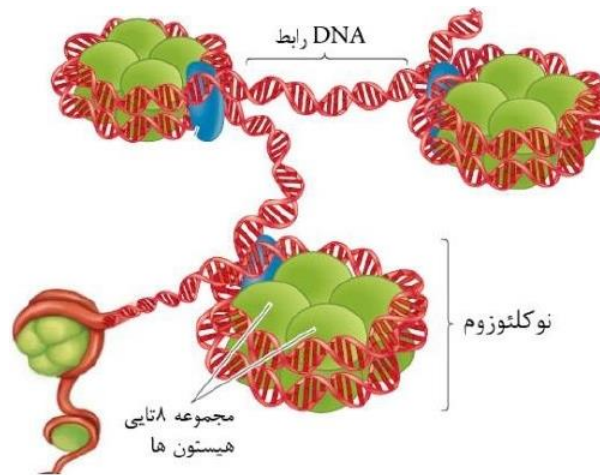


تقسیم یاخته



استاد آرزومند

آشنایی کوتاه با استاد آرزومند

کارشناس ارشد فیزیولوژی

کارشناس ارشد شیمی تجزیه

کارشناس زیست عمومی

مولف جزوات کنکوری و شب امتحان

دبیر زیست و شیمی تپریند و استان آذربایجان شرقی و غربی

DNA

مولکولی آلی است که صفات و ویژگی های هر جاندار را تعیین می کند. این مولکول آلی از دسته ی پلیمرها است. پلیمرها ترکیبات آلی درشتی هستند که از اتصال واحدهایی به نام مونومر به یکدیگر تشکیل می شوند. مونومرهای سازنده ی پلیمرها می توانند با یکدیگر کاملاً یکسان بوده و ممکن است متفاوت باشند. سلولز و نشاسته و گلیکوژن که پلی ساکارید هستند، از اتصال مونومرهای کاملاً مشابه و یکسان تشکیل شده اند. مونومر سه پلی ساکارید نام برده، مونوساکارید شش کربنی با نام گلوکز است. البته که تفاوت این سه نوع پلی ساکارید به علت تفاوت در نحوه ی اتصال مولکول های گلوکز در آنها است.

پروتئین ها

دسته ی دیگری از ترکیبات پلیمری هستند که در اغلب موارد بطور مستقیم صفات و ویژگی های یک جاندار را تعیین می کنند. مونومر پروتئین ها آمینواسید نام دارد. آمینواسیدهای موجود در پروتئینها ۲۰ نوع می باشند. البته این بدین معنی نیست که در هر پروتئین لزوماً هر بیست نوع آمینواسید وجود داشته باشد. هزاران نوع پروتئین در دنیای جانداران وجود دارد که ممکن است فقط تعدادی از آنها تمام بیست نوع آمینواسید را در ساختار خود داشته باشند. پروتئین ها کاربردهای بسیار مهم و متنوعی در دنیای جانداران دارند. برخی از این اعمال که با تعدادی از آنها نیز آشنا هستید عبارتند از :

عملکرد ساختاری: رشته های کلاژن و کشسان در بافتپیوندی

عملکرد دفاعی پادتن ها و گیرنده های آنتی ژنی و لیزوزیم

عملکرد حرکتی یا انقباضی ریز رشته های اکتین و میوزین

عملکرد نشانه ای چندین نوع از هورمون ها و گیرنده هایهورمونی و چندین نوع از آنتی ژنها

عملکرد ذخیره این آلبومین در تخمک پرندگان

عملکرد انتقال دهندگی هموگلوبین گلوبول قرمز و انواعی از کانال ها و ناقل ها و پمپهای غشایی

عملکرد آنزیمی: انیدراز کربنیک گلوبول قرمز

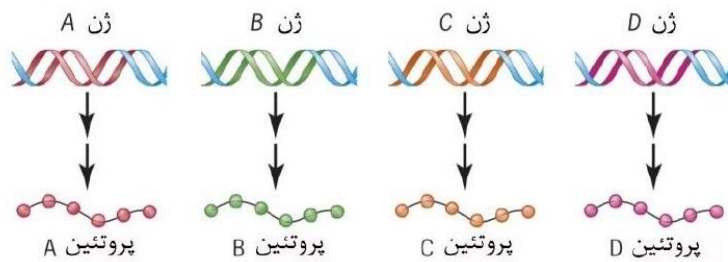
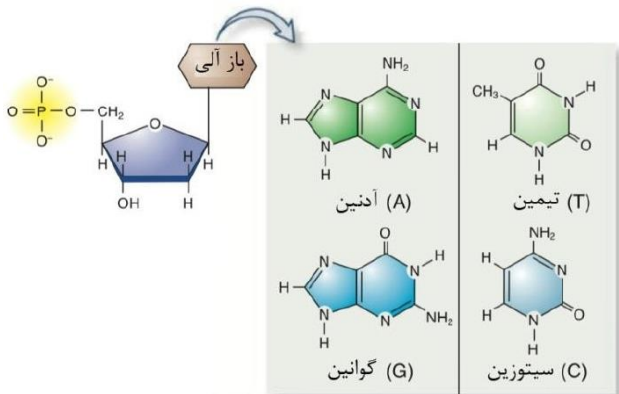
درست انجام شدن کار هر پروتئین به شکل و ساختار سه بعدی آن پروتئین بستگی دارد. درستی و صحت شکل سه بعدی هر پروتئین و در نتیجه درستی و صحت عملکرد آن، به تعداد و نوع و ترتیب آمینو اسیدهای آن بستگی دارد.

به این مثال توجه کنید: در انسان نوعی بیماری ژنتیکی با نام کم خونی گلوبول قرمز داسی شناسایی شده است.



با مقایسه ی بخشی از یک مولکول پروتئینی در دو فرد سالم و بیمار، فقط یک تفاوت می بینیم، آن هم قرار گیری یک آمینواسید به جای یک آمینواسید دیگر و خواهید خواند که همین جابجایی ساده چه نتایج وخیمی به دنبال خواهد داشت. پس می بینیم که ترتیب اتصال آمینواسیدهای پروتئین ها بسیار بسیار مهم است. منطقی است که برای رعایت درستی این ترتیب، باید الگو و

دستورالعملی وجود داشته باشد. الگوی ساخت دقیق و صحیح پروتئین ها مولکول DNA است، اما چگونه؟ DNA نیز جزو ترکیبات پلیمری است و مونومرهای آن نوکلئوتید نام دارند. با اتصال تعداد زیادی نوکلئوتید، زنجیره ی پلینوکلئوتیدی تشکیل می شود. هر مولکول DNA از دو زنجیره ی پلی نوکلئوتیدی که در کنار هم قرار می گیرند تشکیل می شود. این دو زنجیره با پیوندهای هیدروژنی در کنار یکدیگر باقی می ماند.



شکل ۲- مولکول DNA بالا: مدل مارپیچ مضاعف. پایین: توالی نوکلئوتیدها. می توانید رابطه ی بین نوکلئوتیدهای مقابل هم از دو رشته را بگویید؟

و اما نوکلئوتیدها در ساختار تمام انواع DNA که در جانداران مختلف وجود دارند فقط چهار نوع نوکلئوتید بعنوان مونومر یافت می شوند. در ساختار تمام این چهار نوع نوکلئوتید یک باز آلی نیتروژن دار دارد که نوع آن نوکلئوتید را تعیین می کند (شکل ۳). چهار نوع باز آلی نیتروژن دار عبارتند از: گوانین و آدنین و سیتوزین و تیمین.

شکل ۳- تنها قسمت متفاوت بین نوکلئوتیدهای DNA بازهای آلی آنها است. هر نوکلئوتید فقط یک نوع از چهار نوع باز آلی را دارد.

هر قدر که به صحت ترتیب آمینواسیدهای پروتئینها اهمیت دادیم همان قدر هم برای ترتیب نوکلئوتیدهای متصل به هم در DNA اهمیت قائل می شویم.

در اصل، ترتیب و توالی نوکلئوتیدهای موجود در DNA تعیین کننده ی ترتیب و توالی آمینواسیدها در پروتئینها است

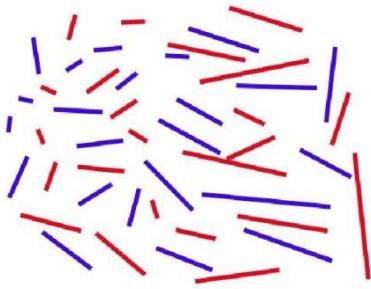
شکل ۴- بسیاری از ژنها از ترتیب ویژه ای که در نوکلئوتیدهای خود دارد، ترتیب آمینواسیدها و در نتیجه نوع پروتئین ها را تعیین می کنند.

تمام جانداران DNA دارند. موجودی که DNA نداشته باشد جاندار نیست. با این وجود، ویروسها موجودات بیجانی هستند که برخی از آنها DNA دارند. چنانچه در ترتیب نوکلئوتیدهای DNA یک جاندار تغییری ایجاد شود، ممکن است پروتئینی که از روی آن DNA الگوبرداری می شود نیز تغییر کند. بعدها در باره ی این موضوع که چرا تغییر DNA ممکن است منجر به تغییر پروتئین و صفت نشود، بیشتر بحث خواهد شد. پس بطور خلاصه این که از این به بعد بحث، با مولکولی سر و کار داریم که از دو زنجیره ی پلی نوکلئوتیدی تشکیل شده است و توالی نوکلئوتیدهای آن در اغلب موارد تعیین کننده ی توالی آمینواسیدها پروتئین های آن و در نهایت صفات و ویژگی های جاندار دارای آن مولکول DNA است.

انسان چقدر DNA دارد؟ طول مولکول DNA در انسان در حدود ۲ متر است!!! این رقم مقداری عجیب بنظر می رسد ولی عجیب تر این که طول DNA موجود در هسته هر سلول پیکر انسان حدود ۲متر است. یعنی با احتساب تعداد سلول های هسته دار در هر کدام از ما انسانها میلیاردها متر DNA وجود دارد. امکان است این سوال برای شما پیش بیاید که مثلا اگر ما هسته ی یک سلول ماهیچه یی انسان را در اختیار داشته باشیم، می توانیم از آن یک مولکول DNA دو متری به استخراج کنیم؟ پاسخ منفی است زیرا کمتر DNA موجود در هر هسته بصورت یک مولکول دو متری نیست DNA .

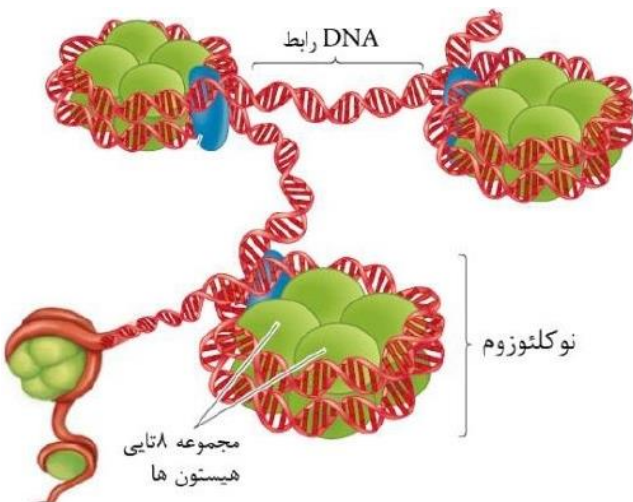
در هر هسته شامل چند قطعه است. مجموع قطعه های DNA در هر هسته دو متر است. در هسته ی سلول پیکری انسان ۴۶ قطعه DNA وجود دارد. مطمئنا توانستید بین عدد ۴۶ و انسان، ارتباط برقرار کنید. کمی بعد درباره ی این ارتباط بیشتر بحث خواهیم کرد. خواهید دید که اندازه ی قطعات DNA از نظم خاصی برخوردار هستند. به شکل ۵ توجه کنید. هر خط قرمز یا آبی بعنوان یکی از قطعه های DNA در نظر گرفته شده است. هیچ یک از DNA های قرمز با یکدیگر هم اندازه نیستند. هیچ یک از DNA های آبی نیز هم اندازه ی هم نیستند ولی هر یک از قرمزها با یکی از آبی ها هم اندازه است. پس قطعات DNA در هسته ی هر سلول هسته دار پیکر انسان دوتا دوتا هم اندازه های هم هستند و مجموع این ۴۶ قطعه حدود دو متر است.

شکل ۵-۴۶ قطعه مولکول DNA انسان. در این قطعات چه نظم و ترتیبی وجود دارد؟

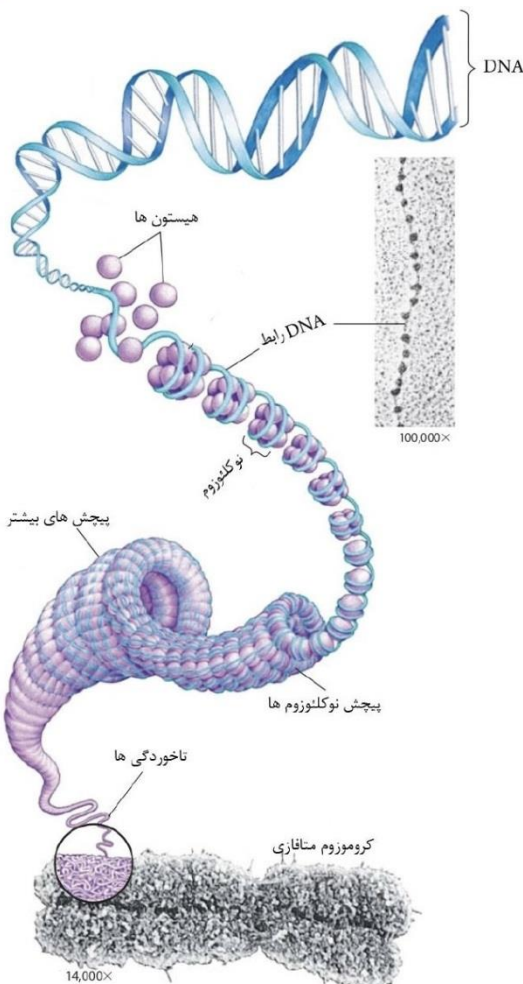


ژن DNA = ؟ یا DNA ژن؟

برای درک این مطلب کافی است که به یک قطار و واگن های آن توجه کنید. هر قطار از تعدادی واگن متوالی تشکیل شده و هر واگن، قطعه ای از یک قطار است. اگر یک قطعه مولکول DNA را یک قطار فرض کنیم، از چند ژن (واگن) متوالی تشکیل شده است. قطار، تعدادی واگن و هر واگن بخشی از یک قطار است. تعدادی ژن و هر ژن بخشی از یک مولکول DNA است. نتیجه این که DNA و ژن ماهیت یکسانی دارند.



دستورالعمل های موجود در DNA همیشه مورد استفاده قرار نمی گیرند. برای زندگی سلول می توانیم دو حالت مهم را در نظر بگیریم. برهه ای که سلول در حال تقسیم شدن است و برهه ای که سلول در حال تقسیم شدن نیست. اطلاعات DNA ژن ها) زمانی مورد استفاده قرار میگیرند که سلول در حال تقسیم شدن نباشد. شکل حضور DNA در دو مرحله ی زندگی سلول متفاوت است. وقتی سلول در حال تقسیم نیست و مشغول زندگی عادی و کارهای خود و یا حتی در حال آماده شدن برای تقسیم است، مادهی وراثتی در هسته بصورت کروماتین مشاهده میشود. کروماتین حالتی است که DNA فشرده است و در کل بشکل رشته های نخ مانند و پراکنده در هسته دیده میشود. تشکیل کروماتین از DNA طی چند مرحله انجام می شود. اولین مرحلهی تشکیل کروماتین، پیچش مولکول DNA به دور ترکیباتی موسوم به هیستونها است.



شکل ۶- DNA به منظور تشکیل هر نوکلئوزوم، بطور متوالی حدود دو دور به دور هشت مولکول هیستون می پیچد.

هیستون ها مولکول های پروتئینی هستند که مجموعه های تایی تشکیل می دهند. در اولین گام تشکیل کروماتین، هر قطعه از مولکول DNA با فواصل نسبتاً منظمی، حدود ۲ دور به دور هشت مولکول هیستون می پیچد. این پیچش در تمام قسمت های DNA انجام نمی شود. در محل هایی که DNA به دور هیستون ها می پیچد، مجموعه ی هیستون-DNA، نوکلئوزوم نام دارد. رابط بخش هایی از DNA است که به دور هیستون ها نپیچیده است و رابط بین نوکلئوزومها به حساب می آید (شکل ۶). پس از این مرحله، پیچ خوردگی ها و تاخوردگی های بیشتر و نسبتاً منظمی در کل مجموعه رخ داده و کروماتین ایجاد می شود (شکل ۷). لازم به ذکر است که حالت کروماتینی بیشترین فشردگی مادهی وراثتی نیست.

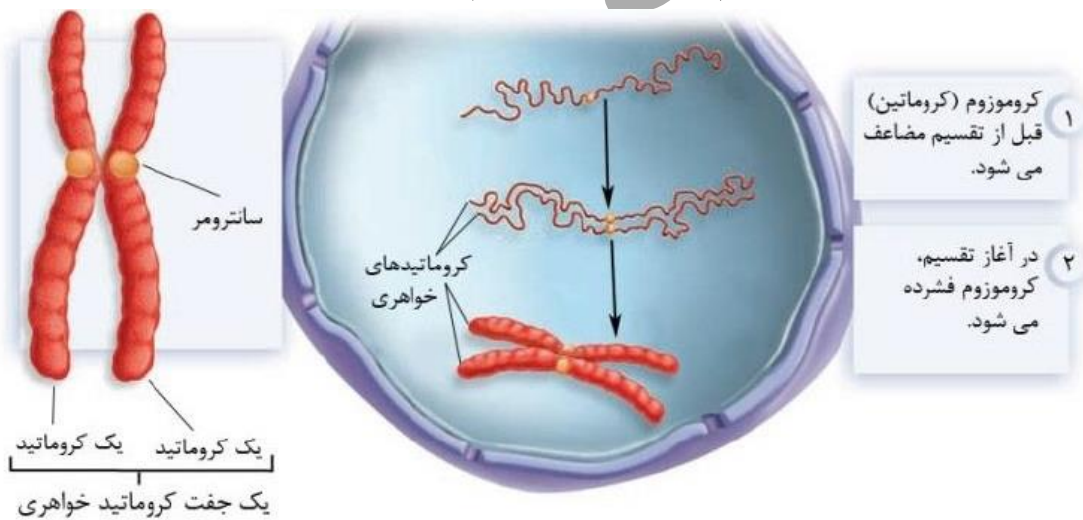
شکل ۷- پس از تشکیل نوکلئوزومها، به ترتیب پیچش ها و تاخوردگی های بیشتری در کل ساختار ایجاد می شوند. در ساختار هر نوکلئوزوم دو نوع پلیمر وجود دارد.

زمانی که سلول در حال تقسیم باشد، کروماتین به بیشترین مقدار فشردگی خود رسیده و به حالت کروموزوم درآمده و توسط میکروسکوپ نوری به راحتی مشاهده

و شمرده می شود. البته لازم به ذکر است که کروماتین همان کروموزوم کم تراکم است. کروماتین قابل شمارش نیست. پس تعداد کروموزومهای هر جاندار را زمانی می توانیم شمارش کنیم که سلول در حال تقسیم است. پس ما قادر به مشاهده و شمارش کروموزومهای سلول هایی که تقسیم نمی شوند نخواهیم بود.

کروموزومها بطور کلی در دو شکل یافت می شوند. هر کروموزوم (فارغ از متراکم بودن یا نبودن) یا تک کروماتیدی است یا دوکروماتیدی. کروماتید یک اصطلاح ساختاری است و در اصل هر یک از اجزای تشکیل دهنده ی یک کروموزوم مضاعف است. کروموزوم دوکروماتیدی (کروموزوم مضاعف) زمانی وجود دارد که سلول تصمیم به تقسیم گرفته یا در حال طی کردن مراحل از تقسیم است. در هر کروموزوم تک کروماتیدی یک مولکول DNA وجود دارد. مولکول DNA با عملی به نام همانندسازی، تبدیل به دو مولکول DNA می شود. حالا هر کدام از DNAهای حاصل از همانندسازی در هر یک از کروماتیدهای کروموزوم دوکروماتیدی یافت می شوند. پس آنچه که موجب دو کروماتیدی شدن کروموزوم تک کروماتیدی می شود، عمل همانندسازی است.

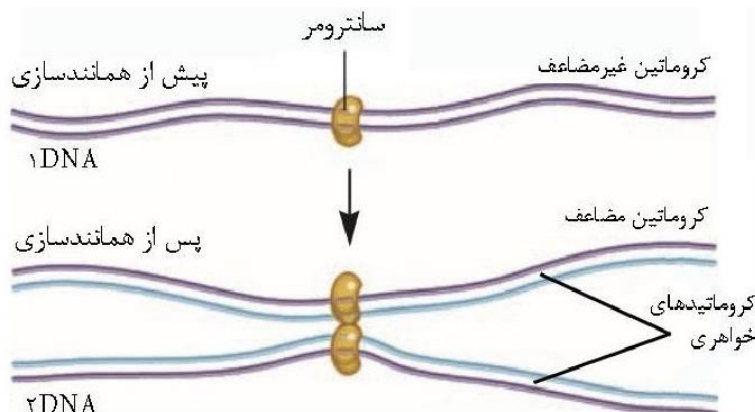
کروموزوم (کروماتین) قبل از تقسیم مضاعف می شود.



شکل ۸- اگر کروموزوم را در فشرده ترین حالت می بینیم، حتماً دوکروماتیدی است. برای همانندسازی، کروموزوم لزوماً حالت کروماتینی دارد. در هر کروماتید یک مولکول DNA وجود دارد. در سلول انسان اگر همانندسازی انجام شده باشد، حدود ۴ متر DNA وجود دارد. به شکل ۸ توجه کنید. همانندسازی تعداد کروموزوم ها را تغییر نداده و فقط موجب دوبرابر شدن تعداد مولکولهای DNA می شود. کروماتیدهای موجود در هر کروموزوم مضاعف در محلی به نام سانترومر به یکدیگر متصل هستند. تعداد سانترومر در هر کروموزوم یک عدد است خواه کروموزوم مضاعف باشد، خواه غیر مضاعف.

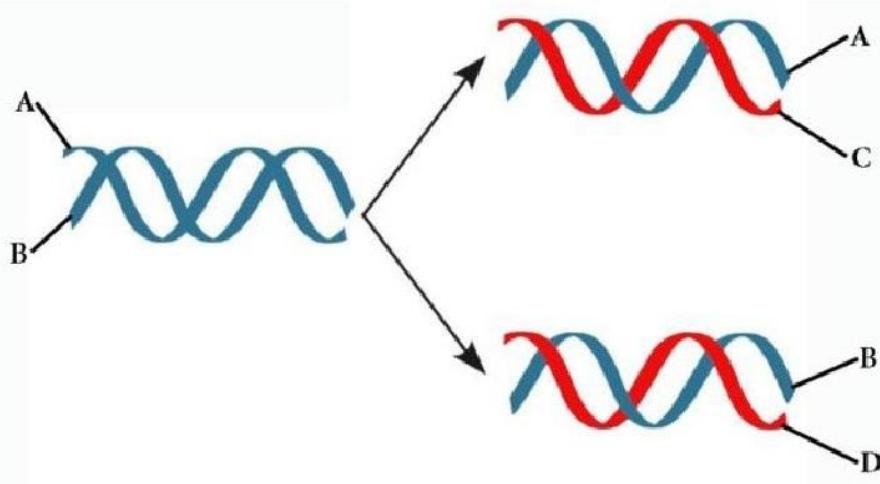
ذکر این نکته ضروری است که کروموزوم مضاعف حاصل متصل شدن دو کروماتید به یکدیگر نیست بلکه حاصل ایجاد دو کروماتید از یک کروماتید است. بعدها خواهید خواند که همانندسازی DNA اینگونه نیست که مولکول DNA ای داشته باشیم و مولکول DNA دیگری نیز ساخته شود، بلکه مولکول DNA موجود با سازوکار نیمه حفظ شده، در ساخته شدن دو مولکول DNA شرکت می کند و هر دو رشته ی پلی

نوکلئوتیدی آن در هر دو مولکول DNA حاصل از همانندسازی وجود دارد (شکل ۹).



شکل ۹ DNA - موجود در هر کروماتید کروموزوم مضاعف، یک رشته ی پلی نوکلئوتیدی قدیمی و یک رشته ی پلی نوکلئوتیدی جدید دارد.

یادآوری می شود که در صورت همانندسازی و مضاعف شدن کروموزوم های انسان، طول مولکول DNA، ۴ متر است. این ۴ متر DNA در قالب ۹۲ قطعه یافت میشود. ۹۲ قطعه DNA در چهار دسته ی ۲۳ تایی غیرهم اندازه وجود دارند و چهار تا چهارتا هم اندازه هستند. به علت سازوکار نیمه حفظ شده در همانندسازی DNA، در هر یک از مولکولهای DNA حاصل از همانندسازی، یک رشته قدیمی و یک رشته ی جدید (نوساز) وجود دارد. به شکل ۱۰ توجه کنید.

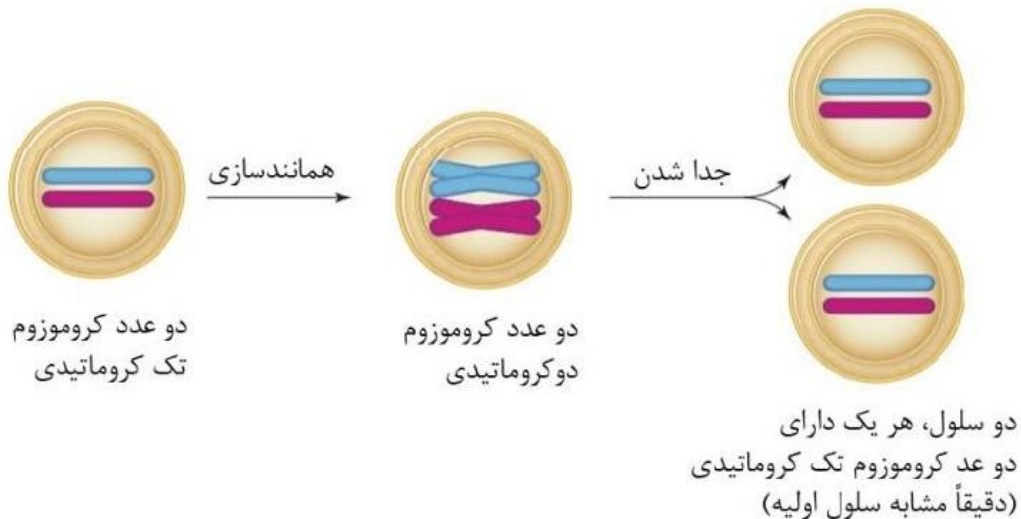


شکل ۱۰- همانندسازی نیمه حفظ شده DNA.

رشته های C و D هم سن هستند. سن C کمتر از A و سن D کمتر از B است. رشته های B و A هم سن نیستند چون در همانندسازی که موجب ساخته شدن DNA اولیه شده بوده، یکی از آنها الگو بوده و رشته دیگر از روی آن ساخته شده

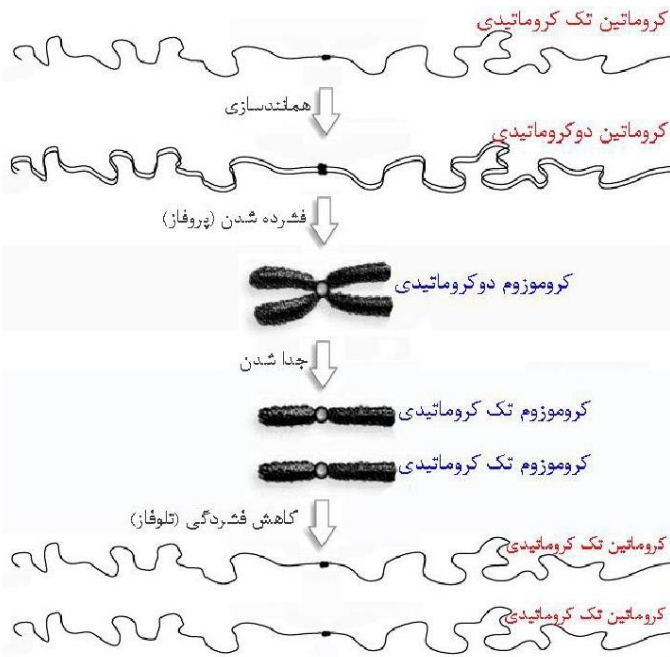
است. در این شکل نمی توان قضاوت کرد که کدام رشته الگو و کدام رشته نوساز بوده اند. پس می توان گفت که رشته های پلی نوکلئوتیدی موجود در یک کروموزوم مضاعف از سه رده ی سنی متفاوت برخوردار هستند.

علت مضاعف شدن اندازهی کروموزوم ها چیست؟ سلولی را تصور کنید که دو عدد کروموزوم دارد و باید تقسیم شود و دو سلول جدید با نام سلول های دختری ایجاد کند (شکل ۱۱). مهم ترین اتفاقی که باید به درستی بیفتد این است که هر یک از دو سلول حاصل نیز باید دو عدد کروموزوم، دقیقاً مشابه با کروموزومهای سلول مادری (سلول والدی) داشته باشند.

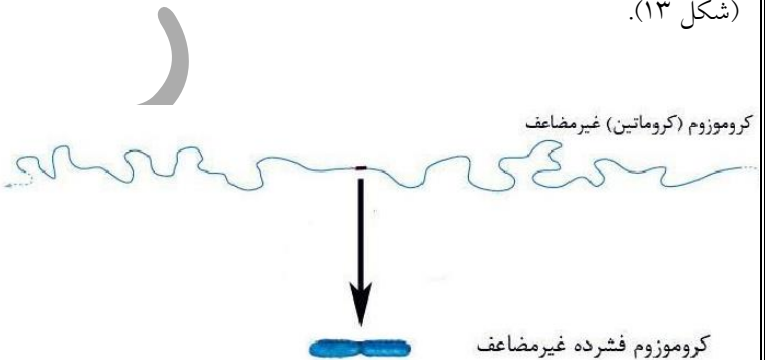


شکل ۱۱- تقسیم سلول دو مرحله ی مهم دارد. مضاعف شدن اندازهی کروموزوم ها و جدا شدن کروماتیدهای خواهری. اولین گام، همانندسازی است. با همانندسازی که در DNA موجود در هر کروموزوم (کروماتین) غیر مضاعف رخ می دهد، کروموزوم از حالت غیر مضاعف به حالت مضاعف تبدیل می شود. طی همانندسازی، تعداد کروموزوم ها تغییر نمی کند و فقط تعداد DNA دوبرابر می شود. در شکل (۱۱) پیش از همانندسازی ۲ عدد کروموزوم (غیر مضاعف) و پس از همانندسازی ۲ عدد کروموزوم (مضاعف) دیده می شود. کروموزوم مضاعف به اندازه ی دوبرابر کروموزوم غیر مضاعف، DNA دارد. برای رسیدن از یک کروموزوم مضاعف به دو کروموزوم غیر مضاعف، کافیست کروماتیدهای خواهری سازنده ی آن از یکدیگر جدا شوند. این کار طی تقسیم انجام میشود (شکل ۱۲).

شکل ۱۲- کارهایی که انجام می شوند تا از یک کروماتین به دو کروماتین برسیم.



لازم به یادآوری است که همانندسازی فقط و فقط زمانی انجام می شود که کروموزوم ها تراکم بالایی نداشته و کروماتین باشند. کمترین فشردگی مادهی وراثتی در مرحلهی همانندسازی است. نکته ی بسیار مهم که باید به آن اشاره شود این است که چنانچه کروماتینی در حال فشرده شدن و تبدیل شدن به حالت کروموزومی است، حتما (۱۰۰) مضاعف شده است (شکل ۱۳).



شکل ۱۳- این عمل امکان ندارد. وقتی کروماتین فشرده تر می شود تا کروموزوم تشکیل شود، حتما باید مضاعف شده باشد.

تعداد کروموزومها

هر جاندار چه تعداد کروموزوم در هسته ی سلول های خود دارد؟ برای پاسخ به این پرسش، بر روی جانوری مثل انسان تمرکز می کنیم. در انسان دو دسته سلول یافت می شود. دسته ای از سلولها سازنده ی بافت های انسان بوده و موسوم به سلولهای پیکری (سوماتیک یا غیرجنسی) هستند، مانند سلول های ماهیچه ای، پوست، چربی و سلول های دیگر موسوم به سلول های جنسی هستند و در فرایند تولیدمثل شرکت می کنند، مانند سلول های اسپرم در مردان) و تخمک (در زنان). سلول های جنسی جزو هیچ یک از بافت ها نبوده و بخشی از پیکر فرد محسوب نمی شوند چون طبیعت آنها این است که تولید و از بدن خارج بشوند.

در هسته ی سلول های پیکری انسان ۴۶ کروموزوم وجود دارد. هر یک از این ۴۶ کروموزوم نتیجه ی تغییرات مرحله به مرحله ی یک قطعه DNA است. همان طور که می دانید این تغییرات شامل فشرده و فشرده تر شدن هستند. تعداد کروموزومها در هسته سلولهای پیکری مگس خانگی، موش، گربه، سگ و ذرت به ترتیب ۱۲، ۴۰، ۳۸، ۷۸ و ۲۰ عدد است. هر گونه از جانداران یوکاریوت دارای تعداد مشخصی کروموزوم است ولی یک عدد کروموزومی متعلق به یک گوندی خاص نیست. بعنوان مثال انسان ۴۶ کروموزوم دارد ولی فقط انسان نیست که ۴۶ کروموزوم داشته باشد. تعداد کروموزومهای سلول های پیکری و هسته دار گیاه زیتون نیز ۴۶ کروموزوم دارند. مثال دیگر: تعداد کروموزوم های سیب زمینی ۴۸ عدد است و شمپانزه و آلو هم ۴۸ کروموزوم دارند.

یکسان بودن تعداد کروموزومها در جانداران مختلف نباید به معنای یکسان بودن و یا حتی نزدیک بودن آن گونه ها تصور شود. همانگونه که یکسان بودن تعداد صفحات دو کتاب دلیلی بر یکسان بودن محتوای آن دو کتاب نیست. شباهت و تفاوت جانداران بر اساس شباهت و تفاوت ژنهای (مولکول DNA) آنها است. البته بعدها خواهید دید که در سلول های انسان و زیتون نیز ویژگیهای مشترکی وجود دارد.

کروموزوم های هومولوگ (همتا)

دانستید که در هسته ی هر سلول پیکری و هسته دار انسان در بیشتر مواقع ۴۶ قطعه DNA وجود دارد و دیدید که هر کدام از قطعه ها با فشردگیهای حساب شده ای تبدیل به یک کروموزوم می شوند. در این صورت ۴۶ کروموزوم انسان را می توان به این صورت در نظر گرفت: دو

دسته ی ۲۳ تایی که در هر دسته ی ۲۳ تایی، هیچ کروموزومی هم اندازهی کروموزوم دیگری نیست و هر کروموزوم از هر دسته ی ۲۳ تایی هم اندازه ی یک کروموزوم از دسته ۲۳ تایی دیگر است.

به کروموزومهایی که از نظر اندازه، شکل، محل سانترومر و محتوای ژنتیکی مشابه هم باشند، کروموزومهای هومولوگ یا کروموزومهای همتا گفته می شود. کمی پس از این درباره ی این مطلب بحث خواهیم کرد که کروموزومهای چه سلولهایی همتا دارند.



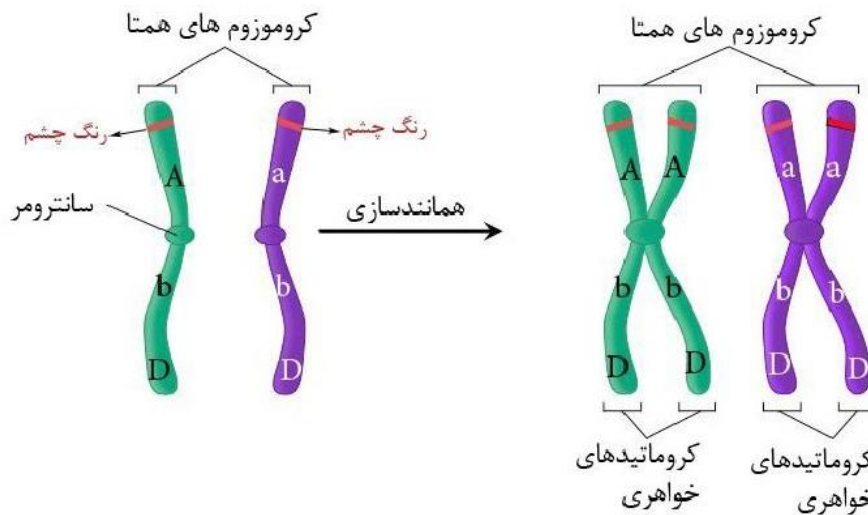
شکل ۱۴- دو عدد (یک جفت) کروموزوم همتا.



در شکل ۱۴ دو عدد کروموزوم را ببینید که از نظر شکل و طول و محل سانترومر دقیقاً مشابه هستند. بر روی این کروموزوم ها به سه مورد از ژنهای موجود اشاره شده. می بینید که در محل های یکسان بر روی هر دو کروموزوم حروف یکسانی نوشته شده است. ممکن است بپرسید که آیا B و b با یکدیگر مشابه هستند!! بله. هر دوی حروف یکسان تلفظ میشوند (بی) و این یعنی هر دو بیانگر یک ژن هستند ولی حالت های مختلف یک ژن را نشان می دهند. حالت های مختلف یک ژن را الل مینامیم.

باز هم به تعریف کروموزومهای همتا مراجعه کنید و ببینید که یکی از شرایط همتا بودن دو کروموزوم هم ژن بودن هست، نه هم الل بودن. اللهای ژنهای مشابه بر روی کروموزومهای همتا می توانند یکسان و یا متفاوت باشند. در ژن های (A) و (D) الل ها هم یکسان هستند. در مبحث ژنتیک درباره ی این مطلب (علت و اهمیت یکسان بودن و متفاوت بودن الل های هر ژن در سلول) بیشتر خواهید آموخت.

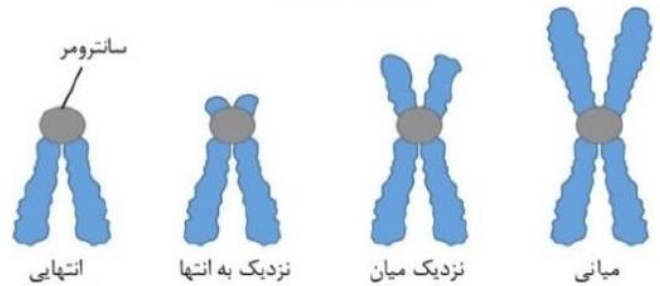
باز هم به تعریف کروموزومهای همتا مراجعه کنید و ببینید که یکی از شرایط همتا بودن دو کروموزوم هم ژن بودن هست، نه هم الل بودن. اللهای ژنهای مشابه بر روی کروموزومهای همتا می توانند یکسان و یا متفاوت باشند. در ژن های (A) و (D) الل ها هم یکسان هستند. در مبحث ژنتیک درباره ی این مطلب (علت و اهمیت یکسان بودن و متفاوت بودن الل های هر ژن در سلول) بیشتر خواهید آموخت.



شکل ۱۵- همانندسازی، برهم زنده ی رابطه ی همتایی بین کروموزوم همانند

همتا بودن در هر دو شکل مضاعف و غیر مضاعف کروموزوم ها مطرح است (شکل ۱۵). در شکل ۱۵ پس از همانندسازی، کروموزوم ها را به شکل دو کروماتیدی ببینید. از آنجایی که هر دو کروماتید موجود در یک کروموزوم مضاعف (کروماتیدهای خواهری)، حاصل همانندسازی یک کروماتید کروموزوم غیر مضاعف است، پس دقیقاً مشابه یکدیگر بوده و نه تنها طول و شکل یکسان بلکه الل های آنها نیز یکسان هستند مگر اینکه!!

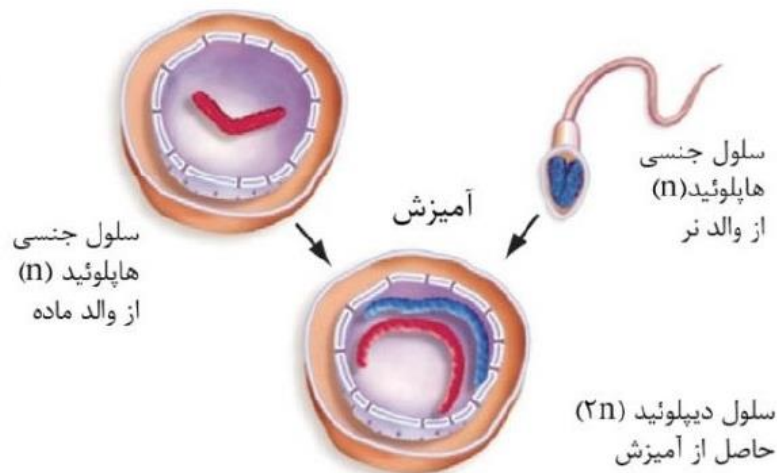
دربارهی شکل کروموزومها لازم به ذکر است که سانترومر کروموزوم ها لزوماً در وسط آنها قرار ندارد. کروموزوم ها را از نظر محل تقریبی قرارگیری سانترومر به چهار دسته تقسیم بندی می کنند (شکل ۱۶).



شکل ۱۶- انواع کروموزوم از نظر محل قرارگیری سانترومر. هیچ یک از کروموزوم های انسان در حالت طبیعی سانترومر انتهایی ندارند.

دسته بندی های کروموزومی

دپلوئید ($2n$) چنانچه در هسته ی یک سلول، هر کروموزوم دارای یک همتا باشد، به آن سلول دپلوئید گفته و آن را با نماد $2n$ نشان می دهیم. بعنوان مثال سلول های پیکری هسته دار در انسان، دپلوئید هستند و آنها را بصورت $2n=46$ بیان می کنیم. کمی جلوتر درباره ی این مطلب تغییرات جزئی اعمال می کنیم، هر فرد دپلوئید، چنانچه حاصل از تولیدمثل جنسی باشد، نیمی از کروموزوم های خود (یک مجموعه را از یک والد و نیم دیگر (یک مجموعه ی دیگر) را از والد دیگر خود دریافت کرده است (شکل ۱۷)



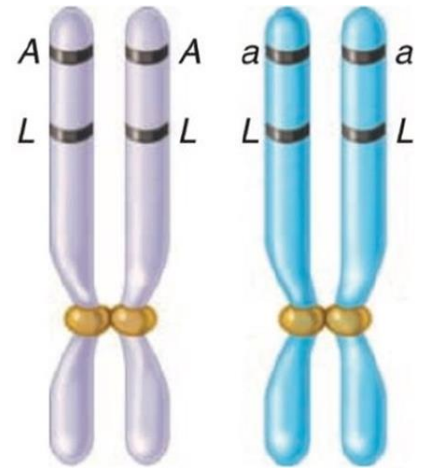
شکل ۱۷- سلول دپلوئید ($2n$ کروموزومی) حاصل از تولیدمثل جنسی از هر والد خود یک مجموعه کروموزوم (۱ کروموزوم) دریافت می کند.

یک مجموعه ی کروموزومی کروموزومهایی دارد که با یکدیگر همتا نیستند. طول و شکل و ژنهای کروموزومهای غیرهمتا با یکدیگر متفاوت هستند. در سلول $2n=46$ ، دو مجموعه کروموزوم وجود دارد. هریک از مجموعه های این سلول ۲۳ کروموزوم غیرهمتا دارد. بعنوان مثال دیگر، در سلول $2n=8$ ، دو مجموعه کروموزوم وجود دارد و ۴ کروموزوم موجود در هر مجموعه با یکدیگر همتا نیستند. کاریوتیپ، تصویری است که از کروموزوم های یک فرد تهیه می شود (شکل ۱۸). کاریوتیپ را زمانی باید تهیه کرد که سلول در حال تقسیم باشد زیرا در حین تقسیم سلول، کروموزوم ها به فشرده ترین حالت خود رسیده و به راحتی جداسازی، مرتب، شمرده و مقایسه می شوند. نکته ی دیگر این که در زمان تهیه ی کاریوتیپ، کروموزومها مضاعف هستند. پس در کاریوتیپی که از سلول انسان و مگس سرکه تهیه می کنیم، به ترتیب ۹۲ و ۱۶ مولکول DNA وجود دارد.

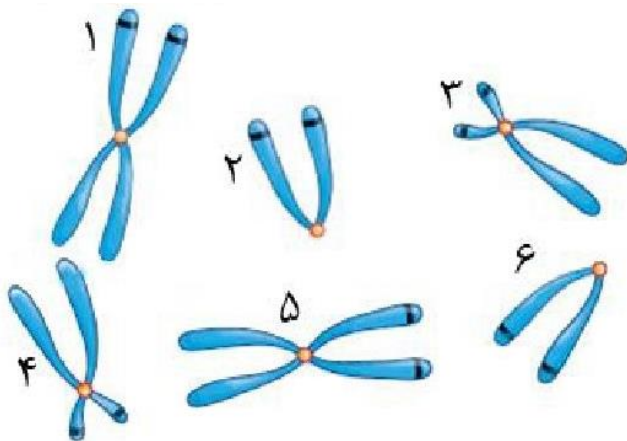
برای تهیه ی کاریوتیپ نیازی به از بین بردن پوشش هسته نیست زیرا این کار زمانی انجام می شود که سلول در حال تقسیم بوده و پوشش هسته وجود ندارد.



شکل ۱۸- کاریوتیپ انسان (مرد). در زن و مرد تمام کروموزوم های جفت ۱ تا ۲۲ مشابه هستند و در زن به جای کروموزوم ۷، یک کروموزوم X دیگر وجود دارد. در سلول دیپلوئیدی که کروموزوم های آن مضاعف نشده اند، از هر ژن دو الل وجود دارد (شکل ۱۴). این دو الل می توانند یکسان یا متفاوت باشند. در صورت مضاعف شدن کروموزومها، از هر ژن چهار الل وجود دارد که پیرو جمله، قبلی، می توانند هرچهارتا یکسان یا دوبه دو یکسان باشند (شکل ۱۹).



شکل ۱۹- در این شکل ۴-۲n را می بینید. برای هر ژن چهارالل وجود دارد. الل های ژن (ال) همگی یکسان و الل های ژن (ای) دو به دو یکسان هستند.



در شکل ۲۰، ۶ عدد کروموزوم می بینید. کروموزومهای ۲ و ۳ متعلق به یک مجموعه و کروموزومهای ۴ و ۵ و ۶ متعلق به مجموعه ی دیگر هستند. البته شما نیز می توانید دو مجموعه را با شماره های مختلفی نشان دهید.

شکل ۲۰- کروموزوم ها به تعداد ۶-۲۸

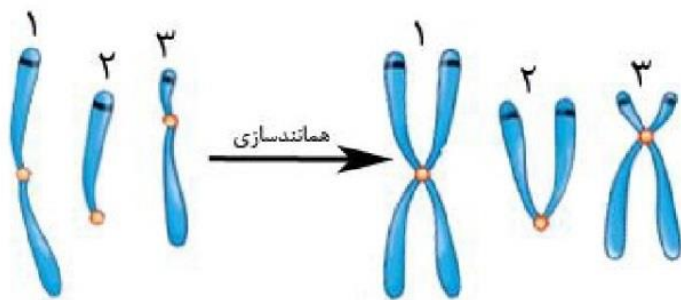
مثلا یک مجموعه شامل کروموزومهای ۱-۴-۶ و مجموعه ی دیگر

۵-۳-۲ است. کروموزومهای ۱ و ۵، ۲ و ۶، ۳ و ۴ به ترتیب همتای هم هستند. در این شکل می توانید با نوشتن اللها نشان دهید که برای هر ژن، چهار عدد الل وجود دارد.

هاپلوئید n: چنانچه در یک سلول، برای هیچ کروموزومی همتا وجود نداشته باشد، به آن سلول، هاپلوئید گفته و آن را با نماد n نشان می دهیم.

هاپلوئید بودن تعداد کروموزوم ها به این معنی است که در کل از

یک مجموعه کروموزوم تشکیل شده است (شکل ۲۱).



هاپلوئید غیر مضاعف

هاپلوئید مضاعف

تعداد کروموزوم و DNA :

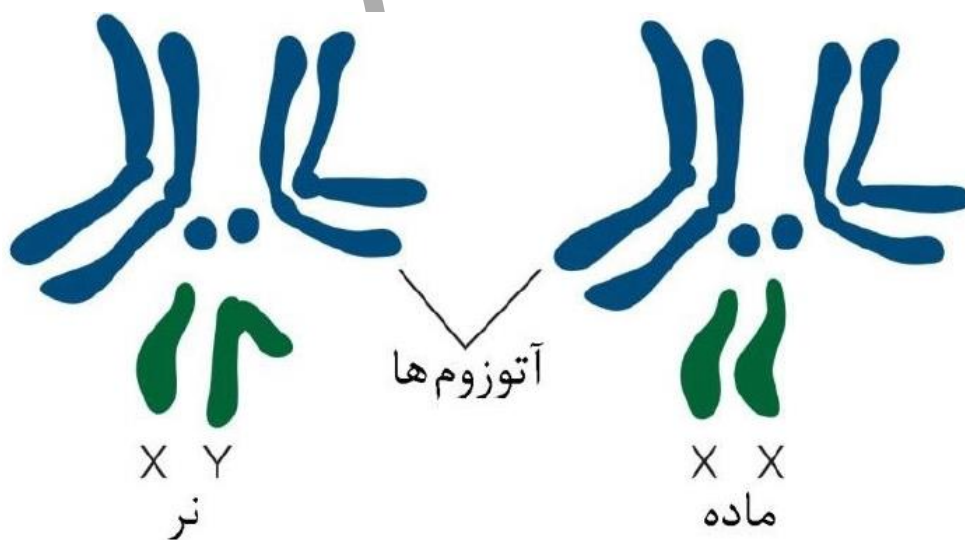
تعداد کروموزوم ها و DNA سلول ها در دو حالت قابل مقایسه هستند. چنانچه کروموزوم های یک سلول همانندسازی نکرده و بصورت تک کروماتیدی باشند، تعداد کروموزوم و DNA آن سلول برابر است. در صورت همانندسازی و مضاعف شدن کروموزومها تعداد DNA دوبرابر تعداد کروموزوم ها است. در شکل ۲۱، قبل از همانندسازی، nchr و نیز DNA مشاهده می کنید در حالی که پس از همانندسازی، nChr و ۲nDNA می بینید.

در شکل خیلی ۱۵، قبل از همانندسازی، nChr۲ و nDNA۲ و بعد از همانندسازی، nChr۲ و nDNA۴ مشاهده می کنید. در سلول انسان قبل از همانندسازی، ۴۶ کروموزوم و ۴۶ مولکول DNA و بعد از همانندسازی، ۴۶ کروموزوم و ۹۲ مولکول DNA داریم. در سلول هایی از قبیل نرون ها که قدرت تقسیم خود را از دست می دهند، برای همیشه تعداد کروموزوم و سانترومر و مولکولهای DNA برابر خواهند ماند. در هاپلوئید غیر مضاعف، از هر ژن یک الل و در هاپلوئید مضاعف، از هر ژن، دو الل وجود دارد. در کروموزوم های یک سلول هاپلوئید مضاعف، دو الل مربوط به هر ژن لزوما یکسان هستند.

در جانوران، سلول های جنسی (مثلا اسپرم مردان و تخمک زنان) هاپلوئید هستند. این سلولها در تولیدمثل با یکدیگر ترکیب شده و سلول دیپلوئیدی با نام زیگوت (سلول تخم ایجاد می کنند. سلول تخم با تقسیمات متوالی خود سلول های دیپلوئید فرد را بوجود می آورد. دو دسته از سلول های هاپلوئیدی نیز در تولیدمثل گیاهان شرکت می کنند. دربارهی این سلول ها در تولیدمثل گیاهان بحث خواهیم کرد.

کروموزوم های آتوزوم و جنسی

جنسیت در جانوران و گیاهان و برخی آغازیان مطرح است. مقایسه ی کروموزومها در دو جنس نشان می دهد که می توان آنها را به دو دسته تقسیم بندی کرد. بعنوان مثال از ۴۶ کروموزومی که در سلولهای پیکری انسان وجود دارد، ۴۴ عدد (۲۲ جفت) آنها را آتوزوم و دو عدد آنها را جنسی می نامیم. ۴۴ کروموزوم آتوزوم در زن و مرد از نظر شکل و اندازه و محتوای ژنی یکسان هستند. کروموزوم هایی که در شکل ۱۸ می بینید، متعلق به یک مرد است. کروموزوم های جنسی مرد شامل یک کروموزوم بلند به نام کروموزوم Y و یک کروموزوم کوتاه تر از آن به نام کروموزوم X هستند. چنانچه کاریوتیپ یک زن بررسی شود، هردو کروموزوم جنسی یک زن از نوع کروموزوم X هستند. عبارتی دیگر کروموزوم های جنسی زن بایگدیگر همتا هستند ولی کروموزوم های جنسی مرد همتا نیستند. لازم به ذکر است که کروموزوم های مشترک بین زن و مرد ۴۵ عدد هستند، ۴۴ آتوزوم و یک جنسی X، پس تمام اتوزومها بین زن و مرد مشترک هستند ولی تمام کروموزومهای مشترک بین زن و مرد، اتوزوم نیستند. در شکل ۲۲ کروموزوم های دو جنس نر و ماده مگس سرکه را می بینید. می دانید که این جانور $2n=8$ کروموزوم دارد. کروموزومهای آتوزوم به رنگ آبی و کروموزومهای جنسی به رنگ سبز نشان داده شده اند. مگس سرکه ماده مانند انسان (زن) دو کروموزوم جنسی همتا (X) و مگس سرکه نر مانند انسان (مرد) دو کروموزوم جنسی غیرهمتا (Y و Y) دارد.

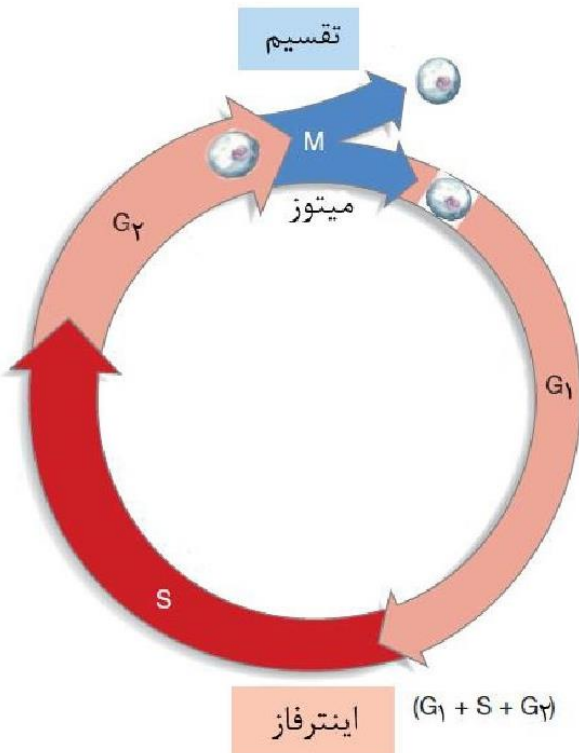


شکل ۲۲- کروموزوم های آتوزوم و جنسی در دو جنس مگس سرکه. رنگها فرضی هستند.

کمی قبل تر، صحبت از سلول های دیپلوئید به میان آمد و گفته شد که هر کروموزوم یک همتا دارد. حالا که با کروموزومهای اتوزوم و جنسی آشنا شدید می بینید که در سلول های یک زن، کروموزومهای | اتوزوم و جنسی همتا دارند ولی در یک مرد، فقط کروموزومهای اتوزوم همتا دارند و کروموزوم های جنسی آنها همتای یکدیگر نیستند. کروموزوم های X تعداد و نوع ژنهای مشابهی دارند ولی بر روی کروموزومهای X و Y از نظر تعداد و نوع ژنهای متفاوتی وجود دارد. بعدها خواهید دید که تفاوت در نوع کروموزومهای جنسی در یکی از جنسها، جنسیت زاده های آنها را تعیین می کند.

چرخه ی سلولی

به یاد دارید که زندگی یک سلول را به دو وضعیت تقسیم کردیم، وضعیتی که سلول تقسیم نمی شود و وضعیتی که سلول تقسیم میشود. در بارهی وضعیت تقسیم فعلا حرفی نداریم و مفضلا در بارهی آن بحث خواهیم کرد. ولی وقتی که گفته می شود سلولی در حال تقسیم نیست، چند حالت ممکن است. سلولی که در حال تقسیم نیست با: (۱) زندگی عادی خود را ادامه می دهد (۲) در حال آماده شدن برای تقسیم است (۳) دیگر تقسیم نخواهد شد. آغاز زندگی یک سلول را از زمانی در نظر می گیریم که سلول تازه ایجاد شده باشد و این زمان، زمانی نیست جز زمان پایان تقسیمی که آن سلول را ایجاد کرده است (شکل ۲۳). فقط در باره ی زیگوت می توان گفت که زندگی خود را با پایان یک تقسیم آغاز نمی کند.



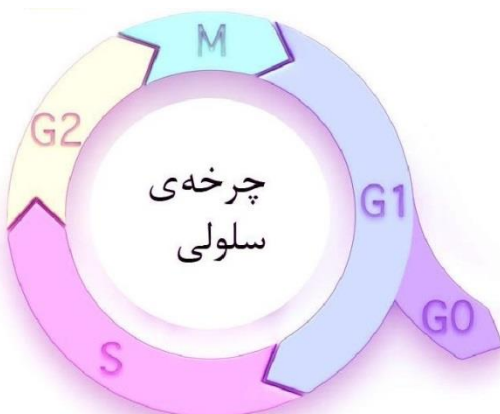
شکل ۲۳- چرخهای سلولی در نمایی ساده

سلولی که از یک تقسیم ایجاد می شود، کارهایی را انجام می دهد که ممکن است به تقسیم بعدی آن منجر شود. فاصله بین دو تقسیم (تقسیم ایجاد کننده ی یک سلول و تقسیمی که این سلول آغاز خواهد کرد) را اینترفاز مینامیم. در ابتدای یک تقسیم، یک سلول وجود دارد. پس از تقسیم که اساسا تقسیم میتوز مدنظر ما است، ابتدا از یک هسته، دو هسته و سپس از یک سلول، دو سلول ایجاد می شود، این دو سلول در انتهای تقسیم، زندگی خود را رسماً آغاز می کنند.

مرحله ی G1: اولین مرحلهی اینترفاز G1 یا وقفه ی اول نام دارد. در این مرحله سلول مقداری رشد کرده و به اندازه ی طبیعی خود می رسد. علت این کار این است که به هر حال دو سلول ایجاد شده از تقسیم قبلی اندازه های کوچکتر از اندازه ی طبیعی و لازم برای انجام کارهای خود دارند. سلول در G1 به کارهای عادی و روزمره ی خود می پردازد و وظایف خود را انجام می دهد و از ژنهای خود استفاده می کند. در اغلب سلول ها این مرحله بیشترین زمان را به خود اختصاص می دهد.

چنانچه G1 خیلی طول بکشد و یا هیچ وقت مرحله ی S رخ ندهد، می گوئیم که سلول وارد مرحله ای به نام G0 میشود (شکل ۲۴). نورون ها نمونه ای بارز از سلول هایی هستند که وارد G0 می شوند و از آنها توقع نخواهیم داشت که کروماتین خود را مضاعف و به شکل کروموزوم متراکم نشان دهند پس هیچ وقت نمی توان از نورونها بطور طبیعی کاربوتیب تهیه کرد.

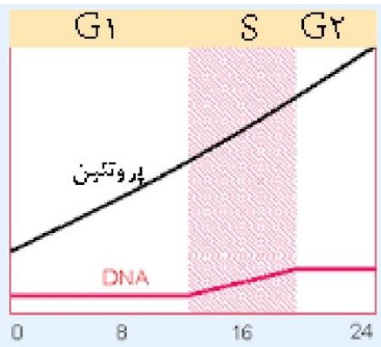
شکل ۲۴- G0 به معنی خروج طولانی مدت و یا همیشگی از چرخهی سلولی است.



مرحله ی سنتز (S) این مرحله بین G_1 و G_2 قرار دارد و زمانی است که طی آن مولکول های DNA در هسته همانندسازی می کنند و کروماتین غیر مضاعف (تک کروماتیدی) به کروماتین مضاعف (دو کروماتیدی) تبدیل می شود. از آنجا که مقدار کروماتین دوبرابر میشود، پس تعداد هیستونها نیز باید دوبرابر بشوند. یعنی سلول در این مرحله به تعداد مولکول هیستونی که در G_1 دارد باید هیستون جدید فراهم تولید کند. در این مرحله فروپاشی و تشکیل مجدد نوکلئوزوم ها انجام میشود.

در مرحله ی S آنزیم های مهمی کار می کنند که بعدها با آنها و نحوه ی همانندسازی آشنا خواهید شد. طبیعی است که اندازه ی ظاهری هسته در انتهای S کمی بیشتر از ابتدای S باشد.

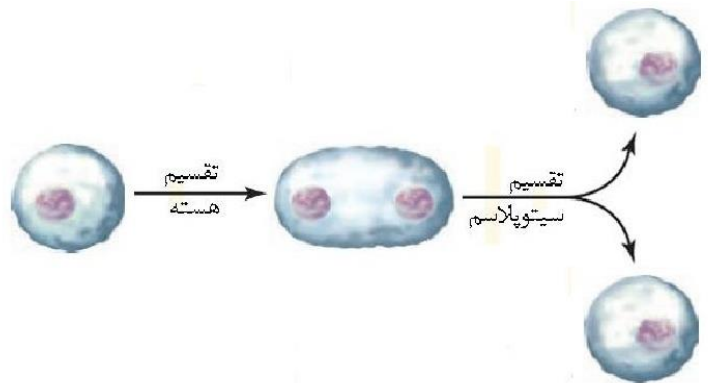
مرحله ی G_2 : با اتمام مرحله ی که سلول خودبخود وارد مرحله ی بعدی یعنی G_2 می شود. در مرحله ی G_2 سلول رشد بیشتری می کند. تفاوت رشد در G_2 و G_1 در این است که رشد در G_2 برای رسیدن به اندازه ی طبیعی و انجام درست کارهای خود است ولی رشد در G_1 بمنظور ورود به تقسیم و تشکیل دو سلول است که اندازه ی خیلی کوچکی نداشته باشند. اگر سلول در ۲ رشد نداشته باشد، آنگاه سلول های حاصل از تقسیم باید رشد بیشتری در G_1 خود انجام دهند تا به اندازه ی طبیعی خود برسند. از آنجا که در مرحله ی بعد از (G_2) قسیم پروتئینها و عوامل زیادی مورد نیاز هستند، ساخته شدن آنها در طی G_2 انجام میشود (شکل ۲۵)



شکل ۲۵- پروتئین سازی در تمام مراحل ایتترفاز انجام می شود.

تقسیم سلول

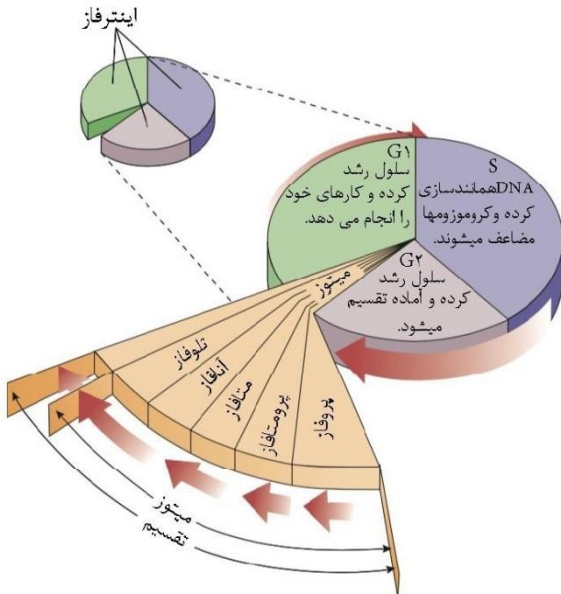
تقسیم یک سلول یوکاریوتی بطور معمول دارای دو مرحله ی مهم است. مرحله ی اول تقسیم هسته و مرحله ی دوم، تقسیم غشا و سیتوپلاسم است (شکل ۲۶). تقسیم شدن یک هسته به دو هسته با تعداد کروموزوم های کاملاً مساوی و مشابه بسیار مهم تر و حیاتی تر از تقسیم سیتوپلاسم بطور کاملاً مساوی است. در اینجا، تقسیم هسته (کاریوکینز) از نوع میتوز بررسی می شود. میتوز، نوعی تقسیم یک هسته به دو هسته است که بموجب آن، هسته های ایجاد شده کاملاً مشابه بوده و در تعداد و نوع کروموزومها هیچ تغییری ایجاد نمی شود. کلیات سازو کار این تقسیم قبلاً مورد بررسی کلی قرار گرفته است. طی میتوز کروماتیدهای خواهری هر کروموزوم مضاعف (که در ایتترفاز مضاعف شده اند) از یکدیگر جدا شده و بدین نحو از هر کروموزوم، دو کروموزوم ایجاد میشود.



شکل ۲۶- دو مرحله مهم تقسیم در بیشتر سلولهای یوکاریوتی

به شکل ۲۷ توجه کنید. هر میتوز شامل ۵ مرحله ی متوالی است. بین مراحل میتوز پیوستگی وجود دارد و مانند یک فیلم بدون وقفه انجام می شوند. نام گذاری مراحل بمنظور سهولت درک این تقسیم انجام شده و ملاک نام گذاری ها هم انجام برخی اتفاقات شاخص و مهم هستند.

میتوز



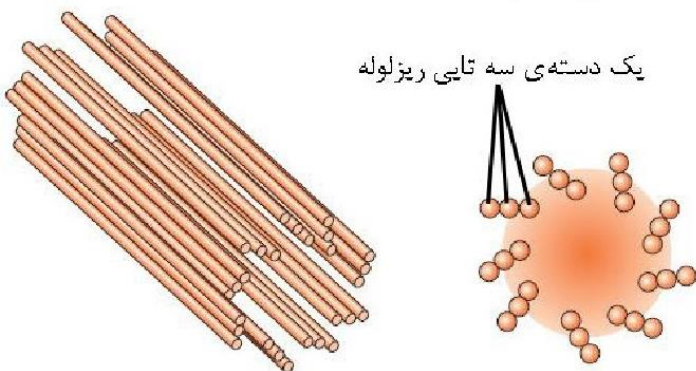
شکل ۲۷- چرخهای سلولی با جزئیات بیشتر.

میتوز یکی از اتفاقات مهم در میتوز این است که کروموزوم هایی که در فضای درون هسته پراکنده هستند باید در وسط سلول سازماندهی و بطور منظم ردیف بشوند و سپس کروماتیدهای خواهری هر کروموزوم از یکدیگر جدا شوند. کروموزوم ها قابلیت حرکت کردن ندارند پس باید حرکت داده شوند. برای حرکت دادن کروموزوم ها ساختاری به نام دوک تقسیم تشکیل می شود. دوک تقسیم بخشی از اسکلت سلولی بحساب می آید که در ابتدای تقسیم تشکیل می شود. دوک تقسیم شامل تعدادی لوله ی ریز پروتئینی است. ساخته شدن واحدهای ساختاری این ریز لوله ها در اینترفاز انجام میشود و با شروع تقسیم هسته، زیر واحدهای آنها به یکدیگر پیوسته و لوله ها را تشکیل می دهند.

سازماندهی و تشکیل دوک تقسیم بر عهده ی اجزای سلولی با نام سانتیریول است. سانتیریولها نیز ساختار ریز لوله ی پروتئینی هستند و ظاهری استوانه مانند دارند. لازم بذکر است که سانتیریولها در سلول های تمام فرمانروهای یوکاریوتی وجود ندارد. سلول های جانوری و گیاهان ابتدایی (سرخسها و خزه ها) سانتیریول دارند. پروکاریوتها نه تنها سانتیریول بلکه هیچ ساختار پروتئینی ریز لوله ای ندارند.

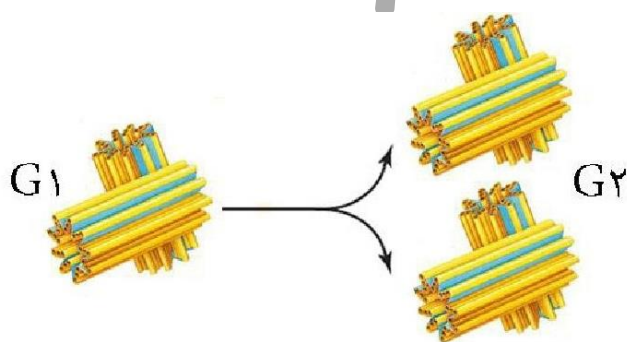
ساختار سانتیریول:

هر سانتیریول استوانه ای شکل از نه دسته ی سه تایی ریز لوله ی پروتئینی تشکیل شده است. تمام این ۲۷ ریز لوله با یکدیگر موازی هستند و طوری قرار می گیرند که منظرهای شبیه به چرخ گاری را بوجود می آورند (شکل ۲۸).



شکل ۲۸- سمت راست یک سانتیریول را در نمای عرضی آن می بینید.

یک سانتیریول همیشه در کنار خود سانتیریول دیگری دارد که نسبت به آن زاویه قائمه دارد. برای آغاز میتوز و تشکیل دوک تقسیم، تعداد سانتیریولها باید دوبرابر شده باشد. این کار در آخرین مرحله ی اینترفاز انجام می شود. توجه داشته باشید که اصطلاح همانندسازی سانتیریول ها به معنای ساخته شدن یک جفت دیگر و دوبرابر شدن تعداد آن است. این کار توسط ریبوزومها انجام می شود (شکل ۲۹).

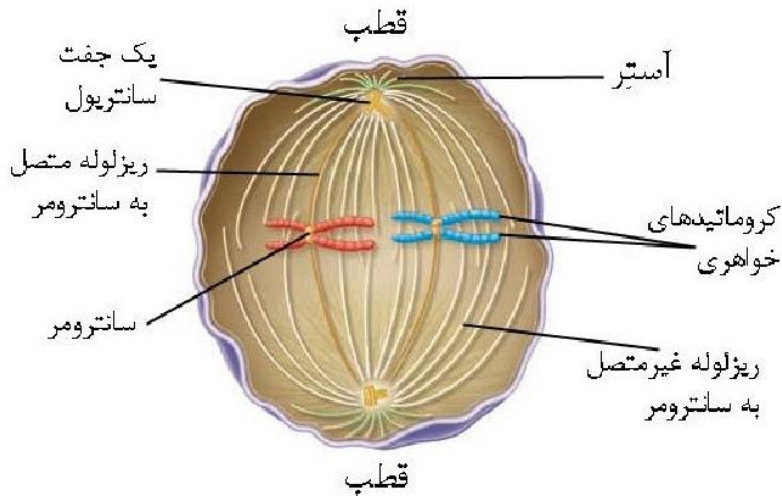


شکل ۲۹- در آخرین مرحله ی اینترفاز، تعداد سانتیریول ها دوبرابر می شود (البته اگر سلول سانتیریول داشته باشد).

ریز لوله هایی که در دستگاه دوکی وجود دارند سه نوع هستند (شکل ۳۰). تعدادی از آنها از سانتیریول به سمت غشای سلول تشکیل می شوند و ریز لوله های آستر نام دارند. دو سری از دو کجا به سمت وسط سلول تشکیل می

شوند. تعدادی از آنها به سانترومر کروموزومهای مضاعف متصل می شوند و تعدادی هم به سانترومر هیچ کروموزومی متصل نشده و با ریزلوله هایی از همان نوع که از طرف مقابل ایجاد شده اند مقداری هم پوشانی دارند.

شکل ۳۰- انواع ریز لوله های موجود در دستگاه دوکی



مراحل میتوز: اکنون به بررسی مراحل یک تقسیم میتوز (تقسیم هسته و بدنال آن سیتوکینز (تقسیم سیتوپلاسم) می پردازیم. این مراحل به ترتیب عبارتند از :

- ۱) پروفاز (مرحله ی آغازین)،
- ۲) پرومتافاز (مرحله ی قبل از مرحله ی میانی)،
- ۳) متافاز (مرحله ی میانی)،
- ۴) آنافاز (مرحله ی جداشدن)
- ۵) تلوفاز (مرحله ی پایانی).

سلول مورد بحث ما در شکل های بعدی $2n = 6$ است. ما به دنبال تشکیل دو هسته ی $2n = 6$ هستیم که پس از سیتوکینز به دو سلول $2n = 6$ برسیم. شکل ۳۱ بیانگر آخرین مرحله ی اینترفاز (G_2) است.

شکل ۳۱- سلول ۶-۲۸ در مرحله ی ۲، تعداد سانتیریولها نسبت به S و G۱ دو برابر است. تراکم کروموزومها در حد کروماتینی است.

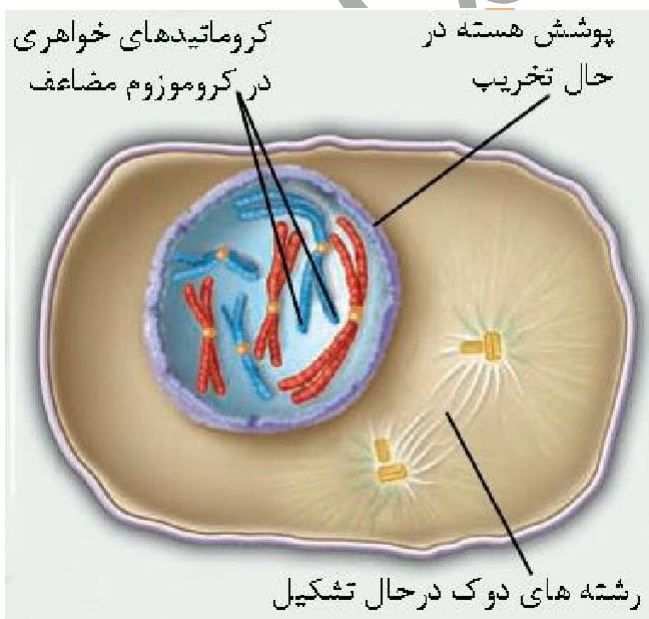
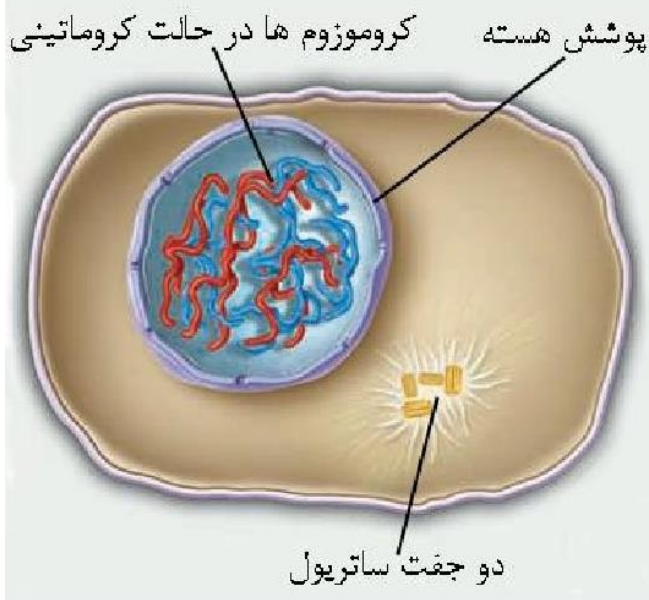
پروفاز: اولین مرحله ی میتوز است که در آن، دو جفت سانتیریول از یکدیگر دور می شوند و در حین دور شدن، بین آنها دو سری از رشته های دوک

تشکیل می شوند (شکل ۳۲). پوشش هسته شروع به تجزیه و تخریب شدن می کند ولی در این مرحله، پوشش هسته بطور کامل تخریب نمی شود. کروماتینهایی که در ۵ اینترفاز مضاعف شده بودند در این مرحله شروع به فشرده (ضخیم و کوتاه) تر شدن می کنند تا کروموزومها ظاهر شوند.

شکل ۳۲- پروفاز. سلول ۶ کروموزوم و ۱۲ مولکول DNA دارد.

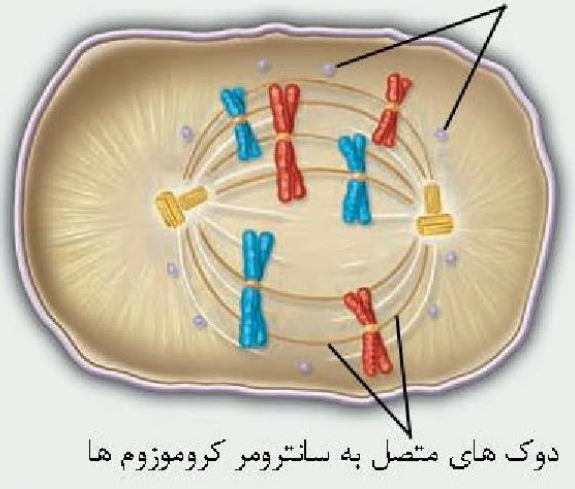
در پروفاز، هستک یا هستکهای موجود در هسته نیز ناپدید میشوند.

پرومتافاز: چنانچه پیش از تشکیل رشته های دوک، پوشش هسته تخریب شود، این امکان وجود دارد که کروموزومها در داخل سلول پراکنده شوند، پس تخریب کامل پوشش هسته بلافاصله پس از تشکیل دوکها انجام می



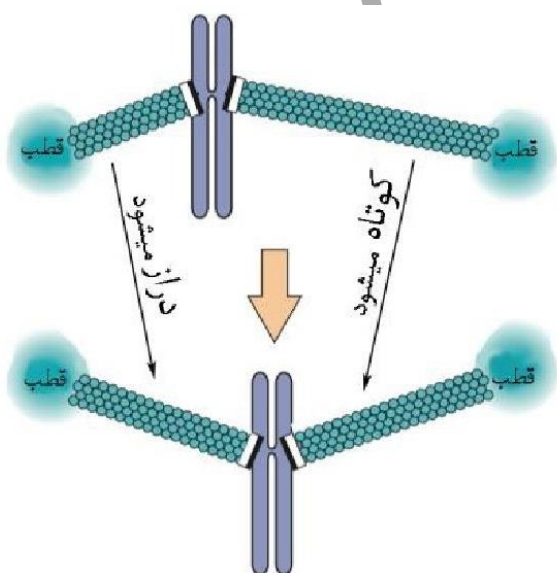
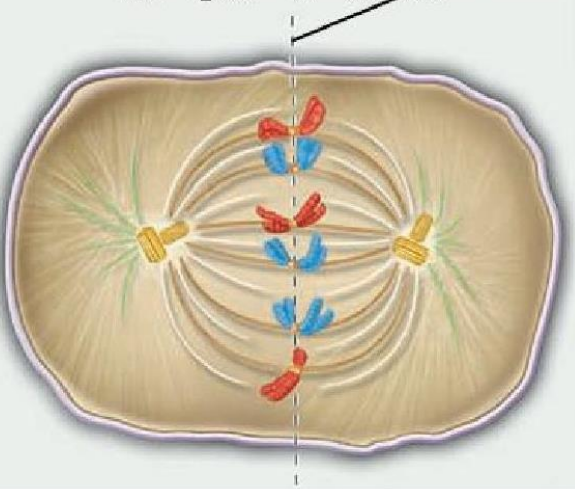
شود تا برخی از ریز لوله های دوکها بتوانند به کروموزوم ها برسند و به آنها متصل شوند و کروموزوم ها در سلول پراکنده نشوند. در این مرحله پوشش هسته و شبکه آندوپلاسمی به قطعه ها و وزیکول های کوچکی تجزیه می شوند (شکل ۳۳). اتفاق مهم این گام از میتوز اتصال برخی رشته های دوک از دو طرف به سانترومر کروموزوم ها است. کروموزوم های پرومتافازی نسبت به کروموزوم های پروفازی متراکم تر کوتاه تر و ضخیم تر هستند.

وزیکول های حاصل از تخریب هسته



دوک های متصل به سانترومر کروموزوم ها

صفحه متافازی در بخش استوایی سلول



شکل ۳۳- پرومتافاز. پوشش هسته بطور کامل تجزیه و دستگاه دوکی بطور کامل تشکیل شده است. سلول ۶ کروموزوم و ۱۲ مولکول DNA دارد.

متافاز: مرحله ی میانی میتوز است و کروموزوم ها نیز باید در فضای مسطحی به نام صفحه ی متافازی در میان سلول (اصطلاح استوای سلول) ردیف شوند. کروموزوم های مضاعف در متافاز به بیشترین حد فشردگی و تراکم خود می رسند (شکل ۳۴).

مرحله ی متافاز بهترین زمان برای تهیه ی کاریوتیپ است. به این منظور دستگاه دوکی را با برخی مواد شیمیایی از کار می اندازند تا کروموزوم ها حرکت داده نشوند. درضمن نیازی به تخریب پوشش هسته نیست زیرا در مرحله ی قبل، پوشش هسته بطور کامل تخریب شده است.

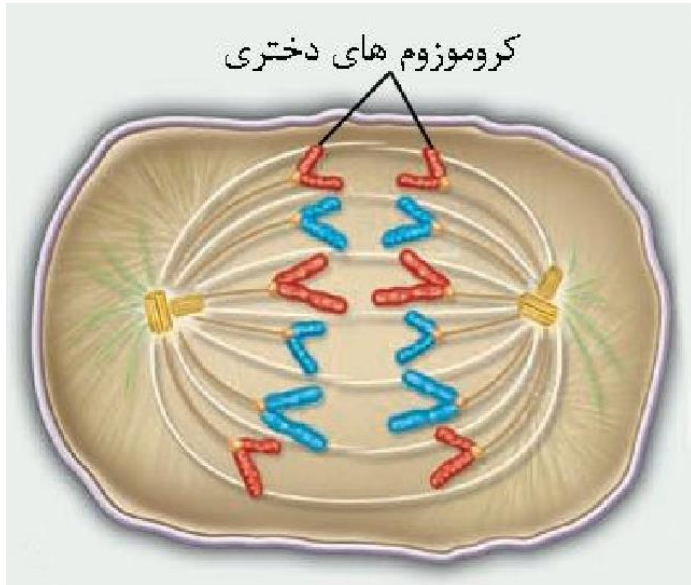
شکل ۳۴- متافاز. در این شکل به علت تعداد کم کروموزوم ها می توان آنها را روی یک خط دید ولی در عمل کروموزوم ها بر روی یک سطح قرار داده می شوند. سلول، ۶ کروموزوم و ۱۲ مولکول DNA دارد.

قرار گیری کروموزوم ها در استوای سلول به کمک کوتاه و بلند شدن تنها آن دسته از ریز لوله های دستگاه دوکی انجام می شود که به سانترومر کروموزومها متصل شده اند. اغلب این دوکها در ابتدای تشکیل شدن، اندازه ی مساوی ندارند و به همین علت، کروموزومها در ابتدای اتصال به دوکها در صفحه ی متافازی قرار ندارند. برای حرکت دادن کروموزومها کافی است تا ریزلوله های بلند کوتاه و ریز لوله های کوتاه دراز شوند و به اندازه ی مساوی یکدیگر تبدیل شوند (شکل ۳۵).

شکل ۳۵- سازوکار قرار گیری کروموزوم ها در صفحه ی متافازی

می توان گفت که در متافاز، طول ریزلوله های دوک که از هر قطب به سمت وسط سلول کشیده شده اند اساساً با سمت دیگر برابر است. با قرار گیری تمام کروموزوم ها در صفحه ی متافازی، متافاز کامل می شود و سلول آماده برای مرحله ی بعدی تقسیم می شود.

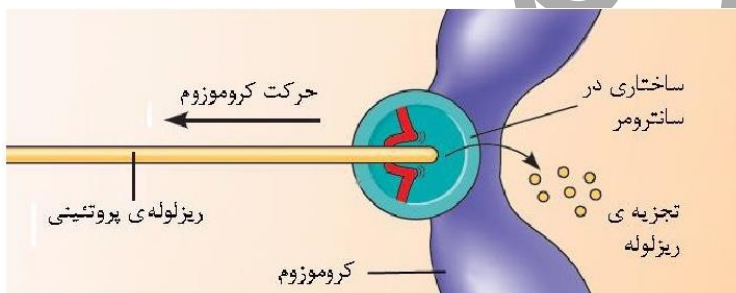
آنافاز: چهارمین و کوتاه ترین مرحلهی میتوز است که طی آن کروماتیدهای خواهری تشکیل دهنده ی هر کروموزوم مضاعف از یکدیگر جدا می شوند. هر یک از کروماتیدهای خواهری به محض جدا شدن از یکدیگر، یک کروموزوم نامیده می شوند. سلول اولیه هر چند عدد کروموزوم که داشته باشد، در آنافاز، به سمت هر قطب همان تعداد کروموزوم در حال کشیده شدن هستند. از آنجا که هر کروموزوم مضاعف در آنافاز به دو کروموزوم غیر مضاعف تفکیک می شود، تعداد کروموزوم ها به طور موقت دوبرابر می شود. اصطلاح کروموزومهای دختری به این مطلب اشاره می کند که این کروموزوم ها زمانی نسبت کروماتید خواهری با یکدیگر داشته اند. پس در هر قطب سلول، هیچ کروموزومی با کروموزوم دیگر نسبت خواهری ندارد (شکل ۳۶).



شکل ۳۶- آنافاز. در این مرحله به علت ایجاد شدن دو کروموزوم از هر کروموزوم، | تعداد کروموزوم ها بطور موقت دو برابر می شود. سلول ۱۲ کروموزوم و ۱۲ مولکول DNA دارد.

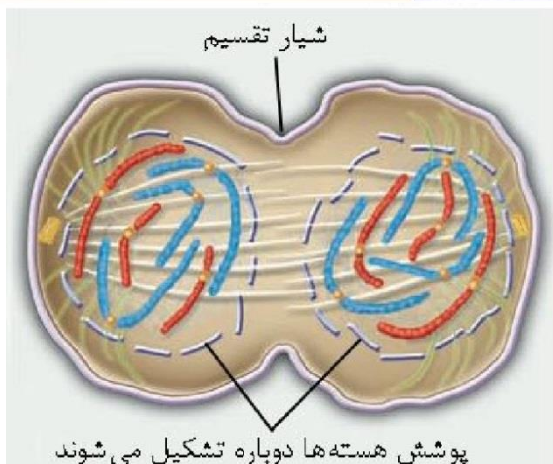
به یاد دارید که برخی ریز لولدها، به سمت وسط سلول کشیده شده بودند ولی به سانترومر کروموزوم ها متصل نشده بودند و کمی با یکدیگر همپوشانی داشتند. این ریز لوله ها در قسمت همپوشان، بر روی یکدیگر لغزیده و سانتریول ها را از یکدیگر دور تر کرده و موجب می شوند که سلول در آنافاز کمی نسبت به متافاز کشیده تر (تخم مرغی شکل) بشود. این تغییر شکل بر اثر عملکرد لغزیدن ریزلولهها در سلولهای گیاهی مشاهده نمی شود.

ریزلوله های متصل به سانترومرها در محل اتصال به سانترومر تجزیه میشوند (شکل ۳۷). بدین منظور، زیر واحدهای تشکیل دهندهی ریزلوله ها از یکدیگر جدا می شوند و ریز لولدها کوتاه می شوند ولی کروموزوم در محل سانترومر خود به آخرین نقطه ی پایدار ریزلوله متصل میشود و در اصل آخرین قسمت تجزیه نشده را تعقیب می کنند و این تعقیب یعنی حرکت کروموزوم به سمت قطب سلول سرعت حرکت کروموزومها در آنافاز در حدود آمیکرومتر در هر دقیقه است.



شکل ۳۷- تجزیهی ریز لوله و حرکت کروموزوم

تولفاز: آخرین مرحلهی میتوز است. بسیاری از وقایع آن برعکس مرحلهی آغازین یا پروفاز است (شکل ۳۸).



شکل ۳۸- تولفاز. هر هسته ۶ کروموزوم و ۱۲ مولکول DNA دارد. پوشش هسته ها از تجمع و سازمان یابی مجدد وزیکول های حاصل از تجزیهی هسته ی سلول مادری و هم چنین از بخش های دیگر غشادار سیتوپلاسم دوباره تشکیل می شوند. پر واضح است که وزیکولهای حاصل از تخریب هسته ی در پروفاز برای تشکیل دو هسته ی جدید کافی نیستند. رشته های دوکی که در آنافاز

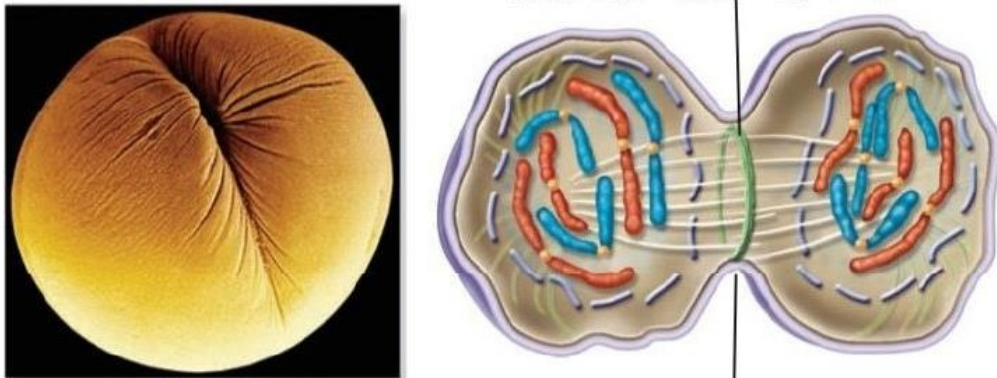
تجزیه نشده اند در تلوفاز تجزیه می شوند. کروموزومها، حداکثر فشردگی خود را از دست داده و با باز شدن پیچ و تاب آنها به حالت کروماتین شدن پیش می روند. در هر هسته، هستک یا هستکها پدیدار می شوند.

یادآوری میشود که در ابتدای میتوز، یک سلول با یک هسته ی دارای چهار کروموزوم و در انتهای میتوز، یک سلول با دو هسته ی دارای چهار کروموزوم مشاهده می کنیم. با مقایسه ی هسته های حاصل از میتوز متوجه می شویم که آنها کاملاً با یکدیگر مشابه هستند. هدف میتوز هم همین است.

تقسیم سیتوپلاسم (سیتوکینز) آخرین مرحله ی تقسیم سلول، تقسیم سیتوپلاسم با سیتوکینز است که تقریباً همزمان با تلوفاز آغاز می شود. چنانچه سیتوکینز از نوع مساوی باشد، یک سلول به دو سلول تقریباً مساوی تقسیم میشود، یعنی هر هسته دارای مقداری سیتوپلاسم و یک غشا در پیرامون آن خواهد شد. (شکل ۲۶).

برای سیتوکینز در سلول های جانوری و سلول های دیگری که دیواره ندارند (مثلاً آمیب از آغازیان) ریز رشته های پروتئینی در مجموع با نام حلقه ی انقباضی در سمت درونی غشا مستقر می شوند (شکل ۳۹). محل استقرار این رشته ها در راستای صفحه ی متافازی است. با این ریز رشته ها (اکتین و میوزین) کاملاً آشنا هستید. اکتین و میوزین با انقباض خود، غشا را به سمت درون کشیده و موجب می شوند که سلول از بیرون منظره ی فرورفته پیدا کند که به این فرورفتگی شیار تقسیم گفته می شود. انقباض حاصل از عملکرد اکتین و میوزین، آنقدر ادامه پیدا می کند و حلقه ی انقباضی آنقدر تنگ و تنگتر می شود تا بالاخره غشا سلول به دو قسمت و سیتوپلاسم به دو نیم تقسیم می شود. در این هیچ شکی نیست که این کارها نیازمند مصرف ATP هستند.

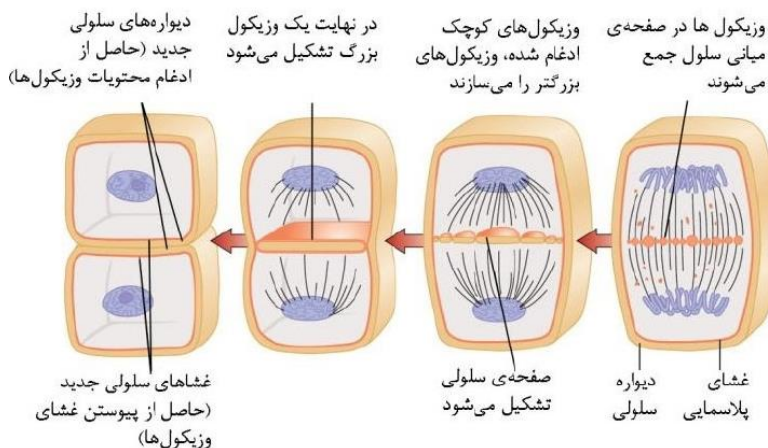
حلقه ی انقباضی حاصل از اکتین و میوزین



شکل ۳۹- سیتوکینز یک سلول جانوری

سیتوکینز سلول گیاهی

روش سیتوکینز سلول های جانوری برای تقسیم سیتوپلاسم سلول های گیاهی که دیوارهای محکمی در سمت خارجی غشا خود دارند کارساز نیست. در سلول های گیاهی نیز تقریباً همزمان با تلوفاز، سیتوکینز آغاز می شود. اجسام گلژی (که در مجموع دستگاه گلژی نام دارند) از دو طرف میان سلول (صفحه متافازی سابق)، وزیکول هایی را به میان سلول می فرستند. این وزیکول ها به ترتیب ارسال شدن، محتوی مواد پیش ساز تیغه ی میانی و مواد پیش ساز دیوارهای هستند (شکل ۴۰).

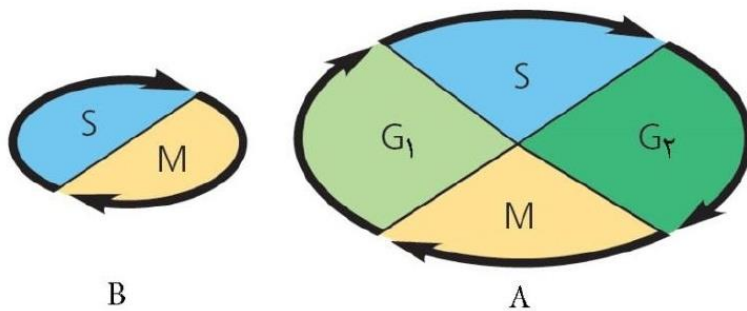


شکل ۴۰- سیتوکینز در سلول گیاهی

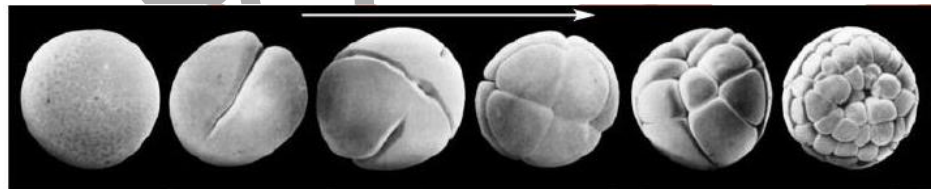
وزیکول های ریز فراوان در میان سلول (اگر سیتوکینز مساوی باشد، در صفحه ی متافازی سابق) قرار گرفته و با ادغام با یکدیگر، وزیکول های کمتر ولی بزرگتری را ایجاد می کنند. محتویات وزیکول ها نیز با یکدیگر مخلوط می شوند. ادغام وزیکول ها ساختاری به نام صفحه ی سلولی را ایجاد می کند. غشای وزیکول ها بالاخره در لبه ها به غشا سلول مادری رسیده و با آن نیز ادغام می شود. پس غشای سلول های جدید حاصل به هم پیوستن غشای وزیکول های گلژی و تیغه ی میانی جدید حاصل مخلوط شدن محتویات وزیکول های گلژی است. با این اوصاف می توان نتیجه گرفت که دیواره ی یک سلول گیاهی در تمام قسمت های آن از عمر یکسانی برخوردار نیست. اساسا صفحه ی سلولی و صفحه ی متافازی نسبت به هم زاویه ای ندارند.

دو چرخه ی سلولی متفاوت:

تا اینجا با دو مرحله ی وقفه (اول و دوم) در چرخه سلولی آشنا شدید و دانستید که در هر دو مرحله ی یاد شده، سلول رشد می کند. در فرایند تولیدمثل جنسی، سلول حاصل از ترکیب دو سلول جنسی نر و ماده (لقاح)، زیگوت نام دارد. زیگوت با تقسیم های میتوزی متوالی خود یک فرد را بوجود می آورد. وقتی زیگوت اولین تقسیمات میتوزی خود را انجام میدهد، سلول ها بدون انجام رشد، چرخه های سلولی را طی می کنند که فقط از S (هماندسازی) و M (تقسیم) تشکیل شده اند (شکل ۴۱). علت این امر این است که این سلول ها هنوز به منبع غذایی وصل نشده و امکان رشد آنها وجود ندارد.



شکل ۴۱ - A - چرخه ی سلولی در سلول های معمولی B .
چرخه ی سلولی در | تقسیمات اولیه ی زیگوت
نتیجه ی تکرار چرخه های سلولی فاقد G_1 و G_2 تشکیل
سلولهای کوچک و کوچکتر است، طوری که پس از چند
مرحله تقسیم زیگوت، اندازه ی مجموع سلول های حاصل از
تقسیم تقریبا برابر با سلول زیگوت اولیه است (شکل ۴۲).

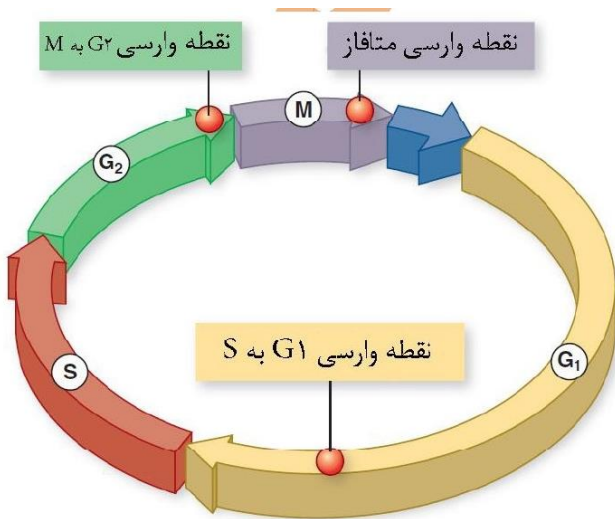


شکل ۴۲ - پس از چند مرحله تقسیم، مجموع حجم سلول های حاصل تقریبا برابر با سلول زیگوت اولیه است. این تقسیمات پیاپی بدون مراحل G_1 و G_2 انجام شده اند.

تنظیم چرخه های سلولی: سرعت تقسیم سلول ها (تکرار چرخه ی سلولی) باید تنظیم شود و گرنه تعداد سلول ها، کمتر از حد لازم یا بیشتر از آن خواهد بود. تقسیم سلولی و مرگ سلولی به ترتیب افزایشده و کاهشده ی تعداد سلول های فرد هستند. تنظیم سرعت تقسیم لزوما به معنی برابر بودن سلول های ایجاد شده با سلول های از بین رفته نیست. در یک جنین و یا در یک کودک در حال رشد، مطمئنا تعداد سلول هایی که تولید می شوند بیشتر از تعداد سلول هایی است که از بین می روند.

سلول هایی را می شناسیم که ذاتا دارای قدرت تقسیم فراوانی هستند. سلولهای بنیادی موجود در مغز استخوان (برای ساخت سلولهای خونی) و سلولهای مریستمی (برای ساخت بافت های گیاهی از این نوع هستند. حتی سلولهای نام برده نیز با اینکه وظیفه ای جز تقسیم ندارند، ولی سرعت تقسیم آنها تحت کنترل است. کنترل تقسیم این سلول ها با عوامل محیطی یا شیمیایی انجام میشود. به یاد دارید که بر اثر کاهش اکسیژن محیط و ترشح ایتروپویتین از کبد و کلیه، بر تقسیم سلول های بنیادی مغز استخوان افزوده می شود یا بر اثر سرد شدن محیط یا کوتاه شدن روز (شرایط پاییز و زمستان) سلول های مریستمی تقسیم نکرده و اصطلاح گیاه وارد خفتگی می شود.

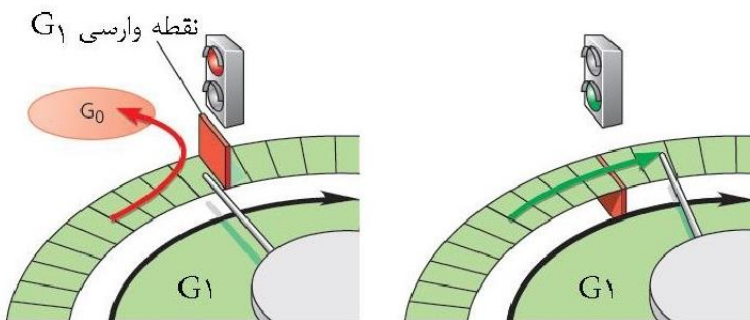
با اینکه چرخه سلولی را به دو بخش عمده و چندین بخش جزئی تر تقسیم بندی کرده ایم، ولی این چرخه فقط در سه نقطه کنترل میشود (شکل ۴۳). بعبارت دیگر به تعداد مراحل چرخه سلولی، نقاط کنترل کننده سلولی وجود ندارد. این سه نقطه را نقاط واری می نامیم که عبارتند از :



نقطه واری G₁ به S،
نقطه واری G₂ به میتوز
نقطه واری متافاز میتوز

شکل ۴۳- نقاط واری در چرخه سلولی

نقطه واری G₁ به S، سلول در این نقطه واری است که تصمیم می گیرد که تقسیم بشود یا نشود (شکل ۴۴). عوامل رشد روی این نقطه واری بسیار موثر هستند. در این نقطه واری، بی عیب و نقص بودن DNA بررسی می شود. عیب و نقص در DNA ممکن است در همانندسازی (S) چرخه سلولی قبلی یا طی تقسیم قبلی رخ داده باشد.

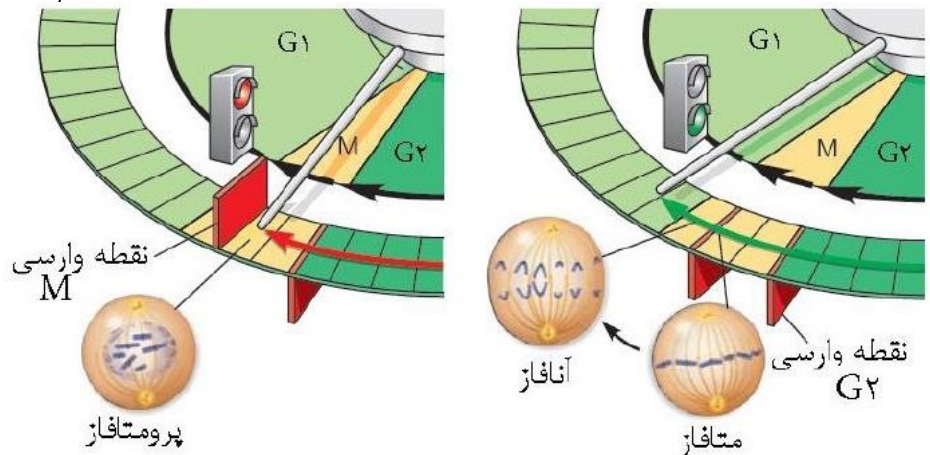


شکل ۴۴ - نقطه واری G₁ به S.

چنانچه در DNA آسیب دیدگی رخ داده و اصلاح نشده باشد، فرایندهای مرگ سلولی آغاز می شوند و سلول می میرد. لازم به ذکر است که جهش احتمالی رخ داده در DNA را نباید نوعی آسیب وارد شده به آن دانست. در شکل ۴۴ می بینید که چنانچه چراغ راهنمای نقطه واری G₁ به و به مدت طولانی یا برای همیشه قرمز بماند، سلول، چرخه را ادامه نداده و در G₀ باقی می ماند. نورونها از این نوع سلول ها هستند و معمولاً تقسیم نمی شوند. خروج از G₀ لزوماً منجر به ورود به S می شود. ورود به G₀ به معنای رشد نکردن نیست بلکه به معنی تقسیم نشدن است.

نقطه واری G₂: از آنجایی که مرحله ی بعد از G₂، میتوز است و در میتوز امکان استفاده از ژنها و تولید پروتئین ها وجود ندارد، پس پروتئین های لازم برای میتوز (سانتریول ها و بخصوص زیر واحدهای سازنده ی ریز لوله های دستگاه دوکی) باید در این مرحله تولید شوند و در میتوز کار کنند. نقطه واری G₂ برای اطمینان از این بابت است که آیا عوامل انجام میتوز به درستی و به میزان کافی ساخته شده اند یا خیر.

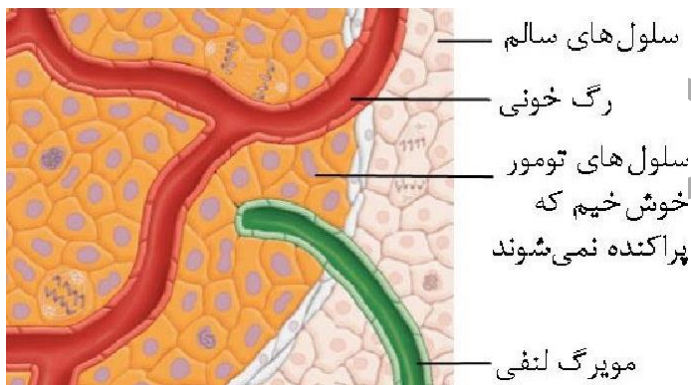
نقطه واری متافاز (نقطه واری دوک): این نقطه آخرین نقطه واری است و در مرحله ی میانی میتوز اعمال می شود (شکل ۴۵). می دانید که مسئله ی بسیار مهم در آنافاز، قرارگیری کروموزوم ها در صفحه ی متافازی است و این کار توسط برخی از ریزلوله های دستگاه دوکی انجام می شود. در این نقطه واری، بررسی می شود که آیا هر کروموزوم به دو دوک از دو قطب متصل شده و در استوای سلول قرار گرفته است یا خیر.



شکل ۴۵- نقطه وارسی متافاز (M). سبز شدن چراغ به معنای اتصال صحیح رشته های دوک په سانترومر کروموزوم ها است.

چنانچه نقطه ی وارسی متافازی وجود نداشته باشد و یا به درستی کار نکند، ممکن است که سلول های دختری حاصل از تقسیم، کروموزوم بیشتر یا کمتر از تعداد طبیعی دریافت کنند. اگر یک سلول دختری تعدادی کروموزوم کم داشته باشد، سلول دختری دیگر، به همان تعداد کروموزوم بیشتر خواهد داشت.

تقسیم بی رویه ی سلول ها: چنانچه عوامل موجود در نقاط وارسی به درستی کار نکنند و سرعت چرخه ی سلولی افزایش بی رویه داشته باشد، تعداد زیادی سلول تولید میشود. این سلول ها ممکن است بصورت یک توده در قسمتی از بدن جمع شوند که به این اجتماع سلولی تومور گفته می شود. چنانچه سلول های یک تومور در محل تشکیل خود ثابت بوده و جابجا نشوند، تومور از نوع خوش خیم نام می گیرد (شکل ۴۶).



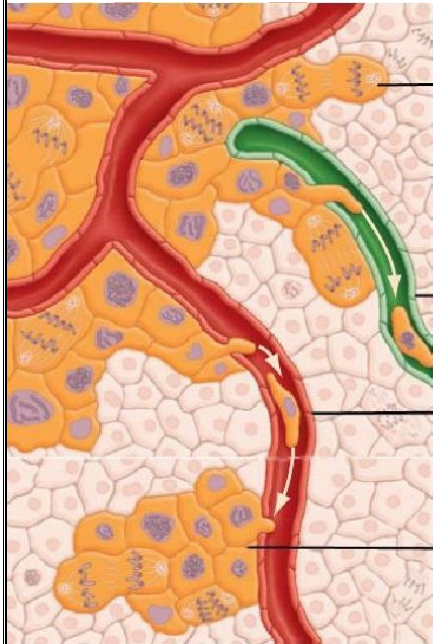
شکل ۴۶- سلول های تومور خوش خیم در جای خود ثابت هستند.

تومورهای خوش خیم علاوه بر اینکه در جای خود ثابت هستند، اندازه ی کوچکی هم دارند و به بافت های مجاور آسیب نمی رسانند. البته در مواردی هم مشاهده شده است که تومورهای خوش خیم رشد زیادی داشته و با حجمی که اشغال می کنند، به اندامهای مجاور فشار وارد کرده و عملکرد طبیعی آنها را مختل می کنند. پس نمی توان تومورهای خوش خیم را کاملاً بی خطر دانست. بعنوان مثال، تومورهای خوش خیمی که در مغز (در حجم محدود جمجمه) ایجاد می شوند، کارهای مغز را مختل می کنند چون به اجزای مغز فشار وارد می کنند. تومورهای مغزی از تقسیم نورونها ایجاد نمی شوند. این تومورها حاصل تقسیمات بی رویه و کنترل نشده ی سلول های پشتیبان هستند.

تومورهای خوش خیم را در صورت اختلال در عملکرد طبیعی اندامهای دیگر و یا برهم زدن زیبایی فرد با عمل جراحی برمی دارند.

لیپوما نوعی تومور خوش خیم است که ممکن است از تقسیم بیش از حد سلول های چربی زیر پوست در نواحی مختلف بدن ایجاد شود (شکل ۴۷). این نوع تومور معمولاً در افراد بالغ و بین سنین ۴۰ تا ۶۰ سالگی ایجاد می شود. لیپوما ایجاد شده در سر مشکلی برای مغز ایجاد نمی کند زیرا در بیرون جمجمه تشکیل می شود. یکی دیگر از مشکلاتی که ممکن است توسط تومورهای خوش خیم ایجاد شود این است که به رگهای موجود در محل فشار آورده و موجب اختلال در گردش خون و یا قطع جریان خون در آن قسمت بشوند. بد نیست بدانید که زگیل نیز نوعی تومور خوش خیم است.

شکل ۴۷- لیپوما، راست: در سر و بیرون جمجمه، چپ: روی ساعد در نزدیکی آرنج



سلول‌های تومور بدخیم مستقیماً به بافت‌های مجاور و از طریق رگ‌های خونی و لنفی به بافت‌های دور دست منتشر می‌شوند

مویرگ لنفی

مویرگ خونی

تومور جدید که با متاستاز در بافت دورتری تشکیل شده است

چنانچه سلول‌های تومور از آن جدا شده و در بدن پراکنده شوند، تومور را بدخیم می‌نامیم. سرطان بیماری است که در آن تومور بدخیم ایجاد می‌شود. تومور خوش خیم را سرطان نمی‌دانیم.

شکل ۴۸- سلول‌های تومور بدخیم می‌توانند بطور مستقیم در بافت‌های مجاور یا از طریق رگ‌ها در بافت‌های دور دست ساکن شوند.

سلول‌های تومور بدخیم می‌توانند به بافت‌های مجاور حمله کرده و در آنها مستقر و تومورهای جدید را ایجاد کنند. این سلول‌ها با وارد شدن به جریانات مایع بدن (خون و بویژه لنف) می‌توانند به نقاط دور دست تری در بدن برسند. متاستاز (دگرنشینی) پراکنده شدن سلول‌های سرطانی (تومور بدخیم) در بافت‌های مجاور یا نقاط مختلف بدن است (شکل ۴۸).

سلول‌های تومورهایی که متاستاز می‌کنند، با سلول‌های مجاور خود اتصالات محکمی ندارند و به همین دلیل از آنها جدا و به بافت‌های دیگر می‌روند. یکی از ویژگی‌های تومورهای بدخیم این است که می‌توانند موجب تشکیل شبکه‌ی رگی در خود بشوند و از این طریق دگرنشینی بیشتری را انجام دهند. یکی از روش‌های درمان سرطان، قطع ارتباط رگ‌های موجود در تومور بدخیم است تا به آنها مواد غذایی و اکسیژن نرسد و بمیرند. ملانوما نوعی تومور بدخیم است که در آن سلول‌های رنگدانه دار پوست سرطانی می‌شوند (شکل ۴۹).



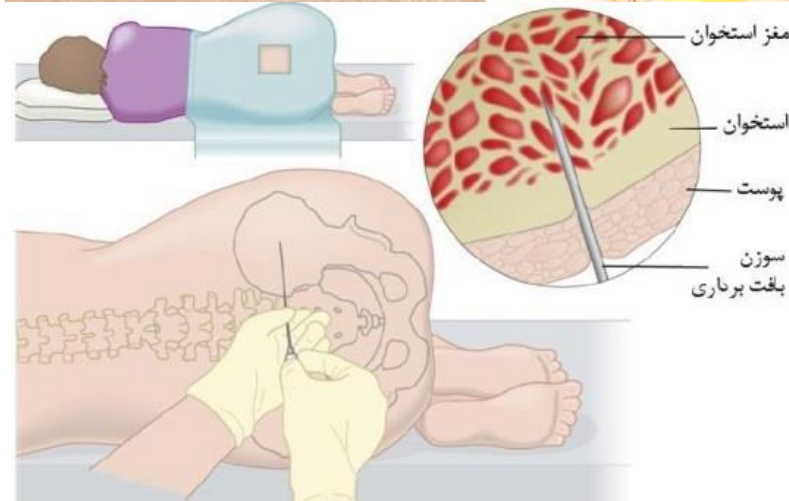
شکل ۴۹- ملانوما. الف سلول‌های سرطانی در حال متاستاز. ب نمای ظاهری ملانوما

شکل ۴۹- ملانوما. الف سلول‌های سرطانی در حال متاستاز. ب نمای ظاهری ملانوما

تشخیص و درمان سرطان با پیشرفت علم زیست

شناسی و طب، روش‌های مختلفی برای تشخیص و درمان انواع سرطان‌ها ابداع شده و ممکن است در مواردی از چندین روش بطور همزمان استفاده شود (شکل ۵۰).

شکل ۵۰ بافت برداری از مغز قرمز استخوان.



یکی از روش های شناسایی سرطان، بافت برداری (Biopsy) است. در روش شناسایی بافت برداری، بخش یا تمامی یک بافت مشکوک به سرطان از فرد برداشته شده و در آزمایشگاه مورد بررسی قرار می گیرد. از آنجا که بخشی از متاستاز تومورهای بدخیم از طریق خون انجام می شود، آزمایش خون نیز به تشخیص سرطان کمک می کند. سه روش رایج در درمان سرطانها عبارتند از عمل جراحی، شیمی درمانی و پرتودرمانی. رایج ترین روش درمان سرطان عمل جراحی است (شکل ۵۱)، ولی این روش در درمان سرطان دگرنشین شده و یا سرطان های بی که در مغز رخ می دهند و ممکن است با عمل جراحی مغز آسیب ببیند کاربرد گسترده ای ندارد. از آنجایی که همیشه این خطر وجود دارد که با عمل جراحی تمام سلولهای سرطانی برداشته نشوند، معمولاً پرتودرمانی و یا شیمی درمانی نیز در همراه با عمل جراحی انجام می شوند.



شکل ۵۱- عمل جراحی سرطان روده ی بزرگ

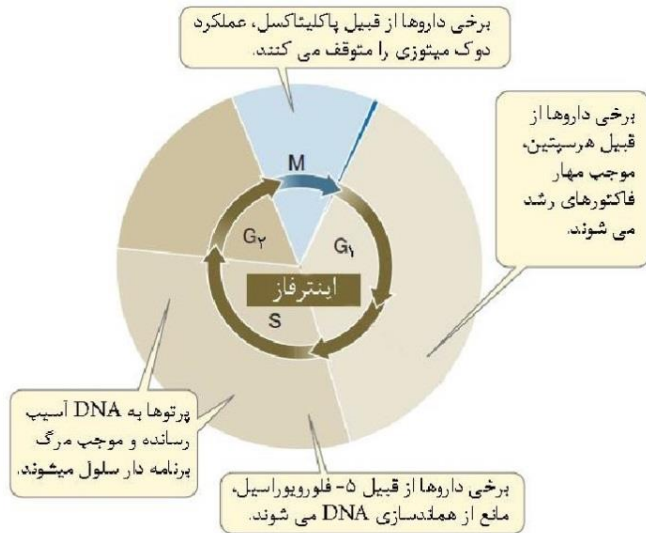
در روش شیمی درمانی، موادی (داروهای) به کار می روند که سلول های سرطانی را می کشند. پرتودرمانی کروموزوم ها را تخریب کرده و با مهار عملکرد دستگاه دوکی مانع از تقسیم آنها می شود. داروهای به کار رفته در شیمی درمانی تمام سلول های بدن اعم از سالم و سرطانی شده را تحت تاثیر قرار می دهند ولی چون سلولهای سرطانی به سرعت تقسیم می شوند، نسبت به سلولهای سالم در برابر این نوع داروها آسیب پذیرتر هستند. سلول هایی در بدن که اساساً سرعت تقسیم بالایی دارند از قبیل سلولهای پیاز مو، سلولهای پوششی لوله گوارش (به ویژه معده و روده) و سلول های مغز استخوان شدیداً تحت تاثیر داروهای شیمی درمانی قرار گرفته و آسیب می بینند. به همین علت، از عوارض جانبی شیمی درمانی می توان به ریزش مو، تهوع و خستگی اشاره کرد (شکل ۵۲).



شکل ۵۲- ریزش موها اثر جانبی شیمی درمانی، به علت آسیب پذیر بودن سلول های پرتقسیم فولیکول های مو در برابر این داروها است.

بعضی افراد که تحت درمان با پرتوها و یا شیمی درمانی قرار می گیرند، باید تحت عمل پیوند مغز استخوان نیز قرار بگیرند زیرا سلولهای بنیادی سازنده ی سلول های خونی موجود در مغز استخوان که قدرت تقسیم بالایی دارند، ممکن است بر اثر این روش های درمانی آسیب ببینند. لازم به ذکر است که اثرات جانبی پرتودرمانی کمتر از آثار جانبی شیمی درمانی است زیرا پرتودرمانی محدود به مکانی است که پرتوها به آنجا تابانده میشوند ولی داروهای شیمیایی در سرتاسر بدن پخش می شوند.

شکل ۵۳- عملکرد برخی روشهای درمانی سرطان

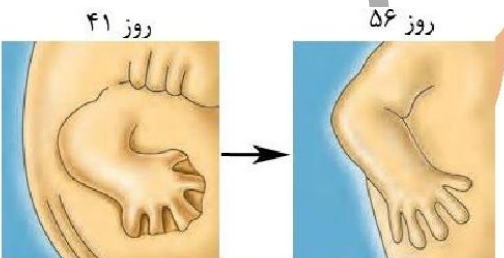


وراثت و محیط، عوامل ایجاد سرطان در ابتدای این نوشتار به اهمیت کلی پروتئین ها اشاره کردیم. یکی از کارهای مهم پروتئینها تنظیم چرخهای سلولی و همچنین مرگ سلول ها است. قبل از این نیز اشاره شد که سلول ها در بدن فقط تولید نمی شوند. بین تولید و مرگ سلول ها باید هماهنگی وجود داشته باشد که در سرطان، این هماهنگی از بین می رود. از آنجا که تولید تمام پروتئینها تحت رهبری و دستور ژنها انجام می شود، پس ژنها نقش مهمی در تنظیم چرخه ی سلولی دارند.

در برخی جوامع بشری، ژنها و آسیب رسیدن به آنها علت مهم شیوع و رواج سرطان است. از عوامل محیطی که منجر به سرطان می شوند می توان به پرتوهای فرابنفش نور خورشید، برخی آلاینده های محیط و دود خودروها اشاره کرد. این عوامل به ساختار DNA سلول ها آسیب رسانده و موجب تغییر ترتیب نوکلئوتیدهای آن می شود. می دانید که ترتیب صحیح نوکلئوتیدها برای تولید پروتئین های سالم و طبیعی بسیار حیاتی است. پرتوهای دیگری از قبیل گاما و X، مواد شیمیایی سرطانزا، مواد غذایی دودی شده (گوشت و ماهی دودی)، برخی ویروسها، قرص های ضدبارداری، نوشیدنی های الکلی و دخانیات (سیگار و قلیان) نیز از عوامل مهم سرطان هستند.

مرگ برنامه ریزی شده ی سلول: شاید در ظاهر، مردن سلولها امری غیرطبیعی و به ضرر بدن به نظر برسد، ولی همیشه اینگونه نیست. مرگ سلول های پیکر یک فرد می تواند بطور تصادفی و بر اثر یک سانحه باشد. مثلاً در پی آسیب هایی مثل بریدگی، سوختگی و شکستگی استخوانها، سلول هایی می میرند. بر اثر چنین عواملی، پدیده ای با نام بافت مردگی (Necrosis) اتفاق می افتد. بافت مردگی پدیده ای مضر برای بدن است.

نوع دیگر مرگ که در برخی سلول ها رخ می دهد، مرگ سلولی برنامه ریزی شده (Apoptosis) است. این نوع مرگ در برخی از یاخته ها و در شرایط خاصی انجام می شود. مرگ برنامه ریزی شده، با رسیدن علائم خاصی به سلول مورد نظر آغاز می شود. سلول به این علائم پاسخ می دهد و در مدت زمان کوتاهی (چند ثانیه) اجزای سلول توسط پروتئینهای تخریب کننده ای تجزیه شده و سلول می میرد. اسکلت سلولی و میتوکندریها، از جمله مواردی هستند که در سلول از کار افتاده و سلول می میرد. سلولی که با برنامه ریزی می میرد، اتصال خود را با سلول های دیگر از دست می دهد. این مرگ به نحوی انجام می شود که معمولاً به سلول های بافتهای مجاور آسیبی نمی رسد. مانند تخریب ساختمانی که در داخل آن به نحوی مواد منفجره را کار گذاشته و منفجر می کنند که به ساختمانهای مجاور آسیبی نرسد.



یک مورد معروف از مرگ سلولی برنامه ریزی شده از بین رفتن بافت های موجود در بین انگشتان بسیاری از جانوران مهره دار است (شکل ۵۴)

شکل ۵۴- بالا: حذف کامل پردهی های موجود در بین انگشتان جنین انسان، پایین حذف بخشی از بافت بین انگشتی و جدا شدن نسبی آنها



شکل ۵۵- حذف بافت‌های موجود بین انگشتان پای مرغ (چپ) و باقی ماندن آنها در پای اردک (راست)



جنین مرغ و اردک، هردو در بین انگشتان خود دارای پرده هستند. طی نمو جنینی و تکمیل آن، سلول‌های سازنده‌ی پرده‌ی بین انگشتان در جنین مرغ از بین رفته و در اردک باقی می ماند (شکل ۵۵).

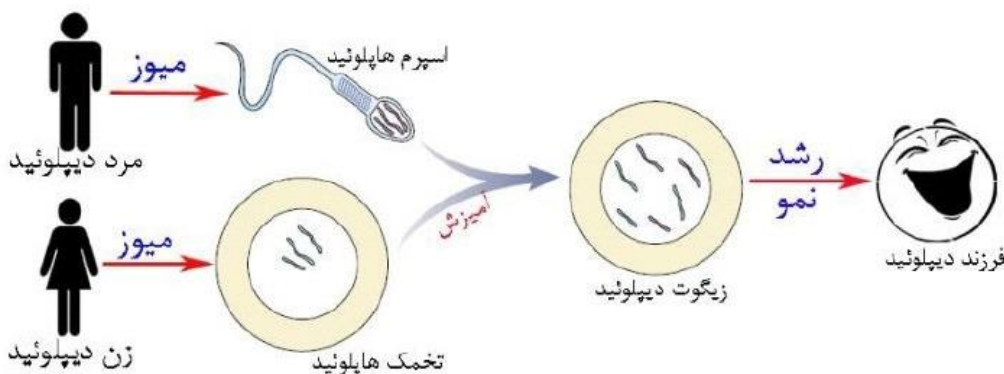
مثال‌های دیگر از مرگ سلولی برنامه ریزی شده در انسان و ضرورت آنها: فرارگیری در برابر نور مستقیم خورشید بسیار خطرناک است زیرا بخشی از طیف نور خورشید امواج فرابنفش هستند که آثار مخربی بر روی DNA سلول‌های پوست داشته و می تواند با ایجاد تغییراتی در آن موجب ایجاد سرطان پوست بشود. در چنین مواقعی سلول‌های سطحی پوست پس از آسیب توسط پرتو فرابنفش بصورت برنامه ریزی شده می میرند و خطر ابتلای به سرطان پوست کاهش می یابد.

در دوران جنینی، سلول‌های عصبی فراوانی از سمت دستگاه عصبی مرکزی به سمت اندامها ایجاد می شود. تعدادی از این نورونها اضافه هستند. نورون‌هایی که باید باقی بمانند، از سلول‌های هدف خود علائمی دریافت می کنند و زنده می مانند. برخی نورونها که این علائم را دریافت نمی کنند. با مرگ برنامه ریزی شده می میرند. می دانید که لنفوسیت‌های آ جزو سلول‌های دفاعی هستند که باید سلول‌های آلوده شده به ویروس و یا سلول‌های سرطانی شده را شناسایی و با آنها مبارزه کنند. شناسایی این سلولها از روی مولکول‌های سطحی خاص آنتی ژن آنها انجام میشود. در دوران جنینی، انواعی از لنفوسیت‌های تولید میشوند که قادر به شناسایی و مبارزه با سلول‌های سالم و عادی بدن هستند. این لنفوسیت‌های T نیز می میرند.

میوز، ضرورت تولیدمثل جنسی

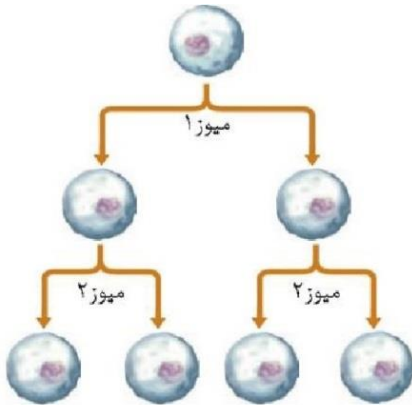
دو جانور دیپلوئید (مثلا زن و مرد) را تصور کنید که قصد تولیدمثل و فرزندآوری دارند. برای این کار هریک از آنها (والدین باید یک سلول جنسی را به اشتراک بگذارند. مرد، سلول جنسی از نوع اسپرم و زن، سلول جنسی از نوع تخمک را تولید و در ابتدای فرایند تولیدمثل آنها را با هم ترکیب می کنند. تصور کنید که اسپرم و تخمک با تقسیم میتوز تولید شده و هریک دارای $n=23$ کروموزوم (دیپلوئید) باشند!!! نتیجه فرزندگی خواهد بود که $n=46$ کروموزوم (تتراپلوئید) خواهد داشت!!!

در این بخش نوعی از تقسیم هسته را مورد بحث و بررسی قرار خواهیم داد که هسته‌های حاصل، تعداد کروموزومهای هسته‌ی مادری را نخواهند داشت. میوز نوعی تقسیم هسته است که بموجب آن تعداد کروموزومهای هسته‌ی حاصل کاهش یافته و کروموزوم‌های هسته‌ی سلول اولیه است. اسپرم حاصل از میوز ۲۳ کروموزوم و تخمک حاصل از میوز نیز ۲۳ کروموزوم دارد. ترکیب این دو سلول، سلولی به نام زیگوت (تخم) ایجاد می کند که ۴۶ کروموزوم دارد و فرزند حاصل از تقسیمات میتوزی زیگوت نیز ۴۶ کروموزوم خواهد داشت. ثابت ماندن تعداد کروموزومهای هر جاندار طی نسل‌های متوالی بسیار اهمیت دارد و این ثبات در جانوران اساسا با میوز و آمیزش ممکن می شود (شکل ۵۶).



شکل ۵۶- در اغلب موارد، میوز و آمیزش برای ثابت ماندن تعداد کروموزوم‌ها در تولیدمثل جنسی لازم هستند.

در حالی بحث درباره ی میوز را مطرح می کنیم که میتوز را بررسی کرده و به خوبی به یاد دارید. بسیاری از وقایعی سیتوپلاسمی که در میوز رخ می دهند مانند وقایع سیتوپلاسمی میتوز می باشند.

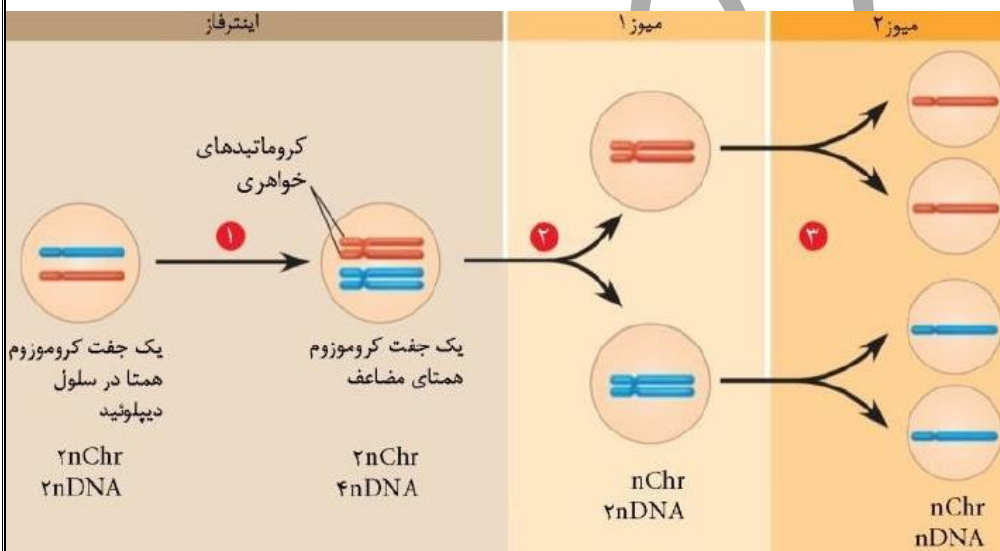


در میتوز، هدف تشکیل دو هسته و در بسیاری از موارد (در صورت انجام شدن سیتوکینز) دو سلول بود ولی در میوز، هدف ایجاد شدن چهار هسته و در نهایت چهار سلول است. بدیهی است که یک هسته با هیچ نوع تقسیم، نمی تواند مستقیماً چهار هسته ایجاد کند. میوز شامل دو تقسیم متوالی به نامهای میوز ۱ و میوز ۲ است. طی میوز ۱، از یک هسته دو هسته پدید می آید. هر یک از هسته های حاصل از میوز ۱، با انجام میوز ۲، دو هسته ایجاد می کنند و در نهایت چهار هسته و چهار سلول ایجاد میشود (شکل ۵۷).

شکل ۵۷- برای رسیدن به چهار هسته باید دو تقسیم متوالی انجام شود.

بنا به دلیلی که خواهید دید، سلول های هاپلوئید و تریپلوئید و بطور کلی سلول هایی که تعداد مجموعه های کروموزومی آنها فرد است قادر به میوز نیستند. تعداد مجموعه های کروموزومی، هیچ محدودیتی را برای انجام میتوز ایجاد نمی کنند. فقط کافی است که سلول توانایی میتوز را داشته باشد.

به شکل ۵۸ توجه کنید. سلول مادری، سلول دیپلوئیدی است که دو عدد کروموزوم دارد که همتای یکدیگر هستند ($2n=2$) هدف از میوز این سلول ایجاد ۴ سلول است که هر کدام نصف تعداد کروموزومها و نصف تعداد مولکولهای DNA سلول مذکور را داشته باشند یعنی $n=1$ باشند. طی میوز ۱، دو هسته (در قالب دو سلول تشکیل می شود که تعداد کروموزوم های آنها نصف سلول اولیه است ($nChr$) ولی هنوز تعداد DNA های آن ها نصف نشده است. وظیفه ی میوز ۲، نصف کردن تعداد DNA در سلول های نهایی است.



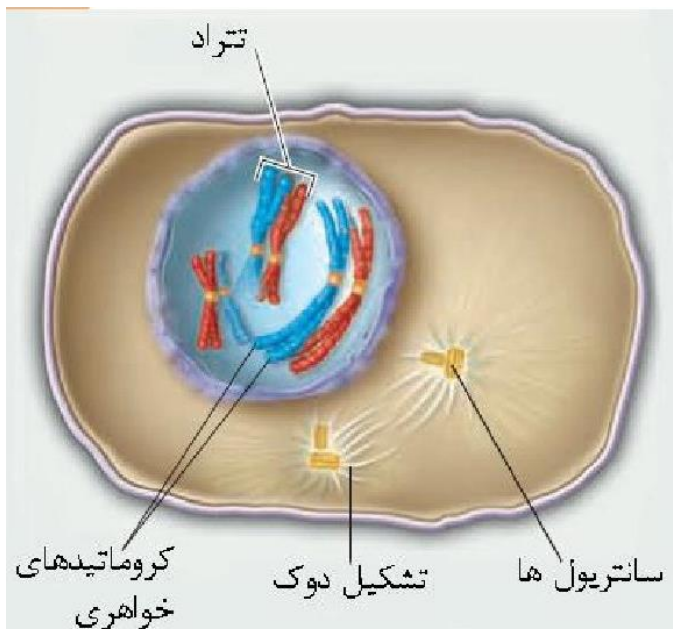
شکل ۵۸- وظیفه ی میوز ۱، نصف کردن تعداد کروموزومها و وظیفه ی میوز ۲، نصف کردن تعداد مولکولهای DNA است.

واضح است که مانند میتوز، قبل از میوز هم باید همانندسازی DNA انجام شود چرا که باید از دو کروموزوم اولیه در سلول مادری به چهار کروموزوم در مجموع چهار سلول نهایی هر سلول یک کروموزوم) برسیم (شکل ۵۸). ابتدا هر کروموزوم با همانندسازی مضاعف (دوکروماتیدی) می شود. طی میوز، کروموزومهای همتا از یکدیگر جدا می شوند و تعداد کروموزومها در دو سلول حاصل نصف می شود. با میوز ۲ و جدا شدن کروماتیدهای خواهری، چهار سلول ایجاد می شود که دقیقاً نصف سلول اولیه کروموزوم و DNA دارد.

مراحل میوز: اشاره شد که میوز در دو مرحله ی کلی ۱ و ۲ انجام می شود. میوز ۱ و میوز ۲ هر کدام دارای چهار مرحله ی پروفاز، متافاز، آنافاز و تلوفاز هستند که آنها را با شماره های ۱ و ۲ نشان می دهیم.

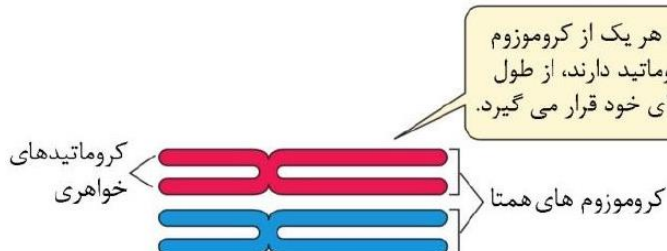
پیش از پروفاز ۱، اینترفاز انجام میشود و مثل اینترفاز قبل از میتوز، رشد سلول، همانندسازی DNA و مضاعف شدن تعداد سانتیریولها (در صورت وجود) انجام می شود. سلولی که میوز آن را بررسی خواهیم کرد دیپلوئید است و ۶ کروموزوم دارد ($n=6$). پیش بینی می کنیم که در نهایت چهار سلول ایجاد شوند که هر یک دارای سه کروموزوم ($n=3$) باشند. دقت به این نکته بسیار ضروری است که نصف شدن تعداد کروموزوم ها در این مثال صرفاً به معنای سه کروموزومی بودن سلول های حاصل نیست. در حالت طبیعی، سلول های حاصل از میوز باید هر یک دارای یک مجموعه کروموزوم باشند یا عبارتی در سلول های حاصل از میوز نباید هیچ کروموزومی به همراه همتای خود باشد.

پروفاز ۱: وقایع سیتوپلاسمی پروفازا بسیار شبیه به پروفاز میتوز است. پوشش هسته شروع به متلاشی شدن می کند. هر جفت سانتیریول از جفت سانتیریول دیگر دور شده و ریز لوله های دوکی تشکیل می شوند. در این جا هم سه نوع ریزلوله ی دو کی ایجاد می شود. کروماتین شروع به متراکم تر شدن کرده و کروموزومهای قابل رویت با میکروسکوپ نوری شکل می گیرند. پروفاز میتوز را به یاد دارید. چنانچه سلولی که وارد پروفاز میتوز میشد، کروموزومهای همتا (در صورت هاپلوئید نبودن سلول) بدون بافتن همدیگر فشرده میشدند. اتفاق مهمی که در پروفاز ۱ رخ می دهد این است که کروموزومهای همتا ضمن فشرده شدن در کنار یکدیگر قرار گرفته و ساختارهایی ایجاد می کنند که تتراد نام دارند (شکل ۵۹).



شکل ۵۹- پروفاز میوز ۱. سلول ۶ کروموزوم و ۱۲ مولکول DNA دارد. این سلول قبل از همانندسازی، ۶ کروموزوم و ۶ مولکول DNA داشته است و هدف از میوز ایجاد ۴ سلول، هر یک با ۳ کروموزوم و ۳ مولکول DNA است.

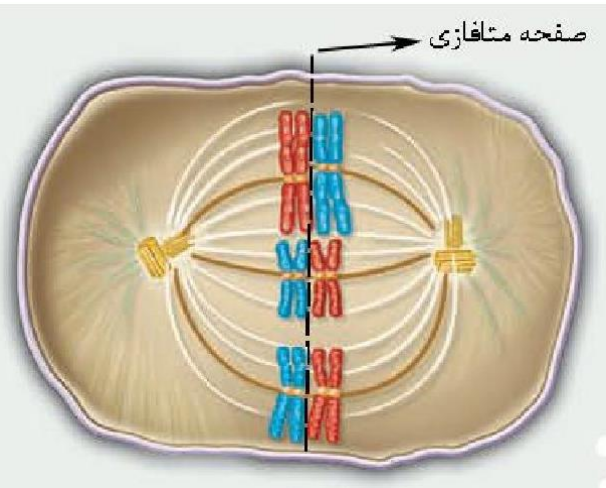
تتراد: هر تتراد شامل دو کروموزوم همتای مضاعف است که از طول در مجاورت یکدیگر قرار گرفته اند. پس هر تتراد چهار کروماتید، چهار مولکول DNA یا دو سانترومر دارد (شکل ۶۰). در سلول هایی که هاپلوئید و تریپلوئید هستند میوز انجام نمی شود زیرا امکان جفت شدن کروموزوم ها و تشکیل تتراد در آنها وجود ندارد.



شکل ۶۰- تتراد

تعداد تترادها: از آنجا که هر تتراد از کنار هم قرار گرفتن دو کروموزوم همتا تشکیل می شود، پس تعداد تترادها نصف تعداد کروموزوم ها است. در افرادی که کروموزوم های جنسی آنها همتا نیستند (مثل مرد در انسان و مگس سرکه ی نر) نسبت به آنهایی که کروموزوم های جنسیشان هم همتا هستند (زن در انسان و مگس سرکه ی ماده)، یک عدد تتراد کمتر تشکیل می شود. تعداد تترادها در زن ۲۳ عدد و در مرد ۲۲ عدد است. تعداد تترادها در مگس سرکه ی ماده ۴ عدد و در مگس سرکه ی نر ۳ عدد است.

متافاز ۱: بعد بررسی این مرحله متوجه خواهید شد که نوع سلولهای حاصل از میوز (از نظر محتوای انواع کروموزوم) در متافاز ۱ تعیین میشود. در متافاز میوز ۱ نیز جابجایی کروموزومها به سمت صفحه میوزی بر عهده ی دسته ای از ریز لوله های دستگاه دوکی است که به سانترومر کروموزومها متصل می شوند. بر خلاف متافاز میتوز که به سانترومر هر کروموزوم از هر دو طرف ریز لوله متصل می شود، در متافاز ۱ میوز به هر تتراد، دو ریز لوله یا عبارتی به هر کروموزوم، یک ریزلوله وصل می شود. هر تتراد طوری در صفحه ی متافازی قرار داده میشود که هر یک از کروموزومها به سمت یک قطب سلول قرار می گیرند (شکل ۶۱).

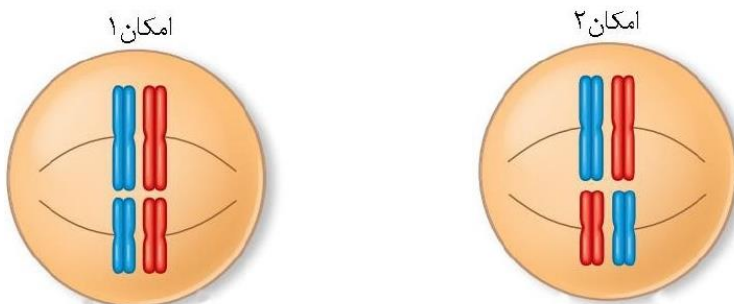


شکل ۶۱- متافاز میوز. تترادها در صفحه ی متافازی قرار داده می شوند. سلول ۶ کروموزوم و ۱۲ مولکول DNA دارد.

آرایش های تترادی: قبلا اشاره شد که اگر سلول مورد بحث در میوز، حاصل تولیدمثل جنسی باشد، یک مجموعه کروموزوم خود را از یک والد و مجموعه دیگر را از والد دیگر دریافت کرده است. اگر کروموزومهای قرمز و آبی را به ترتیب کروموزومهای پدری و مادری در نظر بگیریم، می توان حالت های مختلفی

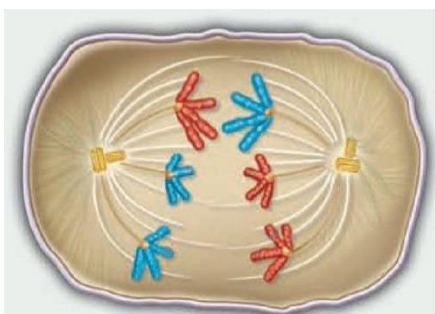
را برای قرار گیری آنها در صفحه ی متافازی تصور کرد. نحوه ی قرار گیری کروموزومها در صفحه میوزی کاملا اتفاقی بوده و چیزی جز شانس و احتمال در آن دخالت ندارد. انواع آرایش های تترادی قابل تصور (قابل تصور !!) برای یک سلول دیپلوئید، با رابطه ی 2^{n-1} محاسبه می شود. در این رابطه، n تعداد اعضای هر مجموعه است. بعنوان مثال برای یک سلول انسان با $2n=46$ می توان 2^{22} (۴۱۹۴۳۰۴) حالت برای قرارگیری تترادها (کروموزومهای پدری و مادری) در متافاز تصور کرد. ولی وقتی سلولی وارد میوز میشود و تترادها در صفحه ی متافازی قرار می گیرند، فقط یک حالت از حالت های قابل تصور رخ می دهد.

انواع آرایش تترادی قابل تصور در سلول هایی که کروموزومهای جنسی همتا و غیرهمتا دارند برابر است یعنی در سلول مرد و زن، برای هر دو میتوان 2^{22} نوع آرایش تترادی تصور کرد. در شکل ۶۲ انواع آرایش های تترادی ممکنه برای سلول $2n=4$ رسم شده است. شما نیز آرایش های تترادی قابل تصور برای سلول $2n=46$ را رسم کنید.



شکل ۶۲- برای سلول $2n=4$ دو نوع آرایش تترادی می توان تصور کرد.

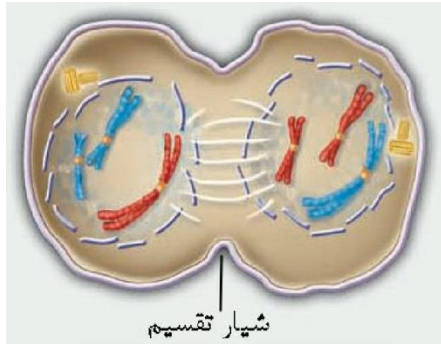
آنافاز ۱: در این مرحله، کروموزومهای همتای سازنده هر تتراد از یکدیگر جدا شده و هر کدام به سمت یک قطب سلول حرکت می کنند. این ساز و کار حرکتی کروموزومها نیز مانند آنافاز میتوز و با کوتاه (تجزیه شدن ریز لوله های دوک انجام میشود. در آنافاز ۱ بر خلاف آنافاز میتوز، تغییری در تعداد کروموزومها و سانترومرها ایجاد نمی شود (شکل ۶۳).



شکل ۶۳- آنافاز میوز ۱. سلول ۶ کروموزوم و ۱۲ مولکول DNA دارد. تعداد کروموزومها نسبت به مرحله قبل تغییری نمی کند.

این که کدام کروموزوم ها با هم به کدام قطب سلول حرکت کنند در مرحله متافاز ۱ تعیین شده است.

تولوفاز ۱: در آخرین مرحله از میوز، یک مجموعه کروموزوم (کروموزوم) به هر قطب رسیده و در اطراف آنها پوشش هسته تشکیل می شود. معمولا همزمان با تولوفاز ۱، سیتوکینز نیز آغاز و دو سلول تشکیل می شود (شکل ۶۴). با وجود این که با انجام میوز، تعداد کروموزوم ها نصف می شود ولی به علت مضاعف بودن کروموزوم های دو سلول حاصل، تعداد مولکولهای DNA در آنها دوبرابر تعداد کروموزوم ها است. وظیفه میوز ۲ نصف کردن تعداد مولکول های DNA نسبت به سلول آغاز کننده میوز است.

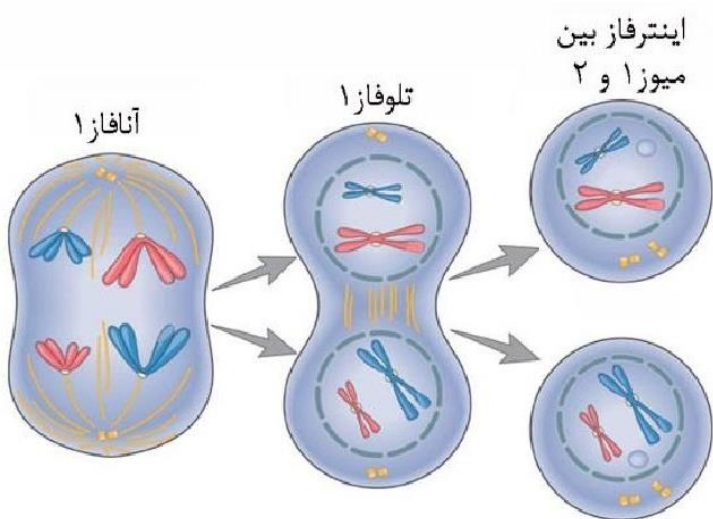


شکل ۶۴- تولوفاز میوز و همزمان با آن آغاز سیتوکینز، هر هسته ۳ کروموزوم و ۶ مولکول DNA دارد.

سیتوکینز در میوز مانند سیتوکینز میتوز انجام میشود یعنی در سلول جانوری، حلقه ی انقباضی (توسط اکتین و میوزین) و در سلول گیاهی، صفحه ی سلولی توسط وزیکول های گلژی تشکیل می شود. اکنون هر هسته، ۳ کروموزوم و ۶ مولکول DNA دارد.

هسته های حاصل از میوز را با هسته ی موجود در پروفاز ۱ در شکل مقایسه کنید. می بینید که کروموزوم های موجود در هریک از هسته های تولوفاز ۱، دقیقه نصف کروموزوم های موجود در سلول والدی است و هر هسته سه کروموزوم غیرهمتا (یک مجموعه دارد. در سلول های حاصل از میوز (خواه میرزا خواه میوز ۲) یک سلول دیپلوئید، نباید (نباید!) کروموزوم همتا یافت.

میوز ۲: این تقسیم در دو سلول حاصل از میوز انجام می شود. چهار مرحله ی پروفاز، متافاز، آنافاز و تولوفاز میوز ۲ را با عدد دو نشان می دهیم بین میرزا و میوز ۲ اینترفاز کوتاهی طی می شود. در این فاصله برخلاف اینترفاز قبل از میتوز و میوز، همانندسازی DNA انجام نمی شود ولی مانند آنها، تعداد سانتیریولها در هر سلول دوبرابر میشود (شکل ۶۵).



شکل ۶۵- در سلول های حاصل از میوز، تغییری در شکل و تعداد کروموزومها ایجاد نمی شود ولی سانتیریولها در صورت وجود دو برابر می شوند.

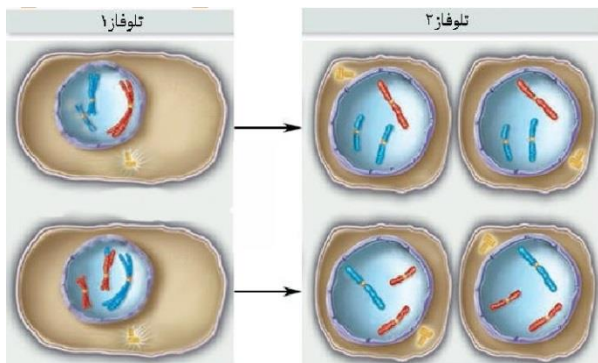
پروفاز ۲: مانند پروفازهایی که تا کنون خواندید، جفت سانتیریول ها از یکدیگر دور شده و دستگاه دوکی به همان ترتیب ایجاد میشود. پوشش هسته ای متلاشی شده و هستک ناپدید میشود (شکل ۶۶). کروموزومها که در پایان میوزا مقداری از تراکم خود کاسته اند، دوباره بر تراکم خود می افزایند. هر سلول ۳ کروموزوم و ۶ مولکول DNA دارد.

متافاز ۲: کروموزوم ها توسط ریز لوله های دوک در صفحه ی متافازی قرار می گیرند. در این مرحله مانند متافاز میتوز، هر کروموزوم در دو طرف سانترومر خود به ریز لوله های دوک متصل هستند. همتای هیچ کروموزومی در کنار آن وجود ندارند که لازم باشد دربارهی ارتباط آنها بحث شود. هر سلول ۳ کروموزوم و ۶ مولکول DNA دارد.

آنافاز ۲: مانند آنافاز میتوز، کروماتیدهای خواهری از یکدیگر جدا شده و کروموزوم ها به سمت دو قطب سلول کشیده می شوند. از آنجا که با جدا شدن کروماتیدهای خواهری، هر کروموزوم دو کروماتیدی به دو کروموزوم تک کروماتیدی تبدیل می شود، تعداد کروموزوم ها بطور موقت دوبرابر می شود. هر سلول ۶ کروموزوم و ۶ مولکول DNA دارد.

تلفاز ۲: کروموزوم های تک کروماتیدی به قطبین سلول رسیده، پوشش هسته ها و ریز لوله های دوک تجزیه می شوند. همزمان با تلفاز در دو سلول سیتوکینز آنها نیز شروع شده و در نهایت چهار سلول تشکیل می شود. حالا هر سلول ۳ کروموزوم و ۳ مولکول DNA دارد.

میوز ۲ را به جرات می توان نوعی میتوز بحساب آورد زیرا طی آن، تعداد کروموزوم ها تغییر نمی کنند. سلولی که میوز ۲ را آغاز می کند، دارای کروموزوم و سلول های حاصل از میوز ۲ نیز دارای کروموزوم هستند.



شکل ۶۷- نتایج میوزا و میوز ۲ در یک نگاه.

تنها تفاوتی که بین سلول های حاصل از میوزا و میوز ۲ وجود دارد تعداد کروماتیدها یا عبارتی تعداد مولکول های DNA هر کروموزوم است. می بینید که هر سلول سه کروموزومی تبدیل به دو سلول سه کروموزومی می شود. میوزا

وظیفه ی نصف کردن تعداد کروموزومها از ۶ کروموزوم به ۳ کروموزوم) و میوز ۲ وظیفه ی کم کردن تعداد مولکولهای DNA از ۶ مولکول DNA به ۳ مولکول DNA) نسبت به سلول مادری را بر عهده دارد. در شکل (قسمت بالا) دو سلول سمت راست محتوای ژنتیکی و تنوع اللی مانند سلول چپ را دارند. در شکل (قسمت پایین) نیز همینطور است. با نگاه دقیق به سلول های حاصل از میوزا و میوز ۲ متوجه می شویم که سلول های حاصل از میوز ۱، دونوع و ۴ سلول حاصل از میوز ۲ نیز دو نوع هستند (شکل ۶۷).

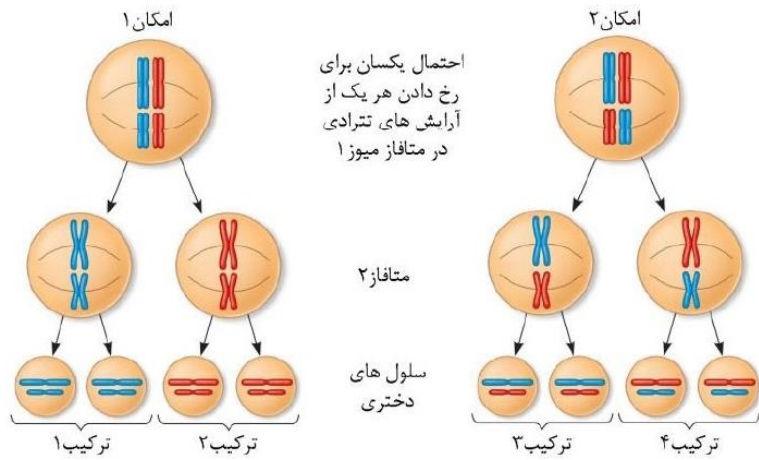
میوز در سلول، میوز در فرد: وقتی میوز را در یک سلول بررسی کردیم، دیدیم که از تمام حالت های ممکنهای که برای آرایش های تترادی ممکن هستند (احتمال دارند)، فقط یکی از آنها در عمل رخ می دهد. مثلا وقتی یک سلول مگس سرکه وارد میوز میشود، با وجود امکان رخ دادن ۸ نوع آرایش تترادی متفاوت، فقط یکی از آنها در آن سلول رخ می دهند.

وقتی درباره ی میوز در یک فرد حرف می زنیم، در اصل با تعداد فراوانی سلول میوز کننده مواجه هستیم که در اندام میوز کننده وجود دارند. بعنوان مثال در انسان این اندام بیضه ی مردان و تخمدان زنان است. در گیاهان نیز میوز در هاگدانها رخ می دهد. چون موارد بسیار فراوانی از تقسیم میوز در فرد انجام می شود، در محاسبات ژنتیکی، حالت هایی را که در عمل ایجاد می شوند را برابر با حالت هایی که در امکان وجود داشت برابر در نظر می گیریم، به شکل ۶۸ توجه کنید. سلول مورد بحث $2n=4$ است. طبق رابطه ای که پیش از این گفته شد، برای این سلول دو حالت آرایش تترادی قابل تصور ممکن است: امکان ۱ و امکان ۲ و در عمل فقط به یکی از حالتها در می آید: یا حالت ۱ یا حالت ۲.

به سلولهای نهایی ایجاد شده در هر یک از حالتها دقت کنید. اگر آرایش تترادی به حالت ۱ بوده باشد، دو نوع سلول متفاوت ایجاد می شود و اگر آرایش تترادی به حالت ۲ بوده باشد، دو نوع سلول متفاوت دیگر. پس هر نوع آرایش تترادی، ایجاد کننده ی دو نوع سلول است. می توان گفت که سلولی که توانایی ایجاد دو نوع آرایش تترادی را دارد توانایی ایجاد چهار نوع سلول را با میوز کامل خود دارد (هر نوع آرایش تترادی دو نوع سلول).

حالا سلول انسان را در نظر بگیرید. از آنجا که هر سلول میوز کننده ی انسان توانایی 2^{22} حالت آرایش تترادی را دارد پس سلول انسان توانایی ایجاد 2^{23} حالت (۸۳۸۸۶۰۸ حالت) در بین سلولهای حاصل از میوز کامل خود را دارد ولی بعلت اینکه فقط یک نوع آرایش تترادی را می تواند

کسب کند، فقط دو نوع سلول می تواند با میوز کامل خود ایجاد کند (در اینجا منظور میوز در مرد است). حالا فرد: در کل سلول های میوزکنندهی انسان ۲۲۲ حالت آرایش تترادی ممکن است و چون تعداد این سلول ها فراوان هستند می توانیم اینطور فرض کنیم که تمام حالت های قابل تصور در عمل نیز شکل می گیرند و در نتیجه تمام سلول های قابل تصور حاصل از میوز (۲^{۲۳} نوع) نیز تشکیل می شوند.



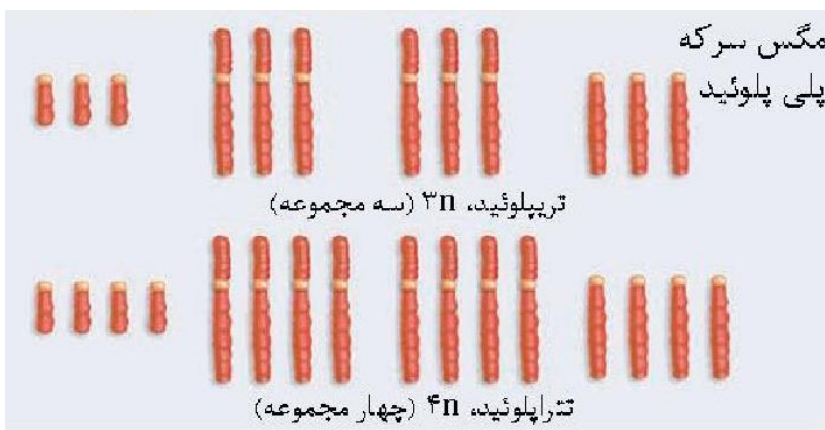
شکل ۶۸ - برای سلول ۴-۲۸ دو نوع آرایش تترادی و چهار نوع سلول حاصله قابل تصور است.

تغییر در تعداد کروموزومها: حالا که با تعداد صحیح کروموزومها و مجموعه های کروموزومی (هاپلوئید و دیپلوئید) آشنا شدید، به بررسی مواردی از تعداد کروموزوم ها می پردازیم که طبیعی نیستند. تغییر در تعداد کروموزوم ها به دو صورت ممکن است مشاهده شود. یکی تغییر در تعداد مجموعه های کروموزومی و دیگری تغییر در تعداد یک یا چند کروموزوم در یک مجموعهی کروموزومی. پسوند پلوئید یا پلوئیدی بیانگر مجموعه ی کامل از کروموزوم ها است. به یاد دارید که جاندار دیپلوئید که تعداد کروموزوم های طبیعی دارد، در هر یک از سلولهای سوماتیک (پیکری = غیر جنسی) خود در مجموعه کروموزوم دارد. بعنوان مثال، مگس سرکه ی طبیعی دارای هشت عدد کروموزوم در هسته ی هر سلول پیکری خود است. گوندی مگس سرکهی طبیعی که دیپلوئید است، دو مجموعه ی چهار کروموزومی دارد (شکل ۶۹).



۶۹- تعداد کروموزوم ها در هر دو جنس نر و ماده مگس سرکه برابر است.

جانداران با توجه به تعداد کروموزوم ها می توانند تعداد مجموعه های مختلفی داشته باشند. بعنوان مثال، در مواردی نادر، یک مگس سرکهی غیرطبیعی ممکن است دوازده کروموزوم داشته باشد که دارای سه مجموعه ی چهار کروموزومی است (شکل ۷۰).

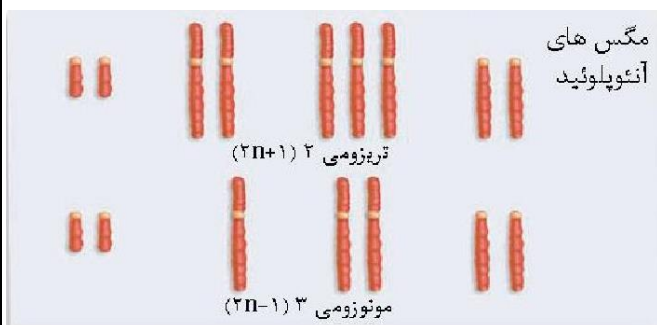


شکل ۷۰- دو حالت از مگس سرکه پلی پلوئید.

به جاندارانی که تعداد مجموعه های کروموزومی آنها سه

یا بیشتر باشد، پلی پلوئید می گوئیم. می دانید که یک جاندار دیپلوئید، $2n$ نامیده می شود از این رو جانداران تریپلوئید و تتراپلوئید را به ترتیب $3n$ و $4n$ می نامیم. از جانداران دیگر که پلی پلوئید هستند و در برنامه ی غذایی ما نیز یافت می شوند می توان به گندم نان ($6n$) و موز ($3n$) اشاره کرد. لازم به ذکر است که جانداران تریپلوئید. قادر به انجام تقسیم میوز و تولیدمثل جنسی نبوده و اصطلاحا نازا هستند و تولید مثل آنها باید به روش غیر جنسی انجام شود.

حالت دیگر تغییر در تعداد کروموزوم ها آنوپلوئیدی نام دارد. در این پدیده، تعداد یک یا چند کروموزوم تغییر می کند و از این رو، تعداد کلی کروموزوم ها مضرب صحیحی از یک مجموعه نیست. تصور کنید که یک مگس سرکه غیرطبیعی به جای هشت کروموزوم، نه کروموزوم داشته باشد. (شکل ۷۱).



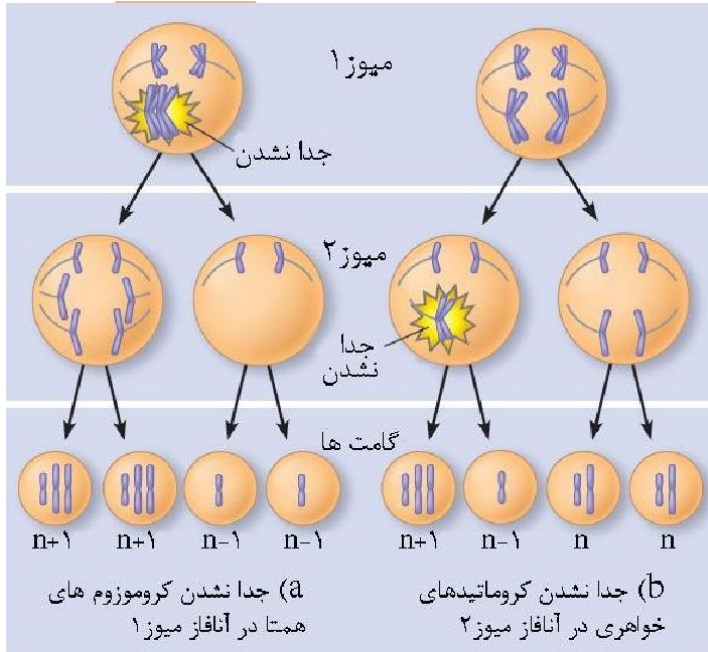
شکل ۷۱- در اینجا فقط به کاهش یا افزایش یک کروموزوم اشاره شده است.

به مگس سرکه ای که به جای دو نسخه از کروموزوم شماره ۲، سه نسخه دارد، می گوئیم که تریزومی شماره ۲ دارد. یک جانور تریزومی به جای تعداد $2n$ یا دیپلوئید کامل، $2n+1$ است. از طرفی، یک مگس سرکه ممکن است یک عدد کروموزوم (مثلا کروموزوم شماره ۳) کم و در کل هفت عدد کروموزوم داشته باشد. این مگس $2n-1$ است و اصطلاحا مونوزومی شماره ۳ دارد.

تغییر در تعداد کروموزوم ها پدیدهی نسبتا شایعی است و آثار قابل توجهی بر روی ویژگی های گیاهان و جانوران دارد. به همین علت دانشمندان زیادی در پی کشف سازوکارهای منجر به این تغییرات بوده و هستند. در برخی از موارد، تغییر در تعداد کروموزوم ها نتیجهی جدا شدن غیرطبیعی و نادرست کروموزوم ها طی تقسیم میوز است. اصطلاح جدانشدن (با هم ماندن) اشاره به پدیده ای دارد که طی آن کروموزوم ها طی تقسیم سلولی بطور صحیحی از یکدیگر جدا نمی شوند (با هم می مانند). جدا نشدن میوزی ممکن است در آنافاز میوزا (جدا نشدن کروموزوم-های همتا) یا آنافاز میوز ۲ (جدا نشدن کروماتیدهای خواهری) انجام شود و سلولهایی ایجاد شوند که کروموزوم های کمتر یا بیشتر از تعداد طبیعی داشته باشند. چنانچه گامتی که طی تولید آن جدا نشدن رخ داده باشد (کروموزوم کمتر یا بیشتر داشته باشد) با یک گامت طبیعی شود (لقاح کند) فرد حاصله آنوپلوئید خواهد بود و در تمام سلول های خود ترکیب کروموزومی غیرطبیعی $2n-1$ یا $2n+1$ خواهد داشت. لازم به ذکر است که معمولا افزایش تعداد کروموزوم ها قابل تحمل تر از کاهش آنهاست هرچند افزایش تعداد کروموزوم نیز می تواند مشکلات جدی را برای فرد ایجاد کند.

تغییر در تعداد کروموزوم ها می تواند ناشی از جدا نشدن آنها در جریان تقسیم میتوز نیز باشد. چنانچه افزایش یا کاهش تعداد کروموزوم ها بر اثر میتوز باشد، ممکن است مشکل چندانی برای جاندار پیش نیاید و فقط برخی از سلول های بافتی که در آنها جدا نشدن رخ داده است دچار مشکلاتی یا دچار مرگ بشوند. اگر تغییر در تعداد کروموزوم ها بر اثر میوز رخ دهد ممکن است (ممکن است!!) به نسل بعد منتقل شود زیرا تقسیم میوز سلول هایی را ایجاد می کند که در تشکیل زاده های نسل بعد شرکت می کنند و به شرطی تغییر تعداد کروموزوم ها به نسل بعد منتقل می شود که آن سلول حاصل از جدا نشدن، در لقاح شرکت کند و این امری است کاملا شانسی.

نگاهی دقیق تر به جدا نشدن کروموزوم ها: آنافازها، حساس ترین مراحل هستند که در انواع تقسیم در سلولهای یوکاریوتی انجام می شوند. به یاد دارید که در آنافاز میتوز و آنافاز میوز ۲، کروماتیدهای خواهری و در آنافاز میوز ۱، کروموزومهای همتا از هم جدا می شوند. چنانچه در جدا شدن کروموزوم ها اشکالی پیش آمده و این کار به درستی انجام نشود، سلول های حاصل، کروموزوم یا کروموزومهای کمتر یا بیشتر از تعداد طبیعی خواهند داشت (شکل ۷۲).



شکل ۷۲- جدا نشدن در آنافاز ۱ و آنافاز ۲

در شکل - a یکی از جفت کروموزومهای همتا در آنافاز ۱ به درستی از یکدیگر جدا نشده اند. یکی از سلول های حاصل از میوز، یک کروموزوم بیشتر از کروموزوم (سه کروموزوم) و سلول دیگر یک کروموزوم کمتر از ۱ کروموزوم (یک کروموزوم) دارد. حال با انجام میوز ۲ (که از قبل میدانید مانند میتوز است) دو سلول از چهار سلول یک کروموزوم بیشتر از تعداد طبیعی (n+1) و دو سلول دیگر، یک کروموزوم کمتر از تعداد طبیعی (n-1) دارند.

در شکل - b جدا شدن کروموزومهای همتا در آنافاز ۱ به درستی انجام شده پس هر دو سلول حاصل از میوز تعداد کروموزومهای طبیعی

(n=2) دارند. در یکی از سلول ها که میوز ۲ را انجام میدهند، در یکی از کروموزومها جدا نشدن رخ داده و کروماتیدهای خواهری از هم جدا نشده اند و در نتیجه یکی از سلول ها دارای یک کروموزوم بیشتر و سلول دیگر دارای یک کروموزوم کمتر شده است. میوز ۲ در سلول دیگر به درستی انجام شده است. نتیجه ی نهایی این میوز این است که نیمی از سلول ها تعداد کروموزوم طبیعی (n)، یک سلول، یک عدد کروموزوم بیشتر از تعداد طبیعی (n+1) و یک سلول یک عدد کروموزوم کمتر از تعداد طبیعی (n-1) دارند.

واضح است که هرچه جدا نشدن زودتر (آنافاز ۱ نسبت به آنافاز ۲) رخ بدهد، احتمال تشکیل سلول های بیشتر با تعداد کروموزوم غیرطبیعی بیشتر است.

حالا سلولی را تصور کنید که گامت (سلول جنسی) است و در تولید آن پدیده ی جدا نشدن رخ داده باشد و یک کروموزوم کم (n-1) یا زیاد (n+1) داشته باشد. چنانچه این سلول با سلول جنسی دیگر که که تعداد کروموزوم های آن طبیعی (n) است ترکیب شود، سلول زیگوت (تخم) حاصل به ترتیب یک کروموزوم کمتر (2n-1) یا یک کروموزوم بیشتر (2n+1) خواهد داشت.

در انسان مواردی از انواع تریزومی مشاهده شده است ولی تریزومی ۲۱ معروف ترین آنها است. افراد دارای تریزومی ۲۱ مبتلا به نشانگان داون هستند (شکل ۷۳). نشانگان یا سندرم ترکیبی از نشانه های یک بیماری یا یک حالت است. علت اصلی و مهم ایجاد شدن چنین افرادی را به سن بالای مادران نسبت می دهند. با افزایش سن یک خانم، احتمال رخ دادن خطای میوزی از نوع جدا نشدن کروموزومها نیز بالا می رود و ممکن است کروموزوم های جفت ۲۱ در میوز از یکدیگر جدا نشوند. نتیجه می تواند دو چیز باشد: یا تولید تخمک با کروموزوم اضافه (به جای یک عدد کروموزوم ۲۱، دو عدد کروموزوم ۲۱) یا تولید تخمک با کروموزوم کم (بدون کروموزوم ۲۱). چنانچه تخمک دارای دو کروموزوم ۲۱ با اسپرم طبیعی که یک کروموزوم ۲۱ دارد لقاح کند، زیگوت و به دنبال آن فرزند حاصله دارای سه کروموزوم ۲۱ (در مجموع ۴۷ کروموزوم) خواهد بود. چنانچه تخمک بدون کروموزوم ۲۱ با اسپرم طبیعی لقاح کند، زیگوت حاصله یک کروموزوم ۲۱ (در مجموع ۴۵ کروموزوم) خواهد داشت. قبلا اشاره شد که کمبود کروموزوم در بسیاری از موارد مرگبار بوده و فرزندی به دنیا نمی آید. بسیاری از موارد سقط جنین بعلت تشکیل شدن جنین هایی هستند که تعداد کروموزوم آنها کم است.



شکل ۷۳- کودک مبتلا به سندرم داون و کاریوتیپ آن

جدا نشدن کروموزومها در فرایند گامت سازی بر اثر افزایش سن، یک عامل درونی بحساب می آید. عوامل محیطی نیز در این کار دخالت دارند که از این عوامل می توان به مصرف دخانیات، نوشیدنی های الکلی، پرتوهای آسیب رسان از قبیل X و گاما و فرابنفش و انواع آلاینده ها اشاره کرد. این عوامل می توانند در مرد و زن موجب بروز پدیده ی جدا نشدن بشوند.

کراسینگ اور:

در هنگام جفت شدن کروموزوم ها (تشکیل تتراد) در پروفاز میوز، گاه قطعاتی از دو کروماتید غیرخواهری بین کروموزوم های همتا مبادله می شود. اگر این قطعات حامل الل های متفاوتی باشند، ترکیب جدیدی از الل ها به وجود می آید و می تواند باعث افزایش تنوع شود. این پدیده را کراسینگ اور مینامند. کراسینگ اور الل جدید ایجاد نمی کند. و جهش محسوب نمی شود.

نکته ۱: در مردان هر سلول زاینده به دنبال هر بار میوز چهار عدد اسپرم ایجاد می کند که از نوع هستند ولی بعد از کراسینگ اور چهار اسپرم ایجاد می کند که می تواند از چهار نوع مختلف باشند. ولی در زنان هر بار میوز چه کراس بکند چه نکند فقط یک نوع گامت می دهد. چون سه تای آن گویچه قطبی هستند و از بین می روند.

نکته ۲: در صورتی که در یک سلول زاینده همی الیهایکسان باشند میوز و تولید مثل جنسی و فرایند کراسینگ اور منجر به تولید گامت نوترکیب (جدید) نمیشود.

