سلول‌های رویان چهـار روزه‌ی موش (۶۴۵×)

۶ کروموزوم‌ها و میتوز

یکی از بارزترین ویژگی‌های جانداران، تولیدمثل است. فرآیند **تولیدمثل** به تولید افراد نسل بعد می‌انجامد.

فرزندان، کم و بیش مشابه والدین هستند ؛ به راستی چه عواملی باعث ایجاد شباهت فرزندان با والدین می‌شوند؟

زیست‌شناسان از مدت‌ها پیش دریافته‌اند که باید پاسخ پرسش‌های خود را در سلول جستجو کنند ؛ چون هر جاندار، یا خود یک سلول است (تک‌سلولی) یا زمانی یک سلول بوده است. (پرسلولی) بر همین اساس، اگر بخواهیم پاسخ پرسش‌های خود را درباره‌ی تولیدمثل بیابیم، باید ابتدا تولیدمثل سلول را بررسی کنیم.

۱ کروموزوم‌ها

در بدن هر انسان بالغ در هر شبانه روز، میلیون‌ها سلول ساخته می‌شود ؛ این سلول‌ها در نتیجه‌ی تقسیم شدن سلول‌های قبلی (سلول‌های مادر) حاصل می‌شوند. تقسیم سلول، در سراسر طول زندگی جانداران رخ می‌دهد. وقتی دستمان بریده می‌شود، تعداد زیادی از سلول‌ها، در محل زخم، می‌میرند. در این موقع، سلول‌های سالمی که در محل بریدگی قرار دارند (سلول‌های مادر) تقسیم می‌شوند و سلول‌های جدید (سلول‌های دختر) را می‌سازند تا جایگزین سلول‌های از بین رفته کنند و زخم، ترمیم شود. تعداد سلول‌های جنینی که در رحم مادر است، در نتیجه‌ی تقسیم سلول، زیاد می‌شود. این جنین **رشد و نمو** می‌کند و قسمت‌های مختلف بدن را شکل می‌دهد. رشد و نمو نوزادی که متولد می‌شود همچنان ادامه پیدا می‌کند تا او بزرگ شود و به سن بلوغ برسد. تقسیم سلول انواع مختلفی دارد. مثلاً باکتری‌ها با نوعی تقسیم به نام **تقسیم دوتایی** تولیدمثل می‌کنند. جانداران یوکاریوتی برای رشد، نمو، ترمیم و تولیدمثل غیرجنسی، نوع دیگری از تقسیم سلول را انجام می‌دهند که **میتوز** نام دارد. همین جانداران، برای تولید گامت (سلول جنسی) نوع دیگری تقسیم را که **میوز** نام دارد، انجام می‌دهند. **گامت‌ها**، سلول‌های تخصص یافته‌ای هستند که در جانداران برای تولیدمثل جنسی تولید می‌شوند.

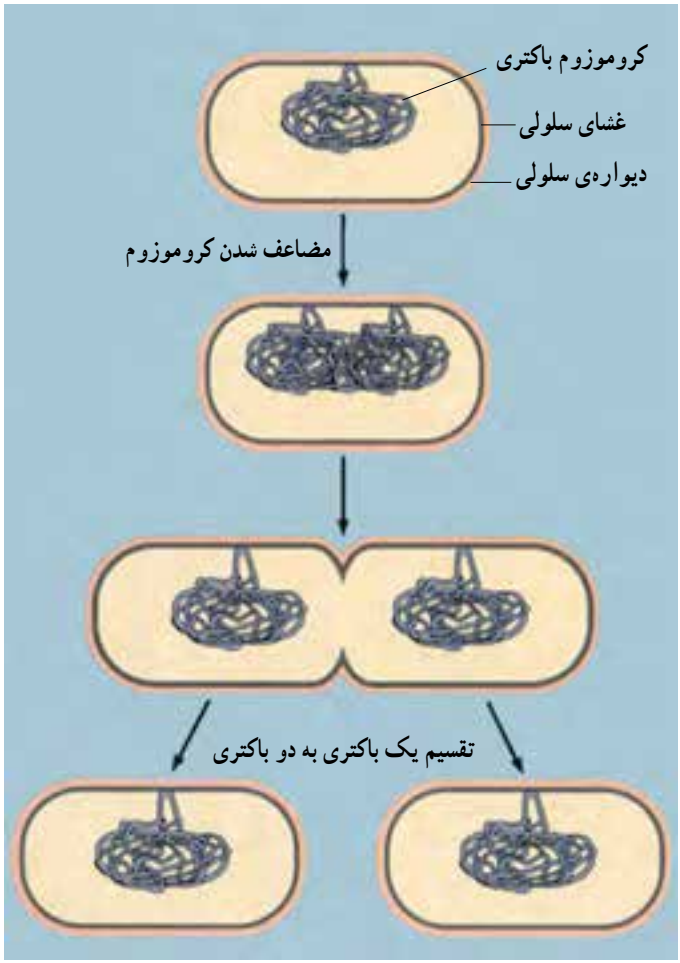
در همه‌ی انواع تقسیم سلول، سلولی را که در حال تقسیم است، **سلول مادر** و سلول‌های حاصل از تقسیم را **سلول‌های دختر** می‌نامند. سلول‌های دختر به سلول مادر شباهت فراوان دارند. هنگام تقسیم، ماده‌ی ژنتیک از سلول مادر به سلول‌های دختر منتقل می‌شود و خصوصیات سلول مادر را به سلول‌های دختر منتقل می‌کند.

تولیدمثل باکتری‌ها

ساده‌ترین نوع تقسیم سلول در باکتری دیده می‌شود. DNA باکتری، مولکولی بسته یا حلقوی است که به غشای پلاسمایی متصل است. منظور از مولکول بسته یا حلقوی، مولکولی است که دو انتهای آن آزاد نیست و اگر تاشدگی‌های آن باز شود، حلقوی شکل می‌شود. باکتری‌ها از طریق تقسیم دوتایی تولیدمثل می‌کنند. تقسیم دوتایی نوعی تولیدمثل غیرجنسی است که به تولید زاده‌هایی

یکسان منجر می‌شود. در تولیدمثل غیرجنسی فقط یک والد شرکت دارد.

تقسیم‌دوتایی به دنبال همانندسازی DNA صورت می‌گیرد و طی آن سلول تقسیم می‌شود. تقسیم باکتری با اضافه شدن غشای سلولی جدید به نقطه‌ای از غشا که بین دو مولکول DNA قرار دارد، انجام می‌گیرد. غشا پس از ساخته شدن، از وسط به درون سلول فرو می‌رود تا سرانجام آن را به دو نیم تقسیم کند. همزمان با فرورفتگی غشا، دیواره‌ی سلول در محل این دو سلول جدید نیز تشکیل می‌شود. هر یک از این دو سلول دارای یکی از دو نسخه‌ی DNA است که کاملاً یکسان‌اند (شکل ۱ــ۶) .



شکل ۱ــ۶ــ تقسیم دوتایی یک باکتری

توجه داشته باشید که تکثیر سلول، همانند تکثیر یک صفحه از کتاب نیست. در تکثیر صفحات کتاب، نسخه‌ی اصل تغییری نمی‌کند، اما هنگام تکثیر سلول، از سلول مادر دو سلول دختر حاصل می‌شود و سلول مادر، هر چند که از بین نمی‌رود، اما به صورت قبلی نیز وجود نخواهد داشت. به‌عبارت دیگر دو سلول دختر در مجموع زمانی سلول مادر بوده‌اند که اجزای سلولی سلول مادر بین آن‌ها تقسیم شده است.

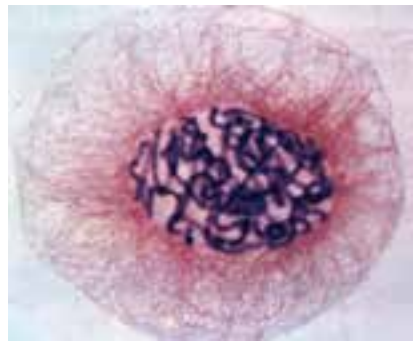
تولیدمثل سلول‌های یوکاریوتی

سلول‌های یوکاریوتی، برخلاف سلول‌های پروکاریوتی هسته‌ای سازمان یافته دارند، یعنی ماده‌ی ژنتیک آن‌ها را پوشش هسته از سیتوپلاسم جدا می‌کند. بخش مهمی از DNA سلول‌های یوکاریوتی درون هسته و در اجزایی به نام **کروموزوم** جای دارد. بنابراین، تقسیم هسته و کروموزوم‌های موجود در آن، رویدادی است که از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از این‌رو، قبل از پرداختن به چگونگی تقسیم سلول‌های یوکاریوتی، آشنایی با ساختار و عمل کروموزوم‌ها ضروری است.

کروموزوم‌های یوکاریوتی: اطلاعات زیادی که در DNA وجود دارد، در واحدهایی به نام **ژن** ذخیره شده است. هر ژن، قسمتی از مولکول DNA است که برای ساختن پروتئین یا RNA مورد استفاده قرار می‌گیرد. یک مولکول DNA هزاران ژن دارد که همانند سالن (واگن)های قطار به دنبال یکدیگر قرارگرفته‌اند. ژن‌ها نقش مهمی در چگونگی رشدونمو بدن و نیز تنظیم کارکردن آن برعهده دارند.

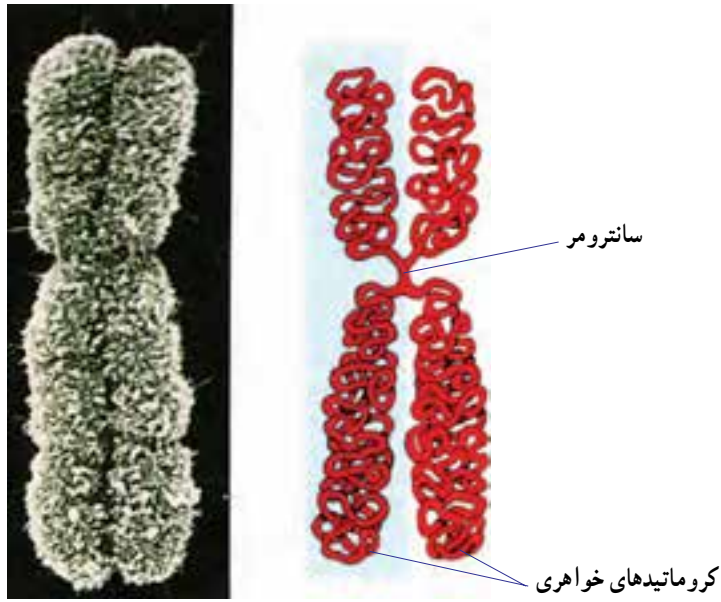
درون هسته‌ی سلول‌های یوکاریوتی، معمولاً چندین **کروموزوم** قرار دارد. هر کروموزوم حاوی DNA و پروتئین است. وقتی سلول در حال تقسیم نیست، کروموزوم‌ها به صورت رشته‌های باریک و درهم‌تنیده دیده می‌شوند و توده‌ای را تشکیل می‌دهند که **کروماتین** نام دارد (شکل ۲ــ۶).

وقتی سلول برای تقسیم آماده می‌شود، هر یک از رشته‌های نامشخص کروماتین ــ که درحقیقت کروموزوم نام دارد ــ همانندسازی می‌کند و سرانجام **کروموزوم مضاعف شده** را تشکیل می‌دهند.



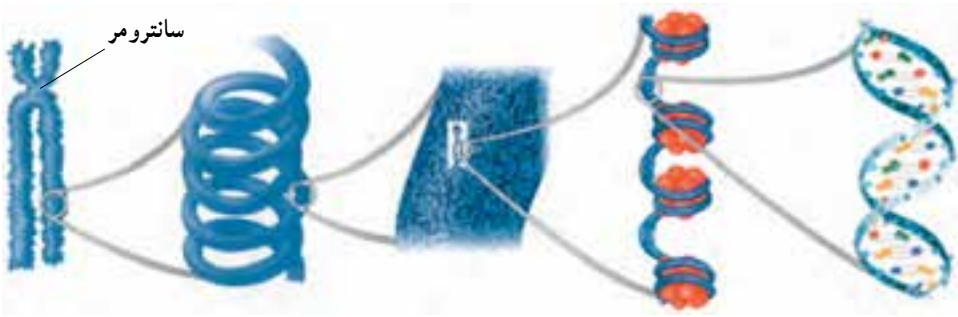
شکل ۲ــ۶ــ کروماتین در یک سلول گیاهی، قبل از تقسیم (۶۰۰×)

در جریان تقسیم سلول، کروموزوم‌های مضاعف شده به تدریج فشرده می‌شوند. در نتیجه‌ی این فشردگی، رشته‌های باریک و بلند کروموزومی به رشته‌های قطور و کوتاه تبدیل می‌شوند و به شکلی در می‌آیند که در شکل ۳ــ۶ نشان داده شده است. همان‌گونه که در این شکل دیده می‌شود، هر کروموزوم مضاعف شده از دو نیمه که همانند یکدیگرند، ساخته شده است. هر نیمه را یک **کروماتید** می‌نامند. دو کروماتید هر کروموزومِ مضاعف شده، که آن‌ها را نسبت به یکدیگر **کروماتید** خواهری می‌نامند، در محلی به نام **سانترومر** به یکدیگر متصل‌اند.



شکل ۳ــ۶ــ کروموزوم مضاعف شده، کروماتید و سانترومر

فشرده شدن DNA به کمک پروتئین‌ها انجام می‌گیرد. **هیستون‌ها** گروهی از پروتئین‌ها هستند که در فشرده شدن DNA، نقش مهمی برعهده دارند. DNA در محل‌هایی، حدود دو دور به دور ۸ مولکول هیستون می‌پیچد و ساختاری را پدید می‌آورد که **نوکلئوزوم** نام دارد. این ساختار را می‌توان به یک گردنبند مروارید تشبیه کرد که در آن مهره‌ها در حکم نوکلئوزوم‌ها و نخ بین مهره‌ها در حکم DNA است (شکل ۴ــ۶). اما بین ساختار گردنبند مروارید و ساختار نوکلئوزوم‌ها تفاوت‌هایی نیز وجود دارد. این تفاوت‌ها کدام‌اند؟



مارپیچ دورشته‌ای DNA | DNA همراه با پروتئین‌ها | پیچ‌خوردگی‌های درون کروموزوم | پیچ‌خوردگی‌های بیش‌تر درون کروموزوم | هر کروموزوم مضاعف شده از دو کروماتید تشکیل شده است.

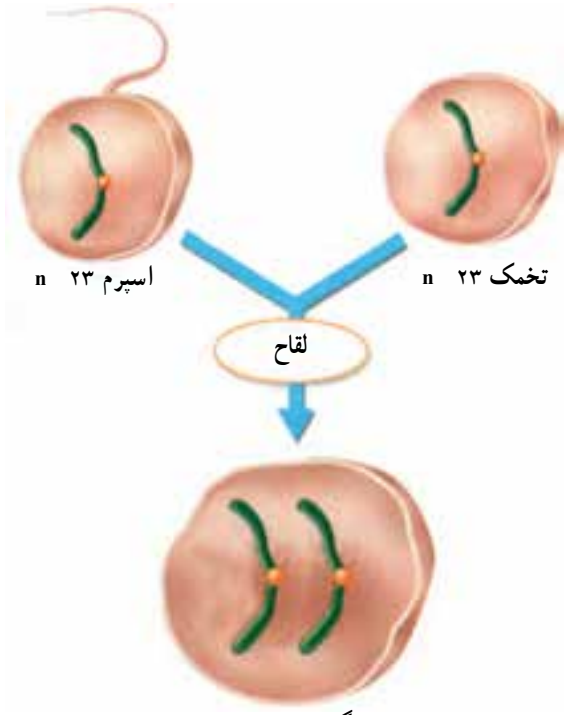
شکل ۴ــ۶ــ ساختار کروموزوم

تعداد و ساختار کروموزوم‌ها، بر رشد و نمو تأثیر می‌گذارد

هر جفت کروموزوم، از دو کروموزوم همتا تشکیل شده است. **کروموزوم‌های همتا** کروموزوم‌هایی هستند که اندازه، شکل و محتوای ژنتیک آن‌ها مشابه است. از هر دو کروموزوم همتا یکی از پدر و دیگری از مادر آمده است (شکل ۵ــ۶). بنابراین می‌توان گفت که ۴۶ کروموزوم سلول‌های پیکری انسان، از دو مجموعه‌ی ۲۳ کروموزومی تشکیل شده است که یک مجموعه از پدر و مجموعه‌ی دیگر از مادر آمده است. در شکل ۵ــ۶ برای ساده کردن مطلب، فقط یکی از کروموزوم‌های انسان نشان داده شده است.

وقتی یک سلول مثل سلول پیکری، دو مجموعه کروموزوم دارد، می‌گویند آن سلول **دیپلوئید** است. برخلاف سلول‌های پیکری، گامت‌ها فقط یک مجموعه کروموزوم (۲۳ عدد) دارند. وقتی سلولی مثل گامت فقط یک مجموعه کروموزوم دارد، می‌گویند آن سلول **هاپلوئید** است. زیست‌شناسان برای نمایش دادن یک مجموعه کروموزوم از نماد ***n*** استفاده می‌کنند و به آن **عدد هاپلوئید** می‌گویند. عدد هاپلوئید در گامت‌های انسان به صورت ۲۳ ***n*** نوشته می‌شود. **عدد دیپلوئید** در سلول‌های پیکری انسان به صورت ۴۶ $2n$ نوشته می‌شود.

از ادغام دو گامت هاپلوئید که طی فرآیند **لقاح** انجام می‌شود، **زیگوت** (سلول تخم) که دیپلوئید است، پدید می‌آید. زیگوت، اولین سلول از جانداری است که به تازگی تشکیل یافته است. این



شکل ۵ــ۶ــ لقاح باعث ترکیب دو سلول هاپلوئید با یکدیگر و تولید یک سلول دیپلوئید می‌شود. (در این شکل نسبت اندازه‌ی اسپرم و تخمک رعایت نشده است)

سلول، با تقسیم‌های پی‌درپی، سلول‌های بدن یک جاندار پرسلولی را پدید می‌آورد. این سلول‌ها از ده‌ها نوع مختلف‌اند، هر گروه شکل خاصی دارند و وظیفه‌ی خاصی را در جامعه‌ی پرسلولی بدن جاندار برعهده دارند.

تعداد کروموزوم‌ها

همان‌گونه که در جدول ۱ــ۶ می‌بینید، تعداد کروموزوم‌های هر جاندار، مشخص است. تعداد کروموزوم‌های سلول‌های جاندارانی که از یک گونه هستند، عموماً یکسان است. مثلاً مگس سرکه در هر سلول خود ۸ کروموزوم دارد. تعداد کروموزوم‌های بعضی گونه‌ها نیز با یکدیگر یکسان است. مثلاً سیب‌زمینی، آلو و شامپانزه، همه در هر سلول پیکری خود ۴۸ کروموزوم دارند.

بسیاری از گیاهان، کروموزوم‌های بسیار بیش‌تری دارند ؛ مثلاً بعضی از سرخس‌ها بیش از

۵۰۰ کروموزوم دارند. تعدادی از جانداران نیز مثل قارچ پنی‌سیلیوم (که آنتی‌بیوتیک پنی‌سیلین از آن به دست می‌آید) فقط یک جفت کروموزوم دارند.

شکل، اندازه و ساختار کروموزوم‌ها، حتی در گونه‌هایی که عدد کروموزومی (عدد دیپلوئید یا عدد هاپلوئید) آن‌ها با یکدیگر مساوی است، متفاوت است.

جدول ۱ــ۶ــ تعداد کروموزوم‌های چند جاندار

جاندار	تعداد کروموزوم‌ها
ساکارومیسز (مخمر)	۱۸
پشه	۶
مگس	۱۲
نخودفرنگی	۱۴
ذرت	۲۰
سرخس مارزبان	۱۲۶۲
قورباغه	۲۶
آدمی	۴۶
اورانگوتان	۴۸
سگ	۷۸

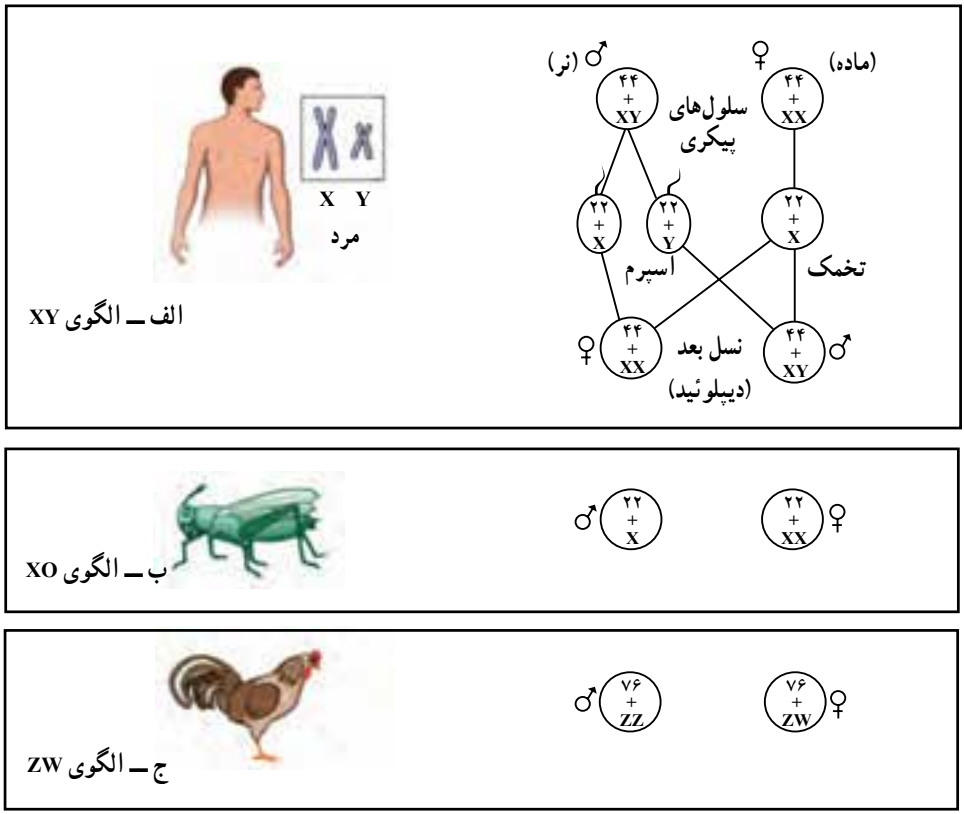
کروموزوم‌ها جنسیت را تعیین می‌کنند

از ۲۳ جفت کروموزوم سلول‌های پیکری انسان، ۲۲ جفت **اتوزوم** (کروموزوم غیرجنسی) نامیده می‌شوند. اتوزوم‌ها، کروموزوم‌هایی هستند که در تعیین جنسیت (نر یا ماده بودن) مستقیماً نقش ندارند. **کروموزوم‌های جنسی**، یکی از ۲۳ جفت کروموزوم سلول‌های پیکری هستند که ژن‌های مسئول تعیین جنسیت را در بردارند. بنابراین در هر سلول پیکری ۲۲ جفت اتوزوم و یک جفت کروموزوم جنسی وجود دارد.

در انسان و بسیاری از جانداران دیگر، دو کروموزوم جنسی را به نام‌های X و Y می‌نامند. در انسان ژن‌هایی که سبب می‌شوند تخمکِ لقاح یافته به نوزاد پسر نمو یابد، در کروموزوم Y واقع‌اند. بنابراین هر فردی که کروموزوم Y داشته باشد، پسر (مرد) است و هر فردی که کروموزوم Y نداشته باشد دختر (زن) است. پس در مردها، از دو کروموزوم جنسی یکی X است و دیگری Y(XY) هر دو

کروموزوم‌های جنسی در زن‌ها X هستند (XX).

روش تعیین جنسیت در همه‌ی جانداران به این صورت نیست. مثلاً در بعضی از حشرات، مثل ملخ، کروموزوم Y وجود ندارد. ماده‌ها XX هستند و نرها XO (O نشان دهنده‌ی نبودن کروموزوم است). در پرندگان، پروانه‌های شب پرواز (بیدها) و پروانه‌ها، نرها دو کروموزوم X، اما ماده‌ها فقط یک کروموزوم X دارند. چنین مرسوم است که در این جانداران، کروموزوم‌های X و Y را به ترتیب با Z و W نشان می‌دهند. در شکل ۶ــ۶ روش‌های تعیین جنسیت انسان و جانوران مختلف آورده شده است.



شکل ۶ــ۶ــ روش‌های تعیین جنسیت در انسان و جانوران مختلف

تغییر در کروموزوم‌ها

به تغییراتی که در تعداد و ساختار کروموزوم‌ها رخ می‌دهند، **جهش** می‌گویند. چهار نوع جهش

در ساختار کروموزوم‌ها به طور خلاصه، معرفی می‌شوند(شکل ۷ــ۶).

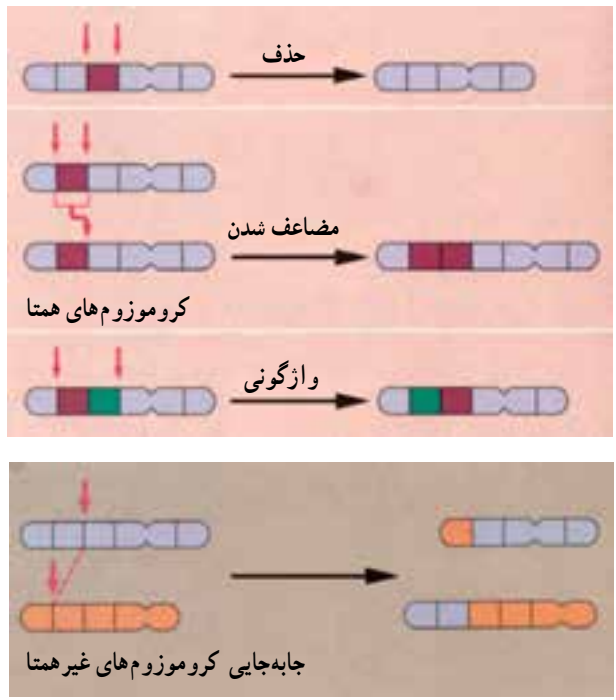
حذف: در جهش حذفی، قطعه‌ای از کروموزوم بر اثر شکسته شدن کروموزوم، کاملاً از آن جدا می‌شود. سلول جدید بعد از تقسیم شدن فاقد بعضی از ژن‌هاست. در بسیاری از موارد، جهش حذفی موجب مرگ سلول تخم می‌شود.

مضاعف شدن: در این نوع جهش، قطعه‌ای از کروموزوم بر اثر شکسته شدن جدا شده اما به کروموزوم همتا متصل می‌شود : بنابراین کروموزوم همتا، از بعضی از ژن‌ها دو نسخه دارد.

واژگونی: در واژگونی، قطعه‌ای از کروموزوم که بر اثر شکسته شدن جدا شده است، در جهت معکوس به جای اول خود متصل می‌شود.

جابه‌جایی: اگر قطعه‌ای که بر اثر شکسته شدن جدا شده است، به کروموزوم غیرهمتا متصل شود، جهش را جابه‌جایی می‌نامند.

با تغییر در تعداد کروموزوم‌ها در فصل بعد آشنا می‌شوید.



شکل ۷ــ۶ــ تغییر در ساختار کروموزوم‌ها. پیکان‌ها محل‌های شکست در کروموزوم‌ها را نشان می‌دهند. توجه داشته باشید که مضاعف شدن خود ترکیبی از دو فرآیند است: حذف و جابه‌جایی بین کروموزوم‌های همتا.

فعالیت ۱ــ۶

جهش‌های کروموزومی

شما می‌توانید با استفاده از کاغذ و قلم، مدلی بسازید که راه‌های مختلف تغییر در ساختار کروموزوم‌ها را نشان دهد.

مواد: ۱۴ برگه یادداشت، مداد یا خودکار، نوارچسب

روش

۱ــ اعداد ۱ تا ۸ را روی ۸ برگه یادداشت بنویسید (هر عدد را روی یک برگه بنویسید). برگه‌ها را به ترتیب از شماره‌ی ۱ تا ۸ مرتب کنید و آن‌ها را با نوار چسب به یکدیگر بچسبانید. حال شما مدلی را از یک کروموزوم ساخته‌اید که ۸ ژن دارد.

۲ــ با استفاده از «کروموزومی» که ساخته‌اید و با توجه به شکل ۷ــ۶، جهش‌های حذف، مضاعف‌شدن، واژگونی و جابه‌جایی را نشان دهید. مثلاً شماره‌ی ۳ را حذف کرده، باقیمانده‌ی برگه‌ها را به هم متصل کنید. به این ترتیب شما حذف را نمایش داده‌اید.

۳ــ قبل از آن‌که مضاعف‌شدن، واژگونی و جابه‌جایی را نمایش دهید، کروموزومی را که در ابتدا ساخته بودید، بازسازی کنید. از برگه‌های یادداشت اضافی برای اعداد دیگری که نیاز دارید استفاده کنید.

تجزیه و تحلیل

توضیح دهید که پی‌آمد هر یک از این جهش‌ها برای سلول چه خواهد بود؟

خودآزمایی ۱ــ۶

۱ــ به طور خلاصه بیان کنید که باکتری چگونه با تقسیم دوتایی، تولیدمثل می‌کند؟

۲ــ در چه زمانی از حیات سلول یوکاریوتی، DNA فشرده و کروموزوم‌ها نمایان می‌شوند؟

۳ــ به طور خلاصه، تفاوت بین سلول هاپلوئید و سلول دیپلوئید را بیان کنید.

۴ــ کروموزوم‌های جنسی را در مردان و زنان مقایسه کنید.
۵ــ انواع تغییر در ساختار کروموزوم‌ها را نام ببرید.

تفکر نقادانه ۱ــ۶

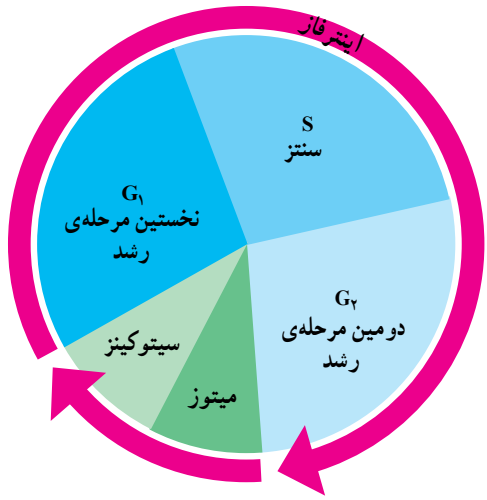
ــ دانش‌آموزی ادعا می‌کند که در گامت، کروموزوم‌های همتا یافت می‌شود. شما با وی موافق هستید یا مخالف؟ پاسخ خود را توضیح دهید.

۲ چرخه‌ی سلول

تقسیم سلول‌های یوکاریوتی، به مراتب از تقسیم سلول‌های پروکاریوتی (تقسیم دوتایی) پیچیده‌تر است، چون در این تقسیم سیتوپلاسم و هسته هر دو تقسیم می‌شوند و قبل از تقسیم سیتوپلاسم، لازم است اندامک‌های مختلف به درستی در فضای سلول بازآرایی شوند تا بتوانند به گونه‌ای مناسب، بین دو سلول دختر توزیع شوند و سلول‌هایی کارآمد را پدید آورند.

مراحل زندگی یک سلول یوکاریوتی را به صورت یک دایره یا چرخه نشان می‌دهند و آن را **چرخه‌ی سلول** می‌نامند (شکل ۸ــ۶). چرخه‌ی سلول، از پایان یک تقسیم شروع می‌شود و تا پایان تقسیم بعدی ادامه می‌یابد. چرخه‌ی سلول، از پنج مرحله تشکیل شده است. حدود ۹۰ درصد زندگی سلول، در سه مرحله‌ی اول آن که در مجموع **اینترفاز** نامیده می‌شوند، می‌گذرد. طی اینترفاز سلول آماده‌ی تقسیم می‌شود. سلول فقط هنگامی به دو مرحله‌ی آخر چرخه‌ی سلول وارد می‌شود که بنا باشد تقسیم شود. پنج مرحله‌ی چرخه‌ی سلول در زیر خلاصه شده‌اند.

۱ ــ نخستین مرحله‌ی رشد (G_1): سلول در این مرحله به سرعت رشد می‌کند و بزرگ می‌شود.



شکل ۸ــ۶ــ چرخه‌ی زندگی یک سلول یوکاریوتی

۲ــ مرحله‌ی سنتز (S): طی این مرحله، DNA همانندسازی می‌کند. بنابراین در پایان مرحله‌ی S هر کروموزوم از دو کروماتید یکسان که در محل سانترومر به هم متصل‌اند (شکل ۴ــ۶) تشکیل شده است. کروماتیدها در این مرحله هنوز فشردگی و تراکم خود را پیدا نکرده‌اند. همانندسازی DNA فرآیندی است که طی آن از یک مولکول DNA دو مولکول DNA که کاملاً شبیه یکدیگرند، ساخته می‌شود.

۳ــ دومین مرحله‌ی رشد (G_2): طی این مرحله، تمهیدات لازم برای تقسیم هسته فراهم می‌شود و همانندسازی میتوکندری و دیگر اندامک‌ها صورت می‌گیرد.

۴ــ میتوز: میتوز فرآیندی است که طی آن هسته‌ی سلول بدون کاهش تعداد کروموزوم‌ها به دو هسته تقسیم می‌شود. هسته‌های جدید، همان نوع و همان تعداد کروموزوم‌هایی را خواهند داشت که هسته‌ی اول (هسته‌ی سلول مادر) داشته است، اما از دو کروماتید هر کروموزوم تنها یکی را به ارث برده است.

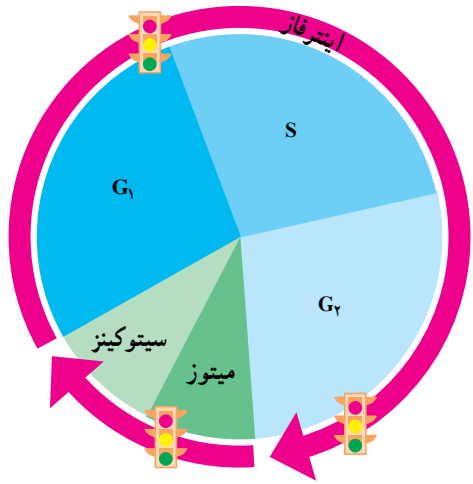
۵ــ سیتوکینز[1]: فرآیندی که طی آن سیتوپلاسم سلول تقسیم می‌شود، **سیتوکینز** نام دارد. سیتوکینز معمولاً پس از تقسیم هسته (میتوز) به وقوع می‌پیوندد. میتوز و سیتوکینز در مجموع سلول‌های جدیدی (سلول دختر) پدید می‌آورند که درست مثل سلول‌های مادر هستند. بنابراین امکان رشد و ترمیم بافت‌های آسیب‌دیده و در بعضی موارد، امکان تولیدمثل غیرجنسی را فراهم می‌آورند.

چرخه‌ی سلول به دقت تنظیم می‌شود

سلول از کجا «می‌فهمد» که چه موقع باید تقسیم شود؟ چرخه‌ی سلول چگونه تنظیم می‌شود؟ همان‌گونه که چراغ راهنمایی و رانندگی، عبور از یک خیابان به خیابان دیگر را کنترل می‌کند، در سلول نیز سیستمی وجود دارد که عبور سلول را از یک مرحله به مرحله‌ی دیگر چرخه، کنترل می‌کند. در چرخه‌ی سلول، زمان‌های حساسی وجود دارد که آن‌ها را **نقاط وارسی**[2] می‌نامیم. در این زمان‌ها، عبور سلول از یک مرحله به مرحله‌ی دیگر کنترل می‌شود و براساس مجموع پدیده‌هایی که در سلول به وقوع می‌پیوندد، اجازه‌ی عبور به مرحله‌ی بعد داده می‌شود (چراغ سبز)، یا داده نمی‌شود (چراغ قرمز). مثلاً، تا هنگامی که مرحله‌ی قبلی به پایان نرسیده باشد، از ورود سلول به مرحله‌ی بعدی جلوگیری می‌شود. تنظیم چرخه‌ی سلولی در سه زمان اصلی (نقاط وارسی) رخ می‌دهد (شکل ۹ــ۶).

---

۱ ــ Cytokinesis ۲ ــ Checkpoint



شکل ۹ــ۶ــ تنظیم چرخه‌ی سلول با کمک سه‌نقطه‌ی وارسی. پروتئین‌های متعددی در این نقاط فعالیت می‌کنند.

سرطان، اختلال در تنظیم چرخه‌ی سلولی: سرطان، تقسیم و رشد غیرعادی سلول‌هاست. سلول‌های سرطانی بدون توجه به مکانیسم‌های کنترل‌کننده‌ی سلامت بدن، همچنان به تقسیم خود ادامه می‌دهند. مثل راننده‌ای که بدون توجه به چراغ قرمزی که پیش‌رو دارد، پدال گاز را می‌فشارد و همچنان در مسیر جاده به پیش می‌رود.

بعضی از تغییرات ناگهانی ژنی که در سلول‌ها به وجود می‌آیند (جهش) سبب تولید بیش از حد مولکول‌های محرک رشد و تقسیم سلول‌ها می‌شوند و از این طریق، سرطان ایجاد می‌کنند. مثل این است که این تغییرات ژنی (جهش‌ها)، «پدال گاز» چرخه‌ی سلولی را می‌فشارند و به آن شتاب می‌بخشند. بعضی دیگر از این جهش‌ها پروتئین‌هایی را که مسئول کُند یا متوقف کردن چرخه‌ی سلول هستند، غیرفعال می‌کنند و به این طریق «ترمز» چرخه‌ی سلول را مختل می‌کنند.

بسیاری از این جهش‌ها در نتیجه‌ی تأثیر **عوامل محیطی** ایجاد می‌شوند. به همین سبب، خطر ابتلا به سرطان، به شیوه‌ی زندگی بستگی دارد. مثلاً مصرف مواد مخدر و حتی دخانیات و قرار گرفتن در معرض پرتو فرابنفش و مصرف غذاها و هوای آلوده به آلاینده‌های شیمیایی، مانند سرب، خطر ابتلا به سرطان را افزایش می‌دهد. چندی است اثرات رژیم غذایی و تنش‌های روانی بر سرطان، توجه بسیاری از پژوهشگران را به خود معطوف ساخته است.

خودآزمایی ۲ ــ۶

۱ــ چرخه‌ی سلول از چند مرحله تشکیل شده است؟ نام ببرید و در مورد هر کدام توضیح مختصری ارائه دهید.

۲ــ چرا نمی‌توان کروموزوم‌های سلول را در مرحله‌ی اینترفاز مشاهده کرد؟

۳ــ چرخه‌ی سلول چگونه تنظیم می‌شود؟

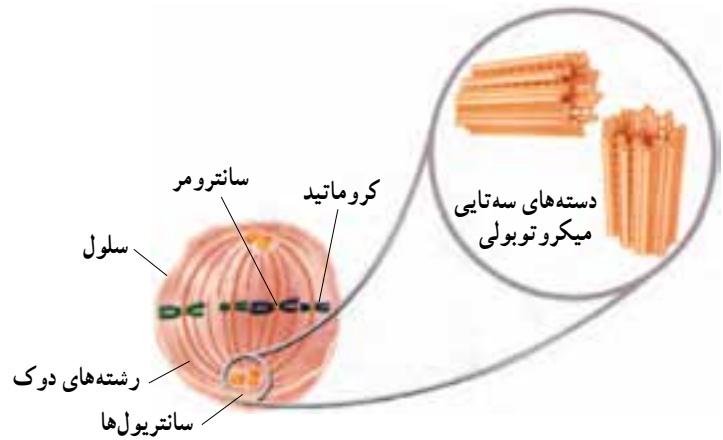
۴ــ سرطان چگونه پدید می‌آید؟

۳ میتوز و سیتوکینز

دو کروماتید هر کروموزوم هنگام میتوز از یکدیگر جدا می‌شوند و به کمک دوک تقسیم به سوی دو قطب سلول حرکت می‌کنند. **دوک**، ساختاری است متشکل از گروهی از میکروتوبول‌ها، که در حرکت دادن کروموزوم‌ها نقش دارند.

تشکیل دوک

سلول‌های جانوری به طور معمول، یک جفت سانتریول دارند که در نزدیکی هسته قرار دارد. هر سانتریول، یک جسم کوچک استوانه‌ای شکل است. دو سانتریول هر سلول با زاویه‌ی ۹۰ درجه نسبت به یکدیگر قرار می‌گیرند (شکل ۱۰ــ۶). طی مرحله‌ی G_2 چرخه‌ی سلول، سانتریول‌ها که یک جفت هستند، همانندسازی می‌کنند. بنابراین، سلول به هنگام ورود به مرحله‌ی میتوز، دو جفت سانتریول خواهد داشت. وقتی سلول به مرحله‌ی میتوز وارد می‌شود، جفت سانتریول‌ها شروع به جدا شدن از یکدیگر می‌کنند و هر جفت سانتریول، به سوی یکی از دو قطب سلول حرکت می‌کند و به این ترتیب از جفت سانتریول دیگر دور می‌شود. همچنان که جفت سانتریول‌ها از یکدیگر دور می‌شوند، بین آن‌ها رشته‌هایی پروتئینی شکل می‌گیرد که ساختار دوک را پدید می‌آورند.



شکل ۱۰ــ۶ــ دوک تقسیم و سانتریول‌ها

سانتریول‌ها و رشته‌های دوک هر دو از لوله‌هایی توخالی، از جنس پروتئین، ساخته شده‌اند. این لوله‌های ریز پروتئینی **میکروتوبول** نام دارند. هر یک از رشته‌های دوک از یک میکروتوبول ساخته شده است، اما هر سانتریول از ۹ دسته‌ی سه‌تایی از میکروتوبول ساخته شده است. این ۹ دسته به صورتی آرایش یافته‌اند که در مجموع جسمی استوانه‌ای شکل را می‌سازند (شکل ۱۰ــ۶). سلول‌های بسیاری از گیاهان اگرچه سانتریول ندارند، اما دوک را می‌سازند.

بیش‌تر بدانید

محاسبه‌ی تعداد سلول‌های حاصل از میتوز

زیست‌شناسانی که درباره‌ی سرطان به پژوهش می‌پردازند، گاهی لازم است از تعداد سلول‌های تولید شده در یک مدت زمان مشخص آگاه باشند. در بدن انسان، سرعت میتوز حدود ۲۵ میلیون ($۲/۵ \times ۱۰^{۷}$) سلول در هر ثانیه است! شما می‌توانید تعداد سلول‌های تولید شده توسط میتوز را در محدوده‌های زمانی مفروض محاسبه کنید. برای این کار :

۱ــ اگر زمان داده شده در صورت مسئله برحسب ثانیه نیست، آن را به ثانیه تبدیل کنید. مثلاً اگر قرار است تعداد سلول‌های تولید شده طی ۳ دقیقه را محاسبه کنید ابتدا مشخص کنید که در ۳ دقیقه چند ثانیه وجود دارد :

$$۳\ \text{دقیقه} \times \frac{۶۰\ \text{ثانیه}}{۱\ \text{دقیقه}} = ۱۸۰\ \text{ثانیه}$$

۲ــ سرعت میتوز را در زمان به دست آمده ضرب کنید :

$$۱۸۰\ \text{ثانیه} \times \frac{۲/۵ \times ۱۰^{۷}\ \text{سلول}}{\text{ثانیه}} = ۴/۵ \times ۱۰^{۹}\ \text{سلول} \quad (۴,۵۰۰,۰۰۰,۰۰۰\ \text{سلول})$$

تجزیه و تحلیل

۱ــ تعداد سلول‌های تولید شده در یک ساعت را محاسبه کنید.

۲ــ تعداد سلول‌های تولید شده در یک روز را محاسبه کنید.

۳ــ عوامل کاهش دهنده یا افزایش دهنده‌ی سرعت میتوز را شناسایی کنید (این پرسش به‌منظور تقویت مهارت شما در پیش‌بینی و حدس زدن عوامل مؤثر در یک پدیده طراحی شده است).

مراحل میتوز

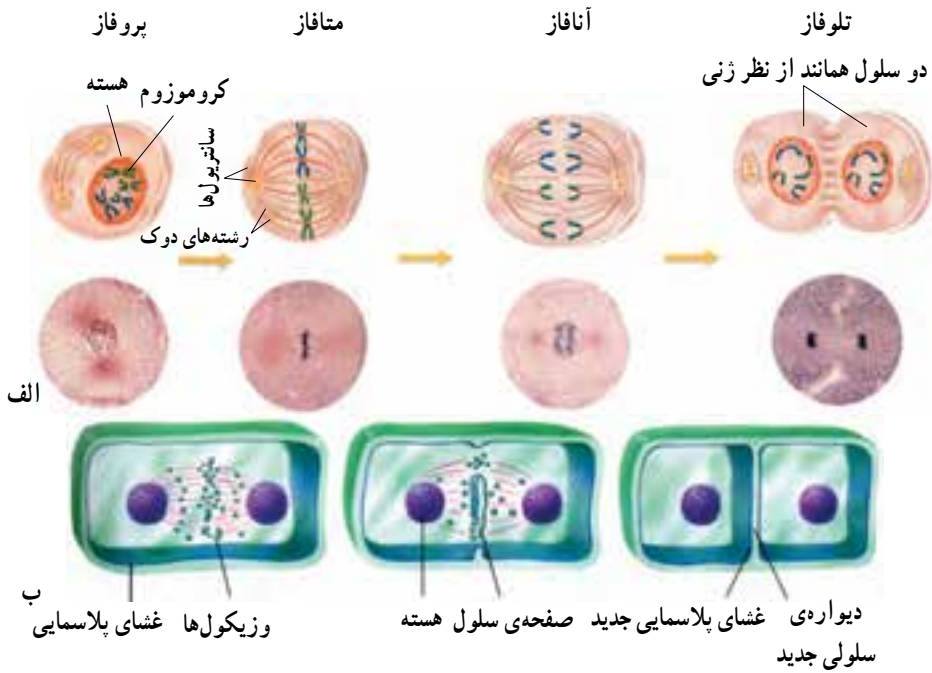
گرچه میتوز فرآیندی پیوسته است، اما زیست‌شناسان برای آسانی مطالعه، آن را به چهار مرحله تقسیم کرده‌اند (شکل ۱۱ــ۶) :

پروفاز: طی پروفاز، رشته‌های دراز و درهم تنیده‌ی کروماتینی، به تدریج کوتاه و ضخیم می‌شوند و کروموزوم‌ها، که همانندسازی کرده‌اند (کروموزوم‌های مضاعف‌شده)، قابل رؤیت می‌گردند. پوشش هسته ناپدید می‌شود و با دور شدن سانتریول‌ها از یکدیگر، دوک شکل می‌گیرد.

متافاز: طی متافاز، کروموزوم‌های مضاعف‌شده به سمت وسط سلول حرکت می‌کنند و در سطح استوایی سلول ردیف می‌شوند. در این مرحله، گروهی از رشته‌های دوک از یک سو به قطب و از سوی دیگر به سانترومر کروموزوم‌ها متصل شده‌اند. در متافاز، دو کروماتید هر کروموزوم حداکثر فشردگی را پیدا می‌کنند.

آنافاز: دو کروماتید خواهری هر کروموزوم مضاعف‌شده از محل سانترومر از یکدیگر جدا می‌شوند. کروماتیدها که هم‌اکنون کروموزوم (کروموزوم تک کروماتیدی) نام دارند، بر اثر کوتاه شدن رشته‌های دوک به سوی قطب‌ها کشیده می‌شوند.

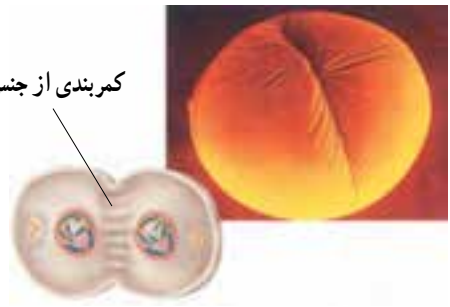
تلوفاز: در هر یک از دو قطب، پوشش هسته در اطراف کروموزوم‌ها تشکیل می‌شود. کروموزوم‌ها با باز شدن پیچیدگی‌ها و تابیدگی‌های آن‌ها دوباره شروع به باریک و دراز شدن می‌کنند تا به تدریج به صورت رشته‌های کروماتینی درآیند. تلوفاز مرحله‌ی پایانی میتوز است، در این مرحله دوک از بین می‌رود.



شکل ۱۱ــ۶ ــ مراحل میتوز و سیتوکینز در یک سلول جانوری (الف) و در یک سلول گیاهی (ب).

سیتوکینز

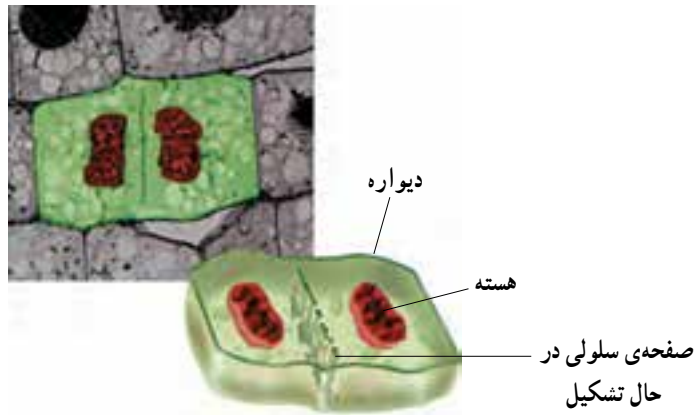
در بسیاری موارد در انتهای میتوز، سیتوکینز آغاز می‌شود. طی سیتوکینز، سیتوپلاسم سلول به دو نیم تقسیم می‌شود (شکل ۱۲ــ۶).



شکل ۱۲ــ۶ــ سیتوکینز در یک سلول جانوری

در سلول‌های جانوری و دیگر سلول‌هایی که دیواره ندارند، طی سیتوکینز، کمربندی از رشته‌های پروتئینی در میانه‌ی سلول ایجاد می‌شود که با تنگ شدن آن، سلول به دو نیم تقسیم می‌شود. در سلول‌های گیاهی و دیگر سلول‌هایی که دیواره‌ی سخت دارند، سیتوپلاسم به روش دیگری تقسیم می‌شود. در سلول‌های گیاهی وزیکول‌هایی که توسط دستگاه گلژی ساخته شده‌اند در میانه‌ی سلول به یکدیگر می‌پیوندند و صفحه‌ای را پدید می‌آورند. این صفحه در واقع یک دیواره‌ی سلولی است که توسط غشا احاطه شده است.(شکل ۱۳ــ۶).

هم در سلول‌های جانوری و هم در سلول‌های گیاهی، سلول‌های دختر معمولاً از نظر اندازه یکسان‌اند و کروموزوم‌هایشان درست مثلِ سلولِ مادر است. علاوه بر این، هر یک از سلول‌های دختر حدود نیمی از سیتوپلاسم (و اندامک‌های سیتوپلاسمی) مادر را دریافت می‌کند.



شکل ۱۳ــ۶ــ سیتوکینز در یک سلول گیاهی

خودآزمایی ۳ــ۶

۱ــ کار میکروتوبول‌ها را طی میتوز توصیف کنید.
۲ــ وقایعی را که در هر مرحله از میتوز رخ می‌دهد توصیف کنید.
۳ــ سیتوکینز را در سلول‌های گیاهی و جانوری مقایسه کنید.
۴ــ اگر سیتوکینز از چرخه‌ی سلول حذف شود، چه پی‌آمدی خواهد داشت؟

فعالیت ۲ــ۶

۱ــ باکتری‌ها به سادگی به دو نیم تقسیم می‌شوند، اما سلول‌های یوکاریوت با میتوز، تولیدمثل می‌کنند. فکر می‌کنید این تفاوت در تقسیم، چه کمکی به تولیدمثل سلول‌های یوکاریوتی کرده است؟
۲ــ پنج اندامک را نام ببرید که قبل از تقسیم سیتوپلاسم، باید تقسیم یا قطعه‌قطعه شوند.
۳ــ معمولاً، آسیب‌هایی که به مغز یا نخاع وارد می‌شود، پایدار هستند. با بهره‌گیری از آنچه که درباره‌ی چرخه‌ی سلولی فرا گرفته‌اید، توضیح دهید که چرا سلول‌های از بین رفته در مغز و نخاع جبران نمی‌شوند؟

فعالیت ۳ــ۶

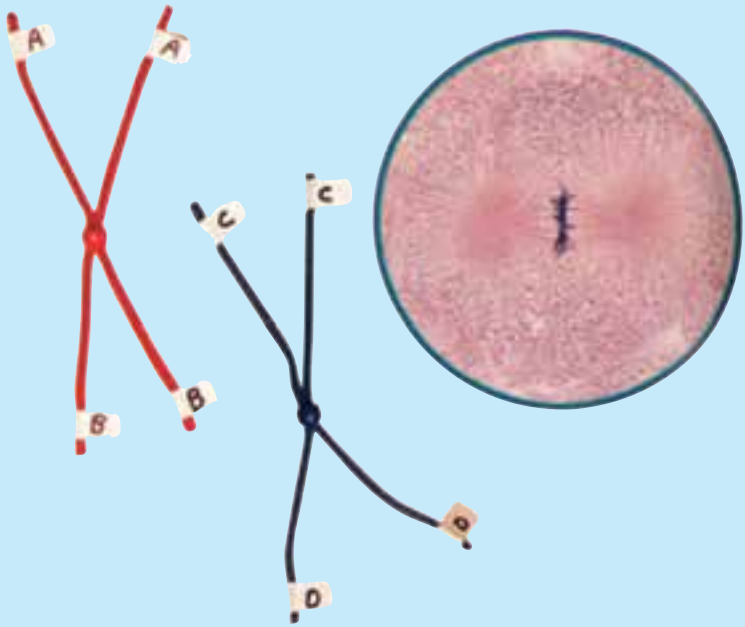
مدلی برای میتوز بسازید

مهارت‌ها

- مدل سازی
- استفاده از روش علمی

هدف

- توصیف وقایعی که در هر مرحله از میتوز رخ می‌دهد.



مواد

- مقداری سیم تلفن، حداقل با دو رنگ مختلف
- مقداری کاموا یا طناب
- تکمه‌ی فشاری لباس
- برچسب
- قیچی

پیش از آغاز

پیش از آنکه آزمایش را طراحی و اجرا کنید، لازم است اطلاعات شما درباره‌ی میتوز کافی باشد. به این منظور به پرسش‌های زیر پاسخ دهید تا مطمئن شوید آمادگی لازم را برای آغاز این فعالیت دارید.

۱ــ اصطلاحات زیر را تعریف کنید :

چرخه‌ی سلول، میتوز، کروماتید، سانترومر، رشته‌های دوک، سیتوکینز، جهش.

۲ــ سلول‌ها چگونه خود را برای تقسیم‌شدن آماده می‌کنند؟

۳ــ براساس اهداف این فعالیت، پرسشی را درباره‌ی میتوز مطرح کنید که بتوانید پس از انجام این فعالیت، به پاسخ آن دست یابید.

روش

بخش اول: طراحی مدل

۱ــ با دیگر اعضای گروه خود و با استفاده از موادی که برای این آزمایش پیش‌بینی شده‌اند، مدلی برای سلول طراحی کنید. مطمئن شوید که این مدل حداقل دو جفت کروموزوم دارد و در آستانه‌ی میتوز است.

هنگام طراحی مدل، به موارد زیر توجه کنید :
الف ــ در پی یافتن پاسخ برای چه پرسشی هستید؟
ب ــ غشای سلول را چگونه مدل‌سازی می‌کنید؟
ج ــ چگونه نشان می‌دهید که سلول شما دیپلوئید است؟
د ــ چگونه جایگاه حداقل دو ژن را در هر کروموزوم نشان می‌دهید؟
هـ ــ چگونه نشان می‌دهید که قبل از آغاز میتوز، کروموزوم‌ها مضاعف شده‌اند؟

۲ــ آنچه را برای طراحی مدل در ذهن دارید، روی کاغذ بنویسید و آن را به معلم خود نشان دهید.

۳ــ مدلی را که گروه شما طراحی کرده است بسازید. با استفاده از مدلی که ساخته‌اید مراحل مختلف میتوز را نشان دهید و هر مرحله را نام‌گذاری کنید.

توجه: اشیای نوک‌تیز ممکن است باعث بروز جراحت شوند. به هنگام کارکردن با قیچی بسیار مواظب باشید در صورت بروز هرگونه جراحتی، فوراً معلم خود را آگاه سازید.

۴ــ با استفاده از مدلی که ساخته‌اید، یکی از پرسش‌هایی را که گروه شما در قسمت ۳ از «پیش از آغاز» طرح کرده بود، پاسخ دهید. مراحل مختلف یافتن پاسخ پرسش را توصیف کنید.

بخش دوم: آزمودن فرضیه

هر یک از پرسش‌های زیر را با نوشتن فرضیه‌ای پاسخ دهید. با استفاده از مدلی که ساخته‌اید، فرضیه‌های پیشنهادی را بیازمایید و نتایج خود را توضیح دهید.

۵ــ سیتوکینز، بعد از میتوز رخ می‌دهد. اندازه‌ی سلول‌های جدید حاصل از سیتوکینز را با سلول اولی مقایسه کنید.

۶ــ بعضی اوقات، دو کروماتید نمی‌توانند از یکدیگر جدا شوند. پی‌آمد این واقعه بر تعداد کروموزوم‌های سلول چه خواهد بود؟

۷ــ جهش، تغییری دایمی است که در ژن یا کروموزوم روی می‌دهد. تأثیر جهشی که در سلول مادر رخ داده است، بر سلول‌های نسل آینده چیست؟

تجزیه و تحلیل و نتیجه‌گیری

۱ــ تجزیه و تحلیل نتایج: هسته‌ی سلول‌های حاصل از میتوز را با هسته‌ی سلولی که این فعالیت را با آن آغاز کردید، مقایسه کنید.

۲ــ ارزیابی روش: چگونه می‌توانید مدل خود را به نحوی تغییر دهید که فرآیند میتوز را بهتر نشان دهد؟

۳ــ تشخیص الگوها: محتوای ژنتیک سلول‌های حاصل از میتوز را با محتوای ژنتیک سلول اصلی مقایسه کنید.

۴ــ پی بردن به نتیجه: میتوز چه اهمیتی دارد؟

۵ــ پژوهش بیش‌تر: پرسش جدیدی درباره‌ی میتوز یا چرخه‌ی سلول مطرح کنید که یافتن پاسخ آن با استفاده از مدلی که ساخته‌اید، میسر باشد.