



بیوفیزیک

(رشته زیست‌شناسی)

دکتر مهدی محمدزاده

بسم الله الرحمن الرحيم

پیشگفتار ناشر

کتاب‌های دانشگاه پیام نور حسب مورد و با توجه به شرایط مختلف یک درس در یک یا چند رشته دانشگاهی، به صورت کتاب درسی، متن آزمایشگاهی، فرادرسی، و کمک‌درسی چاپ می‌شوند.

کتاب درسی ثمره کوشش‌های علمی صاحب اثر است که براساس نیازهای درسی دانشجویان و سرفصل‌های مصوب تهیه و پس از داوری علمی، طراحی آموزشی، و ویرایش علمی در گروه‌های علمی و آموزشی، به چاپ می‌رسد. پس از چاپ ویرایش اول اثر، با نظرخواهی‌ها و داوری علمی مجدد و با دریافت نظرهای اصلاحی و متناسب با پیشرفت علوم و فناوری، صاحب اثر در کتاب تجدیدنظر می‌کند و ویرایش جدید کتاب با اعمال ویرایش زبانی و صوری جدید چاپ می‌شود.

متن آزمایشگاهی (م) راهنمایی است که دانشجویان با استفاده از آن و کمک استاد، کارهای عملی و آزمایشگاهی را انجام می‌دهند.

کتاب‌های فرادرسی (ف) و کمک‌درسی (ک) به منظور غنی‌تر کردن منابع درسی دانشگاهی تهیه و بر روی لوح فشرده تکثیر می‌شوند و یا در وبگاه دانشگاه قرار می‌گیرند.

مدیریت تولید محتوا و تجهیزات آموزشی

فهرست مطالب کتاب

پیشگفتار	یازده
مقدمه	سیزده
فصل اول. پیدایش حیات و خواص ماکرومولکول‌های زیستی	۱
۱-۱ آغاز حیات و شکل‌گیری مولکول‌های زیستی	۲
۲-۱ عناصر سازنده ماکرومولکول‌های زیستی و ارگانیزم‌های زنده	۷
۱-۲-۱ ترکیبات غیرآلی	۸
۲-۲-۱ ترکیبات آلی	۲۴
فصل دوم. روش‌های بیوشیمی - بیوفیزیک (۱) (میکروسکوپ و طیف‌سنجی)	۶۱
۱-۲ میکروسکوپ	۶۲
۱-۱-۲ میکروسکوپ نوری	۶۴
۲-۱-۲ میکروسکوپ الکترونی	۶۹
۳-۱-۲ میکروسکوپ نیروی اتمی	۷۳
۲-۲ طیف‌سنجی	۷۴
۱-۲-۲ طیف‌سنجی مرئی - فرابنفش (ماوراء بنفش)	۷۵
۲-۲-۲ طیف‌سنجی فلورسانس	۸۱
۳-۲-۲ طیف‌سنجی فروسرخ (IR)	۸۴
۴-۲-۲ طیف‌سنجی رامان	۸۷
۵-۲-۲ طیف‌سنجی رزونانس مغناطیس هسته‌ای (NMR)	۸۹
۶-۲-۲ طیف‌سنجی رزونانس اسپین الکترونی (ESR) یا پارامگنتیک الکترونی (EPR)	۹۲
۷-۲-۲ طیف‌سنجی دورنگ‌نمایی حلقوی (CD) و دورانی (ORD)	۹۳
۸-۲-۲ طیف‌سنجی جرمی (MS)	۹۷

۱۰۱	فصل سوم. روش های بیوشیمی - بیوفیزیک (۲) (ته نشین سازی، کریستالوگرافی اشعه ایکس و ...)
۱۰۲	۱-۳ ته نشین سازی
۱۰۶	۲-۳ کریستالوگرافی اشعه X
۱۰۸	۳-۳ ویسکومتری
۱۱۱	۴-۳ کالریمتری
۱۱۱	۱-۴-۳ کالریمتری روبشی تفاضلی (DSC)
۱۱۲	۲-۴-۳ کالریمتری تیتراسیون هم‌دما
۱۱۲	۵-۳ الکتروفورز
۱۱۶	۶-۳ کروماتوگرافی
۱۲۰	۷-۳ دیالیز تعادلی
۱۲۱	۸-۳ بررسی نفوذ چرخشی
۱۲۵	فصل چهارم. شیمی فیزیک سیستم های زیستی (بیوترمودینامیک)
۱۲۶	۱-۴ مقدمه
۱۲۶	۲-۴ علم ترمودینامیک
۱۲۷	۱-۲-۴ سیستم های ترمودینامیک
۱۲۹	۲-۲-۴ خواص ترمودینامیکی سیستم ها
۱۳۱	۳-۴ قوانین گازها
۱۳۳	۴-۴ قوانین ترمودینامیک
۱۳۳	۱-۴-۴ قانون صفرم ترمودینامیک
۱۳۴	۲-۴-۴ قانون اول ترمودینامیک
۱۴۰	۳-۴-۴ قانون دوم ترمودینامیک
۱۴۹	۴-۴-۴ قانون سوم ترمودینامیک
۱۵۰	۵-۴ کاربرد پارامترهای ترمودینامیکی
۱۵۰	۱-۵-۴ استفاده از T_m به عنوان شاخص پایداری
۱۵۱	۲-۵-۴ استفاده از ΔH در تغییر ساختار ماکرومولکول های زیستی
۱۵۱	۳-۵-۴ استفاده از ΔG
۱۵۴	۶-۴ سینتیک آنزیمی
۱۵۵	۱-۶-۴ واکنش های آنزیمی
۱۶۱	۲-۶-۴ سینتیک مهار آنزیمی
۱۶۹	فصل پنجم. غشاهای زیستی
۱۷۰	۱-۵ مقدمه
۱۷۰	۲-۵ مدل های غشایی
۱۷۰	۱-۲-۵ مدل اورتون
۱۷۰	۲-۲-۵ مدل لانگ مویر
۱۷۱	۳-۲-۵ مدل گورتر و گرندل

۱۷۱	۴-۲-۵ مدل داوسون و دانیلی
۱۷۲	۵-۲-۵ مدل رابرتسون (مدل غشای واحد)
۱۷۲	۶-۲-۵ مدل موزائیک سیال سانگر - نیکلسون
۱۷۵	۳-۵ لیپیدهای غشایی
۱۷۵	۱-۳-۵ انواع لیپیدها
۱۸۱	۲-۳-۵ توزیع لیپیدهای غشایی
۱۸۱	۳-۳-۵ عدم تقارن لیپیدهای غشایی
۱۸۲	۴-۳-۵ تحرک لیپیدهای غشایی
۱۸۳	۵-۳-۵ سازمان‌بندی لیپیدهای غشایی
۱۸۴	۴-۵ پروتئین‌های غشایی
۱۸۷	۵-۵ برهم‌کنش لیپید - پروتئین در غشاها
۱۸۸	۶-۵ خصوصیات غشاء زیستی
۱۸۸	۱-۶-۵ حرکت جانبی اجزاء تشکیل‌دهنده غشایی
۱۸۹	۲-۶-۵ عدم تقارن
۱۸۹	۳-۶-۵ سیالیت
۱۸۹	۴-۶-۵ سد نفوذناپذیر در مقابل ترکیبات قطبی و باردار
۱۹۰	۵-۶-۵ اختلاف پتانسیل غشایی
۱۹۱	۷-۵ نقل و انتقالات غشایی
۱۹۱	۱-۷-۵ انتشار آزاد
۱۹۳	۲-۷-۵ انتشار تسهیل‌شده
۱۹۶	۳-۷-۵ انتقال فعال
۱۹۹	۸-۵ گیرنده‌های غشایی
۱۹۹	۱-۸-۵ گیرنده‌های غشایی نوع I
۲۰۰	۲-۸-۵ گیرنده غشایی نوع II
۲۰۰	۳-۸-۵ گیرنده غشایی نوع III
۲۰۰	۹-۵ اتصالات غشایی
۲۰۰	۱-۹-۵ اتصالات محکم
۲۰۰	۲-۹-۵ اتصالات لنگری
۲۰۲	۳-۹-۵ اتصالات ربط‌دهنده
۲۰۲	۱۰-۵ کانال‌های غشایی
۲۰۲	۱-۱۰-۵ کانال‌های نشستی
۲۰۴	۲-۱۰-۵ کانال‌های دریچه‌دار
۲۰۵	۳-۱۰-۵ آکوپورین‌ها
۲۰۶	۱۱-۵ یونوفورها
۲۰۶	۱۲-۵ فازهای غشایی
۲۰۷	۱-۱۲-۵ فاز L_{α}

۲۰۷	۲-۱۲-۵ فاز L_β
۲۰۷	۳-۱۲-۵ فاز $P\delta$
۲۰۷	۴-۱۲-۵ فاز H_a
۲۰۸	۵-۱۲-۵ فاز Q_a
۲۰۸	۱۳-۵ غشاهای مصنوعی

فصل ششم. بیوانرژتیک

۲۱۱	۱-۶ مقدمه
۲۱۲	۲-۶ فعل و انفعالات متابولیکی سلول
۲۱۳	۱-۲-۶ قندها
۲۱۳	۲-۲-۶ پروتئین‌ها
۲۱۳	۳-۲-۶ چربی‌ها
۲۱۴	۳-۶ انتقالات انرژی در موجودات زنده
۲۱۶	۴-۶ واکنش‌های زیستی
۲۱۶	۱-۴-۶ واکنش‌های انرژی‌زا
۲۱۶	۲-۴-۶ واکنش‌های انرژی‌خواه
۲۱۶	۵-۶ واکنش‌های مزدوج
۲۱۷	۶-۶ ATP، واسطه‌گر کوانتومی
۲۲۰	۷-۶ مخزن انرژی سلولی (شارژ انرژی آدنیلات)
۲۲۱	۸-۶ فتوسنتز، نور و حیات
۲۲۲	۱-۸-۶ تثبیت کربن، هدف فتوسنتز
۲۲۲	۲-۸-۶ جذب نور، اولین قدم
۲۲۳	۹-۶ انتقال الکترون
۲۲۴	۱-۹-۶ هیدروژن و پذیرنده‌های الکترون در سلول‌های موجودات زنده
۲۲۶	۱۰-۶ جایگاه‌های ویژه انتقال الکترون
۲۲۶	۱-۱۰-۶ غشاء داخلی میتوکندری
۲۲۷	۱۱-۶ نقش ساختارهای زیستی در بیوانرژتیک

فصل هفتم. بیوفیزیک پرتوی

۲۳۱	۱-۷ مقدمه
۲۳۳	۲-۷ پرتوها
۲۳۷	۱-۲-۷ پرتو ایکس
۲۴۲	۳-۷ واپاشی هسته‌های ناپایدار
۲۴۲	۱-۳-۷ واپاشی گاما
۲۴۳	۲-۳-۷ واپاشی آلفا (α^{2+})
۲۴۵	۳-۳-۷ واپاشی بتا (β^-)

۲۴۷	۴-۳-۷ واپاشی بتای مثبت (پوزیترون)
۲۴۹	۴-۷ برهم‌کنش ذرات بتا (یا الکترون) با ماده هدف
۲۴۹	۱-۴-۷ برخورد کشسان با هسته اتم هدف
۲۴۹	۲-۴-۷ برخورد غیرکشسان با هسته اتم هدف
۲۵۰	۳-۴-۷ برخورد غیرکشسان با الکترون‌های مداری اتم هدف
۲۵۰	۵-۷ واکنش‌های نوترونی
۲۵۲	۱-۵-۷ انواع واکنش‌های نوترونی با ماده هدف
۲۵۴	۶-۷ برهم‌کنش‌های فوتون‌ها (پرتوهای ایکس و گاما) با ماده هدف
۲۵۴	۱-۶-۷ پدیده تامسون
۲۵۵	۲-۶-۷ پدیده فوتوالکتریک
۲۵۵	۳-۶-۷ پدیده کامپتون
۲۵۵	۴-۶-۷ پدیده تولید جفت (دو ذره)
۲۵۵	۵-۶-۷ پدیده تولید سه ذره
۲۵۶	۶-۶-۷ واکنش‌های هسته‌ای
۲۵۶	۷-۷ مواد رادیواکتیو
۲۵۷	۱-۷-۷ آشکارسازها
۲۵۸	۸-۷ انتقال خطی انرژی
۲۵۹	۹-۷ کاربرد مواد رادیواکتیو در زیست‌شناسی
۲۶۵	۱۰-۷ اثرات پرتوها بر سلول‌ها

فصل هشتم. بیوانفورماتیک

۲۶۷	۱-۸ مقدمه
۲۶۸	۲-۸ بیوانفورماتیک چیست؟
۲۷۰	۳-۸ تاریخچه علم بیوانفورماتیک
۲۷۲	۴-۸ منابع اطلاعات زیستی چیستند؟
۲۷۳	۵-۸ اطلاعات کجا ذخیره می‌شوند؟
۲۷۵	۶-۸ چرا باید از بیوانفورماتیک استفاده کنیم؟
۲۷۵	۷-۸ اهداف بیوانفورماتیک
۲۷۵	۱-۷-۸ تجزیه و تحلیل توالی‌ها
۲۷۵	۲-۷-۸ پیشگویی ساختار
۲۷۶	۳-۷-۸ ساختن ابزارهای تجزیه و تحلیل (آنالیز) داده‌ها
۲۷۷	۴-۷-۸ ایجاد و مدیریت پایگاه‌های اطلاعاتی
۲۷۸	۵-۷-۸ مدل‌سازی ریاضی فرآیندهای حیاتی
۲۷۹	۸-۸ مدل‌سازی
۲۸۰	۱-۸-۸ مدل‌سازی براساس همولوژی
۲۸۲	۹-۸ Threading
۲۸۳	۱۰-۸ مدل‌سازی و پیش‌گویی ساختمان پروتئین

۲۸۳	۱-۱۰-۸ پیش‌گویی ساختمان دوم پروتئین
۲۸۳	۲-۱۰-۸ پیش‌گویی ساختمان سوم پروتئین
۲۸۶	۱۱-۸ بانک‌های اطلاعاتی
۲۸۶	۱-۱۱-۸ پایگاه Genbank
۲۸۷	۲-۱۱-۸ پایگاه EMBL
۲۸۷	۳-۱۱-۸ پایگاه PIR
۲۸۷	۴-۱۱-۸ پایگاه prosite
۲۸۸	۵-۱۱-۸ پایگاه PDB
۲۸۸	۶-۱۱-۸ پایگاه REBASE
۲۸۸	۷-۱۱-۸ پایگاه OMIM
۲۸۸	۸-۱۱-۸ پایگاه Enzyme
۲۸۹	۱۲-۸ پیش‌گویی عملکرد پروتئین
۲۹۰	۱۳-۸ طراحی پروتئین
۲۹۱	سؤالات تستی و تشریحی
۳۴۱	منابع

پیشگفتار

مبانی بیوفیزیک یکی از دروس الزامی اغلب رشته‌های زیست‌شناسی و یکی از دروس اختیاری رشته فیزیک در برخی از دانشگاه‌ها است. در این کتاب سعی شده مطالب به‌صورت مفهومی و حتی‌المقدور به دور از روابط ریاضی، اما دقیق و کامل بسط داده شود و خواننده به راحتی با این علم پیچیده اما جذاب آشنا شود.

مجموعه‌ای که در حال حاضر پیش روی شماست حاصل مطالعه و جمع‌بندی مطالب مطرح در جدیدترین کتاب‌ها در زمینه علم بیوفیزیک می‌باشد که در هشت فصل طراحی و تدوین شده است. به‌ترتیب، فصل اول به پیدایش حیات و خواص ماکرومولکول‌های زیستی می‌پردازد. در این فصل ساختارهای پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک، توصیف شده و نیروهای مؤثر در ساختارهای آنها بررسی شده است. در فصل دوم و سوم از آنجایی که مطالعه ماکرومولکول‌های حیاتی در محیط‌های مائی در رشته‌های علوم زیستی از اهمیت به‌سزایی برخوردار است، به روش‌های بیوشیمی - بیوفیزیک حتی‌المقدور در محیط‌های مائی پرداخته شده است. در فصل چهارم به‌دلیل اهمیت بررسی کمی فرایندهای شیمیایی در سیستم‌های زیستی، شیمی فیزیک سیستم‌های زیستی مورد بررسی قرار می‌گیرد. فصل پنجم بیوفیزیک غشاهای زیستی است که ضمن معرفی مدل‌های غشایی، ساختار غشاها و عملکرد آنها، فرایندهایی همچون انتشار آزاد، انتشار تسهیل شده و انتقال فعال مطرح شده است. با آگاهی از این که بدن موجودات زنده مانند کارخانه بزرگ حیاتی، با صرف انرژی اعمال گوناگونی را انجام می‌دهد در فصل ششم به بحث بیوانرژتیک پرداخته شده است. برهم‌کنش پرتوهای گوناگون با

سیستم‌های زیستی و اثرات کوتاه مدت و دراز مدت آنها در فصل هفتم تحت عنوان بیوفیزیک پرتوی به بحث گذاشته شده است. در نهایت، در فصل هشتم با بحث جدیدی به نام علم بیوانفورماتیک آشنا می‌شوید که در آن به تاریخچه، منابع، اهداف و تکنیک‌های مورد استفاده در آن پرداخته شده است. لازم به یادآوری است که منابع فصول در پایان کتاب ذکر شده است که جهت مطالعات بیشتر می‌توانید به آنها مراجعه کنید.

خداوند را سپاسگزارم که توفیق نگارش این اثر را یافتم. در ضمن لازم می‌دانم از حوزه معاونت پژوهشی دانشگاه، ریاست محترم و معاونت پژوهشی دانشکده علوم، مدیرکل تدوین و دست‌اندرکاران چاپ و انتشارات، داوران علمی، ویراستاران علمی، ادبی و فرهنگی این اثر و گروه زیست‌شناسی دانشگاه پیام‌نور که امکان نشر این اثر را فراهم نموده‌اند، تشکر نمایم.

امید است که با مطالعه این کتاب درک صحیحی از علم بیوفیزیک حاصل شود و روزی شما خواننده عزیز سهمی در پیشبرد این علم پایه‌ای داشته باشید. امیدوارم مانند همیشه از راهنمایی خوانندگان و صاحب‌نظران بهره‌مند گردم و در چاپ‌های بعد، کتاب را تصحیح نمایم. در پایان، از هرگونه کاستی احتمالی که در این کتاب وجود دارد عذرخواهی و برای همه همکاران، دانش‌پژوهان و دانشجویان عزیز از خداوند طلب توفیق روزافزون می‌نمایم.

دکتر مهدی محمدزاده

عضو هیئت علمی دانشگاه ارومیه

تابستان ۹۲

مقدمه

امروزه نیاز دانش بشری به علم فیزیک و دستاوردهای آن غیرقابل انکار است. فناوری‌های جدید فیزیک در زمینه نور، لیزر، امواج اولتراسوند، جراحی الکتریکی، پزشکی هسته‌ای، تصویربرداری تشخیصی، پرتودرمانی، ماموگرافی، انسفالوگرافی و کریستالوگرافی با اشعه ایکس باعث گسترش و نفوذ این علم در زمینه‌های مختلف به خصوص علم زیست‌شناسی گردیده است. علم فیزیک به عقیده بعضی از بزرگان علم از علوم بنیادی است و در نگاهی جهان‌شمول این علم یکی از ابزارهای قدرتمند برای درک علت و اساس اکثر پدیده‌ها به‌شمار می‌رود و اینکه بقیه علوم در مقطعی از روند تکاملی خود نیازمند این نگرش می‌باشند، بدیهی به نظر می‌رسد.

بررسی ساختار و خواص ساختاری مواد (زنده و غیرزنده) و نیروهای موجود در آن در شرایط زمانی و مکانی خاص، در محدوده علم فیزیک قرار دارد. بخشی از علم فیزیک که به بررسی ساختار، خواص و نیروهای موجود در ساختار مواد زنده می‌پردازد، به علم بیوفیزیک معروف است. این علم به دلیل ارتباط با رشته‌های مختلف علوم از گستردگی زیادی برخوردار است.

پیدایش موجودات زنده از سه و نیم میلیارد سال پیش نمایانگر توان بالای اصول و مبانی حیات است که درک آن جز با یاری و کمک علوم مختلف ممکن نخواهد شد. ضرورت آشنایی با قواعد پیچیده حیات، مهندسی خاص ساختارهای زیستی، الگوی ویژه واکنش‌های شیمیایی در موجودات زنده، دقت و صحت جایگیری واحدهای سازنده و هزاران هزار نکته اساسی دیگر، همگی موجب پیدایش علوم ترکیبی با

محوریت حیات گردیده است که از آن جمله می‌توان به بیوفیزیک، بیوشیمی، بیوانفورماتیک، بیومکانیک و... اشاره کرد. در این میان، علمی که به مطالعه مکانیسم‌های فیزیکی پدیده‌های زیستی در تمام سطوح از سطح اتمی (حتی کوچک‌تر از آن) و مولکولی یک سلول گرفته تا سطح بیوسفر (به‌عنوان یک کل) می‌پردازد؛ به نام بیوفیزیک می‌شناسیم و به نظر می‌رسد هر چه از سطوح بالاتر (بیوسفر) به سطوح پایین‌تر (اتمی و حتی کوچک‌تر از آن) سیر می‌کنیم، اصول و قواعد فیزیکی حاکم نمایان‌تر می‌شوند. به‌عنوان مثال بررسی مکانیسم‌های عمل تنفس، بینایی، شنوایی، فتوسنتز، انقباض عضلات، انتقال پیام‌های عصبی در موجودات زنده و هزاران عملکرد زیستی دیگر که دارای مکانیسم‌های فیزیکی می‌باشند در این بخش از علوم حیاتی مورد بررسی قرار می‌گیرند.

مطالعات بیوفیزیکی در عمل با قانونمند کردن رویدادهای زیستی شکل گرفته و آغاز می‌شوند و در این راه فرموله کردن فرایندها و مبانی ساختاری سیستم‌های زیستی امری اجتناب‌ناپذیر است که به‌عهده علم بیوفیزیک می‌باشد. البته علوم دیگری نیز در این مسیر قدم برمی‌دارند که به‌عنوان مثال می‌توان به ترمودینامیک^۱، به‌ویژه ترمودینامیک غیرتعادلی پایا، مکانیک کلاسیک و کوانتوم، شیمی آلی و آلی فلزی^۲ و الکتروشیمی^۳ اشاره کرد.

با پیشرفت‌های چشمگیر زیست‌شناسی در قرن هجده و نوزده، بیوفیزیک نیز به‌عنوان یک بخش تفکیک‌ناپذیر از آن پا به‌عرصه وجود گذاشته و همگام با آن توسعه پیدا کرد. اولین مطالعات در این زمینه با تلاش‌های فیزیولوژیست‌های قرن هجدهم مانند لوئیجی گالوانی با اثر دادن الکتریسیته ساکن بر روی ماهیچه قورباغه آغاز شد که بعد توسط افرادی دیگری چون مایر، هلمهولتز، تیندال، رامانچانداران، شروودینگر، آتانسوف، پائولینگ، سودبرگ، واتسون، پروتز، تورینگ، لانگ موئر، آستبورگ و تعدادی دیگر که اغلب فیزیک‌دان، پزشک یا زیست‌شناس بودند، توسعه یافت. مباحث بیوفیزیک را می‌توان جهت سادگی به شش مبحث اصلی تقسیم‌بندی کرد که عبارتند از:

1. Thermodynamics
2. Organic and organometallic chemistry
3. Electrochemistry

۱. بیوفیزیک مولکولی، این مبحث را شاید بتوان مهمترین سطح بیوفیزیک به حساب آورد، زیرا مباحث دیگر به گونه‌ای با این بخش در ارتباطند. مطالعه خصوصیات و رفتار فیزیکی و شیمیایی ماکرومولکول‌های حیاتی نظیر اسیدهای نوکلئیک، پروتئین‌ها، آنزیم‌ها و مشخص کردن ساختمان‌های اول، دوم، سوم و احتمالاً چهارم آنها در این بخش انجام می‌شود.

۲. بیوفیزیک سلولی، ساختمان و اعمال فیزیولوژیکی سلول‌ها را از دیدگاه فیزیکی مورد بررسی قرار می‌دهد. مطالعه مکانیسم جذب و انتقال مواد از غشاء سلولی، فرایندهای بیوانرژی، آشنایی با ساز و کار غشاهای زیستی، مکانیسم تحریک و انتقال تحریک عصبی، انقباض عضلانی، مکانیسم پدیده‌هایی چون فتوستیز و بینایی در این مبحث بررسی می‌شوند.

۳. بیوفیزیک جمعیت‌های سلولی، به مطالعه رفتار انواع مختلف جمعیت‌های سلولی از نظر بیوفیزیکی می‌پردازد. جمعیت سلولی اصطلاحی است که به اجتماع ساده سلول‌ها اطلاق می‌شود و ما شاهد این اجتماعات بزرگ سلولی در اندام‌ها یا بافت‌های جانوری یا گیاهی هستیم. چون برخی رفتارهای جمعیت‌های سلولی با سلول‌های منفرد در محیط‌های زیوه و آزمایشگاهی متفاوت می‌باشند، مطالعات جمعیت سلولی جدا از مطالعات سلولی شکل گرفته است. مطالعه رشد لگاریتمی جمعیت باکتری‌ها در شرایط مختلف و بررسی رشد جمعیت‌های سلولی سرطانی که در شناخت رفتار و واکنش غده‌های سرطانی با روش‌های درمانی مختلف بسیار مؤثر بوده است، از مباحث مطرح در این شاخه می‌باشند.

۴. بیوفیزیک فیزیولوژیکی، به بررسی رفتار برخی اندام‌های موجودات زنده مانند چشم و اندام حرکتی یعنی دست‌ها و پاها (به عنوان اهرم‌ها) از نظر فیزیکی، مکانیکی و ... می‌پردازد. نحوه اتصال استخوان‌ها به یکدیگر، نحوه اتصالات عضله‌ها به استخوان‌ها، زاویه این اتصالات، و گشتاورها و نیروهای مؤثر در این اندام‌ها از نظر مکانیکی، بازده قلب، فشار خون در قسمت‌های مختلف عروق و خاصیت ارتجاعی عروق از نظر هیدرودینامیکی، فعالیت‌های عصبی و الکترونیکی قلب از نظر مهندسی الکترونیک و برهم‌کنش‌های فوتون‌های نور با بخش‌های مختلف چشم از نظر فیزیک امواج در این بخش مورد توجه و بررسی بوده است.

۵. بیوفیزیک پرتوی، مطالعه انواع پرتوهای ذره‌ای و غیرذره‌ای (الکترومغناطیسی) یون‌ساز و غیر یون‌ساز و اثرات آنها روی موجودات زنده یا بخشی از آن، در این بخش به بحث و بررسی گذاشته می‌شود. محققان با توسعه شتاب‌دهنده‌های یون‌های سنگین به فکر استفاده از این یون‌ها در مطالعه مسائل زیستی و درمان بیماری‌ها افتادند که در مبحث بیوفیزیک پرتوی به آن می‌پردازیم.

۶. بیوفیزیک نظری، شامل مسائل مربوط به «مدل‌سازی» ریاضی و برآوردهای نظری از فرایندهای زیستی است. تئوری سیستم‌های دینامیکی غیرخطی^۱، ترمودینامیک فرایندهای برگشت‌ناپذیر^۲ و همچنین فرایندهای تناوبی بیولوژیکی^۳ نیز جزو مباحث بیوفیزیک نظری است. مفاهیم مورد استفاده در بیوفیزیک نظری اغلب از مکانیک کوانتومی، مکانیک آماری، ترمودینامیک غیرتعادلی، سیبرنتیک^۴ (علم کنترل و ایجاد ارتباط در یک موجود زنده یا ماشین) و تئوری اطلاعات^۵ سرچشمه گرفته‌اند. با این اوصاف مشخص می‌شود که بیوفیزیک یک رشته گسترده یا چندوجهی^۶ است، یعنی گستره‌ای از اصول ریاضی، فیزیک، شیمی و علوم دیگر را دربر می‌گیرد و «موضوعات مورد بررسی در آن دو یا بیش از دو شاخه علمی مانند زیست‌شناسی، فیزیولوژی، پزشکی، فیزیک، رادیولوژی و... را شامل می‌شود»^۷.

(Volkenshtein, 1983 & Roy, 2001)

در سلسله‌مراتب تکاملی مولکولی ماکرومولکول‌های زیستی، پیوندهای شیمیایی (کووالانسی) و اندرکنش‌های فیزیکی (غیرکووالانسی) نقش بازی می‌کنند. تمامی ماکرومولکول‌ها از مواد اولیه ساده مانند دی‌اکسیدکربن، آب و نیتروژن موجود در طبیعت ساخته شده‌اند. این مواد ساده در اثر فرایندهای بیوشیمیایی با یکدیگر ترکیب شده مولکول‌های حدواسط و آنها نیز زیرواحدهای سازنده ماکرومولکول‌ها مانند اسیدهای آمینه، نوکلئوتیدها، اسیدهای چرب و قندهای ساده را می‌سازند. این زیرواحدهای ساختاری توسط پیوندهای شیمیایی به یکدیگر متصل شده و اسکلت اصلی یا پیکربندی ماکرومولکول‌های زیستی را ایجاد می‌نمایند. بعد از تکمیل شدن

1. Nonlinear dynamic system
2. Thermodynamic of irreversible processes
3. Biological Oscillatory processes
4. Cybernetics
5. Information theory
6. Multidisciplinary
7. Interdisciplinary

اسکلت اصلی، در اثر ایجاد اندرکنش‌های فیزیکی محلی و غیرمحلی بین بخش‌های مختلف اسکلت، آرایش فضایی یا صورت‌بندی (کنفورماسیون) در آنها که ارتباط تنگاتنگی با عملکرد آنها دارد، شکل می‌گیرد. در ادامه مراتب تکاملی، ماکرومولکول‌ها می‌توانند توسط پیوندهای کووالانسی (شیمیایی) به یکدیگر متصل شده و ساختارهای بزرگ‌تری مانند گلیکولیپیدها، و گلیکوپروتئین‌ها یا توسط اندرکنش‌های فیزیکی با یکدیگر ساختارهایی مانند ریبوزوم‌ها، غشاها، یا کروموزوم‌ها را ایجاد کنند. بنابراین ماکرومولکول‌های زیستی در انواع سلول‌ها در حالت ساده یا مجتمع برحسب زیرواحدهای سازنده و شرایط محیطی می‌توانند عملکردهای خاصی را به نمایش بگذارند. پس از آنجایی که آرایش‌های فضایی (صورت‌بندی‌ها) ماکرومولکول‌های زیستی و اندرکنش‌های فیزیکی موجود در آنها در عملکردهای زیستی این ساختارها نقش دارند، بنابراین، بیوفیزیک می‌تواند در روند مطالعه ساختارها، عملکردها و اختلالات ناشی از آنها به پژوهشگران کمک کند (Van Hold, 2005).

فصل اول

پیدایش حیات و خواص ماکرومولکول‌های زیستی

این فصل با بررسی تئوری‌های مربوط به آغاز حیات و چگونگی پیدایش ساختارهای اولیه حیات که در اصل همان مولکول‌های زیستی می‌باشند آغاز شده و در ادامه به بررسی دو دسته ماکرومولکول‌های (درشت مولکول‌ها) حیاتی بدن موجودات زنده یعنی پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک می‌پردازد. تأکید بر آنزیم‌ها به عنوان مهمترین و متنوع‌ترین دسته پروتئینی و آشنایی با خواص و نحوه عملکرد آنها از بخش‌های اصلی این فصل می‌باشد.

در پایان این فصل انتظار می‌رود دانشجویان بدانند که:

۱. نظریه مورد تأیید در زمینه آغاز حیات کدام است و این فرایند را چگونه توضیح می‌دهد؟
۲. خواص فیزیکی آب کدامند و ریشه تمامی این خواص در چیست؟
۳. انواع ساختارهای آب کدامند و تفاوت‌هایشان در چیست؟
۴. خواص محلول‌های کلئیدی کدامند؟
۵. انواع سطوح ساختاری پروتئین‌ها کدامند و عملکرد زیستی از کدام سطح در پروتئین‌ها شکل می‌گیرد؟
۶. رابطه ساختار و عملکرد پروتئین چیست؟
۷. انواع برهم‌کنش‌های مهم در ساختمان پروتئین‌ها کدامند و کدام یک نقش حیاتی دارد؟
۸. فرایند پیچ و تاب خوردن چگونه است و کدام عوامل پیچ و تاب ساختار پروتئین‌ها را باز می‌نمایند؟
۹. کشش سطحی در مایعات را تعریف کنید و عوامل مؤثر بر آن را ذکر نمایید؟

در این فصل لازم است ابتدا بدانیم منشاء مولکول‌های زیستی و نقش زیستی مولکول آب در حیات موجودات زنده کدام موارد می‌باشد. دوماً اینکه در بدن موجودات زنده و سلول‌های موجود در آنها چه مولکول‌ها و عواملی نقش کلیدی را در حیات آنها به عهده دارند.

۱-۱ آغاز حیات و شکل‌گیری مولکول‌های زیستی

همان‌طور که می‌دانیم اولین سؤالی که به ذهن انسان می‌آید، این است که حیات چگونه به وجود آمد؟ این موضوع شاید بزرگترین سر از اسرار پیش روی انسان باشد. بقیه سؤالات بشریت تماماً از همین موضوع سرچشمه می‌گیرد. در قرآن کریم اشاره شده است که خداوند حیات را نخست در روی زمین (سوره عنکبوت - آیه ۲۰) در آب (سوره نور - آیه ۵۵) پدید آورد. به همین خاطر بخش عمده هر موجود زنده‌ای، آب است که در قرآن (سوره انبیاء - آیه ۳۰) نیز به آن اشاره شده است. بنابراین، با توجه به الفاظ محکم قرآن، خداوند متعال آغازگر حیات در روی کره زمین بوده است. در حالی که در نگرش مادی، از خالق هستی حرفی زده نمی‌شود و آنها بر این باورند که در شکل‌گیری اولیه حیات تماماً عوامل مادی دخیل بوده و حیات در اثر برهم‌کنش‌های فیزیکی بین مواد شیمیایی اولیه ظاهر شده است. دومین سؤال مطرح شده در بینش مادی این است که با وجود اینکه مولکول‌های آلی در روی کره زمین اولیه کمپاب بوده‌اند، پس چگونه جانداران اولیه از مواد شیمیایی موجود در روی زمین به وجود آمده‌اند؟ تحقیقات اخیر نشان داده است که در میلیاردها سال پیش مواد آلی به غلظت‌های بسیار زیاد در آب اقیانوس‌ها وجود داشته‌اند و اولین جانداران از این محلول گرم مواد آلی به وجود آمده‌اند. زمین که عمر تقریبی آن 4.6×10^9 سال می‌باشد، در اثر تراکم گازها و بخارهای بین ستاره‌ای به وجود آمده و تشکیل یک پوشش خارجی جامد متشکل از آهن، منیزیم، سیلیکات را داده که در میان آن مواد مذاب که بیشتر از آهن و نیکل تشکیل یافته، قرار گرفته‌اند.

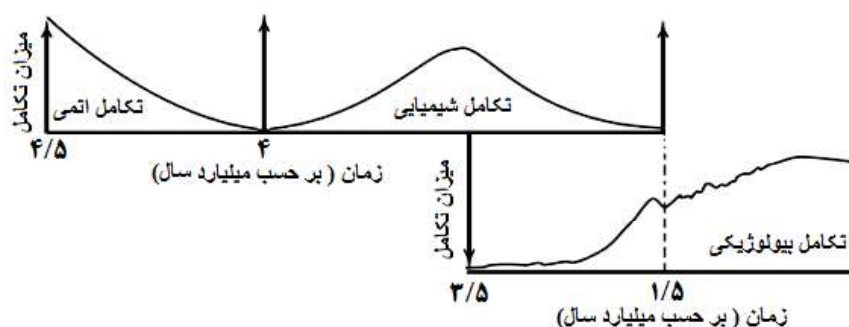
در دیدگاه مادی، موجود زنده برای خلقت، نیاز به یک سری شرایط دارد چنین شرایطی در هر کجای جهان (سایر کرات آسمانی) اگر وجود داشته باشد موجود زنده می‌تواند خلق شود. همان‌طور که می‌دانیم زمین هم مثل خورشید از حرارت زیادی

۳ پیدایش حیات و خواص ماکرومولکول‌های زیستی

برخوردار بوده است. بنابراین مسلم است که هیچ موجود زنده‌ای در آن وجود نداشته و بعدها موجود زنده یا در کره زمین خلق شده و یا احتمالاً از کرات دیگری به زمین آمده است.

کره زمین در حدود ۴/۶ میلیارد سال پیش در حالی که حرارت بالایی داشت، شکل گرفت. برای مطالعه شرایط خلقت موجود زنده روی کره زمین، سه نوع تکامل مورد مطالعه قرار می‌گیرد: تکامل اتمی، تکامل شیمیایی، تکامل بیولوژیکی. تکامل اتمی بدین معنی است که هسته اتم به صورت مداوم در حال تغییر است مثلاً در خورشید اتم هیدروژن (H) به اتم هلیوم (He) تبدیل می‌شود و بالعکس. در تکامل اتمی فقط هسته اتم تغییر می‌کند و سرعت تکامل اتمی در حال کاهش است و خورشید هم در حال سرد شدن است.

تکامل اتمی در کره زمین از ۴/۵ میلیارد سال قبل رو به کاهش نهاد و در ۴ میلیارد سال قبل، این تکامل به حد صفر رسید. به محض پایان تکامل اتمی عناصر یکی بعد از دیگری، ترکیب و واکنش با هم را آغاز کردند و باعث شکل‌گیری تکامل شیمیایی شدند. بنابراین تکامل شیمیایی از ۴ میلیارد سال پیش شروع شده و تا ۱/۵ میلیارد سال قبل ادامه داشته، در ۳/۵ میلیارد سال پیش برای اولین بار آب تشکیل شد، آب قبلاً به صورت گاز بود، بنابراین باید در آن زمان دمای زمین به زیر ۱۰۰ درجه رسیده باشد. بدین ترتیب با تشکیل آب تکامل بیولوژیکی آغاز می‌شود (شکل ۱-۱).



شکل ۱-۱. منحنی تغییرات سه نوع تکامل اتمی، شیمیایی و بیولوژیکی در طول زمان

در شکل ۱-۱ روند تغییرات سه نوع تکامل اتمی، شیمیایی و بیولوژیکی را در طول زمان مشاهده می‌کنید. تکامل بیولوژیکی از ۳/۵ میلیارد سال پیش آغاز شده و در یک فاز طولانی حدود ۲/۵ میلیارد سال منحنی تکامل بیولوژیکی رشد زیادی نداشته است و این بدان دلیل است که در این فاز طولانی تک‌سلولی‌ها وجود داشتند. تنوع در بین موجودات زنده از ۷۰۰-۸۰۰ میلیون سال پیش شروع می‌شود و دامنه منحنی زیاد شده و تا به امروز ادامه داشته است. مشاهدات زمین‌شناسی نشان می‌دهد که آغاز پوسته خارجی پایدار زمین در حدود ۴-۴/۵ میلیارد سال پیش می‌باشد و اولین جانداران احتمالاً در حدود ۳/۵ میلیارد سال پیش به وجود آمده‌اند.

آب در کره زمین از واکنش‌های دیگر تشکیل نشد بلکه دما زیاد بوده و آب به شکل بخار وجود داشته است که در اثر کاهش دما مایع شده است. برای خلقت موجود زنده نیاز به شرایط خاصی است که از مهمترین آنها یکی آب است. علاوه بر آب مواد مختلفی برای خلقت موجود زنده لازم است از جمله آنها می‌توان اسیدهای آمینه و اسیدهای نوکلئیک را نام برد. برای پی‌بردن به شرایط خلقت موجود زنده باید به مطالعه اتمسفر اولیه زمین پرداخت، اتمسفر اولیه زمین با اتمسفر کنونی از لحاظ وجود گازهای مختلف در آن متفاوت بوده است. گازهای موجود در اتمسفر اولیه زمین عبارت بودند از: $CH_4, NH_3, N_2, H_2S, H_2P, HCl$ ، کمی CO, O_2, H_2 که بعدها درصد گاز H_2 افزایش یافت و گاز He نیز به آن مجموعه اضافه شد.

فسیل‌های به دست آمده نشان می‌دهد که در ۳/۱ میلیارد سال پیش باکتری‌هایی شبیه به باکتری‌های امروزی وجود داشته‌اند. در سال ۱۹۲۰ دانشمندی به نام اوپارین عقیده داشت دگرگونی‌های فیزیکی و شیمیایی در پوسته زمین اولیه باعث گردید که از گاز متان، آمونیاک و بخار آب در جو اولیه زمین، مواد آلی ساده‌ای مانند اسیدهای آمینه، قندها و بازهای آلی نیتروژن‌دار به وجود آیند، مولکول‌هایی که بدین‌گونه به وجود آمدند به علت زیادی جرم به آسانی به طرف سطح زمین کشیده شده و در آب اقیانوس‌ها به صورت محلول در آمدند. این مولکول‌های آلی ساده تحت همان دگرگونی‌های فیزیکی و شیمیایی با یکدیگر ترکیب شده و مولکول‌های بزرگ‌تری را تولید نمودند، بنا به فرضیه اوپارین اولین سلول زنده خودبه‌خود، به‌طور اتفاقی از یک محلول گرم و غلیظ به وجود آمده است. فرضیه اوپارین به علت اینکه با شواهد علمی همراه نبود،

مورد تأیید قرار نگرفت تا اینکه تحقیقات اخیر نشان داد که در ۳ تا ۳/۵ میلیارد سال پیش اتمسفر حاوی مقدار زیادی نیتروژن، هیدروژن، مونواکسیدکربن، دی‌اکسیدکربن و حاوی مواد احیا شده مانند متان و آمونیاک بوده است. در اتمسفر آن زمان اکسیژن به‌صورت آزاد وجود نداشت، حرارت پوسته زمین و اتمسفر آن پایین‌تر از صد درجه سانتی‌گراد بود و بیشتر سطح زمین را آب فراگرفته بود (شهبازی، ملک‌نیا، ۱۳۸۸-Meyer, Nelson, 2007 - 2006).

امروزه با توجه به پژوهش‌های گسترده می‌توان پذیرفت که گازهای موجود در اتمسفر اولیه زمین نقش اصلی را در به وجود آمدن مواد آلی به‌عهده داشته‌اند. یکی از مهمترین پژوهش‌های فوق آزمایشی است که میلر در سال ۱۹۵۳ انجام داد. او مخلوطی از گازهای متان، آمونیاک، آب و هیدروژن را به نسبت‌های احتمالی اتمسفر اولیه زمین در یک بالن سربسته در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد برای مدت یک هفته تحت تأثیر جرقه الکتریکی مشابه با رعد و برق آسمانی آن زمان قرار داد. پس از این مدت موادی که در بالن ظاهر شدند عبارت بودند از گازهای مونواکسیدکربن، دی‌اکسیدکربن و ازت و تعداد زیادی اسیدهای آمینه مانند گلیسین، آلانین، اسید آسپارتیک و گلوتامیک، همین‌طور تعدادی اسید آلی ساده مانند اسید فرمیک، اسید استیک، اسید پروپونیک، اسید لاکتیک و اسید سوکسینیک که امروزه در بدن جانداران یافت می‌شوند. در آزمایش‌های بعدی با حذف گاز متان و آمونیاک از محیط دوباره مواد آلی کاملاً مشابهی مانند مرحله قبلی به دست آمد. این امر نشان می‌دهد که احتمالاً گاز متان و آمونیاک نقش مهمی در شکل‌گیری مواد آلی اولیه به‌عهده ندارد. در آزمایش‌های مشابه آزمایش میلر توسط افراد دیگر صدها مولکول آلی مختلف که در سلول‌های زنده یافت می‌شوند مانند اسیدهای آمینه، بازهای آلی نیتروژن‌دار مانند آدنین، سیتوزین و تیمین و تعداد زیادی اسیدهای آلی و قندها به‌دست آمد. از نتایج این آزمایشات چنین برمی‌آید که اقیانوس‌های اولیه حاوی مقدار زیادی مواد آلی و زیرواحدهای سازنده تمام ماکرومولکول‌های زیستی بوده‌اند. در ارتباط با پیدایش اولین سلول‌ها دو فرضیه مهم وجود دارد که عبارتند از: فرضیه اوپارین که عقیده دارد محدوده سلولی در اثر پدیده شناخته شده‌ای به نام کواسرواسیون^۱ که اغلب خودبه‌خود در محلول‌های حاوی

پلیمرهای هیدراته شده اتفاق می‌افتد، به وجود آمده است. طبق این نظریه فاز غلیظ‌تر که حاوی مقدار بیشتری ترکیبات آلی اولیه می‌باشد توسط یک پوشش دولایه‌ای لپیدی از فاز رقیق‌تر جدا می‌شود. بنابر فرضیه دوم، اسیدهای نوکلئیک یا ژن‌های برهنه اولین مولکول‌های زنده حیاتی بودند. فرضیه دوم بر مبنای پژوهش‌های جدید در زمینه همانندسازی ویروس‌ها شکل گرفته است. بر طبق این نظریه دانشمندان عقیده دارند که در مرحله تکامل شیمیایی پیدایش حیات، اسیدهای ریبونوکلئیک اولین مولکول‌های زیستی بوده‌اند، زیرا در آن زمان هم وظیفه ذخیره و انتقال اطلاعات ژنتیکی و هم نقش تسریع یا کاتالیز واکنش شیمیایی را برعهده داشته است. بعدها با پیدایش DNA دو رشته‌ای و پروتئین‌ها به ترتیب وظیفه ذخیره و انتقال اطلاعات و وظیفه کاتالیز واکنش‌ها از مولکول RNA به آنها محول شد. به RNAهای کاتالیتیکی که اغلب دارای ساختار ریبونوکلئوپروتئینی هستند اصطلاحاً ریبوزیم¹ اطلاق می‌شود. براساس هر دو فرضیه، اولین سلول‌ها اغلب به‌طور خودبه‌خودی و با کمک برهم‌کنش‌های ضعیف غیرکووالانسی (فیزیکی) در محلول‌های آبی شکل گرفته‌اند (Higgs, 2005).

حال این سؤال مطرح می‌شود که چرا مواد آلی که قبل از پیدایش جانداران به مقدار زیاد در آب‌های اقیانوس‌ها وجود داشتند، امروزه یافت نمی‌شوند؟ ظاهراً در ترکیب اتمسفر آن زمان و شرایط امروزی تغییراتی حاصل شده که باعث کاهش سرعت تشکیل مولکول‌های آلی به مرور زمان شده است. زیرا درجه حرارت زمین به تدریج کاهش یافته و گاز هیدروژن و مونواکسیدکربن توسط گاز اکسیژن، دی‌اکسیدکربن و نیتروژن جایگزین شدند. از این گذشته مواد آلی اولیه در سطح زمین توسط جانداران اولیه مصرف شده است و هنگامی که این مواد آلی کمیاب شدند جاندارانی که قادر بودند خود مولکول‌های زیستی را از مواد اولیه مانند آب، دی‌اکسیدکربن، نیتروژن و آمونیاک بسازند در سطح زمین بقا یافتند که نمونه‌ای از این جانداران گیاهان و باکتری‌های فتوسنتزکننده بودند. قبل از آنکه به تفصیل مبحث آشنایی با پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک را شروع کنیم در ابتدا به عناصر تشکیل‌دهنده ماکرومولکول‌های زیستی اشاره‌ای خواهیم کرد.

۲-۱ عناصر سازنده ماکرومولکول‌های زیستی و ارگانیزم‌های زنده

محتویات شیمیایی ارگانیزم‌های زنده با پوسته زمین تفاوت دارد. از بین تمام عناصر موجود در پوسته زمین چیزی حدود ۲۷ تای آنها در اشکال مختلف حیات حضور دارند. بیشتر عناصر سازنده بدن موجودات زنده عدد اتمی کوچک دارند به جز سه عنصر که عدد اتمی بالاتر از ۳۴ دارند. فراوان‌ترین عناصر در ارگانیزم‌های زنده، متناسب با فراوانی‌شان در پوسته زمین نیست، یعنی برای مثال کربن، هیدروژن، اکسیژن و نیتروژن ۹۹ درصد جرم سلول‌ها را تشکیل می‌دهد اما سه عنصر کربن (C)، نیتروژن (N) و هیدروژن (H) در مجموع کمتر از یک درصد جرم پوسته زمین را می‌سازند. به عبارتی حیات عناصر مورد نیاز خود را انتخاب کرده و فراوانی آنها را در اشکال مختلف خود بالا برده است. انواع عناصر در ارگانیزم‌های زنده، به سه دسته عمده تقسیم می‌شوند که عبارتند از:

دسته اول، شامل نیتروژن (N)، فسفر (P)، اکسیژن (O)، هیدروژن (H)، کربن (C) و گوگرد (S) می‌باشند. این شش عنصر به خاطر کوچک بودنشان و توانایی ایجاد پیوند کووالانسی قوی و انواعی دیگر از پیوندها، به عنوان مبنای ساختمانی مولکول‌های زیستی انتخاب شده‌اند و به همین دلیل به آنها عناصر ساختمانی^۱ می‌گویند.

دسته دوم، پنج عنصری هستند که به صورت یونی در سلول‌ها وجود دارند که عبارتند از: یون‌های کلسیم (Ca^{2+})، پتاسیم (K^{+})، جیوه (Hg^{2+})، سدیم (Na^{+}) و کلر (Cl). دسته اول و دوم عناصر، جزء عناصر ماکرو^۲ هستند؛ به این معنی که با مقادیر زیاد در سلول‌های زنده یافت می‌شوند.

دسته سوم؛ شامل ۱۶ عنصر ارسنیک (As)، آهن (Fe)، مس (Cu)، روی (Zn)، منگنز (Mn)، کبالت (Co)، ید (I)، مولیبدن (Mo)، وانادیوم (V)، نیکل (Ni)، کروم (Cr)، بور (B)، قلع (Sn)، سیلیسیم (Si)، سلنیم (Se)، فلوئور (F) می‌باشند. این دسته از عناصر را، با عنوان عناصر کمیاب^۳ می‌شناسند. بعضی از این عناصر با وجود سمی بودنشان برای انجام بعضی از اعمال حیاتی سلول‌ها با غلظتی کم ضروری می‌باشند؛ مثلاً اغلب کاتیون‌های فلزی در دهانه فعال اکثر آنزیم‌ها، ایفای نقش می‌کنند. عناصر

1. Structural elements

2. Macro elements = Bulk elements

3. Trace elements: Unique elements

قلیایی و قلیایی خاکی اغلب با بخش پروتئینی آنزیم‌ها اتصال ضعیف و برگشت‌پذیر دارند، در حالی که عناصر واسطه (اوربیتال d در حال پرشدن) به‌طور محکم و برگشت‌ناپذیر به آپوانزیم وصل می‌شود که در این حالت به آنها گروه پروستتیک می‌گویند مثل آهن در گروه هم^۱، کبالت در ویتامین B_{۱۲} (سیانوکوبالامین) و منیزیم در ساختمان کلروفیل. در بین عناصر، کربن به دلیل داشتن توانایی ایجاد پیوندهای یگانه، دوگانه و سه‌گانه از اهمیت خاصی برخوردار است. کربن در لایه ظرفیت خود چهار الکترون جفت نشده دارد؛ از این رو قادر است با چهار کربن دیگر یا چهار عنصر مختلف پیوند کووالانسی برقرار کند. چرخش آزاد حول پیوندهای یگانه بین کربن - کربن در پیکربندی مولکول‌های زیستی، ساختمان‌های فضایی یا صورت‌بندی‌های^۲ مختلفی را در آنها ایجاد می‌کند، در حالی که پیوندهای دوگانه و سه‌گانه در چرخش حول پیوند، محدودیت ایجاد می‌کنند.

ترکیبات شیمیایی سازنده ارگانیزم‌های زنده به ترکیبات غیرآلی (آب، نمک‌ها و یون‌ها) و آلی (پروتئین‌ها، کربوهیدرات‌ها یا قندها، لیپیدها یا چربی‌ها و اسیدهای نوکلئیک) تقسیم می‌شوند. بنابراین، در این بخش به بررسی ترکیبات غیرآلی و آلی می‌پردازیم.

۱-۲-۱ ترکیبات غیرآلی: ترکیبات غیرآلی مانند آب، نمک‌ها و یون‌ها در سلول سنتز نمی‌شوند بلکه عموماً توسط مکانیسم‌های سلولی خاص از محیط پیرامونی دریافت می‌شوند.

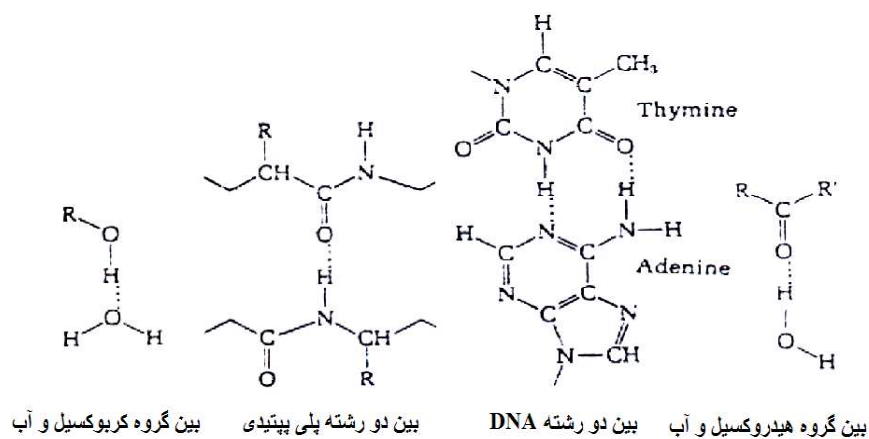
- آب

در ساختار مولکول آب اکسیژن و هیدروژن جزء فراوانترین عناصر بیوسفر به‌شمار می‌روند، حضور دارند. زاویه پیوندی در $H-O-H$ به‌خاطر هم‌بار بودن اتم‌های هیدروژن و نیروی دافعه الکتریکی بین آنها، زاویه پیوندی بیشتر از ۹۰ درجه، برابر ۱۰۴/۵ درجه می‌باشد. در مولکول آب توزیع بار مثبت و منفی سبب می‌شود وقتی دو مولکول آب مجاور هم قرار می‌گیرند بین آنها پیوند یا برهم‌کنشی به نام پیوند هیدروژنی به وجود آید. پیوند هیدروژنی پیوندی سست، جهت‌دار با ماهیت

1. Heme
2. Conformations

پیدایش حیات و خواص ماکرومولکول‌های زیستی ۹

الکترواستاتیک که در بدن موجودات زنده در بیشتر جاها مانند سیتوپلاسم، غشاء، غشاء اندامک‌ها و ماتریکس آنها به دو صورت درون‌مولکولی^۱ و بین‌مولکولی^۲ مشاهده می‌شود. پیوندهای هیدروژنی بین‌مولکولی در بین مولکول‌های آب یا بین مولکول آب و بخش‌هایی از ماکرومولکول‌های زیستی برقرار می‌شوند و در پایداری و شکل‌دهی به‌ویژه شکل‌دهی سطحی ساختارهای زیستی نقش مؤثری دارند. پیوندهای هیدروژنی درون‌مولکولی در بین اتم‌های سازنده یک ماکرومولکول زیستی ظاهر می‌شوند و در پایداری و شکل‌دهی ساختاری آن نقش بازی می‌کنند. شکل ۲-۱ نمونه‌هایی از پیوندهای هیدروژنی بین گروه‌های مختلف در سیستم‌های زیستی را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۱. نمونه‌هایی از پیوندهای هیدروژنی

وقتی دو مولکول آب مجاور یکدیگر واقع می‌شود اولین پیوند هیدروژنی با انرژی پیوندی ۴/۵ کیلوکالری بر مول شکل می‌گیرد. ایجاد این پیوند منجر به تغییراتی در ابر الکترونی مولکول آب می‌شود به نحوی که برای شکل‌گیری دومین پیوند هیدروژنی با مولکولی دیگر، تمایل ایجاد می‌شود. باید دانست انرژی هر پیوند هیدروژنی برابر ۴/۵ کیلوکالری بر مول است اما با افزایش تعداد این پیوندها، انرژی کل پیوندها از مجموع تک‌تک آنها بسیار بیشتر می‌شود. به‌طوری که انرژی لازم برای گسستن پیوندهای هیدروژنی ۲۰ کیلوژول به‌ازای هر مول است این افزایش در اثر

1 Intramolecular
2 intermolecular