



## کروموزوم‌ها و میتوز

یکی از بارزترین ویژگی‌های جانداران، تولید مثل است. فرایند تولید مثل 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 جست‌وجو 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 دربارهٔ تولید مثل بیابیم، باید ابتدا تولید مثل سلول را بررسی کنیم.

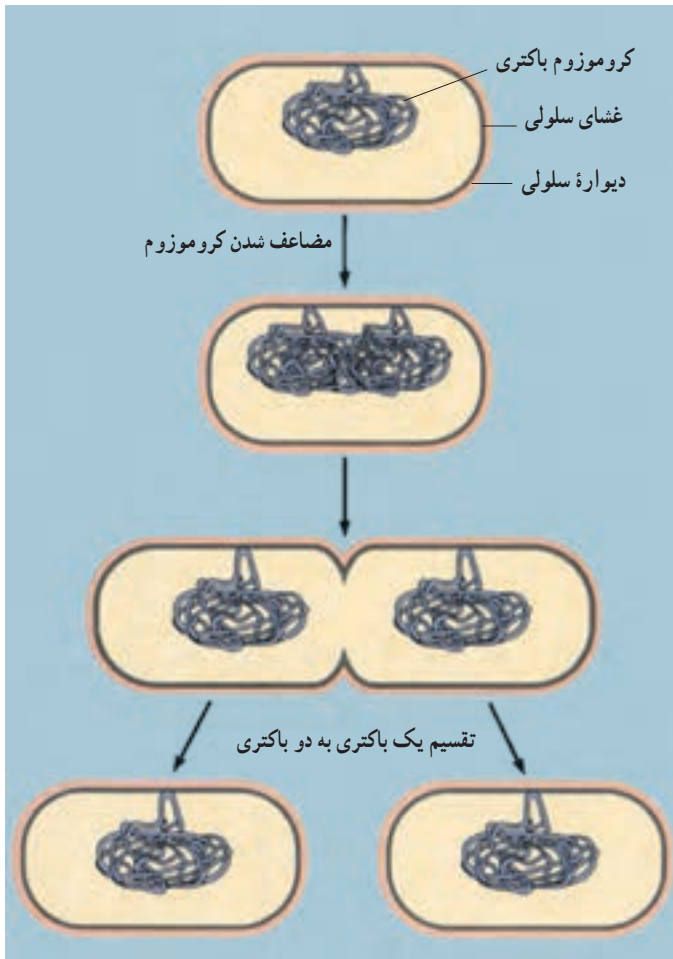
## ۱ تقسیم سلولی و کروموزوم‌ها

در بدن هر انسان بالغ در هر شبانه روز، میلیون‌ها سلول ساخته می‌شود؛ این سلول‌ها در نتیجه 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 نتیجه 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 دو تایی تولید مثل می‌کنند. جانداران یوکاریوتی برای رشد، نمو، ترمیم و تولید مثل غیر جنسی، 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 تولید مثل جنسی تولید می‌شوند.

### تولید مثل باکتری‌ها

ساده‌ترین نوع تقسیم سلول در باکتری دیده می‌شود. DNA باکتری، مولکولی بسته یا حلقوی است که به غشای پلاسمایی متصل است. باکتری‌ها از طریق تقسیم دو تایی تولید مثل می‌کنند. تقسیم دوتایی نوعی تولید مثل غیر جنسی است که به تولید زاده‌هایی یکسان منجر می‌شود. در تولید مثل غیر جنسی فقط یک والد شرکت دارد.

تقسیم دوتایی 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، دیواره سلول در محل این دو سلول جدید نیز تشکیل می‌شود. هر یک از این دو سلول دارای یکی از دو نسخه DNA است که کاملاً یکسان‌اند (شکل ۱-۶).



شکل ۱-۶ - تقسیم دوتایی یک باکتری

توجه داشته باشید که تکثیر سلول، همانند تکثیر یک صفحه از کتاب نیست. در تکثیر صفحات کتاب، نسخه‌ای 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. به عبارت دیگر دو سلول دختر در مجموع زمانی سلول مادر بوده‌اند که اجزای سلولی سلول مادر بین آنها تقسیم شده است.

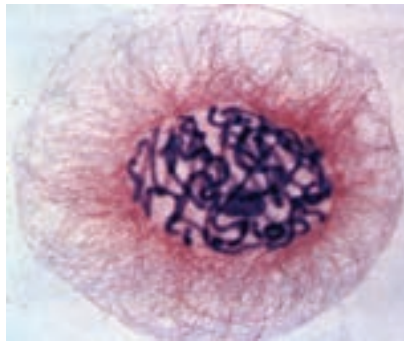
### کروموزوم‌های یوکاریوتی

سلول‌های یوکاریوتی، برخلاف سلول‌های پروکاریوتی هسته‌ای سازمان یافته دارند، یعنی ماده

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 این رو، قبل از پرداختن به چگونگی تقسیم سلول‌های یوکاریوتی، آشنایی با ساختار و عمل کروموزوم‌ها ضروری است.

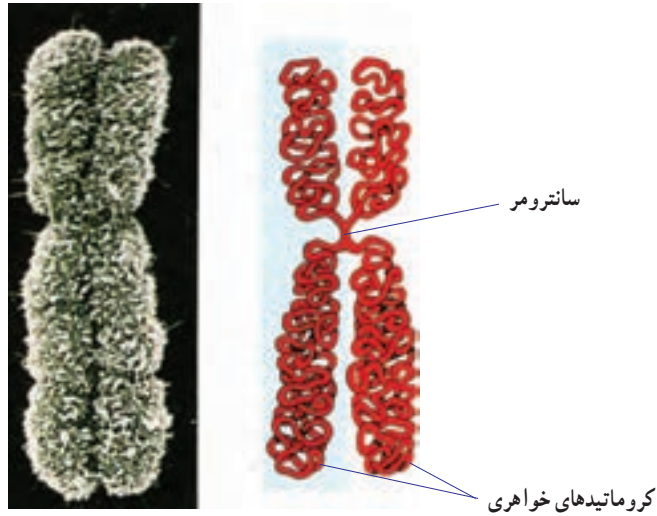
اطلاعات زیادی که در DNA وجود دارد، در واحدهایی به نام ژن ذخیره شده است. هر ژن، قسمتی از مولکول DNA است که برای ساختن پروتئین یا RNA مورد استفاده قرار می‌گیرد. یک مولکول DNA هزاران ژن دارد که همانند سالن (واگن)‌های قطار به دنبال یکدیگر قرار گرفته‌اند. ژن‌ها نقش مهمی در چگونگی رشد و نمو بدن و نیز تنظیم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

کروموزوم درون هسته سلول‌های یوکاریوتی که در حال تقسیم‌اند، دیده می‌شود. 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 ۲-۶). وقتی سلول برای تقسیم آماده می‌شود، هر یک از رشته‌های نامشخص کروماتین همانندسازی می‌کند و سرانجام کروموزوم مضاعف شده را تشکیل می‌دهند.



شکل ۲-۶- کروماتین در یک سلول گیاهی، قبل از تقسیم (×۶۰۰)

در جریان تقسیم سلول، کروموزوم‌های مضاعف شده به تدریج فشرده می‌شوند. در نتیجه رشته‌های باریک و بلند کروموزومی به رشته‌های قطور و کوتاه تبدیل می‌شوند و به شکلی درمی‌آیند که در شکل ۳-۶ 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 کروموزوم مضاعف شده، که آنها را نسبت به یکدیگر کروماتید خواهری می‌نامند، در محلی به نام سانترومر به یکدیگر متصل‌اند.



یک کروموزوم مضاعف شده

شکل ۳-۶ - کروموزوم مضاعف شده، کروماتید و سائترومر

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 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 ۴-۶). اما بین ساختار گردنبند مروارید و ساختار نوکلئوزوم‌ها تفاوت‌هایی نیز وجود دارد. این تفاوت‌ها کدام‌اند؟



هر کروموزوم مضاعف شده از دو کروماتید تشکیل شده است.

پیچ خوردگی‌های بیشتر درون کروموزوم

پیچ خوردگی‌های درون کروموزوم

DNA همراه با پروتئین‌ها

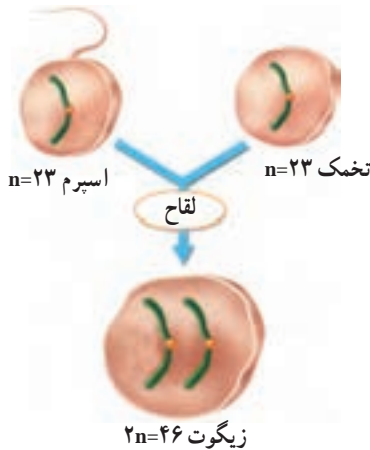
مارپیچ دورشته‌ای DNA

شکل ۴-۶ - ساختار کروموزوم

## تعداد و ساختار کروموزوم ها

وقتی یک سلول مثل سلول پیکری، دو مجموعه کروموزوم دارد، می گویند آن سلول دیپلوئید است. برخلاف سلول های پیکری، گامت ها فقط یک مجموعه کروموزوم (۲۳ عدد) دارند. وقتی سلولی مثل گامت فقط یک مجموعه کروموزوم دارد، می گویند آن سلول هاپلوئید است. زیست شناسان برای نمایش دادن یک مجموعه کروموزوم از نماد  $n$  استفاده می کنند و به آن عدد هاپلوئید می گویند. عدد هاپلوئید در گامت های انسان به صورت  $n = ۲۳$  نوشته می شود. عدد دیپلوئید در سلول های پیکری انسان به صورت  $۲n = ۴۶$  نوشته می شود. در بعضی جانداران بیش از دو مجموعه کروموزوم وجود دارد. به این حالت پلی پلوئیدی می گویند. مثلاً گندم زراعی که شش مجموعه کروموزومی در سلول های خود دارد، هگزاپلوئید است.

در جانداران دیپلوئید هر جفت کروموزوم، از دو کروموزوم همتا تشکیل شده است. کروموزوم های همتا کروموزوم هایی اند که اندازه، شکل و محتوای ژنتیک آنها مشابه است. از هر دو کروموزوم همتا یکی از پدر و دیگری از مادر آمده است (شکل ۵-۶). بنابراین می توان گفت که ۴۶ کروموزوم سلول های پیکری انسان، از دو مجموعه ۲۳ کروموزومی تشکیل شده است که یک مجموعه از پدر و مجموعه دیگر از مادر آمده است. در شکل ۵-۶ برای ساده کردن مطلب، فقط یکی از کروموزوم های انسان نشان داده شده است.



شکل ۵-۶- لقاح باعث ترکیب دو سلول هاپلوئید با یکدیگر و تولید یک سلول دیپلوئید می شود (در این شکل نسبت اندازه اسپرم و تخمک رعایت نشده است).

از ادغام دو گامت هاپلوئید که طی فرآیند لقاح انجام می شود، زیگوت (سلول تخم) که دیپلوئید است، پدید می آید. زیگوت، اولین سلول از جاننداری است که به تازگی تشکیل یافته است. این سلول، با تقسیم های پی در پی، سلول های بدن یک جاندار پرسلولی را پدید می آورد. این سلول ها از ده ها نوع مختلف اند، هر گروه شکل خاصی دارند و وظیفه خاصی را در جامعه پرسلولی بدن جاندار برعهده دارند.

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 شامپانه، همه در هر سلول پیکری خود ۴۸ 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.

بسیاری از گیاهان، کروموزوم‌های بسیار بیشتری دارند؛ مثلاً بعضی از سرخس‌ها بیش از ۱۰۰۰ کروموزوم دارند. برخی جانداران نیز تعداد کروموزوم کمتری دارند. مثلاً قارچ پنی سیلیوم که جاندار هاپلوئید است و آنتی‌بیوتیک پنی‌سیلین از آن به دست می‌آید، فقط دو کروموزوم دارد.

بیشتر بدانید



تعداد کروموزوم‌های چند جاندار

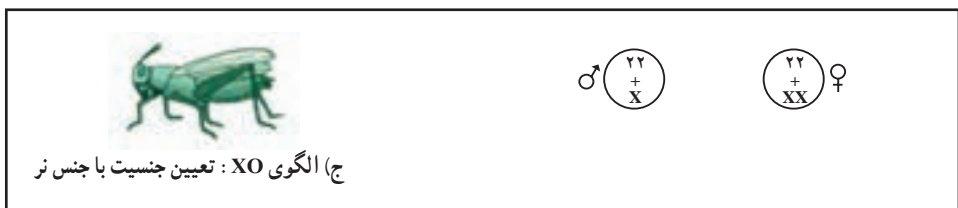
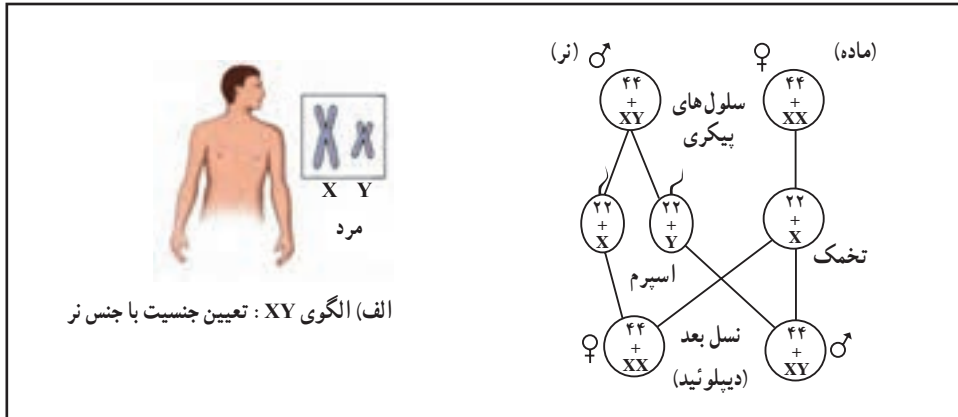
تعداد کروموزوم‌ها	جاندار
۱۸	ساکارومیسز (مخمر)
۶	پشه
۱۲	مگس
۱۴	نخودفرنگی
۲۰	ذرت
۱۲۶۲	سرخس مارزبان
۲۶	قورباغه
۴۶	آدمی
۴۸	اورانگوتان
۷۸	سگ

### برخی الگوهای تعیین جنسیت در جانوران

از ۲۳ جفت کروموزوم سلول‌های پیکری انسان، ۲۲ جفت اتوزوم (کروموزوم غیر جنسی) 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 با X و Y نشان می‌دهند. در انسان زن‌هایی که سبب می‌شوند تخمک لقاح یافته به نوزاد پسر نمو یابد، در کروموزوم Y واقع اند. 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 و دیگری Y است (XY). هر دو کروموزوم جنسی در زن‌ها X هستند (XX).

روش تعیین جنسیت در همه جانداران به این صورت نیست. در پرندگان، نرها دو کروموزوم X، اما ماده‌ها فقط یک کروموزوم X دارند. چنین مرسوم است که کروموزوم‌های X و Y را در پرندگان، به ترتیب با Z و W نشان می‌دهند. در بعضی حشرات، مثل ملخ که کروموزوم Y وجود ندارد، تعداد کروموزوم X جنسیت را تعیین می‌کند. ماده‌ها XX هستند و نرها XO (نشان دهنده نبودن کروموزوم است). در شکل ۶-۶ روش‌های تعیین جنسیت انسان و جانوران مختلف آورده شده است.



شکل ۶-۶- روش‌های تعیین جنسیت در انسان و جانوران مختلف



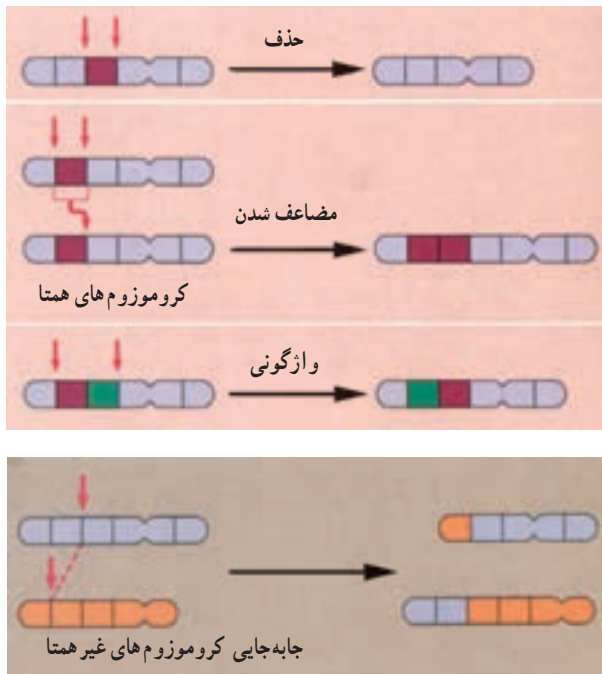
## جهش‌های کروموزومی

به تغییراتی که در تعداد و ساختار کروموزوم‌ها رخ می‌دهند، جهش کروموزومی می‌گویند. چهار نوع جهش در ساختار کروموزوم‌ها به‌طور خلاصه، معرفی می‌شوند (شکل ۷-۶).

**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.

**جاب‌جایی:** اگر قطعه‌ای که بر اثر شکسته شدن جدا شده است، به کروموزوم غیر هم‌تا متصل شود، جهش را جاب‌جایی می‌نامند. با تغییر در تعداد کروموزوم‌ها در فصل بعد آشنا می‌شوید.



شکل ۷-۶- تغییر در ساختار کروموزوم‌ها. پیکان‌ها محل‌های شکست در کروموزوم‌ها را نشان می‌دهند. توجه داشته باشید که مضاعف شدن خود ترکیبی از دو فرایند است: حذف و جاب‌جایی بین کروموزوم‌های هم‌تا.



## فعالیت ۱-۶

### 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

۱- اعداد ۱ تا ۸ را روی ۸ برگه یادداشت بنویسید (هر عدد را روی یک برگه بنویسید). برگه‌ها را به ترتیب از شماره 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.

۲- با استفاده از «کروموزومی» که ساخته‌اید و با توجه به شکل ۶-۷، جهش‌های حذف، مضاعف‌شدن، واژگونی و جابه‌جایی را نشان دهید. مثلاً شماره ۳ را حذف کرده، باقیمانده برگه‌ها را به هم متصل کنید. به این ترتیب شما حذف را نمایش داده‌اید.

۳- 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 پیامد هر یک از این جهش‌ها برای سلول چه خواهد بود؟

### تفکر نقادانه ۱-۶

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

## خودآزمایی ۱-۶

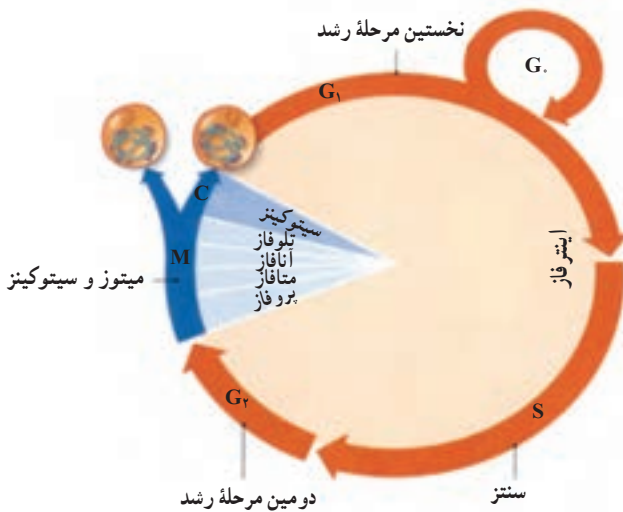


- ۱- به طور خلاصه بیان کنید که باکتری چگونه با تقسیم دوتایی، تولید مثل می‌کند؟
- ۲- در چه زمانی از حیات سلول یوکاریوتی، DNA فشرده و کروموزوم‌ها نمایان می‌شوند؟
- ۳- به طور خلاصه، تفاوت بین سلول هاپلوئید و سلول دیپلوئید را بیان کنید.
- ۴- کروموزوم‌های جنسی را در مردان و زنان مقایسه کنید.
- ۵- انواع تغییر در ساختار کروموزوم‌ها را نام ببرید.

## ۲ چرخه سلول

مراحل زندگی سلول یوکاریوتی را به صورت دایره یا چرخه نشان می دهند و آن را چرخه سلول می نامند (شکل ۸-۶). چرخه سلول، از پایان یک تقسیم شروع می شود و تا پایان تقسیم بعدی ادامه می یابد. همان طور که در شکل ۸-۶ می بینید بیشتر چرخه سلول به اینترفاز اختصاص دارد. سلول در این مرحله بسته به نوع و محل آن در بدن، عملکرد معمول خود را انجام می دهد. مدت زمانی که سلول در اینترفاز به سر می برد در سلول های متفاوت، فرق می کند. بعضی سلول ها به طور مشخص در اینترفاز باقی می مانند و تقسیم سلول در آنها برای همیشه متوقف می شود. در این حالت گفته می شود که سلول وارد مرحله G<sub>0</sub> (جی صفر) شده است. چرخه سلول در سلول هایی که تقسیم می شوند، پنج مرحله دارد. این پنج مرحله در زیر خلاصه شده اند.

۱- نخستین مرحله رشد (G<sub>1</sub>): سلول در این مرحله به سرعت رشد می کند و بزرگ می شود.



شکل ۸-۶ - چرخه زندگی یک سلول یوکاریوتی

۲- مرحله سنتز (S): طی این مرحله، DNA همانندسازی می کند. بنابراین در پایان مرحله S هر کروموزوم از دو کروماتید یکسان که در محل سانترومر به هم متصل اند (شکل ۴-۶) تشکیل شده است.

کروماتیدها در این مرحله هنوز فشردگی و تراکم خود را پیدا نکرده‌اند. همانندسازی DNA فرایندی است که طی آن از یک مولکول DNA دو مولکول DNA که کاملاً شبیه یکدیگرند، ساخته می‌شود.

۳- دو مین مرحله رشد (G<sub>2</sub>): طی این مرحله، تمهیدات لازم برای تقسیم هسته فراهم می‌شود و همانندسازی میتوکندری و دیگر اندامک‌ها صورت می‌گیرد.

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

۵- سیتوکینز<sup>۱</sup>: فرایندی 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 تولید مثل غیرجنسی را فراهم می‌آورند.

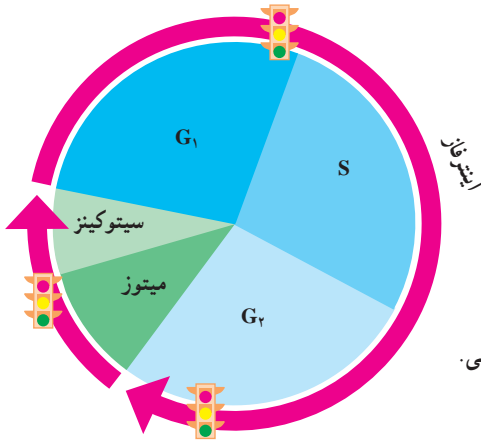
### چرخه سلول به دقت تنظیم می‌شود

سلول از کجا «می‌فهمد» که چه موقع باید تقسیم شود؟ چرخه 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 مرحله دیگر چرخه، کنترل می‌کند. در چرخه سلول، زمان‌های حساسی وجود دارد که آنها را نقاط و ارسی<sup>۲</sup> می‌نامیم. در این زمان‌ها، عبور سلول از یک مرحله به مرحله دیگر کنترل می‌شود و براساس مجموع پدیده‌هایی که در سلول به وقوع می‌پیوندد، اجازه عبور به مرحله بعد داده می‌شود (چراغ سبز)، یا داده نمی‌شود (چراغ قرمز). مثلاً، تا هنگامی که مرحله قبلی به پایان نرسیده باشد، از ورود سلول به مرحله بعدی جلوگیری می‌شود. تنظیم چرخه سلولی در سه زمان اصلی (نقاط و ارسی) رخ می‌دهد (شکل ۹-۶).

سرطان، اختلال در تنظیم چرخه سلولی: سرطان، تقسیم و رشد غیرعادی سلول‌هاست. سلول‌های سرطانی بدون توجه به مکانیسم‌های کنترل‌کننده 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.

۱ - Cytokinesis

۲ - Checkpoint



شکل ۹-۶- تنظیم چرخه سلول با کمک سه نقطه ارسی. پروتئین‌های متعددی در این نقاط فعالیت می‌کنند.

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» چرخه سلولی را می‌فشارند و به آن شتاب می‌بخشند. بعضی دیگر از این جهش‌ها پروتئین‌هایی را که مسئول کند یا متوقف کردن چرخه سلول هستند، غیرفعال می‌کنند و به این طریق «ترمز» چرخه سلول را مختل می‌کنند.

بسیاری از این جهش‌ها در نتیجه تأثیر عوامل محیطی ایجاد می‌شوند. به همین سبب، خطر ابتلا به سرطان، به شیوه 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 ۲-۶



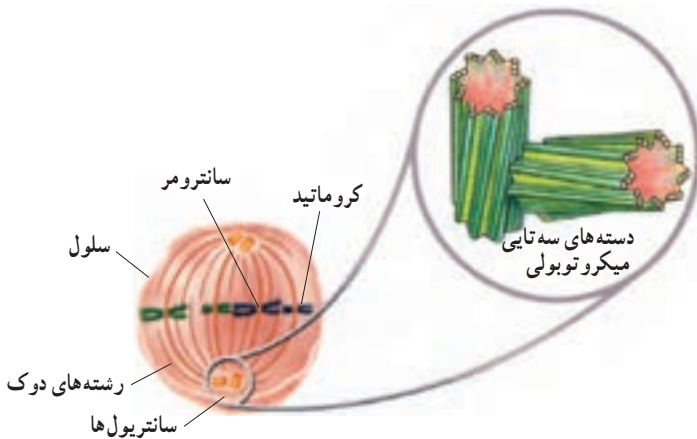
- ۱- چرخه سلول از چند مرحله تشکیل شده است؟ نام ببرید و در مورد هر کدام توضیح مختصری ارائه دهید.
- ۲- چرا نمی‌توان کروموزوم‌های سلول را در مرحله اینترفاز مشاهده کرد؟
- ۳- چرخه سلول چگونه تنظیم می‌شود؟
- ۴- سرطان چگونه پدید می‌آید؟

## ۳ میتوز و سیتوکینز

دو کروماتید هر کروموزوم مضاعف 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 (ریزلوله‌ها) که در حرکت دادن کروموزوم‌ها نقش دارند.

### تشکیل دوک

سلول‌های جانوری به طور معمول، یک جفت سانتیول دارند که در نزدیکی هسته قرار دارد. هر سانتیول، یک جسم کوچک استوانه‌ای شکل است. دو سانتیول هر سلول با زاویه  $90^\circ$  درجه نسبت به یکدیگر قرار می‌گیرند (شکل ۱۰-۶). طی مرحله  $G_2$  چرخه سلول، سانتیول‌ها که یک جفت هستند، همانندسازی می‌کنند. بنابراین، سلول به هنگام ورود به مرحله میتوز، دو جفت سانتیول خواهد داشت. وقتی سلول به مرحله میتوز وارد می‌شود، جفت سانتیول‌ها شروع به جدا شدن از یکدیگر می‌کنند و هر جفت سانتیول، به سوی یکی از دو قطب سلول حرکت می‌کند و به این ترتیب از جفت سانتیول دیگر دور می‌شود. همچنان که جفت سانتیول‌ها از یکدیگر دور می‌شوند، بین آنها رشته‌هایی پروتئینی شکل می‌گیرد که ساختار دوک را پدید می‌آورند.

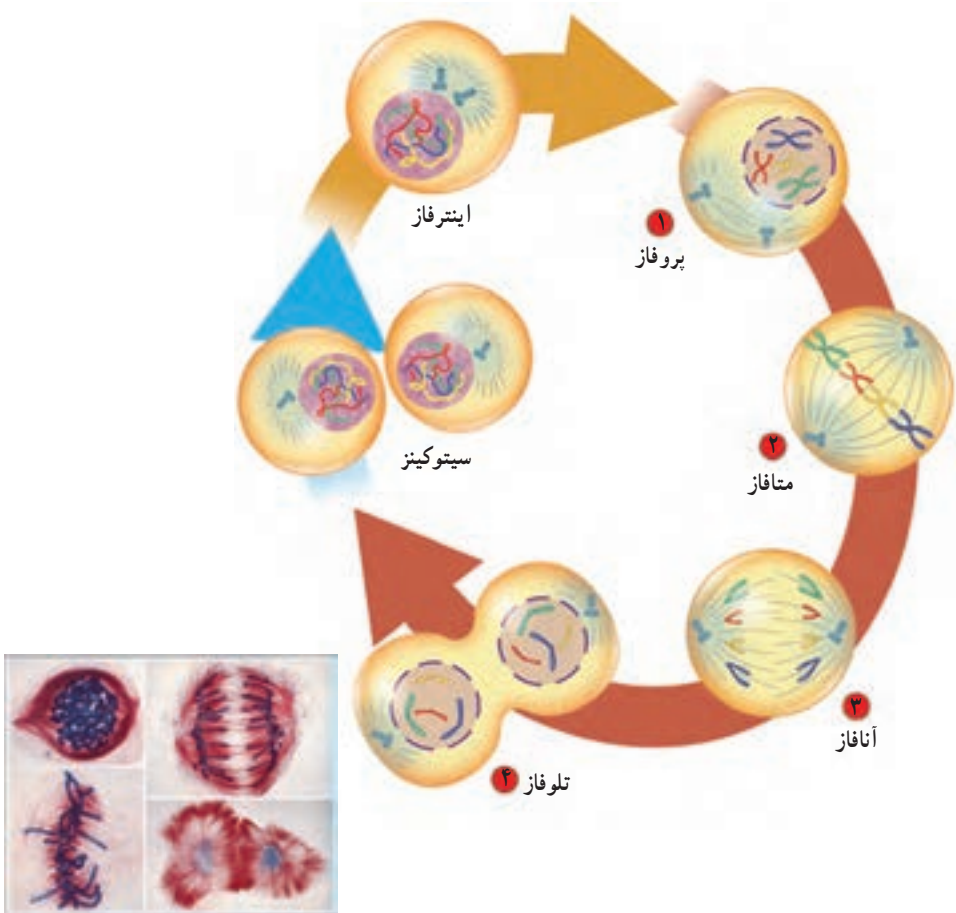


شکل ۱۰-۶ - دوک تقسیم و سانتیول‌ها

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 دسته سه‌تایی از میکروتوبول ساخته شده است. این ۹ دسته به صورتی آرایش یافته‌اند که در مجموع جسمی استوانه‌ای شکل را می‌سازند (شکل ۱۰-۶). سلول‌های بسیاری از گیاهان اگرچه سانتریول ندارند اما دوک را می‌سازند. بعضی پروتئین‌های سیتوپلاسمی با همکاری پروتئین‌های غشایی این کار را انجام می‌دهند.

## مراحل میتوز

گرچه میتوز فرایندی پیوسته است اما زیست‌شناسان برای آسانی مطالعه، آن را به چهار مرحله تقسیم کرده‌اند (شکل ۱۱-۶):





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

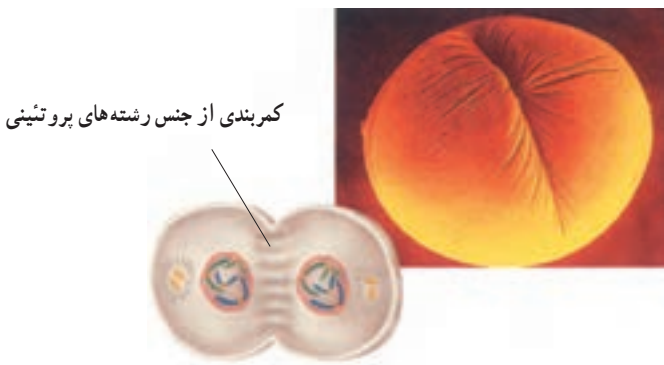
**متافاز :** طی متافاز، کروموزوم‌های مضاعف‌شده به سمت وسط سلول حرکت می‌کنند و در سطح استوایی سلول ردیف می‌شوند. در این مرحله، گروهی از رشته‌های دوک از یک سو به قطب و از سوی دیگر به سانترومر کروموزوم‌ها متصل شده‌اند. در متافاز، دو کروماتید هر کروموزوم حداکثر فشردگی را پیدا می‌کنند.

**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 و هستک نیز پدیدار می‌شود. تلوفاز مرحله پایانی میتوز است، در این مرحله دوک از بین می‌رود.

## سیتوکینز

در بسیاری موارد در انتهای میتوز، سیتوکینز آغاز می‌شود. طی سیتوکینز، سیتوپلاسم سلول به دو بخش تقسیم می‌شود (شکل ۱۲-۶).

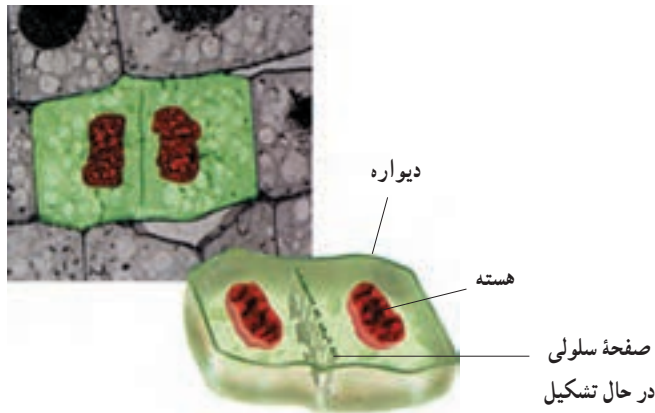
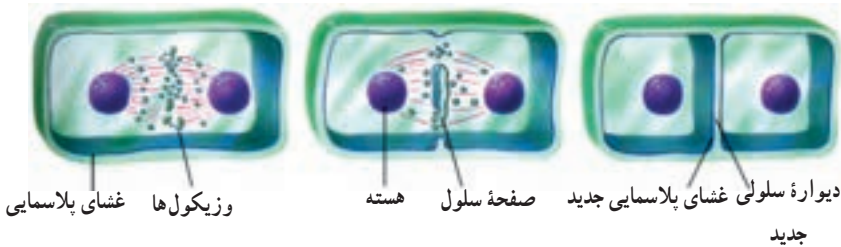


شکل ۱۲-۶- سیتوکینز در یک سلول جانوری

در سلول‌های جانوری و دیگر سلول‌هایی که دیواره ندارند، طی سیتوکینز، کمربندی از رشته‌های پروتئینی در میانه سلول ایجاد می‌شود که با تنگ شدن آن، سلول به دو نیم تقسیم می‌شود.

در سلول‌های گیاهی و دیگر سلول‌هایی که دیواره سخت دارند، سیتوپلاسم به روش دیگری تقسیم می‌شود. در سلول‌های گیاهی و زیکول‌هایی که توسط دستگاه گلژی ساخته شده‌اند در میانه سلول به یکدیگر می‌پیوندند و صفحه‌ای را پدید می‌آورند. این صفحه در واقع یک دیواره سلولی است که توسط غشا احاطه شده است. (شکل ۱۳-۶).

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



شکل ۱۳-۶- میتوز و سیتوکینز در یک سلول گیاهی

## خود آزمایی ۳-۶



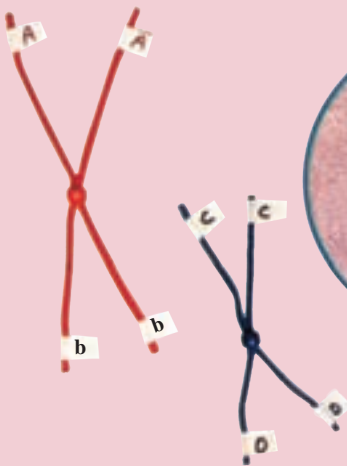
- ۱- کار میکروتوبول‌ها را طی میتوز توصیف کنید.
- ۲- وقایعی را که در هر مرحله از میتوز رخ می‌دهد توصیف کنید.
- ۳- سیتوکینز را در سلول‌های گیاهی و جانوری مقایسه کنید.
- ۴- اگر سیتوکینز از چرخه سلول حذف شود، چه پیامدی خواهد داشت؟

## فعالیت ۲-۶



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

## فعالیت ۳-۶



### مدلی برای میتوز بسازید

مواد

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

## پیش از آغاز

پیش از آنکه آزمایش را طراحی و اجرا کنید، لازم است اطلاعات شما دربارهٔ میتوز کافی باشد. براساس اهداف این فعالیت، بررسی را دربارهٔ میتوز مطرح کنید که بتوانید پس از انجام این فعالیت، به پاسخ آن دست یابید.

### روش

#### بخش اول: طراحی مدل

۱- 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 آستانهٔ میتوز است.

هنگام طراحی مدل، به موارد زیر توجه کنید:

الف) در بی یافتن پاسخ برای چه بررسی هستید؟

ب) غشای سلول را چگونه مدل‌سازی می‌کنید؟

ج) چگونه نشان می‌دهید که سلول شما دیپلوئید است؟

د) چگونه جایگاه حداقل دو ژن را در هر کروموزوم نشان می‌دهید؟

ه) چگونه نشان می‌دهید که قبل از آغاز میتوز، کروموزوم‌ها مضاعف شده‌اند؟

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

۳- 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.

۴- با استفاده از مدلی که ساخته‌اید، به پرسش گروه خود که در «پیش از آغاز» طرح شده بود، پاسخ دهید.

#### بخش دوم: آزمون فرضیه

هر یک از پرسش‌های زیر را با نوشتن فرضیه‌ای پاسخ دهید. فرضیه‌های پیشنهادی را بنویسید و نتایج خود را توضیح دهید.

۵- سیتوکنیز، بعد از میتوز رخ می‌دهد. اندازهٔ سلول‌های جدید حاصل از سیتوکنیز را با سلول اولی مقایسه کنید.

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

۷- 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

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

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

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

۴- بی‌بردن به نتیجه: میتوز چه اهمیتی دارد؟

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