

## بیوفیزیک غشاء و سلول

غشای سلولی از دو لایه چربی تشکیل شده که مولکول‌های پروتئین و کربوهیدرات جابه‌جا در آن قرار گرفته‌اند. غشا حدوداً ۴۵٪ چربی، ۲۵٪ فسفولیپید، ۱۳٪ کلسترول، ۴٪ سایر لیپیدها، ۵۰٪ پروتئین و ۳٪ کربوهیدرات تشکیل شده است. غشاء‌های داخلی بیشتر از فسفو لیپیدها ساخته شده‌اند در حالی که غشاء‌های پلاسمایی شامل لیپیدهای خنثی هستند. ساختمان پایه‌ی غشای سلول، یک لایه چربی از نوع فسفولیپید دو طبقه است که بخش محلول در چربی (هیدروفوب Hydrophobic یا آب‌گریز) آن به سمت وسط دو لایه چربی و بخش محلول در آب (هیدروفیل Hydrophilic یا آب‌دوست) به سوی طرفین قرار گرفته است. این حالت باعث می‌شود که غشا نسبت به مواد محلول در آب نفوذناپذیر باشد. یک صفت ویژه لایه‌ی دو طبقه چربی آن است که مایع است نه جامد، بنابراین بخش‌هایی از غشا می‌توانند عملاً در سطح غشا از یک نقطه به نقطه‌ی دیگر جریان پیدا کنند. آب با اینکه نامحلول در چربی است، ولی چون بسیار کوچک است و انرژی جنبشی زیادی دارد می‌تواند سریعاً از غشا عبور کند، اما مواد محلول در آب مانند یون‌ها (هرچند کوچک باشند) و گلوکز نمی‌توانند از بخش لیپیدی غشا عبور کنند. پروتئین‌ها و سایر مواد محلول در غشای دو طبقه لیپیدی یا شناور در آن تمایل دارند به کلیه نواحی غشای سلول انتشار یابند، از طرفی مولکول‌های پروتئینی که در غشا بیشتر از نوع گلیکوپروتئین می‌باشند، یکپارچگی لیپیدی غشا را از بین می‌برند. روش‌هایی نظیر فلورسانس و NMR قابلیت حرکت دو لایه لیپیدی را تایید می‌کند. لیپیدهای غشایی همانند کریستال مایع رفتار می‌کنند و دارای سیالیت و تغییر پذیری هستند. این حالت برای غشاء سلولی توانایی انجام اعمال مهم غشایی را فراهم می‌کند. در این فصل برای روشن ساختن بیوفیزیک غشاء ابتدا به تعادل ترمودینامیکی در دو طرف غشاء نفوذ پذیر و سپس به ساختارهای نقل و انتقال و در ادامه به پتانسیل غشاء خواهیم پرداخت.

### تست ۱- حرکت چرخشی فسفولیپیدهای غشا: (ارشد سراسری ۸۵)

- ۱) بدون ارتباط با دیگر فسفولیپیدهای مجاور با ایستادن بر روی یک پایه‌ی خود رخ می‌دهد.
  - ۲) با جابجا شدن یک مولکول فسفولیپید از یک لایه‌ی غشا به لایه‌ی دیگر غشا رخ می‌دهد.
  - ۳) معمولاً به طور طبیعی در غشا رخ می‌دهد و زمان انجام آن  $10^{-7}$  ثانیه است.
  - ۴) بسیار به ندرت رخ می‌دهد و چندین هفته زمان لازم است.
- پاسخ تست ۱- گزینه ۱ صحیح است.** بیشترین حرکت فسفو لیپیدها بصورت جانبی است. اما حرکت چرخش نیز می‌توانند داشته باشند. حرکت از نوع فلیپ فلوپ در غشاء نادر بوده و با مصرف انرژی صورت می‌گیرد.

تست ۲- کدام عبارت در توصیف ویژگی های غشاهای بیولوژیک صحیح می باشد؟ (ارشد سراسری

۸۳)

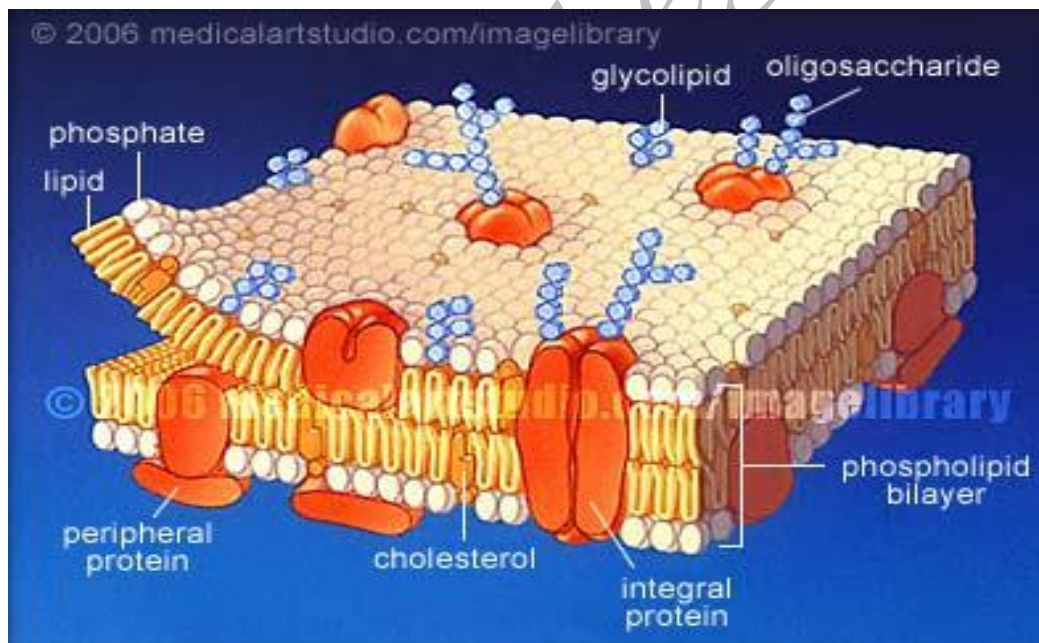
(۱) لیپید های مختلف لایه های داخلی و خارجی در دو لایه غشاهای بیولوژیک به طور یکسان توزیع شده اند و باعث کاهش انرژی آزاد سیستم گردیده اند.

(۲) ضخامت غشا و بار سطحی آن در نقاط مختلف غشاهای بیولوژیک یکسان بوده و لذا رفتار آن در تمامی نقاط مشابه می باشد.

(۳) لیپید های موجود در غشاها از نظر گروه الکلی، طول زنجیره ی کربنی، وجود و محل پیوند دوگانه در زنجیره ی کربنی متفاوت می باشند اما به صورت کاملاً یکنواخت در سطح پراکنده شده اند.

(۴) غشاها واجد لیپیدهای متفاوت از نظر گروه الکلی، طول زنجیره ی کربنی، وجود و محل پیوند دوگانه در زنجیره ی کربنی می باشند و پراکندگی آنها به صورت یکنواخت در غشاهای بیولوژیک صورت نگرفته است.

پاسخ تست ۲- گزینه ۴ صحیح است.



شکل ۱-۲ اجزاء تشکیل دهنده غشاء سلولی را نشان می دهد که از دو لایه فسفو لیپیدی و پروتئین های سطحی و داخلی تشکیل شده است.

## تشکیلات سلولی

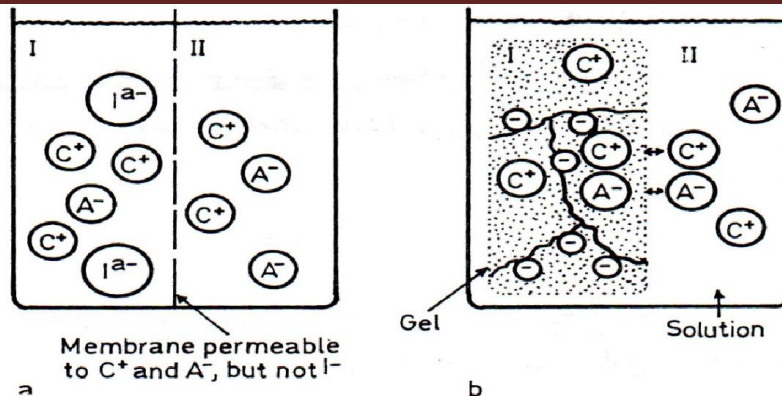
اجزای اصلی یک سلول عبارتند از: ۱- غشای سلول، ۲- سیتوپلاسم، ۳- غشای هسته، ۴- هسته  
پروتوپلاسم: مواد تشکیل دهنده سلول (آب، الکترولیت ها، کربوهیدراتها، پروتئین ها و چربی ها) را بر روی  
هم "پروتوپلاسم" می نامیم. آب با میزان ۸۰-۷۰٪ بیشترین ماده در پروتوپلاسم سلول است. فراوان ترین ماده  
بعد از آب در بیشتر سلول ها پروتئین ها هستند که حدود ۲۰-۱۰٪ توده ی سلولی را تشکیل می دهند.  
مهمترین لیپیدها در بیشتر سلول ها، فسفولیپیدها و کلسترول هستند. علاوه بر این ها برخی سلول ها محتوی  
مقادیر زیادی تری گلیسرید هستند که در سلول های موسوم به سلول های چربی، تا ۹۵٪ توده ی سلولی را  
تشکیل می دهند. در ساختار غشاء سلولی تری گلیسرید وجود ندارد. در غشاء یوکاریوتها کلسترول وجود دارد  
که به سیالیت غشاء سلولی کمک می کند در حالی که پروکاریوتها سیالیت غشاء خود را از طریق طول زنجیره  
اسید چرب و تعداد باند های دو گانه تنظیم می کنند.

## سیتوپلاسم

سیتوپلاسم از سه بخش شامل، ۱- سیتوزول: بخش مایع و شفاف سیتوپلاسم که ذراتی مثل پروتئین های  
سلول، الکترولیت ها و گلوکز، در آن پراکنده هستند. ۲- ذرات بی جان (Inclusions): که شامل رنگدانه ها و  
مواد غذایی انباشته شده است. ۳- اندامک ها (organelles): مثل شبکه آندوپلاسمی (ER) دستگاه گلژی،  
ریبوزوم و میتوکندری را در بر می گیرد.

## تعادل دونان - Donnan equilibrium

اگر دو فاز شامل الکترولیت بوده و یکی از فازها یا هر دو شامل اجزاء بارداری باشند که نتوانند از غشاء عبور  
کنند، تعادل دو نان مطرح می شود. بعنوان مثال اگر محلولی که شامل پروتئین باردار باشند توسط غشایی غیر  
قابل نفوذ به پروتئین از محلولی دیگر جدا شود، تعادل دو نان رخ می دهد. ژل باردار شده (پلی الکترولیت) در  
محلول نمک نیز تعادل دونان را سبب می شود. یونهای محیط خارج می توانند داخل ژل شده و میان ژل به  
تعادل برسند. در حالی که مولکول های باردار با زنجیر بلند که سازنده ژل می باشند، به صورت کووالان به  
یکدیگر متصل بوده و نمی توانند وارد نمک شوند.



شکل ۲-۲ تعادل دو نان را نشان می دهد. در حالت a یون I ماکرومولکولی با بار منفی است که نمی تواند از غشاء عبور نماید. در حالت b بارهای متعدد در ژلی جزئی از ساختمانش محسوب می شوند، در هر دو حالت A و C، آزادانه میان فازها تعویض می شوند.

### تست ۳- اثر دونان را چگونه می توان حذف نمود؟ (ارشد سراسری ۸۲)

۱) در اثر ازدیاد قدرت یونی و یا در درجه حرارت های بالا

۲) در اثر کاهش قدرت یونی در درجه حرارت پایین

۳) در اثر کاهش قدرت یونی و یا در PH نقطه ایزوالکتریک

۴) در اثر ازدیاد قدرت یونی و یا در PH نقطه ایزوالکتریک

**پاسخ تست ۳- گزینه ۴ صحیح است.** برای حذف پدیده دونان می توان از قدرت یونی بالا (استفاده از نمک های غلیظ یا با یونهای با ظرفیت بالا) و یا قرار دادن پروتئین ها در PH بدون بار (PH ایزوالکتریک) که بار در آن خنثی می شود، استفاده کرد.

### تست ۴- کدام عامل باعث ایجاد پتانسیل دونان در دو طرف غشاها می باشند؟ (ارشد سراسری ۸۳)

۱) اختلاف غلظت، نفوذ پذیری یون های موجود در دو طرف غشا و نیمه تراوا بودن غشا برای بعضی از مولکول ها

۲) ضخامت غشا و اختلاف غلظت یون ها در دو طرف آن

۳) نفوذ پذیری غشا به مولکول ها و یون های موجود در دو طرف غشا به طور مساوی

۴) یکسان بودن فعالیت یون ها در دو طرف و تحرک آنها در غشا

**پاسخ تست ۴- گزینه ۱ صحیح است.**

### انتشار آزاد- Free diffusion

انتشار آزاد زمانی رخ می دهد که پتانسیل الکتروشیمیایی در دو طرف نفوذ پذیر با هم فرق داشته باشد. وقتی نمونه مورد نظر بدون بار باشد، از پتانسیل شیمیایی و هنگامی که باردار باشد از پتانسیل الکترو شیمیایی صحبت می کنیم. هنگامی که انتشار آزاد نمونه بدون بار مطرح است فرآیند انتشار تنها به دلیل اختلاف غلظت نمونه انجام می شود. جریان در انتشار آزاد از رابطه تئورل-Teorell بدست می آید. (جریان =  $\text{تحرك} \times \text{غلظت} \times \text{نیروی محرکه}$ ) نشان دهنده رابطه تئورل است. اگر دو فاز شامل یک نمونه باشد، موقعی که غشاء جدا کننده بین آنها نسبت به آن نمونه مشترک نفوذ پذیر باشد، دو فاز به تعادل می رسند.

#### تست ۵- کدام حرکت را انتشار گویند؟ (ارشد سراسری ۸۱)

- (۱) حرکت محلول از غلظت بالا به غلظت پایین (۲) حرکت جسم حل شونده از غلظت بالا به غلظت پایین  
(۳) حرکت جسم حل شونده از غلظت پایین به غلظت بالا (۴) حرکت محلول از غلظت پایین به غلظت بالا  
پاسخ تست ۵- گزینه ۲ صحیح است. در انتشار جسم حل شونده از غلظت بالا به غلظت پایین حرکت می کند.

#### تست ۶- کدام رابطه، فرم صحیح رابطه ی تئورل در ارتباط با انتشار آزاد است؟ (ارشد سراسری ۸۰)

- (۱) نیروی محرکه =  $\text{تحرك} \times \text{شاره} \times \text{غلظت}$  (۲)  $\text{تحرك} = \text{شاره} \times \text{غلظت} \times \text{نیروی محرکه}$   
(۳)  $\text{غلظت} = \text{شاره} \times \text{تحرك} \times \text{نیروی محرکه}$  (۴)  $\text{شاره} = \text{تحرك} \times \text{غلظت} \times \text{نیروی محرکه}$   
پاسخ تست ۶- گزینه ۴ صحیح است. نیروی محرکه همان تفاوت غلظت است.

#### تست ۷- کدام گزینه رابطه ی کشش سطحی با انرژی سطح را بیان می کند؟ (ارشد سراسری ۷۹)

- (۱) دومی نصف اولی است. (۲) اولی نصف دومی است.  
(۳) مقدارشان مساوی اما علامتشان متضاد است. (۴) دارای مقداری یکسان هستند.  
پاسخ تست ۷- گزینه ۲ صحیح است. کشش سطحی را بصورت مقدار نیروی موجود در هر سانتی متر مربع از سطح هر مایع تعریف می کنند. بعبارت دیگر مقدار انرژی موجود در هر واحد از سطح مایع بوده و از فرمول  $Y = F/2L$  بدست می آید که  $F$  انرژی سطح بوده و  $L$  نشان دهنده سطح مایع است. بنابراین کشش سطحی برابر نصف انرژی و با سطح مایع هم رابطه عکس دارد.

## مرکز تخصصی خدمات آموزشی گروه پزشکی فرهنگ گستر نخبگان

سرعت انتشار خالص که موجب تعادل مواد بین دو سوی غشاء می شود که تحت تاثیر عوامل گوناگون است که آنها را شرح می دهیم.

نفوذ پذیری غشاء: عبور مواد در غشاء به ازای اختلاف غلظت مواد صورت می گیرد و عوامل مختلفی بر نفوذ پذیری غشاء تاثیر دارند. عوامل موثر بر نفوذ پذیری غشاء در زیر آورده شده است.

۱- ضخامت غشاء: هر چه ضخامت غشاء بیشتر باشد، سرعت انتشار کمتر خواهد بود.

۲- حل پذیری در چربی: حل پذیری در چربی بیشتر باشد، سرعت انتشار افزایش می یابد.

۳- تعداد کانال های پروتئینی: هر چه کانال پروتئینی بیشتر باشد، سرعت انتشار افزایش می یابد.

۴- دما: افزایش دما موجب افزایش انرژی جنبشی مواد می شود و انتشار افزایش می یابد.

۵- وزن مولکولی: وزن مولکولی با انتشار نسبت عکس دارد. وزن مولکولی بیشتر باشد، سرعت انتشار کاهش می یابد.

۶- نفوذ پذیری غشاء = تعداد کانالهای موجود در واحد سطح × دما تقسیم بر مقاومت کانال در واحد طول × طول کانال × جذر وزن مولکولی بدست می آید.

ضریب انتشار: برای تعیین نفوذ پذیری کل غشاء سلولی باید نفوذ پذیری غشاء را در سطح کل غشاء ( $D = P \times A$ ) ضرب کرد. در این رابطه نشان دهنده ضریب انتشار و  $P$  نفوذ پذیری و  $A$  مساحت کل سطح را نشان می دهد.

اختلاف غلظت: انتشار خالص به سوی درون سلول منهای غلظت در درون آن است.

اختلاف پتانسیل الکتریکی: القای پتانسیل الکتریکی به دوی سوی غشاء باعث عبور یونها به علت بار الکتریکی آنها می شود.

اختلاف فشار: اختلاف فشار باعث اعمال نیرو به غشاء می شود در نتیجه از طرف پرفشار به طرف کم فشار انتشار صورت می گیرد. بنابراین عوامل مؤثر در سرعت دیفوزیون خالص، نفوذ پذیری غشاء (رابطه ی مستقیم)، اختلاف غلظت ماده در دو سوی غشاء (مستقیم) ، اختلاف فشار دو سوی غشاء (مستقیم) و

اختلاف پتانسیل الکتریکی بین دو سوی غشاء هستند.

## انتقال مواد از غشای سلولی

عمل انتقال و عبور مولکول ها و مواد مختلف از غشای سلول، مستقیماً از طریق لایه ی دو طبقه چربی و یا از طریق پروتئین ها به وسیله یکی از دو روش پایه یعنی انتشار (دیفوزیون) و انتقال فعال (Active transport) می باشد. انتشار یا دیفوزیون (Diffusion): انتشار که انتقال پاسیو (غیر فعال) (passive transport) نیز نامیده می شود، به صورت انتشار ساده (simple transport) و انتشار تسهیل شده (Facilitated transport) وجود دارد.

	Passive transport				Active transport	
	Diffusion		Cotransport		Transport ATPase	
	PORE	CHANNEL	SYMPORT	ANTIPORT		
Electro-neutral $K_1 z_1 = K_2 z_2$			$\text{Na}^+, \text{K}^+ - 2\text{Cl}^-$ $\text{K}^+ - \text{Cl}^-$ $\text{Na}^+ - \text{Cl}^-$	$\text{Cl}^- - \text{HCO}_3^-$ $\text{Cl}^- - \text{Cl}^-$ $\text{Na}^+ - \text{H}^+$ $\text{K}^+ - \text{H}^+$		$\text{Na}^+ - \text{H}^+$ -ATPase
Rheogen $K_1 z_1 \neq K_2 z_2$	$\text{Na}^+, \text{K}^+, \text{Cl}^-$	$\text{Na}^+, \text{K}^+, \text{Cl}^-$		$3\text{Na}^+ - \text{Ca}^{++}$ $\text{H}^+ - \text{Ca}^{++}$	$\text{H}^+ - \text{ATPase}$ $\text{Ca}^{++} - \text{ATPase}$	$3\text{Na}^+ - 2\text{K}^+$ -ATPase

شکل ۲-۳ انواع انتقال در سلول را نشان می دهد. در انتقال از نوع فعال انرژی مصرف می شود.

انتشار ساده (simple transport): حرکت جنبشی مولکول ها یا یون ها از طریق منفذی در غشا یا کانال های پر شده از آب، در جهت شیب تراکم ماده (یعنی از غلظت بیشتر به سمت غلظت کمتر)، بدون لزوم ترکیب با پروتئین های حامل انجام می گیرد. این مطلب با قانون فیک بیان می شود:

$$F = D \frac{A}{T} (C_1 - C_2) \quad D = \frac{S}{\sqrt{W_m}}$$

در این فرمول F میزان عبور ماده، D ضریب انتشار، A سطح انتشار، T ضخامت غشا،  $(C_1 - C_2)$  اختلاف غلظت در دوسوی غشا، S ضریب حلالیت و  $W_m$  وزن مولکولی ماده مورد نظر می باشد. قابلیت انحلال یک ماده در

چربی، یک تعیین کننده مهم سرعت عبور ماده از لایه دو طبقه چربی است. مثلاً اکسیژن ( $O_2$ )، نیتروژن (N)، دی اکسید کربن ( $CO_2$ ) و الکل ها به راحتی از غشا عبور می کنند. یون ها از غشا عبور نمی کنند و دلیل نفوذپذیری یون ها وجود بار الکتریکی آنهاست که به دو روش از عبور آنها جلوگیری می کند که شامل هیدراته شدن و بزرگ شدن اندازه یون است از طرفی یون های منفی با قسمت مربوط به سطح غشا و یون های مثبت با قسمت مرکزی لیپید غشا دافعه (به علت قطبی بودن لیپیدهای غشا) دارند. مواد محلول در چربی نظیر اکسیژن، نیتروژن، دی اکسید کربن و الکل به راحتی از دو طبقه ی لیپیدی غشا عبور می کنند.

تست ۸- براساس قانون اول فیک ( $Fick$ )، آهنگ عبور یک ماده از غشاء تابع کدام یک از عوامل زیر است؟ (ارشد سراسری ۷۹)

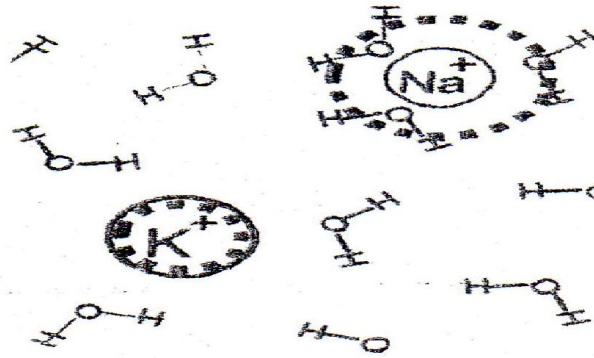
- ۱) رابطه مستقیم با سطح غشا و رابطه معکوس با اختلاف غلظت و ضخامت دارد.
  - ۲) رابطه مستقیم با ضریب نفوذ و اختلاف غلظت و رابطه معکوس با ضخامت غشا دارد.
  - ۳) رابطه مستقیم با اختلاف غلظت ماده و ضریب تراوش و رابطه عکس با ضخامت غشا دارد.
  - ۴) رابطه مستقیم با سطح غشا و اختلاف غلظت و رابطه معکوس با ضریب نفوذ دارد.
- پاسخ تست ۸- گزینه ۲ و ۳ صحیح است. قانون اول فیک از رابطه  $ds/dt = -DA(dc/dx)$  بدست می آید که در آن  $D$ ، ضریب نفوذ،  $A$  مساحت سطح غشاء و  $(dc/dx)$  گرادیان غلظت ایجاد شده ناشی از سطح جدا کننده است.

تست ۹- چرا غشاء می تواند یون های کلر را عبور دهد، ولی یون های سدیم را عبور نمی دهد؟

- ۱) یون سدیم کوچک تر است و نیروی الکتروستاتیکی کمتری به اطراف خود اعمال می کند.
  - ۲) یون سدیم کوچک تر است و نیروی الکتروستاتیکی بیشتری به مولکول های قطبی آب و اطراف خود اعمال می کند.
  - ۳) یون سدیم نمی تواند نیروی الکتروستاتیکی قابل ملاحظه ایجاد کند.
  - ۴) یون سدیم بزرگ تر است و نیروی الکتروستاتیکی بیشتری به اطراف خود اعمال می کند.
- پاسخ تست ۹- گزینه ۴ صحیح است. یون ها در سیستم های آبی بصورت آبپوشی شده مشاهده می شوند. اندازه یک یون را می بایست با مولکول های آبپوشیده آن مشاهده کرد که اصطلاحاً شعاع آبپوشی شده نامیده می شود. یون سدیم و شعاع آبپوشی شده آن بزرگ است و موجب می شود نیروی الکتروستاتیکی بیشتری به اطراف خود وارد کند. از طرفی غشاء در خارج دارای بار های مثبت و در داخل دارای بار های منفی است و

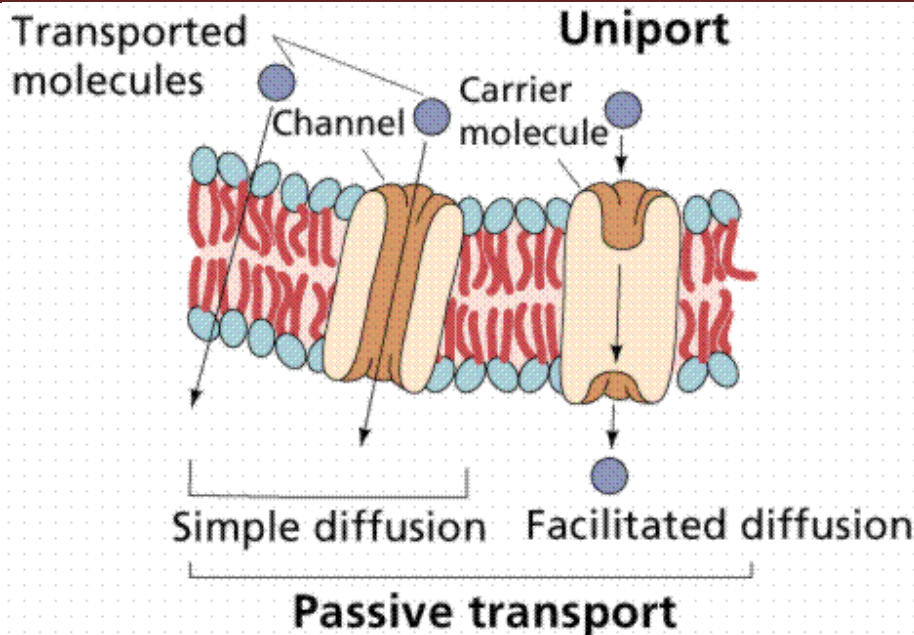


یونهای مثبت در سطح خارجی غشاء دفع می شوند. یونهای آبپوشی شده سدیم و پتاسیم را می توان در شکل زیر مشاهده کرد.



شکل ۴-۲ یون آبپوشی شده یون سدیم از پتاسیم بزرگتر است.

انتشار تسهیل شده (Facilitated diffusion): این نوع انتشار را با واسطه ی ماده حامل نیز می نامند، زیرا در این نوع انتقال، ماده ی مورد نظر از طریق ترکیب شیمیایی با یک پروتئین حامل اختصاصی یا Carrier protein از غشا عبور می کند، یعنی پروتئین حامل، انتقال ماده مورد نظر را تسهیل می بخشد. گلوکز و آمینواسیدها به این روش انتقال می یابند. در مواردی، انتشار تسهیل شده توسط هورمون ها صورت می گیرد. به عنوان مثال انسولین می تواند سرعت انتشار تسهیل شده را ۲۰-۱۰ برابر کند. در هر دو نوع انتشار ساده و تسهیل شده مواد در جهت شیب غلظت یا تراکم خود، یعنی از غلظت بیشتر به سمت غلظت کمتر انتقال می یابند. تفاوت این دو در این است که به تدریج که غلظت ماده افزایش می یابد، سرعت انتشار ساده متناسب با آن افزایش می یابد ولی در انتشار تسهیل شده سرعت به یک حد ماکسیمم می رسد و از آن بیشتر نمی شود. علت این است که پروتئین حامل برای انتقال ماده، دچار تغییر شکل می شود تا در یک طرف با ماده ترکیب و در طرف دیگر آن را آزاد کند و این تغییر شکل، سرعت معینی دارد و بدیهی است سرعتی که مولکول ها می توانند توسط این مکانیسم انتقال یابند از سرعتی که مولکول پروتئینی حامل می تواند تغییر حالت دهد بیشتر نیست و این همان عامل سرعت ماکزیمم در انتشار تسهیل شده است.



شکل ۵-۲ انتشار ساده و تسهیل شده را نشان می دهد.

تست ۱۰- از چه طریقی امکان انتقال نمک یا مولکولی به داخل سلول ممکن است؟ (ارشد سراسری

۸۲)

(۲) فعال - غیرفعال و تسهیل شده

(۱) همیشه ممکن است

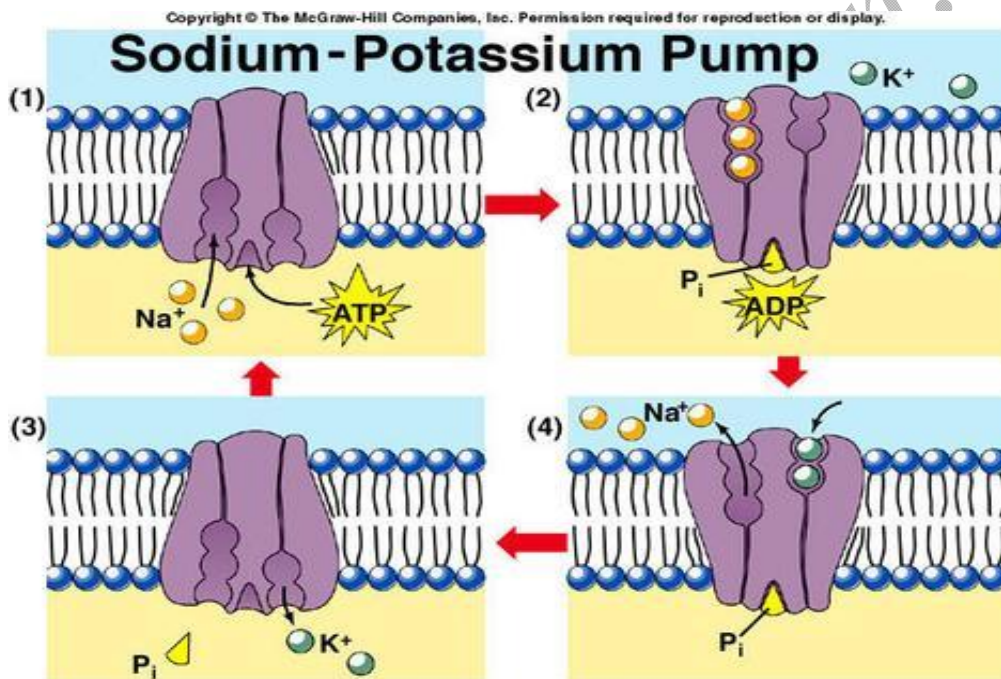
(۴) فقط از طریق انتشار و پمپ ها

(۳) فقط توسط کانال های خاص

پاسخ تست ۱۰- گزینه ۲ صحیح است.

**انتقال فعال (Active transport):** در این نوع انتقال، انتقال مواد در جهت شیب غلظت یا خلاف جهت گرادیان الکتریکی انجام می گیرد. یعنی مواد از مکانی با غلظت کمتر به مکانی با غلظت بیشتر هدایت می شوند. این روند نیاز به انرژی دارد که به وسیله ترکیب پرنرژی آدنوزین تری فسفات (ATP) یا ترکیب فسفات ی پرنرژی در داخل سلول تأمین می شود. انتقال فعال مانند انتشار تسهیل شده به حد اشباع (Saturation) می رسد. یعنی چنانچه غلظت ماده قابل انتقال کم باشد، سرعت انتقال به حداکثر، که  $V_{max}$  نامیده می شود. اشباع در انتقال فعال و انتشار تسهیل شده به دلیل محدود شدن سرعت واکنش های شیمیایی در ارتباط با ترکیب، آزاد شدن مواد و تغییر شکل فضایی پروتئین حامل است. انتقال فعال به وسیله پمپ های پروتئینی در غشای سلول انجام می گیرد که دو نمونه از مهمترین آنها (۱) پمپ سدیم- پتاسیم و (۲) پمپ کلسیم می باشند.

**1- پمپ سدیم- پتاسیم ATP آز ( $\text{Na}^+ - \text{K}^+ \text{ATPase}$ ):** در کلیه ی سلول های بدن پمپ سدیم- پتاسیم وجود دارد که موجب انتقال یون سدیم به خارج سلول و یون پتاسیم به داخل سلول می شود و از پروتئین کوچک و بزرگ یعنی دو زیرواحد یعنی "آلفا" و دو زیرواحد "بتا" تشکیل شده است. عمل پروتئین کوچک " $\beta$ " معلوم نیست ولی پروتئین بزرگ " $\alpha$ " دارای سه صفت اختصاصی است. زیر واحد آلفا سه محل برای  $\text{Na}^+$  در داخل سلول دارد، دو محل برای  $\text{K}^+$  در خارج سلول دارد و بخش داخل این پروتئین که در مجاورت محل های گیرنده  $\text{Na}^+$  قرار دارد دارای خاصیت آنزیمی آدنوزین تری فسفاتازی ( $\text{ATPase}$ ) است، یعنی هیدرولیز ATP به ADP را کاتالیز می کند. پمپ سدیم- پتاسیم مسئول حفظ غلظت سدیم و پتاسیم بین دو سوی غشای سلول و برقراری پتانسیل الکتریکی منفی در داخل سلول هاست.



شکل ۶-۲ عملکرد پمپ سدیم و پتاسیم را نشان می دهد.

**عملکرد پمپ:** هنگامی که سه یون سدیم در داخل پروتئین حامل و دو یون پتاسیم در خارج آن با محل های گیرنده ی مخصوص به خود ترکیب می شوند عمل  $\text{ATPase}$  ی پروتئین فعال می گردد و انرژی حاصل از تجزیه یک ATP موجب بروز تغییر شکل فضایی در مولکول پروتئین حاملی می شود که یون های سدیم را به طرف خارج و یون های پتاسیم را به طرف داخل منتقل می کند. از آنجایی که غشا به یون های سدیم نفوذپذیری بسیار کمتری از یون های پتاسیم دارد، لذا پس از این که یون های سدیم در طرف خارج غشا قرار گرفته اند تمایل دارند همان جا بمانند. در داخل سلول ترکیبات آلی با بار منفی وجود دارند که بار مثبت را به سمت خود

می کشند و فشار اسمزی داخل سلول بالا می رود و به این ترتیب، عمل پمپ دفع خالص مداوم یون ها به خارج سلول است که موجب شروع اسمز آب به خارج از سلول نیز می شود. در نتیجه از مهمترین اعمال این پمپ کنترل حجم سلول هاست. اگر کنترلی وجود نداشته باشد سلول می ترکد، اما پمپ  $\text{Na}^+ - \text{K}^+$  با خروج سدیم از سلول و نفوذ ناپذیر بودن غشا به سدیم از ترکیدن سلول جلوگیری می کند. تورم سلول به طور اتوماتیک باعث فعال شدن پمپ می شود و باز هم یون های بیشتری به خارج از سلول منتقل می شوند و آب بیشتری را با خود به خارج از سلول حمل می کنند. بنابراین پمپ سدیم- پتاسیم یک نقش نظارت کننده ی مداوم در حفظ حجم طبیعی سلول انجام می دهد. پمپ سدیم- پتاسیم یک پمپ الکتروژنیک است، یعنی پمپ، یک پتانسیل الکتریکی بین دو سوی غشا ایجاد می کند. به این ترتیب که در هر دور فعالیت خود یک پتانسیل مثبت در خارج سلول ایجاد می کند اما باعث کمبود یون های مثبت در داخل سلول می شود، یا به عبارت دیگر پتانسیل منفی در داخل سلول به وجود می آورد.

**۲- پمپ کلسیم:** پمپ کلسیم در همه ی سلول ها وجود دارد. غلظت کلسیم در مایع خارج سلولی (ECF) بسیار بیشتر از مایع داخل سلولی (ICF) است، به طوری که غلظت آن در مایع داخل سلولی حدود ده هزار بار کمتر از غلظت کلسیم در مایع خارج سلولی است. این کار توسط دو پمپ کلسیم از نوع انتقال فعال اولیه صورت می گیرد. یکی در غشای سلول که  $\text{Ca}^{2+}$  را به داخل سلول تلمبه می زند و دیگری کلسیم را به داخل اندامک های درون سلول، مثل میتوکندری موجود در کلیه ی سلول ها و شبکه ی آندوپلاسمی سلول های عضلانی تلمبه می زند. در هر دوی این موارد، پروتئین حامل در غشا نفوذ می کند و نیز به عنوان یک آدنوزین تری فسفاتاز عمل می کند که خاصیت تجزیه ATP را دارد. تفاوت پمپ کلسیم با پمپ سدیم- پتاسیم در این صورت است که پروتئین به جای سدیم دارای یک محل گیرنده ی بسیار اختصاصی برای کلسیم است.

**تست ۱۱- در مبحث انتقال یون از غشا و ایجاد پتانسیل غشا با استفاده از معادله نرنست- پلانک**

**چه پدیده هایی مورد توجه قرار می گیرند؟ (ارشد سراسری ۸۳)**

- ۱) اختلاف غلظت ( مطرح در قانون فیک )، ویژگی یون های موجود در سیستم از نظر بار و اندازه
- ۲) اختلاف غلظت ( مطرح در قانون فیک )، تحرک مولکولی ( معادله اینشتین ) و تأثیر میدان الکتریکی
- ۳) پتانسیل شیمیایی و تأثیر ضریب دی الکتریک و ضخامت غشا جداکننده دو محیط
- ۴) میدان الکتریکی و تأثیر آن بر انتقال یون ها با توجه به میزان بار و اندازه آنها

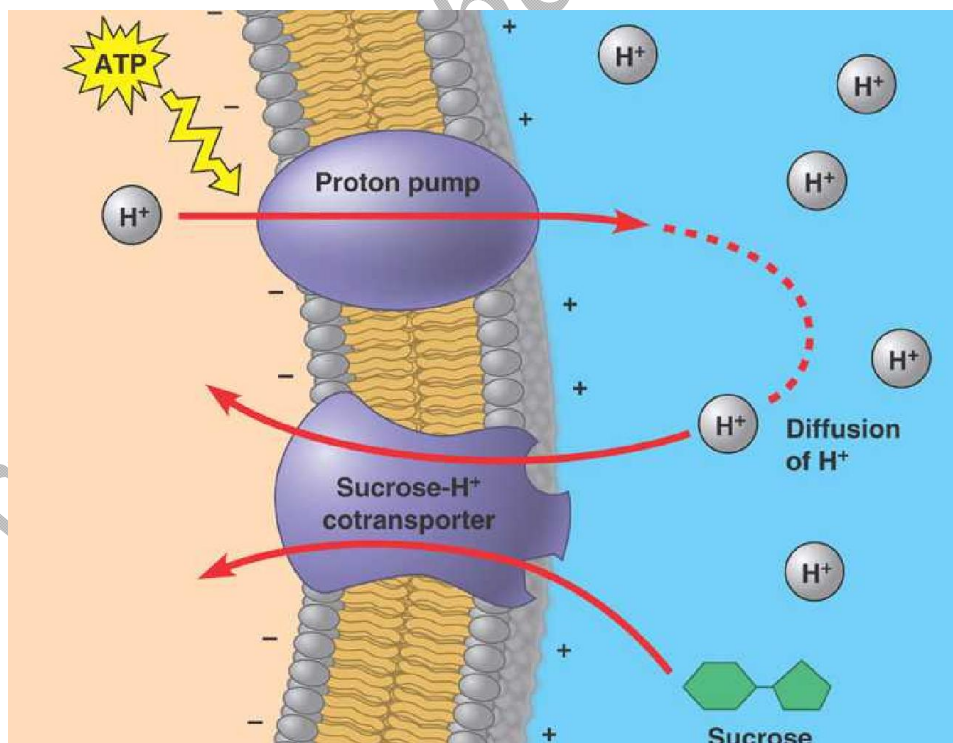
**پاسخ تست ۱۱- گزینه ۲ صحیح است.**

تست ۱۲- کدام حرکت در زمره ی حرکات مولکول های لیپیدی در غشاهای بیولوژیک نمی باشد؟ (ارشد سراسری ۸۳)

- (۱) حرکت فلیپ فلاپ  
(۲) حرکت چرخشی به دور محور طولی  
(۳) حرکت جانبی در سطح غشا  
(۴) چرخش سر قطبی مولکولی نسبت به زنجیره اسیدچرب
- پاسخ تست ۱۲- گزینه ۱ صحیح است.

**انتقال فعال اولیه و انتقال فعال ثانویه:** انتقال فعال بر اساس این که از چه منبع انرژی جهت انتقال مواد استفاده می کند و به دو فرم وجود دارد. در انتقال فعال اولیه، انرژی مستقیماً از تجزیه ATP یا ترکیب فسفاتی پر انرژی دیگری تأمین می گردد.

**انتقال فعال اولیه هیدروژن:** در دو محل از بدن سیستم های انتقال فعال اولیه مهم برای یون های هیدروژن وجود دارد. غدد گاستریک معده و در کلیه ها در بخش قشری این عمل رخ می دهد. در حالی که برای انتقال فعال ثانویه، انرژی مورد نیاز جهت انتقال مواد از گرادیانهای غلظت یونی که به وسیله ی انتقال فعال اولیه ایجاد شده، تأمین می گردد.

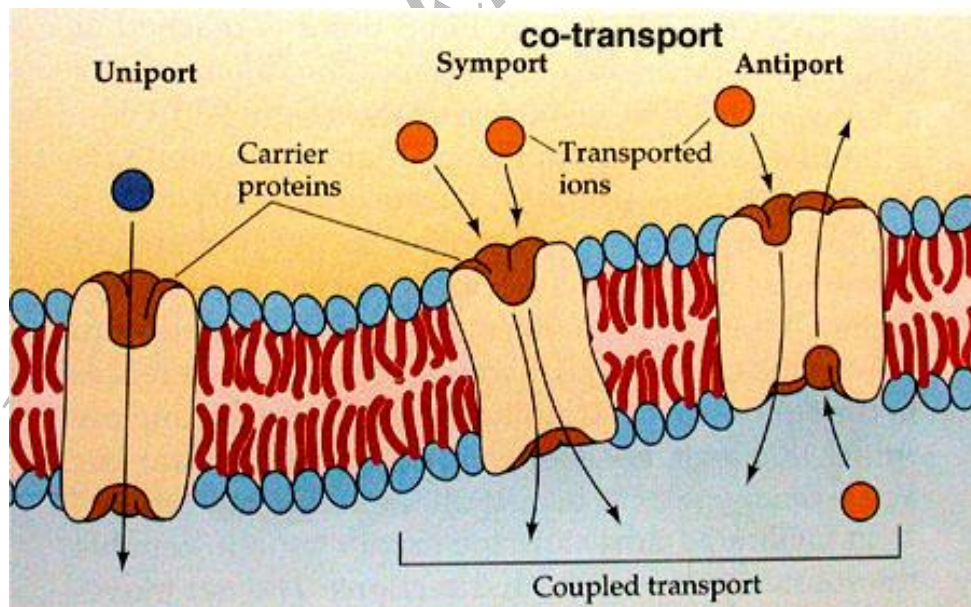


شکل ۷-۲ انتقال فعال اولیه هیدروژن را نشان می دهد.

**هم انتقالی Co-transport:** پمپ سدیم- پتاسیم، از طریق انتقال فعال اولیه عمل می کند. در نتیجه عملکرد این پمپ، یون های سدیم به خارج سلول منتقل شده، غلظت سدیم در خارج از سلول زیاد و در داخل کم می شود و این حالت باعث گرادیان غلظت بزرگی برای یون سدیم است که خود این گرادیان مانند یک منبع ذخیره انرژی است، بدین معنا که یون های سدیم در خارج غشای سلول تمایل دارند که به داخل سلول انتشار یابند و همین انرژی انتشاری سدیم می تواند سایر مواد را همراه با سدیم از غشا عبور دهد که به این نحوه انتقال، انتقال فعال ثانویه یا هم انتقالی Co-transport گفته می شود. هم انتقالی سدیم- گلوکز و یا سدیم- آمینواسید نیز در بسیاری از سلول ها از این شیوه تبعیت می کند.

در این هم انتقالی ها، پروتئین حامل خاصی در غشای سلول نقش دارد که در هم انتقالی **گلوکز با سدیم**، حامل پروتئینی دارای دو جایگاه اتصال برای یون سدیم و گلوکز است که با اشغال شدن این دو جایگاه توسط سدیم و گلوکز، یک تغییر شکل فضایی در حامل پروتئینی به وجود می آید و یون های سدیم همراه با گلوکز به داخل سلول منتقل می گردند. همین حالت برای هم انتقالی آمینواسید و سدیم نیز وجود دارد.

**انتقال در دو جهت مخالف (Counter transport=Antiport):** مانند انتقال سدیم و کلسیم در دو جهت مخالف در تمام غشاهای سلولی که در آن یون های سدیم به طرف داخل و یون های کلسیم به طرف خارج سلول حرکت می کنند و هر دو به یک پروتئین انتقالی واحد متصل شده اند. از دیگر انتقالات آنتی پورت می توان به انتقال  $\text{Cl}^-$  و  $\text{HCO}_3^-$  در غشای RBC و نیز در کلیه، آنتی پورت  $\text{Na}^+$  و  $\text{NH}_3$  داریم.



شکل ۸-۲ انواع انتقال را نشان می دهد.

**انتشار فالص آب:** فراوان ترین ماده ای که بین دو سوی غشای سلول انتشار می یابد، آب است. حرکت خالص آب بر اثر یک اختلاف غلظت برای آب، از طریق یک غشای نیمه تراوا را اسمز می نامند. فشار اسمزی: مقدار فشار لازم برای متوقف کردن اسمز به طور کامل را فشار اسمزی گویند.

فشار اسمزی یک محلول به وسیله تعداد ذرات در واحد حجم تعیین می شود و به جرم ذرات بستگی ندارد. دلیل این موضوع آن است که هر ذره صرف نظر از جرمش، به طور متوسط فشار یکسانی را به غشا وارد می کند. در واقع ذرات بزرگ که جرم (m) بیشتری از ذرات کوچکتر دارند با سرعت (v) کمتری حرکت می کنند.

**تست ۱۳- عوامل مؤثر در بروز پدیده ی Flip Flop در غشاهای سلولی کدامند؟ (ارشد سراسری ۸۴)**

- ۱) فعالیت کانال های یونی موجود در غشای سلولی
  - ۲) تقسیم سلولی و تأثیر شبکه میکروتوبولی سلول بر روی لیپیدهای غشا
  - ۳) سنتز لیپیدهای جدید توسط سلول و ورود آنها به غشا
  - ۴) فعالیت آنزیم های خاص و تغییرات مقطعی و آنی فازهای لیپیدی لیپیدهای غشا
- پاسخ تست ۱۳- گزینه ۴ صحیح است.

**تست ۱۴- علت شکل گیری ساختمان های لیپیدی نظیر دو لایه های لیپیدی، میسل ها، لیپوزوم ها و غیره در محیط های آبی چیست؟ (ارشد سراسری ۸۴)**

- ۱) عدم تجانس و امکان ایجاد پیوند بین مولکول های لیپیدی با مولکول های آب موجود در محیط
  - ۲) برقراردن پیوندهای آبگریز (هیدروفوبیک) بین بخش های آبگریز لیپیدها
  - ۳) به وجود آمدن پیوندهای هیدروژنی قوی بین مولکول های آبگریز و مولکول های آب در منطقه تماس
  - ۴) قوی بودن پیوندهای هیدروژنی موجود بین مولکول های آب که باعث ایجاد ساختمان های چهاروجهی مستحکم از مولکول های آب می گردد
- پاسخ تست ۱۴- گزینه ۲ صحیح است.

**تست ۱۵- در فرایندهای انتقال مولکول های باردار از طریق غشای سلول های بیولوژیک کدام گزینه صحیح می باشد؟ (ارشد سراسری ۸۵)**

- ۱) انتقال هم جهت (سیمپورت) یون های پروتون همیشه بدون صرف انرژی صورت می گیرد.

۲) انتقال مولکول ها در مسیر شیب غلظت که به صورت انتشار ساده صورت می گیرد همواره باعث از بین رفتن تعادل الکتروشیمیایی می گردد.

۳) انتقال غیرهم جهت ( آنتی پورت ) مقادیر مساوی یون های سدیم و پروتون باعث تغییر پتانسیل الکتریکی غشا می گردد.

۴) انتقال غیرهم جهت ( آنتی پورت ) سه یون سدیم در مقابل دو یون پتاسیم یک پدیده ی الکتروژنیک است که باعث ایجاد پتانسیل الکتریکی می شود.

پاسخ تست ۱۵- گزینه ۴ صحیح است. با خروج سه یون سدیم به بیرون و دو یون پتاسیم به داخل غشاء به حالت آرامش می رسد.

**نکته مهم:** داوطلبین محترم توجه فرمایید که با تهیه این جزوات دیگر نیاز به خرید هیچ گونه کتاب مرجع دیگری نخواهید داشت برای اطلاع از نحوه دریافت جزوات کامل با شماره های زیر تماس حاصل فرمایید.

۰۲۱ - ۶۶۹۰۲۰۶۱

۰۱۳۱ - ۳۲۳۸۰۰۲

۰۱۴۱ - ۳۲۳۲۵۴۳