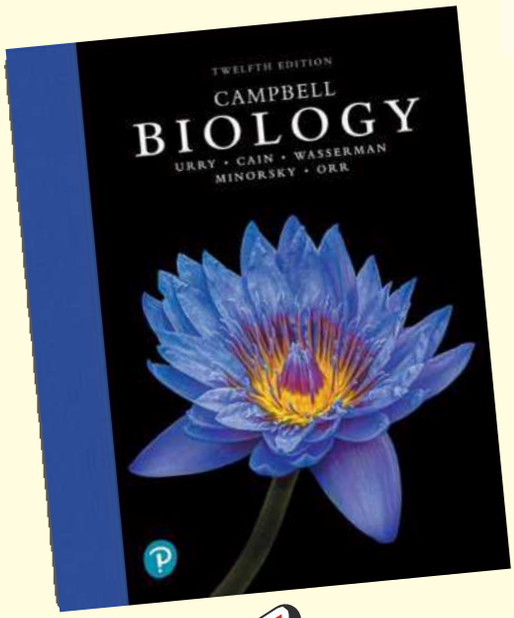
بسم الله الرحمن الرحیم



کتاب مرجع

بیولوژی کمپبل

ویرایش دوازدهم - 2020

لیزا یوری • مایکل کاین • استیون واسرمن
پیتر مینورسکای • ربکا اور

مترجمین

شراره مستانی‌نژاد، مصطفی پویان
علی وفایی، محمد امین خرقانی
امیرحسین شاهسوند، علیرضا تنوری
حمیدرضا نبوی ، ماهان پویان
مجید علی نوری

ویراستار علمی

مصطفی پویان

زیرنظر

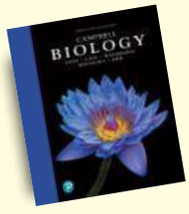
دکتر سامان حسینخانی
استاد گروه زیست‌شناسی دانشگاه تربیت مدرس

کتب آموزشی پیشرو

زیر ذره‌بین

خانه زیست‌شناسی

عنوان و نام پدیدآور	:	کتاب مرجع بیولوژی کمپبل/ لیزا یوری...[و دیگران]؛ مترجمین مصطفی پویان...[و دیگران]؛ ویراستار علمی مصطفی پویان؛ زیر نظر سامان حسینخانی.
مشخصات نشر	:	تهران، کتب آموزشی پیشرفته، ۱۴۰۰-
مشخصات ظاهری	:	ج: مصور (رنگی)؛ ۲۲ ×۲۹ س م.
شابک	:	ج.۱: ۴-۱-۹۴۱۳۸-۶۲۲-۹۷۸؛ ج.۲: ۳-۸-۹۴۱۳۸-۶۲۲-۹۷۸؛ ج ۵: ۹-۶-۹۴۱۳۸۶۲۲-۹۷۸
وضعیت فهرست نویسی	:	فیپا
یادداشت	:	لیزا یوری، مایکل کاین، استیون واسرمن، پیتر مینورسکای، ربکا اور.
یادداشت	:	مترجمین مصطفی پویان، شراره مستانی نژاد،امیرحسین شاهسوند، علی وفایی، محمدامین خراقانی، علیرضا تنوری، حمیدرضا نبوی، ماهان پویان، مجید علی نوری.
یادداشت	:	مترجمین جلد دوم مصطفی پویان، شراره مستانی نژاد، علی وفایی، محمدامین خراقانی، مجید علی نوری، حمیدرضا نبوی، ماهان پویان، امیرحسین شاهسوند.
یادداشت	:	مترجمین جلد پنجم مصطفی پویان، شراره مستانی نژاد، ساره زیدآبادی نژاد، مرضیه صالحی جهرمی...
یادداشت	:	عنوان اصلی: Campbell biology, 12th ed, 2020
یادداشت	:	ج.۲ (چاپ اول: ۱۴۰۱) (فیپا)
یادداشت	:	ناشر جلد کتب آموزشی پیشرو می باشد.
موضوع	:	زیست شناسی Biology
شناسه افزوده	:	اری، لیزا ا.
شناسه افزوده	:	Urry,Lisa A
شناسه افزوده	:	پویان پهنه کلایی، مصطفی ، ۱۳۵۱- ، مترجم، ویراستار
شناسه افزوده	:	حسینخانی، سامان، ۱۳۵۰-
رده بندی کنگره	:	QH ۳۰۸/۲
رده بندی دیویی	:	۵۷۰
شماره کتابشناسی ملی	:	۸۶۷۲۰۱۶
اطلاعات رکورد کتابشناسی	:	فیپا



کتاب مرجع

بیولوژی کمپبل

جلد دوم: سلول

نام کتاب : **کتاب مرجع بیولوژی کمپبل (جلد دوم)**

مولفین : **لیزا یوری و همکاران**

ترجمه : **خانه زیست‌شناسی**

ناشر : **کتب آموزشی پیشرو (کاپ)**

گروه ترجمه : **شراره مستانی‌نژاد، مصطفی پویـان و همکاران**

ویراستار علمی : **مصطفی پویـان**

زیر نظر : **دکتر سامان حسینخانی**

ویرایش ادبی : **مریم مجاور**

طراح و گرافیست : **سیما رائفی‌نیا- سپیده زارعی**

نوبت چاپ : **اول- ۱۴۰۱**

لیتوگرافی، چاپ، صحافی : **گلپاگرافیک/ نگارنقش**

شابک : **۳-۸-۹۴۱۳۸-۶۲۲-۹۷۸**

شمارگان : **۱۰۰۰ نسخه**

قیمت : **۱۴۰۰۰۰ تومان**

مرکز فروش: میـــدان انقلاب- خیابان فخـــررازی- خیـــابان وحیـــدنظری غربی- پـــلاک ۸۳

۰۲۱-۶۶۴۹۳۱۴۹۰ ۰۲۱-۶۶۹۶۱۰۷۹ ۰۲۱-۶۶۹۶۴۷۲۳ -۵ **فروشگاه:** ۰۲۱-۶۶۹۵۳۵۱۷-۱۸

صندوق پستی: ۱۳۱۴۵-۱۱۳۹ **آدرس سایت زیرذره‌بین:** www.zirezarebinpub.ir

سایت نشر کاپ: www.cup-book.com

cupbook.pub

پروفسور نیل کمپبل
(Neil A.Campbell)

پروفسور نیل آ. کمپبل، نویسندهٔ کتاب معروف "Biology" و محقق برجستهٔ دانشگاه کالیفرنیا، در ۲۱ اکتبر ۲۰۰۴ در بیمارستان "Redland" پس از تحمل رنج حاصل از نارسایی قلبی، درگذشت. وی در هنگام مرگ ۵۸ سال داشت. پروفسور کمپبل دکترایش را در شاخهٔ علوم گیاهی و در سال ۱۹۷۵ از دانشگاه کالیفرنیا دریافت کرد. وی سپس در کالج Pomona، دانشگاه Cornell و نیز کالج San Bernardino مشغول به تدریس شد تا اینکه در سال ۱۹۸۹ به گروه زیست‌شناسی دانشگاه کالیفرنیا پیوست. وی در تمامی این دانشگاهها و دانشکده‌ها به عنوان متخصص در آموزش زیست‌شناسی مشغول به فعالیت بود.

دکتر جودی هالت، پروفسور و رئیس دپارتمان علوم گیاهی دانشگاه کالیفرنیا می‌گوید : ***«دکتر کمپبل با بسیاری از دانشمندان و بزرگان زمان ما دوست بود. وی حامی سخاوتمندی برای کارکنان، دانشجویان و دپارتمان علوم گیاهی بود».***

مهارت تألیف و ایثار و از خودگذشتگی دکتر کمپبل در آموزش زیست‌شناسی، بر معروفیت گروه زیست‌شناسی دانشگاه کالیفرنیا افزود.

دکتر کمپبل یقیناً به خاطر نوشتن کتاب‌های معروف Biology در سطح بین‌المللی مشهور است. به گفتهٔ پیرسون و بنجامین کامینگز، ناشران کتاب‌های کمپبل، از زمان معرفی کتاب Biology در سال ۱۹۸۷، در حدود ۷۰٪ زیست‌شناسان، پزشکان، بیوتکنولوژیست‌ها و در حدود ۱۰۰٪ از معلمان زیست‌شناسی زیر ۴۰ سال، کتاب Biology را به عنوان کتاب درسی خود انتخاب کرده‌اند. در بخش دانش‌آموزی نیز تخمین زده می‌شود که هر ساله بیش از نیم میلیون دانش‌آموز در سراسر جهان از کتاب Biology کمپبل استفاده کنند.

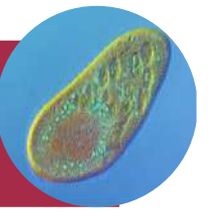
دکتر آنتونی هانگ، پروفسور زیست‌شناسی مولکولی و سلول گیاهی در دپارتمان زیست‌شناسی دانشگاه کالیفرنیا، در مورد تأثیر پروفسور کمپبل بر حوزهٔ زیست‌شناسی و آموزش علوم زیستی می‌گوید:

«کتاب‌هایش چنان معروفند که ماه گذشته، زمانی که برای شرکت در سمیناری در تایوان بودم، *سه ویرایش چینی* ***مختلف ازکتاب‌هایش را دیدم. هر جا که می‌روم، وقتی می‌گویم از دانشگاه کالیفرنیا هستم، مردم از من می‌پرسند، آیا دکتر کمپبل را می‌شناسم!»***

کتاب‌های بیولوژی کمپبل تا کنون به بیش از ۹ زبان زندهٔ دنیا ترجمه شده است. پس از مرگ دکتر کمپبل، از طرف خانواده‌اش درخواست می‌شود تا به جای اهدای تاج گل، هزینه‌اش را برای کمک به بودجهٔ تحقیقاتی دانشجویانش ، به حساب دانشگاه کالیفرنیا واریز کنند. در سال ۲۰۱۱ گروه مؤلفین کتاب Biology ، به پاس سال‌ها خدمات ارزشمند نیل کمپبل در زمینهٔ آموزش زیست‌شناسی، از ویرایش نهم، عنوان کتاب را به CAMPBELL BIOLOGY تغییر داده است.

روحش شاد و راهش پر رهرو باد

فهرست مطالب



فصل ۶
سفری به درون سلول

6-1 زیست‌شناسان برای بررسی سلول‌ها از میکروسکوپ و ابزارهای بیوشیمی استفاده می‌کنند ۸
کاربرد میکروسکوپ (میکروسکوپی) ۸
جزءبه‌جزء کردن سلولی ۱۰

6-2 سلول‌های یوکاریوتی دارای غشاهای داخلی هستند که به‌کمک این غشاها اعمال‌شان را سازمان‌دهی می‌کنند ۱۲
مقایسهٔ سلول‌های پروکاریوتی و یوکاریوتی ۱۲
نگاهی دقیق‌تر به سلول یوکاریوتی ۱۳

6-3 اطلاعات و دستورات ژنتیکی سلول‌های یوکاریوتی در هسته قرار دارند و به‌وسیلهٔ ریبوزوم‌ها به مرحلهٔ عمل در می‌آیند ۱۸
هسته: کتابخانهٔ ژنتیکی سلول ۱۸
ریبوزوم‌ها: کارخانه‌های پروتئین‌سازی ۱۹

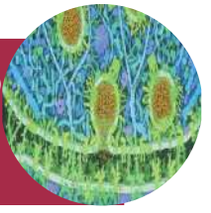
6-4 دستگاه غشایی درونی سلول‌ها، جابه‌جایی پروتئین‌ها را تنظیم کرده و اعمال متابولیکی سلول‌ها را انجام می‌دهد ۲۱
شبکهٔ آندوپلاسمی: کارخانهٔ سنتز زیستی ۲۱
اعمال شبکهٔ آندوپلاسمی صاف ۲۱
اعمال شبکهٔ آندوپلاسمی زبر ۲۲
دستگاه گلژی: مرکز ارسال و دریافت ۲۳
لیزوزوم‌ها: بخش‌های گوارش‌دهنده ۲۵
واکوئل‌ها: بخش‌های نگهدارنده و متنوع ۲۵
سیستم غشایی درونی: مرور ۲۶

6-5 میتوکندری‌ها و کلروپلاست‌ها انرژی را از یک شکل به شکل دیگر تبدیل می‌کنند ۲۷
منشأ تکاملی میتوکندری‌ها و کلروپلاست‌ها ۲۷
میتوکندری‌ها: تبدیل انرژی شیمیایی ۲۸
کلروپلاست‌ها: به دام انداختن انرژی نوری ۲۸
پراکسی‌زوم‌ها: اکسیداسیون ۳۰

6-6 اسکلت سلولی شامل شبکه‌ای از رشته‌هایی است که ساختارها و فعالیت‌های سلولی را سازماندهی می‌کند ۳۰
وظایف اسکلت سلولی: پشتیبانی و تحرک ۳۱
اجزای اسکلت سلولی ۳۱
ریزلوله‌ها ۳۲
سانتروزوم‌ها و سانتریول‌ها ۳۲
مژک‌ها و تاژک‌ها ۳۳
ریزرشته‌ها (رشته‌های اکتین) ۳۵
رشته‌های حدواسط ۳۶

6-7 اجزای خارج‌سلولی و اتصالات بین سلول‌ها به هماهنگ نمودن فعالیت‌های سلولی کمک می‌کنند ۳۷
دیواره‌های سلولی گیاهان ۳۷
ماتریکس خارج‌سلولی در سلول‌های جانوری ۳۸
اتصالات بین سلولی ۴۰
پلاسمودسماتا در سلول‌های گیاهی ۴۰
اتصالات محکم، دسموزوم‌ها و اتصالات منفذدار در جانوران ۴۰

6-8 یک سلول بزرگ تر از مجموع اجزایش است ۴۱



فصل ۷
ساختار و عملکرد غشا

7-1 غشاهای سلولی موزاییک سیالی از لیپیدها و پروتئین‌ها هستند ۴۸
سیال بودن غشا ۴۹
سیر تکاملی تنوع و گوناگونی در ترکیب لیپیدی غشا ۵۰
پروتئین‌های غشایی و عملکردهای آنها ۵۰
نقش کربوهیدرات‌های غشایی در شناسایی سلول ـ سلول ۵۳
ساخت و جهت‌گیری غشاها ۵۳

7-2 ساختار غشا باعث ایجاد خاصیت نفوذپذیری انتخابی می‌شود ۵۴
تراوایی (نفوذپذیری) دولایهٔ لیپیدی ۵۴
پروتئین‌های انتقال‌دهنده ۵۴

7-3 انتقال غیرفعال، نوعی انتشار ماده از عرض غشا بدون صرف انرژی است ۵۵
اثرات اسمز در تعادل آب ۵۶
تعادل آب در سلول‌های بدون دیواره ۵۷
تعادل آب در سلول‌های دارای دیواره ۵۸
انتشار تسهیل‌شده: انتقال غیرفعالی که با کمک پروتئین‌ها صورت می‌گیرد ۵۸

7-4 انتقال فعال با صرف انرژی، مواد حل‌شده را برخلاف شیب غلظت جابه‌جا می‌کند ۶۰
انتقال فعال به انرژی نیاز دارد ۶۰
نگهداری پتانسیل غشا توسط پمپ‌های یونی ۶۱
انتقال همراه: انتقال هم‌زمان به کمک یک پروتئین غشایی ۶۳

7-5 انتقال توده‌ای مواد از عرض غشای پلاسمایی توسط اگزوسیتوز و اندوسیتوز انجام می‌گیرد ۶۳
اگزوسیتوز ۶۴
اندوسیتوز ۶۴

فصل ۸
مقدمه‌ای بر متابولیسم

8-1 متابولیسم جانداران، تغییر ماده و انرژی، برطبق قوانین ترمودینامیک است ۷۰
سازمان‌دهی شیمی حیات در مسیرهای متابولیکی ۷۰
انواع انرژی ۷۰
قوانین تبدیل انرژی ۷۱
قانون اول ترمودینامیک ۷۲
قانون دوم ترمودینامیک ۷۲
نظم و بی‌نظمی زیستی ۷۳

8-2 تغییر انرژی آزاد یک واکنش، از خودبه‌خودی بودن انجام آن خبر می‌دهد ۷۴
تغییر انرژی آزاد، ΔG ۷۴
انرژی آزاد، پایداری و تعادل ۷۵
انرژی آزاد و متابولیسم ۷۶
واکنش‌های انرژی‌زا و انرژی‌خواه در متابولیسم ۷۶
تعادل و متابولیسم ۷۷

8-3 ATP با همراه کردن واکنش‌های انرژی‌زا با واکنش‌های انرژی‌خواه باعث انجام کار سلولی می‌شود ۷۸
ساختار و هیدرولیز ATP ۷۸
چگونه هیدرولیز ATP کار انجام می‌دهد ۷۹

8-4 آنزیم‌ها با کم کردن سدهای انرژی، سرعت واکنش‌های متابولیسمی را افزایش می‌دهند ۸۱
سد انرژی فعال‌سازی ۸۲
چگونگی افزایش سرعت واکنش‌ها توسط آنزیم‌ها ۸۳
اختصاصی بودن سوبسترای آنزیم‌ها ۸۳
کاتالیز در جایگاه فعال آنزیم ۸۴
اثرات شرایط موضعی بر فعالیت آنزیم ۸۶
اثر دما و pH ۸۶
کوفاکتورها ۸۷
مهارکننده‌های آنزیمی ۸۸
تکامل آنزیم‌ها ۸۸

8-5 تنظیم فعالیت آنزیمی به کنترل متابولیسم کمک می‌کند ۸۹
تنظیم آلوستریک آنزیم‌ها ۸۹
فعال‌سازی و مهار آلوستریکی ۹۰
مهار بازخوردی (خودتنظیمی) ۹۱
جایابی اختصاصی آنزیم‌ها در سلول ۹۲

فصل ۹
تنفس سلولی و تخمیر

9-1 مسیرهای کاتابولیسمی با اکسیدکردن مواد آلی، انرژی تولید می‌کنند ۹۸
مسیرهای کاتابولیک و ساخت ATP ۹۸
واکنش‌های ردوکس: اکسایش و کاهش ۹۹
اصل ردوکس ۹۹
اکسیدشدن مولکول‌های سوختنی آلی در تنفس سلولی ۱۰۰
آزاد شدن تدریجی انرژی توسط NAD^+ و زنجیرهٔ انتقال الکترون ۱۰۰
مراحل تنفس سلولی: یک بررسی مقدماتی ۱۰۲

9-2 گلیکولیز با اکسیدکردن گلوکز به پیروووات، انرژی شیمیایی تولید می‌کند ۱۰۴

9-3 پس از اینکه پیروووات اکسید شد، چرخهٔ سیتریک اسید، اکسیداسیون انرژی‌زای مولکول‌های آلی را تکمیل می‌کند ۱۰۵
اکسیداسیون پیروووات به استیل کوآنزیم A ۱۰۵
چرخهٔ سیتریک اسید ۱۰۶

9-4 طی فسفریلاسیون اکسیداتیو، فرایند شیمیواسمز، انتقال الکترون را با ساخت ATP همراه می‌کند ۱۰۸
مسیر انتقال الکترون ۱۰۸
شیمیواسمز: مکانیسم جفت شدن انرژی ۱۰۹
اندازه‌گیری میزان تولید ATP در تنفس سلولی ۱۱۲

9-5 تخمیر و تنفس بی‌هوازی، سلول‌ها را قادر می‌سازند تا بدون استفاده از اکسیژن ATP بسازند ۱۱۴
انواع تخمیر ۱۱۵
مقایسهٔ تخمیر با تنفس هوازی و بی‌هوازی ۱۱۶
اهمیت تکاملی گلیکولیز ۱۱۷

9-6 گلیکولیز و چرخهٔ سیتریک اسید با بسیاری از مسیرهای متابولیسمی دیگر ارتباط دارند ۱۱۸
گوناگونی در کاتابولیسم ۱۱۸
بیوسنتز (مسیرهای آنابولیکی) ۱۱۹
تنظیم تنفس سلولی از راه سازوکارهای خودتنظیمی ۱۱۹

فصل ۱۰
فتوسنتز

10-1 فرآیندی که غذای زیست کره را فراهم می کند ۱۲۶

10-2 فتوسنتز، انرژی نور را به انرژی شیمیایی ذخیره شده در غذاها تبدیل می کند ۱۲۷

کلروپلاست ها: جایگاه فتوسنتز در گیاهان ۱۲۷
ردیابی اتم‌ها در فتوسنتز: تحقیق علمی ۱۲۸
تجزیهٔ آب ۱۲۸
دو مرحلهٔ فتوسنتز: نگاه کلی ۱۲۹

10-3 واکنش‌های نوری، انرژی نور خورشید را به انرژی شیمیایی ذخیره‌شده در ATP و NADPH تبدیل می‌کنند ۱۳۱
ماهیت نور ۱۳۱
رنگیزه‌های فتوسنتزی: گیرنده‌های نور ۱۳۲
برانگیختگی کلروفیل توسط نور ۱۳۴
فتوسیستم: کمپلکس مرکز واکنش که با کمپلکس‌های دریافت‌کنندهٔ نور همراه است ۱۳۵
جریان خطی الکترون ۱۳۶
جریان چرخه‌ای الکترون ۱۳۸
مقایسهٔ شیمیواسمز در کلروپلاست‌ها و میتوکندری‌ها ۱۳۹

10-4 چرخهٔ کالوین از ATP و NADPH، برای تبدیل CO_2 به قند استفاده می‌کند ۱۴۱

10-5 در شرایط آب و هوایی گرم و خشک، مکانیسم‌های جایگزینی برای تثبیت کربن تکامل یافته‌اند ۱۴۳
آیا تنفس نوری یک ردپای تکاملی است؟ ۱۴۳
گیاهان C_4 ۱۴۴
گیاهان CAM ۱۴۷

10-6 فتوسنتز برای زندگی روی زمین ضروری است ۱۴۸

فصل ۱۱ ارتباط سلولی

11-1 پیام‌های بیرونی به پاسخ‌هایی درون‌سلولی تبدیل می‌شوند ۱۵۶
تکامل پیام‌رسانی سلولی ۱۵۶
پیام‌رسانی موضعی و از راه دور ۱۵۸
سه مرحلهٔ پیام‌رسانی سلولی: مروری کلی ۱۵۹

11-2 دریافت: یک مولکول پیام‌رسان به یک پروتئین گیرنده متصل و موجب تغییر شکل آن می‌شود ۱۶۱
گیرنده‌ها در غشای پلاسمایی ۱۶۱
گیرنده‌های درون‌سلولی ۱۶۴

11-3 تبدیل و انتقال: آبشارهایی از میانکنش‌های مولکولی، پیام‌ها را از گیرنده‌ها تا مولکول‌های هدف در سلول، تقویت می‌کنند ۱۶۶
مسیرهای تبدیل و انتقال پیام ۱۶۶
فسفریله شدن و دِفسفریله شدن پروتئین ۱۶۷
مولکول‌های کوچک و یون‌ها به‌عنوان پیک‌های دومین ۱۶۷
AMP حلقوی ۱۶۸
یون‌های کلسیم و اینوزیتول تریس‌فسفات (IP۳) ۱۶۹

11-4 پاسخ: پیام‌رسانی سلولی به تنظیم فعالیت‌های سیتوپلاسمی یا رونویسی می‌انجامد ۱۷۱
پاسخ‌های سیتوپلاسمی و هسته‌ای ۱۷۱
تنظیم دقیق پاسخ ۱۷۲
تشدید پیام ۱۷۲
اختصاصی بودن پیام‌رسانی سلولی و هماهنگی پاسخ ۱۷۲
کارآیی پیام‌رسانی: پروتئین‌های داربست و مجموعه‌های پیام‌رسانی ۱۷۳
پایان پیام ۱۷۴

11-5 آپوپتوز، چندین مسیر پیام‌رسانی سلولی را تلفیق می‌کند ۱۷۵
آپوپتوز در کرم سینورابدیتیس الگانس ۱۷۶
مسیرهای آپوپتوزی و پیام‌های فعال‌کنندهٔ آنها ۱۷۶

فصل ۱۲ چرخهٔ سلولی

12-1 اغلب تقسیم سلولی، سلول‌های دختری را به وجود می‌آورد که از نظر ژنتیکی یکسان هستند. ۱۸۲
نقش‌های اساسی تقسیم سلولی ۱۸۲
سازماندهی سلولی مواد ژنتیکی ۱۸۲
توزیع کروموزوم‌ها در طی تقسیم سلولی یوکاریوتی ۱۸۳

12-2 مراحل میتوز و اینترفاز، چرخهٔ سلولی را تشکیل می‌دهند ۱۸۴
مراحل چرخهٔ سلولی ۱۸۴
دوک میتوزی: نگاهی دقیق‌تر ۱۸۵
سیتوکینز: نگاهی دقیق‌تر ۱۸۹
تقسیم دوتایی در باکتری‌ها ۱۹۰
تکامل میتوز ۱۹۲

12-3 چرخهٔ سلولی یوکاریوتی به‌وسیلهٔ یک دستگاه کنترل مولکولی، تنظیم می‌شود ۱۹۳
سیستم کنترل چرخهٔ سلولی ۱۹۴
ساعت چرخهٔ سلولی: سایکلین‌ها و کینازهای وابسته به سایکلین ۱۹۵
نشانه‌های توقف و پیش‌برنده: سیگنال‌های درونی و بیرونی نقاط وارسی ۱۹۶
نبود کنترل‌های چرخهٔ سلولی در سلول‌های سرطانی ۱۹۸

6 A Tour of the Cell

سفـری بـه درون سلـول

▲ شکل ۱-۶ سلول، اساس ساختاری و عملکردی موجودات زنده است. تصویر بالا مربوط به پارامسی است که یک جاندار تک‌سلولی محسوب می‌شود. بسیاری از انواع حیات، به شکل موجودات زندهٔ تک‌سلولی وجود دارند. موجودات زندهٔ بزرگ‌تر و پیچیده‌تر مانند گیاهان و جانوران، پرسلولی هستند. در این فصل، عمدتاً بر سلول‌های یوکاریوتی (سلول‌هایی را که دارای هستهٔ مشخص هستند) تمرکز می‌کنیم.

مفاهیم کلیدی

۶-۱ زیست‌شناسان برای بررسی سلول‌ها از میکروسکوپ و ابزارهای بیوشیمی استفاده می‌کنند

۶-۲ سلول‌های یوکاریوتی دارای غشاهای داخلی هستند که با کمک این غشاها اعمال‌شان را سازمان‌دهی می‌کنند

۶-۳ اطلاعات و دستورات ژنتیکی سلول‌های یوکاریوتی در هسته قرار دارند و به‌وسیلهٔ ریبوزوم‌ها به مرحلهٔ عمل درمی‌آیند

۶-٤ دستگاه غشایی درونی سلول‌ها، جابه‌جایی پروتئین‌ها را تنظیم کرده و اعمال متابولیکی سلول‌ها را انجام می‌دهد

۶-۵ میتوکندری‌ها و کلروپلاست‌ها انرژی را از شکلی به شکل دیگر تبدیل می‌کنند

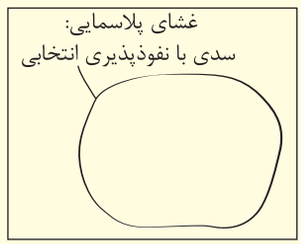
۶-۶ اسکلت سلولی شامل شبکه‌ای از رشته‌هایی است که ساختارها و فعالیت‌های سلول را سازمان‌دهی می‌کنند

۶-۷ اجزای خارج‌سلولی و اتصالات بین سلول‌ها به هماهنگ کردن فعالیت‌های سلولی کمک می‌کنند

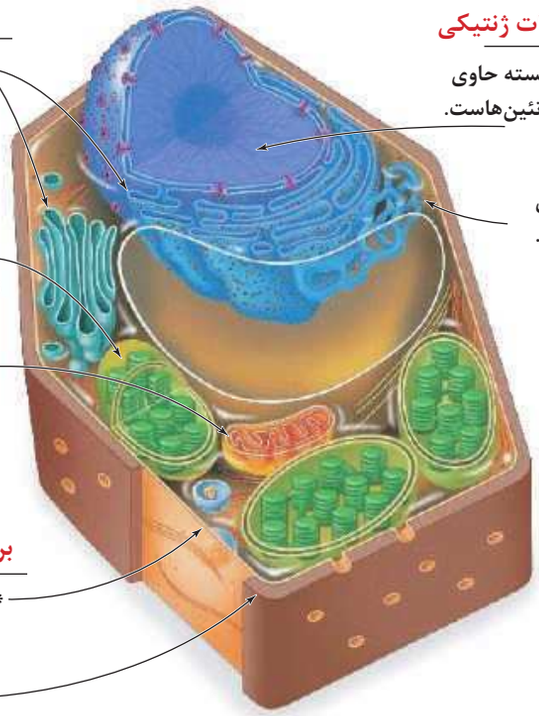
۶-۸ یک سلول، بزرگ‌تر از مجموع اجزایش است

روش مطالعه

یک سلول جانوری و یک سلول گیاهی رسم کنید: طرح یک سلول جانوری را رسم نموده و سپس ساختارها، نام‌ها و عملکردهایشان را اضافه کنید. سپس همین کار را برای یک سلول گیاهی نیز تکرار کنید.



سازمان دهی داخلی در سلول های یوکارتی، چگونه امکان انجام عملکردهای حیاتی سلول را فراهم می سازد؟



تغییرشکل ماده و انرژی

* سیستمی از غشاهای درونی، پروتئین‌ها، لیپیدها و کربوهیدرات‌ها را سنتز کرده و آنها را تغییر می‌دهند.

* کلروپلاست‌ها انرژی نوری را به انرژی شیمیایی تبدیل می‌کنند.

* میتوکندری‌ها با تجزیهٔ مولکول‌ها، ATP تولید می‌کنند.

ذخیره و انتقال اطلاعات ژنتیکی

* DNAی موجود در هسته حاوی دستورالعمل ساخت پروتئین‌هاست.

*ریبوزوم‌ها، مکان‌های سنتز پروتئین هستند.

ریبوزوم

پروتئین

برهمکنش با محیط

* ورود مواد به سلول و نیز خروج آنها از سلول، توسط غشای پلاسمایی کنترل می‌شود.

* سلول‌های گیاهی، دیوارهٔ سلولی محافظ دارند.

مبحث 1-6

زیست‌شناسان برای بررسی سلول‌ها از میکروسکوپ و ابزارهای بیوشیمی استفاده می‌کنند

چگونه زیست‌شناسان سلولی اعمال درونی این اجزای ریز و زنده را بررسی می‌کنند؟ قبل از اینکه سفری به درون سلول داشته باشیم، اطلاع از چگونگی بررسی سلول‌ها می‌تواند بسیار مفید باشد.

کاربرد میکروسکوپ (میکروسکوپی)

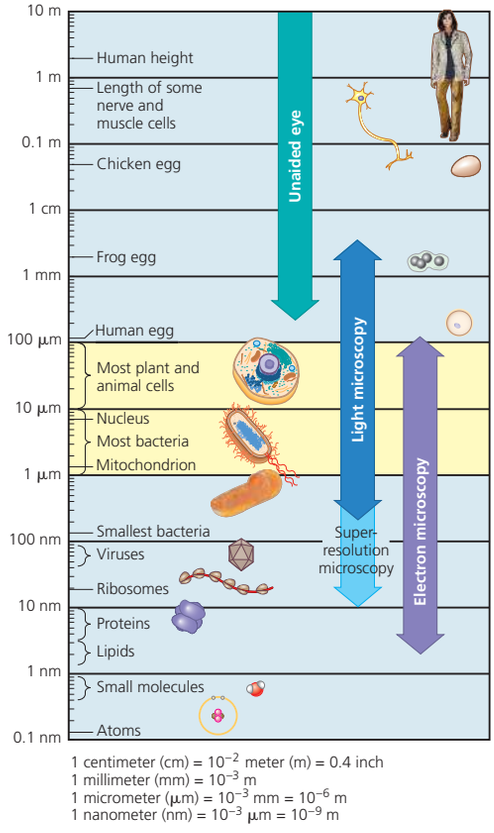
پیشرفت علوم به موازات ابداع وسایلی است که حواس انسان را تقویت می‌کنند. کشف و مطالعهٔ اولیهٔ سلول‌ها با ابداع میکروسکوپ در سال ۱۵۹۰ و اصلاح آن در قرن ۱۷ آغاز شد. رابرت هوک در سال ۱۶۵۵، زمانی‌که با میکروسکوپ سلول‌های مردهٔ پوست درخت بلوط را مشاهده می‌کرد، برای اولین بار دیوارهٔ سلولی را دید. اما برای مشاهدهٔ سلول‌های زنده، عدسی‌هایی که آنتونی وَن لیون‌هوک به طرز شگفت‌آوری ساخته بود، مورد نیاز بود. هیجان هوک زمانی‌که در سال ۱۶۷۴ ون لیون‌هوک را ملاقات کرد و جهان میکرو ارگانیسم‌ها -که هوک آنها را جانوران بسیار کوچک ذره‌بینی می‌نامید- برایش آشکار شد، قابل تصور نیست.

میکروسکوپ‌هایی که در ابتدا به‌وسیلهٔ دانشمندان دورهٔ رنسانس استفاده می‌شدند، درست همانند میکروسکوپ‌هایی هستند که شما احتمالاً در آزمایشگاه استفاده می‌کنید، یعنی از نوع **میکروسکوپ‌های نوری (LM)** بودند. نور مرئی از نمونه عبور کرده و نهایتاً به عدسی‌های شیشه‌ای می‌رسد. عدسی‌ها نور را به‌گونه‌ای منعکس می‌کنند (می‌شکنند) که تصویری بزرگ‌شده از نمونه به چشم می‌رسد.

سه پارامتر مهم در کاربرد میکروسکوپ، **بزرگ‌نمایی، قدرت تفکیک** و **کنتراست** هستند. بزرگ‌نمایی در میکروسکوپی به نسبت اندازهٔ تصویر نمونه، به اندازهٔ واقعی آن اطلاق می‌شود. میکروسکوپ‌های نوری می‌توانند یک نمونه را حدود ۱۰۰۰ برابر اندازهٔ واقعی آن بزرگ کنند. هرچه بزرگ‌نمایی بیشتر شود، تصویر، تیره، تار و مبهم‌تر می‌شود. قدرت تفکیک، میزان وضوح و شفافیت تصویر است؛ به‌عبارتی کمترین فاصلهٔ بین دو نقطه است به گونه‌ای که به‌صورت دو نقطهٔ مجزا تشخیص داده شوند. برای مثال، آنچه که به‌عنوان یک ستاره در آسمان به‌وسیلهٔ چشم غیرمسلح دیده می‌شود شاید به کمک تلسکوپ به‌صورت دو ستاره در کنار یکدیگر مشاهده گردد. به‌طور مشابه، میکروسکوپ نوری نمی‌تواند جزئیات ریزتر از ۰/۲ میکرومتر (µm) یا ۲۰۰ نانومتر (nm) را صرف‌نظر از میزان بزرگ‌نمایی نشان دهد (شکل ۲-۶). پارامتر سوم (کنتراست)، تفاوت وضوح در بخش‌های روشن و تیرهٔ یک تصویر است. روش‌های افزایش کنتراست شامل رنگ‌آمیزی و نام‌گذاری اجزای سلول هستند که موجب دیده شدن آنها می‌شوند. شکل ۳-۶ انواع مختلف میکروسکوپی را نشان می‌دهد. در طول مطالعهٔ این بخش به این شکل توجه کنید. زیست‌شناسان سلولی به‌دلیل عدم وجود قدرت تفکیک بالا، قادر به استفاده از میکروسکوپ‌های نوری معمولی برای مطالعهٔ اندامک‌ها نبودند. (اندامک‌ها ساختارهای دارای غشا هستند که در سلول‌های یوکاریوتی وجود دارند). برای مشاهدهٔ این ساختارها و جزئیات آنها نیاز به توسعهٔ ابزار جدیدی بود. در سال ۱۹۵۰، میکروسکوپ الکترونی به زیست‌شناسی معرفی شد.

شکل ۲-۶ محدودهٔ اندازهٔ سلول‌ها. اکثر سلول‌ها دارای قطری بین ۱ تا ۱۰۰ میکرومتر هستند و بنابراین تنها به‌وسیلهٔ میکروسکوپ دیده می‌شوند. توجه داشته باشید که مقیاس سمت چپ شکل، لگاریتمی است تا با محدودهٔ اندازه‌های نشان‌داده‌شده تطابق داشته باشد. مقیاس با ۱۰ متر شروع می‌شود و پائین می‌آید، هر مقیاس اندازه‌گیری منبع، کاهش ده برابری را نشان می‌دهد در ضخامت و یا طول. برای مشاهدهٔ سیستم اندازه‌گیری کامل، ضمیمهٔ *C* را نگاه کنید.

For a complete table of the metric system, see the back of the book.



1 centimeter (cm) = 10^{-2} meter (m) = 0.4 inch
1 millimeter (mm) = 10^{-3} m
1 micrometer (µm) = 10^{-3} mm = 10^{-6} m
1 nanometer (nm) = 10^{-3} µm = 10^{-9} m

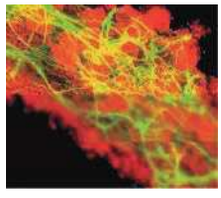
در **میکروسکوپ الکترونی (EM)** به‌جای نور، پرتوی از الکترون‌ها بر نمونه و یا سطح آن تابیده می‌شود. قدرت تفکیک به‌صورت معکوس به طول موج پرتو به‌کار رفته در میکروسکوپ وابسته است. پرتوهای الکترونی دارای طول موج‌های کوتاه‌تر از نور مرئی هستند. با اینکه میکروسکوپ‌های الکترونی جدید دارای قدرت تفکیک ۰/۰۰۲ نانومتر هستند، اما عملاً برای ساختارهای زیستی کوچک‌تر از ۲ نانومتر قابل استفاده نیستند. با این وجود، این قدرت تفکیک هنوز ۱۰۰ برابر میکروسکوپ‌های نوری است.

میکروسکوپ الکترونی نگاره (SEM) برای مطالعهٔ جزئیات سطح نمونه مفید است (شکل ۳- ۶). پرتو الکترونی، سطح نمونه را که معمولاً به‌وسیلهٔ لایهٔ نازکی از طلا پوشیده شده است پویش (اسکن) می‌کند.

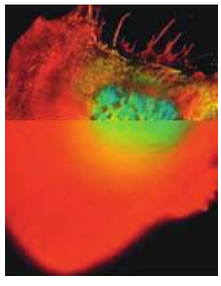
▼ شکل ۳- ۶ بررسی میکروسکوپی

میکروسکوپ نوری (LM)

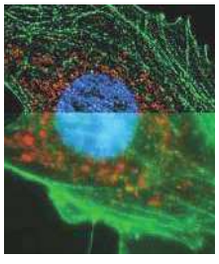
هم کانون. تصویر بالا یک ریزنگار فلوئورسنس استاندارد از بافت عصبی نشان‌دارشده با مواد فلوئورسنت است (سلول‌های عصبی سبز، سلول‌های پشتیبان نارنجی و مناطق هم‌پوشان زرد هستند)؛ شکل پایین، یک تصویر هم‌کانون از همان بافت است. این تکنیک، با استفاده از نور لیزر، نور متمرکزنشده را از نمونهٔ ضخیم حذف کرده، یک صفحهٔ منفرد از فلوئورسنس را در تصویر ایجاد می‌کند. با گرفتن تصاویر شارپ در سطوح متفاوت، می‌توان یک تصویر سه‌بعدی ایجاد کرد. تصویر استاندارد کدر است زیرا نور متمرکزنشده حذف نشده است.



پیچش‌زدایی (پیچیدگی‌زدایی). در بالای این شکل دو بخشی، تلفیقی از ریزنگارهای فلوئورسنس از درون گلبول سفید را مشاهده می‌کنید. بخش پایینی، شکلی است از همان سلول که از تصاویر تار و زیادی که از سطوح مختلف آن گرفته شده، بازسازی شده است و هرکدام با استفاده از نرم‌افزارهای پیچیدگی‌زدا پردازش شده‌اند. این نرم‌افزار و تکنولوژی که استفاده شده، به‌صورت دیجیتالی نور خارج از مرکز را حذف کرده و دوباره آن را به منبعش برمی‌گرداند و در نتیجه یک تصویر سه‌بعدی بسیار واضح را به‌وجود می‌آورد.



وضوح بالا. برای ایجاد این تصویر بسیار واضح از سلول آئورت گاو (بالا) مولکول‌های فلوئورسنت منفرد توسط نور UV برانگیخته شدند و موقعیت قرارگیری آنها ثبت شد. (DNA به رنگ آبی، میتوکندری به رنگ قرمز و بخشی از اسکلت سلولی به رنگ سبز.) با ترکیب اطلاعاتی که در سطوح مختلف از مولکول‌ها به‌دست می‌آید، محدودیت وضوح «شکسته می‌شود» و تصویر واضح بالا، حاصل می‌شود. همان‌طور که در تصویر هم‌کانون (پایین) همان سلول دیده می‌شود، اندازهٔ هر نقطه، بسیار کمتر از قدرت تفکیک یک میکروسکوپ استاندارد نوری، یعنی ۲۰۰ نانومتر است.



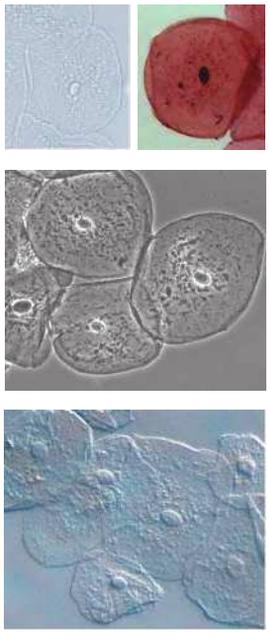
زمینه‌روشن نور به‌طور مستقیم از نمونه می‌گذرد. تصویر، کنتراست کمی دارد (چپ)

رنگ‌آمیزی با رنگ‌های مختلف (راست)، کنتراست را افزایش می‌دهد. بیشتر روش‌های رنگ‌آمیزی نیاز دارند که سلول تثبیت‌شده باشد، بنابراین سلول را می‌کشند.

فاز کنتراست. با تقویت تغییرات در چگالی نمونه، کنتراست را در نمونهٔ رنگ‌آمیزی‌نشده افزایش می‌دهد. مخصوصاً برای مطالعهٔ سلول‌های رنگ‌آمیزی‌نشده و زنده مفید است.

کنتراست افتراقی - تداخلی (نومارسکی). شبیه میکروسکوپ فاز کنتراست، از تغییرات اپتیکی بهره می‌برد تا تفاوت‌های چگالی را افزایش دهد و تصویر تقریباً سه‌بعدی به نظر می‌رسد.

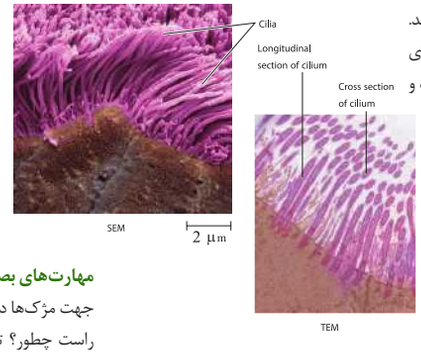
فلوئورسنس. جایگاه مولکول‌های ویژه را در سلول با نشان‌دار کردن مولکول‌ها توسط پادتن‌ها و رنگ‌های فلوئورسنت نشان می‌دهد. این مواد فلوئورسنت، تابش ماورای بنفش را جذب کرده و نور مرئی تابش می‌کنند. در این سلول رحمی نشان‌دارشده با فلوئورسنت، DNA، آبی، میتوکندری‌ها نارنجی و اسکلت سلولی سبز است.



میکروسکوپ الکترونی (EM)

میکروسکوپ الکترونی گذاره (TEM). میکروسکوپ الکترونی گذاره، یک بخش نازک از نمونه را نشان می‌دهد. اینجا، ما برشی از یک سلول نای را می‌بینیم. هنگام آماده‌سازی نمونه برای TEM، برخی مژک‌ها در راستای طول‌شان بریده شده و برش‌های طولی را ایجاد می‌کنند، درحالی‌که مژک‌های دیگر به‌صورت عرضی بریده شده و برش عرضی را ایجاد می‌نمایند.

میکروسکوپ الکترونی ـ کرایو (cryo-EM). نمونه‌های بافت یا محلول‌های آبی پروتئینی، به‌سرعت در دماهایی پایین‌تر $-160^{\circ}C$ از یخ می‌زنند تا مولکول‌ها در حالتی بسیار ثابت قرار گیرند. یک پرتوی الکترونی از نمونه عبور داده می‌شود تا مولکول‌ها ازطریق میکروسکوپ الکترونی قابل مشاهده شوند، سپس از یک نرم‌افزار برای ظاهر کردن مجموعه‌ای از ریزنگارها استفاده می‌شود تا تصویری سه‌بعدی، مانند آنچه در پایین دیده می‌شود، حاصل شود. تصویر کامپیوتری آنزیم باکتریایی گالاکتوزیداز که مسئول تجزیهٔ لاکتوز است. این تصویر از کنار هم قرار گرفتن ۹۰،۰۰۰ تصویر cryo-EM تشکیل شده است.



میکروسکوپ الکترونی نگاره (SEM). ریزنگارهای گرفته‌شده با میکروسکوپ الکترونی نگاره، یک تصویر سه‌بعدی از سطح یک نمونه را نشان می‌دهند. این SEM، سطح یک سلول نای را نشان می‌دهد که با مژک پوشیده شده است. SEM و TEM نشان داده شده در اینجا به طور مصنوعی رنگ‌آمیزی شده‌اند. (ریزنگارهای الکترونی، سیاه و سفید هستند، اما اغلب به‌طور مصنوعی رنگ‌آمیزی می‌شوند تا ساختارهای خاصی برجسته شوند.)

مهارت‌های بصری ◄ زمانی‌که بافت برای مشاهده با TEM برش‌خورده، جهت مژک‌ها در تصویر بالا سمت چپ چگونه بوده است؟ در تصویر سمت راست چطور؟ توضیح دهید که جهت‌گیری مژک‌ها چگونه نوع مقطع را تعیین می‌کند؟

پرتو، الکترون‌های سطح نمونه را برمی‌انگیزد و این الکترون‌های ثانوی توسط ابزاری شناسایی می‌شوند که الگوی الکترون‌ها را به یک سیگنال الکترونی در صفحهٔ ویدئو تبدیل می‌کند. درنتیجه، تصویری سه بعدی از سطح نمونه ایجاد می‌شود.

زیست‌شناسان سلولی از میکروسکوپ الکترونی گذاره (TEM) به‌منظور مطالعهٔ ساختار درونی سلول‌ها استفاده می‌کنند (**شکل ۳- ۶**). در میکروسکوپ گذاره، پرتو الکترونی از درون بخش بسیار نازکی از نمونه عبور می‌کند، درست مشابه با مسیری که نور در میکروسکوپ نوری از درون یک اسلاید (لام) می‌گذرد. نمونه با اتم‌های فلزات سنگین رنگ‌آمیزی می‌شود که این اتم‌ها به ساختارهای سلولی خاصی متصل می‌شوند، لذا چگالی الکترونی بخش‌هایی از سلول نسبت به سایر قسمت‌ها افزایش می‌یابد. الکترون‌هایی که از نمونه عبور می‌کنند در نواحی با چگالی بیشتر پخش می‌شوند، به‌طوری‌که الکترون‌های کمتری از آن ناحیه عبور می‌کنند. تصویر به‌وسیلهٔ الکترون‌های عبوریافته ایجاد می‌شود. در میکروسکوپ گذاره و نگاره به‌جای عدسی شیشه‌ای از آهن‌رباهای الکترونی استفاده می‌شود که مسیر حرکت الکترون‌ها را کج کرده و نهایتاً تصویری را برروی صفحهٔ نمایش یا فیلم عکاسی ایجاد می‌کنند.

میکروسکوپ‌های الکترونی، بسیاری از اندامک‌های سلولی را که به‌وسیلهٔ میکروسکوپ نوری قابل مشاهده نبودند شناسایی کردند. ولی میکروسکوپ‌های نوری نسبت به نوع الکترونی مزایایی را دارا هستند، به‌ویژه اینکه برای مطالعهٔ سلول‌های زنده استفاده می‌شوند. یک عیب میکروسکوپ الکترونی در این است که روش مورد استفاده در تهیهٔ نمونه همراه با از بین بردن و کشتن سلول‌ها است. همچنین آماده‌سازی نمونهٔ با ایجاد بخش‌های ساختمانی زاید همراه است که در تصویر ایجادشده دیده می‌شود درحالی‌که در سلول زنده وجود ندارند.

در چندین دههٔ گذشته، میکروسکوپ‌های نوری توسط دستاوردهای تکنیکی اساسی بهبود یافته‌اند (شکل ۳-۶ را ببینید). نشان‌دار کردن مولکول‌ها یا ساختارهای خاص سلولی به‌وسیلهٔ نشان‌گرهای خاص فلوئورسنت، محققان را قادر ساخت تا جزئیات بیشتری را مشاهده کنند. به‌علاوه، هر دو نوع میکروسکوپ هم‌کانون و پیچیدگی‌زدا تصاویر سه‌بعدی بافت‌ها و سلول‌ها را بسیار دقیق و واضح می‌گیرند. نهایتاً، طی دهه‌های اخیر، مجموعه‌ای از روش‌ها و مولکول‌های نشانه‌گذار جدید به محققان این فرصت را داده‌اند تا موانع موجود در وضوح تصاویر را «بشکنند» و بتوانند ساختارهایی با ابعاد کوچک‌تر از سلول، تا حد ۲۰-۱۰ نانومتر را تشخیص دهند. در نوع جدیدی از TEM که میکروسکوپ الکترونی ـ کرایو (cryo-EM) نام دارد (شکل ۳ ـ ۶ را ببینید) نمونه‌ها در دماهایی بسیار پایین نگهداری می‌شوند. بنابراین، نیازی به استفاده از مواد نگهدارنده نیست و به‌موجب آن مشاهدهٔ سلول‌ها در محیط سلولی امکان‌پذیر می‌شود. از این روش به‌عنوان مکمل روش کریستالوگرافی اشعهٔ X و به‌منظور بررسی کمپلکس‌های پروتئینی و ساختارهای زیرسلولی مانند ریبوزوم‌ها استفاده می‌شود. از cryo-EM برای مشاهدهٔ دقیق برخی پروتئین‌های منفرد استفاده شده است. درسال ۲۰۱۷ جایزهٔ نوبل شیمی به ابداع‌کنندگان این روش ارزشمند، اهدا شد. با جهان‌شمول‌تر شدن روش «میکروسکوپی فوق واضح»، ممکن است تصاویری که از سلول‌های زنده خواهیم دید برایمان ترسناک‌تر و مهیج‌تر از تصاویر گرفته‌شدهٔ وان لیون هوک در ۳۵۰ سال پیش برای روبرت هوک باشد.

میکروسکوپ‌ها مهم‌ترین ابزارهای سلول‌شناسی، یعنی مطالعهٔ ساختار سلولی هستند. اما توصیف سادهٔ اندامک‌های متنوع سلولی، عملکرد آنها را آشکار نمی‌کند. از همکاری سلول‌شناسی با بیوشیمی، یعنی مطالعهٔ مولکول‌ها و فرایندهای شیمیایی سلول‌ها (متابولیسم)، دانش زیست‌شناسی سلولی جدید ایجاد شده است.

جزءبه‌جزء کردن سلولی

یکی از روش‌های سودمند برای مطالعهٔ ساختار و عملکرد سلول، جزء به جزء کردن سلولی است، هدف از **جزءبه‌جزء کردن سلولی**[1]، جدا کردن سلول‌ها و اندامک‌های اصلی آنها از یکدیگر می‌باشد (شکل ۴- ۶). ابزار مورد استفاده در جزءبه‌جزء کردن سلولی، دستگاه سانتریفیوژ است که لوله‌های آزمایش محتوی سلول‌های تخریب‌شده

1 - Cell fractionation

را با سرعت‌های متفاوت می‌چرخاند. نیروی حاصل از این چرخش، اجزای سلولی را برحسب اندازه و چگالی از هم جدا می‌کند. در هر سرعتی، نیروی ایجادشده، موجب ته‌نشین شدن مجموعه‌ای از اندامک‌های سلول در ته لولهٔ آزمایش می‌شود و یک برآمدگی تشکیل می‌دهد. در سرعت‌های پائین، اجزای بزرگ‌تر ته‌نشین می‌شوند و در سرعت‌های بالاتر، ذرات کوچک‌تر قرار می‌گیرند.

جزءبه‌جزء کردن سلولی، محققین را قادر به تهیهٔ اجزای ویژهٔ سلولی می‌کند. با انجام این تکنیک، زیست‌شناسان توانستند اعمال مختلف سلولی را به اندامک‌های متفاوت درون آن نسبت دهند، کاری که با سلول‌های سالم بسیار مشکل است. به‌عنوان مثال، یک بخش سلولیِ جمع‌آوری‌شده به‌وسیلهٔ سانتریفیوژ، دارای آنزیم‌هایی است که در فرایند متابولیسمی تنفس سلولی نقش دارند. میکروسکوپ الکترونی مشخص کرده که این بخش بسیار غنی از میتوکندری است.

این اطلاعات به زیست‌شناسان سلولی کمک می‌کند که تعیین کنند میتوکندری‌ها مکان‌های انجام تنفس سلولی هستند. سلول‌شناسی و بیوشیمی مکمل یکدیگرند، زیرا ساختار و عملکرد سلولی را به یکدیگر مرتبط می‌سازند.

پرسش‌های مبحث ۱-۶

۱- رنگ‌های مورد استفاده برای میکروسکوپ نوری در مقایسه با رنگ‌های استفاده شده در میکروسکوپ الکترونی چگونه هستند؟

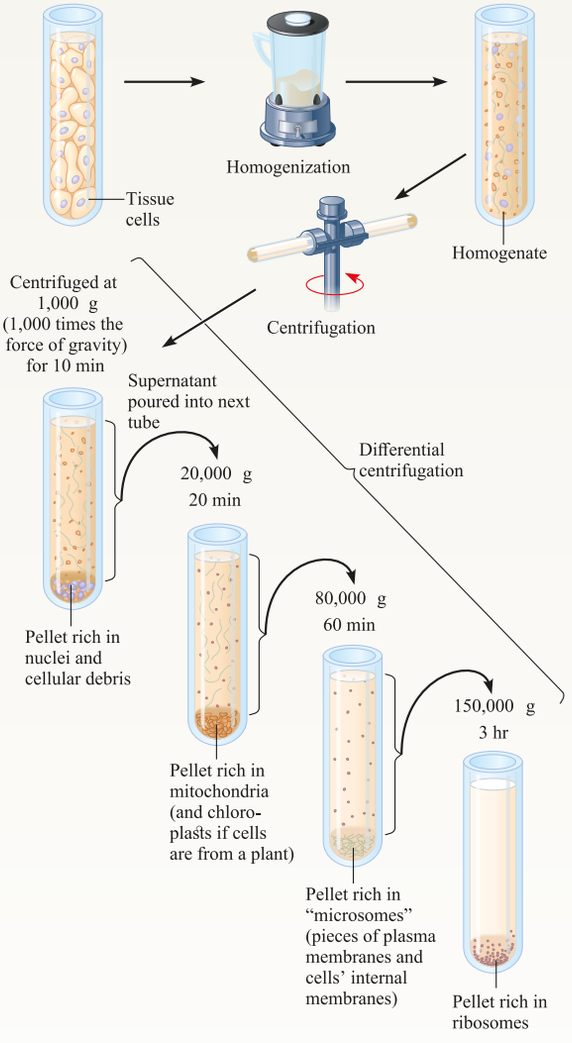
۲- چه می‌شد اگر؟ ➤ چه نوع میکروسکوپی برای مطالعهٔ (الف) تغییرات شکلی در سلول‌های زندهٔ سفید خونی و (ب) جزئیات ساختمانی یک تار مو مورد استفاده قرار می‌گیرد؟

برای ملاحظه پاسخ‌های پیشنهادی، به ضمیمهٔ A مراجعه کنید.

▼ شکل ۴-۶ روش تحقیق جزء به‌جزء کردن سلولی

کاربرد: جزءبه‌جزء کردن سلولی به‌منظور جداسازی اجزای سلولی برپایهٔ چگالی و اندازه صورت می‌گیرد.

روش: ابتدا سلول‌ها در یک مخلوط‌کن شکسته شده و مخلوط هموژن حاصله، سانتریفیوژ می‌شود. مایع رویی به لولهٔ دیگری منتقل شده و در سرعت بالاتری برای مدت زمان بیشتری سانتریفیوژ می‌شود. این فرایند چند بار تکرار می‌شود. این «سانتریفیوژ افتراقی» منجر به ایجاد یک سری رسوب می‌شود، که هرکدام محتوی اجزای سلولی متفاوتی هستند.



نتایج: در آزمایش‌های ابتدایی، محققین از میکروسکوپ به‌منظور شناسایی اندامک‌های موجود در رسوب و از روش‌های بیوشیمیایی برای تعیین اعمال متابولیکی هر کدام از اندامک‌ها استفاده کردند. محققین به‌طور رایج از جزءبه‌جزء کردن سلولی برای جدا کردن اندامک‌ها و مطالعهٔ جزئیات عملکرد آنها استفاده می‌کنند.

ارتباط دهید ➤ اگر می‌خواستید فرایند ترجمهٔ *mRNA* به پروتئین‌ها را مطالعه کنید، از کدام قسمتِ کدام جزء استفاده می‌کردید؟ (شکل ۲۲-۵ را ببینید).

مبحث 2-6

سلول‌های یوکاریوتی دارای غشاهای داخلی هستند که به‌کمک این غشاها اعمال‌شان را سازمان‌دهی می‌کنند

واحد اصلی ساختاری و عملکردی هر موجود زنده، یکی از دو نوع سلول پروکاریوتی یا یوکاریوتی است. تنها موجودات گروه باکتری‌ها و آرکی‌آ متشکل از سلول‌های پروکاریوتی هستند. آغازیان، قارچ‌ها، جانوران و سلول‌های گیاهی همگی از سلول‌های یوکاریوتی تشکیل شده‌اند. (آغازی، یک اصطلاح غیررسمی است که به گروه‌های مختلفی از یوکاریوت‌ها که اغلب تک‌سلولی هستند برمی‌گردد.)

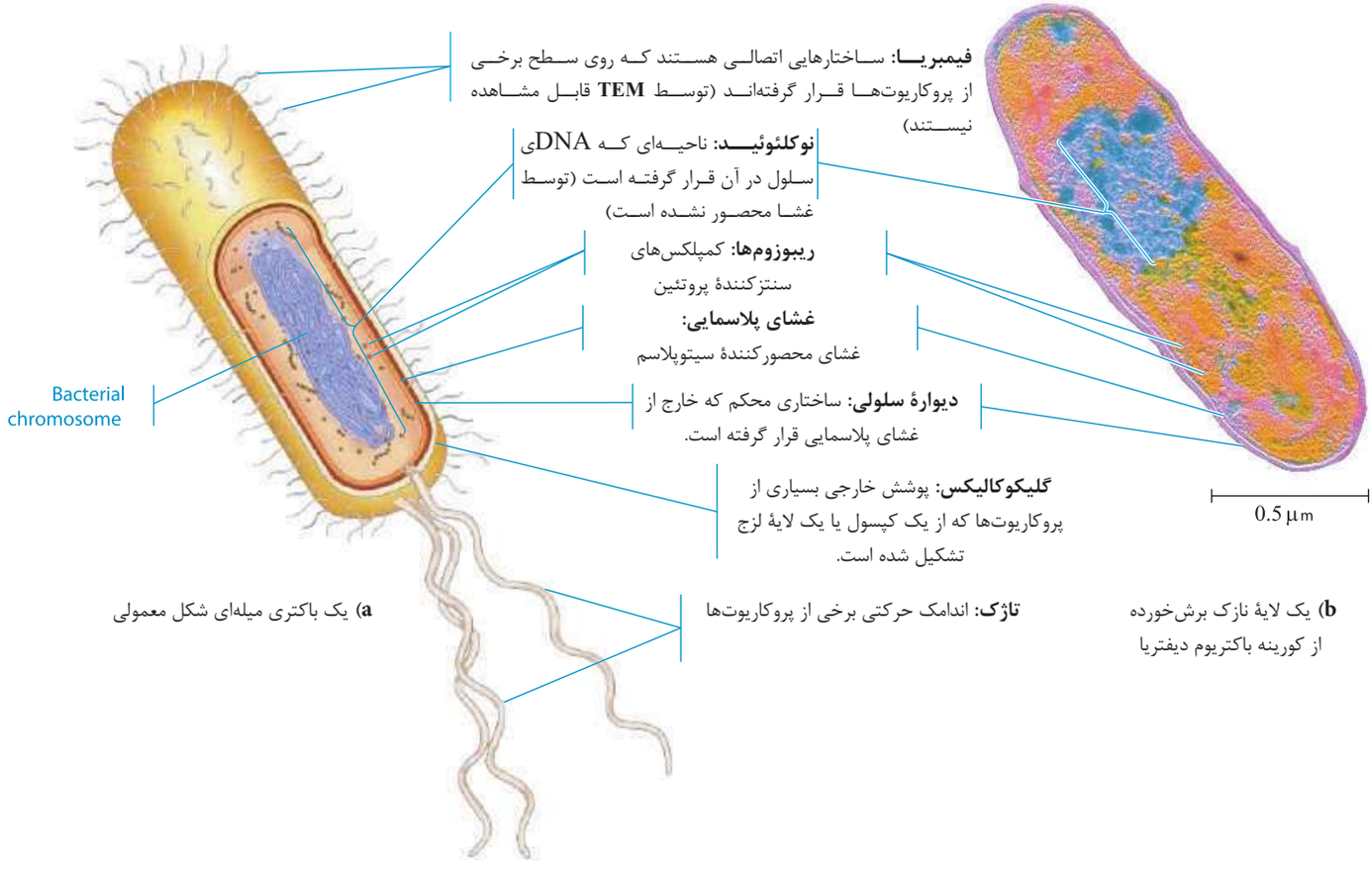
مقایسهٔ سلول‌های پروکاریوتی و یوکاریوتی

تمامی سلول‌ها دارای چندین ویژگی اصلی و مشترک هستند: آنها همگی به‌وسیلهٔ یک غشا به‌نام غشای پلاسمایی احاطه شده‌اند. درون سلول، یک مادهٔ شبه سیال به‌نام **سیتوزول** وجود دارد که اندامک‌ها در آن شناورند. تمامی سلول‌ها دارای کروموزوم هستند که کار حمل ژن‌ها را به‌شکل DNA برعهده دارند. همچنین، همهٔ سلول‌ها دارای ریبوزوم هستند؛ اندامک‌های ریزی که براساس اطلاعات ژن‌ها کار ساختن پروتئین‌ها را انجام می‌دهند.

تفاوت اصلی بین سلول‌های پروکاریوتی و یوکاریوتی در جایگاه DNAی آنهاست. کروموزوم‌های یک **سلول یوکاریوتی** در یک اندامک غشادار به‌نام هسته قرار دارند. (شکل ۸-۶ را ببینید). کلمهٔ پروکاریوتیک از کلمهٔ یونانی *pro* به‌معنی پیش و *karyon* به‌معنی هسته مشتق شده است. در یک **سلول پروکاریوتی** (شکل ۵- ۶)، DNA در ناحیه‌ای به‌نام **نوکلئوئید** قرار دارد اما فاقد غشائی است که از بقیهٔ سلول جدا شود. در صورتی‌که سلول یوکاریوتی (یو *eu*، واقعی و *karyon*، هسته) یک هستهٔ واقعی دارد که به‌وسیلهٔ پوشش هسته‌ای احاطه شده است.

در سلول‌های یوکاریوتی، ناحیهٔ بین هسته و غشای پلاسمایی را **سیتوپلاسم** می‌نامند. در پروکاریوت‌ها، این اصطلاح به درون سلول اشاره دارد. درون سیتوپلاسم یک سلول یوکاریوتی، اندامک‌های مختلفی وجود دارند. این ساختارهای احاطه‌شده با غشا در پروکاریوت‌ها حضور ندارند. بنابراین حضور یا عدم حضور یک هستهٔ واقعی تنها یک مثال از

شکل ۵- ۶ یک سلول پروکاریوتی. یک سلول پروکاریوتی به‌خاطر نداشتن هسته و اندامک‌های غشادار موجود در یک سلول یوکاریوتی دارای ساختاری بسیار ساده است. پروکاریوت‌ها شامل باکتری‌ها و آرکی‌آ هستند. ساختار سلولی کلی این دو قلمرو تقریباً مشابه است.



اختلاف ساختمانی پیچیده بین این دو نوع سلول است.

سیتوپلاسم در پروکاریوت‌ها، با اینکه فاقد اندامک است، اما مانند یک سوپ بدون شکل نیست. به‌عنوان مثال، برخی پروکاریوت‌ها دارای مناطقی هستند که با پروتئین‌هایی محصور شده‌اند (منظور غشا نیست)، در این مناطق واکنش‌های خاصی اتفاق می‌افتد.

سلول‌های یوکاریوتی عموماً بسیار بزرگ‌تر از سلول‌های پروکاریوتی هستند (شکل ۲- ۶). اندازه، یک جنبهٔ عمومی از ساختمان سلولی است که در ارتباط با عملکرد سلول است. منطق انجام متابولیسم سلولی باعث ایجاد یکسری محدودیت‌ها در اندازهٔ سلولی می‌گردد. در محدوده‌های پایین‌تر از کوچک‌ترین سلول‌ها، که باکتری‌ها هستند، مایکوپلاسما قرار دارند که دارای قطری بین ۰/۱ و ۱ میکرومتر هستند. این‌ها شاید کوچک‌ترین ساختارهایی باشند که برای برنامه‌ریزی متابولیسم خود، DNAی کافی دارند و آنزیم‌ها و ابزارهای سلولی لازم برای انجام فعالیت‌هایی که برای بقا و تولیدمثل یک سلول ضروری است را در اختیار دارند. اکثر باکتری‌ها دارای قطر ۱ تا ۵ میکرومتر هستند، ابعادی ده برابر مایکوپلاسماها. سلول‌های یوکاریوتی عموماً دارای قطر ۱۰ تا ۱۰۰ میکرومتر هستند.

نیازهای متابولیکی، حداکثر اندازه‌ای که یک سلول منفرد می‌تواند داشته باشد را تعیین می‌کند. در مرز هر سلول، **غشای پلاسمایی** به‌عنوان یک سد انتخابی عمل می‌کند که اجازهٔ عبور اکسیژن، مواد غذایی و مواد زائد را می‌دهد (شکل ۶- ۶). برای هر میکرومتر مربع از غشا، تنها مقداری از یک مادهٔ خاص در ثانیه می‌تواند عبور کند بنابراین نسبت سطح به‌حجم در سلول مهم است. همان‌طورکه اندازهٔ سلول افزایش می‌یابد، حجمش به تناسب، بیش از مساحتش افزایش می‌یابد. بنابراین هرچه حجم جسم کوچک‌تر باشد نسبت سطح به حجمش بزرگ‌تر خواهد بود (شکل ۷- ۶). تمرین مهارت‌های علمی این امکان و فرصت را به شما می‌دهد که حجم و سطح دو سلول واقعی را محاسبه کنید. یکی، سلول مخمر بالغ و دیگری سلولی که از آن جوانه زده است. برای اینکه روش‌های مختلف ارگانیسم‌هایی (موجودات زنده) که سطح سلولی خود را افزایش می‌دهند ببینید، ارتباط دهید شکل ۸-۳۳ را ببینید.

نیاز به وجود یک سطح که به تناسب حجم بزرگ باشد، اندازهٔ میکروسکوپی اغلب سلول‌ها و همچنین شکل باریک و بلند دیگر سلول‌ها مانند سلول‌های عصبی را توجیه می‌کند. موجودات بزرگ‌تر، سلول‌های بزرگ‌تری از موجودات ساده‌تر ندارند، بلکه دارای تعداد سلول‌های بیشتری هستند. (قسمت بالا، سمت راست شکل ۷-۶ را ببینید). نسبت بالای سطح به حجم برای سلول مهم می‌باشد تا میزان زیادی از مواد را با محیطش مبادله کند، درست مثل سلول‌های روده‌ای. چنین سلول‌هایی دارای زوائد بلند و باریکی در سطح خود به‌نام ریزپرز هستند که نواحی سطحی سلول را بدون افزایش در حجم سلولی افزایش می‌دهند.

ارتباط تکاملی سلول‌های پروکاریوتی و یوکاریوتی بعداً در همین فصل مورد بحث قرار خواهد گرفت و در مورد سلول‌های پروکاریوتی در فصل ۲۷ به‌صورت جزئی و دقیق توضیح داده خواهد شد. اغلب مباحثی که در این فصل دربارهٔ ساختار سلول دنبال می‌شوند، مربوط به سلول‌های یوکاریوتی است.

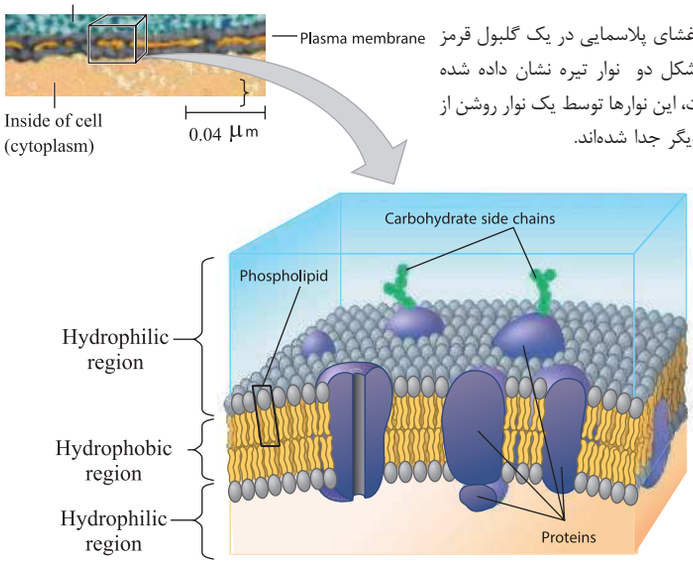
نگاهی دقیق‌تر به سلول یوکاریوتی

یک سلول یوکاریوتی علاوه بر غشای پلاسمایی در بخش بیرونی خود، دارای یک سری غشاهای داخلی است که سلول را به بخش‌ها و اجزای خاصی تقسیم‌بندی می‌کند. اندامک‌های غشادار که قبلاً ذکر شدند، در متابولیسم سلولی به‌صورت مستقیم نقش دارند، چرا که بسیاری از آنزیم‌های دخیل در متابولیسم در غشاها قرار دارند. همچنین، بخش‌های درون‌سلولی، محیط‌های متفاوتی را فراهم می‌کنند تا اعمال متابولیکی خاصی را تسریع کنند، به‌گونه‌ای که فرایندهای ناسازگار به‌طور هم‌زمان در داخل همان سلول انجام می‌شوند.

به‌طورکلی، غشاهای زیستی متشکل از دولایهٔ فسفولیپیدی به همراه لیپیدهای دیگر هستند. پروتئین‌های متنوعی نیز در این غشاها فرو رفته‌اند و یا به سطح این دولایه‌های لیپیدی اتصال یافته‌اند (شکل ۶- ۶). اما هر نوع غشا، دارای محتویات منحصربه‌فرد لیپیدی و پروتئینی است که مرتبط با اعمال ویژهٔ غشایی هستند. به‌عنوان مثال آنزیم‌های فرورفته در غشای میتوکندری در تنفس سلولی نقش دارند. غشاها برای سازماندهی سلول‌ها ضروری هستند، بنابراین در فصل ۷ با جزئیات به آنها پرداخته شده است.

قبل از ادامه دادن این فصل لازم است مروری بر

سلول‌های یوکاریوتی در شکل ۸- ۶ داشته باشید. تصاویر کلی از یک سلول جانوری و یک سلول گیاهی، اندامک‌های متفاوتی را نشان می‌دهند و تفاوت‌های عمده میان سلول‌های جانوری و گیاهی را به تصویر می‌کشند. ریزنگار موجود در پایین شکل،شمایی کلی از سلول‌ها در موجودات زندهٔ مختلف را نشان می‌دهد.

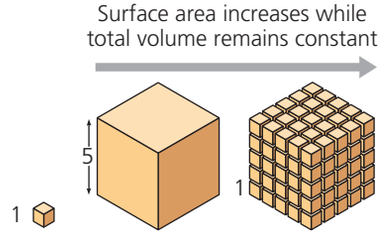


a) غشای پلاسمایی در یک گلبول قرمز به شکل دو نوار تیره نشان داده شده است، این نوارها توسط یک نوار روشن از یکدیگر جدا شده‌اند.

(b) Structure of the plasma membrane

مهارت‌های بصری ◄ کدام بخش از شکل غشا در *(b)* با قسمت سیاه ارتباط دارد؟ کدام بخش در شکل *(a)* با قسمت سفید ارتباط دارد. (شکل ۱۱-۵ را مرور کنید)

◄ **شکل ۶- ۶ غشای پلاسمایی.** غشای پلاسمایی و غشاهای اندامک‌ها شامل دو لایهٔ لیپیدی از فسفولیپیدها همراه با پروتئین‌های مختلف متصل‌شده یا فرو رفته در آن هستند. دنبالهٔ فسفولیپیدی در بخش داخلی یک غشا آب‌گریز است و بخش درونی پروتئین‌های غشایی نیز آب‌گریز هستند. سر فسفولیپیدی، پروتئین‌های خارجی و زنجیره‌های کربوهیدراتی همگی آب‌دوست هستند و در تماس با محلول آبی می‌باشند. زنجیره‌های کربوهیدراتی تنها در بخش بیرونی غشای پلاسمایی دیده می‌شوند.



Total surface area [(height × width of 1 side) × 6 sides × number of cells]	6 $units^2$	150 $units^2$	750 $units^2$
Total volume [(height × width × length of 1 cell) × number of cells]	1 $unit^3$	125 $units^3$	125 $units^3$
Surface area-to-volume ratio [surface area ÷ volume]	6	1.2	6

◄ **شکل ۷- ۶ روابط هندسی بین مساحت و حجم.** در این نمودار، سلول‌ها به‌شکل جعبه‌هایی نشان داده شده‌اند.
به کمک واحدهای اختیاری طول می‌توان مساحت را برحسب واحد مربع و حجم را برحسب واحد مکعب و نیز نسبت سطح به حجم را محاسبه کرد. نسبت بالای سطح به حجم، تبادل مواد را بین یک سلول و محیطش تسهیل می‌کند.

تمرین مهارت‌های علمی

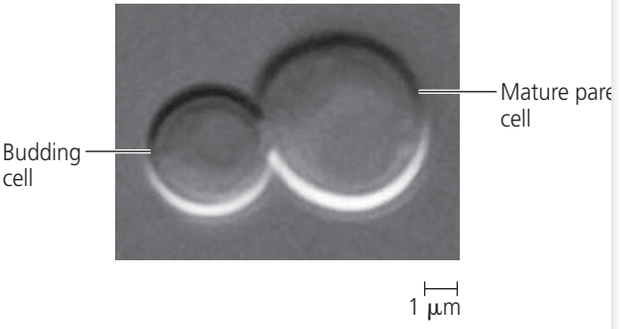
استفاده از مقیاس تعیین‌شده روی تصاویر برای محاسبهٔ سطح و حجم یک سلول

یک سلول مخمر درحال رشد، چه مقدار سیتوپلاسم و غشای پلاسمایی می‌سازد؟

مخمر تک‌سلولی *ساکارومایسز سرویزیه* ازطریق جوانه زدن یک سلول جدید کوچک که بعداً رشد کرده و تبدیل به یک سلول بزرگ می‌شود، تقسیم می‌شود (در پایین شکل ۸-۶ سلول‌های مخمر را مشاهده کنید). سلول جدید در زمان رشد، سیتوپلاسم جدید تولید می‌کند که موجب افزایش حجم آن می‌شود و همچنین غشای پلاسمایی جدید تولید می‌کند که به افزایش سطح آن می‌انجامد در این تمرین، با استفاده از مقیاس تعیین‌شده روی شکل اندازهٔ یک سلول مخمر والدی و سلولی که در حال جوانه زدن از آن است را تعیین خواهید کرد. از محاسبات خود برای تعیین میزان سیتوپلاسم و غشای پلاسمایی که سلول جدیدی می‌بایست تولید کند تا به سلول بزرگ تبدیل شود استفاده خواهید کرد.

چگونگی انجام آزمایش: سلول‌های مخمر تحت شرایطی که تقسیم از طریق جوانه زدن را افزایش می‌داد، رشد کردند. سپس سلول‌ها توسط میکروسکوپ نوری کنتراست تداخلی - افتراقی مشاهده و عکس‌برداری شدند.

داده‌های آزمایش: این ریزنگارنوری، یک مخمر در حال جوانه زدن را که تقریباً از سلول بالغ والدی رها می‌شود، نشان می‌دهد.

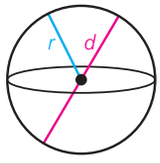


تفسیر داده‌ها:

۱- ریزنگار سلول‌های مخمر را بررسی کنید. مقیاس تعیین‌شده روی شکل، ۱μm را نشان می‌دهد. این مقیاس درست مانند مقیاس‌های روی نقشه عمل می‌کند که در آنها، ۲/۵۴ سانتی‌متر معادل ۱/۶ کیلومتر است. در اینجا مقیاس معادل یک هزارم یک میلی‌متر است. با استفاده از مقیاس تعیین‌شده به‌عنوان واحد پایه، قطر سلول والد بالغ و سلول جدید را تعیین کنید. با اندازه‌گیری مقیاس و قطر هر سلول (با خط‌کش) شروع کنید. مهم نیست که از چه واحدی استفاده می‌کنید اما استفاده از میلی‌متر راحت‌تر است. اندازهٔ قطرهای به‌دست آمده را به‌طول مقیاس تعیین‌شده در شکل تقسیم کنید و سپس در طول مقیاس تعیین‌شده ضرب کنید تا قطر سلول‌ها با مقیاس میکرومتر به‌دست آید .

۲- شکل سلول‌های مخمر تقریباً کروی است. (a) حجم هر سلول را با استفاده از فرمول حجم کره محاسبه کنید:

$$V = \frac{۴}{۳}\pi r^{۳}$$



توجه کنید که π (حرف یونانی پی) یک ثابت، با ارزش تقریبی ۳/۱۴ است. d، نمایندهٔ قطر و r به مفهوم شعاع است که نصف قطر است. (b) سلول جدید در حین بالغ شدن می‌بایست چه حجمی از سیتوپلاسم جدید را بسازد؟ برای تعیین این موضوع، تفاوت حجم میان سلول بزرگ و سلول جدید را محاسبه کنید.

۳- غشای پلاسمایی سلول جدید برای اینکه بتواندحجم سیتوپلاسم جدید را در بربگیرد می‌بایست گسترش یابد.

(a) سطح هر سلول را با استفاده از فرمول سطح کره محاسبه کنید:

$$A = ۴\pi r^{۲}$$

(b) درحین بالغ شدن، سلول جدید چه مقدار غشای پلاسمایی را می‌بایست بسازد

۴- وقتی که سلول جدید بالغ شده حجم و سطح آن چند برابر اندازهٔ فعلی آن خواهد بود؟