



## فصل ۱

# مقدمه

### ۴ / بیوفیزیک به زبان ساده

فهم این کتاب با فرض آشنایی شما با اطلاعات پایه‌ی علوم فیزیکی است. برای این منظور من فرض می‌کنم که شما در حد پیش دانشگاهی، با فیزیک و شیمی آشنا هستید.

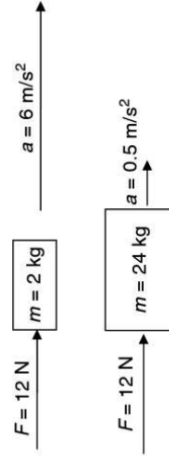
در این جا به ذکر چند مثال می‌پردازیم. به عنوان مثال معادله‌ی زیر را در نظر بگیرید:

$$F = ma \quad (۱-۱)$$

شما باید با این معادله آشنا باشید. طبق این معادله اگر بر جسمی به جرم  $m$  نیروی  $F$  وارد کنید، باعث شده‌اید که جسم شتاب  $a$  بگیرد.

به علاوه این معادله بیان می‌کند که به ازای هر نیروی دلخواه  $F$  که به جرم  $m$  وارد می‌شود، بزرگی شتاب همواره مقداری خواهد بود که در این معادله صدق کند. این به آن معناست که اگر به جرم بزرگ تری همان نیروی  $F$  وارد شود، جسم شتاب کم تری می‌گیرد، به طوری که همواره حاصل ضرب جرم جسم در شتاب آن، برابر با همان نیروی  $F$  می‌شود. هم‌چنین اگر همان نیرو بر جرم کوچک تری وارد شود، شتاب بیش تری ایجاد می‌کند.

مثلا اگر نیروی  $۱۲$  نیوتن بر جسمی به جرم  $۲$  کیلوگرم وارد شود، شتاب جسم  $۶$   $m/s^2$  به دست خواهد آمد. یعنی تا زمانی که این نیرو بر جسم اعمال می‌شود پس از  $۱$  ثانیه سرعت جسم به  $۶$   $m/s$  خواهد رسید، پس از  $۲$  s به  $۱۲$   $m/s$ ، پس از  $۳$  s به  $۱۸$   $m/s$  و الی آخر. اما اگر همین نیروی  $۱۲$  نیوتنی را به جسم بزرگ تری مثلا با جرم  $۱۲$   $Kg$  وارد کنیم، جسم شتاب بسیار کم تری به خود می‌گیرد یعنی تنها  $\frac{۱}{۲}$   $m/s^2$  (تصویر ۱-۱ را ببینید)



**تصویر ۱-۱** اگر نیروهای یکسان را بر جرم‌های مختلف وارد کنیم، جسم پر جرم تر شتاب کم تری می‌گیرد.

اگر بخواهیم کمی دقیق تر به مثال بالا بپردازیم، رابطه‌ی ۱-۱ را باید چنین بنویسیم:

$$F = ma \quad (۲-۱)$$

## بیوفیزیک چیست؟

به طور مختصر و مفید می‌توان گفت که بیوفیزیک، فیزیک زیست‌شناسی است؛ درست مانند آستروفیزیک که فیزیک نجوم است و فیزیک هسته‌ای که فیزیک هسته‌های اتم‌ها است.

این به چه معنا است؟ و فیزیک زیست‌شناسی یعنی چه؟ فیزیک، دانش مطالعه‌ی ماده و انرژی است. بیوفیزیک در پی فهم آن است که چگونه قوانین ماده و انرژی در دستگاه‌های زنده به کار می‌رود. به زبان دیگر می‌توان چنین گفت که بیوفیزیک از اصول، نظریه‌ها و روش‌های فیزیکی برای زیست‌شناسی بهره می‌برد.

## پیش‌نیازهای بیوفیزیک

بیوفیزیک دانشی بین رشته‌ای است. می‌توان گفت فیزیک، شیمی، زیست‌شناسی و ریاضیات، در بیوفیزیک به هم می‌رسند. یعنی برای فهم آن باید اطلاعات پایه‌ای از زیست‌شناسی، فیزیک، شیمی و ریاضی داشت. در عمل، بیوفیزیکدان‌ها موجودات زنده را در سطح مولکولی مورد بررسی قرار می‌دهند؛ اما بیوفیزیک بررسی فیزیکی موجودات زنده در سطح فیزیولوژی، آناتومی و محیط زیست را نیز شامل می‌شود. از آن جا که این کتاب، بیوفیزیک به زبان ساده است تا شما را با این دانش آشنا کند، پس تا حد امکان مطالب مورد نیاز بیوفیزیک را مرور خواهیم کرد.

<sup>1</sup> Astrophysics

<sup>2</sup> Nuclear physics

توجه داشته باشید که  $F$  و  $a$  در این جا ضخم (بولد) نوشته‌ام زیرا بردار هستند. کمیت برداری کمیتی است که علاوه بر بزرگی، جهت نیز دارد. هر نیرو در جهت نیروی خاصی اعمال می‌شود. شتاب نیز در جهت خاصی ایجاد می‌گردد. طبق این رابطه، شتاب در جهت نیروی اعمال شده به جسم ایجاد خواهد شد. اما جرم جسم کمیتی برداری نیست بلکه کمیتی نرده‌ای است، یعنی تنها دارای بزرگی است.

مطلب بالا باید برای شما آشنا باشد. اگر هم فراموش کرده‌اید کم باید آن‌ها را دوباره به خاطر آورید. (شاید همه‌ی این مطالب را می‌دانید و به این می‌اندیشید که این مطالب چه ارتباطی با بیوفیزیک دارد؟)

در مثالی دیگر، واکنش زیر را در نظر بگیرید:



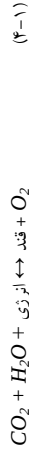
مفهوم واکنش شیمیایی و روش نشان دادن آن به این شکل، در بسیاری از مواقع لازم است و کار ساده می‌کند. معادله‌ی ۳-۱ به این معنی است که دی‌اکسید کربن و آب می‌توانند با هم واکنش داده و قند و اکسیژن تولید کنند. این همان واکنشی است که طی آن گیاهان انرژی نور خورشید را گرفته و آن را طی واکنش فتوسنتز در پیوندهای شیمیایی مولکول‌های قند ذخیره می‌کنند.

بهر است واکنش بالا را دو طرفه نشان دهیم، یعنی



علامت دو طرفه به این معنی است که واکنش می‌تواند در هر دو جهت انجام شود. در گیاهان از طرف چپ واکنش به طرف راست آن، دی‌اکسید کربن و آب با هم ترکیب می‌شوند و اکسیژن و قند را تولید می‌کنند. عکس واکنش بالا یعنی از راست به چپ، واکنشی است که باعث آزاد شدن انرژی با فرایند سوختن یا اکسیداسیون قند می‌شود. در موجودات زنده، این واکنش تنفس [سلولی] نامیده می‌شود. با این روش موجودات زنده از انرژی ذخیره شده برای کارهایی مثل حرکت، رشد و غیره استفاده می‌کنند.

به منظور تأکید بر این واقعیت که برای ترکیب شدن آب و دی‌اکسید کربن انرژی مورد نیاز است و هنگام اکسید شدن قند، انرژی آزاد می‌شود، بهتر است انرژی را نیز در این واکنش وارد کنیم:



شما باید با مفاهیم نیروها و واکنش‌های شیمیایی تا حدی که در بالا بحث شد، آشنا باشید.

اگر شما با مسائل شیمی و فیزیک این کتاب مشکل دارید، پیشنهاد می‌کنم مطالعاتی در شیمی و فیزیک مقدماتی داشته باشید.

## تاریخچه ی بیوفیزیک

دانش بیوفیزیک چقدر عمر دارد؟ اگر بیوفیزیک را ریشه‌های جداگانه در نظر بگیریم، به نسبت جدید است. در یک نگاه کلی، بیوفیزیک بسیار نوین تر از فیزیک، شیمی، ریاضی و زیست‌شناسی است اما مهندسی ژنتیک و علوم رایانه نوین ترند.

اگرچه بررسی فیزیکی موجودات زنده به طور برآکنده در گذشته انجام شده است، اما وقتی از بیوفیزیک به عنوان یک رشته‌ی مستقل یاد می‌شود، حدود ۶۰ تا ۱۰۰ سال قدمت دارد.

نخستین بار واژه‌ی بیوفیزیک در سال ۱۸۹۲ در کتاب دستور زبان علم نوشته کارل بیرون<sup>۱</sup> استفاده شده است. در این کتاب بیرون نیاز به دانشی جدید به نام بیوفیزیک را یاد آور می‌شود. به گفته‌ی بیرون «خواننده ممکن است به این نتیجه برسد که تقسیم بندی‌های علم کامل شده است، اما هنوز شاخه‌های از علم هست که تعریف و دسته بندی نشده است».

او توضیح می‌دهد که شاید به ظاهر ارتباطی بین فیزیک و زیست‌شناسی نباشد، اما خاطر نشان می‌کند که: «... بنا بر این شاخه‌ای از علم مورد نیاز است تا قوانین پدیده‌های جهان غیر زنده - فیزیک - را در مورد جهان زنده به کار برد». او برای این شاخه‌ی علم واژه‌ی بیو-فیزیک را پیشنهاد می‌کند.

اگرچه واژه‌ی بیوفیزیک به نام بیرون ثبت شد، اما ما بلیم که تولد بیوفیزیک را به مقالاتی که توسط اروین شرودینگر<sup>۲</sup> در سال ۱۹۲۳ ارائه شد نسبت دهیم. شرودینگر جایزه نوبل فیزیک را در سال ۱۹۲۳ برای تحقیقاتش در مکانیک کوانتوم برد. در دهه‌ی ۱۹۳۰ معدودی از فیزیکدانان توجه خود را به بررسی‌های زیست‌شناسی و بیوشیمی معطوف نمودند. پس از آن در فوریه ۱۹۴۳ شرودینگر مقاله‌ی مشهور خود را با عنوان «حیات چیست» ارائه داد. این مقالات عصر جامعه جهان مشهور بود که می‌بایست دوشنبه نیز تکرار می‌شد تا کسانی که موفق به شنیدن نشده بودند نیز از آن بهره ببرند. یک سال بعد مجموعه‌ی آن مقالات در کتابی با نام «حیات چیست؟ جنبه‌های فیزیکی موجودات زنده» چاپ شد.

<sup>۱</sup> Karl Pearson

<sup>۲</sup> Erwin Schrödinger

در سال ۱۹۵۷ انجمن بیوفیزیک تأسیس شد. از آن زمان هرروزه علاقه به بیوفیزیک افزایش یافته است. تا اوایل دهه ۱۹۸۰، دانشگاه‌هایی که در مقطع تحصیلات تکمیلی، رشته بیوفیزیک را دانشنامه‌اند معدود بود و به ندرت دانشگاهی این رشته را در سطح کارشناسی داشت. امروزه بیش از ۶۰ دانشگاه در سطح کارشناسی، رشته بیوفیزیک دارند و انجمن بیوفیزیک ۹۰۰۰ عضو دارد.

## گستره و سرفصل‌های بیوفیزیک

بیوفیزیک دانشی وسیع است و گستره وسیعی از فعالیت‌ها را نیز شامل می‌شود. برای درک گسترده‌گی می‌توان به این موارد اشاره نمود:

- مطالعه نیروهای بین اتم‌ها که شکل مولکول‌های DNA و پروتئین‌ها را تعیین می‌کنند.
- توسعه الگوریتم‌های رایانه‌ای برای تجزیه و تحلیل و نشان دادن شکل سه بعدی مغز هنگام جراحی.
- تحقیق و مقایسه مکانیک حرکات اندام‌های بدن یا جریان خون در موجودات زنده‌ی مختلف.
- بررسی اثرهای رادیو اکتیو یا بر تئوری محیط زیست.

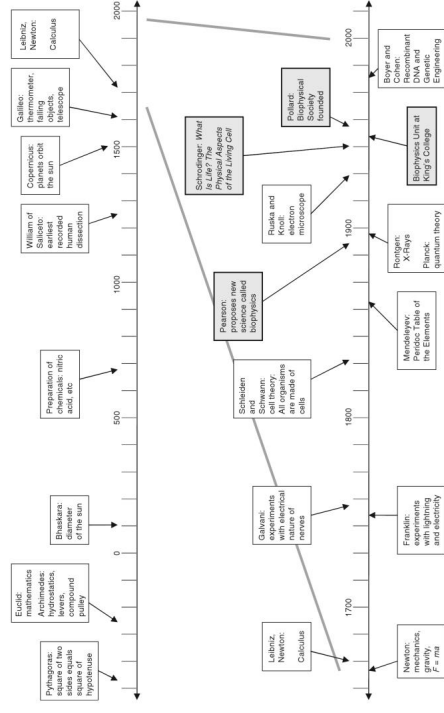
راه‌های زیادی برای تقسیم بندی فعالیت‌های رشته بیوفیزیک وجود دارد. یکی از راه‌های سنتی تقسیم بندی زمینه‌های بیوفیزیک، توجه به اندازه موضوع مورد تحقیق است. برای مثال ممکن است مولکول‌ها، سلول‌ها یا یک موجود زنده را بررسی کنیم. راه معمول و مفید دیگر تأکید بر روش به کار رفته است. از این نظر، می‌توانیم شاخه‌های مختلف بیوفیزیک را در شش زمینه قرار دهیم:

- ۱- سرفصل‌های بیوفیزیک بر اساس اندازه موضوع:
  - ۱- بیوفیزیک سلولی و مولکولی
  - ۲- بیوفیزیک فیزیولوژی و آناتومی
  - ۳- بیوفیزیک محیطی
- ۲- روش‌های بیوفیزیکی و کاربردها:
  - ۲- روش‌های عمومی بیوفیزیک
  - ۵- بیوفیزیک بر تو نگاری
  - ۶- بیوفیزیک پزشکی

این مقالات و کتاب، تأثیر عمده‌ای بر چندین دانشمند مشهور آن زمان گذاشت. تنها چند سال بعد در سال ۱۹۴۶، انجمن تحقیقات پزشکی کالج پادشاهی لندن، واحد تحقیقات بیوفیزیک را در آن جا تأسیس نمود.

هدف آن‌ها استفاده از فیزیکدان‌ها و کار بر روی پرسش‌های مهم زیست‌شناسی بود. موریس ویکلین<sup>۵</sup> فیزیکدان و روزالیند فرانکلین<sup>۶</sup> شیمی - فیزیکدان دو محقق بودند که در آن جا به هم پیوستند تا بیوفیزیکدان شوند. یعنی در زمینه بیوفیزیک تحقیق کنند. در کالج پادشاهی بود که آن‌ها از برنارد لاکس برای مطالعه ساختار DNA استفاده کردند.

علاقه به بیوفیزیک در فیزیکدانان ذرات در دانشگاه کمبریج، فرانسیس کریک<sup>۷</sup> نیز پدید آمد. او خیلی زود به چیزها و اکتشافات زیست‌شناسی پیوست. در سال ۱۹۵۲، واتسون و کریک، یکی از مهم‌ترین کشفیات آن زمان را با استفاده از اطلاعات برایش بر تو ایگس که توسط روزالیند فرانکلین فراهم شده بود به انجام رساندند.



تصویر ۱-۲ تاریخچه علم بیوفیزیک

<sup>5</sup> Maurice Wilkins  
<sup>6</sup> Rosalind Franklin  
<sup>7</sup> Francis Crick

دو فصل بعد به توضیح کلی سر فصل هایی که در بالا اشاره کردیم اختصاص دارد. هدف این دو فصل ارائه دیدگاهی کلی در مورد بیوفیزیک و آشنایی شما با فرهنگ اصطلاحات این رشته است. این امر به درک جزئیاتی که در فصل های پس از آن خواهد آمد کمک می کند. در این کتاب واژه هایی را که لازم است فرا بگیرید، هر جا که برای نخستین بار آمده بصورت/براینک (کج نویسی) آورده شده است. این واژه ها در بخش واژه نامه نیز آورده شده است.

## فصل آزمایشی

در صورت لزوم به متن این فصل مراجعه کنید. پاسخ ها در پایان کتاب آمده است.

۱- جسمی به جرم  $3 \text{ kg}$  ساکن است. بر این جسم نیروی ثابت  $12 \text{ N}$  وارد می شود و به آن شتاب  $3 \text{ m/s}^2$  می دهد. پس از  $5$

سرعت جسم برابر است با:

(الف)  $12 \text{ m/s}$  (ب)  $15 \text{ m/s}$  (ج)  $20 \text{ m/s}$  (د)  $30 \text{ m/s}$

۲- یک چینی متوسط ( $50 \text{ kg}$ ) می تواند تنها در مدت  $3$  از حال سکون به سرعت  $30 \text{ m/s}$  برسد. اگر نیروی ماهیچه های پای این چینی را ثابت فرض کنیم، نیروی لازم برای ایجاد این شتاب ( $10 \text{ m/s}^2$ ) چه قدر است؟

(الف)  $50 \text{ N}$  (ب)  $150 \text{ N}$  (ج)  $300 \text{ N}$  (د)  $500 \text{ N}$

۳- اگر یک چینی از حال سکون، با شتاب  $10 \text{ m/s}^2$  شروع به حرکت کند و پس از  $3$  ثانیه به بیشینه ی خود برسد، در این مدت چه مسافتی می پیماید؟

(الف)  $45 \text{ m}$  (ب)  $30 \text{ m}$  (ج)  $15 \text{ m}$  (د)  $10 \text{ m}$



۴- مهم ترین منبع انرژی جانوران، کربوهیدرات ها (قندهای) گیاهی است. این انرژی در اصل از کجا آمده است؟

(الف) گیاهان انرژی لازم را با استفاده از ریشه از زمین می گیرند.

(ب) انرژی پتانسیل در دانه، پیش از رشد گیاهان وجود دارد.

(ج) گیاهان اکسیژن را در شب و دی اکسید کربن را در روز تنفس می کنند.

(د) فتوسنتز، انرژی پرتو خورشید را گرفته و در پیوندهای شیمیایی ذخیره می کند.

۵- معادله ی شیمیایی روش نشان دادن یک واکنش شیمیایی است. علامت دوطرفه در واکنش شیمیایی به این معنا است که:

(الف) ما اطمینانی در مورد انجام پذیری واکنش شیمیایی نداریم.

(ب) واکنش شیمیایی در تعادل است.

(ج) واکنش هم به شیمی مربوط است و هم به فیزیک.

(د) واکنش در هر دو جهت می تواند انجام شود.

۶- اکتفا کشف ساختار مارپیچ دورشته‌ای DNA در سال ۱۹۵۳ نصیب واتسن و کریک شد، اما آن‌ها این کشف را بر اساس اطلاعاتی که روزآیند فرانکلین در مرکز تحقیقات بیوفیزیک کالج کیچینگ لندن به دست آورده بود به انجام رساندند. او چه اطلاعاتی را به دست آورده بود؟

الف) اندازه گیری دمای بلورهای DNA.

ب) تصویرهای میکروسکوپی الکترونی.

ج) پراش پرتو X.

د) تشدید مغناطیسی.

۷- بیوفیزیک دانشی بین رشته‌ای است. این جمله به چه معنا است؟  
الف) بیوفیزیک جنبه‌های درونی موجودات زنده را بررسی می‌کند.

ب) بیوفیزیک رشته‌های زیادی را شامل می‌شود.

ج) بیوفیزیک به سختی دانش‌هایی مثل فیزیک و زیست‌شناسی نیست.

د) بیوفیزیک دانش‌های فیزیک، شیمی و زیست‌شناسی را در یک دانش قرار می‌دهد.

۸- دو راه معمول و راحت تقسیم بندی شاخه‌های مختلف بیوفیزیک عبارتند از:

الف) اندازه‌ی آن چه را که بررسی می‌کنیم و روش‌های مورد استفاده.

ب) اندازه‌ی آن چه را که بررسی می‌کنیم و ریاضیات مورد استفاده.

ج) روش‌های مورد استفاده و کاربرد آن‌ها.

د) روش‌های مورد استفاده و درصد فیزیک، شیمی، زیست‌شناسی و ریاضیات استفاده شده.

## بیوفیزیک مولکولی و سلولی

رایج ترین گرایش بیوفیزیک گرایشی است که به عملکرد مولکول‌ها و اجزای سلولی می‌پردازد. این بخش از بیوفیزیک گاهی فیزیک بیوشیمیایی<sup>۹</sup>، بیوشیمی فیزیکی<sup>۱۰</sup> یا شیمی بیوفیزیکی<sup>۱۱</sup> نیز نامیده می‌شود. این سه اصطلاح یک معنی دارند و آن بیوفیزیک مولکولی و سلولی است. در این گرایش، زیست‌شناسی، شیمی و فیزیک به هم می‌رسند. در این گرایش بیوفیزیک سر فصل‌های زیر را خواهیم داشت:

### ساختار و صورت‌بندی مولکول‌های زیستی

این گرایش بیوفیزیک به تعیین ساختار، اندازه و شکل مولکول‌های زیستی می‌پردازد. پیش‌تر مولکول‌های زیستی پلی‌مرد پلی‌مر (تسپار)<sup>۱۲</sup> مولکول بزرگی است که از اتصال مولکول‌های کوچک‌تر ساخته شده است. هر یک از این مولکول‌های کوچک را **یاقی‌مانده**<sup>۱۳</sup> می‌نامند. (یعنی وقتی پلی‌مر را تجزیه می‌کنیم این مولکول‌ها باقی می‌مانند). باقی‌مانده‌های تشکیل دهنده پلی‌مر گاه یکسانند مثل زنجیری که از مهره‌های یکسان تشکیل شده باشد. گاهی نیز باقی‌مانده‌های تشکیل دهنده پلی‌مر مجموعه‌ای از مولکول‌های شبیه به همدند، آتا به طور دقیق یکسان نیستند. زنجیری را تصور کنید که از اتصال مهره‌های متفاوتی تشکیل شده باشد؛ مثل دایره‌ها، مثلث‌ها، مربع‌ها و مستطیل‌ها. **پولی‌مرها** یا همان **پلی‌مرهای زیستی** به این مورد دوم شبیهند. یعنی باقی‌مانده‌های آن‌ها به هم شبیهند، آتا یکسان نیستند. برای مثال پروتئین‌ها از اتصال مولکول‌های کوچک‌تری به نام **آمینواسیدها** ساخته شده‌اند. در این جا به جزئیات ساختاری آمینواسیدها نمی‌پردازیم. تمام چیزی که لازم است بدانید این است که پروتئین‌ها از آمینواسیدها تشکیل شده‌اند و در حدود ۲۰ آمینواسید مختلف در ساختار پروتئین‌ها یافت شده است. تعداد مختلفی از این ۲۰ آمینواسید می‌توانند به هم متصل شوند و پروتئین‌های مختلف را بسازند. درست مانند ۲۶ حرف الفبای انگلیسی که با قرار گرفتن در کنار هم با تعداد و توالی متفاوت، واژگان و جمله‌های گوناگونی می‌سازند.

<sup>9</sup> Biochemical physics

<sup>10</sup> Physical biochemistry

<sup>11</sup> Residue

<sup>12</sup> Biophysical chemistry



## فصل ۲

# سر فصل‌های بیوفیزیک

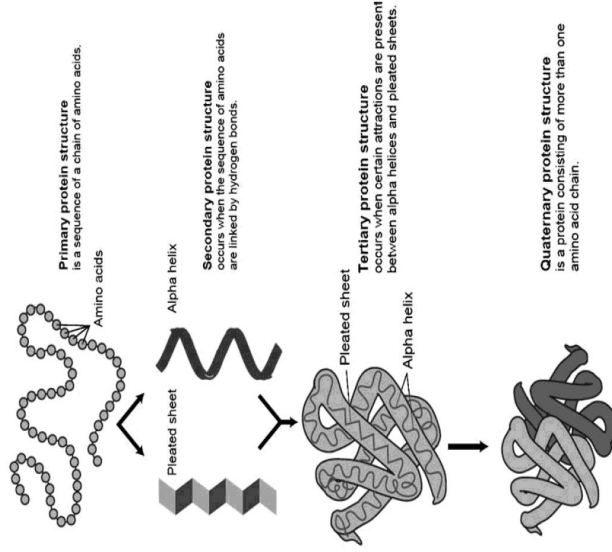
در این فصل نگاهی کلی به سر فصل‌های بیوفیزیک خواهیم داشت. از این دیدگاه سه میث اصلی بیوفیزیک داریم: بیوفیزیک مولکولی و سلولی، بیوفیزیک آناتومی و بیوفیزیک محیطی.

### هدف‌های فصل

آن‌چه در این فصل می‌آموزید:

- درکی از دامنه وسیع بیوفیزیک
- آشنایی با بعضی از اصطلاحات بیوفیزیک و چگونگی به کار بردن این اصطلاحات در شاخه‌های مختلف بیوفیزیک.
- سر فصل‌های بیوفیزیک که عبارتند از:
  - 0 بیوفیزیک مولکولی و سلولی
  - 0 بیوفیزیک فیزیولوژی و آناتومی
  - 0 بیوفیزیک محیطی
- ارتباط بین سر فصل‌های مختلف بیوفیزیک

به خاطر داشته باشید در این کتاب هر جا که برای نخستین بار از واژه‌ای تخصصی نام برده شود آن را به صورت مخفف نویسی (*لترنیک*) آورده‌ام و در پایان کتاب نیز آن‌ها را فهرست کرده‌ام.



تصویر ۲-۱ چهار سطح ساختاری در پروتئین هموگلوبین.

### ۱۸ رابطه‌های ساختار- عملکرد

پس از تعیین شکل و ساختار مولکول‌های زیستی، باید مشخص شود که کدام بخش مولکول در عملکرد زیستی آن نقش دارد و چه تغییراتی در شکل و ساختار مولکول، فعالیت زیستی آن را تغییر می‌دهد. هنگامی که بخشی خاصی از مولکول یا مجموعه درگیر عملکرد ویژه‌ای باشند، آن بخش مولکول را **جایگاه فعال**<sup>۱۸</sup> مولکول می‌نامند. البته امکان دارد هر مولکول یا مجموعه، بیش از یک جایگاه فعال داشته باشد.

<sup>18</sup> Structure Function Relationships

<sup>19</sup> Active site

چهار سطح ساختاری در مولکول‌های زیستی وجود دارد: ساختار اول، ساختار دوم، ساختار سوم و ساختار چهارم.

ساختار اول<sup>۱۴</sup> مشخص می‌کند که چه اتم‌ها یا گروه‌هایی از اتم‌ها در ساختار یک مولکول به کار رفته‌اند. در مورد پلی‌مرها، منظور از ساختار اول، نظم و تعداد باقی‌مانده‌های تشکیل‌دهنده‌ی آن پلی‌مر است نه اتم‌های تشکیل‌دهنده آن.

ساختار دوم<sup>۱۵</sup> به اولین سطح ساختار سه بعدی پلی‌مر اشاره دارد. برای مثال یک مولکول یا بخشی از یک مولکول ممکن است شکلی شبیه مارپیچ و یا صفحه‌های چین‌دار به خود بگیرد.

ساختار سوم<sup>۱۶</sup> به این واقعیت اشاره دارد که بخش‌های مارپیچ مانند یا صفحه‌مانند می‌توانند روی هم تا بخورد و در نهایت شکلی کروی را بسازد.

ساختار چهارم<sup>۱۷</sup> به مواردی اشاره دارد که دو یا چند ساختار سوم به هم نزدیک می‌شوند تا مولکول یا مجموعه‌ی بزرگ‌تری را بسازند. در مورد مثال پالان؛ مثل این است که از چند پالان استفاده کنیم تا مجموعه‌ای از پالان را بسازیم.

همه مولکول‌های زیستی این چهار سطح ساختاری را ندارند. مولکول‌های کوچک (مثل یک قند یا یک آمینواسید) تنها ساختار اول و دوم را دارند. بیوبلی‌مرها تا سطح ساختار سوم را داشته و گاهی اوقات ساختار چهارم را نیز دارند. بررسی ساختار و صورت‌بندی مولکول‌های زیستی، به عنوان شاخه‌ای از بیوفیزیک، شامل تجزیه و تحلیل نیروها و انرژی مورد نیاز مولکول‌ها برای رسیدن به شکل اختصاصی خود می‌شود. با این اطلاعات، بیوفیزیکدان‌ها مدل‌های هندسی و ریاضیاتی را ارائه کرده‌اند که می‌توان با آن‌ها ساختار دوم و سوم را با استفاده از ساختار اول پیش‌گویی کرد.

<sup>14</sup> Primary structure

<sup>15</sup> Secondary structure

<sup>16</sup> Tertiary structure

<sup>15</sup> Secondary structure

<sup>17</sup> Quaternary structure

**گذارهای صورت‌بندی مولکول‌ها**  
 منظور از گذارهای صورت‌بندی<sup>۲۱</sup> به زبان ساده، تغییر در شکل مولکول است. اگرچه واژه صورت‌بندی<sup>۲۱</sup> می‌تواند به معنی ساختار یا شکل باشد، اما در این جا بیش‌تر به معنی شکل مولکول است. به خصوص چندمان سه بعدی اتم‌ها در مولکول‌ها (ساختار دوم، سوم و چهارم) است.

مولکول‌های زیستی اغلب به علت کاری که باید انجام دهند، شکل خود را تغییر می‌دهند. برای مثال مارپیچ دورنمای DNA باید به طور موقت باز شود تا اطلاعات ژنتیکی آن خوانده شده و بتواند خود را برای نسل بعد تکثیر کند. بیوفیزیکدان‌ها از روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری تغییرات صورت‌بندی مولکول‌های زیستی، اندازه‌گیری انرژی این تغییرات، تعیین رابطه بین صورت‌بندی‌های مختلف و نقش زیستی هر یک از آن‌ها استفاده می‌کنند. در آزمایشگاه نیز می‌توان این تغییرات صورت‌بندی را در مولکول‌های زیستی ایجاد کرد، هم تغییراتی که به طور طبیعی در مولکول‌های زیستی رخ می‌دهد، و یا این که رخ نمی‌دهد. در هر دو مورد، گذارهای القا شده در صورت‌بندی می‌تواند دانش ما را از نیروهای مؤثر در این تغییرات افزایش دهد و در نهایت برای بهبود روش‌های تشخیصی و درمانی مفید واقع شود.

### اتصال لیگاند و اتصال بین مولکولی

یکی از موضوع‌های مشهور در بررسی عملکرد اجزای سلولی، اتصال مولکول‌ها با یکدیگر است. گاهی، مولکول‌ها به طور تدریج هم‌اندازه‌اند و به هم متصل می‌شوند تا مجموعه‌ای<sup>۲۲</sup> بزرگ‌تر بسازند (ساختار چهارم). هر یک از مولکول‌های این مجموعه، زیرواحد<sup>۲۳</sup> نامیده می‌شود. به عنوان مثال، هموگلوبین مجموعه‌ای پروتئینی بزرگی است که اکسیژن را در خون از شش‌ها به سلول‌های بدن حمل می‌کند. هموگلوبین از چهار زیر واحد پروتئینی متصل به هم تشکیل شده است.

نمونه دیگری از اتصال مولکولی، متصل شدن مولکولی کوچک به مولکولی بزرگ‌تر است. در چنین مواردی، مولکول کوچک‌تر را لیگاند می‌نامیم. لیگاند<sup>۲۴</sup>، مولکول کوچک‌تر یا اتمی است که به مولکول بزرگ‌تر متصل می‌شود.

<sup>22</sup> Complex

<sup>23</sup> Conformation

<sup>24</sup> Ligand

<sup>25</sup> Conformational transition

<sup>26</sup> Subunit

برای انتقال اکسیژن از شش‌ها به سلول‌های بدن، اکسیژن در شش‌ها به هموگلوبین متصل می‌شود و سپس در بافت‌های بدن از آن جدا می‌گردد؛ در این مثال اکسیژن یک لیگاند است.

گاهی ممکن است واژه لیگاند در مورد هر گونه اتصال دو مولکول به کار رود. (حتی اگر اندازه دو مولکول متفاوت نباشد). در این کتاب واژه لیگاند را تنها برای اتصال اتم یا مولکول کوچک‌تر به مولکول بزرگ‌تر استفاده می‌کنیم. ما در مواردی که اندازه‌ی مولکول‌هایی که به هم متصل می‌شوند، تفاوت چندانی با هم نداشته باشند، اصطلاح‌های کلی تر اتصال مولکولی<sup>۲۵</sup>، اتصال زیر واحد<sup>۲۶</sup> یا به زبان ساده‌تر اتصال<sup>۲۷</sup> را به کار می‌بریم.

بیوفیزیکدان‌ها از اتصال لیگاند و اتصال‌های بین مولکولی به منظور اندازه‌گیری و فهم موارد زیر استفاده می‌کنند:

- نیروها و انرژی این اتصال‌ها
- میان‌کنش بین جاهگاه‌های اتصال مختلف
- چگونگی تأثیر تغییرات مولکول‌ها بر اتصال
- رابطه بین اتصال و تغییرات صورت‌بندی
- رابطه بین اتصال و عملکرد زیستی مولکول
- رقابت بین لیگاندهای مختلفی که می‌توانند به یک مولکول متصل شوند
- سرعت اتصال و عوامل مؤثر بر آن

### انتشار و انتقال مولکولی

این شاخه‌ی بیوفیزیک به مطالعه‌ی چگونگی حرکت و جابه‌جایی مولکول‌ها در سلول و چگونگی انتقال مولکول‌ها از بیرون به درون سلول و برعکس آن می‌پردازد. در شماره‌ها، مولکول‌ها پیوسته در حال حرکتند و به طور تصادفی با هم برخورد می‌کنند و به هم تله می‌زنند. در انتشار یا پخش<sup>۲۸</sup>، فرایند پراکنده شدن مولکول‌ها به اطراف، به علت حرکت‌های تصادفی آن‌ها است. منظور از پراکنده شدن این است که مولکول‌ها تنها به علت

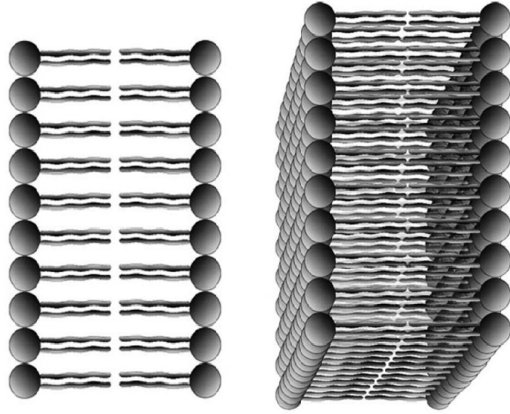
<sup>26</sup> Subunit binding

<sup>27</sup> Diffusion

<sup>25</sup> Molecular binding

<sup>28</sup> Binding



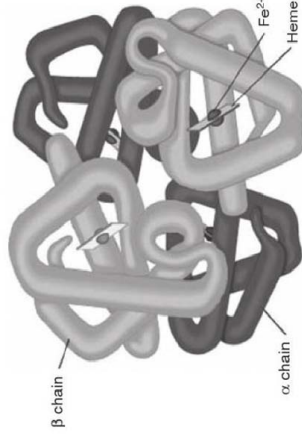


تصویر ۲-۳ مولکول‌های لیپید می‌توانند طوری قرار گیرند که تشکیل دولایه (بافت اصلی غشای سلول) دهند.

مولکول‌های لیپید دراز و کشیده‌اند که در یک انتهای خود، سر دارند. شکل و ویژگی‌های فیزیکی مولکول‌های لیپیدی باعث می‌شود آن‌ها به سمت هم بپیوندند و دولایه<sup>۳۱</sup> را تشکیل دهند به طوری که سر مولکول‌های لیپیدی در دو سوی دولایه و دم دراز آن‌ها به سمت داخل دولایه قرار می‌گیرد.

غشاهای جابه‌جایی مولکول‌ها به درون و بیرون سلول و هم‌چنین از یک نقطه‌ی سلول به نقطه‌ی دیگر را محدود و کنترل می‌کنند. به علاوه، غشاهای می‌توانند با کنترل ورود و خروج یون‌ها در دو سوی خود پتانسیل الکتریکی ایجاد کنند. فهم فیزیک لیپیدها و غشاهای می‌تواند به ما کمک کند که رفتار غشای در شرایط مختلف را دانسته و پیش‌گویی کنیم.

<sup>31</sup> Bilayer



تصویر ۲-۲ هموگلوبین مجموعه‌ای از چهار زنجیره واحد است. این چهار زنجیره واحد دو به دو با هم یکسازند (دو زنجیره واحد  $\alpha$  و دو زنجیره واحد  $\beta$ ). اتصال مولکولی این چهار زنجیره واحد را در کنار هم نگه داشته است. اتصال لیگاند هنگامی رخ می‌دهد که اکسیژن به هموگلوبین متصل می‌گردد. هر یک از زنجیره‌ها دارای هم است که در آن اتم آهن به کتر رفته و می‌تواند به اکسیژن متصل شود.

حرکت‌های تصادفی، از نقاط  $\beta$  تراکم (که مولکول‌ها به هم نزدیک‌ترند) به نقاط  $\alpha$  تراکم (که مولکول‌ها از هم فاصله دارند) جابه‌جا می‌شوند. دانش فیزیک حاکم بر پیش‌روی می‌تواند با ریاضیات توضیح داد و از آن برای درک بهتر و پیش‌گویی فعالیت‌های زیستی سلول استفاده کرد.

منظور از پیش‌روی در وهله‌ی نخست برانگیز شدن مولکول‌های داخل سلول است. با این حال چنان‌که خواهیم دید، موجودات زنده راه‌های دیگری نیز برای انتقال مواد دارند.

### بیوفیزیک غشای

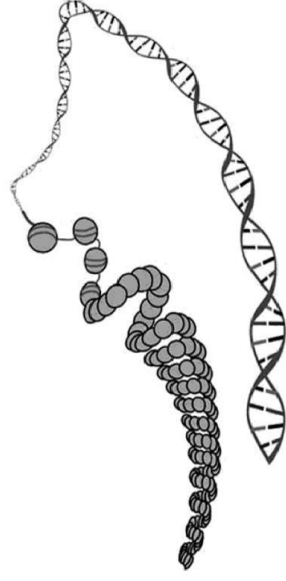
همه‌ی موجودات زنده از سلول ساخته شده‌اند. غشای<sup>۳۲</sup> مرز بین سلول و دنیای بیرون را تعریف می‌کند. غشای درونی (درون سلول) بخش‌های مختلف سلول را از هم جدا می‌کند. غشای سلول از آرایش ویژه‌ای از دولایه‌ی مولکول‌های لیپیدی تشکیل شده است. لیپیدها<sup>۳۳</sup> همان چربی‌ها و روغن‌ها هستند.

<sup>32</sup> Membrane

<sup>33</sup> Lipids

در بیوفیزیک *DNA* موارد زیر مطالعه می‌شود:

- انتقال‌های (گذارهای) صورت‌بندی در *DNA*.
- اتصال *RNA*، پروتئین‌ها و مولکول‌های دیگر به *DNA*.
- تغییرات انرژی انتقال‌های صورت‌بندی و اتصال‌ها و اثر آنها بر فعالیت.



شکل ۲-۴. ماریج دورشته‌ای *DNA* (ساختار دوم) پیچ و تاب می‌خورد تا ماریجی از ماریج به نام ابرماریج بسازد (ساختار چهارم) تا به دور مجموعه‌های پروتئینی به نام هستون‌ها قرار گیرد.

### بیوفیزیک پروتئین

پروتئین‌ها به تقریب در تمام فرایندهای زیستی درون سلول دخالت دارند. به عنوان مثال به کاتالیز واکنش‌های بیوشیمیایی، تنظیم (روشن و خاموش کردن) فعالیت‌های بیوشیمیایی و انتقال مولکول‌ها در عرض غشا از سلولی به سلول دیگر و از جایی از سلول به جای دیگر می‌توان اشاره کرد. هم‌چنین پروتئین‌ها در تحرک‌های سلول (حرکت‌های خود انگیزه‌شده سلول) دخالت دارند. پروتئین‌ها برای انجام این کارها باید به شکل سه بعدی ویژه‌ای داشته باشند. به مولکول‌های دیگر متصل شوند و یک یا چند تغییر صورت‌بندی را متحمل شوند.

از آنجا که پروتئین‌ها همگی این فعالیت‌ها را به طور معمول انجام می‌دهند، فهم دانش فیزیک حاکم بر تا خوردن (فولد شدن) پروتئین‌ها، انتقال‌های صورت‌بندی و اتصال‌ها، برای درک و در صورت امکان کنترل اعمال پروتئین‌ها در فرایندهای زیستی حیاتی است.

بیوفیزیکدان‌های غشا اغلب از وزیکول‌ها یا گویچه‌های لیپیدی برای مطالعه غشا استفاده می‌کنند. وزیکول، مثل یک کیسه‌ی تو خالی است. وزیکول‌های لیپیدی<sup>۳۲</sup> کره‌های توخالی کوچکی از غشا‌های مصنوعی هستند که از لیپیدهای مختلفی ساخته شده‌اند. بنا بر این یک وزیکول لیپیدی مثل سلولی است که درون آن خالی است و تنها دارای غشا است. این وزیکول وسیله‌ی ساده‌ای است که امکان انجام آزمایش‌ها را برای درک رفتار غشا فراهم می‌کند؛ بدون آن که پیچیدگی‌های درون سلول مزاحمتی ایجاد کند.

علاوه بر این‌ها، می‌توان مواد شیمیایی و داروها را درون این وزیکول‌ها قرار داد. به علاوه امکان چسباندن مولکول‌های خاص به سطح بیرونی این وزیکول‌ها هم وجود دارد؛ تا این کار وزیکول‌ها به نقاط ویژه‌ای از بدن متصل شوند. با این روش می‌توان یک دستگاه انتقال هدفمند<sup>۳۳</sup> برای داروها و مواد شیمیایی به نقاط ویژه‌ای از بدن (مثل تومورها) ایجاد کرد. با فهم گذارهای صورت‌بندی لیپیدها می‌توانیم این تغییرات صورت‌بندی را کنترل کنیم و سپس توانایی وزیکول‌های لیپیدی برای حمل داروها را افزایش دهیم. می‌توان وقتی وزیکول‌های حاوی دارو با جریان خون به نقاط مورد نظر می‌روند، آن‌ها را با گرما یا پرتو تحریک کرد تا داروی خود را در آن جا تخلیه کند.

### بیوفیزیک *DNA* و اسید نوکلئیک

*DNA* (دوکسی نوکلئیک اسید) ماده‌ای بیوشیمیایی است که زن‌های ما را تشکیل می‌دهد و وراثت بدن ما را کنترل می‌کند. اسید نوکلئیک دیگر، *RNA* (ریبو نوکلئیک اسید) است که نقش‌های مختلفی در سلول دارد. این شاخه‌ی بیوفیزیک به بررسی فیزیک *DNA* و *RNA* می‌پردازد. ساختار دوم *DNA*، ماریجی دو رشته‌ای است؛ مانند زده بان‌ی که به دور هم تاب خورده است. ماریج دورشته‌ای به گونه‌ای است که خودش می‌تواند خم و راست شود و به دور خود بپیچد و دوباره ماریج تشکیل دهد. این ماریج ماریج ابرماریج<sup>۳۴</sup> نامیده می‌شود. فرایند تشکیل ابر ماریج در *DNA* فرایند<sup>۳۵</sup> نام دارد. فرایند ماریج دورشته‌ای، ساختار سوم *DNA* را تشکیل می‌دهد. ساختار چهارم *DNA* زمانی تشکیل می‌شود که ابرماریج‌های *DNA* به دور مجموعه‌های پروتئینی به نام هستون‌ها<sup>۳۶</sup> می‌پیچند.

<sup>32</sup> Lipid vesicles

<sup>34</sup> Superhelix

<sup>33</sup> Targeted delivery systems

<sup>36</sup> Histones

### بیوانرژتیک<sup>۳۷</sup>

این گرایش بیوفیزیک، اصول فیزیکی حاکم بر شارش انرژی در موجودات زنده را بررسی می‌کند. بیوانرژتیک با تمام سطوح و شاخه‌های بیوفیزیک، از محیط زیست گرفته تا موجود زنده، تا سلول و حتی مولکول در ارتباط است.

مسئله‌ی اصلی بیوانرژتیک این است که چگونه موجودات زنده و سلول‌ها انرژی مورد نیاز خود را به دست آورده و صرف فعالیت‌های زیستی می‌کنند. این گرایش موضوعات زیر را شامل می‌شود: انرژی از کجا می‌آید؟ چگونه ذخیره می‌شود؟ چگونه صورت‌های مختلف انرژی به یکدیگر تبدیل می‌شوند؟ و چگونه و از کجا انرژی اضافی و غیر قابل استفاده هدر می‌رود. از آن جا که شاخه‌های مختلف بیوفیزیک با انرژی ارتباط دارند، بعضی بیوفیزیکدان‌ها بر فهم انرژی‌ها تمرکز می‌کنند؛ چه این فرایند تا خوردن پروتئین‌ها باشد، چه باز شدن DNA یا تنفس و یا شارش انرژی در محیط زیست.

### ترمودینامیک

دانش ترمودینامیک ارتباط نزدیکی با بیوانرژتیک دارد. قوانین ترمودینامیک<sup>۳۸</sup> چگونگی رفتار انرژی در دستگاه‌های فیزیکی، زیستی یا هر دستگاه دیگری را توضیح می‌دهند. قانون اول ترمودینامیک<sup>۳۹</sup> بیان می‌دارد که انرژی تولید نمی‌شود و از بین هم نمی‌رود. قانون دوم ترمودینامیک<sup>۴۰</sup> بیان می‌دارد که در دستگاه بسته، نظم دستگاه هرگز افزایش نمی‌یابد بلکه با گذشت زمان فقط کم می‌شود.

را دارند (می‌توانند نظم خود را حفظ کنند)، در ظاهر به نظر می‌رسد که قوانین ترمودینامیک به خصوص قانون دوم ترمودینامیک را نقض می‌کنند؛ اما موجودات زنده دستگاه‌های بسته نیستند، یعنی با محیط خود در ارتباطند.

از اواخر دهه‌ی ۱۹۴۰ دانشمندان زیادی به این فکر بودند که شاید موجودات زنده تابع قوانین فیزیکی شناخته شده نباشند. شروینگر در کتاب مشهور خود «حیات چیست؟ جنبه‌های فیزیکی سلول زنده» استدلال می‌کند که شاید ما قوانین فیزیکی جدیدی را کشف کنیم که تنها بر موجودات زنده حاکم باشد نه موجودات غیر زنده.

<sup>37</sup> Bioenergetics

<sup>38</sup> Thermodynamics

<sup>39</sup> First law of thermodynamics

<sup>40</sup> Second law of thermodynamics

### مکانیک آماری<sup>۴۱</sup>

مکانیک آماری، کاربرد احتمالات و آمار در جمعیت بزرگی از مولکول‌ها است. اگرچه اندازه‌گیری دقیق انرژی و حالت یکی از میلیارد میلیارد مولکولی که در یک لوله آزمایش یا سلول وجود دارد غیر ممکن است، اما می‌توان مدل‌هایی برای توجیه رفتار مکانیکی آن مولکول ساخت. در اینجا منظور از مدل<sup>۴۲</sup> توضیح ریاضی چگونگی حرکت مولکول‌ها، میزان انرژی آن‌ها، چگونگی تغییر شکل آن‌ها... است. سپس از این مدل برای محاسبه‌ی احتمال آماری هر رخداد، مانند احتمال تغییر شکل یک مولکول پروتئین برای انجام وظیفه‌ی خود، استفاده می‌نماید.

پس از مشخص شدن احتمال‌ها، می‌توان از آن‌ها برای محاسبه‌ی میانگین آماری نمونه‌ی کامل (یعنی برای کل جمعیت مولکول‌ها در لوله آزمایش) استفاده کرد. این میانگین‌های آماری، به نوبه‌ی خود می‌توانند مرتبط با چیزهای به خصوصی باشند که ما می‌توانیم اندازه بگیریم؛ برای مثال، میانگین‌های آماری می‌توانند برای محاسبه و پیش‌بینی کمیت‌های ترمودینامیکی، همچون دما، فشار، و میزان انرژی آزاد شده یا جذب شده مورد استفاده قرار گیرند. با این روش اگرچه اندازه‌گیری مستقیم رفتار هر مولکول غیر ممکن است، اما مکانیک آماری به ما این امکان را می‌دهد تا دست به تفسیر<sup>۴۳</sup> کمیت‌هایی بزنیم که می‌توانیم از رفتار مولکول‌ها اندازه‌گیری کنیم.

تفسیر کردن، دانشی مستقیم نیست، اما می‌توانیم آزمایش‌ها را به گونه‌ای طراحی کنیم که نتایج آن‌ها، تفسیر ما را از رفتار مولکول تأیید یا رد کند. این موضوع، نکته‌ای مهم در علم بیوفیزیک و به طور کلی در همه‌ی علوم است. طبیعی است که به دنبال آزمایش‌هایی باشیم که با نظر ما درباره‌ی چگونگی رفتار جهان فیزیکی موافق باشد. اما مهم‌تر از آن این است که تلاش کنیم آزمایش‌هایی را طرح کنیم تا نادرستی مدل ما را نشان دهد؛ اگر آزمایشی برای رد کردن مدل خود طراحی کنیم و به شکست بینجامد، تأیید قوی‌تری است از این که آزمایشی را برای تأیید کردن مدل خود طراحی کرده باشیم و موفق از آب در آید؛ به عبارت دیگر ناموفق بودن آزمایش‌هایی که مدل ما را رد می‌کنند تأیید قوی‌تری است نسبت به موفق بودن آزمایش‌هایی که مدل ما را تأیید می‌کنند.

طرح آزمایش مناسب به ما اجازه می‌دهد که یک مدل را «درست» بدانیم. درست بودن به این معناست که این مدل، نتایج آزمایش‌های پیش رو را با دقت مناسب پیش‌بینی می‌کند و می‌توان از آن به عنوان وسیله‌ای برای بررسی موجودات زنده و مولکول‌های زیستی مورد نظر، استفاده نمود.

<sup>41</sup> Statistical mechanics

<sup>42</sup> Model

<sup>43</sup> Interpret

برای *DNA* این حالت، بر انرژی تری است. *DNA* پس از همانندسازی به حالت مارپیچ دورنشته‌ای برمی‌گردد که حالتی با انرژی پایین‌تر است. بنا بر این، مارپیچ مضاعف باز شده، یک حدواسط بر انرژی در فرایند همانندسازی است.

*DNA* است. دستگاه‌های زنده به طور معمول فرایندهای زیست‌شناختی خود را از طریق تعدیل آهنگ<sup>۴۶</sup> رخ دادن آن‌ها، تنظیم می‌کنند؛ به این معنی که گاهی اوقات، وقتی یک موجود زنده نیاز دارد که یک فرایند متوقف شود، (برای مثال، به میزان کافی از یک نوع پروتئین خاص تولید کرده است و دیگر به مقدار بیش‌تری نیاز ندارد) به جای این که فرایند را واقعاً متوقف کند، به سادگی اجازه می‌دهد تا سرعت فرایند، به طور تقریب تا حد توقف، کاهش یابد. فرایند هنوز در حال رخ دادن است، اما آن قدر آهسته که تغییر چندانی ایجاد نمی‌کند. سپس هر گاه موجود زنده نیاز داشته باشد که آن فرایند ادامه پیدا کند، (برای مثال، وقتی موجود زنده به میزان بیش‌تری از آن پروتئین نیاز دارد) به سادگی آهنگ رخ دادن فرایند را سرعت می‌بخشد و وقتی موجود زنده به میزان بیش‌تری از آن پروتئین نیاز دارد) به این امر به یکی از این دو روش اتفاق می‌افتد: یا فراهم کردن انرژی مورد نیاز برای غلبه کردن بر مانع سرعت (حدواسط برانرژی)، یا با فراهم کردن یک مسیر فرعی یا جانبی (حذف یا دور زدن مانع سرعت به صورت مؤثر).

گاهی اوقات، یک مسیر سریع‌تر (مسیر بدون مانع سرعت) از طریق تغییرات صورت‌بندی، اتصال لیگاند، یا از طریق اتصال پروتئینی که به عنوان کاتالیزور عمل می‌کند، فراهم می‌شود. مثال باز شدن *DNA* را که به خاطر دارید؛ آن *DNA* باز شده‌ی یک حدواسط برانرژی است؛ مانند یک مانع سرعت.

بروتئینی به نام هلیکاز به *DNA* متصل شده و مارپیچ دورنشته‌ای *DNA* را باز می‌کند. انرژی اتصال، تا اندازه‌ای برای رسیدن به حدواسط برانرژی (*DNA* باز شده) نقش دارد.

بیوفیزیکدان‌هایی که کینتیک را مطالعه می‌کنند، مدل‌هایی ایجاد کرده‌اند تا مکانیسم مولکولی هر فرایند را نیز توضیح دهند. این امر مانند استفاده از مدل‌ها در ترمودینامیک آماری است که پیش‌تر اشاره شد.

این مدل، فرضیه‌ای است که مکانیسم مولکولی انجام فرایند را توضیح می‌دهد. هر مدل فرضی، نشان‌دهنده‌ی یک مسیر انرژی ویژه برای فرایند است. این مدل هم چنین می‌تواند راهی برای تغییر آهنگ واکنش را از طریق اصلاح شرایط مختلف آزمایش با تغییر بخش مشخصی از مکانیسم، نشان داده و یا پیشنهاد کند. آزمایش‌هایی که

<sup>47</sup> Rate

<sup>44</sup> Kinetics

<sup>45</sup> Energy Path

<sup>46</sup> High-energy intermediates

## کینتیک<sup>۴۴</sup>

این شاخه از دانش بیوفیزیک، به اندازه‌گیری آهنگ و سرعت فرایندهای زیست‌شناختی، مانند واکنش‌های بیوشیمیایی، تغییرات صورت‌بندی مولکول‌ها، اتصال و جدا شدن مولکول‌های زیستی مربوط می‌شود. کینتیک ارتباط تنگاتنگی با انرژی و ترمودینامیک دارد. ترمودینامیک به ما می‌گوید که یک فرایند یا واکنش بیوشیمیایی رخ خواهد داد یا خیر؟

کینتیک بیان می‌کند که آن فرایند یا واکنش بیوشیمیایی با چه سرعتی رخ خواهد داد و ارتباط این دو چیست؟ در این جا به این جمله بسنده می‌کنیم که یک فرایند در صورتی به طور خودبه‌خود رخ خواهد داد که دستگاه را از سطح انرژی بالاتر به سطح انرژی پایین‌تر ببرد. این امر را در مورد یک فرایند با مطالعه‌ی ترمودینامیک آن فرایند می‌آموزیم. تویی را در نظر بگیرید که در حال پایین‌غلتیدن از یک تپه است. توپ در بالای تپه دارای انرژی پتانسیل بیش‌تری است و به حالت پایین‌تر انرژی پتانسیل در پایین تپه حرکت می‌کند. بنا بر این فرایند پایین‌غلتیدن توپ از بالای تپه، به طورخوبه خودی است.

با این حال، سرعت رخ دادن فرایند به مسیر انرژی<sup>۴۵</sup> آن فرایند مرتبط است. به این معنی که آیا انرژی به آرامی کاهش می‌یابد یا به سرعت افت می‌کند؟ آیا انرژی در طول فرایند تنها کاهش می‌یابد؟ یا کاهش می‌یابد تپه افزایش می‌یابد و دوباره کاهش پیدا می‌کند (شاید چندین بار)؟ برای مثال، این که توپ با چه سرعتی به پایین تپه می‌غلتد بستگی دارد؛ (۱) شیب تپه چقدر است؟ (۲) آیا در طول راه افزایش شیب یا کاهش آن (مسطح شدن) وجود دارد؟ (۳) آیا مولع سرعت وجود دارد، شیب آن‌ها چه قدر است؟

این عوامل همگی بر مسیر انرژی توپ تأثیر می‌گذارند و از این طریق مشخص می‌کنند که توپ با چه سرعتی به پایین تپه خواهد غلتید.

گاه در طول کل مسیر یک فرایند، یک یا چند حدواسط وجود دارد که دارای انرژی بالاتری هستند (مثلاً غلتیدن از روی یک سرعت گیر)، که به آن‌ها *حدواسط‌های بر انرژی*<sup>۴۶</sup> گفته می‌شود. وجود حد واسط‌های بر انرژی مانند سرعت گیرها، باعث کاهش سرعت فرایندی می‌شود. مثالی در این مورد، همانندسازی *DNA* است که در فصل ۱۰ مورد بحث قرار خواهد گرفت. برای همانندسازی، نیاز است که مولکول *DNA* به طور موقت باز شود.

آهنگ فرایند‌های زیست‌شناختی را اندازه می‌گیرند، می‌توانند این مدل را تأیید یا رد کنند. اگر آهنگ واکنش به گونه‌ای که مدل پیشنهاد می‌کند، با موفقیت تغییر کند، این امر تأییدی است بر درستی مدل. غلط بودن مدل اثبات می‌شود و ما نیاز داریم که مدل بهتری را برای توضیح فرایند بیابیم. بدین طریق، ما می‌توانیم با اندازه‌گیری آهنگ یک فرایند، به تفسیر مولکولی از آن فرایند زیست‌شناختی دست پیدا کنیم.

## به زبان ساده ...

به منظور فهم بهتر چگونگی تأثیر مسیر انرژی بر آهنگ فرایند، عبور از روی یک تپه را با دور زدن آن مقایسه کنید. نتیجه‌ی نهایی یکسان است، شما از یک طرف تپه به طرف دیگر آن تپه رفته‌اید، اما با دو مسیر متفاوت. ممکن است فکر کنید که رفتن از بالای تپه، سریع‌تر از دور زدن آن است، به خصوص وقتی به اندازه‌ی کافی انرژی داشته باشید تا از تپه بالا بروید. چرا که رفتن از بالای تپه به طور معمول کوتاه‌تر از دور زدن آن است. با این حال، فرایند‌های زیست‌شناختی به طور معمول شامل صدها یا هزارها مولکول می‌باشد. برای مثال وقتی یک سلول نیاز دارد که پروتئین ویژه را تولید کند، صدها مولکول کوچک‌تر را به هم متصل می‌کند تا پروتئین را بسازد. علاوه بر این، سلول نیاز دارد که صدها یا حتی هزاران نسخه از پروتئین بسازد. پس برای تکمیل مثال خود، بهتر است بگوییم که 1000 نفر می‌خواهند از تپه عبور کنند. زمانی که طول می‌کشد تا همه‌ی 1000 نفر را به بالای تپه برسانیم ممکن است بسیار آهسته باشد، چرا که شاید تنها برخی از افراد، دارای انرژی کافی برای بالا رفتن از تپه باشند (دیگران خسته و گرسنه باشند). همچنین فرض می‌کنیم که یک حصار بزرگ در طول مسیر قرار دارد، بنا بر این تنها راه به سمت دیگر تپه، رفتن از بالای آن است. ما برای افزایش سرعت رساندن 1000 نفر به سمت دیگر تپه، دو انتخاب داریم: می‌توانیم انرژی را که آن‌ها برای بالا رفتن از تپه نیاز دارند فراهم کنیم (آن‌ها را کول کنیم یا به آن‌ها غذا بدهیم) یا می‌توانیم حصار را برداریم (یک تغییر صورت بندی) و یک مسیر فرعی در اطراف تپه فراهم کنیم.

در یک سلول، مولکول‌ها با مقادیر مختلف انرژی به هم برخورد می‌کنند. اگر یک فرایند بیوفیزیکی شامل یک مسیر انرژی از طریق حدواسط باشد، آن گاه اگر تنها برخی از مولکول‌ها دارای انرژی کافی برای رسیدن به حالت حدواسط باشند، فرایند آهسته پیش خواهد رفت. به منظور افزایش سرعت فرایند، موجود زنده هم می‌تواند به نوعی انرژی لازم برای رساندن تعداد بیش‌تری مولکول به حدواسط انرژی را فراهم نماید و هم می‌تواند یک مسیر فرعی (مسیری که شامل حدواسط انرژی نباشد) برای انجام فرایند بیابد. به گونه‌ای که حتی مولکول‌هایی کم انرژی نیز بتوانند در فرایند شرکت کنند.

## ماشین‌های مولکولی<sup>۴۸</sup>

ماشین، دستگاهی است که جهت و یا اندازه‌ی یک نیرو را تغییر می‌دهد (مانند قرقره، اهرم یا سطح شیب دار).

موتور<sup>۴۹</sup>، نوع خاصی از ماشین است که توانایی تبدیل انرژی پتانسیل به انرژی مکانیکی یعنی نیروی مکانیکی یا حرکت را نیز دارا می‌باشد. بنا بر این، تفاوت بین یک ماشین معمولی و یک موتور این است که در موتور نیرویی که تغییر می‌کند از خارج از ماشین نمی‌آید، بلکه توسط خود موتور تولید می‌شود. موتور تا زمانی می‌تواند به تولید نیروی مکانیکی ادامه دهد که دارای یک منبع انرژی پتانسیل یا سوخت<sup>۵۰</sup> مورد نیاز برای این کار باشد.

در بدن موجودات زنده، ماشین‌ها و موتورهای فراوانی به کار رفته است. برای مثال، ماهیچه‌های ما برای تغییر جهت و در برخی موارد برای افزایش یا کاهش نیرویی که اعمال می‌کنند از استخوان‌هایمان به عنوان اهرم استفاده می‌کنند. هر ماهیچه، یک موتور و هر استخوان، یک ماشین است. رشته‌های ماهیچه‌ای می‌توانند انرژی پتانسیل شیمیایی غذایی را که می‌خوریم به نیروی مکانیکی انقباض ماهیچه تبدیل کنند. علاوه بر انقباض ماهیچه، مثال‌های دیگری از اندام‌هایی که تولید نیروی مکانیکی یا حرکت می‌کنند، عبارتند از:

مژک<sup>۵۱</sup> بیرون زدگی‌هایی مو مانند بر سطح برخی سلول‌ها است که حرکت می‌کنند و سلول یا آن‌ها شنا می‌کند. در مواردی که سلول‌ها شنا نمی‌کنند اما دارای مژه هستند، حرکت مژه می‌تواند برای دور کردن مواد از سلول‌ها مورد استفاده قرار گیرد. برای مثال، مژک‌ها بر روی سلول‌های سطح درونی ریه‌ها، با حرکت دادن غبار و دیگر ذرات به بالا و بیرون از ریه‌ها، به تمیز کردن ریه‌ها کمک می‌کنند.

تارک<sup>۵۲</sup> ساختارهای بلندتر و شلاق ماندنی هستند که از بدنه‌ی برخی سلول‌ها بیرون زده‌اند و برای حرکت دادن سلول به کار می‌روند.

بای کاذب<sup>۵۳</sup>، برخی سلول‌ها با یک یا چند بیرون زدگی موقتی، غشای خود را تغییر می‌دهند. تغییر شکل سلول موجب می‌شود سلول بخزد و با این روش حرکت کند.

ترشح<sup>۵۴</sup>، برخی سلول‌ها، پروتئین‌ها یا مواد دیگری تولید می‌کنند که باید در مکان دیگری از بدن استفاده شوند (مثلاً سلول‌های لوزالمعده که انسولین تولید می‌کنند). این سلول‌ها باید به نحوی مولکول‌های ساخته شده را به سطح

<sup>51</sup> Cilta

<sup>50</sup> Fuel

<sup>49</sup> Motor

<sup>48</sup> Molecular Machines

<sup>54</sup> Secretions

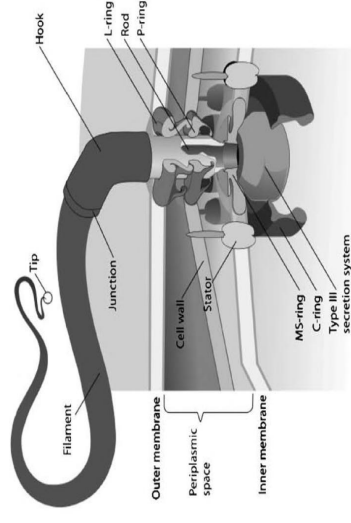
<sup>52</sup> Pseudopodia

<sup>53</sup> Flagella

سلول، و از میان غشای سلولی به درون جریان خون انتقال دهند. سلول‌های ترشحی، مکانیسم‌های مختلفی برای بسته بندی کردن و انتقال موادی که می‌سازند، دارند.

### چما شدن کروموزومها / DNA در تقسیم سلولی #

وقتی که سلولی برای تقسیم آماده می‌شود، در آغاز، کروموزوم‌ها را در برابر می‌کند. سپس سلول باید به گونه‌ای دو نسخه‌ی کروموزوم را به دو سمت مخالف سلول حرکت دهد و از یکدیگر جدا کند تا هر کدام از سلول‌های دختر یک نسخه‌ی منفرد از DNA سلول را دریافت کنند.



**تصویر ۳-۵** باکتری‌ها از تازک برای شنا کردن استفاده می‌کنند. تازه‌ها، بیرون زدگی‌های شاقی ماندی هستند که برای جلوگیری از چسبیدن سلول استفاده می‌شوند. هر تازه، یک ماشین مولکولی است که در غشای سلولی قرار گرفته است.

در همه‌ی موارد بالا که هر موجود زنده به نوعی حرکت می‌کند، با بررسی دقیق منبع آن حرکت، همیشه به مولکول‌های منفردی برمی‌خوریم که به عنوان موتور یا ماشین عمل می‌کنند. تا نیروهای را به وجود آورند و در جهت درست به کار برند. برای مثال وقتی که حرکت ایجاد شده توسط انقباض ماهیچه را در پایین‌ترین سطح، یعنی سطح مولکولی بررسی می‌کنیم می‌بینیم که این حرکت از اتصال یک مولکول پروتئین خاص (میوزین) به مولکول‌های پروتئینی دیگر (اکتین) نیرویی که در جهت مخالف به هم وارد می‌کنند، به وجود می‌آید.

## آلوستریک<sup>۵۵</sup>

مشخص شده است که اتصال یک قسمت از یک مولکول، بر میزان فعالیت بخش دیگر همان مولکول تأثیر می‌گذارد. این ویژگی در اصطلاح آلوستری<sup>۵۵</sup> نامیده می‌شود (بر گرفته از واژه‌های یونانی *allos* به معنی «دیگر» و *stereos* به معنی «جسم» یا «جسم جامد» (آلوستری منجر به دو اتفاق می‌شود: تنظیم آلوستریک و اثر تعاونی). کنترل یک فرایند زیستی توسط یک سلول یا یک موجود زنده، تنظیم<sup>۵۶</sup> نامیده می‌شود. در بسیاری از فرایندهای بیوشیمیایی، بخش ویژه‌ای از یک مولکول پروتئین به طور مستقیم در انجام عملکرد پروتئین نقش دارد (بخش «ارتباطی ساختار-عملکرد» را نیز ببینید). آن بخش مولکول، جایگاه فعال<sup>۵۷</sup> پروتئین نامیده می‌شود. بسیاری از فرایندهای زیست‌شناختی شامل اتصال با انواع دیگری از میان‌کنش‌ها بین مولکول‌ها، در جایگاه فعالشان می‌باشند. تنظیم یک فرایند، به طور معمول به سادگی با کنترل اتصال مستقیم در جایگاه فعال مولکول انجام می‌پذیرد.

گاهی اوقات تنظیم یک فرایند، از طریق اتصال به مکانی غیر از جایگاه فعال رخ می‌دهد. این جایگاه اتصال، چون از راه دور، یعنی از مکان دیگری بر جایگاه فعال تأثیر می‌گذارد، آن را جایگاه آلوستریک می‌نامند. زمانی که یک فرایند بیوشیمیایی از این طریق کنترل می‌شود، می‌گوئیم که فرایند تنظیم آلوستریک را نشان می‌دهد. گاهی اوقات برخی جایگاه‌ها هم زمان، هم به عنوان جایگاه فعال و هم به عنوان جایگاه آلوستریک عمل می‌کنند، که هر کدام بر دیگری اثر می‌گذارد. نتیجه‌ی این امر، اثر تعاونی<sup>۵۸</sup> است، یعنی رخ دادن دو واقعه‌ی مجزا با هم و به حالتی غیر مستقل.

<sup>57</sup> Regulation

<sup>56</sup> Allostery

<sup>59</sup> Cooperativity

<sup>55</sup> Allosteris

<sup>56</sup> Active site

۳۱ / بیوفیزیک به زبان ساده

- حرکت جانوران**: جانوران برای حرکت کردن چگونه نیروها را به کار می‌برند؟ برای مثال ماهیچه‌ها و استخوان‌ها در راه رهن، دویدن، پریدن، بلند کردن، پرتاب کردن، گرفتن و غیره، چگونه با هم کار می‌کنند؟
- مکانیک دستگاه‌های مختلف بدن**: برای مثال، هوا چگونه به درون ریه‌ها کشیده می‌شود؟ و چگونه خون از قلب به سراسر بدن پمپ می‌شود؟
- مکانیک در سطح سلولی و زیرسلولی**<sup>۶۴</sup>: برای مثال سلول‌ها چگونه مولکول‌های درون خود را جا به جا می‌کنند؟ و چگونه به نیروهای خارجی پاسخ می‌دهند؟

بیومکانیک به روشنی موضوعی بسیار گسترده است که دارای هم پوشانی‌های قابل توجهی با بسیاری از محدوده‌های بیوفیزیک است. هم‌چنین توجه داشته باشید که بیومکانیک در تمام سطح مطالعه می‌شود: سلولی و مولکولی، فیزیولوژی و محیطی. طی سال‌ها، بیومکانیک در عمل یک زمینه مطالعاتی توسعه یافته مستقل است (که می‌توان برای آن کتابی مستقل نوشت). بنا بر این برای برخی از افراد، بیومکانیک شاخه‌ای از علم بیوفیزیک نیست، بلکه یک زمینه‌ی مطالعاتی مهندسی است که به سمت کاربرد نتایج عملی جهت یافته است. از این نظر، بیومکانیک ممکن است با زیست‌مهندسی<sup>۶۵</sup> یا مهندسی زیست‌پزشکی<sup>۶۶</sup> ارتباط نزدیک تری داشته باشد تا با بیوفیزیک. به هر حال در عمل، دانشمندی وجود دارند که خود را زیست‌مهندس<sup>۶۵</sup> می‌نامند، یا دانشمندی وجود دارند که خود را بیوفیزیکنان می‌نامند، هر دو گروه از بیومکانیک استفاده می‌کنند و آن را مطالعه می‌نمایند. اما تمایلی وجود دارد که سوزی بیومکانیک، به صورت عمومی‌تری در محدوده‌ی کاری مهندسان قرار داشته باشد.

الکتروفیزیولوژی<sup>۶۶</sup>

الکتروفیزیولوژی، به مطالعه‌ی جنبه‌های الکتریکی اجسام زنده می‌پردازد. تمرکز عمده‌ی این شاخه از بیوفیزیک بر مطالعه‌ی اعصاب است. به صورت عمومی‌تر، الکتروفیزیولوژی مربوط به بافت‌هایی تحریک پذیر<sup>۶۷</sup> می‌باشد؛ یعنی نوعی از سلول‌ها که نکانه‌های الکتریکی را ایجاد، هدایت، یا استفاده می‌کنند. بافت‌های تحریک پذیر عبارتند از: اعصاب، ماهیچه‌ها، سلول‌های حسی، و سلول‌های موآد الکتریسیته<sup>۶۸</sup> و پاسخ دهنده به الکتریسیته<sup>۶۹</sup>.

<sup>۶۴</sup> Subcellular	<sup>۶۴</sup> Biomedical engineering
<sup>۶۵</sup> Biomechanics	<sup>۶۵</sup> Electrophysiology
<sup>۶۶</sup> Electrogenic cells	<sup>۶۶</sup> Excitable tissue
	<sup>۶۷</sup> Electroreceptive cells

درجات مختلفی از تلاقی وجود دارند. در یک فرایند به نسبت متعادل، وقایع اگر با هم اتفاق بیفتند، نسبت به حالتی که کاملاً مستقل رخ دهند، تنها اندکی بیش تر رخ می‌دهند. در یک فرایند کاملاً متعادل، یک دسته از وقایع غیر مستقل، به طور عمده به حالت همه-یا-هیچ اتفاق می‌افتند.

مثال سنتی اتصال آلوستریک متعادل، اتصال اکسیژن به هموگلوبین است. هموگلوبین اکسیژن را از ریه‌های ما گرفته، از طریق خونمان به سلول‌های سراسر بدنمان می‌رساند. یک مجموعه‌ی هموگلوبین می‌تواند به چهار مولکول اکسیژن متصل شود. چهار جایگاهی که به صورت فعال به اکسیژن متصل می‌شوند، به عنوان جایگاه آلوستریک نیز عمل می‌کنند. به طوری که اتصال اکسیژن به هر کدام از جایگاه‌ها، اتصال اکسیژن به جایگاه‌های دیگر را تسهیل می‌کند. نتیجه این می‌شود که چهار مولکول اکسیژن تمایل دارند، به حالت همه-یا-هیچ به هموگلوبین متصل شوند. اثر راه دورِ یک جایگاه آلوستریک بر بخش دیگری از مولکول، می‌تواند نتیجه‌ی تغییرات صورت‌بندی یا تغییراتی در نیروهای درون مولکولی مولکول باشد. فرایندهای آلوستریک به طور معمول کینتیکی متفاوت از کینتیک فرایندهای غیر آلوستریک را نشان می‌دهند (کینتیک یعنی تغییر در آهنگ یک فرایند در پاسخ به تغییرات شرایط). بیوفیزیکنان‌هایی که آلوستریک را مطالعه می‌کنند، نیاز دارند که شاخه‌های متعدد بیوفیزیک، شامل ساختار، روابط ساختار-عملکرد، تغییرات صورت‌بندی، اتصالات درون مولکولی و لیگاند، و هم‌چنین کینتیک را در کنار هم مطالعه کنند.

## بیوفیزیک آنتومی و فیزیولوژی

بیومکانیک

در علم فیزیک، مکانیک<sup>۶۰</sup> با کاربرد نیرو در اجسام فیزیکی سرو کار دارد. این اجسام می‌توانند جامد یا شاره (مایع و گاز) باشند. برای مثال، فهمیدن این که هوا چگونه در اطرف بال‌های یک هواپیما جریان می‌یابد و هم‌چنین فهمیدن مسیر یک توپ بیسبال، زمانی که توسط چوب به آن ضربه وارد می‌شود موضوع علم مکانیک است.

بیومکانیک<sup>۶۱</sup> شاخه‌ای از علم بیوفیزیک است که به اعمال نیروها بر اجسام زیست‌شناختی می‌پردازد. بیومکانیک مطالعه‌ی موارد زیر را شامل می‌شود:

<sup>[1]</sup> Biomechanics

<sup>[2]</sup> Mechanics

- نظریه کابل<sup>۷۰</sup>، استفاده از ریاضیات برای مدل سازی رسانش تکانه‌های الکتریکی در طول اعصاب و در طول شبکه‌های دقیق سلول‌های عصبی.
- بررسی مکانیسم‌های بسیاری‌های مختلف که توانایی اعصاب یا عضلات را برای کار کردن تحت تأثیر قرار می‌دهند.

### بیوفیزیک حس‌ها

بیوفیزیک حس‌ها<sup>۷۱</sup>، الکتروفیزیولوژی و مکانیک حس‌ها را مطالعه می‌کند؛ دیدن، شنیدن، لمس کردن، تعادل، بویدن و چشیدن، به عنوان مثال، دیدن را در نظر بگیرید. بیوفیزیک حسّی، به بررسی سؤال‌هایی می‌پردازد، همچون: چگونه پروتئین‌ها در چشم، به انرژی‌های متفاوت نور پاسخ می‌دهند؟ چگونه پیام‌های الکتریکی از شبکه‌ی به معز مغز به می‌نوبند؟ و چگونه عضلات چشم، آن را حرکت می‌دهند، چشم را بر چیزی متمرکز می‌کنند و میزان نور ورودی به چشم را تنظیم می‌کنند؟

بیوفیزیک حسّی هم چنین شامل تحقیق‌هایی برای ایجاد اندام‌های حسّی مصنوعی می‌باشد. برای مثال، اتصال یک دوربین به عصب بینایی یا به قشر بینایی مغز، به گونه‌ای که یک فرد نابینا بتواند ببیند. به طور مشابه، می‌توان برای شنیدن از کاشت حلقزون در گوش استفاده کرد. حلقزون کاشته شده، صدا را تقویت نمی‌کند، بلکه صدا را تشخیص می‌دهد و در پاسخ به صدا اعصاب شنوایی را تحریک می‌کند.

## بیوفیزیک محیطی

بیوفیزیک محیطی<sup>۷۲</sup>، بر جنبه‌های فیزیکی رابطه‌ی بین موجودات زنده و محیط اطرافشان، متمرکز می‌شود. درک شارش طبیعی انرژی در محیط و عواملی که بر این شارش تأثیر می‌گذارد، دارای اهمیت ویژه‌ای است. نخستین منبع انرژی در محیط، انرژی خورشیدی است که از طریق فرایند فتوسنتز توسط گیاهان، به دام افتاده به مواد غذایی تبدیل می‌شود. زمینه‌های مورد توجه دیگری نیز در بیوفیزیک محیطی وجود دارد.

سلول‌های حسّی، سلول‌های تخصص یافته‌ای هستند که قادرند انرژی یک محرک بیرونی را به یک پاسخ الکتریکی تبدیل کنند. برای مثال، سلول‌های استوانه‌ای و مخروطی چشم، دارای پروتئین‌هایی هستند که می‌توانند نور را جذب کنند. انرژی نور جذب شده، باعث تغییر صورت‌بندی نوعی پروتئین می‌گردد. این تغییر به آن‌ها اجازه می‌دهد به مولکول‌های دیگر در سلول، واکنش نشان دهند. این امر به نوبه‌ی خود، زنجیره‌ای از واکنش‌ها را آغاز می‌کند که نتیجه‌ی آن یک بار الکتریکی بر سطح سلول می‌باشد. سلول‌های مواد در گوش، به صورتی مشابه، دارای بیرون‌زدگی‌های کوچک‌موتانندی در سطح خود هستند. ارتعاشات صوتی، فشاری در گوش ایجاد می‌کند که این زائده‌های موئمانند را به سمت مخالف هل می‌دهد و باعث حرکت دانه‌شان می‌شود. حرکت هم چنین باعث می‌شود که این سلول‌ها در سطح خود، بار الکتریکی ایجاد نمایند. بار الکتریکی بر سطح سلول‌های حسّی، به طور معمول تکانه‌های الکتریکی را در سلول‌های عصبی مجاور خود تحریک می‌کند. نتیجه‌ی نهایی، یک درک عصبی است؛ ما نور را می‌بینیم، صدا را می‌شنویم، فشار را احساس می‌کنیم و غیره.

سلول‌های مولد الکتریسیته و پاسخ دهنده به الکتریسیته، در ماهی‌های الکتریکی خاصی، مانند مارماهی‌ها و سفره ماهی‌ها یافت می‌شوند. سلول‌های پاسخ دهنده به الکتریسیته، سلول‌های حسّی تخصص یافته‌ای هستند که در پاسخ به یک میدان الکتریکی، تکانه‌های عصبی تولید می‌کنند. برخی ماهی‌ها از این ویژگی برای یافتن راه خود استفاده می‌کنند. سلول‌های مولد الکتریسیته مشابه سلول‌های ماهیچامی هستند، اما به جای ایجاد انقباض یا حرکت، در سطح خود بارهای الکتریکی نیرومندی ایجاد می‌کنند. ماهی‌های الکتریکی از این بارهای الکتریکی نیرومند برای شکار یا دفاع از خود استفاده می‌کنند.

الکتروفیزیولوژی مواده زیر را شامل می‌شود:

- مطالعه‌ی کارکرد بافت تحریک پذیر، برای مثال، درک مکانیسم انقباض در سلول‌های عضلانی، یا کشف این موضوع که شرایط مختلف چگونه بر سرعت و قدرت تکانه‌های الکتریکی در اعصاب اثر می‌گذارد.
- درک ماهیت الکتریکی قلب و چگونگی اندازه‌گیری و تنظیم آهنگ ثابت پمپ کردن.
- مطالعه در سطح مولکولی، که چگونه غشا‌های سلولی بافت‌های تحریک پذیر در سطح خود بارهای الکتریکی را تولید می‌کنند و تکانه‌های الکتریکی را در طول سلول منتشر می‌کنند.

<sup>70</sup>Cable theory

<sup>71</sup>Sensory Biophysics

<sup>72</sup>Environmental Biophysics



**بیوفیزیک محیطی کرما و دما**  
این شاخه از بیوفیزیک محیطی، به مطالعه‌ی عواملی می‌پردازد که در دسترس بودن انرژی گرمایی (کرما) را درون محیط کنترل می‌کند. در این زمینه، میزان گرما از روی دمای اتمسفر، خاک و منابع آب (رودخانه‌ها، دریاچه‌ها، تالاب‌ها، چشمه‌ها و اقیانوس‌ها) اندازه‌گیری می‌شود.

موجودات زنده به انرژی گرمایی نیاز دارند تا بتوانند به درستی فعالیت کنند. هم چنین، در دسترس بودن انرژی و حرکت آن در درون محیط، بر بسیاری از فرایندهایی که رخ می‌دهند، تأثیری بسزا دارد. فرایندها نیز به نوبه خود بر محیط و موجودات زنده درون آن تأثیر می‌گذارند. تأثیر دما بر موجودات زنده و محیط اطرافشان و هم چنین این که موجودات زنده چگونه با گرما اضافی یا نبود گرما مقابله می‌کنند و خود چگونه بر دماهای موضعی محیطی اثر می‌گذارند، (برای مثال تأثیر سبب‌های برگ درختان بر دمای موضعی جنگل، و تأثیر موجودات زنده‌ی ریز بر دمای خاک) در این شاخه از علم بیوفیزیک مطالعه می‌شود. مدل‌های ریاضیاتی نیز، برای پیش‌بینی دماها و اثرات آن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند.

**بیوفیزیک محیطی منابع و انتقال جرم**<sup>۷۳</sup>  
بیوفیزیکدانان محیطی، از مدل‌های ریاضیاتی استفاده می‌کنند تا حرکت فیزیکی و میزان در دسترس بودن منابع و مواد را در درون محیط، بهتر درک کنند. مثالهایی از منابع، گرما (همان‌طور که بحث شد)، نور، کرین، نیتروژن و آب و هوا می‌باشند. به عنوان مثال، کرین را در نظر بگیرید. فتوسنتز نه تنها انرژی خورشیدی، بلکه کرین را نیز به دام می‌اندازد. کرین، مورد نیاز تمامی موجودات زنده است. گیاهان با فتوسنتز کرین را به دام می‌اندازند و جانوران کرین خود را با خوردن گیاهان یا دیگر جانوران به دست می‌آورند.

**بیوفیزیک پرتوی**  
بیوفیزیک پرتوی<sup>۷۴</sup>، تأثیر پرتوها را بر دستگاه‌های زیست‌شناختی مطالعه می‌کند. بیوفیزیک پرتوی به عنوان شاخه‌ای از بیوفیزیک، می‌تواند استفاده از پرتوها در تصویربرداری تشخیصی و درمان بیماری‌ها را نیز شامل شود.

<sup>73</sup> Resource and Mass Exchange Environmental Biophysics

<sup>74</sup> Sensor

چنین استفاده‌ای از پرتوها، به طور معمول تحت مقوله‌ی بیوفیزیک پزشکی و تصویربرداری قرار می‌گیرد. با این حال، در زمینه‌ی بیوفیزیک محیطی، بیوفیزیک پرتوی به مطالعه‌ی چگونگی مقابله‌ی موجودات زنده با پرتوهای درون محیط خود می‌پردازد. منابع پرتوی ممکن است طبیعی، به عنوان مثال تابش خورشیدی، و یا ساخته‌ی انسان برای مثال (زباله‌های اتمی) باشد.

پرتو می‌تواند تأثیرات گوناگونی بر موجودات زنده و محیطشان داشته باشد. تابش خورشیدی، نخستین منبع انرژی برای موجودات زنده است و هم چنین دارای تأثیراتی بر شارش گرما، هوا و آب درون محیط می‌باشد. پرتو فرابنفش و دیگر پرتوهای طبیعی و مصنوعی، می‌توانند منجر به آسیب‌های مولکولی شوند. اکثر موجودات زنده دارای مکانیسم‌های طبیعی ترمیمی می‌باشند که اغلب، نه همیشه، می‌توانند آسیب وارد شده به سلول‌های خود را ترمیم کنند. اگرچه آسیب‌های ترمیم نشده اغلب ناچیزند؛ اما همان‌طور که می‌توانند منجر به تومورهای کشنده و جهش‌های مضر شوند، می‌توانند منجر به جهش‌های مثبت نیز بشوند.

## زیربست مهندسی محیطی<sup>۷۵</sup>

مهندسی بیوفیزیک محیطی موارد زیر را در بر می‌گیرد:

- ایجاد حس گرماهی<sup>۷۶</sup> برای آشکارسازی و اندازه‌گیری ویژگی‌های محیط
- پژوهش و توسعه‌ی مواد ذخیره‌کننده‌ی انرژی و روش‌های مرتبط با آن
- تولید موادی که تأثیرات محیطی اندکی داشته باشند یا بدون تأثیر باشند
- ایجاد ابزارها و روش‌های فیزیکی برای مقابله با تأثیرات منفی محیطی، ناشی از فعالیت‌های گوناگون انسانی
- پژوهش و توسعه‌ی روش‌های کم‌هزینه برای بازیافت موادی مانند شیشه، فلزات و پلاستیک

## جمع‌بندی

تصور ۲-۶ عنوان‌هایی که در این فصل مورد بحث قرار گرفتند، مطالب را به طور خلاصه بیان کرده‌اند؛ شما باید تصویر را مطالعه کنید تا از عنوان‌ها و نحوه‌ی دسته‌بندی آن‌ها آگاهی یابید. برخی عنوان‌ها در بیش از یک

<sup>75</sup> Environmental Bioengineering

- مکانیک مولکولی
- الیستریک
- بیوفیزیک آتوموی و فیزیولوژی
- بیومکانیک
- الکتروفیزیولوژی
- بیوفیزیک حیلها
- بیوفیزیک محیطی
- بیوفیزیک محیطی گرما و دما
- بیوفیزیک محیطی منابع و انتقال جرم
- بیوفیزیک پرتوی
- زیست مهندسی محیطی

**تصویب ۲-۶** خلاصه‌ای از سرفصل‌های بیوفیزیک که بر اساس اندازه‌ی موضوع، دسته‌بندی شده‌اند.

دسته قرار می‌گیرند. برای مثال، بیواثرزیفیک و بیومکانیک، هر دو می‌توانند در هر سطحی یعنی سلولی و مولکولی، فیزیولوژی یا محیطی مورد مطالعه قرار گیرند.

بسیاری از عنوان‌ها با یکدیگر در ارتباطند و تا اندازه‌ای هم پوشانی دارند. در این جا چند مثال آورده شده است:

- درک تغییرات صورت‌بندی، نیازمند درکی کامل از ساختار مولکولی است.
- نیروهای درگیر در اتصال لیگاند به مولکول‌ها، از جنس همان نیروهای هستند که اجزای مختلف یک مولکول را در هنگام تاخوردن و به دست آوردن یک شکل ویژه، به هم متصل می‌کنند.
- آلوستریک، از ترکیب شدن اتصال لیگاند و تغییرات صورت‌بندی به صورت هم‌زمان، نتیجه می‌شود و تنظیم آلوستریک، با مشاهده‌ی کینتیک فرایند، قابل تشخیص است.
- ترازی مولکولی، اغلب بررسی‌چگونگی رسیدن مولکول‌هایی خاص از یک سمت غشا به سمت دیگر را در بر می‌گیرد. ترازی مولکولی، از عرض غشاها بافت‌ تحریر پذیر دارای مکانیسم‌های الکتروفیزیولوژی است.

خلاصه‌ای از سرفصل‌های بیوفیزیک که بر اساس اندازه‌ی موضوع مورد بررسی، دسته‌بندی شده‌اند

- بیوفیزیک مولکولی و سلولی
- ساختار و صورت‌بندی مولکول‌های زیستی
- روابط ساختار-عملکرد
- تغییرات صورت‌بندی
- اتصال لیگاند و اتصال دهن مولکولی
- انتشار و انتقال مولکولی
- بیوفیزیک غشا
- بیوفیزیک DNA و اسیدهای نوکلئیک
- بیوفیزیک پروتئین
- شارش انرژی و بیواثرزیفیک
- ترمودینامیک
- مکانیک آماری
- کینتیک

۴۰ / بیوفیزیک به زبان ساده

۶- مکانیک آماری، به کدام یک از بخش‌های بیوفیزیک تعلق دارد؟

الف) بیوفیزیک مولکولی و سلولی

ب) بیوفیزیک فیزیولوژیکی

ج) بیوفیزیک محیطی

د) همه‌ی موارد

۷- غشاهای سلولی به طور عمده از... ساخته شده‌اند.
الف) DNA
ب) پروتئین
ج) یاب ساکاریدها
د) لیپیدها

۸- یوانترژیک در درون کدام یک از دسته‌های بیوفیزیک قرار می‌گیرد؟

الف) بیوفیزیک مولکولی و سلولی

ب) بیوفیزیک فیزیولوژی

ج) بیوفیزیک محیطی

د) همه‌ی موارد

۹- درست‌ترین گزینه کدام است؟

الف) مکانیک آماری، از آمار استفاده می‌کند تا میانگین نیرویی را که جانوران برای رسیدن به حداکثر سرعت خود به کار

می‌برند، محاسبه نماید.

ب) مکانیک آماری، کاربرد روش‌های آماری در بیومکانیک است.

ج) مکانیک آماری، نامی اشتباه است، چرا که در عمل هیچ ربطی به آمار ندارد.

د) مکانیک آماری، از میانگین آماری جمعیت مولکول‌ها استفاده می‌کند تا مقادیر ترمودینامیکی قابل اندازه‌گیری را محاسبه

نماید.

۱۰- منظور از پلی‌مر زیستی .....

الف) نوعی بر هم کش آلوستریک است.

ب) تجمع بزرگی از مولکول‌های زیستی در درون سلول است.

ج) یک مولکول زیستی است که از تعداد زیادی مولکول‌های کوچک‌تر متصل به هم تشکیل شده است.

د) دولایه‌ی آمپیدی است.

## فرد آزمایی

در صورت لزوم به متن این فصل مراجعه کنید. پاسخ‌ها در پایان کتاب آمده است.

۱- سه بخش عمده‌ی بیوفیزیک، وقتی که شاخه‌های بیوفیزیک را با توجه به اندازه‌ی موضوع مورد مطالعه دسته بندی

می‌کنیم، کدام‌ها هستند؟

الف) بیوفیزیک مقیاس کوچک، متوسط و بزرگ

ب) بیوفیزیک میکروسکوپی، بافت و موجود زنده

ج) بیوفیزیک مولکولی و سلولی، فیزیولوژیکی و محیطی

د) بیوفیزیک مولکولی و سلولی، ساختاری و درشت‌مولکولی

۲- تغییر صورت‌بندی...؟

الف) با روش‌های گوناگونی قابل اندازه‌گیری است.

ب) تغییری در شکل مولکول است.

ج) روشی است که از طریق آن مولکول‌های زیستی عملکرد خود را انجام دهند.

د) همه موارد

۳- درست‌ترین عبارت کدام است؟

الف) ساختار دوم دو بعدی است، در حالی که ساختار سوم سه بعدی می‌باشد.

ب) ساختار اول تک بعدی است و نشان دهنده‌ی توالی اتم‌ها یا گروهی از اتم‌های متصل به هم است.

ج) مولکول‌های زیستی به ندرت پلی‌مر هستند.

د) باقی‌مانده‌ها، بخش‌هایی از مولکول هستند که پس از این که مولکول عملکرد خود را به انجام رساند، به جا می‌مانند.

۴- لیگاند...؟

الف) یک بافت پیوندی است که استخوان‌ها را کنار هم نگه می‌دارد.

ب) بافت پیوندی است که عضلات را به هم متصل می‌کند.

ج) یک عنصر در جدول تناوبی است.

د) یک مولکول یا اتم کوچک است که به یک مولکول بزرگ‌تر متصل می‌شود.

۵- سه شاخه‌ی بیوفیزیک که در بخش بیوفیزیک مولکولی و سلولی قرار دارند، عبارتند از:

الف) کیتیک، بیوفیزیک غشا و بافت‌شناسی

ب) بیوفیزیک حسی، بیوفیزیک پرئوی و آلوستریک

ج) آلوستریک، تغییرات صورت‌بندی و ترمودینامیک آماری

د) بیوفیزیک پروتئین، بیوفیزیک اندام‌ها، الکتروفیزیولوژی