

پوانفورماتیک دکتر فاطمه زارع

سجاد احمدیان مقدم

۱ معرفی درس

یکی از افراد مهم و فعال در زمینه بیوانفورماتیک Pevsener است. علم بیوانفورماتیک را به سه شاخه تقسیم بندی می‌کند:

- the cell and the central dogma of molecular biology
- the organism
- the tree of life

۱.۱ کاربردهای علم بیوانفورماتیک

از کاربردهای علم بیوانفورماتیک به موارد زیر می‌توان اشاره کرد:

درمان مولکولی Molecular Medicine

- آنالیز داده‌های ژنوم
- هر بیماری چه ارثی باشد چه بازخورد بدن در برابر محیط اضطراب‌آور باشد باعث تغییر در ژنوم می‌شود.

ژن درمانی Gene therapy

- به وسیله مقایسه ژنومیک می‌توان عملکرد ژن‌ها را پیش‌بینی کرد.
- کلینیک‌های ژن درمانی برای بسیاری بیماری‌ها مانند سرطان راه‌اندازی شده.

ساخت دارو Drug development

از بین بردن زباله‌ها Waste clean up

مطالعه روی تغییرات آب و هوا Climate change studies

- می‌توان روی ژنوم میکروب‌هایی که کربن‌دی‌اکسید مصرف می‌کنند، تحقیق کرد.

۲.۱ موضوعات مهم حال حاضر علم بیوانفورماتیک

برخی از موضوعات که در حال حاضر در حال مطالعه است عبارتند از:

- سرطان
- هوش مصنوعی در بیوانفورماتیک
- یادگیری ماشین در بیوانفورماتیک
- طراحی دارو
- اختلالات عصبی (Neurological disorder)

لیست مجلات متم در زمینه بیو انفورماتیک

- Nature Communications
- Scientific Reports
- PLoS Computational Biology
- Bioinformatics
- Briefings in Bioinformatics
- Briefings in Functional Genomics and Proteomics
- Journal of Computational Biology
- npj Systems Biology and Applications
- IEEE/ACM Transactions on Computational Biology and Bioinformatics
- Nucleic Acids Research (Web Server and DataBase Issues)
- Genome Research
- Molecular Systems Biology
- BMC Bioinformatics
- BMC Systems Biology

۲ بیولوژی

بلک اصلی سازنده تمام ارگان‌ها سلول^۲ است که در ادامه به جزئیات آن می‌پردازیم.

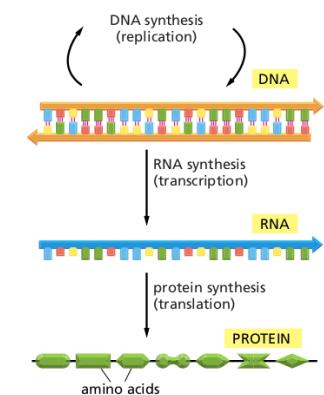
۱.۲ سلول

در واقع خود سلول یک ارگان^۳ است چرا که بسیاری از ارگانیسم‌ها، unicellular هستند. با این وجود یک ارگان در گونه‌های پیشرفته^۴ می‌تواند هزاران میلیون سلول داشته باشد.

همه سلول‌ها حاوی ماده ژنتیکی DNA هستند به طوریکه از روی بخش‌هایی از این ماده ژنتیکی در فرآیند رونویسی^۵ مولکول RNA ساخته می‌شود. در واقع کد ذخیره شده بر روی مولکول RNA به روی یک مولکول RNA کپی می‌شود. در ادامه نوع خاصی از این مولکول RNA به مولکول پروتئین ترجمه می‌شود. نام این فرایند، ترجمه^۶ است.

در فرآیند ساخت پروتئین از روی کد ژنتیکی، مولکول RNA به عنوان واسطه عمل می‌کند علت این امر آن است که ماده ژنتیکی حساس است و نباید در دسترس همه اندامک‌ها قرار گیرد. به علاوه برای ساخت پروتئین مولکول RNA وارد ریبوزوم می‌شود که این کار برای مولکول طویل DNA مقدور نیست چرا مشخص نیست کدام قسمت آن باید ترجمه شود.

در جانداران چندسلولی ماده ژنتیکی تمام سلول‌ها یکسان است. در واقع در سلول‌ها ماده ژنتیکی یکسان است و فقط میزان رونویسی از روی ژن‌های متفاوت فرق دارد و همین بیان متفاوت ژن‌ها شخصیت سلول را شکل میدهد. در فرآیند فرق مانند کتاب آشپزی، که خود به تنهایی کار خاصی را انجام نمی‌دهد و باید از روى آن غذا پخته شود، ماده ژنتیکی نیز خود کاری در سلول انجام نمی‌دهد بلکه باید از روی آن پروتئین ساخته شود.



شکل ۱: فرآیند رونویسی، ترجمه و مضاعف کردن

مولکول‌های پروتئین دارای شکل سه بعدی هستند که رفتار سلول را کنترل می‌کنند. پروتئین‌ها کارهای مختلفی را انجام می‌دهند. علاوه بر ماده ژنتیکی، همه سلول‌ها دارای غشا و سیتوپلاسم هستند.

۱.۱.۲ تمام سلول‌ها از یک جد مشترک نشات کرده‌اند

همان طور که در تصویر ۱ مشاهده می‌شود مولکول DNA می‌تواند خود را مضاعف کند. سلول برای این که تکثیر پیدا کند ابتدا ماده ژنتیکی خود را مضاعف می‌کند و سپس به دو سلول دختری تقسیم می‌شود. در زمان مضاعف شدن ممکن است جهش‌هایی در ماده ژنتیکی تکثیر پیدا کرده ایجاد شود و به سلول دختری منتقل شود. این جهش‌ها به سه نوع تقسیم می‌شوند:

- خوب: تغییر در جهتی است که سازگاری جاندار را با محیط افزایش می‌دهد و قدرت زیست یا توانایی تولید مثل آن را بیشتر می‌کند.
- بد: تغییر باعث کاهش قدرت زیست یا تولید مثل جاندار می‌شود.
- خنثی: تغییری در قدرت زیست و تولید مثل ایجاد نمی‌شود.

تکامل فرآیندی است که طی آن گونه‌های با سازگاری کمتر تغییر کرده و گونه‌های با سازگاری بیشتر را به وجود می‌آورند و این گونه‌ها به دلیل داشتن ویژگی‌های زیستی سازگارتر حایاتی‌تر گونه قبلی می‌شوند. اساس تغییر در گونه‌ها از یک نسل به نسل بعد تغییر ماده ژنتیکی آن‌ها است که به آن جهش گفته می‌شود. این جهش‌ها در تولیدمثل‌های جنسی پیچیدگی بیشتری دارند.

higher species^۷
transcription^۸
translation^۹

Biology^۱
cell^۲
organism^۳

به طور کلی سلول‌ها به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند:

- پروکاریوت‌ها^۱
- یوکاریوت‌ها^۲

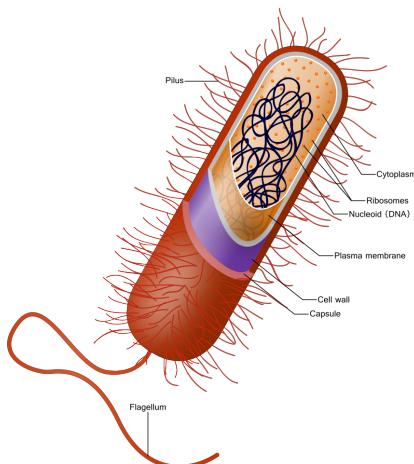
۲.۱.۲ سلول پروکاریوت^۳

پروکاریوت به معنی پیش از هسته است و به این موضوع اشاره دارد که پروکاریوت‌ها فاقد هسته هستند و ماده ژنتیکی آن‌ها درون سیتوپلاسم حضور دارد. افراد این گونه عموماً تکسلولی هستند اما در مواردی به صورت زنجیره به هم پیوسته در کنار یکدیگر زندگی می‌کنند.

پروکاریوت‌ها شکل و ساختار ساده‌ای دارند با این حال از نظر شیمیایی متنوعترین و خلاقترین گونه جانداران هستند به طوریکه در طیف وسیعی از زیستگاه‌ها قدرت زندگی دارند.

سلول پروکاریوتی در مدت زمان کمتر از ۲۰ دقیقه می‌تواند تکثیر شود، در نتیجه در حدود ۱۱ ساعت می‌تواند بیشتر از هشت میلیارد از خود تکثیر کند یعنی عددی بیشتر از تعداد انسان‌ها روی کره زمین!

طبق سیستم سه دسته‌ای^۴ پروکاریوت‌ها به دو دسته زیر تقسیم می‌شوند:



- باکتری (یوباکتری)^۵
- آرکنا (آرکی باکتری)^۶

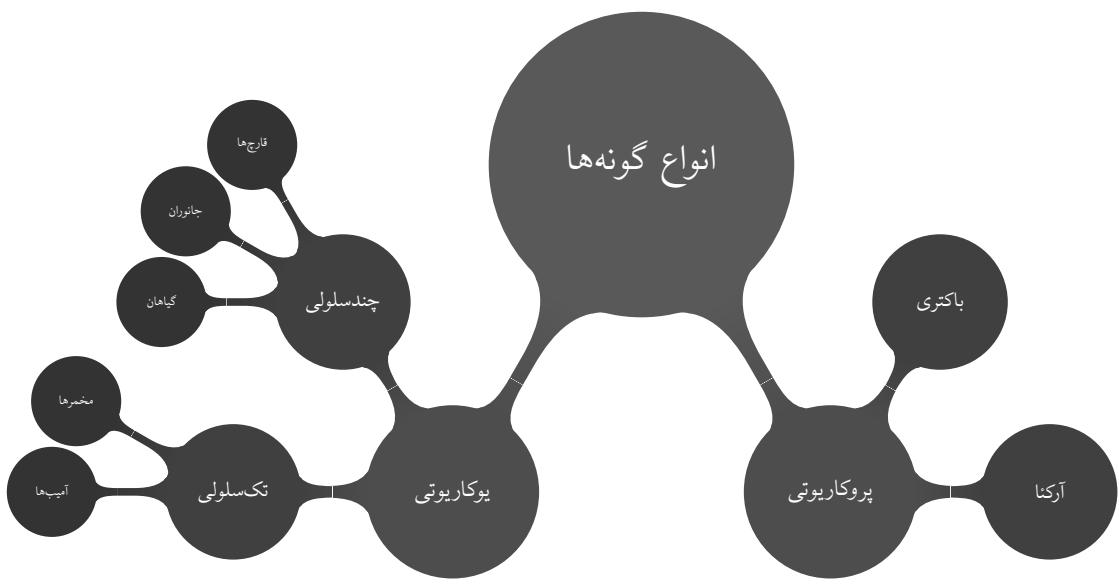
- می‌توانند در جاهایی زندگی کنند که اکثر سلول‌ها قادر زندگی ندارد مثلاً چشم‌های اتشفسانی یا قطب جنوب.
- به نظر می‌رسد که این گونه میل به زندگی در مناطقی را دارد که مشابه با شرایط اولیه کره زمین است.

۳.۱.۲ سلول یوکاریوت^۷

یوکاریوت به معنی خوش‌هسته است و به این اشاره دارد که این نوع از سلول‌ها دارای هسته هستند. علاوه بر این سلول‌های یوکاریوتی دارای اندامک^۸ هستند سلول‌های یوکاریوتی عموماً بزرگتر از سلول‌های پروکاریوتی هستند. همانطور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود جانداران یوکاریوتی به دو دسته چندسلولی و تکسلولی تقسیم می‌شوند.

Bacteria^۹
Archaea^۹
Eukaryotic cell^{۱۰}
Organelle^{۱۱}

Prokaryote^۱
Eukaryote^{۱۰}
Eukaryotic cell^{۱۰}
Three-domain system^{۱۱}



شکل ۲: تقسیم‌بندی انواع جانداران

۴.۱.۲ تفاوت بین سلول یوکاریوتي و پروکاريوتي

در جدول ۱ برخی از تفاوت‌ها بین سلول‌های یوکاریوتي و پروکاریوتي ذکر شده است:

سلول یوکاریوتي	سلول پروکاریوتي
اندازه سلول بزرگ است ($< 10\mu m$)	اندازه سلول کوچک است ($> 5\mu m$)
به صورت چند سلولی	بدون هسته هستند و اندامک غشاء‌داری مانند میتوکندری ندارند
هسته و اندامک‌های غشاء دار دارند	DNA به صورت حلقوی است و پروتئين‌های ساختار کروماتین را میسازد
DNA به صورت خطی است و به همراه پروتئين‌های ساختار کروماتین را میسازد ریبوزوم‌ها بزرگ هستند (80S)	ریبوزوم‌ها کوچک هستند (70S)
اسکلت سلولی دارند	اسکلت سلولی ندارند ؟
تحرک توسط تازک یا مژک ^a انعطاف‌پذير و موج زن (ساخته شده توسط توبولین ^a)	تحرک توسط تازک ^a چرخان سفت و سخت (ساخته شده از فلاژلين ^b)
تقسیم سلولی با میوز ^c یا میتوز ^d	تقسیم سلولی با شکافت دوتایی ^b
مضاعف شدن به صورت جنسی یا غیرجنسی است	مضاعف شدن ^e همیشه به صورت غیر جنسی است
مسیرهای متابوليك مشترک	تنوع بسیار زیاد در مسیرهای متابوليكی ^f

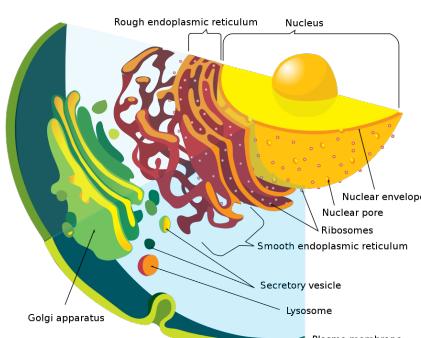
جدول ۱: تفاوت انواع سلول

flagellum^a
Flagellin)^b
Cilia^c
Tubulin^a
Binary fission^b
Meiosis^c
Mitosis^d
Reproduction^e
Metabolic pathway^f

۵.۱.۲ سیستم غشائی درونی

سلول‌های یوکاریوتي شامل تعدادی ساختار غشاء‌دار^۹ هستند که به مجموع این ساختارها، دستگاه غشائی درونی^{۱۰} گفته می‌شود. در شکل ۳ اجزاء این دستگاه را مشاهده می‌کنیم. محفظه‌های^{۱۱} ساده مانند وزیکول^{۱۲} و واکوئل^{۱۳} می‌توانند با جوانه زدن بقیه غشاء‌ها به وجود بیایند.

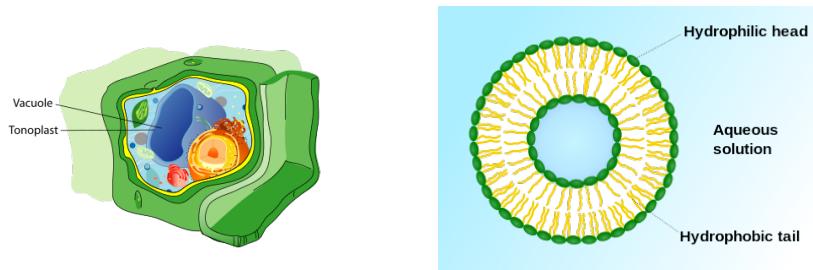
عدمتاً تغذیه سلول به وسیله فرآیند اندوسیتوز^{۱۴} انجام می‌شود. همان طور که در شکل ۴ ج مشاهده می‌کنید غذا توسط غشاء سلول بسته بندی و وارد سلول می‌شود. این بسته‌بندی به صورت وزیکول و یا واکوئل است. همچنین سلول‌ها می‌توانند موادی را که تولید می‌کنند با فرآیند اکزوسيتوز^{۱۵} به خارج از سلول ارسال کنند.



شکل ۳: سیستم غشائی درونی

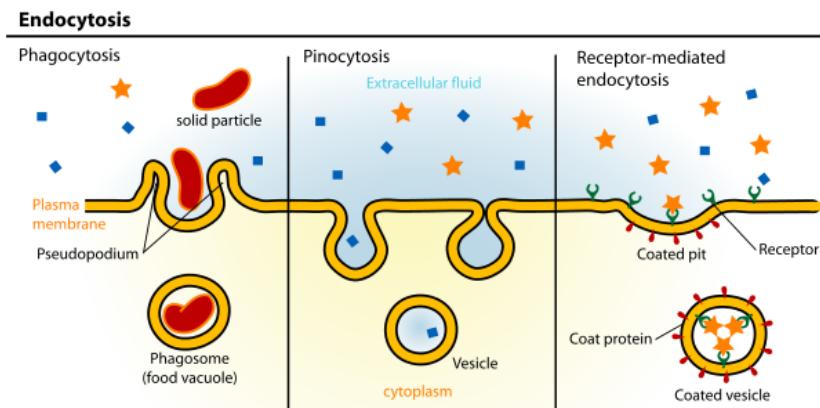
Vacuole^{۱۳}
Endocytosis^{۱۴}
Exocytosis^{۱۵}

Membrane-bound structure^۹
Endomembrane system^{۱۰}
Compartment^{۱۱}
Vesicle^{۱۲}



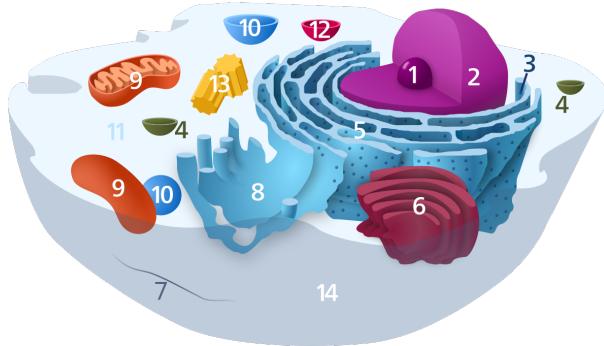
(ب) واكوئل

(ج) وزيكول



(ج) انواع اندوسیتوز

شكل ٤: سیستم غشائی درونی



شکل ۵: اندامک‌های یک سلول جانوری.
5.Rough endoplasmic reticulum 4.Vesicle 3.Ribosome 2.Nucleus 1.Nucleolus
11.Cytosol 10.Vacuole 9.Mitochondrion 8.Smooth endoplasmic reticulum 7.Cytoskeleton 6.Golgi apparatus
14.Cell membrane 13.Centrosome 12.Lysosome

۱۰.۱۴ اندامک‌ها

اندامک‌ها اجزائی هستند که وظایفی را به عهده دارند. در زیر بعضی از آنها به اختصار توضیح داده شده‌اند:

Golgi apparatus گلزی وظیفه ارسال پروتئین‌های جدید به جایگاه‌های مناسب را بر عهده دارد. شکل ۵ (۶)

Lysosome لیزوزوم مواد غیرلازم را تجزیه می‌کند. شکل ۵ (۱۲)

Cytosol مایعی که سایر اندامک‌ها در آن جای دارند. ۵ شکل (۱۱)

Cytoskeleton اسکلت سلولی مانند اسکلت بدن برای سلول است و اندامک‌ها را در جایگاه مناسب نگاه می‌دارد. اسکلت سلولی تنها از

یک بخش تشکیل نشده و اجزاء مختلفی در کنار هم قرار گرفته‌اند تا آن را تشکیل دهند. شکل ۵ (۷)

اسکلت سلولی یوکاریوت‌ها از سه نوع فیلامین^۲ اصلی تشکیل شده‌اند:

- میکروفیلامین یا ریزرشته‌ها^۳ پلیمرهایی از پروتئین اکتین^۴ هستند که باریک می‌باشند و هفت نانومتر قطر دارند.
- میکروتوبول یا ریزلوله‌ها^۵ از پروتئین توبولین^۶ ساخته شده‌اند و ۲۵ نانومتر قطر دارند.
- رشته‌های متوسط^۷ از پروتئین‌های مختلفی ساخته شده‌اند و این بر حسب سلول مورد نظر متفاوت است.

نوع اسکلت سلولی	قطر به نانومتر	ماده‌سازنده
میکروفیلامین	۶	اکتین
فلامین متوسط	۱۰	با توجه به نوع سلول متفاوت
میکروتوبول	۲۳	توبولین آلفا و بتا

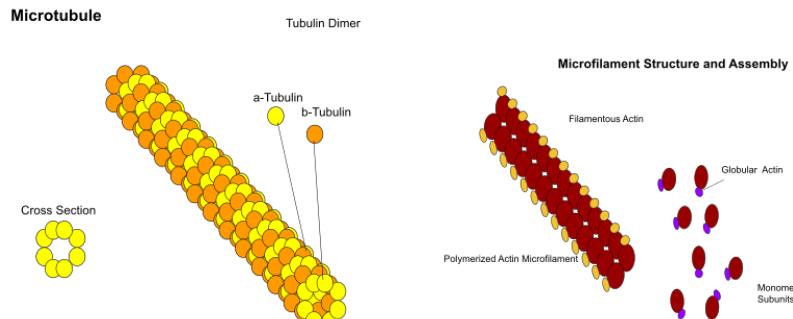
جدول ۲: انواع فیلامین‌های اسکلت سلولی

Nucleus هسته در سلول‌های یوکاریوتی یافت می‌شود. اغلب، سلول‌ها یک هسته دارند اما سلول‌های وجود دارند که هسته ندارند و یا بیش از یک هسته دارند. شکل ۵ (۲)

هسته را پوشش هسته^۸ فرا گرفته است که این پوشش از دو لایه تشکیل شده است.

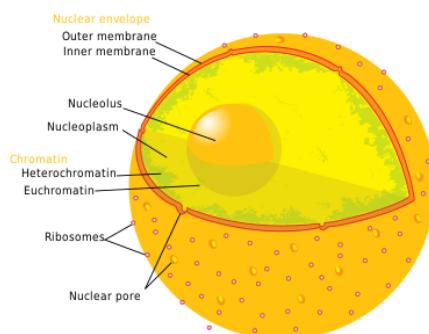
microtubule^۹
tubulin^۹
intermediate filament^۹
Nuclear envelop^۸

Organelle^۱
Filament^۹
microfilament^۹
Actin^۹



(ب) ساختار میکروتوبول

(آ) ساختار میکروفلامین



ماده ژنتیکی (DNA) درون هسته قرار دارد. در شرایط خاص به این ماده ژنتیکی کروموزوم^۹، کروماتین^{۱۰} و یا کروماتید^۱ گفته می‌شود. وقتی که سلول در حال تقسیم نیست، nuclear DNA به همراه انواعی از پروتئین‌ها به صورت کروماتین شکل می‌گیرند. سپس هنگامی که سلول می‌خواهد تقسیم انجام دهد، کروماتین به صورت ساختار فشرده‌ی کروموزوم در می‌آید. همانطور که در شکل ۷ مشاهده می‌کنید کروموزوم از دو قسمت P-arm و Q-arm ساخته شدند که اولی بازوی کوتاه و دومی بازوی بلند کروموزوم را تشکیل می‌دهند.

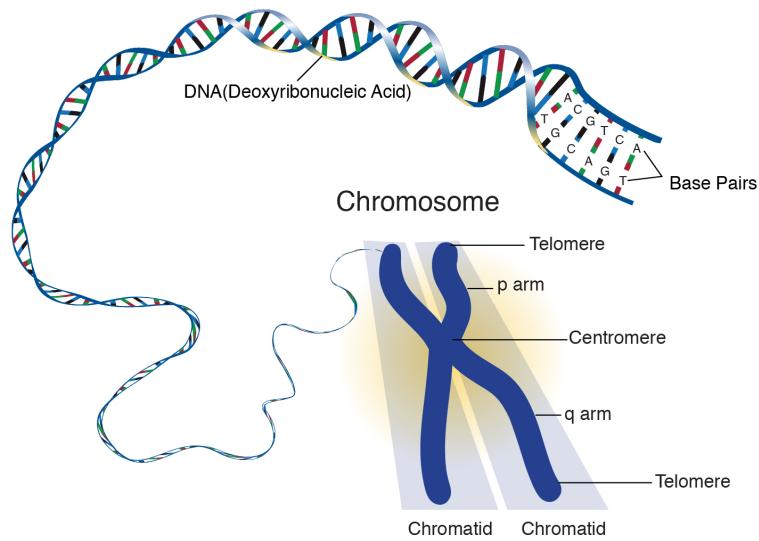
Mitochondria این اندامک خود دارای DNA است و دو لایه غشاء دارد. میتوکندری وظیفه تولید انرژی شیمیابی برای سلول را برعهده دارد. طی این فرآیند میتوکندری قند یا چربی را اکسید می‌کند و ATP را به عنوان انرژی شیمیابی آزاد می‌کند. شکل ۵ (۹)

Chloroplast کلروپلاست در گیاهان وجود دارد. و سلول‌های گیاهی انرژی خود را از طریق این اندامک تامین می‌کنند. کلروپلاست دارای کلروفیل^۲ می‌باشد. کلروفیل نور خورشید را به دام می‌اندازد و آن را در ملکول‌های ATP و NADPH ذخیره می‌کند. در کنار این فرآیند اکسیژن آزاد می‌شود و در نتیجه میتوکندری می‌تواند از آن استفاده کند.

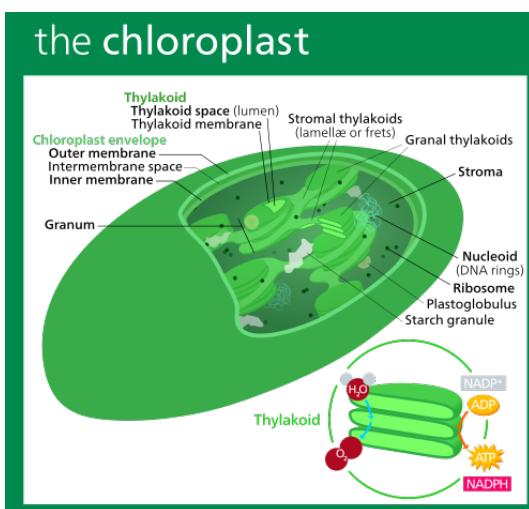
Endoplasmic reticulum شبکه آندوپلاسمی از دو قسمت نرم^۳ و سخت^۴ تشکیل شده است. شکل ۵ (۵ و ۸). بر روی شبکه آندوپلاسمی زبر تعدادی ریبوزوم وجود دارد که این ریبوزوم‌ها از روی RNA ها پروتئین می‌سازند. هنگامی که این پروتئین‌ها ساخته می‌شوند به وسیله شبکه آندوپلاسمی زبر به سمت گلزار فرستاده می‌شوند. شبکه آندوپلاسمی نرم نیز محصولاتی مانند لیپید و یا فسفولیپید تولید می‌کند.

Chlorophyll^۲
Smooth endoplasmic reticulum^۳
Rough endoplasmic reticulum^۴

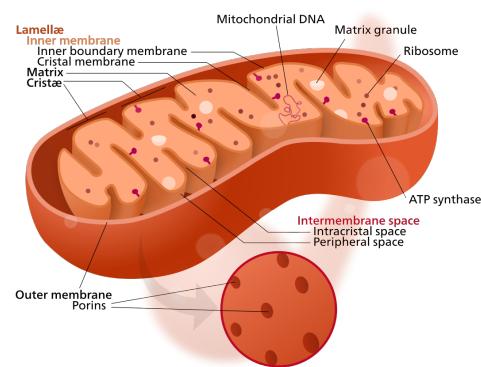
Chromosome^۴
Chromatin^{۱۰}
Chromatid^۱



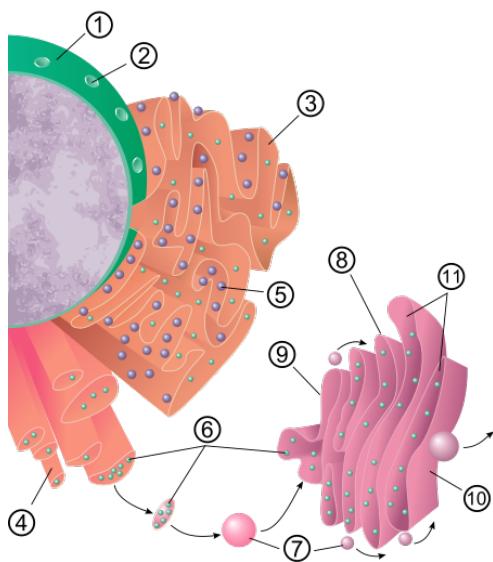
شكل ٧: ساختار كروموزوم



(ب) ساختار كلروپلاست



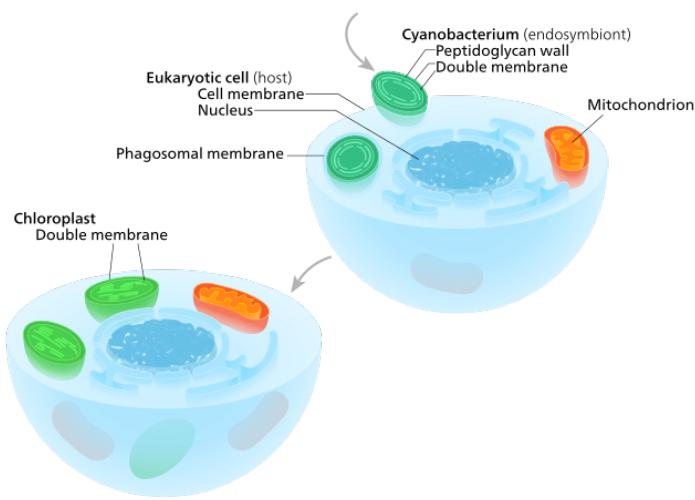
(ج) ساختار میتوکندری



- شکل ۹ : ۲.Nuclear pore ۱.Nucleus ۳.Rough endoplasmic reticulum (RER)
۴.Smooth endoplasmic reticulum ۵.Ribosome on rough ER lum (SER)
۶.Proteins that are transported ۷.Transport vesicle
۸.Golgi apparatus ۹.Cis face of Golgi apparatus
۱۰.Trans face of Golgi apparatus ۱۱.Cisternae of the Golgi apparatus

۷.۱.۲ کلروپلاست و میکوندری شباهت زیادی به باکتری دارند

همانطور که مشاهده شد این دو اندامک شباهت زیادی به باکتری‌ها دارند و نظریه‌ای وجود دارد که طی آن سلول یوکاریوتی این دو اندامک را به صورت غذا وارد خود ساخته و سپس با آن همزیست شده است. به شکل ۱۰ رجوع کنید.



شکل ۱۰ : A eukaryote with mitochondria engulfed a cyanobacterium in an event of serial primary endosymbiosis, creating a lineage of cells with both organelles.

۸.۱.۲ موجودات مل

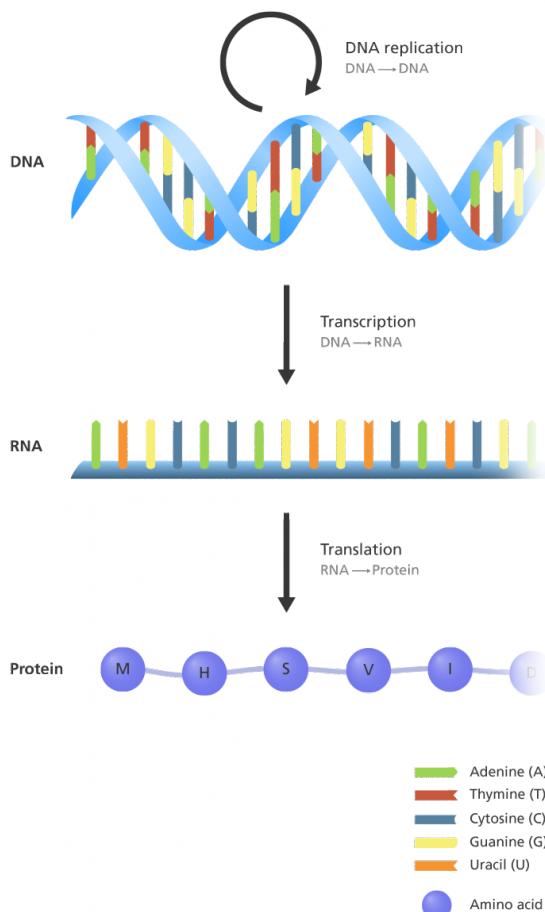
در زیست‌شناسی نمونه‌های خاصی وجود دارد که سایر گونه‌ها شباهت زیادی به آن‌ها دارند در نتیجه زیست‌شناسان ابتدا روی این گونه‌ها آزمایش می‌کنند. در زیر به مواردی اشاره شده است:

• ای کولی

- ساکارومایسیس
- آراییدوبسیس
- مگس
- کرم
- ماهی
- موش
- انسان

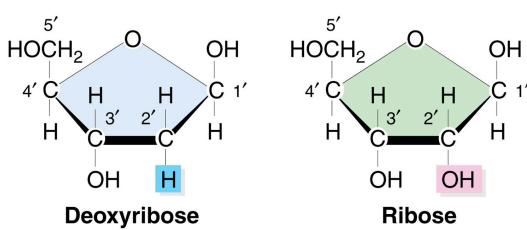
٩.١.٢ سترال دوگما

هر سلولی چه از نوع یوکاریوتی باشد و چه از نوع پروکاریوتی دارای فرآیند سترال دوگما است که طی آن اطلاعات ژنتیکی به پروتئین تبدیل می‌شود. طی این فرآیند ابتدا از روی ماده ژنتیکی مولکول RNA ساخته می‌شود سپس این مولکول‌ها به ریبوزوم رفته و از روی آن‌ها پروتئین ساخته می‌شود. همان طور که در شکل ۱۱ مشاهده می‌شود این فرآیند شامل سه مرحله است. برای اینکه بتوان این فرآیند را درک کرد ابتدا نیاز داریم که به بررسی ساختار مولکول DNA پردازیم.

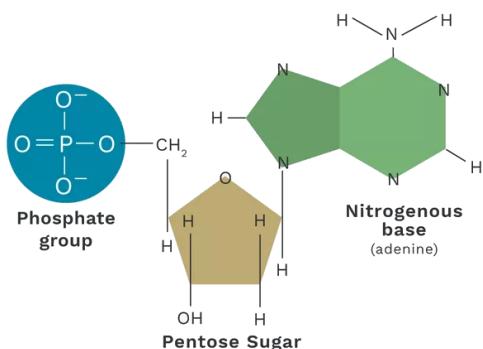


شکل ۱۱: فرآیند مضاعف کردن، رونویسی و ترجمه

۱۰.۱۰۲ نوکلئیک اسید



(آ) قند ریبوز و دئوكسی ریبوز



(ب) اجزاء ریز مولکول نوکلئوتید

در سال ۱۸۷۰ فردریک میشر از هسته سلول، ماده‌ای استخراج کرد که خاصیت اسیدی داشت به همین علت نام آن را نوکلئیک اسید^۱ به معنی اسید هسته‌ای گذاشت. بعدها مشخص شد که نوکلئیک اسیدها دو نوع هستند:

- ریبو نوکلئیک اسید یا RNA که در ساختار آن قند ریبو^۲ به کار رفته است.

- دئوكسی ریبو نوکلئیک اسید یا DNA که در ساختار آن قند دئوكسی ریبو^۳ به کار رفته است.

نوکلئیک اسیدها همانند پروتئین‌ها و کربوهیدرات‌ها پلی مر هستند. واحد مونومری نوکلئیک اسیدها، نوکلئوتید^۴ است. همانطور که در شکل ۱۲ مشاهده می‌کنید، مولکول نوکلئوتید از سه بخش تشکیل شده است:

- یک تاسه گروه فسفات

- قند پنتوز که ریبوز در RNA و دئوكسی ریبوز در DNA است

- باز آکی نیتروژن‌دار

در تمام انواع این مولکول قسمت فسفات و قند یکسان است (با توجه به دی‌ان‌ای یا آر‌آن‌ای بودن) اما با توجه به نوع باز پنج نوع مولکول نوکلئوتید به وجود می‌آیند که در نوکلئیک اسیدها به کار رفته است:

- پورین‌ها با دو حلقه^۵

- آدنین^۶

- گوانین^۷

- پریمیدین‌ها با یک حلقه^۸

- سیتوزین^۹

- تیمین^{۱۰} در دئوكسی ریبونوکلئیک اسید

- یوراسیل^{۱۱} در ریبونوکلئیک اسید

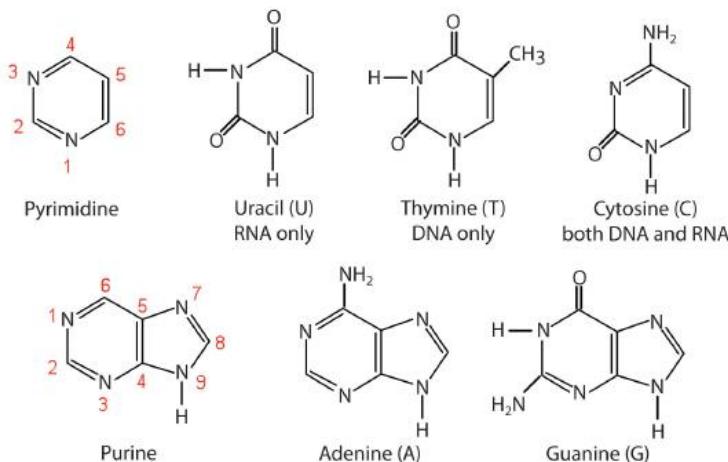
در شکل ۱۳ ساختار این بازها مشخص شده است.

از کنار هم قرار گرفتن مولکول‌های نوکلئوتید پلی مری خطی به وجود می‌آید. اتصال بین دو مولکول نوکلئوتید از طریق برقراری پیوند کووالانسی^{۱۲} بین گروه فسفات یک نوکلئوتید و قند نوکلئوتید بعدی است. نوکلئوتیدها به صورت آزاد سه گروه فسفات دارند اما هنگام برقراری اتصال با یکدیگر دو گروه فسفات خود را از دست می‌دهند و با یک گروه فسفات در رشته پلی نوکلئوتیدی قرار می‌گیرند. پیوند بین دو نوکلئوتید را پیوند فسفو دی استر^{۱۳} می‌نامند.

همانطور که در شکل ۱۴ مشاهده می‌شود در یک انتهای رشته پلی نوکلئوتیدی گروه فسفات وجود دارد حال آنکه در انتهای دیگر وجود ندارد به همین علت رشته پلی نوکلئوتیدی دارای قطیبت است.

Pyrimidine^۸
Cytosine (C)^۹
Thymine (T)^{۱۰}
Uracil (U)^{۱۱}
Covalent^{۱۲}
Phosphodiester bound^{۱۳}

Nucleic acid^۱
Ribose^۲
Deoxyribose^۳
Nucleotide^۴
Purine^۵
Adenine (A)^۶
Guanine (G)^۷



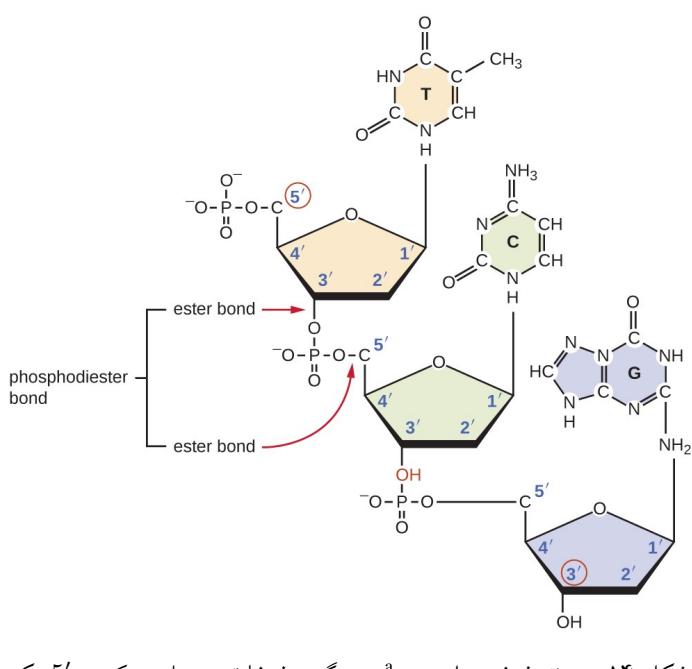
شکل ۱۳: انواع بازهایی که در مولکول DNA و RNA به کار رفته است.

همانطور که در شکل ۱۴ مشاهده می‌شود کربن ۵' نوکلئوتید اول و کربن ۳' نوکلئوتید آخر بیکار هستند به همین خاطر اصطلاحاً می‌گویند DNA از سمت ۵' به سمت ۳' شکل می‌گیرد.

دو رشته مولکول DNA به صورت آنتی پارالل^{۱۴} در مقابل یکدیگر قرار می‌گیرند. در واقع یک رشته در جهت ۵' به سمت ۳' است و دیگری در جهت ۳' به سمت ۵'. پیوند بین دورشته از نوع هیدروژنی است. هر باز فقط با مکمل خود پیوند برقرار می‌کند به این صورت که آدنین مکمل تیمین است و سیتوزین مکمل گوآئین. بین آدنین و تیمین دو پیوند هیدروژنی شکل می‌گیرد و بین سیتوزین و گوآئین سه پیوند. این نکته در کارهای محاسباتی اهمیت دارد. به یک جفت باز که با هم پیوند هیدروژنی تشکیل می‌دهند چفت باز^{۱۵} گفته می‌شود.

بازهایی که مکمل هم هستند هنگامی که کنار هم قرار می‌گیرند فاصله یکسانی را می‌سازند که این باعث استحهام نزدیان DNA می‌شود حال آنکه اگر دو باز که مکمل هم نیستند در کنار یکدیگر قرار بگیرند فاصله‌ای که می‌سازند با سایر جفت بازها متفاوت است و استحهام مولکول DNA از بین می‌رود.

هنگامی که در مولکول DNA جفت بازها کنار یکدیگر قرار می‌گیرند به هم فشار می‌آورند و الکترون تبادل می‌کنند که به آن 'Base stacking' گفته می‌شود.



شکل ۱۴: پیوند فسفودی‌استری^a بین گروه فسفات متصل به کربن ۵' یک نوکلئوتید و گروه هیدروکسیل^b نوکلئوتید بعدی برقرار می‌شود.

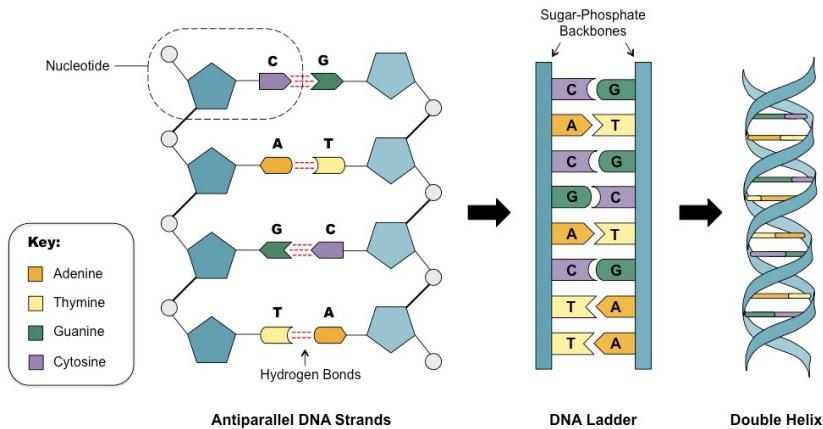
Phosphodiester^a
Hydroxyl^b

Base pair^{۱۵}

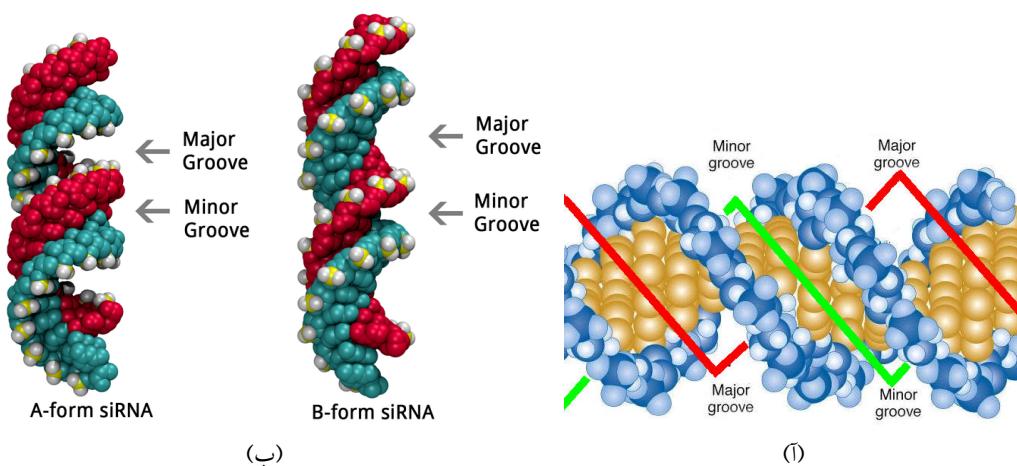
Antiparallel^{۱۴}

۱۱.۱.۲ مولکول دی ان ای

مولکول DNA به صورت دورشته‌ای^۱ است. به نظر می‌رسد که طبیعت برای این که از تغییر ماده‌ئنتیکی هنگام تولید مثل جلوگیری کند تصمیم گرفته است تا این مولکول به صورت دورشته‌ای باشد چرا که از روی یک رشته می‌توان رشته دیگر را ترمیم کرد.



ساختار مولکول DNA به صورت پیچشی است و پیچه‌های مولکول، اهمیت زیادی دارد و با توجه به نوع این پیچش‌ها مولکول فرم‌های متفاوتی پیدا می‌کند. همان‌طور که در شکل ۱۵ مشاهده می‌کنید ساختار پیچشی مولکول DNA شیارهایی را به وجود می‌آورد. این شیارها به دو دسته شیار اصلی^۲ و شیار فرعی^۳ تقسیم می‌شوند. اهمیت این شیارها در این است که احتمال ساخت پروتئین از روی آن‌ها بیشتر است و به اصطلاح Binding site به وجود می‌آورند.



شکل ۱۵: شیار اصلی و فرعی در مولکول DNA

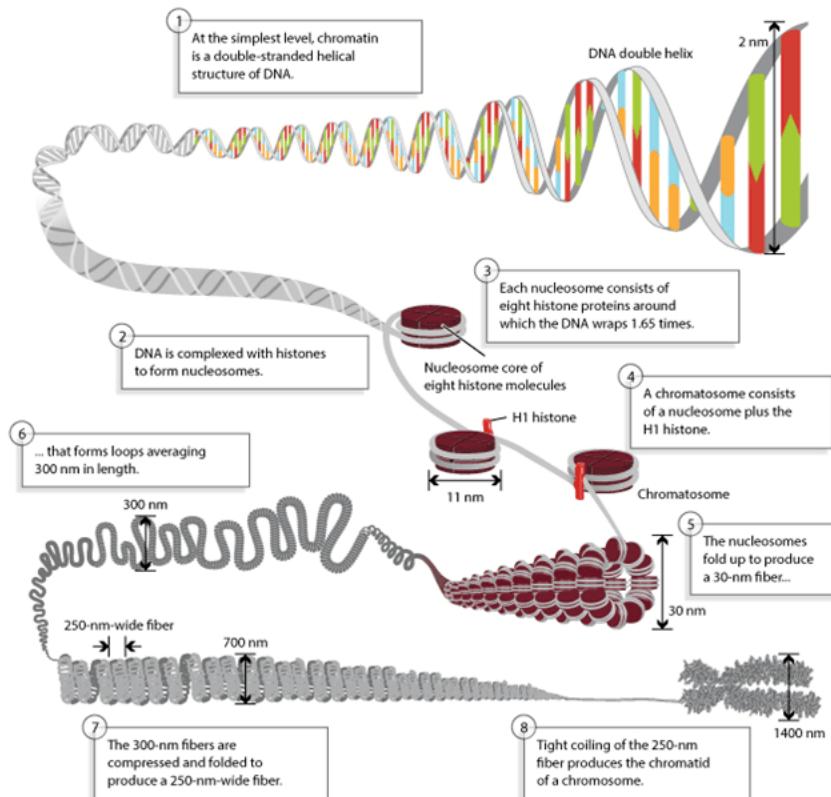
فرض کنید که از روی توالی ATTA پروتئین خاصی ساخته می‌شود و ما می‌خواهیم توالی‌هایی از DNA که به این صورت است را پیدا کنیم. در چنین موقعی باید به این نکته توجه کنیم که توالی‌های بر روی شیار اصلی و فرعی مهم‌تر هستند و احتمال ساخت پروتئین از روی آنها بیشتر است در نتیجه باید به ساختار سه بعدی مولکول DNA نیز توجه کنیم. همچنین شیارهای اصلی در مقایسه با شیار فرعی بیشتر در معرض رونویسی هستند.

Minor groove*

Double stranded^۱
Major groove^۲

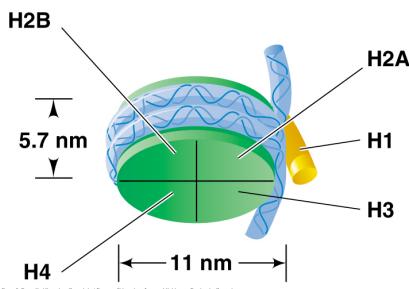
۱۲.۱.۲ پکیج کردن مولکول دی‌ان‌ای در سلول‌های یوکاریوتی^۱

مجموع طول ماده ژنتیکی هر سلول انسانی حدود دو متر است. حال به این می‌پردازیم که چگونه این موجودی دو متری داخل سلول پنج میکرومتری جا شده است به طوری که سلول، جایگاه ژن‌های ضروری را می‌داند.



شکل ۱۶: پکیج کردن مولکول DNA

به طور کلی در پکیج کردن مولکول DNA دو نوع پروتئین به کار می‌روند:



• هیستونی^۲

• غیر هیستونی^۳

پروتئین‌های هیستونی بار مثبت دارند و ساختار پایه پکیج کردن یعنی نوکلئوزوم به کمک آن‌ها شکل می‌گیرد. در مرحله اول هشت مولکول پروتئین در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند و سپس رشته DNA دور آن می‌پیچد به این ساختار یک نوکلئوزوم^۴ گفته می‌شود. نوکلئوزوم به همراه پروتئین H1 کروماتوزوم^۵ است. تمام پروتئین‌های که در ساختار کروماتوزوم به کار می‌روند هیستونی هستند. همان‌طور که در شکل ۱۶ قسمت چهار مشاهده می‌شود به قسمتی از مولکول DNA که بین دو نوکلئوزوم قرار می‌گیرد 'Linker' گفته می‌شود. به طور میانگین هر Linker از ۷۵ جفت باز تشکیل شده است. در این مرحله قطر ساختار به ۱۱ نانومتر میرسد.

شکل ۱۷: ساختار نوکلئوزوم. از هر کدام از پروتئین‌های نامبرده دو تا کنار هم قرار دارند. H1 جزو نوکلئوزوم نیست.

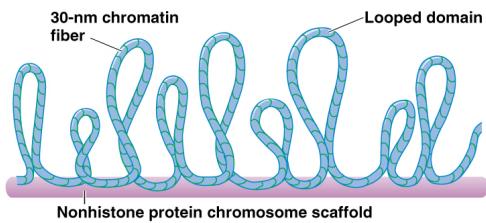
Nucleosome^۶
Chromatosome^۷

DNA packaging^۸
Histones^۹
Nonhistones^{۱۰}

در مرحله بعد نوکلئوزوم‌ها به کمک پروتین H1 به هم نزدیک می‌شوند و قطر ساختار را به ۳۰ نانومتر می‌رسانند.

کروماتین ۳۰ نانومتری خم می‌شود و حلقه‌های با طول میانگین ۳۰۰ نانومتر را می‌سازند. این حلقه‌ها به یک پروتین غیر هیستونی (nonhistone protein scaffolding) می‌چسبند.

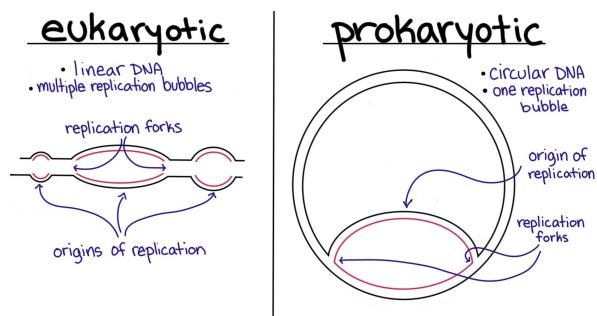
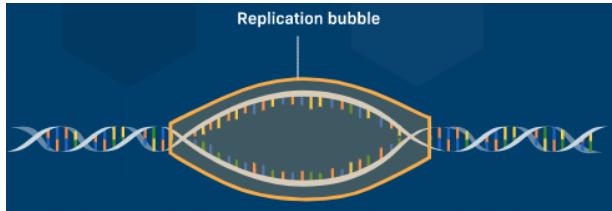
پروتین‌های غیر هیستونی عموماً بار منفی دارند و در نتیجه به سمت پروتین‌های هیستونی جذب می‌شوند و این در فرآیند پکیج کردن مولکول DNA مفید است. پروتین‌های هیستونی که در مراحل اولیه‌ی پکیج کردن به کار می‌روند دارای تنوع کمی هستند. این تنوع حتی در جانداران متفاوت نیز کم است و طبیعت سعی داشته است با کمترین تغییر آن‌ها را به نسل بعد منتقل کند. اما پروتین‌های غیر هیستونی که در مراحل انتهایی پکیج کردن به کار می‌روند دارای تنوع بسیار زیادی هستند. هم در جانداران متفاوت فرق دارند و هم در سلول‌های مختلف یک گونه. در واقع همین تفاوت در پروتین‌های غیر هیستونی است که تفاوت سلول‌ها را بیان می‌کند. همانطور که در شکل ۱۸ مشخص است نقاطی که در بالای حلقه قرار می‌گیرند احتمال بیشتری برای رونویسی دارند. اینکه کدام قسمت از حلقه در پایین و کدام قسمت در بالا قرار می‌گیرند را پروتین‌های هیستونی مشخص می‌کنند.



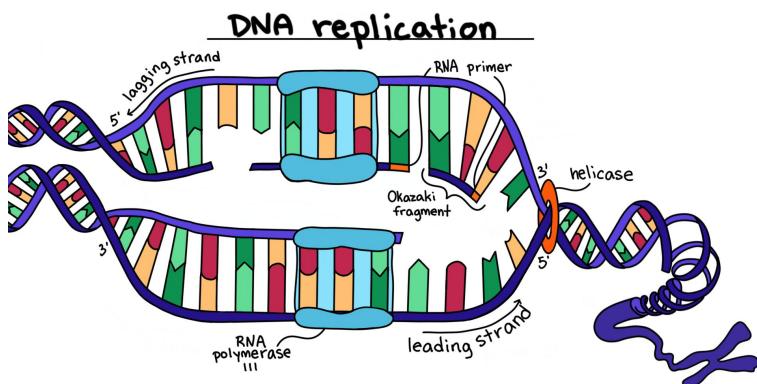
شکل ۱۸: حلقه‌های مولکول DNA به طول متوسط ۳۰۰ نانومتر

۱۳.۰.۲ همانندسازی دی ان ای^۱

در طی تقسیم سلولی نیاز است که مقدار ماده رنتیکی دو برابر شود و هر رشته DNA باید همانند خود را بسازد که به این فرآیند، همانندسازی DNA گفته می‌شود.



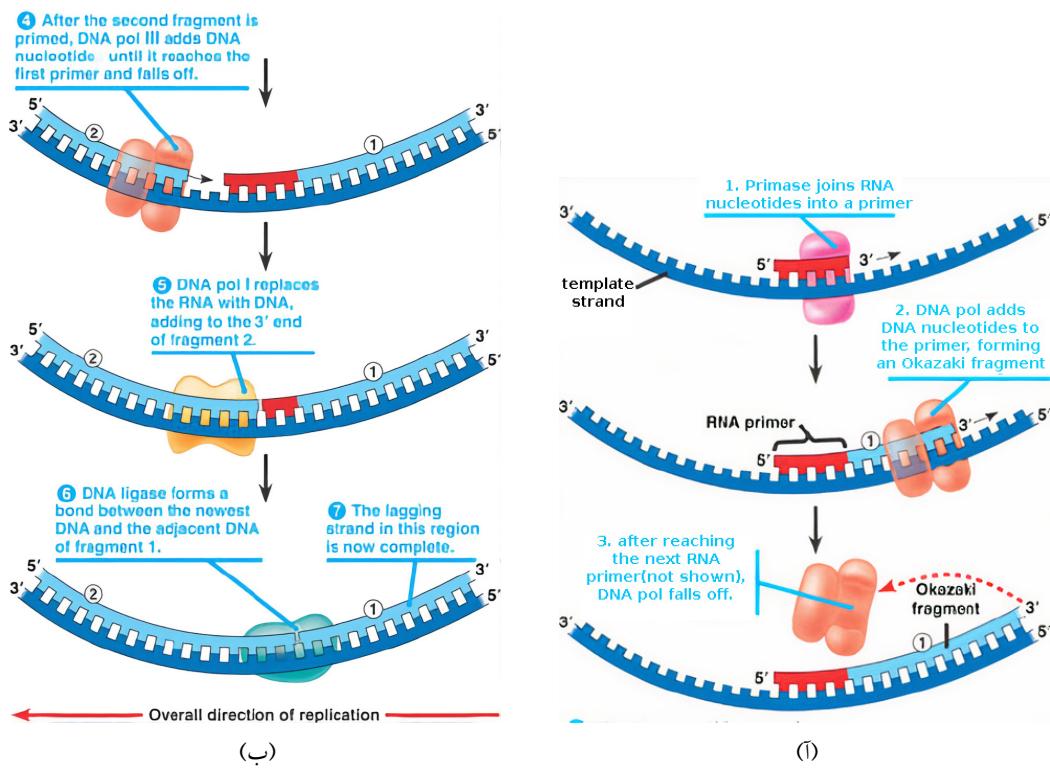
روی یکی از رشته‌ها که به آن گفته می‌شود، حرکت می‌کند. برای رشته مقابله‌یlagging strand یعنی از سمت fork به سمت origin point حرکت می‌کند. همانندسازی leading strand به صورت پیوسته است اما در Okazaki fragment انجام دهد. توجه کنید که در lagging strand به ازای هر RNA Primase یک Okazaki fragment ابتدا آنزیم RNA Polymerase III پیمیزد. اما در روی نخ رشته قرار می‌دهد. در نتیجه این آنزیم ابتدا کافی است.



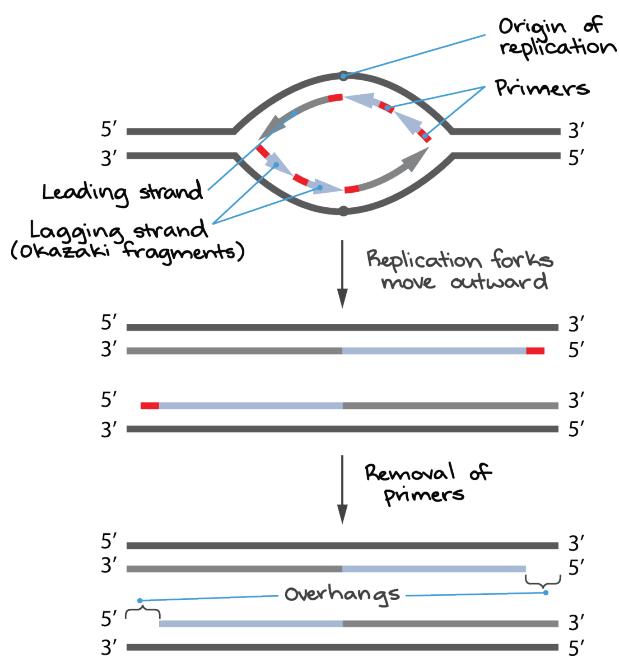
شکل ۱۹: همانندسازی DNA به کمک دو آنزیم هلیکاز و DNA پلیمیز در سلول یوکاریوتی

Primas^۴
DNA polymerase III^۵

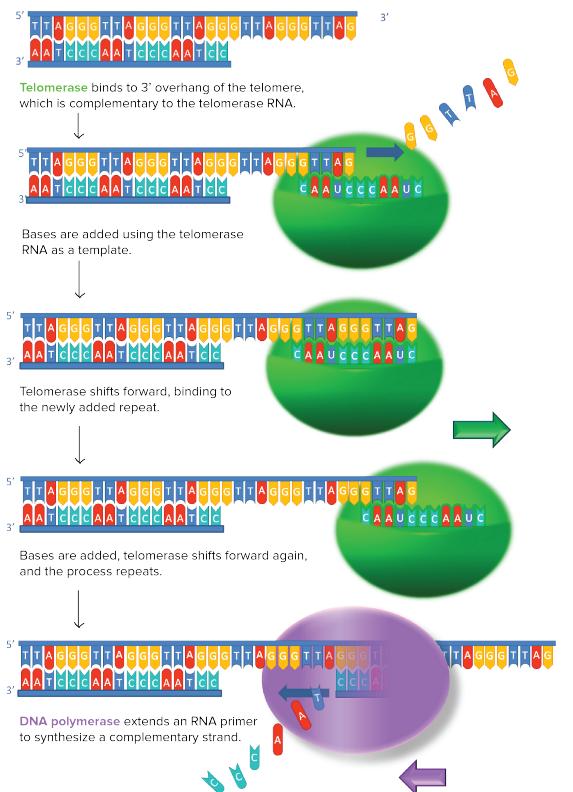
DNA replication^۱
Helicase^۲
Parallel^۳



شکل ۲۰: مراحل همانندسازی دی ان ای



بعد از انجام همانندسازی توسط DNA پلیمراز III نیاز است که RNA Primerها حذف شوند و جای آنها نخ DNA قرار گیرد. Okazaki fragment بعد از تمام شدن هر lagging strand در سلول های پروکاریوتی نیز با توجه به اینکه Okazaki fragment ای که مربوط به RNA primer باشد را با DNA چیزی است را با جایگزینی می کند. سپس آنزیم لیگاز^۱ پیوند بین دو تکه DNA را برقرار می کند. به شکل ۲۰ توجه کنید. در سلول های یوکاریوتی اولین DNA پلیمراز در انتهای کروموزوم توسط RNA primer ای که مربوط به اینکه اولین DNA پلیمراز در نتیجه این قسمت از DNA از بین می رود و در نتیجه در پرایماز در انتهای کروموزوم یوکاریوتی III تشخیص داده نمی شود در نتیجه این قسمت از DNA از بین می رود و در نتیجه در هر بار انجام همانندسازی مقدار کمی از دم کروموزوم از بین می رود. برای جلوگیری از بین رفتن ژن ها کروموزوم یوکاریوتی قسمتی به اسم تلومر^۲ دارد. در واقع تلومر در دو سر کروموزوم قرار دارد. تلومر از تکرار صدها یا هزاران بار یک دنباله کوتاه DNA تشکیل شده است. این دنباله در جانداران مختلف فرق دارد اما در انسان و سایر پستانداران به صورت ۳'-TTAGGG-5' است. تلومر عمر انسان را مشخص می کند چرا که با کوتاه شدن تلومر ژن های حساس نیز از بین می روند و عملکرد سلول مختل می شود. در واقع به همین خاطر است که سلول تعداد محدودی تقسیم انجام می دهد.



شکل ۲۱: انزیم تلومراز از کوتاه شدن DNA در سلولهای جنسی جلوگیری می‌کند.

نکته‌ای که وجود دارد این است که اگر این کوتاه شدن تلومراز در سلولهای جنسی نیز اتفاق بیافتد، نسل به نسل ماده رثتیک کوتاه می‌شود و در نتیجه گونه منقرض می‌شود. به همین علت آنژیمی به اسم تلومراز^۱ یک تکه اضافه به انتهای کروموزوم اضافه می‌کند. در شکل ۲۱ نحوه عملکرد این آنژیم نشان داده شده است.

در رشته جدید ایجاد شده یک از رشته قبلی گرفته شده و یک Strand توسط آنژیم DNA پلیمراز ساخته شده است به همین علت گفته می‌شود که همانندسازی DNA به صورت نیمه حفظ شده^۲ است. آنژیم DNA پلیمراز عمل دیگری نیز انجام می‌دهد که ویرایش^۳ نام دارد. طی ویرایش آنژیم روی رشته حرکت می‌کند و اگر نوکلئوتیدی به اشتیاه در رشته قرار گرفته باشد با نوکلئوتید درست جایگزین می‌کند.

proofreading*

Telomerase^{*}
Semi conservative^{*}

۱۴.۰.۲ آغازهایندسازی دی ان ای در ای کولای

همانندسازی دی ان ای در ای کولای سه مرحله دارد:

- chain initiation
- chain extension
- chain termination

باکتری E. coli دارای یک کروموزوم حلقوی است. این کروموزوم حلقوی دارای دنباله‌ای کوتاه از نوکلئوتیدها است که replication origin (oriC) نام دارد. oriC مخفف origin of Chromosomal DNA است. oriC ۲۴۵ جفت‌باز است که نسبت به سایر باکتری‌ها به شدت محافظت می‌شود.

در ای کولای چند نوع ناچیه مهم است که در شروع همانندسازی اهمیت دارند:

oriC دارای ۵ جایگاه R است که هر کدام از ۹ جفت نوکلئوتید تشکیل شده‌اند. این ۵ جایگاه یک binding site برای پروتئین DnaA را ایجاد می‌کنند.

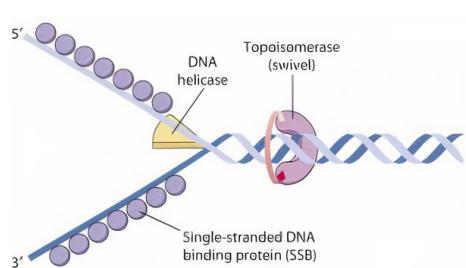
I sites این جایگاه‌ها نیز میزبان DnaA هستند.

DNA unwinding element (DUE) دنباله‌ای از سه بار تکرار ۱۳ جفت‌باز است که جفت‌بازهای T-A در آن زیاد است. با توجه به اینکه بین باز آدنین و تیمین دو پیوند هیدروژنی برقرار می‌شود وقتی ناچیه غنی از این جفت‌باز باشد نسبتاً مستقر است و آسان‌تر گستره می‌شود.

IHF binding site for the protein IHF (IHF مخفف عامل میزبان ادغام^۲ است.)

FIS binding site for the protein FIS (FIS مخفف عامل تحریک وارونگی^۳ است.)

GATC methylation sites جایگاه‌هایی برای گروه متیل



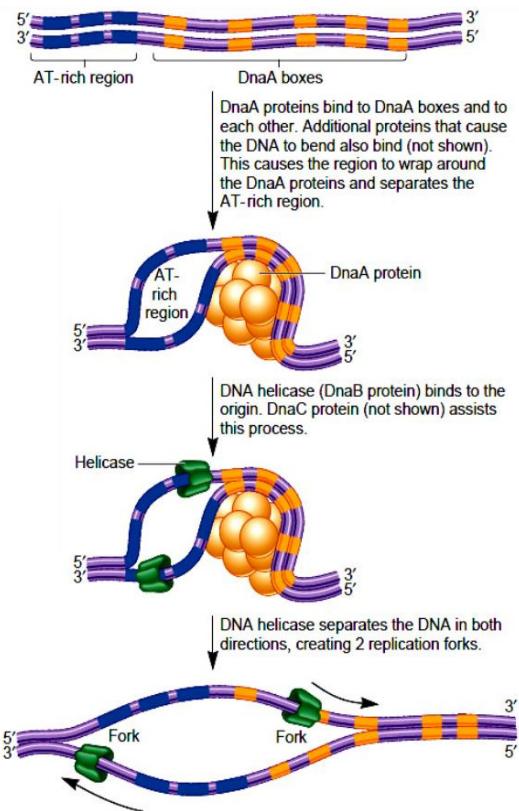
شکل ۲۳: Single stranded binding proteins and topoisomerase

همانطور که در شکل ۲۲ مشخص است پروتئین DnaA به همراه چند پروتئین دیگر به DNA ها میچسبد و این باعث می‌شود تا AT-rich region باز شود سپس دو آنزیم هلیکاز به دو سمت این Replication bubble می‌چسبند و شروع به باز کردن بیشتر این ناچیه می‌کنند.

همانطور که در شکل ۲۳ مشاهده می‌کنید با حرکت هلیکاز به سمت جلو دو اتفاق می‌افتد اول اینکه ممکن است رشته پشت سر آن دوباره به هم بچسبد به همین خاطر پروتئین‌هایی به نام Single Stranded Binding Protein به دو نخ رشته DNA پیچسبند تا فرصت برای همانندسازی این قسمت فراهم شود. دوم اینکه با حرکت هلیکاز به سمت جلو رشته DNA در جلو آن فشرده می‌شود به همین خاطر Topoisomerase رشته DNA را می‌چرخاند تا فشردگی آن کم شود یا به اصطلاح از over winding از جلوگیری می‌کند.

^۲ factor for inversion stimulation*

^۳ E. coli integration host factor*

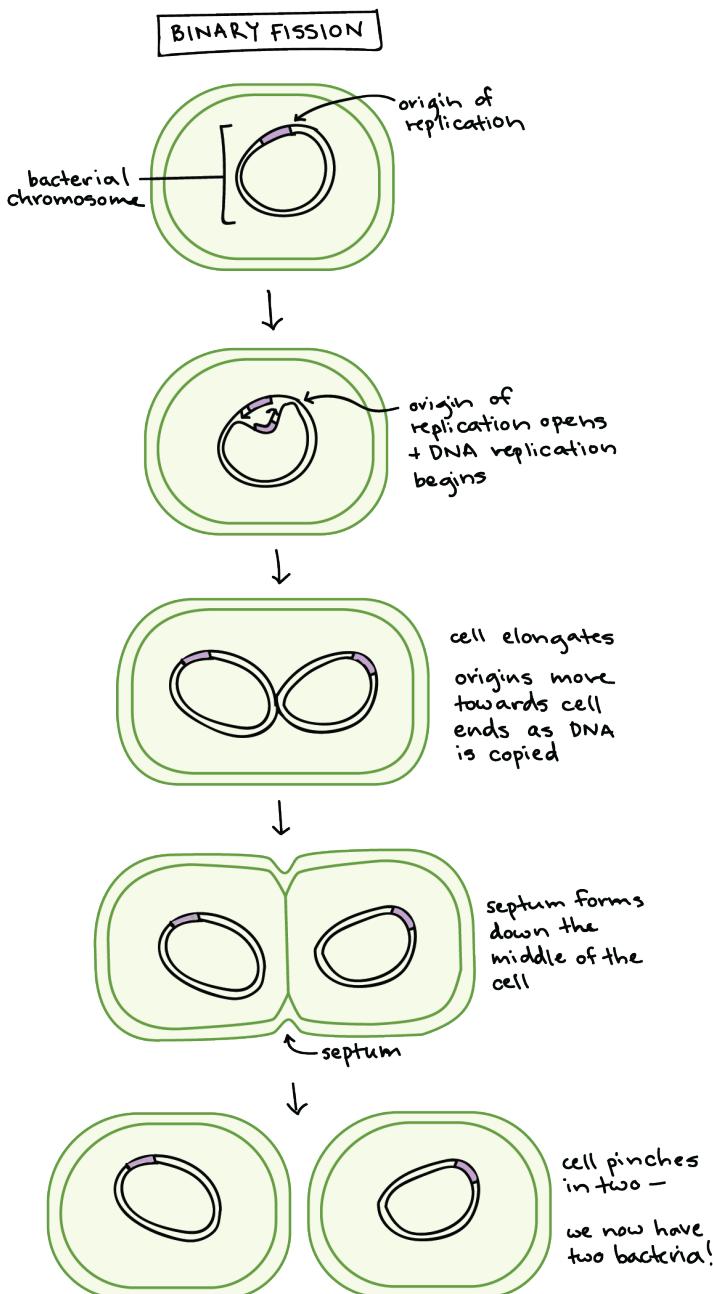


شکل ۲۲: آغاز همانندسازی در ای کولای



۱۵.۰۲ تقسیم دوتایی در باکتری‌ها

تقسیم سلولی در جاندارانی مثل باکتری‌ها ساده‌تر از تقسیم سلولی در یوکاریوت‌ها است. باکتری‌ها دارای DNA حلقی هستند و به روش تقسیم دوتایی تکثیر پیدا می‌کنند. تنها علت برای تقسیم سلولی در باکتری‌ها تولید مثل است.



تقسیم دوتایی با همانندسازی DNA آغاز می‌شود. در DNA حلقی تنها یک origin point وجود دارد و همانندسازی انقدر ادامه پیدا می‌کند تا در نقطه مقابل به هم برسد. طی این همانندسازی point ها به سمت مخالف می‌روند و به همراه خود کروموزوم‌ها را نیز می‌کشند.

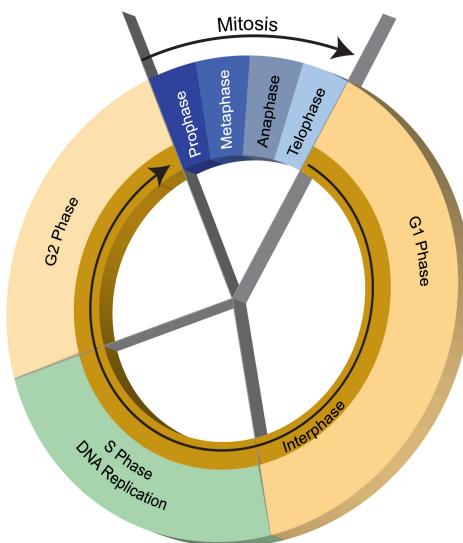
۱۶.۱۰۲ تقسیم سلولی میتوز

همه سلول‌های بیکاریوتوی دارای یک چرخه زندگی هستند که طی آن رشد می‌کنند و سپس تقسیم می‌شوند و دو سلول دختری می‌سازند. چرخه زندگی سلول دارای دو بخش اصلی است:

- اینترفاز^۲ که طی آن سلول رشد می‌کند و آماده تقسیم می‌شود.

- میوتیک فاز^۳ که طی آن سلول تقسیم می‌شود.

اینترفاز خود شامل سه مرحله است:



G₁ Phase طی این مرحله سلول رشد می‌کند و بزرگ می‌شود.

S Phase در این مرحله همانندسازی DNA رخ می‌دهد.

G₂ Phase طی این مرحله نیز سلول رشد می‌کند. همچنین اندامک‌های لازم همانندسازی می‌کنند و شرایط برای تقسیم سلولی مهیا می‌شود.

میوتیک فاز نیز خود از دو مرحله تشکیل شده است:

- میتوز^۴

- سیتوکینز^۵

میتوز خود از چهار مرحله تشکیل شده است:

شکل ۲۴: چرخه زندگی سلول MITOSIS

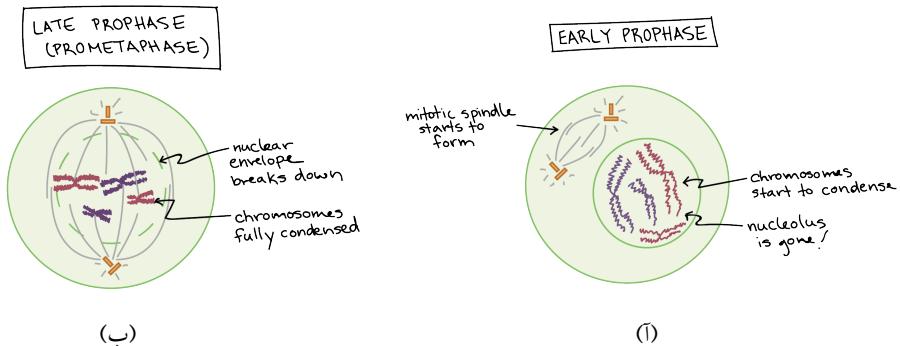
Cytokinesis



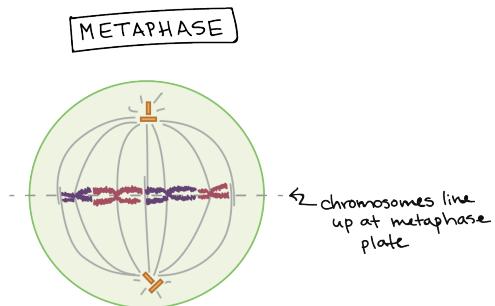
در این مرحله رشته‌های کروماتینی ضخیم، کوتاه و قابل رویت می‌شوند. پوشش هسته ناپدید می‌شود و با دور شدن سانتریول‌ها از یکدیگر دوک شکل می‌گیرد.

Mitosis^۴
Cytokinesis^۵

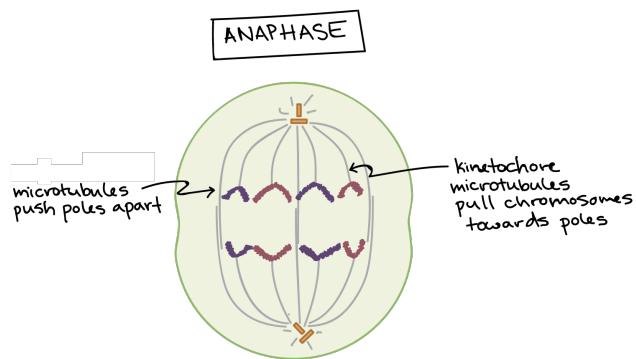
Cell cycle^۱
Interphase^۲
Mitotic (M) phase^۳



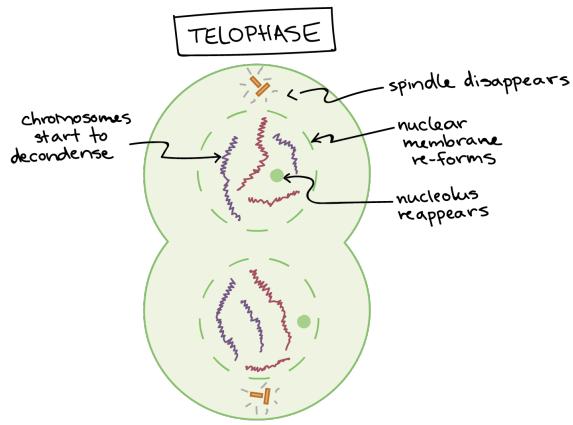
Metaphase متأ به معنی وسط است. در متاباز کروموزوم‌ها به سمت وسط سلول حرکت می‌کنند و در سطح استوایی سلول ردیف می‌شوند. در متاباز دو کروماتید هر کروموزوم حداکثر فشردگی را دارند.



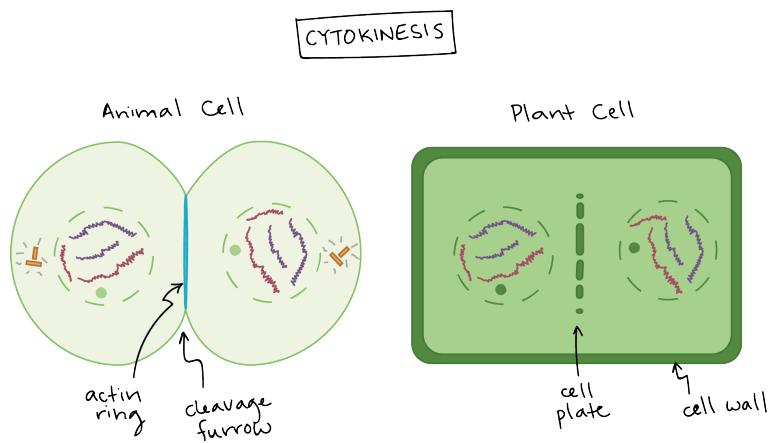
Anaphase طی آنافاز کروماتیدهای خواهی از هم جدا می‌شوند و با کوتاه شدن رشته‌های دوک به سمت قطب کشیده می‌شوند.



Telophase در هر دو قطب پوشش هسته کروموزوم‌ها را احاطه می‌کند. کروموزوم‌ها به مرور از حالت فشردگی خارج می‌شوند. رشته دوک از بین می‌رود.



طی سیتوکینز غشا سلول مادری به دو قسمت تقسیم می‌شود و دو سلول دختری کامل می‌شوند. در سلول‌های جانوری و دیگر سلول‌هایی که دیواره ندارند، طی سیتوکینز، کمربندی از رشته‌های پروتئینی در میان سلول شکل می‌گیرد که با تنگ شدن آن سلول به دو نیمه تقسیم می‌شود. در سلول‌های گیاهی و زیکول‌هایی که توسط دستگاه گلزاری ساخته شده‌اند به میانه سلول حرکت می‌کنند و در آنجا به یک دیگر می‌پیوندند و صفحه‌ای را پدید می‌آورند. این صفحه در واقع دیواره‌ای است که با غشا احاطه شده است.



۱۷.۱.۲ تقسیم سلولی میوز

تقسیم میتوز سلول های دختری ایجاد می کند که عیناً شیبیه به سلول مادر هستند. این تقسیم استفاده های مختلفی دارد به عنوان مثال هنگام رشد یا ترمیم زخم. اما میوز تنها با یک هدف استفاده می شود و آن تولید گامت^۲ (سلول جنسی و یا اسپرم^۳ و تخمک^۴) است. با تقسیم میوز سلول های دختری به وجود می آید که دقیقاً نیمی از کروموزوم های مادری را دارند. در انسان، میوز، سلول دیپلولوئیدی^۵ را به دو سلول هاپلولوئیدی^۶ تقسیم می کند.

تقسیم میوز از بسیاری جهات همانند تقسیم میتوز است. با این حال تقسیم میوز پیچیده تر است چرا که علاوه براین که همانند تقسیم میتوز باید کروماتید های خواهری^۷ هر کروموزوم را جدا کند، میباشد کروموزوم های همتا (همولوگ)^۸ را نیز از هم جدا کند.

تقسیم سلولی میوز در دو مرحله انجام میگیرد:

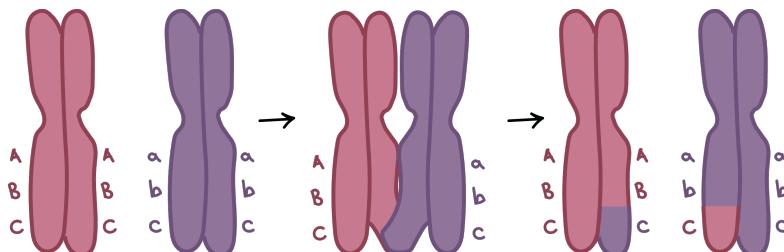
- میوز I: جدا کردن کروموزوم های همتا

- میوز II: جدا کردن کروماتید های خواهری

قبل از شروع تقسیم میوز همانند تقسیم میتوز، سلول وارد مرحله اینترفاز می شود. در مرحله G_1 سلول رشد می کند. در مرحله S کروموزوم ها همانندسازی می کنند. در مرحله G_2 شرایط لازم برای تقسیم فراهم می شود.

Prophase I

- کروموزوم های مضاعف شده فشرده و قابل رویت می شوند.
- غشای هسته تجزیه می شود.
- کروموزوم های همتا عمل Cross over را انجام می دهند.



• کروموزوم های همتا که هر یک دو کروماتیدی هستند از طول کنار یک دیگر قرار می گیرند و ساختاری را به وجود می آورند که تتراد^۹ نام دارد. در واقع در Cross over نیز کروموزوم ها به همین صورت هستند اما در تصویر قبل برای سادگی این طور نمایش داده شده است. شکل ۲۶ را مشاهده کنید. بیش از یک Cross over هم اتفاق می افتد حتی تا ۲۵! نتایجی که در آن ها اتفاق می افتد کم و بیش تصادفی هستند.

Metaphase I

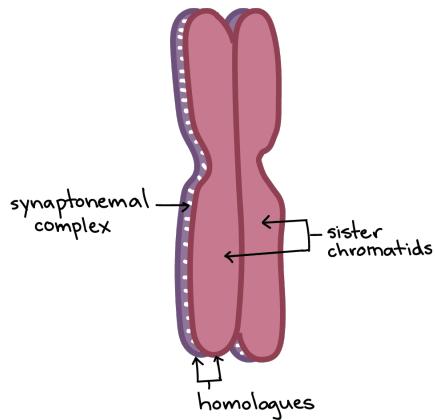
- تترادها به وسیله رشته های دوک در سطح استوایی سلول ردیف می شوند.
- ترتیب کروموزوم های همتا تصادفی است و به همین علت گامت هایی با اطلاعات ژنتیکی متفاوت ایجاد می شوند.

Anaphase I

- در این مرحله کروموزوم های همتا از یکدیگر جدا می شوند و هر یک به سمت قطب کشیده می شوند.

Haploid ^۹	Meiosis ^۱
Sister chromatids ^۷	Gamete ^۱
homologous chromosomes ^۸	Sperm ^۱
Tetrad ^۹	Egg ^۱

Diploid ^۸	Meiosis ^۱
Gamete ^۱	Gamete ^۱
Sperm ^۱	Sperm ^۱
Egg ^۱	Egg ^۱
Diploid ^۸	Diploid ^۸



شکل ۲۶: کروموزوم‌های همتا که در مرحله پروفاز کنار هم قرار گرفته‌اند

Telophase I

- رشته‌های دوک از بین می‌روند.
- در بعضی از سلول‌ها کروموزوم‌ها را پوشش هسته احاطه می‌کند اما در بعضی دیگر این کار انجام نمی‌شود چرا که سلول وارد تقسیم بعدی می‌شود.
- در هر یک از هسته‌ها عدد جنسی نصف شده است چرا که از هر کروموزوم همتا فقط یکی وجود دارد.

میوز II همانند تقسیم میتوز است:

Prophase II

- غشای هسته تجزیه می‌شود.
- رشته‌های دوک تشکیل می‌شوند.

Metaphase II

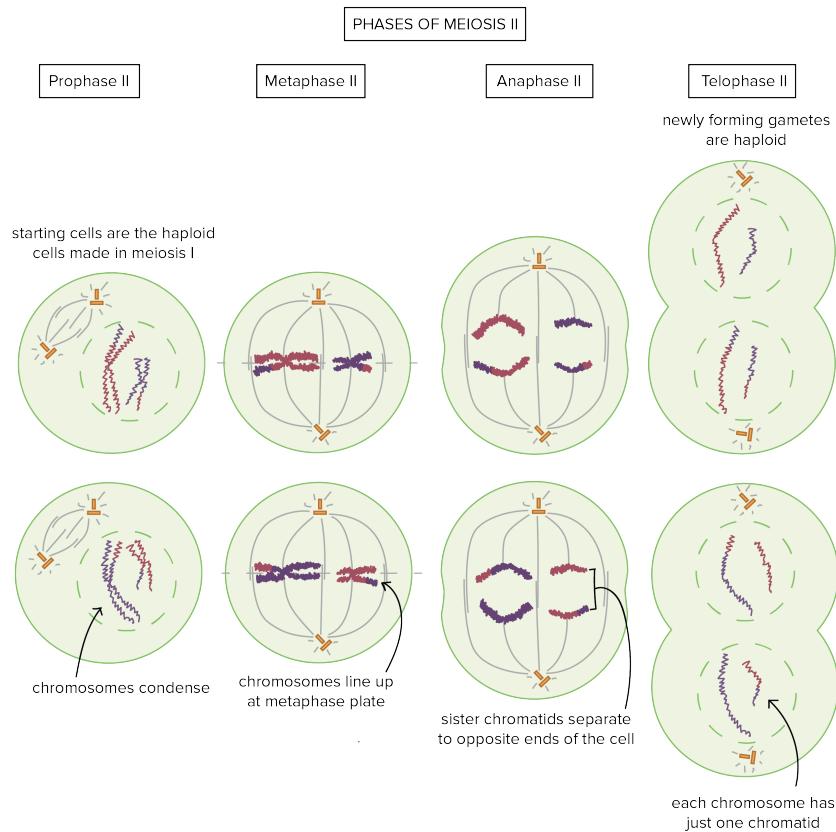
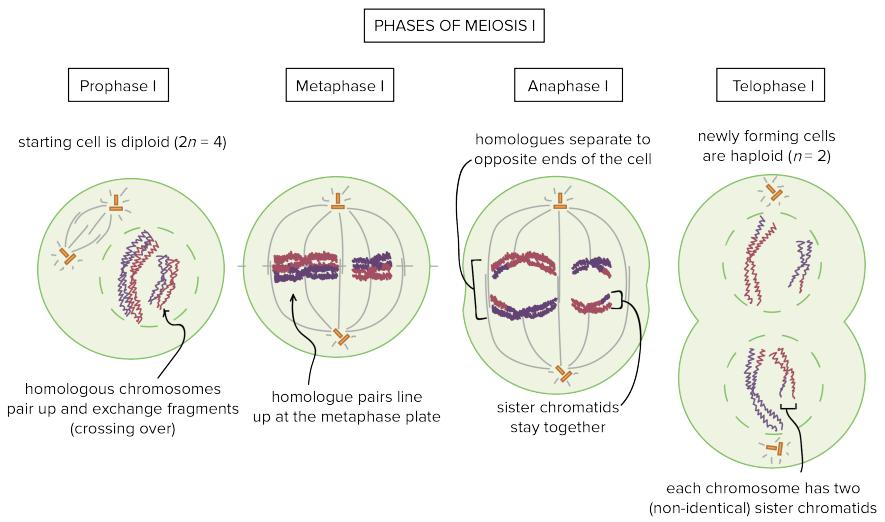
- کروموزوم‌ها به وسیله رشته‌های دوک در سطح استوایی سلول ردیف می‌شوند.

Anaphase II

- در این مرحله کروماتیدهای یک کروموزوم از یکدیگر جدا می‌شوند و هر یک به سمت قطب کشیده می‌شوند.
- در این مرحله برخلاف میتوز از هر کروموزوم همتا فقط یکی وجود دارد.

Telophase II

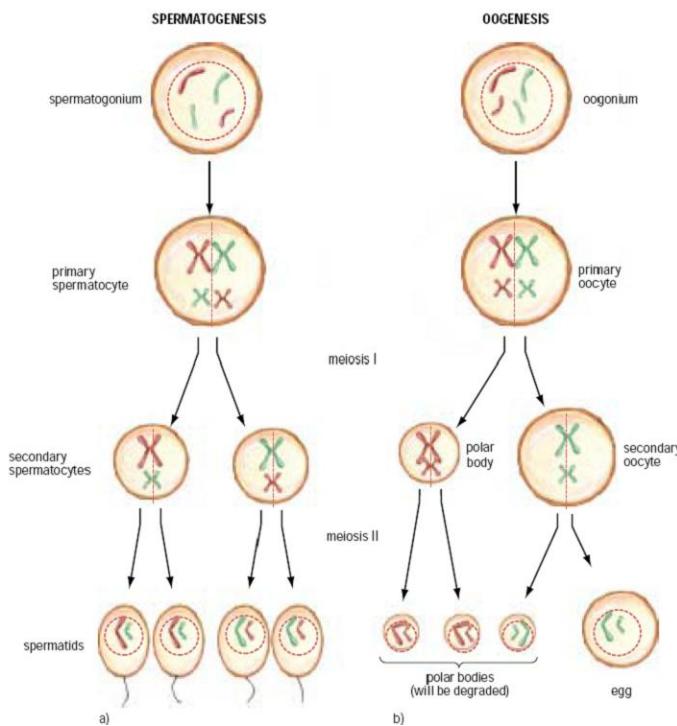
- رشته‌های دوک از بین می‌روند.
- کروموزوم‌ها را پوشش هسته احاطه می‌کند.



شكل ٢٧: ميوز I و ميوز II

۱۸.۰۲ میوزد انسان

همان طور که در شکل ۲۸ مشاهده می‌کنید تقسیم میوز در جنس نر اسپرم‌های با اندازه مساوی ایجاد می‌کند اما در نوع ماده اینگونه نیست در واقع در هر دو مرحله از میوز تقریباً تمام سیتوپلاسم به یکی از دو سلول دختر منتقل می‌شود در نتیجه در انتهای این مرحله یک سلول تخمک ایجاد می‌شود. سایر سلول‌های دختر به دلیل نداشتن سیتوپلاسم از بین می‌روند. نکته دیگر درمورد انسان این است که در جنس نر اسپرم‌ها در تمام طول زندگی به وجود می‌آیند اما تخمک‌ها از بدء تولد در تخمدان هستند و بعد از این دیگر تخمکی ایجاد نمی‌شود. این نکته تخمک‌ها از ابتدا در رحم هستند باعث می‌شود که با بالاتر رفتن سن در جنس ماده احتمال آسیب دیدن آنها نیز بیشتر شود.



شکل ۲۸: تولید اسپرم و تخمک

۱۹.۰۲ کروموزوم‌های جنسی

در انسان ۲۳ جفت کروموزوم وجود دارد. از این ۲۳ جفت ۲۲ جفت غیر جنسی است که به آنها autosome می‌گویند و هر جفت از این ۲۲ جفت نسبت به هم Homologous هستند اما کروموزوم‌های جنسی^۱ ممکن است Homologous باشند یا نباشند. به عنوان مثال در انسان جنس نر دارای کروموزوم‌های جنسی X و Y است که نسبت به هم همولوگ نیستند اما در جنس ماده کروموزوم‌های جنسی هر دو X هستند که همولوگ می‌باشند. به جنس ماده Homogametic می‌گویند چرا که تنها یک نوع گامت از نظر کروموزوم جنسی تولید می‌کند و به جنس نر Heterogametic می‌گویند چرا که از نظر جنسی دونوع گامت تولید می‌کند.

sex chromosomes¹

۲۰.۱.۲ مولکول آر ان ای

همانطور که قبلاً گفته شد RNA یک نوع nucleic acid و یا همان اسید هسته‌ای است که به علت داشتن قند ریبوز به آن گفته می‌شود. در گذشته تصور می‌شد تها کاری که مولکول RNA انجام می‌دهد، رونویسی از مولکول DNA است اما امروزه میدانیم که RNA ها ساختار سه‌بعدی مهمی دارند و کارهای عملکردی انجام می‌دهند. در واقع RNA چیزی بین DNA و پروتئین است. یک توری برای آغاز حیات در دنیا این است که حیات با مولکول RNA آغاز شده است و بعد از آن این مولکول تصمیم گرفته است که DNA را به وجود آورد. به این توری RNA World گفته می‌شود.

نکته‌ای که درمورد RNA وجود دارد این است که بر خلاف مولکول DNA اغلب به صورت تک Strand است. RNA در هسته سنتز می‌شود. بعد از سنتز^۱ بیشتر RNA ها به سیتوپلاسم مهاجرت می‌کنند. زیست‌شناسان برای آن که میزان بیان یک ژن را بستجند میزان RNA هایی که از روی آن ژن رونویسی شده است را اندازه می‌گیرند چرا که نمی‌توانند این کار را از روی پروتئین‌های مریبوط به یک ژن انجام دهند. پروتئین‌ها اندکی بعد از ساخته شدن و انجام وظیفه خود، نابود می‌شوند به همین علت نمی‌توان مقدار آن‌ها را به طور دقیق اندازه گیری کرد.

RNA	DNA
نوکلئوتیدها دارای قند ریبوز می‌باشند.	نوکلئوتیدها دارای قند دئوکسی ریبوز می‌باشند.
دارای نوکلئوتید تیمین می‌باشد.	دارای نوکلئوتید تیمین می‌باشد.
اغلب به صورت single strand است.	به صورت double strand است.
معمولًا ساختار پیچیده سه‌بعدی به خود می‌گیرد و عملکردهای متفاوتی دارند.	تنها، منبع ذخیره ژن است.

۲۱.۱.۲ رونویسی^۲

Transcription^۱

synthesis^۲

٣ تراز کردن دنباله شمیکی^۱

سلام

sequence alignment^۱

٤ پیشینی ژن و مروج آن^۱

^۱gene and promoter prediction^۱

۵ فیلوجنیک مولکولی^۱

ءۇيغۇر مەتىك ساختارى

٧ ژنومیک و پروتئومیکس^۱

سیستم‌های زیستی^۱

۸