



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، دئوکسی‌ریبونوکلئوتیدها در برابر نوکلئوتیدهای مکمل رشتهٔ الگو قرار می‌گیرند، اما در رونویسی ریبونوکلئوتیدها در برابر نوکلئوتیدهای مکمل رشتهٔ الگو 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 دنا‌باز انجام می‌شود در حالی که در رونویسی فقط یک آنزیم به نام رنا‌باز نقش دارد.

۵- همانندسازی ویرایش دارد اما رونویسی ندارد.

۶- در همانندسازی کل دو رشته دنا مورد استفاده قرار می‌گیرند اما در رونویسی فقط بخشی از یک رشته دنا مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در پیش‌هسته‌ای‌ها ← فقط یک نوع رنابسپاراز وجود دارد.

آنزیم‌های موثر در رونویسی

در هوهسته‌ای‌ها ← سه نوع رنابسپاراز وجود دارد

نوع ۱ ← رنای رناتنی (rRNA) را می‌سازد
نوع ۲ ← رنای پیک (mRNA) را می‌سازد
نوع ۳ ← رنای ناقل (tRNA) را می‌سازد

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

(۱) هسته-هسته (۲) هسته-سیتوپلاسم

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

سوال ۳: به ترتیب رونویسی از ژن‌های رنای رناتنی و پروتئین‌های 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 ژن‌های رنا بسپارازهای نوع ۱ و رنا بسپارازهای نوع ۲ توسط کدام رنا بسپارازها انجام می‌شود؟

(۱) II-I (۲) I-II (۳) I-I (۴) II-II

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

(۱) هسته - هسته (۲) هسته - سیتوپلاسم

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

جدول مقایسه‌ای دنا بسپاراز و رنا بسپاراز

رنابسپاراز	دنا بسپاراز	
رونویسی	همانندسازی	در چه فرآیندی شرکت می‌کند
دارد	ندارد	توانایی شکستن پیوندهیدروژنی
دارد	دارد	توانایی ایجاد پیوند فسفودی استری
ندارد	دارد	فعالیت نوکلئازی (شکستن پیوند فسفودی استری) یا ویرایش
ریبونوکلئوتید	دئوکسی‌ریبونوکلئوتید	پیش ماده جهت تولید نوکلئیک اسید
RNA	DNA	محصول
رناتن‌های سیتوپلاسم	رناتن‌های سیتوپلاسم	محل تولید
هسته	هسته	محل فعالیت در یوکاریوت‌ها
سیتوپلاسم	سیتوپلاسم	محل فعالیت در پروکاریوت‌ها

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.

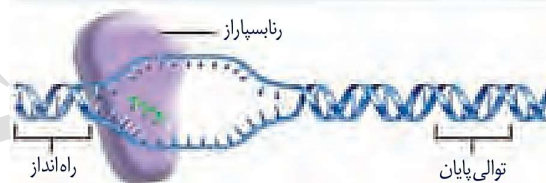
b- باز شدن بخش کوچکی از مولکول دنا توسط آنزیم رنابسپاراز (در این مرحله، آنزیم پیوندهای هیدروژنی را بین دو رشته دنا می‌شکند).

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

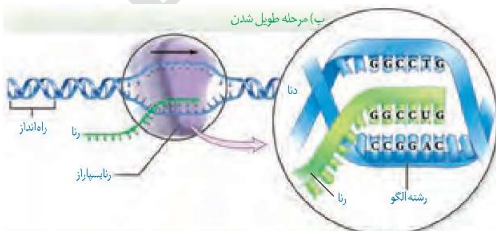


ب) مرحله طویل شدن:

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.

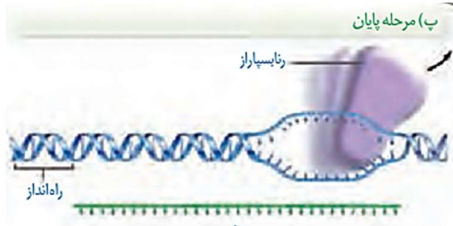


ج) مرحله پایان:

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.

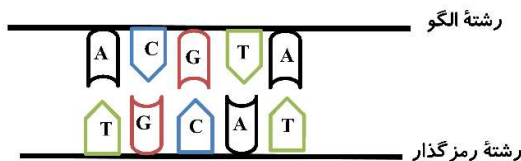
۲- پس از جداسازی آنزیم، دو رشته دنا به هم متصل می‌شوند.



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 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 رونویسی شده است **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

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

تغییر رناها:

- در یوکاریوت‌ها (هسته‌ای‌ها) رنایی که در هسته رونویسی می شود با رنایی که در سیتوپلاسم وجود دارد تفاوت‌هایی دارد.
- این تغییرات در بیشتر رناها انجام می شود.
- تغییرات رناها برای انجام کارهای این مولکول‌ها 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 RNA پیک (پیرایش)
- **تعریف پیرایش:** در بعضی ژن‌ها، توالی‌های معینی از RNA ساخته شده (اینترون یا میانه)، جدا و حذف می‌شود و سایر بخشها به هم متصل می‌شوند و یک RNA پیکارچه می‌سازند. به این فرایند پیرایش گفته می‌شود.

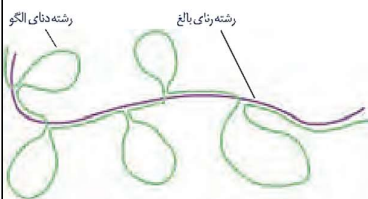
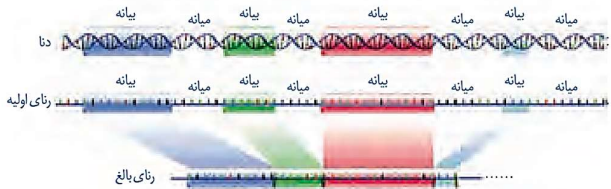
○ کشف این تغییرات در اثر مقایسه RNA درون سیتوپلاسم

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

○ محققان پس از مقایسه دریافتند که: بخشهایی از DNA الگو با

RNA رونویسی شده، دو رشته مکمل را تشکیل می‌دهند ولی

بخشهایی نیز فاقد مکمل باقی می‌مانند.



نکته: بخش‌هایی از DNA الگو که بدون مکمل باقی می‌مانند (یعنی مکمل آن‌ها در

RNA حذف شده است) به صورت حلقه‌هایی بیرون از مولکول دو رشته ای قرار می‌گیرند.

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

(اینترون) می‌گویند.

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

RNA نابالغ یا اولیه: RNA رونویسی شده از رشته الگو که دارای رونوشت‌های میانه DNA است.

RNA بالغ: در اثر حذف رونوشت‌های میانه از RNA 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 RNA، میانه و بیانه ندارد و تنها دارای رونوشت‌هایی از این توالی‌ها می‌باشد.

۳- RNA نابالغ در هسته اما RNA بالغ هم در هسته و هم در سیتوپلاسم یافت می‌شود.

۴- پروکاریوت‌ها (پیش‌هسته‌ای‌ها) عمل پیرایش ندارند \leftarrow RNA اولیه بدون تغییر باقی می‌ماند.

۵- در پروکاریوت‌ها دلیل عدم وجود پیرایش، پروتئین‌سازی یا ترجمه (ساخت پلی‌پپتید از روی RNA پیک)

بلافاصله پس از رونویسی انجام می‌شود اما در یوکاریوت‌ها بین عمل رونویسی و ترجمه، یک فاصله زمانی

دلیل انجام عمل پیرایش وجود دارد.

مثال: کدام مطلب در یوکاریوت‌ها درست است؟

(۲) همه‌ی اکزون‌ها ترجمه نمی‌شوند

(۱) همه‌ی اکزون‌ها رونویسی نمی‌شوند

(۴) بعضی اینترون‌ها ترجمه می‌شوند

(۳) همه اینترون‌ها رونویسی نمی‌شوند

نکته:

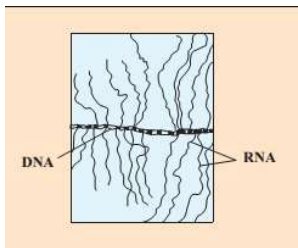
شدت و میزان رونویسی

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

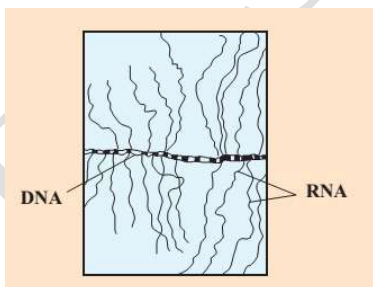
در ژن‌هایی با فعالیت زیاد: همزمان تعداد زیادی رِنابسپاراز در حال فعالیت می‌باشند \Leftarrow در نتیجه همزمان تعداد زیادی
رِنا در حال ساخت هستند.

نکات:

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



- ۴- پس: ابتدای ژن دارای رِنهای کوتاه و انتهای ژن دارای رِنهای بزرگ می‌باشد.
- ۵- تمامی رِنهای 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-
بسیاراز 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 دِنَا بوده که رونویسی نمی‌شوند.



سوال: علت تشکیل ساختار پر مانند حین رونویسی چیست؟

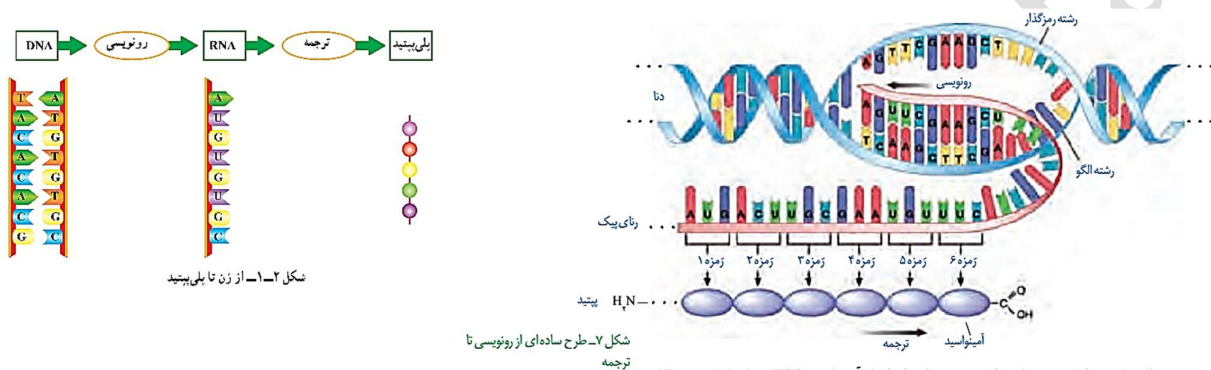
- ۱) رونویسی از چند ژن مجاور توسط چند RNA پلی‌مراز
- ۲) رونویسی از یک ژن توسط چند نوع RNA پلی‌مراز
- ۳) رونویسی از چند ژن مجاور توسط یک RNA پلی‌مراز
- ۴) رونویسی از یک ژن توسط چند RNA پلی‌مراز

گفتار ۲ به سوی پروتئین

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 \leftarrow رمزه‌ها تعیین کننده ساختار اول پروتئین‌ها می‌باشند.

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

رمزه آمینواسیدها در جانداران یکسان‌اند \leftarrow 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 پروتئین‌سازی) 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.

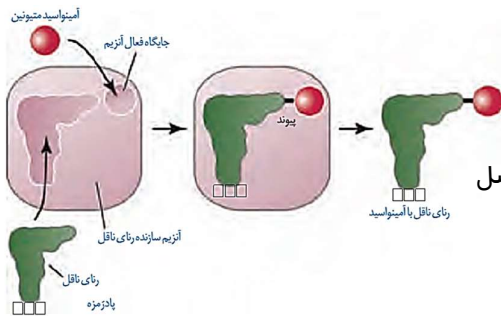
نکته ۲: به تعداد رمزه‌های قابل ترجمه (۶۱ رمزه)، پادرمزه وجود دارد و رمزه‌های پایان، پادرمزه ندارند.

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.

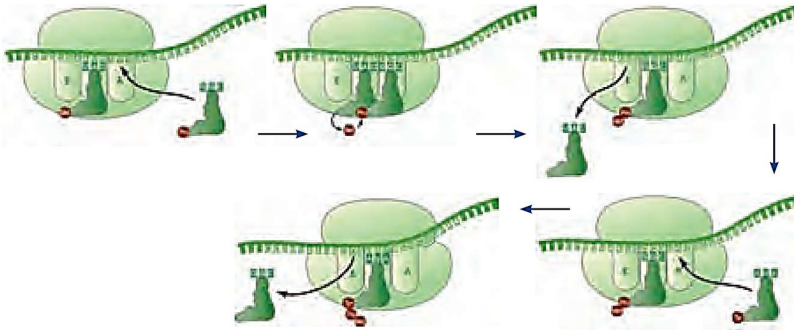


نکات:

- ☞ 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:

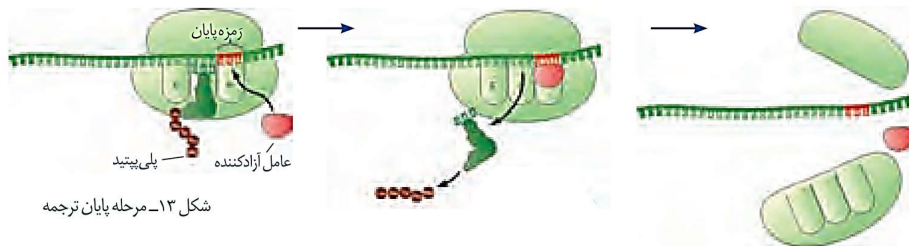
- ۱- ورود دومین رنای ناقل به جایگاه A
نکته: در این مرحله ممکن است رنای ناقل مختلفی وارد جایگاه A رناتن شوند، اما فقط رنایی که مکمل رمزه جایگاه A است، استقرار پیدا می‌کند؛ در غیر این صورت جایگاه را ترک می‌کند.
- ۲- سپس آمینواسید جایگاه P از رنای ناقل خود جدا می‌شود و با آمینواسید جایگاه A پیوند پپتیدی 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 روزه‌های پایان برسد.



ج) مرحله پایانی:

- ۱- ورود یکی از رمزه‌های پایان (UAA, UGA و UAG) به جایگاه A ریبوزوم.
- ۲- چون رمزه‌های پایان، هیچ‌گونه 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 رمزه آغاز بوده اما آخرین رنای ناقلی که وارد رناتن می‌شود، مکمل رمزه ماقبل پایان می‌باشد.
- ۴- اولین رنای ناقل هیچ‌گاه وارد جایگاه A نمی‌شود و آخرین رنای ناقل نیز هیچ‌گاه وارد جایگاه E نمی‌شود.
- ۵- رمزه آغاز رنای پیک در جایگاه P و رمزه 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 رشته 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	مقابل پایان	E

محل‌های ساخت پروتئین‌ها } ۱- داخل سیتوپلاسم
۲- داخل میتوکندری و کلروپلاست

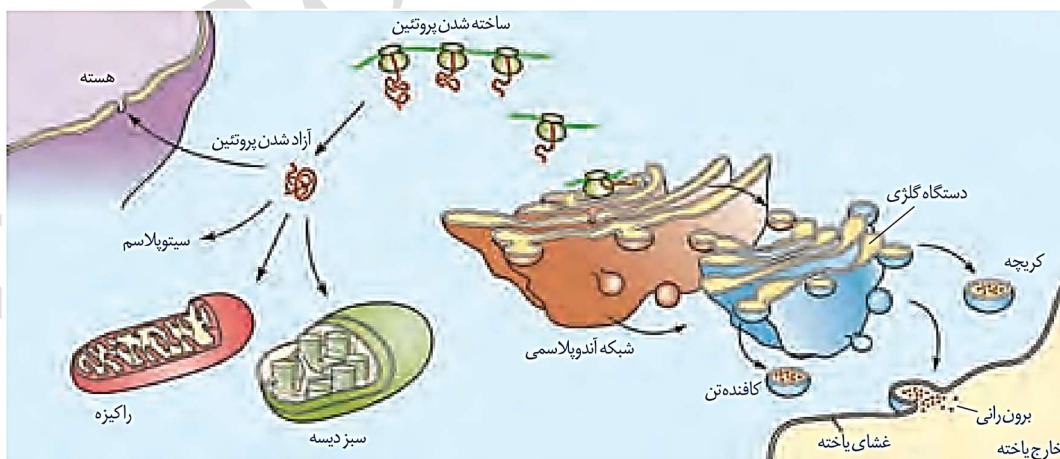
نکته: هر جایی که رناتن حضور داشته باشد، پروتئین‌سازی هم انجام می‌شود.

سرنوشت پروتئین‌های ساخته شده در سیتوپلاسم:

۱- پروتئین‌هایی که به شبکه آندوپلاسمی و دستگاه گلژی می‌روند
ممکن است برای ترشح به خارج یاخته بروند
ممکن است به کریچه (واکوئل) یا کافنده‌تن (لیزوزوم) بروند.

۲- پروتئین‌هایی که به شبکه آندوپلاسمی و دستگاه گلژی نمی‌روند
یا در سیتوپلاسم می‌مانند
یا به راکیزه، هسته و دیسه‌ها می‌روند.

نکته: براساس مقصدی که پروتئین باید برود، توالی‌های آمینواسیدی در آن وجود دارد که پروتئین را به مقصد هدایت می‌کند.



سرعت و مقدار پروتئین سازی:

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

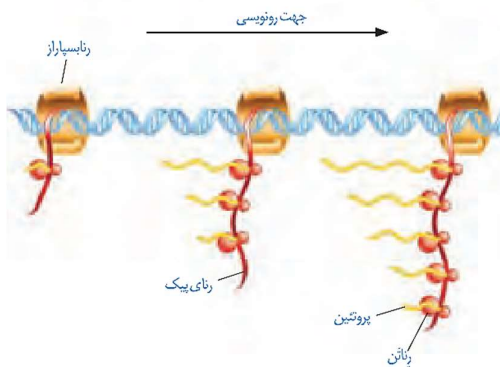
۱- در پیش‌هسته‌ای‌ها (پروکاریوت‌ها):

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 ← 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 ← 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 یوکاریوت-

ها، 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 غیر فعال هستند.

هر گاه 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:

- 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.
- 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 \Leftarrow عواملی به پیوستن رنابسپاراز به توالی راه انداز کمک می‌کنند (تسهیل رونویسی).
 در این نوع تنظیم \swarrow
 برای خاموش شدن ژن \Leftarrow 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:

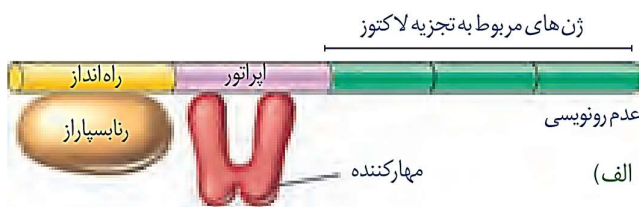
در صورت عدم وجود گلوکز و وجود لاکتوز در محیط \leftarrow ژن‌های مربوط به آنزیم‌های تجزیه کننده لاکتوز (ژن ۳) روشن می‌شود \leftarrow تولید آنزیم‌های تجزیه کننده لاکتوز در باکتری، افزایش می‌یابد.

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.

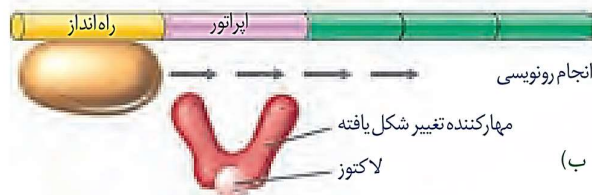
۳- تمامی این توالی‌ها (ژن‌ها، اپراتور و راه‌انداز) بخش‌هایی از یک رشته DNA می‌باشند.

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 تجزی کننده لاکتوز) نیز همزمان با یکدیگر افزایش و یا کاهش خواهد یافت.

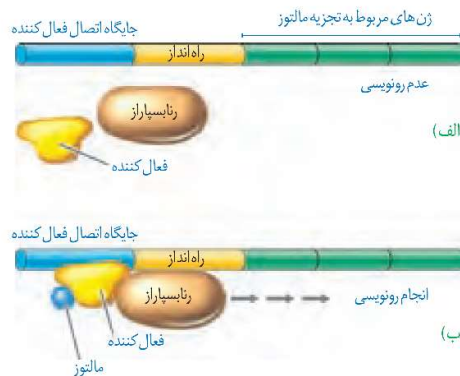
۲- رونویسی از ژن‌های پروتئین مهار کننده و آنزیم رنابسپاراز، در توالی‌های دیگری DNA باکتری انجام شده و بنابراین حتی در صورت خاموش بودن ژن‌های آنزیم‌های تجزی کننده لاکتوز، رونویسی از ژن مهار کننده و آنزیم رنابسپاراز انجام می‌شود.

۳- در این جا، لاکتوز را عامل رونویسی می‌نامند. یعنی لاکتوز باعث می‌شود که پروتئین مهارکننده تغییر شکل یابد و رونویسی انجام شود.

تنظیم مثبت رونویسی در پروکاریوت‌ها:

در این نوع تنظیم، پروتئین‌های خاصی به رنابسپاراز کمک می‌کنند تا بتواند به راه انداز متصل شود و رونویسی را شروع کند.

مثال: تنظیم مثبت رونویسی از ژن‌های آنزیم‌های تجزیه کنندهٔ مالتوز (دی‌ساکارید: گلوکز + گلوکز)



نکات شکل:

- ۱- ژن‌های مربوط به آنزیم‌های تجزیهٔ مالتوز نیز همانند ژن‌های آنزیم‌های تجزیه کنندهٔ لاکتوز، سه عدد می‌باشند.
- 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).

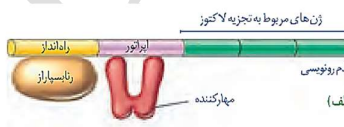

مراحل تنظیم مثبت ژن:

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

نکات:

- ۱- در این جا، عامل رونویسی \Leftarrow مالتوز

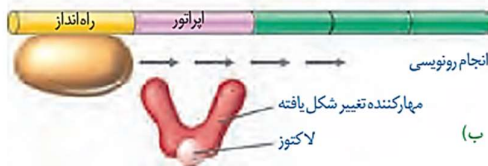
جدول مقایسه‌ای تنظیم مثبت و منفی رونویسی در باکتری اشرشیاکلی (E.Coli)

تنظیم منفی	تنظیم مثبت	مثال
رونویسی از ژن‌های آنزیم‌های تجزیه کنندهٔ لاکتوز	رونویسی از ژن‌های آنزیم‌های تجزیه کنندهٔ مالتوز	
		
ژن ۳	ژن ۳	تعداد ژن در توالی ژنی
راه انداز و اپراتور	جایگاه اتصال فعال کننده و راه انداز	توالی‌های تنظیم کننده
مهار کننده: از حرکت رنابسپاراز بر روی DNA و انجام رونویسی، ممانعت بعمل می‌آورد.	فعال کننده: موجب اتصال رنابسپاراز به راه انداز می‌شود	پروتئین تنظیم کننده

عامل تنظیم کننده
(عامل روشن کننده ژن‌ها)

مالتوز: موجب اتصال فعال کننده به جایگاه خود شده که این امر موجب اتصال رنابسپاراز به راه-انداز و آغاز رونویسی می‌شود.

لاکتوز: موجب تغییر شکل و جدا شدن مهار کننده از اپراتور شده که این امر موجب حرکت رنابسپاراز و آغاز رونویسی می‌شود.



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 مهار کننده از سر راهش برداشته شود.

تنظیم بیان ژن در یوکاریوت‌ها (هوهسته‌ای‌ها):

- ☞ تنظیم بیان ژن در هوهسته ای‌ها پیچیده‌تر از پروکاریوت‌ها (پیش‌هسته ای‌ها) است و می‌تواند در مراحل بیشتری انجام شود.
- ☞ یاخته‌های هوهسته ای 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 هوهسته‌ای، 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.

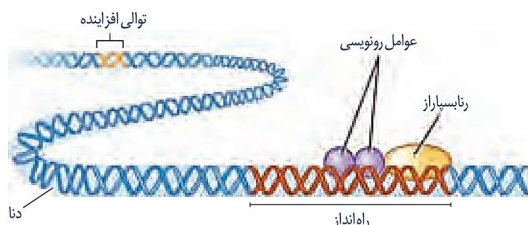
۱. تنظیم بیان ژن در مرحله آغاز رونویسی

تنظیم پیوستن رنابسپاراز به راه‌انداز:

در هوهسته‌ای‌ها نیز مانند پیش‌هسته‌ای‌ها، رونویسی با پیوستن رنابسپاراز به راه‌انداز آغاز می‌شود. در هوهسته‌ای‌ها 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.

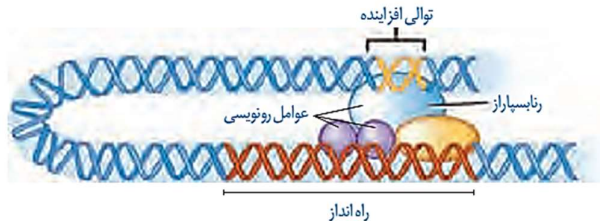
* عوامل مختلفی می‌توانند تمایل عوامل رونویسی را به راه‌انداز تغییر دهند و در نتیجه، مقدار رونویسی را کاهش دهند.



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 رنابسیاراز به راه انداز نیازمند یک عامل رونویسی به نام پروتئین فعال کننده می‌باشد و در تنظیم منفی، رنابسیاراز 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 رنابسیاراز به راه انداز رخ می‌دهد.

جدول مقایسه پروتئینهای تنظیم کننده رونویسی در پروکاریوتها و یوکاریوتها

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

(ب) تنظیم بیان ژن در مراحل غیر رونویسی:

۱- تنظیم بیان ژن پیش از رونویسی = تنظیم در سطح فام تنی

از طریق تنظیم فشردگی فام تنها (کروموزومها) انجام می‌شود. به طور معمول بخشهای فشرده فام تن کمتر در دسترس رنابسیارازها قرار می‌گیرند بنابراین یاخته می‌تواند با تغییر در میزان فشردگی فام تن در بخشهای خاصی، دسترسی رنابسیاراز را به ژن مورد نظر تنظیم کند.

یعنی } افزایش فشردگی فام تن \Rightarrow کاهش دسترسی رنابسیاراز به DNA \Rightarrow کاهش رونویسی از ژن
کاهش فشردگی فام تن \Rightarrow افزایش دسترسی رنابسیاراز به DNA \Rightarrow افزایش رونویسی از ژن

۲- تنظیم پس از رونویسی:

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

ب) **طول عمر RNA پیک:** افزایش طول عمر RNA 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.

جمع بندی:

الف) جلوگیری از ترجمه RNA پیک از طریق اتصال RNAهای کوچک مکمل به RNA پیک ب) افزایش طول عمر RNA پیک \Rightarrow افزایش میزان ترجمه	۱- تنظیم قبل از رونویسی	انواع تنظیم بیان ژن در یوکاریوت‌ها
الف) اتصال RNA پیک با کمک عوامل رونویسی متصل به راه‌انداز ب) افزایش سرعت رونویسی از طریق اتصال عوامل رونویسی به افزایش	۲- تنظیم هنگام رونویسی	
الف) افزایش فشردگی فامتن \Rightarrow کاهش دسترسی رنابسیاراز به DNA \Rightarrow کاهش رونویسی ب) کاهش فشردگی فامتن \Rightarrow افزایش دسترسی رنابسیاراز به DNA \Rightarrow افزایش رونویسی	۳- تنظیم پس از رونویسی	