



فصل ۲

جریان اطلاعات در یاخته

تصویر بالا دو گویچه قرمز را نشان می‌دهد. گویچه سمت راست مربوط به شخصی است که دچار نوعی بیماری ارثی به نام **کم‌خونی داسی‌شکل** است. علت این بیماری نوعی **تغییر ژنی** است که باعث می‌شود پروتئین **هموگلوبین** حاصل از آن دچار **تغییر** شود که نتیجه آن **تغییر شکل گویچه قرمز** از حالت گرد به داسی شکل است.

تغییر در DNA باعث **تغییر در RNA** و نهایتاً **تغییر در پروتئین** و **تغییر شکل گلبول قرمز** از حالت گرد به حالت **داسی‌شکل** شده است. (برایات اطلاعات در سلول!) این تغییر ژنی، بسیار **جزئی** است و در آن تنها **یک جفت** از صدها جفت نوکلئوتید دنا در افراد بیمار **تغییر** یافته است. همچنین این بیماری به نوعی، **رابطه بین ژن و پروتئین** را نشان می‌دهد.

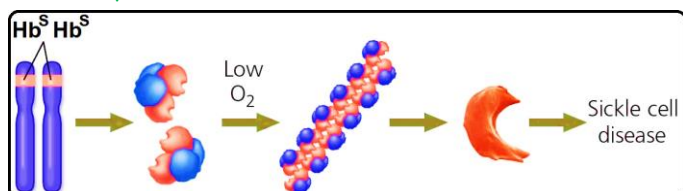
(DNA ⇒ RNA ⇒ Protein)

به نظر شما اطلاعات **ژن‌ها** چگونه در این یاخته‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند؟ با واسطه مولکول‌های **RNA**

آیا این اطلاعات در **سایر** یاخته‌ها نیز وجود دارند؟ بله، در همه سلول‌های **زنده** و **هسته‌دار** وجود دارند.

چرا بعضی ژن‌ها مانند ژن سازنده هموگلوبین فقط در گویچه‌های قرمز بروز می‌کنند و مثلاً در یاخته‌های بافت پوششی پوست بروز **نمی‌کنند**؟ زیرا این ژن در سلول‌های دیگر **ناموش** است. این موارد نمونه پرسش‌هایی هستند که در این فصل به آنها پاسخ داده می‌شود.

نکته مهم: امروزه می‌دانیم که مولکول‌های هموگلوبین در یک فرد سالم به صورت همگن در سیتوپلاسم گلبول قرمز پخش می‌شوند ولی در افراد بیمار آمینواسید والین یک مولکول هموگلوبین که به جای کلوئامیک اسید قرار گرفته است با آمینواسیدهای دیگر مانند لوسین و فنیل‌آلانین از یک مولکول هموگلوبین دیگر پیوند تشکیل داده و باعث اتصال آنها به همدیگر و تشکیل رشته‌هایی از هموگلوبین می‌کنند. این رشته‌ها باعث کشیده شدن گلبول قرمز و نهایتاً شکل داسی آن می‌شوند.



در فصل گذشته دیدید که **واحد** سازندهٔ مولکول **دنا**، **نوکلئوتید** است ولی **پلی‌پپتیدها** از **آمینواسید** تشکیل شده‌اند. چون **دستورالعمل** ساخت پلی‌پپتیدها در مولکول دنا قرار دارد، پس باید بین نوکلئوتیدهای زن و آمینواسیدهای پلی‌پپتید، **ارتباطی** وجود داشته باشد. همان‌طور که می‌دانیم، این ارتباط به وسیله مولکول‌های **RNA** برقرار می‌شود.

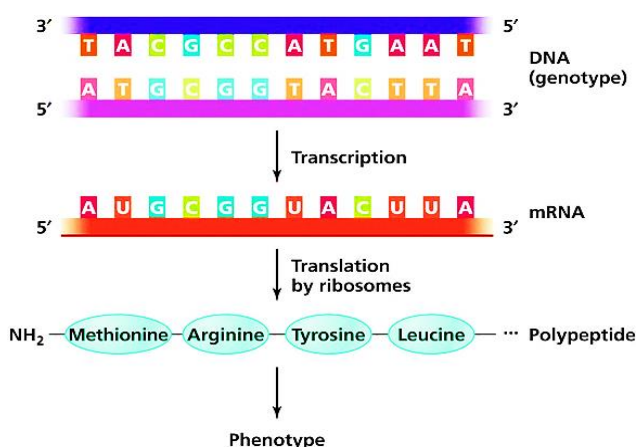
دنا چگونه نوع آمینواسیدهای پلی‌پپتید را تعیین می‌کند؟

آموختید که، در مولکول دنا، **۴** نوع نوکلئوتید (منظور داکسی‌ریبونوکلئوتیدهای **مونوفسفات** است!) وجود دارد که فقط در نوع بازهای آلی یعنی **A, C, G و T** تفاوت دارند. در حالی که، **پلی‌پپتیدها** از **۲۰** نوع آمینواسید تشکیل شده‌اند.

آمینواسیدهای موجود در سانتار پروتئین‌ها

تیروزین **Tyr**، آرژینین **Arg**، متیونین **Met**، آلانین **Ala**، فنیل‌آلانین **Phe**، گلیسین **Gly**، تریپتوفان **Trp**، لوسین **Leu**، ایزولوسین **Ile**، گلوتامین **Gln**، گلوتامیک‌اسید **Glu**، آسپاراژین **Asn**، آسپارتیک‌اسید **Asp**، سیستئین **Cys**، سرین **Ser**، والین **Val**، هیستیدین **Hys**، ترئونین **Thr**، لیزین **Lys** و پرولین **Pro**.

پس از پژوهش‌هایی مشخص شد که هر توالی سه‌تایی از نوکلئوتیدهای دنا، بیانگر نوعی آمینواسید است. با چهار نوع نوکلئوتید به کار رفته در دنا، **۶۴** توالی سه نوکلئوتیدی مختلف ایجاد می‌شود، که می‌توانند رمز ساخت پلی‌پپتیدهایی با **۲۰** نوع آمینواسید را داشته باشند. به هر یک از توالی‌های سه نوکلئوتیدی در دنا **کد** یا **رمز** می‌گویند. به معادل آنها در mRNA نیز **کدون** یا **رمزه** می‌گویند!



- If one base = one amino acid, possible amino acids = 4
- If two bases = one amino acid, possible amino acids = 16 (4×4)
- If three bases = one amino acid, possible amino acids = 64 (4×4×4)

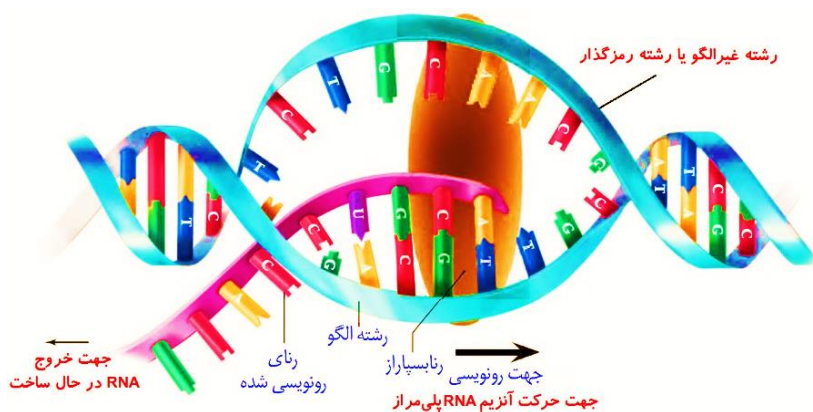


نقش مولکول رنا به عنوان میانجی

می‌دانید که **پلی‌پپتیدها** بر اساس **اطلاعات دنا** و توسط **رئاتن‌ها** در **سیتوپلاسم** ساخته می‌شوند. در یاخته‌های دارای هسته (**یوکاریوت‌ها**)، چون رئاتن‌ها **درون** هسته حضور ندارند، فرایند ساخت پلی‌پپتید در آن یعنی **در هسته** انجام نمی‌شود. با توجه به این که اطلاعات دنا برای ساخت پلی‌پپتید **ضروری** است و دنا هم از هسته خارج نمی‌شود این سؤال پیش می‌آید که دستورات ساخت پلی‌پپتید چگونه به **بیرون هسته** منتقل می‌شود؟ با واسطه مولکول‌های **RNA**.

پاسخ در مولکول رنا است. همان‌طور که دیدید انواعی از رنا (**mRNA, tRNA, rRNA** و ...) در یاخته وجود دارند که در پروتئین‌سازی نقش دارند.

این رناها از روی مولکول دنا ساخته می‌شوند. به ساختن شدن مولکول رنا از روی بخشی از یک رشته دنا، (یعنی زن!) **رونویسی** گفته می‌شود (شکل ۱).



شکل ۱- طرح ساده‌ای از فرایند رونویسی

اساس رونویسی شبیه همانندسازی است. در این فرایند نیز با توجه به **داکسی‌ریبونوکلئوتیدهای** رشته دنا، ابتدا **ریبونوکلئوتیدهای** مکمل با تشکیل پیوند **هیدروژنی** یکی‌یکی و به ترتیب! در زنجیره رنا قرار می‌گیرند و سپس با تشکیل پیوند فسفودی‌استر به هم متصل می‌شوند. برخلاف همانندسازی **DNA اصلی** که

در هر چرخه یاخته‌ای یک بار انجام می‌شود، رونویسی یک ژن می‌تواند در هر چرخه بارها انجام شود و چندین رشته رنا ساخته شود. آیا می‌توانید تفاوت‌های دیگری برای این دو فرایند بیان کنید؟ در جدول زیر مقایسه‌ای بین این دو فرایند صورت گرفته است.

فرایند	هماندسازی	رونویسی
تعداد تکرار در پرفه سلولی	فقط یک بار برای DNA اصلی	پندین بار از روی یک ژن
کمیت یا مقدار فرایند	از کل مولکول DNA	از روی یک ژن یا بخشی از مولکول DNA
محل شروع فرایند	جایگاه آغاز: توالی دو رشته‌ای بر روی مولکول DNA	نقطه آغاز: یک نوکلئوتید بر روی رشته الگو
محل اتمام فرایند	انتهای مولکول DNA	توالی پایان رونویسی در انتهای ژن
تئیه فرایند	سافت دو مولکول طویل دورشته‌ای	سافت یک رونوشت کوتاه یک‌رشته‌ای
آنزیم‌های دفاکت‌کننده در فرایند	هلیکاز، DNA پلی‌مراز و ...	RNA پلی‌مرازها
آنزیم بازکننده دو رشته DNA	هلیکاز	RNA پلی‌مراز
آنزیم تشکیل دهنده پیوند	DNA پلی‌مراز	RNA پلی‌مراز
نوکلئوتیدهای به کار رفته در فرایند	دائمی‌ریبونوکلئوتیدها	ریبونوکلئوتیدها
جهت صاب موجود در فرایند	پیشروی در دو جهت	پیشروی در یک جهت
دوره‌ای موجود در صاب	دارد	ندارد
اندازه صاب‌ها در طول فرایند	هر لحظه در حال بزرگ‌تر شدن	تقریباً ثابت
رشته‌های موجود در صاب	در هر دو بخش DNA دو رشته‌ای	در یک بخش DNA تک رشته‌ای، در مقابل RNA و DNA
پیوندهای تشکیل‌شده در صاب	هیدروژنی و فسفودی‌استر	هیدروژنی و فسفودی‌استر
پیوندهای شکسته‌شده در صاب	کووالانسی، هیدروژنی و فسفودی‌استر	کووالانسی، فقط هیدروژنی
ویرایش در طول فرایند	دارد	ندارد
رغ دادن فرایند در پرفه سلولی	در مرحله S پرفه سلولی	در مرحله G ₁ , G ₂ و M

آنزیم‌های ویژه‌ای رونویسی را تسهیل می‌کنند

در یاخته انواعی از رنا (بیش از سه نوع یعنی mRNA، tRNA، rRNA و ...) ساخته می‌شود. عمل رونویسی از دنا به کمک آنزیم‌ها و انرژی انجام می‌شود. این آنزیم‌ها را، تحت عنوان کلی رنابسپاراز نام‌گذاری می‌کنند.

نکته مهم: رونویسی و همانندسازی دو فرایند سنتزی هستند، بنابراین نیاز به انرژی دارند. این انرژی، حاصل جدا شدن دو گروه فسفات از نوکلئوتیدها است! در پروکاریوت‌ها یک نوع رنابسپاراز وظیفه ساخت انواع رنا را بر عهده دارد. در یوکاریوت‌ها، انواعی از رنابسپاراز (بیش از سه نوع آنزیم، انواع ۱۴ و ۵ فقط در گیاهان یافت می‌شوند)، ساخت رناهای مختلف را انجام می‌دهند؛ مثلاً رنای پیک توسط رنابسپاراز ۲، رنای ناقل توسط رنابسپاراز ۳ و رنای رناتنی توسط رنابسپاراز ۱ ساخته می‌شود.

نکاتی در مورد انواع آنزیم‌های RNA پلی‌مراز

- در موجودات زنده بیش از سه نوع مولکول RNA وجود دارد. مثلاً mRNA، tRNA، rRNA، sRNA و ...
- در پروکاریوت‌ها فقط یک نوع آنزیم RNA پلی‌مراز رونویسی انواع RNA را بر عهده دارد. + این نوع آنزیم را RNA پلی‌مراز پروکاریوتی می‌نامند.
- + ژن مسئول همه آنزیم‌ها اعم از آنزیم‌های پروتئینی و غیر پروتئینی به وسیله یک نوع RNA پلی‌مراز رونویسی می‌شود!
- در یوکاریوت‌ها انواعی از این آنزیم شامل RNA پلی‌مرازهای ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ را دارند. + بدیهی است در یوکاریوت‌ها علاوه بر این موارد در اندامک‌های هم‌زیست یعنی میتوکندری و کلروپلاست، RNA پلی‌مراز پروکاریوتی هم وجود دارد.
- + نکته پالشی اول: در یوکاریوت‌ها، ژن مسئول سافت آنزیم‌های DNA پلی‌مراز و انواع RNA پلی‌مرازها به وسیله RNA پلی‌مراز نوع II رونویسی می‌شود! + نکته پالشی دوم: در یوکاریوت‌ها، ژن مسئول سافت آنزیم ایجاد کننده پیوند پپتیدی به وسیله RNA پلی‌مراز نوع I رونویسی می‌شود!
- در بین RNA ها از لحاظ مقدار rRNA از همه بیشتر و از لحاظ تنوع mRNA ها از بقیه متنوع‌تر هستند. در سلول ۶۱ نوع tRNA و کمتر از پنج نوع rRNA وجود دارد.

مراحل رونویسی

رونویسی فرایندی پیوسته است ولی برای سادگی موضوع، آن را به سه مرحله آغاز، طولی شدن و پایان تقسیم می‌کنند. در این مراحل، آنزیم رنابسپاراز، عمل رونویسی را از روی بخشی از یک رشته دنا انجام می‌دهد.

مرحله آغاز: در این مرحله به ترتیب اتفاقات زیر می افتد:

۱) رنابسپاراز به **بخشی از مولکول دنا به نام راه انداز** متصل می شود و دو رشته آن را **از هم باز می کند**.

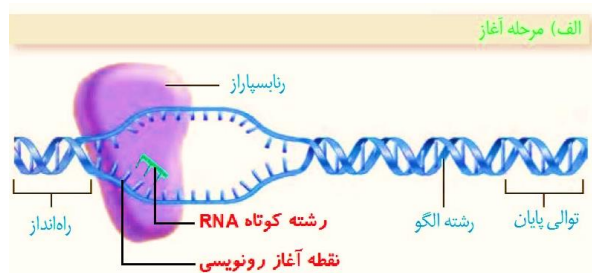
به نظر شما برای باز شدن دو رشته کدام پیوندها در این ناحیه شکسته می شوند؟ **پیوندهای هیدروژنی**

+ **توالی راه انداز**: برای این که رونویسی ژن از **محل صحیح** خود شروع شود **توالی های نوکلئوتیدی ویژه ای** در دنا وجود دارد که رنابسپاراز آن را **شناسایی می کند**. به این توالی ها، **راه انداز** گفته می شود.

+ **نقطه آغاز رونویسی**: راه انداز موجب می شود رنابسپاراز **اولین نوکلئوتید مناسب** یا **نقطه آغاز** را به طور دقیق پیدا و رونویسی را از آنجا آغاز کند.

۲) در این حالت بخش کوچکی از مولکول دنا با شکستن پیوند هیدروژنی **باز** می شود همان طور که می دانیم آنزیم **RNA پلی مرز** این کار را انجام می دهد.

۳) با تشکیل پیوند فسفودی استر بین ریبونوکلئوتیدها **زنجیره کوتاهی** از رنا ساخته می شود (شکل ۲- الف). نحوه عمل رنابسپاراز به این صورت است که آنزیم با توجه به نوع **دآکسی ریبونوکلئوتید رشته الگوی دنا**، ریبونوکلئوتید **مکمل** را با تشکیل پیوند هیدروژنی در برابر آن قرار می دهد و سپس این نوکلئوتید را با تشکیل پیوند فسفودی استر به نوکلئوتید قبلی رشته رنا متصل می کند. در رونویسی، ریبونوکلئوتید **یوراسیل دار** رنا به عنوان **مکمل** در برابر **دآکسی ریبونوکلئوتید آدنین دار** دنا قرار می گیرد.



در مرحله آغاز: (۱) پیوند هیدروژنی شکسته شده، (۲) پیوند هیدروژنی تشکیل شده، (۳) پیوند فسفودی استر نیز تشکیل می شود.

(۱) پیوند هیدروژنی بین دآکسی ریبونوکلئوتیدهای توالی راه انداز شکسته شده اما راه انداز رونویسی نمی شود.

(۱) پیوند هیدروژنی بین اولین دآکسی ریبونوکلئوتید قابل رونویسی یا همان نقطه آغاز با دآکسی ریبونوکلئوتید مقابل آن شکسته می شود.

(۱) پیوند هیدروژنی بین دومین دآکسی ریبونوکلئوتید قابل رونویسی با دآکسی ریبونوکلئوتید مقابل آن شکسته می شود.

(۲) پیوند هیدروژنی بین اولین دآکسی ریبونوکلئوتید قابل رونویسی یا همان نقطه آغاز با ریبونوکلئوتید مکمل آن تشکیل می شود.

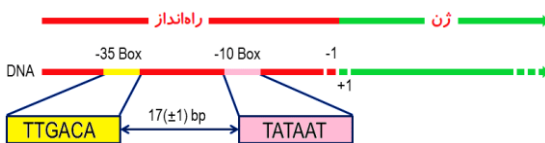
(۲) پیوند هیدروژنی بین دومین دآکسی ریبونوکلئوتید قابل رونویسی با ریبونوکلئوتید مکمل آن تشکیل می شود.

(۳) پیوند فسفودی استر نیز بین ریبونوکلئوتید اول و دوم یا در واقع رونوشت دآکسی ریبونوکلئوتید نقطه آغاز و دوم تشکیل می شود.

(۱) پیوند هیدروژنی بین دآکسی ریبونوکلئوتیدهای بعدی نیز با دآکسی ریبونوکلئوتیدهای مقابل آنها شکسته می شود.

(۳) پیوند فسفودی استر نیز بین ریبونوکلئوتیدهای مجاور در مولکول RNA در حال ساخت، تشکیل می شود، تا رشته کوتاهی از RNA ساخته شود.

ویژگی های راه انداز و نقطه آغاز رونویسی



۱) **راه انداز**: بخشی از DNA است که بر اساس کتاب در بالادست نقطه آغاز رونویسی قرار دارد.

+ **نکته مهم**: راه انداز جزء ژن محسوب نمی شود! در واقع این بخش باعث می شود تا رونویسی از مکان **صحيح** شروع شود.

+ این توالی از جنس DNA است و تمام ویژگی های DNA را دارا است.

x به عنوان مثال دارای قند **دآکسی ریبوز**، بازهای **آدنین**، **گوانین**، **سیتوزین** و **تیمین** و فاقد **یوراسیل** است.

x هم چنین دارای پیوندهای قند - باز، قند - فسفات، فسفودی استر و هیدروژنی است.

+ این توالی در مرحله **S اینترفاز** به وسیله آنزیم **هلیکاز** باز شده و به وسیله آنزیم **DNA پلی مرز** همانندسازی و ساقته می شود.

+ این توالی می تواند در مراحل **G₁**، **G₂** و توسط آنزیم **RNA پلی مرز** باز شده ولی رونویسی نمی شود!

۲) **نقطه آغاز**: **اولین** دآکسی ریبونوکلئوتید از DNA که روی رشته **الگو** قرار داشته و رونویسی از روی آن آغاز می شود.

+ فقط از یک دآکسی ریبونوکلئوتید تشکیل شده است و تمام ویژگی های نوکلئوتید را دارا است.

x به عنوان مثال دارای قند **دآکسی ریبوز**، فقط دارای یکی از بازهای **آدنین**، **گوانین**، **سیتوزین** و **تیمین** و فاقد **یوراسیل** است.

x هم چنین دارای پیوندهای قند - باز، قند - فسفات، اما پیوند فسفودی استر و هیدروژنی ندارد.

+ این دآکسی ریبونوکلئوتید در مرحله **S اینترفاز** به وسیله آنزیم **DNA پلی مرز** همانندسازی شده ولی ساقته نمی شود!

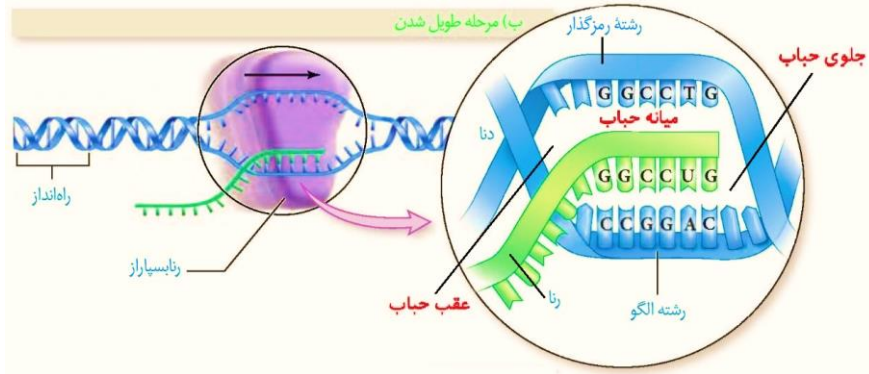
+ این دآکسی ریبونوکلئوتید می تواند در مراحل **G₁**، **G₂** و توسط آنزیم **RNA پلی مرز** رونویسی شود!

+ می توان گفت در یوکاریوت ها این دآکسی ریبونوکلئوتید جزء **اولین اکزون** و رونوشت آن که جزء **رونوشت اولین اکزون** است.

مرحله طولیل شدن: در این مرحله به ترتیب اتفاقات زیر می افتند:

- (۱) رنابسپاراز **ساخت** رنا را با **تشکیل پیوند هیدروژنی و فسفودی استر ادامه** می دهد که در نتیجه آن، رنا **طولیل** می شود.
- (۲) همچنان که مولکول رنابسپاراز به **پیش** می رود، دو رشته دنا در **جلوی** آن با **شکستن پیوند هیدروژنی باز** می شوند.
- (۳) در چندین نوکلئوتید **عقب تر**، یعنی در **عقب** آنزیم با **شکستن پیوند هیدروژنی** رنا از دنا **جدا می شود** و در همین محل دو رشته دنا مجدداً با **تشکیل پیوند هیدروژنی** به هم **می پیوندند** (شکل ۲-ب).

جاب رونویسی: در محل رونویسی و نواحی مجاور آنها حالتی شبیه جاب ایجاد می شود که به سوی **انتهای ژن** یعنی توالی پایان رونویسی پیش می رود.



در مرحله طولیل شدن: (۱) پیوند هیدروژنی شکسته شده، (۲) پیوند هیدروژنی تشکیل شده، (۳) پیوند فسفودی استر تشکیل می شود.

- (۱) پیوند هیدروژنی بین داکسی ریبونوکلئوتیدهای دو رشته الگو و رمزگذار مولکول DNA به وسیله آنزیم RNA پلیمراز شکسته می شود.
- (۲) پیوند هیدروژنی بین ریبونوکلئوتیدها با داکسی ریبونوکلئوتید مقابل آن به صورت خود به خودی تشکیل می شود.
- (۳) پیوند فسفودی استر بین ریبونوکلئوتیدهای رشته RNA در حال ساخت به وسیله آنزیم RNA پلیمراز تشکیل می شود.
- (۱) پیوند هیدروژنی بین ریبونوکلئوتیدهای رشته RNA در حال ساخت و داکسی ریبونوکلئوتیدهای رشته الگوی DNA شکسته می شود.
- (۲) پیوند هیدروژنی بین داکسی ریبونوکلئوتیدهای دو رشته الگو و رمزگذار مولکول DNA دوباره تشکیل می شود.

اتفاقات پال جاب رونویسی

- (۱) در ابتدای جاب: پیوند هیدروژنی بین داکسی ریبونوکلئوتیدهای دو رشته الگو و رمزگذار مولکول DNA به وسیله آنزیم RNA پلیمراز شکسته می شود.
- (۲) در میانه جاب: دو اتفاق زیر به ترتیب رخ می دهند:
 - + ابتدا پیوند هیدروژنی بین ریبونوکلئوتیدها با داکسی ریبونوکلئوتید رشته الگوی DNA مقابل آن به صورت تودبه نودی تشکیل می شود.
 - + سپس پیوند فسفودی استر بین ریبونوکلئوتیدهای رشته RNA در حال ساخت به وسیله آنزیم RNA پلیمراز تشکیل می شود.
- (۳) در انتهای جاب: دو اتفاق زیر به ترتیب رخ می دهند:

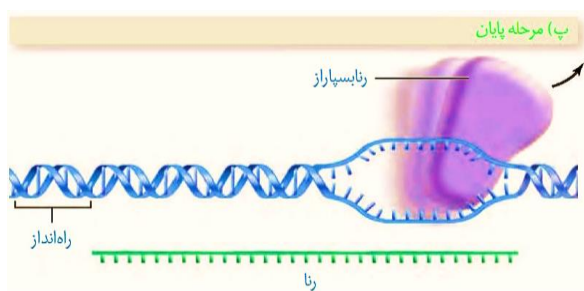
- + ابتدا پیوند هیدروژنی بین ریبونوکلئوتیدهای رشته RNA و داکسی ریبونوکلئوتیدهای رشته الگوی DNA بر اثر سنگینی RNA در حال ساخت شکسته می شوند.
- + سپس پیوند هیدروژنی بین داکسی ریبونوکلئوتیدهای دو رشته الگو و رمزگذار مولکول DNA به صورت تودبه نودی دوباره تشکیل می شود.

ساختارهای درون جاب رونویسی

- در جاب رونویسی در مرحله طولیل شدن تعداد بازهای آلی، نوکلئوتیدها و مونومرهای موجود در ساختار پلیمرها به صورت زیر به دست می آیند.
- + تعداد انواع بازهای آلی: حداقل دو و حداکثر پنج نوع باز آلی در ساختار نوکلئیک اسیدها وجود دارد.
 - + تعداد انواع نوکلئوتیدها: حداقل سه و حداکثر هشت نوع نوکلئوتید در ساختار نوکلئیک اسیدها وجود دارد.
 - + تعداد انواع مونومرهای موجود در ساختار پلیمرها: حداکثر ۲۸ نوع مونومر می تواند در ساختار پلیمرها وجود داشته باشد.

مرحله پایان: در پایان ژنها و بر روی دنا توالی های ویژه ای به نام توالی های پایان رونویسی وجود دارد که موجب پایان رونویسی توسط آنزیم رنابسپاراز می شوند. در این محل ها اتفاقات زیر رخ می دهند:

- (۱) بر اساس شکل کتاب، توالی پایان به طور کامل از ابتدا تا انتها رونویسی می شود.
- (۲) آنزیم RNA پلیمراز از مولکول دنا و رنا تازه ساخت جدا می شود.
- (۳) دو رشته دنا با تشکیل پیوند هیدروژنی به هم متصل می شوند. (شکل ۲-پ).



در مرحله پایان: (۱) پیوند هیدروژنی شکسته شده، (۲) پیوند هیدروژنی تشکیل شده، (۳) پیوند فسفودی‌استر تشکیل شده و (۴) پیوند هیدروژنی نیز تشکیل می‌شود. نکته: پیوندهای تشکیل شده و شکسته شده دقیقاً مشابه مرحله طویل شدن! هستند.

(۱) پیوند هیدروژنی بین داکسی‌ریبونوکلئوتیدهای دو رشته الگو و رمزگذار مولکول DNA در محل توالی پایان شکسته می‌شود.

(۲) پیوند هیدروژنی بین ریبونوکلئوتیدها با داکسی‌ریبونوکلئوتید مقابل آن در محل توالی پایان تشکیل می‌شود.

(۳) پیوند فسفودی‌استر بین ریبونوکلئوتیدهای رونوشت توالی پایان تشکیل می‌شود. به عبارت دیگر رونویسی توالی پایان به طور کامل انجام می‌شود!

(۱) پیوند هیدروژنی بین ریبونوکلئوتیدهای رونوشت توالی پایان و داکسی‌ریبونوکلئوتیدهای توالی پایان شکسته می‌شود.

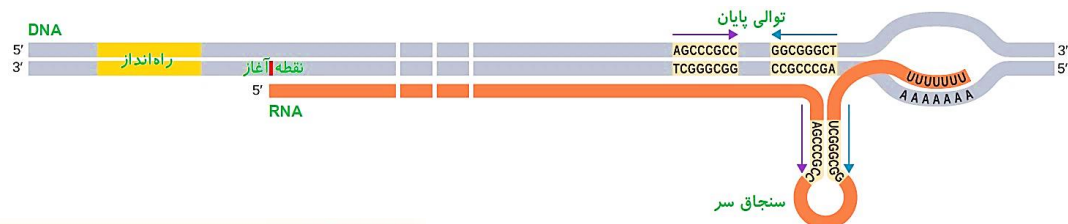
(۴) پیوند هیدروژنی بین داکسی‌ریبونوکلئوتیدهای دو رشته الگو و رمزگذار مولکول DNA در محل توالی پایان دوباره تشکیل می‌شود.

ویژگی‌های توالی پایان رونویسی

- (۱) بخشی از DNA که در انتهای ژن قرار دارد. پس از رونویسی کامل این توالی، فرایند رونویسی به اتمام می‌رسد.
- (۲) این توالی از جنس DNA است و تمام ویژگی‌های آن را دارا است.
- (۳) به عنوان مثال دارای قند داکسی‌ریبوز، بازهای آدنین، گوانین، سیتوزین و تیمین و فاقد یوراسیل است.
- (۴) هم‌پنین دارای پیوندهای قند - باز، قند - فسفات، فسفودی‌استر و هیدروژنی است.
- (۵) این توالی در مرحله S (اینترفاز به وسیله آنزیم هلیکاز باز شده و به وسیله آنزیم DNA پلی‌مراز همانندسازی و ساقته می‌شود.
- (۶) هم‌پنین می‌تواند در مراحل G_۱، G_۰ و G_۲ توسط آنزیم RNA پلی‌مراز باز شده و رونویسی شود.
- (۷) می‌توان گفت در یوکاریوت‌ها این توالی جزء آفرین اکزون و رونوشت آن جزء رونوشت آفرین اکزون است.

نگاهی دقیق به توالی پایان

امروزه می‌دانیم که توالی‌های غنی از C ≡ G موسوم به سنباق سر (hairpin)، بخش‌های مکملی را در انتهای ژن‌ها ایجاد نموده، رونوشت این توالی‌ها بر روی mRNA با تشکیل پیوندی هیدروژنی، سبب تشکیل ساختمانی مشابه سنباق سر شده و مانع پیشروی آنزیم RNA پلی‌مراز و پایان یافتن رونویسی می‌شوند.

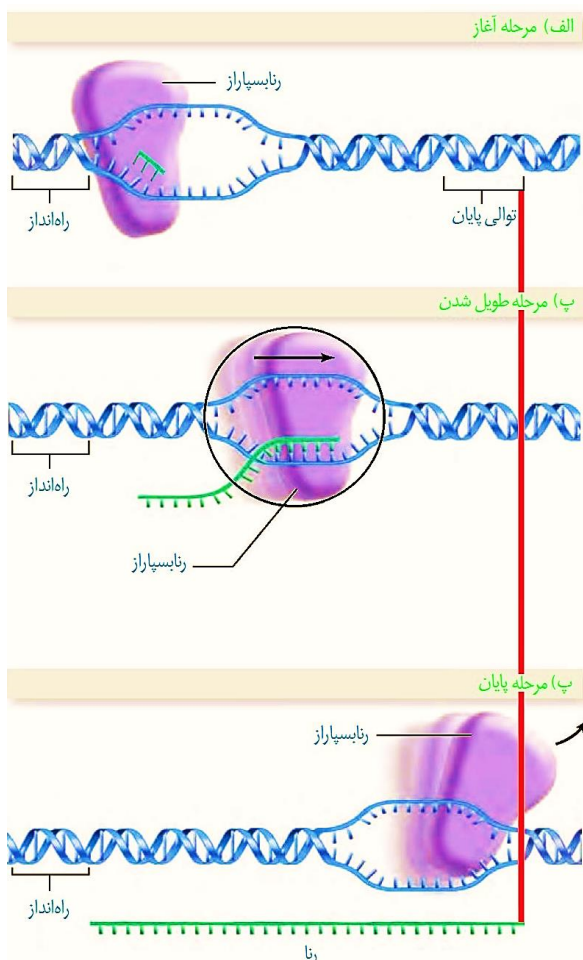


شکل ۲- مراحل مختلف رونویسی

- (۱) توالی راه‌انداز جز ژن محسوب نمی‌شود.
- + این توالی قبل از همه ژن‌ها وجود دارد.
- + این توالی جزء بخش‌های تنظیمی ژن است.
- + در مرحله آغاز رونویسی، راه‌انداز به وسیله آنزیم RNA پلی‌مراز از هم باز می‌شود.
- x بنابراین، آنزیم RNA پلی‌مراز باعث شکستن پیوندهای هیدروژنی راه‌انداز می‌شود.
- + ژن فقط شامل بخش رونویسی شونده است.
- + ژن قطعه‌ای از DNA دورشته‌ای است.
- + ژن از نقطه آغاز رونویسی شروع شده تا انتهای توالی پایان رونویسی ادامه دارد.
- (۲) نقطه آغاز رونویسی فقط یک نوکلئوتید بر روی رشته الگوی DNA است.
- + این نقطه اولین نوکلئوتیدی است که از روی آن رونویسی شروع می‌شود.
- (۳) توالی پایان بخشی از DNA دو رشته‌ای است که در پایان ژن قرار گرفته است.
- + همان‌طور که می‌بینیم توالی پایان به طور کامل رونویسی می‌شود.

فقط یکی از دو رشته دنا در هر ژن رونویسی می‌شود

همان‌طور که گفته شد، ژن بخشی از مولکول دنا که دو رشته‌ای است ولی رونویسی از روی هر دو رشته یک ژن انجام نمی‌شود. به نظر شما اگر از روی دو رشته یک ژن رونویسی انجام می‌شد، محصولات این دو رشته مکمل یعنی RNA و پلی‌پپتید نسبت به هم چگونه می‌شدند؟ مسلماً رنا و پلی‌پپتید ساخته شده از روی دو رشته مکمل دنا بسیار متفاوت می‌شدند.



بنابراین برای هر ژن خاص، همیشه و فقط یکی از دو رشته رونویسی می‌شود. به بخشی از رشته دنا که مکمل رشته رنای رونویسی شده است **رشته الگو** می‌گویند (شکل ۲-الف). به رشته مکمل همین بخش در مولکول دنا، **رشته رمزگذار** گفته می‌شود، زیرا توالی نوکلئوتیدی آن شبیه رشته رنای است که از روی رشته الگوی آن ساخته می‌شود.

به نظر شما رشته رنا با رشته رمزگذار چه تفاوت‌هایی می‌تواند داشته باشد؟ پاسخ در **نوکلئوتیدهای** مورد استفاده است؛ مثلاً به جای نوکلئوتید تیمین دار در دنا، نوکلئوتید یوراسیل دار در رنا قرار دارد.

رشته مورد رونویسی یک ژن ممکن است با رشته مورد رونویسی ژن مجاور خود یکسان یا متفاوت باشد. همان طور که در شکل ۳ می‌بینید رشته دنای مورد رونویسی برای سه ژن نشان داده شده یکسان نیست.



شکل ۳- همان طور که در شکل مشاهده می‌شود، فقط یکی از دو رشته هر ژن رونویسی می‌شود.

نکاتی در مورد توالی‌های تنظیمی ژن‌های مجاور

۱) گاهی اوقات توالی‌های راه‌انداز ژن‌ها می‌توانند در مجاورت یکدیگر واقع شوند.

+ در این صورت نحوه خواندن نوکلئوتیدهای این ژن‌ها قطعاً عکس همدیگر و رشته الگوی آنها تماماً متفاوت خواهد بود.

+ بنابراین می‌توان گفت، در هر فاصله بین ژنی ممکن است صفر، یک یا دو عدد راه‌انداز وجود داشته باشد.

۲) بر اساس کتاب راه‌انداز و دیگر بخش‌های تنظیمی از قبیل آپراتور، جایگاه اتصال فعال‌کننده، افزاینده‌ها و ... جزء ژن محسوب نمی‌شوند.

+ این توالی‌ها را بر اساس کتاب می‌توان جزء فواصل بین ژنی به حساب آورد!

+ این توالی‌ها هیچ‌گاه جز بخش رونویسی شونده یا همان ژن به حساب نمی‌آیند.

x به ندرت در برخی از اپران‌ها ممکن است بخشی از آپراتور هم رونویسی شود!

رناهای ساخته شده دچار تغییر می‌شوند

در چند دهه گذشته، پژوهشگران دریافته‌اند که در **یاخته‌های یوکاریوتی**، همه انواع رناهای ساخته شده در رونویسی یعنی همان RNA موجود در هسته یا

RNA نابالغ با رنایی که در سیتوپلاسم وجود دارد و RNA بالغ نامیده می‌شود تفاوت‌هایی دارد. بعدها مشخص شد که این تغییرات در بسیاری از سه نوع RNA یوکاریوتی انجام می‌شود و این مولکول‌ها برای انجام کارهای خود دستخوش تغییراتی می‌شوند.

نکاتی در مورد تغییرات RNA

۱) پیرایش RNA فقط مخصوص یوکاریوت‌هاست و در پروکاریوت‌ها مشاهده نمی‌شود!

+ امروزه می‌دانیم که در پروکاریوت‌ها هم تغییرات RNA کمابیش مشاهده می‌شود.

x طبق کتاب، مولکول‌های tRNA هم در پروکاریوت‌ها و هم در یوکاریوت‌ها دچار تغییر می‌شوند.

۲) در یوکاریوت‌ها بسیاری از RNAها دچار تغییرات پس از رونویسی می‌شوند.

+ این تغییرات ممکن است در هر سه نوع RNA اصلی یعنی mRNA، tRNA و rRNA مشاهده شود.

تغییرات رنای پیک

رنای پیک در یوکاریوت‌ها ممکن است دستخوش تغییراتی در حین رونویسی و یا پس از آن شود.

+ تغییرات در حین رونویسی: مانند اضافه شدن کلاهک به انتهای ۵' پیریم

+ تغییرات پس از رونویسی: که شامل موارد زیر است.

x مانند فرایند پیرایش یا حذف رونوشت اینترون‌ها و اتصال رونوشت اکزون‌ها به همدیگر

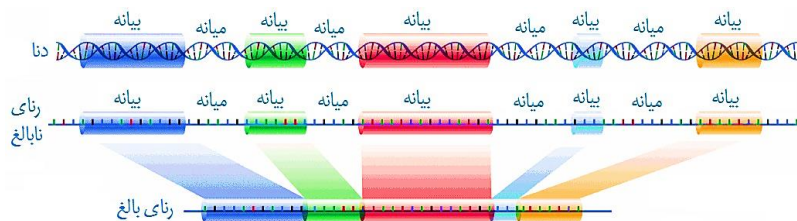
x اضافه شدن دم به انتهای ۳' پیریم

یکی از این تغییرات که فقط در یوکاریوت‌ها و پس از رونویسی متداول است، حذف بخش‌هایی از مولکول رنای پیک است. در بعضی ژن‌های یوکاریوتی،

توالی‌های معینی از رنای ساخته شده به نام رونوشت اینترون‌ها، با شکستن پیوند فسفودی‌استر از هم جدا و دوباره با شکستن پیوند فسفودی‌استر حذف می‌شوند و

سایر بخش‌ها یعنی رونوشت اکزون‌ها با تشکیل پیوند فسفودی‌استر به هم متصل می‌شوند و یک رنای پیک یکپارچه می‌سازند. به این فرایند پیرایش گفته

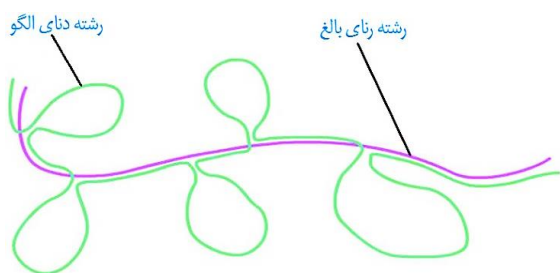
می‌شود (شکل ۴).



شکل ۴- پیرایش در بخشی از RNA یک ژن

نکته بسیار مهم: بدیهی است در فرایند پیرایش یعنی هنگام اتصال رونوشت اکزون‌ها به یکدیگر، نوکلئوتیدهای مونوفسفاته شرکت می‌کنند!

این فرایند هنگامی آشکار شد که دانشمندان در آزمایشگاه یک RNA پیک درون سیتوپلاسم یعنی mRNA بالغ را با رشته الگوی ژن آن در دنا مجاورت دادند. آنها به وسیله تصویربرداری با استفاده از میکروسکوپ الکترونی دریافتند که بخش‌هایی از دنا الگو با RNA رونویسی شده، دو رشته مکمل (تشکیل پیوندهای هیدروژنی در بخش‌های مکمل یا اکزون‌ها) را تشکیل می‌دهند ولی بخش‌هایی نیز فاقد مکمل (عدم تشکیل پیوندهای هیدروژنی در بخش‌های غیر مکمل یا اینترون‌ها) باقی می‌مانند. این بخش‌ها به صورت حلقه‌هایی بیرون از مولکول دو رشته‌ای قرار می‌گیرند. به این نواحی که در مولکول دنا وجود دارد ولی رونوشت آن در RNA پیک سیتوپلاسمی یعنی mRNA بالغ حذف شده میان (اینترون) می‌گویند. به سایر بخش‌های مولکول دنا، که رونوشت آنها حذف نمی‌شوند بیان (اکزون) گفته می‌شود (شکل ۵).



شکل ۵- طرح ساده‌ای از رشته الگوی مولکول دنا و RNA بالغ حاصل از آن. به نظر شما حلقه‌های سبز

میان هستند یا بیان؟ اینترون، چون مکمل آنها در RNA بالغ وجود ندارد.

در واقع RNA رونویسی شده از رشته الگو، در ابتدا درون هسته که درون هسته رخ می‌دهد RNA بالغ ساخته می‌شود. این رونوشت‌ها از RNA اولیه و پیوستن بخش‌های باقی‌مانده به هم، که در درون هسته رخ می‌دهد RNA بالغ ساخته می‌شود.

نکاتی در مورد تغییرات mRNA

- ۱) در مولکول DNA اینترون و اکزون مشاهده می‌شود. اما در مولکول RNA رونوشت اینترون و رونوشت اکزون دیده می‌شود.
- ۲) اینترون‌ها و اکزون‌ها معمولاً چهار تغییر نمی‌شوند مگر این‌که در آنها جهش رخ دهد. اما رونوشت‌های آنها دچار تغییر می‌شوند.
- ۳) تعداد اکزون‌ها معمولاً یکی بیشتر از تعداد اینترون‌هاست. بنابراین تعداد رونوشت‌های اکزون هم یکی بیشتر از رونوشت‌های اینترون خواهد بود.
- ۴) اینترون و اکزون از جنس DNA بوده بنابراین تمام ویژگی‌های DNA را دارا هستند.
 - + به عنوان مثال دارای قند داکسی‌ریبوز، بازهای آدنین، گوانین، سیتوزین و تیمین و فاقد یوراسیل است.
 - + هم‌چنین دارای پیوندهای قند - باز، قند - فسفات، فسفودی‌استر و هیدروژنی هستند.
 - + این بخش‌ها، در مرحله S اینترفاز به وسیله آنزیم هلیکاز باز شده و به وسیله آنزیم DNA پلی‌مراز همانندسازی و سافته می‌شوند.
 - + هم‌چنین می‌توانند در مراحل G₁، G₂ و توسط آنزیم RNA پلی‌مراز باز شده و رونویسی شوند.
- ۵) رونوشت‌های اینترون و اکزون از جنس RNA بوده بنابراین تمام ویژگی‌های RNA را دارا هستند.
 - + به عنوان مثال دارای قند ریبوز، بازهای آدنین، گوانین، سیتوزین و یوراسیل بوده و فاقد تیمین هستند.
 - + هم‌چنین دارای پیوندهای قند - باز، قند - فسفات، فسفودی‌استر و فاقد پیوند هیدروژنی هستند.
- ۶) تغییرات mRNA شامل سه اتفاق زیر است که فقط پیرایش در کتاب آمده است.
 - + اتفاق اول: اضافه شدن کلاهک به انتهای ۵' پریم: این اتفاق در ضمن رونویسی انجام می‌شود. کلاهک شامل یک متیل گوانوزین تری‌فسفات است.
 - x یکی از نقش‌های آن ممانعت از عمل آنزیم‌های ریپونکلیاز موجود در سیتوپلاسم و افزایش طول عمر mRNA است.
 - + اتفاق دوم: فرایند پیرایش: بر اساس کتاب! فرایند پیرایش که همان جدا شدن رونوشت‌های اینترون است، پس از رونویسی انجام می‌گیرد.
 - x در این فرایند با شکستن پیوند فسفودی‌استر بخش‌هایی از mRNA اولیه به نام رونوشت اینترون‌ها از آن جدا و نهایتاً تخریب می‌شوند.
 - x بخش‌های باقی‌مانده یا رونوشت اکزون‌ها نیز با ایجاد پیوند فسفودی‌استر به هم متصل شده و mRNA بالغ را به وجود می‌آورند.
 - بنابراین می‌توان گفت mRNA بالغ کوتاه‌تر از mRNA اولیه است و نسبت به آن پیوندهای فسفودی‌استر کمتری دارد.
 - + اتفاق سوم: اضافه شدن دم پلی‌A به انتهای ۳' پریم: این اتفاق پس از رونویسی انجام می‌گیرد.
 - x این دم نیز باعث افزایش طول عمر mRNA می‌شود و هرچه دم بلندتر باشد طول عمر mRNA نیز بیشتر خواهد بود.
- ۷) همه این تغییرات در هسته رخ می‌دهند و سپس mRNA بالغ از هسته بیرون آمده و وارد سیتوپلاسم می‌شود تا از روی آن ترجمه یا پروتئین‌سازی انجام شود.
- ۸) در شکل بالا ملکه‌ها، اینترون‌ها را نشان می‌دهند.

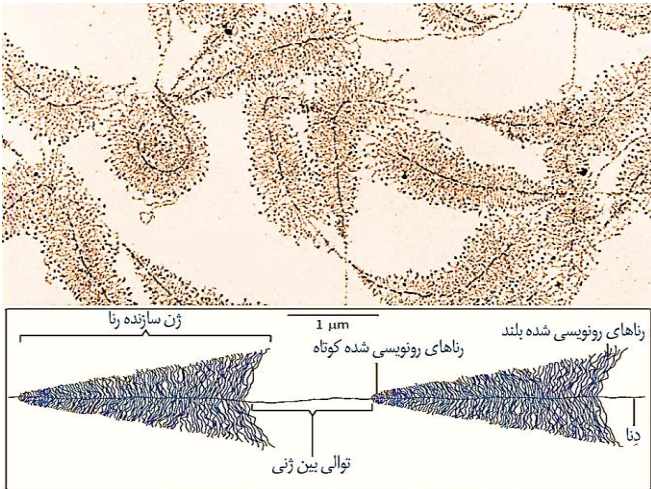
+ این تصویر نقاشی شده از یک تصویر حاصل از میکروسکوپ الکترونی است که در آزمایشگاه به دست آمده است.

+ در این شکل، شش عدد (گروه) (بخش‌های جفت شده: دارای رابطه مکملی و پیوند هیدروژنی) مشاهده می‌شود.

+ در این شکل، پنج عدد اینترون (حلقه‌ها: فاقد رابطه مکملی و پیوند هیدروژنی) مشاهده می‌شود.

شدت و میزان رونویسی (ساقتهای پَر مانند)

به طور کلی میزان رونویسی یک ژن به مقدار نیاز یاخته به فراورده‌های آن بستگی دارد. بعضی ژن‌ها، مانند ژن‌های سازنده رنای رناتنی در باخته‌های



تازه تقسیم شده بسیار فعال اند؛ زیرا باید تعداد زیادی از این نوع رنا را بسازند. در این نوع ژن‌ها، هم‌زمان (در یک دامنه زمانی نه به طور دقیق هم‌زمان!) تعداد زیادی مولکول رنابسپاراز از روی یک ژن رونویسی می‌کنند. به این دلیل که در هر زمان، رنابسپارازها در مراحل مختلفی از مرحله طول کشیدن! رونویسی هستند، در زیر میکروسکوپ الکترونی، اندازه رناهای ساخته شده متفاوت دیده می‌شود. در این تصاویر رناها از اندازه کوتاه به بلند دیده می‌شود (شکل ۶). با توجه به شکل آیا

می‌توانید جهت رونویسی هر ژن را مشخص کنید؟ هر دو از چپ به راست

شکل ۶ - ساخته شدن هم‌زمان چندین رنا از روی ژن

در بالا تصویر میکروسکوپ الکترونی چندین ساقتهای پَر مانند و در پایین شکل دو عدد ساقتهای پَر مانند به صورت نقاشی شده نشان داده شده است.

نکاتی در مورد ساقتهای پَر مانند

۱) ساقتهای پَر مانند رونویسی هم‌زمان یا در یک بازه زمانی را برای یک ژن خاص نشان می‌دهد.

۲) در هر یک از ساقتهای پَر مانند موارد زیر قابل برداشت هستند:

+ بخشی از یک مولکول DNA یعنی یک ژن و تعداد بسیار زیادی مولکول RNA مشاهده می‌شود.

x اگر ساقتهای پَر مانند مربوط به یک آپران چندژنی در پروکاریوت باشد، آنگاه هر یک از مولکول‌های RNA رونوشت چند ژن را خواهند داشت نه یک ژن!

+ قطعاً همه مولکول‌های RNA از یک نوع هستند.

x به تعداد مولکول‌های RNA، حباب رونویسی وجود دارد.

+ قطعاً همه آنزیم‌های RNA پلی‌مراز از یک نوع هستند.

x به تعداد مولکول‌های RNA، آنزیم RNA پلی‌مراز در حال فعالیت هستند.

+ جهت رونویسی از سمت رشته‌های RNA کوتاه به طرف رشته‌های RNA بلند می‌باشد.

+ از نظر زمانی رشته‌های RNA بلند نسبت به رشته‌های کوتاه قدیمی‌تر هستند.

+ همه رشته‌های در حال رونویسی این ژن، در زمان‌های متفاوتی از مرحله طول کشیدن رونویسی هستند.

+ اگرچه همه مولکول‌های RNA در ساقتهای پَر مانند از نظر طول متفاوت هستند ولی در نهایت این مولکول‌ها از نظر نوکلئوتیدها یکسان خواهند بود.

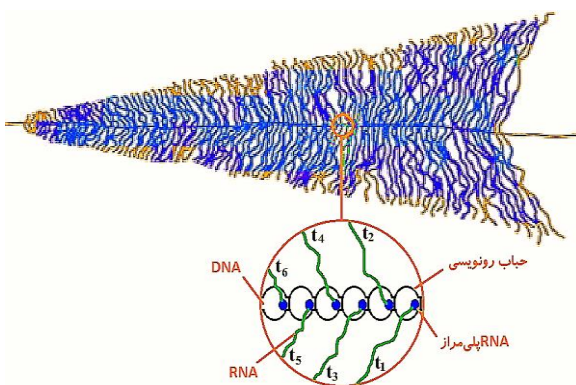
+ رونویسی از روی یک رشته از DNA انجام می‌شود نه هر دو رشته! هر چند برخی از رشته‌های RNA به سمت بالا یا پایین منحرف شده‌اند.

+ راه‌انداز و نقطه آغاز رونویسی به رشته‌های کوتاه‌تر RNA نزدیک‌تر هستند.

+ توالی پایان رونویسی نیز به رشته‌های بلندتر RNA نزدیک‌تر است.

+ رشته‌های کوتاه RNA به ابتدای ژن (یا آپران) و رشته‌های بلند RNA به انتهای

ژن (یا آپران) نزدیک‌تر هستند.



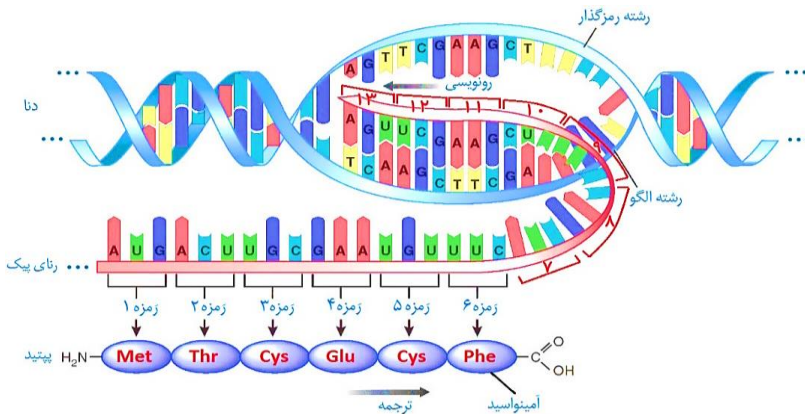
به سوی پروتئین

گفتار ۲

پلی‌پپتیدها از مهم‌ترین فراورده‌های ژن‌ها هستند. فراورده برقی از ژن‌ها فقط RNA است. پروتئین‌ها اعمال مختلفی مانند نقش آنزیمی، نقش گیرنده، نقش انتقالی، نقش حفاظتی، نقش انقباضی، نقش هورمونی و نقش تنظیمی را در بدن انجام می‌دهند که پیش از این با برخی از آنها آشنا شده‌اید. این که چگونه ژن‌ها و پروتئین‌های حاصل از آنها، صفات را ایجاد می‌کنند در آینده مورد بحث قرار می‌گیرند. در این گفتار به نحوه تبدیل اطلاعات وراثتی رنا، به پروتئین می‌پردازیم.

تبدیل زبان نوکلئیک اسیدی رنا به زبان پلی‌پپتیدی

دانستید که در فرایند رونویسی از روی توالی‌های دنا، رنا ساخته می‌شود که هر دو از نوکلئوتید تشکیل شده‌اند. ولی در ساختار پلی‌پپتیدها، آمینواسید وجود دارد. به ساختن شدن پلی‌پپتید از روی اطلاعات رنای پیک، ترجمه یا فرایند سنتز پروتئین می‌گویند. طرح ساده‌ای از ژن تا پلی‌پپتید را در شکل زیر مشاهده می‌کنید (شکل ۷).



شکل ۷- طرح ساده‌ای از تشکیل شدن پلی‌پپتید

نکاتی در مورد از ژن تا پلی‌پپتید: برای فهم بهتر موضوع، علاوه بر شکل بالا، شکل زیر را هم ملاظه کنید.

(۱) نکات کلی مربوط به فرایند

- + به خاطر هم‌زمانی رونویسی و ترجمه، شکل بالا مربوط به یک سلول پروکاریوت است!
- + جهت رونویسی و ترجمه همواره یکسان است. به عنوان مثال در این شکل جهت هر دو فرایند از راست به چپ است!

(۲) نکات مربوط به مولکول DNA

- + محل قرار گرفتن رانداز و نقطه آغاز رونویسی در سمت راست و توالی پایان رونویسی در سمت چپ است
- + بر روی مولکول DNA یا بر روی ژن مربوط به این پلی‌پپتید، حداقل ۷۸ نوکلئوتید وجود دارد!

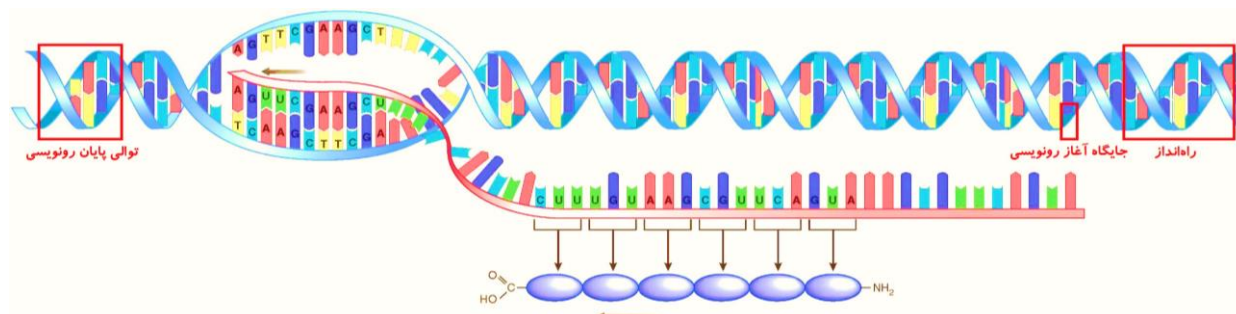
(۳) نکات مربوط به مولکول mRNA

- + به ازای هر سه نوکلئوتید یا هر کدون از یک طرف شش نوکلئوتید بر روی مولکول DNA یا ژن وجود دارد.
- + به ازای هر سه نوکلئوتید یا هر کدون از طرف دیگر یک آمینواسید بر روی رشته پلی‌پپتیدی وجود دارد.
- x در واقع به ازای هر کدون، یک آمینواسید بر روی رشته پلی‌پپتیدی قرار می‌گیرد.
- البته به جزء کدون پایان که به ازای آن هیچ آمینواسیدی قرار نمی‌گیرد.
- + بر روی مولکول RNA رونویسی شده نهایی، ۱۳ کدون و حداقل ۳۹ نوکلئوتید وجود دارد.
- + بر روی مولکول mRNA، قبل از کدون آغاز و بعد از کدون پایان نوکلئوتیدهایی وجود دارد که کدون محسوب نمی‌شوند:
- x قبل از کدون آغاز یا AUG تعدادی نوکلئوتید وجود دارند که آنها را کدون به حساب نمی‌آوریم! این نوکلئوتیدها را توالی رهبر می‌گویند.
- x بعد از کدون پایان نیز تعدادی نوکلئوتید وجود دارند که آنها را کدون به حساب نمی‌آوریم! این نوکلئوتیدها را توالی دنباله می‌گویند.

(۴) نکات مربوط به پلی‌پپتید در حال ساخت

- + پلی‌پپتید حاصله در نهایت ۱۲ آمینواسید و ۱۱ پیوند پپتیدی خواهد داشت.
- + در ضمن ساخته شدن این پلی‌پپتید علاوه بر مصرف انرژی، ۱۱ مولکول آب نیز ساخته شده است.
- + اولین آمینواسید شرکت کننده در پلی‌پپتیدها همواره متیونین است.
- + آمینواسید بعدی از طریق گروه آمین خود به گروه کربوکسیل متیونین متصل می‌شود.
- + در یک رشته پلی‌پپتیدی ممکن است علاوه بر متیونین آغازین، متیونین‌های دیگری حتی در انتهای رشته پلی‌پپتیدی هم وجود داشته باشد.
- + گروه آمینو آمینواسیدهای اضافه شده به گروه کربوکسیل پلی‌پپتید متصل شده و با هم پیوند پپتیدی که نوعی پیوند کووالانسی است را تشکیل می‌دهند.
- + در رشته‌های پلی‌پپتیدی ساخته شده یا در حال ساخت نیز در ابتدای رشته، گروه آمین و در انتهای آن، گروه کربوکسیل مشاهده می‌شود.
- + می‌توان گفت، آمینواسیدهای جدید از سمت آمین خود به زنجیره پلی‌پپتیدی در حال ساخت اضافه می‌شوند.

- + هم‌پنین می‌توان گفت، آمینواسیدها از سمت **کربوکسیل** خود به مولکول **tRNA** متصل شده و با این مولکول پیوند **کووالانسی** تشکیل می‌دهند!
- + در این شکل برای سافتن **پلی‌پپتید** به تعداد آمینواسیدها یعنی **۱۱ عدد مولکول tRNA** در فرایند ترجمه شرکت خواهند کرد.



توالی‌های ۳ نوکلئوتیدی رنای پیک یا **کدون‌ها** تعیین می‌کنند که کدام آمینواسیدها باید در ساختار پلی‌پپتید قرار بگیرند. به این توالی‌ها، **رمزه (کدون)** گفته می‌شود. در **یاخته ۶۴ نوع رمزه وجود دارد**. نکته قابل توجه این است که **رمزه آمینواسیدها در جانداران یکسان‌اند**. به نظر شما این موضوع بیانگر چه واقعیتی است؟ بیانگر این واقعیت است که همه جانداران از باکتری گرفته تا انسان منشأ **مشترکی** دارند (نظریه فرگشت).

رمزه‌های **UAA**، **UAG** و **UGA** هیچ آمینواسیدی را رمز نمی‌کنند که به آنها **رمزه پایان** می‌گویند. زیرا حضور این رمزه‌ها در رنای پیک موجب **پایان** یافتن عمل ترجمه می‌شود.

رمزه آغاز یا AUG رمزه‌ای است که ترجمه از آن **آغاز** می‌شود. این رمزه، معرف آمینواسید **متیونین** نیز است.

نکاتی در مورد کدون‌ها و آنتی‌کدون‌ها

- (۱) **تعداد** کدون‌ها در جانداران مختلف از باکتری گرفته تا انسان همواره **۶۴ نوع** است.
- (۲) در ترجمه به جزء **سه کدون پایان**، هر یک از کدون‌ها در مقابل خود یک **آنتی‌کدون** خواهند داشت!
- + بنابراین می‌توان گفت بر اساس کتاب! آنتی‌کدون‌ها نیز **۶۴ نوع** هستند.
- x هر چند بنا به دلایلی تعداد انواع آنتی‌کدون‌ها باز هم **کمتر** از این است!
- (۳) کدون شروع برای سنتز پروتئین یا فرایند ترجمه، همواره **AUG** است.
- + این کدون، هم‌پنین متعلق به آمینواسید **متیونین** است.
- + به همین دلیل سنتز همه پروتئین‌ها با **متیونین** آغاز می‌شود.
- + بر روی مولکول **tRNA**، **آنتی‌کدون** مربوط به کدون آغاز نیز **UAC** است.
- + بر روی رشته الگوی مولکول **DNA** یا ژن، نیز **کد ژنتیکی** یا توالی **TAC** متعلق به کدون آغاز است.
- (۴) کدون‌های **پایان** عبارتند از: **UAA**، **UAG** و **UGA**، که در فرایند ترجمه یکی از آنها شرکت می‌کند.
- + این کدون‌ها متعلق به هیچ آمینواسیدی نیستند.
- + به عبارت دیگر، به ازای کدون‌های **پایان** هیچ آنتی‌کدونی وجود ندارد.
- + پس می‌توان گفت در سلول‌ها، آنتی‌کدون‌هایی با توالی‌های **AUU**، **AUC** و **ACU** وجود خارجی ندارند.
- + بر روی رشته الگوی مولکول **DNA** یا ژن نیز **کدهای ژنتیکی** یا توالی‌ها **ATT**، **ATC** و **ACT** متعلق به این کدون‌ها هستند.

The Genetic Code					
Second letter of codon					
		U	C	A	G
First letter of codon	U	UUU } Phenylalanine (Phe; F) UUC } UUA } Leucine (Leu; L) UUG }	UCU } UCC } Serine (Ser; S) UCA } UCG }	UAU } Tyrosine (Tyr; Y) UAC } UAA Stop UAG Stop	UGU } Cysteine (Cys; C) UGC } UGA Stop UGG Tryptophan (Trp; W)
	C	CUU } CUC } Leucine (Leu; L) CUA } CUG }	CCU } CCC } Proline (Pro; P) CCA } CCG }	CAU } Histidine (His; H) CAC } CAA } Glutamine (Gln; Q) CAG }	CGU } CGC } Arginine (Arg; R) CGA } CGG }
	A	AUU } AUC } Isoleucine (Ile; I) AUA } AUG Start Methionine (Met; M)	ACU } ACC } Threonine (Thr; T) ACA } ACG }	AAU } Asparagine (Asn; N) AAC } AAA } Lysine (Lys; K) AAG }	AGU } Serine (Ser; S) AGC } AGA } Arginine (Arg; R) AGG }
	G	GUU } GUC } Valine (Val; V) GUA } GUG }	GCU } GCC } Alanine (Ala; A) GCA } GCG }	GAU } Aspartic acid (Asp; D) GAC } GAA } Glutamic acid (Glu; E) GAG }	GGU } GGC } Glycine (Gly; G) GGA } GGG }

ترجمه نیازمند عوامل مختلفی است. ترجمه را می‌توان به یک فرایند آشپزی از روی کتاب آن تشبیه کرد.

در این تشبیه:

- مولکول DNA ← نویسنده کتاب آشپزی که می‌بایست دستورات او مو به مو اجرا شوند!
- مولکول mRNA ← کتاب آشپزی که رابط بین نویسنده و شماست، و شما از روی آن آشپزی خواهید کرد!
- مولکول rRNA ← شما که آشپز هستید! و البته شما درون آشپزخانه یا ریبوزوم هستید!
- مولکول tRNA ← کمک آشپز! در اینجا داشتن کوپیکه (☺) که آمینواسیدها را برای شما می‌آورد.
- آنزیم متصل کننده آمینواسید به tRNA ← مامان یا آنزیم مامان! که آمینواسیدها را به داشتن کوپیکه می‌دهد!
- آمینواسیدها ← مواد اولیه غذایی از قبیل کلم، گوجه‌فرنگی، هویج و ...
- پلی‌پپتید یا پروتئین حاصل ← سوپ یا غذای تهیه شده

بر اساس دستورالعمل این کتاب، مواد اولیه به مقدار و ترتیب خاصی استفاده و غذای خاصی درست می‌شود. در ترجمه هم بر اساس رمزه‌های رنای پیک، پلی‌پپتید خاصی ساخته می‌شود. مواد اولیه مصرفی در ترجمه، آمینواسیدها هستند. رنات‌ها و رناهای ناقل از دیگر عوامل لازم در ترجمه هستند. از آنجا که سنتز پروتئین یا ترجمه همانند دیگر واکنش‌های سنتزی درون سلول به انرژی نیاز دارد بنابراین انرژی لازم برای تهیه پلی‌پپتید هم از مولکول‌های پرانرژی مانند ATP به دست می‌آید. لازم به ذکر است، این انرژی همواره از مولکول‌های ATP به دست نمی‌آید!

ساختار رنای ناقل

هم در پروکاریوت‌ها و هم در یوکاریوت‌ها! رنای ناقل پس از رونویسی دچار تغییراتی می‌شود. در ساختار نهایی رنای ناقل، نوکلئوتیدهای مکمل می‌توانند پیوند هیدروژنی ایجاد کنند.

ساختارهای سه گانه مولکول tRNA:

رنای تک‌ رشته‌ای با ساختار اول پروتئین‌ها قابل مقایسه است!

این ساختار با تشکیل پیوند هیدروژنی روی خود تا می‌خورد که با ساختار دوم پروتئین‌ها قابل مقایسه است! (شکل ۸- الف).

رنای ناقل تا خوردگی‌های مجددی پیدا می‌کند که ساختار سه بعدی قابل مقایسه با ساختار سوم پروتئین‌ها! را به وجود می‌آورد.

در این ساختار دو بخش مهم وجود دارد:

۱) یک بخش یکسان که در همه tRNAها دارای توالی CCA بوده، و محل اتصال آمینواسید است.

۲) بخش دیگری که در همه tRNAها منحصراً به فرد بوده، و دارای توالی سه نوکلئوتیدی به نام پادرمزه (آنتی کدون) است (شکل ۸).

+ به نظر شما علت این نام‌گذاری چیست؟ چون مکمل کدون‌ها هستند.

+ هنگام ترجمه، این توالی با توالی رمزه مکمل خود پیوند هیدروژنی مناسب برقرار می‌کند.

x پس می‌توان گفت پیوند هیدروژنی، در بخش‌های مختلف یک رشته RNA مشاهده می‌شود.

- البته به هنگام ترجمه، پیوند هیدروژنی بین دو رشته متفاوت RNA یعنی tRNA و mRNA هم دیده شود!

در همه رناهای ناقل به جز در ناحیه پادرمزه‌ای، توالی‌های مشابهی (نه یکسانی!) وجود دارد. انتظار این است که به تعداد انواع رمزه‌ها، پادرمزه وجود داشته باشد ولی تعداد انواع پادرمزه‌ها کمتر از رمزه‌ها است؛ مثلاً برای رمزه‌های پایان، رنای ناقل وجود ندارد.

بنابراین در ساختار این مولکول سه نوع توالی وجود دارد: توالی یکسان: محل اتصال آمینواسید، در شکل به رنگ زرد توالی منحصراً به فرد: همان توالی آنتی‌کدون

یا محل اتصال به مولکول mRNA، در شکل به رنگ قرمز، توالی مشابه: شامل بقیه قسمت‌های مولکول، در شکل به رنگ سبز

شکل ۸- رنای ناقل (الف تاخوردگی اولیه ب) ساختار سه بعدی

ساختارهای سه گانه مولکول tRNA:

۱) ساختار اول: همان توالی ریبونوکلئوتیدها در رشته پلی‌نوکلئوتیدی،

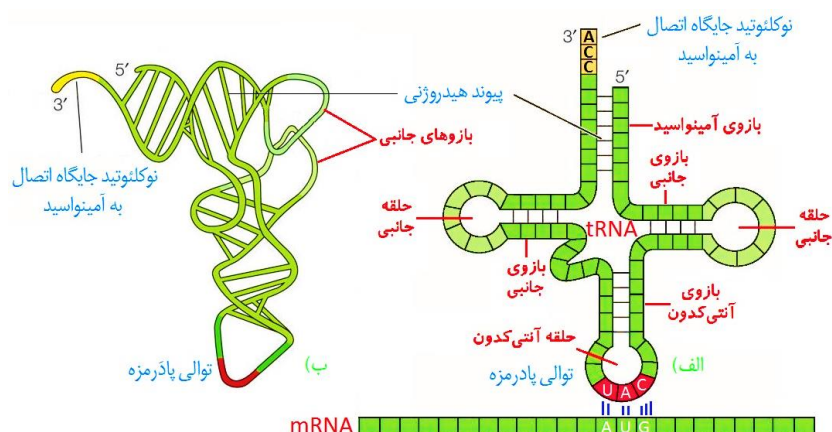
که دارای پیوندهای کووالانسی یا فسفودی‌استر بین ریبونوکلئوتیدها است و از روی ژن‌های خاص ساخته می‌شوند.

۲) ساختار دوم: همان تاخوردگی اولیه یا ساختار برگ شبدری، که نتیجه

تشکیل پیوندهای هیدروژنی بین بخش‌های مختلف یک رشته پلی‌نوکلئوتیدی است.

۳) ساختار سوم: همان ساختار سه بعدی یا L مانند، که نتیجه تشکیل

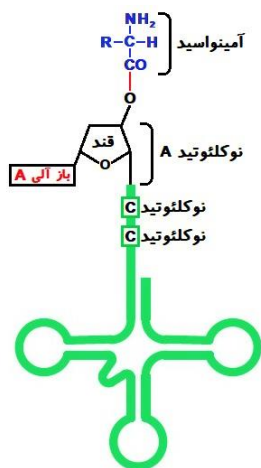
مجدد پیوندهای هیدروژنی بین نوکلئوتیدهای غیر مکمل است.



- (۱) در مولکول tRNA رابطه مکملی وجود دارد (اما رابطه پارکاف صادق نیست)!
- (۲) رابطه مکملی بین بخش‌های مکمل یک رشته پلی‌نوکلئوتیدی تشکیل می‌شود.
- (۳) مولکول tRNA دارای سه سافتار است که این سافتارها قابل مقایسه با سافتارهای اول تا سوم پروتئین‌ها هستند.
- + سافتار اول: توالی نطی نوکلئوتیدی که حاصل رونویسی مستقیم از روی ژن تولید کننده tRNA است.
- x این سافتان در یوکاریوت‌ها در درون هسته مشاهده می‌شود. در این سافتان فقط پیوند فسفودی‌استر دیده می‌شود.
- + سافتار دوم: تافوردگی اولیه که سافتار «برگ شبدری» نیز نامیده می‌شود و حاصل پیوندهای هیدروژنی بین بخش‌های مکمل این مولکول است.
- x در این سافتان علاوه بر پیوند فسفودی‌استر پیوندهای هیدروژنی بین نوکلئوتیدهای مکمل هم دیده می‌شود.
- + سافتار سوم: سافتار سه بعدی یا سافتار «L مانند» که به دلیل پیوندهای هیدروژنی بین نوکلئوتیدهای غیر مکمل تافوردگی‌های بیشتری پیدا می‌کند.
- + در واقع، سافتار سوم شکل فعال مولکول tRNA در سلول بوده و به آمینواسیدها متصل شده و آنها را به محل ترجمه یا پروتئین‌سازی انتقال می‌دهد.

نکاتی در مورد سافتار دوم مولکول tRNA (تافوردگی اولیه)

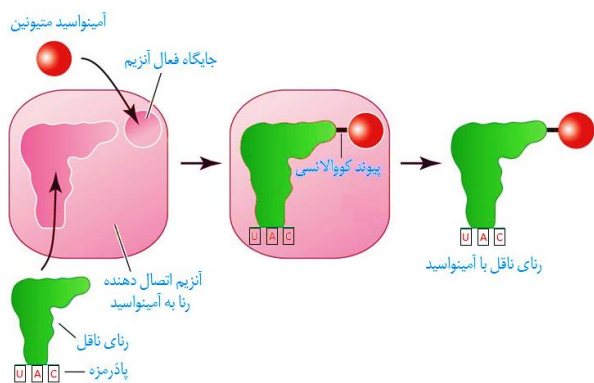
- (۱) سافتار دوم مولکول tRNA دارای چهار باز و سه حلقه است.
- + یکی از این چهار باز فاقد حلقه و سه بازوی دیگر دارای حلقه هستند.
- + در محل بازوها پیوند هیدروژنی وجود دارد ولی در محل حلقه‌ها بازها غیر مکمل بوده و فاقد پیوند هیدروژنی هستند.
- + برخی از بازهای درون بازوها اگرچه روبه‌روی یکدیگر قرار گرفته‌اند ولی همانند بازهای درون حلقه‌ها فاقد رابطه مکملی و پیوند هیدروژنی هستند!
- + بین بازوهای آنتی‌کدون و یکی از بازوهای کناری که به انتهای ۳' پریم و آمینواسید ختم می‌شود یک بازو یا حلقه کوچک مشاهده می‌شود.
- x این بازو یا حلقه کوچک و فرعی، بازو یا حلقه متغیر نامیده می‌شود.
- (۲) بازوی آنتی‌کدون: این بازو به حلقه آنتی‌کدون منتهی می‌شود.
- + در بخشی از حلقه آنتی‌کدون سه نوکلئوتید به نام آنتی‌کدون وجود دارد.
- x آنتی‌کدون مکمل کدون‌های mRNA بوده و به هنگام ترجمه با آنها پیوند هیدروژنی تشکیل می‌دهند.
- x آنتی‌کدون وجه تمایز یا بخش منصرف به فرد مولکول‌های tRNA است.
- x با توجه به کتاب! می‌توان برداشت نمود که ۶۱ نوع آنتی‌کدون و در نتیجه ۶۱ نوع tRNA در طبیعت وجود دارد.
- در واقع تعداد آنتی‌کدون‌ها و در نتیجه تعداد tRNA‌ها در هر سلول از این هم کمتر است!
- (۳) بازوی آمینواسید: این بازو دارای یک توالی ویژه به نام CCA است که در همه tRNA‌ها یکسان بوده و در تحقیقت وجه مشترک همه tRNA‌ها است.
- + بقیه بخش‌های این مولکول مشابه هستند ولی یکسان نیستند!



- + آمینواسید از طرف گروه کربوکسیل خود با گروه هیدروکسیل مربوط به قند ریبوز نوکلئوتید آدینین‌دار پیوند می‌دهد.
- x این پیوند نوعی پیوند کووالانسی است که در سیتوپلاسم سلول‌ها و با مصرف انرژی تشکیل می‌شود.
- آنزیم اتصال دهنده tRNA به آمینواسید یا «آمینواسید - tRNA سنتتاز» این پیوند را برقرار می‌کند.
- (۴) بازوهای جانبی: این دو بازو به حلقه‌های جانبی منتهی می‌شوند.
- + این بازوها و حلقه‌های منتهی به آنها در ضمن ترجمه، مولکول tRNA را روی ریبوزوم نگهداری می‌کنند.
- (۵) بر اساس کتاب! تعداد نوکلئوتیدها و نیز بازوهای آلی نیتروژن‌دار در هر سه حلقه این مولکول برابر هفت است!
- (۶) این سافتان در سلول به صورت فعال دیده نمی‌شود. شکل فعال این مولکول سافتار سه بعدی است.
- (۷) در تافوردگی اولیه یا سافتار برگ شبدری حلقه‌های جانبی حداکثر فاصله را از یکدیگر دارند!
- + برخلاف تافوردگی اولیه، در سافتار سه بعدی یا فعال، حلقه‌های جانبی در مجاورت همدیگر قرار گرفته‌اند.
- + همانند تافوردگی اولیه، در سافتار سه بعدی، محل اتصال آمینواسید و آنتی‌کدون بیشترین فاصله را از هم دارند.

نحوه عمل رنای ناقل: همان طور که گفته شد، آمینواسید با پیوند کووالانسی به رنای ناقل متصل می‌شود. حال پرسش این است که آیا هر نوع آمینواسید به هر نوع رنای ناقل می‌تواند متصل شود؟ خیر. اهمیت بخش پادرمزهای در این اتصال چیست؟ آنزیم اتصال دهنده tRNA به آمینواسید از روی این توالی تشخیص می‌دهد که کدام آمینواسید باید به کدام tRNA متصل شود.

در واقع در سیتوپلاسم، یاخته‌ها، آنزیم‌های ویژه‌ای شامل ۲۰ نوع آنزیم، به ازای ۲۰ نوع آمینواسید با نام کلی آنزیم‌های اتصال دهنده tRNA به آمینواسید وجود دارند که بر اساس نوع توالی پادرمزه، آمینواسید مناسب را به رنای ناقل متصل می‌کنند؛ یعنی آنزیم با تشخیص پادرمزه در رنای ناقل، آمینواسید مناسب را یافته و به آن وصل می‌کند. این فرایند نیازمند انرژی است (شکل ۹). این انرژی از مولکول ATP به دست می‌آید.



حال بر اساس آنچه تاکنون دربارهٔ رمزه‌ها خوانده‌اید آیا می‌توانید حدس بزنید رنای ناقل با چه توالی **پادرمزه‌ای** می‌تواند به آمینواسید **متیونین** متصل شود؟ با توالی آنتی‌کدون **UAC**.

شکل ۹- نحوهٔ پیوستن آمینواسید به رنای ناقل مربوط به خود توسط آنزیم ویژه آن

این اتفاق در سیتوپلاسم سلول‌ها رخ می‌دهد.

نکاتی در مورد آنزیم اتصال دهنده tRNA به آمینواسید

(۱) بر اساس شکل کتاب، این آنزیم در ساختمان خود یک جایگاه فعال برای قرار گرفتن آمینواسید و یک جایگاه برای قرار گرفتن tRNA دارد!

+ در واقع هر دو مولکول آمینواسید و tRNA در یک جایگاه فعال دو قسمتی قرار می‌گیرند!

+ مولکول ATP که برای انجام این واکنش مصرف می‌شود در شکل کتاب نشان داده نشده است!

x بر اساس شکل پیش‌نویس کتاب مولکول ATP وارد آنزیم نمی‌شود! هر چند در منابع دانشگاهی این مولکول هم وارد آنزیم می‌شود.

x نکته جالب این که در این واکنش مولکول ATP دو گروه فسفات خود را به صورت پیروفسفات از دست می‌دهد!

(۲) پیوند کووالانسی ایجاد شده بین گروه کربوکسیل آمینواسید و گروه هیدروکسیل قند ریبوز متعلق به آفرین نوکلئوتید tRNA تشکیل می‌شود.

+ این واکنش با آزاد نمودن یک مولکول آب در درون آنزیم و در جایی بین جایگاه فعال آنزیم و جایگاه ورود tRNA شکل می‌گیرد.

(۳) بر اساس کتاب، آنتی‌کدون سبب می‌شود تا آنزیم اتصال دهنده tRNA به آمینواسید بتواند آمینواسید درست را تشخیص دهد و آن را به tRNA متصل کند!

ساختار رناتن

دانستید که رناتن در ساخت پلی‌پپتید نقش دارد. رناتن‌ها از دو زیرواحد تشکیل شده‌اند (شکل ۱۰). هر زیرواحد نیز از رنا و پروتئین تشکیل شده است.

به یاد می‌آورید که رنای رناتنی به وسیله کدام رنابسپارازها ساخته می‌شود؟ RNA پلی‌مراز نوع ۱ در یوکاریوت‌ها و RNA پلی‌مراز نوع پروکاریوتی در پروکاریوت‌ها.

در یاخته، پروتئین‌های رناتنی ساخته شده و رنای مربوط به آنها در کنار هم قرار گرفته و زیرواحد کوچک و بزرگ رناتن را می‌سازند. فقط و فقط در صورت

انجام فرایند پروتئین‌سازی زیرواحدهای کوچک و بزرگ ریبوزوم، در کنار یکدیگر قرار گرفته و ساختار کامل ریبوزوم تشکیل

می‌شود. این اتفاق بدون تشکیل پیوند و فقط با استفاده از نیروهای جاذبه مثبت و منفی در غلظت بالای یون منیزیم انجام

می‌شود! رناتن در ساختار کامل، سه جایگاه به نام A، P و E دارد که در ادامه با آنها آشنا خواهیم شد.

شکل ۱۰- ترتیب قرارگیری زیرواحدهای رناتن

همان‌طور که در شکل می‌بینیم، هر کدام از زیرواحدهای ریبوزوم به تنهایی فاقد جایگاه‌های A، P و E هستند.

نکاتی در مورد ریبوزوم‌ها

(۱) تعداد ریبوزوم‌ها در سلول‌های انسان: در هر سلول پیکری انسان به طور متوسط حدود ۵۰۰ هزار ریبوزوم وجود دارد.

+ عمر هر یک از ریبوزوم‌ها حدود شش ساعت است!

+ سلول مقدار بسیار زیادی از ماده و انرژی خود را صرف ساختن ریبوزوم‌ها می‌کند!

(۲) انواع ریبوزوم از نظر ساختاری: ریبوزوم‌ها از نظر ساختاری دو نوع هستند.

+ در پروکاریوت‌ها یعنی باکتری‌ها، میتوکندری‌ها و کلروپلاست‌ها ریبوزوم‌های کوچک و ساده وجود دارند.

x این نوع ریبوزوم‌ها در باکتری‌ها درون سیتوپلاسم به صورت پراکنده مشاهده می‌شوند.

x این نوع ریبوزوم‌ها در میتوکندری و کلروپلاست، درون بستره به صورت پراکنده مشاهده می‌شوند.

+ در یوکاریوت‌ها یعنی آغازیان، قارچ‌ها، گیاهان و جانوران ریبوزوم‌های بزرگ و پیچیده یافت می‌شوند.

x به دلیل داشتن میتوکندری و کلروپلاست، در سلول‌های یوکاریوت هر دو نوع ریبوزوم یافت می‌شوند!

x ریبوزوم‌ها در یوکاریوت‌ها در پنج مکان مختلف دیده می‌شوند:

- روی پوشش خارجی هسته ریبوزوم‌های بزرگ و پیچیده یافت می‌شوند.

- روی شبکه آندوپلاسمی زیر یا فشر ریبوزوم‌های بزرگ و پیچیده یافت می‌شوند.

- به صورت آزاد در ماده زمینه سیتوپلاسم یا سیتوسل ریبوزوم‌های بزرگ و پیچیده یافت می‌شوند.

- درون ماده زمینه، ماتریکس یا بستره میتوکندری ریبوزوم‌های کوچک و ساده یافت می‌شوند.

- درون ماده زمینه، استروما یا بستره کلروپلاست ریبوزوم‌های کوچک و ساده یافت می‌شوند.

۱۳) مواد تشکیل دهنده ریبوزوم: هر ریبوزوم دارای دو زیرواحد کوچک و بزرگ است که هر کدام از تعدادی rRNA و تعدادی پروتئین یا پلی پپتید تشکیل شده اند.

+ برای ساخته شدن ریبوزوم ابتدا می بایست rRNA و پلی پپتیدهای مورد نیاز آن ساخته شوند.

x در پروکاریوت ها، همه این اتفاقات در سیتوپلاسم رخ می دهند.

- در میتوکندری و کلروپلاست نیز این اعمال در بستره به وقوع می پیوندد.

x در یوکاریوت ها، برای ساخته شدن ریبوزوم های بزرگ و پیچیده اتفاقات زیر می افتند:

- مولکول های rRNA در هسته توسط آنزیم RNA پلی مرز نوع I ساخته می شوند.

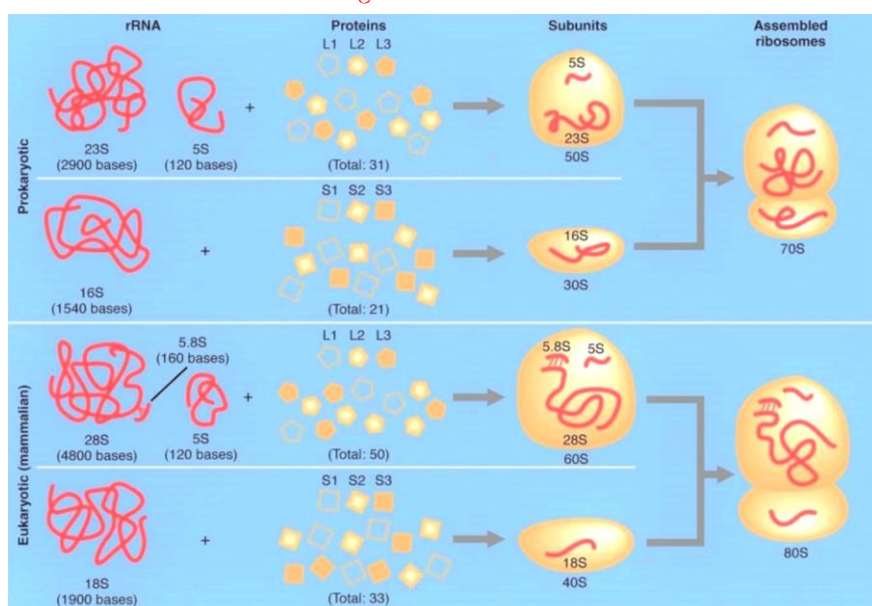
- پلی پپتیدها هم در سیتوپلاسم به وسیله ریبوزوم های قبلی ساخته شده و از راه منافذ هسته ای به هسته آورده می شوند.

- سپس این مولکول ها در هسته به همدیگر متصل شده و زیرواحدهای کوچک و بزرگ ریبوزوم ساخته می شوند.

- بعد از ساخته شدن زیرواحدها، این زیرواحدها از راه منافذ هسته ای از هسته خارج شده و وارد سیتوپلاسم می شوند.

- در نهایت در صورت اتمام فرایند پروتئین سازی این زیرواحدها در مجاورت همدیگر قرار گرفته تا ساختار ریبوزوم کامل شود.

- نکته مهم و جالب این که، در درون هسته یک سلول یوکاریوتی، هیچگاه ریبوزوم کامل وجود ندارد!



۱۴) جایگاه های موجود در ریبوزوم: ریبوزوم ها در ساختار کامل خود دارای سه جایگاه هستند که در درون هر دو زیرواحد کوچک و بزرگ تشکیل می شوند!

+ جایگاه A، که محل قرار گرفتن tRNA متصل به آمینو اسید است.

+ جایگاه P، که محل قرار گرفتن tRNA متصل به پلی پپتید است.

+ جایگاه E، که محل قرار گرفتن tRNA خالی شده و خروج است.

۱۵) نکات دیگری در مورد ریبوزوم ها

+ می توان گفت برای ساخته شدن ریبوزوم ها، سلول هم به پلی پپتید نیاز دارد و هم به مولکول های rRNA.

+ پس علاوه بر عمل ریبوزوم های قبلی برای پروتئین سازی، آنزیم های RNA پلی مرز نوع پروکاریوتی و نوع I هم وارد عمل می شوند.

+ تمام ریبوزوم های کامل شده درون سلول و تمام ریبوزوم های متصل به شبکه آندوپلاسمی زیر، در حال ترجمه و در مرحله طولی شدن هستند!

۱۶) rRNA های موجود در ریبوزوم: مولکول های rRNA موجود در ریبوزوم بسیار جالب و حائز اهمیت هستند:

+ در شروع ترجمه، نوعی rRNA که در زیرواحد کوچک قرار دارد، بخش های خاصی از mRNA را شناسایی نموده تا AUG آغاز را پیدا کند.

x در پروکاریوت ها: توالی شاین - دالگارنو این عمل را انجام می دهد.

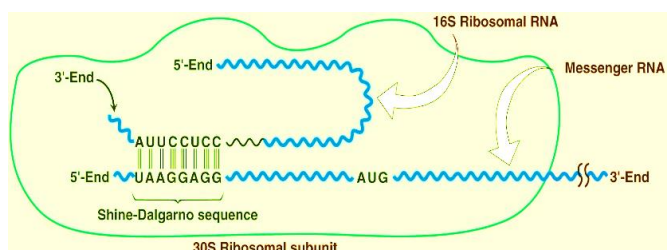
x در یوکاریوت ها: توالی کلاک و توالی دُم به همراه تعدادی پروتئین باعث این عمل می شوند.

+ در حین ترجمه، نوعی rRNA که در جایگاه A زیرواحد بزرگ ریبوزوم قرار داشته، با خاصیت آنزیمی پیوند پپتیدی بین آمینو اسیدها را ایجاد می کند.

+ در حین ترجمه، نوعی rRNA که در زیرواحد بزرگ قرار دارد، با تشکیل

پیوند هیدروژنی با قلعه های جانبی tRNA باعث نگهداری آن بر روی

ریبوزوم می شود.



مراحل ترجمه

ترجمه نیز فرایندی **پیوسته** است که برای سادگی در یادگیری آن را به سه مرحله **آغاز**، **طویل شدن** و **پایان** تقسیم می‌کنند.

مرحله آغاز: در این مرحله، اتفاقات زیر به ترتیب رخ می‌دهند:

۱) بخش‌هایی از **رنای پیک** (توالی‌شاین - دالگرنو در پروکاریوت‌ها و توالی کلاهِک و دُم در یوکاریوت‌ها)، زیرواحد کوچک رِناتِن را به سوی رمزه **آغاز** یعنی **کدون AUG**، هدایت می‌کند.

نکته مهم: قبل از شروع ترجمه، حرکت زیر واحد کوچک ریپوزوم مشاهده می‌شود.

(ن) سپس در این محل رنای ناقلی با آنتی‌کدون UAC که مکمل رمزه آغاز است و آن را tRNA آغازگر می‌گویند، با تشکیل هفت پیوند هیدروژنی به آن متصل می‌شود که مجموعه آغازین یا کمپلکس آغازین نامیده می‌شود.

(۱۵) با افزوده شدن زیر واحد **بزرگ** رناتن به این مجموعه، ساختار رناتن **کامل** می شود.

+ در این مرحله **استثنا** جایگاه P در رِئتن، محل قرارگیری رِئای ناقل دارای آمینواسید است.

این جایگاه در ابتدا توسط **رنای ناقل متیونین** اشغال می‌شود.

+ جایگاه A محل قرارگیری رنای ناقل **بعدی** و آمینواسید متصل به آن خواهد بود.

» پیوند پیتیدی توسط یکی از rRNAهای موجود در زیر واحد بزرگ ریبوزوم در جایگاه A برقرار می‌شود.

+ جایگاه E محل ، خروج رنای ناقل ، بدون آمینواسید است.

+ در مرحله آغاز فقط جایگاه P پر می شود و جایگاه های A و E خالی می مانند (شکل ۱۱).

x در جایگاه P بدون و آنتی‌کدون آغاز قرار دارند. در جایگاه A هم فقط بدون دوم قرار گرفته است. در جایگاه E هیچ بدون با آنتی‌کدون وجود ندارد!

شكل ١١ - مرحله آغاز ترجمه

نکاتی در مورد مرحله آغاز ترجمه

(۱) زیرواحد **کپیک** ریبوزوم ابتدا در **بالادست** کدون آغاز به mRNA متصل شده و سپس به سمت کدون آغاز هدایت می‌شود.

+ بین رشته rRNA زیرواحد کوچک ریبوزوم و توالی خاصی از mRNA رابطه مکملی ایجاد شده تا زیرواحد کوچک بتواند کدون آغاز را پیدا کند.

x در پروکاریوت‌ها: توالی فاص همان توالی شاین - دالگازنو است که این عمل را انجام می‌دهد.

x: در یوکاریوت‌ها: توالی‌های خاص همان توالی کلاهک و توالی دم به همراه تعدادی پروتئین هستند که باعث این عمل می‌شوند.

(b) در مرحله آغاز ترجمه، در خلاف دو مرحله بعد، پیوند هیدروژنی در جایگاه P تشکیل می‌شود.

+ در مرحله **ادامه** و **پایان** ترجمه، این پیوندها به ترتیب بین mRNA و tRNA و هم‌چنین mRNA و عامل آزادکننده در جایگاه A تشکیل می‌شوند.

(۱۳) برای همه پروتئین‌ها، بین کردن آغاز و آنتی‌کدون آغاز همواره **هفت** پیوند هیدروژنی تشکیل می‌شود.

(۱۰) بعد از تشکیل این پیوندها زیر واحد بزرگ ریپوزوم به زیر واحد کوچک آن متصل شده و جایگاه‌های سه‌گانه A, P و E شکل می‌گیرند.

۵) در مرحله آغاز ترجمه، فقط جایگاه P به وسیله tRNA آغازگر که ناقل آمینو اسید متیونین است، اشغال شده و دو جایگاه دیگر خالی هستند.

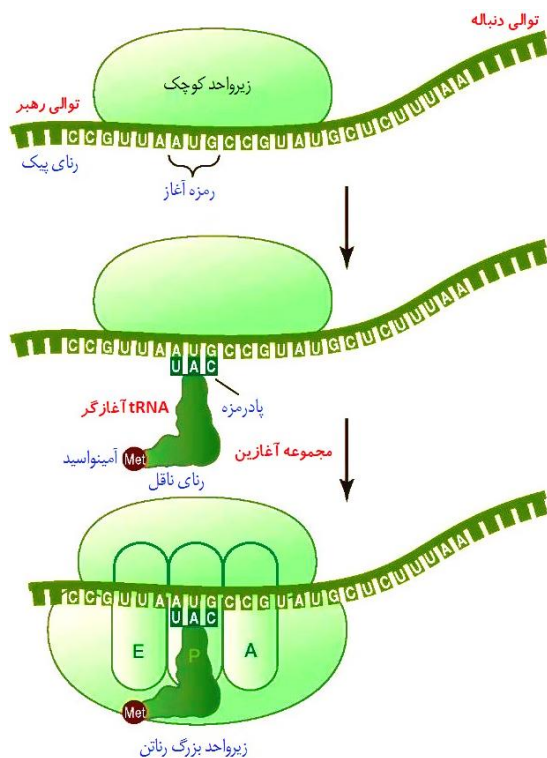
(۶) در این مرحله، کدون و آنتی‌کدون آغاز در جایگاه P، کدون دوم در جایگاه A و یک توآلی سه نوکلئوتیدی غیر کدونی! (از توآلی رهبر در جایگاه E قرار گرفته است.

۷) جایگاه‌های A, P و E که به ترتیب جایگاه آمینو اسید، پلی پپتید و جایگاه خروج tRNA بدون آمینو اسید هستند، فقط در مرحله طولی شدن این گونه هستند!

+ در مرحله آغاز: جایگاه P به وسیله tRNA حاوی یک آمینواسید (و نه پلی پپتید) اشغال شده است.

→ در مرحله **طویای شدن**: جایگاه A و P به وسیله tRNA حاوی آمینواسید و پلی پپتید و جایگاه E به وسیله tRNA خالی و بدون آمینواسید اشغال شده است

+ در مرحله **یابان**: جایگاه A به وسیله عامل **آزادکننده** اشغال شده و جایگاه E هم **فالی** است!



مرحله طولیل شدن: در این مرحله، اتفاقات زیر به ترتیب رخ می‌دهند:

(۱) ممکن است رناهای ناقل مختلفی وارد جایگاه A رناتن شوند ولی فقط رنایی که مکمل رمزه جایگاه A است، با تشکیل پیوند هیدروژنی **استقرار** پیدا می‌کند.
+ در غیر این صورت چون رابطه مکملی و پیوند هیدروژنی تشکیل نمی‌شود بنابراین جایگاه را **ترک** می‌کند.

x **نکته پالشی:** فقط جایگاه E ریبوزوم مخصوص خروج نیست، tRNAهای اشتباه و حامل آمینواسید می‌توانند از جایگاه A ریبوزوم هم خارج شوند!
(۲) **سپس** آمینواسید جایگاه P با شکستن پیوند کووالانسی از رنای ناقل خود جدا می‌شود و با آمینواسید موجود در جایگاه A پیوند پپتیدی برقرار می‌کند.
+ آیا می‌دانید پیوند حاصل چه نام دارد؟ بله، پیوند پپتیدی.

x این پیوند به وسیله یک آنزیم غیر پروتئینی از جنس rRNA به نام پپتیدیل ترانسفراز که نوعی ریبوزیم است، در جایگاه A ریبوزوم تشکیل می‌شود.
(۳) پس از تشکیل پیوند پپتیدی رناتن به اندازه یک رمزه یعنی سه نوکلئوتید بر روی mRNA به سوی رمزه پایان حرکت نموده و به پیش می‌رود.

+ لازم به ذکر است بر اساس کتاب، هم mRNA و هم tRNA در ضمن حرکت ریبوزوم ثابت هستند و حرکت نمی‌کنند!
(۴) در این موقع رنای ناقل که حامل رشته پپتیدی در حال ساخت است در جایگاه P قرار می‌گیرد (علت نام‌گذاری جایگاه P) و جایگاه A خالی می‌شود تا پذیرای رنای ناقل بعدی باشد.

+ رنای ناقل بدون آمینواسید نیز در جایگاه E قرار می‌گیرد و سپس با شکسته شدن پیوند هیدروژنی بین tRNA و mRNA از این جایگاه خارج می‌شود.
+ در زمانی که جایگاه A خالی و منتظر ورود یک tRNA متصل به آمینواسید است ممکن است اشتباه در ورود و ترک این جایگاه مانند آنچه در بالا گفته شد، صورت بگیرد!
(۵) این فرایند بارها تکرار می‌شود و طول زنجیره آمینواسیدی بیشتر می‌شود تا رناتن به یکی از رمزه‌های پایان برسد (شکل ۱۲).

+ لازم به ذکر است این دو اتفاق یعنی طولیل شدن زنجیره پلی‌پپتیدی و حرکت به سوی کدون پایان فقط در مرحله طولیل شدن رخ داده و هیچ‌گاه در دو مرحله دیگر رخ نمی‌دهند!

شکل ۱۲- مرحله طولیل شدن ترجمه

در مرحله طولیل شدن: (۱) پیوند هیدروژنی تشکیل شده، (۲) پیوند هیدروژنی شکسته شده، (۳) پیوند کووالانسی شکسته شده، (۴) پیوند پپتیدی تشکیل شده، (۵) تکرار مجدد (۱) پیوند هیدروژنی بین ریبونوکلئوتیدهای دومین آنتی کدون و ریبونوکلئوتیدهای دومین کدون در جایگاه A ریبوزوم تشکیل می‌شود.
(۲) پیوند هیدروژنی بین آنتی کدون‌ها و کدون‌ها در صورت نامناسب بودن رابطه مکملی، در جایگاه A ریبوزوم شکسته می‌شود.
(۳) پیوند کووالانسی بین آمینواسید اول و نوکلئوتید انتهایی tRNA در جایگاه P شکسته می‌شود.
(۴) پیوند پپتیدی بین آمینواسید دوم و آمینواسید اول در جایگاه A ریبوزوم تشکیل می‌شود.
(۲) پیوند هیدروژنی بین ریبونوکلئوتیدهای اولین آنتی کدون و ریبونوکلئوتیدهای اولین کدون در جایگاه E ریبوزوم شکسته می‌شود.
(۵) پیوندهای بالا به تعداد آمینواسیدهای پلی‌پپتیدی که قرار است ساخته شود، تکرار می‌شوند.

نکاتی در مورد مرحله طولیل شدن ترجمه

- (۱) در این مرحله، همانند مرحله آغاز و پایان هیچ‌گاه سه جایگاه ریبوزوم هم‌زمان اشغال نمی‌شوند! زیرا به طور هم‌زمان سه آنتی‌کدون درون ریبوزم قرار نمی‌گیرد.
- (۲) در این مرحله، پیوند هیدروژنی فقط در جایگاه A تشکیل می‌شود ولی در هر یک از جایگاه‌های سه‌گانه می‌تواند ۴، ۶، ۸ یا ۹ پیوند هیدروژنی وجود داشته باشد.
- (۳) در این مرحله، پیوند هیدروژنی در جایگاه A تشکیل یا شکسته شده، در جایگاه P نه تشکیل و نه شکسته شده و در جایگاه E فقط شکسته می‌شود.
- (۴) در ابتدای این مرحله اتفاقات جالبی می‌افتند:
+ جایگاه P ریبوزوم همانند جایگاه A آن دارای tRNA متصل به آمینواسید است.

+ همانند مرحله آغاز فقط دو کدون و پس از آن تا انتهای این مرحله سه کدون در جایگاه‌های سه‌گانه ریبوزوم قرار دارند.

+ در جایگاه A و E ریبوزوم، فروج tRNA یا شکستن پیوند هیدروژنی اتفاق می‌افتد! در جایگاه A، tRNA دارای آمینواسید! در جایگاه E، tRNA فاقد آمینواسید

(۵) در این مرحله، هر دو واکنش مهم زیستی یعنی هیدرولیز و سنتز آبدی به وسیله آنزیم rRNA به ترتیب در جایگاه P و A رخ می‌دهند:

(۶) در لفظه شکستن پیوند کووالانسی بین tRNA و آمینواسید متصل به آن، در جایگاه P همانند جایگاه E می‌توان tRNA فاقد آمینواسید مشاهده نمود!

(۷) در لفظه تشکیل پیوند پپتیدی بین پلی‌پپتید و آمینواسید و جابه‌جایی ریبوزوم، در جایگاه A همانند جایگاه P می‌توان tRNA متصل به پلی‌پپتید مشاهده نمود!

(۸) این مرحله تنها مرحله‌ای از ترجمه یا سنتز پروتئین است که در آن ریبوزوم روی کدون‌ها حرکت می‌کند و جابه‌جایی انجام می‌شود!

(۹) جایگاه‌های سه‌گانه A، P و E که به ترتیب جایگاه قرار گرفتن آمینواسید، پلی‌پپتید و جایگاه فروج tRNA بدون آمینواسید هستند فقط در این مرحله این‌گونه‌اند.

(۱۰) در مرحله ادامه، پس از تشکیل هر پیوند پپتیدی در جایگاه A ریبوزوم، یک جابه‌جایی به سمت کدون پایان انجام می‌شود.

(۱۱) بر اساس شکل کتاب، پس از هر حرکت ریبوزوم ابتدا جایگاه E خالی و بعد جایگاه A اشغال می‌شود. پس در یک لفظه کوتاه فقط جایگاه P اشغال شده است.

(۱۲) بر اساس شکل کتاب، به مض تشکیل اولین پیوند پپتیدی یا به مض تشکیل دسی‌پپتید، این مولکول از ریبوزوم بیرون زده و قابل مشاهده است!

(۱۳) امروزه می‌دانیم که آنزیم rRNA، در واقع سه عمل مختلف انجام می‌دهد. هر چند عمل سوم بر اساس کتاب به عوامل آزادکننده نسبت داده شده است:

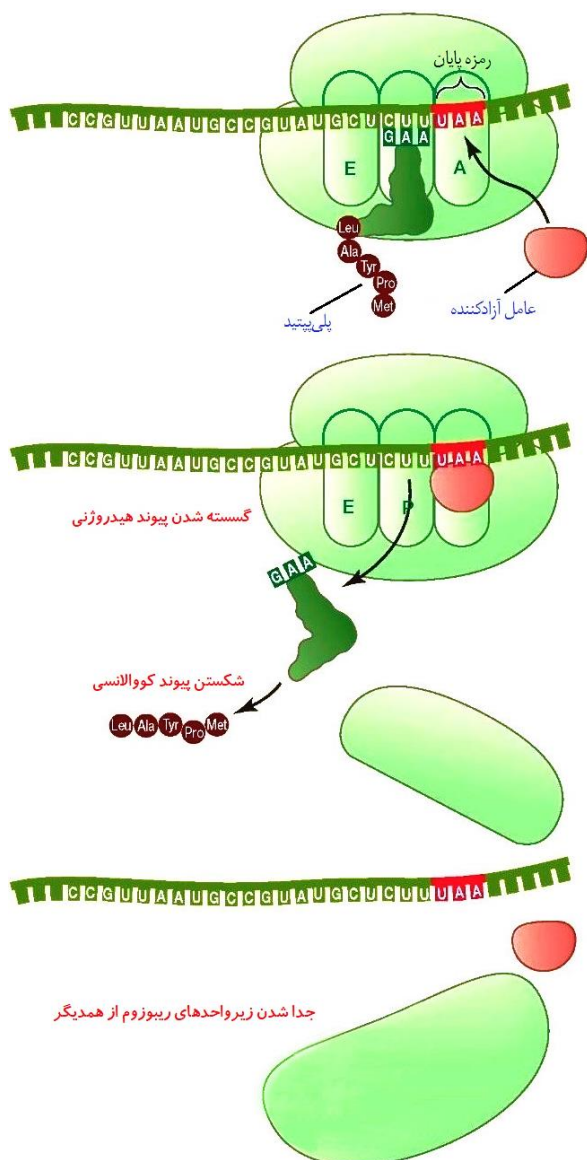
+ شکستن پیوند کووالانسی: جدا شدن متیونین در شروع مرحله طویل شدن از tRNA آغازگر، جدا شدن پلی‌پپتید در ادامه مرحله از tRNA حامل پلی‌پپتید

+ تشکیل پیوند پپتیدی: بین متیونین و آمینواسید دوم در شروع مرحله و بین پلی‌پپتید و آمینواسید بعدی در ادامه این مرحله

+ شکستن پیوند کووالانسی: جدا شدن پلی‌پپتید کامل شده در مرحله پایان از tRNA حامل پلی‌پپتید (بر اساس کتاب، کار عوامل آزادکننده است!)

مرحله پایان: در این مرحله، اتفاقات زیر به ترتیب رخ می‌دهند:

- (۱) با ورود یکی از رمزه‌های پایان ترجمه، یعنی یکی از کدون‌های UAA، UGA و UAG در جایگاه A، این مرحله شروع می‌شود.
- (۲) چون RNA ناقل مکمل آن وجود ندارد، این جایگاه توسط پروتئین‌هایی به نام عوامل آزادکننده با تشکیل پیوند هیدروژنی؟! اشغال می‌شود.
- + عوامل آزادکننده با شکستن پیوند کووالانسی باعث جدا شدن پلی‌پپتید از آخرین RNA ناقل می‌شوند.



- + همچنین این عوامل با شکستن پیوندهای هیدروژنی و نیروهای مثبت و منفی باعث جدا شدن زیرواحدهای رناتن از هم می‌شوند.
- + هم‌پنین این عوامل با شکستن پیوند هیدروژنی بین ریبونوکلوئیدیهای mRNA و tRNA باعث آزاد شدن RNA پیک می‌شوند.
- (۳) زیرواحدهای رناتن‌ها می‌توانند مجدداً به mRNA و tRNA حامل متیونین و نیز یکدیگر متصل شده و این مراحل را تکرار کنند.
- + تکرار این عمل باعث می‌شود تا چندین نسخه از یک پلی‌پپتید ساخته شود (شکل ۱۳).

شکل ۱۳- مرحله پایان ترجمه

در مرحله پایان: (۱) پیوند هیدروژنی تشکیل شده، (۲) پیوند کووالانسی شکسته شده، (۳) پیوندهای مثبت و منفی شکسته شده، (۴) پیوند هیدروژنی شکسته می‌شود.

(۱) پیوند هیدروژنی بین ریبونوکلوئیدهای جایگاه A و عامل آزادکننده تشکیل می‌شود!

(۲) پیوند کووالانسی بین پلی‌پپتید و آخرین tRNA می‌شود. به وسیله عامل آزادکننده البته بر اساس کتاب!!

(۳) پیوندهای هیدروژنی یا همان نیروهای مثبت و منفی بین زیرواحدهای ریبوزوم شکسته می‌شوند.

(۴) پیوندهای هیدروژنی بین ریبونوکلوئیدهای mRNA و tRNA در جایگاه P شکسته می‌شود.

نکاتی در مورد مرحله پایان ترجمه

(۱) پس از **آفرین** حرکت ریبوزوم روی mRNA و با **ورود** یکی از کدون‌های پایان (UAG, UGA, UAA) به جایگاه A این مرحله **شروع** می‌شود.

(۲) یادآوری می‌شود **قبل** از ورود این کدون به جایگاه A، جایگاه E مولکول tRNA **تود** را از دست داده است، بنابراین **بایگاه E** در این مرحله **هیچ نقشی ندارد**.

(۳) عوامل آزادکننده **متعدد** بوده ولی **فقط یکی** از آنها در جایگاه A ریبوزوم قرار می‌گیرد.

+ به نظر می‌رسد که بین عامل آزادکننده و کدون پایان پیوند **هیدروژنی** برقرار شود!

+ با شکستن پیوند **کووالانسی** باعث **جدل شدن** پلی‌پپتید از آفرین tRNA می‌شوند.

+ با شکستن پیوند **هیدروژنی** بین ریبونوکلوئیدهای mRNA و tRNA باعث **آزاد شدن** mRNA می‌شوند.

+ با شکستن پیوندهای **هیدروژنی** و نیروهای **مثبت و منفی** بین زیرواحدهای ریبوزوم باعث **جدل شدن** آنها از یکدیگر می‌شوند.

+ بر اساس شکل کتاب، **بعد** از اتصال عامل آزادکننده به جایگاه A ریبوزوم **دو** اتفاق زیر می‌افتند:

x **ابتدا** به طور **همزمان** شکستن پیوند **کووالانسی** بین پلی‌پپتید با tRNA و شکستن پیوند **هیدروژنی** بین mRNA با tRNA صورت می‌گیرد.

x **سپس** شکسته شدن پیوندهای **هیدروژنی** و نیروهای **مثبت و منفی** بین زیرواحدهای ریبوزوم و **جدایی** آنها صورت می‌گیرد.

(۴) کدون‌های پایان و عوامل آزادکننده **فقط و فقط** در جایگاه A قرار می‌گیرند و **هیچگاه** در جایگاه‌های دیگر یعنی P و E قرار نمی‌گیرند.

(۵) نکات مناسباتی: اگر تعداد کدون‌ها را N در نظر بگیریم خواهیم داشت: (در شکل زیر **شش عدد کدون** مشاهده می‌شود).

N-1 (در شکل زیر تمام این موارد مساوی با پنج هستند)

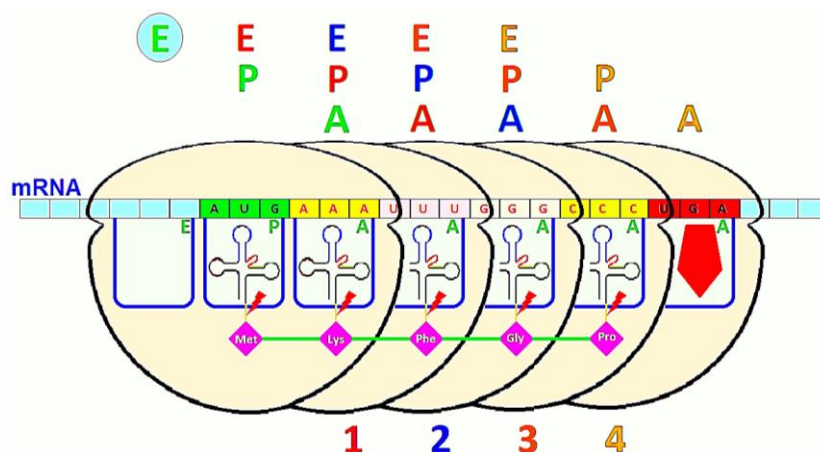
- تعداد آنتی‌کدون‌های شرکت کننده در سافت پلی‌پپتید
- تعداد آمینواسیدهای شرکت کننده در سافت پلی‌پپتید
- تعداد پیوندهای کووالانسی شکسته شده در جایگاه P
- تعداد آنتی‌کدون‌های شرکت کننده در جایگاه P
- تعداد کدون‌های وارد شده در جایگاه P ریبوزوم
- تعداد کدون‌های وارد شده در جایگاه A ریبوزوم
- تعداد آنتی‌کدون‌های وارد شده در جایگاه P

N-2 (در شکل زیر تمام این موارد مساوی با چهار هستند)

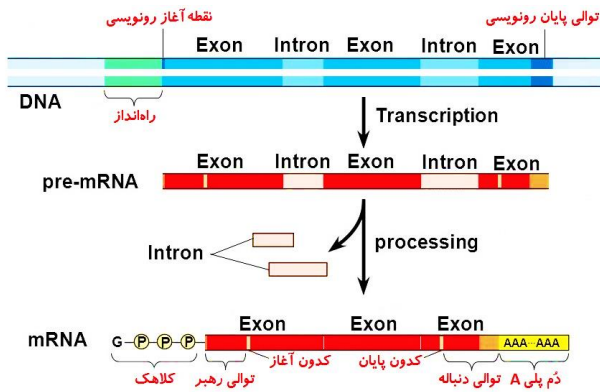
- تعداد حرکات ریبوزوم روی mRNA
- تعداد پیوندهای پپتیدی تشکیل شده در جایگاه A
- تعداد کدون‌های وارد شده در جایگاه E
- تعداد کدون‌های وارد شده در هر دو جایگاه E و P
- تعداد کدون‌های وارد شده در هر دو جایگاه P و A
- تعداد آنتی‌کدون‌های وارد شده در هر دو جایگاه A و P
- تعداد آنتی‌کدون‌های وارد شده در جایگاه A
- تعداد آنتی‌کدون‌های وارد شده در هر سه جایگاه E, P و A
- تعداد آمینواسیدهای وارد شده در هر سه جایگاه E, P و A

N-3 (در شکل زیر تمام این موارد مساوی با سه هستند)

- تعداد آنتی‌کدون‌های وارد شده در هر سه جایگاه E, P و A
- تعداد آمینواسیدهای وارد شده در هر سه جایگاه E, P و A



(۱) نکات مربوط به ژن یوکاریوتی



+ بر روی مولکول DNA زیر، یک ژن یوکاریوتی با سه اکزون و دو اینترون مشاهده می‌شوند.

+ راه‌انداز مربوط به این ژن در بالادست ژن قرار گرفته و جزء ژن محسوب نمی‌شود.

+ نقطه آغاز رونویسی، یک نوکلئوتید منفرد بر روی رشته الگوی این ژن است.
+ توالی پایان رونویسی، نیز یک توالی کمابیش طویل در انتهای ژن است.
+ هنگام رونویسی از نقطه آغاز تا آخر توالی پایان رونویسی انجام می‌شود.

(۲) نکات مربوط به مولکول mRNA

+ mRNA نابالغ بسیار بلندتر از نوع بالغ آن بوده و دارای رونوشت اکزون‌ها و اینترون‌ها است.

+ این نوع mRNA در هسته و به وسیله RNA پلی‌مرراز نوع II ساخته می‌شود.

+ در فرایند پیرایش، رونوشت اینترون‌ها جدا و رونوشت اکزون‌ها به هم متصل می‌شود.

+ این اتفاق در هسته سلول رخ می‌دهد، بنابراین دستگاه پیرایش در هسته دارای آنزیم‌های جداکننده و اتصال دهنده است!

+ آنزیم‌های اتصال دهنده، باعث تشکیل پیوندهای فسفودی‌استر می‌شوند، ولی بر خلاف آنزیم‌های پلی‌مرراز، گروه‌های فسفات آزاد نمی‌کنند!

+ mRNA بالغ دارای کلاهک، توالی رهبر، کدون آغاز، رونوشت اکزون‌ها، کدون پایان، توالی دنباله و دم پلی‌A است.

x رونوشت نقطه آغاز رونویسی جزء توالی رهبر است نه کدون آغاز!

x رونوشت توالی پایان هم جزء توالی دنباله است نه کدون پایان!

x کدون آغاز و پایان جزء رونوشت اولین و آخرین اکزون هستند.

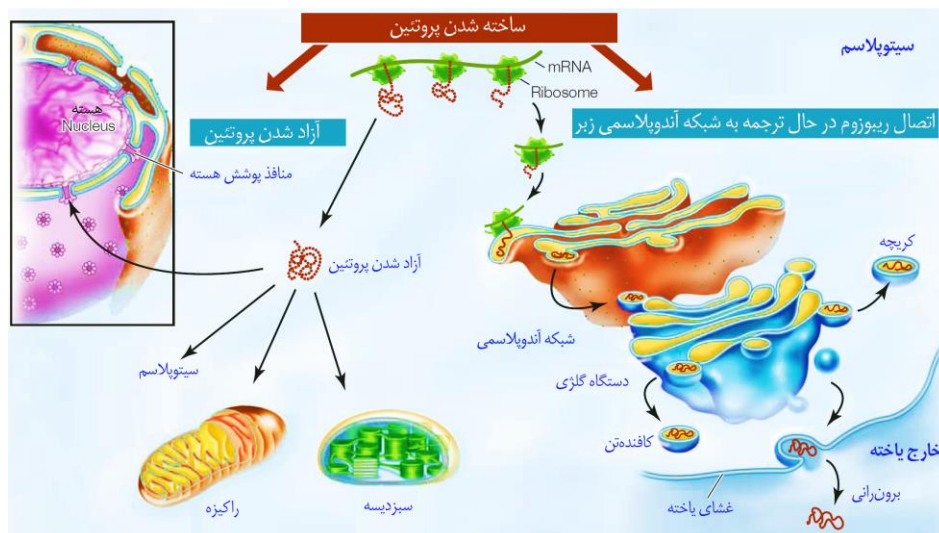
محل پروتئین‌سازی و سرنوشت آنها

پروتئین‌ها در بخش‌های مختلفی از یاخته یوکاریوت ساخته شوند. به طور کلی پروتئین‌سازی در هر بخشی از یاخته که رِئاتن‌ها حضور داشته باشند می‌تواند انجام شود. همان طور که در شکل ۱۴ می‌بینید، فقط پروتئین‌های ساخته شده در ماده زمینه سیتوپلاسم نه همه پروتئین‌های ساخته شده در سلول! سرنوشت‌های مختلفی پیدا می‌کنند.

+ بعضی از این پروتئین‌ها در مرحله طویل شدن از فرایند ترجمه از طریق زیر واحد بزرگ ریبوزوم به شبکه آندوپلاسمی و دستگاه گلژی می‌روند و ممکن است برای ترشح یا اکزوسیتوز به خارج رفته یا به بخش‌هایی مثل واکوئول (کریچه) و لیزوزوم (کافندتن) بروند.

نکته پالشی: همه ریبوزوم‌های متصل به شبکه آندوپلاسمی زیر در حال پروتئین‌سازی بوده و در مرحله طویل شدن ترجمه هستند!

+ بعضی از این پروتئین‌ها نیز در سیتوپلاسم باقی می‌مانند و یا این که به میتوکندری یا راکیزه‌ها، هسته و یا پلاست‌ها (دیسک‌ها) می‌روند. در هر یک از این موارد بر اساس مقصدی که پروتئین باید برود، توالی‌های آمینواسیدی به نام توالی نشانه یا توالی آدرس در یک انتهای آن وجود دارد که پروتئین را به مقصد هدایت می‌کند (شکل ۱۴).



شکل ۱۴- سرنوشت پروتئین‌های ساخته شده در سیتوپلاسم. این پروتئین‌ها دو سرنوشت کلی در پیش خواهند داشت.

۱) بر اساس کتاب در هر مکان از سلول که ریبوزوم ها حضور دارند، پروتئین سازی می تواند انجام شود.

+ در سلول های پروکاریوتی ریبوزوم ها در یک مکان و در سلول های یوکاریوتی در پنج مکان می توانند حضور داشته باشند.

x در پروکاریوت ها: ترجمه فقط در سیتوپلاسم و به وسیله ریبوزوم ساده و کوچک انجام می شود.

x در یوکاریوت ها: ترجمه در پنج مکان و به وسیله دو نوع ریبوزوم انجام می شود.

- در سه مکان یعنی در پوشش هسته، شبکه آندوپلاسمی زیر، ماده زمینه سیتوپلاسم یا سیتوسل و به وسیله ریبوزوم های بزرگ و پیچیده انجام می شود.

- در دو مکان یعنی در بستره میتوکندری و بستره کلروپلاست یا اندامک های همزیست و به وسیله ریبوزوم های کوچک و ساده انجام می شود.

نکاتی در مورد پروتئین های ساخته شده در سلول های یوکاریوتی: این پروتئین ها دو گروه هستند.

ویژگی های پروتئین های گروه اول

۱) به وسیله ریبوزوم های کوچک و ساده یعنی در بستره میتوکندری و بستره کلروپلاست ساخته می شوند.

۲) این پروتئین ها، حاصل بیان ژن هایی هستند که این ژن ها روی DNA معلق قرار دارند.

۳) این پلی پپتیدها در بستره یا در غشای این اندامک ها فعالیت می کنند و هرگز از این اندامک ها خارج نمی شوند!

۴) برخی از پروتئین های موجود در بستره میتوکندری و بستره کلروپلاست به وسیله ژن های هسته ای رمزگذاری می شوند!

ویژگی های پروتئین های گروه دوم

۱) به وسیله ریبوزوم های بزرگ و پیچیده یعنی در درون سیتوپلاسم سلول ساخته می شوند.

۲) عمل ترجمه برای این پلی پپتیدها همواره در ماده زمینه سیتوپلاسم یا سیتوسل شروع می شود.

۳) در مورد برخی از آنها، ممکن است ریبوزوم ها در مرحله طولی شدن ترجمه، از طرف زیر واحد بزرگ خود به شبکه آندوپلاسمی متصل شوند!

۴) ژن های مسئول تولید این پلی پپتیدها روی DNA نطی قرار دارند.

نکاتی در مورد پروتئین های تولید شده در ماده زمینه سیتوپلاسم: این پروتئین ها دو سرنوشت اصلی پیدا می کنند.

سرنوشت اصلی اول: آزاد شدن پروتئین در ماده زمینه سیتوپلاسم که در این صورت چهار مسیر خواهند داشت:

۱) مسیر اول: پروتئین درون ماده زمینه سیتوپلاسم باقی می ماند و همان جا فعالیت می کنند.

+ مثال: اکتین، میوزین، هموگلوبین، میوگلوبین، آنزیم کربنیک انیدراز، ریزولوها و ریزرشته های اسکلت سلولی، رشته های دوک، سانتیول ها، پروتئین های موجود در تازک و مژک و ...

۲) مسیر دوم: پروتئین از منافذ پوشش هسته عبور نموده و به درون آن انتقال داده می شوند.

+ مثال: هیستون ها و آنزیم های هلیکاز، لیکاز، DNA پلی مراز، RNA پلی مراز، پروتئین اتصالی در ناحیه سانتومر و ...

۳) مسیر سوم: پروتئین به درون میتوکندری وارد شده که دو حالت مشاهده می شود.

+ حالت اول: پروتئین از غشای بیرونی میتوکندری عبور نموده و در غشای درونی این اندامک جای می گیرند.

x مثال: برخی از پلی پپتیدهای مربوط به پروتئین انتقال دهنده پیرووات به بستره میتوکندری

برخی از پلی پپتیدهای مربوط به مجموعه آنزیمی مسئول اکسایش پیرووات

برخی از پلی پپتیدهای مربوط به مجموعه پروتئینی ATP ساز در غشای داخلی این اندامک

برخی از پلی پپتیدهای مربوط به پروتئین های درگیر در زنجیره انتقال الکترون در میتوکندری شامل کمپلکس های I، II، III و ...

+ حالت دوم: پروتئین از غشای بیرونی و غشای درونی میتوکندری عبور نموده و به بستره این اندامک وارد می شوند.

x مثال: برخی از پلی پپتیدهای مربوط به آنزیم های چرخه کربس و ...

۴) مسیر چهارم: پروتئین به درون کلروپلاست وارد شده که دو حالت مشاهده می شود.

+ حالت اول: پروتئین از غشای بیرونی کلروپلاست عبور نموده و در غشای درونی یا غشای تیلکوئید این اندامک جای می گیرند.

x مثال: برخی از پلی پپتیدهای مربوط به مجموعه پروتئینی ATP ساز

برخی از پلی پپتیدهای مربوط به پروتئین های درگیر در زنجیره انتقال الکترون در کلروپلاست شامل پمپ هیدروژن و پروتئین های موجود در

فتوسیستم های I، II

+ حالت دوم: پروتئین از غشای بیرونی و غشای درونی کلروپلاست عبور نموده و به بستره این اندامک وارد می شوند.

x مثال: برخی از پلی پپتیدهای مربوط به آنزیم های چرخه کالوین نظیر آنزیم روبیسکو و ...

سرنوشت اصلی دوم: اتصال ریبوزوم به شبکه آندوپلاسمی و در نهایت ورود به دستگاه گلژی از طریق وزیکول های انتقالی که در این صورت سه مسیر خواهند داشت:

(۱) مسیر اول: پروتئین از طریق وزیکول‌های انتقالی از دستگاه گلژی به لیزوزوم منتقل می‌شود.

+ مثال: آنزیم‌های درگیر در گوارش درون سلولی یا همان آنزیم‌های لیزوزومی موجود در آغازیان و بیگانه‌نوارها، آنزیم‌های موجود در آکروزوم (سپرم و ...

(۲) مسیر دوم: پروتئین از طریق وزیکول‌های انتقالی از دستگاه گلژی به واکوئول منتقل می‌شود.

+ مثال: پروتئین کلوتن واقع در فابری‌ترین لایه آندوسپرم دانه‌های غلات نظیر گندم و جو که در برفی از افراد باعث ایجاد بیماری سلپاک می‌شود و ...

(۳) مسیر سوم: پروتئین از طریق وزیکول‌های انتقالی از دستگاه گلژی و با فرایند اکزوسیتوز از سلول خارج می‌شود.

+ مثال: همه پادتن‌ها، همه آنزیم‌های گوارش برون سلولی از قبیل آمیلاز بزاق، آمیلاز لوزالمعده، لیپاز معده، پپسینوژن، پروتئازهای لوزالمعده، پروتئین

موجود در موسین، آنزیم لیزوزیم موجود در ماده مخاطی، بزاق، اشک و عرق، هورمون‌های آمینواسیدی، رشته‌های پروتئینی موجود در غشای پایه،

پروفرین، آنزیم مرگ برنامه‌ریزی، پروتئین‌های شرکت کننده در تشکیل جدار لقاحی، پروتئین‌های مکمل، اینترفرون‌ها و ...

مسیر دیگر: تعدادی پروتئین نیز با نقش‌های متفاوت در غشای سلول‌های یوکاریوتی وجود دارد که از طریق شبکه آندوپلاسمی به مقصد خود رسیده‌اند.

+ مثال: آنزیم‌های گوارشی موجود در غشای سلول‌های پرز روده! پروتئین‌های مسئول انتشار تسهیل شده، پروتئین‌های مسئول هم انتقالی مواد و

پروتئین‌های مسئول انتقال فعال در غشای سلولی، پروتئین‌های تسهیل کننده عبور آب یا آکوپورین‌ها در عرض غشای سلول‌های گیاهی،

جانوری و غشای واکوئول بعضی از سلول‌های گیاهی، پمپ سدیم - پتاسیم در غشای همه سلول‌های جانوری، کانال‌های دریچه‌دار سدیمی و

پتاسیمی و کانال‌های نشتی در نورون‌ها، گیرنده‌های ناقلین عصبی در نورون‌ها و سلول‌های دیگر، گیرنده‌های پیک‌های شیمیایی موجود در

سلول‌های هدف، گیرنده‌های آنتی‌ژنی، پروتئین D در غشای گلبول‌های قرمز و ...

نکاتی در مورد توالی‌های آمینواسیدی راهنما یا آدرس

(۱) این توالی‌های آمینواسیدی که توالی راهنما یا توالی آدرس نامیده می‌شوند، فقط در سلول‌های یوکاریوتی یافت می‌شوند.

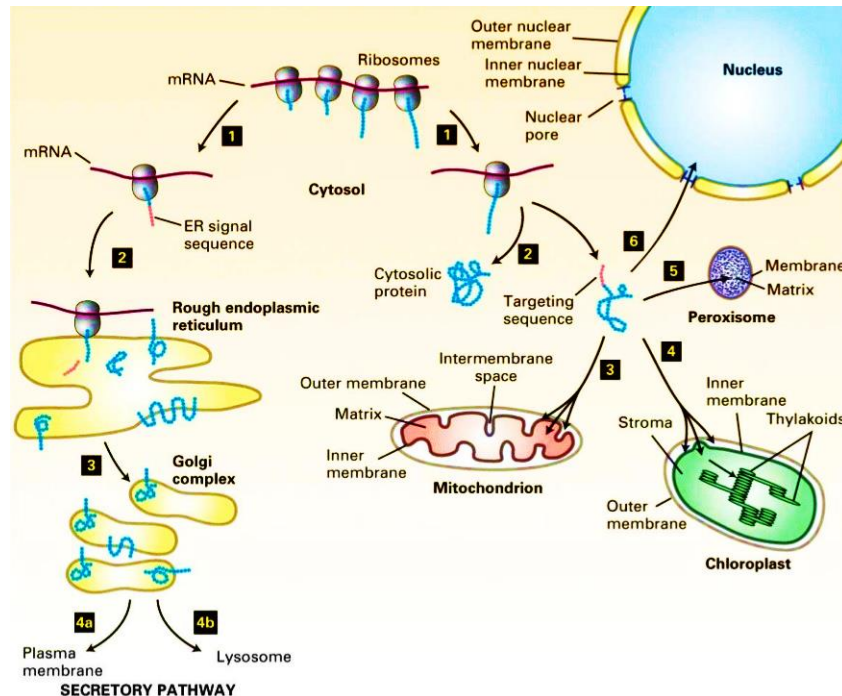
(۲) پلی‌پپتیدهای ساخته شده در بر اساس مقصدی که باید بروند، دارای توالی‌های آدرس مقصود به خود هستند که پروتئین را به مقصد هدایت می‌کنند.

+ به عنوان مثال اگر مقصد نهایی یک پروتئین بستره میتوکندری باشد می‌بایست دو توالی یا پپتید راهنما وجود داشته باشد:

x یکی برای عبور از غشای خارجی میتوکندری و ورود به فضای بین دو غشاء این اندامک

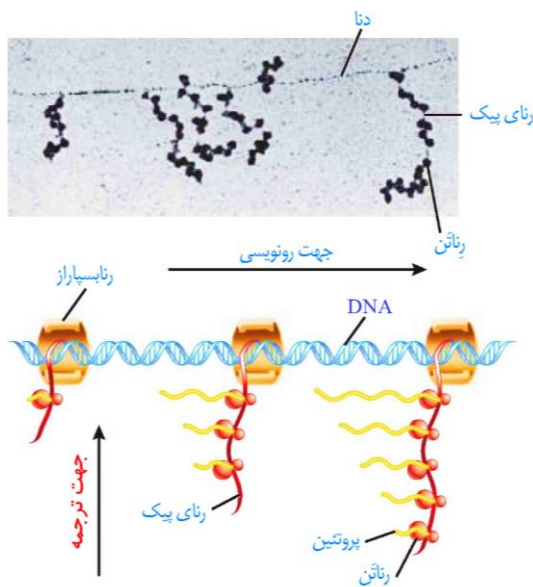
x دیگری برای عبور از غشای داخلی میتوکندری و ورود به بستره این اندامک

- لازم به ذکر است این پپتیدها بعد از رسیدن به مقصد می‌بایست از پلی‌پپتید اصلی جدا و تجزیه شوند.



سرعت و مقدار پروتئین سازی (سافتار تسبیح مانند)

به طور کلی سرعت و مقدار پروتئین سازی در یاخته‌ها بسته به نیاز تنظیم می‌شود. در پروکاریوت‌ها به دلیل یکسان بودن محل رونویسی و ترجمه پروتئین سازی حتی ممکن است پیش از پایان رونویسی رنای پیک آغاز شود؛ زیرا طول عمر رنای پیک در این یاخته‌ها کم است. برای پروتئین‌هایی که به مقدار بیشتری مورد نیازند، ساخت پروتئین‌ها، به طور هم‌زمان یا در یک بازه زمانی و پشت سر هم توسط مجموعه‌ای از رناتن‌ها به نام پلی‌زوم انجام می‌شود تا تعداد پروتئین بیشتری در واحد زمان ساخته شود (شکل ۱۵). در این مجموعه، رناتن‌ها مانند دانه‌های تسبیح و رنای پیک شبیه نخ‌ای است که از درون این دانه‌ها می‌گذرد. همکاری جمعی رناتن‌ها به پروتئین سازی سرعت بیشتری می‌دهد.



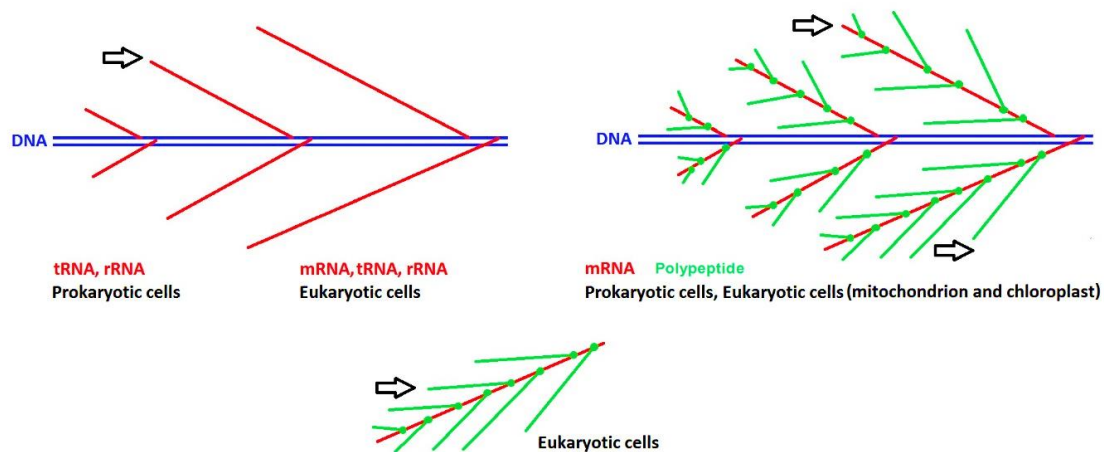
شکل ۱۵- شکل قطعاً مربوط به یک سلول یروکاریوت است.

الف) چه رابطه‌ای بین طول عمر زنای پیک یاخته‌ها با میزان پروتئین‌سازی آنها برقرار است؟ هر چه طول عمر mRNA بیشتر باشد فرصت

فرایند رونویسی		پروکاریوت‌ها	یوکاریوت‌ها
محل انجام	سیتوپلاسم	هسته	
هم‌زمانی با ترجمه	هم‌زمان با ترجمه	غیر هم‌زمان با ترجمه	
آنزیم‌های درگیر	RNA پلی‌مراز پروکاریوتی	RNA پلی‌مراز I، II، III و ...	
RNAهای ساخته شده	فاقد اینترون، تک‌زنی و اغلب پندزنی	معمولاً دارای اینترون، تک‌زنی	
پیرایش	فاقد پیرایش	معمولاً دارای پیرایش	

نکاتی در مورد سرعت و مقدار پروتئین سازی

۷) ساختار دانه تسبیعی ساده قطعاً مربوط به ترجمه همزمان یا در یک بازه زمانی سلول‌های یوکاریوتی (است. پس در آن فقط mRNA، ریبوزوم بزرگ و پیچیده وجود داشته و پلی‌پپتیدهای یکسان در حال ساخته شدن هستند.



ژن‌های یکسان و سلول‌های متفاوت

در سال گذشته آموختید که همه یاخته‌های پیکری بدن از تقسیم رشتان (میتوز) یاخته تخم ایجاد می‌شوند. بنابراین یاخته‌های حاصل، از نظر فام‌تنی و ژن‌ها یکسان‌اند. با این حال در ادامه تقسیمات و رشد جنین، یاخته‌های متفاوتی نه از نظر ژنتیکی بلکه از لحاظ وظیفه و عمل منشاء می‌گیرند که اعمال مختلفی انجام می‌دهند؛ مثلاً یاخته‌های عصبی و ماهیچه‌ای بدن یک فرد، ژن‌های یکسانی دارند ولی دارای عملکرد و شکل متفاوتی هستند.

طرح یک پرسش

حال این سؤال مطرح می‌شود که چگونه ممکن است یاخته‌هایی با ژن‌های یکسان تا این حد از نظر وظیفه و عمل متفاوت باشند؟ پاسخ این است که در هر یاخته تنها تعدادی از ژن‌ها فعال یا روشن و سایر ژن‌ها غیر فعال یا خاموش هستند.

مفهوم روشن و خاموش شدن ژن‌ها

هرگاه اطلاعات ژنی در یک یاخته مورد استفاده قرار بگیرد، می‌گوییم آن ژن بیان شده و به اصطلاح روشن است و ژنی که مورد استفاده قرار نمی‌گیرد خاموش و به اصطلاح بیان نشده است. مقدار، بازه و زمان استفاده از ژن در یاخته‌های مختلف یک جاندار ممکن است فرق داشته باشد و حتی در یک یاخته هم بسته به نیاز متفاوت باشد.

مفهوم تنظیم بیان ژن

به فرایندهایی که تعیین می‌کنند در چه هنگام، به چه مقدار و کدام ژن‌ها بیان شوند و یا بیان نشوند، فرایندهای تنظیم بیان ژن می‌گویند. تنظیم بیان ژن فرایندی بسیار دقیق و پیچیده است و عوامل متعدد بیرونی و درونی از جمله برنی از RNAها و پروتئین‌ها ممکن است بر آن اثر بگذارند.

نقش تغییرات محیطی در تنظیم بیان ژن

تنظیم بیان ژن موجب می‌شود تا جاندار به تغییرات محیط درونی و بیرونی پاسخ دهد؛ مثلاً در گیاه، نور به عنوان یک عامل محیطی بیرونی می‌تواند باعث فعال شدن ژن سازنده آنزیمی شود که در فتوسنتز مورد استفاده قرار می‌گیرد (اصطلاحاً منظور مؤلف آنزیمی است که رویسکو را فعال می‌کند). در نبود نور این ژن بیان نمی‌شود.

نقش پدیده تمایز در تنظیم بیان ژن

همچنین تنظیم بیان ژن می‌تواند موجب بروز پدیده تمایز یا ایجاد یاخته‌های مختلفی از یک یاخته شود. یاخته‌های متفاوتی که از یاخته‌های بنیادی مغز استخوان ایجاد می‌شوند، مثالی مناسب در این مورد هستند. در مورد این یاخته‌ها در کتاب دهم مطالبی را فرا گرفتید. آیا می‌توانید برخی یاخته‌های حاصل از یاخته‌های بنیادی مغز استخوان را نام ببرید؟ سلول‌های لنفوبلاستی که لنفوسیت‌ها را به وجود می‌آورند و سلول‌های میلوئیدی که بقیه سلول‌های خون از آنها به وجود می‌آیند.

نکاتی در مورد بیان ژن

- ۱) همه سلول‌های پیکری یک فرد از تقسیم میتوز یک سلول (ولیه به نام زیگوت یا تخم به وجود آمده‌اند.
- + بنابراین انتظار می‌رود همه سلول‌های پیکری و تک هسته‌ای یک فرد با تمام تفاوت‌های ظاهری از لحاظ ژنتیکی یکسان باشند.
- ۲) سلول‌های پیکری یک فرد دارای ژنوتیپ یکسان ولی فنوتیپ متفاوت هستند!
- + این موضوع به فاکتور بیان ژن‌های متفاوت و تولید پروتئین‌های متفاوت است.
- x به عبارت دیگر فنوتیپ برآیند و انعکاسی از پروتئین‌ها و آنزیم‌های ساخته شده در سلول است.
- ۳) تفاوت سلول‌های تشکیل دهنده یک فرد در نوع ژن‌های آنها نیست بلکه در نوع ژن‌های روشن آنها یا بیان ژن‌های متفاوت در آنها است.
- + مثال‌ها
- x ژن رمزگردان (انسولین) اگرچه در همه سلول‌های پیکری (و حتی سلول‌های جنسی!) بدن انسان وجود دارد ولی این ژن فقط در عده‌ای از سلول‌های پانکراس روشن است و در بقیه سلول‌ها خاموش است.
- x ژن‌های تولید پروتئین‌های هیستون در همه سلول‌های هسته‌دار بدن روشن هستند!
- x ژن‌های مسئول ساخت آنزیم‌های هلیکاز و DNA پلی‌مراز در سلول‌هایی که تقسیم می‌شوند روشن بوده حال آنکه در سلول‌هایی که موقتاً یا به طور دائم وارد مرحله G₀ شده‌اند خاموش می‌باشند.
- ۴) به دلیل این که سلول‌های زیر فاقد ژن هستند، بنابراین به کار بردن تنظیم بیان ژن در دو مورد زیر نادرست است:

- + سلول‌های غیر زنده، مانند سلول‌های لایه بیرونی پوست در بیشتر جانوران، آوندهای چوبی و هم‌پنین فیبرها و اسکله‌تیدها در گیاهان
- + سلول‌های زنده بدون هسته، مانند گلبول‌های قرمز بالغ و هم‌پنین آوندهای آبکشی در گیاهان
- x گرچه در سلول‌های زنده و بدون هسته مانند گلبول قرمز و تا حدودی آوند آبکش می‌توان بیان ژن در سطح ترجمه مشاهده نمود!
- (۵) بیان ژن در سلول‌های متغلف تشکیل دهنده یک فرد متفاوت است. حتی در یک سلول هم در زمان‌های مختلف، ژن‌های متفاوتی روشن هستند.
- (۶) به فرایندهایی که تعیین می‌کنند در چه هنگام، به چه مقدار و کدام ژن‌ها بیان شوند و یا بیان نشوند، فرایندهای تنظیم بیان ژن می‌گویند.
- + اصطلاحات «بیان ژن» و «تنظیم بیان ژن» متفاوت هستند:
- x بیان ژن صرفاً یعنی روشن شدن ژن
- x تنظیم بیان ژن یعنی فرایندهایی که تعیین می‌کنند کدام ژن‌ها روشن باشند و کدام ژن‌ها خاموش شوند یا خاموش بمانند!
- (۷) عوامل متعدد بیرونی و درونی از جمله برخی از RNAها، پروتئین‌ها، برخی از هورمون‌ها، نور و ... ممکن است بر تنظیم بیان ژن اثرگذار باشند.
- (۸) تنظیم بیان ژن می‌تواند موجب بروز پدیده تمایز یا ایجاد سلول‌های مختلفی از یک سلول (اولیه شود).
- + به عبارت دیگر ژن‌های روشن یک سلول تعیین می‌کنند که سلول چگونه تمایز پیدا کند.
- (۹) بیان ژن دو مرحله اصلی دارد: ابتدا رونویسی، سپس ترجمه
- + در مرحله اول بیان ژن، RNA ساخته می‌شود و در مرحله دوم می‌تواند پلی‌پپتید یا پروتئین ساخته شود.
- x اگر در مرحله اول tRNA یا rRNA ساخته شود بیان ژن قطعاً یک مرحله‌ای خواهد بود.
- x اگر در مرحله اول mRNA ساخته شود می‌توان انتظار داشت که مرحله دوم یا ترجمه هم انجام خواهد شد!
- (۱۰) اغلب آنزیم‌ها حاصل بیان ژن دو مرحله‌ای هستند ولی سنتز آنزیمی که باعث تشکیل پیوند پپتیدی می‌شود (آنزیم rRNA) بیان ژن یک مرحله‌ای دارد!
- (۱۱) می‌توان گفت: در همه انواع بیان ژن قطعاً رونویسی انجام می‌شود ولی ممکن است ترجمه انجام شود یا انجام نشود.
- + بنابراین در هر نوع بیان ژنی حتماً پیوند هیدروژنی شکسته و پیوند فسفودی‌استر تشکیل می‌شود ولی الزاماً پیوند پپتیدی تشکیل نمی‌شود!

تنظیم بیان ژن در پروکاریوت‌ها

- محصول ژن، رنا و پروتئین است. بنابراین، تغییر در فعالیت ژن‌ها، بر ساخت این محصولات نیز اثر می‌گذارد. تنظیم بیان ژن در پروکاریوت‌ها می‌تواند در هر یک از مراحل ساخت رنا یعنی رونویسی و سافت پروتئین یعنی ترجمه تأثیر بگذارد ولی به طور معمول تنظیم بیان ژن در مرحله رونویسی انجام می‌شود. در مواردی هم ممکن است یاخته با تغییر در پایداری (طول عمر) رنا یا پروتئین، یعنی پس از رونویسی یا پس از ترجمه فعالیت آن را تنظیم کند.
- می‌توان گفت: تنظیم بیان ژن در پروکاریوت‌ها در چهار سطح انجام می‌شود: همه این سطوح در سیتوپلاسم انجام می‌شود.
- (۱) حین رونویسی: که در آن عوامل پروتئینی به اتصال آنزیم RNA پلی‌مراز به راه‌انداز کمک نموده یا از اتصال آن جلوگیری می‌کنند.
 - (۲) پس از رونویسی: که در آن طول عمر یا پایداری RNA متفاوت خواهد بود. هرچه طول عمر بیشتر باشد اثر بیشتری خواهد داشت.
 - (۳) حین ترجمه: که در آن عوامل دیگری دقالت نموده و باعث می‌شوند ترجمه از روی mRNA ساخته شده انجام شود یا خیر.
 - (۴) پس از ترجمه: که در آن طول عمر یا پایداری پروتئین حاصله متفاوت خواهد بود. هرچه طول عمر آن بیشتر باشد اثرگذاری بیشتری خواهد داشت.

تنظیم بیان ژن در مرحله رونویسی در پروکاریوت‌ها

- در این نوع تنظیم عواملی به پیوستن رنا‌سپاراز به توالی راه‌انداز کمک و یا مانع حرکت رنا‌سپاراز می‌شوند. در نتیجه، رونویسی ژن تسهیل یا ممانعت می‌شود؛ مثلاً با اتصال پروتئین‌های خاصی به بخشی از دنا که سر راه رنا‌سپاراز است و اپراتور نامیده می‌شود، از انجام رونویسی جلوگیری می‌شود. نمونه این نوع تنظیم، در نوعی باکتری به نام **اشرشیا کلای** (*Escherichia coli*) شناخته شده است. قند مصرفی ترجیحی این باکتری مونوساکاریدی به نام **گلوکز** است. مراحل تجزیه قند گلوکز در یاخته که شامل گلیکولیز، اکسایش پیرووات، چرخه کربس و زنجیره انتقال الکترون است را در فصول بعد خواهید آموخت. اگر گلوکز در محیط باکتری وجود نداشته باشد ولی قند دیگری به نام دی‌ساکارید **لاکتوز** در اختیار باکتری قرار بگیرد، باکتری می‌تواند از این قند استفاده کند. مسلماً اگر در حضور گلوکز، قند لاکتوز در اختیار باکتری قرار گیرد از آن استفاده نخواهد کرد! از آنجا که این قند، دی‌ساکارید بوده بنابراین این قند متفاوت از گلوکز (نوعی مونوساکارید) بوده است و آنزیم‌های لازم برای مصرف آن نیز متفاوت است. بنابراین وقتی لاکتوز در محیط وجود دارد باکتری باید ابتدا از روی ژن‌های رمزگردان مربوط به آنزیم‌های تجزیه کننده لاکتوز رونویسی و سپس از روی mRNA آنها ترجمه نموده تا آنزیم‌های تجزیه کننده آن را بسازد و در نبود یا کاهش لاکتوز نیز رونویسی و ساخت آنزیم‌های تجزیه کننده آن می‌بایست متوقف یا کاهش پیدا کند. حال این پرسش پیش می‌آید که باکتری چگونه می‌تواند حضور لاکتوز را در محیط تشخیص دهد و آنزیم‌های جذب کننده و تجزیه کننده آن را بسازد؟ ژن‌هایی که این آنزیم‌ها را می‌سازند چگونه روشن و یا خاموش می‌شوند؟ در پروکاریوت‌ها بیان ژن به دو صورت منفی و مثبت تنظیم می‌شود.

تنظیم مثبت و منفی: در پروکاریوت‌ها، تنظیم بیان ژن در مرحله رونویسی به دو صورت مثبت و منفی انجام می‌شود.

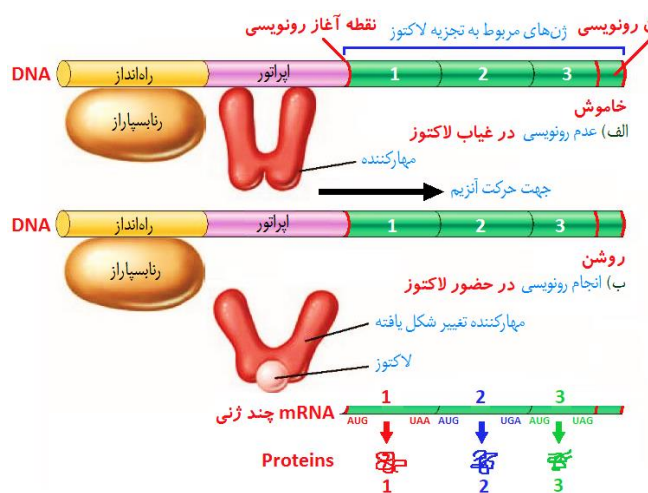
(۱) **تنظیم منفی:** عوامل پروتئینی از پیوستن آنزیم RNA پلی‌مراز به توالی راه‌انداز جلوگیری می‌کنند. در نتیجه، از رونویسی ژن **ممانعت** می‌شود. مانند آپران لاکتوز

(۲) **تنظیم مثبت:** عوامل پروتئینی به پیوستن RNA پلی‌مراز به توالی راه‌انداز کمک می‌کنند. در نتیجه، رونویسی ژن **تسهیل** می‌شود. مانند آپران مالٹوز

نکاتی در مورد جایگاه اتصال عوامل پروتئینی مؤثر در تنظیم بیان ژن

- (۱) **جایگاه اتصال فعال کننده:** بر اساس کتاب، در پروکاریوت‌ها قبل از توالی راه‌انداز، توالی (یا توالی‌های) دیگری به نام **جایگاه اتصال فعال کننده** وجود دارد.
 - + این جایگاه (یا جایگاه‌ها)، محل اتصال پروتئین (یا پروتئین‌هایی) به نام **پروتئین فعال کننده** هستند.
 - (۲) **جایگاه آپراتور:** بر اساس کتاب، در پروکاریوت‌ها بعد از توالی راه‌انداز، توالی دیگری به نام **آپراتور** وجود دارد.
 - + این جایگاه، محل اتصال پروتئینی به نام **پروتئین مهار کننده** است.
- نکته مهم:** بدیهی است هیچ‌گاه قبل و یا بعد از یک راه‌انداز خاص هر دو توالی به طور هم‌زمان وجود ندارند.

تنظیم منفی رونویسی: در گفتار ۱ آموختید که رونویسی با چسبیدن یا اتصال رنابسپاراز به ژن یا ژن‌ها! شروع می‌شود. حال اگر مانعی بر سر راه رنابسپاراز وجود داشته باشد، رونویسی از ژن یا ژن‌ها! انجام نمی‌شود. به این نوع تنظیم، تنظیم منفی رونویسی گفته می‌شود. مانع پیش روی رنابسپاراز **نوعی پروتئین** (یعنی یک نوع پروتئین) به نام **مهار کننده** است. این پروتئین به **توالی خاصی** (یعنی یک توالی) از **دنا** به نام **آپراتور** متصل می‌شود و **جلوی حرکت رنابسپاراز را می‌گیرد** (شکل ۱۶-الف). ابتدا لاکتوز موجود در محیط، به مقدار جزئی ضمن عبور از دیواره و غشاء به باکتری وارد می‌شود و سپس با اتصال به مهار کننده، شکل فضایی یا سه بعدی آن را تغییر می‌دهد. تغییر شکل مهار کننده، (۱) آن را از آپراتور جدا می‌کند و نیز (۲) مانع از اتصال مجدد آن به آپراتور می‌شود. با برداشته شدن مانع سر راه، رنابسپاراز می‌تواند رونویسی ژن‌ها را انجام دهد (شکل ۱۶-ب). **محصولات** این ژن‌ها که سه نوع پروتئین با خاصیت آنزیمی هستند، جذب و تجزیه لاکتوز را ممکن می‌کند.



شکل ۱۶- تنظیم منفی رونویسی ژن‌های مؤثر در تجزیه لاکتوز

الف) عدم رونویسی ژن‌ها در غیاب لاکتوز

ب) رونویسی ژن‌ها در حضور لاکتوز

تنظیم منفی رونویسی در «آپران» لاکتوز

- (۱) قند مصرفی **تریبسی** (این باکتری مونوساکاریدی به نام **کلوز** است. به عبارت دیگر، این باکتری در صورت وجود گلوکز در محیط از هیچ قند دیگری استفاده نمی‌کند.
- (۲) مراحل تجزیه قند کلوز که رایج‌ترین سوخت سلول است در باکتری شامل **کلیکولیز**، **اکسایش پیرووات**، **چرخه کربس** و **زنجیره انتقال الکترون** است.
 - + این مراحل به ترتیب در سیتوپلاسم، غشاء سلولی، سیتوپلاسم و غشاء سلولی باکتری به وقوع می‌پیوندند.
- (۳) قند لاکتوز یک **دی‌ساکارید** است، بنابراین آنزیم‌های لازم برای مصرف آن متفاوت از مونوساکارید کلوز هستند.
- (۴) در باکتری‌ها ژن‌هایی که چند فرایند مرتبط به هم را کنترل می‌کنند آپران نامیده می‌شوند. روشن یا خاموش ماندن آنها به طور هماهنگ با یکدیگر انجام می‌شود.
- (۵) در **غیاب** کلوز و **وجود** لاکتوز در محیط، اتفاقات زیر می‌افتند:
 - + باکتری باید ابتدا از روی ژن‌های رمزگردان مربوط به آنزیم‌های تجزیه کننده و البته جذب کننده! لاکتوز رونویسی می‌کند.
 - + سپس از روی mRNA آنها ترجمه نموده تا آنزیم‌های تجزیه کننده و البته جذب کننده! لاکتوز را بسازد.
 - + بدیهی است در نبود یا کاهش لاکتوز نیز رونویسی و سافت این آنزیم‌ها می‌بایست متوقف شود یا کاهش پیدا کند.
- (۶) قند لاکتوز به مقدار **جزئی** می‌تواند از دیواره و غشاء سلولی باکتری عبور کند و وارد سیتوپلاسم شود.
 - + لاکتوز همواره وارد باکتری می‌شود ولی زمانی که آپران لاکتوز روشن است، مقدار آن در سلول باکتری بسیار زیاد می‌شود.
- (۷) ورود این قند و اتصال آن به پروتئین مهار کننده که نود به آپراتور چسبیده است، باعث تغییر سافتتار فضایی یا سه بعدی این پروتئین می‌شود.
 - + این تغییر شکل فضایی یا سه بعدی باعث می‌شود تا این پروتئین تمایل نود به آپراتور را از دست دهد.
 - + تغییر سافتتار سه بعدی یا فضایی پروتئین مهار کننده، هم آن را از آپراتور جدا می‌کند و هم مانع از اتصال مجدد آن به آپراتور می‌شود.
 - + با توجه به متن کتاب برای آپران لاکتوز فقط یک پروتئین مهار کننده یا تنظیم کننده وجود دارد.
 - + با برداشته شدن پروتئین مهار کننده، آنزیم RNA پلی‌مراز می‌تواند رونویسی ژن‌ها را انجام دهد.
- x در این حالت یک مولکول mRNA سافتت می‌شود که رونوشت سه ژن را خواهد داشت، که به آن mRNA چند ژنی می‌گویند.
- mRNA چند ژنی **منصوص** پروکاریوت‌هاست. هر چند در میتوکندری‌ها و کلروپلاست‌های سلول‌های یوکاریوتی هم می‌تواند وجود داشته باشد.

– mRNA های ساخته شده در پروکاریوت ها دارای رونوشت یک یا چند ژن هستند و به ترتیب mRNA تک ژنی و mRNA چند ژنی نامیده می شوند.

– این نوع mRNA ها قطعاً از روی یک مولکول DNA **مقلوبی** و به وسیله RNA پلیمراز پروکاریوتی رونویسی می شوند.

– سافتارهای پر مانند مربوط به این نوع mRNA ها یک نوع پلی پپتید **نمی سازند**! بلکه به تعداد ژن های موجود در آن پلی پپتید ساخته می شود.

– لازم به یادآوری است که همه آپران ها و همه mRNA های پروکاریوتی چند ژنی **نیستند**.

۸) محصولات سه ژن واقع بر روی mRNA سه ژنی، سه نوع پروتئین با خاصیت **آنزیمی** هستند که جذب و تجزیه لاکتوز را ممکن می سازند.

۹) بدیهی است در صورت روشن شدن آپران لاکتوز به طور هم زمان غلظت هر سه آنزیم در باکتری بالا می رود.

۱۰) بر روی مولکول DNA برای این سه ژن یک راه انداز، یک آپراتور، یک نقطه آغاز رونویسی و یک توالی پایان رونویسی وجود دارد!

+ به عبارت دیگر برخی از ژن های پروکاریوتی مانند ژن شماره ۲ و ۳ فاقد راه انداز و فاقد نقطه آغاز رونویسی هستند.

x با توجه به موارد بالا می توان گفت که همواره به ازای یک ژن، یک راه انداز، یک نقطه آغاز رونویسی و یک توالی پایان رونویسی وجود ندارد!

x هم چنین می توان گفت، برخی دیگر از ژن های پروکاریوتی، مانند ژن های ۱ و ۲ توالی پایان رونویسی ندارند!

۱۱) این نوع mRNA می بایست دارای سه کدون آغاز و سه کدون پایان باشد! زیرا قرار است سه نوع آنزیم از روی این mRNA ساخته شود.

+ هم چنین می توان گفت، برخی از mRNA ها دارای بیش از یک کدون شروع و بیش از یک کدون پایان هستند!

+ هم چنین می توان گفت، همواره به ازای یک mRNA یک رشته پلی پپتید ساخته نمی شود، گاهی ممکن است بیش از یک رشته پلی پپتید ساخته شود!

۱۲) در آپران لاکتوز، هم در زمان خاموش بودن و هم در زمان روشن بودن آپران، آنزیم RNA پلیمراز می تواند به راه انداز متصل شود.

+ بنابراین هم در زمان خاموش بودن و هم در زمان روشن بودن این آپران، پروتئین مهار کننده می تواند ساخته شود.

+ بنابراین آپران مسئول ایجاد پروتئین مهار کننده که یک آپران تک ژنی است، همیشه روشن می باشد!

۱۳) به عبارت دیگر آپران یا ژن مسئول تولید پروتئین مهار کننده، آپراتور نداشته و دائماً از روی آن رونویسی و ترجمه می شود!

+ بنابراین می توان گفت، وجود آپراتور در یک آپران الزامی نیست. در مبحث بعدی می بینیم که آپران مالتوز هم آپراتور ندارد.

۱۴) ژن مسئول ایجاد پروتئین مهار کننده روی همان مولکول DNA واقع شده است که آپران لاکتوز و بقیه ژن های باکتری آن قرار دارند!

+ چون باکتری ها فقط یک مولکول DNA مقلوبی به عنوان کروموزوم اصلی دارند و این مولکول حاوی تقریباً همه آپران ها و ژن های باکتری است!

۱۵) در آپران لاکتوز، اجزای مختلفی با ماهیت شیمیایی متفاوت وجود دارند:

+ توالی های راه انداز و آپراتور را توالی های تنظیمی می گویند و از جنس داکسی ریبونوکلئوتید هستند.

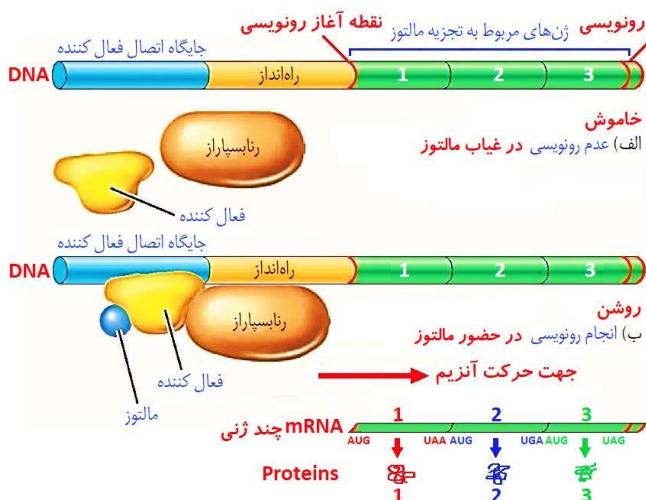
+ مولکول مهار کننده را پروتئین تنظیمی می گویند و از جنس آمینواسید هستند.

+ ژن موجود در آپران مهار کننده را ژن تنظیمی می گویند و از جنس داکسی ریبونوکلئوتید است.

+ مولکول لاکتوز را عامل تنظیمی می گویند و از جنس کربوهیدرات است.

تنظیم مثبت رونویسی: در این نوع تنظیم، پروتئین های خاصی (یعنی چند نوع پروتئین) به رابسیاراز کمک می کنند تا بتواند به راه انداز متصل شود و رونویسی را شروع کند. مثال این نوع تنظیم نیز در باکتری اشرشیا کلای وجود دارد. مشخص شده که اگر در محیط باکتری، در غیاب گلوکزا نوعی دی ساکارید به نام قند **مالتوز** وجود داشته باشد، درون باکتری آنزیم هایی ساخته می شوند که در تجزیه و البته جذب آن دخالت دارند. در عدم حضور مالتوز این آنزیم ها ساخته نمی شوند چون باکتری نیازی به آنها ندارد.

تنظیم رونویسی در مورد این ژن ها به صورت مثبت انجام می شود. در حضور قند مالتوز، انواعی از پروتئین (یعنی چند پروتئین) به نام **فعال کننده** وجود دارند که به توالی های خاصی (یعنی چند توالی) از دنا متصل می شوند. به این توالی ها **جایگاه های اتصال فعال کننده** گفته می شود. (شکل ۱۷- الف). در



حضور مالتوز در محیط، پروتئین فعال کننده به جایگاه خود که قبلاً از راه انداز است، متصل می شود و پس از اتصال به رابسیاراز کمک می کند تا به راه انداز متصل شود و رونویسی را شروع کند. چه عاملی سبب می شود که فعال کننده به جایگاه خود بچسبد؟ این عامل مالتوز است. اتصال مالتوز به فعال کننده (یعنی یک نوع پروتئین در هر بار روشن شدن!) باعث پیوستن آن به جایگاه اتصال شده و رونویسی شروع می شود (شکل ۱۷- ب).

شکل ۱۷- تنظیم مثبت رونویسی ژن های مؤثر در تجزیه مالتوز

الف) عدم رونویسی ژن ها در غیاب مالتوز

ب) رونویسی ژن ها در حضور مالتوز

- (۱) قند مالتوز یک **دی‌ساکارید** است، بنابراین آنزیم‌های لازم برای مصرف آن **مقاوت** از مونوساکارید گلوکز هستند.
- (۲) در **غیاب** گلوکز و **وجود** مالتوز در محیط، اتفاقات زیر می‌افتند:
 - + باکتری باید **ابتدا** از روی ژن‌های رمزگردان مربوط به آنزیم‌های **تجزیه کننده** و البته **جذب کننده** مالتوز **رونویسی** می‌کند.
 - + **سپس** از روی mRNA آنها **ترجمه** نموده تا آنزیم‌های **تجزیه کننده** و البته **جذب کننده** مالتوز را بسازد.
 - + بدیهی است در **نبود** یا **کاهش** مالتوز نیز رونویسی و سافت این آنزیم‌ها می‌بایست **متوقف** شود یا **کاهش** پیدا کند.
- (۳) قند مالتوز به مقدار **جزئی** می‌تواند از دیواره و غشاء سلولی باکتری **عبور** کند و وارد سیتوپلاسم شود.
- + مالتوز **همواره** وارد باکتری می‌شود ولی زمانی که **اُپران** مالتوز **روشن** است، مقدار آن در سلول باکتری **بسیار زیاد** می‌شود.
- (۴) ورود این قند و اتصال آن به پروتئین **فعال کننده** که به طور **آزاد** در سیتوپلاسم است، باعث **تغییر** ساختار فضایی یا سه بعدی این پروتئین می‌شود.
 - + این تغییر شکل فضایی یا سه بعدی باعث می‌شود تا این پروتئین به جایگاه اتصال فعال کننده **تمایل** پیدا کند.
 - + با توجه به متن کتاب برای **اُپران** مالتوز **پنندین** پروتئین فعال کننده یا تنظیم‌کننده وجود دارد.
 - + با اتصال پروتئین فعال کننده، آنزیم RNA پلی‌مراز **می‌تواند** به آن پسیبیده و پس از قرارگیری روی DNA رونویسی ژن‌ها را انجام دهد.
- x در این حالت یک مولکول mRNA سافت می‌شود که رونوشت **سه** ژن را خواهد داشت، که به آن mRNA **پند ژنی** می‌گویند.
- (۵) محصولات سه ژن واقع بر روی mRNA **سه** ژنی، **سه** نوع پروتئین با خاصیت **آنزیمی** هستند که **جذب** و **تجزیه** مالتوز را ممکن می‌سازند.
- (۶) بدیهی است در صورت روشن شدن **اُپران** مالتوز به طور **هم‌زمان** غلظت هر سه آنزیم در باکتری بالا می‌رود.
 - + این در حالی است که به هنگام خاموش بودن **اُپران**، غلظت هر سه آنزیم **ناپایز** است!
- (۷) بر روی مولکول DNA برای این سه ژن **یک** رامنندار، **یک** اُپراتور، **یک** نقطه آغاز رونویسی و **یک** توالی پایان رونویسی وجود دارد!
 - + به عبارت دیگر برنی از ژن‌های پروکاریوتی مانند ژن شماره ۲ و ۳ **فاقد** رامنندار و **فاقد** نقطه آغاز رونویسی هستند.
 - x با توجه به موارد بالا می‌توان گفت که همواره به ازای یک ژن، یک رامنندار، یک نقطه آغاز رونویسی و یک توالی پایان رونویسی وجود **ندارد**!
 - x همچنین می‌توان گفت، برنی دیگر از ژن‌های پروکاریوتی، مانند ژن‌های ۱ و ۲ توالی پایان رونویسی **ندارند**!
- (۸) این نوع mRNA می‌بایست دارای **سه** کدون آغاز و **سه** کدون پایان باشد! زیرا قرار است **سه** نوع آنزیم از روی این mRNA سافت شود.
 - + همچنین می‌توان گفت، برنی از mRNAها دارای **بیش** از یک کدون **شروع** و **بیش** از یک کدون **پایان** هستند!
 - + همچنین می‌توان گفت، همواره به ازای یک mRNA یک رشته پلی‌پپتید سافت **نمی‌شود**، **گاهی** ممکن است بیش از یک رشته پلی‌پپتید سافت شود!
- (۹) در **اُپران** مالتوز، **فقط** در زمان روشن بودن **اُپران**، آنزیم RNA پلی‌مراز می‌تواند به واسطه اتصال به پروتئین فعال کننده به راه‌انداز **متصل** شود.
 - + بنابراین **هم** در زمان خاموش بودن و **هم** در زمان روشن بودن این **اُپران**، پروتئین فعال کننده می‌تواند **سافت** شود.
 - + بنابراین **اُپران** مسئول ایجاد پروتئین فعال کننده که یک **اُپران** تک ژنی است، **همیشه** روشن می‌باشد!
- (۱۰) به عبارت دیگر **اُپران** یا ژن مسئول تولید پروتئین فعال کننده، اپراتور **نداشته** و **دائماً** از روی آن رونویسی و ترجمه می‌شود!
 - + بنابراین می‌توان گفت، وجود اپراتور در یک **اُپران** الزامی **نیست**، در مبحث قبلی دیدیم که **اُپران** لاکتوز اپراتور داشت.
- (۱۱) ژن مسئول ایجاد پروتئین فعال کننده روی **همان** مولکول DNA واقع شده است که **اُپران** مالتوز و **بقیه** ژن‌های باکتری **روی** آن قرار دارند!
 - + چون باکتری‌ها **فقط** یک مولکول DNA حلقوی به عنوان کروموزوم **اصلی** دارند و این مولکول حاوی **تقریباً** همه **اُپران‌ها** و ژن‌های باکتری است!
- (۱۲) در **اُپران** مالتوز، اجزای مختلفی با ماهیت **شیمیایی** متفاوت وجود دارند:
 - + توالی‌های **راه‌انداز** و محل اتصال فعال کننده را توالی‌های **تنظیمی** می‌گویند و از جنس **داکسی‌ریبونوکلوئید** هستند.
 - + مولکول **فعال کننده** را پروتئین **تنظیمی** می‌گویند و از جنس **آمینواسید** هستند.
 - + **ژن** موجود در **اُپران** فعال کننده را **ژن** **تنظیمی** می‌گویند و از جنس **داکسی‌ریبونوکلوئید** است.
 - + مولکول مالتوز را عامل **تنظیمی** می‌گویند و از جنس **کربوهیدرات** است.

تنظیم بیان ژن در یوکاریوت‌ها

تنظیم بیان ژن در یوکاریوت‌ها پیچیده‌تر از پروکاریوت‌هاست و می‌تواند در **مراحل بیشتری** انجام شود. فضای درونی یا سیتوپلاسم یاخته‌های یوکاریوتی به وسیله غشاهای **درونی** به **بخش‌های مختلفی** از جمله هسته، شبکه آندوپلاسمی زیر، شبکه آندوپلاسمی صاف، دستگاه گلژی، لیزوزوم، واکوئول، میتوکندری، کلروپلاست و ... تقسیم شده‌اند. بنابراین، برای آنکه یاخته نسبت به یک ماده واکنش نشان دهد باید آن ماده باید به طریقی از غشاها عبور کنند و پس از رسیدن به فضای درون هسته، میتوکندری و کلروپلاست ژن‌ها را تحت تأثیر قرار دهند.

در باخته‌های یوکاریوتی، بیشتر ژن‌ها در هسته (ژنوم هسته‌ای) و برخی در راکیزه‌ها و دیسه‌ها (ژنوم سیتوپلاسمی) قرار دارند. در هر یک از این محل‌ها، یاخته می‌تواند بر بیان ژن نظارت داشته باشد. بنابراین تنظیم بیان ژن می‌تواند در مراحل متعددی انجام شود.

می‌توان گفت: تنظیم بیان ژن در یوکاریوت‌ها در پنج سطح انجام می‌شود: سطوح اول تا سوم در هسته و سطوح سوم تا پنجم نیز در سیتوپلاسم انجام می‌شوند.

(۱) پیش از رونویسی: که در آن عواملی از قبیل فشردگی شدید بخش‌هایی از کروموزوم مانع از رونویسی می‌شود.

(۲) حین رونویسی: که در آن پروتئین‌هایی مانند عوامل رونویسی به اتصال آنزیم RNA پلی‌مراز به راه‌انداز کمک می‌کنند.

(۳) پس از رونویسی: که در مرحله پیرایش ممکن است صورت بگیرد (هسته)، یا طول عمر mRNA را دچار تغییر کند (سیتوپلاسم).

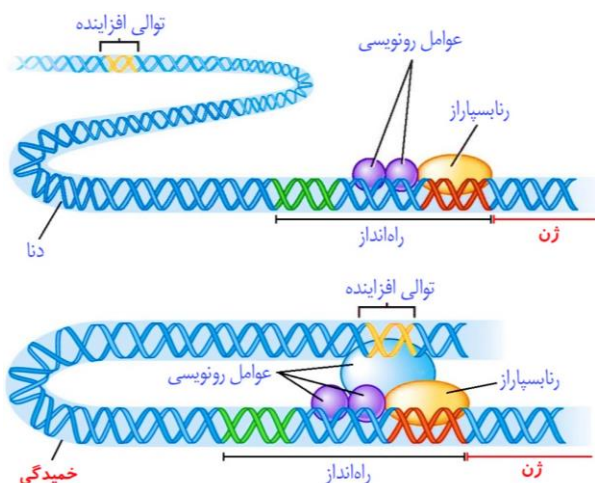
(۴) حین ترجمه: که در آن عواملی دثالت نموده و مثلاً با اتصال RNA های کوچک به mRNA مانع از پایان یافتن ترجمه شوند.

(۵) پس از ترجمه: که در آن طول عمر یا پایداری پروتئین حاصله متفاوت خواهد بود. هرچه طول عمر آن بیشتر باشد اثرگذاری بیشتری خواهد داشت.

تنظیم بیان ژن در مرحله رونویسی: در یوکاریوت‌ها نیز مانند پروکاریوت‌ها، رونویسی با پیوستن رنابسپاراز به راه‌انداز آغاز می‌شود. در یوکاریوت‌ها رنابسپارازهای I، II و III نمی‌توانند به تنهایی راه‌انداز را شناسایی کند و برای پیوستن به آن نیازمند پروتئین‌هایی به نام **عوامل رونویسی** هستند. گروهی از این پروتئین‌ها با اتصال به نواحی خاصی از راه‌انداز نه همه آن‌ها، رنابسپارازها را به محل راه‌انداز هدایت می‌کنند، چون تمایل پیوستن این پروتئین‌ها به راه‌انداز در اثر عواملی تغییر می‌کند، مقدار رونویسی ژن آن هم تغییر می‌کند (شکل ۱۸).

در یوکاریوت‌ها ممکن است عوامل رونویسی دیگری به بخش‌های خاصی (نه یک بخش!) از دنا به نام **توالی افزایشده** متصل شوند. با پیوستن این پروتئین‌ها به توالی افزایشده و با ایجاد خمیدگی در دنا، عوامل رونویسی در کنار هم قرار می‌گیرند. کنار هم قرارگیری این عوامل، سرعت و مقدار رونویسی را افزایش می‌دهند. توالی‌های افزایشده متفاوت از راه‌انداز هستند و ممکن است در فاصله دوری از بلا دست یا حتی پائین دست ژن قرار داشته باشند. اتصال این پروتئین‌ها بر سرعت و مقدار رونویسی ژن مؤثر است (شکل ۱۹).

به عبارت دیگر در صورت عدم وجود این موارد، هم پتان رونویسی انجام می‌شود اما مقدار کمتری RNA و در نهایت پروتئین ساخته می‌شود!



شکل ۱۸- تنظیم بیان ژن در یوکاریوت‌ها

شکل ۱۹- توالی افزایشده و عوامل رونویسی متصل به آن

نکاتی در مورد تنظیم بیان ژن در یوکاریوت‌ها

(۱) در ژنوم هسته‌ای یوکاریوت‌ها، توالی‌هایی مانند آپران، اپراتور، محل اتصال فعال کننده و ... وجود ندارند.

(۲) در یوکاریوت‌ها، پروتئین‌هایی مانند مهار کننده، فعال کننده و نیز عوامل تنظیمی به مفهومی که در پروکاریوت‌ها ذکر شد، وجود ندارند.

(۳) در یوکاریوت‌ها همانند پروکاریوت‌ها پروتئین‌های تنظیمی، توالی‌های تنظیمی و ژن‌های تنظیمی وجود دارند.

+ پروتئین‌های تنظیمی همان عوامل رونویسی هستند.

+ توالی‌های تنظیمی در این نوع سلول‌ها عبارتند از: راه‌انداز و افزایشده

+ ژن‌های تنظیمی نیز ژن‌های مسئول تولید عوامل رونویسی هستند.

(۴) هم در پروکاریوت‌ها و هم در یوکاریوت‌ها، رونویسی با پیوستن آنزیم‌های RNA پلی‌مراز به راه‌انداز آغاز می‌شود.

(۵) در پروکاریوت‌ها دو نوع تنظیم بیان ژن به صورت مثبت و منفی وجود دارد. در یوکاریوت‌ها تنظیم بیان ژن مشابه نوع مثبت در پروکاریوت‌هاست.

(۶) در یوکاریوت‌ها آنزیم‌های RNA پلی‌مراز نمی‌توانند به تنهایی راه‌انداز را شناسایی کند و برای پیوستن به آن نیازمند پروتئین‌هایی به نام عوامل رونویسی هستند.

(۷) عوامل رونویسی متعدد و متفاوت بوده و به بخش‌هایی از توالی راه‌انداز و توالی دیگری به نام افزایشده و نیز خود آنزیم‌های RNA پلی‌مراز متصل می‌شوند.

(۸) برخی از عوامل رونویسی با اتصال به نواحی خاصی از راه‌انداز نه همه آن، RNA پلی‌مرازها را به محل راه‌انداز هدایت می‌کنند تا رونویسی شروع شود.

+ آنزیم‌های RNA پلی‌مراز از یک طرف به عوامل رونویسی متصل شده و از طرف دیگر روی راه‌انداز قرار می‌گیرند!

(۹) هرچه تمایل این پروتئین‌ها برای اتصال به راه‌انداز بیشتر باشد، مقدار رونویسی ژن هم بیشتر می‌شود و برعکس.

۱۰) در یوکاریوت‌ها ممکن است عوامل رونویسی دیگری نیز به بخش‌های خاصی از DNA به نام توالی **افزاینده** متصل شوند.

+ توالی‌های **افزاینده** ممکن است در فاصله بسیار دور از **بالادست** یا حتی پائین‌دست ژن قرار داشته باشند.

۱۱) با پیوستن عوامل رونویسی به توالی **افزاینده** و با ایجاد **خمیدگی** در مولکول DNA، عوامل رونویسی متصل به راه‌انداز و **افزاینده** در کنار هم **قرار** می‌گیرند.

۱۲) کنار هم قرار گرفتن عوامل رونویسی متصل به راه‌انداز و **افزاینده**، سبب **انجام** رونویسی **نمی‌شود** بلکه سرعت رونویسی را **افزایش** می‌دهد.

+ اتصال عوامل رونویسی به یکدیگر بر **سرعت** و **مقدار** رونویسی مؤثر است، در صورت عدم اتصال آنها **هم‌پتان** رونویسی انجام می‌شود اما با مقدار کمتر!

۱۳) در یوکاریوت‌ها، اجزای مختلفی با **ماهیت** شیمیایی متفاوت وجود دارند:

+ توالی‌های **راه‌انداز** و **افزاینده** را **توالی‌های تنظیمی** می‌گویند و از جنس **دآکسی‌ریبونوکلئوتید** هستند.

+ عوامل **رونویسی** را **پروتئین‌های تنظیمی** می‌گویند و از جنس **آمینواسید** هستند.

+ ژن‌های **مسئول** ایجاد عوامل رونویسی را **ژن‌های تنظیمی** می‌گویند و از جنس **دآکسی‌ریبونوکلئوتید** هستند.

۱۴) بر اساس شکل کتاب، در مورد تنظیم بیان ژن در **یوکاریوت‌ها** نکات زیر حائز اهمیت هستند:

+ عوامل رونویسی متصل به راه‌انداز **متعددتر** و **کوچک‌تر** از عوامل رونویسی متصل به **افزاینده** هستند.

+ عوامل رونویسی متصل به راه‌انداز به همه طول راه‌انداز متصل **نمی‌شوند** بلکه به انتهای آن که به نقطه آغاز رونویسی **نزدیک‌تر** است متصل می‌شوند.

+ عامل یا عوامل رونویسی متصل به هر توالی **افزاینده** **تمام** طول این توالی را در بر می‌گیرند.

+ بعد از تشکیل **خمیدگی** و در کنار هم قرار گرفتن عوامل رونویسی، عامل یا عوامل متصل به **افزاینده** به آنزیم RNA پلی‌مراز **هم** متصل می‌شوند.

+ آنزیم RNA پلی‌مراز به همه عوامل رونویسی متصل به بخشی از راه‌انداز **نمی‌پسند**.

+ **یک** ژن می‌تواند **چندین** **افزاینده** داشته باشد! هر **افزاینده** هم می‌تواند با **چندین** عامل رونویسی تماس داشته باشد!

+ **مراحل** روشن شدن یک ژن یوکاریوتی دارای توالی **افزاینده**، به ترتیب شامل موارد زیر است:

x **اتصال** گروهی از عوامل رونویسی به **راه‌انداز**

x **اتصال** آنزیم RNA پلی‌مراز به **برنی** از عوامل رونویسی

x قرار گرفتن آنزیم RNA پلی‌مراز بر **روی** راه‌انداز

x **اتصال** گروه دیگری از عوامل رونویسی بر روی توالی **افزاینده**

x **ایجاد** **خمیدگی** در مولکول DNA

x کنار هم **قرار گرفتن** عوامل رونویسی متصل به راه‌انداز و **افزاینده**

x **شروع** رونویسی از ژن توسط آنزیم RNA پلی‌مراز

تنظیم بیان ژن در مراحل غیر رونویسی: در یوکاریوت‌ها تنظیم بیان ژن می‌تواند پیش از رونویسی یا پس از آن هم انجام شود.

+ تنظیم بیان ژن **پس** از رونویسی: **اتصال** بعضی رناهای کوچک مکمل به رنای پیک با تشکیل پیوند هیدروژنی **مثالی** از تنظیم بیان ژن پس از رونویسی

است. با اتصال این رناها، از کار رناتن و در نتیجه سنتز پروتئین یعنی **دومین** مرحله بیان ژن **جلوگیری** می‌شود. در نتیجه، عمل ترجمه **متوقف** و رنای

ساخته شده پس از مدتی با **دفالت** ریبونوکلئازها و شکستن پیوندهای فسفودی‌استر در سیتوپلاسم **تجزیه** می‌شود.

بدیهی است ممکن است پلی‌پپتیدهای کوتاه و ناقصی هم در این نوع تنظیم ساخته شوند!

+ تنظیم بیان ژن **پیش** از رونویسی: روش تنظیم دیگر در **سطح فام‌تی** است. به طور معمول بخش‌های **فشرده** فام‌تن **کمتر** در دسترس رنابسپارازها قرار

می‌گیرند بنابراین یاخته می‌تواند با **تغییر در میزان فشرده‌گی فام‌تن** در بخش‌های خاصی، **دسترسی** رنابسپاراز را به ژن مورد نظر تنظیم کند.

به نظر شما این تنظیم بیان ژن پیش از رونویسی است یا پس از آن؟ **پیش** از رونویسی

+ تنظیم بیان ژن با روش‌های دیگر: از روش‌های دیگر تنظیم بیان ژن **طول عمر رنای پیک** است. افزایش طول عمر رنای پیک موجب افزایش محصول

می‌شود. این فرایندها در **میزان** پروتئین‌سازی مؤثر خواهند بود.

شیوه‌های دیگری نیز در تنظیم بیان ژن مؤثرند که نحوه عمل بسیاری از آنها **ناشناخته** است.

نکاتی در مورد تنظیم بیان ژن یوکاریوت‌ها در مراحل غیر از رونویسی

۱) اتصال بعضی از RNAهای کوچک و مکمل به mRNA با پیوند هیدروژنی باعث **جلوگیری** از کار ریبوزوم و در نتیجه سنتز پروتئین (دومین مرحله بیان ژن) می‌شود.

۲) در نتیجه این اتصال، عمل ترجمه در مرحله طویل شدن، **متوقف** شده و RNA به همراه پلی‌پپتید نیمه ساخته شده پس از مدتی تجزیه می‌شوند.

+ فرایند تجزیه با **دفالت** ریبونوکلئازها و پروتئازها و شکستن پیوندهای فسفودی‌استر و پپتیدی در سیتوپلاسم انجام می‌شود.

۳) بخش‌های **فشرده** کروموزوم یا **هتروکروماتین** نسبت به بخش‌های **کمتر** فشرده شده یا **یوکروماتین** کمتر در دسترس آنزیم‌های RNA پلی‌مراز قرار می‌گیرند.

+ بنابراین می‌توان گفت ژن‌های موجود در بخش‌هایی از کروموزوم که فشرده‌گی بیشتری دارند نسبت به بخش‌های دیگر **کمتر** روشن می‌شوند.

+ این تنظیم بیان ژن نوعی تنظیم در مراحل پیش از رونویسی محسوب می‌شود.

(۴) افزایش طول عمر mRNA موجب افزایش محصول یا پروتئین می‌شود.

+ این تنظیم بیان ژن نوعی تنظیم در مراحل پس از رونویسی محسوب می‌شود.

(۵) شیوه‌های دیگری نیز در تنظیم بیان ژن مؤثر هستند که نحوه عمل بسیاری از آنها تاکنون ناشناخته باقی مانده است.

