



بخش آموزش رسانه تفریحی سنتر

کلیک کنید  www.tafrihicenter.ir/edu

 نمونه سوال  گام به گام

 امتحان نهایی  جزوه

 دانلود آزمون های آزمایشی

متوسطه اول : هفتم ... هشتم ... نهم

متوسطه دوم : دهم ... یازدهم ... دوازدهم

www.tafrihicenter.ir



فصل ۲

جریان اطلاعات دریاخته

تهیه و تنظیم: دکتر سروش صفا

@Zistnovin

رونویسی

گفتار ۱

یادآوری:

واحد سازندهٔ دنا ← نوکلئوتید

واحد سازندهٔ پلی‌پپتید ← آمینواسید

دنا چگونه نوع آمینواسیدهای پلی‌پپتید را تعیین می‌کند؟

پس از پژوهش‌هایی مشخص شد که هر توالی ۳ تایی از نوکلئوتیدهای دنا، بیانگر نوعی آمینواسید است. (مثلا رمز ATC مربوط به یک نوع آمینو اسید است).

با ۴ نوع نوکلئوتید به کار رفته در دنا، ۶۴ توالی ۳ نوکلئوتیدی مختلف ایجاد می‌شود، که می‌توانند رمز ساخت پلی‌پپتیدهایی با ۲۰ نوع آمینواسید را داشته باشند.

نکته: ۶۴ رمز برای آمینواسید می‌توانیم داشته باشیم، درحالی‌که تنها ۲۰ نوع آمینو اسید داریم و این یعنی: برخی از آمینواسیدها، بیش از یک رمز دارند.

نقش مولکول رنا به عنوان میانجی

پلی‌پپتیدها بر اساس اطلاعات دنا و توسط رناتن‌ها در سیتوپلاسم ساخته می‌شوند.

در یاخته‌های دارای هسته (هسته‌ای‌ها)، پروتئین‌سازی در هسته انجام نمی‌شود زیرا رناتن‌ها درون هسته وجود ندارند. **نکته:** مولکول دنا در هسته حضور دارد و از هسته خارج نمی‌شود و پروتئین‌سازی هم درون سیتوپلاسم انجام می‌شود. از این جمله می‌توان نتیجه گرفت که مولکول‌های دیگری (انواع رناها) نیز در فرآیند پروتئین‌سازی نقش دارند.

نکته: رناها در فرآیند رونویسی از روی بخشی از یک رشتهٔ دنا ساخته می‌شوند.

پس:

- محل ساخت پلی‌پپتیدها ← رناتن‌های موجود در سیتوپلاسم
- محل رمزهای مربوط به پلی‌پپتیدها ← ژن‌ها بر روی مولکول DNA
- حمل کنندهٔ دستورات ساخت پلی‌پپتیدها از مولکول دنا به رناتن‌ها ← mRNA یا رنای پیک
- **رونویسی:** ساخته شدن رنا از روی بخشی از یک رشتهٔ دنا

شباهت رونویسی با همانندسازی ← اساس رونویسی شبیه همانندسازی است. در این فرایند نیز با توجه به

نوکلئوتیدهای رشته دنا، نوکلئوتیدهای مکمل در زنجیره رنا قرار می‌گیرد و به هم متصل می‌شوند.

تفاوت‌های رونویسی و همانندسازی:

- ۱- در همانندسازی، دئو کسی‌ریبونوکلئوتیدها در برابر نوکلئوتیدهای مکمل رشتهٔ الکو قرار می‌گیرند، اما در رونویسی ریبونوکلئوتیدها در برابر نوکلئوتیدهای مکمل رشتهٔ الکو قرار می‌گیرند.
- ۲- محصول همانندسازی مولکول دنا و محصول رونویسی مولکول رنا می‌باشد.
- ۳- برخلاف همانندسازی که در هر چرخه یاخته‌ای یکبار انجام می‌شود (در مرحلهٔ سنتز یا S)، رونویسی یک ژن می‌تواند در هر چرخه بارها انجام شود و چندین رشته رنا ساخته شود.
- ۴- همانندسازی توسط دو آنزیم هلیکاز و دنا‌بشپاراز انجام می‌شود در حالی‌که در رونویسی فقط یک آنزیم به نام رنا‌بشپاراز نقش دارد.

۵- همانندسازی ویرایش دارد اما رونویسی ندارد.

۶- در همانندسازی کل دو رشته دنا مورد استفاده قرار می گیرند اما در رونویسی فقط بخشی از یک رشته دنا مورد استفاده قرار می گیرد.

در پیش هسته ای ها = فقط یک نوع رنا بسپاراز وجود دارد.

در هوهسته ای ها = سه نوع رنا بسپاراز وجود دارد

آزیم های موثر در رونویسی

نوع ۱ ← رنا ی رناتنی (rRNA) را می سازد
نوع ۲ ← رنا ی پیک (mRNA) را می سازد
نوع ۳ ← رنا ی ناقل (tRNA) را می سازد

سوال ۱: به ترتیب محل ساخت و فعالیت رنا بسپارازهای استرپتوکوکوس نومونیا کدام بخش های سلول است؟

(۱) هسته-هسته (۲) هسته-سیتوپلاسم

(۳) سیتوپلاسم - هسته (۴) سیتوپلاسم - سیتوپلاسم

سوال ۲: به ترتیب محل ساخت و فعالیت رنا بسپارازهای پارامسی، کدام بخش های سلول است؟

(۱) هسته-هسته (۲) هسته-سیتوپلاسم

(۳) سیتوپلاسم - هسته (۴) سیتوپلاسم - سیتوپلاسم

سوال ۳: به ترتیب رونویسی از ژن های رنا ی رناتنی و پروتئین های رناتنی بر عهده کدام رنا بسپارازهای یوکاریوتی است؟

(۱) II - I (۲) I - II (۳) I - I (۴) II - II

سوال ۴: به ترتیب رونویسی از ژن های رنا بسپارازهای نوع ۱ و رنا بسپارازهای نوع ۲ توسط کدام رنا بسپارازها انجام می شود؟

(۱) II - I (۲) I - II (۳) I - I (۴) II - II

سوال ۵: به ترتیب محل ساخت و فعالیت tRNA کدام بخش های سلول است؟

(۱) هسته - هسته (۲) هسته - سیتوپلاسم

(۳) سیتوپلاسم - هسته (۴) سیتوپلاسم - سیتوپلاسم

جدول مقایسه ای دنا بسپاراز و رنا بسپاراز

رنا بسپاراز	دنا بسپاراز	
رونویسی	همانندسازی	در چه فرآیندی شرکت می کند
دارد	ندارد	توانایی شکستن پیوندهیدروژنی
دارد	دارد	توانایی ایجاد پیوند فسفودی استری
ندارد	دارد	فعالیت نوکلئازی (شکستن پیوند فسفودی استری) یا ویرایش
ریبونوکلئوتید	دئوکسی ریبونوکلئوتید	پیش ماده جهت تولید نوکلئیک اسید
RNA	DNA	محصول
رناتن های سیتوپلاسم	رناتن های سیتوپلاسم	محل تولید
هسته	هسته	محل فعالیت در یوکاریوت ها
سیتوپلاسم	سیتوپلاسم	محل فعالیت در پروکاریوت ها

مراحل رونویسی

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

الف) مرحله آغاز:

a- آنزیم رنابسپاراز به توالی نوکلئوتیدی ویژه‌ای در مولکول دنا به نام **راه‌انداز** متصل می‌شود.

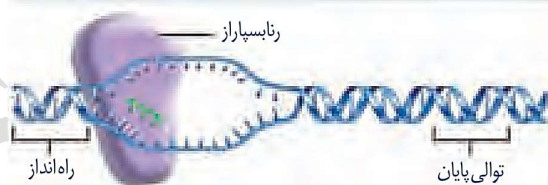
راه‌انداز } **تعریف:** توالی خاصی در مولکول دنا است که رنابسپاراز به آن متصل می‌شود.
نقش: راه‌انداز موجب می‌شود رنابسپاراز اولین نوکلئوتید مناسب را به‌طور دقیق پیدا و رونویسی را از آنجا آغاز کند

نکات راه‌انداز:

- ۱- راه‌انداز بخشی از دنا بوده و بنابراین نوکلئیک اسید است.
 - ۲- نوکلئوتیدهای راه‌انداز رونویسی نمی‌شوند.
 - ۳- راه‌انداز اولین محل اتصال آنزیم رنابسپاراز و مولکول دنا می‌باشد.
- b- باز شدن بخش کوچکی از مولکول دنا توسط آنزیم رنابسپاراز (در این مرحله، آنزیم پیوندهای هیدروژنی را بین دو رشته دنا می‌شکند).
- c- ساخت زنجیره کوتاهی از رنا.

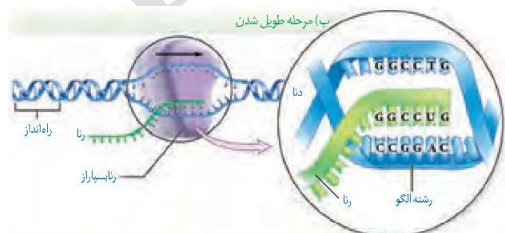
نکته: نحوه عمل رنابسپاراز به این صورت است که آنزیم با توجه به نوع نوکلئوتید رشته الگوی دنا، نوکلئوتید مکمل را در برابر آن قرار می‌دهد و سپس این نوکلئوتید را به نوکلئوتید قبلی رشته رنا متصل می‌کند (بوسیله پیوند فسفودی‌استری).
نکته: در رونویسی، نوکلئوتید یوراسیل دار رنا به عنوان مکمل در برابر نوکلئوتید آدنین دار دنا قرار می‌گیرد.

الف) مرحله آغاز



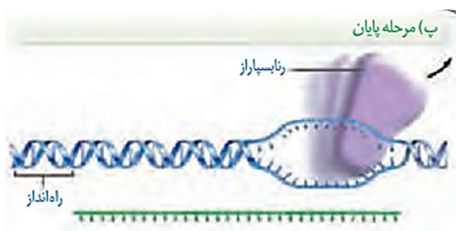
ب) مرحله طویل شدن:

در این مرحله رنابسپاراز ساخت رنا را ادامه می‌دهد که در نتیجه آن، رنا طویل می‌شود. همچنان که مولکول رنابسپاراز به پیش می‌رود، دو رشته دنا در جلوی آن باز و در چندین نوکلئوتید عقب‌تر، رنا از دنا جدا می‌شود و دو رشته دنا مجدداً به هم می‌پیوندند. بنابراین در محل رونویسی و نواحی مجاور آنها حالتی شبیه حباب ایجاد می‌شود که به سوی انتهای ژن پیش می‌رود.
 نکته: رونویسی از ابتدای ژن آغاز شده و در انتهای ژن پایان می‌پذیرد.



ج) مرحله پایان:

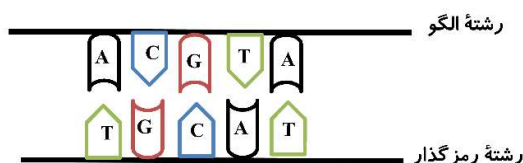
- ۱- پس از رسیدن آنزیم رنابسپاراز به توالی ویژه‌ای در مولکول دنا به نام توالی پایان، رونویسی تمام شده و آنزیم از مولکول دنا و رنا تازه ساخته شده جدا می‌شود.
- ۲- پس از جداسازی آنزیم، دو رشته دنا به هم متصل می‌شوند.



نکته: توالی پایان برخلاف راه انداز، رونویسی می شود.

فقط یکی از دو رشته دنا در هر ژن رونویسی می شود

- ژن بخشی از مولکول دنا که دو رشته ای است ولی رونویسی از روی هر دو رشته یک ژن انجام نمی شود.
- اگر رونویسی از روی هر دو رشته ژن انجام شود، رنا و پلی پپتید ساخته شده از روی دو رشته مکمل دنا بسیار متفاوت می شدند ⇐ بنابراین برای هر ژن خاص، همیشه و فقط یکی از دو رشته رونویسی می شود.
- به بخشی از رشته دنا که مکمل رشته رنا می باشد **رشته الگو** می گویند.
- **رشته رمز گذار:** به مکمل رشته الگو در مولکول دنا، رشته رمز گذار گویند. زیرا توالی نوکلئوتیدی آن شبیه رشته رنایی است که از روی رشته الگو آن ساخته می شود.



مثالی برای تفهیم موضوع:

توالی رشته الگو:

توالی رشته رمز گذار:

توالی مولکول رنا ساخته شده:

نکته: رشته مورد رونویسی یک ژن ممکن است با رشته مورد رونویسی ژن مجاور خود یکسان یا متفاوت باشد:



مقایسه شروع رونویسی و شروع همانندسازی

محل شروع فرآیند	محل شناسایی آنزیم اولیه	
نقطه‌ای آغاز همانندسازی: یک جفت نوکلئوتید	جایگاه آغاز همانندسازی	همانندسازی
جایگاه آغاز رونویسی: ۱ عدد نوکلئوتید	راه انداز	رونویسی

تغییر رناها:

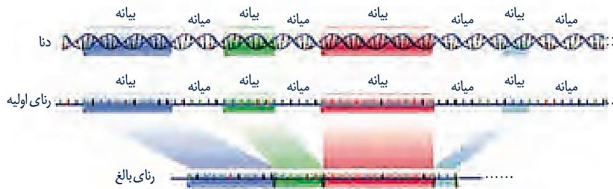
- در یوکاریوت ها (هسته ای ها) رنایی که در هسته رونویسی می شود با رنایی که در سیتوپلاسم وجود دارد تفاوت هایی دارد.
- این تغییرات در بیشتر رناها انجام می شود.
- تغییرات رناها برای انجام کارهای این مولکول ها انجام می شود.

تغییرات رنا پیک:

- رنا پیک ممکن است دستخوش تغییراتی در حین رونویسی و یا پس از آن شود.

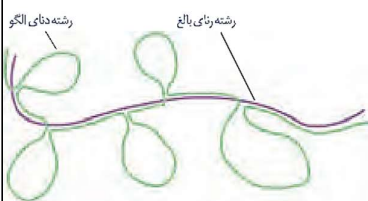
- یکی از تغییرات پس از رونویسی در یوکاریوت‌ها $\Leftarrow$ حذف بخش‌هایی از مولکول رنای پیک (پیرایش)
- تعریف پیرایش:** در بعضی ژن‌ها، توالی‌های معینی از رنای ساخته شده (اینترون یا میانه)، جدا و حذف می‌شود و سایر بخش‌ها به هم متصل می‌شوند و یک رنای پیکارچه می‌سازند. به این فرایند پیرایش گفته می‌شود.

- کشف این تغییرات در اثر مقایسه رنای درون سیتوپلاسم



(ویرایش شده) با رشته الگوی ژن آن در هسته انجام گرفت.

محققان پس از مقایسه دریافتند که: بخش‌هایی از دنا الگو با رنای رونویسی شده، دو رشته مکمل را تشکیل می‌دهند ولی بخش‌هایی نیز فاقد مکمل باقی می‌مانند.



نکته: بخش‌هایی از دنا الگو که بدون مکمل باقی می‌مانند (یعنی مکمل آن‌ها در رنا حذف شده است) به صورت حلقه‌هایی بیرون از مولکول دو رشته ای قرار می‌گیرند.

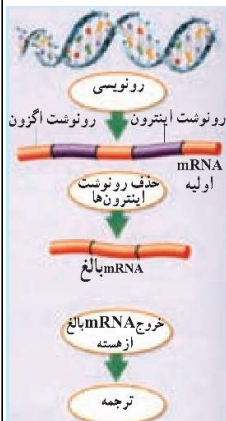
میانه (اینترون): به این نواحی که در مولکول دنا وجود دارد ولی رونوشت آن در رنای پیک سیتوپلاسمی حذف شده میانه (اینترون) می‌گویند.

بیانه (اگزون): به سایر بخش‌های مولکول دنا، که رونوشت آن‌ها حذف نمی‌شوند **بیانه** (اگزون) گفته می‌شود.

رنای نابالغ یا اولیه: رنای رونویسی شده از رشته الگو که دارای رونوشت‌های میانه دنا است.

رنای بالغ: در اثر حذف رونوشت‌های میانه از رنای اولیه و پیوستن بخش‌های باقی‌مانده به یکدیگر، ساخته می‌شود.

نکات:



- ۱- میانه و بیانه، قطعاتی از مولکول DNA بوده و بنابراین جنس آن‌ها دئوکسی‌ریبونوکلئیک اسید است.
- ۲- مولکول رنا، میانه و بیانه ندارد و تنها دارای رونوشت‌هایی از این توالی‌ها می‌باشد.
- ۳- رنای نابالغ در هسته اما رنای بالغ هم در هسته و هم در سیتوپلاسم یافت می‌شود.
- ۴- پروکاریوت‌ها (پیش‌هسته‌ای‌ها) عمل پیرایش ندارند $\Leftarrow$ رنای اولیه بدون تغییر باقی می‌ماند.
- ۵- در پروکاریوت‌ها بدلیل عدم وجود پیرایش، پروتئین‌سازی یا ترجمه (ساخت پلی‌پپتید از روی رنای پیک) بلافاصله پس از رونویسی انجام می‌شود اما در یوکاریوت‌ها بین عمل رونویسی و ترجمه، یک فاصله زمانی بدلیل انجام عمل پیرایش وجود دارد.

مثال: کدام مطلب در یوکاریوت‌ها درست است؟

- | | |
|-------------------------------------|-----------------------------------|
| (۱) همه‌ی اگزون‌ها رونویسی نمی‌شوند | (۲) همه‌ی اگزون‌ها ترجمه نمی‌شوند |
| (۳) همه اینترون‌ها رونویسی نمی‌شوند | (۴) بعضی اینترون‌ها ترجمه می‌شوند |

نکته:

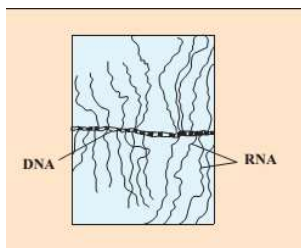
شدت و میزان رونویسی

عامل موثر بر میزان رونویسی یک ژن $\Leftarrow$ مقدار نیاز یاخته به فرآورده‌های ژن
بعضی ژن‌ها، مانند ژن‌های سازندهٔ رِنا رِنائی در یاخته‌های تازه تقسیم شده بسیار فعال‌اند $\Leftarrow$ زیرا باید تعداد زیادی از این
نوع رِناها بسازند.

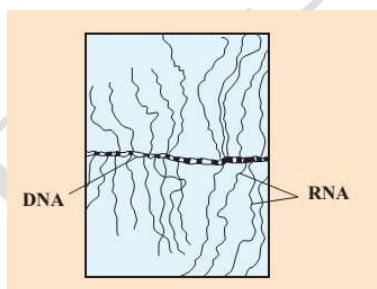
در ژن‌هایی با فعالیت زیاد: همزمان تعداد زیادی رِنابسپاراز در حال فعالیت می‌باشند $\Leftarrow$ در نتیجه همزمان تعداد زیادی
رِنا در حال ساخت هستند.

نکات:

- ۱- در ژن‌های فعال، به این دلیل که در هر زمان، رِنابسپارازها در مراحل مختلفی از رونویسی هستند، در زیر
میکروسکوپ الکترونی، اندازه رِناهای ساخته شده متفاوت دیده می‌شود (ساختاری شبیه پر).
- ۲- رِناهایی که اندازهٔ بزرگتری دارند در مراحل آخر رونویسی هستند $\Leftarrow$ در توالی‌های پایانی ژن قرار دارند.
- ۳- رِناهایی که اندازه‌های کوچکتری دارند در مراحل اولیهٔ رونویسی هستند $\Leftarrow$ در توالی‌های ابتدایی ژن قرار دارند.



- ۴- پس: ابتدای ژن دارای رِناهای کوتاه و انتهای ژن دارای رِناهای بزرگ می‌باشد.
- ۵- تمامی رِناهای ساخته شده از روی یک ژن کاملاً مشابه یکدیگر می‌باشند.
- ۶- تمام رِنابسپارازهایی که همزمان در حال رونویسی از روی یک ژن می‌باشند نیز از یک نوع هستند.
- ۷- هر ژن، فقط توسط رِنابسپاراز مخصوص همان ژن رونویسی می‌شود. مثلاً اگر چند ژن (۱ و ۲ و ۳ و ...) داشته باشیم که
محصول همگی، رِنای پیک (mRNA) باشد، همگی توسط رِنابسپاراز نوع ۲ مخصوص به خود رونویسی می‌شوند. یعنی رِنای-
بسپاراز نوع ۲ رونویسی کننده از ژن شمارهٔ ۱، فقط از روی این ژن می‌تواند رونویسی کند و رِنای پیک بسازد.
- ۸- توالی‌های بین ژنی، قطعاتی از مولکول دِنا بوده که رونویسی نمی‌شوند.

**سوال: علت تشکیل ساختار پر مانند حین رونویسی چیست؟**

- ۱) رونویسی از چند ژن مجاور توسط چند RNA پلی‌مراز
- ۲) رونویسی از یک ژن توسط چند نوع RNA پلی‌مراز
- ۳) رونویسی از چند ژن مجاور توسط یک RNA پلی‌مراز
- ۴) رونویسی از یک ژن توسط چند RNA پلی‌مراز

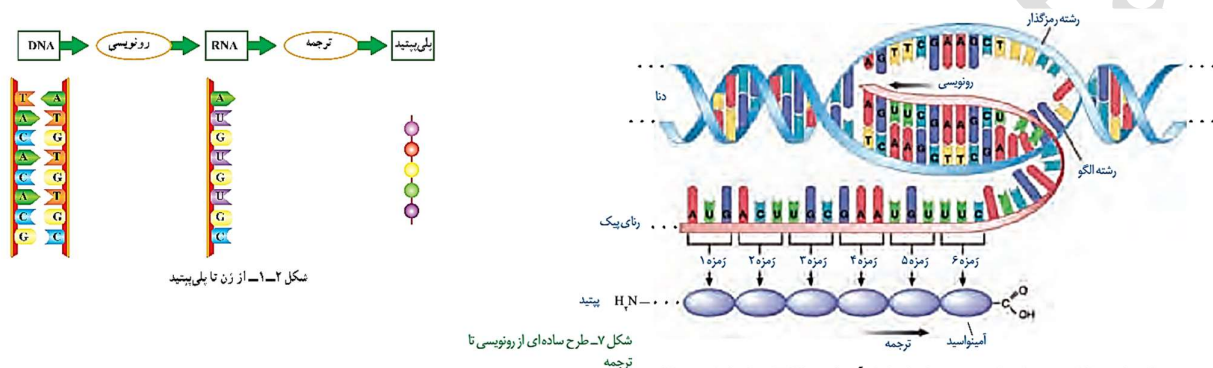
به سوی پروتئین

گفتار ۲

تبدیل زبان نوکلئیک اسیدی رنا به پلی پپتیدی

پلی پپتیدها از مهمترین فراورده‌های ژن‌ها هستند.

تعریف ترجمه: به ساخته شدن پلی پپتید از روی اطلاعات رنای پیک، ترجمه گفته می‌شود.



نکته شکل:

تعریف رمزه (کدون): توالی‌های ۳ نوکلئوتیدی در رنای پیک که هر کدام مربوط به یک آمینواسید می‌باشند.

نکته: رمزه‌های روی رنای پیک تعیین می‌کنند که کدام آمینواسیدها باید در ساختار پلی پپتید قرار بگیرند < رمزه‌ها تعیین کننده ساختار اول پروتئین‌ها می‌باشند.

در یاخته ۶۴ نوع رمزه وجود دارد < برخی آمینواسیدها بیش از یک رمزه دارند.

رمزه آمینواسیدها در جانداران یکسان‌اند < این موضوع نشان‌دهنده منشأ مشترک بین جانداران است.

رمزه‌های پایان: رمزه‌های UAA، UGA و UAG هیچ آمینواسیدی را رمز نمی‌کنند که به آنها **رمزه پایان** می‌گویند.

نکته: حضور **رمزه‌های پایان** در رنای پیک موجب پایان یافتن عمل ترجمه می‌شود.

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

نکته ۱: از ۶۴ رمزه موجود در رنای پیک، فقط ۶۱ رمزه قابل ترجمه هستند، یعنی به ازای آن‌ها آمینواسید به رشته پلی-پپتیدی افزوده می‌شود و سه رمزه (رمزه‌های پایان) قابل ترجمه نیستند.

نکته ۲: اولین آمینواسیدی که در ابتدای تمام پلی پپتیدها قرار می‌گیرد، متیونین می‌باشد. زیرا اولین رمزه‌ای که ترجمه می‌شود (رمزه آغاز) مربوط به متیونین است.

عوامل لازم در ترجمه

۱- **رنای پیک:** دستورالعمل لازم برای ساخت رشته پلی پپتیدی را از هسته (محل ژن‌ها) به رناتن (محل پروتئین سازی) می‌آورد.

۲- **آمینواسیدها:** ماده اولیه تولید پلی پپتیدها هستند.

۳- **رنای ناقل (tRNA):** آمینواسیدها را به داخل رناتن می‌برد.

۴- **رناتن‌ها:** محل تولید رشته‌های پلی پپتیدی‌اند

۵- ATP: تامین کننده انرژی لازم برای فرآیند ترجمه می‌باشد.

ساختار رنای ناقل

رنای ناقل مانند سایر رناها پس از رونویسی دچار تغییراتی می‌شود. در ساختار نهایی رنای ناقل، نوکلئوتیدهای مکمل می‌توانند پیوند هیدروژنی ایجاد کنند. به همین علت رنای تک رشته ای، روی خود تا می‌خورد (تاخوردگی اولیه). رنای ناقل در حالت فعال تاخوردگی‌های مجددی پیدا می‌کند که ساختار سه‌بعدی را به وجود می‌آورد. در این ساختار یک بخش محل اتصال آمینواسید و دیگری توالی ۳ نوکلئوتیدی به نام **پادرمزه** (آنتی کدون) است.

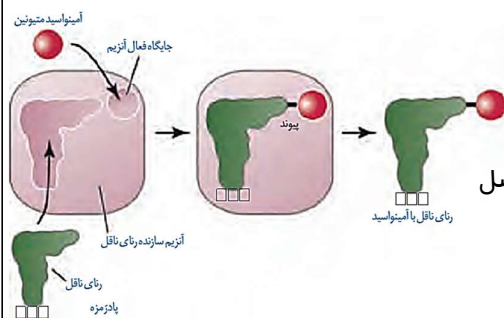
نکته ۱: توالی پادرمزه، مکمل توالی رمزه است و هنگام ترجمه با یکدیگر پیوند هیدروژنی برقرار می‌کنند. یعنی اگر توالی رمزه در رنای پیک برابر با CGA باشد، توالی پادرمزه مکمل آن در رنای ناقل برابر با GCU می‌باشد.

نکته ۲: به تعداد رمزه‌های قابل ترجمه (۶۱ رمزه)، پادرمزه وجود دارد و رمزه‌های پایان، پادرمزه ندارند.

نکته ۳: رناهای ناقل به جز در ناحیه پادرمزه ای، بقیه توالی‌هایشان مشابه با یکدیگر است.

اتصال آمینواسید به رنای ناقل:

* نوع توالی پادرمزه هر رنای ناقل تعیین کننده نوع آمینواسید متصل به آن می‌باشد. در یاخته‌ها، آنزیم‌های ویژه ای وجود دارند که براساس نوع توالی پادرمزه، آمینواسید مناسب را به رنای ناقل متصل می‌کنند.



مراحل اتصال آمینواسید به رنای ناقل:

- ۱- ابتدا رنای ناقل در جایگاه مخصوص خود در داخل آنزیم قرار می‌گیرد.
- ۲- سپس آنزیم با تشخیص پادرمزه رنای ناقل، آمینواسید مناسب را به آن متصل می‌کند.

نکته: این فرآیند نیازمند انرژی ATP می‌باشد.

نکته: یکی از رمزه‌های متیونین، AUG بوده که پادرمزه آن UAC خواهد بود.

ساختار رناتن

رناتن از دو زیرواحد (بخش) کوچک و بزرگ ساخته شده است که این دو بخش در شرایط استراحت از یکدیگر جدا بوده و فقط هنگام ترجمه بر روی یکدیگر قرار می‌گیرند (بخش کوچک بر روی بخش بزرگ قرار می‌گیرد).

جنس رناتن: پروتئین + رنای رناتنی

نکته: بخش پروتئینی رناتن درون سیتوپلاسم ساخته شده و رنای رناتنی نیز توسط رنابسپاراز نوع ۱ و از روی دنا در هسته ساخته می‌شود؛ سپس این دو بخش در سیتوپلاسم در کنار یکدیگر قرار گرفته و رناتن را می‌سازند. در جایگاه بزرگ رناتن سه بخش وجود دارد:

A: در سمت راست قرار داشته و جایگاه ورود آمینواسید می‌باشد. همچنین پیوند پپتیدی در این جایگاه برقرار می‌شود.

P: در وسط قرار دارد و جایگاه پلی‌پپتید می‌باشد.

E: در سمت چپ قرار دارد و جایگاه خروج رنای ناقل بدون آمینواسید می‌باشد.

مراحل ترجمه

ترجمه نیز مانند رونویسی، فرآیندی پیوسته است که برای سهولت آن را به سه مرحله آغاز، طویل شدن و پایان تقسیم می‌کنند.

الف) مرحله آغاز:

- ۱- ابتدا رنای پیک به زیرواحد کوچک رناتن متصل شده و زیرواحد کوچک را به سمت رمزه آغاز (AUG) هدایت می‌کند.
- ۲- سپس در این محل رنای ناقلی که مکمل رمزه آغاز است به آن متصل می‌شود (اولین رنای ناقل همیشه دارای پادرمزه UAC می‌باشد).
- ۳- در مرحله بعد، زیرواحد بزرگ رناتن نیز به این مجموعه اضافه شده و ساختار رناتن کامل می‌شود. زیرواحد بزرگ به صورتی قرار می‌گیرد که رمزه آغاز و پادرمزه مکمل آن در جایگاه P قرار بگیرند و دومین رمزه در جایگاه A قرار می‌گیرد.

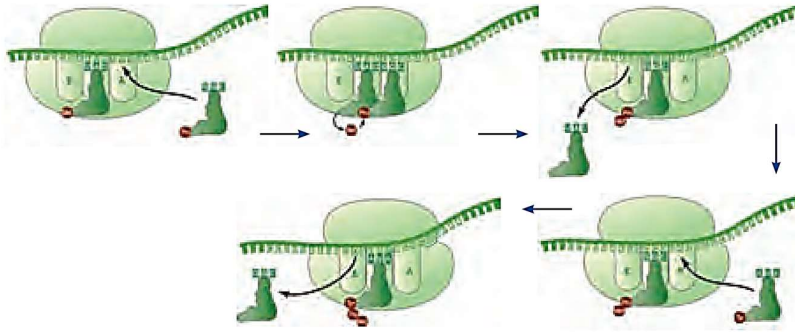


نکات:

- ➡ در مرحله آغاز فقط جایگاه P در زیرواحد بزرگ پر می‌شود (توسط پادرمزه مکمل رمزه آغاز) و جایگاه‌های E و A خالی می‌ماند.
- ➡ پس اولین رنای ناقل در جایگاه P قرار می‌گیرد اما رنای ناقل بعدی ابتدا وارد جایگاه A شده و سپس به جایگاه P منتقل می‌شوند.

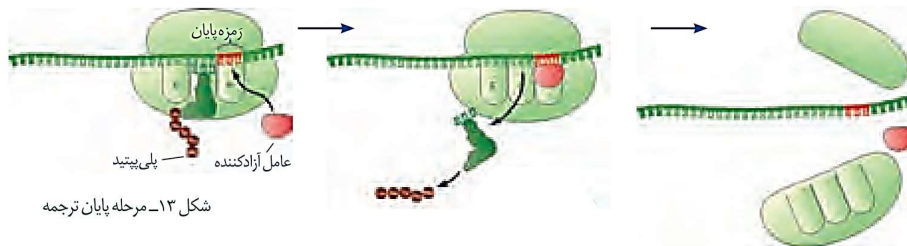
ب) مرحله طویل شدن:

- ۱- ورود دومین رنای ناقل به جایگاه A
نکته: در این مرحله ممکن است رنای ناقل مختلفی وارد جایگاه A رناتن شوند، اما فقط رنایی که مکمل رمزه جایگاه A است، استقرار پیدا می‌کند؛ در غیر این صورت جایگاه را ترک می‌کند.
 - ۲- سپس آمینواسید جایگاه P از رنای ناقل خود جدا می‌شود و با آمینواسید جایگاه A پیوند پپتیدی برقرار می‌کند.
 - ۳- پس از جدا شدن آمینواسید از رنای ناقل جایگاه P، رناتن به اندازه یک رمزه (سه نوکلئوتید) به سوی رمزه پایان حرکت می‌کند تا رمزه بعدی در جایگاه A قرار گیرد. در این حالت رمزه اول و رنای ناقل متصل به آن (رنای ناقل فاقد آمینواسید) در جایگاه E و رمزه دوم و رنای ناقل متصل به آن (حاوی رشته پلی‌پپتیدی) در جایگاه P قرار می‌گیرند و جایگاه A خالی می‌شود تا پذیرای رنای ناقل بعدی باشد.
 - ۴- رنای ناقل بدون آمینواسید از جایگاه E خارج می‌شود و رنای ناقل بعدی در جایگاه A قرار می‌گیرد.
- این فرآیند بارها تکرار می‌شود تا زنجیره آمینواسیدی طویل‌تر شود و رناتن به یکی از رنزه‌های پایان برسد.

**ج) مرحلهٔ پایان:**

- ۱- ورود یکی از رمزه‌های پایان (UAA، UAG و UGA) به جایگاه A ریبوزوم.
- ۲- چون رمزه‌های پایان، هیچ گونه رنای ناقلی ندارند، پس بجای رنای ناقل، پروتئین‌هایی به نام عوامل آزادکننده در جایگاه A ریبوزوم قرار می‌گیرند.

- ۳- نقش عوامل آزادکننده
 - ۱- جداسدن پلی‌پپتید از آخرین رنای ناقل در جایگاه P
 - ۲- جدا شدن زیرواحدهای رناتن از یکدیگر و آزادشدن رنای پیک

**نکات پروتئین‌سازی:**

- ۱- اولین رنای ناقلی که وارد رناتن می‌شود وارد جایگاه P شده و مابقی رنای ناقل ابتدا وارد جایگاه A می‌شوند.
- اولین آمینواسید (متصل به اولین رنای ناقل) وارد جایگاه P می‌شود، اما بقیه آمینواسیدها ابتدا وارد جایگاه A می‌شوند.
- ۲- اولین رنای ناقلی که وارد رناتن می‌شود، در جایگاه P قرار می‌گیرد و از جایگاه E خارج می‌شود اما آخرین رنای ناقلی که وارد رناتن می‌شود، در جایگاه A قرار گرفته و از جایگاه P خارج می‌شود.
- ۳- اولین رنای ناقلی که وارد رناتن می‌شود مکمل رمزهٔ آغاز بوده اما آخرین رنای ناقلی که وارد رناتن می‌شود، مکمل رمزهٔ مقابل پایان می‌باشد.
- ۴- اولین رنای ناقل هیچ‌گاه وارد جایگاه A نمی‌شود و آخرین رنای ناقل نیز هیچ‌گاه وارد جایگاه E نمی‌شود.
- ۵- رمزهٔ آغاز رنای پیک در جایگاه P و رمزهٔ پایان آن در جایگاه A قرار می‌گیرد.
- ۶- پلی‌پپتید ساخته شده در نهایت از جایگاه P خارج می‌شود.
- ۷- یک رنای پیک می‌تواند چندین بار ترجمه شود.
- ۸- زیرواحدهای ریبوزوم چندین بار دیگر مراحل ترجمه را تکرار می‌کنند.
- ۹- دقت کنید که در هر بار ترجمه، یک رشتهٔ پلی‌پپتیدی ساخته شده و پروتئین ساخته نمی‌شود. پروتئین‌ها در اثر کنار هم قرار گرفتن و پیچ و تاب خوردن پلی‌پپتیدها ساخته می‌شوند.

محل ورود	محل خروج	مکمل کدام رمزه است	در کدام جایگاه قرار نمی گیرد؟
P	E	آغاز (AUG)	A
A	P	ماقبل پایان	E

محل های ساخت پروتئین ها

۱- داخل سیتوپلاسم
۲- داخل میتوکندری و کلروپلاست

نکته: هر جایی که رناتن حضور داشته باشد، پروتئین سازی هم انجام می شود.

سرنوشت پروتئین های ساخته شده در سیتوپلاسم :

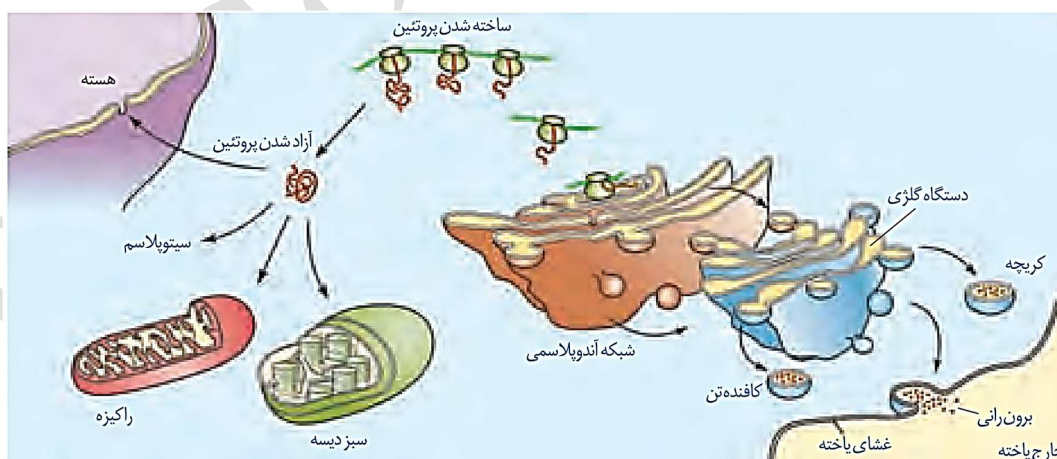
۱- پروتئین هایی که به شبکه آندوپلاسمی و دستگاه گلژی می روند

ممکن است برای ترشح به خارج یاخته بروند
ممکن است به کریچه (واکوئل) یا کافنده تن (لیزوزوم) بروند.

۲- پروتئین هایی که به شبکه آندوپلاسمی و دستگاه گلژی نمی روند

یا در سیتوپلاسم می مانند
یا به راکیزه، هسته و دیسه ها می روند.

نکته: براساس مقصدی که پروتئین باید برود، توالی های آمینواسیدی در آن وجود دارد که پروتئین را به مقصد هدایت می کند.



سرعت و مقدار پروتئین سازی:

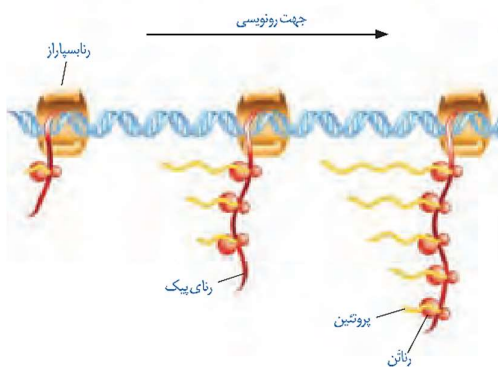
سرعت و مقدار پروتئین سازی در یاخته‌ها بر اساس نیاز یاخته تامین می‌شود.

۱- در پیش‌هسته‌ای‌ها (پروکاریوت‌ها):

پروتئین سازی ممکن است پیش از پایان رونویسی رِنا‌ی پیک (mRNA) انجام شود زیرا:

الف) طول عمر رِنا‌ی پیک در این یاخته‌ها کم است.

ب) رِنا‌ی پیک در پیش‌هسته‌ای‌ها پیرایش نمی‌شود و بنابراین بلافاصله پس از رونویسی و یا در مراحل پایانی رونویسی، ترجمه می‌شود.



نکته شکل: در پیش‌هسته‌ای‌ها، چندین رِنا‌تن (ریبوزوم) به طور همزمان به رِنا‌ی پیکی که در حال رونویسی می‌باشد، متصل می‌شوند و عمل ترجمه را انجام می‌دهند. در نتیجه به طور همزمان، چندین پلی‌پپتید از روی یک رِنا‌ی پیک ساخته می‌شود. در این مجموعه، رِنا‌تن‌ها مانند دانه‌های تسبیح و رِنا‌ی پیک شبیه نخ است که از درون این دانه‌ها می‌گذرد.

* نتیجه‌گیری: عامل افزایش سرعت پروتئین سازی در پیش‌هسته‌ای‌ها $\Leftarrow$ همکاری جمعی رِنا‌تن‌ها

۱- در هوهسته‌ای‌ها (یوکاریوت‌ها):

تجمع رِنا‌تن‌ها در یوکاریوت‌ها نیز دیده می‌شود.

در این یاخته‌ها سازوکارهایی برای حفاظت رِنا‌ی پیک در برابر تخریب وجود دارد $\Leftarrow$ بنابراین، فرصت بیشتری برای پروتئین سازی هست.

نکته: در یوکاریوت‌ها، همزمانی ترجمه و رونویسی، مانند آنچه در پروکاریوت‌ها اتفاق می‌افتد، میسر نیست. زیرا رونویسی در یوکاریوت‌ها، درون هسته انجام می‌شود اما پروتئین سازی درون سیتوپلاسم. همچنین رِنا‌ی پیک تولید شده در یوکاریوت‌ها، قبل از خروج از هسته باید مورد پیرایش قرار گیرد و نمی‌تواند مستقیماً ترجمه شود.

گفتار ۳ تنظیم بیان ژن

تمامی یاخته‌های بدن انسان، در اثر تقسیمات یاخته تخم بوجود می‌آیند. با اینکه یاخته‌های حاصل، از نظر فام‌تنی و ژن‌ها یکسان‌اند، اما شکل و عمل متفاوتی با یکدیگر دارند. مثلاً یاخته‌های عصبی و ماهیچه‌ای بدن یک فرد، ژن‌های یکسانی دارند ولی دارای عملکرد و شکل متفاوتی هستند.

سوال: چگونه ممکن است یاخته‌هایی با ژن‌های یکسان تا این حد متفاوت باشند؟

پاسخ: در هر یاخته تنها تعدادی از ژن‌ها فعال و سایر ژن‌ها غیرفعال هستند.

هرگاه اطلاعات ژنی در یک یاخته مورد استفاده قرار بگیرد، می‌گوییم آن ژن بیان شده و به اصطلاح روشن است.

ژنی که مورد استفاده قرار نمی‌گیرد خاموش است و به اصطلاح بیان نشده.

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.

تنظیم بیان ژن: به فرایندهایی که تعیین می‌کنند در چه هنگام، به چه مقدار و کدام ژن‌ها بیان شوند و با بیان نشوند، فرایندهای تنظیم بیان ژن می‌گویند.

تنظیم بیان ژن فرایندی بسیار دقیق و پیچیده است و عوامل متعددی ممکن است بر آن اثر بگذارند.

مزایای تنظیم بیان ژن:

- ۱- تنظیم بیان ژن موجب می‌شود تا جاندار به تغییرات پاسخ دهد؛ مثلاً در گیاه، نور میتواند باعث فعال شدن ژن سازنده آنزیمی شود که در فتوسنتز مورد استفاده قرار می‌گیرد. در حالیکه در نبود نور این ژن بیان نمی‌شود.
- ۲- همچنین تنظیم بیان ژن می‌تواند موجب ایجاد یاخته‌های مختلفی از یک یاخته شود. یاخته‌های متفاوتی که از یاخته‌های بنیادی مغز استخوان ایجاد می‌شوند.

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 و پروتئین تأثیر بگذارد ولی به‌طور معمول تنظیم بیان ژن در مرحله رونویسی انجام می‌شود.
- در مواردی هم ممکن است یاخته با تغییر در پایداری (طول عمر) رنا یا پروتئین، فعالیت آن را تنظیم کند.

تنظیم رونویسی در پروکاریوتها

برای روشن شدن ژن $\Rightarrow$ عواملی به پیوستن رنابسپاراز به توالی راه انداز کمک می‌کنند (تسهیل رونویسی).

در این نوع تنظیم

برای خاموش شدن ژن $\Rightarrow$ عواملی از پیوستن رنابسپاراز به توالی راه انداز جلوگیری می‌کنند (ممانعت از رونویسی).

مثالی از تنظیم بیان ژن در باکتری اشرشیاکلی (پروکاریوت):

قند مصرفی باکتری $\Leftarrow$ گلوکز (مونوساکارید)

قند مصرفی در صورت عدم وجود گلوکز در محیط $\Leftarrow$ لاکتوز (دیساکارید).

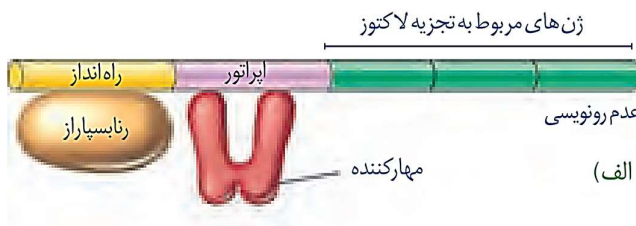
* بدلیل متفاوت بودن آنزیم‌های تجزیه کننده لاکتوز و گلوکز:

در صورت عدم وجود گلوکز و وجود لاکتوز در محیط $\Leftarrow$ ژن‌های مربوط به آنزیم‌های تجزیه کننده لاکتوز (ژن ۳) روشن می‌شود $\Leftarrow$ تولید آنزیم‌های تجزیه کننده لاکتوز در باکتری، افزایش می‌یابد.

در صورت کاهش لاکتوز در محیط $\Leftarrow$ آنزیم‌های تجزیه کننده لاکتوز در باکتری کم می‌شوند (در اثر کاهش فعالیت ژن‌ها).
در صورت عدم وجود لاکتوز در محیط $\Leftarrow$ بدلیل خاموش شدن ژن‌ها، تولید آنزیم‌های تجزیه کننده لاکتوز در باکتری متوقف می‌شود.

*** نکته مهم:** اگر هم گلوکز در محیط باشد و هم لاکتوز، ژن‌های آنزیم‌های تجزیه کننده لاکتوز خاموش می‌مانند. زیرا اولویت باکتری، مصرف گلوکز است.

تنظیم منفی رونویسی در پروکاریوت‌ها



نکات شکل:

۱- آنزیم‌های تجزیه کننده لاکتوز توسط سه ژن تولید می‌شوند.

۲- قبل از این سه ژن، یک اپراتور و یک راه‌انداز وجود دارد (اپراتور بین راه‌انداز و ژن‌ها قرار دارد) که هیچ کدام رونویسی نمی‌شوند.

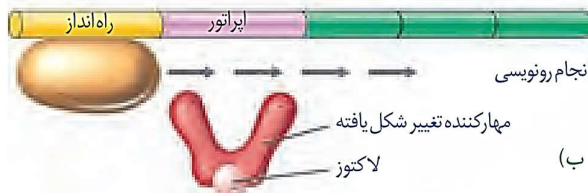
۳- تمامی این توالی‌ها (ژن‌ها، اپراتور و راه‌انداز) بخش‌هایی از یک رشته DNA می‌باشند.

۴- آنزیم رنابسپاراز به راه‌انداز متصل می‌شود و پروتئین مهار کننده به اپراتور.

الف) مکانیسم خاموش ماندن ژن: در صورت عدم وجود لاکتوز در محیط، پروتئین مهار کننده مانع از حرکت آنزیم رنابسپاراز می‌شود $\Leftarrow$ رونویسی انجام نمی‌شود.

ب) مکانیسم روشن شدن ژن: در صورت وجود لاکتوز در محیط، لاکتوز وارد باکتری شده و با مهار کننده اتصال می‌یابد. اتصال لاکتوز به مهار کننده موجب تغییر شکل مهار کننده می‌شود و در نتیجه $\Leftarrow$ مهار کننده از اپراتور جدا می‌شود و دیگر نمی‌تواند به آن متصل شود $\Leftarrow$ با برداشته شدن مانع سر راه، رنابسپاراز می‌تواند رونویسی ژن‌ها را انجام دهد.

نکات:



۱- بدلیل اینکه سه ژن همزمان با یکدیگر رونویسی شده و یا از رونویسی آنها ممانعت به عمل می‌آید، در نتیجه محصول آن‌ها (آنزیم‌های تجزیه کننده لاکتوز) نیز همزمان با یکدیگر افزایش و یا کاهش خواهد یافت.

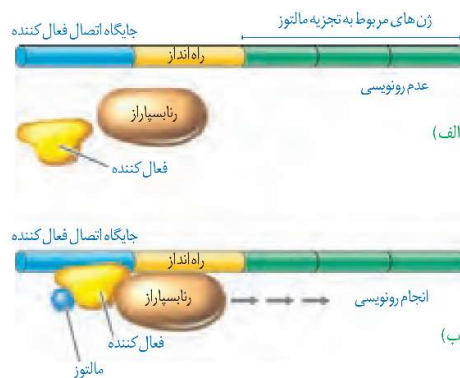
۲- رونویسی از ژن‌های پروتئین مهار کننده و آنزیم رنابسپاراز، در توالی‌های دیگری DNA باکتری انجام شده و بنابراین حتی در صورت خاموش بودن ژن‌های آنزیم‌های تجزیه لاکتوز، رونویسی از ژن مهار کننده و آنزیم رنابسپاراز انجام می‌شود.

۳- در این جا، لاکتوز را عامل رونویسی می نامند. یعنی لاکتوز باعث می شود که پروتئین مهار کننده تغییر شکل یابد و رونویسی انجام شود.

تنظیم مثبت رونویسی در پروکاریوت ها:

در این نوع تنظیم، پروتئین های خاصی به رنابسپاراز کمک می کنند تا بتواند به راه انداز متصل شود و رونویسی را شروع کند.

مثال: تنظیم مثبت رونویسی از ژن های آنزیم های تجزیه کننده مالتوز (دی ساکارید: گلوکز + گلوکز)



نکات شکل:

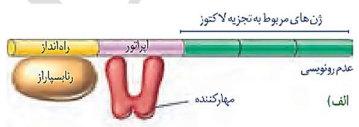
- ۱- ژن های مربوط به آنزیم های تجزیه مالتوز نیز همانند ژن های آنزیم های تجزیه کننده لاکتوز، سه عدد می باشند.
- ۲- در تنظیم مثبت رونویسی، اپراتور و پروتئین مهار کننده نداریم.
- ۳- در تنظیم مثبت رونویسی، راه انداز به اولین ژن متصل است و قبل از راه انداز نیز جایگاه اتصال فعال کننده وجود دارد (راه انداز بین اولین ژن و جایگاه اتصال فعال کننده قرار دارد).

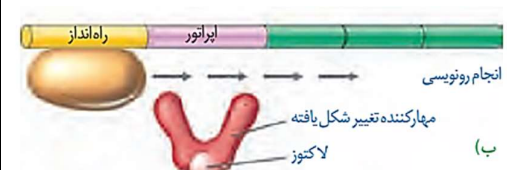
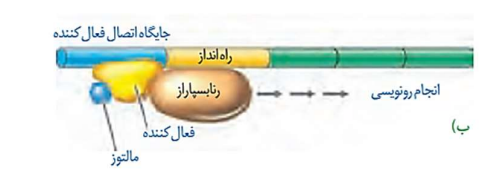
مراحل تنظیم مثبت ژن:

- ۱- در صورت عدم وجود مالتوز در محیط، پروتئین فعال کننده به جایگاه اتصال خود نمی چسبد و در نتیجه رنابسپاراز نیز به راه انداز متصل نمی شود $\Rightarrow$ رونویسی انجام نگرفته و ژن ها خاموش می مانند.
 - ۲- در صورت وجود لاکتوز در محیط:
- الف) ابتدا مالتوز به پروتئین فعال کننده می چسبد
- ب) اتصال مالتوز به پروتئین فعال کننده، موجب می شود تا این پروتئین به جایگاه خود بر روی DNA اتصال یابد.
- ج) پروتئین فعال کننده پس از اتصال به جایگاه خود، به رنابسپاراز کمک می کند تا به راه انداز متصل شود و رونویسی را شروع کند $\Rightarrow$ ژن روشن می شود.

نکات:

- ۱- در این جا، عامل رونویسی $\Rightarrow$ مالتوز

جدول مقایسه ای تنظیم مثبت و منفی رونویسی در باکتری اشرشیاکلی (E.Coli)		
تنظیم منفی	تنظیم مثبت	مثال
رونویسی از ژن های آنزیم های تجزیه کننده لاکتوز	رونویسی از ژن های آنزیم های تجزیه کننده مالتوز	
		
۳ ژن	۳ ژن	تعداد ژن در توالی ژنی
راه انداز و اپراتور	جایگاه اتصال فعال کننده و راه انداز	توالی های تنظیم کننده
مهار کننده: از حرکت رنابسپاراز بر روی DNA و انجام رونویسی، ممانعت بعمل می آورد.	فعال کننده: موجب اتصال رنابسپاراز به راه انداز می شود	پروتئین تنظیم کننده

لاکتوز: موجب تغییر شکل و جدا شدن مهارکننده از اپراتور شده که این امر موجب حرکت رنابسپاراز و آغاز رونویسی می‌شود.  (ب)	مالتوز: موجب اتصال فعال کننده به جایگاه خود شده که این امر موجب اتصال رنابسپاراز به راه-انداز و آغاز رونویسی می‌شود.  (ب)	عامل تنظیم کننده (عامل روشن کننده ژن‌ها)
---	--	---

نکته مهم: در تنظیم مثبت رونویسی، برای آغاز رونویسی، رنابسپاراز باید به راه‌انداز متصل شود، اما در تنظیم منفی رونویسی، رنابسپاراز به راه‌انداز متصل است، و برای آغاز رونویسی، باید مهارکننده از سر راهش برداشته شود.

تنظیم بیان ژن در یوکاریوت‌ها (هسته‌ای‌ها):

- 👉 تنظیم بیان ژن در هسته‌ای‌ها پیچیده‌تر از پروکاریوت‌ها (پیش‌هسته‌ای‌ها) است و می‌تواند در مراحل بیشتری انجام شود.
- 👉 یاخته‌های هسته‌ای به وسیله غشاها به بخش‌های مختلفی تقسیم شده‌اند. بنابراین، اگر یاخته بخواهد نسبت به یک ماده (عامل تنظیم کننده) واکنش نشان دهد باید این عوامل به طریقی از غشاها عبور کنند و ژن‌ها را تحت تأثیر قرار دهند.
- 👉 در یاخته‌های هسته‌ای، بیشتر ژن‌ها در هسته و برخی در راکیزه و دیسه‌ها قرار دارند. در هر یک از این محل‌ها، یاخته می‌تواند بر بیان ژن نظارت داشته باشد.

*** نکته مهم:** تنظیم بیان ژن در یوکاریوت‌ها می‌تواند در مراحل متعدد و در محل‌های مختلفی انجام شود.

انواع تنظیم بیان ژن در یوکاریوت‌ها:

الف) تنظیم بیان ژن هنگام رونویسی: شامل تنظیم بیان ژن در آغاز رونویسی و پس از آغاز رونویسی (افزایش سرعت رونویسی) می‌باشد.

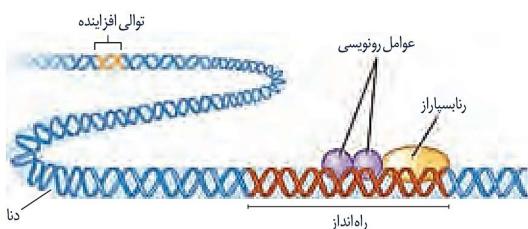
۱. تنظیم بیان ژن در مرحله آغاز رونویسی

تنظیم پیوستن رنابسپاراز به راه‌انداز:

در هسته‌ای‌ها نیز مانند پیش‌هسته‌ای‌ها، رونویسی با پیوستن رنابسپاراز به راه‌انداز آغاز می‌شود. در هسته‌ای‌ها رنابسپاراز نمی‌تواند به تنهایی راه‌انداز را شناسایی کند و برای پیوستن به آن نیازمند پروتئین‌هایی به نام **عوامل رونویسی** هستند.

گروهی از این پروتئین‌ها (عوامل رونویسی) با اتصال به نواحی خاصی از راه‌انداز، رنابسپاراز را به محل راه‌انداز هدایت می‌کند.

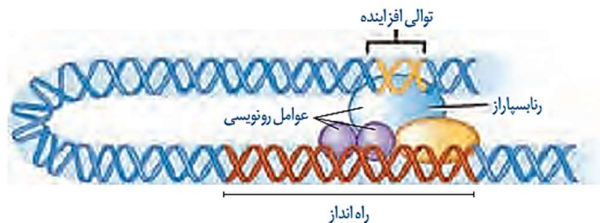
*** عوامل مختلفی می‌توانند تمایل عوامل رونویسی را به راه‌انداز تغییر دهند و در نتیجه، مقدار رونویسی را کاهش دهند.**



۲. تنظیم بیان ژن از طریق افزایش سرعت رونویسی

در هوهسته ای‌ها ممکن است عوامل رونویسی دیگری به بخشهای خاصی 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 قرار گیری این عوامل، سرعت رونویسی را افزایش می‌دهند.

نکته: توالیهای افزایشده متفاوت از راه انداز هستند و ممکن است در فاصله دوری از ژن قرار داشته باشند.



نکته مهم: در یوکاریوت‌ها دو نوع پروتئین تنظیم کننده وجود دارد.

که به هر دو عوامل رونویسی می‌گویند:

الف) عوامل رونویسی متصل به راه انداز

ب) عوامل رونویسی متصل به توالی افزایشده

نکات:

۱- برای آغاز رونویسی در یوکاریوت‌ها، همیشه وجود عوامل رونویسی متصل به راه انداز، ضروری می‌باشد اما در پروکاریوت‌ها، فقط در روش تنظیم مثبت، اتصال رناسپاراز به راه انداز نیازمند یک عامل رونویسی به نام پروتئین فعال کننده می‌باشد و در تنظیم منفی، رناسپاراز بدون هیچ واسطه‌ای به راه انداز متصل می‌شود.

۲- توالی افزایشده همانند راه انداز، بخشی از مولکول DNA می‌باشد.

۳- در یوکاریوت‌ها، اتصال عوامل رونویسی متصل به افزایشده و عوامل رونویسی متصل به راه انداز، موجب افزایش سرعت و مقدار رونویسی می‌شود و نه شروع رونویسی. شروع رونویسی با پیوستن رناسپاراز به راه انداز رخ می‌دهد.

جدول مقایسه پروتئین‌های تنظیم کننده رونویسی در پروکاریوت‌ها و یوکاریوت‌ها

نام	جنس	نقش	نتیجه عمل
مهار کننده	پروتئین	جلوگیری از حرکت رناسپاراز	عدم رونویسی از ژن
فعال کننده	پروتئین	اتصال رناسپاراز به راه انداز	آغاز رونویسی از ژن
عوامل رونویسی متصل به راه انداز	پروتئین	هدایت رناسپاراز به راه انداز	آغاز رونویسی از ژن
عوامل رونویسی متصل به افزایشده	پروتئین	ایجاد خمیدگی در دنا و قرار گرفتن عوامل رونویسی در کنار یکدیگر	افزایش سرعت رونویسی

ب) تنظیم بیان ژن در مراحل غیر رونویسی:

۱- تنظیم بیان ژن پیش از رونویسی = تنظیم در سطح فام‌تنی

از طریق تنظیم فشردگی فام‌تن‌ها (کروموزوم‌ها) انجام می‌شود. به‌طور معمول بخش‌های فشردۀ فام‌تن کمتر در دسترس رناسپارازها قرار می‌گیرند بنابراین یاخته می‌تواند با تغییر در میزان فشردگی فام‌تن در بخش‌های خاصی، دسترسی رناسپاراز را به ژن مورد نظر تنظیم کند.

یعنی $\left. \begin{array}{l} \text{افزایش فشردگی فام‌تن} \Rightarrow \text{کاهش دسترسی رناسپاراز به DNA} \Rightarrow \text{کاهش رونویسی از ژن} \\ \text{کاهش فشردگی فام‌تن} \Rightarrow \text{افزایش دسترسی رناسپاراز به DNA} \Rightarrow \text{افزایش رونویسی از ژن} \end{array} \right\}$

۲- تنظیم پس از رونویسی:

الف) **جلوگیری از ترجمهٔ رنای پیک:** اتصال بعضی رناهای کوچک مکمل به رنای پیک مثالی از تنظیم بیان ژن پس از رونویسی است. با اتصال این رناها، از کار رناتن جلوگیری می‌شود. در نتیجه، عمل ترجمه متوقف و رنای پیک ساخته شده پس از مدتی تجزیه می‌شود.

ب) **طول عمر رنای پیک:** افزایش طول عمر رنای پیک موجب افزایش محصول می‌شود. این فرایندها در میزان پروتئین-سازی مؤثر خواهند بود (موجب افزایش ترجمه می‌شوند).

نکته: علاوه بر این روش‌ها، شیوه‌های دیگری نیز در تنظیم بیان ژن مؤثرند که نحوه عمل بسیاری از آنها ناشناخته است.

جمع‌بندی:

