



فصل ۶

تقسیم یاخته

توضیح شکل بالا: در هسته سلول‌های یوکاریوتی، مولکول‌های DNA خطی به همراه انواعی از پروتئین‌ها به صورت کروموزوم‌های خطی درآمده‌اند. زندگی انسان، با تشکیل یاخته‌ای به نام سلول تخم آغاز می‌شود و این سلول پس از چند ماه به نوزادی با میلیاردها یاخته تبدیل می‌شود. روند افزایش یاخته‌ها حتی بعد از این هم ادامه می‌یابد، به طوری که تعداد یاخته‌ها در بدن یک فرد بالغ به صدها میلیارد می‌رسد. این افزایش شگفت‌انگیز با تقسیمات بیایی یاخته‌ها صورت می‌پذیرد.

+ با توجه به مطالبی که در سال‌های گذشته فرا گرفتید، چه انواعی از تقسیم در بدن یک فرد بالغ را می‌شناسید؟ تقسیم میتوز و میوز

+ هر نوع از این تقسیم‌ها در چه نوع یاخته‌هایی، انجام می‌شود؟

- میتوز تقریباً در همه سلول‌های پیکری انسان رخ می‌دهد و هدف آن رشد و ترمیم است.

- میوز فقط در سلول‌های پیکری موجود در بیضه‌ها و تخمدان‌ها اتفاق می‌افتد و هدف آن تولید سلول‌های جنسی یا گامت‌ها یعنی اسپرم و تخمک است.

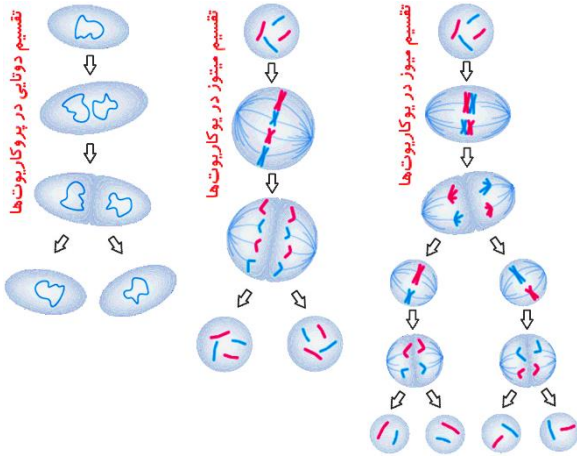
+ نتیجه هر نوع از تقسیم چیست؟

- در تقسیم میتوز از هر سلول اولیه یا مادر دو سلول کاملاً مشابه یعنی یک نوع سلول یا یک نوع ترکیب ژنتیکی به وجود می‌آید.

- در تقسیم میوز از هر سلول اولیه یا مادر چهار سلول با نصف تعداد کروموزوم به وجود می‌آید که دو به دو مشابه هستند یعنی دو نوع سلول یا دو نوع ترکیب ژنتیکی به وجود می‌آید.

+ آیا همه یاخته‌های بدن، تقسیم می‌شوند؟ خیر، برخی از سلول‌ها قادر به انجام تقسیم سلولی نبوده و بنابراین برای تهیه کاربوتیپ! مناسب نیستند.

- در ادامه لیست کاملی از این سلول‌ها خواهد آمد.



(۱) در پروکاریوت‌ها: یک نوع تقسیم به نام تقسیم دوتایی یا دودیم شدن وجود دارد.
(۲) در یوکاریوت‌ها: در ضمن پرده سلولی، دو نوع تقسیم به نام‌های میتوز و میوز انجام می‌شود. قبل از وقوع هر دو نوع تقسیم اینترفاز انجام می‌شود.

+ پرده سلولی شامل سه مرحله اصلی است. (اینترفاز، تقسیم هسته (میتوز یا میوز) و تقسیم سیتوپلاسم (سیتوکینز)
(۳) هدف از تقسیم سلولی در یوکاریوت‌ها

+ میتوز ← رشد و ترمیم و گاهی تولیدمثل غیر جنسی
+ میوز ← تولیدمثل جنسی

x در گیاهان سلول‌های جنسی یعنی اسپرم و تخم‌زا با تقسیم میتوز به وجود می‌آیند نه میوز!

(۴) محل انجام تقسیم سلولی در یوکاریوت‌ها

+ میتوز ← تقریباً در همه سلول‌های پیکری

+ میوز ← فقط در سلول‌های پیکری موجود در اندام‌های جنسی مثلاً بیضه‌ها و تخمدان‌ها

(۵) نتیجه تقسیم سلولی در یوکاریوت‌ها

+ میتوز ← ایجاد دو سلول کاملاً مشابه یعنی یک نوع سلول یا یک نوع ترکیب ژنتیکی از هر سلول اولیه یا مادر

+ میوز ← ایجاد چهار سلول دو به دو مشابه یعنی دو نوع سلول یا دو نوع ترکیب ژنتیکی با نصف تعداد کروموزوم از هر سلول اولیه یا مادر

(۶) عدم انجام تقسیم سلولی در یوکاریوت‌ها

+ سلول‌های غیر زنده

x در جانوران: سلول‌های موجود در سطح پوست

x در گیاهان: سلول‌های آوند چوبی، تراکئید، فیبر و اسکله‌ایدها

+ سلول‌های زنده

x در جانوران: بدون هسته مانند گلبول قرمز

x در گیاهان: سلول‌های آوند آبکشی

+ تکه‌های سلولی مانند پلاکت‌ها (فاصله از مگاکاریوسیت‌ها)

+ سلول‌های زنده تک‌هسته‌ای مانند سلول‌های عصبی

x بر اساس کتاب نظام جدید این سلول‌ها به ندرت می‌توانند در بدن تقسیم شوند!

+ سلول‌های زنده تک‌هسته‌ای و دوهسته‌ای مانند سلول‌های ماهیچه قلب

+ سلول‌های زنده پندهسته‌ای مانند سلول‌های ماهیچه اسکلتی

x بر اساس کتاب نظام جدید این سلول‌ها به ندرت می‌توانند در محیط کشت تقسیم شوند!

+ سلول‌های تمایز یافته مانند پلاسموسیت، لنفوسیت‌های T کشته و T کمک کننده و ...

(۷) سلول‌های نامناسب برای تهیه کاریوتیپ! در یوکاریوت‌ها

+ سلول‌های غیر زنده، سلول‌های زنده بدون هسته، ماهیچه قلب، پلاسموسیت، لنفوسیت‌های T کشته و T کمک کننده و ...

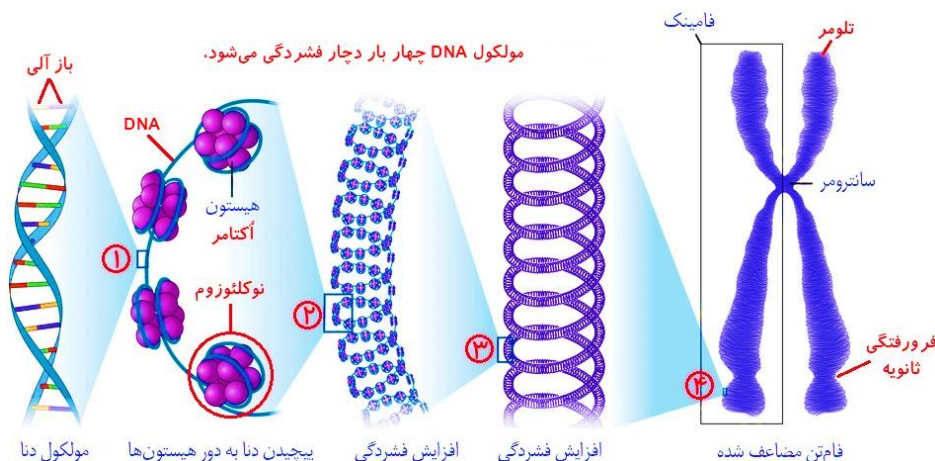
+ سلول‌های فاقد ماده وراثتی و نامناسب برای تهیه ژنوم! در یوکاریوت‌ها

فامتن (کروموزوم)

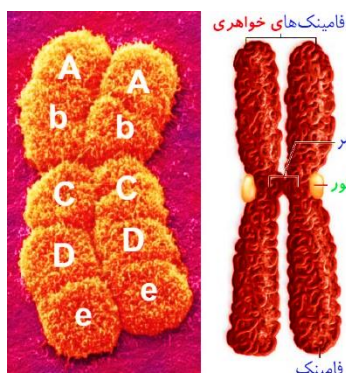
گفتار ۱

سافتار کروموزوم در سلول‌های یوکاریوتی

همان‌طور که می‌دانید در یوکاریوت‌ها فامتن از **دنا (DNA)** و **پروتئین‌های هیستونی** و **غیر هیستونی** تشکیل شده است. به شکل ۱ توجه کنید. زمانی که یاخته در حال تقسیم نیست، فشردگی فامتن‌های هسته، کمتر و به صورت توده‌ای از رشته‌های درهم است که به آن، **فامینه (کروماتین)** می‌گویند. **نکته پالشی:** بر اساس کتاب، حتی در حالت عادی که ماده وراثتی به صورت رشته‌های کروماتین است می‌توان آنها را کروموزوم حساب نمود. هر رشته فامینه دارای واحدهای تکراری به نام **هسته‌تن (نوکلئوزوم)** است. در هر هسته‌تن، مولکول دنا حدود ۲ دور در اطراف ۸ مولکول پروتئینی به



شکل ۱ - مراحل فشردگی فامتن



شکل ۲، تصویر یک فامتن را در حداکثر فشردگی یعنی در مرحله متافاز میتوز نشان می‌دهد. در این مرحله

کروموزوم‌ها قطعاً دو کروماتیدی هستند!

همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، این فامتن از دو بخش همانند به نام **فامینک (کروماتید)**

تشکیل شده است. به این فامتن‌ها، فامتن‌های **مضاعف شده** یا دو کروماتیدی می‌گویند.

فامینک‌های هر فامتن مضاعف از نظر نوع ژن‌ها یکسان‌اند و به آنها فامینک‌های **خواهری** گفته

می‌شود. فامینک‌های خواهری در محلی به نام **سانترومر** به هم متصل‌اند.

شکل ۲ - ساختار یک فامتن مضاعف شده

انواع سلول‌ها از نظر ماده وراثتی

(۱) سلول‌های یوکاریوتی: فقط در باکتری‌ها دیده می‌شوند، دارای DNA حلقوی و آزاد در سیتوپلاسم و متصل به غشای سلولی هستند.

+ این مولکول‌های DNA حلقوی را کروموزوم حلقوی نیز می‌گویند.

+ بر اساس کتاب در سافتار این کروموزوم‌ها هیچ نوع پروتئینی شرکت نمی‌کند!

+ کروموزوم اصلی یک مولکول DNA حلقوی است.

+ در این سلول‌ها ممکن است چندین نسخه از چند نوع کروموزوم فرعی یا پلازمید هم وجود داشته باشد.

(۲) سلول‌های یوکاریوتی: در بقیه گروه‌های جانداران یعنی آغازیان، قارچ‌ها، گیاهان و جانوران یافت می‌شود.

+ دارای DNA خطی بوده که همراه با انواعی از پروتئین‌ها که مهم‌ترین آنها هیستون‌ها هستند کروموزوم‌های خطی را به وجود آورده‌اند.

+ کروموزوم‌های اصلی شامل چند نوع کروموزوم خطی و مصور در پوشش هسته هستند.

+ به ندرت در برخی از این سلول‌ها مانند منمرها ممکن است پلازمید هم وجود داشته باشد.

نکاتی در مورد سافتار کروموزوم در یوکاریوت‌ها

(۱) ماهیت شیمیایی: در یوکاریوت‌ها، کروموزوم از DNA با قطر دو نانومتر و پروتئین‌های هیستونی و غیر هیستونی تشکیل شده است.

(۲) فشردگی ماده وراثتی: ملکول‌های DNA به صورت آزاد و قابل دسترس در هسته سلول‌های یوکاریوتی مشاهده نمی‌شوند.

+ بر اساس کتاب در اینترفاز فقط مرحله اول فشردگی و در ضمن تقسیم سلولی مراحل دوم، سوم و چهارم هم مشاهده می‌شوند!

+ به عبارت دیگر می‌توان گفت، در همه مراحل چرخه سلولی ملکول‌های DNA دارای حداقل یک مرحله از فشردگی هستند.

- + در اینترفاز که آنزیم‌های همانندسازی و رونویسی روی مولکول DNA اثر می‌گذارند هیستون‌ها در تماس با مولکول DNA هستند.
- + قبل از همانندسازی و رونویسی آنزیم‌های دیگری مولکول‌های هیستون را برمی‌دارند تا آنزیم‌های همانندسازی و رونویسی بتوانند کار خود را انجام دهند.
- + مارپیچ دو رشته‌ای در مولکول DNA جز مراحل فشردگی ماده وراثتی محسوب نمی‌شود. زیرا این مولکول همواره این گونه است.
- (۱۳) **مراحل فشردگی ماده وراثتی:** فشردگی ماده وراثتی یا DNA در **چهار مرحله** انجام می‌شود.
- + **مرحله اول فشردگی - کروماتین:** بر اساس متن کتاب، این رشته‌ها از **اجتماع نوکلئوزوم‌ها** تشکیل شده‌اند.
- x در حالت **عادی** یا **مرحله اینترفاز**، فشردگی کروموزوم‌های هسته کم و به صورت توده‌ای از رشته‌های درهم به نام **کروماتین** است.
- x رشته‌های کروماتین **اولین** مرحله از فشردگی مولکول‌های DNA هستند! در همانندسازی DNA این رشته‌ها **دو برابر** می‌شوند.
- x بر اساس کتاب حتی در حالت عادی که ماده وراثتی به صورت رشته‌های **کروماتین** است می‌توان آنها را **کروموزوم** نامید.
- x هر کدام از رشته‌های کروماتین دارای واحدهای **تکراری** و **پشت سر هم** به نام **نوکلئوزوم** با قطر تقریبی **۱۰ نانومتر** هستند.
- در هر نوکلئوزوم، مولکول DNA حدود **دو** دور در اطراف **هشت** مولکول پروتئینی به نام **هیستون** پیچ و تاب خورده است.
- + **مرحله دوم فشردگی - پپیچ:** بر اساس شکل کتاب، در این مرحله نوکلئوزوم‌ها با یکدیگر سافتاری **پپیچ‌مانند** یا **فرمانند** به وجود می‌آورند.
- x این ساختار **پپیچ‌مانند** یا **coil** نامیده شده که از لحاظ علمی همان رشته‌های **۳۰ نانومتری** هستند.
- + **مرحله سوم فشردگی - ابرپپیچ:** سافتارهای **فترمانند** یک بار دیگر به دور خود **پپیچیده** شده و ابرپپیچ یا **supercoil** را به قطر **۳۰۰ نانومتر** وجود می‌آورند.
- + **مرحله چهارم فشردگی - کروماتید:** اوج فشردگی ماده وراثتی است و به ویژه در مرحله **متافاز** به خوبی مشاهده می‌شود.
- x به دلیل **همانندسازی DNA** در اینترفاز، در این مرحله کروموزوم‌ها **دو کروماتیدی** یا **مضاعف** شده هستند.
- کروماتیدهای هر کروموزوم مضاعف از نظر **نوع ژن‌ها** یا «آلله‌ها» یکسان هستند و به آنها **کروماتیدهای خواهری** گفته می‌شود.
- ❁ لازم به ذکر است، در صورت وقوع **جهش** و **کراسینگ‌اور**، کروماتیدهای خواهری مشابه **نخواهند** بود!
- ❁ در کروموزوم مضاعف شده، کروماتیدهای خواهری در محلی به نام **سانترومر** به هم متصل شده‌اند.
- ❁ در محل سانترومر **پروتئین‌های اتصال** یا **کوهسین‌ها**، دو کروماتید را در کنار یکدیگر نگه می‌دارند.
- ❁ سانترومر در اصل بخشی از ماده وراثتی است که بیشترین فشردگی را پیدا کرده است.
- ❁ در ساختار کروموزوم دوکروماتیدی، سانترومر به صورت یک **فرورفتگی بزرگ** دیده می‌شود.
- ❁ برخی از کروموزوم‌ها مانند آنچه در تصویر کتاب دیدیم، ممکن است **فرورفتگی‌های دیگری** هم داشته باشند.

نکاتی در مورد کروموزوم یوکاریوتی

(۱) **معیار** تشخیص و شمارش برای تعداد کروموزوم‌ها همواره «**سانترومر**» است.

(۲) هر کروموزوم می‌تواند غیر مضاعف شده (**تک‌کروماتیدی**) یا مضاعف شده (**دوکروماتیدی**) باشد.

(۳) کروموزوم‌ها در حالت عادی **تک‌کروماتیدی**‌اند. سلول‌های در حال تقسیم دارای کروموزوم‌های **دوکروماتیدی** هستند.

(۴) دو کروماتید موجود در یک کروموزوم دو کروماتیدی **دقیقاً** یکسان هستند مگر در صورت وقوع **جهش** و یا **کراسینگ‌اور**!

(۵) دو کروماتید موجود در یک کروموزوم را **کروماتیدهای خواهری** می‌گویند. کروماتیدها دو مولکول DNA یکسان دارند.

(۶) **نوکلئوزوم‌ها** از **هشت** مولکول هیستون و مولکول DNA که حدود **دو** دور در اطراف آنها پیچ خورده، تشکیل شده‌اند.

(۷) **توالی نوکلئوزوم‌ها**، رشته‌های **کروماتین** را به وجود می‌آورد. در مرحله **اینترفاز**، ماده وراثتی به صورت **کروماتین** است.

(۸) در مراحل **میتوز** و **میوز** ماده وراثتی به صورت **کروموزوم** دیده می‌شود. اوج فشردگی ماده وراثتی در **متافاز** است.

+ برای تهیه **کاریوتیپ** کروموزوم‌ها در مرحله **متافاز** مناسب هستند.

(۹) هر کروماتید معادل یک رشته کروماتین، یک مولکول DNA **نظی** و دو رشته پلی‌نوکلئوتیدی تیمین‌دار **نظی** است.

یک کروماتید = یک رشته کروماتین = یک مولکول DNA خطی = دو رشته پلی‌نوکلئوتیدی تیمین‌دار خطی!

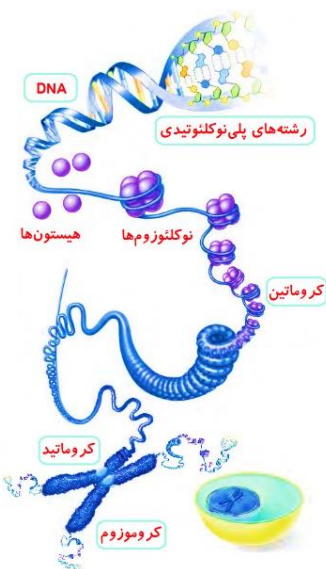
(۱۰) در یک سلول یوکاریوتی همواره تعداد کروماتیدها، رشته‌های کروماتین و مولکول‌های DNA **نظی برابر** است.

(۱۱) تعداد رشته‌های پلی‌نوکلئوتیدی تیمین‌دار **نظی دو برابر** تعداد کروماتیدها، رشته‌های کروماتین و مولکول‌های DNA **نظی** است.

(۱۲) رشته‌های پلی‌نوکلئوتیدی در مولکول DNA **مکمل** همدیگر بوده و با هم یک **نردبان مارپیچ** می‌سازند.

(۱۳) **ژن‌ها** قسمت‌هایی **میزر** و **متوالی** از مولکول DNA هستند که از روی **یکی** از رشته‌های آنها مولکول **RNA** ساخته می‌شود.

(۱۴) هر مولکول DNA دارای **صدها تا هزاران ژن** است، که هر کدام **بایگاه ویژه‌ای** از این مولکول را به خود **اختصاص** می‌دهند.



تعداد فامتن در سلول‌های یوکاریوتی

هر گونه از جانداران یوکاریوت، **تعداد معینی** فامتن **نظی** در یاخته‌های **پیکری** یا **سوماتیک** خود دارند که به آن **عدد فامتنی** می‌گویند. یاخته‌های پیکری، همان یاخته‌های **غیرجنسی** جاندارند. ممکن است تعداد فامتن یاخته‌های پیکری بعضی از جانداران **مانند هم** باشد؛ مثلاً در یاخته‌های پیکری **انسان** و درخت **زیتون** ۴۶ فامتن وجود دارد، ولی به طور مسلم ژن‌های آنها **بسیار متفاوت** اند. تعداد فامتن‌های جانداران مختلف (به جز باکتری‌ها) از ۲ تا بیش از ۱۰۰۰ عدد متغیر است.

یاخته‌های پیکری انسان، دولا (دیپلوئید) هستند

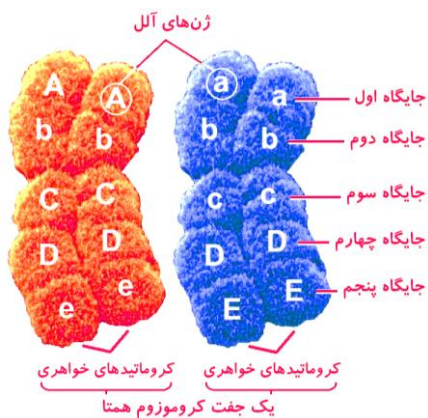
برای تعیین **تعداد** فامتن‌ها و **تشخیص بعضی** از ناهنجاری‌های فامتنی، **کاریوتیپ** تهیه می‌شود. کاریوتیپ **تصویری** از فامتن‌های دو کروماتیدی در مرحله **متافاز** میتوز! با حداکثر فشردگی است که براساس **اندازه، شکل و محل قرارگیری سانترومرها**، مرتب و شماره‌گذاری شده‌اند (شکل ۳).

نکته پالشی: کاریوتیپ فقط شامل کروموزوم‌های موجود در هسته است و کروموزوم‌های موجود در میتوکندری و کلروپلاست را شامل نمی‌شود.

شکل ۳- کاریوتیپ انسان

- ۱) کاریوتیپ مرد با ۲۲ نوع کروموزوم؛ ۲۲ نوع اتوزوم + یک نوع X و یک نوع Y
- ۲) بنابراین می‌توان گفت در زنان کاریوتیپ ۲۲ نوع کروموزوم دارد!
- ۳) در هسته سلول‌های پیکری مرد و زن به ترتیب ۲۲ و ۲۳ نوع کروموزوم وجود دارد.
- ۴) در هسته تنک‌های زن و اسپرم‌های مرد فقط ۲۲ نوع کروموزوم وجود دارد!

با بررسی کاریوتیپ **انسان**، مشاهده می‌شود که **هر فامتن** دارای یک فامتن **شبهه** خود است که به این فامتن‌ها، **همتا** گفته می‌شود.



دو کروموزوم همتا از نظر **نوع ژن‌ها** **مشابه** هستند ولی یکسان نیستند. به عبارت دیگر در هر جایگاه ژنی خود دارای **یک نوع ژن** هستند. این ژن‌ها که «آلل» نامیده می‌شوند می‌توانند **یکسان** یا **متفاوت** باشند (اما همواره در بروز یک صفت ژنتیکی نقش دارند).

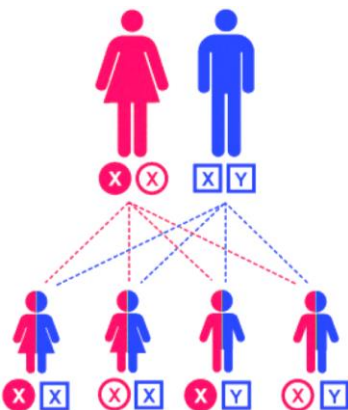
به جاندارانی که یاخته‌های **پیکری** آنها از هر فامتن **دو نسخه** داشته باشند، **دولاد (دیپلوئید)** می‌گویند. در این یاخته‌ها، **دو مجموعه فامتن** وجود دارد که **دو به دو** به یکدیگر شبیه‌اند: **یک مجموعه فامتن از والد ماده یا مادری (قرمز = پرسپولیسی)** دریافت شده است، **یک مجموعه هم از والد نر یا پدری (آبی = استقلالی)** دریافت شده است. این یاخته‌ها را با نماد کلی «**۲n**» نشان می‌دهند.

در **انسان** و بعضی **جانداران**، فامتن‌هایی وجود دارند که در **تعیین جنسیت** نقش دارند. به این فامتن‌ها، فامتن **جنسی** گفته می‌شود. فامتن‌های جنسی **ممکن است** شبیه هم نباشند. نمونه این فامتن‌ها را در کاریوتیپ شکل ۳ مشاهده می‌کنید. فامتن‌های جنسی در انسان را با نماد **X** و **Y** نشان می‌دهند. هسته یاخته‌های پیکری زنان **دو فامتن X** و مردان **یک فامتن X** و **یک فامتن Y** دارند.

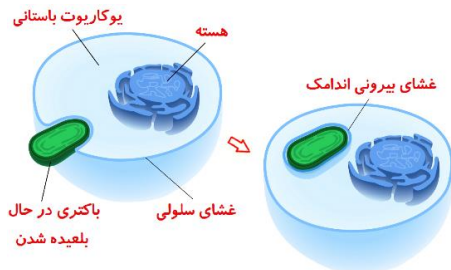
بعضی یاخته‌ها مانند جنسی انسان یا **کامت** یعنی **اسپرم و تنک**، **تک‌لاد (هاپلوئید)** هستند؛ یعنی **یک مجموعه** فامتن دارند. یاخته‌های تک‌لاد را با نماد کلی «**n**» نشان می‌دهند. «**n**» تعداد فامتن‌های یک مجموعه است؛ مثلاً در انسان $n = ۲۳$ است. در یک مجموعه فامتنی، **هیچ فامتنی** با فامتن دیگر همتا نیست.

بنابراین هر سلول جنسی یا کامت، از دو کروموزوم جنسی فقط یکی از آنها را دارد. به عبارت دیگر در حالتی که اسپرم‌ها یا فقط کروموزوم X دارند یا فقط کروموزوم Y، تنک‌ها فقط کروموزوم X دارند. بنابراین **تعیین جنسیت** در انسان بر عهده مرد است نه زن! شکل رویه‌رو این موضوع را نشان می‌دهد.

بنابراین مرد فقط ندارد به زن نمود بگوید: «این دفعه اگه پسر به دنیا نیاری، طلاق میدم!» ☹️☹️



- (۱) هر جاندار یوکاریوت، در هر یک سلول‌های پیکری یا سوماتیک خود تعداد معینی کروموزوم قطعی دارد که به آن عدد کروموزومی می‌گویند.
- (۲) سلول‌های پیکری یا سوماتیک، همان سلول‌های غیر جنسی تشکیل دهنده پیکر جاندار هستند.
- (۳) ممکن است تعداد کروموزوم‌های سلول‌های پیکری بعضی از گونه‌های متغلف مانند هم باشد.
- + مثلاً در سلول‌های پیکری انسان و درخت زیتون ۴۶ کروموزوم وجود دارد.
- x با وجود تعداد مساوی کروموزوم در این دو گونه به طور حتم تعداد و نوع ژن‌های آنها متفاوت هستند.
- (۴) تعداد کروموزوم‌های جانداران متغلف به جز باکتری‌ها از دو تا بیش از ۱۰۰۰ عدد متغیر است.
- + همان طور که می‌دانیم در هر سلول باکتری فقط یک کروموزوم حلقوی به عنوان کروموزوم اصلی وجود دارد.
- x در باکتری‌ها انواع دیگری از DNA حلقوی کوچک به نام کروموزوم‌های فرعی یا پلازمید هم وجود دارد.
- + تعداد نسخه‌های کروموزوم اصلی در هر سلول باکتری همواره یک عدد است.
- x بدیهی است تعداد کروموزوم‌های اصلی قبل از تقسیم دوتایی به واسطه همانندسازی DNA دو برابر می‌شود!
- x نکته جالب این‌که تعداد نسخه‌های هر کدام از انواع پلازمیدها در هر زمان می‌تواند متعدد و متغیر باشد!
- + در اندامک‌هایی مانند میتوکندری و کلروپلاست، همانند باکتری‌ها چندین نسخه از یک نوع DNA حلقوی وجود دارد.
- x به نظر می‌رسد این اندامک‌ها به ترتیب از باکتری‌های هوازی و قه‌سنتز کننده به وجود آمده باشند (نظریه درون همزیستی)!
- موارد زیر برخی از دلایل تأیید کننده این نظریه هستند:



- وجود DNA حلقوی در بستره این دو اندامک
- وقوع تقسیم دوتایی مشابه باکتری‌ها در این دو اندامک
- وجود ریبوزوم‌های ساده و کوچک در بستره این دو اندامک
- دارا بودن غشاء بیرونی با منشأ یوکاریوتی و غشاء درونی با منشأ پروکاریوتی

نکاتی در مورد کاریوتیپ

- (۱) تعریف کاریوتیپ: تصویری از کروموزوم‌های دو کروماتیدی در مرحله متافاز میتوز با حداکثر فشردگی است که بر اساس اندازه، شکل و محل قرارگیری سانترومرها، مرتب و شماره‌گذاری شده‌اند.
- (۲) هدف کاریوتیپ: به منظور مشاهده و مطالعه شکل، اندازه و تعداد کروموزوم‌ها و تشخیص بعضی از ناهنجاری‌های کروموزومی از کاریوتیپ استفاده می‌شود.
- (۳) روشن تهیه کاریوتیپ: برای تهیه کاریوتیپ در انسان، مراحل زیر را انجام می‌دهیم.
- + مقداری از خون شش را گرفته، پس از جدا نمودن گلبول‌های سفید، آنها را در محیط کشت وادار به تقسیم سلولی می‌کنند.
- + در مرحله متافاز با استفاده از مواد شیمیایی خاص مانند کلشیسین که از کال حسرت گرفته می‌شود، تقسیم سلولی را متوقف می‌کنند.
- + سپس غشای سلول‌ها را پاره نموده و کروموزوم‌های متافازی و دو کروماتیدی با حداکثر فشردگی را روی یک لام می‌گسترانند.
- + در نهایت با استفاده از دوربین عکاسی و میکروسکوپ نوری از آنها عکس‌برداری می‌کنند.
- + با استفاده از نرم‌افزارهای خاص، طول کروموزوم‌ها و محل قرارگیری سانترومر را اندازه‌گیری نموده و آنها را مرتب می‌کنند.
- x نکته مهم: کروموزوم‌ها همواره دوکروماتیدی نیستند! اما در کاریوتیپ به دلیل متافازی بودن دوکروماتیدی نمایش داده می‌شوند.
- (۴) سلول‌های مناسب برای تهیه کاریوتیپ: از هر سلولی که بتواند وارد مرحله میتوز از چرخه سلولی شود می‌توان کاریوتیپ تهیه نمود.
- + از سلول‌های زیر هم نمی‌توان کاریوتیپ تهیه کرد:
- x سلول‌های غیر زنده مانند سلول‌های بخش بیرونی پوست، آوندهای چوبی، اغلب فیبرها و اسکلتی‌ها در گیاهان
- x سلول‌های زنده بدون هسته مانند گلبول‌های قرمز بالغ موجود در خون و آوندهای آبکشی گیاهان
- x بخش‌های سلولی یا قطعات سلولی مانند پلاکت‌های موجود در خون
- x سلول‌های هسته‌دار که به طور دائم وارد G_۱ شده‌اند مانند پلاسموسیت‌ها، سلول‌های T کمک کننده و T کشنده
- x سلول‌های تک‌هسته‌ای و دو هسته‌ای که به طور دائم وارد G_۱ شده‌اند مانند ماهیچه قلبی
- x سلول‌های چند هسته‌ای ماهیچه‌ای که به طور دائم وارد G_۱ شده‌اند مانند ماهیچه اسکلتی
- x سلول‌های جنسی یا گامت‌ها اغلب جانوران و گیاهان
- (۵) بررسی کاریوتیپ انسان: از بررسی و تجزیه و تحلیل کاریوتیپ انسان، نکات زیر به دست می‌آیند.
- + کاریوتیپ سلول‌های پیکری: کاریوتیپ را از سلول‌های پیکری و تک‌هسته‌ای که قدرت تقسیم داشته باشند، به دست می‌آورند.

x هر کروموزوم دارای یک کروموزوم شبیه خود است که به این کروموزوم‌ها، همتا گفته می‌شود.

x دو کروموزوم همتا از نظر نوع ژن‌ها مشابه هستند ولی یکسان نیستند!

- به عبارت دیگر در هر جایگاه ژنی خود دارای یک نوع ژن هستند.

x این ژن‌ها که «آلل» نامیده می‌شوند، می‌توانند یکسان یا متفاوت باشند اما همواره در بروز یک صفت ژنتیکی نقش دارند.

x به جاندارانی مانند انسان که سلول‌های پیکری آنها از هر کروموزوم دو نسخه داشته باشند، دیپلوئید می‌گویند.

- در این سلول‌ها، دو مجموعه کروموزوم وجود دارد که دو به دو به یکدیگر شبیه هستند.

* یک مجموعه از والد ماده یا مادر (قرمز = پرسپولیسی) دریافت شده است.

* یک مجموعه از والد نر یا پدر (آبی = استقلال) دریافت شده است.

x همان‌طور که گفته شد، سلول‌های که دارای دو مجموعه کروموزوم هستند را دیپلوئید نامیده و با نماد کلی « $2n$ » نمایش می‌دهند.

x از بخت شماره یک تا $2n$ را در انسان که در هر دو جنس زن و مرد مشابه هستند، «کروموزوم‌های اتوزوم یا غیر جنسی» می‌گویند.

x در انسان و بعضی جانداران، کروموزوم‌هایی وجود دارند که به طور مستقیم در تعیین جنسیت نقش دارند.

- به این کروموزوم‌ها، که در هر دو جنس زن و مرد متفاوت هستند، «کروموزوم جنسی» گفته می‌شود.

* کروموزوم‌های جنسی ممکن است شبیه هم نباشند. به عنوان مثال در انسان آنها را با نماد X و Y نشان می‌دهند.

* هسته سلول‌های پیکری زنان دو کروموزوم X و هسته سلول‌های پیکری مردان یک کروموزوم X و یک کروموزوم Y دارند.

x در هسته سلول‌های پیکری زن تعداد $2n$ نوع کروموزوم قابل مشاهده است.

x در هسته سلول‌های پیکری مرد تعداد $2n$ نوع کروموزوم قابل مشاهده است.

x در بستره اندامک میتوکندری هر یک از سلول‌های پیکری یا جنسی همواره فقط یک نوع کروموزوم تلقوی وجود دارد!

- این کروموزوم هیچ‌گاه جز کاریوتیپ محسوب نمی‌شود، هر چند آن را جزء متوای ژنتیکی یا ژنوم به حساب می‌آورند!

+ کاریوتیپ سلول‌های جنسی: از سلول‌های جنسی یا گامت‌ها شامل اسپرم‌ها و تخمک‌ها نمی‌توان از آنها کاریوتیپ واقعی تهیه نمود!

x بعضی سلول‌ها مانند سلول‌های جنسی یا گامت‌ها یعنی اسپرم و تخمک، دارای یک مجموعه کروموزوم بوده و هاپلوئید هستند.

x سلول‌های هاپلوئید را با نماد « n » نشان می‌دهند. « n » تعداد کروموزوم‌های یک مجموعه کروموزومی است. (در انسان $n = 23$)

x در گامت‌ها یا سلول‌های جنسی به واسطه وجود یک مجموعه کروموزومی، هیچ کروموزومی با کروموزوم دیگر همتا نیست.

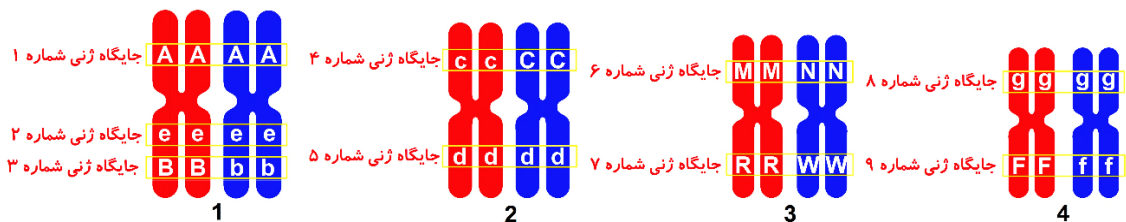
x بنابراین هر سلول جنسی یا گامت، یا به عبارت دیگر هر اسپرم یا هر تخمک از دو کروموزوم جنسی فقط یکی از آنها را دارد.

x می‌توان گفت اسپرم‌ها یا فقط کروموزوم X دارند یا فقط کروموزوم Y، در حالی که تخمک‌ها فقط کروموزوم X دارند.

x نکته مهم این‌که می‌توان گفت تعیین جنسیت در انسان بر عهده مرد است نه زن!

x در هسته سلول‌های جنسی زن یا تخمک‌ها همانند هسته سلول‌های جنسی مرد یا اسپرم‌ها، تعداد $2n$ نوع کروموزوم وجود دارد.

(۶) مثال دیگری از کاریوتیپ: شکل زیر کاریوتیپ فردی با $2n = 8$ را نشان می‌دهد.



+ بدیهی است کاریوتیپ را در مرحله اوج فشردگی ماده وراثتی یعنی متافاز میتوز که کروموزوم‌ها دوکروماتیدی هستند، تهیه می‌کنند.

+ کروماتیدهای خواهری ۱۰۰٪ یکسان هستند چون دو مولکول DNA حاصل از همانندسازی یک مولکول DNA مادر می‌باشند.

+ کروماتیدهای غیرخواهری که در کروموزوم‌های همتا وجود داشته و حاوی ژن‌های آلل هستند، کمی با هم متفاوت هستند.

+ تفاوت هر کدام از آلل‌های آنها می‌تواند در حد یک جفت نوکلئوتید باشد! مانند کم‌ثونی ناشی از گلبول‌های قرمز داسی شکل

+ در این کاریوتیپ دو مجموعه چهارتایی کروموزوم (یک مجموعه قرمز و مادری و یک مجموعه آبی و پدری) مشاهده می‌شود.

+ همچنین در این کاریوتیپ دو دسته چهارتایی کروموزوم غیر همتا مشاهده می‌شود. (مشابه بالا!)

+ همچنین در این کاریوتیپ چهار دسته دوتایی کروموزوم همتا مشاهده می‌شود.

+ اگر سلول‌های این سلول بتوانند میوز انجام دهند در پروفاز میوز ۱ می‌توانند چهار تتراد تشکیل دهند.

+ تعداد نه جایگاه ژنی یا نه لوکوس روی چهار جفت کروموزوم نمایش داده شده است:

x روی جفت کروموزوم شماره یک، تعداد سه جایگاه ژنی و روی بقیه کروموزوم‌ها هر کدام دو جایگاه ژنی وجود دارد.

x روی جفت کروموزوم شماره یک در جایگاه ژنی بالا و وسط آلل‌های خالص به ترتیب هر دو غالب و هر دو مغلوب و در جایگاه پائین آلل‌های نفاصلی به صورت آلل مادری غالب و پدری مغلوب وجود دارد.

- می‌توان گفت آلل‌ها (ژن‌ها)ی A, e و B به هم متصل یا Linked هستند چون همگی روی کروموزوم مادری قرار دارند. هم‌پنین آلل‌ها (ژن‌ها)ی A, e و b هم به هم متصل هستند چون همگی روی کروموزوم پدری قرار دارند.

- در حالت عادی یعنی مرحله G, پرته سلولی در جایگاه بالا و وسط هر کدام دو ژن و دو آلل و از یک نوع آلل و در جایگاه پائین نیز دو ژن و دو آلل و از دو نوع آلل مشاهده می‌شود.

x روی جفت کروموزوم شماره دو در جایگاه ژنی بالا آلل‌های نفاصلی به صورت آلل مادری مغلوب و پدری غالب و در جایگاه پائین نیز هر دو خالص و مغلوب وجود دارند.

- می‌توان گفت آلل‌ها (ژن‌ها)ی c و d به هم متصل هستند چون هر دو روی کروموزوم مادری قرار دارند. هم‌پنین آلل‌ها (ژن‌ها)ی C و d هم به هم متصل هستند چون روی کروموزوم پدری قرار دارند.

- در حالت عادی یعنی مرحله G, پرته سلولی در جایگاه بالا, دو ژن و دو آلل و از دو نوع آلل در جایگاه پائین, دو ژن و دو آلل و از یک نوع آلل مشاهده می‌شوند.

x روی جفت کروموزوم شماره سه در هر دو جایگاه ژنی یا لوکوس بالا و پائین آلل‌های نفاصلی و هم‌توان (یا شاید غالب ناقص!) وجود دارند. بدیهی است تمایز این دو الگو از روی فنوتیپ ایجاد شده انجام می‌گیرد.

- می‌توان گفت آلل‌ها (ژن‌ها)ی M و R به هم متصل هستند چون روی کروموزوم مادری قرار دارند. هم‌پنین آلل‌ها (ژن‌ها)ی N و W هم به هم متصل هستند چون روی کروموزوم پدری قرار دارند.

- در حالت عادی یعنی مرحله G, پرته سلولی در جایگاه بالا و پائین هر کدام دو ژن و دو آلل از دو نوع مشاهده می‌شوند.

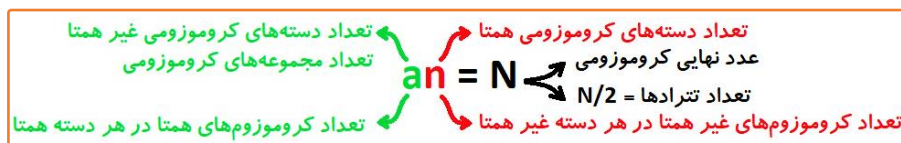
x روی جفت کروموزوم شماره چهار در جایگاه ژنی یا لوکوس بالا آلل‌های خالص مغلوب و در جایگاه پائین آلل‌های نفاصلی به صورت آلل مادری غالب و پدری مغلوب وجود دارد.

- می‌توان گفت آلل‌ها (ژن‌ها)ی g و F به هم متصل هستند چون روی کروموزوم مادری قرار دارند. هم‌پنین آلل‌ها (ژن‌ها)ی f و G هم به هم متصل هستند چون روی کروموزوم پدری قرار دارند.

- در حالت عادی یعنی مرحله G, پرته سلولی در جایگاه بالا, دو ژن و دو آلل و از یک نوع آلل در جایگاه پائین, دو ژن و دو آلل و از دو نوع آلل مشاهده می‌شوند.

+ اگر فرض کنیم این آلل (ژن‌ها) فقط مربوط به صفات تک‌بایگاهی باشند آنگاه برای این فرد نه صفت قابل مطالعه و بررسی است.
+ اگر فرض کنیم که آلل‌های B و b به اتفاق آلل‌های C و c و هم‌پنین آلل‌های F و f مربوط به یک صفت سه‌بایگاهی باشد آنگاه برای این ژنوتیپ فقط هفت صفت قابل مطالعه و بررسی خواهد بود!

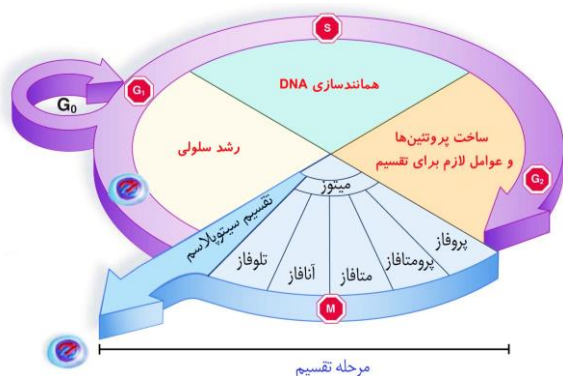
(Y) مفهوم عدد کروموزومی: به طور کلی اگر عدد کروموزومی را به صورت رابطه $an = N$ در نظر بگیریم آنگاه:



+ مثلاً در انسان ($2n = 46$) خواهیم داشت:

انسان	تعداد مجموعه‌ها	تعداد دسته‌های غیر همتا	تعداد دسته‌های همتا	تعداد تترادها
سلول پیکری مرد $2n = 46$ $46 = XY$	۲۳ مجموعه ۲۳ تایی	۲۳ دسته ۲۳ تایی	۲۳ دسته ۲ تایی	۲۳ عدد
سلول پیکری زن $2n = 46$ $46 = XX$	۲۳ مجموعه ۲۳ تایی	۲۳ دسته ۲۳ تایی	۲۳ دسته ۲ تایی	۲۳ عدد
سلول جنسی مرد (اسپرم) $n = 23$ $23 = X$ یا $23 = Y$	۱ مجموعه ۲۳ تایی	۱ دسته ۲۳ تایی	-	-
سلول جنسی زن (تخمک) $n = 23$ $23 = X$	۱ مجموعه ۲۳ تایی	۱ دسته ۲۳ تایی	-	-

چرخه یاخته‌ای



مراحلی که یک یاخته از **پایان** یک تقسیم تا **پایان** تقسیم بعدی می‌گذراند را **چرخه یاخته‌ای** می‌گویند. این چرخه، شامل مراحل **اینترفاز** و **تقسیم** است. در یاخته‌های مختلف، مدت این مراحل متفاوت است (شکل ۴).

مرحله اینترفاز شامل سه مرحله فرعی و مرحله تقسیم شامل دو مرحله فرعی به نام‌های **تقسیم هسته** (در اینجا **میتوز**) و **تقسیم سیتوپلاسم** یا **سیتوکینز** است.

شکل ۴- مراحل مختلف چرخه یاخته

اینترفاز: یاخته‌ها بیشتر مدت زندگی خود را در این مرحله می‌گذرانند. کارهایی مانند **رشد**، **ساخت مواد مورد نیاز** و **انجام کارهای معمول** یاخته در این مرحله انجام می‌شود. اینترفاز شامل مراحل **G₁**، **S** و **G₂** است.

مرحله وقفه اول یا G₁: مرحله رشد یاخته‌هاست و یاخته‌ها مدت زمان زیادی در این مرحله می‌مانند. یاخته‌هایی که به طور **موقت** یا **دائم** تقسیم نمی‌شوند، معمولاً در این مرحله **متوقف** می‌شوند. این یاخته‌ها به طور **موقت** یا **دائم** به مرحله‌ای به نام **G₀** وارد می‌شوند. یاخته **عصبی** نمونه‌ای از این یاخته‌هاست.

مرحله S: دو برابر شدن دنا (DNA) هسته، در این مرحله انجام می‌شود که نتیجه **هماندسازی DNA** است. هماندسازی دنا فرایندی است که طی آن از یک مولکول دنا، دو مولکول **یکسان** ایجاد می‌شود.

مرحله وقفه دوم یا G₂: این مرحله نسبت به مراحل قبلی اینترفاز، **کوتاه‌تر** است و در آن، یاخته‌ها **آماده** مرحله تقسیم می‌شوند. در این مرحله، **ساخت پروتئین‌ها و عوامل مورد نیاز برای تقسیم یاخته** افزایش پیدا می‌کند و یاخته‌ها **آماده تقسیم** می‌شوند.

تقسیم یاخته: در این مرحله، دو فرایند **تقسیم هسته** (رشتمان = میتوز یا کاستمان = میوز) و **تقسیم سیتوپلاسم** (سیتوکینز) انجام می‌شود. در سال‌های گذشته تا حدودی با این فرایندها آشنا شدید. با تقسیم سیتوپلاسم، در نهایت **یاخته‌های جدید** ایجاد می‌شود.

نکاتی در مورد چرخه سلولی

(۱) تعریف **چرخه سلولی:** مراحلی که یک سلول از **پایان** یک تقسیم تا **پایان** تقسیم بعدی می‌گذراند را چرخه سلولی می‌گویند.

(۲) **مراحل چرخه سلولی:** این چرخه، شامل مراحل **اینترفاز** و **تقسیم** است. در سلول‌های مختلف، مدت این مراحل متفاوت است.

+ مرحله اینترفاز شامل سه مرحله فرعی به نام‌های **G₁**، **S** و **G₂** است.

x مرحله وقفه اول یا **G₁:** مرحله رشد سلول است. این مرحله طولانی‌ترین مرحله چرخه سلولی است.

- سلول‌هایی که به طور **موقت** یا **دائم** تقسیم نمی‌شوند، معمولاً در این مرحله **متوقف** می‌شوند.

* این سلول‌ها به طور **موقت** یا **دائم** به مرحله‌ای به نام **G₀** وارد می‌شوند.

* می‌توان گفت همه سلول‌های بدن انسان **قادر** به ورود به مرحله **G₀** هستند.

* **گلبول قرمز**، **پلاسموسیت**، سلول‌های **T** کمک کننده و **T** کشنده، **ماهیچه قلبی**، **اسکلتی** و ... به طور **دائم** وارد مرحله **G₀** شده‌اند.

* سلول‌های **ماهیچه اسکلتی** در **محیط کشت** نه در بدن!، به **دیرت** می‌توانند از فاز **G₀** خارج شده و تقسیم شوند.

* **بقیه** سلول‌های بدن و از جمله سلول‌های **عصبی**! به طور **موقت** وارد مرحله **G₀** شده‌اند.

- نکته مهم این‌که سلول‌هایی که از فاز **G₀** خارج می‌شوند، **تتما** می‌بایست **ابتدا** وارد فاز **G₁** شوند!

- مرحله **G₀** حتی ممکن است از مرحله **G₁** چرخه سلولی هم **طولانی‌تر** باشد.

x مرحله هماندسازی یا **S:** در این مرحله هماندسازی DNA انجام می‌شود تا تعداد DNAهای هسته دو برابر می‌شود.

- هماندسازی DNA فرایندی است که طی آن از یک مولکول DNA مادر دو مولکول DNA دختر **یکسان** ایجاد می‌شود.

- هر مولکول DNA دارای دو رشته پلی‌نوکلئوتیدی است که در ضمن هماندسازی **چهار** رشته پلی‌نوکلئوتیدی به وجود می‌آید.

- فرایند هماندسازی به کمک آنزیم‌هایی از قبیل **هلیکاز** و **DNA پلی‌مراز** در هسته سلول‌ها انجام می‌شود.

- ساخته شدن آنزیم‌های دخیل در هماندسازی یعنی آنزیم **هلیکاز** و **DNA پلی‌مراز** در مرحله **G₁** انجام می‌شود.

✱ به عبارت دیگر ژن‌های مسئول تولید آنزیم‌های دخیل در همانندسازی در مرحله G_1 روشن می‌شوند.

- در میتوکندری‌ها و پلاست‌های موجود در سلول‌های یوکاریوتی DNA طاقوی وجود دارند که مستقل از چرخه سلولی همانندسازی می‌کنند.

✱ مرحله وقفه دوم یا G_2 : این مرحله نسبت به مراحل قبلی اینترفاز، کوتاه‌تر است و در آن، سلول‌ها آماده مرحله تقسیم می‌شوند.

- در این مرحله، سافت پروتئین‌ها و عوامل مورد نیاز برای تقسیم سلولی افزایش پیدا می‌کند و سلول‌ها آماده تقسیم می‌شوند.

- بیان ژن‌های مسئول تولید پروتئین‌های دخیل در سافت سانتریول و رشته‌های دوک در مرحله G_2 صورت می‌گیرد.

+ مرحله تقسیم سلولی: این مرحله دارای دو مرحله به نام‌های تقسیم هسته (میتوز یا میوز) و تقسیم سیتوپلاسم (سیتوکینز) است.

✱ نکته بسیار مهم این‌که با تقسیم سیتوپلاسم، در نهایت سلول‌های جدید ایجاد می‌شود.

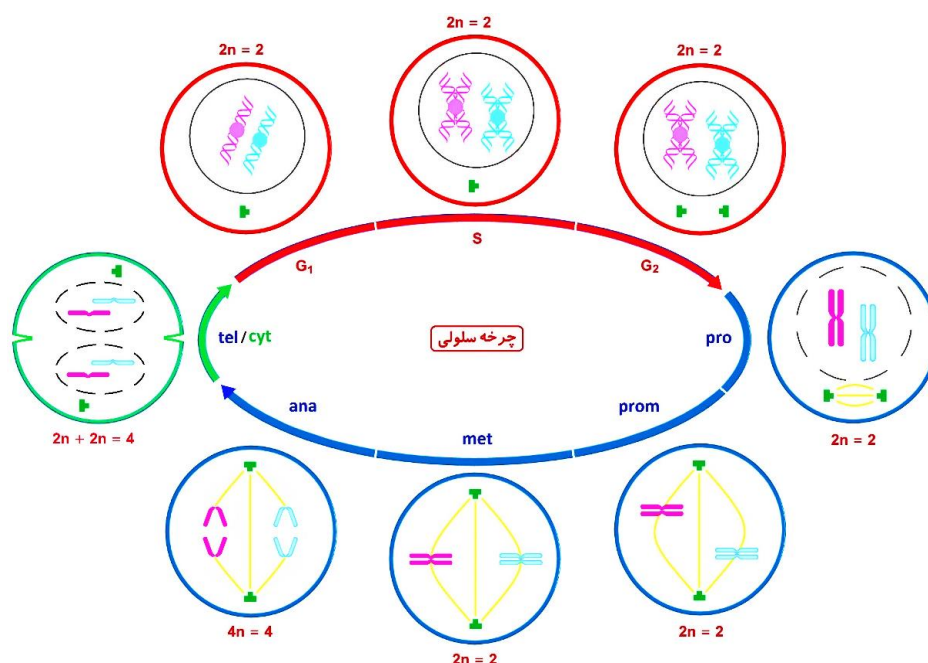
- بنابراین با وجود تعدد هسته‌ها بر اثر میتوز تا زمانی که تقسیم سیتوپلاسم انجام نشده باشد سلول جدید به وجود نمی‌آید.

✱ سافتار دو هسته‌ای موجود در کیسه‌روپانی نهاندانگان با وجود دارا بودن دو هسته فقط یک سلول محسوب می‌شود.

✱ کیسه‌روپانی در گیاهان نهان‌دانه در مراحل ابتدایی رشد خود با وجود داشتن تعداد زیادی هسته هم‌پتان یک سلول به حساب می‌آید.

✱ بخشی از آندوسپرم دانه نارگیل که حالت مانع دارد به دلیل عدم انجام تقسیم سیتوپلاسم، فقط یک سلول در نظر گرفته می‌شود!

۱۱) خلاصه‌ای از مراحل چرخه سلولی را در شکل زیر می‌بینید:



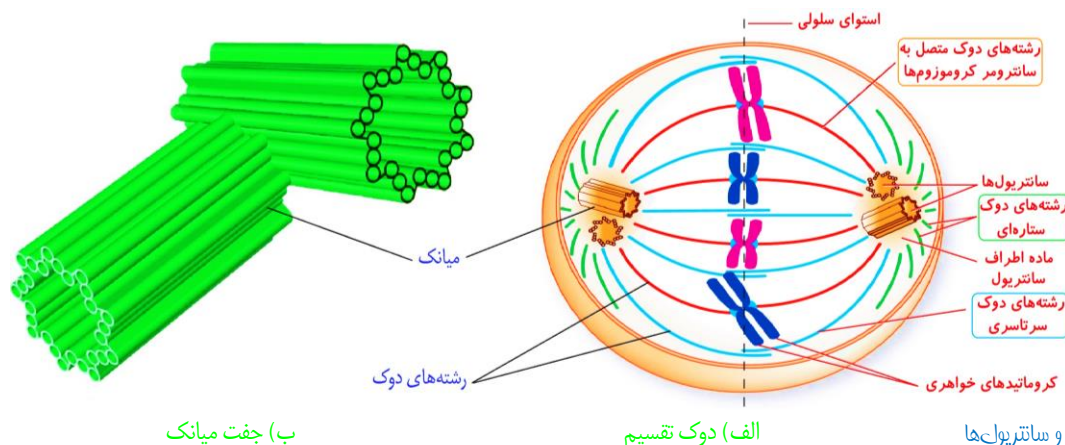
در **رشته‌مان** یا **فرایند میتوز**، ماده ژنتیک یعنی **DNA اصلی** که در **مرحله S** همانندسازی شده بود، **تقسیم** می‌شود و به **هسته** یاخته‌های **جدید** می‌رسد. فام‌تن‌ها که در **هسته پراکنده** اند، ابتدا باید به **طور دقیق** در **وسط یاخته** یا **سطح استوایی آن آرایش** یابند و به **مقدار مساوی** بین یاخته‌های حاصل تقسیم شوند. برای **حرکت و جدا شدن** صحیح فام‌تن‌ها، ساختارهایی به نام **دوک تقسیم** ایجاد می‌شود (شکل ۵- الف). **دوک تقسیم**، **مجموعه‌ای از ریزلوله‌های پروتئینی** است که هنگام تقسیم، **پدیدار و سانترومر فام‌تن به آن متصل می‌شود**. با **کوتاه شدن رشته‌های دوک** متصل به سانترومر، فام‌تن‌ها از هم **جدا** می‌شوند و به **قطبین** می‌روند. هر **دوک تقسیم** از **پندین** رشته **دوک** ساخته شده است.

در یاخته‌های **جانوری**، **میانک‌ها (سانتریول‌ها)** ساخته شدن رشته‌های دوک را **سازمان** می‌دهند.

نکته پالشی: رشته‌های دوک از جنس **پروتئین** هستند، بنابراین به وسیله **ریبوزوم‌ها** و با استفاده از دستورالعمل‌های **DNA** ساخته می‌شوند نه به وسیله **سانتریول‌ها**!

+ بنابراین می‌توان گفت سانتریول‌ها فقط در **سازمان‌دهی** و **شکل‌گیری** رشته‌های دوک نقش دارند نه در **ساختن** آنها!

میانک‌ها، **یک جفت استوانه عمود برهم** اند که در **اینترفاز**، برای **تقسیم یافته‌های فقط!** جانوری، تعداد آنها **دو برابر** می‌شوند. هر یک از این استوانه‌ها، از **تعدادی لوله کوچک‌تر پروتئینی** (در واقع نه دسته سه تایی ریزلوله) تشکیل شده است. ساختار دوک تقسیم و میانک‌ها در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵- دوک تقسیم و سانتریول‌ها

نکاتی در مورد سانتریول‌ها و رشته‌های دوک

۱) برای **حرکت و جدا شدن** صحیح کروموزوم‌ها، در **ضمن** تقسیم سلولی ساختارهایی به نام **دوک تقسیم** ایجاد می‌شود.

۲) در صورتی که این رشته‌ها درست عمل نکنند، توزیع ماده وراثتی بین سلول‌های دختر عادلانه انجام **نخواهد گرفت**.

۳) دوک تقسیم، **مجموعه‌ای از ریزلوله‌های پروتئینی** است که هنگام تقسیم، **پدیدار و سانترومر کروموزوم به آن متصل می‌شود**.

+ **نکته جالب:** هر یک از دوک‌های تقسیم از **پندین** رشته دوک و بر اساس کتاب! هر رشته دوک از یک **ریزلوله** یا **میکروتوبول** تشکیل شده است.

۴) با **کوتاه شدن** رشته‌های دوک متصل به سانترومر، کروموزوم‌ها از هم **جدا** می‌شوند و به **قطبین** می‌روند.

+ **نکته پالشی:** در تقسیم میتوز و میوز II کروماتیدها! و در تقسیم میوز I کروموزوم‌ها! از هم جدا می‌شوند و به قطبین می‌روند.

۵) رشته‌های دوک شرکت کننده در تقسیم سلولی سه نوع هستند:

+ رشته‌های دوک **متصل** به سانترومرها (به رنگ **قرمز**) که با **کوتاه شدن** خود سبب **جدایی** کروماتیدها و کروموزوم‌ها و **انتقال** آنها به قطبین سلول می‌شوند.

+ رشته‌های دوک **سرتاسری** (به رنگ **آبی**) که با **طویل شدن** خود باعث کشیده شدن یا بیضوی شدن **سلول** در مرحله **آنافاز** میتوز (و میوز) می‌شوند.

+ رشته‌های دوک **ستاره‌ای** (به رنگ **سبز**) که با **اتصال** به غشای سلول، در همه مراحل تقسیم باعث **ثابت ماندن** جهت تقسیم و کروموزوم‌ها می‌شوند.

۶) در سلول‌های **جانوری**، اندامک‌هایی به نام **سانتریول‌ها** ساخته شدن رشته‌های دوک را **سازمان** می‌دهند.

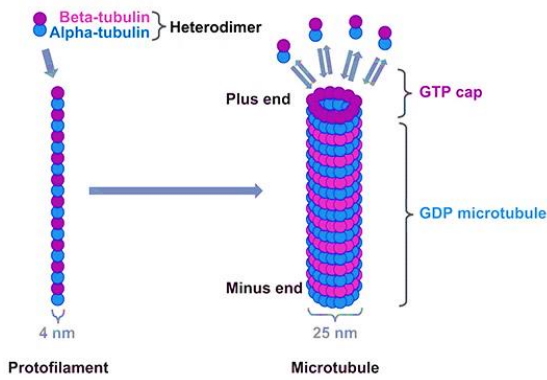
+ رشته‌های دوک از جنس **پروتئین** هستند و به وسیله **ریبوزوم‌ها** و با استفاده از دستورالعمل‌های **DNA** سلول ساخته می‌شوند نه به وسیله **سانتریول‌ها**!

+ نکته مهم این‌که سانتریول‌ها فقط در **سازمان‌دهی** و **شکل‌گیری** رشته‌های دوک نقش دارند نه در **ساختن** آنها!

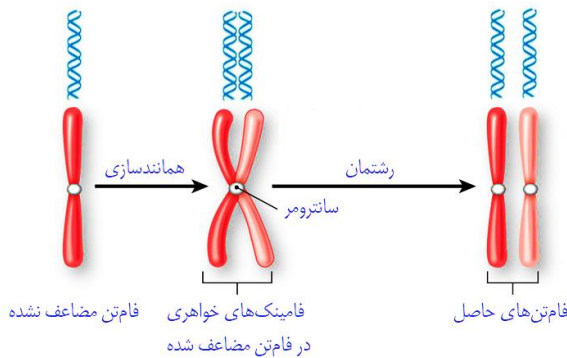
+ سانتریول‌ها، **یک جفت** استوانه عمود بر هم هستند که در **اینترفاز**، برای **تقسیم سلول**، تعداد آنها **دو برابر** می‌شوند.

x هر یک از این استوانه‌ها، از نه دسته سه تایی **ریزلوله** پروتئینی یا **میکروتوبول** تشکیل شده‌اند.

(۷) در زیر پگونگی تشکیل رشته‌های دوک در همه سلول‌های یوکاریوتی شرح داده شده است.
 + در سلول‌های یوکاریوتی دو نوع پروتئین کروی به نام توپولین‌های α و β وجود دارند.
 x این پروتئین‌های کروی با یکدیگر میل ترکیبی دارند.
 x پس از اتصال، دیمرهایی قابل مقایسه با آهن‌ربای تیغه‌ای تشکیل می‌شود.
 + این دیمرها با صرف انرژی به صورت ریزرشته! و ریزلوله‌های پروتئینی درمی‌آیند.
 x ریزلوله‌ها در سافتار ساتریول‌ها، رشته‌های دوک، تاژک، مژک و ... وارد می‌شوند.
 + قطبیت این دیمرها، سبب بلند یا کوتاه شدن ریزلوله‌ها می‌شود.



+ این سافتارها در تمام حرکات سلول مانند حرکت اندامک‌ها و کروموزوم‌ها نقش دارند.
 رشتمان یا میتوز، فرایندی پیوسته است، ولی زیست‌شناسان برای سادگی، آن را مرحله‌بندی می‌کنند. طرح ساده‌ای از تقسیم فامتن‌ها در رشتمان را در شکل ۶ مشاهده می‌کنید.



شکل ۶- طرح ساده‌ای از تقسیم فامتن‌ها در رشتمان

مراحل پنج‌گانه میتوز به ترتیب در زیر آمده‌اند:

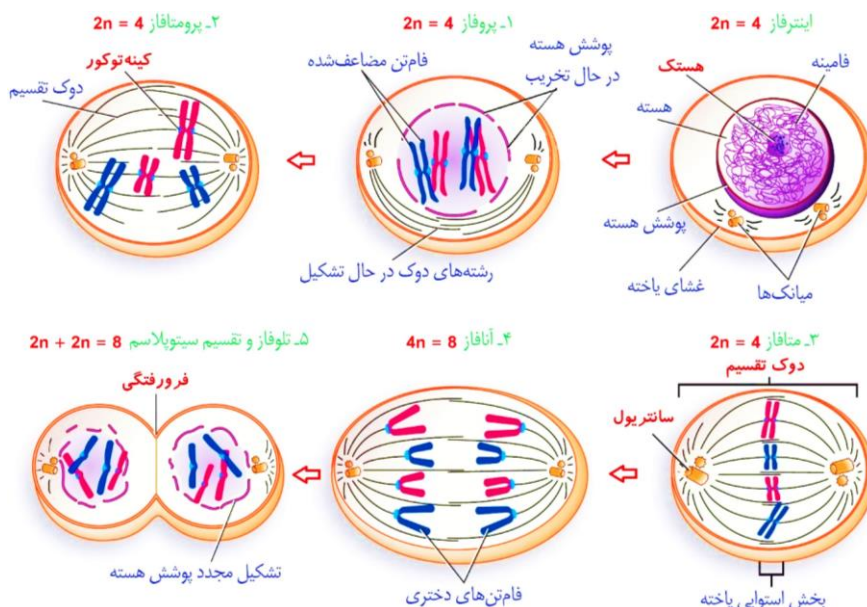
(۱) **پروفاز:** در این مرحله، رشته‌های فامینه فشرده (مراحل دوم تا چهارم فشرده‌گی ماده وراثتی)، ضخیم و کوتاه‌تر می‌شوند. به طوری که به تدریج با میکروسکوپ نوری می‌توان آنها را مشاهده کرد. ضمن فشرده شدن فامتن، میانک‌ها به دو طرف یاخته حرکت می‌کنند و بین آنها دوک تقسیم تشکیل می‌شود. در این مرحله پوشش هسته شروع به تخریب یا تجزیه شدن می‌کند.

(۲) **پرومتافاز:** در این مرحله، پوشش هسته و شبکه آندوپلازمی به طور کامل تجزیه یا تقریب می‌شوند تا رشته‌های دوک بتوانند به فامتن‌ها برسند. در همین حال سائترومرهای فامتن‌ها با واسطه پروتئین‌های کینه‌توکور! به رشته‌های دوک متصل می‌شوند.

(۳) **متافاز:** فامتن‌ها بیشترین فشرده‌گی را پیدا می‌کنند و در وسط (سطح استوایی) یاخته ردیف می‌شوند.

(۴) **آنافاز:** در این مرحله، ابتدا با تجزیه پروتئین اتصالی یا کوهسپین! به وسیله آنزیم سپاراز در ناحیه سائترومر، فامینک‌ها از هم جدا می‌شوند. سپس فاصله گرفتن فامینک‌ها با کوتاه شدن رشته‌های دوک متصل به فامتن انجام می‌شود. فامتن‌ها که اکنون دو برابر شده و تک فامینکی‌اند، به دو سوی یاخته (دو قطب) کشیده می‌شوند.

(۵) **تلوفاز:** رشته‌های دوک تخریب یا تجزیه شده (البته نه به طور کامل! رشته‌های دوک ستاره‌ای هنوز وجود دارند!) و فامتن‌ها شروع به باز شدن می‌کنند تا به صورت فامینه درآیند. پوشش هسته نیز مجدداً تشکیل می‌شود. در پایان تلوفاز، یاخته، دو هسته مشابه دارد. مراحل تقسیم رشتمان در شکل ۷ نشان داده شده است.



شکل ۷- طرح ساده‌ای از مراحل تقسیم رشتمان

۱) در این فرآیند، ماده ژنتیک یا DNA (اصلی) که در مرحله S همانندسازی شده بود، تقسیم شده و به هسته سلول‌های جدید می‌رسد.

۲) کروموزوم‌ها ابتدا به طور دقیق در سطح استوایی سلول آرایش یافته و به مقدار و تعداد مساوی بین سلول‌های حاصل تقسیم شوند.

۳) سرنوشت یک کروموزوم در چرخه سلولی + میتوز به صورت زیر است.

+ یک کروموزوم تک کروماتییدی یا مضاعف نشده که معادل یک مولکول DNA است، ضمن همانندسازی به دو مولکول DNA یکسان تبدیل می‌شود.

+ این دو مولکول DNA یکسان به وسیله پروتئین اتصال یا کوهسین به هم متصل شده و یک کروموزوم دوکروماتییدی یا مضاعف شده شکل می‌گیرد.

+ در میتوز کروماتیدهای این کروموزوم به وسیله رشته‌های دوک از هم جدا شده و هر کدام به صورت یک کروموزوم، وارد یکی از هسته‌های حاصل می‌شوند.

۴) مرحله فرایند میتوز: فرایندی پیوسته است، ولی زیست‌شناسان برای سادگی، آن را مرحله‌بندی می‌کنند.

+ مرحله پروفاز: اتفاقات پیش آمده در این مرحله عبارتند از:

x رشته‌های کروماتین، فشرده شده (مرحله دوم تا چهارم فشردگی ماده وراثتی)، ضمیم و کوتاه‌تر می‌شوند.

x به تدریج می‌توان با میکروسکوپ نوری رشته‌های کروماتین را به صورت رشته‌های در هم تنیده مشاهده نمود.

x ضمن فشرده شدن کروموزوم، سانتیریول‌ها به دو طرف سلول حرکت می‌کنند و بین آنها دوک تقسیم تشکیل می‌شود.

x همچنین در مرحله پروفاز، پوشش هسته شروع به تفریب شدن یا تجزیه شدن می‌کند.

- در واقع مولکول‌های تشکیل دهنده پوشش هسته یعنی فسفولیپیدها و پروتئین‌ها، در درون سیتوپلاسم پراکنده می‌شوند!

- این مولکول‌ها در مرحله تلوفاز دوباره مورد استفاده واقع شده و پوشش هسته مجدداً بازسازی می‌شود.

+ مرحله پرومتافاز: اتفاقات پیش آمده در این مرحله عبارتند از:

x پوشش هسته و شبکه آندوپلاسمی به طور کامل تجزیه یا تفریب می‌شوند تا رشته‌های دوک بتوانند به کروموزوم‌ها متصل شوند.

- می‌توان گفت در اوایل این مرحله، تفریب یا تجزیه پوشش هسته ادامه یافته! تا این روند به طور کامل انجام شود.

* به عبارت دیگر تجزیه شدن یا تفریب شدن شبکه آندوپلاسمی در این مرحله شروع شده و کامل می‌شود.

- در واقع مولکول‌های فسفولیپیدها و پروتئین‌های تشکیل دهنده این اندامک، در درون سیتوپلاسم پراکنده می‌شوند!

* این مولکول‌ها در مرحله تلوفاز دوباره مورد استفاده واقع شده و شبکه آندوپلاسمی بازسازی می‌شود.

x کروموزوم‌ها به واسطه پروتئین‌هایی به نام کینه‌توکور! از طریق سانترومرهای خود به رشته‌های دوک متصل می‌شوند.

+ مرحله متافاز: اتفاقات پیش آمده در این مرحله عبارتند از:

x کروموزوم‌ها که بیشترین فشردگی را پیدا کرده‌اند، در وسط سلول یا سطح استوایی آن ردیف می‌شوند.

- ردیف شدن کروموزوم‌ها در استوای سلولی به وسیله رشته‌های دوک متصل به کروموزوم‌ها انجام می‌شود.

* به عبارت دیگر در این مرحله تغییر طول در این نوع رشته‌های دوک رخ می‌دهد.

+ مرحله آنافاز: اتفاقات پیش آمده در این مرحله عبارتند از:

x در این مرحله، ابتدا با تجزیه پروتئین اتصال یا کوهسین، کروماتیدها از هم جدا می‌شوند.

- پروتئین‌های اتصال یا پروتئین‌های کوهسین به آمینواسید تجزیه نمی‌شوند! بلکه دو سمت کوهسین از هم باز می‌شوند.

x فاصله گرفتن کروموزوم‌ها کوتاه شدن رشته‌های دوک متصل به آنها انجام می‌شود نه همه انواع رشته‌های دوک!

- کوتاه شدن رشته‌های دوک با تجزیه این پروتئین‌ها به آمینواسید صورت نمی‌گیرد، بلکه در سیتوپلاسم پراکنده می‌شوند.

x در این مرحله رشته‌های دوک سرتاسری در حال طولانی شدن هستند تا شکل سلول از حالت کروی به بیضی تغییر نماید!

x کروموزوم‌ها که اکنون تعداد آنها دو برابر شده و تک کروماتییدی هستند، به دو سوی سلول یا دو قطب سلول کشیده می‌شوند.

x نکته پالشی: در مرحله آنافاز سه اتفاق زیر به صورت پشت سر هم می‌افتد:

- ابتدا با تجزیه پروتئین اتصال کروماتیدها از هم جدا می‌شوند.

- بعد رشته‌های دوک متصل به سانترومر کروموزوم‌ها کوتاه‌تر می‌شوند.

- سپس در ادامه کروماتیدها از یکدیگر فاصله می‌گیرند.

+ مرحله تلوفاز: اتفاقات پیش آمده در این مرحله عبارتند از:

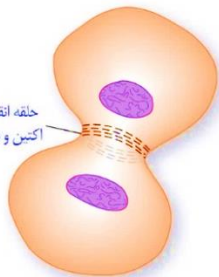
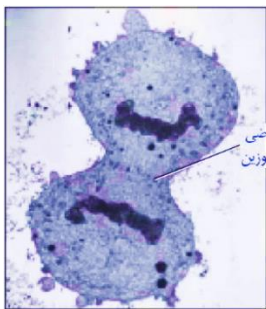
- x رشته‌های دوک تقریباً یا تهزیه شده (البته نه به طور کامل!) و کروموزومها شروع به کروماتینی شدن می‌کنند.
- x در این مرحله کروموزومها به صورت رشته‌های کروماتین یعنی مرحله اول فشردگی ماده وراثتی! درآیند.
- x در این مرحله، پوشش هسته و شبکه آندوپلاسمی نیز مجدداً تشکیل می‌شود.
- مولکول‌های تشکیل دهنده پوشش هسته یعنی فسفولیپیدها و پروتئین‌ها، مجدداً به همدیگر ملحق می‌شوند!
- x در پایان تلوفاز، سلول دو هسته کاملاً مشابه دارد.
- x عدد کروموزومی هر هسته هم مشابه سلول اولیه یا مادر است.

تقسیم سیتوپلاسم

پس از اتمام فرایند رشتمان، اجزای یاخته بین دو سیتوپلاسم تقسیم می‌شوند. با تقسیم سیتوپلاسم دو یاخته جدید تشکیل می‌شود. به عبارت دیگر فرایند میتوز باعث تقسیم سلولی نمی‌شود! و تا زمانی که سیتوکینز اتفاق نیافتد، تقسیم سلولی انجام نمی‌شود. این فرایند در سلول‌های جانوری و گیاهی متفاوت است:

تقسیم سیتوپلاسم در سلول‌های جانوری

در یاخته‌های جانوری تقسیم سیتوپلاسم با ایجاد فرورفتگی در وسط یا استوای آن و هم زمان با تلوفاز شروع می‌شود. این فرورفتگی حاصل انقباض



حلقه‌ای از جنس اکترین و میوزین است که مانند کمر بندی در درون سیتوپلاسم قرار می‌گیرد و به غشا متصل است. با تنگ شدن این حلقه انقباضی که رشته‌های پروتئینی آن به موازات سطح استوایی سلول کشیده شده‌اند. در نهایت دو یاخته از هم جدا می‌شوند (شکل ۸).

نکته جالب: می‌توان گفت همه سلول‌های جانوری، اکترین و میوزین دارند!

شکل ۸ - تقسیم سیتوپلاسم در یک یاخته جانوری

نکته مهم: در سلول جانوری همزمان با تلوفاز، سیتوکینز شروع می‌شود.

تقسیم سیتوپلاسم در سلول‌های گیاهی

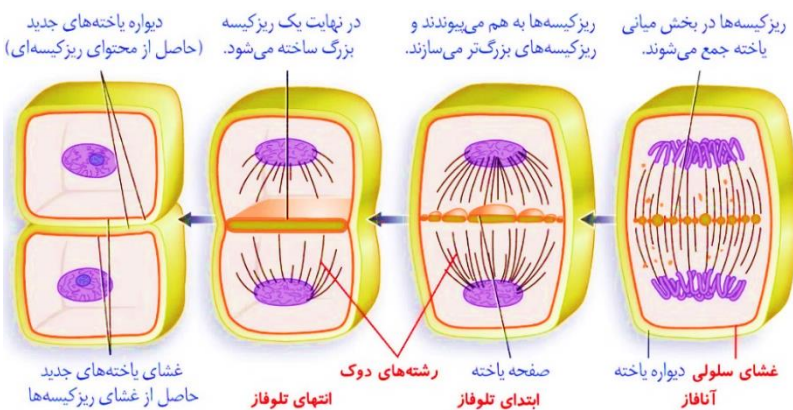
در یاخته‌های گیاهی، حلقه انقباضی تشکیل نمی‌شود. در این یاخته‌ها نخست در مرحله آنافاز ساختاری به نام صفحه یاخته‌ای متشکل از ریزکیسه‌های دستگاه کلژی است که در محل تشکیل دیواره جدید، ایجاد می‌شود. این صفحه با تجمع ریزکیسه‌های دستگاه گلژی و به هم پیوستن آنها تشکیل می‌شود. این ریزکیسه‌ها، دارای پیش‌سازهای تیغه میانی و دیواره یاخته‌اند. با اتصال این صفحه به دیواره یاخته مادری دو یاخته جدید از هم جدا می‌شوند (شکل ۹). در مرحله‌ای که این ریزکیسه‌ها به هم متصل نمی‌شوند، ساختارهایی مانند لان و پلاسمودسم که سال گذشته با آنها آشنا شدید در هنگام تشکیل دیواره جدید، پایه‌گذاری می‌شوند.

شکل ۹ - تقسیم سیتوپلاسم در یاخته گیاهی

نکته مهم: در سلول گیاهی همزمان با آنافاز، سیتوکینز شروع می‌شود.

در تلوفاز سلول گیاهی بر خلاف سلول جانوری، هنوز خیلی از رشته‌های دوک (ریزلوله‌های فراکامپلاست!) حضور دارند و تا اواخر تقسیم سیتوپلاسم این رشته‌ها کماکان قابل مشاهده هستند.

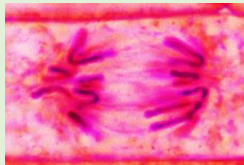
ریزکیسه‌های حاصل از دستگاه کلژی دو سلول دقت به وسیله این رشته‌ها در سطح استوایی سلول قرار گرفته، پس از ملحق شدن به همدیگر، بین آنها باریکه‌های سیتوپلاسمی باقی مانده و پلاسمودسم‌ها شکل می‌گیرند.



فعالیت ۱

در دنیای جانداران یاخته‌های چندهسته‌ای به روش‌های مختلفی ایجاد می‌شوند.

- در سال گذشته با بعضی از این یاخته‌ها آشنا شدید. آیا می‌توانید بعضی از آنها را نام ببرید؟ ماهیچه اسکلتی، ماهیچه قلبی، سلول دوهسته‌ای موجود در کیسه رویانی در مورد نحوه تشکیل این نوع از یاخته‌ها تحقیق کنید و نتیجه آن را به کلاس ارائه دهید. دو روش برای ایجاد سلول‌های چند هسته‌ای وجود دارد:
- + روش اول: به هم پیوستن چند سلول تک‌هسته‌ای و ایجاد یک سلول چندهسته‌ای مانند سلول‌های ماهیچه اسکلتی که در دوره جنینی این اتفاق رخ می‌دهد.
- + روش دوم: انجام فرایند میتوز بدون وقوع تقسیم سیتوپلاسم مانند سلول دوهسته‌ای موجود در کیسه رویانی گیاهان نهان‌دانه



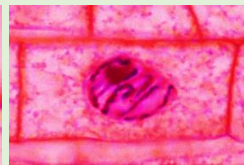
آنافاز



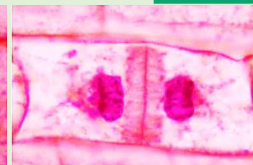
پروفاز



متافاز



تelifاز



تلفاز

نکاتی در مورد تقسیم سیتوپلاسم

- ۱) پس از اتمام فرایند میتوز، اجزای سلول بین دو سلول تقسیم شده و با تقسیم سیتوپلاسم دو سلول جدید تشکیل می‌شود.
- + به عبارت دیگر میتوز باعث تقسیم سلولی نمی‌شود و تا تقسیم سیتوپلاسم اتفاق نیافتد، تقسیم سلولی انجام نمی‌شود.
- ۲) نکته مهم این‌که در پرفه سلولی مراحل پایانی میتوز و مراحل ابتدایی سیتوکینز با همدیگر هم‌پوشانی دارند.
- ۳) اگر سیتوکینز رخ ندهد منبر به تولید سلول‌های پندهمسته‌ای می‌شود.
- + دو روش برای ایجاد این نوع سلول‌ها وجود دارد:
- × روش اول: به هم پیوستن پند سلول تک‌هسته‌ای و ایجاد یک سلول پندهمسته‌ای مانند سلول‌های ماهیچه اسکلتی در دوره جنینی
- × روش دوم: انجام فرایند میتوز بدون وقوع تقسیم سیتوپلاسم مانند سلول دوهسته‌ای موجود در کیسه رویانی گیاهان نهان‌دانه
- ۴) تقسیم سیتوپلاسم یا سیتوکینز در سلول‌های جانوری و گیاهی متفاوت است.
- + تقسیم سیتوپلاسم در سلول‌های جانوری: در این سلول‌ها، همزمان با تلفاز، سیتوکینز شروع می‌شود.
- × در سلول‌های جانوری، تقسیم سیتوپلاسم با ایجاد فرورفتگی در وسط سلول یا استوای آن شروع می‌شود.
- این فرورفتگی حاصل انقباض حلقه‌ای از جنس اکتین و میوزین است که مانند کمربندی در درون سیتوپلاسم قرار دارد.
- این حلقه انقباضی از درون سیتوپلاسم به غشای سلولی متصل است و رشته‌های آن به موازات سطح استوایی کشیده شده‌اند.
- با تنگ شدن این حلقه انقباضی، در نهایت دو سلول دختر از همدیگر جدا می‌شوند.
- + تقسیم سیتوپلاسم در سلول‌های گیاهی: در این سلول‌ها، همزمان با آنافاز، سیتوکینز شروع می‌شود.
- × در سلول‌های گیاهی، حلقه انقباضی تشکیل نمی‌شود، بلکه ساختاری به نام صفحه سلولی تشکیل می‌شود.
- ابتدا در محل تشکیل دیواره جدید، از ریزکیسه‌های دستگاه گلژی، ساختاری به نام صفحه سلولی ایجاد می‌شود.
- این صفحه با تجمع ریزکیسه‌های دستگاه گلژی و به هم پیوستن آنها تشکیل می‌شود.
- این ریزکیسه‌ها، دارای پیش‌سازهای تیغه میانی و دیواره سلولی هستند.
- با اتصال این صفحه به دیواره سلول مادری دو سلول جدید از همدیگر جدا می‌شوند.
- در محلهایی که این ریزکیسه‌ها به هم متصل نمی‌شوند، ساختارهایی مانند پلاسمودسم و لان پایه‌گذاری می‌شوند.

نکات تکمیلی در مورد سیتوکینز در سلول‌های گیاهی

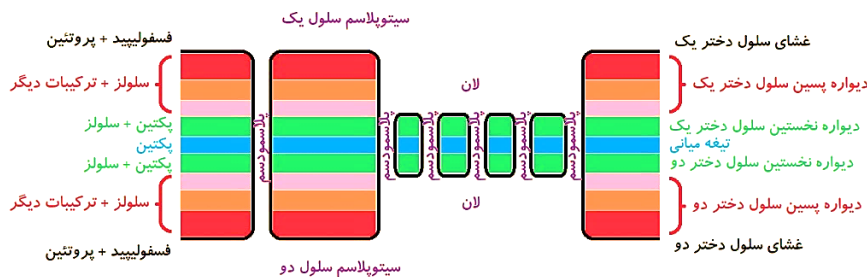
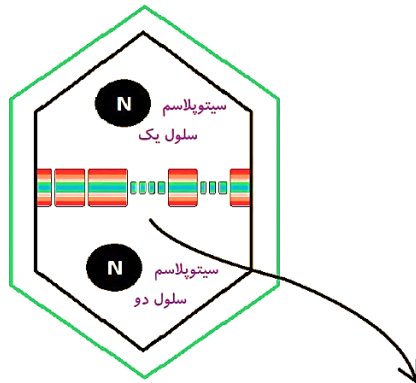
- ۱) در مراحل انتهایی میتوز یعنی در مرحله آنافاز و تلفاز، تجمع ریزکیسه‌های گلژی که حاوی پکتین هستند، سبب تشکیل لایه‌ای به نام تیغه میانی می‌شود.
- + تیغه میانی، سیتوپلاسم را به دو قسمت تقسیم می‌کند و در نتیجه، دو سلول دختر ایجاد می‌شود.
- + پروتوپلاست هر یک از سلول‌ها از دو طرف این لایه، دیواره‌های نخستین دو سلول دختر را می‌سازد.
- × دیوارهٔ نخستین از جنس پکتین و سلولز بوده قابلیت گسترش و کشش دارد و همراه با رشد پروتوپلاست، اندازه آن نیز افزایش می‌یابد.
- + در بعضی از سلول‌های گیاهی، لایه‌های دیگری نیز ساخته می‌شود که به مجموع آنها دیوارهٔ پسین می‌گویند.
- × رشته‌های سلولزی در هر لایه از دیواره پسین با یکدیگر موازی و با لایهٔ دیگر زاویه دارند.
- × استحکام و تراکم دیواره پسین از دیواره نخستین بیشتر است. دیواره پسین مانع از رشد سلول می‌شود.
- + دیواره سلولی، دور تا دور سلول را می‌پوشاند، اما سلول‌های مجاور، به واسطه وجود کانال‌های سیتوپلاسمی به نام پلاسمودسم با هم در ارتباط هستند.
- × آب، مواد محلول، مواد مغذی، اسیدهای آلی، پروتئین‌ها، نوکلئیک‌اسیدها و ویترونها می‌توانند از راه پلاسمودسم‌ها جابه‌جا شوند.
- + پلاسمودسم‌ها در مناطقی از دیواره به نام لان، به فراوانی وجود دارند. لان به منطقه‌ای گفته می‌شود که دیواره سلولی در آنجا نازک باقی مانده است.

+ در **تلوفاز** سلول گیاهی بر خلاف سلول جانوری، **خیلی** از رشته‌های دوک (در اصل ریزلوله‌های فراگمپلاست!) **حضور** دارند.

x رشته‌های دوک فوق‌الذکر، تا **اواخر** تقسیم سیتوپلاسم این رشته‌ها کماکان قابل **مشاهده** هستند.

+ ریزکیسه‌های ماص از دستگاه کلژی **دو** سلول دختر به وسیله رشته‌های دوک در **سطح استوایی** سلول قرار می‌گیرند.

x پس از ملق شدن ریزکیسه‌ها به همدیگر، بین آنها **باریکه‌های** سیتوپلاسمی باقی مانده و **پلاسمودسم‌ها** شکل می‌گیرند.



تعداد کروموزوم، کروماتید و ... در مراحل پرفه سلولی + میتوز

(۱) جدول زیر تعداد کروموزوم‌ها، کروماتیدها، رشته‌های کروماتین، مولکول‌های DNA فطی، تعداد رشته‌های پلی‌نوکلئوتیدی تیمین‌دار فطی، تعداد سانتیروال‌ها و

تعداد ریزلوله‌های شرکت کننده در سانتیروال‌ها را در یک سلول انسان را در مراحل مختلف پرفه سلولی (شامل میتوز) نشان می‌دهد:

cyt	tel	ana	met	prm	pro	G _۲	S	G _۱	انسان (XY یا XX + ۱۴C + ۱۴C = ۲n)
۱۴۶	۹۲	۹۲	۱۴۶	۱۴۶	۱۴۶	۱۴۶	۱۴۶	۱۴۶	تعداد کروموزوم
۱۴۶	۹۲	۹۲	۹۲	۹۲	۹۲	۹۲	۹۲	۱۴۶	تعداد کروماتید
۱۴۶	۹۲	۹۲	۹۲	۹۲	۹۲	۹۲	۹۲	۱۴۶	تعداد رشته‌های کروماتین
۱۴۶	۹۲	۹۲	۹۲	۹۲	۹۲	۹۲	۹۲	۱۴۶	تعداد مولکول‌های DNA فطی
۹۲	۱۸۴	۱۸۴	۱۸۴	۱۸۴	۱۸۴	۱۸۴	۱۸۴	۹۲	تعداد رشته‌های پلی‌نوکلئوتیدی فطی
۲	۱۴	۱۴	۱۴	۱۴	۱۴	۱۴	۲	۲	تعداد سانتیروال
۵۱۴	۱۰۸	۱۰۸	۱۰۸	۱۰۸	۱۰۸	۱۰۸	۵۱۴	۵۱۴	تعداد ریزلوله سانتیروالی

(۲) همانطور که می‌بینیم تعداد کروموزوم‌ها و ژن‌ها در مراحل مختلف پرفه سلولی به صورت زیر دچار تغییر می‌شود.

+ تعداد کروموزوم‌ها: در مرحله آنافاز **دو برابر** می‌شود و در مرحله سیتوکینز یا تقسیم سیتوپلاسم دوباره به حالت **اول** برمی‌گردد.

+ تعداد ژن‌ها (و آلل‌ها): تعداد مولکول‌های DNA (ژن‌ها و آلل‌ها) در مرحله S **دو برابر** شده و در مرحله سیتوکینز دوباره به حالت **اول** برمی‌گردد.

تقسیم یاخته، فرایندی تنظیم شده است

بعضی از یاخته‌های بدن جانداران، مانند یاخته‌های **بنیادی** مغز استخوان و یاخته‌های **مریستمی** گیاهان می‌توانند دائماً تقسیم شوند. همین یاخته‌ها در

شرایط خاصی، مثلاً **شرایط نامساعد** محیطی یا **افزایش** بیش از حد تعداد یاخته‌ها، تقسیم خود را **کاهش** می‌دهند و یا **متوقف** می‌کنند.

نکته پالشی: می‌توان گفت همه سلول‌ها، حتی سلول‌های **بنیادی** در مغز استخوان و سلول‌های **مریستمی** گیاهان هم می‌توانند وارد مرحله **G_۰** شوند!

برعکس، یاخته‌های **عصبی** در بدن به **ندرت** تقسیم می‌شوند. سلول‌های ماهیچه **اسکلتی** هم در محیط کشت به **ندرت** تقسیم می‌شوند!

این یاخته‌ها چگونه تشخیص می‌دهند در چه **زمان** یا به چه **مقداری** باید تقسیم شوند؟ بر اثر عوامل **محیطی** و مواد **شیمیایی** خاص

چه عواملی **تنظیم** کننده **سرعت** و **تعداد** تقسیم یاخته‌اند؟ **برخی** از مواد **شیمیایی** مانند (انواعی از پروتئین‌ها (مانند هورمون‌ها)

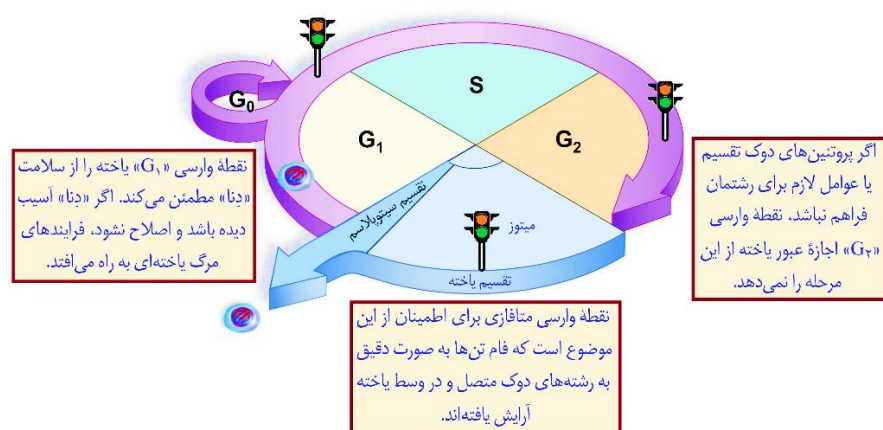
چگونه تعداد چرخه‌های یاخته **تنظیم** می‌شوند و چرا این تنظیم در برخی یاخته‌ها به هم می‌خورد؟ به واسطه وجود برخی از مواد **شیمیایی**، ژنتیک و ...

- (۱) مدت زمان چرخه سلولی در سلول‌های مختلف، متفاوت است.
- (۲) در یک سلول خاص در زمان‌های مختلف و در شرایط خاص مدت زمان انجام این چرخه متفاوت است.
- + سلول‌هایی که به طور دائم تقسیم می‌شوند.
- x مثال جانوری: سلول‌های بنیادی مغز (استخوان در جانوران
- x مثال گیاهی: سلول‌های مریستمی واقع در راس ساقه و نزدیک نوک ریشه گیاهان
- (۳) سلول‌هایی که چرخه سلولی را متوقف (مربطه G) می‌کنند.
- + همه سلول‌ها حتی سلول‌های بنیادی و مریستمی، در شرایط زیر تقسیم خود را کاهش می‌دهند و یا متوقف می‌کنند.
- x در شرایط نامساعد محیطی
- x در صورت افزایش بیش از حد تعداد سلول‌ها
- x سلول‌های عصبی در بزرگسالان معمولاً تقسیم نمی‌شوند.
- این سلول‌ها به ندرت تقسیم می‌شوند!
- x سلول‌های ماهیچه اسکلتی و قلبی بعد از تولد هیپگاه تقسیم سلولی انجام نمی‌دهند.
- این سلول‌ها هم در محیط کشت به ندرت تقسیم می‌شوند!

عوامل تنظیم کننده تقسیم یاخته

یاخته‌ها در پاسخ به بعضی عوامل محیطی و مواد شیمیایی سرعت تقسیم خود را تنظیم می‌کنند. دو نوع پروتئین در این تنظیم نقش دارند:

- (۱) انواعی از پروتئین‌ها وجود دارد که با فرایندهایی منجر به تقسیم یاخته می‌شوند.
 - (۲) پروتئین‌های دیگری نیز وجود دارند که در شرایط خاصی، مانع از تقسیم یاخته می‌شوند.
- این پروتئین‌ها در سرعت تقسیم یاخته مانند پدال گاز و ترمز عمل می‌کنند؛ مثال‌های مختلفی در این زمینه وجود دارد:
- + در گیاهان در محل آسیب دیده، نوعی عامل رشد (اتیلن؟) تولید می‌شود تا با تقسیم سریع سلول‌های پارانشیمی، توده یاخته ایجاد کنند. این توده یاخته مانع نفوذ میکروب‌ها می‌شود.
 - + یا نوعی عامل رشد، در پوست انسان در زیر محل زخم تولید می‌شود که با افزایش سرعت تقسیم یاخته‌ها، سرعت بهبود زخم را افزایش می‌دهد.
 - + مثال دیگر این مواد، اریتروپوئیتین است که در سال گذشته با آن آشنا شدید. با توجه به آنچه آموختید این ماده بر کدام بخش بدن اثر می‌گذارد و نتیجه آن چیست؟ توسط گروه ویژه‌ای از سلول‌های کلیه و کبد ترشح می‌شود و روی مغز قرمز (استخوان اثر نموده تا سرعت تولید گلبول‌های قرمز را زیاد کند.



در چرخه یاخته‌ای، چند نقطه واریسی وجود دارد. نقاط واریسی مرحله‌ای از چرخه یاخته‌اند که به آن اطمینان می‌دهند که مرحله قبل کامل شده است و عوامل لازم برای مرحله بعد آماده‌اند. در شکل ۱۰ بعضی از این نقاط (نه همه!) را می‌بینید.

شکل ۱۰- نقاط واریسی در چرخه یاخته

نکاتی در مورد عوامل تنظیم کننده چرخه سلولی

- (۱) عوامل محیطی: مانند ایجاد زخم و کاهش اکسیژن محیط که باعث افزایش تقسیم سلولی می‌شوند.
- + ایجاد زخم در گیاهان: در محل آسیب دیده، نوعی عامل رشد (اتیلن) تولید می‌شود تا با تقسیم سریع سلول‌های پارانشیمی، توده سلولی ایجاد کنند.
- + ایجاد زخم در پوست انسان: نوعی عامل رشد، در زیر محل زخم تولید می‌شود و با افزایش سرعت تقسیم سلولی، سرعت بهبود زخم را افزایش می‌دهد.
- + کاهش اکسیژن محیط: در این شرایط، هورمون اریتروپوئیتین با افزایش سرعت تقسیم سلول‌های بنیادی سبب تولید سلول‌های خونی می‌شود.
- (۲) مواد شیمیایی: مانند پروتئین‌ها و مواد دیگر که برنی باعث افزایش رشد و برنی باعث کاهش رشد می‌شوند.
- + برنی از پروتئین‌های جانوری وجود دارند که با فرایندهایی منجر به افزایش تقسیم سلولی می‌شوند. (پدال گاز یا پراگ سبز)

x عامل رشد در محل زخم: نوعی عامل رشد، در زیر محل زخم با افزایش سرعت تقسیم سلولی، سرعت بهبود زخم را افزایش می‌دهد.

x هورمون رشد در جانوران

- محل تولید: از بخش پیشین غده هیپوفیز ترشح می‌شود.

- اندام هدف: باعث تکثیر سلول‌های استخوانی در محل صفت رشد در استخوان‌های دراز مانند ران می‌شود.

x هورمون اریثروپویتین

- محل تولید: توسط گروه ویژه‌ای از سلول‌های کلیه و کبد به درون خون ترشح می‌شود.

- اندام هدف: روی مغز قرمز! استخوان اثر می‌کند تا سرعت تولید گلبول‌های قرمز را افزایش دهد.

- میزان یا مقدار هورمون

* در شرایط عادی: به مقدار کم ترشح می‌شود تا کاهش معمولی تعداد گلبول‌های قرمز را جبران کند.

* در شرایط کمبود O₂: در کم‌خونی، بیماری‌های تنفسی و قلبی، ورزش‌های طولانی یا رفتن به ارتفاعات، افزایش می‌یابد.

+ پروتئین‌های دیگری نیز وجود دارند که در شرایط خاصی، مانع از تقسیم سلول‌ها می‌شوند. (پدال ترمز یا چراغ قرمز)

x در هیچ جای کتب درسی از این پروتئین‌ها بحثی به میان نیامده است.

هورمون‌های جانوری و گیاهی مؤثر در رشد

(۱) هورمون‌های جنسی در جانوران

+ هورمون تستوسترون: از بیضه‌ها ترشح شده و در مردان سبب رشد ماهیچه‌ها و استخوان‌ها و افزایش تراکم آنها و ایجاد صفات ثانویه جنسی می‌شود.

+ هورمون‌های استروژن و پروژسترون: از تخمدان‌ها ترشح شده و قبل از سن یائسگی مانع از کاهش توده استخوانی یا پوکی استخوان در زنان می‌شوند.

(۲) هورمون‌ها یا تنظیم‌کننده‌های رشد در گیاهان

+ مرک‌های رشد: اکسین، سیتوکینین و جیبرلین، سبب تقسیم سلولی و رشد ابعادی و تعدادی در برخی بخش‌های گیاهان می‌شوند.

+ بازدارنده‌های رشد: هورمون‌های آبسیزیک‌اسید و اتیلن نیز مانع از رشد گیاهان می‌شوند.

نکاتی در مورد نقاط واریسی در چرتة سلولی

(۱) در چرتة سلولی، چند نقطه واریسی وجود دارد که به سلول اطمینان می‌دهند که مرحله قبل کامل شده است و عوامل لازم برای مرحله بعد آماده‌اند.

(۲) سه نقطه واریسی مهم در چرتة سلولی عبارتند از:

+ نقطه واریسی G₁: این نقطه واریسی، سلول را از سلامت DNA مطمئن می‌کند.

x اگر DNA آسیب دیده باشد و اصلاح یا ویرایش نشود، فرایندهای مرک سلولی به راه می‌افتند.

- همان‌طور که می‌دانیم در جانوران مرک سلولی منجر به فعال شدن بیگانه‌خوارهایی مانند ماکروفاژها می‌شوند.

x اگر DNA سالم باشد یا سالم نباشد ولی اصلاح شود سلول از این مرحله عبور خواهد کرد و وارد فاز S یا همانندسازی DNA می‌شود.

+ نقطه واریسی G₂: اگر پروتئین‌های دوک تقسیم یا عوامل لازم برای میتوز فراهم نباشد، این نقطه واریسی، اجازه عبور سلول از این مرحله را نمی‌دهد.

x در صورتی که سانتیوپول‌ها درست عمل نکرده و رشته‌های دوک سازماندهی نشوند نیز سلول از این مرحله عبور نخواهد کرد.

x در صورتی که پروتئین‌های دوک تقسیم یا عوامل لازم برای میتوز فراهم نباشد، سلول اقدام به ساخت آنها می‌کند.

+ نقطه واریسی متافاز: این نقطه واریسی، اطمینان از آرایش متافازی دقیق کروموزوم‌ها و اتصال به رشته‌های دوک را بررسی می‌کند.

x گاهی اوقات ممکن است این نقطه واریسی به درستی وظیفه خود را انجام ندهد.

x در این صورت کروموزوم‌ها به صورت عادلانه بین سلول‌های حاصل تقسیم نمی‌شوند.

x در نتیجه ممکن است سلول‌هایی با عدد کروموزومی متفاوت به وجود بیایند.

تقسیم بی‌رویه یا خسته

یاخته‌ها با تقسیم، افزایش و با مرگ، کاهش می‌یابند.

اگر تعادل بین تقسیم یاخته و مرگ یاخته‌ها به هم بخورد، چه وضعی پیش می‌آید؟ تعداد سلول‌ها ممکن است از حد طبیعی بیشتر و یا کمتر شود.

+ کاهش تعداد سلول: بر اثر عدم اکسیژن‌رسانی به بافت میوکارد قلب ممکن است تعدادی از سلول‌های آن بمیرند و فرد دچار سکته یا حمله قلبی شود.

+ افزایش تعداد سلول: نتیجه می‌تواند ایجاد یک تومور باشد. تومور، توده‌ای است که در اثر تقسیمات تنظیم نشده ایجاد می‌شود.

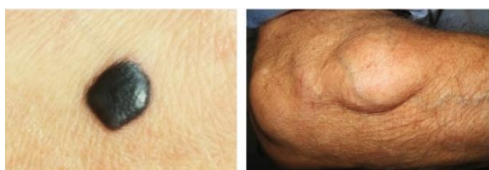
x انواع تومور: تومورها به دو نوع خوش‌خیم و بدخیم تقسیم می‌شوند.

- **تومور خوش خیم:** نوع خوش خیم **رشدی کم** دارد و یاخته های آن در **جای خود** می مانند و **منتشر** نمی شوند. این نوع تومور معمولاً آنقدر بزرگ نمی شوند که به بافت های مجاور خود آسیب بزنند. البته در مواردی که تومور **خوش خیم** بیش از اندازه بزرگ شود، می تواند در انجام اعمال طبیعی اندام **اختلال** ایجاد کند.

• **مثال:** **لیپوما** یکی از انواع تومورهای خوش خیم است که در افراد بالغ **متداول** است. در این تومور، **یاخته های چربی** تکثیر شده و توده یاخته ایجاد می کنند (شکل ۱۱- الف).

- **تومور خوش خیم:** تومور **بدخیم** یا **سرطان** به بافت های مجاور **حمله** می کند و توانایی **دگرنشینی** (**متاستاز**) دارد؛ یعنی می تواند یاخته هایی از آن جدا شده و همراه با **جریان خون**، یا به ویژه **جریان لنف** به نواحی دیگر بدن بروند، در آنجا **مستقر** شوند و پس از تقسیم سلولی **رشد** کنند (شکل ۱۲). علت اصلی سرطان، بعضی تغییرات یا جهش در ماده ژنتیکی یاخته است که باعث می شود چرخه یاخته از کنترل خارج شود.

• **مثال:** **ملانوما** که نوعی تومور بدخیم سلول های رنگدانه دار در پوست است (شکل ۱۱- ب).

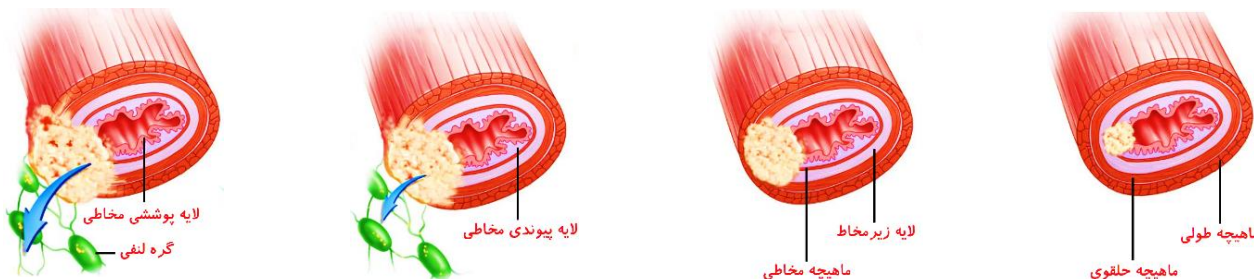


ب

الف

تصویر ۱۱ - انواع تومور

الف) **لیپوما:** تومور خوش خیم، لیپوما در نزدیکی آرنج
ب) **ملانوما:** نوعی تومور بدخیم یاخته های رنگدانه دار پوست
شکل ۱۲ - مراحل رشد و دگرنشینی یاخته های سرطانی



- ۱- **یاخته سرطانی از سلول های پوششی** ۲- **یاخته های سرطانی در بافت های** ۳- **یاخته های سرطانی به بخش های** ۴- **یاخته های سرطانی از راه لنف به**
- عبور کرده و شروع به تهاجم به یاخته های** **زیرین گسترش می یابند، ولی هنوز به** **لنفی مجاور یعنی مویرک ها، رگ ها و** **بافت های دورتر می روند و پس از استقرار**
- بافت می کند.** **دستگاه لنفی مجاور راه پیدا نکرده اند.** **کره های لنفی محل تکثیر خود، دسترسی** **موجب ایجاد تومور جدید و سرطانی شدن**
- پیدا می کنند.** **آنها می شوند.**

نکاتی در مورد تقسیم بی رویه سلول

- ۱) به هم خوردن **تعادل**: اگر تعادل بین تقسیم سلول و مرگ سلول به هم بخورد، تعداد سلول ها از حد طبیعی **بیشتر** و یا **کمتر** می شود.
- ۲) **کاهش** تعداد سلول ها: نتیجه آن می تواند باعث **صدمات جبران ناپذیری** به اندام ها شود.
- ۳) **افزایش** تعداد سلول ها: نتیجه افزایش تعداد سلول ها می تواند **ایجاد یک تومور** باشد.
- + **تعریف تومور:** توده ای است که در اثر تقسیمات تنظیم نشده ایجاد می شود.
- + **انواع تومور:** تومورها به دو نوع **خوش خیم** و **بدخیم** تقسیم می شوند.
- x **تومور خوش خیم:** رشدی کم دارد و سلول های آن در جای خود می مانند و منتشر نمی شوند.
- این نوع تومور معمولاً آنقدر بزرگ نمی شوند که به بافت های مجاور خود آسیب بزنند.
- **استثناء:** البته در مواردی که تومور بیش از اندازه بزرگ شود، می تواند در انجام اعمال طبیعی اندام **اختلال** ایجاد کند.
- **مثال:** **لیپوما** یکی از انواع تومورهای خوش خیم است که در افراد بالغ **متداول** است.
- در این تومور، سلول های چربی **تکثیر** شده و توده سلول **ایجاد** می کنند.
- x **تومور بدخیم:** به بافت های مجاور **حمله** می کند و توانایی **متاستاز** دارند. این تومورها منجر به **سرطان** می شود.
- **متاستاز:** سلول هایی از تومورهای بدخیم جدا شده و پس از **ورود** به مویرک ها همراه با **جریان خون** و **لنف** به نواحی دیگر بدن می روند.

- * این سلول‌ها، پس از **استقرار** در بافت‌ها و اندام‌های دیگر، رشد نموده و تومور جدید ایجاد کنند.
- علت اصلی سرطان: بعضی تغییرات یا جهش در ماده ژنتیکی سلول که باعث می‌شوند سلول از کنترل خارج شود.
- * مثال: ملانوما که نوعی تومور بدخیم سلول‌های رنگدانه‌دار در پوست است و سرطان مری که در لوله گوارش رخ می‌دهد.

تشخیص و درمان سرطان

- روش‌های متعددی برای تشخیص و درمان سرطان‌ها وجود دارد و گاهی ترکیبی از این روش‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد.
- نکته اول: روش بافت‌برداری یا جراحی هم برای تشخیص و هم برای درمان به کار می‌رود!
- نکته دوم: روش‌های رایج برای درمان سرطان شامل جراحی (بافت‌برداری)، شیمی‌درمانی و پرتودرمانی است.
- + هر سه روش بافت‌برداری (جراحی)، شیمی‌درمانی و پرتودرمانی فقط برای درمان به کار می‌روند!
- (۱) روش بافت‌برداری: بافت‌برداری روشی است که در آن، تمام یا بخشی از بافت سرطانی یا مشکوک به سرطان با استفاده از جراحی یا ابزار متصل به دستگاه آندوسکوپی برداشته می‌شود. آزمایش خون به این شناسایی کمک می‌کند.
- (۲) روش پرتودرمانی: در پرتودرمانی، یاخته‌هایی که به سرعت تقسیم می‌شوند، به طور مستقیم تحت تأثیر پرتوهای قوی قرار می‌گیرند.
- + این روش درمانی می‌تواند به یاخته‌های مغز استخوان، پياز مو و پوشش دستگاه گوارش آسیب برساند.
- x بعضی افراد که تحت تأثیر تابش‌های شدید قرار می‌گیرند مجبور به پیوند مغز استخوان می‌شوند تا بتوانند یاخته‌های خونی مورد نیاز را بسازند.
- (۳) روش شیمی‌درمانی: شیمی‌درمانی با استفاده از داروها باعث سرکوب تقسیم یاخته‌ها در همه بدن می‌شود.
- + این روش درمانی می‌تواند به یاخته‌های مغز استخوان، پياز مو و پوشش دستگاه گوارش نیز آسیب برساند.
- x مرگ این یاخته‌ها از عوارض جانبی شیمی‌درمانی است که باعث ریزش مو، تهوع و خستگی می‌شود.
- x بعضی از افراد که تحت درمان با شیمی‌درمانی قوی قرار می‌گیرند مجبور به پیوند مغز استخوان می‌شوند تا بتوانند یاخته‌های خونی مورد نیاز خود را بسازند.

تشخیص و درمان سرطان

- (۱) روش‌های تشخیص و درمان سرطان: روش‌های متعددی وجود دارد و گاهی ترکیبی از این روش‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد.
- (۲) انواع روش‌های رایج در درمان سرطان: شامل جراحی یا بافت‌برداری، شیمی‌درمانی و پرتودرمانی است.
- + روش جراحی یا بافت‌برداری: روشی است که در آن، تمام یا بخشی از بافت سرطانی یا مشکوک به سرطان با استفاده از جراحی برداشته می‌شود.
- x آزمایش خون به این شناسایی کمک می‌کند. زیرا در صورت وقوع سرطان، سلول‌های سرطانی متاستاز شده به جریان خون راه پیدا می‌کنند.
- در این مرحله می‌تواند با اندازه‌گیری مقدار آنتی‌ژن‌های سرطانی سطح این سلول‌ها از پیشرفت سرطان آگاه شد.
- + روش پرتودرمانی: سلول‌هایی که به سرعت تقسیم می‌شوند، به طور مستقیم تحت تأثیر پرتوهای قوی قرار می‌گیرند.
- x بر اثر این پرتوها، DNA سلول آسیب دیده و فرایندهای مرگ برنامه‌ریزی شده و در نهایت پدیده فاکوسیتوز رخ داده و تومور بدخیم پاک‌سازی می‌شود.
- + روش شیمی‌درمانی: با استفاده از داروها باعث سرکوب تقسیم سلول‌ها در همه بدن یعنی متوقف نمودن چرخه سلولی و ورود موقتی به مرحله G_۰ می‌شود.
- (۳) نکات تکمیلی
- + هر دو روش پرتودرمانی و شیمی‌درمانی می‌توانند به سلول‌های مغز استخوان، پياز مو و پوشش دستگاه گوارش آسیب برسانند.
- + بعضی از افراد که تحت تأثیر پرتودرمانی شدید یا شیمی‌درمانی قوی قرار می‌گیرند به دلیل آسیب رسیدن به سلول‌های بنیادی واقع در مغز استخوان مجبور به پیوند مغز استخوان می‌شوند تا بتوانند سلول‌های خونی مورد نیاز خود را بسازند.
- + شیمی‌درمانی باعث مرگ سلول‌ها شده که این اتفاق از عوارض جانبی این روش است و باعث ریزش مو، تهوع و خستگی می‌شود.

وراثت و محیط، هر دو در ایجاد سرطان نقش دارند

- پروتئین‌ها، تنظیم کننده چرخه یاخته و مرگ آن هستند. پروتئین‌ها محصول عملکرد ژن‌ها هستند. بنابراین، مشخص است که در ایجاد همه سرطان‌ها، ژن‌ها نقش دارند. ژن‌های زیادی شناخته شده‌اند که در بروز سرطان مؤثرند. علت شیوع بیشتر بعضی سرطان‌ها در بعضی جوامع، همین مسئله است.
- نکته جالب: به عنوان مثال نوعی سرطان پوست در قبیله‌ای از یهودیان اروپای شرقی موسوم به اشکنازی، بسیار شایع‌تر از دیگر افراد دنیا است.
- عوامل محیطی فیزیکی و شیمیایی هم در بروز سرطان مؤثرند.
- + عوامل فیزیکی مانند پرتوهای فرابنفش با ایجاد دیمر تیمین به سافتار DNA آسیب می‌زنند.
- x مثال: سایر پرتوها مانند اشعه ایکس، اشعه گاما و ...

+ عوامل شیمیایی مانند بعضی آلاینده‌های محیطی و دود خودروها به ساختار «دنا» آسیب می‌زنند.

x مواد شیمیایی سرطان‌زا، مواد غذایی دودی شده مثل گوشت و ماهی دودی، بعضی وپروس‌ها، قرص‌های ضد بارداری، نوشیدنی‌های الکلی و دخانیات از عوامل مهم سرطان‌زایی‌اند.

- بر اساس کتاب پایه دهم، عارضه چاقی در بروز برفی از سرطان‌ها نقش دارد.

نقش وراثت و محیط در ایجاد سرطان

(۱) نقش وراثت یا ژن‌ها: در ایجاد هر نوع سرطان، ژن‌ها نقش دارند. ژن‌های زیادی شناخته شده‌اند که در بروز سرطان مؤثرند.

+ علت شیوع بیشتر بعضی سرطان‌ها در بعضی جوامع، همین مسئله ژنتیک است.

+ در واقع پروتئین‌ها، که محصول عملکرد ژن‌ها هستند، تنظیم‌کننده پرنه سلولی و مرگ سلولی هستند.

x به عبارت دیگر اگر ژن‌های موجود بر روی DNA بیان شوند یعنی رونویسی و ترجمه انجام دهند پروتئین‌ها به وجود می‌آیند.

(۲) نقش عوامل محیطی: عوامل محیطی فیزیکی و شیمیایی هم در بروز سرطان مؤثرند زیرا به ساختار مولکول DNA آسیب می‌زنند.

+ عوامل فیزیکی: مانند پرتوهای فرابنفش و سایر پرتوها

+ عوامل شیمیایی: مانند بعضی آلاینده‌های محیطی، دود خودروها، مواد شیمیایی سرطان‌زا، گوشت دودی شده و ماهی دودی شده

+ موارد دیگر: بعضی وپروس‌ها، قرص‌های ضد بارداری، نوشیدنی‌های الکلی و دخانیات

+ عارضه چاقی: این عارضه هم احتمال ابتلا به انواعی از سرطان‌ها را به دنبال دارد.

x چاقی، احتمال ابتلا به بیماری‌هایی مانند دیابت نوع دو، تنگ شدن سرخرگ‌ها، سکت قلبی و مغزی را نیز افزایش می‌دهد.

فعالیت ۳

با استفاده از منابع علمی بررسی کنید که کدام نوع از سرطان‌ها در کشور ما شیوع بیشتری دارند. سرطان معده و پستان

چرا بعضی انواع سرطان در بخش‌های خاصی از کشور ما شایع‌ترند؟ به دلیل عوامل محیطی و ژنتیکی خاص

مرگ برنامه‌ریزی شده یاخته

مرگ سلول‌ها به دو صورت اتفاق می‌افتد. مرگ تصادفی یا بافت مردگی (نکروز)، مرگ برنامه‌ریزی شده (آپوپتوز)

+ مرگ تصادفی یا بافت مردگی (نکروز): مرگ یاخته‌ها می‌تواند تصادفی باشد؛ مثلاً در شرایط غیر طبیعی در بریدگی، ضربه، سوختگی و ... یاخته‌ها آسیب می‌بینند و از بین می‌روند. به این حالت، بافت مردگی (نکروز) گفته می‌شود.

x در این حالت غشای سلولی تقریباً شده و مواد آن به خارج می‌ریزند!

+ مرگ برنامه‌ریزی شده (آپوپتوز): ولی مرگ برنامه‌ریزی شده (آپوپتوز) یاخته‌ای شامل یک سری فرایندهای دقیقاً برنامه‌ریزی شده است که در بعضی یاخته‌ها و در شرایط خاص طبیعی یا غیر طبیعی ایجاد می‌شود. این فرایند با رسیدن علائمی به یاخته شروع می‌شود. به دنبال این رخداد، در چند ثانیه پروتئین‌ها یا آنزیم‌های تخریب‌کننده در یاخته شروع به تجزیه اجزای یاخته و مرگ آن می‌کنند.

x در این حالت غشای سلولی تقریباً نشده ولی سلول‌ها تکه‌تکه می‌شوند!

- همان‌طور که می‌دانیم در جانوران مرگ سلولی منجر به فعال شدن بیگانه‌فروارهایی مانند ماکروفاژها می‌شوند.

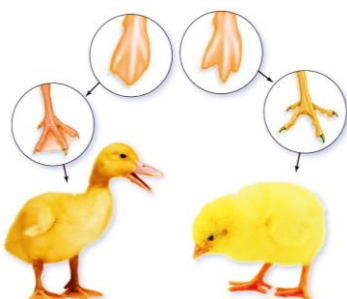
* حذف یاخته‌های پیر (فرایند طبیعی) یا آسیب دیده (فرایند غیر طبیعی)، مانند آنچه در آفتاب سوختگی اتفاق می‌افتد، مثالی از مرگ

برنامه‌ریزی شده یاخته‌ای است؛ چون پرتوهای خورشید دارای اشعه فرابنفش‌اند آفتاب سوختگی می‌تواند سبب آسیب به «دنا» یاخته‌ها، جهش ژنتیکی و بروز سرطان شود. مرگ برنامه‌ریزی شده یاخته‌ای، با از بین بردن یاخته‌های آسیب دیده، آنها را حذف می‌کند.

* مثال دیگر که نوعی فرایند طبیعی است و در ضمن فرایند رشد و نمو رخ می‌دهد، حذف یاخته‌های

اضافی از بخش‌های عملکردی مانند پرده‌های بین انگشتان پا در انسان و اغلب پرندگان

مانند مرغ است (شکل ۱۳).



شکل ۱۳- حذف پرده‌های میانی انگشتان در دوران جنینی برخی پرندگان مانند مرغ در اثر مرگ برنامه‌ریزی شده

این پدیده در برفی پرندگات مانند اردک اتفاق نمی‌افتد!

نکاتی در مورد مرگ برنامه‌ریزی شده سلول

(۱) مرگ سلول‌ها: به دو صورت مرگ تصادفی و مرگ برنامه‌ریزی شده انجام می‌شود. نتیجه این عمل فعال شدن ماکروفاژها برای پاک‌سازی است.

+ مرگ تصادفی سلول‌ها یا بافت مردگی: این نوع مرگ در شرایط غیر طبیعی رخ می‌دهد. مانند بریدگی، ضربه، سوختگی و ...
 + مرگ برنامه‌ریزی شده سلول‌ها: فرایندهای دقیقاً برنامه‌ریزی شده است که در بعضی سلول‌ها و در شرایط خاص طبیعی یا غیر طبیعی ایجاد می‌شود.
 (۱) پگونگی انجام مرگ برنامه‌ریزی شده

+ این فرایند با رسیدن علائمی به سلول شروع می‌شود.
 + به دنبال این رخداد، در چند ثانیه آنزیم‌های تقریب کننده در سلول شروع به تجزیه اجزای سلول و مرگ آن می‌کنند.
 + انواع مرگ برنامه‌ریزی شده:

x مرگ برنامه‌ریزی شده طبیعی: شامل دو مورد زیر است.

- حذف سلول‌های پیر و فرسوده به صورت طبیعی مانند حذف گلبول‌های قرمز پیر و فرسوده در کبد و طحال

- حذف سلول‌های اضافی در ضمن فرایند رشد و نمو از بخش‌های عملکردی بدن مانند پرده‌های بین انگشتان پا

* نکته مهم این‌که، این پدیده در انسان و اغلب پرندگان رخ می‌دهد ولی در برخی پرندگان مانند اردک اتفاق نمی‌افتد!

x مرگ برنامه‌ریزی شده غیر طبیعی: شامل یک مورد زیر است.

- حذف سلول‌های آسیب دیده حاصل از پدیده آفتاب سوختگی

* به دلیل وجود اشعه فرابنفش، آفتاب سوختگی می‌تواند سبب آسیب به DNA سلول‌ها، جهش ژنتیکی و بروز سرطان شود.

* مرگ برنامه‌ریزی شده سلولی، با از بین بردن سلول‌های آسیب دیده، این سلول‌ها را حذف می‌کند.

(۲) موارد دیگری از مرگ برنامه‌ریزی شده

+ به وسیله لنفوسیت‌های کشنده طبیعی در خط دوم دفاع و ایمنی بدن

x با ترشح پروتئینی به نام پرفورین غیر اختصاصی، و با ایجاد منفذ و تزریق آنزیم مرگ برنامه‌ریزی به درون سلول‌های سرطانی و آلوده به ویروس

+ به وسیله لنفوسیت‌های T کشنده در خط سوم دفاع و ایمنی بدن

x با ترشح پروتئینی به نام پرفورین اختصاصی، و با ایجاد منفذ و تزریق آنزیم مرگ برنامه‌ریزی به درون سلول‌های سرطانی و آلوده به ویروس

x با ترشح پروتئینی به نام پرفورین اختصاصی، و با ایجاد منفذ و تزریق آنزیم مرگ برنامه‌ریزی به درون سلول‌های بافت یا اندام پیوند زده شده

+ به وسیله سالیسیلیک اسید که نوعی تنظیم کننده رشد در گیاهان است.

x پس از ورود ویروس به سلول گیاهی برای قطع ارتباط سلول آلوده به ویروس با سلول‌های سالم، باعث مرگ برنامه‌ریزی شده این سلول‌ها می‌شوند.

(۳) تفاوت بین سوختگی حاصل از کرما و آفتاب سوختگی

+ سوختگی حاصل از کرما و حرارت سبب مرگ سلول‌ها از طریق بافت مردگی می‌شود.

+ آفتاب سوختگی بر اثر اشعه فرابنفش سبب آسیب دیدن ماده ژنتیکی می‌شود.

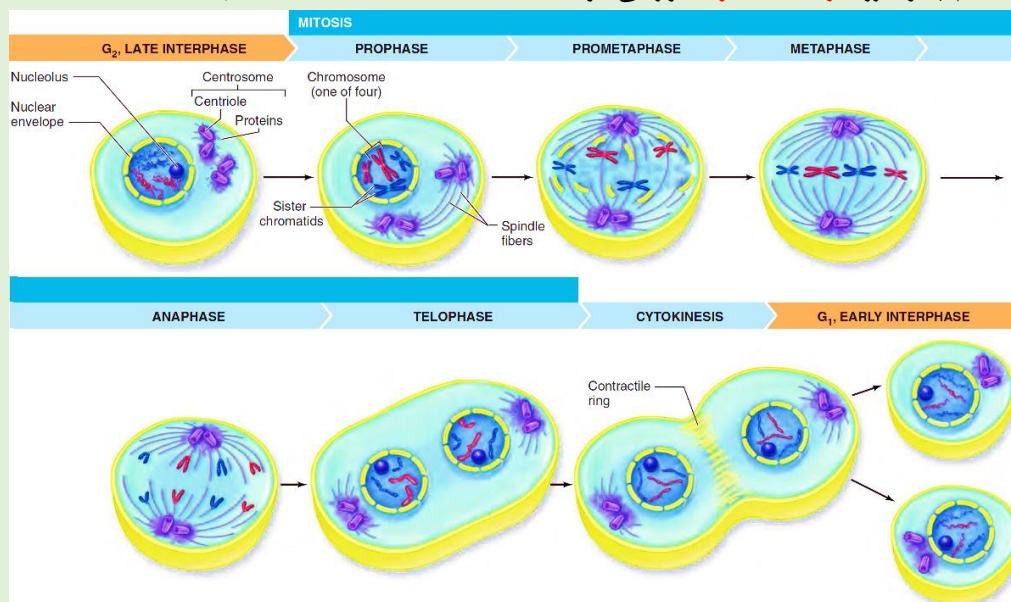
x بدن برای این‌که از شر این سلول‌های جهش یافته خلاص شود با فرایندهای مرگ برنامه‌ریزی آنها را از بین می‌برد.

فعالیت ۴

با استفاده از خمیر بازی (چند رنگ) و با رعایت موارد بهداشتی، مراحل تقسیم رشتمان را طراحی کنید. برای این کار، عدد فام‌تنی یاخته فرضی

را ۴ یا ۶ در نظر بگیرید. هر مجموعه فام‌تن را با یک رنگ انتخاب کنید و با توجه به این فعالیت به پرسش‌ها پاسخ دهید:

(الف) در متافاز فام‌تن‌های هم‌تا نسبت به هم چگونه روی رشته‌های دوک قرار می‌گیرند؟ بر خلاف میوز ۱ که کروموزوم‌های هم‌تا، پس از تشکیل تتراد، روی



دوک قرار می‌گیرند، در تقسیم

میتوز این کروموزوم‌ها مستقل و

بداگانه روی دوک قرار می‌گیرند.

(ب) با توجه به عدد فام‌تنی

انتخابی، تعداد فام‌تن‌ها و

فامینک‌ها را قبل و بعد از

رشتمان تعیین کنید. قبل از

میتوز تعداد کروماتیدها دو برابر

کروموزوم‌ها است، در حالی‌که بعد

از میتوز برابر می‌شوند

در گذشته با تولیدمثل جنسی و غیر جنسی آشنا شدید. با توجه به آنچه آموخته‌اید،

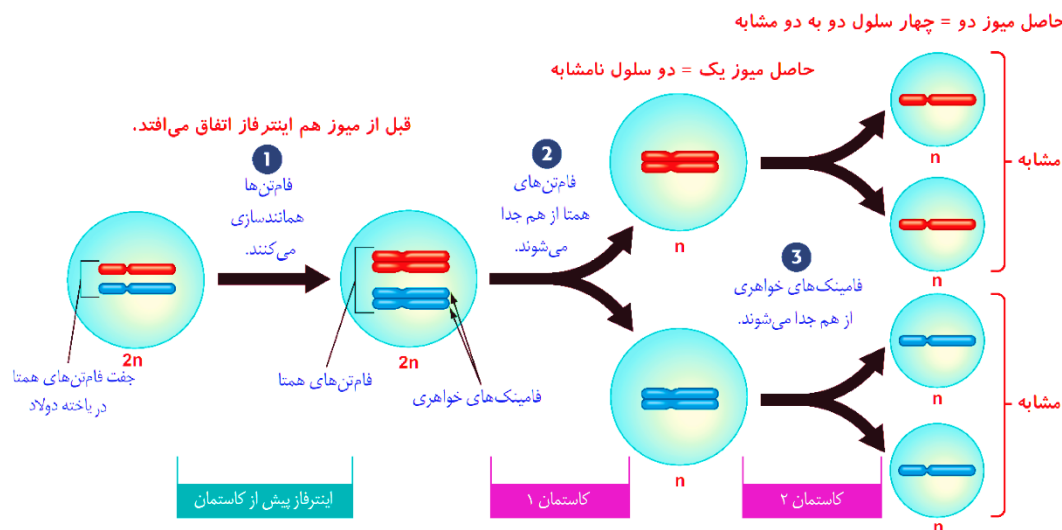
- ۱) چه تفاوت‌های اصلی در این دو نوع تولیدمثل وجود دارد؟ در صفات آینده این دو روش تولیدمثل را به طور کامل مقایسه می‌کنیم.
- ۲) هریک از این روش‌ها چه مزایایی دارد؟ در نوع جنسی تنوع زاده‌ها افزایش یافته و بقای جمعیت بیشتر می‌شود. ولی نوع غیر جنسی سرعت بالاتری دارد.
- ۳) چه روش‌های تولیدمثل غیر جنسی را می‌شناسید؟ دو نیم شدن (در پروکاریوت‌ها)، قطعه‌قطعه شدن، جوانه‌زدن، هاک‌زایی، قلمه زدن، پیوند زدن و ...
- ۴) کدام نوع تقسیم با تولیدمثل جنسی ارتباط بیشتری دارد؟ تقسیم میوز

کاستمان، کاهش تعداد فام‌تن‌ها

در تولیدمثل جنسی، دو یاخته جنسی (گامت) با هم ترکیب و هسته‌های آنها با هم ادغام می‌شوند. یاخته‌های مؤثر در تولیدمثل جنسی با نوعی تقسیم کاهش به نام تقسیم میوز یا کاستمان ایجاد می‌شوند.

به نظر شما اهمیت این نوع تقسیم در جانداران چیست؟ اگر این تقسیم انجام نشود، تعداد کروموزوم‌های افراد در هر نسل نسبت به نسل قبلی دو برابر می‌شد. کاستمان از دو مرحله کلی کاستمان ۱ و ۲ تشکیل شده است؛ پس از تقسیم هسته، تقسیم سیتوپلاسم نیز انجام می‌شود. (شکل ۱۴). پیش از این تقسیم نیز، مانند رشتمان، اینترفاز رخ می‌دهد.

نکته پالشی: پس از انجام میوز ۱ ممکن است تقسیم سیتوپلاسم یا سیتوکینز رخ ندهد (مانند گیاهان!) ولی بعد از اتمام میوز ۲ تماماً سیتوکینز رخ می‌دهد.



شکل ۱۴- طرح ساده‌ای از تقسیم کاستمان

۱) تبیه میوز ۱: زیاد دو سلول نامشابه با کروموزوم‌های دوکروماتیدی است که عدد کروموزومی آنها نسبت به سلول اولیه یا سلول مادر نصف شده است.

+ تبیه میوز ۱: زیاد دو سلول با دو نوع ترکیب ژنتیکی است.

۲) تبیه میوز ۲: سلول‌های حاصل از میوز ۱، زیاد دو سلول مشابه با کروموزوم‌های تک‌کروماتیدی است که عدد کروموزومی آنها نسبت به سلول حاصل از میوز ۱ ثابت مانده است.

+ تبیه میوز ۲: از دو سلول حاصل از میوز ۱، زیاد چهار سلول است که دو به دو مشابه هستند و بنابراین هم‌پتان دو نوع ترکیب ژنتیکی هستند.

کاستمان ۱

در این مرحله از تقسیم کاستمان، عدد فام‌تنی نصف می‌شود. اما کروموزوم‌ها دو کروماتیدی هستند. این بخش از کاستمان چهار مرحله دارد که عبارت‌اند از: پروفاز ۱، متافاز ۱، آنافاز ۱ و تلوفاز ۱ (شکل ۱۶).

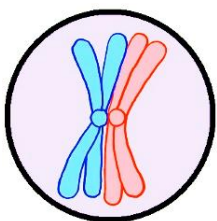
۱) پروفاز ۱: بر خلاف پروفاز میتوز، در پروفاز ۱ میوز فام‌تن‌های هم‌تا از طول در کنار هم قرار می‌گیرند و فشرده می‌شوند. به این

ساختار چهار فامینکی، چهارتایه (تتراد) گفته می‌شود. هر چهارتایه از ناحیه دو سانتومر خود به رشته‌های دوک

متصل می‌شود. سایر وقایع این مرحله، شبیه پروفاز و پرومتافاز رشتمان است (شکل ۱۵).

شکل ۱۵- طرح ساده‌ای از یک چهارتایه

هر تتراد از دو کروموزوم مضاعف شده، چهار کروماتید، چهار رشته کروماتین، چهار مولکول DNA و هشت رشته پلی‌نوکلئوتید تشکیل شده است.



(۱) **متافاز ۱:** بر خلاف متافاز میتوز که آرایش استوایی کروموزومها انجام می‌شد، در متافاز ۱ میوز چهارتایه‌ها در **استوای** یاخته، روی رشته‌های دوک قرار می‌گیرند.
(۲) **آنافاز ۱:** بر خلاف آنافاز میتوز که کروماتیدها از هم جدا می‌شدند، در آنافاز ۱ میوز فامتن‌های **همتا** که مضاعف شده‌اند، از هم جدا می‌شوند و به سمت **قطبین** یاخته حرکت می‌کنند. نحوه کوتاه شدن رشته‌های دوک، **شبه** فرایند رشتان است.

(۳) **تروفاز ۱:** با رسیدن فامتن‌ها به دو سوی یاخته، پوشش هسته دوباره تشکیل می‌شود.
سیتوکینز ۱: معمولاً در پایان کاستمان ۱ تقسیم سیتوپلاسم انجام می‌شود (مثلاً در جانوران). نتیجه کاستمان ۱ ایجاد دو یاخته است که از نظر ژنتیکی نامشابه هستند و از نظر کروموزومی نیز عدد کروموزومی آنها نصف شده ولی کروموزومها هم‌پتان دوکروماتیدی مانده‌اند. (شکل ۱۶).

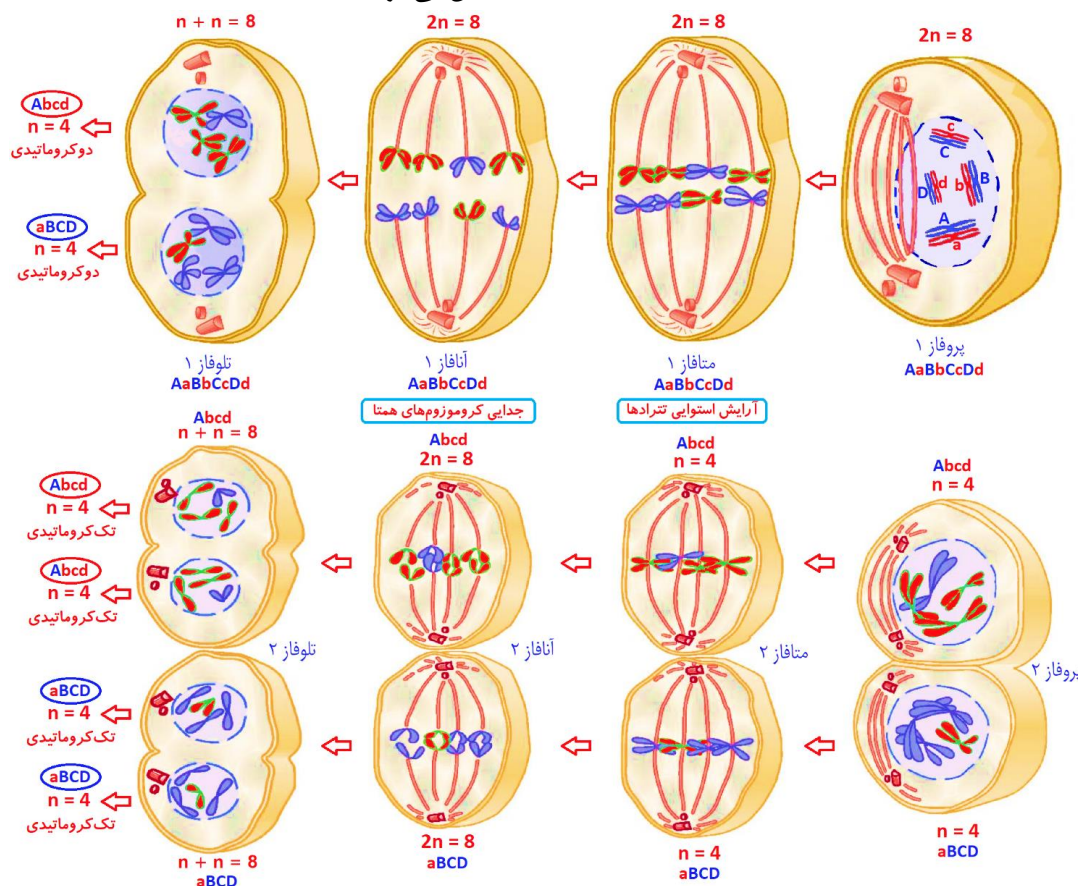
نکته پالشی: در صورتی که تقسیم سیتوپلاسم رخ ندهد، هر یک از هسته‌ها میوز II را ادامه می‌دهند. در فاصله بین میوز I و میوز II هر چند اینترفاز رخ نمی‌دهد اما ساتریول‌ها همانندسازی می‌شوند.

باتوجه به شکل ۱۶ می‌توانید بگویید عدد فامتنی یاخته‌های حاصل، چه تفاوتی با یاخته مادری دارد؟ همان طور که قبلاً هم گفته شد، عدد کروموزومی سلول‌های حاصل نسبت به سلول اولیه نصف شده است.

کاستمان ۲

در این مرحله هر یک از یاخته‌های حاصل از کاستمان ۱، مراحل **پروفاز ۲**، **متافاز ۲**، **آنافاز ۲** و **تروفاز ۲** را می‌گذرانند.
وقایع کاستمان ۲ بسیار شبیه رشتان است و در پایان آن، از هر یاخته دو یاخته شبه هم ایجاد می‌شود که نصف فامتن‌های یاخته‌های مادر را دارند. این فامتن‌ها مضاعف نیستند.

سیتوکینز II: در پایان کاستمان ۲، تماماً تقسیم سیتوپلاسم انجام می‌شود. در مجموع و با پایان تقسیم کاستمان از یک یاخته $2n$ ، چهار یاخته n فامتنی که دو به دو مشابه و هر کدام دارای کروموزوم‌های تک کروماتیدی است، حاصل می‌شود.



شکل ۱۶ - طرح ساده‌ای از مراحل تقسیم کاستمان

(۱) تفاوت‌های اصلی میوز و میتوز در موارد زیر است:

+ تشکیل تتراد در پروفاز I + آرایش استوایی تترادها در متافاز I

+ جدایی کروموزوم‌های همتا در آنافاز I + تشکیل پوشش هسته در اطراف کروموزومها در تروفاز I

(۲) هر کروموزوم با یک حرف نشان داده شده است. کروموزوم‌های پدری با حرف بزرگ و رنگ آبی و کروموزوم‌های مادری با حرف کوچک و رنگ قرمز قابل مشاهده هستند.

(۳) حاصل تقسیم میوز، از یک سلول اولیه، چهار سلول با کاهش عدد کروموزومی است که دو به دو مشابه هستند.

فعالیت ۵

۱- تقسیم کاستمان ۱ از نظر

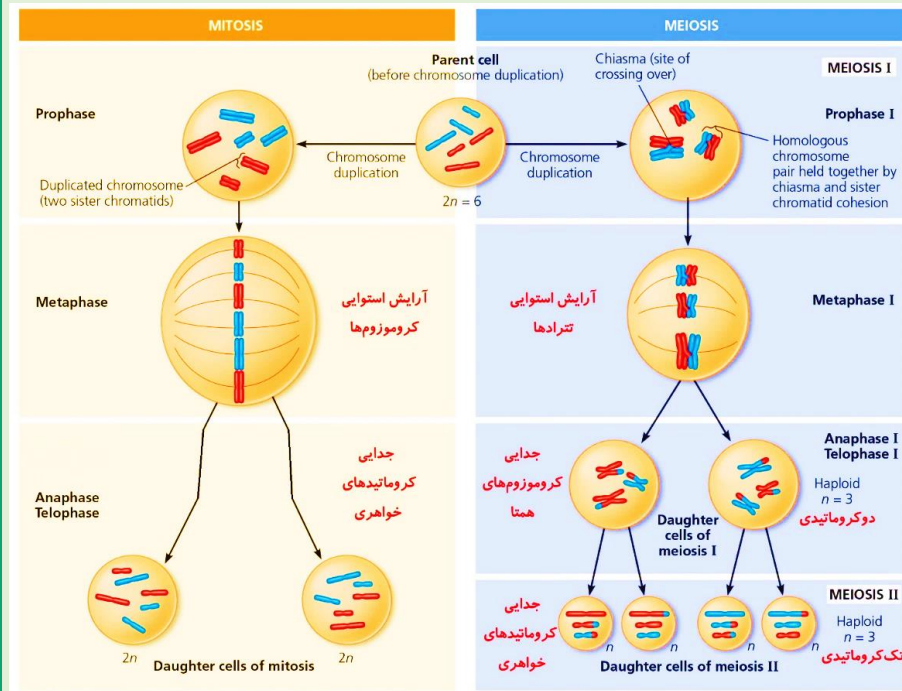
نحوه آرایش فامتن‌ها و جدا شدن آنها تفاوت اساسی با تقسیم رشتمان دارد. آیا می‌توانید با توجه به شکل‌های رشتمان و کاستمان، این تفاوت‌ها را بیان کنید؟

- + در متافاز میتوز کروموزوم‌های دیکروماتیدی روی رشته‌های دوک آرایش پیدا کرده است.
- x در آنافاز میتوز جدایی کروماتیدهای خواهری رخ داده است.
- + در متافاز میوز ۱ تترادها روی رشته‌های دوک آرایش پیدا کرده است.
- x در آنافاز میوز ۱ جدایی کروموزوم‌های همتا صورت می‌گیرد.
- + در پایان میتوز عدد کروموزومی ثابت مانده ولی در پایان میوز ۱ این عدد به نصف تقلیل یافته است.

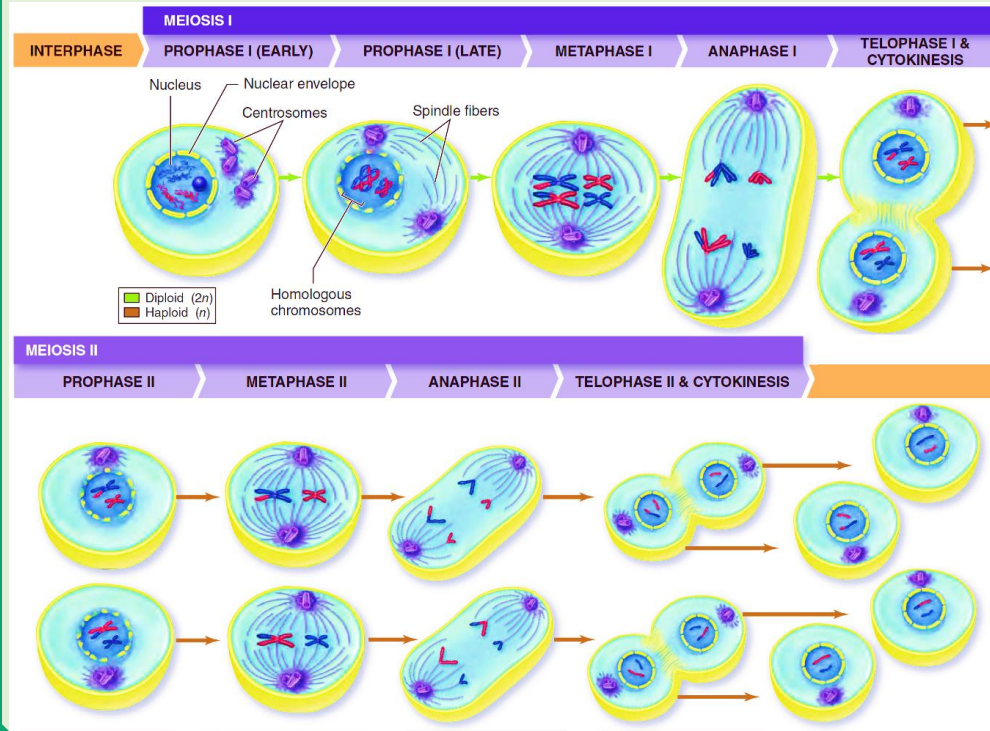
۲- تقسیم کاستمان ۲ را با تقسیم رشتمان مقایسه کنید. چه شباهت‌ها و تفاوت‌هایی بین این دو فرایند وجود دارد؟ این دو نوع تقسیم بسیار به هم شبیه هستند، تنها تفاوتی که وجود دارد این است که عدد کروموزومی سلول‌های نهایی نصف سلول اولیه یا مادر است.

۳- با استفاده از خمیر بازی و با رعایت موارد بهداشتی، طرح ساده‌ای از مراحل تقسیم کاستمان را بسازید. برای این کار، عدد فامتنی یاخته فرضی را ۴، ۶ و یا ۸ در نظر بگیرید. بهتر است که هر مجموعه از فامتن‌ها با یک رنگ انتخاب شوند.

نکته مهم: در میوز ممکن است قطعاتی از کروموزوم‌های همتا در ضمن پروفاز ۱ با همدیگر مبادله شود. این پدیده که باعث افزایش تنوع گامت‌ها می‌شود، در نهایت سبب افزایش تنوع ژنتیکی زاده‌ها نیز می‌گردد «کراسینگ‌اور» نامیده می‌شود.



۲- تقسیم کاستمان ۲ را با تقسیم رشتمان مقایسه کنید. چه شباهت‌ها و تفاوت‌هایی بین این دو فرایند وجود دارد؟ این دو نوع تقسیم بسیار به هم شبیه هستند، تنها تفاوتی که وجود دارد این است که عدد کروموزومی سلول‌های نهایی نصف سلول اولیه یا مادر است.



نکاتی در مورد تولیدمثال: تولید مثل به دو صورت غیر جنسی و جنسی دیده می‌شود.

(۱) تولیدمثال غیر جنسی: هم در پروکاریوت‌ها و هم در یوکاریوت‌ها انجام می‌شود.

+ در پروکاریوت‌ها: دو نیم شدن یا تقسیم دوتایی

+ در یوکاریوت‌ها: قطعه‌قطعه شدن، جوانه زدن، هاگزایی (البته با هاگ غیر جنسی)، قلمه زدن، پیوند زدن و ...

(۲) تولیدمثال جنسی: فقط در یوکاریوت‌ها دیده می‌شود. در این تولیدمثال گامت‌ها یا سلول‌های جنسی و زیگوت‌ها یا تهم‌ها نقش دارند.

+ گامت‌ها معمولاً حاصل تقسیم میوز هستند که معمولاً پس از لقاح با هم ترکیب شده و سلول زیگوت را به وجود می‌آورند.

x ممکن است گامت‌ها حاصل میتوز باشند مانند گامت‌های گیاهان و گامت‌های زنبور عسل نر

- زنبور عسل نر هاپلوئید بوده و خود حاصل بکرزایی زنبور عسل ماده یا همان ملکه است.

x زیگوت‌ها معمولاً با تقسیم میتوز به زاده‌های پرسلولی تبدیل می‌شوند.

x مقایسه تولیدمثل غیر جنسی و جنسی در یوکاریوت‌ها

ویژگی‌ها	تولیدمثل غیر جنسی	تولیدمثل جنسی
تعداد والد شرکت‌کننده در تولیدمثل	یک والد	یک یا دو والد
شرکت گامت یا سلول جنسی در تولیدمثل	غیر	بله
تنوع زاده‌های حاصل از تولیدمثل	بدون تنوع یا خیلی کم	معمولاً زیاد
شانس بقای جمعیت حاصل از تولیدمثل	خیلی کم	معمولاً زیاد
شباهت زاده‌ها با والد یا والدین	کاملاً مشابه یا خیلی زیاد	کمابیش متفاوت
نوع فرایند رخ داده در تولیدمثل	میتوز	میزوز و لقاح
سرعت انجام تولیدمثل	معمولاً زیاد	معمولاً کم
تعداد زاده‌های حاصل از تولیدمثل	معمولاً خیلی زیاد	معمولاً زیاد

نکاتی در مورد تقسیم میوز

۱) سلول‌های دارای توانایی تقسیم میوز: فقط در سلول‌های زوج‌پلوئید! (۲n, ۴n, ۶n, ۸n و ...) واقع در اندام‌های جنسی جانوران و گیاهان رخ می‌دهد.

+ این نوع تقسیم هیچ‌گاه در سلول‌های فردپلوئید! (n, ۳n, ۵n, ۷n و ...) اتفاق نمی‌افتد.

۲) سلول‌های حاصل از میوز: این سلول‌ها که گامت و هاگ! هستند، می‌توانند فردپلوئید یا زوج‌پلوئید (n, ۲n, ۳n, ۴n و ...) باشند.

۳) نتیجه تولیدمثل جنسی و لقاح: ابتدا سیتوپلاسم دو سلول جنسی (گامت) با هم ترکیب و سپس هسته‌های آنها با هم ادغام می‌شوند.

+ نکته پالشی: لازم به ذکر است تقسیم میوز در گیاهان منجر به تولید گامت یا سلول جنسی نمی‌شود.

x در گیاهان نتیجه نهایی تقسیم میوز ایجاد سلول‌هایی با نصف عدد کروموزومی به نام هاگ! است.

x این سلول‌ها با تقسیم میتوز گامت‌های نر (اسپرم‌ها) و ماده (تخمین‌ها) را به وجود می‌آورند!

۴) اهمیت تقسیم میوز: اگر این نوع تقسیم انجام نمی‌شد، تعداد کروموزوم‌های افراد در هر نسل نسبت به نسل قبل دو برابر می‌شد.

۵) مراحل تقسیم میوز: میوز از دو مرحله کلی میوز I و II تشکیل شده است.

+ وقوع اینترفاز: پیش از این تقسیم نیز، مانند میتوز، اینترفاز رخ می‌دهد.

+ وقوع سیتوکینز: پس از تقسیم هسته، تقسیم سیتوپلاسم نیز انجام می‌شود.

x پس از انجام میوز I ممکن است تقسیم سیتوپلاسم یا سیتوکینز رخ ندهد! مانند گیاهان

x پس از اتمام میوز II تماماً سیتوکینز رخ می‌دهد.

+ نتیجه تقسیم میوز:

x نتیجه میوز I: ایجاد دو سلول نامشابه با کروموزوم‌های دوکروماتیدی است که عدد کروموزومی آنها نسبت به سلول اولیه نصف شده است.

- به عبارت دیگر نتیجه این تقسیم، ایجاد دو سلول با دو نوع ترکیب ژنتیکی است.

x نتیجه میوز II: از هر یک از سلول‌های حاصل از میوز I، ایجاد دو سلول مشابه با کروموزوم‌های تک‌کروماتیدی است که عدد کروموزومی آنها نسبت

به سلول حاصل از میوز I ثابت مانده است.

- به عبارت دیگر نتیجه میوز II از دو سلول حاصل از میوز I، ایجاد چهار سلول است که دو به دو مشابه و هم‌پتان دو نوع ترکیب ژنتیکی هستند.

• نکته پالشی: در صورت وقوع پدیده کراسینگ‌اور این چهار نوع سلول هم متفاوت و چهار نوع ترکیب ژنتیکی خواهند بود.

نکاتی در مورد مراحل تقسیم میوز

۱) مراحل میوز I: در این مرحله از تقسیم، عدد کروموزومی نصف می‌شود. کروموزوم‌ها دوکروماتیدی هستند. چهار مرحله دارد.

+ مرحله پروفاز I

x نکته مهم: اتفاق مهم و متفاوت در تقسیم میوز نسبت به تقسیم میتوز نحوه آرایش کروموزوم‌ها در این مرحله و تشکیل ساختارهایی به نام تتراد است.

- تعریف تتراد: کروموزوم‌های هم‌تا ابتدا از طول در کنار هم قرار گرفته و سپس فشرده می‌شوند. به این ساختار چهار کروماتیدی، تتراد گفته می‌شود.

- اجزای تتراد: هر تتراد از دو کروموزوم مضاعف شده، چهار کروماتید، چهار مولکول DNA و هشت رشته پلی‌نوکلئوتید تشکیل شده است.

- **تعداد تتراد:** همواره در هر سلول یا توانایی تقسیم میوز، تعداد تترادها نصف تعداد کل کروموزومها است.

- **نکات دیگر تتراد:**

• کروموزومهای X و Y در انسان با آنکه کاملاً همتا نیستند ولی در مرحله پروفاز I میوز با یکدیگر تتراد تشکیل می‌دهند!

• هر تتراد از **ناحیه** دو سانترومر خود به رشته‌های دوک متصل می‌شود.

X سایر وقایع این مرحله، شبیه پروفاز و پرومتافاز میتوز است:

- تترادها به قدری فشرده می‌شوند که به تدریج با میکروسکوپ نوری می‌توان آنها را مشاهده کرد.

- ضمن فشرده شدن تترادها، **سانتریول‌ها** به دو طرف سلول حرکت می‌کنند و بین آنها دوک تقسیم تشکیل می‌شود.

- در این مرحله پوشش هسته **شروع** به تقریب شدن یا تجزیه شدن می‌کند.

- پوشش هسته و شبکه آندوپلاسمی به طور **کامل** تجزیه یا تقریب می‌شوند تا رشته‌های دوک بتوانند به تترادها **برسند**.

- در همین حال سانترومرهای کروموزومها به واسطه وجود پروتئین‌های **کینه‌توکور**! به رشته‌های دوک متصل می‌شوند.

+ مرحله متافاز I

X تترادها در **استوای سلول**، روی رشته‌های دوک قرار می‌گیرند.

- ردیف شدن تترادها در استوای سلولی به وسیله رشته‌های دوک **متصل** به آنها انجام می‌شود.

• به عبارت دیگر در این مرحله **تغییر طول** در این نوع رشته‌های دوک رخ می‌دهد.

+ مرحله آنافاز I

X **کروموزوم‌های همتا** و مضاعف شده، از هم **جدا** می‌شوند و به سمت **قطبین** سلول حرکت می‌کنند.

- با تجزیه پروتئین **اتصال** دهنده کروموزوم‌های همتای موجود در تترادها، این کروموزومها از هم **جدا** می‌شوند.

- در این مرحله همانند مرحله قبلی و بر خلاف میتوز و میوز II سانترومرها از **یک** طرف با رشته‌های دوک در تماس هستند.

X **نوع کوتاه شدن** رشته‌های دوک، شبیه فرایند میتوز است.

- **ابتدا** رشته‌های دوک متصل به سانترومرهای تترادها **کوتاه‌تر** شده، سپس کروموزومها از هم **فاصله** می‌گیرند.

- فاصله گرفتن کروموزوم‌های همتا با **کوتاه شدن** رشته‌های دوک متصل به آنها انجام می‌شود **نه** همه انواع رشته‌های دوک!

• حتی رشته‌های دوک **سرتاسری** در حال **طویل شدن** هستند تا شکل سلول از حالت کروی به **بیضی** تغییر نماید!

X **بر خلاف** متافاز میتوز و میوز II، تعداد کروموزومها نسبت به مرحله قبل دو برابر **نشده** و **ثابت** باقی می‌ماند.

X پروتئین‌های اتصال دهنده کروموزوم‌های همتا، به آمینو اسید تجزیه **نمی‌شوند**! بلکه در سیتوپلاسم **پراکنده** می‌شوند.

+ مرحله تلوفاز I

X با رسیدن کروموزومها به دو سوی سلول، پوشش هسته **دوباره** تشکیل می‌شود.

X رشته‌های دوک البته **نه** به طور کامل! تقریب یا تجزیه شده و کروموزوم‌های دوکروماتیدی **شروع** به باز شدن می‌کنند.

X کروموزومها به صورت **کروماتین** یعنی مرحله **اول** فشرده‌گی ماده وراثتی! در می‌آیند.

X پوشش هسته نیز مجدداً **تشکیل** می‌شود.

X در پایان تلوفاز یک، سلول، **دو** هسته **نامشابه** از نظر ژنتیکی دارد.

- عدد کروموزومی **هر** هسته هم **نصف** سلول اولیه یا مادر است.

X معمولاً در پایان میوز I **تقسیم سیتوپلاسم** نیز انجام می‌شود.

- در **جانوران** و **انسان**، در پایان میوز I، تقسیم سیتوپلاسم انجام می‌شود.

• نتیجه میوز I **ایجاد دو** سلول است که از نظر ژنتیکی **نامشابه** هستند.

• در **فاصله** بین میوز I و میوز II هر چند اینترفاز رخ **نمی‌دهد** اما **سانتریول‌ها** همانندسازی می‌شوند.

- در **گیاهان**، در پایان میوز I، تقسیم سیتوپلاسم انجام **نمی‌شود** و هر یک از **هسته‌ها**، میوز II را ادامه می‌دهند.

(۲) **مرحله میوز II:** در این مرحله هر یک از سلول‌های حاصل از میوز I، مراحل میوز II را می‌گذرانند. میوز II هم **چهار** مرحله دارد.

+ وقایع میوز II بسیار شبیه به فرایند میتوز است و در پایان آن، از هر سلول **دو سلول** **مشابه** ایجاد می‌شود.

+ این سلول‌ها نصف کروموزوم‌های سلول مادر را دارند. این کروموزوم‌ها مضاعف شده یا دوکروماتیدی نیستند.

+ در پایان میوز II، تماماً تقسیم سیتوپلاسم انجام می‌شود.

+ در پایان تقسیم میوز از یک سلول $2n$ ، چهار سلول n کروموزومی به وجود می‌آید که دو به دو مشابه و هر کدام دارای کروموزوم‌های تک‌کروماتیدی هستند.

تعداد کروموزوم، کروماتید و ... در مراحل پرتنه سلولی + میوز

(۱) جدول زیر تعداد کروموزوم‌ها، کروماتیدها، رشته‌های کروماتین، مولکول‌های DNA فسی، تعداد رشته‌های پلی‌نوکلئوتیدی تیمین دار فسی، تعداد سانتیول‌ها و

تعداد ریزلوله‌های شرکت کننده در ساختار سانتیول‌ها را در یک سلول انسان را در مراحل مختلف پرتنه سلولی (شامل میوز) نشان می‌دهد:

Cyt	Meiosis II				Cyt	Meiosis I				G_0	S	G_1	انسان
	tel	ana	met	Pro		tel	ana	met	Pro				
۲۳	۴۶	۴۶	۲۳	۲۳	۲۳	۴۶	۴۶	۴۶	۴۶	۴۶	۴۶	۴۶	کروموزوم‌ها
۲۳	۴۶	۴۶	۴۶	۴۶	۴۶	۹۲	۹۲	۹۲	۹۲	۹۲	۹۲	۴۶	کروماتیدها
۲۳	۴۶	۴۶	۴۶	۴۶	۴۶	۹۲	۹۲	۹۲	۹۲	۹۲	۹۲	۴۶	رشته‌های کروماتین
۲۳	۴۶	۴۶	۴۶	۴۶	۴۶	۹۲	۹۲	۹۲	۹۲	۹۲	۹۲	۴۶	مولکول‌های DNA
۲۳	۴۶	۴۶	۴۶	۴۶	۴۶	۱۸۴	۱۸۴	۱۸۴	۱۸۴	۱۸۴	۱۸۴	۹۲	رشته‌های پلی‌نوکلئوتید
۲	۴	۴	۴	۴	۲	۴	۴	۴	۴	۴	۲	۲	سانتیول‌ها
۵۴	۱۰۸	۱۰۸	۱۰۸	۱۰۸	۵۴	۱۰۸	۱۰۸	۱۰۸	۱۰۸	۱۰۸	۵۴	۵۴	ریزلوله‌های سانتیولی

(۲) همانطور که می‌بینیم تعداد کروموزوم‌ها و ژن‌ها در مراحل مختلف پرتنه سلولی به صورت زیر دچار تغییر می‌شود.

+ تعداد کروموزوم‌ها: در مرحله سیتوکینز I نصف، در آنافاز II دو برابر و در مرحله سیتوکینز دوباره نصف می‌شود.

+ تعداد ژن‌ها (و آلل‌ها): تعداد مولکول‌های DNA (ژن‌ها و آلل‌ها) در مرحله S اینترفاز دو برابر شده و در مراحل سیتوکینز I و II دوباره به حالت اول برمی‌گردد.

نکات دیگری در مورد تقسیم میوز

(۱) نحوه اتصال کروموزوم‌ها به رشته‌های دوک

+ در مرحله متافاز میتوز و متافاز میوز II به سانترومر هر کروموزوم دو رشته دوک متصل است.

+ در مرحله متافاز میوز I به سانترومر هر کروموزوم فقط یک رشته دوک متصل است!

+ در آنافاز همه تقسیم‌ها، هر کروموزوم فقط با یک رشته دوک در تماس است!

(۲) شباهت بین میتوز و میوز II:

+ برای این‌که شباهت‌های بین میتوز و میوز II را بهتر درک کنید به سؤال زیر توجه کنید.

سؤال) به نظر شما شکل زیر مربوط به کدام مرحله از چرخه سلولی است؟

متافاز میتوز در یک سلول $2n = 4$ نادرست

زیرا در این صورت می‌بایست کروموزوم هم‌تا وجود داشته باشد!

متافاز میتوز در یک سلول $n = 4$ درست

زیرا کروموزوم هم‌تا وجود ندارد!

متافاز میوز II در یک سلول $2n = 4$ نادرست

زیرا در این صورت می‌بایست دو کروموزوم وجود داشته باشد!

متافاز میوز II در یک سلول $n = 8$ درست

زیرا چهار کروموزوم غیر هم‌تا وجود دارد!

+ بنابراین می‌توان گفت تمام مراحل میتوز در یک سلول $n = 4$ مشابه تمام مراحل میوز II در یک سلول $2n = 8$ هستند.

به عبارت دیگر تمام مراحل میتوز در یک سلول $n = N$ مشابه تمام مراحل میوز II در یک سلول $2n = 2N$ هستند.

(۳) آرایش‌های متفاوت تترادها در متافاز I:

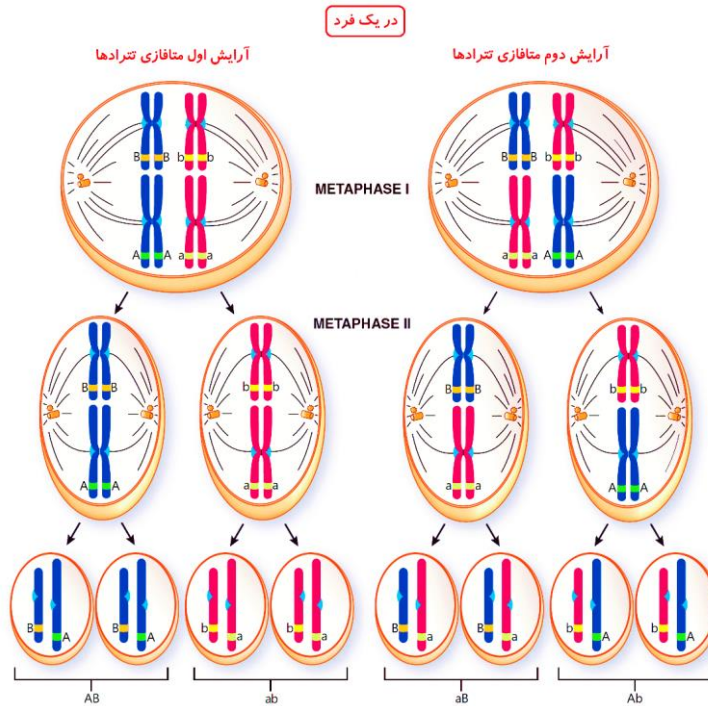
+ در تولیدمثل جنسی، هر والد از طریق گامت‌هایی که می‌سازد، نیمی از کروموزوم‌های خود را به نسل بعد منتقل می‌کند.

+ این‌که هر گامت کدام یک از کروموزوم‌های فرد یا سلول را دریافت و به نسل بعد منتقل می‌کند به آرایش تترادها در متافاز میوز I بستگی دارد.

x در متافاز میوز I، کروموزوم‌ها با آرایش‌ها یا حالت‌های مختلفی در سطح استوایی سلول قرار می‌گیرند.

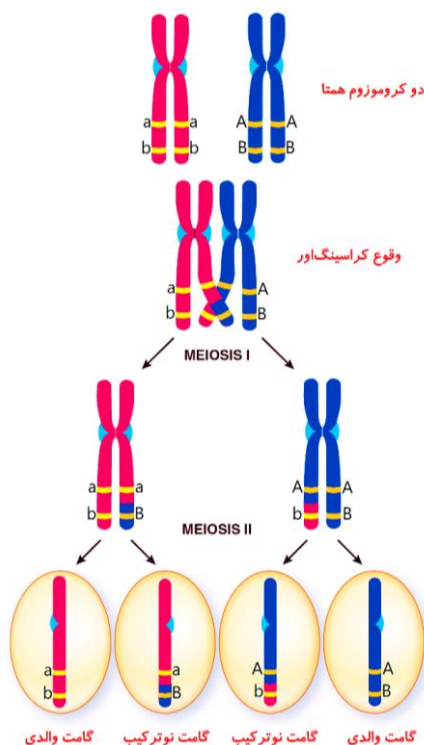
- آرایش‌های مختلف متافازی تترادها در میوز I، باعث تنوع آلی در گامت‌ها و نهایتاً تنوع ژنتیکی زاده‌ها می‌شود.

- ① یک فرد قادر است آرایش‌های مختلف تترادی را کسب نموده و بنابراین گامت‌های متنوعی را تولید کند.
- ② یک سلول فقط و فقط یکی از این آرایش‌های تصادفی را پیدا خواهد نمود و فقط قادر است یک یا دو نوع گامت تولید می‌کند.
- ✱ اگر این سلول متعلق به یک فرد نر باشد دو نوع گامت تولید خواهد نمود.
- ✱ اگر این سلول متعلق به یک فرد ماده باشد به دلیل تولید گویچه‌های قطبی، فقط یک نوع گامت تولید خواهد نمود.



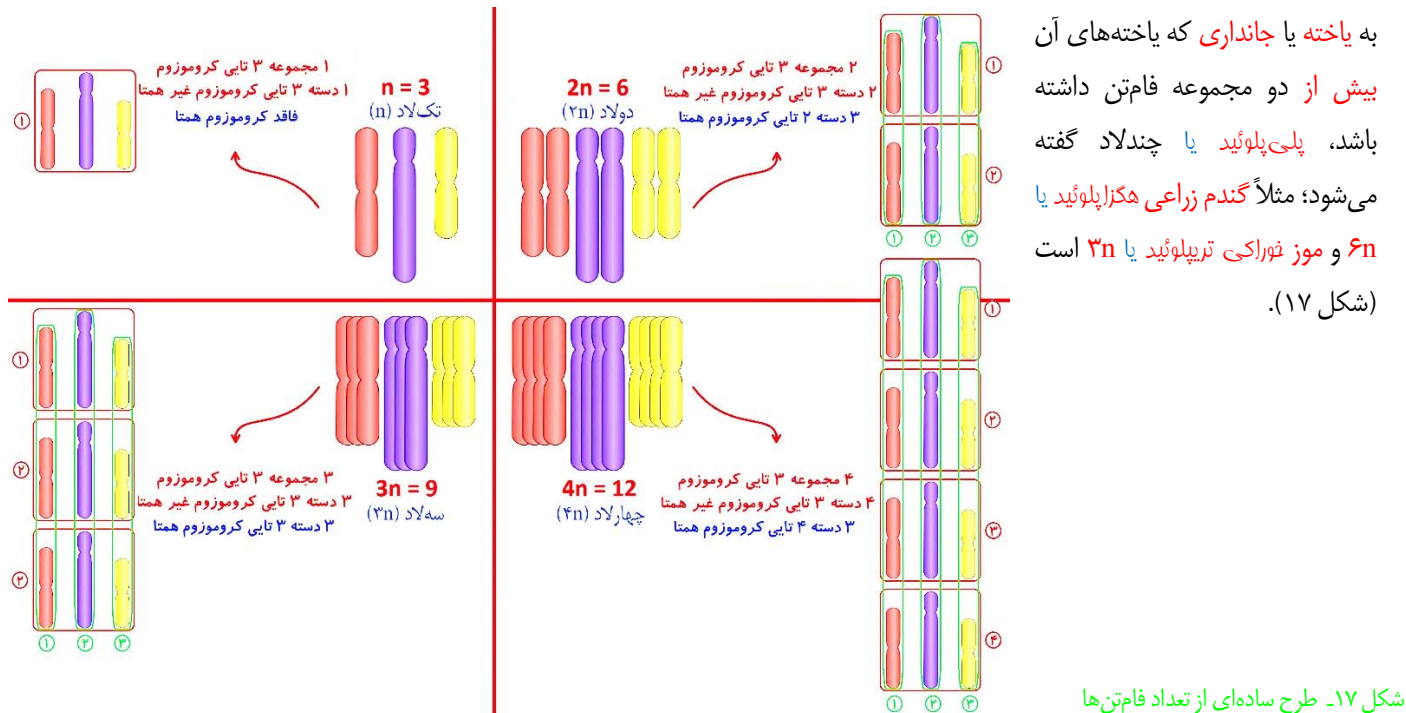
۱۴) نوترکیبی و پدیده کراسینگ‌اور در پروفاز I:

- + تعریف کراسینگ‌اور: در پروفاز میوز I، هنگام ایجاد تتراد، ممکن است قطعه‌ای کروماتیدهای غیرخواه‌ری مبادله شود. این پدیده را کراسینگ‌اور می‌گویند.
- x لازم به ذکر است قطعات مبادله شده در برگرفته جایگاه‌های ژنی یکسان هستند. هر چند ممکن است آلل‌های آنها متفاوت باشند!
- + نتیجه کراسینگ‌اور: اگر قطعات مبادله شده حاوی آلل‌های متفاوتی باشند، این پدیده، در نهایت منجر به تولید کروماتیدها و کروموزوم‌های نوترکیب می‌شود.
- x لازم به ذکر است دو کروموزوم دیگر والدی هستند به عبارت دیگر این کروموزوم‌ها، قبلاً در والدین وجود داشته‌اند.
- + نتیجه نهایی: گامت‌هایی که کروموزوم‌های نوترکیب را دریافت می‌کنند، گامت نوترکیب نامیده می‌شوند. نتیجه نهایی تولید گامت‌های نوترکیب است.



تغییر در تعداد فامتن‌ها

گرچه تقسیم یاخته‌ای به علت وجود نقاط واریسی، با دقت زیاد انجام می‌شود، ولی به ندرت ممکن است اشتباهاتی در روند تقسیم رخ دهد. (۱) **چندلادی** (پلی‌پلوئیدی) شدن و (۲) با هم ماندن فامتن‌ها، نمونه‌هایی از این خطاهای کاستمانی هستند. اشتباه در تقسیم می‌تواند، هم در تقسیم میتوز یا رشتان و هم در تقسیم میوز یا کاستمان رخ دهد، ولی چون یاخته‌های حاصل از کاستمان در ایجاد نسل بعد دخالت مستقیم دارند، از اهمیت بیشتری برخوردار است. (۱) **چندلادی شدن**: اگر در مرحله آنافاز همه فامتن‌ها بدون این که از هم جدا شوند به یک یاخته بروند، آن یاخته دو برابر فامتن خواهد داشت و یاخته دیگر فاقد فامتن خواهد بود. در آزمایشگاه و به صورت مصنوعی می‌توان با تخریب رشته‌های دوک تقسیم این وضعیت را ایجاد کرد (شکل ۱۷).



(۲) **با هم ماندن فامتن‌ها**: در این حالت، یک یا چند فامتن در مرحله آنافاز (میتوز یا رشتان و میوز یا کاستمان) از هم جدا نمی‌شوند. بنابراین، در یاخته‌های حاصل، کاهش یا افزایش یک یا چند فامتن مشاهده می‌شود (شکل ۱۸). نمونه این حالت، سندروم یا نشانگان داون است. به آمیزه‌ای از نشانه‌های یک بیماری، یا یک حالت نشانگان می‌گویند. افراد مبتلا به سندروم داون، در یاخته‌های پیکری خود ۴۷ فامتن دارند (شکل ۱۸). فامتن اضافی مربوط به شماره ۲۱ است؛ یعنی یاخته‌های پیکری این افراد ۳ فامتن شماره ۲۱ دارند. علت بروز این حالت آن است که یکی از گامت‌ها یا یاخته‌های جنسی یعنی یا تمک یا اسپرم! ایجاد کننده فرد، به جای یک فامتن شماره ۲۱، دارای دو فامتن ۲۱ بوده است. بالا بودن سن مادران در هنگام بارداری از عوامل مهم بروز این بیماری است؛ زیرا با افزایش سن مادر، احتمال خطای میوزی یا کاستمانی در تشکیل یاخته‌های جنسی وی بیشتر می‌شود. علت این موضوع را در فصل‌های آینده خواهید آموخت.



۳ عدد کروموزوم شماره ۲۱



۲ مجموعه کروموزوم = یک مجموعه ۲۳ تایی و یک مجموعه ۲۴ تایی
۲ دسته ۲۳ تایی و ۲۴ تایی کروموزوم غیر همتا
۲۲ دسته ۲ تایی و ۱ دسته ۳ تایی کروموزوم همتا

عوامل محیطی نیز می‌توانند موجب اختلال در تقسیم کاستمان شوند. دخیانیات، الکل، مجاورت با پرتوهای مضر و آلودگی‌های شیمیایی موجود در آب و هوا نیز می‌توانند در روند جدا شدن فامتن‌ها در هر دو جنس، اختلال ایجاد کنند.

شکل ۱۸ - کاریوتیپ یک فرد مبتلا به سندروم داون. آیا می‌توانید جنسیت این فرد را تشخیص دهید؟
دفتر است، چون در کاریوتیپ خود دو کروموزوم X دارد.

فعالیت ۶

با استفاده از منابع علمی، با انواع دیگری از بیماری‌های ناشی از با هم ماندن فام‌تن‌ها آشنا شوید و گزارش این بررسی را در کلاس ارائه کنید.

این ناهنجاری‌ها که جهش تعدادی نیز نامیده می‌شوند با استفاده از کاریوتیپ تشخیص داده می‌شوند. در این نوع جهش‌ها اغلب نطای میوزی یعنی پدیده جدا نشدن کروموزوم‌ها یا با هم ماندن کروموزوم‌ها در آنافاز I یا آنافاز II میوز در پدیده کامت‌زایی والدین رخ داده است.

(۱) جهش حذف یا مونوزومی: یک یا تعدادی کروموزوم از کاریوتیپ حذف می‌شوند. این نوع جهش‌ها حاصل لقاح گامت‌های طبیعی و گامت‌های غیر طبیعی با کاهش عدد کروموزومی بوده و چون ژن‌های زیادی حذف شده‌اند، اغلب کشنده هستند.

+ سندروم ترنر ($2n=45, XO$) که در زنان یافت می‌شود. این سندروم حاصل لقاح یک گامت طبیعی با یک گامت غیر طبیعی فاقد کروموزوم جنسی است.

گامت غیر طبیعی حاصل نطای میوزی در آنافاز I یا II یکی از والدین است.

(۲) جهش اضافه شدن یا تریزومی: یک یا تعدادی کروموزوم به کاریوتیپ اضافه می‌شوند. این نوع جهش‌ها حاصل لقاح گامت‌های طبیعی و گامت‌های غیر طبیعی با افزایش عدد کروموزومی هستند. اغلب این افراد زنده می‌مانند.

+ سندروم کلاینفلتر ($2n=47, XXY$) که در مردان یافت می‌شود. این سندروم حاصل لقاح یک گامت طبیعی با یک گامت غیر طبیعی دارای دو کروموزوم جنسی است.

گامت غیر طبیعی حاصل نطای میوزی در آنافاز I یا II یکی از والدین است.

+ سندروم ابرمرد ($2n=47, XYY$) که در مردان یافت می‌شود. این سندروم حاصل لقاح یک گامت طبیعی با یک گامت غیر طبیعی دارای دو کروموزوم جنسی است.

قطعاً گامت غیر طبیعی حاصل نطای میوزی در آنافاز II پدر است.

+ سندروم ایزرن ($2n=47, XXX$) که در زنان یافت می‌شود. این سندروم حاصل لقاح یک گامت طبیعی با یک گامت غیر طبیعی دارای دو کروموزوم جنسی است.

گامت غیر طبیعی حاصل نطای میوزی در آنافاز I یا II یکی از والدین است.

فعالیت ۷

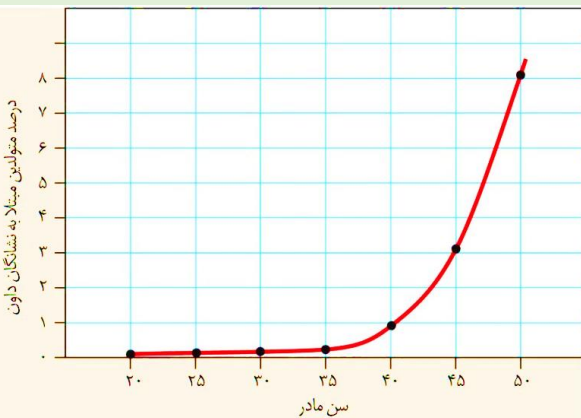
منحنی زیر، رابطه بین سن مادر در هنگام بارداری و احتمال به

دنیا آمدن فرزند مبتلا به نشانگان داون را نشان می‌دهد. منحنی را تفسیر کنید.

با افزایش سن مادر، احتمال تولد زاده‌هایی با سندروم داون بیشتر می‌شود.

در سنین کمتر از ۳۵ سال احتمال تولد چنین زاده‌هایی بسیار کم است ولی بعد از این سن، نمودار سیر صعودی به ثمر گرفته و نمایی می‌شود.

به عنوان مثال احتمال تولد چنین زاده‌هایی در یک مادر ۴۵ ساله، سه درصد و در یک مادر ۵۰ ساله، هشت درصد است! در حالی که احتمال تولد آنها برای مادران کمتر از ۳۵ سال کمتر از یک درصد است!



نکاتی در مورد تغییر در تعداد کروموزوم‌ها

(۱) علت این پدیده‌ها: اشتباه در آنافاز تقسیم سلولی است که در آن رشته‌های دوک به درستی عمل نمی‌کنند.

(۲) اشتباه در تقسیم سلولی: این تغییرات نتیجه اشتباه در آنافاز تقسیم میتوز، آنافاز تقسیم میوز I یا آنافاز تقسیم میوز II هستند.

+ اشتباه در آنافاز تقسیم میتوز: سلول‌های حاصل از میتوز در تولیدمثال رویشی یا غیر جنسی در ایجاد نسل بعد فعالیت دارند.

x اگر تغییر در تعداد کروموزوم‌ها در تقسیم میتوز یک موجود پرسلولی رخ دهد، سلول‌های حاصل اغلب به وسیله سلول‌های ایمنی از بین می‌روند!

x اگر تغییر در تعداد کروموزوم‌ها در مراحل اولیه جنینی یعنی مورولا و بلاستوسیت رخ دهد منجر به ایجاد زاده‌ای مورتالیک می‌شود.

- در این افراد تعدادی از سلول‌ها طبیعی و تعدادی غیر طبیعی بوده و دارای تعداد کروموزوم بیشتر یا کمتر نسبت به حالت عادی هستند.

+ اشتباه در آنافاز تقسیم میوز: سلول‌های حاصل از میوز فعالیت مستقیم در ایجاد نسل بعد داشته و از اهمیت بیشتری برخوردار هستند.

(۳) انواع اشتباه در تقسیم سلولی: شامل پلی‌پلوئیدی شدن و با هم ماندن کروموزوم‌ها است.

+ پلی‌پلوئیدی شدن

x علت: اگر در آنافاز همه کروموزوم‌ها از هم جدا نشده و به یک سلول بروند، آن سلول دو برابر کروموزوم و سلول دیگر فاقد کروموزوم خواهد بود.

- در آنافاز I جدایی کروموزوم‌های همتا و در آنافاز II جدایی کروماتیدهای خواهری اتفاق می‌افتد.

- اگر همه رشته‌های دوک متصل به کروموزوم‌ها در یک طرف کار نکنند منجر به تولید گامت‌های غیر طبیعی می‌شود.

- در این گامت‌ها، همه کروموزوم‌های سلول مادر را دریافت نموده و دارای کروموزوم همتا خواهند بود!

- به عبارت دیگر تعداد ژن‌ها و تعداد کروموزوم‌ها در این گامت‌ها و سلول مادر آنها یکسان است!

- اگر این گامت‌ها در لقاح شرکت نمایند منجر به تولید زاده‌ای پلی‌پلوئید می‌شود.

- در آزمایشگاه و به صورت مصنوعی می‌توان با تفریب رشته‌های دوک تقسیم این وضعیت را ایجاد کرد.

x سلول یا جاندار پلی‌پلوئید: به سلول یا جاندار که سلول‌های با بیش از دو مجموعه کروموزوم دارد، پلی‌پلوئید گفته می‌شود.

- مثال: گندم زراعی هگزاپلوئید یا $6n$ و موز تریپلوئید یا $3n$. عدد کروموزومی پایه در این دو گونه ۷ است، بنابراین:

* در گندم زراعی ($6n = 42$): ۶ مجموعه ۷ تایی کروموزوم، ۶ دسته ۷ تایی کروموزوم غیر همتا، ۷ دسته ۶ تایی کروموزوم همتا و ۱۲ تتراد

* در موز خوراکی ($3n = 21$): ۳ مجموعه ۷ تایی کروموزوم، ۳ دسته ۷ تایی کروموزوم غیر همتا، ۷ دسته ۳ تایی کروموزوم همتا و بدون تتراد!

+ با هم ماندن کروموزوم‌ها

x علت: اگر در آنافاز برنی از کروموزوم‌ها از هم جدا نشده و به یک سلول برونند، منجر به تولید گامت‌های غیر طبیعی با تعداد کروموزوم کمتر یا بیشتر می‌شود.

- در آنافاز I جدایی کروموزوم‌های همتا و در آنافاز II جدایی کروماتیدهای خواهری اتفاق می‌افتد.

* با هم ماندن کروموزوم‌ها در میوز I: در این صورت هر چهار گامت حاصل غیر طبیعی خواهند بود به طوری که در نیمی از آنها تعداد کروموزوم‌ها

بیشتر و در نیمی دیگر کمتر از حالت عادی خواهد بود.

* با هم ماندن کروموزوم‌ها در میوز II: در این صورت نیمی از گامت‌ها طبیعی و نیمی دیگر غیر طبیعی با کروموزوم اضافه و یا کم خواهند بود.

- اگر برنی از رشته‌های دوک متصل به کروموزوم‌ها در یک طرف کار نکنند منجر به تولید گامت‌های غیر طبیعی می‌شود.

* در این حالت ممکن است یک یا چند کروموزوم در مرحله آنافاز از هم جدا نشوند.

* در سلول‌های حاصل، کاهش یا افزایش یک یا چند کروموزوم مشاهده می‌شود.

* اگر این گامت‌ها در لقاح شرکت نمایند، منجر به تولید زاده‌ای با عدد کروموزومی غیر عادی می‌شود.

- سندروم داون: به آمیزه‌ای از نشانه‌های یک بیماری یا یک حالت، نشانگان می‌گویند.

* افراد مبتلا به سندروم داون یا تریزومی ۲۱، در سلول‌های پیکری خود ۴۷ کروموزوم دارند.

* علت بروز: یکی از گامت‌های ایجاد کننده فرد یعنی یا تمک یا اسپرم به جای یک کروموزوم ۲۱، دارای دو کروموزوم بوده است.

* عوامل بروز سندروم داون: بالا بودن سن مادر و عوامل محیطی

مانند دفتایات، الکلی، مجاورت با پرتوهای مضر و آلودگی‌ها

* با افزایش سن مادر، احتمال خطای میوزی در تشکیل

سلول‌های جنسی وی بیشتر می‌شود.

* در دوره جنینی، در تهمدان نوزادان دفتر تقسیم میوز

شروع شده و سلول‌های موجود در تهمدان در پروفاز I

متوقف شده‌اند.

* تقسیم میوز I برای این سلول‌ها در طی دوره جنسی

که پس از بلوغ یعنی حدود ۱۵ سالگی شروع می‌شود

ادامه پیدا می‌کند.

* تقسیم میوز II تنها در صورتی اتفاق می‌افتد که لقاح

شروع شده و غشای اسپرم و غشای تمک با همدیگر

ادغام شده باشد.

* گامت‌زایی تا دوره یائسگی (حدود ۵۰ سالگی) به

صورت ماهیانه یا هر ۱۲۸ روز یک بار انجام می‌شود.

بنابراین یک تقسیم کامل میوز در زنان حداقل ۱۵

سال و حداکثر ۵۰ سال به طول می‌انجامد! به همین

ناظر احتمال آسیب دیدن تمک‌ها بسیار بالا است.

