

# گفتار اول

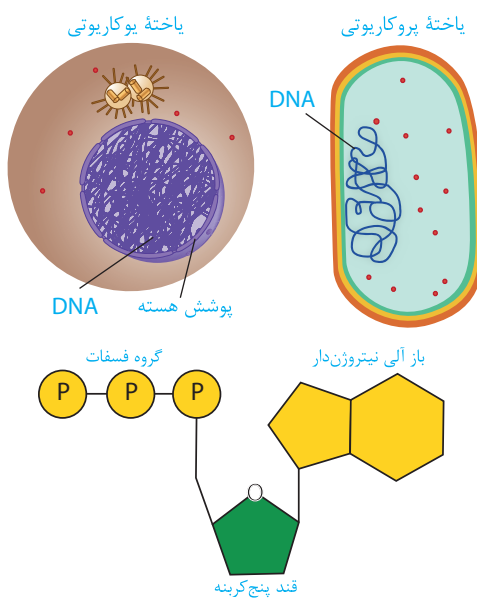
## ارون ویسی |

آقا فیلی پاکریم! سلام، فالتون قطوره بپه‌ها؟ همه پی رو به راهه؟ شروع کردید به درس فوندن و دارید می‌ترکونید دیگه؟ حداقل کمکی که من می‌تونم بکنم اینه که پوری بهتون مطالب رو آموزش بدم تا بنزید پیش و پال زیست کنکور و در بیارید! مطالب این فصل رو که یکی از مهم‌ترین فصل‌های زیست دوازدهم پوری آموزش دادم که تستاشو سر جلسه کنکور تیکه پاره می‌کنید 😊. تست‌های میکی موس رو بزنی هتمن!

در شماره (1)

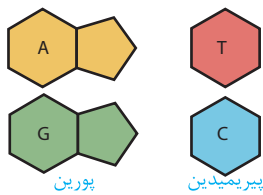
رمزهای وراثتی و کم‌خونی داسی شکل

### یادآوری از قبل

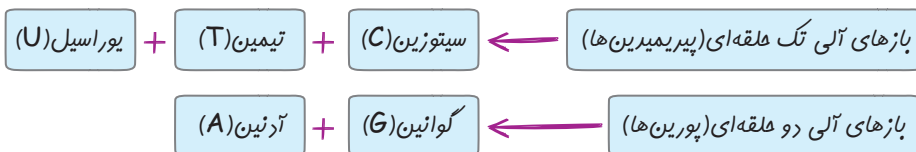


برای اینکه این فصل چغرف و بد بدن رو مثل آب خوردن یاد بگیرید نیازه که به سری چیزمیز رو به شما یادآوری کنم. پس خواهش غر نزنید. تو فصل قبل خوندم که داخل یاخته‌ها به ماده‌ای هست به اسم DNA یا همون دنا خودمون. DNA چی بود؟ بچه‌ها DNA مخفف واژه دئوکسی ریبونوکلیتیک اسید هستش و حاوی دستورالعمل‌هایی است که این دستورالعمل‌ها ویژگی‌های یاخته و جاندار رو از هر نظر (شکل، اندازه، توانایی‌ها و غیره) تعیین و هدایت می‌کنن. به عبارت بهتر مولکول DNA ماده ذخیره‌کننده اطلاعات وراثتی می‌باشد. در جانداران یوکاریوتی (یعنی در جانوران، گیاهان، قارچ‌ها و آغازیان) مولکول DNA خطی داخل هسته یاخته قرار گرفته است (در واقع مولکول‌های DNA در یوکاریوت‌ها توسط پوششی به نام هسته محصور شده‌اند) ولی در جانداران پروکاریوتی (یعنی باکتری‌ها) مولکول DNA حلقوی در سیتوپلاسم یاخته و متصل به بخشی از غشا یاخته می‌باشد و برخلاف جانداران یوکاریوتی هیچ غشایی آن را احاطه نکرده است. DNA یک مولکول دو رشته‌ای هستش که بین دو رشته‌اش پیوندهای هیدروژنی وجود داره و این موضوع باعث شده تا این دو تا رشته روبروی هم دیگه بتونن فیکس باشن. نوکلئیک اسیدها (DNA و RNA) از واحدهای تکرار شونده‌ای به اسم نوکلئوتید تشکیل شده‌اند. اگر خاطرتون مونده باشه خوندم که هر نوکلئوتید سه تا بخش داره که عبارتند از:

1 قند پنج‌کربنه (پنتوز): قند به کار رفته در ساختار نوکلئوتیدهای سازنده DNA از نوع دئوکسی‌ریبوز هستش و قند به کار رفته در ساختار نوکلئوتیدهای سازنده RNA از نوع ریبوزه.



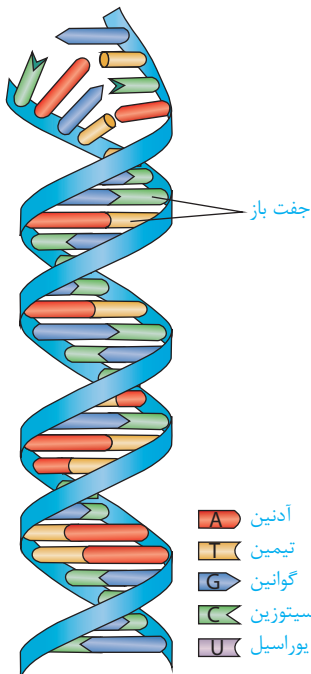
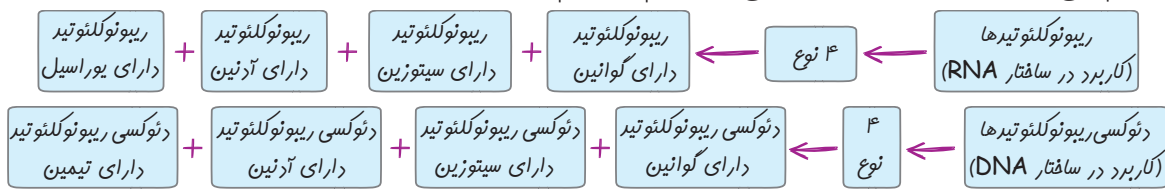
2 باز آلی نیتروژن‌دار: بازهای آلی نیتروژن‌دار مولکول‌هایی هستند که ساختار حلقه‌ای دارن! حالا یک سری هاشون تک‌حلقه‌ای هستند و به سری دیگه هم دو حلقه‌ای! بچه‌ها به بازهای آلی تک‌حلقه‌ای میگن پیریمیدین و به بازهای آلی دو حلقه‌ای میگن پورین. پورین‌ها و پیریمیدین‌ها شامل چه بازهایی میشن؟ بازهای آلی گوانین و آدنین بازهای پورینی هستند و پیریمیدین‌ها هم شامل تیمین، سیتوزین و یوراسیل می‌باشن. اگه بخوام خلاصه چیزایی که گفتم رو نشون بدم اینجوری میشه:



واسه این که راحت تر حفظ کنید، آگه هر وقت اول پیریمیدین‌ها رو بزاری کنار هم همیشه CUT یا همون سوت! وقتی تو کوفه تک و تنها قدم می‌زنی پیکار می‌کنی؟ سوت می‌زنی! بقیه بازهای آلی هم میشن جزء پورین‌ها.

همه بازهای آلی که اسم بدم تو ساختار هر دو نوع نوکلئوتید یعنی هم در ساختار ریبونوکلئوتیدها و هم در ساختار دئوکسی ریبونوکلئوتیدها به کار میرن به جز بازهای آلی تیمین و یوراسیل. بچه‌ها باز آلی تیمین (T) فقط تو ساختار دئوکسی ریبونوکلئوتیدها و باز آلی یوراسیل هم فقط تو ساختار ریبونوکلئوتیدها به کار میره.

پس آگه بخوام انواع نوکلئوتیدها رو از نظر باز آلی و نوع قند تقسیم بندی کنم اینجوری میشه:



**۳ گروه فسفات:** تو ساختار هر نوکلئوتید ۱ تا ۳ گروه فسفات ( $PO_4^{3-}$ ) وجود دارد. از اونجایی که گروه‌های فسفات بارشون منفیه، نوکلئوتیدها هم دارای بار منفی خواهند بود و به تبع اون نوکلئیک اسیدها هم دارای بار منفی هستند (یعنی دنا و رنا). نوکلئوتیدها وقتی بخوان در ساختار DNA و یا RNA قرار بگیرن فسفات‌های اضافی خودشون رو از دست میدن و فقط یک فسفات در ساختارشان نگه میدارن. بین گروه‌های فسفات هر نوکلئوتید پیوندهای پراترزی وجود داره که در خودشون مقداری انرژی ذخیره کرده‌اند.

بچه‌ها نوکلئوتیدها به وسیله نوعی پیوند کووالانسی به هم وصل شدن و نوکلئیک اسیدها رو به وجود آوردن. به این صورت که از اتصال دئوکسی ریبونوکلئوتیدها به هم مولکول DNA ساخته میشه و از اتصال ریبونوکلئوتیدها به هم RNA ساخته میشه. پیوندی که باعث اتصال طولی دو تا نوکلئوتید به هم میشه، نوعی پیوند قند-فسفات هستش که بهش می‌گیم فسفودی‌استر. از اتصال چندین عدد نوکلئوتید توسط پیوندهای فسفودی‌استر به هم، رشته پلی‌نوکلئوتیدی به وجود میاد (پلی یعنی زیاد و پلی‌نوکلئوتید یعنی تعداد زیادی نوکلئوتید). RNAها از یک رشته پلی‌نوکلئوتیدی و DNAها از دو رشته پلی‌نوکلئوتیدی ساخته شده‌اند. در ساختار DNA دو رشته پلی‌نوکلئوتیدی توسط پیوندهای هیدروژنی که بین نوکلئوتیدهایی که روبه‌روی هم قرار دارن، نگه داشته شده‌اند. رفقا لطفن همین الان برید از فصل اول دوازدهم بخش‌های مربوط به «رنا و انواع آن» و «ژن پیست» رو مطالعه کنید. کلن دو صفحه نمیشه. این مطالب پیش‌نیاز این فصله. چون فردین پفون! چون گوریل پفون!

## ● رمزهای وراثتی

همون‌طور که گفتیم در مولکول DNA اطلاعاتی وجود داره که از روی این اطلاعات یاخته میاد پروتئینی و مولکول‌های RNA مورد نیاز خودش رو می‌سازه. بچه‌ها این اطلاعات در DNA به صورت رمز ذخیره شدن! به این رمزها میگن رمزهای ژنتیکی! رمزها در واقع همون توالی‌های نوکلئوتیدی هستند. همه شما تو فیلم‌های سینمایی، نقشه گنج دیدید! تو نقشه گنج به یک زبان خاصی و به کمک علامت‌هایی، نحوه پیدا کردن گنج رمز گذاری شده. به سری دستورالعمل‌ها وجود داره که به شما میگه قدم به قدم چه کارهایی انجام بدین تا به گنج برسید! داستان رمزهای ژنتیکی هم همین مدلیه. تو ساختار ژن‌های DNA نحوه ساخت پروتئین‌ها به یک زبان خاصی رمز گذاری شده! به این زبان میگن زبان نوکلئیک‌اسیدی! یعنی چی بچه‌ها؟ یعنی اینکه وقتی هر کدوم از این نوکلئوتیدها پشت‌سر هم قرار می‌گیرن به معنی خاصی رو میدن! به رمز خاصی هستن! اجازه بدین به مثال بزمن تا مطلب براتون جا بیافته. همین کتاب فاگو رو در نظر بگیرید. خب این کتاب از جمله‌های مختلفی تشکیل شده، درسته؟ هر جمله خودش از چندین کلمه مختلف تشکیل شده و این کلمات هم خودشون از حروف مختلفی تشکیل شدن. یعنی اینجوری:



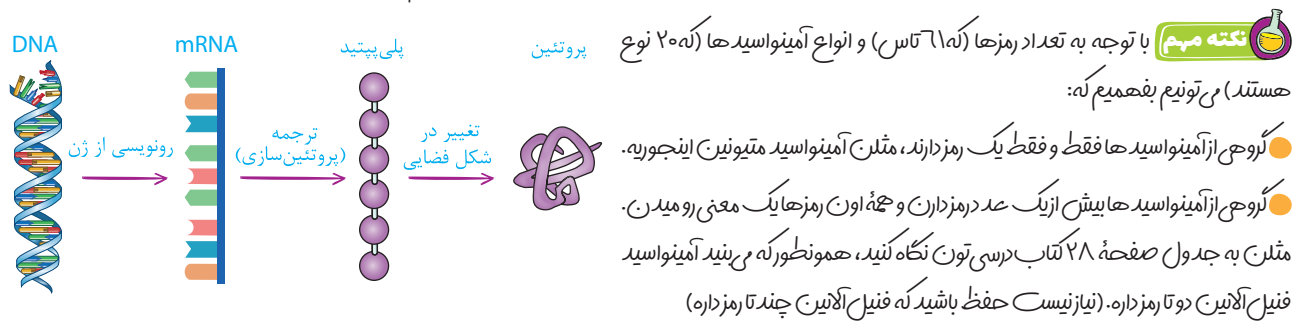
همون‌طور که دیدید، از حرف به کلمه رسیدیم و بعدش جمله و این جمله‌ها کنار هم قرار گرفتن و یک کتاب به اسم فاگوزیست ایجاد شد تا شما زیست شناسی کنکور رو تیکه‌پاره کنید و ۱۰۰ بزینید! حالا آگه من بخوام زبان نوکلئیک‌اسیدی رو با توجه به مثال بالا تعریف کنم اینجوری میشه که هر کدوم از نوکلئوتیدها حکم یک حرف رو دارن (معادل حرف). وقتی این حرف‌ها کنار هم قرار می‌گیرن یک رمز رو می‌سازن (معادل کلمه) و وقتی این رمزها کنار هم قرار می‌گیرن یک ژن رو می‌سازن (معادل جمله) و وقتی این ژن‌ها کنار هم قرار می‌گیرن DNA رو می‌سازن (معادل کتاب). اینجوری:



خب به سوال دارم از تون، رفقا بهم بگید ببینم زبان نوکلئوتیدی چند حرفیه؟ ببین الان زبان فارسی ما چند حرفیه؟ ۳۲ تا حرف داریم دیگه درسته؟ با این ۳۲ تا حرف، واژه‌ها مون رو می‌سازیم. زبان نوکلئوتیدی ۴ حرفیه چون در ساختار یک مولکول DNA و یا مولکول RNA حداکثر ۴ نوع نوکلئوتید خواهیم داشت. همه نوکلئوتیدهای به کار رفته در ساختار یک مولکول DNA یا RNA، قندهاشون مشابه هستش، گروه‌های فسفات‌شون هم همین‌طور و تنها چیزی که باعث افتراق‌شون میشه بازهای آلی هستند و بازهای آلی به کار رفته در DNA شامل سیتوزین، گوانین، آدنین و یوراسیل هستش. چند جور آمینواسید داریم؟ تو فصل قبل خوندید که انواع مختلفی از آمینواسیدها رو در طبیعت داریم اما فقط ۲۰ نوع از اون در بدن جانداران به کار میره. گفتیم که اطلاعات وراثتی در DNA به صورت رمز ذخیره شده است و هر رمز بیانگر یک آمینواسید هستش. الان می‌خوایم بدونیم رمزهای ذخیره شده در DNA چند حرفی هستند؟ اگر رمزهای ذخیره شده در DNA ...



- **یک حرفی باشند** (یعنی هر نوکلئوتید بیانگر یک رمز باشد)، اون موقع چون زبان نوکلئوتیدی کلن ۴ تا حرف بیشتر نداره، فقط و فقط ۴ رمز در DNA خواهیم داشت که این تعداد پاسخگوی ۲۰ نوع آمینواسید نیست. پس **رمزها تک حرفی نیستند**.
  - **دو حرفی باشند** (یعنی هر دو تا نوکلئوتید مجاور هم معادل یک رمز باشد)، اون موقع چون زبان نوکلئوتیدی کلن ۴ تا حرف بیشتر نداره، فقط و فقط ۱۶ تا رمز در DNA خواهیم داشت (با ۴ تا حرف حداکثر ۱۶ تا رمز دو حرفی میشه ساخت) که باز هم پاسخگوی این تعداد آمینواسید (۲۰ نوع) نیست.
  - **سه حرفی باشند** (یعنی هر سه نوکلئوتید مجاور هم یک رمز باشد)، اون موقع با توجه به اینکه ۴ تا حرف داریم، در مجموع میشه ۶۴ تا رمز سه حرفی ساخت که نه تنها پاسخگوی ۲۰ نوع آمینواسید هستش بلکه زیاده!
- بچه‌ها بعد از پژوهش‌ها و مشقت‌های زیاد! که توسط پژوهشگران بچه درسخون انجام شد، به این نتیجه رسیدن که آقا گویا هر **توالی ۳ تایی** از نوکلئوتیدهای دنا، معادل نوعی آمینواسید هستش. یعنی **رمزهای DNA سه حرفی هستند**. رفقا به توالی‌های ۳ تایی نوکلئوتیدها در ساختار DNAها می‌گن رمز. هر رمز یک معنی خاصی میده. مثلن توالی CTT به معنی آمینواسید **گلوتامیک اسید** و توالی CAT به معنی آمینواسید **والین** هستش. (**صرفن بجهت اطلاع**: رمز مبموعه نشانه‌هایی است که برای ذخیره یا انتقال اطلاعات استفاده می‌شود.) توالی‌های ۳ نوکلئوتیدی دنا، **۶۴ حالت** یا رمز ایجاد می‌کنند. از این ۶۴ رمز **۶۱ تایی** اون‌ها معنای یک آمینواسید خاصی رو میده و ۳ تایی باقی‌مونده هم رمزهایی هستند که معنی آمینواسیدهای خاصی رو نمیدن ولی در روند ترجمه به کار میان که تو درسنامه‌های بعدی با اون‌ها آشنا تون می‌کنم.



- همه رمزها به معنی آمینواسید نیستند بلکه سه تا از رمزها هیچ معنی ندارن و بمشون می‌گن رمزهای بی‌معنی چون آمینواسید خاصی رو رمز نمی‌کنن. فرض کن ۶۱ عدد کلوپه داریم و می‌فویم این کلوپه‌ها رو بین ۲۰ نفر پخش کنیم. به طور قطع به هر نفر یرونه کلوپه میرسه و به گروهی از افراد بیش از یک عدد کلوپه فوادر رسیده. مثلن ممکنه به یکی ۴ تا کلوپه برسه. آمینواسیدها هم داستان شون همین‌مدلیه. فاطر تون هست تو فصل قبل فونریم که در طبیعت انواعی از آمینواسیدها رو داریم اما فقط ۲۰ نوع اون در سافتار یافته‌ها و برن جانداران به کار میره. فب آله ۶۱ نوع رمز ژنتیکی داشته باشیم به طور قطع به سری از آمینواسیدها بیش از یک رمز ژنتیکی دارن. با افتخار؟

## کم خونی داسی شکل

بچه‌ها کلن به کاهش تعداد گویچه‌های قرمز و نیز کاهش مقدار هموگلوبین داخل گویچه‌های خونی قرمز می‌گن **کم خونی**. بیماری کم خونی شکل‌های مختلفی داره و همچنین به دلایل مختلفی می‌تونه بروز پیدا کنه. مثلن یکی از انواع کم خونی‌ها، **کم خونی داسی شکل** (Sickle cell anemia) هستش. این بیماری، به جور بیماری ارثیه که علت بروز اون نوعی تغییر ژنی هستش. در واقع در کم خونی داسی شکل یکی از ژن‌هایی که یکی از زنجیره‌های پلی‌پپتیدی هموگلوبین رو رمز می‌کنه، دچار جهش شده! یعنی نقشه ساخت این زنجیره مخدوش شده. خب ژن رمز کننده کدوم زنجیره؟ تو فصل چهار کتاب دوازدهم می‌خونید که ژن رمز کننده یکی از زنجیره‌های بتای هموگلوبین دچار جهش اونم از نوع جهش کوچک میشه. این تغییر ژنی خیلی کوچولو و جزئی بوده و فقط یک جفت از صدها جفت نوکلئوتید ژن مربوطه در افراد بیمار، دچار تغییر شده است. رفقا همین تغییر جزئی و تغییر در نقشه ساخت یکی از زنجیره‌های بتای هموگلوبین، منجر به تولید زنجیره‌های پلی‌پپتیدی غیر نرمال میشه و به دنبال اون هموگلوبین‌های غیر نرمال تولید میشن. تغییر هموگلوبین‌های گویچه قرمز باعث میشه گویچه قرمز از حالت دیسک مقعرالطرفین به حالت داسی شکل در بیاید و به اصطلاح دفرمه میشه! چون گویچه‌های قرمز شبیه به داس هستن، بهشون می‌گن گویچه‌های قرمز داسی شکل.

**نکته مهم** این بیماری (کم خونی داسی شکل) رابطه بین پروتئین و ژن رو نشون میده. یعنی چی؟ همونطور که دیدیم در صورت اختلال در ساختار و عملکرد ژن، خودش رو در قالب اختلال در ساختار و عملکرد پروتئین نشون میده. پس بین پروتئین و ژن یک رابطه‌ای وجود داره. اون چیه؟ اینه که پروتئین‌ها از ژن‌ها ساخته می‌شوند.

**نکته مهم** تو فصل قبل و همینطور کتاب دهم خونید هموگلوبین (نوعی زنگنه قرمز) یک ساختار پروتئینی هستش با ۲ تا زنجیره پلی‌پپتیدی که دو به دو به هم شبیه هستند به این صورت که دو تا زنجیره آلفا داره و دو تا هم زنجیره بتا. به هر کدوم از این زنجیره‌ها یک بخش غیر پروتئینی به اسم گروه هم وصل شده که در مرکز هر هم به دونه اتم آهن قرار داره. هموگلوبین ساختار نخائیش از نوع سطح چهارم بوده و کارش حمل گازهای تنفسی (اکسیژن، دی‌اکسید کربن و مونواکسید کربن) هستش.

رشته الگوی دای هموگلوبین طبیعی



رشته الگوی دای هموگلوبین جهش یافته



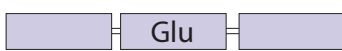
زنجیره پیک



زنجیره پیک



هموگلوبین طبیعی



هموگلوبین ساخته داسی شکل



رونوسی صورت می‌گیرد قرار گرفته. توالی رمزکننده آمینواسید گلوتامیک اسید در رشته آلو، توالی CTT هستند. در افراد بیمار این رمز دچار تغییر شده و به CAT تبدیل شده (این توالی آمینواسید والین رو رمز می‌کند)، در نتیجه آمینواسید والین به جای گلوتامیک اسید در ساختار رشته پلی پپتیدی می‌شینه. تغییر تو همین یک آمینواسید کارو خراب می‌کنه. در فصل قبل هم خوندم که تغییر در یک آمینواسید می‌تونه کلن شکل و ساختار و عملکرد پروتئین رو تحت تاثیر قرار بده.

**نکته مهم** جهش چی هست اصلن؟ رفقا تو فصل چهار دوازدهم می‌خونید که به تغییر ماندگار در نوکلئوتیدهای ماده وراثتی جهش گفته می‌شود و انواع مختلفی داره. داستان کم خون داسی شکل مثال از جهش هستند اونم از نوع جهش کوچک.

### حرف سحرآمیز باشه

جهش ایجاد در افراد مبتلا به کم خون داسی شکل، از نوع جهش جانشینی دگر معنا هستند.

**سوال:** آقا مگه نمی‌گیم گویچه خونی قرمز هسته و دنا نداره؟ پس رو چه حساب می‌گیم توشون جهش رخ میده؟

**جواب:** رفقای نازنین من، اگر خاطر تون مونده باشه تو فصل ۴ کتاب دهم خوندید که تو مغز قرمز استخوان‌ها یاخته‌های بنیادی میلوئیدی تقسیم میشن و پیش‌سازهای گویچه‌های خونی قرمز رو به وجود میارن. این پیش‌سازها در واقع گویچه‌های خونی قرمز نابالغ هستند و هسته دارن. داخل این گویچه‌های قرمز هموگلوبین‌های مورد نیاز تولید میشه و چون ژن رمزکننده یکی از زنجیره‌های بتای هموگلوبین دچار جهش شده، هموگلوبین‌های ناقص و غیرنرمال تولید میشن. طی فرآیند بلوغ این گویچه‌ها، هسته و خیلی چیزای دیگه از بین میرن و داخل شون پر از هموگلوبین‌های غیرنرمال میشه. پس داستان از این قرار بود.

**نکته مهم** تو افراد مبتلا به کم خون داسی شکل میزان هماتوکریت (خون بھر) کم میشه. هماتوکریت چی بود؟ تو فصل ۶ کتاب دهم می‌خونید که به نسبت حجم کل یاخته‌های خونی به حجم کل خون میگن هماتوکریت. خب چرا کم میشه؟ گویچه‌های خونی قرمز داسی شکل نسبت به گویچه‌های خونی سالم کوچولوتر هستند و کلن حجم شون کم میشه. بخش عمده یاخته‌های خونی رو همین گویچه‌های قرمز تشکیل دادن. حجم این یاخته‌ها کم بشه در نهایت هماتوکریت هم کم میشه. مقدار هماتوکریت نرمال در افراد سالم و بالغ به طور معمول ۵۶ درصد می‌باشد. پس در این افراد کم‌تر از ۵۶ درصد حجم خون را یاخته‌های خونی به خصوص یاخته‌های خونی قرمز به خود اختصاص داده‌اند.

**نکته مهم** با توجه به اینکه هموگلوبین این افراد غیرطبیعی است می‌توان استنباط کرد که در آنها اختلال در انتقال گازهای تنفسی دیده می‌شود. خب آله اکسیژن کافی به یاخته‌های بدن نرسه و همچنین سی‌اسید کربن از بافت‌ها به خوبی جمع‌آوری نشه چه اتفاقی می‌افته؟ اکسیژن به چه کار می‌آید؟ تو رابزه‌ها با استفاده از اکسیژن، مولکول‌های پیرانترن ATP تولید میشه. در این افراد چون اکسیژن رسانی به خوبی انجام نمیشه، تولید ATP هم کاهش پیدا می‌کنه. پس این افراد در طول روز انرژی کمی خواهند داشت چون اکسیژن کافی در اختیار یاخته‌هاشون نیست و به اندازه کافی آدنوزین تری فسفات نمی‌توانند بسازند.

**نکته مهم** در کم خون‌ها از جمله کم خون داسی شکل به دلیل اختلال در انتقال اکسیژن، ترشح هورمون اریتروپوئیتین از کلیه‌ها و کبد افزایش می‌یابد تا با اثر رو مغز استخوان‌ها تولید گویچه‌های قرمز را زیاد کند. با افزایش تعداد گویچه‌های قرمز، تعداد کاسی‌های انتقال دهنده اکسیژن (گویچه‌های قرمز) زیاد می‌شود و بدن اینجورن این نقص را سعی می‌کند جبران کنه.

**نکته مهم** تو فصل ۶ کتاب دهم خواندید که در کم خون‌ها تولید گویچه‌های خونی قرمز زیاد می‌شود. خب در این صورت مواد اولیه مورد نیاز برای تولید این یاخته‌ها باید بیشتر مصرف بشن. از جمله این مواد می‌تونیم به ویتامین B<sub>۱۲</sub>، فولیک اسید، آهن و آمینواسیدها اشاره کنیم. پس مصرف این مواد در بدن افراد مبتلا به کم خون داسی شکل افزایش پیدا می‌کنه.



**نکته مهم** تو فصل چهار کتاب دوازدهم می‌خوانید که بیماری کم‌خونی داسی شکل نوعی بیماری مغلوب هستش. افراد مغلوب خالص ( $Hb^S Hb^S$ ) معمولن در سنین پایین فوت می‌کنند. افرادی که ژنوتیپ ناخالص دارن (یعنی  $Hb^A Hb^S$ ) فقط زمانی که آکسیژن محیط کم باشه (مثلن ارتفاعات) کوچیچه‌های قرمز خونی‌شون به شکل داسی شکل در میاد و در محیط‌های با آکسیژن نرمال، همه چی اولیبه و داسی شکل نیست و مشکلی ندارن. افرادی هم که ژنوتیپ شون غالب خالص هستش (یعنی  $Hb^A Hb^A$ ) هیچ مشکلی ندارن و سالم هستن.

**حواسه‌تون باشه**

- **مورد اول:** همونطور که می‌دونید ما انسان‌ها جانورانی دیپلوئید هستیم و از هر ژن دو نسخه داریم. کم‌خونی داسی شکل یک بیماری مغلوب هستش یعنی زمانی این بیماری بروز پیدا می‌کنه که هر دو نسخه ژن مربوطه دچار جهش شده باشن. ژن معیوب رو با  $Hb^S$  و ژن سالم رو با  $Hb^A$  نشون میدن. اگر فقط یکی از نسخه‌های ژن مربوطه دچار جهش بشن در این صورت هموگلوبین‌ها اونقدری که باید! دچار اشکال نمیشن یعنی اشکال در ساختارشون خیلی کمه. کوچیچه‌های قرمز این افراد فقط زمانی که در محیط‌های کم‌اکسیژن قرار بگیرن داسی شکل میشن.
- **مورد دوم:** به بیماری داریم به اسم مالاریا که نوعی بیماری انگلی هستش. این انگل وقتی بدن ما رو آلوده می‌کنه، داخل کوچیچه‌های قرمز رشد و تکثیر پیدا می‌کنه. اگه کوچیچه‌های قرمز ما سالم نباشن، این انگل‌ها قادر به رشد نیستن و در نتیجه نمی‌تونن فرد رو بیمار کنن. رو این حساب افراد مبتلاء به کم‌خونی داسی شکل (یعنی افراد با ژنوتیپ خالص مغلوب) و همینطور افراد ناقل کم‌خونی داسی شکل (یعنی افراد با ژنوتیپ ناخالص) در برابر بیماری مالاریا مقاوم هستن.

**نکته مهم** مگه تو فصل قبل نکتیدم که حتی با تغییر یک آمینواسید، تمام سطوح ساختاری پروتئین دچار تغییر میشه؟ پس در بیماری کم‌خونی داسی شکل هم تمام سطوح ساختاری پروتئین تغییر می‌کنه.

**نکته مهم** تو فصل سه کتاب یازدهم تون می‌خوانید که در کم‌خونی‌های شدید، مغز زرد استخوان می‌تونه به مغز قرمز Shift پیدا کنه تا تولید کوچیچه‌های خونی قرمز افزایش پیدا کنه. در کم‌خونی داسی شکل در صورتی که شدید باشه (حالت مغلوب خالص)، این اتفاق می‌تونه رخ بده.

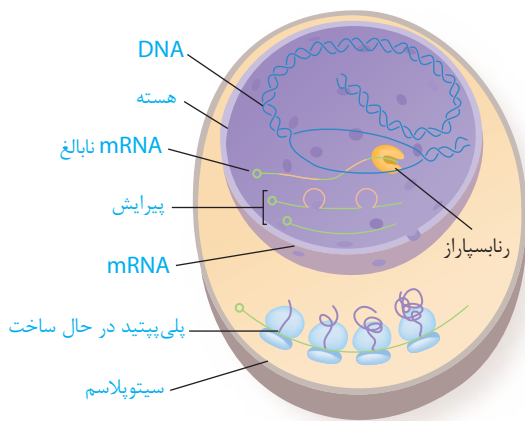
**نکته مهم** بچه‌ها توجه داشته باشید که اون ژن رمزکننده زنجیره بتا که دچار جهش شده، در همه یاخته‌های پیکر بدن فرد بیمار، جهش یافته هستش و نه فقط در یاخته‌های خونی قرمز نابالغ چون همونطور که می‌دونید همه یاخته‌های پیکر بدن ما از میتوز تخم به وجود اومدن.

**حواسه‌تون باشه**

از فصل قبل خاطر تون هست که گفتم همه ژن‌ها در همه یاخته‌ها مورد استفاده قرار نمی‌گیره بلکه در هر یاخته فقط گروهی از ژن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرن و بیان میشن. ژن‌های رمزکننده پروتئین‌های هموگلوبین فقط در یاخته‌های خونی قرمز نابالغ (کوچیچه‌های خونی قرمز هسته‌دار) بیان می‌شوند.

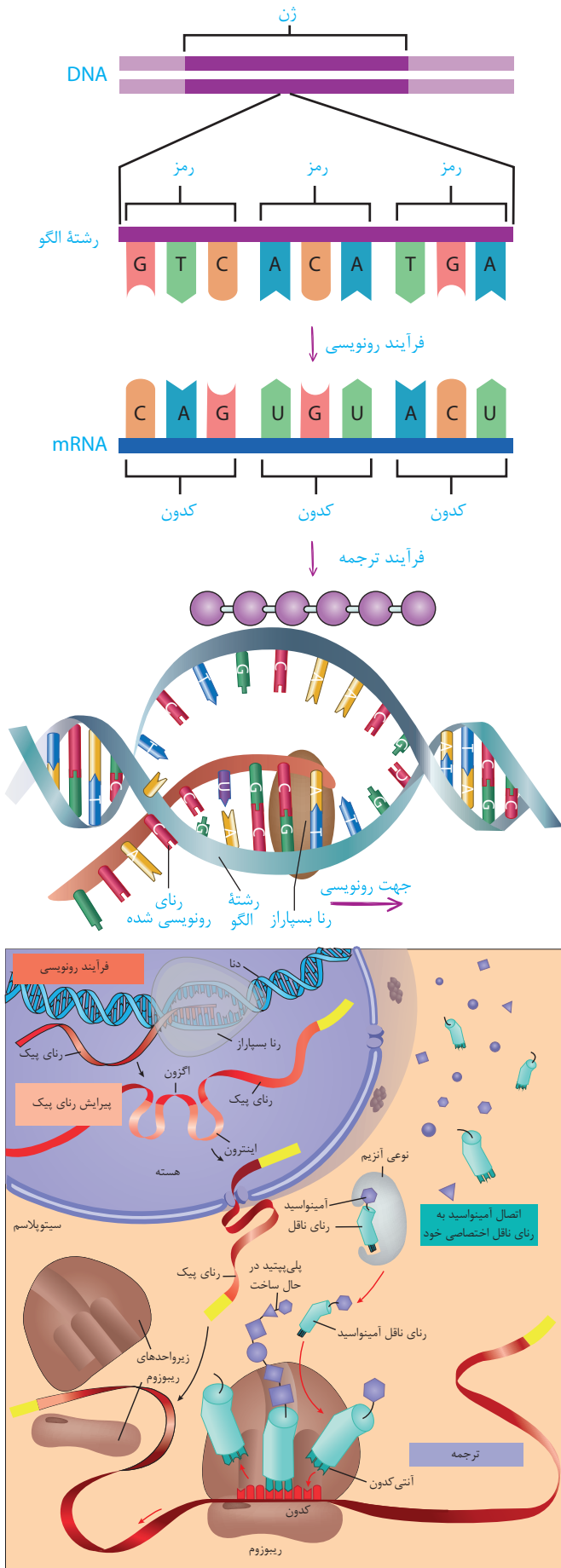
در سنامه (۲)

نقش مولکول DNA به عنوان میانجی



همونطور که خدمتتون عارض شدم! از روی اطلاعاتی که در DNA وجود داره (در قالب بسته‌هایی به اسم ژن)، پروتئین ساخته میشه. فرآیند پروتئین‌سازی در سیتوپلاسم یاخته انجام میشه. در جانداران یوکاریوتی و دارای هسته، ریبوزوم‌ها در هسته حضور ندارند و بنابراین فرایند پروتئین‌سازی در هسته انجام نمیشه. خب پس چجوری از اطلاعات ذخیره شده در مولکول‌های دنا برای پروتئین‌سازی استفاده میشه؟ بچه‌ها با وجود نقش اساسی دنا برای ساخت پروتئین‌ها، دنا، هم به دلایل امنیتی! و هم به دلیل درشت مولکول بودن، از مقر خودش یعنی هسته بیرون نمیاد. با توجه به این توضیحات مشخصه که مولکول DNA اطلاعات مستقیم برای پروتئین‌سازی استفاده نمیشه بلکه این اطلاعات به صورت غیرمستقیم توسط یک چیزی یا کسی از هسته به سیتوپلاسم (جایگاه پروتئین‌سازی) برده میشه. به عبارت بهتر به یک میانجی و واسط نیاز داریم. حالا سوال اینجاست که دستورات ساخت پروتئین چجوری به بیرون از هسته و محل پروتئین‌سازی منتقل

میشه و این میانجی کیه؟ رفقا برای این کار باید از روی اطلاعات DNA یک کپی برداری بشه و از روی این اطلاعات (و رمزهای) کپی برداری شده، پروتئین مورد نظر ساخته بشه. خب این رمزها در قالب چه مولکولی کپی میشن؟ این رمزها طی فرآیندی به اسم رونویسی در قالب مولکول mRNA که یکی از انواع RNAهای درون یاخته هستش، کپی میشن. پس فهمیدیم که این میانجی همون مولکول mRNA هستش و این مولکول دستورات ساخت پلی‌پپتید رو از هسته



خارج کرده و به سیتوپلاسم میاره. به توالی‌های ۳ تایی نوکلئوتیدها در ساختار mRNA میگویند کدون یا رمزه (حواستون باشه به توالی‌های نوکلئوتیدی ۳ تایی در دنا می‌گفتیم رمز). هر کدون به معنی خاصی داره. مثلن کدون GUA به معنی آمینواسید والین، کدون AUG به معنی آمینواسید متیونین و کدون GAA به معنی آمینواسید گلوتامیک اسید هستش. پس، از روی ژن رمز کننده یک پروتئین، مولکول RNA اونم از نوع mRNA تولید میشه. البته رفقا این واژه کپی برداری از روی DNA در قالب mRNA خیلی صحیح و درست نیست! حالا چرا؟ بعدن می‌فهمی نگران نباش. خب رفقایکی باید این کار کپی برداری رو انجام بده دیگه، درست؟ خب کی انجام میده؟ این کار رو گروهی از آنزیم‌ها با نام کلی رنابسپاراز یا RNA پلی‌مراز انجام میدن. بچه‌ها به این کار میگن رونویسی (Transcription). به عبارت بهتر به ساخته شدن مولکول RNA از روی بخشی از یکی از رشته‌های DNA، رونویسی می‌گویند. تو فصل قبل گفتیم که داخل یاخته ما انواعی از رناها (mRNA، tRNA و rRNA) رو داریم که طی فرآیند رونویسی از روی DNA ساخته میشن و همگی به نوعی تو فرآیند پروتئین‌سازی نقش دارن. در مورد نقش هر کدوم از این مولکول‌ها هم تو فصل قبل به سری اطلاعات بهتون دادم. تو این فصل به طور مفصل در موردشون صحبت می‌کنم. خب این آنزیم RNA پلی‌مراز دقیقن چی کار می‌کنه؟ بچه‌ها به ژن رو در نظر بگیرید. این ژن که بخشی از مولکول DNA هستش، دوتا رشته پلی‌نوکلئوتیدی داره، درست؟ وقتی آنزیم رنابسپاراز میخواد از روی این ژن رونویسی کنه، فقط از رمزهای یکی از رشته‌ها استفاده می‌کنه! به این رشته پلی‌نوکلئوتیدی از ژن میگن رشته الگو و به اون یکی رشته میگن رشته رمز گذار. چرا بهش میگن الگو؟ چون از روی اون RNA ساخته میشه و به عنوان الگو برای آنزیم رنابسپاراز هستش. دیدین وقتی می‌خوان به چیزی رو بدین واستون درست کنن مثلن می‌رید نجاری و می‌گید که من به صندلی فلان مدلی می‌خوام، بعد نجاره می‌گه خب شما به الگو واسم بیار، چه میدونم مثلن به عکسی از اون صندلیه بیار برام تا عین همون رو برات بسازم. اینجا هم داستان رشته الگو همینه. خب حالا چرا به اون یکی رشته میگن رشته رمز گذار؟ چون توالی نوکلئوتیدی اون شبیه رشته رنایی هست که ساخته میشه. تنها تفاوتش با رشته رنای ساخته شده در نوکلئوتیدهای مورد استفاده می‌باشد. به این صورت که به جای نوکلئوتید تیمین دار در رشته رمز گذار DNA، نوکلئوتید یوراسیل دار در RNA تولید شده قرار گرفته. همچنین قند نوکلئوتیدهای رنا از نوع ریبوز و قند نوکلئوتیدهای رشته رمز گذار از نوع دئوکسی‌ریبوز می‌باشد. آنزیم RNA پلی‌مراز (رنابسپاراز) میاد دونه به دونه نوکلئوتیدهای رشته الگوی DNA رو نگاه می‌کنه و در مقابل هر دئوکسی‌ریبونوکلئوتید یک ریبونوکلئوتید مکمل قرار میده! یعنی در مقابل دئوکسی‌ریبونوکلئوتید گوانین دار، ریبونوکلئوتید سیتوزین دار، در مقابل دئوکسی‌ریبونوکلئوتید سیتوزین دار، ریبونوکلئوتید گوانین دار و در مقابل دئوکسی‌ریبونوکلئوتید آدنین دار، ریبونوکلئوتید یوراسیل دار قرار میده. خب آنزیم رنابسپاراز از کجا می‌فهمه که باید جلوی فلان نوکلئوتید چه چیزی قرار بده؟ رفقا اینو خود ژن به آنزیم میگه! به این کار ژن میگن رمز کردن! یعنی ژن میاد اطلاعات روی خودش رو بر روی mRNA رمز می‌کنه! به عبارت بهتر رمز کردن یعنی مشخص کردن ترتیب و توالی رشته پلی‌مری که

می‌خواهد ساخته بشود. شکلی که صفحه قبل می‌بینید داره فرآیند رونویسی رو نشون میده. همونطور که می‌بینید یکی از رشته‌های ژن به عنوان رشته الگو هستش. خب mRNA ساخته شد. قدم بعدی چیه؟ قدم بعدی ساخت پروتئین است! در کجا؟ در کارخانه پروتئین‌سازی. آدرس این کارخانه کجاست؟ بچه‌ها ریبوزوم‌ها یا همان رناتن‌ها کارخانه‌های پروتئین‌سازی هستند. mRNAها بعد از اینکه از ساخته شدن، میرن به ریبوزوم‌ها و ریبوزوم‌ها رزمه‌های اون‌ها رو ترجمه و معنی می‌کنن و با دستورالعمل‌هایی که در این مولکول‌ها وجود داره، پلی‌پپتید مورد نظر را می‌سازن. پروتئین‌ها واحد سازنده‌شون چیه؟ تو فصل قبل گفتیم آمینواسیدها مونومرهایی هستند که واحد سازنده پروتئین‌ها می‌باشند.

از کنار هم قرار گرفتن آمینواسیدهای مختلف و یا مشابه در کنار یکدیگر رشته پلی‌پپتیدی حاصل می‌شود. پیوند بین آمینواسیدها نوعی پیوند کووالانسی به اسم پیوند پپتیدی هستش. تو ریبوزوم چه اتفاقی می‌افته؟ بچه‌ها تو ریبوزوم‌ها یه سری آمینواسید با ترتیب خاص و تعداد مشخص کنار هم چیده میشن و توسط یک آنزیمی پیوند پپتیدی بین این آمینواسیدها ایجاد میشه و در نتیجه رشته پلی‌پپتیدی به وجود میاد! حالا سوال اینجاست که ریبوزوم از کجا می‌دونه باید کدوم آمینواسیدها رو با چه ترتیب و چه تعدادی کنار هم بچینه؟ از کجا می‌دونه اول باید آمینواسید متیونین رو قرا بده و بعد آمینواسید فنیل آلانین رو؟ ریبوزوم این رو از روی نقشه ساخت پروتئین می‌فهمه! نقشه ساخت پروتئین در قالب چه مولکولی بود؟ mRNA نقشه ساخت پروتئین بود! نقشه ساخت چی داره؟ رزمه داره! خب این اطلاعات چجوری رمز شدن؟ ۳ تا ۳ تا رمز شدن! یعنی چی؟ یعنی بچه‌ها هر ۳ تا نوکلئوتید یک رزمه محسوب میشه! مثلن وقتی در ساختار یک ژن ۳ تا نوکلئوتید با توالی TAC کنار هم قرار می‌گیرن، این توالی یک رمز حساب میشه و این رمز به معنی آمینواسید متیونین هستش. این رمز رونویسی میشه در قالب mRNA و به صورت AUG در میاد (مکمل این نوکلئوتیدها) و از قضا همین معنی رو میده؛ یعنی معنی آمینواسید متیونین رو میده. وقتی mRNA میره به ریبوزوم (کارخانه پروتئین‌سازی)، خود ریبوزوم که نمی‌تونه این رزمه‌ها رو بخونه که چی به چی! فقط یک محل و مکان هستش برای پروتئین‌سازی، مثل یک سوله و کارخونه می‌مونه! خب تو کارخونه‌ها ما کارشناس و مهندس داریم درسته؟ این مهندس هستش که دستور میده چه کارهایی و به چه روشی انجام بشن تا محصول تولید بشه! برای اینکه رزمه‌های موجود در mRNA از زبان نوکلئوتیدی به زبان آمینواسیدی ترجمه بشن، به یک مترجم نیاز داریم. این مترجم کیه؟ مترجم کارخانه پروتئین‌سازی tRNA است! به عبارت بهتر، کار بلد ما، مهندس ما، کارشناس ما، مولکول tRNA هستش. tRNA میاد دونه به دونه رزمه‌ها (کدون‌ها) ی mRNA رو می‌خونه و متناسب با معنی اون‌ها آمینواسید مربوطه رو به ریبوزوم میاره تا ریبوزوم کارش رو انجام بده. کی به tRNA میگه که چه آمینواسیدی رو باید بیاری؟ خود mRNA بهش میگه. مگه نقشه ساخت نبود؟ اینجوری بگیریم بهتره: کی نقشه ساخت بود دیگه، یادته؟ رفقا به این کار رنای پیک میگن رمز کردن. پس اگه ازتون بپرسن چه کسی کار رمز کردن را حین RNA سازی (یعنی فرآیند رونویسی) انجام میده؟ میگن DNA و اگه ازتون بپرسن چه کسی کار رمز کردن رو تو فرآیند ترجمه انجام میده میگن mRNA ساخت رشته پلی‌پپتیدی را رمز می‌کنند! یعنی اونه که میاد تعیین می‌کنه آمینواسیدها با چه ترتیبی پشت سر هم قرار بگیرن. جون فردین حال کردی؟ تا حالا کسی این مدلی تونسته بود بهت این مبحثو بفهمونه؟ ختلی چاکریم! فدا مدالا!



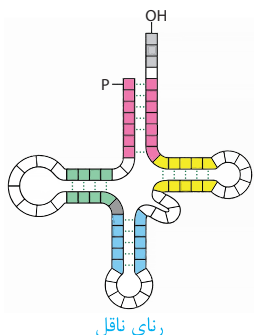
این‌ها کلیاتی بود از این فصل که در ادامه به صورت مفصل در مورد تک تک مراحل صحبت خواهیم کرد.

### انواع رنا بسیار از و مولکول‌های رنا

همونطور که گفتیم به ساخته شدن مولکول RNA از روی بخشی از یکی از رشته‌های DNA، رونویسی گفته می‌شود. فرآیند رونویسی به کمک آنزیم‌های خاصی انجام میشه. یعنی انواعی از آنزیم‌ها در فرآیند رونویسی دخیل هستند. این آنزیم‌ها رو تحت عنوان کلی رنابسپاراز (RNA پلی‌مراز) صدا می‌زنند. در جانداران یوکاریوتی درون هسته ۳ جور آنزیم RNA پلی‌مراز وجود داره که اون‌ها را رنا بسپاراز ۱، رنابسپاراز ۲ و رنابسپاراز ۳ صدا می‌زنند. اما تو پروکاریوت‌ها (باکتری‌ها) فقط یک نوع آنزیم RNA پلی‌مراز وجود داره و این آنزیم به تنهایی انواع رناهای مورد نیاز یاخته رو می‌سازه.

**نکته مهم** تو فصل قبل گفتیم که آنزیم‌ها دو جورن، یا برون‌یاخته‌ای هستند و یا درون‌یاخته‌ای. آنزیم رنابسپاراز یک آنزیم درون‌یاخته‌ای هستش.

در داخل یک یاخته (چه یوکاریوت و چه پروکاریوت) انواع مختلفی از RNAها وجود داره که از جمله این RNAها می‌تونیم به موارد زیر اشاره کنیم:



- mRNA: تو فارسی بهش میگیم رنای پیک! mRNA مخفف messenger RNA بوده و به معنای پیامبر یا رنای پیک هستش. خب وظیفه‌ش چیه؟ وظیفه این نوع RNA انتقال اطلاعات از DNA به ریبوزوم‌هاست. ریبوزوم‌ها کارخانه‌های پروتئین‌سازی یاخته محسوب می‌شوند. ریبوزوم با استفاده از اطلاعات رنای پیک، پروتئین‌ها رو سنتز می‌کنه که در فصل بعدی به صورت مفصل خواهید خواند. این نوع رنا، تک رشته‌ای است و در ساختار خود فاقد پیوند هیدروژنی می‌باشد.
- tRNA: تو فارسی بهش میگیم رنای ناقل یا حمل! tRNA مخفف transfer RNA بوده و به معنای RNA ناقل هستش. خب این مولکول وظیفه‌ش چیه؟ بچه‌ها RNA ناقل وظیفه‌اش اینه که آمینواسیدهای مورد نیاز برای استفاده در پروتئین‌سازی رو از سیتوپلاسم به ریبوزوم‌ها حمل کنه. این نوع RNA هم تک رشته‌ای است ولی در ساختار خود پیوند هیدروژنی دارد.

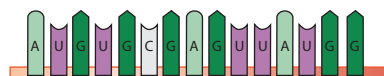
**!! حواسم کن باشه**

بچه‌ها یه سری از نوکلئوتیدهای به کار رفته در ساختار RNA ناقل، مکمل هم هستند. طی یه سری تاخوردگی‌هایی که در ساختار این مولکول ایجاد شده، این نوکلئوتیدهای مکمل در مجاورت هم قرار گرفتن و بین‌شون پیوند هیدروژنی ایجاد شده برای همین به جاهایی حالت دورشته‌ای به خودش گرفته اما در اصل و اساس تک‌رشته‌ای هستش.

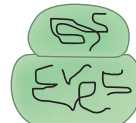
- **rRNA:** تو فارسی بهش میگیم **رنای رناتی** یا **رنای ریبوزومی!** rRNA مخفف ribosomal RNA بوده و به معنای RNA ریبوزومی هستش. تو فارسی به ریبوزوم میگن رناتن! واسه همین به این نوع رنا، رنای رناتی هم گفته میشه. رنای ریبوزومی تک رشته‌ای است و در ساختار خود فاقد پیوند هیدروژنی می‌باشد. این نوع رناها، دو تا کار انجام میدن:
  - 1 در ساختار ریبوزوم‌ها شرکت دارن.
  - 2 نقش آنزیمی دارن و باعث ایجاد پیوند پپتیدی بین دو آمینواسید می‌شوند.



رنای ناقل



رنای پیک



رنای ریبوزومی

● **رنای کوچک:** در مورد این نوع رناها توی این فصل چیزی گفته نشده اما در فصل بعدی یه اشاره ریزی بهشون کرده. اونجا می‌خونید که این رناها در تنظیم بیان ژن دخالت دارن.

مورد مقایسه	آنزیم تولیدکننده در	محل تولید		ترجمه	نوع فعالیت	ویژگی
		پروکاریوت	یوکاریوت			
mRNA	RNA پلی‌مراز ۲	هسته	سیتوپلاسم	می‌شود	رمز کردن آمینواسیدها	متنوع‌ترین RNA
tRNA	RNA پلی‌مراز ۳	هسته	سیتوپلاسم	×	عمل اسیدهای آمینه	فرم فعال آن به صورت L است
rRNA	RNA پلی‌مراز ۱	هسته	سیتوپلاسم	×	شرکت در ساختار ریبوزوم‌ها و سنتز پیوندهای پپتیدی	فراوانترین RNA

● **نکته مهم:** در پروکاریوت‌ها همه این رناها توسط یک نوع رنابسپاراز ساخته می‌شوند. در یوکاریوت‌ها rRNA توسط رنابسپاراز ۱، mRNA توسط رنابسپاراز ۲ و tRNA توسط رنابسپاراز ۳ ساخته می‌شوند.

**!! حواسم کن باشه**

در یوکاریوت‌ها محصول فعالیت آنزیم‌های رنابسپاراز رنای بالغ نیست بلکه پیش‌ساز (اولیه یا نابالغ) اون هستش. رنا بعد از ساخته شدن تغییراتی می‌کنه که به اون رنای بالغ میگن. تو بخش‌های بعدی در موردش مفصل توضیح میدم.

● **نکته مهم:** همه رناهایی که اون بالا ذکر شدن، تو یوکاریوت‌ها داخل هسته تولید میشن ولی تو پروکاریوت‌ها درون سیتوپلاسم این اتفاق می‌افته. همچنین همگی این رناها چه در یوکاریوت‌ها و چه در پروکاریوت‌ها، درون سیتوپلاسم فعالیت می‌کنن. پس در یوکاریوت‌ها محل تولید و فعالیت شون یکی نیست اما در پروکاریوت‌ها یکیه.

● **نکته مهم:** از اونجایی که پروتئین‌های درون یاخته‌ها خیلی متنوع‌اند و پروتئین‌ها هم از روی mRNA ساخته میشن، می‌تونیم بگیم که متنوع‌ترین (و نه فراوانترین!) RNA درون یاخته، همین RNAهای پیک هستن.

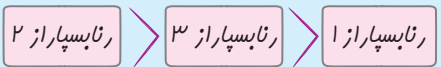
● **نکته مهم:** از اونجایی که تعداد ریبوزوم‌ها در یاخته‌ها خیلی زیاده و تو ساختار شون rRNA به کار رفته، می‌تونیم بگیم که فراوان‌ترین (و نه متنوع‌ترین!) RNA درون یاخته، RNA ریبوزومی می‌باشد.

● **نکته مهم:** کتیم که ۶۱ نوع رمز برای آمینواسیدها داریم. بنابراین می‌توان گفت در فرآیند ترجمه حد اکثر ۶۱ نوع RNA ناقل استفاده می‌شود. گروهی از آمینواسیدها توسط بیش از یک رنای ناقل به ریبوزوم محل می‌شوند و گروهی نیز فقط توسط یک نوع رنای ناقل! (صرفن بهوت اطلاع: دخت داشته باشید که در یافته‌های پستانداران بیش از ۵۰ نوع مولکول tRNA یافت می‌شود)

● **نکته مهم:** تنوع آنزیم RNA پلی‌مراز در یوکاریوت‌ها نسبت به پروکاریوت‌ها بیشتر هستش (۳ نوع رنابسپاراز). در مقابل تنوع عمل و محصول آنزیم RNA پلی‌مراز در پروکاریوت‌ها نسبت به یوکاریوت‌ها بیشتره. چرا که همه انواع رناها رو فقط یک نوع آنزیم رنابسپاراز تولید می‌کنه.

**!! حواسم کن باشه**

از بین آنزیم‌های RNA پلی‌مراز در یوکاریوت‌ها، آنزیم نوع ۱ کمترین تنوع محصول رو داره و آنزیم نوع ۲ بیشترین تنوع محصول رو! یعنی مقایسه‌شون اینجوری میشه:







**نکته مهم** یاخته‌هایی که فعالیت پروتئین‌سازی ندارند، نیازی به رنابسپاراز ندارند. کویچه‌های قرمز بالغ در انسان و بسیاری از پستانداران دیگر همچنین یاخته‌های آوند آبکش در گیاهان به دلیل نداشتن هسته، کلن DNA ندارند و عمل رونویسی در اون‌ها تعطیل هستند و رفته‌رفته شمال جوج بزنه! پس این یاخته‌ها نیازی به رنابسپاراز ندارند.

**نکته مهم** با توجه به اینکه درون یک یاخته مدام پروتئین‌های مختلف ساخته می‌شود، می‌توانیم بگوییم که مدام mRNA ساخته می‌شود. بنابراین پر مشغله‌ترین رنابسپاراز، رنابسپاراز ۲ هستند.

**نکته مهم** از بین رناهایی که اسم برده شد، فقط رنای یک توسط ریبوزوم ترجمه می‌شود و بقیه رنایها ترجمه نمی‌شوند هر چند در فرآیند ترجمه نقش ایفا می‌کنند.

**نکته مهم** بیشتر آنزیم‌ها از جنس پروتئین‌اند. با اینحال گروهی از آنزیم‌ها جنسی غیر از پروتئین دارند. مثلن rRNA نوعی آنزیم غیر پروتئینی می‌باشد و پیوند بین واحدهای سازنده آن فسفودی استرات است. پس این جمله که بگوییم همه آنزیم‌ها محصول غیر مستقیم فرآیند رونویسی می‌باشند کاملن غلط هستند! بلکه ما آنزیم‌هایی داریم که محصول مستقیم فرآیند رونویسی می‌باشند که همون rRNA می‌باشد.

**نکته مهم** بچه‌ها پروتئین‌ها هکلی در سیتوپلاسم ساخته می‌شوند. بیشتر آنزیم‌ها پروتئینی هستند و در سیتوپلاسم تولید می‌شوند و بعد از اینکه تولید شدن، به سرپاشون به بیرون از یاخته ترشح می‌شوند، به سرپاشون داخل سیتوپلاسم باقی می‌مانند و در یوکاریوت‌ها به سر می‌روند هم وارد هسته می‌شوند. آنزیم rRNA در یوکاریوت‌ها (و نه پروکاریوت‌ها) برخلاف سایر آنزیم‌ها، درون هسته ساخته می‌شود و توسط سیتوپلاسم فعالیت می‌کند. پس این جمله که بگوییم در یوکاریوت‌ها همه آنزیم‌ها در سیتوپلاسم یاخته‌ها ساخته می‌شوند کاملن غلط! اما در مورد یاخته‌های پروکاریوتی کاملن صحیح هستند.

**نکته مهم** پیش ماده رنابسپارازها دئوکسی ریبونوکلیک اسید می‌باشد و محصول فعالیت شون ریبونوکلیک اسید هستند. پیش ساز رنای ریبوزومی، ریبونوکلیک اسید بوده و پیش ماده‌ش هم آمینواسید هستند. محصول فعالیتش هم پلی پپتید.

**نکته مهم** هیچ ژنی وجود ندارد که توسط چند نوع آنزیم رنابسپاراز رونویسی بشه! چه در یوکاریوت‌ها چه در پروکاریوت‌ها. هر ژن صرفن توسط یک نوع رنابسپاراز رونویسی می‌شود.

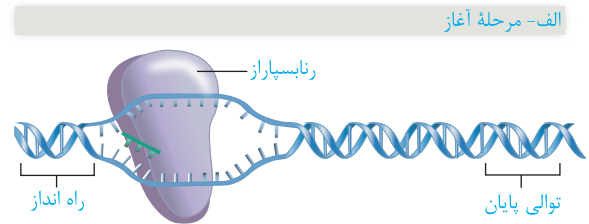
**نکته مهم** به رنابسپاراز می‌تونه چند نوع ژن رونویسی کنه. مثلن رنابسپاراز ۲ انواع ژن‌ها رو که مربوط به پروتئین‌های مختلف هستند رو رونویسی می‌کنه. رنابسپاراز ۱ انواع ژن‌ها رو که مربوط به انواع رنایهای ریبوزومی هستند رو رونویسی می‌کنه. رنابسپاراز ۳ هم انواع ژن‌های رمزکننده رنای ناقل رو رونویسی می‌کنه.

**نکته مهم** دقت داشته باشید که مواد قندی و لیپیدی فاقد ژن رمزکننده هستند! یعنی ما چیزهایی که اسم نقشه ساخت مستقیم برای تولید قند و لیپید نداریم اما همین قند‌ها و لیپید‌ها بالاخره توسط آنزیم‌ها تولید می‌شوند و آنزیم‌ها هم که می‌تونید از روی ژن‌ها ساخته می‌شوند! پس می‌تونیم بگوییم که ژن‌ها در تولید مواد قندی و لیپیدی به صورت غیر مستقیم دخیل هستند.

## رونویسی و مراحل آن (در شماره ۳)

تو تعریف رونویسی گفتیم که رونویسی یعنی ساخته شدن مولکول RNA از روی یکی از رشته‌های بخشی از DNA! که این عمل توسط مجموعه‌ای از آنزیم‌ها با نام کلی RNA پلی‌مراز (رنابسپاراز) انجام می‌شود. بچه‌ها رونویسی اولین قدم برای تولید پروتئین هستند. یعنی اول باید رونویسی انجام بشه و بعد از روی محصول این فرآیند، عمل پروتئین‌سازی صورت بگیره. به رشته‌ای از ژن (در مولکول DNA) که از روی اون عمل رونویسی انجام می‌شود می‌گن رشته الگو و به رشته مقابلش هم می‌گن رشته رمزگذار. رفا عمل رونویسی مثل خیلی از فرآیندهای داخل یاخته یک فرآیند پیوسته هستند (مثل تقسیم میتوز، همانندسازی و غیره) اما برای سادگی موضوع و بررسی راحت‌تر، اون رو به سه مرحله تقسیم می‌کنند که عبارتند از:

- الف) مرحله آغاز
  - ب) مرحله طولیل شدن
  - ج) مرحله پایان
- در ادامه تک تک این مراحل رو با هم بررسی می‌کنیم تا ببینیم داستان چیه.



**مرحله آغاز**

تو فصل قبل گفتیم که مولکول‌های DNA درون هسته یاخته‌های یوکاریوتی در حالت عادی، به صورت کروماتین هستند. یعنی چی کروماتین؟ به رشته‌های درهم تنیده و باریک درون هسته می‌گن کروماتین. در واقع کروماتین‌ها مولکول‌های DNA پیچ‌خورده به دور مولکول‌های هیستون می‌باشند. همونطور که تو فصل قبل دیدید، قبل از اینکه عمل همانندسازی شروع بشه، این پیچ و تاب‌های DNA باز می‌شود و هیستون‌ها و دیگر پروتئین‌ها هم ازش جدا می‌شوند. این کار رو به سری پروتئین‌های خاص انجام میدادن. تو بحث رونویسی هم همین داستان رو داریم، یعنی در ابتدا باید این پیچ و تاب‌ها باز و هیستون‌ها از DNA جدا بشن تا ژنی که قراره از روش عمل رونویسی صورت بگیره، نمایان بشه. بعد از همه این اتفاقات آنزیم رنابسپاراز وارد معرکه می‌شود تا استارت بزنه کار

رو. ژن‌ها به بخشی دارن به اسم راه‌انداز! که در واقع این ناحیه از DNA، یک توالی نوکلئوتیدی ویژه‌ای هستش و معمولن در مجاورت (و نزدیکی) ژن واقع شده است (صرفن بهمت اطلاع: پرا میگم معمولن و نمیگم همیشه؟ پون بپه‌ها تو یه سری از ژن‌ها راه‌انداز درون ژن قرار داره و در واقع بخشی از ژن مسوب میشه اما در بیشتر ژن‌ها اینپوری نیست و قارج از ژن واقع شده). راه‌انداز در واقع یک بخش تنظیمی هستش. اینکه تنظیمی یعنی چی؟ بعدها متوجه میشی. در یوکاریوت‌ها هر ژن موجود در هسته، راه‌انداز مخصوص به خودش رو داره و رنابسپاراز می‌تونه این توالی رو از سایر توالی‌های نوکلئوتیدی موجود در DNA تشخیص بده. خب به چه درد می‌خوره و چرا بهش میگن راه‌انداز؟ رفقا تو مرحله آغاز (که دوستان فرنگی ما بهش میگن Initiation) برای اینکه RNA پلی‌مراز ما گیج نزنه و به بیراهه نره! با شناسایی توالی راه‌انداز (اونور آبی Promoter صدش می‌زنن) به اون متصل میشه. راه‌انداز باعث میشه تا RNA پلی‌مراز رونویسی رو از محل درستی شروع کنه و مثلن این کار رو از وسط ژن شروع نکنه. در واقع توالی راه‌انداز مثل یک باند فرود، برای فرود صحیح و درست هواپیما هستش، هواپیما کیه؟ آنزیم RNA پلی‌مراز میشه همون هواپیمای مثال ما. راه‌انداز باعث میشه رنابسپاراز اولین نوکلئوتید مناسب رو به طور دقیق پیدا کنه و رونویسی رو استارت بزنه، رو این حساب بهش میگم راه‌انداز. آنزیم RNA پلی‌مراز برای اینکه بتونه از روی مولکول DNA، مولکول RNA رو بسازه، باید اول از همه دو رشته DNA رو باز کنه و این کار رو هم انجام میده. با این کار آنزیم RNA پلی‌مراز، پیوندهای هیدروژنی بین دو رشته مولکول DNA شکسته میشن! یعنی پیوندهای هیدروژنی بین بازهای آلی نیتروژن‌داری که مقابل هم دیگه قرار گرفتن! و در نتیجه بخش کوچکی از دو رشته DNA باز میشه. با باز شدن دو رشته DNA حالتی شبیه به حباب ایجاد میشه که به اون حباب رونویسی گفته میشه. دقت داشته باشید که رنابسپاراز دو رشته DNA رو مثل زیپ پهو باز نمی‌کنه! بلکه دو رشته DNA رو تو همون منطقه کوچیک که خودش روی DNA قرار گرفته، باز می‌کنه. آنزیم رنابسپاراز تو این مرحله شروع می‌کنه به رونویسی کردن. به این صورت که میاد از روی یکی از رشته‌های ژن (نه هر دو) که بهش رشته الگو گفته میشه، نوکلئوتیدها رو می‌خونه و در مقابل اون نوکلئوتیدی که خوند، یک ریبونوکلئوتید مکمل قرار میده! یعنی وقتی یک دئو کسی ریبونوکلئوتید (نوکلئوتید DNA) رو خوند و شد مثلن دئو کسی ریبونوکلئوتید گوانین دار، در مقابل اون ریبونوکلئوتید سیتوزین دار قرار میده. بین این دوتا نوکلئوتید (بین ریبونوکلئوتید با دئو کسی ریبونوکلئوتید رشته الگو DNA) پیوندهای هیدروژنی به صورت خود به خودی و بدون دخالت آنزیمی تشکیل میشه. آنزیم RNA پلی‌مراز همین طوری در طول رشته الگو ویراز میده و دونه دونه نوکلئوتیدهای اون رو می‌خونه و مقابلشون ریبونوکلئوتیدهای مکمل قرار میده. همزمان با این کار، ریبونوکلئوتیدهایی رو که جلوی رشته الگو ردیف کرده بود، از طریق ایجاد پیوند فسفودی‌استر به هم دیگه متصل می‌کنه.

**یادآوری:** از فصل قبل خاطرتون هست که نوکلئوتیدهای گوانین دار و نوکلئوتیدهای سیتوزین دار مکمل هم هستند و بیشترین تعداد پیوندهای هیدروژنی بین شون تولید میشه. نوکلئوتیدهای T دار و A دار هم مکمل هم دیگه هستن و بین شون کمترین تعداد پیوند هیدروژنی تشکیل میشه. دقت داشته باشید که تو ساختار DNA، در مقابل نوکلئوتید حاوی A نوکلئوتید حاوی T قرار می‌گیره اما تو ساختار RNA ما نوکلئوتید تیمین دار نداریم! پس وقتی RNA پلی‌مراز ما در طول رشته الگو به نوکلئوتید A دار رسید به جای T، میاد و نوکلئوتید دارای باز آلی یوراسیل رو میذاره تو رشته RNA در حال ساخت! **نکته مهم:** در پروکاریوت‌ها رنابسپاراز به تجمعی به راه‌انداز متصل میشه اما تو یوکاریوت‌ها RNA پلی‌مراز به تجمعی نمی‌تونه به راه‌انداز متصل بشه بلکه در ابتدا عواملی به اسم عوامل رونویسی به راه‌انداز متصل میشن و به جورایی حکم راهنما رو برای رنابسپاراز دارن و بعد از این اتفاق RNA پلی‌مراز با اتصال به این عوامل رونویسی راه‌انداز رو تشخیص میده.

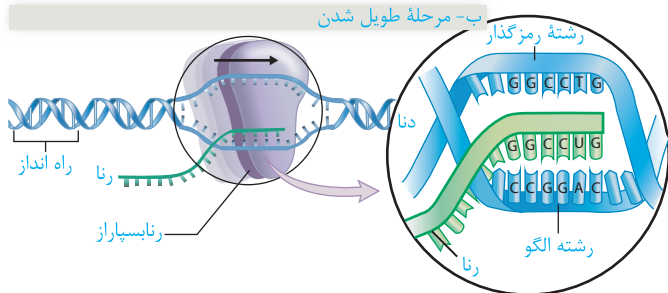
**نکته مهم:** همونطور که تو شکل هم مشخصه، در مرحله آغاز یک مولکول RNA کوچک تشکیل می‌شود که تعداد نوکلئوتیدهای کمی داره (زنجیره کوچکی از RNA ساخته میشه).

**نکته مهم:** همونطور که تو شکل کتاب مشخصه، توالی راه‌انداز رونویسی نمیشه. پس دو رشته توالی راه‌انداز هم باز نمیشن و پیوند هیدروژنی بین شون شکسته نمی‌شه.

**نکته مهم:** دقت داشته باشید که منطقه جلوی رنابسپاراز و منطقه عقبش هر دو دارای پیچ بوده و دو رشته‌ش به هم وصل هستند (یعنی از هم دور نشدن).

**نکته مهم:** تو بحث رونویسی هم مثل همانند ساز، وقتی نوکلئوتیدها می‌خوان تو ساختار رشته پلی‌نوکلئوتیدی قرار بگیرن دو تا از سه فسفات خودشون رو از دست میدن و به صورت تک فسفات در ساختار RNA قرار می‌گیرن.

### مرحله طویل شدن



تو این مرحله یعنی مرحله طویل شدن (که رفقای فرنگی ما بهش میگن Elongation)، رنابسپاراز ساخت مولکول رنا رو ادامه میده. یعنی رنابسپاراز همینجوری میره جلو و روی رشته الگوی ژن حرکت می‌کنه، دو رشته دنا رو از هم باز می‌کنه (شکسته شدن پیوندهای هیدروژنی بین جفت‌بازهای آلی)، دونه دونه نوکلئوتیدهای رشته الگو رو می‌خونه و جلوی هر دئو کسی ریبونوکلئوتید، ریبونوکلئوتید مکمل خودش رو قرار میده و همچنین بین نوکلئوتیدهای مجاور پیوند فسفودی‌استر برقرار می‌کنه، در نتیجه به مرور به طول رنای در حال ساخت اضافه میشه! به خاطر همین به این مرحله میگن مرحله طویل شدن. بچه‌ها همزمان با اینکه رنابسپاراز جلو میره، پیوندهای هیدروژنی

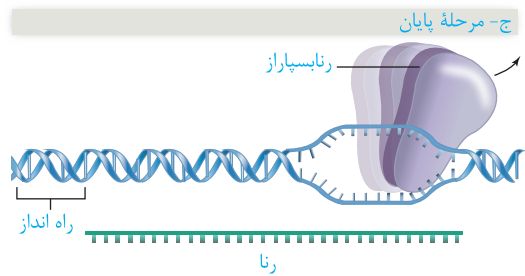
بین رنای در حال ساخت و رشته الگو در عقب آنزیم (که عمل رونویسی از اون قسمت انجام شده و تموم شده رفته بی کارش) به خاطر وزن مولکول رنا و فشاری که وارد می‌کنه، شکسته میشن و اینجوری بخش‌های قبلی رنای در حال ساخت از رشته الگو جدا میشه. حباب همانندسازی همزمان با پیش روی رنابسپاراز در طول ژن، به جلو پیشروی می‌کنه.

**نکته مهم** همونطور که می‌بینید تو این شکل کتاب درسی جهت رونویسی (جهت حرکت حباب رونویسی) از سمت چپ به طرف راست هستش. همیشه نگاه کنید ببینید دم رنای در حال ساخت کدوم طرفه؟ اون سمت همیشه سمت شروع و سمت مقابلش همیشه مقصد و جهت حرکت.

**نکته مهم** تو این مرحله صرفن پیوند فسفودی استر تولید میشه اما پیوند هیدروژنی هم تولید و هم شکسته میشه. چجوریه؟ به این صورت که:

- شکسته شدن پیوند هیدروژنی: بین ریبونوکلوئوتیدها و دئوکسی ریبونوکلوئوتیدها در پشت سر آنزیم به صورت خود به خودی
- شکسته شدن پیوند هیدروژنی: بین دئوکسی ریبونوکلوئوتیدهای دو رشته الگو و رمزگذار ژن در جلوی آنزیم توسط رنابسپاراز
- ایجاد پیوند هیدروژنی: بین ریبونوکلوئوتیدها و دئوکسی ریبونوکلوئوتیدهای رشته الگو درست در محل حضور آنزیم

## مرحله پایان



تو ساختار مولکول DNA به سری توالی‌های نوکلئوتیدی ویژه‌ای وجود دارن که بهشون میگن توالی‌های پایان! در واقع در DNA خطی یاخته‌های یوکاریوتی برای هر ژن توالی پایان داریم که این توالی بخشی از ژن محسوب میشه و درست در انتهای اون قرار گرفته! همونطور که گفتیم این قسمت از ژن یک توالی خاصی داره و وقتی RNA پلی‌مراز به اونجا رسید متوجه میشه که ژن به پایان رسیده و باید دست از رونویسی برداره! به جورایی خط پایان هستش. رنابسپاراز به عنوان حسن ختام عمل رونویسی، توالی پایان

ژن رو هم رونویسی می‌کنه و در نهایت از DNA و همینطور مولکول RNA تازه ساخت جدا میشه. رنای تازه ساخت هم از رشته الگوی دنا جدا میشه! یعنی پیوندهای هیدروژنی بین رشته الگوی DNA و RNA تازه ساخت، شکسته می‌شوند و هر کی میره سی خودش! اینجاست که میگن کیش کیش هر که رود خانه خویش! در نهایت دو رشته دنا مجددن به هم متصل میشن و بین جفت بازهای رشته الگو و رمزگذار پیوندهای هیدروژنی تشکیل میشه. **نکته مهم** بچه‌ها ترتیب این اتفاقات واسه طراح لنگور خیلی مهمه. توجه داشته باشید که اول رنابسپاراز جدا میشه، بعد رنا از رشته الگو و در آخر هم دو رشته دنا به هم وصل میشن.

**نکته مهم** راه اندازه و جایگاه پایان رونویسی هر دو توالی‌های نوکلئوتیدی (یعنی چندین نوکلئوتید) از جنس DNA هستن و از دو رشته تشکیل شدن و نه یک رشته. پس در اون‌ها قند ۵' کربنه ریبوز و باز آلای یوراسیل رو نمی‌تونیم پیدا کنیم چرا که این‌ها مخصوص رناها بودند. در این دو توالی پیوند هیدروژنی (بین جفت بازهاشون) و فسفودی استر (بین نوکلئوتیدهاشون) یافت می‌شود.

**نکته مهم** در هر سه مرحله رونویسی، عمل رونویسی انجام میشه. یعنی در مقابل دئوکسی ریبونوکلوئوتید رشته الگو، ریبونوکلوئوتید مکمل قرار داده میشه. همونطور که دیدید تو مرحله پایان، توالی پایان رونویسی شد و بعد رونویسی به پایان رسید.

**نکته مهم** هر ژن موجود در DNA خطی یوکاریوت‌ها (موجود در هسته) واسه خودش یک عدد راه اندازه و یک عدد جایگاه پایان رونویسی داره.

**نکته مهم** بچه‌ها واسه طراح لنگور ترتیب شکسته شدن و تشکیل شدن پیوندها در فرآیند رونویسی خیلی اهمیت داره. ترتیب‌ها به این صورت هستش:

- شکسته شدن پیوندهای هیدروژنی بین دو رشته DNA (رمزگذار و الگو)
- تشکیل پیوند هیدروژنی بین اولین ریبونوکلوئوتید رنای تازه ساخت با رشته الگو
- تشکیل پیوند فسفودی استر بین اولین و دومین ریبونوکلوئوتیدهای RNA تازه ساخت
- تشکیل پیوندهای هیدروژنی بین دو رشته دنا در پشت سر رنابسپاراز
- شکسته شدن پیوند هیدروژنی بین RNA تازه ساخت با رشته الگو

## حواستون باشه

طبق نکته بالا در رونویسی فقط تشکیل شدن فسفودی استر دیده می‌شود اما پیوندهای هیدروژنی هم شکسته می‌شوند و هم تولید می‌شوند. همچنین طبق نکته بالا می‌فهمیم که در طی عمل رونویسی پیوندهای هیدروژنی ۲ بار شکسته شده و ۲ بار هم تولید می‌شوند.

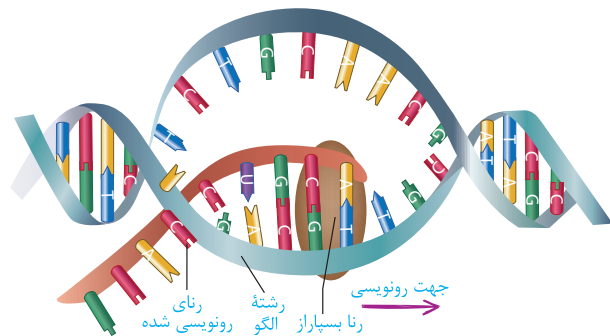
**تکنه مهم** در رونویسی یک رشته پلی نوکلئوتیدی از روی بخشی از دنا که دارای دو رشته پلی نوکلئوتیدی هستند، ساخته میشه. اگر تعداد نوکلئوتیدهای ژن که رونویسی میشه رو بدن، کافیه تعداد نوکلئوتیدهای ژن (هر دو رشته اش) رو تقسیم بر عدد ۲ کنید تا تعداد نوکلئوتیدهای رشته زنا ساخته شده بدست بیاد. مثلاً اگر ژن ۱۰۰ نوکلئوتید داشته باشه، تعداد نوکلئوتیدهای رشته الگو میشه ۵۰ تا! پس زنا که از روی این ژن تولید میشه هم ۵۰ نوکلئوتید داره. با تولید این زنا چند تا فسفات آزا میشه؟ ۱۰۰ تا! (فقا این هجین محاسباتی نیست! بیشتر مفهوم هستند تا محاسباتی.)

**تذکر:** البته توجه داشته باشید با توجه به اینکه راه انداز رونویسی نمیشه (معمولاً جزئی از ژن نیست) تعداد نوکلئوتیدهای توالی راه انداز نباید جزء نوکلئوتیدهای ژن حساب بشه. پس آگه طرف اومد تعداد نوکلئوتیدهای راه انداز رو هم بهت داد حواست باشه.

**فب!** رسیدیم به جای فیلی باحال قفیه! جدول مقایسه ای فیلی ففن زیر رو بفونید و برید هالشو بپیرید.

مورد مقایسه	مرهله آغاز	مرهله طویل شدن	مرهله پایان
محل انجام در	یوکاریوت ها: هم هسته و هم سیتوپلاسم (کلروپلاست و میتوکندری) پروکاریوت ها: سیتوپلاسم	یوکاریوت ها: هم هسته و هم سیتوپلاسم (کلروپلاست و میتوکندری) پروکاریوت ها: سیتوپلاسم	یوکاریوت ها: هم هسته و هم سیتوپلاسم (کلروپلاست و میتوکندری) پروکاریوت ها: سیتوپلاسم
اتفاقی که می افتد؟	شناسایی راه انداز، باز کردن دو رشته DNA، شروع رونویسی و حرکت رو به جلو	ادامه رونویسی و پیشروی در طول ژن	شناسایی توالی پایان رونویسی توسط رنا بسپاراز و توقف عمل رونویسی
هاب رونویسی در آن	دیره می شود.	دیره می شود.	دیره می شود.
شکسته شدن پیوند هیدروژنی	در محل قرار گیری آنزیم دو رشته دنا از هم باز می شوند.	در محل آنزیم، بین دو رشته مولکول DNA در پشت آنزیم، بین رشته الگو با رشته مولکول RNA در حال سافت	بین رشته الگو با رشته مولکول RNA سافت شده
تشکیل پیوند هیدروژنی	دیره می شود. پیوند هیدروژنی بین نوکلئوتیدهای رنا در حال سافت و رشته الگو برقرار می شود.	دیره می شود. در محل قرار گیری آنزیم بین نوکلئوتیدهای پیرید RNA در حال سافت با رشته الگو در پشت آنزیم بین دو رشته مولکول DNA	دیره می شود. بین دو رشته دنا
شکسته شدن پیوند فسفودی استر	فیر	فیر	فیر
تشکیل پیوند فسفودی استر	دیره می شود. بین ریبونوکلئوتیدهای مولکول RNA در حال سافت	دیره می شود. بین ریبونوکلئوتیدهای مولکول RNA در حال سافت	دیره می شود. بین ریبونوکلئوتیدهای مولکول RNA در حال سافت

## رشته الگو و رشته رمزگذار



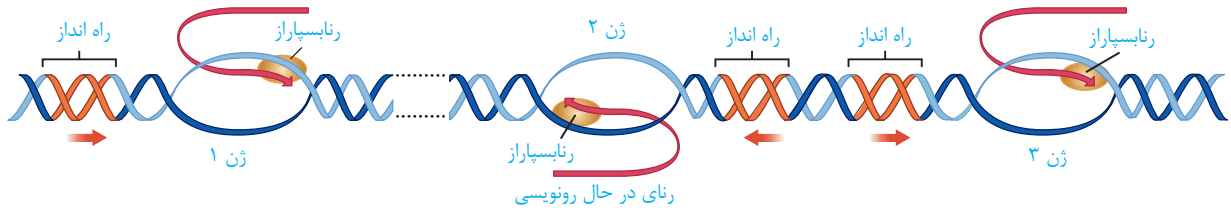
همونطور که دیدید! بارها تاکید کردم که آقا در رونویسی فقط از یک رشته DNA استفاده می شود. به اون رشته ای از دنا که از روش رونویسی میشه. میگن **رشته الگو** یا به قول اونوریا Template. به رشته مقابل رشته الگو در دنا میگن **رشته رمزگذار**. حالا چرا بهش میگن رمزگذار؟ چون توالی نوکلئوتیدی این رشته شبیه رشته زنا هست که ساخته میشه و تنها تفاوتشون در نوع قند و بازهای آلی آدنین و یوراسیل هستند. قند به کار رفته در رشته رمزگذار از نوع **دئوکسی ریبوزه** اما در RNA از نوع **ریبوزه**.

همچنین بازهای آلی تیمین رو در RNA نداریم و به جای اون باز آلی **یوراسیل** به کار میره. باز آلی یوراسیل رو تو رشته رمزگذار نداریم. بنابراین توالی نوکلئوتیدی RNA تولید شده مشابه توالی نوکلئوتیدی رشته رمزگذاره با این تفاوت که تو RNA تولید شده **قندهای ۵ کربنه همگی ریبوز** هستند و **باز آلی تیمین نداریم** بلکه جاش یوراسیل داریم. بچه ها حواستون باشه که همواره و فقط یکی از رشته های یک ژن برای رونویسی مورد استفاده قرار می گیرد یا به عبارت دیگر هیچ ژنی را نمی توان یافت که هر دو تا رشته اش به عنوان رشته الگو مورد استفاده قرار بگیره. به طور قطع اگر یکی از رشته ها به عنوان الگو قرار بگیره و دفعه بعد رشته مقابلش الگو بشه، رناهای ساخته شده از این ژن، **بسیار متفاوت از هم** خواهند بود چرا که توالی های نوکلئوتیدی شون **متفاوت از هم** هستند. فرض کنید برای ژن رمزکننده یک پلی پپتید این اتفاق رخ بده. در این صورت دو نوع **mRNA مختلف و متفاوت از هم** خواهیم داشت و در نتیجه دو نوع **پلی پپتید مختلف** ساخته خواهد شد که هر کدوم شکل، اندازه و کار متفاوتی خواهند داشت. بنابراین در یک ژن، رشته الگو همیشه و همواره ثابت است! یعنی اینجوری نیست یک دفعه این رشته بشه رشته الگو و دفعه بعد اون یکی رشته بشه رشته الگو! همیشه یکی از رشته ها و تا آخر عمر هم همون رشته به عنوان رشته الگو هستند. البته این موارد در صورتی هست که همه چی نرمال باشه! ممکنه اتفاقاتی بیافته که باعث بشه رشته الگو بشه اون یکی رشته! یعنی جای رمزگذار و الگو عوض بشه. پس در حالت عادی و سالم بودن باخته و اوکی بودن شرایط همواره یکی از رشته ها به عنوان رشته الگو هستند.



**سوال:** فرض کنید در طول یک مولکول DNA مثلن ۲۰ تا ژن داریم که هر کدام ژن رمز کننده پلی پپتید خاصی هستند. درست‌ه؟ خب وقتی RNA پلی مرز می‌خواد از روی این ژن‌ها رونویسی انجام بده، آیا رشته الگوی همه ژن‌ها مثلن رشته بالایی هستش؟ منظور از رشته بالایی، براساس شکل کتاب درسی هستش.

**جواب:** نه بچه‌ها همچین چیزی نیست. تو یه ژن ممکنه رشته الگو رشته بالایی باشه و تو یه ژن دیگه رشته پایینی به عنوان رشته الگو باشه. منتهی تو یه ژن همواره رشته الگو ثابت و برای هر ژن همیشه یکی از دو تا رشته رونویسی میشه. شکلی که می‌بینید داره تصویر کتاب درسی رو نشون میده. توی این شکل ۳ تا ژن مختلف رو نشون داده و با شماره‌های ۱ تا ۳ نام گذاری کرده. همونطور که می‌بینید رشته الگو در ژن‌های ۱ و ۳ در یک رشته دنا قرار دارند اما رشته الگو در ژن ۲ در رشته دیگر دنا واقع شده است.



**نکته مهم:** از این شکل کتاب درسی می‌توان اینطور استنباط کرد که رونویسی همه ژن‌ها، در یک جهت مشابه نیست. بلکه ممکنه است متفاوت باشه. مثلن در ژن ۱ جهت رونویسی از چپ به راست است اما در ژن ۲ جهت رونویسی برعکس بوده و از راست به چپ می‌باشد. این موضوع بر مگرده به رشته الگو. در واقع دو ژن که رشته الگو شون در یک رشته دنا قرار نداشته باشه به طور قطع جهت رونویسی شون مخالف هم خواهد بود.

**نکته مهم:** گفتیم که ژن‌ها پشت سر هم در دنا واقع شده‌اند. هر ژن یک ابتدا و یک انتها داره. ممکنه ابتدای یک ژن در مجاورت و نزدیکی یک ژن دیگه باشه. همچنین ممکنه ابتدای دو ژن در کنار هم باشه. همچنین ممکنه انتهای دو ژن در مجاورت هم باشند! حال کروی نکه رو؟

### !! حواسمون باشه

همونطور که توی شکل می‌بینید اینجوری نیست که وقتی یک ژن تموم شد، توالی نوکلئوتیدی ژن بعدی بشه بلکه ژن بعدی یه خرده اونورتر قرار داره! یعنی بین دو ژن یک توالی نوکلئوتیدی کوتاه وجود داره که جزء هیچ کدام از ژن‌ها نیست. پس هر توالی نوکلئوتیدی در DNA الزاماً جزئی از یک ژن نیست. همونطور که راه‌اندازها هم جزئی از ژن‌ها نیستند.

**نکته مهم:** تو یوکاریوت‌ها رونویسی از روی دنا ی خطی، در هسته و رونویسی از روی دنا ی حلقوی، در کلروپلاست و میتوکندری انجام میشه. تو پروکاریوت‌ها رونویسی در سیتوپلاسم انجام می‌شود.

### نکات شکل (طرح ساده‌ای از فرآیند رونویسی)

این شکلی که می‌بینید داره بخشی از یک ژن در حال رونویسی شدن رو نشون میده. تو این شکل آنزیم رنا بسپاراز، جهت رونویسی، رشته رنا در حال ساخت، رشته الگو و رشته رمز گذار رو می‌بینیم. آنزیم رنا بسپاراز در حال رونویسی کردن از روی رشته الگوی ژن هستش و جهت حرکت آنزیم تو این شکل از چپ به راسته. رفا بگید ببینم این شکل مربوط به کدام مرحله از رونویسی هستش؟ مربوط به مرحله طویل شدن رونویسی است. خب همونطور که از فصل قبل تو خاطر مبارک تون! هست در ساختار یک مولکول DNA حداکثر ۴ نوع نوکلئوتید از نظر نوع باز آلی داریم. این نوکلئوتیدها عبارتند از: دئوکسی ریبونوکلئوتید آدنین دار، دئوکسی ریبونوکلئوتید گوانین دار، دئوکسی ریبونوکلئوتید تیمین دار و دئوکسی ریبونوکلئوتید سیتوزین دار. قند همه این نوکلئوتیدها هم از نوع دئوکسی ریبوزه. همچنین تو فصل قبل خوندم که در ساختار یک مولکول RNA حداکثر ۴ نوع نوکلئوتید از نظر نوع باز آلی داریم. این نوکلئوتیدها عبارتند از: ریبونوکلئوتید آدنین دار، ریبونوکلئوتید گوانین دار، ریبونوکلئوتید تیمین دار و ریبونوکلئوتید سیتوزین دار. قند همه این نوکلئوتیدها هم از نوع ریبوزه. حالا بچه‌ها به حباب رونویسی این شکل نگاه کنید و بعد تک تک سوال‌های پایین رو پاسخ بدین.

**سوال:** چند نوع نوکلئوتید از نظر باز آلی و نوع قند در حباب رونویسی این شکل وجود دارد؟

**جواب:** طبق شکل (۱) کتاب درسی ۴ نوع نوکلئوتید از نظر نوع باز آلی در ساختار DNA موجود در حباب رونویسی داریم که قند همگی از نوع دئوکسی ریبوز هستش و ۴ نوع (از نظر باز آلی) هم نوکلئوتید در مولکول RNA در حال ساخت داریم که قند همگی از نوع ریبوزه. پس جمعاً ۸ نوع نوکلئوتید در حباب رونویسی این شکل بکار رفته است. رفا دقت داشته باشید که این حالت حداکثری هستش! ممکنه همه بازهای آلی رشته الگو از یک نوع باشن (مثلن همگی سیتوزین دار باشن) که در این صورت فقط ۳ نوع نوکلئوتید خواهیم داشت. پس در یک حباب رونویسی حداکثر ۸ نوع و حداقل ۳ نوع نوکلئوتید مشاهده می‌شود.

**سوال:** چند نوع نوکلئوتید از نظر نوع باز آلی در شکل مشاهده می‌شود؟



**جواب:** ۵ نوع! که عبارتند از: نوکلئوتیدهای آدنین‌دار، گوانین‌دار، سیتوزین‌دار، تیمین‌دار و یوراسیل‌دار. بازم حواستون باشه که این حالت حداکثری هستش. ممکنه همه نوکلئوتیدهای رشته‌الگوی درون حباب رونویسی، بازهای آلی مشابه داشته باشن (یعنی همگی از یک نوع باشن، مثلن همگی از نوع سیتوزین‌دار باشن) که در این صورت ۲ نوع نوکلئوتید فارغ از نوع قند خواهیم داشت. البته دقت داشته باشید اگر همه نوکلئوتیدهای رشته‌الگوی درون حباب رونویسی از نوع آدنین‌دار باشن، در این صورت نوکلئوتیدهای رشته‌الگوی رمزگذار تیمین‌دار خواهند بود و نوکلئوتیدهای رنای در حال ساخت هم یوراسیل‌دار خواهند بود! در این حالت ۳ نوع باز آلی در حباب رونویسی خواهیم داشت. حال کردی؟

**سوال:** چند نوع نوکلئوتید از نظر نوع قند به کار رفته در حباب رونویسی می‌توان یافت؟



**جواب:** در اینجا دیگه حداقل و حداکثر نداریم! دو نوع نوکلئوتید خواهیم داشت: دئوکسی ریبونوکلئوتید (در DNA) و ریبونوکلئوتید (در RNA)



**سوال:** در این شکل حداکثر چند نوع مونومر می‌توان یافت؟



**جواب:** خب بچه‌ها گفتیم که ۸ نوع نوکلئوتید در این شکل وجود دارد. اما اینجا از ما انواع مونومرها رو خواسته! خب اگر شکل را نگاه کنید در این شکل فقط رنا و دنا نداریم بلکه RNA پلی‌مراز هم داریم. این آنزیم از جنس پروتئین (آمینواسید) است. در فصل قبل خواندیم که حداکثر ۲۰ نوع آمینواسید در یاخته‌ها به کار می‌رود. پس می‌توانیم بگوییم در این شکل حداکثر ۲۸ نوع (۲۰ تاش مال آمینواسیدها و ۸ تاش مال نوکلئوتیدها) مونومر می‌توان یافت و حداقل ۹ نوع! حداقل زمانی است که تمامی آمینواسیدهای به کار رفته در ساختار یک پروتئین از یک نوع باشن. غیر ممکنه همگی از یک نوع باشه! ولی خب واسه کنکور مجبوریم :-)

**سوال:** به مرحله طولی شدن شکل (۲) کتاب درسی تون نگاه کنید. اونی که داخل دایره‌س داره حباب رونویسی رو نشون میده. به شکل ۷ کتاب درسی تون هم نگاه کنید. در رابطه با حباب رونویسی این شکل‌ها، همه سوال‌هایی که برای شکل (۱) پرسیدم رو خودتون از خودتون بپرسید و جواب بدید.



در سنامه (۴)

تغییر در رناهای ساخته شده

تو فصل قبل گفتیم که یاخته‌های پروکاریوتی فاقد هسته هستن اما یاخته‌های یوکاریوتی هسته دارن. تو یاخته‌های یوکاریوتی فرآیند رونویسی داخل هسته انجام میشه اما در یاخته‌های پروکاریوتی در سیتوپلاسم این اتفاق می‌افته. در پروکاریوت‌ها RNA بعد از این که تولید شد بلافاصله وارد فرآیند ترجمه و پروتئین‌سازی میشه و تغییراتی در ساختار RNA تولید شده هم ایجاد نمیشه اما در یاخته‌های یوکاریوتی این مدلی نیست. تو یاخته‌های یوکاریوتی وقتی RNA داخل هسته تولید شد، از منافذ هسته عبور می‌کنه و وارد فضای سیتوپلاسم میشه. حدود چند دهه قبل پژوهشگران متوجه شدن که تو یاخته‌های یوکاریوتی (و نه پروکاریوتی)، رناهایی که تو هسته تولید شدن با رناهایی که در سیتوپلاسم هستن، یه سری تفاوت‌ها با هم دارن. بعدها معلوم شد که رناها برای انجام وظایف خودشون دستخوش تغییراتی قرار می‌گیرن که تو این درسنامه در موردش می‌خوام صحبت کنم.



**نکته مهم:** البته دقت داشته باشید که همه RNAها بعد از تولید شدن، دچار تغییر نمیشن. بلکه گروهی از RNAها در یوکاریوت‌ها بدون تغییر وارد سیتوپلاسم میشن. پس اغلب رناها دچار تغییرات میشن.



**نکته مهم:** رفقای نازنین من حواستون باشه که این تغییرات هم می‌تونه حین عمل رونویسی روی RNA در حال ساخت ایجاد بشه و هم می‌تونه بعد از عمل رونویسی این اتفاق رخ بده.

حواستون باشه

توجه داشته باشید که این تغییرات داخل هسته انجام میشه و نه در سیتوپلاسم.

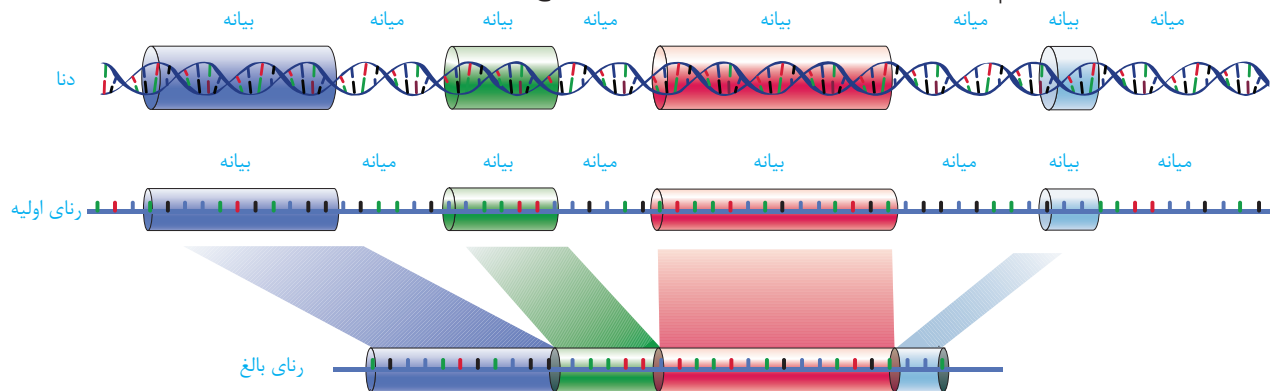
تغییر رنای پیک و پیرایش

وقتی آنزیم رنابسپاراز از روی ژن رمزکننده یک پلی‌پپتید خاص رونویسی می‌کنه، رنای پیک تولید شده ممکنه (نه اینکه حتم!) دستخوش یک سری تغییرات قرار بگیره. این تغییرات حین رونویسی و یا پس از رونویسی روی رنای پیک اعمال میشه. پس طبق متن کتاب درسی ممکنه یه رنای پیک بعد از تولید شدن اصلن تغییراتی روش اعمال نشه! واسه همین بود همین چند دقیقه پیش بهت گفتم که اغلب رناها دچار تغییر میشن و نه همه‌شون! خب داشتیم می‌گفتم، بچه‌ها یکی از تغییراتی که در یوکاریوت‌ها، اونم پس از رونویسی خیلی شایع و متداول هستش، فرآیندی هستش به اسم پیرایش یا به قول رفقای اونور آبی‌مون Splicing. تو این فرآیند بخش‌هایی از مولکول mRNA تولید شده حذف میشه و بقیه بخش‌ها به هم متصل میشن و یک رنای پیک یکپارچه رو می‌سازن. به رنای پیک اولیه که هنوز چیزی ازش حذف نشده میگن رنای نابالغ یا Precursor mRNA. به رنای پیک جدیدی که یه سری مناطق ازش حذف شدن و کوچولو کوچولو تر از رنای قبله، میگن رنای بالغ یا Mature RNA.



**نکته مهم:** جلوتر می‌خونیم که tRNA یا رنای ناقل بعد از رونویسی دچار یه سری تغییراتی میشه و در ساختارهای اون پیوندهای هیدروژنی قابل مشاهده‌س. پس یکی از تغییرات RNAها تشکیل ساختار سه بعدی خاصی هستش و صرفن حذف بخش‌های از رنا یا پیرایش نیست.

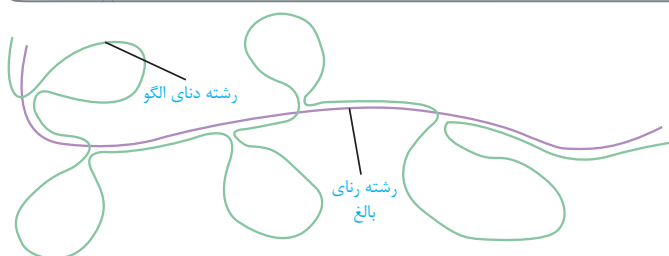
خب دانشمندان از کجا فهمیدن که چه بلایی سر رنای پیک میاد؟ رفقا دانشمندان اومدن یک رنای پیک درون سیتوپلاسم رو با رشته الگوی ژن مربوط به همین رنا در DNA رو کنار هم گذاشتن و با هم مقایسه کردن. دیدن عه! چه باحال! طول این رنا (رنای پیک بالغ) کوتاه تر از طول ژن رمز کننده اون هستش. در صورتی که در ابتدای کار و قبل از تغییر، تعداد نوکلئوتیدهای ژن مورد نظر با تعداد نوکلئوتیدهای رنای پیک تولید شده از اون باید برابر باشه دیگه درسته؟ ولی اینجوری نبود. اومدن کلی بررسی کردن و داستان ماستان ساختن واسه خودشون و نتیجه این شده که آقا بخش هایی از رشته الگوی ژن با رنای رونویسی شده دچار تغییرات (رنای بالغ)، مکمل هم هستند ولی بخش هایی از رشته الگوی ژن، توالی شون مکمل این رنا نیست. الان شکل صفحه بعد رو نگاه کنید، اون رشته بنفش رنگ همون رنای پیک بالغ (دچار تغییرات) هستش و رشته سبزرنگ هم رشته الگوی ژنی هست که این رنا از روش رونویسی شده. اینا رو گذاشتن کنار هم، چون این رنا از روی این رشته رونویسی شده خب مکمل هم هستن دیگه درسته؟ کنار هم که قرار گرفتن اون بخش های مکمل شون با هم پیوند هیدروژنی تشکیل دادن (بین بازهای آلی شون). در واقع بین بخش های مکمل رشته الگوی ژن و رنای رونویسی شده بالغ پیوندهای هیدروژنی تشکیل شد و یک مولکول دو رشته ای ایجاد شد که یک رشته اون از جنس دئوکسی ریبونوکلئوتید و اون یکی رشته ش از جنس ریبونوکلئوتید. گفتیم که رشته الگوی ژن بلندتر از رنای پیک بالغ هستش، یعنی توالی های نوکلئوتیدی در اون داریم که مکمل اون تو رنای پیک بالغ وجود نداره (هر چند قبل از فرآیند پیرایش این بخش ها رو در رنای پیک نابالغ به صورت مکمل داشتیم). بخش های غیرمکمل چون پیوند هیدروژنی تشکیل ندادن، به صورت حلقه هایی بیرون از مولکول دو رشته ای قرار می گیرن. طبق نتایجی که حاصل شد دانشمندان به این نتیجه رسیدن که آقا مکمل این بخش های حلقه ای از مولکول رنای نابالغ حذف شدن. بخاطر همین اسمش رو گذاشتن پیرایش. پس RNA حاصل از رونویسی، در همون ابتدای کار همه مناطق رونویسی شده رشته الگوی ژن رو داره اما دستخوش به سری تغییرات قرار می گیره و وقتی وارد سیتوپلاسم میشه فاقد به سری نواحی و این نواحی از رنا حذف شدن. به این نواحی که در رشته الگوی ژن وجود دارند ولی رونوشت اون ها در رنای پیک سیتوپلاسمی حذف شده، میگن اینترون (Intron) یا میانه. همچنین به سایر بخش های مولکول DNA که رونوشت اون ها حذف نمیشه و در رنای پیک هم دیده میشه، میگن اگزون (Exon) یا بیانیه. به این عمل هم میگن عمل پیرایش. بنابراین RNA رونویسی شده از رشته الگوی ژن، دارای رونوشت اینترون (میانه) و رونوشت اگزون (بیانیه) است و به آن رنای نابالغ یا اولیه می گویند. پس از اینکه رنای اولیه تحت عمل پیرایش قرار گرفت و رونوشت های اینترون آن حذف شد، رونوشت های اگزون این رنا به هم متصل شده و به رنای حاصل شده می گویند رنای بالغ، که صرفن حاوی رونوشت های اگزون است. حله همه چی؟



**نکته مهم** همه این کارها توسط آنزیم هایی انجام میشه و این فرآیند نیازمند مصرف انرژی زیستی هستش. به سرر آنزیم میخوایم که رونوشت های میانه رو از رنای نابالغ حذف کنن یعنی پیوند فسفودی استریشکونن و به سرر آنزیم هم میخوایم که رونوشت های بیانیه رو به هم ریگه متصل کنن یعنی تشکیل پیوند فسفودی استر. **نکته مهم** بچه ها توجه داشته باشید که اینترون و اگزون مخصوص DNA هستش و ما این ها رو در RNA نداریم بلکه رونوشت اون ها رو در RNA داریم. جنس اگزون و اینترون از چیه؟ از دئوکسی ریبونوکلئوتید! پس فاقد یوراسیل و ریبوز هستن. رونوشت شون چی؟ از جنس ریبونوکلئوتید هستن و فاقد دئوکسی ریبوز و تیمین هستن.

## حواستون باشه

اگزون ها یا بیانیه ها توالی هایی از ژن هستند که اطلاعات ذخیره شده درون شون برای تولید پلی پپتید ضروری هستش و اگر نباشن پلی پپتید مورد نظر تولید نمیشه. اینترون ها یا میانه ها هم توالی های معینی از ژن هستند که اطلاعات ذخیره شده در اون ها برای تولید پروتئین نیاز نیست. خب به چه دردی می خورن؟ بچه ها تو بیشتر بدانید کتاب درسی تون در رابطه با این موضوع به سری چیزا گفته حتمن بخونید تا ذهنتون درگیر نشه.



**نکته مهم** ژن ها دو جورن: به سرایشون علاوه بر توالی های اگزونی، دارای توالی های اینترونی هم هستن و به سرایشون کلن فاقد اینترون اند! یعنی فقط از اگزون تشکیل شدن. اونایی که فاقد اینترون می باشند نیازن به عمل پیرایش ندارن! پس بخاطر همین کتاب درسی گفته که در بعضی از (و نه همه!) ژن ها، توالی های معینی از رنای ساخته شده حذف می شوند.



**نکته مهم** بچه‌ها همونطوره که تو شکل ۵ کتاب درسی تون مشخصه در یک ژن دارای اینترون، ممکنه تعداد الژون‌ها یکی بیشتر از تعداد اینترون‌ها باشه! پس در یک ژن الژون‌ها بیشتر از اینترون داشته باشیم، می‌تونیم  $n+1$  داشته باشیم! البته ممکنه تعدادشون هم برابر باشه.

### حواستون باشه!

حتمن خیلی‌ها تون می‌گید که تو شکل ۴ کتاب درسی به یک تعداد اینترون و اگرزون داریم! رفقا توجه داشته باشید که این شکل داره بخشی از یک ژن رو نشون میده و نه کل ژن رو!

**نکته مهم** همونطوره که تو شکل‌های ۶ و ۷ کتاب درسی تون مشخصه، الژون‌ها و اینترون‌ها از نظر اندازه لزومن برابر نیستند. پس اینترون‌ها و الژون‌ها از نظر اندازه و تعداد نوکلئوتید، پیوند هیدروژنی، پیوند فسفوری استرو غیره با هم فرق دارند. در ضمن در ساختار یک ژن حاوی اینترون، الژون‌ها و اینترون‌ها به صورت یکی در میان قرار گرفتن.

**نکته مهم** در فرآیند کوتاه شدن رنای بیک و حذف رونوشت اینترون‌ها (پیرایش)، درازای حذف هر یک عدد رونوشت اینترون، دو عدد پیوند فسفوری استر شکسته شده و به دنبال اون دو عدد مولکول آب مصرف میشه و برای اتصال دو تا رونوشت الژون به هم، یک عدد پیوند فسفوری استر تشکیل و یک عدد مولکول آب آزاد میشه!

**نکته مهم** همه اینترون‌های یک ژن رونویسی می‌شوند اما رونوشت هیچکدام ترجمه نمی‌شود چون در RNA بالغ حضور ندارند. راستی اینترون‌ها حذف نمیشن بلکه رونوشت اینترون‌ها حذف میشه.

**نکته مهم** از اونجایی که تو mRNA همه کدون‌ها و نوکلئوتیدها ترجمه نمیشن (مثل کدون پایان ترجمه همیشه کدون‌های UAA، UAG و UGA کدون‌های پایان هستن!) بلکه بیشترشون ترجمه میشن، می‌تونن گفت که همه الژون‌های یک ژن رونویسی می‌شوند اما بیشتر (نه همه!) رونوشت الژون‌هاش ترجمه خواهند شد!

**نکته مهم** بچه‌ها آخرین چیزن که در رونویسی، رونویسی می‌شود چیه؟ توالی پایان رونویسی! کتیم که همواره ابتدا و انتهای یک رنای بیک بالغ رونوشت الژون است. پس می‌تونیم بگیم توالی پایان رونویسی جزئی از الژون می‌باشد و نه اینترون!

**نکته مهم** تو فصل ۷ کتاب دوازدهم می‌خونید آنزیم که پیوند فسفوری استر بین ریبونوکلئوتیدهای الژون‌ها رو ایجاد می‌کنه، آنزیمی هستش به اسم لیگاز آنزیم لیگاز کارش ایجاد پیوند فسفوری استرو و اتصال قطعات DNA به هم می‌باشد. پس آنزیمی که رونوشت‌های الژون رو به هم می‌چسبونه به چیزن تو مایه‌های لیگازه! (صرفن جبهه اطلاع: واقعن هم همین لیگاز این کار رو انجام میده.)

**نکته مهم** از اونجایی که تو یاخته‌های یوکاریوتی محل بلوغ mRNA نابالغ (Precursor mRNA) داخل هسته هستش و رونوشت اینترون‌ها داخل هسته از mRNA حذف میشن، می‌تونن گفت که در سیتوپلاسم رونوشت اینترون‌ها و خود اینترون‌ها را نمی‌تونیم پیدا کنیم! الژون‌ها خودشون در هسته قرار دارن اما رونوشت اون‌ها رو هم تو هسته می‌تونیم پیدا کنیم و هم تو سیتوپلاسم یاخته!

### در سنامه (۵)

### شدت و میزان رونویسی



بچه‌ها میزان رونویسی از روی ژن‌های مختلف با هم فرق داره! مثلن به سری از ژن‌ها هستن که مدام دارن رونویسی میشن اما به سری از ژن‌ها هم هستن که سالی به بار! اونم چی بشه! از روشن رونویسی میشه. خب چرا به ژن خیلی رونویسی میشه؟ مشخصه که یاخته لنگ محصول و فرآورده حاصل از رونویسی اون ژن مورد نظر هستش دیگه درسته؟ بچه‌ها در واقع میزان رونویسی یک ژن به مقدار نیاز یاخته به فرآورده‌های آن بستگی داره. بعضی از ژن‌ها، زیاد مورد استفاده قرار می‌گیرن و بعضی دیگه از ژن‌ها اصلن مورد استفاده قرار نمی‌گیرن و یا کم مورد استفاده قرار می‌گیرن. مثلن به سری ژن‌ها هستن تحت عنوان ژن‌های سازنده رنای ریبوزومی، این ژن‌ها تو یاخته‌هایی که تازه تقسیم شدن، خیلی فعالن، چرا؟ چون یاخته‌هایی که تازه تقسیم شدن نیاز به پروتئین‌سازی زیادی دارن. پروتئین‌ها توسط کارخانه‌های پروتئین‌سازی یعنی رناتن‌ها تولید میشن، خب این رناتن‌ها به بخش شون tRNA هستن دیگه درسته؟ پس رونویسی از روی ژن‌های رمز کننده این نوع tRNAها داخل

کم مورد استفاده قرار می‌گیرن. مثلن به سری ژن‌ها هستن تحت عنوان ژن‌های سازنده رنای ریبوزومی، این ژن‌ها تو یاخته‌هایی که تازه تقسیم شدن، خیلی فعالن، چرا؟ چون یاخته‌هایی که تازه تقسیم شدن نیاز به پروتئین‌سازی زیادی دارن. پروتئین‌ها توسط کارخانه‌های پروتئین‌سازی یعنی رناتن‌ها تولید میشن، خب این رناتن‌ها به بخش شون tRNA هستن دیگه درسته؟ پس رونویسی از روی ژن‌های رمز کننده این نوع tRNAها داخل





این یاخته‌ها افزایش پیدا می‌کنند. خوب حالا سوال اینجاست که یاخته چجوری سرعت عمل خودش رو در رونویسی از روی یک ژن افزایش میده؟ بذارید یه مثال دیگه بزنم تا بفهمید داستان از چه قراره. بچه‌ها یاخته پادتن‌ساز رو یاد تونه؟ تو فصل ۵ یازدهم باهاش آشنا شدید. همون که میومد پادتن تولید می‌کرد. این یاخته چی تولید می‌کنه؟ پادتن درسته؟ پادتن از جنس چیه؟ از جنس پروتئین هستش. تولید می‌کنه؟ اگر خاطر تون باشه حجم زیادی پادتن رو تولید و ترشح می‌کرد تا با میکروب‌ها به طور موثری مبارزه بشه. خوب برای اینکه مقدار زیادی پادتن اونم تو کمترین زمان تولید بشه، نیازه چندین بار از روی ژن رمزکننده پادتن رونویسی انجام بشه تا چندین رنای پیک تولید و به صورت هم‌زمان چندین عدد پادتن در ریبوزوم‌ها تولید بشه. برای تولید چندین رنا از روی یک ژن خاص اینطور نیست که RNA پلی‌مراز بیاد و از روی اون ژن خاص رونویسی کنه و بعد از اینکه تموم شد دوباره از نو شروع کنه. اینجوری کلی وقت یاخته تلف میشه و اون موقع کیک و کلوچه‌ش رو خوردن تموم شده رفته پی کارش! داستان از این قراره که وقتی یه دونه آنزیم RNA پلی‌مراز میره می‌شیننه روی راه انداز و بعد شروع می‌کنه به رونویسی، همین که یه کوچولو روی ژن ویراژ داد و به اصطلاح راه افتاد. آنزیم RNA پلی‌مراز بعدی روی راه انداز فرود میاد و همینطور RNA پلی‌مرازها پشت سر هم میان و روی راه انداز فرود میان و هر کدوم جداگانه واسه خودشون رونویسی رو شروع می‌کنن. یعنی در یک زمان، در یک لحظه، در یک آن! روی ژن مورد نظر (توی مثالی که زدیم همیشه ژن رمزکننده پادتن) تعداد زیادی آنزیم RNA پلی‌مراز می‌بینیم که در حال رونویسی از روی این ژن هستند و هر کدوم برای خودش داره رونویسی می‌کنه و رنا می‌سازه. اینجوری میشه که خیلی سریع کلی رنا تولید میشه و اینجوری در مدت زمان کم مقدار زیادی از محصول نهایی ژن رو خواهیم داشت. حالا اگه زیر میکروسکوپ این صحنه رو بشینیم نگاه کنیم، یه منظره‌ای شبیه به پر می‌بینیم. کدوم صحنه منظوره؟ همین که چندین رنابسپاراز به صورت هم‌زمان در حال رونویسی از روی یک ژن خاص هستند. پر رو تجسم کنید، یه قسمت افقی داره که از این قسمت تعداد زیادی زائده به خارج بیرون زده (به صورت عمودی). بچه‌ها شکلاشون رو مقایسه کنید، می‌بینید چقد شبیه به هم هستند؟ خوب حالا چرا اینجوریه؟ رقفا اون خط وسطیه همون ژن مورد نظری هست که داره توسط تعداد زیادی رنابسپاراز رونویسی میشه. اون خطوط عمودی هم در واقع رناها هستند که در حال تولید شدن هستند. چرا طول رناها با هم فرق داره؟ با توجه به اینکه در هر زمان، رنابسپارازها در مراحل مختلفی از رونویسی هستند، طول رناهای در حال ساخت هر کدام متفاوت با دیگری خواهد بود و برای همین در زیر میکروسکوپ الکترونی یک ساختار پرمماند را مشاهده می‌کنیم.

**نکته مهم** همونطور که توشکل کتاب درسی هم مشخصه، طول RNA های در حال ساخت هم انداز نیستند. RNA پلی‌مراز که زودتر از بقیه، فرآیند رونویسی رو شروع کرده، به انتهای ژن (یعنی جایگاه پایان رونویسی) نزدیک‌تر بوده و در نتیجه طول RNA ای که توسط این رنابسپاراز در حال ساخت هستش، بلندتره. در مقابل، RNA پلی‌مراز که دیرتر از بقیه (آخر از همه) رونویسی رو شروع کرده، به ابتدای ژن (یعنی توالی راه انداز) نزدیکتره، در نتیجه RNA ای که توسط این آنزیم در حال ساخت هستش، کوتاهتره.

## چراستون باشه

پس بچه‌ها هر چقدر از ابتدای ژن به انتهای ژن بریم، طول RNA های در حال ساخت افزایش پیدا می‌کنه. پس جهت رونویسی ژن از سمت RNA های کوتاه‌تر به سمت RNA های بلندتره. تو شکل کتاب درسی جهت رونویسی از چپ به راست هستش.

**نکته مهم** جایگاه پایان رونویسی به RNA های بلندتر نزدیک‌تره و توالی راه‌انداز هم به RNA های کوتاه‌تر نزدیک‌تره.

**نکته مهم** تو ساختار پرمماند یک خط افقی داریم که این خط افقی همون مولکول DNA هستش پس از جنس دُنوکسی‌ریبونوکلوئید و توش نی‌تونیم قند ریبوز و باز آلکی‌یوراسیل رو پیدا کنیم. به غیر از این خط، یه سری خطوط عرضی (عمود) هم می‌بینیم. این خطوط در واقع همون RNA های هستند که در حال ساخته شدن از روی این ژن خاص می‌باشند. پس تو این خطوط قند دُنوکسی‌ریبوز و باز آلکی‌یوراسیل رو نمی‌تونیم پیدا کنیم.

**نکته مهم** از روی یک نوع ژن فقط یک نوع آنزیم رنابسپاراز خاص رونویسی می‌کنه، درسته؟ پس در یک ساختار پرمماند همه رنابسپارازها از یک نوع اند. مثلن اگر ژن مورد نظر مربوط به ژن یه نوع پروتئین یوکاریوتی باشه، RNA های در حال ساخت هکلی از نوع mRNA هستند که هکلی توسط آنزیم RNA پلی‌مراز ۲ ساخته می‌شوند. پس تو این ساختار (پرمماند) همه رناها از یک نوع اند. مثلن هکلی رنای پیک اند و یا هکلی رنای ناقل می‌باشند و یا هکلی رنای ریبوزومی اند.

**نکته مهم** این ژنایی که توشکل کتاب درسی نشون داده شدن، ما نمی‌دونیم ژن‌های رمزکننده چی هستند. این ژن‌ها می‌تونن ژن هر چیزی باشن. پس اینکه بگیم این RNA ها پس از رونویسی حتمن برای ترجمه به ریبوزوم‌ها ارسال می‌شوند غلطه. چون ممکنه این ژن‌ها، مثلن ژن رمزکننده tRNA باشن و یا ژن رمزکننده rRNA باشن! همونطور که می‌دونید این نوع رناها ترجمه نمی‌شوند.

**نکته مهم** کتاب درسی میگه در یاخته‌های تازه تقسیم شده رونویسی از روی ژن رمزکننده رنای رناتنی بلااست! خوب یاخته‌های تازه تقسیم شده مثلن کیا؟ مثل یاخته‌های حاصل از تقسیم یاخته‌های بنیادی، یاخته‌های حاصل از تقسیم زیگوت (مورولا و بلاستوسیست و غیره). مورد بعدی اینکه کی ژن رمزکننده رنای رناتنی رو رونویسی می‌کنه؟ آنزیم رنابسپاراز نوع ۳ در یوکاریوت‌ها، درسته؟ پس فعالیت این آنزیم تو این یاخته‌ها به شدت بلااست. به تعداد زیادی هم از این آنزیم‌ها نیاز داریم.

**نکته مهم** تو فصل ۶ کتاب دهم می‌خوانید که کوچیچه‌های خونی قرمز نابالغ (هسته‌دار)، هسته خودشان روز دس میدن و مقدار زیادی هموگلوبین فضای درون سیتوپلاسم رو پر می‌کنه. پس در این یاخته‌ها به مقدار زیادی از روژن (رنگ‌کننده پروتئین‌های هموگلوبین عمل رونوسی انجام میشه. کی این کار رو انجام میده؟ رنابسپاراز نوخ ۲.

**نکته مهم** به شکل ۱ کتاب درسی تون نگاه کنید، به بخشی تحت عنوان توالی بین ژن بین دو تاژن وجود داره. این توالی‌ها در واقع جزئی از ژن نیستند و این که کارشون چیه به ما ربطی نداره. فقط بدویند از روژن این بخش‌ها رونوسی انجام نمیشه.

**نکته مهم** تو فصل بعدی (فصل ۳ کتاب دوازدهم) می‌خوانید که گروهی از ژن‌ها دارای رابطه باز و ضعفگی می‌باشند. مثلن آلل D باژن A و آلل d ضعفته می‌باشد. آلل عبارت A از ژن‌هایی که شکل‌های مختلف یک صفت را بروز می‌دهند. رونوسی ژن‌های باژن بیشتر از رونوسی ژن‌های ضعفته می‌باشد.

در سنامه (۶)

تفاوت‌ها و شباهت‌های رونوسی و همانندسازی

اساس رونوسی شباهت زیادی با همانندسازی دارد. با اینحال یکسری تفاوت‌ها هم بین این دو فرآیند وجود دارد. قبل از اینکه تفاوت‌ها و شباهت‌های این دو فرآیند را بخوانید، به تصاویر هر دو فرآیند در کتاب درسی خود نگاه کنید.

شباهت‌ها و تفاوت‌های آن‌ها به صورت زیر است:

- ۱ طبق اطلاعات کتاب درسی فرآیند همانندسازی توسط چند نوع آنزیم انجام می‌شود که دو تا از آنها دنابسپاراز و هلیکاز است رونوسی هم توسط انواعی از آنزیم‌ها صورت می‌پذیرد و آن رنابسپاراز می‌باشد. اما خود رنابسپارازها انواع مختلفی دارند.
- ۲ در همانندسازی هر دو تا رشته DNA به عنوان رشته الگو استفاده می‌شوند اما در رونوسی فقط یکی از رشته‌ها به عنوان رشته الگو مورد استفاده قرار می‌گیرد.
- ۳ فرآیند همانندسازی در پروکاریوت‌ها از یک نقطه به اسم نقطه آغاز همانندسازی شروع می‌شود و در یک نقطه به اسم نقطه پایان همانندسازی تمام می‌شود. در یوکاریوت‌ها و در یک DNA خطی همانندسازی از چندین جا شروع و در چندین جا تمام می‌شود. در رونوسی فقط و فقط یک عدد نقطه آغاز رونوسی برای هر ژن و یک عدد جایگاه پایان رونوسی داریم.
- ۴ جایگاه پایان همانندسازی همانند جایگاه پایان رونوسی یک توالی نوکلئوتیدی می‌باشد. در همانندسازی دو رشته جایگاه پایان از هم باز می‌شوند. در رونوسی هم دو رشته جایگاه پایان رونوسی از هم باز می‌شوند.
- ۵ در فرآیند همانندسازی تمام طول مولکول DNA همانندسازی میشه اما در رونوسی فقط بخشی از مولکول DNA رونوسی میشه (یک ژن خاص!)
- ۶ هم در همانندسازی و هم در رونوسی قانون جفت شدن بازها حاکم است!
- ۷ در همانندسازی اونی که باعث شکسته شدن پیوندهای هیدروژنی می‌شود هلیکاز است اما در رونوسی RNA پلی‌مراز این کار را خودش انجام می‌دهد.
- ۸ در رونوسی همانند همانندسازی پیوندهای هیدروژنی هم شکسته می‌شوند و هم تولید می‌شوند. اما پیوند فسفودی‌استر در رونوسی فقط تشکیل می‌شود و در همانندسازی هم تشکیل می‌شود و هم ممکن است شکسته شود (حین عمل ویرایش)
- ۹ رونوسی همانند همانندسازی در یاخته‌های پروکاریوتی در سیتوپلاسم انجام می‌شود اما در یاخته‌های یوکاریوت، هر دو فرآیند هم در سیتوپلاسم و هم در هسته انجام می‌شود.
- ۱۰ محصول همانندسازی، دئوکسی‌ریبونوکلئیک‌اسید می‌باشد اما محصول رونوسی، ریبونوکلئیک‌اسید است. محصول هر دو نوعی پلی‌مر است.
- ۱۱ در هر دو فرآیند حباب تشکیل می‌شود. در همانندسازی DNA خطی چندین حباب همانندسازی و در همانندسازی DNA حلقوی یک عدد حباب همانندسازی تشکیل می‌شود. در رونوسی هر ژن بین یک تا چندین حباب ممکن است تشکیل شود.
- ۱۲ در همانندسازی جهت همانندسازی در همه DNAهای خطی و در بیشتر DNAهای حلقوی دو جهته می‌باشد (در برخی از DNAهای حلقوی تک جهته است). در فرآیند رونوسی جهت رونوسی تمامی ژن‌ها در تمامی DNAها در یک جهت است.
- ۱۳ در رونوسی عمل ویرایش نداریم اما در همانندسازی داریم. عمل ویرایش توسط آنزیم DNA پلی‌مراز انجام می‌شود.
- ۱۴ در فرآیند رونوسی فقط بخشی از پیوندهای هیدروژنی مولکول DNA شکسته می‌شود (پیوند هیدروژنی بین نوکلئوتیدهای ژن) اما در همانندسازی پیوند هیدروژنی بین تمام نوکلئوتیدهای مولکول DNA شکسته می‌شود.
- ۱۵ نوکلئوتیدهای مورد استفاده در همانندسازی از نوع دئوکسی‌ریبونوکلئوتید می‌باشند اما نوکلئوتیدهای مورد استفاده در رونوسی از نوع

ریبونوکلئوتید هستند.

- ۱۶ هر دو فرآیند انرژی‌خواه هستند و آنزیم‌هایشان با مصرف ATP فعالیت می‌کنند. در هر دو فرآیند همانندسازی و رونویسی مولکول‌های آب تولید می‌شود. البته در همانندسازی به دلیل عمل ویرایش که نوعی هیدرولیز محسوب می‌شود، ممکن است مولکول آب مصرف شود.
- ۱۷ بعد از اتمام همانندسازی دو تا رشته الگو برای همیشه از هم جدا می‌شوند و بین‌شان پیوند هیدروژنی برقرار نمی‌شود اما در رونویسی بعد از اتمام فرآیند، پیوند هیدروژنی بین دو رشته DNA مجدد برقرار می‌شود.
- ۱۸ برخلاف همانندسازی که در چرخه یاخته‌ای یکبار انجام می‌شود، رونویسی از روی یک ژن می‌تواند بارها انجام شود و چندین رشته رنا ساخته شود.
- ۱۹ در رونویسی انواعی از رناها ساخته می‌شود اما در همانندسازی همواره یک نوع DNA تولید می‌شود که در صورت عدم وقوع جهش (تغییر در ساختار دنا) کاملن مشابه DNA مادری است.
- ۲۰ در یوکاریوت‌ها، بسیاری از رشته‌های رنا حاصل از رونویسی دستخوش تغییراتی می‌شوند، یکی از این تغییرات حذف رونوشت‌های میانه (اینترون) از رشته رنا پیک اولیه است (پیرایش). یکی دیگر از تغییرات تاخوردگی مجدد ساختار تاخوردگی اولیه رنا ناقل است که موجب فعال شدن آن می‌شود.

همه این چیزایی که گفتم رو در قالب جدول صفحه بعد براتون آوردم و مقایسه کردم. پرید هالشو بپرید و واسه بچه ملاتون تعریف کنید. ☺

مورد مقایسه	فرآیند همانندسازی	فرآیند رونویسی
محل انجام آن در	● یوکاریوت‌ها: هسته، میتوکندری و کلروپلاست ● پروکاریوت‌ها: سیتوپلاسم	● یوکاریوت‌ها: هسته، میتوکندری و کلروپلاست ● پروکاریوت‌ها: سیتوپلاسم
آنزیم‌های دخیل	چندین نوع، مثل هلیکاز و DNA پلی‌مراز	RNA پلی‌مراز
شکسته شدن پیوند هیدروژنی توسط	هلیکاز	RNA پلی‌مراز
تشکیل پیوند هیدروژنی توسط	فودر به فودر (بین دو رشته DNA)	فودر به فودر (بین رنا در حال سافت و رشته الگو DNA)
شکسته شدن پیوند فسفودی‌استر توسط	آنزیم DNA پلی‌مراز در عمل ویرایش	مگه داریم؟ (نداریم عشقم!)
تشکیل پیوند فسفودی‌استر توسط	DNA پلی‌مراز	RNA پلی‌مراز
تعداد رشته الگو	هر دو رشته DNA	یکی از رشته‌های مولکول DNA
ماده مصرفی اصلی	دئوکسی‌ریبونوکلئوتید	ریبونوکلئوتید
ماده تولیدی اصلی	دئوکسی‌ریبونوکلئیک اسید (دو رشته‌ای)	ریبونوکلئیک اسید (تک رشته‌ای)
وجود پیوند هیدروژنی در محصول	قطع پیوند هیدروژنی دارا	ممکن است پیوند هیدروژنی داشته باشد! ممکن است نداشته باشد!
محل فعالیت محصول	● در یوکاریوت‌ها: هسته ● در پروکاریوت‌ها: سیتوپلاسم	● در یوکاریوت‌ها: سیتوپلاسم ● در پروکاریوت‌ها: سیتوپلاسم
جهت انجام فرآیند	معمولن ۲ جهتی	همواره ۱ جهته
نیمه حفاظت شده	می‌باشد.	نمی‌باشد.
عمل ویرایشی	انجام می‌شود.	انجام نمی‌شود.
مولکول آب توسط آنزیم پلی‌مراز دخیل در آن	هم تولید می‌شود و هم می‌تواند مصرف شود.	فقط تولید می‌شود.
نوع فرآیند از نظر انرژی	سنتز آبرهی - انرژی فواه	سنتز آبرهی - انرژی فواه
پیروی از قوانین هفت شدن	بله!	بله!
نوکلئوتیدی که استفاده نمی‌شود؟	نوکلئوتید یوراسیل دار	نوکلئوتید تیمین دار
نقاط یا توالی‌های آغاز و پایان فرآیند روی DNA	● در یوکاریوت‌ها: چندین نقطه ● در پروکاریوت‌ها: یک نقطه	۱ نقطه آغاز و ۱ نقطه پایان به ازاء هر ژن (البته در یوکاریوت‌ها)
چه مقدار از مولکول DNA به عنوان الگو؟	تمام مولکول DNA	بخش کوچکی از مولکول DNA آن هم فقط یک رشته