



پایان نامه کارشناسی ارشد رشته فیزیک گرایش اتمی و مولکولی

عنوان پایان نامه

بررسی اثر میدان بسامد رادیویی بر روی دینامیک

کانال پتاسیم به روش محاسباتی

استادان راهنما

دکتر علی مهدی فر

دکتر امیر لهراسبی

استاد مشاور

دکتر کریم مهنام

پژوهشگر

مریم سجادی

اسفند ماه ۱۳۹۰

حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات  
و نوآوری ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه  
متعلق به دانشگاه شهر کرد است.

## پاس بیکران خدای بی

### همتانی را که

پیش از آن که بخوانمش پاسخ داده و پیش از آن چه لیاقتم بوده بر من عطا نموده است.

خسودم که فرصتی هر چند کوچک یافته‌ام تا از همه عزیزانی قدردانی کنم که در این راه همراه و پشتیبانم بوده‌اند.

از استاد بزرگوارم دکتر امیر لهراسبی که در طول این دوران صبورانه مرا راهنمایی و حمایت کردند صمیمانه پاس گذارم .

امیدوارم که به مدد عنایت حضرت حق و با تلاش، شایسته‌ی جبران کوشه‌ای از زحمات ایشان باشم.

از دکتر علی مهدی فرو و دکتر کریم مهنام که در تمام مراحل انجام این پروژه زحمات بسیاری کشیدند تشکر و قدردانی می‌نمایم.

بجانب از دکتر اخوان، دکتر جمالی، دکتر واعظ و دکتر سلگوبی که در راستای این پایان نامه مرایاری دادند نهایت پاس را

دارم.

و با پاس بی پایان

از پدر و مادر عزیزم که همواره حضورشان آرامش زندگی‌م و وجودشان امید زیستنم، است.

تقدیم بہ

ہمہ کساننی کہ باعشق می آموزند

و چراغ وجودشان روشنگر راہ علم است

## چکیده

در این پایان نامه با استفاده از روش دینامیک مولکولی و نرم افزار گرومکس، کانال یونی پتاسیم KcsA را در معرض میدان الکتریک ثابت و سپس میدان الکتریکی متناوب در محدوده گیگا هرتز، قرار دادیم. چون عملکرد این کانال در عبور دادن یون‌ها از آن، وابسته به پتانسیل طبیعی غشایی است، بنابراین میدان‌های اعمال میدان‌های متفاوت از میدان طبیعی دو سر غشا باعث باعث تغییر این عملکرد می شود. در حالت اعمال میدان الکتریکی یکنواخت، برای مقادیر مختلف میدان مشاهده کردیم که شارش یون های پتاسیم از کانال یونی فقط در پتانسیل ثابت و طبیعی خود انجام می شود. در میدان الکتریکی متناوب به دلیل این که دائما جهت میدان تغییر می کند هیچ حرکت جهت داری در یون‌های پتاسیم مشاهده نمی شود. بررسی‌های بیشتر، تغییر اندکی در ساختار کانال را بعد از اعمال میدان متناوب نشان می دهد.

**کلمه‌های کلیدی:** کانال یونی پتاسیم، روش دینامیک مولکولی، نرم افزار گرومکس، شارش یون‌ها.

## فهرست مطالب

شماره صفحه	عنوان
۶	فصل اول - مقدمه
۸	فصل دوم - معرفی نانوساختارهای زیستی
۸	۱-۲ کلیات
۹	۲-۲ سلول
۱۲	۳-۲ ترکیب شیمیایی سلول
۱۲	۱-۳-۲ آب
۱۲	۲-۳-۲ لیپیدها
۱۲	۳-۳-۲ پروتئین‌ها
۱۶	۴-۲ ساختارهای پروتئین
۲۰	۵-۲ پیوندها در ساختارهای پروتئینی
۲۱	۶-۲ موتورهای مولکولی
۲۴	فصل سوم - نحوه انتقال مواد از غشا
۲۴	۱-۳ غشا
۲۵	۲-۳ ساختار غشا
۲۷	۳-۳ انتقال دهنده‌های غشا سلولی
۳۱	۴-۳ عوامل موثر در انتقالات غیر فعال
۳۱	۱-۴-۳ نفوذپذیری غشا
۳۱	۲-۴-۳ اختلاف غلظت ماده انتشار یابنده در دو سمت غشا
۳۲	۳-۴-۳ اختلاف فشار در دو طرف غشا
۳۲	۴-۴-۳ اختلاف پتانسیل الکتریکی بین دو سمت غشا
۳۴	۵-۳ انرژی آزاد ذخیره شده در شیب‌های غلظتی
۳۴	۶-۳ سلول‌های عصبی
۳۶	۷-۳ تغییر پتانسیل سلول‌های عصبی
۳۹	۸-۳ کانال پتاسیم KcsA
۴۱	۱-۸-۳ نحوه عبور یون از کانال پتاسیم KcsA
	فصل چهارم - آشنایی با روش دینامیک مولکولی کلاسیک و نحوه اعمال میدان الکتریکی بر
۴۸	بافت
۴۸	۱-۴ روش شبیه‌سازی دینامیک مولکولی
۵۰	۱-۱-۴ شرایط اولیه
۵۶	۲-۱-۴ محاسبه پارامترها
۵۸	۳-۱-۴ به روز رسانی برخی از پارامترها
۶۰	۴-۱-۴ نوشتن داده‌های مورد نظر در فایل خروجی

۶۰	۲-۴ نرم افزار گرومکس
۶۰	۱-۲-۴ نصب گرومکس
۶۱	۲-۲-۴ مراحل اجرای برنامه در گرومکس
۷۰	۳-۴ میدان الکتریکی متناوب
۷۱	۱-۳-۴ میدان های بسامد رادیویی
۷۱	۲-۳-۴ اثرات میدان بسامد رادیویی
۷۲	۳-۳-۴ محاسبات نظری اثر میدان بسامد رادیویی

### فصل پنجم-نتایج

۸۳	
۸۴	۱-۵ سه یون پتاسیم در میدان ثابت
۸۹	۲-۵ چهار یون پتاسیم در میدان ثابت
۹۵	۳-۵ سه یون پتاسیم در میدان متناوب
۹۷	۴-۵ چهار یون پتاسیم در میدان متناوب
۱۰۰	۵-۵ نتیجه گیری
۱۰۱	۶-۵ پیشنهادها
۱۰۲	مرجع ها

## فهرست شکل‌ها و نمودارها

شماره صفحه	عنوان
۹	شکل ۱-۲ نمایی از سلول گیاهی و جانوری
۱۰	شکل ۲-۲ نمایی از غشا پلاسمایی
۱۰	شکل ۳-۲ نمایی از دستگاه آندوپلاسمی در سلول
۱۱	شکل ۴-۲ نمایی از اندامک میتوکندری سلول
۱۱	شکل ۵-۲ نمایی از هسته سلول‌های یوکاریوت
۱۳	شکل ۶-۲ نمایش ساختار پایه همه اسیدهای آمینه
۱۴	شکل ۷-۲ نمایش تفاوت ساختاری اسیدهای آمینه
۱۴	شکل ۸-۲ نمایش ساختار اسیدهای آمینه‌ای که در ساخت پروتئین شرکت می‌کنند
۱۵	شکل ۹-۲ نمایش پیوند پپتیدی گروه آمین و گروه کربوکسیل دو اسید آمینه
۱۶	شکل ۱۰-۲ نمایی از ساختار اول پروتئین
۱۷	شکل ۱۱-۲ نمایی از ساختار مارپیچ $\alpha$ هلیکس پروتئین
۱۸	شکل ۱۲-۲ نمایی از ساختار صفحه $\beta$ در پروتئین
۱۸	شکل ۱۳-۲ نمایش دو حالت مختلف پیوند هیدروژنی در صفحه $\beta$
۱۹	شکل ۱۴-۲ نمایی از ساختار سوم پروتئین
۲۰	شکل ۱۵-۲ نمایی از ساختار چهارم پروتئین
۲۱	شکل ۱۶-۲ نمایش ساختار موتور مولکولی ATP synthase و نحوه قرارگیری آن در غشا
۲۳	شکل ۱۷-۲ نمایی از موتورهای گام زن خطی کینزین، میوزین و داینین
۲۵	شکل ۱-۳ نمایش‌های مختلفی از یک مولکول اسید چرب
۲۶	شکل ۲-۳ نمایی از حالت‌های مختلف یک مولکول دوگانه دوست در آب
۲۶	شکل ۳-۳ نمایی از ساختار غشای سلول و پروتئین‌های انتقال‌دهنده در آن
۲۷	شکل ۴-۳ نمایی از نحوه عبور یک مولکول از کانال پروتئینی
۲۹	شکل ۵-۳ نمایی از یک پروتئین حامل
۲۹	شکل ۶-۳ نمودار انتشار ساده و تسهیل شده بر اساس غلظت
۳۰	شکل ۷-۳ نمایی از عبور مستقیم مولکول‌های آب از غشا
۳۱	شکل ۸-۳ نمایی از اختلاف غلظت یون‌ها در داخل و خارج سلول
۳۳	شکل ۹-۳ نمایی از نحوه عبور ذرات از غشا در اثر اختلاف غلظت و اختلاف پتانسیل
۳۴	شکل ۱۰-۳ نمایی از یک پمپ سدیم-پتاسیم
۳۵	شکل ۱۱-۳ نمایی از یک سلول عصبی
۳۵	شکل ۱۲-۳ نمایش نحوه عبور پیام‌های عصبی از سلول عصبی
۳۶	شکل ۱۳-۳ نحوه تغییرات کانال یونی سدیم در پتانسیل‌های مختلف
۳۷	شکل ۱۴-۳ نحوه تغییرات کانال یونی پتاسیم در پتانسیل‌های مختلف
۳۷	شکل ۱۵-۳ نمودار پتانسیل کانال یونی سدیم و پتاسیم و پتانسیل عمل غشا در طول زمان
۳۸	شکل ۱۶-۳ نمایی از نحوه عبور پیام‌های عصبی در طول آکسون
۳۹	شکل ۱۷-۳ نمایی از قسمت‌های مختلف کانال یونی KcsA
۴۰	شکل ۱۸-۳ نمودار شعاع کانال یونی KcsA در حالت باز و بسته بودن دریچه



- شکل ۳-۱۹ نمایی از کانال یونی KcsA و فیلتر ۴۱
- شکل ۳-۲۰ نمودار انرژی برهم‌کنش یون پتاسیم و سدیم با آب در طول کانال پتاسیم ۴۲
- شکل ۳-۲۱ نمایی از حرکت دو یون پتاسیم و یک مولکول آب در فیلتر کانال ۴۳
- شکل ۳-۲۲ نمودار مسیر حرکت یون‌های سدیم و پتاسیم در فیلتر کانال ۴۳
- شکل ۳-۲۳ نمایی از نحوه عبور یون سدیم و پتاسیم در فیلتر کانال در طول شبیه‌سازی ۴۴
- شکل ۳-۲۴ نمایش موقعیت‌های مختلف یون پتاسیم در فیلتر کانال ۴۵
- شکل ۳-۲۵ نمودار RMSD فیلتر ۴۵
- شکل ۳-۲۶ نمایی از قطبش ساختار هلیکس کانال ۴۶
- شکل ۳-۲۷ نمایی از قطبش مولکول‌های آب در کاواک ۴۶
- شکل ۳-۲۸ نمایی از حرکت یون پتاسیم در کاواک ۴۷
- شکل ۴-۱ نمایی از مراحل کلی شبیه‌سازی دینامیک مولکولی ۴۹
- شکل ۴-۲ شرط مرزی دوره‌ای در دو بعد ۵۱
- شکل ۴-۳ نمایی از شعاع قطع و پهنای ورله در دو بعد ۵۲
- شکل ۴-۴ نمودار پتانسیل لناردجونز ۵۴
- شکل ۴-۵ نمودار پتانسیل باکینگهام ۵۴
- شکل ۴-۶ نمایی از مراحل کلی شبیه‌سازی دینامیک مولکولی با استفاده از نرم‌افزار گرومکس ۶۱
- شکل ۴-۷ نمایی از فایل pdb پروتئین ۶۲
- شکل ۴-۸ نمایش دو نمونه از جعبه‌های شبیه‌سازی در گرومکس ۶۵
- شکل ۴-۹ نمایی از فایل توپولوژی بعد از اضافه کردن یون کلر ۶۷
- شکل ۴-۱۰ نمایی از فایل اجرایی mdp ۶۷
- شکل ۴-۱۱ نمایی از موج الکترومغناطیس ۷۰
- شکل ۴-۱۲ نمایی از قسمت‌های مختلف یک موج الکترومغناطیس بر حسب بسامد ۷۱
- شکل ۴-۱۳ نمایش مدل کروی سلول ۷۲
- شکل ۴-۱۴ نمایی از مقایسه طول موج امواج تابیده شده و جسم مورد نظر ۷۳
- شکل ۴-۱۵ نمایش مدل تک لایه و دو لایه سلول ۷۴
- شکل ۴-۱۶ نمودار توزیع میدان الکتریکی برای مدل تک لایه ۷۹
- شکل ۴-۱۷ نمودار توزیع میدان الکتریکی برای مدل تک لایه ۸۰
- شکل ۴-۱۸ نمودار توزیع میدان الکتریکی برغشای سلولی در مدل دو لایه ۸۰
- شکل ۴-۱۹ نمایی از مدل سلولی سه لایه که در معرض میدان الکتریکی متناوب قرار گرفته است ۸۱
- شکل ۵-۱ نمایش از کانال یونی پتاسیم KcsA در غشای دو لایه ۸۳
- شکل ۵-۲ نمایی از کانال یونی KcsA با ۳ یون پتاسیم ۸۵
- شکل ۵-۳ نمودارهای حرکت یون  $K_1$  در میدان‌های الکتریکی  $100\text{ mv}$ ،  $0\text{ mv}$ ،  $-100\text{ mv}$  ۸۶
- شکل ۵-۴ رهایی از حرکت یون‌های پتاسیم  $K_1$  و  $K_2$  در فیلتر در میدان الکتریکی  $100\text{ mv}$  ۸۶
- شکل ۵-۵ نمودارهای حرکت یون  $K_2$  در میدان‌های الکتریکی  $100\text{ mv}$ ،  $0\text{ mv}$ ،  $-100\text{ mv}$  ۸۷
- شکل ۵-۶ نمایی از RMSD اتم‌های فیلتر در میدان‌های الکتریکی  $100\text{ mv}$ ،  $0\text{ mv}$ ،  $-100\text{ mv}$  ۸۸
- شکل ۵-۷ نمایی از RMSD کانال یونی در میدان‌های الکتریکی  $100\text{ mv}$ ،  $0\text{ mv}$ ،  $-100\text{ mv}$  ۸۹
- شکل ۵-۸ نمایی از کانال یونی KcsA با ۴ یون پتاسیم ۸۹

- شکل ۹-۵ نمودارهای حرکت یون  $K_1$  در میدان‌های الکتریکی  $100\text{ mv}$ ،  $0\text{ mv}$ ،  $-100\text{ mv}$  - ۹۰
- شکل ۱۰-۵ نمودارهای حرکت یون  $K_2$  در میدان‌های الکتریکی  $100\text{ mv}$ ،  $0\text{ mv}$ ،  $-100\text{ mv}$  - ۹۱
- شکل ۱۱-۵ نمودارهای حرکت یون  $K_2$  در میدان‌های الکتریکی  $100\text{ mv}$ ،  $0\text{ mv}$ ،  $-100\text{ mv}$  - ۹۲
- شکل ۱۲-۵ نمایی از حرکت یون‌های پتاسیم  $K_1$  و  $K_2$  در فیلتر در میدان الکتریکی  $100\text{ mv}$  - ۹۳
- شکل ۱۳-۵ نمایی از RMSD اتم‌های فیلتر در میدان‌های الکتریکی  $100\text{ mv}$ ،  $0\text{ mv}$ ،  $-100\text{ mv}$  - ۹۴
- شکل ۱۴-۵ نمایی از RMSD کانال یونی در میدان‌های الکتریکی  $100\text{ mv}$ ،  $0\text{ mv}$ ،  $-100\text{ mv}$  - ۹۵
- شکل ۱۵-۵ رفتار یون‌های  $K_1$  و  $K_2$  را در میدان متناوب با بسامد  $1\text{ GHz}$  و  $10\text{ GHz}$  - ۹۵
- شکل ۱۶-۵ نمودارهای RMSD فیلتر و سیستم - ۹۶
- شکل ۱۷-۵ نمایی از رفتار یون‌های  $K_1$ ،  $K_2$  و  $K_3$  را در میدان متناوب با بسامد  $1\text{ GHz}$  - ۹۷
- شکل ۱۸-۵ نمودارهای RMSD فیلتر و سیستم در میدان متناوب  $1\text{ GHz}$  - ۹۸
- شکل ۱۹-۵ رفتار یون‌های  $K_1$ ،  $K_2$  و  $K_3$  را در میدان متناوب با بسامد  $10\text{ GHz}$  - ۹۹
- شکل ۲۰-۵ نمودارهای RMSD فیلتر و سیستم در میدان متناوب  $10\text{ GHz}$  - ۹۹

## فصل اول

### مقدمه

یکی از هدف‌های بزرگ بشر از دیرباز درمان بیماری‌های مختلف و کشف داروهای موثر برای آن بوده است. از این‌رو آزمایش‌های زیادی در آزمایشگاه‌ها، برای بررسی و مطالعه ساختارهای زیستی انجام شده است. اما مشاهده‌های آزمایشگاهی در همه ابعاد امکان پذیر نبود. بنابراین بشر به ابزار دیگری برای تکمیل علوم و تحقیقات خود نیاز داشت. در این زمان بود که شبیه‌سازی رایانه‌ای پایه‌گذاری شد. این ابزار قوی، قادر است که در کنار روش‌های تجربی و نظری، به بررسی ساختار و رفتار مواد بپردازد و از این جهت که می‌تواند هزینه‌های مختلف را کاهش دهد و هم چنین به دلیل کنترل پذیر بودن، می‌تواند به عنوان روش تحقیقاتی سودمند در کنار روش‌های آزمایشگاهی مورد استفاده قرار گیرد.

یکی از مهم‌ترین دستگاه‌های زیستی که از زمان‌های بسیار دور مورد توجه بشر قرار گرفته، سلول است. سلول یک دستگاه هوشمند است که از اجزای مختلفی تشکیل شده است. یکی از مهم‌ترین اجزای سلولی که نقش بسیار مهمی در ادامه حیات موجودات زنده دارد، غشا است. غشا در واقع مرز سلول است که عبور و خروج مواد را به سلول کنترل می‌کند. غشا سلولی دارای روزه‌های مختلفی است که از طریق آن مواد مورد نیاز سلولی را وارد می‌کند. دسته‌ای از این روزه‌ها کانال‌های یونی<sup>1</sup> هستند.

---

<sup>1</sup> Ion channels

این کانال‌ها فقط یون‌ها را از خود عبور می‌دهند. یکی از کانال‌هایی که تنها یون پتاسیم را عبور می‌دهد، کانال یونی KcsA است. تاکنون مطالعات زیادی بر روی این کانال‌ها انجام شده است که به بررسی نحوه عملکرد این کانال‌ها پرداخته است و مشخص شده که کارکرد این کانال‌ها، به تغییرات پتانسیلی غشایی که بر آن اعمال می‌شود وابسته است. بنابراین اعمال میدان‌های الکترومغناطیس و یا الکتریکی خارجی می‌تواند بر نحوه کارایی آن‌ها موثر باشد.

امروزه استفاده از میدان‌های الکترومغناطیس در زندگی روزمره بشر، رواج یافته است، به همین دلیل مطالعه اثر میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی، بر عملکرد دستگاه‌های زیستی یونی بسیار مهم است. آشنایی با چگونگی اثرگذاری این میدان‌ها به ما کمک می‌دهد تا از خطرهای احتمالی آن‌ها جلوگیری کنیم و یا حتی بتوانیم از آن‌ها به عنوان ابزاری جهت درمان استفاده نماییم. در این پایان‌نامه، به مطالعه ساختار و رفتار کانال یونی KcsA در حضور میدان‌های الکتریکی ثابت و متناوب پرداخته شده است.

**فصل دوم** این پایان‌نامه به معرفی سلول و اجزای آن پرداخته است. در ادامه یکی از مهم‌ترین مولکول‌های سازنده سلول، یعنی پروتئین را معرفی کرده و برای بررسی بهتر بر اتم‌های سازنده آن متمرکز می‌شویم. در این فصل به طور نسبی، یک دستگاه زیستی را در ابعاد اتمی تشریح می‌کنیم.

**فصل سوم**، در ابتدا با غشای سلولی و روش‌های مختلف انتقال مواد از آن آشنا خواهیم شد. هدف ما بررسی ساختار کانال یونی KcsA است. این کانال در بیشتر سلول‌های بدن وجود دارد ولی ما فقط بر سلول‌های عصبی متمرکز می‌شویم و نحوه عملکرد و وظایفی که در این سلول دارد را بررسی می‌کنیم.

**فصل چهارم**، در این فصل روش شبیه‌سازی دینامیک مولکولی را معرفی می‌کنیم و سپس با نرم‌افزار گرومکس<sup>۲</sup> که اغلب برای شبیه‌سازی‌های دستگاه‌های زیستی به کار می‌رود، آشنا می‌شویم. بعد از معرفی میدان الکترومغناطیس، به صورت اجمالی به مطالعه نحوه برهم‌کنش میدان‌هایی در محدوده امواج رادیویی با بافت زنده، خواهیم پرداخت.

**فصل پنجم**، این فصل به بررسی نتایج شبیه‌سازی اختصاص دارد. در شبیه‌سازی‌ها با اعمال میدان الکتریکی ثابت و سپس متناوب سعی بر آن داریم که اثر این میدان را بر شارش یون‌ها و ساختار کانال نشان دهیم.

---

<sup>2</sup> Gromacs

## فصل دوم

### معرفی نانو ساختارهای زیستی

#### ۱-۲ کلیات

دانشمندان دوران باستان از جمله ارسطو<sup>۳</sup> به این نتیجه رسیدند که جانوران و گیاهان با همه پیچیدگی که در ساختارشان وجود دارد از تعدادی اجزای محدود تشکیل شده اند که دائماً تکرار می شوند. روبرت هوک<sup>۴</sup>، فیزیک‌دان انگلیسی، با بررسی برش های چوب پنبه، ساختمان سلولی را کشف کرد. هوک با مشاهده ی حفره‌های کنار هم این بافت، آن را سلول<sup>۵</sup> به معنای اتاق کوچک نامید. تا مدتی طولانی تصور می شد که سلول‌ها، حفره‌های خالی، حفر شده در یک ماده هستند. بالاخره دوتروش<sup>۶</sup> گیاه‌شناس فرانسوی متوجه شد که سلول‌ها واحدهای سازنده موجودات زنده اند که در اثر چسبندگی در کنار هم قرار می گیرند. این نظریه گسترش پیدا کرد و به نظریه سلولی<sup>۷</sup> معروف شد. بر اساس آن، همه‌ی موجودات زنده از واحدهای ساختمانی به نام سلول ساخته شده‌اند. شناختی که امروزه از ساختمان و طرز کار سلول و اجزای مختلف آن داریم حاصل مطالعات پژوهشگران زیادی است [۲].

---

<sup>3</sup> Aristotle

<sup>4</sup> Robert Hook

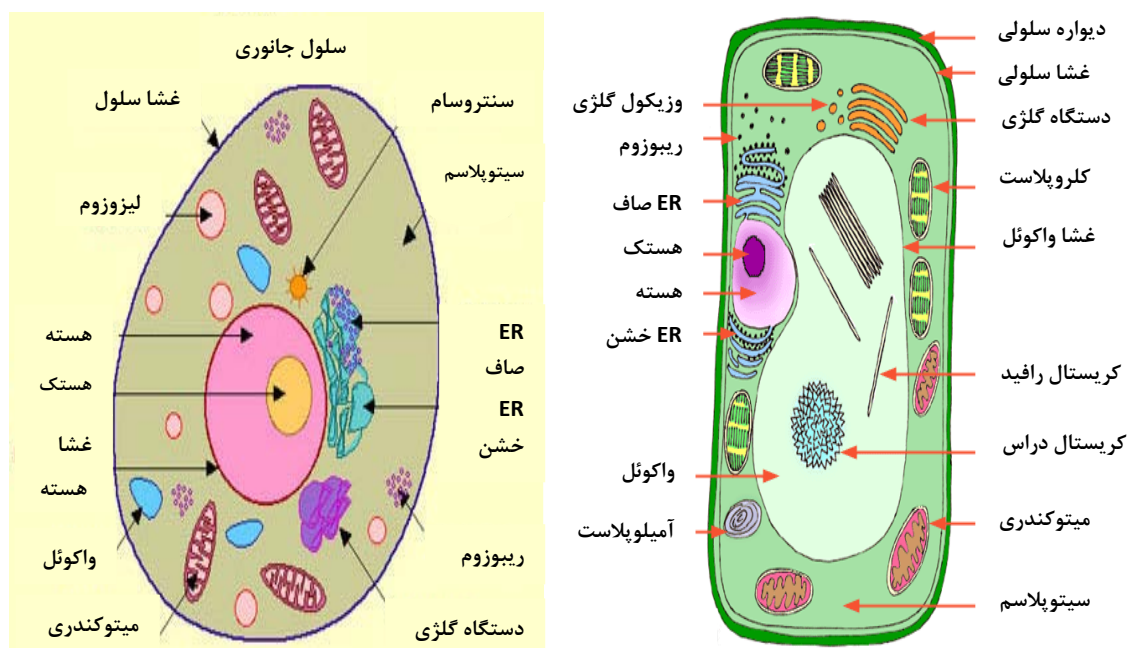
<sup>5</sup> Cellula

<sup>6</sup> Dutroschet

<sup>7</sup> Cell Theory

## ۲-۲ سلول

همان طور که مولکول‌ها از اتم‌ها تشکیل شده‌اند، موجودات زنده نیز از واحدهایی به نام سلول به وجود آمده‌اند. سلول را می‌توان به عنوان جاننداری در نظر گرفت که خود از اجزای کوچک‌تری تشکیل شده است. شکل سلول‌ها بسیار متنوع است. هر سلول با توجه به مکان قرارگیری و نوع فعالیتی که دارد شکل خاصی پیدا می‌کند. بعضی از سلول‌ها شکل مشخصی دارند (مثل سلول‌های عصبی) ولی برخی دیگر غالباً شکل خود را تغییر می‌دهند (مثل گلبول‌های سفید). ولی به طور کلی در گروه بزرگی از موجودات زنده که شامل جانداران و بیشتر گیاهان هستند سلول‌ها از سه بخش اصلی غشاء سلولی، سیتوپلاسم و هسته تشکیل می‌شوند. این گروه از سلول‌ها را یوکاریوت<sup>۸</sup> می‌نامیم. در گروه دیگری از موجودات مثل باکتری ها سلول‌ها اغلب کوچک‌اند و هسته مرز مشخصی ندارد، که آنها را پروکاریوت<sup>۹</sup> می‌نامند. سلول‌های یوکاریوت به دو دسته کلی سلول‌های جانوری و گیاهی تقسیم بندی می‌شود. در شکل ۱-۲ این دو گروه سلولی نشان داده شده است.



شکل ۱-۲ در سمت راست، سلول گیاهی و در سمت چپ یک سلول جانوری نشان داده شده است. در این شکل می‌توانیم اختلاف ظاهری سلول‌های گیاهی و جانوری را به وضوح مشاهده کنیم.

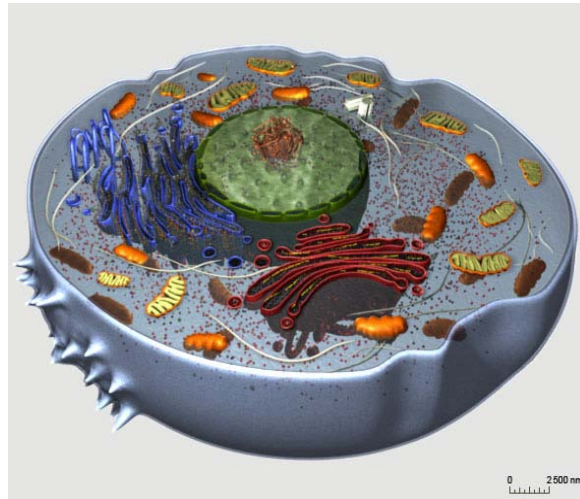
همان طور که گفته شد این دسته از سلول‌ها دارای ساختارهای زیر هستند:

<sup>8</sup> Eukaryote

<sup>9</sup> Prokaryote

## الف - غشا پلاسمایی

هر سلول توسط غشای پلاسمایی احاطه شده است . این غشاء قابل انعطاف بوده و اجزای درون سلول را از محیط اطراف آن جدا می کند. مشاهداتی که با میکروسکوپ الکترونی صورت گرفته نشان داده است که غشای پلاسمایی از دو لایه درست شده است (شکل ۲-۲). در بخش بعدی به تفصیل در مورد آن صحبت می کنیم.

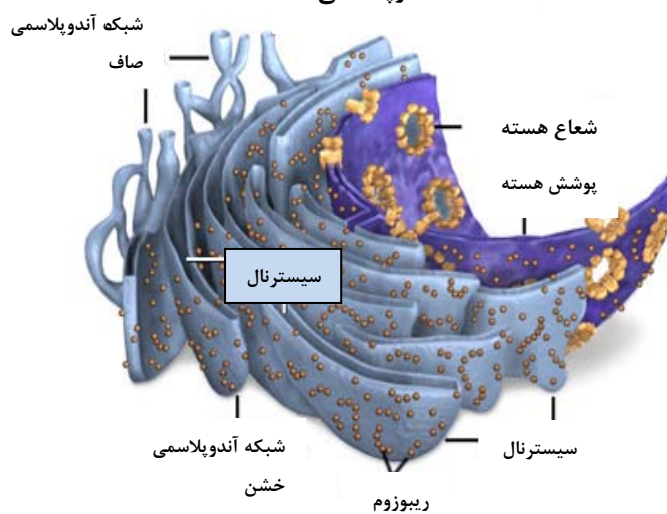


شکل ۲-۲ غشا پلاسمایی، غشا در واقع مرز سلول است که اجزای آن را از محیط بیرون سلولی جدا می کند. این ماده قابل انعطاف است و می تواند مواد مورد نیاز سلول را از خود عبور دهد.

## ب - سیتوپلاسم

درون سلول را مایعی به نام سیتوزول پر کرده است که درون سیتوزول اندامک ها وجود دارند . به مجموعه سیتوزول و اندامک ها سیتوپلاسم می گویند. هر اندامک نقش ویژه ای دارد . به طور مثال شکل ۲-۳ اندامک دستگاه آندوپلاسمی را نشان می دهد که مسئولیت حمل و نقل مواد درون سلول را بر عهده دارد.

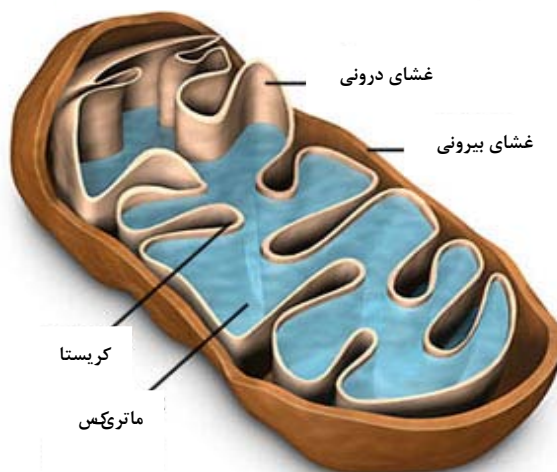
### دستگاه آندوپلاسمی



شکل ۲-۳ دستگاه آندوپلاسمی، که مسئولیت انتقال مواد را در سلول بر عهده دارند.

اندامک میتوکندری در شکل ۲-۴ نشان داده شده است. این اندامک به شکل بیضی یا کروی دیده می شود. میتوکندری مسئول تنفس سلولی و تولید انرژی است.

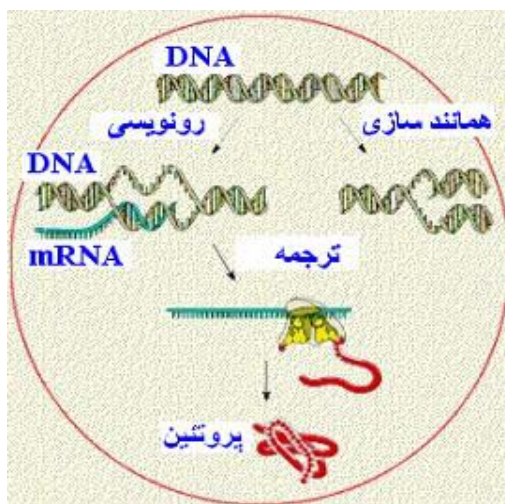
#### ساختار درونی میتوکندری



شکل ۲-۴ اندامک میتوکندری که مسئول تنفس سلولی و تولید انرژی در سیتوپلاسم است.

#### ج- هسته

شکل هسته معمولاً کروی است (شکل ۲-۵). در سلول‌های یوکاریوت اطراف هسته توسط غشا احاطه می شود. درون هسته مایعی به نام شیره هسته و رشته‌هایی به نام کروموزوم وجود دارد [۱].



شکل ۲-۵ هسته سلول‌های یوکاریوت



## ۳-۲ ترکیب شیمیایی سلول

به طور کلی یک سلول گیاهی یا جانوری از آب، پروتئین و لیپید تشکیل شده است [۲].

### ۲-۳-۱ آب

آب اصلی ترین ترکیب سازنده سامانه زنده است که حدود ۷۵ تا ۸۵ درصد جرم موجودات زنده را تشکیل می دهد. تداوم حیات موجودات زنده به ویژگی های شیمی فیزیکی آب بستگی دارد. آب با ایجاد اختلاف فشار مناسب در داخل و خارج سلول باعث انتقال مواد از غشا می شود. همچنین به علت ظرفیت گرمایی بالا، از تغییر حرارتی شدید در درون سلول جلوگیری کرده و به ثابت ماندن دمای آن کمک می کند. تقریباً تمام فرایندهای حیاتی در دامنه باریکی از درجه حرارت انجام می شوند بنابراین ثابت دما برای انجام این فرایندها و زنده ماندن سلول بسیار مهم است. همچنین آب نقش یک محیط پراکنده کننده را دارد. مقدار آب موجود در سلول به فعالیت و سن سلول وابسته است. با افزایش سن سلول، مقدار آب آن کاهش می یابد. آب به دو صورت در سلول وجود دارد:

**الف- آب آزاد:** که ۹۵ درصد کل آب موجود در سلول را می سازد و به عنوان حلال یا محیط پراکنده کننده در سلول وجود دارد.

**ب- آب پیوسته:** که ۴ تا ۵ درصد آب کل سلول را تشکیل می دهد و به صورت ترکیب در ساختار مولکول های سازنده سلول وارد می شود. این آب از طریق اتصال های مانند پیوند هیدروژنی و سایر پیوندها به مولکول های پروتئینی متصل می شود.

### ۲-۳-۲ لیپیدها

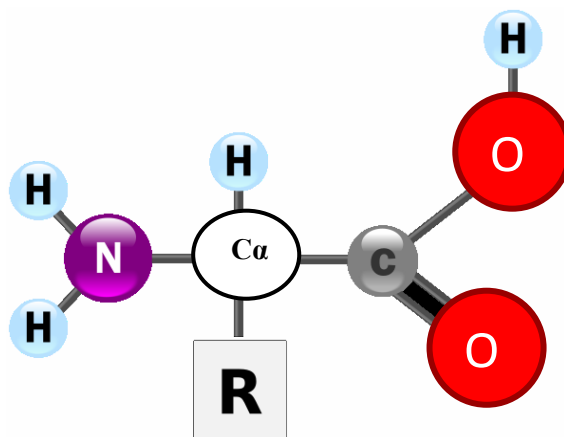
لیپیدها مولکول های بزرگی هستند که در آب نامحلول اند. بیشترین بخش لیپیدها به وسیله اسیدهای چرب تشکیل شده است. در فصل سوم بیشتر در مورد آن صحبت می کنیم.

### ۳-۳-۲ پروتئین ها

پروتئین ها از مهم ترین مولکول های سلول ها هستند که بیشتر از نصف وزن خشک آن را می سازد [۱]. پروتئین از واژه یونانی پروتوس<sup>۱۰</sup> به معنی نخست گرفته شده است و واژه پروتوس به این واقعیت اشاره دارد که پروتئین ها با دارا بودن وظایف متعدد در بین مولکول های بزرگ حیاتی از اعتبار و اهمیت زیادی برخوردارند. تمام اعمال داخل سلول و ویژگی های آن به پروتئین های آن بستگی دارد و تفاوت سلول های مختلف بدن در نوع و میزان پروتئین های آن است. برخی بیماری ها نیز در ارتباط با پروتئین های مختلف اند. پروتئین ها درون غشای سلول، اندامک ها، اسکلت سلولی و ... قرار دارند. تمام پروتئین ها از واحدهایی به نام اسید آمینه تشکیل شده اند. اسیدهای آمینه در پروتئین ها در یک ردیف و بدون انشعاب قرار دارند. شکل و عمل هر پروتئین در محیط سلول به تعداد و نوع اسیدهای آمینه سازنده آن بستگی دارد. مشخص شده است که ۲۰ نوع اسید آمینه از میان ۱۰۰ نوع شناخته شده در طبیعت، در ساختار پروتئین ها شرکت می کنند گیاهان و بی مهرگان قادرند تمام اسیدهای آمینه که در ساختار پروتئین ها مصرف می شوند را بسازند، ولی

<sup>10</sup> Protos

مهره داران تنها توانایی ساخت ۱۰ اسیدآمینه را دارند که اسیدهای آمینه غیرضروری نامیده می‌شوند. ۱۰ اسید آمینه دیگر که باید از طریق مواد غذایی جذب بدن جاندار شود را اسیدهای آمینه ضروری می‌نامند. اسیدهای آمینه، ساختار پایه یکسانی دارند. این ساختار در شکل ۲-۶ مشاهده می‌شود. هر اسیدآمینه یک کربن مرکزی به نام کربن  $\alpha$  دارد که سه ظرفیت آن در همه اسیدهای آمینه با اتم هیدروژن (-H)، گروه کربوکسیل (-COOH) و گروه آمین (-NH) اشغال می‌شود. در ظرفیت چهارم کربن  $\alpha$  ترکیبی که زنجیره کناری یا گروه R خوانده می‌شود، قرار می‌گیرد. گروه R برحسب نوع اسیدآمینه متفاوت بوده و در حقیقت اختلاف بین بیست اسید آمینه، در نوع زنجیره کناری آن‌هاست. نام اسیدآمینه به علت وجود گروه کربوکسیل که اسیدی است و گروه آمین، به آن‌ها داده شده است [۳و۴].



شکل ۲-۶ ساختار پایه تمامی اسیدهای آمینه [۵]

گروه‌های مختلف R از نظر اندازه، ساختار و بار الکتریکی با یکدیگر متفاوت هستند و همین عامل باعث می‌شود که آمینواسیدهای مختلف از نظر اندازه، بار الکتریکی و ویژگی‌های مختلف مانند حلالیت در آب با یکدیگر متفاوت باشند. به عبارت دیگر، تنها عاملی که خواص مختلفی به آمینواسیدهای مختلف می‌دهد همین گروه‌های R است زیرا سایر بخش‌های اسیدهای آمینه کاملاً یکسان است [۳]. اسیدهای آمینه بر اساس گروه R به انواع غیرقطبی، قطبی بدون بار و قطبی دارای بار تقسیم می‌شود. آمینواسیدهای قطبی دارای بار، به دو گروه دارای بار مثبت (مانند لیزین<sup>۱۱</sup>، هیستیدین<sup>۱۲</sup> و آرژنین<sup>۱۳</sup>) و دارای بار منفی (مانند آسپارات<sup>۱۴</sup> و گلوتمات<sup>۱۵</sup>) تقسیم می‌شوند.

اسیدهای آمینه حداقل دارای دو گروه اسیدی (-COOH) و آمینی (-NH<sub>2</sub>) هستند. در pH اسیدی تمامی اسیدهای آمینه بار مثبت دارند. در pH ایزوالکتریک، اسیدهای آمینه بدون بار و در pH بازی دارای بار منفی می‌باشند. شکل اسیدهای آمینه در pH های مختلف، در شکل ۲-۷ نشان داده شده است [۶].

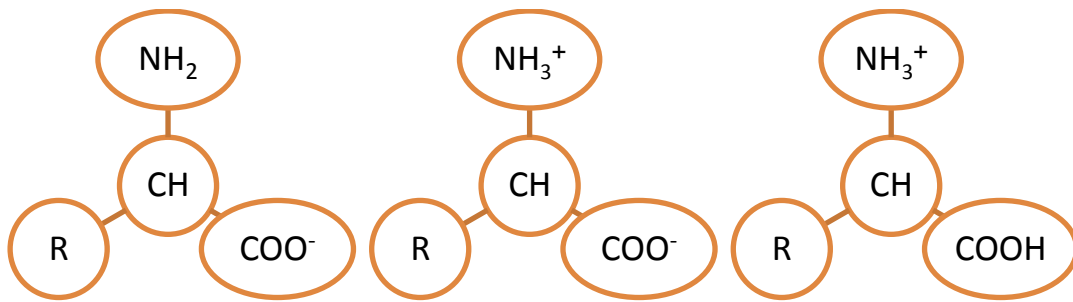
<sup>11</sup> Lysine

<sup>12</sup> Histidine

<sup>13</sup> Arginine

<sup>14</sup> Aspartate

<sup>15</sup> Glutamate



شرایط قلیایی (pH = 10)

شرایط خنثی (pH = 7)

شرایط اسیدی (pH = 2)

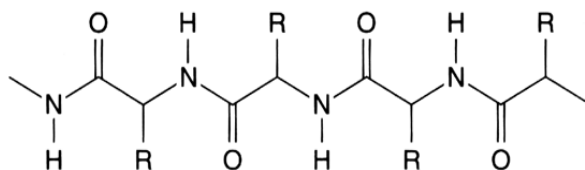
شکل ۲-۷ در این شکل تفاوت ساختاری اسید آمینه، در شرایط قلیایی (pH = 10)، خنثی (pH = 7) و اسیدی (pH = 2) نشان داده شده است.

$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}_3\text{N}^+ - \text{C} - \text{C} \begin{array}{l} \diagup \text{O} \\ \diagdown \text{O} \end{array} \\   \\ (\text{CH}_2)_3 \\   \\ \text{NH} \\   \\ \text{C}=\text{NH}_2 \\   \\ \text{NH}_2 \end{array}$ <p>Arginine (Arg / R)</p>	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}_3\text{N}^+ - \text{C} - \text{C} \begin{array}{l} \diagup \text{O} \\ \diagdown \text{O} \end{array} \\   \\ \text{CH}_2 \\   \\ \text{CH}_2 \\   \\ \text{C}=\text{O} \\   \\ \text{NH}_2 \end{array}$ <p>Glutamine (Gln / Q)</p>	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}_3\text{N}^+ - \text{C} - \text{C} \begin{array}{l} \diagup \text{O} \\ \diagdown \text{O} \end{array} \\   \\ \text{CH}_2 \\   \\ \text{C}_6\text{H}_5 \end{array}$ <p>Phenylalanine (Phe / F)</p>	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}_3\text{N}^+ - \text{C} - \text{C} \begin{array}{l} \diagup \text{O} \\ \diagdown \text{O} \end{array} \\   \\ \text{CH}_2 \\   \\ \text{C}_6\text{H}_4 \\   \\ \text{OH} \end{array}$ <p>Tyrosine (Tyr / Y)</p>	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}_3\text{N}^+ - \text{C} - \text{C} \begin{array}{l} \diagup \text{O} \\ \diagdown \text{O} \end{array} \\   \\ \text{CH}_2 \\   \\ \text{C}_8\text{H}_6\text{N}_2 \end{array}$ <p>Tryptophan (Trp, W)</p>
$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}_3\text{N}^+ - \text{C} - \text{C} \begin{array}{l} \diagup \text{O} \\ \diagdown \text{O} \end{array} \\   \\ (\text{CH}_2)_4 \\   \\ \text{NH}_2 \end{array}$ <p>Lysine (Lys / L)</p>	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}_3\text{N}^+ - \text{C} - \text{C} \begin{array}{l} \diagup \text{O} \\ \diagdown \text{O} \end{array} \\   \\ \text{H} \end{array}$ <p>Glycine (Gly / G)</p>	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}_3\text{N}^+ - \text{C} - \text{C} \begin{array}{l} \diagup \text{O} \\ \diagdown \text{O} \end{array} \\   \\ \text{CH}_3 \end{array}$ <p>Alanine (Ala / A)</p>	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}_3\text{N}^+ - \text{C} - \text{C} \begin{array}{l} \diagup \text{O} \\ \diagdown \text{O} \end{array} \\   \\ \text{CH}_2 \\   \\ \text{C}_4\text{H}_3\text{N}_2 \end{array}$ <p>Histidine (His / H)</p>	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}_3\text{N}^+ - \text{C} - \text{C} \begin{array}{l} \diagup \text{O} \\ \diagdown \text{O} \end{array} \\   \\ \text{CH}_2 \\   \\ \text{OH} \end{array}$ <p>Serine (Ser / S)</p>
$\begin{array}{c} \text{H}_2 \\   \\ \text{C} \\ / \quad \backslash \\ \text{H}_2\text{C} \quad \text{CH}_2 \\   \quad \quad   \\ \text{H}_2\text{N}^+ - \text{C} - \text{C} \begin{array}{l} \diagup \text{O} \\ \diagdown \text{O} \end{array} \end{array}$ <p>Proline (Pro / P)</p>	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}_3\text{N}^+ - \text{C} - \text{C} \begin{array}{l} \diagup \text{O} \\ \diagdown \text{O} \end{array} \\   \\ \text{CH}_2 \\   \\ \text{CH}_2 \\   \\ \text{COOH} \end{array}$ <p>Glutamic Acid (Glu / E)</p>	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}_3\text{N}^+ - \text{C} - \text{C} \begin{array}{l} \diagup \text{O} \\ \diagdown \text{O} \end{array} \\   \\ \text{CH}_2 \\   \\ \text{COOH} \end{array}$ <p>Aspartic Acid (Asp / D)</p>	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}_3\text{N}^+ - \text{C} - \text{C} \begin{array}{l} \diagup \text{O} \\ \diagdown \text{O} \end{array} \\   \\ \text{H} - \text{C} - \text{OH} \\   \\ \text{CH}_3 \end{array}$ <p>Threonine (Thr / T)</p>	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}_3\text{N}^+ - \text{C} - \text{C} \begin{array}{l} \diagup \text{O} \\ \diagdown \text{O} \end{array} \\   \\ \text{CH}_2 \\   \\ \text{SH} \end{array}$ <p>Cysteine (Cys / C)</p>
$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}_3\text{N}^+ - \text{C} - \text{C} \begin{array}{l} \diagup \text{O} \\ \diagdown \text{O} \end{array} \\   \\ \text{CH}_2 \\   \\ \text{CH}_2 \\   \\ \text{S} \\   \\ \text{CH}_3 \end{array}$ <p>Methionine (Met / M)</p>	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}_3\text{N}^+ - \text{C} - \text{C} \begin{array}{l} \diagup \text{O} \\ \diagdown \text{O} \end{array} \\   \\ \text{CH}_2 \\   \\ \text{CH} \\ / \quad \backslash \\ \text{CH}_3 \quad \text{CH}_3 \end{array}$ <p>Leucine (Leu / L)</p>	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}_3\text{N}^+ - \text{C} - \text{C} \begin{array}{l} \diagup \text{O} \\ \diagdown \text{O} \end{array} \\   \\ \text{CH}_2 \\   \\ \text{C}=\text{O} \\   \\ \text{NH}_2 \end{array}$ <p>Asparagine (Asn / N)</p>	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}_3\text{N}^+ - \text{C} - \text{C} \begin{array}{l} \diagup \text{O} \\ \diagdown \text{O} \end{array} \\   \\ \text{HC} - \text{CH}_3 \\   \\ \text{CH}_2 \\   \\ \text{CH}_3 \end{array}$ <p>Isoleucine (Ile / I)</p>	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}_3\text{N}^+ - \text{C} - \text{C} \begin{array}{l} \diagup \text{O} \\ \diagdown \text{O} \end{array} \\   \\ \text{CH} \\ / \quad \backslash \\ \text{CH}_3 \quad \text{CH}_3 \end{array}$ <p>Valine (Val / V)</p>

شکل ۲-۸ بیست اسید آمینه‌ای که در ساخت پروتئین‌ها شرکت می‌کنند.

در شکل ۲-۸ بیست اسید آمینه که در ساخت پروتئین ها شرکت می کند نشان داده شده است . هر اسید آمینه با یک کد سه حرفی و یا کد یک حرفی مشخص می شود. این کدها که بر اساس اسم اسید آمینه ها است، برای اختصار به کار می رود.

اسیدهای آمینه از طریق پیوند پپتیدی به هم متصل می شوند. به این ترتیب که گروه آمین یک اسید آمینه با گروه کربوکسیل اسید آمینه دیگر ترکیب شده و با از دست دادن یک مولکول آب پیوند کوالانسی را به وجود می آورند که همان پیوند پپتیدی است (شکل ۲-۹).



شکل ۲-۹ پیوند پپتیدی، برای تشکیل پپتیدی گروه آمین یک اسید آمینه با گروه کربوکسیل اسید آمینه دیگر ترکیب می شود و با از دست دادن یک مولکول آب ساختار نشان داده شده را به وجود می آورند.

زنجیره ناشی از ترکیبات آمینو اسیدهای مختلف را پلی پپتید گویند که ساختمان اولیه پروتئین را تشکیل می دهد. برحسب قرارداد اگر وزن مولکولی مجموع اسیدهای آمینه کمتر از ۵۰۰۰ دالتون باشد آن مولکول را پپتید یا پلی پپتید گویند و اگر بیش از ۵۰۰۰ دالتون باشد آن را پروتئین می گوئیم. فاصله بین پیوندهای پپتیدی حدود ۳/۵ آنگستروم است [۲].

پروتئین ها بر حسب شکل ظاهری، به دو دسته پروتئین های میله ای و کروی تقسیم می شوند:

### الف- پروتئین های کروی

پروتئین های کروی پروتئین هایی هستند که مولکول آنها دارای شکل کروی یا بیضی بوده و در آب و محلول های نمکی رقیق محلول هستند و بسیار متنوع تر از پروتئین های میله ای می باشند مانند آنزیم ها.

### ب- پروتئین های میله ای

پروتئین های میله ای پروتئین هایی هستند که از مولکول های خیلی بلند رشته مانند ساخته شده اند و می توان آن ها را به دو دسته تقسیم کرد . دسته اول در محلول های نمکی غلیظ محلول اند و دسته دوم کاملاً غیر محلول هستند.

باید دانست که بین ساختار و عملکرد پروتئین ها ارتباط تنگاتنگی وجود دارد و در حقیقت ساختار پروتئین ها، تعیین کننده نوع فعالیت آنها است. پروتئین ها با ساختار مشابه، معمولاً عملکردی مشابهی نیز دارند. در ضمن، تغییر در ساختار یک پروتئین توسط عوامل گوناگون معمولاً به تغییر در نحوه عملکرد آن منجر می شود. برای مطالعه پروتئین ها چهار سطح ساختاری تعریف شده است [۱].