکی آسیاب شده و با فرایند گوارش شیمیایی، پیوند بین مولکول‌ها شکسته و مولکول‌های بزرگ به مولکول‌های کوچک تبدیل می‌شوند.

**۱. دهان** دهان در بخش پایینی سر قرار گرفته و به کمک ماهیچه اسکلتی آرواره پایین به صورت ارادی یا انعکاسی (خمیازه) باز و بسته می‌شود. در دهان هر چهار لایه لوله گوارشی دیده می‌شود. لایه ماهیچه‌ای از نوع اسکلتی بوده که توسط اعصاب بخش پیکری عصبدهی می‌شود و عملکردی ارادی دارد. بافت پوششی در مخاط دهان از نوع سنگفرشی چندلایه است.

**نکته ترکیبی** آرواره بالا ثابت است و مفصل بین دو آرواره از نوع مفصل متحرک می‌باشد. (فصل ۳ - یازدهم)

**نکته** در دهان، بافت ماهیچه‌ای صاف در لایه مخاطی و رگ‌های خونی دیده می‌شود.

**وظایف دهان:** دهان دارای دو نقش است: **۱** حسی **۲** گوارشی

**نکته ترکیبی** دهان علاوه بر اندام گوارشی، یکی از اندام‌های حسی بدن محسوب شده و دارای گیرنده‌های چشایی (حس ویژه) می‌باشد. در واقع گیرنده‌های حسی دهان باعث می‌شود که غذا خوردن تبدیل به یکی از لذت‌های زندگی شود. (فصل ۲ - یازدهم)

**نقش گوارشی دهان:** در دهان هر دو نوع گوارش مکانیکی و شیمیایی دیده می‌شود.

**الف) گوارش مکانیکی دهان:** گوارش مکانیکی دهان به کمک ماهیچه‌های اسکلتی، زبان، دندان‌ها و آرواره‌ها، اتفاق می‌افتد. با انقباض ماهیچه‌های اسکلتی و حرکت آرواره پایینی، غذا توسط دندان‌ها خرد شده و توسط زبان مخلوط می‌گردد. آسیاب‌شدن غذا به ذره‌های بسیار کوچک برای فعالیت بهتر آنزیم‌های گوارشی و اثر بزاق بر آن لازم است.

**نکته** دهان در یک فرد بالغ در هر نیم‌فک دارای ۸ عدد دندان است که مجموعاً ۳۲ دندان می‌شود.

**نکته ترکیبی** زبان عضوی ماهیچه‌ای (اسکلتی) است که توسط بافتی پوششی احاطه شده است و علاوه بر این که در گوارش نقش دارد، به واسطه داشتن جوانه‌های چشایی، اندامی حسی نیز محسوب می‌شود. (فصل ۲ - یازدهم)

**ب) گوارش شیمیایی دهان:** گوارش شیمیایی دهان به واسطه بزاق انجام می‌شود. **۱** محل تولید بزاق، محل تولید بزاق، غدد بزاقی است.

**۲** ساختار غدد بزاقی، غدد بزاقی، جزء غدد برون‌ریز بوده که در ساختار خود یاخته‌هایی دارند که ترکیبات بزاق را تولید و به درون مجاری ترشح می‌کنند. پس بزاق از طریق این مجاری وارد حفره دهانی می‌شود. باید توجه کرد که غدد بزاقی جزء لوله گوارش نیستند.

**۳** انواع غدد بزاقی، شامل تعدادی غده‌های کوچک پراکنده در حفره دهانی و ۳ جفت (۶ عدد) غده بزرگ (اصلی) به شرح زیر است:

**غدد بزاقی بزرگ شامل:**

**۱** غده بناگوشی: این دو غده بزرگ‌ترین غدد بزاقی هستند.

این غده از بالا هم‌راستا با گوش و از پایین هم‌راستا با آرواره پایین دیده می‌شوند. هر غده توسط یک مجرا محتویات خود را از بخش بالایی دهان به موازات دندان‌های آسیای فک بالا، وارد لوله گوارش (دهان) می‌کند.

**۲** غده زیر آرواره‌ای: اندام‌های متوسط داشته و نسبت به غده زیرزبانی در موقعیت پایین‌تری قرار دارد. مجرای هر غده با عبور از مجاور غده زیرزبانی، بزاق را به بخش زیر زبان می‌ریزد.

**۳** غده زیرزبانی: از دو غده دیگر کوچک‌تر و به لب‌ها نزدیک‌تر است. هر غده توسط چندین مجرای کوچک بزاق را به زیر زبان می‌ریزند.

**نکات**

**۱** غدد بناگوشی برخلاف غدد زیرزبانی و زیر آرواره‌ای، توسط استخوان‌های آرواره حفاظت نمی‌شوند.

**۲** حجم ترشح بزاق در ساعات مختلف شبانه‌روز و یا در شرایط مختلف کم و زیاد می‌شود؛ برای مثال فعال‌شدن سمپاتیک می‌تواند ترشح بزاق را کاهش دهد.

**نکات ترکیبی**

**۱** ترشح بزاق می‌تواند یک فرایند انعکاسی (انعکاس مغزی) باشد و مرکز کنترل ترشح بزاق پیل مغزی است. (فصل ۱ - یازدهم و فصل ۸ - دوازدهم)

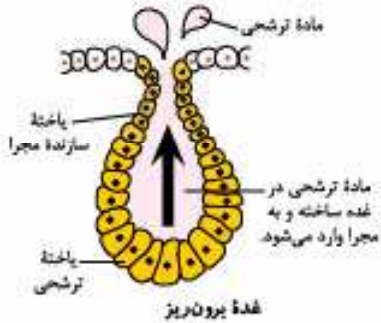
**۲** علاوه بر تحریک گیرنده‌های چشایی در دهان، دیدن و بوییدن نیز با تأثیر بر مرکز عصبی در انعکاس ترشح بزاق نقش دارد. (فصل ۱ - یازدهم)

**۳** معمولاً به هنگام فعالیت هیجانی یا استرس، به علت فعال‌شدن اعصاب سمپاتیک حجم ترشحات بزاقی کاهش می‌یابد. (فصل ۱ - یازدهم)

**۴** ترکیبات بزاق، بزاق از مواد مختلفی، تشکیل شده است، که عبارتند از:

۱. آب، از خوناب تأمین شده و بیشترین حجم ترکیبات بزاق را تشکیل می‌دهد.

۲. یون‌ها



غده‌های بناگوشی، زیر آرواره‌ای و زیرزبانی، بزاق ترشح می‌کنند.



۲. موسین، نوعی گلیکوپروتئین (قند + پروتئین) است که با جذب آب فراوان، ماده مخاطی ایجاد می‌کند. ماده مخاطی؛ **الف**، دیواره لوله گوارش را از خراشیدگی حاصل از تماس غذا یا آسیب شیمیایی (بر اثر آنزیم یا اسید) حفظ می‌کند. **ب**، درمهای غذایی را به هم می‌چسباند و به توده‌های لغزنده و قابل بلع تبدیل می‌کند.

۴. آنزیم‌های متنوع: دو نوع از آنزیم‌های آن عبارتند از:

- آنزیم آمیلاز، نشاسته را به دی‌ساکارید مالتوز و مولکول‌های درشت‌تر از مالتوز آبکافت می‌کند.
- آنزیم لیزوزیم، در از بین بردن باکتری‌های درون دهان نقش دارد. (خط اول دفاعی - دفاع غیراختصاصی)

**نکته** در بزاق انواعی از آنزیم‌ها یافت می‌شود که آمیلاز و لیزوزیم دو نمونه از آنها هستند.

**نکته ترکیبی** لیزوزیم، آنزیمی با فعالیت برون‌یاخته‌ای است و در خط اول دفاعی بدن نقش دارد، اما لیزوزوم اندامکی است که آنزیم‌های درون آن در گوارش درون‌یاخته‌ای شرکت دارند. (فصل ۵ - بازرهم)

۲. **حلق** گذرگاهی است که هم هوا و هم غذا از آن عبور می‌کند. هر چهار لایه‌ای که در ساختار لوله گوارشی وجود دارد در ساختار دیواره حلق نیز دیده می‌شود. لایه ماهیچه‌ای (طولی و حلقوی) دیواره حلق از نوع اسکلتی بوده که تحت عصبدهی اعصاب بخش پیکری هستند و هنگام بلع به صورت غیرارادی عمل می‌کنند. با ورود غذا به حلق و کشیده شدن دیواره آن، گیرنده‌های حسی (نوعی گیرنده مکانیکی تماسی) موجود در دیواره حلق تحریک می‌شوند.

**نکات ترکیبی**

- حلق چهارراهی است که (از بالا با بینی، از جلو با دهان، از پایین با مری و نای) و دو مجرا (شیپور استنشاق) در ارتباط است. انتهای حلق به یک دوراهی ختم می‌شود که در این دوراهی، حنجره در جلو و مری در پشت قرار دارد. (فصل ۲ - بازرهم)
- در پایین حلق و در ابتدای نای، حنجره قرار دارد که توسط اپی‌گلوت، هنگام بلع و استفرغ بسته می‌شود. اپی‌گلوت جزئی از حنجره بوده و ساختار غضروفی دارد. (فصل ۳ - رهم)

۳. **مری** در پشت نای قرار گرفته است و هنگامی که خالی از غذاست، قطر آن از نای کم‌تر است. انتهای مری پس از عبور از پرده ماهیچه‌ای میان‌بند کمی به سمت چپ متمایل شده و به سمت راست معده متصل می‌شود.

♦ **ساختار دیواره مری**: در دیواره مری هر چهار لایه لوله گوارشی (لایه بیرونی، لایه ماهیچه‌ای، لایه زیرمخاطی و لایه مخاطی) دیده می‌شود. لایه ماهیچه‌ای (طولی و حلقوی) در ابتدای مری اسکلتی بوده که توسط اعصاب بخش پیکری، عصبدهی می‌شود و به صورت غیرارادی عمل می‌کند. این لایه در ادامه از نوع ماهیچه صاف می‌باشد که توسط بخش اعصاب خودمختار، عصبدهی می‌شود و به صورت غیرارادی عمل می‌کند. در بین دو لایه ماهیچه طولی و حلقوی مری، بافت پیوندی سست و شبکه‌ی یاخته‌های عصبی دیده می‌شود. بنداره ابتدایی آن از نوع اسکلتی است که به صورت غیرارادی منقبض می‌شود و عصب بخش پیکری به آن وارد می‌شود و بنداره انتهایی مری از جنس ماهیچه صاف است که توسط اعصاب بخش خودمختار، عصبدهی شده و به صورت غیرارادی عمل می‌کند. در مخاط مری بافت پوششی سنگفرشی چندلایه دیده می‌شود. مخاط مری چندان به شیره معده مقاوم نیست و در افرادی که ریفلاکس معده دارند، مخاط مری دچار آسیب می‌شود.

**نکات**

- فقط قسمت کوچکی از مری که در زیر پرده میان‌بند قرار دارد، با پرده صفاق در ارتباط است.
- بنداره انتهایی مری متعلق به مری است نه معده؛ در ضمن این بنداره اندکی از رأس معده پایین‌تر است.
- غده‌های مخاطی مری، ماده مخاطی ترشح می‌کنند تا حرکت غذا آسان‌تر شده و مری دچار خراشیدگی نشود.

**بلع غذا** بلع فرایندی است که طی آن غذا از دهان به معده منتقل می‌شود.

بلع در دو مرحله انجام می‌شود: ۱. مرحله ارادی ۲. مرحله غیرارادی.

- ♦ **۱. مرحله ارادی**: در این مرحله توده غذا با اراده فرد و به کمک فشار زبان (دارای ماهیچه‌های مخطط و ارادی) به انتهای دهان و در نهایت به حلق رانده می‌شود.
- ♦ **۲. مرحله غیرارادی**: این مرحله خود شامل دو بخش است: **الف**، حرکت غذا از حلق تا مری **ب**، حرکت غذا از مری تا معده.

**الف**، حرکت غذا از حلق تا مری.

با رسیدن غذا به حلق، وقایع زیر اتفاق می‌افتد: ۱. دیواره حلق کشیده شده و گیرنده‌های حسی (نوعی گیرنده مکانیکی) موجود در دیواره تحریک می‌شوند و پیام عصبی در آن‌ها ایجاد می‌شود. ۲. پیام حسی از طریق رشته‌های عصبی حسی به مرکز بلع در بصل‌النخاع ارسال می‌شود. ۳. مرکز بلع در بصل‌النخاع با ارسال پیامی به مرکز تنفس در همان بصل‌النخاع باعث قطع عمل تنفس می‌شود. ۴. برچاکنای (اپی‌گلوت) پایین آمده و مسیر حنجره (مسیر ورود هوا) را می‌بندد، زبان کوچک بالا رفته و مسیر بینی را می‌بندد. ۵. مرکز بلع از طریق رشته‌های عصبی پیکری با ارسال پیامی (غیرارادی) به ماهیچه‌های حلق باعث شروع حرکت کرمی در حلق می‌شود. ۶. لقمه غذا به واسطه حرکت کرمی حلق، بنداره ابتدای مری را باز کرده و وارد مری می‌شود.

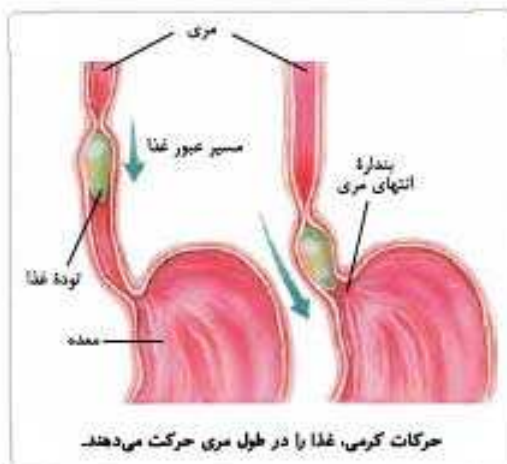
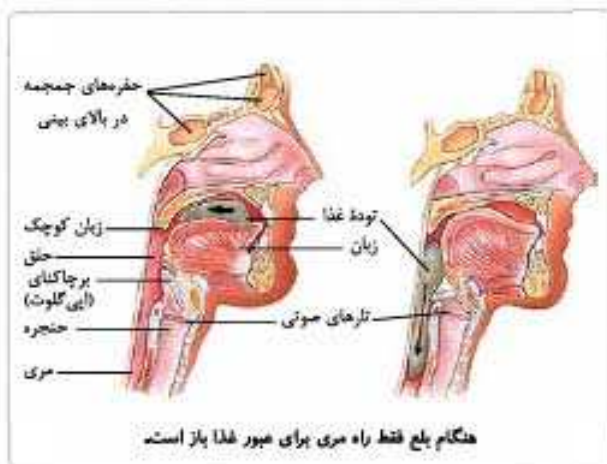
**ب**، حرکت غذا از مری تا معده، با ورود غذا به مری، دیواره مری گشاد شده و یاخته‌های عصبی دیواره لوله را تحریک می‌کند، یاخته‌های عصبی، ماهیچه‌های دیواره را به انقباض وادار می‌کند در نتیجه حرکت کرمی شکل در مری ظاهر شده و غذا را در طول مری به سمت معده می‌رانند. در ایجاد حرکات کرمی شکل مری علاوه بر اعصاب محیطی که از مرکز بلع به مری وارد می‌شود، شبکه یاخته‌های عصبی نیز نقش دارد.

**نکات**

- بلع ابتدا به صورت ارادی آغاز می‌شود، اما ادامه بلع، فرایندی انعکاسی است که هم عضلات اسکلتی و هم عضلات صاف در آن به انقباض درمی‌آیند.
- بنداره‌های ابتدا و انتهای مری معمولاً بسته هستند و اما در هنگام بلع و استفرغ باز می‌شوند.
- در بلع حرکات کرمی به صورت حلقه‌ای در پشت (بالا) توده غذایی ایجاد می‌شود.



در ابتدای مری به لایه ماهیچه‌های (اسکلتی) دیواره آن، اعصاب پیکری و به شبکه یاخته‌ای عصبی که بین ماهیچه‌های طولی و حلقوی و زیرمخاط قرار دارند، اعصاب خودمختار وارد می‌شود، اما در ادامه مری به ماهیچه‌های صاف و شبکه یاخته‌ای عصبی که بین ماهیچه‌های طولی و حلقوی و لایه زیرمخاط دیواره آن قرار دارند اعصاب خودمختار وارد می‌شود.



### نکات شکل

- تارهای صوتی هنگام عبور غذا از مری، به هم نزدیک‌تر می‌شوند.
- در استخوان جمجمه، بخش پیشانی و گونه‌ها، حفراتی قابل مشاهده است.
- قاعده ایبی گلوت (پرچاکنای) به جلوی حنجره متصل است و رأس ایبی گلوت به صورت آزاد و در مجاورت مری است.
- در دیواره حفره بینی نامهمواری‌هایی قابل مشاهده است.
- حین حرکت کرمی غذا در مری، یک حلقه انقباضی در پشت توده غذا ایجاد شده که توده را به جلو می‌راند؛ بنابراین گرانش زمین در جایه‌هایی توده غذایی، نقش محسوسی ندارد.

### جمع‌بندی «وضعیت راه‌های گلو در فعالیت‌های مختلف»

| فرایند  | زبان بزرگ | زبان کوچک | ایبی گلوت   | حنجره (تارهای صوتی) |
|---------|-----------|-----------|-------------|---------------------|
| بلع     | بالا      | بالا      | پایین       | بالا                |
| استفراغ | پایین     | بالا      | پایین       | بالا                |
| سرفه    | پایین     | بالا      | ناگهان بالا | ناگهان پایین        |
| نفسه    | پایین     | پایین     | ناگهان بالا | ناگهان پایین        |

**۴. معده** بخش ابتدایی معده در سمت چپ حفره شکمی و پشت لوب کوچک کبد قرار گرفته، اما انتهای معده در وسط و کمی به سمت راست متمایل است. معده اندام کیسه‌ای شکل لوله گوارش است.

در معده هر دو نوع گوارش مکانیکی و شیمیایی دیده می‌شود. با ورود غذا به معده، چین‌خوردگی‌های آن باز شده تا غذای بلع شده در معده انبار (ذخیره موقتی) گردد. گوارش شیمیایی غذا در معده به کمک شیره معده و گوارش مکانیکی به کمک حرکات معده انجام می‌شود. پس از این‌که غذا به طور کامل با شیره معده آمیخته شد، مخلوط حاصل را کیموس می‌گویند. با باز شدن بنداره پیلور کیموس وارد ابتدای روده باریک می‌شود. به ابتدای روده باریک دوازدهه می‌گویند.

♦ **ساختار دیواره معده:** دیواره معده نیز مانند دیواره دیگر قسمت‌های لوله گوارشی دارای چهار لایه است:

۱ **لایه بیرونی:** که بخشی از صفاق است.

۲ **لایه ماهیچه‌ای:** که در آن برخلاف سایر بخش‌های لوله گوارشی، یاخته‌های ماهیچه‌ای در سه جهت (طولی، حلقوی و مورب) سازمان‌دهی یافته‌اند، این ماهیچه‌ها از نوع صاف بوده و تحت تأثیر شبکه یاخته‌ای عصبی و دستگاه عصبی محیطی (اعصاب خودمختار) به صورت غیرارادی عمل می‌کنند و حرکات کرمی شکل معده در نتیجه انقباض این لایه ماهیچه‌ای اتفاق می‌افتد. لایه‌های ماهیچه‌ای توسط بافت پیوندی سست از هم جدا می‌شوند. در انتهای معده، ضخامت لایه ماهیچه‌ای بیشتر شده و بنداره پیلور ایجاد می‌شود.

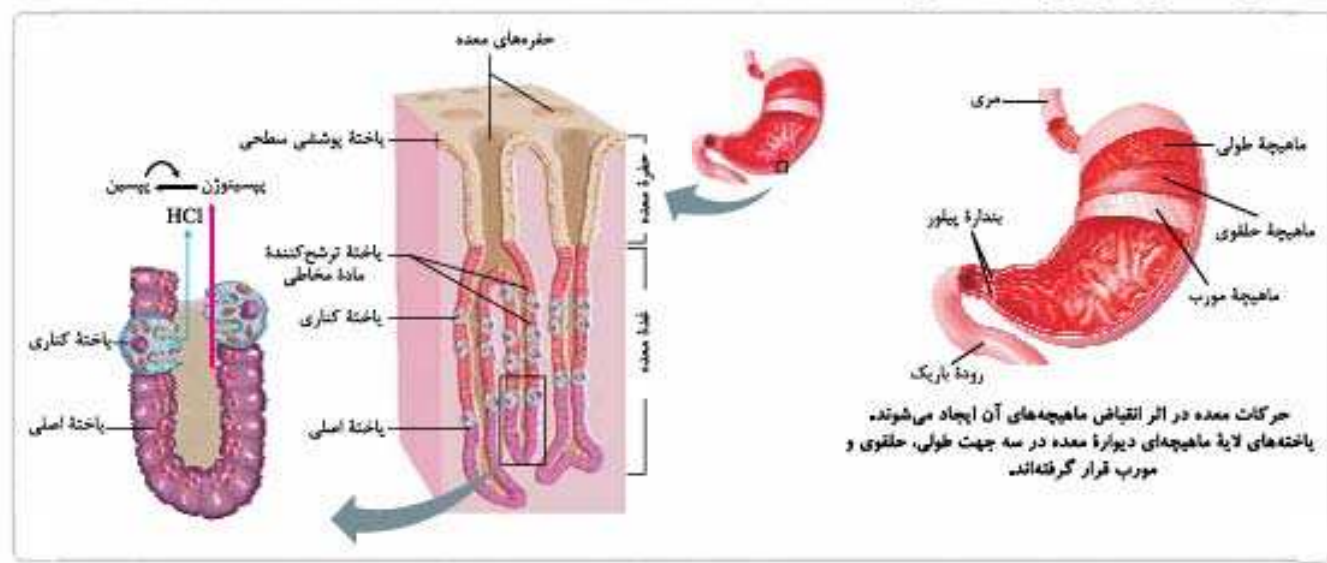
۳ **لایه زیرمخاط:** این لایه از بافت پیوندی سست بوده و حاوی شبکه یاخته‌ای عصبی و رگ‌های خونی و لنفی فراوان است.

۴ **لایه مخاطی:** که دارای یاخته‌های پوششی سطحی و غده‌ای است. یاخته‌های پوششی سطحی با تعداد فراوان‌تر سطح داخلی معده و حفرات معده را می‌پوشاند و یاخته‌های غده معده که در ادامه حفرات معده در غده معده قرار دارند.

♦ طبق شکل کتاب درسی، لایه مخاطی معده، یک لایه سلول پوششی استوانه‌ای است که در برخی جاها در بافت پیوندی سست زیرین خود فرو رفته است که این فرورفتگی‌ها سبب ایجاد حفره‌های معده می‌شوند. مجاری غده‌های معده به حفره‌های معده راه دارند و ترشحات برون‌ریز این غده، پس از عبور از مجاری غده و حفره‌های معده وارد بخش کیسه‌ای شکل معده می‌شوند.



• غده‌های معده طبق شکل می‌توانند تشعب‌دار باشند.



حرکات معده در اثر انقباض ماهیچه‌های آن ایجاد می‌شوند. یاخته‌های لایه ماهیچه‌ای دیواره معده در سه جهت طولی، حلقوی و مورب قرار گرفته‌اند.

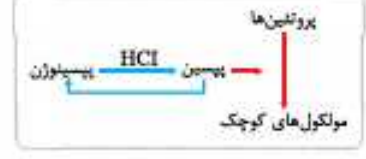
✦ **یاخته‌های پوششی معده:** در مخاط معده دو مجموعه یاخته پوششی دیده می‌شود: **۱** یاخته‌های پوششی سطحی **۲** یاخته‌های پوششی غذای. **۱** یاخته‌های پوششی سطحی، این یاخته‌ها سطح و حرقات معده را می‌پوشاند و به ترشح **۱** ماده مخاطی و **۲** بی‌کربنات می‌پردازند. ماده مخاطی به صورت لایه زلغای چسبناکی، مخاط معده را می‌پوشاند. بی‌کربنات نیز این لایه زلانی حفاظتی را قلیایی می‌کند. در نتیجه سد حفاظتی محکمی در مقابل اسید و آنزیم‌های معده به وجود می‌آید.

**نکات**

- ✦ فراوان‌ترین یاخته‌های پوششی مخاط معده از این نوع هستند.
- ✦ یاخته‌های پوششی سطحی از نوع استوانه‌ای تک‌لایه هستند.
- ✦ **۲** یاخته‌های پوششی غذای، در غده معده چهار نوع یاخته غذای دیده می‌شود که سه نوع آن برون‌ریز و یک نوع آن درون‌ریز می‌باشند. توجه کنید که غدد معده در بافت پیوندی سست مخاط قرار دارند و به زیرمخاط نمی‌رسند.
- ✦ **الف** یاخته‌های ترشح‌کننده ماده مخاطی، این یاخته‌ها برخلاف یاخته‌های پوششی سطحی فقط ماده مخاطی ترشح می‌کنند و بی‌کربنات ترشح نمی‌کنند.

**نکات**

- ✦ فراوان‌ترین یاخته‌های غدد معده از این گروه‌اند.
- ✦ این یاخته‌ها به حرقات معده نزدیک‌تر بوده و برخی از آن‌ها با یاخته‌های سطحی معده و یاخته‌های کناری در تماس هستند.
- ✦ **ریز** یاخته‌های اصلی، این یاخته‌ها آنزیم‌های معده را ترشح می‌کنند. پپسینوژن نام عمومی پیش‌ساز پروتئازهای معده است که تحت تأثیر HCl (کلریدریک اسید) به آنزیم پپسین تبدیل می‌شود.



بنابراین پپسین دو وظیفه دارد: **۱** تجزیه پروتئین‌ها به مولکول‌های کوچک‌تر طی عمل آبکافت و شکستن پیوند پپتیدی بین آمینواسیدها **۲** با اثر بر پپسینوژن، تبدیل آن به پپسین را موجب شده در نتیجه تولید پپسین بیشتر می‌شود.

**نکات**

- ✦ یاخته‌های اصلی غدد معده، عمیق‌ترین یاخته‌های غدد معده هستند که می‌توانند با یاخته‌های کناری و یاخته‌های ترشح‌کننده ماده مخاطی در غدد معده در تماس باشند.
- ✦ کلریدریک اسید یک ماده معدنی بوده که باعث تبدیل پپسینوژن به پپسین می‌شود. پس الزاماً در همه واکنش‌های زیستی، آنزیم‌ها نقش ندارند و این فرایند تجزیه بدون دخالت آنزیمی دیگر و تحت تأثیر HCl هم پیش می‌رود.
- ✦ کلریدریک اسید در تجزیه پروتئین‌ها به صورت غیرمستقیم نقش دارد.
- ✦ پپسینوژن چند نوع پروتئاز غیرفعال است که با بریده‌شدن قطعه‌ای از آن به پپسین تبدیل می‌شوند. پس مولکول پپسینوژن از پپسین بزرگ‌تر است.
- ✦ پپسین، درون یاخته‌های اصلی تولید نمی‌شود، بلکه درون محیط اسیدی معده از پپسینوژن تولید شود.
- ✦ پپسین، پروتئین‌ها را به قطعات کوچک‌تر تبدیل می‌کند؛ یعنی توانایی تولید آمینواسید یا گوارش کامل پروتئین‌ها را ندارد.
- ✦ جایگاه فعال آنزیمی در پپسینوژن فاقد عملکرد می‌باشد. (فصل ۱- دوازدهم)
- ✦ pH بهینه برای فعالیت پپسین در معده حدود ۲ (محیط اسیدی) است.
- ✦ فقط آنزیم‌های گوارشی که توسط غدد اصلی معده ترشح می‌شوند دارای pH بهینه ۲ می‌باشند. آنزیم‌های درون‌یاخته‌ای که توسط این غدد تولید می‌شوند، هرگز به بیرون ترشح نمی‌شوند و pH بهینه آن‌ها نیز عدد ۲ نمی‌باشد.
- ✦ پپسینوژن، مهم‌ترین آنزیم ترشحاتی توسط یاخته‌های اصلی معده می‌باشد؛ پس این یاخته‌ها، آنزیم‌های گوارشی دیگری نیز تولید و ترشح می‌کنند.



همه یاخته‌های هسته‌دار بدن انسان سالم ژن پپسینوژن را دارند، ولی این ژن فقط در یاخته‌های اصلی غدد معده بیان می‌شود.

در یاخته‌های اصلی غدد معده انسان سالم، ژن پپسین نداریم، بلکه ژن پپسینوژن وجود دارد و بیان می‌شود.

در یاخته‌های اصلی غدد معده، آنزیم‌های زیادی تولید می‌شوند که فقط برخی از آن‌ها که آنزیم‌های گوارشی هستند به بیرون ترشح می‌شوند.

**جذب یاخته‌های کناری، فراوانی آن‌ها از سایر یاخته‌های بیرون‌ریز غدد معده کم‌تر است، اما اندازه آن‌ها بزرگ‌تر و سطح آن‌ها ناصاف است.**

این یاخته‌ها: **۱** کلریدریک اسید (HCl) و **۲** عامل (فاکتور) داخلی معده ترشح می‌کنند.

**۱** کلریدریک اسید.

**الف) شیره معده** را اسیدی می‌کند که از یک طرف باعث تبدیل پپسینوژن به پپسین شده و از طرف دیگر pH بهینه لازم برای فعالیت آنزیم‌های معده (پپسین و لیپاز) را فراهم می‌کند.

**ب) خاصیت ضدعفونی‌کنندگی** دارد و در محیط معده باعث از بین رفتن میکروب‌ها می‌شود (در خط اول دفاعی بدن نقش دارد). (شکل ۵-۵، بازهم)

**نکته** برای تبدیل پپسینوژن به پپسین شرایط اسیدی معده لازم است، ولی پپسین، تبدیل پپسینوژن به پپسین را بیشتر می‌کند؛ یعنی اگر محیط معده اسیدی نباشد، خود پپسین هم فعالیت ندارد.

**۱** عامل داخلی معده، وظیفه عامل داخلی معده کمک به جذب ویتامین B<sub>۱۲</sub> در روده باریک است (این دو ماده همراه با هم به روش آندوسیتوز (درون‌بری) جذب می‌شوند) ویتامین B<sub>۱۲</sub> برای ساختن گویچه قرمز در مغز استخوان ضروری است.

کمبود ویتامین B<sub>۱۲</sub> در بدن به هر دلیلی مانند **۱** آسیب به یاخته‌های کناری معده **۲** زخم معده **۳** برداشتن معده (به دلیل سرطان معده) **۴** سوء تغذیه (کاهش یا عدم مصرف غذاهای جانوری) و **۵** جهش در ژنی که عامل ساخت فاکتور داخلی معده است؛ باعث نوعی کم‌خونی خطرناک شده و زندگی فرد به خطر می‌افتد.

**نکات ترکیبی**

هر عاملی که سبب کاهش یا عدم تولید فاکتور داخلی معده شود ← سبب کاهش هماتوکریت (خون‌بهر) می‌شود. (شکل ۴-۴، بازهم)

ویتامین B<sub>۱۲</sub> در مغز قرمز استخوان باعث عملکرد صحیح فولیک اسید (نوعی ویتامین B) شده و این ویتامین نیز با تأثیر بر روند تقسیم میتوز یاخته‌های بنیادی در مغز قرمز استخوان باعث تولید گویچه‌های قرمز می‌شود. کمبود فولیک اسید و یا کمبود ویتامین B<sub>۱۲</sub> در بدن باعث کاهش در روند تولید گویچه‌های قرمز در مغز قرمز استخوان شده و فرد به نوعی کم‌خونی شدید مبتلا می‌شود. (شکل ۴-۴، بازهم)

ویتامین B<sub>۱۲</sub> فقط در غذاهای جانوری وجود دارد و همچنین در روده بزرگ هم مقداری ویتامین B<sub>۱۲</sub> توسط میکروب همزیست تولید می‌شود. (شکل ۴-۴، بازهم)

**نکات**

عامل داخلی معده نوعی گلیکوپروتئین است که ترشح آن با آگزوستوز (صرف انرژی) است.

یاخته‌های کناری به علت فعالیت زیاد، نیاز به انرژی فراوانی دارند؛ به همین علت در این یاخته‌ها تعداد راکیزه‌ها فراوان است.

ژن عامل داخلی معده در همه یاخته‌های هسته‌دار انسان سالم وجود دارد، ولی فقط در یاخته کناری معده بیان می‌شود.

یاخته‌های کناری معده، مابین یاخته‌های اصلی و یاخته‌های ترشح‌کننده ماده مخاطی دیده می‌شوند.

**جذب یاخته‌های ترشح‌کننده هورمون**، این یاخته‌ها درون‌ریز هستند و برخلاف دیگر یاخته‌های غدد معده که بیرون‌ریز می‌باشند، ماده‌ای را به حفره معده ترشح نمی‌کنند. این یاخته‌ها با ترشح هورمون گاسترین به خون بر فعالیت یاخته‌های اصلی و کناری تأثیر می‌گذارند. **۱** با تأثیر بر یاخته‌های اصلی باعث افزایش ترشح پپسینوژن می‌شوند، **۲** با تأثیر بر یاخته‌های کناری، باعث افزایش ترشح اسید معده می‌شوند.

**نکات**

در یاخته‌های کناری و اصلی غدد معده، ژن گیرنده هورمون گاسترین بیان می‌شود، در صورتی که ژن هورمون گاسترین در یاخته‌های هورمون‌ساز غدد معده بیان می‌شوند.

هر آنزیمی که توسط یاخته‌های بیرون‌ریز تولید می‌شود، الزاماً به بیرون ترشح نمی‌شود، زیرا همه یاخته‌های زنده دارای آنزیم‌های درون‌یاخته‌ای مانند دتاسپاراز، هلیکاز و ... نیز می‌باشند. برای مثال یاخته‌های کناری معده برای خود آنزیم می‌سازند اما آن‌ها را به بیرون ترشح نمی‌کنند.

هورمون گاسترین پس از ترشح وارد خون شده از طریق سیاهرگ معده به سیاهرگ باب می‌ریزد و پس از عبور از کبد از طریق بزرگ سیاهرگ زیرین وارد قلب شده و از طریق سرخرگ آکورت در کل بدن پخش می‌شود؛ این هورمون از طریق سرخرگ معده وارد معده شده و بر روی یاخته‌های هدف خود در غدد معده اثر می‌گذارد.

هورمون گاسترین با تأثیر بر یاخته‌های اصلی، فقط باعث افزایش تولید و ترشح پپسینوژن می‌شود و با تأثیر بر یاخته‌های کناری فقط باعث افزایش تولید HCl می‌شود و نقشی در افزایش ترشح عامل داخل معده ندارد.

**نکته ترکیبی** بدون حضور گاسترین نیز پپسینوژن و اسید معده تولید می‌شوند، ولی گاسترین میزان تولید را افزایش می‌دهد. به عبارتی دیگر، گاسترین با اثر بر یاخته‌های اصلی میزان بیان ژن‌های پپسینوژن و با اثر بر یاخته‌های کناری، میزان بیان ژن آنزیم‌های لازم برای تولید اسید معده را افزایش می‌دهد. به این فرایند تنظیم بیان ژن می‌گویند که در زیست دوازدهم با آن آشنا می‌شوید. (شکل ۴-۲، دوازدهم)



**«جمع‌بندی» یاخته‌های معده در یک نگاه**

| انواع یاخته‌های پوششی مخاط معده | محل یاخته                                              | ترشحات                                                | نقش                                                                          | سایر ویژگی‌ها                                                                        |
|---------------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| ۱. پوششی - سطحی                 | در سطح معده و حفره‌ها                                  | ماده مخاطی (موسین + آب) و بی‌کربنات                   | با تولید لایه ژله‌ای - قلیایی، سد محکمی در برابر اسید و آنزیم ایجاد می‌کنند. | فراوان‌ترین یاخته‌ها در حفره معده هستند.                                             |
| ۲. ترشح‌کننده ماده مخاطی        | بخش بالایی و میانی قند معده                            | ماده مخاطی                                            | با تولید لایه ژله‌ای، سدی در برابر آنزیم ایجاد می‌کنند.                      | فراوان‌ترین یاخته‌ها در قند معده هستند.                                              |
| ۳. اصلی                         | اعماق قند                                              | آنزیم‌های گوارشی، از جمله: پروتئازهای معده (پپسینوژن) | ریز کردن پروتئین‌ها به قطعات کوچک‌تر                                         | فراوانی آن‌ها از یاخته‌های تولیدکننده ماده مخاطی کم‌تر است.                          |
| ۴. کناری                        | مایین یاخته‌های ترشح‌کننده ماده مخاطی و یاخته‌های اصلی | کلریدریک اسید و عامل داخلی معده                       |                                                                              | بزرگ‌ترین اندازه را دارند. تعدادشان کم است و دارای چین‌خوردگی‌هایی در سطح خود هستند. |
| ۵. درون‌ریز                     | قند معده                                               | هورمون گاسترین                                        | تأثیر بر یاخته‌های اصلی و کناری و افزایش ترشح پپسینوژن و کلریدریک اسید       | هورمون گاسترین را به خون می‌ریزند.                                                   |

❖ **شیره معده:** مجموع ترشحات برون‌ریز قند معده را شیره معده می‌گوییم. پس شیره معده شامل ۱) اسید معده ۲) ماده مخاطی، ۳) بی‌کربنات، ۴) مخلوطی از آنزیم‌ها و ۵) فاکتور داخلی معده است.

**نکته:** شیره معده توانایی تجزیه کربوهیدرات‌ها را ندارد.

❖ **حرکات معده:** محرک شروع حرکات معده ورود غذا به معده طی فرایند بلع است. معده به علت داشتن سه لایه ماهیچه‌ای می‌تواند انقباضات شدید در دیواره خود ایجاد کند. هر چه حجم مواد ورودی به معده بیشتر باشد، چین‌خوردگی‌های معده بیشتر باز می‌شوند و قدرت انقباضات بیشتر می‌شود. پس در ابتدای ورود غذا، انقباضات معده اندک است، اما با افزایش ورود غذا به معده، شدت انقباضات افزایش می‌یابد. با توجه به شکل ۸ کتاب درسی، خطوط چین‌خوردگی معده عمدتاً هم‌راستا با طول معده دیده می‌شوند.

**❖ مراحل حرکات معده**

۱) بلع (ورود غذا از دهان به معده) ۲) کشیدگی یا اتساع اندک معده ۳) آغاز انقباضات معده به صورت موجی (متناوب) از بالای معده به سوی پیلور ۴) عبور کمی کیموس از پیلور منقبض (ثرات ریز) ۵) بازگشت ثرات بزرگ به علت منقبض بودن پیلور و آسیاب بیشتر آن‌ها در معده ۶) تقریباً به شکل مایع درآمدن مواد غذایی ۷) رسیدن موج شدید انقباض (حرکات کرمی) به پیلور و کاهش انقباض پیلور ۸) ورود کیموس به دوازدهه

❖ **برگشت اسید معده (ریفلاکس):** اگر انقباض بنداره انتهای مری به حد کافی نباشد، مقداری از اسید معده به مری برمی‌گردد. از آن‌جایی که مخاط مری به اندازه مخاط معده محافظت نمی‌شود، به تدریج مخاط مری دچار آسیب می‌شود.

علل کافی نبودن انقباض بنداره انتهای مری، ۱) کشیدن سیگار ۲) مصرف نوشابه‌های الکلی ۳) رژیم غذایی نامناسب و استفاده بیش از اندازه از غذاهای آماده و ۴) تنش و اضطراب، از جمله علت‌های برگشت اسید معده‌اند.

**❖ نکات ترکیبی»**

❖ مواد سیگار بر مغز نیز اثر گذاشته و فعالیت‌های یاخته‌های عصبی را تغییر می‌دهد. همچنین این مواد از جمله مواد سرطان‌زا به حساب می‌آیند. (مصرف تنباکو با سرطان‌های دهان، حنجره و شش‌ها ارتباط مستقیمی دارد). (فصل ۱ - یازدهم)

❖ از عوارض تنش و اضطراب طولانی‌مدت، افزایش میزان هورمون‌های کورتیزول در خون می‌باشد و اگر تنش‌ها به مدت زیادی ادامه یابد، کورتیزول دستگاه ایمنی را تضعیف می‌کند و همچنین عامل از کارافتادگی زودرس تخمدان‌ها در خانم‌ها می‌باشد. (فصل‌های ۴ و ۷ - یازدهم)

۵. **روده باریک** محل اصلی و نهایی گوارش شیمیایی و جذب مواد روده باریک است. این اندام طولی‌ترین قسمت لوله گوارشی است که خود شامل چند بخش است. دوازدهه ابتدای روده باریک بوده و حالت تلی‌شکل دارد (افقی به سمت راست، عمودی به سمت پایین و افقی به سمت چپ). بیشتر مراحل پایانی گوارش مواد غذایی در دوازدهه انجام می‌شود. pH ابتدای دوازدهه اسیدی است، اما تحت تأثیر ترشحات خود دوازدهه، لوزالمعده و صفرا (بی‌کربنات فراوان) به سرعت خنثی و در نهایت قلیایی می‌شود.

❖ **چین‌خوردگی‌های روده باریک:** روده باریک به سه شکل، چین می‌خورد که به ترتیب اندازه عبارت‌اند از: ۱) چین‌های حلقوی ۲) پرزها ۳) ریزپرزها چین‌های حلقوی بزرگ است که حاصل لفزیدن مخاط روی ماهیچه (به کمک لایه زیرمخاط) می‌باشد. روی هر چین حلقوی تعداد فراوانی پرز وجود دارد



که حاصل چین‌خوردن بافت پوششی مخاط بر روی آستری از بافت پیوندی سست است. هر پرز شامل انواعی از یاخته‌های پوششی است که بر روی آستری از بافت پیوندی سست چین خورده‌اند. ریزپرزها (چین‌های میکروسکوپی) حاصل چین خوردگی‌های غشای یاخته‌های پوششی پرز در مجاورت با فضای روده است. مجموعه همه این موارد، یعنی چین، پرزها و ریزپرزها سطح داخلی روده باریک را که در تماس با کیموس است، چندین برابر افزایش می‌دهد که سبب افزایش سطح گوارش و جذب در روده باریک می‌شود.

چین‌های حلقوی شامل مخاط و زیرمخاط  
 پرزها شامل مخاط  
 ریزپرزها شامل غشای یاخته‌های پوششی

چین خوردگی‌های  
 روده باریک

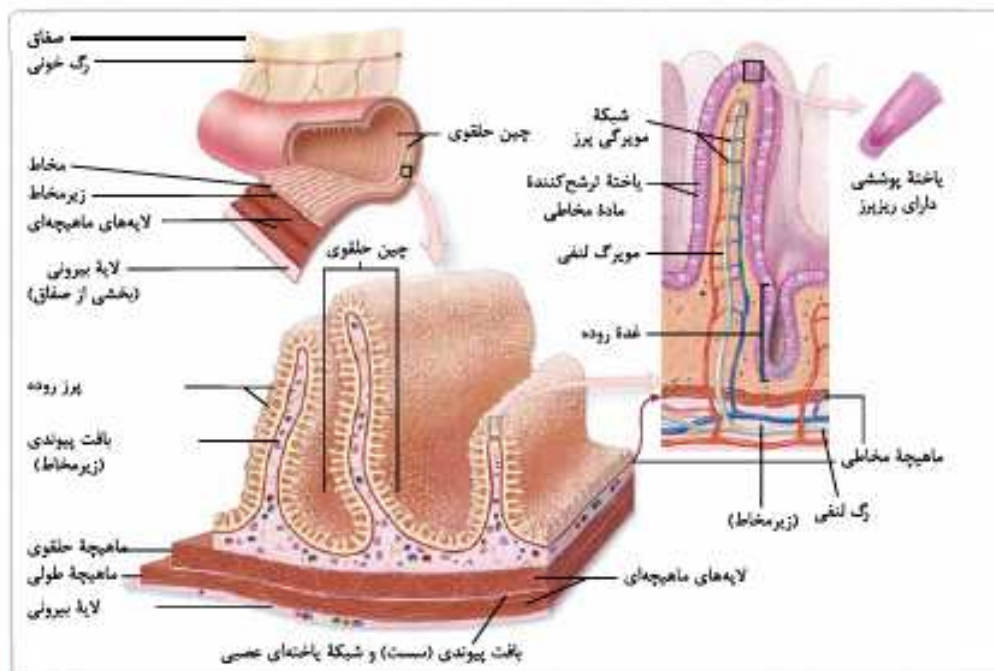
**نکته** چین‌های حلقوی و پرزها میکروسکوپی نیستند، ولی ریزپرزها میکروسکوپی هستند.

❖ **ساختار دیواره روده باریک:** در دیواره روده باریک نیز مانند دیواره سایر بخش‌های لوله گوارشی چهار لایه دیده می‌شود که از خارج به داخل به ترتیب عبارت‌اند از:

- ۱. لایه بیرونی:** که بخشی از صفای است (به بخشی از صفای که اطراف روده باریک می‌باشد، روده‌بند می‌گویند).
  - ۲. لایه ماهیچه‌ای:** که یاخته‌های آن در دو شکل طولی و حلقوی سازمان‌دهی شده‌اند. این ماهیچه‌ها از نوع صاف بوده و تحت تأثیر اعصاب بخش خودمختار و شبکه یاخته‌های عصبی (شبکه عصبی روده‌ای) به صورت غیرارادی عمل می‌کنند. بین دو لایه طولی و حلقوی، بافت پیوندی سست و شبکه عصبی روده‌ای وجود دارد. حرکات کرمی و قطعه‌قطعه‌کننده روده باریک در نتیجه انقباض لایه ماهیچه‌های اتفاق می‌افتد.
  - ۳. لایه زیرمخاط:** این لایه از بافت پیوندی سست بوده و حاوی شبکه یاخته‌های عصبی و رگ‌های خونی و لنفی فراوان است.
  - ۴. لایه مخاطی:** مخاط روده باریک نیز مانند مخاط سایر قسمت‌های لوله گوارشی، چهار بخش دارد که شامل: ۱. ماده مخاطی، ۲. بافت پوششی استوانه‌ای تک‌لایه، ۳. آستری از بافت پیوندی سست و ۴. ماهیچه مخاطی می‌باشد.
- در نتیجه چین‌خوردگی بافت پوششی بر روی بافت پیوندی سست پرزها ایجاد می‌شود. در بافت پیوندی سست هر پرز، یک سرخرگ، یک سیاهرگ، شبکه مویرگ خونی (مویرگ موجود در پرزها از نوع متفقدار هستند)، یک مویرگ لنفی بسته، رشته‌های کلاژن و کشسانی دیده می‌شود.
- در بافت پوششی روده باریک انواعی از یاخته‌های استوانه‌ای دیده می‌شود که مهم‌ترین آن‌ها عبارت‌اند از:
- ۱. یاخته‌های پوششی دارای ریزپرز (یاخته‌های جذبی):** این یاخته‌ها ریزپرز فراوان دارند و تعدادشان هم از بقیه یاخته‌های پوششی بیشتر است. این یاخته‌ها بیشتر در ناحیه پرزها دیده شده و در فرورفتگی‌های بافت پوششی (ناحیه غده‌ای) نسبت به پرزها کمتر دیده می‌شوند. این یاخته‌ها، از نوع استوانه‌ای بلند هستند و هر یک دارای هسته‌ای بیضی می‌باشند که این هسته در قاعده یاخته قرار دارد. در انتهای رأسی خود ریزپرزهای فراوانی دارند که باعث جذب بیشتر مواد غذایی می‌شود.
  - ۲. یاخته‌های ترشح‌کننده موسین (ماده مخاطی):** این یاخته‌ها بیشتر در ناحیه پرزها (بین یاخته‌های جذبی) دیده شده و در فرورفتگی‌های بافت پوششی (ناحیه غده‌ای) نسبت به پرزها کمتر دیده می‌شوند.
  - ۳. یاخته‌های ترشح‌کننده هورمون (مانند سکرترین):** محل این یاخته‌ها در شکل کتاب به طور دقیق مشخص نیست، ولی به طور پراکنده در بافت پوششی مخاط روده (در ناحیه غده روده)، دیده می‌شوند.
  - ۴. یاخته‌های ترشح‌کننده (مانند یاخته‌های ترشح‌کننده لیزوزیم):** این یاخته‌ها در ناحیه غده روده قرار دارند.

#### نکات

- ❖ شبکه یاخته‌های عصبی در لایه ماهیچه‌ای با شبکه عصبی روده‌ای در لایه زیرمخاطی با یکدیگر در ارتباط هستند.
- ❖ بین دو پرز مجاور، فرورفتگی‌هایی وجود دارد که همان غدد روده‌ای است. در این غده علاوه بر یاخته‌های پوششی دارای ریزپرز و یاخته‌های ترشح‌کننده ماده مخاطی، دیگر یاخته‌ها، مانند یاخته ترشح‌کننده آنزیم لیزوزیم نیز حضور دارند.
- ❖ در یک پرز، قطر مویرگ لنفی یا همان اندازه قطر سرخرگ و سیاهرگ است یا حتی بیشتر نیز هست.

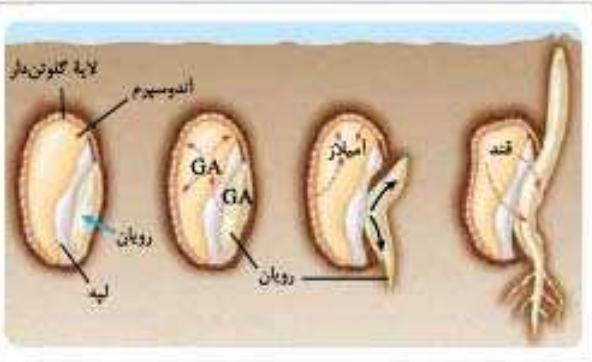






ریزرز روده باریک

❖ **بیماری سلیاک:** در این بیماری، بر اثر پروتئین گلوتن، یاخته‌های روده تخریب می‌شوند (علت این تخریب حمله سیستم ایمنی بدن به یاخته‌های روده است) و ریزرزها و حتی پرزها از بین می‌روند. در نتیجه، سطح جذب مواد، کاهش شدیدی پیدا می‌کند و بسیاری از مواد مغذی مورد نیاز بدن جذب نمی‌شود. در ضمن، علاوه بر مشکلات جدی در جذب مواد، گوارش مواد هم دچار مشکل می‌شود؛ زیرا بسیاری از یاخته‌های پوششی روده تخریب شده، در نتیجه آنزیم‌های گوارشی کم‌تری تولید و ترشح می‌شود و گوارش مواد غذایی به طور کامل انجام نمی‌شود. در بیماری سلیاک، بدن با سوء تغذیه مواجه می‌گردد و مواد مغذی ضروری بدن به حد کافی تأمین نمی‌گردد؛ بنابراین ممکن است مشکلاتی از قبیل اختلال پوکی استخوان در اثر کمبود کلسیم، کم‌خونی در اثر کمبود آهن، بر هم خوردن تعادل آب و یون‌ها و اختلال در هم‌ایستایی بدن، کاهش وزن و ... ایجاد شود.



❖ **نکته ترکیبی:** در لایه خارجی یاخته‌های آندوسپرم دانه گندم و جو، درون واکولول، پروتئین گلوتن ذخیره می‌شود؛ به همین دلیل به آن، لایه گلوتن‌دار گویند. زن گلوتن در تمامی یاخته‌های دانه گندم وجود دارد. این زن در یاخته‌های خارجی آندوسپرم بیان می‌شود. هنگام رویش دانه، هورمون جیبرلیک اسید از یاخته‌های رویان، تولید و بر لایه آخر آندوسپرم (لایه گلوتن‌دار) اثر کرده و باعث ساخت آنزیم‌های گوارشی از جمله آمیلاز می‌شود. (فصل ۹ - یازدهم)

❖ **گوارش در روده باریک:** کیموس به تدریج وارد روده باریک می‌شود تا مراحل پایانی گوارش به‌ویژه در دوازدهه انجام شود. عوامل مؤثر در گوارش مواد غذایی در روده باریک عبارتند از: ۱. خود روده باریک ۲. صفرا ۳. لوزالمعده (پانکراس) ۴. خود روده باریک

الف) حرکات روده

نقش روده باریک

در گوارش غذا

ب) شیره روده

❖ **الف) حرکات روده باریک:** حرکت روده باریک علاوه بر ۱. گوارش مکانیکی و ۲. پیش‌برندگی کیموس در طول روده، ۳. کیموس را در سراسر مخاط روده می‌گستراند تا تماس آن با شیرهای گوارشی و نیز یاخته‌های پوششی مخاط، افزایش یابد (کمک به گوارش شیمیایی و افزایش میزان جذب).

❖ **ب) شیره روده:** شیره روده شامل ۱. موسین ۲. آب ۳. یون‌های مختلف از جمله بی‌کربنات و آنزیم است که توسط برخی از یاخته‌های پوششی روده ترشح می‌شوند.

نکات

- ❖ در شیره روده باریک انواعی از یون‌ها وجود دارد که یکی از آن‌ها بی‌کربنات می‌باشد. بی‌کربنات به قلبیایی کردن محیط داخلی روده کمک می‌کند.
- ❖ در شیره روده باریک علاوه بر آنزیم‌های گوارشی مانند آنزیم‌های تجزیه‌کننده پروتئین‌ها و کربوهیدرات‌ها، آنزیم لیزوزیم نیز دیده می‌شود.
- ❖ **۲. صفرا:** صفرا در یاخته‌های کبد (جگر) تولید و بیشترین آن در کیسه صفرا ذخیره می‌شود. صفرا در پاسخ به ورود کیموس به روده، به دوازدهه می‌ریزد. **کبد:** کبد اندامی دولوبی است که لوب چپ کوچک‌تر و متمایل به سمت چپ بوده، اما لوب راست بزرگ‌تر و در سمت راست حفره شکمی قرار گرفته است. بین این دو لوب پرده‌ای از جنس بافت پیوندی است. کبد دقیقاً زیر میان‌بند (دیافراگم) و بالای کلیه‌ها قرار دارد. کبد بزرگ‌ترین غده برون‌ریز بدن بوده که البته دارای یاخته‌های درون‌ریز نیز می‌باشد.

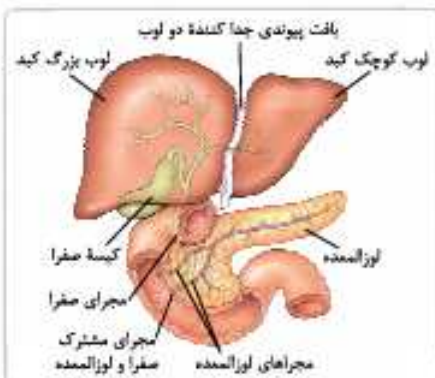
❖ **وظایف:** بخش برون‌ریز کبد با ساختار غده‌ای به تولید صفرا پرداخته و یاخته‌ها در بخش درون‌ریز آن به ترشح هورمون اریتروپوئین می‌پردازند. بسیاری از مواد تازه جذب‌شده در روده، از کبد عبور کرده و بخشی از آن‌ها در کبد ذخیره می‌شوند؛ برای مثال منبع اصلی ذخیره گلیکوژن در کبد است که در مواقع لزوم، به گلوکز تجزیه می‌شود. در دوران جنینی کبد به همراه طحال در ساخت یاخته‌های خونی و گردها نیز شرکت دارند و در بزرگسالی نیز کبد با ترشح اریتروپوئین، ساخت گویچه‌های قرمز خون در مغز استخوان را تنظیم می‌کند.

نکات

- ❖ به علت آن که یاخته‌های کبدی صفرا می‌سازند، پس کبد در تولید کلسترول نقش دارد.
- ❖ ذخیره بیش از اندازه چربی در کبد، منجر به بیماری کبد چرب می‌گردد.
- ❖ کبد به واسطه تولید صفرا در دفع کلسترول اضافی بدن نقش دارد.
- ❖ به علت موقعیت و بزرگی لوب راست کبد، میان‌بند در سمت راست کمی بالاتر از سمت چپ خود قرار گرفته است.

نکات ترکیبی

❖ موقعیت و شکل کبد، باعث می‌شود که کلیه راست کمی پایین‌تر از کلیه چپ باشد. (فصل ۵ - دهم)





- ۱ کبد و طحال دارای مویرگ‌های ناپیوسته بوده و روزانه یک درصد گویچه‌های قرمز در این دو اندام از بین می‌روند. (فصل ۴ - دهم)
  - ۲ در کبد آمونیاک با کربن دی‌اکسید ترکیب شده و اوره تولید می‌شود. (فصل ۵ - دهم)
  - ۳ کبد تحت تأثیر هورمون‌های انسولین، گلوکاگون، ای‌نفرین و نوراپی‌نفرین به تنظیم قند خون می‌پردازد. (فصل ۴ - یازدهم)
  - ۴ الکلی با افزایش سرعت تشکیل رادیکال‌های آزاد در کبد و آسیب‌رسانی به یاخته‌های کبدی باعث بافت‌مردگی (نکروز) کبدی می‌شود. (فصل ۵ - دوازدهم)
- کیسه صفرا:** کیسه صفرا در سمت راست بدن و در زیر لوب بزرگ کبد قرار دارد و محل ذخیره صفرا می‌باشد.
- ترکیبات صفرا:** ترکیبی از آب، نمک‌های صفراوی (آلی و معدنی)، بی‌کربنات، کلسترول و فسفولیپید است. صفرا آنزیم ندارد.
- وظایف صفرا:** ۱ با ریز کردن قطرات چربی به گوارش آن‌ها کمک می‌کند. ۲ با تولید بی‌کربنات به خنثی کردن حالت اسیدی کیموس معده کمک می‌کند و همچنین باعث قلیایی شدن محیط روده می‌شود. ۳ به دفع برخی مواد مثل کلسترول اضافی می‌پردازد.

**نکته** صفرا فاقد آنزیم است، پس توانایی آبکافت یا سنتز مواد را ندارد.

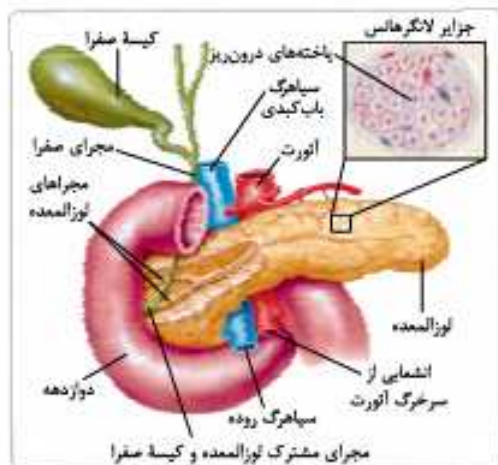
- ۱ **سنگ کیسه صفرا:** گاهی ترکیبات صفرا در کیسه صفرا رسوب می‌کنند و سنگ ایجاد می‌شود؛ بنابراین رژیم غذایی پرچرب در ایجاد سنگ صفرا نقش دارد.
- عوارض سنگ صفرا:** ۱ گوارش کم‌تر چربی‌ها ۲ جذب کم‌تر چربی‌ها ۳ جذب کم‌تر ویتامین‌های محلول در چربی (D, A, K, E) ۴ یوکی استخوان (جذب ویتامین D کم شود کلسیم هم کم‌تر از روده باریک و بزرگ جذب می‌شود). ۵ اختلال در روند انعقاد خون (ویتامین K در فرایند انعقاد خون نقش دارد). ۶ اختلال در بینایی (ویتامین A پیش‌ساز ماده حساس به نور است). ۷ گوارش دیگر مواد غذایی (کربوهیدرات‌ها و پروتئین‌ها) هم دچار مشکل می‌شود، چون صفرا در قلیایی کردن محیط داخل روده نقش دارد. لذا در کسانی که سنگ کیسه صفرا دارند محیط روده کم‌تر قلیایی شده، در نتیجه آنزیم‌های لوزالمعده بهترین فعالیت خود را نخواهند داشت.



سنگ کیسه صفرا

#### نکات

- ۱ بیشتر صفرای تولیدی در کبد در کیسه صفرا ذخیره می‌شود، ولی مقدار کمی از آن نیز مستقیماً می‌تواند از کبد وارد دوازدهه شود.
- ۲ صفرا از طریق مجرای مشترک با مجرای لوزالمعده به دوازدهه می‌ریزد.
- ۳ **لوزالمعده (پانکراس):** غده لوزالمعده در زیر معده و موازی با آن قرار گرفته است. این اندام شامل دو بخش برون‌ریز و درون‌ریز است. لوزالمعده توسط دو مجرا ترشحات خود را به بخش میانی دوازدهه (ابتدای روده باریک) می‌ریزد. مجرای بالایی (قطر کم‌تر) به طور مستقل به دوازدهه متصل است، ولی مجرای پایینی در انتهای خود با مجرای صفرا مشترک می‌شود (قطر بیشتر) و همراه با هم به دوازدهه متصل می‌شوند.
- ۴ **بخش برون‌ریز (جزایر لانگرهانس):** هر جزیره لانگرهانس دارای انواعی از یاخته است که دو نوع از آن‌ها هورمون ترشح می‌کنند، هر نوع یاخته به ترشح یک نوع هورمون می‌پردازد. هورمون‌های انسولین و گلوکاگون از جزایر لانگرهانس ترشح می‌شود. انسولین با تأثیر بر یاخته‌های بدن قند خون را کاهش و گلوکاگون با اثر بر کبد، قند خون را افزایش می‌دهد.
- ۵ **بخش برون‌ریز، این بخش به تولید و ترشح بی‌کربنات و آنزیم‌های لازم برای گوارش شیمیایی مواد غذایی می‌پردازد.**
- ۶ **بی‌کربنات، کیموس واردشده از معده را خنثی و محیط دوازدهه را قلیایی می‌کند تا محیطی مناسب برای فعالیت آنزیم‌های لوزالمعده در روده فراهم شود.** ترشح بی‌کربنات تحت تأثیر هورمون سکرترین که از دوازدهه تولید می‌شود، افزایش می‌یابد.
- ۷ **آنزیم‌های لوزالمعده:** شامل انواع آنزیم‌های لازم برای گوارش کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها، لیپیدها و نوکلئیک اسیدها می‌باشد. این آنزیم‌ها در محیط قلیایی بهترین فعالیت را دارند.



۱. پروتئازهای لوزالمعده قوی و متنوع‌اند و در هنگام تولید و ترشح از این اندام، غیرفعال هستند؛ زیرا می‌توانند خود لوزالمعده را نیز تجزیه کنند، اما هنگامی که این آنزیم‌ها وارد محیط قلیایی دوازدهه می‌شوند، تحت تأثیر pH دوازدهه (حدود ۸) فعال می‌گردند. پروتئازهای لوزالمعده می‌توانند آمینواسید را از پروتئین جدا کنند. ۲. لیپازها و دیگر آنزیم‌های تجزیه‌کننده لیپیدها، انواع لیپیدها را به اجزای قابل جذب تبدیل می‌کنند. ۳. آمیلاز لوزالمعده که در گوارش نشاسته نقش دارند. ۴. نوکلئازهای لوزالمعده که انواع نوکلئیک اسیدها را به نوکلئوتیدها آبکافت می‌کنند.

#### نکات

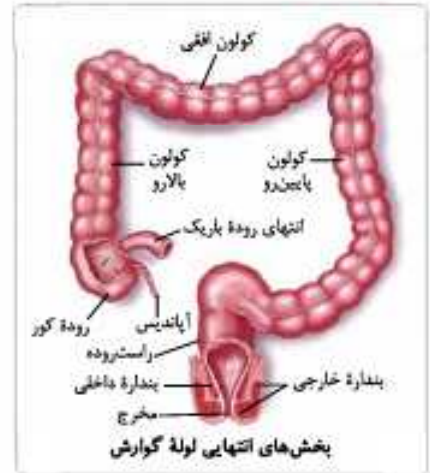
- ۱ منشأ بیشتر آنزیم‌های گوارشی موجود در روده باریک، پانکراس می‌باشد.
- ۲ در قلیایی کردن محیط روده بی‌کربنات شیره روده، صفرا و شیره لوزالمعده نقش دارند.
- ۳ محتویات و ترشحات معده، ترشحات برون‌ریز پانکراس و ترشحات صفرا همگی به دوازدهه وارد می‌شوند.
- ۴ افزایش گاسترین موجب کاهش pH معده (با افزایش ترشح HCl) و افزایش سکرترین موجب افزایش pH روده (دوازدهه) می‌گردد (با افزایش ترشح بی‌کربنات لوزالمعده). بنابراین مقدار گاسترین با pH معده رابطه معکوس دارد و مقدار سکرترین نیز با pH روده رابطه مستقیم!
- ۵ آنزیم‌های درون‌یاخته‌ای (مانند هلیکاز، دناسپاراز و رنایسپاراز و...) که توسط پانکراس تولید می‌شوند، pH بهینه ۸ ندارند، بلکه فقط آنزیم‌های گوارشی که توسط این غده تولید و ترشح می‌شوند، pH بهینه ۸ دارند.



**«جمع‌بندی» آنزیم‌های گوارشی در یک نگاه**

| عملکرد آنزیم                                                                   | محل تولید                      | آنزیم‌های گوارشی                          |
|--------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------------|
| کمک به گوارش نشاسته                                                            | غده بزاقی، پانکراس             | آمیلاز                                    |
| پروتئین را به مولکول‌های کوچک‌تر (رشته‌های پلی‌پپتیدی کوچک‌تر) تبدیل می‌کند.   | معدده                          | پپسین                                     |
| چربی (تری‌گلیسرید) را به اجزای قابل جذب آبکافت می‌کنند.                        | پانکراس                        | لیپاز                                     |
| انواعی از لیپیدها (به‌جز تری‌گلیسرید) را تجزیه می‌کنند.                        | یاخته‌های پانکراس              | آنزیم‌های تجزیه‌کنندهٔ دیگر لیپیدها       |
| می‌توانند آمینواسید را از پروتئین جدا کنند.                                    | یاخته‌های پانکراس و روده باریک | پرونتازها                                 |
| نوکلئازهای لوزالمعده که انواع نوکلئیک اسیدها را به نوکلئوتیدها آبکافت می‌کنند. | پانکراس                        | نوکلئازها                                 |
| کمک به گوارش کربوهیدرات‌های کوچک و دی‌ساکاریدها و تبدیل آن‌ها به مونوساکاریدها | روده                           | انواع آنزیم‌های تجزیه‌کننده کربوهیدرات‌ها |

**فعالیت:** لوگول معرف شناسایی نشاسته است. نشاسته رنگ زرد لوگول را به آبی تبدیل می‌کند. سه لوله آزمایش برداشته، در لوله (۱) فقط محلول نشاسته می‌ریزیم به لوله (۲) محلول نشاسته و مقداری بزاق اضافه می‌کنیم و به لوله (۳) فقط بزاق می‌ریزیم، حال به هر سه لوله مقداری مشخص لوگول اضافه می‌کنیم، لوله‌ها را برای مدتی در دمای ۳۷ درجه قرار می‌دهیم، چون بهترین دما برای فعالیت آنزیم‌ها دمای ۳۷ درجه است. لوله (۱) آبی‌رنگ می‌شود، رنگ لوله (۲) آبی خیلی کم‌رنگ‌تر می‌شود، چون آمیلاز بزاق مقداری از نشاسته را تجزیه کرده است، لوله (۳) زردرنگ است.

**۶- روده بزرگ**


ساختار، دیواره روده بزرگ نیز مانند دیواره سایر قسمت‌های لوله گوارشی دارای چهار لایه است و لایه بیرونی آن قسمتی از سفاقی می‌باشد. ۱ ابتدای روده بزرگ، روده کور نام دارد و در سمت راست حفره شکم قرار دارد که به آپاندیس ختم می‌شود. ۲ ادامه روده بزرگ شامل کولون بالا در سمت راست بدن، ۳ کولون افقی و ۴ در سمت چپ نیز کولون پایین‌رو قرار گرفته است. موقعیت کولون افقی از بخش ابتدایی دوازدهه، کبد، معده، کیسه صفرا و لوزالمعده پایین‌تر، اما از روده باریک بالاتر است. طول کولون پایین‌رو بیشتر از طول کولون بالا است. کولون پایین‌رو به راست‌رونده منتهی می‌شود. سایر ویژگی‌ها، ۱ طول روده بزرگ از روده باریک کم‌تر، اما قطر آن بیشتر است. ۲ حرکات کرمی آهسته انجام می‌شود. ۳ روده بزرگ، پرز و ریزپرز ندارد، اما دارای چین‌هایی در دیواره خود است. ۴ یاخته‌های پوششی مخاط آن، ماده مخاطی ترشح می‌کنند، ولی آنزیم گوارشی تولید و ترشح نمی‌کنند. ۵ یاخته‌های روده بزرگ توانایی جذب آب، یونها و ویتامین‌هایی (مانند ویتامین B<sub>۱۲</sub>) که در روده بزرگ توسط میکروب‌ها ساخته می‌شوند را دارند.

**نکات ترکیبی»**

- اگرچه می‌دانیم که یاخته‌های پوششی روده بزرگ آنزیم گوارشی ترشح نمی‌کنند، اما این یاخته‌ها توانایی ترشح آنزیم لیزوزیم که برای باکتری مضر است را دارند. در واقع در سراسر بافت مخاطی که ماده مخاطی ترشح می‌شود، آنزیم لیزوزیم نیز حضور دارد. پس در سراسر لوله گوارش نیز این آنزیم ترشح می‌شود. (تفصیل ۵- یازدهم)
- لوله گوارش و سطح پوست محل مناسبی برای زندگی میکروب‌ها است. روده بزرگ دارای مقداری از این میکروب‌های مفید هستند. (تفصیل ۵- یازدهم)
- آپاندیس جزء اندام‌های لنتی است که از سطح پشتی روده کور به آن راه دارد. (تفصیل ۴- دهم)

**نکات»**

- مواد گوارش نیافته و جذب‌نشده یاخته‌های مرده و باقی‌مانده شیره‌های گوارشی وارد روده بزرگ می‌شوند، روده بزرگ آب و یونها را جذب می‌کند در نتیجه مدفوع به شکل جامد درمی‌آید.
- حرکات روده بزرگ نسبت به روده باریک آهسته‌تر است. هم‌چنین میزان چین‌خوردگی در روده کور از کولون‌ها کم‌تر است.
- ۷- راست‌رونده و منبرج آخرین بخش لوله گوارش است که جزء روده بزرگ محسوب نمی‌گردد. انتهای راست‌رونده، بنداره‌های داخلی (ماهیچه صاف) و خارجی (ماهیچه اسکلتی) قرار دارد. موقعیت این دو ماهیچه نسبت به یکدیگر تقریباً هم‌راستا بوده و همانند دو حلقه است که حلقه داخلی در مرکز قرار گرفته و حلقه خارجی به دور حلقه داخلی قرار گرفته است. مدفوع به راست‌رونده وارد شده و سرانجام دفع به صورت ارادی انجام می‌شود.

**نکته»** در راست‌رونده برخلاف روده بزرگ، چین‌های حلقوی مشاهده نمی‌شود.



متخصصان برای بررسی فعالیت‌های مغزی از نوار مغزی استفاده می‌کنند. می‌دانیم یاخته‌های عصبی نیز همانند یاخته‌های ماهیچه قلبی دارای فعالیت الکتریکی هستند. این فعالیت الکتریکی قابل ثبت شدن است. جریان الکتریکی ثبت شده از نورون‌های (یاخته‌های عصبی) مغز را نوار مغزی می‌نامیم. این کار با قراردادن گیرنده‌هایی روی سر و توسط دستگاهی ویژه انجام می‌شود.

## یاخته‌های بافت عصبی

برای درست و هماهنگ عمل کردن اندام‌های بدن انسان، دستگاه عصبی به تنظیم فعالیت‌های اندام‌ها می‌پردازد. قبل از پرداختن به فعالیت تنظیمی دستگاه عصبی باید با بافت و ساختار یاخته‌های عصبی آشنا شویم.

در بدن انسان و سایر مهره‌داران چهار نوع بافت اصلی دیده می‌شود که عبارت‌اند از: ۱ بافت پوششی ۲ بافت پیوندی ۳ بافت ماهیچه ۴ بافت عصبی.

### بافت عصبی

• بافت عصبی از دو نوع یاخته تشکیل شده است: **الف** یاخته‌های عصبی یا نورون‌ها **ب** یاخته‌های غیرعصبی یا یاخته‌های پشتیبان (نوروگلیاها).

**الف. یاخته‌های عصبی (نورون‌ها)** یاخته‌های عصبی سه عملکرد دارند که عبارت‌اند از:

۱ **تحریک‌پذیری و توانایی تولید پیام عصبی**، وقتی یاخته عصبی توسط نوعی محرک، تحریک می‌شود (محرک باید به اندازه کافی قوی باشد)؛ در محل تحریک، پتانسیل عمل (پیام عصبی) ایجاد می‌شود.

۲ **هدایت پیام عصبی**، وقتی پیام عصبی در یک نقطه از یاخته عصبی ایجاد شد، در طول یاخته پیش می‌رود تا به انتهای رشته عصبی برسد که این عمل را هدایت پیام عصبی می‌گویند.

۳ **انتقال پیام عصبی**، پیام عصبی از محل شروع انتهای آکسون هدایت می‌شود پس از رسیدن به پایانه آن، پیام عصبی از محل پایانه آکسون یک یاخته عصبی به یاخته دیگری (عصبی یا غیرعصبی) توسط ناقل‌های عصبی منتقل می‌شود.

• **اجزای نورون**: هر یاخته عصبی از سه بخش تشکیل شده است:

۱ **داربته (دندریته)**، رشته یا رشته‌هایی هستند که با جسم یاخته‌ای در تماس بوده و طول آن‌ها در نورون‌های مختلف متفاوت است. در داخل آن‌ها، ماده زمینه‌ای سیتوپلاسم وجود دارد. وظیفه دندریته‌ها؛ دریافت و هدایت پیام عصبی به جسم یاخته‌ای است.

۲ **آسه (آکسون)**، رشته‌ای است که با جسم یاخته‌ای در تماس بوده و در داخل این رشته نیز ماده زمینه‌ای سیتوپلاسم حضور دارد و برخی از اندامک‌ها مانند میتوکندری در آن مشاهده می‌شود. به انتهای رشته آکسونی پایانه آکسون می‌گویند که انشعاباتی پیدا می‌کند. در پایانه آکسون، میتوکندری‌های فراوانی جهت تامین انرژی (ATP) لازم برای برون‌رانی ناقل‌های عصبی یا هورمون وجود دارند.

وظیفه این رشته هدایت پیام عصبی از جسم یاخته‌ای تا پایانه آکسون می‌باشد.

۳ **جسم یاخته‌ای**، بخش حجیم یاخته عصبی است که محل قرارگیری هسته و سایر اندامک‌ها می‌باشد. جسم یاخته‌ای محل انجام فرایندهای مربوط به سوخت و ساز و تولید ناقل‌های عصبی می‌باشد. ناقل‌های عصبی پس از تولید از طریق شبکه آندوپلاسمی و دستگاه گلژی، درون ریزکیسه‌هایی بسته‌بندی شده و به سوی پایانه آکسون، حرکت می‌کنند.

جسم یاخته‌ای می‌تواند محل دریافت پیام عصبی نیز باشد، این دریافت یا از دندریته‌ها می‌باشد یا از پایانه‌های آکسون یاخته‌های عصبی دیگر که با جسم یاخته‌ای سیناپس تشکیل داده‌اند.

### نکات

• قطر دندریته‌ها و آکسون‌ها در تمام طول آن‌ها یکسان نیست و معمولاً در بخش‌های انتهایی رشته عصبی (بخش غیرمجاور جسم یاخته‌ای) قطر آن‌ها کم‌تر است.

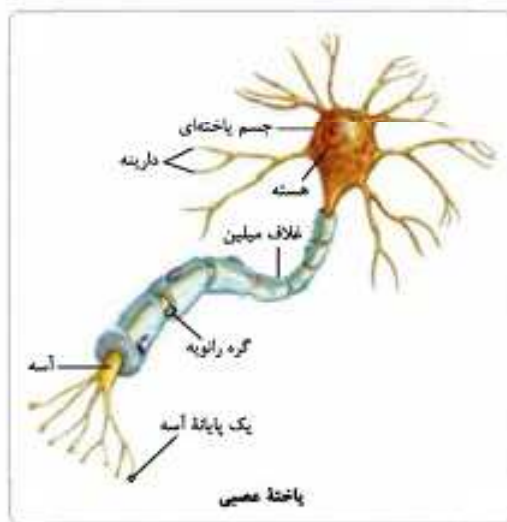
• برخی از نورون‌ها مانند نورون‌هایی که در هیپوتالاموس قرار دارند توانایی تولید هورمون نیز دارند، پس زن‌های تولیدکننده برخی از هورمون‌ها در یاخته‌های عصبی بیان می‌شوند.

• اغلب نورون‌ها میتوز نکرده و در مرحله **G<sub>1</sub>** چرخه یاخته‌ای متوقف شده‌اند، اما بعضی از آن‌ها توانایی میتوز دارند. (فصل ۶ - یازدهم)

• نورون‌ها چه قدرت میتوز داشته باشند و چه نداشته باشند، همانندسازی از دناي میتوکندری و هم‌چنین رونویسی از دناي هسته‌ای و سیتوپلاسمی و قدرت ترجمه دارند. (فصل‌های ۱ و ۲ - دوازدهم)

• **انواع نورون‌ها**: در بدن انسان نورون‌ها از نظر عملکرد به سه نوع تقسیم می‌شوند: ۱ نورون‌های حسی ۲ نورون‌های حرکتی ۳ نورون‌های رابط.

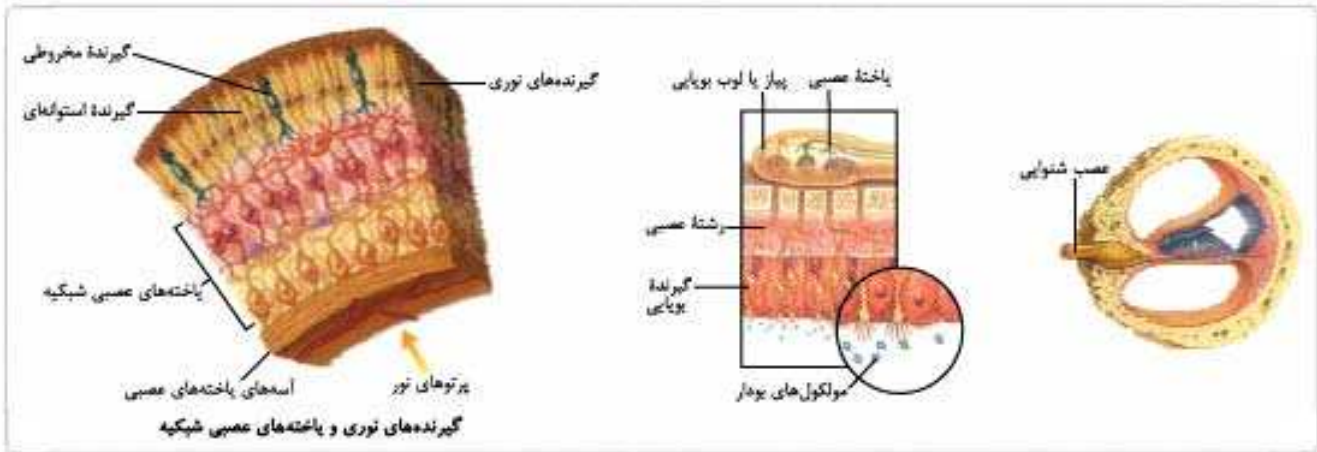
۱ **نورون‌های حسی**، این یاخته‌ها، پیام‌ها را به سوی بخش مرکزی دستگاه عصبی (مغز و نخاع) می‌آورند. یاخته‌های عصبی حسی از لحاظ شکل و ساختار انواع مختلف دارند که عبارت‌اند از: **الف** نورون‌های حسی که دندریته‌های کوتاه ولی آکسونی بلند دارند. این آکسون‌های بلند ممکن است



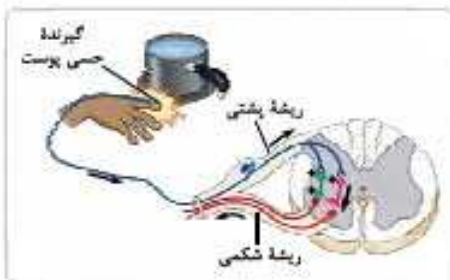
یاخته عصبی

غلاف میلین داشته باشند و یا فاقد آن باشند؛ مثل نورون‌هایی که پیام حسی توسط آکسون بلند آن‌ها از مراکز حسی (چشم، گوش و بینی) به دستگاه عصبی مرکزی ارسال می‌شود.

- در چشم: نورون‌های مستقر در شبکیه چشم که پیام بینایی را از شبکیه به سوی مغز می‌فرستند.
- در گوش: نورون‌هایی که پیام‌های عصبی مربوط به شنوایی و تعادل را به سوی مغز می‌برند.
- در بینی: گیرنده‌های بویایی که پیام بویایی را به لوب بویایی ارسال می‌کنند.



**نورون‌های حسی** که دندریتی بلندتر از آکسون دارند مانند پخته‌های عصبی که پیام‌های حسی را از طریق ریشه پشتی به نخاع وارد می‌کنند در این نوع از نورون‌ها، دندریت و آکسون در یک راستا قرار دارند و پیام عصبی می‌تواند بدون آن‌که از دندریت وارد جسم پخته‌ای شود، مستقیماً از دندریت وارد آکسون شود. دندریت این نورون‌ها ممکن است دارای غلاف میلین یا فاقد آن باشد.

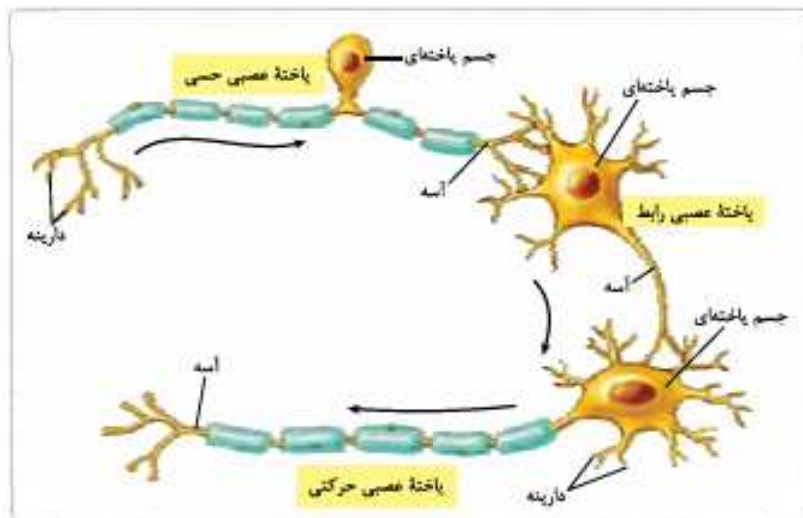
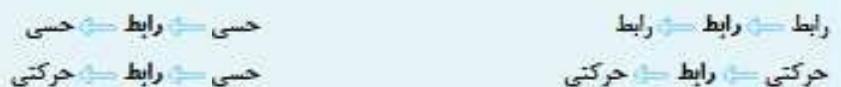


**نورون‌های حرکتی**، این پخته‌ها پیام‌ها را از بخش مرکزی دستگاه عصبی به سوی اندام‌ها (ماهیچه‌ها و غدد) می‌برند. پخته‌های عصبی حرکتی، دندریتهایی منشعب و به مراتب کوتاه‌تر از آکسون دارند. آکسون این پخته‌ها می‌تواند دارای غلاف میلین یا فاقد آن باشد.

**نورون‌های رابط**، این گروه از نورون‌ها فقط در مغز و نخاع (دستگاه عصبی مرکزی) مشاهده می‌شوند. این پخته‌ها ارتباط لازم بین نورون‌ها را در مغز و نخاع فراهم می‌کنند.

این پخته‌ها نیز همانند نورون‌های حرکتی، دندریتهایی منشعب و کوتاه‌تر از آکسون دارند.

**نکته** نقش ارتباطی نورون رابط بین انواع پخته‌های عصبی:



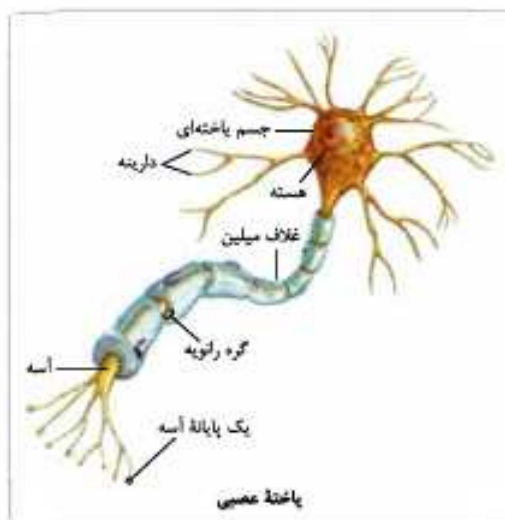


**نکات**

- ✦ نورون‌های حسی و حرکتی هم در دستگاه عصبی مرکزی و هم در دستگاه عصبی محیطی دیده می‌شوند. البته در دستگاه عصبی مرکزی بخش‌های میلیون‌دار در بخش سفید این دستگاه و بخش‌های بدون میلین می‌توانند در بخش خاکستری حضور داشته باشند.
- ✦ جسم یاخته‌های نورون‌های رابط و حرکتی در بخش خاکستری مغز و نخاع قرار دارد.
- ✦ جسم یاخته‌های نورون‌های حسی می‌تواند خارج از مغز و نخاع نیز باشد؛ مثلاً جسم یاخته عصبی حسی در اعصاب نخاعی در ریشه پشتی نخاع و خارج از بخش خاکستری قرار دارد و یا جسم یاخته عصبی حسی بینایی در شبکیه چشم قرار دارد.
- ✦ پایانه‌های آسه یک یاخته عصبی ممکن است هم‌زمان با دارینه و جسم یاخته‌های نورون پس‌سیناپسی، سیناپس تشکیل دهد.
- ✦ **رشته عصبی:** به آکسون‌ها یا دندریته‌های بلند رشته عصبی گفته می‌شود.
- ✦ **عصب:** به مجموعه رشته‌های عصبی که شامل دندریته‌ها یا آکسون‌های بلند و یا مجموعی از هر دو می‌باشند و توسط غلافی از بافت پیوندی احاطه شده است، عصب می‌گویند. البته درون عصب ممکن است رگ‌های خونی نیز یافت شود؛ مثل عصب چشم.

**مقایسه یاخته‌های عصبی از نظر عملکرد**

| نوع نورون | ویژگی دندریته                  | ویژگی آکسون                       | محل استقرار                                                                                                     | وظیفه                                             |
|-----------|--------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| حسی ۱     | دندریته کوتاه در انتها منشعب   | آکسون بلند در انتها منشعب         | در اعصاب بینایی، بویایی، شنوایی و تعادل                                                                         | پیام حسی را به مغز و نخاع می‌برند                 |
| حسی ۲     | یک دندریته طولی در انتها منشعب | آکسون نسبتاً کوتاه در انتها منشعب | نورون‌هایی که پیام حسی را از ریشه پشتی به نخاع می‌برند                                                          |                                                   |
| حرکتی     | دندریته‌های کوتاه بدون میلین   | آکسون طولی و میلیون‌دار           | بخش سفید و خاکستری دستگاه عصبی مرکزی و بخش حرکتی دستگاه عصبی محیطی مثل ریشه شکمی اعصاب نخاعی (پیکری و خودمختار) | پیام‌های مغز و نخاع را به اندام‌ها می‌برند.       |
| رابط      | دندریته‌های کوتاه              | یک آکسون کوتاه                    | بخش خاکستری و در مواردی در بخش سفید دستگاه عصبی مرکزی                                                           | بین یاخته‌های عصبی ارتباط لازم را برقرار می‌کنند. |


**به یاخته‌های پشیمان (نورولکلیا) در بافت عصبی یاخته‌های پشیمان (غیر عصبی) نیز**

وجود دارد که نورون‌ها را پشتیبانی می‌کنند. این یاخته‌ها انواع گوناگون و وظایف متفاوتی بر عهده دارند؛ تعداد و تنوع این یاخته‌ها از نورون‌ها بیشتر است. مهم‌ترین این یاخته‌ها عبارت‌اند از:

✦ **۱. یاخته‌های میلیون‌ساز:** هر کدام از این یاخته‌ها چند دور اطراف رشته‌های عصبی می‌پیچند و غلاف میلین به وجود می‌آورند. در واقع غلاف میلین همان یاخته پشیمان است که به دور نورون پیچیده است؛ پس جنس این غلاف از عشا هست، یعنی از فسفولیپید، پروتئین و ... غلاف میلین آکسون و دندریته بسیاری (نه همه) از نورون‌ها را پوشانده و آن‌ها را عایق‌بندی الکتریکی می‌کند. پس برای نورون در محل غلاف میلین، امکان تبادل یون‌ها در دو سوی عشا وجود ندارد.

**گره راتویه:** غلاف میلین پیوسته نیست. محلی در حد فاصل دو غلاف میلین، که در آن‌جا رشته عصبی یا محیط بیرون یاخته در ارتباط مستقیم است گره راتویه نام دارد. دقت کنید انشعابات انتهایی دندریته‌ها، پایانه آکسونی و جسم یاخته‌ای نیز فاقد میلین هستند، اما گره راتویه محسوب نمی‌شوند.

**نکته** هر سه نوع یاخته عصبی می‌توانند میلیون‌دار نیز باشند. البته اغلب نورون‌های حسی و حرکتی دارای میلین و نورون‌های رابط، اغلب فاقد میلین هستند.

**یک پله بالاتر:** حواستون باشه که سلول سازنده غلاف میلین هم یک یاخته زنده است مثل تمامی یاخته‌های پیکری بدن؛ سیتوپلاسم داره، هسته داره، اندامک‌ها و اجزای دیگه.

چون غلاف میلین یک یاخته زنده است پس همانندسازی دنا، عمل رونویسی و ترجمه در اون‌ها دیده می‌شه. قطعاً برای زنده‌موندن نیاز به ATP داره که با تنفس یاخته‌ای اون رو تأمین می‌کنه. بیشتر سیتوپلاسم و اندامک‌های یاخته پشیمان سازنده غلاف میلین به همراه هسته به حاشیه خارجی غلاف منتقل شده‌اند و در حداکثر فاصله ممکن با عشا نورون قرار گرفته‌اند.



- ۲. **یاخته‌های داربستی:** این یاخته‌ها داربست‌هایی را برای استقرار یاخته‌های عصبی ایجاد می‌کنند و در واقع نورون‌ها را به صورت منظم و سازمان‌یافته پدید می‌آورند.
- ۳. **یاخته‌های دفاعی:** اگرچه با توجه به سیستم‌های محافظت‌کننده مختلف احتمال ورود عوامل بیماری‌زا به مغز و نخاع پایین است، اما این یاخته‌ها در دفاع از یاخته‌های عصبی نقش دارند؛ مثلاً می‌توانند با بیگانه‌خواری عوامل بیماری‌زا از بافت عصبی محافظت کنند.
- ۴. **یاخته‌های هم‌ایستایی‌کننده:** این یاخته‌ها در حفظ هم‌ایستایی مایع اطراف نورون‌ها مثلاً حفظ مقدار طبیعی یون‌ها در آن نقش دارند. یعنی سعی می‌کنند محیط اطراف نورون‌ها را در محدوده نسبتاً ثابت و پایدار نگه دارند.


**نکات**

- همه یاخته‌های بافت عصبی، تحریک‌پذیر هستند ولی همه آن‌ها پیام عصبی تولید نمی‌کنند (یاخته‌های پشیمان توانایی تولید پیام عصبی را ندارند).
- یاخته‌های پشیمان و یاخته‌های عصبی مانند تمام یاخته‌های بدن انسان برای هورمون‌های تیروئیدی ( $T_3$  و  $T_4$ ) گیرنده دارند.
- از آن‌جا که عصب شامل مجموعه‌ای از تارهای عصبی (دندریت و آکسون بلند) است، پس در یک عصب می‌توان تعداد زیادی هسته مشاهده کرد چون تارهای موجود در عصب، می‌توانند دارای غلاف میلین باشند و هر غلاف یک هسته دارد؛ پس در یک عصب تعداد زیادی یاخته دارای هسته و کروموزوم دیده می‌شود.
- با توجه به شکل‌های مختلف کتاب درسی، قطر غلاف میلین ممکن است از رشته عصبی بیشتر یا کم‌تر باشد.

**یک پله بالاتر:** اگر بشینیم خوب و دقیق فکر کنیم می‌بینیم که فقط نورون‌ها نیستند که توانایی تحریک‌پذیری و هدایت دارند. بلکه این ویژگی‌ها در یاخته‌های دیگه هم می‌تونه باشه. ما می‌دونیم که یکی از ویژگی‌های یاخته زنده، توانایی پاسخ‌دادن به محرک‌های طبیعی است. پس یاخته‌های پشیمان هم از این موضوع مستثنی نیستند و اونا هم تحریک‌پذیری در برابر محرک‌ها دارند. حالا ممکنه دقیقاً مثل نورون‌ها تحریک‌پذیر نباشند و به سبک خودشون تحریک رو بپذیرند! همچنین هدایت پیام هم باز فقط مخصوص نورون‌ها نیست. شما بافت هادی قلب رو خوب بلیدید. می‌دونید که اون‌جا هم جریان الکتریکی توسط بافت هادی که نوعی بافت ماهیچه‌ای بودا در طول یاخته هدایت می‌شد. راستی یه چیز دیگه، نمودار نوار قلب که یادته؟ یه کم شبیه نمودار پتانسیل عمل نیست؟ آفرین، پس یاخته‌های ماهیچه‌ای هم می‌تونن دچار پتانسیل عمل بشن!

**جمع‌بندی و ویژگی‌های یاخته‌های بافت عصبی**

| نورون‌ها (یاخته عصبی)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | نورونگلیا یا یاخته پشیمان (یاخته غیرعصبی)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ۱) تحریک‌پذیر هستند، یعنی تحت تأثیر یک‌های شیمیایی یا سایر عوامل (تور، فشار، مواد شیمیایی و ...) قرار گرفته و پتانسیل الکتریکی غشای آن‌ها تغییر می‌کند<br>۲) هدایت پیام دارند؛ یعنی اختلاف پتانسیل الکتریکی ایجاد شده در یک نقطه را در طول نورون به صورت نقطه‌بنقطه یا جهشی جابه‌جا می‌کنند. ۳) انتقال پیام دارند؛ یعنی پیام عصبی را همواره از سلول پیش‌سیناپسی به سلول پس‌سیناپسی منتقل می‌کنند. که این کار با آزاد شدن ناقل عصبی همراه است. ۴) اغلب میتوز نمی‌کنند و چرخه یاخته‌ای آن‌ها در G <sub>0</sub> متوقف است. ۵) بعضی از آن‌ها توانایی میتوز دارند | ۱) توانایی هدایت و انتقال پیام را ندارند. ۲) تعداد و تنوع این سلول‌ها بیشتر از نورون‌ها است. ۳) توانایی تقسیم میتوز دارند. ۴) گروهی از آن‌ها به دور رشته‌های عصبی (آکسون و دندریت) می‌پیچند و غلاف میلین به وجود می‌آورند. ۵) گروهی در دفاع از نورون‌ها نقش دارند. ۶) گروهی نیز در هم‌ایستایی مایع بین یاخته‌های نورون‌ها (حفظ مقدار طبیعی یون‌ها و ناقل‌های عصبی) نقش دارند. ۷) انواع آن‌ها در دستگاه عصبی مرکزی و محیطی با یکدیگر متفاوت است. ۸) ناقل عصبی تولید نمی‌کنند، اما ژن‌های مربوط به ناقل‌های عصبی را در هسته خود دارند |

**پیام عصبی**

همان‌طور که گفتیم نورون‌ها توانایی تولید، هدایت و انتقال پیام عصبی را دارند. پیام عصبی در واقع نوعی جریان الکتریکی‌ای است که در دو سوی غشای نورون‌ها ایجاد و در طول نورون به پیش می‌رود. با توجه به این‌که در دو سوی غشای نورون‌ها غلظت یون‌ها متفاوت است، پس در دو سوی غشای نورون اختلاف پتانسیل الکتریکی وجود دارد. تغییر در غلظت یون‌ها، باعث تغییر پتانسیل غشا، وضعیت و فعالیت نورون می‌شود.



**علت ایجاد اختلاف پتانسیل الکتریکی در دو سوی غشای یاخته عصبی زنده** غلظت یون‌های مختلف در دو سوی غشای نورون‌ها یکسان نیستند، پس پتانسیل بارهای الکتریکی در دو طرف غشای یاخته‌های عصبی متفاوت بوده و این تفاوت در بارها، باعث ایجاد اختلاف پتانسیل الکتریکی در دو طرف غشای آن‌ها می‌شود.

دو یون سدیم ( $\text{Na}^+$ ) و پتاسیم ( $\text{K}^+$ ) مهم‌ترین نقش را در ایجاد این اختلاف پتانسیل الکتریکی در دو سوی غشای نورون دارند. یون سدیم، یونی خارج یاخته‌ای است، یعنی غلظت این یون همیشه در خارج از یاخته زنده (مایع بین یاخته‌ای) بیشتر از داخل یاخته است. یون پتاسیم، یونی داخل یاخته‌ای است، یعنی غلظت این یون همیشه در داخل یاخته زنده بیشتر از خارج یاخته است.

#### نکات

اختلاف پتانسیل بین دو سوی غشا، به علت یکسان نبودن غلظت چندین نوع یون است. نه فقط یون‌های سدیم و پتاسیم، اما کتاب درسی به سایر یون‌ها نپرداخته و ما نیز به آن‌ها نمی‌پردازیم.

در سایر بافت‌های بدن نیز غلظت یون‌ها در دو سوی غشا می‌تواند متفاوت باشد؛ مثلاً در یاخته پرز روده نیز غلظت یون سدیم  $\text{Na}^+$  در خارج یاخته بیشتر از سیتوپلاسم است و غلظت یون پتاسیم  $\text{K}^+$  برعکس!

**یک پله بالاتر** حواستون باشه که چون غلظت یون‌های سدیم خارج نورون بیشتر از داخلشه، پس طبق قانون انتشار، این یون‌ها دوست دارن، به درون یاخته وارد بشن و بیان توایون‌های پتاسیم هم دوست دارن به خارج از یاخته برن. همون‌طور هم که می‌دونیم اگه انتشار تا آخر انجام بشه، غلظت یون‌ها به تعادل می‌رسه و دیگه فعالیت الکتریکی نورون تعطیل می‌شه، پس برای این که این‌جوری نشه، نورون‌های یک آدم سالم نباید اجازه بده غلظت یون سدیم داخل یاخته برابر خارج بشه و یا مقدار یون پتاسیم در خارج یاخته برابر داخل بشه.

خب حالا راه‌کار چیه؟

عواملی مانند پمپ سدیم - پتاسیم دائماً با روش انتقال فعال، این دو یون رو برخلاف شیب غلظت در دو سوی غشا جابه‌جا می‌کنن و نهایتاً اجازه نمی‌دن که مقدار سدیم و پتاسیم در دو سوی غشای یاخته به تعادل برسه، بلکه غلظت سدیم بیرون و درون را هم همیشه حفظ می‌کنه تا مبادا شرایط برعکس پیش بیاد.

### نحوه اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل الکتریکی در دو سوی غشای یاخته عصبی

دو الکترود، یکی را درون آکسون و دیگری را در خارج از آن قرار می‌دهیم و اختلاف پتانسیل دو سوی غشای یاخته عصبی را بر روی دستگاهی برحسب میلی‌ولت مشاهده می‌کنیم.

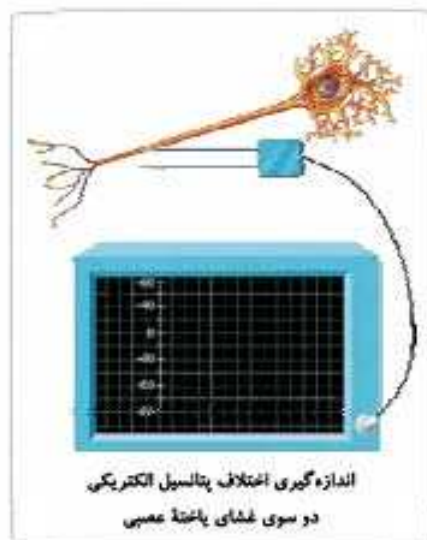
پتانسیل الکتریکی نورون‌ها به طور کلی در دو حالت بررسی می‌شود: پتانسیل آرامش و پتانسیل عمل.

**پتانسیل آرامش** وقتی یاخته عصبی فعالیت عصبی ندارد، یعنی در حال تولید یا هدایت پیام عصبی نیست، در دو سوی غشای آن اختلاف پتانسیلی در حدود  $-70$  میلی‌ولت برقرار است. این اختلاف پتانسیل را پتانسیل آرامش می‌نامند.

این اختلاف پتانسیل در حالت آرامش دو دلیل دارد:

۱. **کانال‌های نشتی**: در غشای یاخته‌های عصبی، ۲ نوع کانال نشتی یا همیشه‌باز (بدون دریچه) وجود دارد که از راه این کانال‌ها، یون‌های پتاسیم به خارج و یون‌های سدیم به درون نورون منتشر می‌شوند. البته تعداد کانال‌های نشتی پتاسیمی بیشتر از کانال‌های نشتی سدیمی است؛ پس غشای یاخته عصبی معمولاً به یون‌های پتاسیم نفوذپذیری بیشتری دارد.

۲. **فعالیت پمپ سدیم - پتاسیم**: فعالیت این پمپ باعث می‌شود که غلظت زیاد سدیم در بیرون یاخته و غلظت زیاد پتاسیم درون نورون حفظ شود؛ زیرا با هر بار فعالیت این پمپ و مصرف یک



اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل الکتریکی دو سوی غشای یاخته عصبی

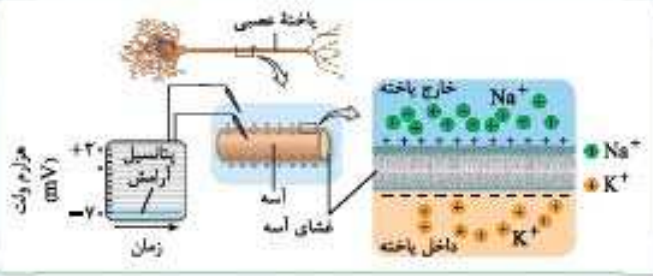
مولکول ATP، سه یون سدیم از یاخته عصبی خارج و دو یون پتاسیم به آن وارد می‌شود؛ بنابراین با هر بار فعالیت این پمپ یک یون مثبت بیرون نورون بیشتر از درون آن می‌شود که خود این عمل به مثبت‌تر شدن بیرون یا به منفی‌تر شدن داخل یاخته عصبی نسبت به خارج یاخته کمک می‌کند.

**جمع‌بندی** فعالیت هم‌زمان کانال‌های نشتی و پمپ سدیم - پتاسیم در نهایت باعث می‌شوند که اختلاف پتانسیل الکتریکی در دو سوی غشای یاخته عصبی در پتانسیل آرامش، در حدود  $-70$  میلی‌ولت شود.

**یک پله بالاتر** به سؤال. مگه نمی‌گیم اختلاف پتانسیل دو سوی غشا به خاطر اختلاف غلظت یون‌های سدیم و پتاسیم دو سوی غشای نورون هست؛ خب پس یعنی چی داخل منفی‌تره!!!

داستان از این قراره که بعلم این‌جا ما از یون منفی‌ای حرفی نزدیم؛ اما وقتی مجموع غلظت یون‌های سدیم و پتاسیم خارج یاخته بیشتر





از داخل هسته، پس غلظت بارهای مثبت درون یاخته از بیرون یاخته کمتر است؛ پس وقتی پتانسیل خارج و داخل را مقایسه می‌کنیم و پتانسیل داخل یاخته را از پتانسیل خارج کم کنیم، جوابمون به عدد منفی می‌شود؛ پس به اصطلاح داخل نسبت به خارج منفی به نظر می‌رسد.  
فهمیدین؟ آفرین!

### چند مثال

**مثال ۱.** اختلاف پتانسیل دو طرف غشای یک یاخته عصبی  $60$  میلی‌ولت است، یعنی چه؟

یعنی:

- ۱. داخل یاخته نسبت به خارج آن به اندازه  $60$  میلی‌ولت منفی‌تر است.
- ۲. غلظت بارهای مثبت داخل یاخته نسبت به خارج یاخته کمتر است.
- ۳. خارج یاخته نسبت به داخل آن به اندازه  $60$  میلی‌ولت مثبت‌تر است.
- ۴. غلظت بارهای مثبت خارج یاخته نسبت به داخل یاخته بیشتر است.

**مثال ۲.** اختلاف پتانسیل دو طرف غشای یک یاخته عصبی  $40$  میلی‌ولت است، یعنی چه؟

یعنی:

- ۱. داخل یاخته نسبت به خارج آن به اندازه  $40$  میلی‌ولت مثبت‌تر است.
- ۲. غلظت بارهای مثبت داخل یاخته نسبت به خارج یاخته بیشتر است.
- ۳. خارج یاخته نسبت به داخل آن به اندازه  $40$  میلی‌ولت منفی‌تر است.
- ۴. غلظت بارهای مثبت خارج یاخته نسبت به داخل یاخته کمتر است.

### ویژگی‌های کانال‌های نشنی

۱. این کانال‌ها پروتئین‌های غشایی سراسری هستند، یعنی در سراسر عرض غشای یاخته قرار گرفته‌اند.
۲. در غشای نوروں همواره در حال فعالیت هستند، هم در زمان پتانسیل آرامش و هم در زمان پتانسیل عمل در حال وارد کردن سدیم و خارج کردن پتاسیم می‌باشند.
۳. اگر در اثر تحریک نورون، مقدار غلظت یون‌های سدیم و پتاسیم در دو سوی غشای یاخته تغییر کند، یا دمای محیط تغییر کند، سرعت انتشار یون‌ها از طریق کانال‌های نشنی نیز تغییر خواهد کرد.
۴. با توجه به این‌که اندازه یون پتاسیم بزرگ‌تر از سدیم است، پس ساختار کانال‌های نشنی سدیمی و پتاسیمی کاملاً با یکدیگر یکسان نیست.

### ویژگی‌های پمپ سدیم - پتاسیم

۱. جزء پروتئین سراسری غشای یاخته است.

۲. فعالیت آنزیمی داشته و می‌تواند با مصرف آب، ATP را به ADP و P تبدیل کند.

۳. در هر بار فعالیت و با مصرف هر مولکول ATP، برخلاف شیب غلظت سه یون سدیم را از یاخته خارج و دو یون پتاسیم را به آن وارد می‌کند.

**نحوه عملکرد پمپ سدیم - پتاسیم:** اگرچه کتاب درسی به طور کلی هر بار فعالیت این پمپ را طی دو مرحله نشان داده اما می‌توان مراحل بیشتری را به صورت جزئی بیان نمود.

۱. منفذ پمپ به سمت سیتوپلاسم یاخته قرار داشته و سه عدد یون سدیم از سیتوپلاسم، به جایگاه‌های مشخصی در این پروتئین متصل می‌شوند.

۲. مولکول ATP به بخش خاصی از پمپ در مجاورت سیتوپلاسم متصل می‌شود.

۳. در اثر تجزیه ATP به ADP و P و تولید انرژی، پمپ دچار تغییر شکل سه‌بعدی شده و منفذ پمپ رو به خارج یاخته باز می‌شود. ADP باقی‌مانده به سیتوپلاسم می‌رود، اما یون فسفات به پمپ متصل باقی می‌ماند.

۴. سه عدد یون سدیم از پمپ خارج و به بیرون یاخته رفته و ۲ عدد یون پتاسیم

وارد پمپ شده و به جایگاه‌های مشخصی متصل می‌شوند.

۵. با جداشدن یون فسفات از پمپ و رهاشدن آن در فضای درونی یاخته، شکل

سه‌بعدی پمپ دوباره به حالت قبل برمی‌گردد و منفذ پمپ مجدداً به سوی

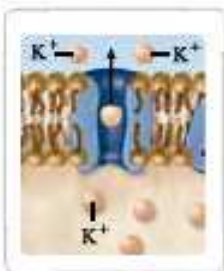
سیتوپلاسم باز می‌شود.

۶. دو یون پتاسیم از پمپ خارج شده و وارد سیتوپلاسم یاخته می‌شوند.

### نکات

تجزیه ATP توسط پمپ در مجاورت سیتوپلاسم انجام می‌شود؛ به عبارت دیگر جایگاه فعال آنزیم برای ATP، در قسمتی از پمپ است که در سمت داخل یاخته قرار دارد.

این پمپ در غشای یاخته‌های دیگر بدن نیز دیده می‌شود؛ مانند یاخته‌های پرز روده یا گلیوبل‌های قرمز خون.



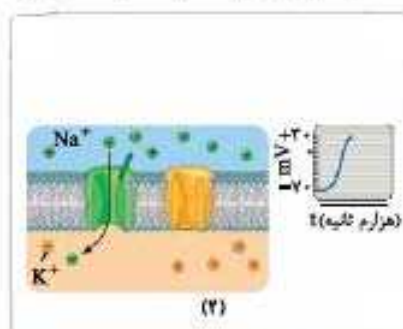
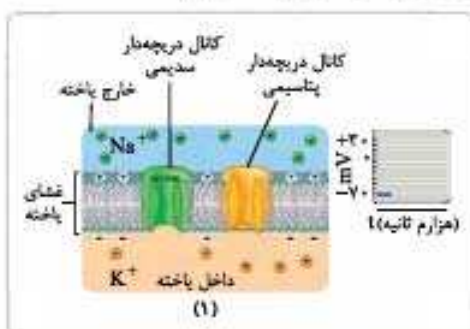


## پتانسیل عمل

تعریف: تغییر ناگهانی و شدید اختلاف پتانسیل بین دو سوی غشای یاخته عصبی و برگشت آن به حالت آرامش را پتانسیل عمل گویند. در حالت آرامش، مجموع بارهای مثبت درون یاخته عصبی نسبت به بیرون آن کم تر است. وقتی یاخته عصبی تحریک می‌شود، در محل تحریک، اختلاف پتانسیل دو سوی غشای آن به علت باز شدن کانال‌های دریچه‌دار سدیمی به طور ناگهانی تغییر می‌کند و داخل یاخته از بیرون آن، مثبت‌تر می‌شود و پس از مدت کوتاهی، به علت باز شدن کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی اختلاف پتانسیل دو سوی غشا، دوباره به حالت آرامش برمی‌گردد. این تغییرات همان پتانسیل عمل است.

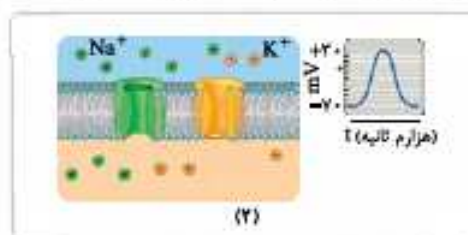
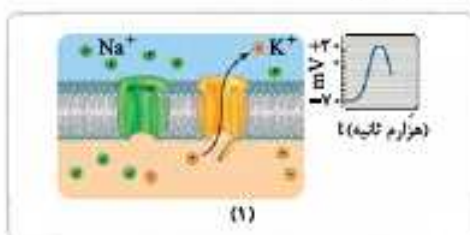
♦ **مراحل پتانسیل عمل:** پتانسیل عمل به طور کلی در دو مرحله انجام می‌شود:

**مرحله اول:** مثبت‌تر شدن داخل یاخته نسبت به خارج غشا. در این مرحله بار الکتریکی داخل یاخته عصبی نسبت به خارج آن بیشتر می‌شود؛ یعنی پتانسیل غشا از  $-70$  میلی‌ولت به  $+30$  میلی‌ولت می‌رسد (قسمت بالاروی نمودار). علت این تغییر ناگهانی پتانسیل غشا، باز شدن کانال‌های دریچه‌دار سدیمی در اثر تحریک است. وقتی این کانال‌ها باز می‌شوند، مقادیر فراوانی از یون سدیم به طور ناگهانی وارد یاخته شده و بار مثبت داخل یاخته نسبت به بیرون آن بیشتر یا مثبت‌تر می‌شود. در پایان این مرحله با رسیدن پتانسیل غشا به  $+30$  (یعنی درون یاخته نسبت به بیرون یاخته به اندازه  $30$  میلی‌ولت مثبت‌تر می‌شود) کانال‌های دریچه‌دار سدیمی بسته می‌شوند.



**نکته** ◀ در مرحله بالاروی نمودار پتانسیل عمل، پتانسیل داخل یاخته  $100$  واحد افزایش می‌یابد تا از  $-70$  به  $+30$  برسد.

**مرحله دوم:** منفی‌تر شدن داخل یاخته نسبت به خارج غشا. در این مرحله بار الکتریکی داخل نورون نسبت به خارج آن دوباره کم‌تر می‌شود؛ یعنی پتانسیل غشا از  $+30$  میلی‌ولت به  $-70$  میلی‌ولت می‌رسد (قسمت پایین‌روی نمودار). در پتانسیل  $+30$  میلی‌ولت بعد از بسته شدن کانال‌های دریچه‌دار سدیمی، کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی باز می‌شوند و مقادیر فراوانی از یون پتاسیم به طور ناگهانی از یاخته خارج شده و بار مثبت داخل یاخته نسبت به بیرون آن کم‌تر یا منفی‌تر می‌شود. در پایان این مرحله با رسیدن غشا به  $-70$  (یعنی درون یاخته نسبت به بیرون یاخته به اندازه  $70$  میلی‌ولت منفی‌تر) کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی بسته می‌شوند.



♦ **یک مفهوم مهم:** بعد از بسته شدن کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی، اگرچه پتانسیل غشا مجدداً به  $-70$  میلی‌ولت می‌رسد، اما هنوز غلظت یون‌ها مشابه حالت آرامش نیست. نورون به پتانسیل آرامش رسیده اما به آرامش یونی نرسیده است. به عبارت دیگر در داخل یاخته، مقدار سدیم و در خارج آن مقدار پتاسیم کمی بیشتر از زمان قبل از شروع پتانسیل می‌باشد (البته هم‌چنان شیب غلظت سدیم رو به داخل و شیب غلظت پتاسیم رو به خارج یاخته هست). بنابراین پمپ سدیم - پتاسیم با ادامه فعالیت بیشتر خود، موجب می‌شود غلظت یون‌های سدیم و پتاسیم در دو سوی غشا دوباره به حالت آرامش بازگردد.

**نکته** ◀ پمپ سدیم - پتاسیم در غشای یاخته عصبی همیشه در حال فعالیت است. هم در پتانسیل آرامش، هم در حین مراحل پتانسیل عمل و هم در پایان پتانسیل عمل؛ اما میزان فعالیت این پمپ در همه زمان‌ها یکسان نبوده و در انتهای بخش پایین روی نمودار و پایان پتانسیل عمل فعالیت بیشتری از خود نشان می‌دهد.

♦ **کانال‌های دریچه‌دار سدیمی و پتاسیمی:** در غشای یاخته‌های عصبی، پروتئین‌های سراسری به نام کانال‌های دریچه‌دار وجود دارند که در حالت آرامش بسته‌اند و یون از خود عبور نمی‌دهند.



**1 کانال‌های دریچه‌دار سدیمی.**

- این کانال‌ها در هنگام پتانسیل آرامش، قله نمودار، مرحله پایین‌روی نمودار پتانسیل عمل و پایان پتانسیل عمل بسته هستند.
- این کانال‌ها فقط در قسمت بالاروی پتانسیل عمل باز هستند، یعنی شروع باز شدن آن‌ها موجب تشکیل شاخه بالاروی نمودار می‌شود و بسته شدن آن‌ها در قله نمودار، موجب توقف شاخه بالاروی می‌گردد.
- دریچه این کانال‌ها به سمت بیرون یاخته باز می‌شود، یعنی به سمتی که غلظت یون سدیم در آن‌جا بیشتر است.

**2 کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی.**

- این کانال‌ها در هنگام پتانسیل آرامش، مرحله بالاروی نمودار، قله نمودار پتانسیل عمل و در پایان پتانسیل عمل بسته هستند.
- این کانال‌ها فقط در مرحله پایین‌روی نمودار پتانسیل عمل باز هستند؛ یعنی باز شدن آن‌ها در ابتدای شاخه پایین‌روی نمودار می‌باشد و در انتهای بخش پایین‌رو بسته می‌شوند.
- دریچه این کانال‌ها به سمت داخل یاخته باز می‌شود؛ یعنی به سمتی که غلظت یون پتاسیم بیشتر است.

**نکته** در قله نمودار پتانسیل عمل هر دو نوع کانال دریچه‌دار سدیمی و پتاسیمی بسته است. در واقع در قله نمودار کانال‌های دریچه‌دار سدیمی بسته شده‌اند و کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی هنوز باز نشده‌اند. اما توجه داشته باشید در هیچ نقطه‌ای از نمودار، هر دو کانال هم‌زمان با هم باز یا بسته نمی‌شوند.

**عبور و مرور یون‌های سدیم و پتاسیم از عرض غشای یاخته عصبی**

| نحوه خروج از یاخته                                                                        | نحوه ورود به یاخته                                                                      | یون‌ها   | زمان                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|----------|-----------------------|
| پمپ سدیم - پتاسیم (انتقال فعال)                                                           | کانال‌های نشتی (انتشار تسهیل شده)                                                       | $(Na^+)$ | پتانسیل آرامش         |
| کانال‌های نشتی (انتشار تسهیل شده)                                                         | پمپ سدیم - پتاسیم (انتقال فعال)                                                         | $(K^+)$  |                       |
| پمپ سدیم - پتاسیم (انتقال فعال)                                                           | 1) کانال‌های نشتی (انتشار تسهیل شده)<br>2) کانال‌های دریچه‌دار سدیمی (انتشار تسهیل شده) | $(Na^+)$ | زمان بالاروی نمودار   |
| کانال‌های نشتی (انتشار تسهیل شده)                                                         | پمپ سدیم - پتاسیم (انتقال فعال)                                                         | $(K^+)$  |                       |
| پمپ سدیم - پتاسیم (انتقال فعال)                                                           | کانال‌های نشتی (انتشار تسهیل شده)                                                       | $(Na^+)$ | زمان پایین‌روی نمودار |
| 1) کانال‌های نشتی (انتشار تسهیل شده)<br>2) کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی (انتشار تسهیل شده) | پمپ سدیم - پتاسیم (انتقال فعال)                                                         | $(K^+)$  |                       |

**نکات**

- در همه زمان‌ها (پتانسیل آرامش و عمل) یون‌های سدیم و پتاسیم از غشای یاخته، عبور و مرور دارند.
- با توجه به فعالیت همیشگی کانال‌های نشتی و پمپ سدیم - پتاسیم در سراسر مراحل پتانسیل عمل، سدیم و پتاسیم در جهت شیب غلظت خود از طریق کانال‌های نشتی و در خلاف جهت شیب غلظت از طریق پمپ سدیم - پتاسیم از غشای نورون در حال عبور کردن هستند.

**مقایسه نفوذپذیری غشا به یون‌های سدیم و پتاسیم در زمان‌های مختلف**

| نتیجه‌گیری                                      | یون پتاسیم  | یون سدیم  | نفوذپذیری زمان         |
|-------------------------------------------------|-------------|-----------|------------------------|
| نفوذپذیری به پتاسیم بیشتر از سدیم است.          | نسبتاً زیاد | کم        | پتانسیل استراحت        |
| نفوذپذیری به سدیم بیشتر از پتاسیم شده است.      | نسبتاً زیاد | خیلی زیاد | مرحله بالاروی نمودار   |
| نفوذپذیری به پتاسیم بیشتر از سدیم است.          | نسبتاً زیاد | کم        | قله نمودار             |
| نفوذپذیری به پتاسیم خیلی بیشتر از سدیم شده است. | خیلی زیاد   | کم        | مرحله پایین‌روی نمودار |

**نکات**

- با توجه به این‌که در مرحله بالاروی نمودار پتانسیل عمل مقادیری سدیم وارد یاخته می‌شود و اختلاف غلظت سدیم‌های داخل و بیرون یاخته طی این مرحله اندکی کاهش می‌یابد، بعد از این مرحله، یعنی در قله و مرحله پایین‌روی نمودار از سرعت انتشار سدیم از کانال‌های نشتی کمی کاسته می‌شود.
- با توجه به این‌که در مرحله پایین‌روی نمودار پتانسیل عمل مقادیری پتاسیم از یاخته خارج می‌شود و اختلاف غلظت پتاسیم‌های داخل و بیرون یاخته طی این مرحله اندکی کاهش می‌یابد، بعد از این مرحله، یعنی در انتهای مرحله پایین‌رو و پایان نمودار از سرعت انتشار پتاسیم از کانال‌های نشتی کمی کاسته می‌شود.



**« جمع‌بندی » پروتئین‌های غشایی فعال در پتانسیل آرامش و عمل**

| پمپ سدیم - پتاسیم | کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی | کانال‌های دریچه‌دار سدیمی | کانال‌های ناشی | پروتئین‌های غشایی یاخته عصبی        |
|-------------------|-----------------------------|---------------------------|----------------|-------------------------------------|
|                   |                             |                           |                | وضعیت                               |
| فعال (عادی)       | بسته                        | بسته                      | باز            | پتانسیل آرامش                       |
| فعال (عادی)       | بسته                        | باز                       | باز            | پتانسیل عمل (زمان بالاروی نمودار)   |
| فعال (زیاد)       | باز                         | بسته                      | باز            | پتانسیل عمل (زمان پایین‌روی نمودار) |
| فعال (زیاد)       | بسته                        | بسته                      | باز            | بعد از پتانسیل عمل                  |

**تفسیر منحنی پتانسیل عمل**

**نقطه a:** در این لحظه کانال‌های دریچه‌دار سدیمی باز می‌شوند و سدیم از طریق این کانال‌ها شروع به ورود به یاخته می‌کند.

**نقطه b:** اگرچه بارهای مثبت درون یاخته، به علت ورود یون‌های سدیم به یاخته در حال افزایش است اما اختلاف پتانسیل دو سوی غشا در حال کاهش یافتن است؛ زیرا از  $70+$  واحد اختلاف به سمت صفر واحد اختلاف پیش می‌رویم.

**نقطه c:** در این زمان هم‌چنان غلظت یون سدیم خارج یاخته بیشتر از داخل است و سدیم در حال ورود به یاخته است. مجموع بارهای مثبت داخل و خارج یاخته با هم برابر شده و اختلاف پتانسیل غشا به صفر رسیده است.

از نقطه **a تا c** اختلاف پتانسیل دو سوی غشا در حال کاهش است.

**نقطه d:** بارهای مثبت داخل یاخته و اختلاف پتانسیل دو سوی غشا در حال افزایش یافتن است.

**نقطه e:** در این زمان کانال‌های دریچه‌دار سدیمی و دریچه‌دار پتاسیمی در لحظه‌ای بسیار کوتاه بسته هستند. در واقع ابتدا کانال دریچه‌دار سدیمی بسته شده و سپس کانال دریچه‌دار پتاسیمی باز می‌گردد.

از **c تا e** اختلاف پتانسیل غشا در حال افزایش است. (از صفر به  $30+$ )

**نقطه f:** اختلاف پتانسیل دو سوی غشا در حال کاهش است.

**نقطه g:** در این زمان هم‌چنان غلظت یون پتاسیم داخل یاخته بیشتر از خارج است و پتاسیم در حال خروج از یاخته است. مجموع بارهای مثبت داخل و خارج یاخته با هم برابر شده و پتانسیل غشا به صفر رسیده است.

از **e تا g** بارهای مثبت داخل یاخته به علت خروج زیاد پتاسیم در حال کاهش است و اختلاف پتانسیل غشا در حال کاهش است. ( $30+$  تا صفر)

**نقطه h:** اگرچه بارهای مثبت داخل یاخته به علت خروج یون‌های مثبت از یاخته در حال کاهش است، اما اختلاف پتانسیل دو سوی غشا در حال افزایش یافتن است؛ زیرا از صفر واحد اختلاف به سمت  $70+$  واحد اختلاف پیش می‌رویم. میزان فعالیت پمپ سدیم - پتاسیم، از محدوده این زمان شروع به افزایش می‌کند.

**نقطه i:** در این زمان کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی بسته گردیده و پایان پتانسیل عمل در نظر گرفته می‌شود. در این زمان اگرچه پتانسیل غشا به  $70-$  (پتانسیل آرامش) رسیده است، اما غلظت یون‌ها مشابه حالت آرامش نیست و به همین علت هم‌چنان فعالیت پمپ سدیم - پتاسیم زیاد است تا غلظت یون‌ها نیز مشابه حالت آرامش گردد.

از **g تا i** اختلاف پتانسیل دو سوی غشا در حال افزایش یافتن است، یعنی از صفر واحد اختلاف به  $70+$  اختلاف می‌رسیم.

**تمرین**

طی یک پتانسیل عمل، اختلاف پتانسیل الکتریکی، در دو سوی غشای یاخته عصبی چند بار به اعداد  $70$ ،  $20$ ، صفر،  $30$  و  $50$  می‌رسد؟

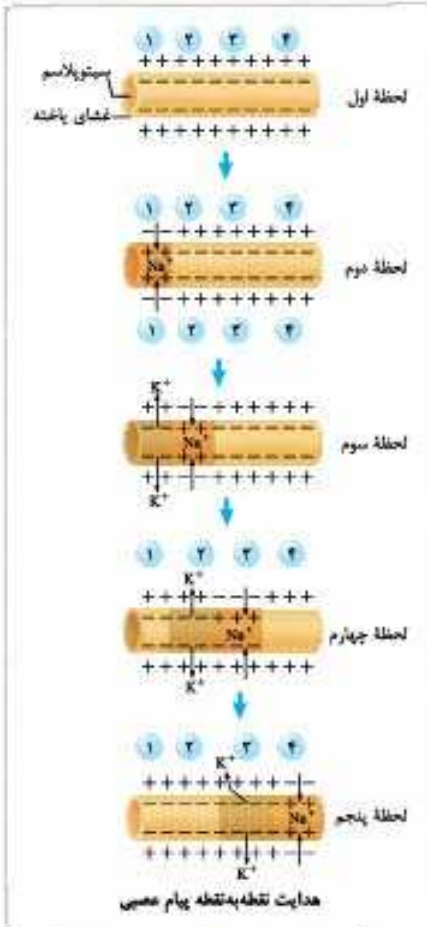
**پاسخ:** در طول پتانسیل عمل، به طور معمول اختلاف پتانسیل الکتریکی دو سوی غشا هیچ‌گاه  $70$  نیست، چون در این عدد غشا در حالت آرامش است.

اختلاف پتانسیل الکتریکی در دو سوی غشا، در طول پتانسیل عمل، چهار بار به عدد  $20$  میلی‌ولت ( $20+$  و  $20-$  نمودار بالاروی و  $20+$  و  $20-$  نمودار پایین‌روی)، دو بار به عدد صفر میلی‌ولت (صفر بالا و صفر پایین‌روی)، سه بار به عدد  $30$  میلی‌ولت ( $30-$  بالاروی،  $30+$  قله و  $30-$  پایین‌روی) و دو بار هم به عدد  $50$  میلی‌ولت ( $50-$  میلی‌ولت بالاروی و  $50-$  میلی‌ولت پایین‌روی) می‌رسد.

**هدایت پیام عصبی**

هنگامی که پیام عصبی در نقطه‌ای از یاخته عصبی ایجاد می‌شود، در طول یاخته به پیش می‌رود تا به انتهای رشته عصبی (آکسون یا دندریت بلند) برسد. این جریان را پیام عصبی می‌نامند. حرکت پیام عصبی در طول یاخته عصبی را هدایت پیام عصبی می‌گوییم. در طول یک یاخته عصبی، هدایت پیام به دو روش، می‌تواند انجام شود: **1** هدایت نقطه‌به‌نقطه **2** هدایت جهشی.





**۱. هدایت نقطه به نقطه:** این نوع هدایت پیام در یاخته‌های عصبی بدون میلین و بخش‌هایی از یاخته‌های عصبی که غلاف میلین وجود ندارد دیده می‌شود. به این صورت که پتانسیل عمل ایجاد شده در یک نقطه از یاخته عصبی، نقطه بعدی را دچار پتانسیل عمل کرده و نقطه قبلی به سمت مرحله استراحت یا پتانسیل آرامش می‌رود و به همین ترتیب تقطه‌ای پس از نقطه دیگر دچار پتانسیل عمل شده و پیام عصبی نقطه به نقطه پیش می‌رود تا به انتهای رشته عصبی برسد.

✦ **تفسیر شکل:** این شکل، هدایت نقطه به نقطه پیام عصبی را در قسمتی از یک رشته عصبی نشان می‌دهد.

**لحظه اول،** رشته عصبی در حال آرامش است و اختلاف پتانسیل الکتریکی بین دو سوی غشا  $+70$  میلی‌ولت می‌باشد.

**لحظه دوم،** در ناحیه (۱) تحریک صورت گرفته و کانال‌های دریچه‌دار سدیمی باز شده و یون‌های سدیم زیادی با سرعت وارد یاخته شده‌اند، در نتیجه داخل یاخته نسبت به خارج آن مثبت‌تر می‌شود (زمان بالاروی نمودار پتانسیل عمل).

**لحظه سوم،** در این زمان در ناحیه (۱) کانال‌های دریچه‌دار سدیمی بسته و کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی باز هستند، در نتیجه یون‌های پتاسیم با سرعت از یاخته خارج می‌شوند و داخل یاخته نسبت به خارج منفی‌تر می‌شود و اختلاف پتانسیل دو سوی غشا به  $-70$  میلی‌ولت می‌رسد (مرحله پایین‌روی نمودار پتانسیل عمل). در ناحیه (۲) نیز کانال‌های دریچه‌دار سدیمی باز شده و سدیم‌ها وارد یاخته شده و داخل یاخته نسبت به خارج در این نقطه مثبت‌تر می‌شود و شروع یک پتانسیل عمل جدید رقم می‌خورد نقاط (۳) و (۴) نیز که در حالت آرامش قرار دارند.

**نکته** ❖ وقایعی که در لحظه‌های دوم و سوم در نقطه (۱) اتفاق می‌افتد با هم یک پتانسیل عمل را رقم می‌زند. ناحیه (۱) در لحظه دوم مرحله بالاروی نمودار پتانسیل عمل و در لحظه سوم مرحله پایین‌روی نمودار پتانسیل عمل را نشان می‌دهد.

**لحظه چهارم،** در این زمان ناحیه (۱) به حالت پتانسیل آرامش بازگشته و با فعالیت بیشتر پمپ سدیم - پتاسیم، آرامش یونی نیز در این ناحیه برقرار شده است. در ناحیه (۲) کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی باز است و مرحله پایین‌روی نمودار پتانسیل عمل در حال وقوع است. در ناحیه (۳) کانال‌های دریچه‌دار سدیمی باز و داخل یاخته نسبت به خارج مثبت‌تر بوده و پتانسیل عمل جدیدی در حال پایه‌ریزی است. ناحیه (۴) نیز که در حالت آرامش قرار دارد. **لحظه پنجم،** نواحی (۱) و (۲) در حالت پتانسیل آرامش هستند. در ناحیه (۳) کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی باز و مرحله پایین‌روی نمودار در حال وقوع است.

**نکته** ❖ جریان پیام عصبی به ناحیه (۴) رسیده و کانال‌های دریچه‌دار سدیمی در این ناحیه باز و مرحله بالاروی نمودار پتانسیل عمل در حال وقوع است.

در تمامی این شکل‌ها، ۳ پتانسیل عمل به طور کامل انجام شده است و پتانسیل عمل چهارم در حال وقوع است، که عبارتند از:

- ❖ اولین پتانسیل عمل در ناحیه (۱) در لحظه دوم و سوم اتفاق افتاده است.
- ❖ دومین پتانسیل عمل در ناحیه (۲) در لحظه سوم و چهارم اتفاق افتاده است.
- ❖ سومین پتانسیل عمل در ناحیه (۳) در لحظه چهارم و پنجم اتفاق افتاده است.
- ❖ چهارمین پتانسیل عمل در ناحیه (۴) در لحظه پنجم در حال وقوع است و هنوز کامل نشده است.

#### نکات

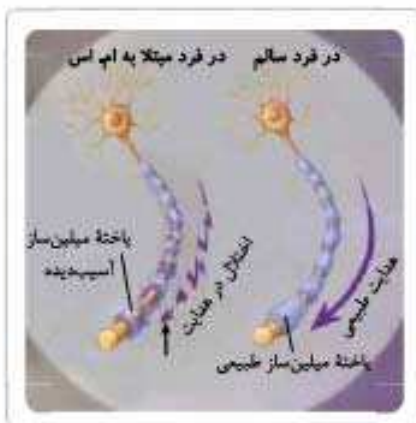
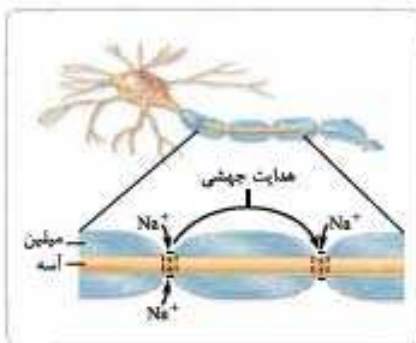
- ❖ همواره در وضعیت‌های مختلف (پتانسیل آرامش یا عمل) مقدار یون سدیم بیرون یاخته بیشتر از درون و مقدار یون‌های پتاسیم درون بیشتر از بیرون است. البته طی پتانسیل عمل غلظت آن‌ها در دو سوی غشا تا حدی دستخوش تغییر می‌شود.
- ❖ در یک رشته عصبی، جهت هدایت پیام عصبی همیشه به سمتی است که کانال‌های دریچه‌دار سدیمی جدیدی باز شده‌اند و یون‌های سدیم وارد شده‌اند.
- ❖ همان‌طور که مشخص است هدایت پیام از ناحیه (۱) به سوی ناحیه (۴) است.
- ❖ حال اگر رشته عصبی آکسون باشد، جسم یاخته‌ای در سمت ناحیه (۱) و پایانه آکسون در سمت ناحیه (۴) وجود دارد.
- ❖ اگر رشته عصبی دندریت باشد، جسم یاخته‌ای در سمت ناحیه (۴) و ابتدای دندریت در سمت ناحیه (۱) وجود دارد.
- ❖ در بخش پایین‌روی نمودار پتانسیل عمل (در زمان بازبودن کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی) همانند پتانسیل آرامش، پتانسیل بیرون غشا نسبت به داخل مثبت می‌باشد.

**۲. هدایت جهشی:** اگر رشته عصبی دارای غلاف میلین باشد، در محل‌هایی از آکسون یا دندریت که با غلاف میلین پوشیده شده است، امکان ایجاد پتانسیل عمل نیست، اما در عین حال در گره‌های رانویه تعداد زیادی کانال‌های دریچه‌دار سدیمی و دریچه‌دار پتاسیمی وجود دارد؛ بنابراین پتانسیل عمل فقط در گره‌های رانویه متوالی و یکی پس از دیگری رخ می‌دهد، یعنی به جای آن که پیام عصبی در طول رشته عصبی، نقطه به نقطه به پیش رود، از یک گره رانویه به گره دیگر جهش می‌کند. این نوع هدایت پیام عصبی را هدایت جهشی می‌نامند.



**نکات**

- به طور کلی سرعت هدایت جهشی از نقطه به نقطه سریع تر است؛ پس هدایت پیام در رشته‌های عصبی میلین‌دار از رشته‌های بدون میلین هم‌قطر سریع تر است.
- دقت کنید که علاوه بر داشتن یا نداشتن میلین قطر تار عصبی نیز در سرعت هدایت مؤثر است. همین علت نمی‌توان گفت همواره در هر تار عصبی میلین‌دار سرعت بیشتر از تار عصبی بدون میلین است.
- در ماهیچه‌های اسکلتی سرعت بالای ارسال پیام اهمیت زیادی دارد؛ بنابراین نورون‌های حرکتی آن‌ها میلین‌دار هستند. هم‌چنین در فرایندهای انعکاسی مثل برخورد دست یا جسم داغ نیز رشته‌های طولیل عصبی میلین‌دار است که انعکاس به سرعت انجام شود.
- در محل گرم‌های راتویه تعداد فراوانی کانال‌های دریچه‌دار سدیمی و پتاسیمی وجود دارد، اما در بخش‌هایی از غشای نورون که با میلین پوشیده شده است، این کانال‌های دریچه‌دار حضور نداشته و طبیعتاً پتانسیل عمل در آن‌جا رخ نمی‌دهد.



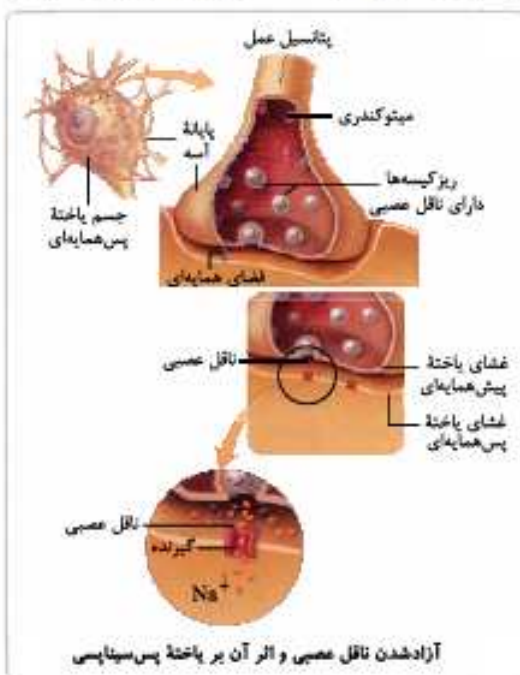
**بیماری‌های ناشی از اختلال میزان میلین:** مقدار میلین در طول رشته عصبی باید در محدوده مشخصی باشد و تغییر در میزان میلین‌سازی در اطراف رشته عصبی چه از حدی بیشتر شود و چه از حدی کمتر، می‌تواند منجر به اختلال در هدایت پیام عصبی شود؛ پس کاهش یا افزایش در میزان میلین به بیماری منجر می‌شود. **بیماری مالتیپل اسکلروزیس (MS)**، این بیماری در نتیجه کاهش میلین در نورون‌های سیستم عصبی مرکزی اتفاق می‌افتد. در این بیماری، یاخته‌هایی که در سیستم عصبی مرکزی (مغز و نخاع) میلین می‌سازند، مورد حمله دستگاه ایمنی قرار می‌گیرند و میلین اطراف نورون‌ها در قسمت‌هایی دچار آسیب شده و یا از بین می‌رود. بدین ترتیب در ارتباط دستگاه عصبی مرکزی با سایر بخش‌های بدن اختلال ایجاد می‌شود و ارسال پیام‌های عصبی به درستی انجام نمی‌شود. از جمله مشکلات این بیماری اختلال در بینایی، حرکت، ایجاد بی‌حسی و لرزش در فرد می‌باشد.

**نکات**

- تخریب غلاف میلین، هدایت پیام عصبی را مختل می‌کند و به صورت مستقیم بر انتقال پیام عصبی اثری ندارد.
- بیمارهای ام اس و دیابت نوع ۱ انواعی از بیماری‌های خودایمنی می‌باشند. در این نوع بیماری‌ها، دستگاه ایمنی بدن (خط سوم) برخی از یاخته‌های خودی را به عنوان عوامل بیگانه در نظر می‌گیرد و به آن‌ها حمله می‌کند.

**انتقال پیام عصبی**

پیام عصبی در طول آکسون هدایت می‌شود تا به پایانه آکسون برسد، از آنجایی که یاخته‌های عصبی به هم نجسیدمانند، انتقال پیام عصبی از یک نورون به نورون دیگر از طریق سیناپس (همایه) صورت می‌گیرد.



**همایه (سیناپس)** محلی که در آن یک یاخته عصبی با یاخته‌های دیگر ارتباط ویژه‌ای برقرار می‌کند، همایه نام دارد.

در محل سیناپس سه قسمت قابل مشاهده است: **۱** یاخته پیش‌سیناپسی **۲** فضای سیناپسی **۳** یاخته پس‌سیناپسی.

**۱. یاخته پیش‌سیناپسی:** این یاخته به فضای سیناپس ناقل عصبی آزاد می‌کند. یاخته پیش‌سیناپسی ممکن است نورون باشد و یا یاخته گیرنده حسی غیرنورونی مانند گیرنده‌های حس چشایی، شنوایی و تعادل.

یاخته پیش‌سیناپسی، ناقل عصبی را به فضای سیناپسی با روش اگزوسیتوز و صرف انرژی آزاد می‌کند؛ مثلاً اگر یاخته پیش‌سیناپسی نورون باشد، ناقل عصبی از پایانه آکسون آن آزاد می‌شود و در واقع این پایانه آکسون است که در ساختار سیناپس شرکت می‌کند، نه همه بخش‌های نورون!

**ناقل‌های عصبی:** پیک‌های شیمیایی کوتاه‌بندی هستند که از یاخته پیش‌سیناپسی ترشح شده و با اثر بر یاخته پس‌سیناپسی، فعالیت این یاخته‌ها را دستخوش تغییر می‌کنند. جنس ناقل‌ها می‌تواند متفاوت باشد مثلاً گروهی از ناقل‌ها از جنس آمینواسید می‌باشند.

در نورون‌ها، ناقل عصبی در یاخته عصبی تولید شده و توسط ریزکیسه‌ها به پایانه آکسون جابه‌جا می‌شوند. در واقع پایانه آکسون محل ذخیره ناقل‌ها است. با رسیدن پیام عصبی به پایانه آکسون و ایجاد پتانسیل عمل در این پایانه، این ناقل‌ها توسط ریزکیسه‌ها به فضای سیناپسی آزاد می‌شوند.





۲. فضای سیناپسی: فضایی در حد فاصل دو یاخته شرکت‌کننده در سیناپس است، که ناقل‌های عصبی به آن رها می‌شوند.

۳. یاخته پس‌سیناپسی: بخشی از یاخته‌ای که در سیناپس شرکت می‌کند دارای کانال‌های خاص سدیمی و پتاسیمی است که این کانال‌های پروتئینی، گیرنده ناقل‌های عصبی تیز می‌باشند؛ در اثر برخورد و اتصال ناقل عصبی به این کانال‌ها، آن‌ها باز شده و باعث تغییر در نفوذپذیری غشای یاخته پس‌سیناپسی و در نهایت تغییر پتانسیل الکتریکی یاخته پس‌سیناپسی می‌شوند.

**نکات شکل**

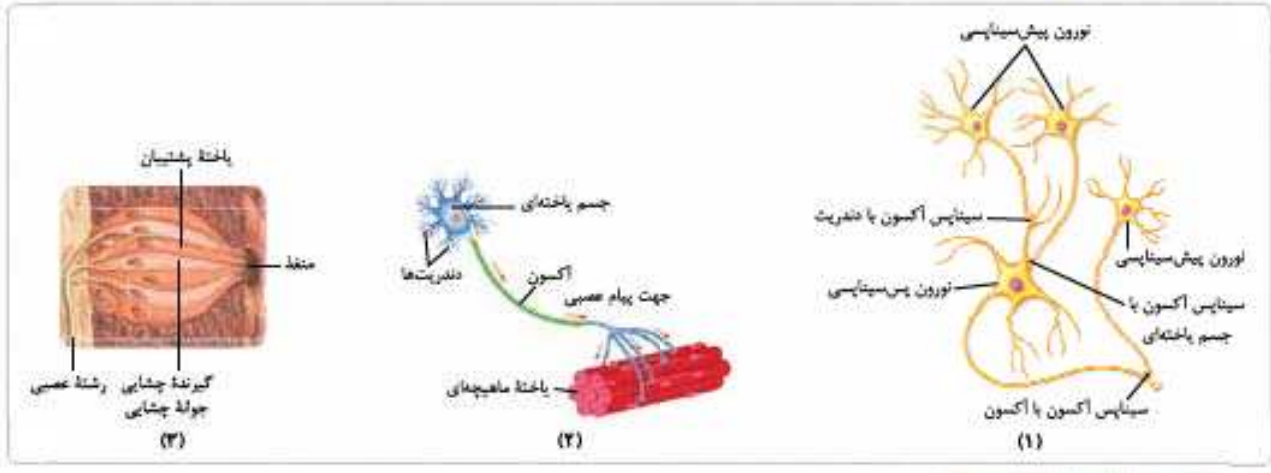
- در پایانه آکسون برای تأمین انرژی برون‌رانی ناقل‌های عصبی، میتوکندری‌های فراوانی وجود دارد.
- به هر گیرنده کتالی سدیمی و پتاسیمی در غشای نورون پس‌سیناپسی، ۲ عدد ناقل متصل شده است.

**انواع همایه (سیناپس)** به طور کلی از نظر نوع یاخته‌هایی که با هم سیناپس می‌دهند، سه نوع سیناپس دیده می‌شود:

- ۱. سیناپس نورون با نورون: در این نوع از سیناپس‌ها (شکل ۱)، هر دو یاخته پیش‌سیناپسی و پس‌سیناپسی نورون هستند در سیناپس‌های نورون با نورون، اجزای نورون به حالت‌های زیر با هم در سیناپس شرکت می‌کنند:
  - پایانه آکسون یاخته پیش‌سیناپسی یا دندریت یاخته پس‌سیناپسی؛ مثال: ارتباط نورون حسی با نورون حرکتی یا نورون رابط
  - پایانه آکسون یاخته پیش‌سیناپسی با جسم یاخته‌ای پس‌سیناپسی؛ مثال: ارتباط نورون حسی با نورون حرکتی یا نورون رابط
  - پایانه آکسون یاخته پیش‌سیناپسی با آکسون یاخته پس‌سیناپسی؛ مثال: در شبکه چشم انسان

**نکته** اگر یاخته پیش‌سیناپسی نورون نباشد حتماً آکسون آن در سیناپس شرکت می‌کند. در واقع فقط از پایانه آکسون نورون امکان رهاسازی ناقل عصبی وجود دارد.

- ۲. سیناپس نورون با غیرنورون: در این نوع از همایه (سیناپس)، یاخته پیش‌سیناپسی از نوع نورون ولی یاخته پس‌سیناپسی، ماهیچه (اسکلتی، قلبی و صاف) یا غدد (درون‌ریز و برون‌ریز) است (شکل ۲).
- ۳. سیناپس غیرنورون با نورون: در این نوع از سیناپس، یاخته پیش‌سیناپسی نوعی گیرنده حس ویژه (چشایی، شنوایی و تعادلی گوش) می‌باشد ولی یاخته پس‌سیناپسی از نوع نورون است (شکل ۳).



**انواع همایه (سیناپس) از نظر عملکرد**

- ۱. سیناپس تحریکی: در این نوع سیناپس، ناقل عصبی باعث باز شدن کانال‌های گیرنده‌ای سدیمی در یاخته پس‌سیناپسی شده و پتانسیل غشای این یاخته مثبت‌تر شده و یاخته پس‌سیناپسی دچار پتانسیل عمل می‌شود.
- ۲. سیناپس بازدارنده (مهارتی): در این سیناپس، ناقل عصبی باعث باز شدن کانال‌های گیرنده‌ای پتاسیمی در یاخته پس‌سیناپسی شده و پتانسیل غشای این یاخته تا حد امکان منفی‌تر می‌شود.
- ۳. سیناپس خاموش (غیرفعال): اگر یاخته پیش‌سیناپسی، به فضای سیناپسی ناقل عصبی آزاد نکند، پتانسیل غشای یاخته پس‌سیناپسی هیچ تغییری نخواهد کرد و آن سیناپس به طور موقت غیرفعال یا خاموش است.

اگر یاخته پس‌همسایه‌ای، یاخته عصبی باشد، دو حالت زیر می‌تواند اتفاق بیفتد:

حالت اول، در صورتی که ناقل‌های عصبی تحریک‌کننده وارد فضای همایه‌ای (سیناپسی) شوند این ناقل‌ها به گیرنده‌های کانالی مخصوص خود (به هر گیرنده دو عدد ناقل متصل می‌شود) در غشای یاخته پس‌سیناپسی متصل شده و باعث باز شدن این کانال‌ها می‌شوند. در نتیجه، یون‌های سدیم از طریق این کانال‌ها وارد یاخته پس‌سیناپسی شده و باعث تغییر پتانسیل الکتریکی یاخته پس‌سیناپسی (مثبت‌تر شدن داخل یاخته نسبت به خارج آن) و ایجاد پیام عصبی در این یاخته می‌شوند.



حالت دوم، در صورتی که ناقل‌های عصبی بازدارنده (مهارکننده) وارد فضای همایه‌ای شوند، این ناقل‌ها به گیرنده‌های کانالی مخصوص خود (به هر گیرنده دو عدد ناقل متصل می‌شود) در عشا‌ی یاخته‌پس‌سیناپسی متصل شده و باعث بازشدن این کانال‌ها می‌شوند. در نتیجه، یون‌های پتاسیم از طریق این کانال‌ها از یاخته‌پس‌سیناپسی خارج شده و باعث تغییر پتانسیل الکتریکی یاخته‌پس‌سیناپسی (منفی‌ترشدن داخل یاخته نسبت به خارج آن) و مهار آن می‌شوند.

#### نکات

- ❖ برخورد ناقل عصبی به گیرنده‌اش در عشا‌ی یاخته‌پس‌سیناپسی، حتماً باعث تغییر پتانسیل عشا و تغییر فعالیت عصبی یاخته‌پس‌سیناپسی می‌شود. حال ممکن است براساس نوع ناقل، یاخته‌پس‌سیناپسی تحریک و یا مهار شود.
- ❖ ناقل‌های عصبی ممکن است در یاخته‌های پیش‌سیناپسی گیرنده حسی که نورون نیستند (مانند گیرنده چشایی) نیز تولید و ترشح شود؛ پس نمی‌توان گفت ناقل عصبی فقط در جسم یاخته‌ای نورون تولید می‌شود.
- ❖ اگر یاخته‌پس‌سیناپسی، نورونی بدون نقش گیرنده حسی باشد ناقل عصبی آزادشده از آن می‌تواند بر روی یاخته‌پس‌سیناپسی اثر تحریکی یا مهاری داشته باشد اما اگر یاخته‌پس‌سیناپسی گیرنده حسی باشد (نورون یا یاخته غیرعصبی)، در صورت ترشح ناقل به فضای سیناپسی، بر روی یاخته‌پس‌سیناپسی فقط اثر تحریکی دارد.
- ❖ سیناپس‌های تحریکی و مهاری می‌توانند در صورت ترشح‌شدن ناقل عصبی به فضای سیناپسی، به سیناپس خاموش (غیرفعال) تبدیل شوند.

**سرنوشت ناقلین عصبی در فضای سیناپسی** پس از انتقال پیام عصبی، مولکول‌های ناقل باقی‌مانده باید از فضای سیناپسی تخلیه شوند، که این موضوع دو علت دارد: **اولاً** از انتقال بیش از حد پیام جلوگیری شود. **دوم** این‌که شرایط و امکان انتقال پیام‌های جدید فراهم شود. تخلیه ناقل‌های باقی‌مانده از فضای سیناپسی به دو روش انجام می‌شود:

- ❖ **۱. جذب دوباره ناقل‌ها به یاخته‌های پیش‌سیناپسی:** ناقل‌های عصبی از فضای سیناپسی با روش‌هایی، وارد (جذب) پایانه‌های آسه شده در آن‌جا ذخیره می‌شوند تا رسیدن پیام عصبی بعدی و آزادشدن مجدد ناقل‌ها.
- ❖ **۲. تجزیه‌شدن ناقل‌ها:** توسط آنزیم‌هایی که در فضای سیناپسی حضور دارند.

#### نکات

- ❖ تغییر غیرطبیعی در میزان ترشح یا باقی‌ماندن ناقل‌های عصبی (کاهش یا افزایش) در فضای سیناپسی، از دلایل بیماری و اختلال در کار دستگاه عصبی است. این رخداد، به طور مستقیم باعث اختلال در انتقال پیام عصبی می‌شود نه هدایت پیام!
- ❖ ناقل عصبی هیچ‌گاه وارد یاخته‌پس‌سیناپسی نمی‌شود. تنها می‌تواند به کانال‌های گیرنده در سطح عشا‌ی یاخته‌پس‌سیناپسی متصل شود.
- ❖ ممکن است به کانال‌های یونی گیرنده ناقل عصبی، بیش از یک ناقل عصبی متصل شود؛ مثلاً در شکل کتاب درسی، اتصال دو ناقل به گیرنده را مشاهده می‌کنیم.
- ❖ اگر یاخته‌پس‌سیناپسی غیرنورون باشد (ماهیچه یا غدد) یاخته‌پس‌سیناپسی قطعاً نورون است.
- ❖ احتمال آزادشدن ناقل عصبی بازدارنده فقط در سیناپس‌های نورون یا نورون وجود دارد.
- ❖ در سیناپس‌های فعال، قطعاً نوعی ناقل (تحریک‌کننده یا بازدارنده) آزاد می‌شود؛ ولی در سیناپس‌های غیرفعال، در آن زمان خاص هیچ‌گونه ناقلی در فضای سیناپسی آزاد نمی‌شود.
- ❖ در زمانی که ناقل عصبی در فضای سیناپسی آزاد می‌شود سیناپس فعال و در زمانی که هیچ‌گونه ناقل در فضای سیناپسی نیست سیناپس غیرفعال است.





## نوکلئیک اسیدها

هر یک از یاخته‌های بدن ما دارای ویژگی‌های خاصی (مانند شکل و اندازه) هستند که آن‌ها را از هم متمایز می‌کند. این ویژگی‌ها تحت فرمان هسته قرار دارند. درون هسته، فام‌تن‌هایی قرار دارند که هر کدام شامل **DNA** و پروتئین هستند و اطلاعات و دستورالعمل‌های یاخته در آن‌ها ذخیره شده است. این اطلاعات، **1** در حین تقسیم از یاخته‌ای به یاخته دیگر و **2** در حین تولیدمثل از نسلی به نسل دیگر منتقل می‌شود. **DNA**های درون فام‌تن‌ها، در همه جانداران به عنوان ذخیره‌کننده اطلاعات وراثتی عمل می‌کند و تفاوت ویژگی‌های جانداران مختلف به علت نوع ژن‌های موجود در دنا و خاموش یا روشن بودن آن‌هاست. البته می‌دانیم که **DNA** الزاماً درون هسته نیست، زیرا در باکتری‌ها هسته وجود ندارد.

### نکات

- بعضی از یاخته‌های یوکاریوت فاقد هسته هستند؛ مانند گویچه‌های قرمز خون و یاخته‌های آوند آبکشی. این یاخته‌ها در ابتدا هسته‌دار بوده و طی بلوغ، هسته خود را از دست داده‌اند.
- در یاخته‌های یوکاریوتی هسته، میتوکندری و کلروپلاست دوفشایی بوده و دارای **DNA** می‌باشند. البته دناى میتوکندری و کلروپلاست حلقوی بوده و ساختار فام‌تنی ندارد.
- همان‌طور که از نام آن‌ها پیداست، نوکلئیک اسیدها دارای خاصیت اسیدی می‌باشند.

### آزمایشات گریپیت در مورد کشف ماده وراثتی

گریپیت باکتری‌شناسی انگلیسی بود که سعی داشت واکنشی علیه بیماری آنفلوآنزا تولید کند. در آن زمان تصور می‌شد که عامل آنفلوآنزا نوعی باکتری به نام استریتوکوکوس نومونیا است، در صورتی که امروزه می‌دانیم عامل آنفلوآنزا نوعی ویروس است. در واقع باکتری استریتوکوکوس نومونیا عامل بیماری سینه‌پهلو (ذات‌الریه) است.

واکسن، میکروب ضعیف یا کشته‌شده (مثلاً با گرما)، آنتی‌ژن میکروب یا سم خنثی‌شده آن است که وارد کردن آن به بدن، باعث تولید یاخته‌های خاطره شده و فرد در مقابل عامل اصلی بیماری‌زا، ایمنی پیدا می‌کند.

**نکته ترکیبی** عامل ایجادکننده آنفلوآنزای پرندگان، ویروسی است که می‌تواند سایر گونه‌های مهره‌داران، مثل انسان را نیز درگیر کند. این ویروس به شش‌ها حمله می‌کند و سبب می‌شود دستگاه ایمنی بیش از حد فعالیت کند و به مقدار بیش از حد لنفوسیت **T** کشته تولید گردد. حمله لنفوسیت‌های **T** کشته به یاخته‌های شش‌ها و ایجاد آسیب بافتی، می‌تواند منجر به مرگ شود. (فصل ۵ - یازدهم)

**نکته** در حد کتاب درسی ویروس‌هایی که باید با آن‌ها آشنا باشید عبارت‌اند از: ویروس‌های آنفلوآنزا، **HIV** (عامل بیماری ایدز) و آنفلوآنزای پرندگان.

**باکتری استریتوکوکوس نومونیا** این باکتری‌ها (از لحاظ توانایی ساخت پوشینه) دارای دو نوع پوشینه‌دار و بدون پوشینه بوده که هر دو به یک گونه تعلق دارند؛ اما فقط باکتری پوشینه‌دار باعث بروز علائم بیماری سینه‌پهلو در جانورانی مثل موش و انسان می‌شود؛ زیرا باکتری بدون پوشینه در بدن انسان یا موش توسط سیستم ایمنی سریعاً شناسایی شده و با بیگانه‌خواری از بین می‌رود، اما شناسایی باکتری پوشینه‌دار، توسط سیستم ایمنی بدن با تأخیر انجام شده و در نتیجه سیستم ایمنی در از بین بردن باکتری‌های پوشینه‌دار نسبتاً ناموفق عمل کرده و باکتری فرصت لازم برای تکثیر را پیدا کرده و فرد به بیماری سینه‌پهلو مبتلا می‌شود.

### نکات

- علت بیماری‌زا بودن باکتری‌های استریتوکوکوس نومونیا، تکثیر آن‌ها در شش‌ها و تخریب بافت شش است.
- کپسول (پوشینه) در باکتری استریتوکوکوس نومونیا، پوششی است که اطراف باکتری را فرا گرفته و از باکتری در برابر سیستم ایمنی (بیگانه‌خواری)





باکتری پوشینه‌دار

موش یا انسان محافظت می‌کند. باکتری‌های پوشینه‌دار، ژن یا ژن‌هایی دارند که در نهایت باعث تولید پوشینه می‌شود. در حالی که باکتری بدون پوشینه این ژن یا ژن‌ها را ندارد.

کپسول نسبت به سایر لایه‌های دربرگیرنده سیتوپلاسم باکتری (دیواره و غشای پلاسمایی) قطر بیشتری دارد.

اطراف سیتوپلاسم باکتری استریتوکوکوس نومونیا می‌تواند، فقط غشای پلاسمایی و دیواره، یا غشای پلاسمایی و دیواره و پوشینه وجود داشته باشد.

همه انواع باکتری‌ها در گونه استریتوکوکوس نومونیا غشا و دیواره دارند. حال آن‌که گروهی پوشینه نیز دارند.

باکتری پوشینه‌دار بیماری‌زا بوده ولی باکتری بدون پوشینه اگرچه باعث تحریک سیستم ایمنی می‌شود، اما عامل بیماری‌زا به حساب نمی‌آید.

قطر باکتری استریتوکوکوس نومونیا با پوشینه حدوداً  $8000$  نانومتر

❖ **مراحل تولید پوشینه در باکتری:** فعال شدن ژن یا ژن‌های مربوط به تولید پوشینه (کپسول) = تولید آنزیم یا آنزیم‌های سازنده پوشینه = تولید پوشینه

**نکته** ❖ با توجه به مراحل تولید پوشینه در باکتری، باید توجه کرد که پوشینه محصول مستقیم عملکرد ژن نیست.

### مراحل آزمایش‌گریفت

1- تزریق باکتری‌های زنده پوشینه‌دار به موش‌ها

❖ مشاهده، موش‌ها مردند.

**نتیجه‌گیری** ✓ باکتری‌های پوشینه‌دار زنده بیماری‌زا بوده و می‌توانند باعث بروز علائم بیماری و مرگ موش‌ها شوند.

2- تزریق باکتری‌های زنده فاقد پوشینه به موش‌ها

❖ مشاهده، موش‌ها زنده ماندند.

**نتیجه‌گیری** ✓ اولاً باکتری‌های بدون پوشینه نمی‌توانند باعث بروز علائم بیماری شوند، زیرا توسط سیستم ایمنی موش نابود می‌شوند. دوماً پوشینه می‌تواند عامل مرگ موش باشد.

3- تزریق باکتری‌های پوشینه‌دار کشته‌شده با گرما به موش‌ها

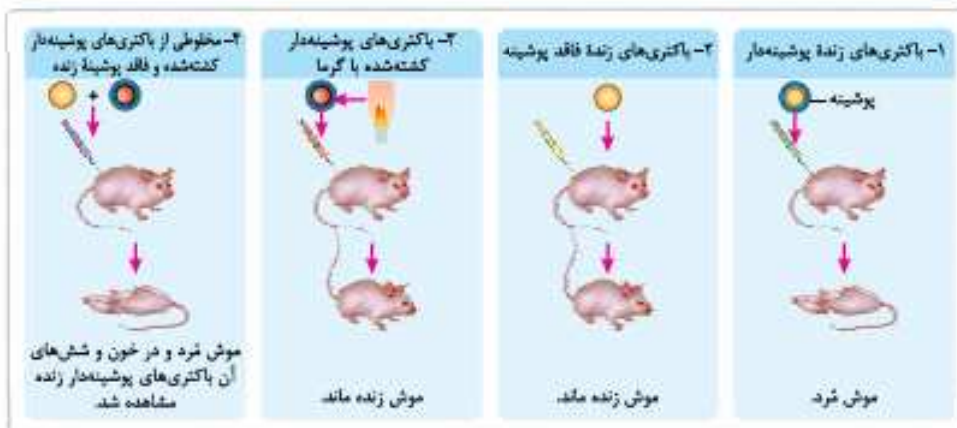
❖ مشاهده، موش‌ها زنده ماندند.

**نتیجه‌گیری** ✓ پوشینه به تنهایی عامل ایجاد بیماری و مرگ در موش‌ها نیست.

4- تزریق مخلوطی از باکتری‌های پوشینه‌دار مرده و باکتری‌های فاقد پوشینه زنده به موش‌ها

❖ مشاهده، موش‌ها مردند. گررفت با تشریح موش‌های مرده در خون و شش‌های آن‌ها، تعداد زیادی باکتری پوشینه‌دار زنده دید!

**نتیجه‌گیری** ✓ یا باکتری‌های پوشینه‌دار مرده، زنده شده‌اند که غیرممکن است و یا این‌که باکتری‌های بدون پوشینه زنده از باکتری‌های مرده پوشینه‌دار عامل تولیدکننده پوشینه را دریافت کرده‌اند که توانسته‌اند پوشینه بسازند.



### نکات

❖ در هر 4 مرحله آزمایشات سیستم ایمنی موش‌ها علیه باکتری‌ها فعال شده است، اما در مراحل 1 و 4 این سیستم در برابر باکتری‌های پوشینه‌دار زنده مؤثر واقع نشده است.

❖ اگر از موش استفاده‌شده در مرحله 3، چند روز بعد در مرحله 4 نیز استفاده می‌کردیم، به احتمال زیاد این موش به باکتری پوشینه‌دار زنده مقاوم شده (با تولید پادتن و یاخته خاخره) و نمی‌مرد؛ زیرا باکتری پوشینه‌دار مرده در نقش واکنش عمل می‌کند.

❖ امروزه برای تهیه واکنش برای مقابله با بیماری سینه‌پهلو می‌توانیم از باکتری استریتوکوکوس نومونیا پوشینه‌دار کشته‌شده استفاده کنیم تا لنفوسیت‌های خاخره مؤثری در بدن فرد دریافت‌کننده واکنش، تولید شود.



گرمای مورد استفاده گرفتیت فقط باعث مرگ باکتری‌ها شده و پوشینه و DNA آن‌ها را از بین نبرده است؛ پس الزاماً مرگ یاخته موجب از بین رفتن DNA نیست!

- ۱ در بیماری سینه‌پهلو آسیب بافتی در شش‌ها منجر به ایجاد التهاب درون حبابک‌ها می‌شود و در نتیجه موجب اختلال در تنفس می‌شود.
- ۲ بیماری سینه‌پهلو و آنفلوآنزا علائم مشترکی دارند؛ به همین علت نیز گرفتیت فکر می‌کرد عامل آنفلوآنزا این نوع باکتری است.
- ۳ در آزمایش‌های گرفتیت، در هر مرحله که موش‌ها می‌میرند، علائم زیر قبل از مرگ در موش‌ها ممکن است دیده شود:
  - ۱ به دلیل اختلال در عملکرد ریه‌ها، هماتوکریت افزایش می‌یابد، چون برای جبران کاهش  $O_2$  در بدن موش، تولید هورمون اریتروپوئیتین بالا می‌رود.
  - ۲ به دلیل اختلال در فعالیت ریه و کاهش عملکرد آن و تجمع  $CO_2$  در بدن موش، محیط داخلی بدن می‌تواند اسیدی شود.
- ۴ در مرحله چهارم گرفتیت باکتری‌ها را بیرون بدن موش مخلوط کرد و سپس آن‌ها را به موش‌ها تزریق نمود؛ پس می‌توان گفت بخشی از فرایند انتقال ماده وراثتی می‌توانسته در بیرون بدن موش‌ها رخ داده باشد.
- ۵ در مرحله چهارم آزمایش گرفتیت الزاماً هر باکتری بدون پوشینه‌داری، کپسول‌دار نشد، بلکه تعدادی از آن‌ها، ماده وراثتی حاوی ژن(های) پوشینه‌دار شدن را دریافت نموده و پوشینه‌دار شدند.

**تذکر مهم ۱** در آزمایش چهارم گرفتیت اگرچه انتقال ژن بین باکتری‌ها صورت گرفت، اما باکتری‌های دریافت‌کننده ژن(های) پوشینه‌دار شدن، تراژن محسوب نمی‌شود؛ زیرا جاندار تراژن به جانداري گفته می‌شود که از طریق مهندسی ژنتیک دارای ژن جدید شده است. (فصل ۲ - دوازدهم)

**دست‌آورد گرفتیت** مشخص شد که ماده ژنتیک از باکتری‌های مرده پوشینه‌دار به باکتری‌های زنده بدون پوشینه منتقل شده است (ماده ژنتیک بین یاخته‌ها قابل انتقال است).

#### نکات

- ۱ در آزمایش گرفتیت ماهیت ماده وراثتی و چگونگی انتقال آن مشخص نشد.
- ۲ جالب است بدانید که قبل از گرفتیت، دانشمندان نوکلئیک اسیدها را کشف نموده و پژوهش‌هایی بر روی آن‌ها انجام داده بودند.

### تمرین

#### آزمایش‌های گرفتیت:

- ۱ مشخص نمایید از هر جاندار در چه مرحله یا مرحله‌ای استفاده شد.
  - الف) باکتری‌های بدون پوشینه: دوم و چهارم
  - ب) باکتری‌های پوشینه‌دار: اول، سوم و چهارم
  - ج) باکتری‌های پوشینه‌دار مرده: سوم و چهارم
  - د) حضور فقط یک نوع باکتری: اول، دوم و سوم
  - ه) حضور دو نوع باکتری: چهارم
  - و) باکتری بدون پوشینه مرده: در هیچ مرحله‌ای
  - ز) باکتری پوشینه‌دار زنده: اول
  - ح) باکتری مرده: سوم و چهارم
- ۲ حضور فقط جانداري پروکاریوت؛ در واقع در همه مراحل از جاندارانی پروکاریوت (باکتری‌ها) و جاندارانی یوکاریوت (موش‌ها) استفاده شد.
- ۳ جانداري زنده: در همه مراحل از موش‌هایی زنده استفاده شد.
- ۴ درستی یا نادرستی جملات زیر را مشخص کنید.
  - الف) در هر مرحله که از باکتری‌های پوشینه‌دار استفاده شد، موش مُرد: غلط - در مرحله سوم موش زنده ماند.
  - ب) در هر مرحله که از باکتری بدون پوشینه استفاده شد، موش زنده ماند: غلط - در مرحله چهارم موش مرد.
  - ج) در هر مرحله‌ای که موش زنده ماند از باکتری‌های بدون پوشینه استفاده شده بود: غلط - در مرحله سوم باکتری‌های پوشینه‌دار استفاده شد.
  - د) در هر مرحله که از باکتری‌های پوشینه‌دار مرده استفاده شد، موش زنده ماند: غلط - در مرحله چهارم موش مرد.

### آزمایش ایوری و همکاری‌اش در کشف عامل اصلی انتقال صفات وراثتی

۱۶ سال پس از گرفتیت، عامل مؤثر در انتقال صفات توسط ایوری و همکاری‌اش مشخص شد.

#### مراحل آزمایش اول

- ۱ عصاره باکتری‌های پوشینه‌دار کشته‌شده را استخراج کردند. تمامی پروتئین‌های موجود در آن را به کمک آنزیم‌های پروتئاز تخریب کردند (هدف: حذف عامل پروتئینی از لیست مواد وراثتی بود). باقی‌مانده عصاره را به محیط کشت باکتری‌های فاقد کپسول زنده اضافه کردند.
- ۲ مشاهده: انتقال صفت صورت گرفت و در محیط کشت، باکتری‌های پوشینه‌دار زنده مشاهده شد.
- ۳ نتیجه‌گیری: با انجام این آزمایش مشخص شد که پروتئین‌ها ماده وراثتی نیستند.

#### مراحل آزمایش دوم

- ۱ استخراج عصاره باکتری‌های کپسول‌دار کشته‌شده قرار دادن مخلوط درون سانتریفیوژ (گریزانه) با سرعت بالا ۲ جداسازی مواد به صورت لایه‌لایه
- ۲ اضافه کردن هر یک از لایه‌ها به صورت جداگانه به محیط کشت باکتری‌های فاقد کپسول زنده



مشاهده: انتقال صفت فقط با لایه‌ای که در آن دنا وجود دارد، انجام شد.

**نتیجه‌گیری** ✓ عامل اصلی و مؤثر در انتقال صفات، دنا است. در ضمن ثابت شد که قند، لیپید و پروتئین ماده وراثتی نیستند.

**آزمایش‌های بعدی ایوری** در کتاب می‌خوانیم «در آزمایش‌های دیگری عصاره باکتری‌های پوشینه‌دار را ... پس این مبحث فقط شامل یک عدد آزمایش سوم نیست و آزمایش‌های متعددی صورت گرفت.

1 استخراج عصاره باکتری‌های کیسول‌دار کشته‌شده 2 عصاره استخراج‌شده را در 4 ظرف تقسیم کرد. 3 به هر ظرف آنزیم‌های تخریب‌کننده یک گروه از مواد آلی (کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها، لیپیدها و نوکلئیک اسیدها) را اضافه کردند. 4 اضافه کردن عصاره‌ها به محیط‌های کشت حاوی باکتری‌های زنده بدون کیسول و دادن فرصت رشد و تکثیر به باکتری‌ها

مشاهده: در همه ظروف انتقال صفت صورت می‌گیرد، به‌جز ظرفی که حاوی آنزیم تخریب‌کننده دنا (توکلاز) است.

**نتیجه‌گیری** ✓ ماده وراثتی مطمئناً مولکول DNA است. پروتئین، قند و لیپید ماده وراثتی نیستند.

**نکته** توجه داشته باشید که گرفتار از باکتری‌های پوشینه‌دار کشته‌شده با گرما استفاده کرد، ولی ایوری از عصاره آن‌ها استفاده کرد.

### ساختار نوکلئیک اسید

تعریف: نوکلئیک اسیدها پلی‌مرهایی هستند که از مونومرهایی به نام نوکلئوتید ساخته شده‌اند.

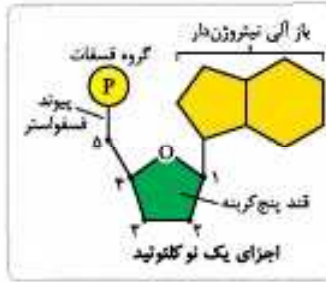
#### انواع نوکلئیک اسیدها

1 دلوکسی‌ریبونوکلئیک اسید یا DNA (دنا)

2 ریبونوکلئیک اسید یا RNA (رنا)

#### اجزای تشکیل‌دهنده نوکلئوتیدها

1. یک قند 5 کربنه: یک مونوساکارید یا ساختار حلقوی است (یک حلقه پنج‌ضلعی) که اصلی‌ترین عامل ایجادکننده تفاوت بین نوکلئوتیدهای سازنده DNA و RNA محسوب می‌شود. در شکل مقابل کربن‌ها از 1 تا 5 شماره‌گذاری شده‌اند. تفاوت دنا و رنا، در DNA قند 5 کربنه به صورت دلوکسی‌ریبوز است و در RNA قند 5 کربنه به صورت ریبوز است. (قند دلوکسی‌ریبوز یک اتم اکسیژن کم‌تر از ریبوز دارد.)



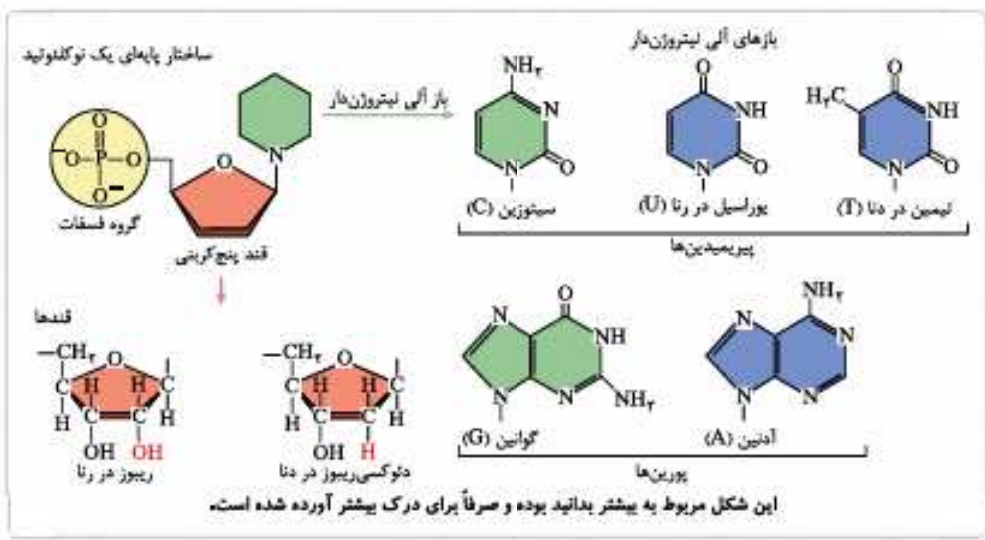
**نکته** قند پنج کربنه از طریق کربن شماره یک (کربن درون حلقه‌ای) خود طی پیوندی اشتراکی به باز آلی متصل می‌شود و همچنین از طریق کربن شماره پنج (کربن خارج حلقه‌ای) خود طی پیوندی اشتراکی (فسفواستر) به فسفات متصل می‌شود.

#### 2. باز آلی نیتروژن‌دار

انواع بازهای آلی.

پورین‌ها، بازهای آلی دارای ساختار دو حلقه‌ای هستند و شامل آدنین (A) و گوانین (G) که هر کدام از یک حلقه شش‌ضلعی و یک حلقه پنج‌ضلعی تشکیل شده‌اند (لطفاً به شکل بالا و موقعیت اتصال این دو حلقه به قند توجه فرمایید)

پیریمیدین‌ها، بازهای آلی دارای ساختار تک حلقه‌ای هستند و شامل: سیتوزین (C)، تیمین (T) و یوراسیل (U) می‌باشند که از یک حلقه شش‌ضلعی تشکیل شده‌اند.





### نکات

- نوکلئوتیدها یا سه حلقه دارند یا دو حلقه (با احتساب قند).
- بازهای آلی دو حلقه‌ای (پورین‌ها) با حلقه کوچک خود (پنج‌ضلعی) به قند پنج‌کربنه متصل می‌شوند.
- تفاوت دنا و رنا، در مولکول دنا باز یوراسیل دیده نمی‌شود و در مولکول رنا نیز تیمین دیده نمی‌شود.
- ۲. یک تا سه گروه فسفات: در یک نوکلئوتید به مولکول قند می‌تواند یک تا سه گروه فسفات متصل باشد. البته در مولکول‌های دنا و رنا، همه نوکلئوتیدهای شرکت‌کننده، به صورت تک‌فسفاته حضور دارند. قند پنج‌کربنه از طریق کربن خارج از حلقه خود (کربن شماره ۵) به فسفات متصل می‌شود.

### نکات

- هیچ دو نوکلئوتیدی از دنا و رنا یکسان نیستند، چون قند متفاوتی دارند. در ضمن قند ریبوز به علت داشتن یک اکسیژن بیشتر، از دئوکسی‌ریبوز سنگین‌تر می‌باشد.
- به دلیل منفی بودن گروه فسفات، نوکلئوتیدها و همچنین نوکلئیک اسیدها بار منفی دارند.
- در درون یاخته ۲۴ نوع نوکلئوتید دیده می‌شود (۱۲ نوع ریبونوکلئوتید و ۱۲ نوع دئوکسی‌ریبونوکلئوتید) در ساختار دنا و رنا، فقط نوکلئوتیدهای تک‌فسفاته دیده می‌شود.

### جمع‌بندی



### کاربرد نوکلئوتیدها

- شرکت در ساختار مولکول DNA
- شرکت در ساختار مولکول‌های RNA
- منبع انرژی (مانند ATP)
- شرکت در ساختار حامل‌های الکترون

### نکات

- ATP یکی از انواع نوکلئوتیدهای ریبوزدار است که به عنوان منبع رایج انرژی در یاخته به مصرف می‌رسد.
- ATP منبع رایج انرژی یاخته است. پس یاخته منابع دیگری نیز برای تأمین انرژی فرایندهای زیستی دارد.
- پیوند بین گروه‌های فسفات انرژی زیادی دارد بنابراین هنگام آبکافت مولکول ATP، انرژی زیادی آزاد می‌شود.
- در بین سه فسفات یک نوکلئوتید تری‌فسفات، دو پیوند پرانرژی است که توانایی شکستن و تشکیل شدن دارند.
- معمولاً مصرف و آزادسازی انرژی در سلول به ترتیب به کمک دو مولکول ATP و ADP انجام می‌شود و این دو مولکول مدام به یکدیگر تبدیل می‌شوند (اما آزادسازی انرژی ATP تا AMP نیز می‌تواند ادامه یابد).
- حامل‌های الکترونی مانند NADPH، NADH و FADH<sub>2</sub> مولکول‌هایی هستند که در ساختار آن‌ها نوکلئوتیدها شرکت دارند و می‌توانند الکترون را حمل کنند و به مولکول‌های دیگر انتقال دهند.
- حامل‌های الکترونی در فرایندهای یاخته‌ای، مانند تنفس یاخته‌ای و فتوسنتز شرکت دارند.

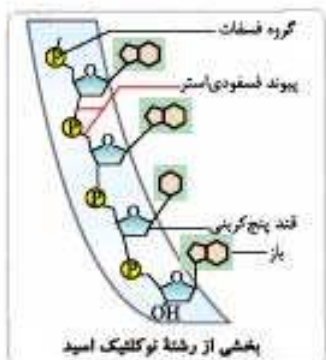
### پیوندهای بین مولکولی در یک نوکلئوتید

- پیوند قند - باز، نوعی پیوند اشتراکی است که قند را یا به حلقه ۵ضلعی بازهای پورینی و یا به حلقه ۶ضلعی بازهای پیریمیدینی متصل می‌کند.
- پیوند قند - فسفات، این پیوند نوعی پیوندی اشتراکی به نام پیوند فسفواستر است که بین کربن خارج حلقه قند (کربن شماره ۵) و فسفات ایجاد می‌شود.
- پیوند فسفات - فسفات، این پیوندها پرانرژی بوده و می‌تواند شکسته شده و مجدداً تشکیل شوند.



**پیوندهای بین نوکلئوتیدها در ساختار نوکلئیک اسیدها**

۱. پیوند فسفودیاستر: پیوندی که بین نوکلئوتیدهای مجاور برقرار می‌شود تا در نهایت رشته پلی‌نوکلئوتیدی تشکیل گردد. در واقع پیوند (قند - فسفات - قند) تشکیل می‌شود که به آن پیوند فسفودیاستر می‌گویند. در واقع پیوند فسفودیاستر بین قندهای نوکلئوتیدهای مجاور ایجاد شده و گروه فسفات واسطه تشکیل پیوند است. پیوند فسفودیاستر خود شامل دو پیوند فسفواستر (قند - فسفات) است. در تشکیل این پیوند ابتدا فسفات یک نوکلئوتید به گروه هیدروکسیل (OH) از قند مربوط به نوکلئوتید دیگر متصل می‌شود البته تشکیل این پیوند به کمک آنزیم انجام می‌شود.



۲. پیوند هیدروژنی: پیوندی که بین بازهای آلی دو نوکلئوتید مقابل هم ایجاد می‌شود. در مولکول DNA بین نوکلئوتیدهای دو رشته مقابل و در RNA نیز که تک‌رشته‌ای است در اثر تاخوردن روی خود (در tRNA و rRNA) این نوع پیوند بین بازهای آلی بخش‌های مختلف یک رشته شکل می‌گیرد. بین بازهای مکمل A و T یا U و C دو پیوند هیدروژنی و بین بازهای G و C سه پیوند هیدروژنی برقرار می‌شود.

**رشته پلی‌نوکلئوتیدی**

نوکلئوتیدها با نوعی پیوند اشتراکی به نام فسفودیاستر به هم متصل می‌شوند و رشته پلی‌نوکلئوتیدی را می‌سازند. رشته‌های پلی‌نوکلئوتیدی یا به تنهایی نوکلئیک اسید را می‌سازند مثل رنا (RNA) یا به صورت دوتایی مقابل هم قرار می‌گیرند و نوکلئیک اسیدهایی مثل دنا (DNA) را می‌سازند.

• نوکلئیک اسید حلقوی: دو انتهای رشته‌های پلی‌نوکلئوتیدی می‌توانند با پیوند فسفودیاستر به هم متصل شوند و نوکلئیک اسید حلقوی را ایجاد کنند (نوکلئیک اسید انتهای آزاد ندارد)؛ مانند مولکول DNA باکتری‌ها، دنا راکیزمای و سبزیدسه‌ای در یوکاریوت‌ها، انواعی از دیسک‌ها (پلازمیدها) و انواعی از رناها (رناهای حلقوی).

• نوکلئیک اسید خطی: گروه فسفات در یک انتها و گروه هیدروکسیل قند در انتهای دیگر هر رشته پلی‌نوکلئوتیدی به صورت آزاد قرار می‌گیرد رشته‌های دنا یا رنا خطی را ایجاد می‌کند بنابراین هر رشته دنا و رنا خطی همیشه دو سر متفاوت دارند.

• تفاوت دنا و رنا: مولکول رنا از یک رشته پلی‌نوکلئوتیدی ایجاد شده اما در مولکول دنا دو رشته پلی‌نوکلئوتیدی در مقابل هم قرار می‌گیرند.


**مراحل کشف ساختار دنا**

**مشاهدات چارگاف** در ابتدا تصور می‌شد که هر ۴ نوع نوکلئوتید موجود در مولکول DNA به نسبت مساوی در سراسر مولکول توزیع شده‌اند و دانشمندان انتظار داشتند که مقدار هر ۴ نوع باز آلی در تمامی مولکول‌های دنا از هر جانداری که باشد، با یکدیگر برابر باشند. اما تحقیقات دانشمندی به نام چارگاف نشان داد که این گونه نیست بلکه مقدار آدنین موجود در دنا با مقدار تیمین برابر است و مقدار گوانین در آن با مقدار سیتوزین برابری می‌کند.

بنابراین،  $A = T$  و  $C = G$   $\frac{A+G}{T+C} = 1$   $\frac{C}{G} = \frac{A}{T} = 1$   $A + G = C + T$  پورین = پیریمیدین

**تذکر مهم!** چارگاف فقط به برابری بازهای A با T و C با G در یک مولکول دنا پی برد، ولی علت آن بعدها مشخص شد. یعنی مکمل بودن بازها و تشکیل پیوند بین آن‌ها توسط چارگاف مشخص نشد.

**نکات**

- چارگاف درباره ثابت بودن قطر مولکول دنا اظهار نظری نکرد و با شکل این مولکول کاری نداشت.
- قوانین چارگاف در مورد RNAها و یک رشته از مولکول DNA صادق نیست.

**ولیکینز و فرانکلین: استفاده از پرتو ایکس برای تهیه تصویر از دنا**

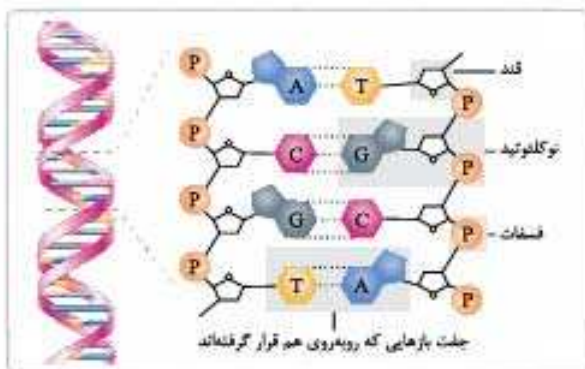
ولیکینز و فرانکلین برای کشف ساختار مولکولی دنا از پرتو ایکس استفاده کردند و تصاویری از مولکول‌های دنا به دست آوردند که نتایج آن به شرح زیر است:



- دنا حالت مارپیچی دارد.
- هر مولکول دنا بیش از یک رشته دارد.
- تشخیص ابعاد مولکول‌ها

**نکته** نتیجه‌گیری‌های فوق با مشاهده تصاویر متعدد صورت گرفته نه فقط یک تصویر نشان داده شده در کتاب. (این نمونه‌ای از بهترین تصاویر بوده است.)





**تذکره ۱** در آزمایشات ویلکینز و فرانکلین دو رشته‌ای بودن دنا مشخص نشد، فقط فهمیدند که مولکول دنا بیش از یک رشته دارد.

### مدل مولکولی دنا

در نهایت، واتسون و کریک با استفاده از اطلاعات موجود برای مولکول دنا مدل مولکولی نردبان مارپیچ را ساختند که به خاطر آن در سال ۱۹۶۲ جایزه نوبل دریافت کردند. این دو دانشمند از اطلاعات زیر برای بیان مدل خود استفاده کردند: **۱** نتایج آزمایشات چارگاف **۲** اطلاعات حاصل از تصاویر تهیه‌شده پرتو X توسط ویلکینز و فرانکلین **۳** یافته‌های خود

### مدل پیشنهادی واتسون و کریک

هر مولکول دنا از دو رشته پلی‌نوکلئوتیدی ساخته شده که به دور یک محور فرضی پیچیده و ساختاری دورشته‌ای را ایجاد می‌کند که اغلب به یک نردبان پیچ‌خورده تشبیه می‌شود.

ستون‌های نردبان، مولکول قند و فسفات ستون‌ها را تشکیل می‌دهند که با پیوند فسفودی‌استر به هم متصل‌اند. پله‌های نردبان، بازهای آلی هستند که با پیوندهای هیدروژنی به هم متصل‌اند و دو رشته را در مقابل هم نگه می‌دارند.

### نکات

• بر روی مارپیچ دنا به صورت یکی‌درمیان، فاصله‌های متفاوت بین دو رشته دنا نسبت به هم دیده می‌شوند. (۱ و ۲ در شکل) در یک مولکول دنا، دو رشته دنا، نسبت به هم جهت‌گیری معکوس دارند، یعنی انتهای OH یک رشته در مقابل انتهای فسفات رشته دیگر قرار می‌گیرد.

بازهای مکمل، پیوند هیدروژنی بین جفت بازها به صورت اختصاصی تشکیل می‌شود. آدنین در مقابل تیمین با دو پیوند هیدروژنی و سیتوزین در مقابل گواتین با سه پیوند هیدروژنی قرار می‌گیرند؛ به این جفت بازها، بازهای مکمل گفته می‌شود.

**نکته ۱** مکمل بودن بازهای آلی که توسط واتسون و کریک کشف شد، تأییدکننده آزمایشات چارگاف است (و نه بالعکس).

### نتایج قرارگیری جفت بازها در مقابل هم در مولکول دنا

**۱** یکسان بودن قطر مولکول دنا و کمک به پایداری و قشرده شدن بهتر این مولکول

علت، چون همواره یک پورین (دو حلقه) در مقابل یک پیریمیدین (تک حلقه) قرار می‌گیرد و ثابت‌ماندن قطر منجر به پایداری بیشتر مولکول دنا می‌شود.

**نکته ۲** واتسون و کریک ثابت‌بودن قطر دنا را نشان دادند

**۱** شناسایی ترتیب و توالی نوکلئوتیدهای رشته مقابل دنا از روی یک رشته

علت: در هر رشته پلی‌نوکلئوتیدی مولکول دنا، ممکن است چندین نوکلئوتید وجود داشته باشد و به دلیل قانون بازهای مکمل با شناسایی توالی یک رشته، می‌توان به توالی رشته مقابل نیز پی برد؛ برای مثال:



**۲** پایداری مولکول دنا به دلیل وجود پیوند هیدروژنی

علت، هر پیوند هیدروژنی، انرژی کمی دارد، اما به دلیل تعداد بسیار زیاد نوکلئوتیدها، تعداد پیوندهای هیدروژنی در مولکول DNA بسیار زیاد بوده و در نتیجه مولکول دنا حالت پایدارتری پیدا می‌کند.

**نکته ۳** دو رشته مولکول‌های دنا در زمان نیاز مانند همانندسازی و رونویسی می‌توانند در بعضی نقاط از هم جدا شوند و بدون این‌که پایداری آن‌ها به هم بخورد وظایف خود را انجام دهند.

### رنا و انواع آن

مولکول‌های رنا دارای ویژگی‌هایی هستند: **۱** نوعی نوکلئیک اسیدها هستند **۲** تک‌رشته‌ای هستند **۳** از روی بخشی از مولکول دنا طی رونویسی ساخته می‌شود. **۴** معمولاً خطی هستند ولی در مواردی ممکن است حلقوی باشند (رناهایی که ژن خارج هسته‌ای دارند). **۵** به طور عمده در فرایند پروتئین‌سازی نقش دارند

### انواع مولکول‌های رنا

• **رنا پیک (mRNA):** اطلاعات مربوط به ساخت پروتئین‌ها را از دنا به رناتن‌ها می‌رساند و رناتن‌ها با استفاده از اطلاعات رنا پیک، پروتئین‌سازی می‌کنند. رنا پیک در خودش و بین بازهای مکمل پیوند هیدروژنی ایجاد نمی‌کند.



♦ **رنای ناقل (tRNA):** آمینواسیدها را برای استفاده در پروتئین‌سازی به سمت رتاتن‌ها انتقال می‌دهد. در ضمن در بخش‌هایی از آن بین بازهای مکمل پیوند هیدروژنی تشکیل می‌شود.

♦ **رنای رناتنی (rRNA):** در ساختار رتاتن‌ها علاوه بر پروتئین، رنای رناتنی نیز شرکت دارد. رنایهای دیگری نیز وجود دارند. مانند رنای مکمل کوچک که وظیفه آنزیمی یا تنظیمی را بر عهده دارند.

### رن چیست؟

به واحدهای سازمان‌یافته اطلاعات در دنا، رن می‌گویند. در واقع رن بخشی از مولکول دنا است و عملکرد و فعالیت آن باعث تولید رنا یا رشته پلی‌پپتیدی می‌شود.

**نکته:** بیان رن در نهایت باعث تولید رنا یا پروتئین می‌شود.

### جمع‌بندی «مقایسه DNA و RNA»

| مقایسه | تعداد رشته | نوع باز    | نوع قند      | انواع                                                       | نقش                                                                               |
|--------|------------|------------|--------------|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| DNA    | ۲          | A, T, C, G | دئوکسی‌ریبوز | DNA خطی و حلقوی                                             | • ماده وراثتی یاخته                                                               |
| RNA    | ۱          | A, U, C, G | ریبوز        | mRNA, tRNA, rRNA<br>رنایهای کوچک تنظیمی و<br>رنایهای آنزیمی | • در پروتئین‌سازی<br>• به عنوان آنزیم<br>• حاوی اطلاعات وراثتی<br>• تنظیم بیان رن |

### جمع‌بندی «تحقیقات دانشمندان در مورد ماده وراثتی»

| دانشمندان          | فعالیت                                       | نتیجه کار                                          |
|--------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| گریفیت             | تلاش برای کشف واکسن آنفلوآنزا                | ماده وراثتی می‌تواند به یاخته دیگر منتقل شود.      |
| ایوری              | انجام آزمایش برای کشف ماهیت ماده وراثتی      | عامل انتقال صفات همان دناست.                       |
| چارگاف             | کشف روابط بین مقدار بازهای آلی در مولکول دنا | نسبت‌های $A = T$ و $C = G$                         |
| ویلکینز و فرانکلین | تهیه تصویر از دنا با استفاده از پرتو ایکس    | مولکول دنا مارپیچ بوده و دارای بیش از یک رشته است. |
| واتسون و کریک      | بررسی مدل مولکولی دنا                        | کشف ساختار دنا با ارائه مدل مولکولی نردبان مارپیچ  |