# فهرست


■ فصل اول: مولکول‌های اطلاعاتی

درس‌نامه ۷
عبارت‌های مفهومی ۴۶
عبارت‌های کنکوری ۵۲

■ فصل دوم: جریان اطلاعات در یاخته

درس‌نامه ۵۳
عبارت‌های مفهومی ۹۱
عبارت‌های کنکوری ۹۵

■ فصل سوم: انتقال اطلاعات در نسل‌ها

درس‌نامه ۹۷
عبارت‌های مفهومی ۱۱۹
عبارت‌های کنکوری ۱۲۳

■ فصل چهارم: تغییر در اطلاعات وراثتی

درس‌نامه ۱۲۵
عبارت‌های مفهومی ۱۶۸
عبارت‌های کنکوری ۱۷۳

■ فصل پنجم: از ماده به انرژی

درس‌نامه ۱۷۵
عبارت‌های مفهومی ۱۹۹
عبارت‌های کنکوری ۲۰۴

■ فصل ششم: از انرژی به ماده

درس‌نامه ۲۰۶
عبارت‌های مفهومی ۲۳۷
عبارت‌های کنکوری ۲۴۱

■ فصل هفتم: فناوری‌های نوین زیستی

درس‌نامه ۲۴۲
عبارت‌های مفهومی ۲۷۶
عبارت‌های کنکوری ۲۸۲

■ فصل هشتم: رفتارهای جانوران

درس‌نامه ۲۸۴
عبارت‌های مفهومی ۳۰۹
عبارت‌های کنکوری ۳۱۴

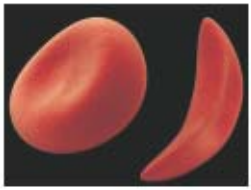
پاسخ‌نامهٔ تشریحی ۳۱۶

فصل ۲

# جریان اطلاعات در یاخته

## پیش‌گفتار

■ گویچهٔ قرمز زیر، متعلق به فردی است که دچار نوعی **بیماری ارثی** به نام کم‌خونی **داسی‌شکل** شده است. این بیماری به علت نوعی **تغییر ژن** و سپس **تغییر پروتئین هموگلوبین** حاصل از آن ژن ایجاد می‌شود (نشانگر رابطهٔ بین ژن و پروتئین) ⟸ شکل گویچهٔ قرمز از **حالت گرد به داسی‌شکل** تغییر می‌یابد.



■ این تغییر ژنی (تغییر **فقط یک جفت** از صدها جفت نوکلئوتید DNA!) در فرد بیمار، بسیار جزئی است.

■ **بعضی از ژن‌ها** فقط در یک نوع یاخته بروز می‌کنند؛ مانند **ژن سازندهٔ هموگلوبین** که فقط در **گویچه‌های قرمز** بروز کرده و در یاخته‌های دیگر مانند بافت پوششی بروز نمی‌کند!

## گفتار ۱ رونویسی

■ واحدهای سازندهٔ مولکول‌های DNA و پلی‌پپتید (پروتئین) به ترتیب **نوکلئوتید** و **آمینواسید** هستند.

■ چون **دستورالعمل ساخت** پلی‌پپتیدها در مولکول DNA قرار دارد ⟸ باید بین نوکلئوتیدهای ژن (DNA) و آمینواسیدهای پلی‌پپتید تولیدشده، **ارتباطی** برقرار باشد.

زیست ۱۲، فصل ۴ ❶ از مقایسهٔ آمینواسیدهای هموگلوبین **سالم** و **تغییرشکل‌یافته** دریافتند که تفاوت این دو پروتئین فقط در **یک نوع آمینواسید** است. ❷ از مقایسهٔ ژن‌های هموگلوبین افراد سالم و بیمار درمی‌یابیم که در رمز مربوط به یک آمینواسید هموگلوبین، نوکلئوتید Aدار به جای نوکلئوتید Tدار قرار می‌گیرد ⟸ **سبب بروز بیماری کم‌خونی داسی‌شکل** شده است که به این نوع جهش، **جهش جانشینی دگرمعنا** (از انواع جهش‌های کوچک) می‌گویند.

## چگونگی تعیین نوع آمینواسیدهای پلی‌پپتید توسط DNA

- هر مولکول DNA، **۴ نوع نوکلئوتید** دارد که فقط در **نوع بازهای آلی‌شان** متفاوت‌اند؛ در حالی که پلی‌پپتیدها **۲۰ نوع آمینواسید** دارند.
- هر توالی ۳تایی از نوکلئوتیدهای DNA، تعیین‌کنندهٔ **نوعی آمینواسید** است ⟸ با ۴ نوع نوکلئوتید موجود در DNA، ۶۴ توالی سه‌نوکلئوتیدی مختلف ایجاد می‌شود که می‌توانند **رمز ساخت** پلی‌پپتیدهایی با ۲۰ نوع آمینواسید را داشته باشند.

**یادمون باشه** از آن‌جایی که **تعداد رَمزها** یا **رَمزه‌ها** (۶۴ حالت) و **تعداد آمینواسیدها** (۲۰ نوع) است ⟸ **اغلب آمینواسیدها**، بیش از یک رمز و یا رَمزه دارند؛ مانند آمینواسیدهای لوسین و سرین با ۶ رَمزه و آمینواسیدهای پرولین و آلانین با ۴ رَمزه.

## نقش مولکول RNA (رنا) به عنوان میانجی

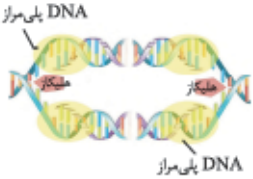
■ چون در یاخته‌های هسته‌دار، **ریبوزوم‌ها** درون هسته وجود ندارند ⟸ فرایند **ساخت پلی‌پپتید** در هسته انجام نشده و براساس اطلاعات DNAی هسته در **سیتوپلاسم** انجام می‌شود!

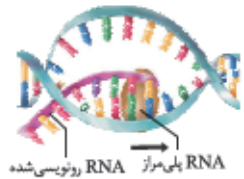
■ از آن‌جایی که DNA از جایگاه اصلی خود یعنی **هسته**، خارج نمی‌شود! **دستورات DNA (ژن)** برای ساخت پلی‌پپتید توسط **مولکول RNA پیک** به سیتوپلاسم منتقل می‌شود.

**تعریف رونویسی:** به ساخته‌شدن **مولکول RNA** از روی بخشی از یک رشتهٔ DNA توسط RNAپلی‌مراز، **رونویسی** می‌گویند.

**نکتهٔ تئوری** انواع **RNAهای** موجود در یاخته (RNA پیک، RNA ناقل، RNA ریبوزومی و RNAهای کوچک) که طی فرایند رونویسی از روی مولکول DNA ساخته شده‌اند، در **پروتئین‌سازی** یاخته نقش دارند.

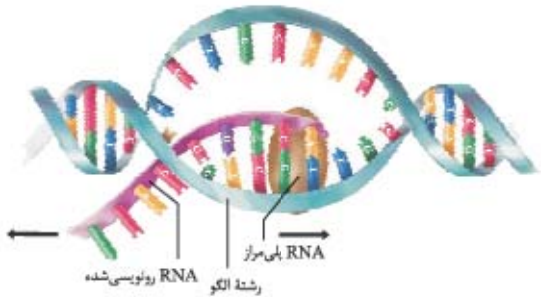
■ برخلاف **همانندسازی** (DNA هسته‌ای) که در هر چرخهٔ یاخته‌ای، **یک بار** انجام می‌شود، **رونویسی** یک ژن (بخشی از DNA) می‌تواند **بارها** انجام شده و منجر به ساخت **چندین رشتهٔ RNAی یکسان** شود.



## مقایسه‌ای بین رونویسی و همانندسازی در یاخته‌های هوهسته‌ای

| موارد قابل مقایسه در هر دو فرایند | رونویسی | همانندسازی |
|---|---|---|
| محل انجام | هسته و اندامک‌های سیتوپلاسمی (میتوکندری و کلروپلاست) | هسته و اندامک‌های سیتوپلاسمی (میتوکندری و کلروپلاست) |
| زمان انجام | مرحله‌های $G_1$ و $G_2$ اینترفاز | مرحلهٔ S اینترفاز |
| تعداد حباب و نقطهٔ شروع | ایجاد یک حباب و یک نقطهٔ شروع | ایجاد چند حباب و چند نقطهٔ شروع |
| رشتهٔ الگوی مورد استفاده | فقط بخشی از یک رشتهٔ DNA | تمام بخش‌های هر دو رشتهٔ DNA |
| آنزیم‌های مؤثر | آنزیم‌هایی تحت نام کلی RNAپلی‌مراز | انواعی از آنزیم‌ها که مهم‌ترین آن‌ها هلیکاز و DNAپلی‌مراز |
| محل شروع فعالیت آنزیم‌های پلی‌مراز | جایگاه آغاز رونویسی (در مجاورت راه‌انداز) به صورت یک‌جهته | جایگاه آغاز همانندسازی به صورت دوجهته |
| فراوردهٔ تولیدی | RNA ای یک‌رشته‌ای مکمل با رشتهٔ الگوی DNA | DNA ای دورشته‌ای یکسان با DNAی اولیه |




**طرح ساده‌ای از فرایند رونویسی**

**نکات تصویری**

۱ در هنگام رونویسی، پیوندهای هیدروژنی بین نوکلئوتیدهای سازندهٔ رشتهٔ RNA و رشتهٔ DNAی الگو در جهت رونویسی تشکیل شده و در قسمت عقب مولکول DNA، در همان جهت نیز شکسته می‌شوند. ۲ در هنگام رونویسی پیوندهای هیدروژنی بین دو رشتهٔ DNA، در جهت رونویسی شکسته شده و مجدداً در همان جهت نیز تشکیل می‌شوند. ۳ برای انجام فرایند رونویسی، حباب رونویسی نیز مانند حباب همانندسازی ایجاد می‌شود ولی برخلاف همانندسازی، فقط بخشی از یک رشتهٔ DNA به عنوان الگو استفاده می‌شود.

### آنزیم‌های تسهیل‌کنندهٔ رونویسی

■ در یاخته، **انواعی از RNA** (RNA پیک، RNA ناقل و RNA ریبوزومی)، **طی فرایند رونویسی** و توسط **آنزیم‌هایی** با نام کلی **RNAپلی‌مراز** (رِنا‌تِسپاراز) ساخته می‌شوند.

■ در پیش‌هسته‌ای‌ها، فقط **یک نوع RNAپلی‌مراز** در ساخت انواع RNA نقش دارد؛ در حالی که در هوهسته‌ای‌ها، **انواعی از پلی‌مراز**، در ساخت RNAهای مختلف نقش دارند!

**انواع و نقش RNAپلی‌مرازهای هوهسته‌ای**

- **الف** RNAپلی‌مراز ۱ ← نقش ← ساخت RNA ریبوزومی (rRNA)
- **ب** RNAپلی‌مراز ۲ ← نقش ← ساخت RNA پیک (mRNA)
- **پ** RNAپلی‌مراز ۳ ← نقش ← ساخت RNA ناقل (tRNA)

## مراحل رونویسی

■ **رونویسی** همانند تقسیم‌های میتوز و میوز، **فرایندی پیوسته** است ولی برای سادگی موضوع، آن را به سه مرحلهٔ آغاز، طویل‌شدن و پایان تقسیم می‌کنند.

### مرحلهٔ آغاز

■ اتصال آنزیم RNAپلی‌مراز به بخشی از مولکول DNA به نام راه‌انداز ← بازکردن دو رشتهٔ DNA از هم با شکستن پیوندهای هیدروژنی بین بازهای مکمل آن ← ساخته‌شدن رشتهٔ کوتاهی از RNA

**تعریف راه‌انداز:** به **توالی‌های نوکلئوتیدی ویژه‌ای** در مولکول DNA می‌گویند که به منظور **شروع رونویسی ژن** از محل صحیح خود، آنزیم RNAپلی‌مراز آن را شناسایی می‌کند.

**نکتهٔ تئوری**

البته RNAپلی‌مراز **نمی‌تواند به تنهایی** راه‌انداز را شناسایی کند و برای پیوستن به آن نیازمند **پروتئین‌هایی** به نام **عوامل رونویسی** هستند.

**نقش راه‌انـــداز:** باعث می‌شود RNAپلی‌مراز **اولین نوکلئوتید مناسب** را به طور دقیق **پیدا کرده و رونویسی** را از آن‌جا آغاز کند.

**یادمون باشه**

۱ آنزیم RNAپلی‌مراز، با توجه به نوع نوکلئوتید رشتهٔ الگوی DNA، نوکلئوتید مکملش را در مقابل آن قرار داده و سپس این نوکلئوتید را با تشکیل پیوند فسفودی‌استر به نوکلئوتید قبلی رشتهٔ RNA متصل می‌کند. ۲ در فرایند رونویسی، نوکلئوتید Uدارِ رشتهٔ RNA به عنوان مکمل در برابر نوکلئوتید Aدار DNA قرار می‌گیرد.

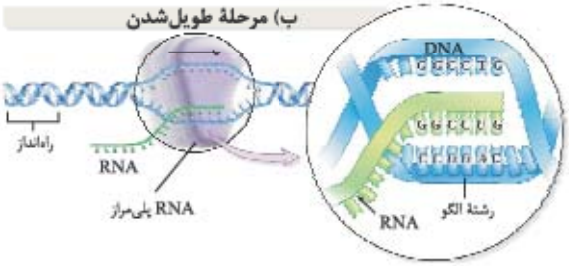
**الف) مرحلهٔ آغاز**

**نکـات تصویری**

۱ **انواع پیوندهای شکسته یا تشکیل شدهٔ موجود در حباب رونویسی در مرحلهٔ آغاز:** **الف** پیوندهای هیدروژنی بین جفت بازهای آلی دو رشتهٔ DNA شکسته شده و نیز بین بازهای آلی RNAی در حال ساخت و بازهای آلی رشتهٔ DNAی الگو تشکیل می‌شود. **ب** تعداد کمی پیوند فسفودی‌استر بین نوکلئوتیدهای زنجیرهٔ کوتاه RNAی تازه‌ساخت تشکیل می‌شود. ۲ طبق این شکل راه‌انداز رونویسی نمی‌شود!

### مرحلهٔ طویل‌شدن

- در این مرحله، RNAپلی‌مراز در طول رشتهٔ DNAی الگو حرکت می‌کند و ساخت زنجیرهٔ RNA را ادامه داده تا این‌که RNA طویل می‌شود.
- در این مرحله، ساختار حباب‌مانندی که ایجاد شده است به سمت انتهای ژن به پیش می‌رود ← در جلوی حباب رونویسی، ۲ رشتهٔ DNA به علت پیشروی RNAپلی‌مراز (و انجام فعالیت هلیکازی این آنزیم، پیوندهای هیدروژنی می‌شکنند) باز می‌شوند و رونویسی انجام می‌شود ← در عقب حباب، RNAی ساخته‌شده (پس از شکسته‌شدن پیوندهای هیدروژنی) از DNA جدا می‌شود ← ۲ رشتهٔ DNA (با تشکیل پیوندهای هیدروژنی) مجدداً به هم می‌پیوندند.




**نکات تصویری**

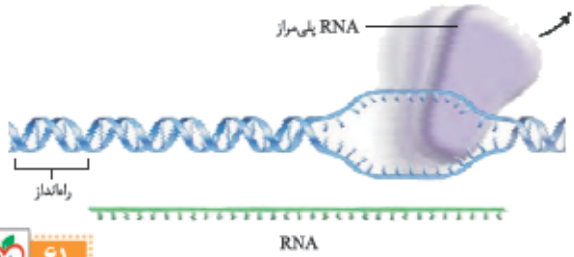
۱ براساس توالی نوکلئوتیدی، سه نوع رشتهٔ پلی‌نوکلئوتیدی متفاوت درون هر حباب رونویسی وجود دارد: **الف** **رشتهٔ DNAی الگو**، **ب** **رشتهٔ DNAی رمزگذار (مکمل)**: رشته‌ای است که از روی آن رونویسی انجام نمی‌شود و ترتیب بازهای آلی آن دقیقاً مانند رشتهٔ RNAی تازه‌ساخت است با این تفاوت که به جای باز یوراسیل،

باز آلی تیمین دارد. **پ** **رشتهٔ RNAی در حال ساخت** ❷ در حباب رونویسی و در محدودهٔ قرارگیری RNAپلی‌مراز، هم رشتهٔ ریبونوکلئوتیدی (RNA) و هم رشتهٔ دئوکسی‌ریبونوکلئوتیدی (DNA) یافت می‌شود. ❸ آنزیم RNAپلی‌مراز، همانند هلیکاز و برخلاف آنزیم DNAپلی‌مراز، توانایی شکستن پیوند هیدروژنی را دارد. ❹ اگرچه شکستن پیوند هیدروژنی بین دو رشتهٔ DNA، توسط آنزیم RNAپلی‌مراز رخ می‌دهد، ولی تشکیل پیوندهای هیدروژنی بین نوکلئوتیدهای دو رشتهٔ DNA، به صورت خودبه‌خودی صورت می‌گیرد. ❺ پیوندهای هیدروژنی بین RNA و DNA در عقب RNAپلی‌مراز به علت سنگینی رشتهٔ RNAی تشکیل‌شده، به صورت خودبه‌خودی شکسته می‌شوند.

### مرحلهٔ پایان

■ در انتهای ژن، توالی نوکلئوتیدی ویژه‌ای وجود دارد که وقتی RNAپلی‌مراز به آن می‌رسد، رونویسی پایان می‌یابد ⟸ در این هنگام و در این محل، RNAپلی‌مراز از مولکول DNA و RNAی تازه‌ساخت، جدا می‌شود ⟸ ۲ رشتهٔ DNA مجدداً به هم متصل می‌شوند.

**پ) مرحلهٔ پایان**



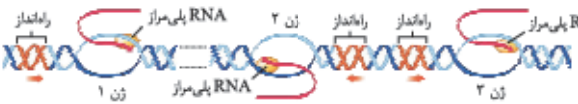
(+) زیست ۱۲، فصل ۱ ❶ RNAپلی‌مراز همانند آنزیم DNAپلی‌مراز، توانایی ایجاد **پیوند فسفودی‌استر** را دارد، ولی برخلاف آن، **فعالیت نوکلئازی** ندارد و نمی‌تواند عمل **ویرایش** را انجام دهد!

## فقط یکی از دو رشتهٔ DNA در هر ژن، رونویسی می‌شود

■ اگرچه **ژن**، بخشی از یک مولکول دو رشته‌ای DNA است، ولی از روی **هر دو رشتهٔ** یک ژن، رونویسی **صورت نمی‌گیرد!** زیرا RNAها و پلی‌پپتیدهای ساخته‌شده از روی ۲ رشتهٔ مکمل DNA، بسیار متفاوت می‌شدند!! ⟸ برای هر ژن خاص، **همیشه و فقط** یکی از دو رشتهٔ DNAی آن رونویسی می‌شود.

**تعریف رشتهٔ الگو:** به یکی از دو رشتهٔ مولکول DNA در یک ژن می‌گویند که برای رونویسی استفاده می‌شود و توالی آن مکمل رشتهٔ RNAی رونویسی‌شده است.

**تعریف رشتهٔ رمزگذار:** به رشتهٔ مکملِ رشتهٔ الگو در مولکول DNA می‌گویند. توالی رشتهٔ رمزگذار، مشابه RNA و مکمل رشتهٔ الگو است؛ البته در توالی رشتهٔ رمزگذار، برخلاف RNAی تازه‌ساخت، به جای نوکلئوتید Uدار، نوکلئوتید Tدار وجود دارد.




RNAی در حال رونویسی

**نکات تصویری**

۱ در یک مولکول DNA، تعداد زیادی ژن‌های متوالی، برای ساخت انواع مختلف RNA وجود دارند که قبل یا بعد از هر ژن در یاختهٔ یوکاریوتی، یک راه‌انداز وجود دارد. ۲ یک DNA خطی همان‌طور که نقاط شروع همانندسازی متعددی دارد، قطعاً نقاط آغاز رونویسی متعددی نیز دارد. ۳ اگرچه جهت رونویسی در ژن‌های مختلف، متفاوت است ولی در هر ژن، جهت رونویسی همواره یک‌طرفه است! مثلاً در شکل صفحهٔ قبل، در ژن ۱ مشاهده می‌شود که از سمت چپ به راست و از رشتهٔ DNAی بالایی رونویسی می‌شود، در حالی که در ژن ۲، از سمت راست به چپ و از روی رشتهٔ پایینی DNA، رونویسی می‌شود.

**حواستون باشه** در یک رشتهٔ DNA برای تمام ژن‌ها، جهت رونویسی یکسان است و در دیگر رشتهٔ DNA، اگرچه جهت رونویسی تمام ژن‌ها یکسان بوده ولی مخالف جهت رونویسی رشتهٔ قبلی DNA است ⟸ جهت رونویسی ژن‌های دو رشتهٔ یک DNA، همواره برعکس یکدیگر است!

۴ در هر ژن، فقط از یکی از دو رشتهٔ DNA، به عنوان رشتهٔ الگو استفاده می‌شود. ۵ دانستیم که ژن، قسمتی از DNA است که قبل یا بعد از راه‌انداز قرار دارد و از روی آن رونویسی انجام می‌شود؛ در شکل صفحهٔ قبل می‌بینیم که دو راه‌انداز متعلق به دو ژن متوالی ۲ و ۳ که جهت رونویسی متفاوتی دارند، در کنار هم قرار گرفته‌اند و یا دو ژن متوالی ۱ و ۲ را در مجاور هم می‌بینیم که بین آن‌ها راه‌اندازی وجود ندارد! که دلیل آن وجود جهت‌های مخالف برای رونویسی هر یک از آن‌ها است. ۶ در قطعه‌ای از DNA خطی یوکاریوت‌ها که شامل چند ژن است، تعداد راه‌اندازها، RNAپلی‌مرازها و رشته‌های RNAی در حال رونویسی می‌تواند با همدیگر یکسان باشد.

## تغییریافتن RNAهای ساخته‌شده

■ در یاخته‌های یوکاریوتی، RNAی ساخته‌شده در رونویسی با RNAی موجود در سیتوپلاسم تفاوت‌هایی دارد ⟸ این تغییرات ایجادشده در بسیاری از RNAها، برای انجام کارهایشان لازم است.

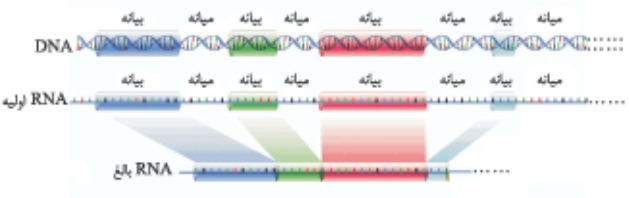
### تغییرات RNA پیک

■ RNA پیک **ممکن است** دستخوش تغییراتی در **حین رونویسی** و یا **پس از آن** شود ⟸ یکی از تغییرات متداول که **پس از رونویسی** در یوکاریوت‌ها رخ می‌دهد، حذف بخش‌هایی از مولکول RNA پیک است.

**تعریف پیرایش:** به فرایندی می‌گویند که در **بعضی ژن‌ها**، باعث جدا و حذف شدن توالی‌های معینی از RNAی ساخته‌شده و اتصال سایر بخش‌ها به هم می‌شود و در نتیجه، یک **RNA پیکِ یکپارچه** می‌سازد.

**تعریف میانه (اینترون):** به بخش‌هایی از مولکول DNA می‌گویند که رونوشت آن‌ها، در mRNA اولیه وجود دارد ولی طی فرایند پیرایش، **این رونوشت‌ها** از mRNA بالغ (یا سیتوپلاسمی) **حذف شده** است.

**تعریف بیانه (اگزون):** به بخش‌هایی از مولکول DNA می‌گویند که **رونوشت آن‌ها**، علاوه بر mRNA اولیه، در mRNA بالغ نیز **باقی می‌ماند**.




**پیرایش در بخشی از RNA یک ژن**

**نکات تصویری**

❶ میانه‌ها و بیانه‌ها، بخش‌هایی از مولکول DNA هستند و رونوشت آن‌ها (و نه خود آن‌ها!) در RNA پیک اولیه وجود دارد. ❷ رونویسی و ساخت mRNA نابالغ از روی این ژن، توسط RNAپلی‌مراز ۲ و در هستهٔ یاختهٔ یوکاریوتی انجام گرفته است. ❸ الزاماً نباید بیانه‌ها و میانه‌ها اندازه‌های برابری داشته باشند و می‌توانند طول آن‌ها متفاوت باشد! ولی به طور معمول میانه‌ها کوتاه‌تر از بیانه‌ها هستند. ❹ در ازای حذف هر رونوشت میانه، ۲ پیوند فسفودی‌استر در نوکلئوتیدهای mRNA نابالغ تجزیه می‌شود، اما برای اتصال دو رونوشت بیانهٔ دیگر، ۱ پیوند فسفو دی‌استر بین آن‌ها تشکیل می‌شود. ❺ میانه و بیانه، بخش‌هایی از مولکول DNAی دو رشته‌ای‌اند، در حالی که رونوشت‌های میانه و بیانه، بخش‌هایی از مولکول RNAی تک‌رشته‌ای هستند.

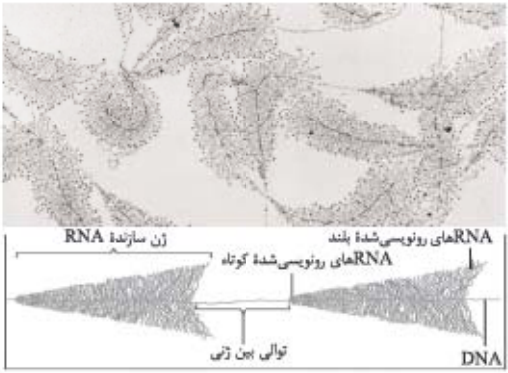
**تعریف RNA نابالغ (اولیه):** به RNAی تازه‌رونویسی‌شده از روی رشتهٔ DNA الگو که هم رونوشت‌های میانه و هم رونوشت‌های بیانه را دارد، می‌گویند.

**تعریف RNA بالغ:** به مولکولی می‌گویند که طی **فرایند پیرایش**، رونوشت‌های میانه در آن **حذف می‌شوند** و بخش‌های باقی‌مانده (رونوشت‌های بیانه) به یکدیگر **متصل می‌شوند**.

### شدت و میزان رونویسی

■ **میزان رونویسی** از یک ژن، به مقدار نیاز یاخته به فراورده‌های حاصل از آن بستگی دارد.

- بعضی ژن‌ها مانند **ژن‌های سازندهٔ RNA ریبوزومی** در یاخته‌های تازه‌تقسیم‌شده، **بسیار فعال‌اند**؛ زیرا باید تعداد زیادی از این نوع RNA (و فراورده‌های حاصل از فعالیت آن یعنی پروتئین‌های مورد نیاز یاخته) را بسازند ⟸ در این نوع ژن‌ها، هم‌زمان تعداد زیادی RNAپلی‌مراز از روی ژن، رونویسی می‌کنند.
- چون در هر زمانی، **RNAپلی‌مرازها** در مراحل مختلفی از **رونویسی‌اند** ⟸ RNAهای ساخته‌شده بر روی مولکول DNA، در زیر میکروسکوپ الکترونی به **اندازه‌های متفاوت** دیده می‌شوند.




**ساخته‌شدن هم‌زمان چندین RNA از روی ژن**

**نکات تصویری**

۱ امکان رونویسی هم‌زمان چندین RNAپلی‌مراز از روی یک ژن وجود دارد. ۲ برای تعیین جهت رونویسی باید از سمت کوتاه‌ترین RNAی در حال تشکیل به سمت بلندترین RNA پیش برویم

⟸ قسمتی که کوتاه‌ترین RNA را دارد ابتدای رونویسی را نشان می‌دهد ⟸ در شکل صفحهٔ قبل، جهت رونویسی از چپ به راست است. ۳ دو ژن متوالی و متفاوت، در حال رونویسی‌اند ولی از روی هر ژن، چندین بار رونویسی در حال انجام است. ۴ رونویسی رشته‌های RNAی بلندتر، زودتر آغاز شده است. ۵ هنگامی که از روی یک ژن، چندین رونویسی هم‌زمان رخ می‌دهد ⟸ چندین نوع RNA ی مختلف (از نظر تعداد نوکلئوتیدها) ایجاد می‌شود؛ زیرا نوع RNA، به تعداد و توالی نوکلئوتیدها بستگی دارد (البته توالی نوکلئوتیدهای حاصل از رونویسی از یک ژن و در نهایت پروتئین‌های ساخته‌شده از آن، یکسان خواهند بود).

## گفتار ۲ به سوی پروتئین

■ **پلی‌پپتیدها** از مهم‌ترین فراورده‌های **ژن‌ها** هستند ← ژن‌ها و پروتئین‌های حاصل از آن **صفات** را ایجاد می‌کنند.

### تبدیل زبان نوکلئیک اسیدی DNA به پلی‌پپتیدی

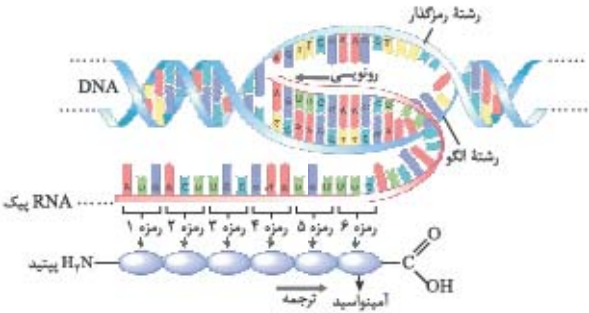
تعریف ترجمه: به ساخته‌شدن پلی‌پپتید از روی اطلاعاتِ RNA پیک، ترجمه می‌گویند.

تعریف رمزه (کدون): به هر یک از توالی‌های سه‌نوکلئوتیدیِ RNA پیک، رَمزه (کدون) می‌گویند ← در یاخته‌ها، ۶۴ نوع رَمزه یافت می‌شود.

> نکتهٔ تنوری: **انواع رَمزهٔ** مربوط به آمینواسیدها، در جانداران مختلف **یکسان‌اند!** ← چگونگی ترکیب‌شدن آمینواسیدهای یکسان در جانداران مختلف، می‌تواند هم منجر به ساخت پلی‌پپتیدهای یکسان و هم پلی‌پپتیدهای متفاوت شود.

تعریف رمزهٔ پایان: به رَمزه‌های UAA، UAG و UGA که **هیچ آمینواسیدی** را رَمز نمی‌کنند، **رَمزهٔ پایان** می‌گویند؛ زیرا حضور آن‌ها در RNA پیک، موجب پایان یافتن عمل ترجمه می‌شود.

تعریف رمزهٔ آغاز: به رَمزهٔ AUG می‌گویند که ترجمه از آن آغاز می‌شود ← رَمزهٔ AUG، معرف آمینواسید متیونین است.




**طرح ساده‌ای از رونویسی تا ترجمه**

**نکات تصویری**

❶ همواره در ابتدای زنجیرهٔ پلی‌پپتیدی، گروه آمین ($NH_2$) و در انتهای آن گروه کربوکسیل (COOH) وجود دارد. ❷ هر آمینواسید موجود در زنجیرهٔ پلی‌پپتیدی با آمینواسید بعدی از طریق گروه کربوکسیل خود، پیوند پپتیدی می‌دهد. ❸ توالی mRNAی ساخته‌شده با توالی رشتهٔ رمزگذار DNA مشابه است با این تفاوت که در آن به جای باز آلی تیمین (T)، باز یوراسیل (U) وجود دارد! ❹ در مولکول RNA پیک، رَمزه‌های سه‌حرفی وجود دارند که معادل یک آمینواسید هستند ← ریبوزوم از این رَمزه‌ها برای تعیین نوع و ترتیب آمینواسیدها جهت ساخت پلی‌پپتید استفاده می‌کند. ❺ جهت ترجمه از سمت ابتدای RNA پیک به سمت انتهای آن است؛ البته بخش‌های ابتدایی RNA پیک ترجمه نمی‌شوند. ❻ امکان شروع فرایند ترجمه، قبل از پایان رونویسی RNA پیک وجود دارد.

**نکتهٔ تئوری**

۱ همواره رَمزهٔ آغاز، AUG است؛ ولی هر AUG الزاماً رَمزهٔ آغاز نیست! زیرا می‌تواند جزء رَمزه‌های میانی رشتهٔ RNA پیک باشد.

۲ هیچ رَمزهٔ پایانی نوکلئوتید C ندارد؛ در حالی که در تمام رَمزه‌های پایان، نوکلئوتیدهای U و A وجود دارند، به طوری که همواره U، اولین نوکلئوتید است.

## عوامل لازم برای ترجمه

■ در فرایند ترجمه، براساس **رَمزه‌های RNA پیک**، پلی‌پپتید خاصی ساخته می‌شود که مواد اولیهٔ مصرفی آن، **آمینواسیدها** هستند و **ریبوزوم‌ها** و **RNAهای ناقل** از دیگر عوامل لازم در ترجمه‌اند ← **انرژی لازم** برای ساخت پلی‌پپتید نیز از **مولکول‌های پرانرژی مانند ATP** فراهم می‌شود.

### ساختار RNA ناقل

■ RNA ناقل یکی از سه نوع اصلی RNAها است که توسط آنزیم RNAپلی‌مراز پروکاریوتی یا RNAپلی‌مراز ۳ یوکاریوتی ساخته می‌شود و وظیفهٔ آن انتقال آمینواسیدها به ریبوزوم است.

■ RNA ناقل (tRNA)، **پس از رونویسی** دچار تغییراتی می‌شود. در **ساختار نهایی** RNA ناقل، نوکلئوتیدهای مکمل توانایی ایجاد **پیوند هیدروژنی** دارند ← tRNA تک‌رشته‌ای، روی خود تا می‌خورد ← RNA ناقل در **حالت فعال**، تاخوردگی‌های مجددی پیدا می‌کند که ساختار سه‌بعدی را ایجاد می‌کند.

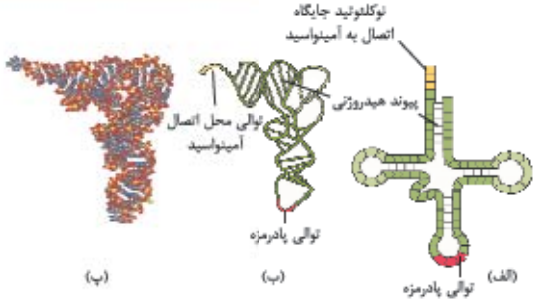
**بخش‌های مهم در ساختار سه‌بعدی RNA ناقل**

1. محل اتصال آمینواسید
2. توالی سه‌نوکلئوتیدی خاص به نام پادرَمزه

**تعریف پادرَمزه (پادرمزه):** به توالی سه‌نوکلئوتیدیِ RNA ناقل که می‌تواند با توالی رَمزهٔ RNA پیک، **مکمل شود و پیوند هیدروژنی برقرار کند، پادرَمزه** می‌گویند.

**نکتهٔ تئوری**

1. همهٔ **انواع RNAهای ناقل**، به‌جز در ناحیهٔ پادرَمزهٔ خود، دارای **توالی‌های مشابهی** هستند. 2. انتظار داریم که به تعداد انواع رَمزه‌ها، پادرَمزه داشته باشیم؛ ولی همواره تعداد انواع پادرَمزه‌ها کم‌تر از رَمزه‌ها است؛ چون برای ۳ رَمزهٔ پایان، هیچ RNA ناقلی وجود ندارد!



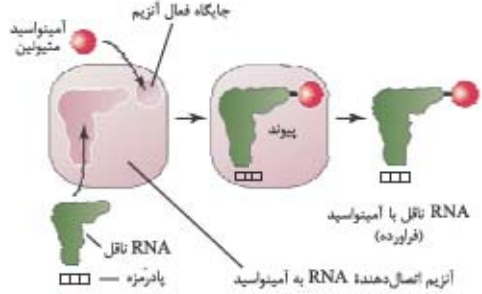

**الف) تاخوردگی اولیه** **ب) ساختار سه‌بعدی** **پ) مدل مولکولی RNA ناقل**

**نکات تصویری**

۱ در ساختار غیرفعال tRNA، ۴ بازو و ۳ حلقه مشاهده می‌شود که در هر بازو، بین تعدادی از نوکلئوتیدها، پیوند هیدروژنی برقرار است، ولی بین نوکلئوتیدهای مستقر در حلقه‌ها، هیچ پیوند هیدروژنی وجود ندارد. ۲ در ساختار tRNA، هم بخش‌های تک‌رشته‌ای (حلقه‌ها) و هم بخش‌های دو رشته‌ای (بازوها) دیده می‌شود. ۳ حد فاصل بین بازوی چپ (سمت جایگاه اتصال آمینواسید) و بازوی پایینی، یک برآمدگی در توالی نوکلئوتیدی به وجود آمده است. ۴ در بازوی بالایی، ابتدای زنجیرهٔ پلی‌نوکلئوتیدی tRNA، با ناحیهٔ نزدیک به انتهای زنجیرهٔ آن موازی بوده و بین آن‌ها پیوند هیدروژنی وجود دارد؛ هم‌چنین در رأس انتهای زنجیره، ۳ نوکلئوتیدی قرار گرفته که با هیچ نوکلئوتیدی پیوند هیدروژنی ندارد و محل اتصال آمینواسیدهای انتقالی است. ۵ tRNA فعال [قسمت (ب) شکل] نسبت به tRNA غیرفعال (قسمت (الف) شکل)، تاخوردگی‌های بیشتری دارد ⟸ مدل مولکولی tRNA (قسمت (پ) شکل)، مشابه ساختار tRNA فعال است.

### نحوهٔ عمل RNA ناقل

- در تمام یاخته‌ها، آنزیم‌های ویژه‌ای وجود دارند که پس از تشخیص و شناسایی ترتیب سه‌نوکلئوتیدی پادرَمزه در tRNA، آمینواسید مناسب و مرتبط با آن را یافته و به آن متصل می‌کنند. البته این فرایند نیازمند صرف انرژی است.
- چون AUG توالی رَمزهٔ آغاز بر روی RNA پیک است ⟸ UAC باید توالی پادرَمزهٔ RNA ناقلی باشد که می‌خواهد آمینواسید متیونین را با خود حمل و نقل کند تا به عنوان اولین آمینواسید در ساخت زنجیرهٔ پلی‌پپتیدی به کار رود.




**نحوهٔ پیوستن آمینواسید به RNA ناقل مربوط به خود توسط آنزیم ویژهٔ آن**

**نکات تصویری**

۱ شکل سه‌بُعدی هر آنزیم ویژه به گونه‌ای است که هم با ساختار سه‌بُعدیِ (فعال) tRNA و هم با ساختار آمینواسید مرتبط با پادرَمزهٔ همان tRNA مکمل باشد. ۲ آمینواسید مرتبط با پادرَمزه (متیونین) می‌تواند با آخرین ریبونوکلئوتید جایگاه اتصالِ tRNA پیوند داده و به آن متصل شود.

## ساختار ریبوزوم

- **ریبوزوم‌ها** (رناتن‌ها)، شامل **دو زیرواحدند** که هر زیرواحد از **RNA** ریبوزومی و **پروتئین** تشکیل می‌شود.
- RNA ریبوزومی (rRNA) توسط **RNA**پلی‌مراز ۱ ساخته می‌شود ← از کنار هم قرارگرفتن پروتئین‌های ریبوزومی و RNAی مربوط به آن‌ها، دو زیرواحد کوچک و بزرگ ریبوزوم ساخته می‌شود ← ریبوزوم‌ها در ساختار کامل خود، دارای سه جایگاه A، P و E هستند و در ساخت پلی‌پپتیدها نقش دارند.

**نکتهٔ تئوری** در یاخته‌های هوسته‌ای، RNAهای ریبوزومی در هسته و پروتئین‌های ریبوزومی در سیتوپلاسم ساخته می‌شوند!

## مراحل ترجمه

### مرحلهٔ آغاز

#### رویدادها

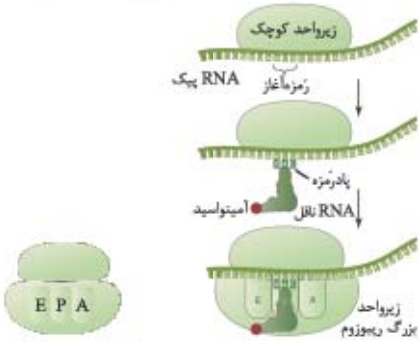
**الف** **شناسایی رَمزهٔ آغاز:** هدایت‌شدن زیرواحد کوچک ریبوزوم به سوی رَمزهٔ آغاز (AUG) توسط بخش‌هایی از mRNA

**ب** **اتصال tRNA به mRNA:** یک tRNAی حاملِ پادرَمزهٔ UAC به رَمزهٔ AUG در RNA پیک متصل می‌شود.

**پ** **کامل‌شدن ساختار ریبوزوم:** سپس زیرواحد بزرگ ریبوزوم به این مجموعه اضافه شده و ساختار ریبوزوم کامل می‌شود.

#### توصیف ساختار کامل ریبوزوم

1. در این مرحله جایگاه P در ریبوزوم، **محل قرارگیری tRNAی** دارای آمینواسید متیونین است.
2. جایگاه A در ریبوزوم **محل قرارگیری tRNAی بعدی** و آمینواسید متصل به آن و نیز محل **تشکیل پیوند پپتیدی** است.
3. جایگاه E در ریبوزوم، محل خروج tRNAی بدون آمینواسید است.
4. در این مرحله، فقط جایگاه P پُر می‌شود؛ در حالی که جایگاه‌های A و E خالی باقی می‌مانند.




مرحلهٔ آغاز ترجمه

ترتیب قرارگیری زیرواحدهای ریبوزوم

**نکات تصویری**

۱ بخش‌های قبل از رَمزهٔ آغاز در RNA پیک ترجمه نمی‌شوند! ۲ زیرواحد کوچک ریبوزوم بزرگ‌تر از طول یک رَمزه است ⟸ بیش از ۳ رَمزه در ناحیهٔ اتصال آن به mRNA دیده می‌شود. ۳ الزاماً رَمزهٔ AUG و پادرَمزهٔ UAC مرتبط با آن در ابتدای محل قرارگیری زیرواحد کوچک ریبوزوم قرار نمی‌گیرند. ۴ tRNA از قسمت پادرَمزهٔ خود به رَمزهٔ آغاز از طریق پیوندهای هیدروژنی متصل می‌شود. ۵ سه جایگاه A، P و E در زیرواحد بزرگ ریبوزوم قرار دارند. ۶ پس از اتصال بخش بزرگ ریبوزوم به mRNA و بخش کوچک آن، جایگاه E توالی نوکلئوتیدی را اشغال می‌کند که قبل از AUG قرار دارد و ترجمه نمی‌شود! در حالی که در مراحل بعد، رَمزه‌های قرارگرفته در E، قبلاً ترجمه شده‌اند. ۷ اولین tRNA حامل متیونین، هیچ‌گاه به جایگاه A وارد نمی‌شود! در حالی که طوری در جایگاه P قرار می‌گیرد که آمینواسید متصل به آن به جایگاه E نزدیک‌تر باشد.

## مرحلهٔ طویل‌شدن

### رویدادها

**الف** از میان tRNAهای مختلف ورودی به جایگاه A، فقط tRNA مکمل رَمزهٔ جایگاه A استقرار می‌یابد و دیگران جایگاه A را ترک می‌کنند.

**ب** آمینواسید (یا پلی‌پپتید در حال ساخت) موجود در جایگاه P از tRNAی خود جدا شده (یعنی پیوند اشتراکی می‌شکند!) و با آمینواسید جایگاه A، پیوند پپتیدی می‌دهد.

**پ** ریبوزوم به اندازهٔ یک رَمزه به جلوتر و به سمت رَمزهٔ پایان پیش می‌رود.

**ت** tRNAی حامل رشتهٔ پلی‌پپتیدی در حال ساخت به جایگاه P می‌رود و جایگاه A خالی شده تا پذیرای tRNA جدید باشد.

**ث** tRNAی بدون آمینواسید به جایگاه E رفته و سپس از این جایگاه خارج می‌شود.

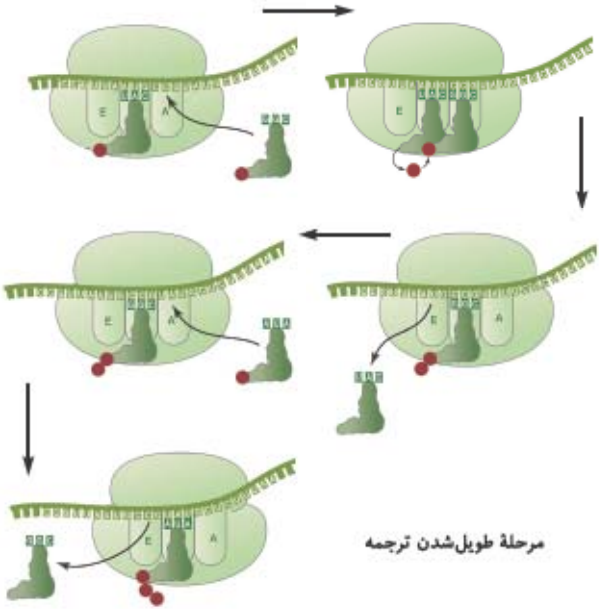
**ج** فرایندهای بالا بارها تکرار شده و طول رشتهٔ پلی‌پپتیدی بیشتر می‌شود تا ریبوزوم به یکی از رَمزه‌های پایان برسد.

**نکات تصویری**

۱ برخلاف اولین tRNA که حامل آمینواسید متیونین بود و به جایگاه P وارد می‌شد، دومین tRNA و tRNAهای بعدی ابتدا به جایگاه A وارد می‌شوند. ۲ پیوند پپتیدی، همواره در جایگاه A ایجاد می‌شود. ۳ رَمزهٔ آغاز و tRNAی آغازگر، هم در جایگاه P و هم در جایگاه E، حضور می‌یابند ولی سایر tRNAها (به‌جز آخرین رَمزه و tRNA ی مربوط به آن)، همواره در هر سه جایگاه A، P و E وارد می‌شوند. ۴ پلی‌پپتید در حال طویل‌شدن همواره از جایگاه P خارج می‌شود.

۵ جابه‌جایی nاُم ریبوزوم و حرکت به سوی رَمزهٔ پایانِ mRNA. حتماً پس از تشکیل پیوند پپتیدی nاُم در جایگاه A اتفاق می‌افتد.

۶ در جایگاه A، فقط پیوند هیدروژنی تشکیل می‌شود، در حالی که در جایگاه P، پیوند هیدروژنی هم تشکیل و هم شکسته می‌شود، ولی در جایگاه E، اصلاً پیوند هیدروژنی به وجود نمی‌آید!




مرحلهٔ طویل‌شدن ترجمه

## مرحلهٔ پایان

### رویدادها

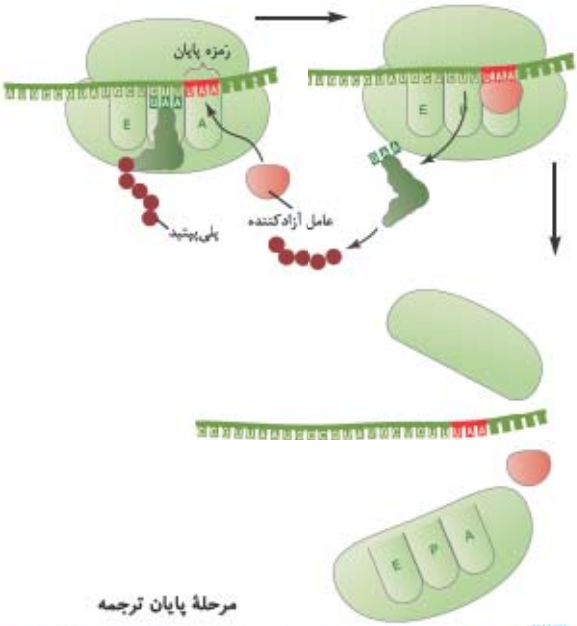
**الف)** با ورود **یکی از سه رَمزهٔ پایان** به جایگاه A، مرحلهٔ پایان ترجمه انجام می‌شود ← چون برای رَمزه‌های پایان، **tRNAای مکمل وجود ندارد!** ← به جای tRNA، پروتئین‌هایی به نام **عوامل آزادکننده** در مقابل رَمزهٔ پایان قرار می‌گیرد.

**ب)** عوامل آزادکننده باعث **جداشدن پلی‌پپتید از آخرین tRNAای** ورودی به جایگاه P و خروج آن‌ها از این جایگاه می‌شود.

**پ)** عامل آزادکننده، هم‌چنین باعث **جداشدن زیرواحدهای ریبوزومی از یکدیگر** و نیز آزادشدن mRNA می‌شود.

**نکتهٔ تنوری** زیرواحدهای ریبوزوم‌ها می‌توانند مجدداً این مراحل را تکرار کنند تا از روی یک mRNA، چندین نسخه از یک نوع پلی‌پپتید ساخته شود.

**نکات تصویری** ۱ در مرحلهٔ پایان، هیچ tRNAای وارد جایگاه E نمی‌شود و آخرین tRNA نیز از جایگاه P از ساختار ریبوزوم خارج می‌شود. ۲ در مرحلهٔ پایان و با ورود عامل آزادکننده به جایگاه A، جایگاه P حاوی یک tRNAای متصل به زنجیرهٔ پلی‌پپتیدی با تمام آمینواسیدهای به کار رفته طی فرایند ترجمه است؛ در حالی که جایگاه E خالی مانده است. ۳ رَمزه‌های پایان فقط به جایگاه A وارد می‌شوند. ۴ سه رَمزه از مجموع ۶۴ رَمزه (۳تا رَمزهٔ پایان)، هیچ‌گاه به جایگاه‌های P و E وارد نمی‌شوند.




**مرحلهٔ پایان ترجمه**

**یادمون باشه**

❶ به‌جز tRNAی آغازگرِ فرایند ترجمه (ناقل آمینواسید متیونین)، که در جایگاه P قرار می‌گیرد؛ تمام tRNA هایی که در جایگاه P دیده می‌شوند بیش از یک آمینواسید متصل به خود دارند. ❷ هم در مرحلهٔ آغاز و هم در مرحلهٔ پایان، هیچ tRNA و رَمزه‌ای وارد جایگاه E نمی‌شود! در مرحلهٔ طویل‌شدن نیز تمام tRNAهایی که به جایگاه E وارد می‌شوند، فاقد آمینواسید هستند.

## محل پروتئین‌سازی و سرنوشت آن‌ها

■ پروتئین‌سازی در هر بخشی از یاخته که **ریبوزوم‌های فعال** حضور دارند می‌تواند انجام شود.

**مقصد (سرنوشت) پروتئین‌های ساخته‌شده در یاخته**

1. **رفتن به شبکهٔ آندوپلاسمی و دستگاه گلژی**
   - **الف** برای ترشح‌شدن به خارج از یاخته (به روش برون‌رانی)
   - **ب** برای ورود به اندامک‌های درون‌یاخته‌ای مانند کریچه و لیزوزوم
2. **باقی‌ماندن در سیتوپلاسم یاخته (داخل مادهٔ زمینه‌ای آن)**
3. **ورود به درون راکیزه (میتوکندری)**
4. **ورود به درون دیسه‌ها (پلاست‌ها)**
5. **ورود به درون هسته**

**یادمون باشه** توالی‌های آمینواسیدی خاص متصل به پروتئین‌های ساخته‌شده، مقصد نهایی آن را تعیین می‌کند.

**نکتهٔ تئوری** 1 پروتئین‌های موجود در مادهٔ زمینه‌ای سیتوپلاسم و برخی پروتئین‌های درون راکیزه‌ها و دیسه‌ها توسط ریبوزوم‌های آزاد در سیتوپلاسم ساخته می‌شوند. 2 تولید پروتئین‌های درون کریچه و لیزوزوم و پروتئین‌هایی که به خارج از یاخته برون‌رانی می‌شوند، توسط ریبوزوم‌های آزاد سیتوپلاسمی شروع شده و در نهایت توسط ریبوزوم‌های متصل به شبکهٔ آندوپلاسمی به پایان می‌رسد.

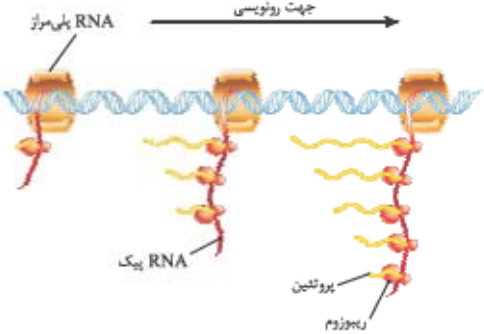
## سرعت و مقدار پروتئین‌سازی

### در پیش‌هسته‌ای‌ها:

■ **پروتئین‌سازی** حتی ممکن است **پیش از پایان رونویسی** mRNA شروع شود، چون **طول عمر mRNA** در پیش‌هسته‌ای‌ها **کم** است ⟸ **برای پروتئین‌هایی که به مقدار زیاد** مورد نیاز می‌شوند، ساخت پروتئین‌ها **به طور هم‌زمان و پشت سر هم** توسط مجموعه‌ای از ریبوزوم‌ها انجام می‌شود ⟵ بنابراین **همکاری گروهی** ریبوزوم‌ها، موجب **افزایش سرعت** پروتئین‌سازی می‌شود.

### در هوهسته‌ای‌ها

■ در این یاخته‌ها، تجمع (همکاری گروهی) ریبوزوم‌ها نیز وجود دارد ⟵ چون در هوهسته‌ای‌ها، سازوکارهایی **برای حفاظت RNA** پیک در **برابر تخریب** وجود دارد ⟸ **فرصت بیشتری** برای پروتئین‌سازی وجود دارد؛ بنابراین این سازوکارها موجب **طولانی‌تر شدن عمر RNA** پیک، پیش از تجزیه می‌شوند.




**طرحی ساده از ریبوزوم‌هایی که چند RNA در حال رونویسی را ترجمه می‌کنند.**

**نکات تصویری**

۱ چند ریبوزوم می‌توانند به طور هم‌زمان یک mRNA ی در حال رونویسی را ترجمه کنند همان‌طور که به طور هم‌زمان از روی یک ژن، چند RNAپلی‌مراز می‌توانند رونویسی کنند ⟸ دو فرایند رونویسی و ترجمه می‌توانند به صورت هم‌زمان با یکدیگر انجام شوند. ۲ بر روی یک mRNA، هر ریبوزومی که به مولکول DNA (ژن) و آنزیم RNAپلی‌مراز نزدیک‌تر باشد، طول زنجیرهٔ پلی‌پپتید متصل بلندتری دارد ⟸ فرایند ترجمهٔ mRNA را زودتر آغاز کرده است. ۳ جهت رونویسی از مولکول DNA، از سمتی با mRNAی کوتاه‌تر به سوی mRNAی بلندتر است و یا جهت رونویسی از سمتی با تعداد ریبوزوم کم‌تر به سوی محلی با ریبوزوم بیشتر است. هم‌چنین جهت ترجمه نیز از سمتی از mRNA با پلی‌پپتید کوتاه‌تر به سمت محلی با پلی‌پپتید بلندتر است (یعنی به سمت مولکول DNA است!). ۴ هر چه در جهت رونویسی بر روی مولکول DNA جلوتر برویم طول و تعداد زنجیره‌های پلی‌پپتید زیادتری را مشاهده می‌کنیم.

## گفتار ۳ تنظیم بیان ژن

### ژن‌های روشن و خاموش

■ **یاخته‌های مختلف** (مثلاً عصبی و ماهیچه‌ای) بدن یک فرد با وجودی که **ژن‌های یکسانی** دارند، ولی **شکل و عملکرد متفاوتی** دارند.

■ در هر یاخته، تنها تعدادی از ژن‌ها **فعال** و سایر ژن‌ها **غیرفعال** هستند ⟸ علت وجود یاخته‌هایی با **ژن‌های یکسان** ولی با شکل و عملکرد متفاوت!

**تعریف ژن روشن:** هرگاه از اطلاعات یک ژن در یک یاخته استفاده شود ⟸ آن ژن، **بیان‌شده** و یا **روشن** است!

**تعریف ژن خاموش:** هرگاه از اطلاعات یک ژن در یک یاخته استفاده نشود ⟸ آن ژن **بیان‌نشده** و یا **خاموش** است!

> **یادمون باشه**
>
> مقدار، بازه و زمان استفاده از ژن در یاخته‌های مختلف یک جاندار ممکن است متفاوت باشد و حتی در یک یاخته نیز بسته به نیاز آن فرق کند!

**تعریف تنظیم بیان ژن:** به فرایندهایی می‌گویند که تعیین می‌کنند در چه هنگام، به چه مقدار و کدام ژن‌ها بیان شوند و یا بیان نشوند!

■ **تنظیم بیان ژن** موجب می‌شود تا جاندار به تغییرات **پاسخ دهد**؛ مثلاً **عامل نور** می‌تواند در یک گیاه باعث **فعال‌شدن ژن** سازندهٔ آنزیمی شود که در فتوسنتز استفاده می‌شود، اما در حالت **عدم وجود نور** (تاریکی) این ژن، **بیان نمی‌شود** و **خاموش** است.

■ **تنظیم بیان ژن** می‌تواند باعث ایجاد یاخته‌های مختلفی از **یک نوع یاخته** شود؛ مثلاً ایجاد یاخته‌های متفاوت گویچه‌های قرمز و سفید از یاخته‌های بنیادی مغز استخوان!

(+) زیست ۱۱، فصل ۶ **بیان ژن** در هستهٔ یوکاریوت‌ها که با انجام دو فرایند رونویسی و ترجمه مطابقت دارد در مراحل $G_1$ و $G_2$ اینترفاز صورت می‌گیرد، ولی **ساخت ژن** که طی فرایند همانندسازی DNA صورت می‌گیرد در مرحلهٔ S اینترفاز اتفاق می‌افتد.

## تنظیم بیان ژن در پیش‌هسته‌ای‌ها (پروکاریوت‌ها)

- **تنظیم بیان ژن** در پیش‌هسته‌ای‌ها می‌تواند بر هر یک از مراحل **ساخت RNA و پروتئین** اثر بگذارد؛ ولی معمولاً تنظیم بیان ژن، **در مرحلهٔ رونویسی RNA** انجام می‌شود ⟸ البته گاهی یاخته با تغییر در طول عمر RNA یا پروتئین ساخته‌شده، فعالیت آن‌ها را تنظیم می‌کند.

### تنظیم رونویسی در پیش‌هسته‌ای‌ها

**چگونگی تنظیم:** در اثر وجود عواملی، **از پیوستن RNAپلی‌مراز به توالی راه‌انداز** و در ادامه، از فعالیت آن **جلوگیری شده** و یا به پیوستن آن و انجام فعالیتش **کمک می‌شود** ⟸ در حالت اول، از رونویسی ژن **ممانعت می‌شود** و در حالت دوم، فرایند رونویسی **تسهیل می‌گردد**؛ مثلاً با اتصال پروتئین‌های خاصی به بخشی از DNA که سر راه RNAپلی‌مراز است از انجام رونویسی جلوگیری می‌شود.

**مثال** در نوعی باکتری به نام **اشرشیاکُلای** (ا. کُلای) که قند مصرفی ترجیحی آن **گلوکز** است این نوع تنظیم دیده می‌شود.

- اگر قند گلوکز در محیط باکتری نباشد و قند دیگری به نام **لاکتوز** موجود باشد ⟸ **باکتری ا. کُلای** (E.coli) از قند لاکتور استفاده می‌کند.
- چون قند لاکتوز از گلوکز متفاوت است، **آنزیم‌های لازم** برای مصرف آن نیز **متفاوت** هستند ⟸ **وقتی لاکتوز در محیط است** (و گلوکز در محیط نیست!)، باکتری ا. کُلای **آنزیم‌های تجزیه‌کنندهٔ آن را می‌سازد**، ولی در

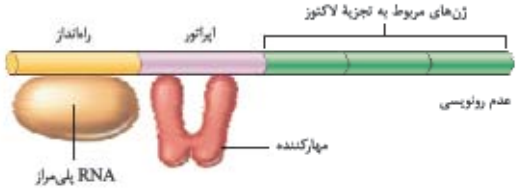
صورت **نبود یا کاهش لاکتوز** در محیط، ساخت آنزیم‌های تجزیه‌کننده **متوقف شده و یا کاهش می‌یابد.**

### تنظیم منفی رونویسی

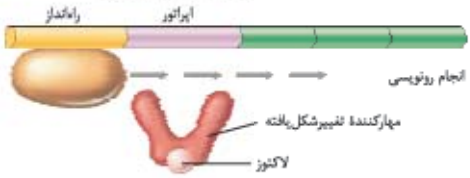
**تعریف:** هرگاه مانعی بر سر راه **RNAپلی‌مراز** وجود داشته باشد ⟸ **رونویسی انجام نمی‌شود** که به این روش، **تنظیم منفی رونویسی** می‌گویند.

**الف) در هنگام عدم حضور لاکتوز:** نوعی **پروتئین** به نام **مهارکننده** به توالی خاصی از DNA به نام **اُپراتور** متصل می‌شود و جلوی حرکت RNAپلی‌مراز را می‌گیرد ⟸ عدم انجام رونویسی از ژن‌ها

**ب) در هنگام حضور لاکتوز:** پروتئین مهارکننده در اثر اتصال لاکتوز موجود در محیط، تغییر شکل یافته و از اُپراتور جدا می‌شود و نیز از اتصالش جلوگیری می‌شود ⟸ RNAپلی‌مراز رونویسی ژن‌ها را انجام می‌دهد که محصولات این ژن‌ها یعنی آنزیم‌ها، موجب تجزیهٔ لاکتوز می‌شوند.




الف) عدم رونویسی ژن‌ها در غیاب لاکتوز




ب) رونویسی ژن‌ها در حضور لاکتوز

**نکات تصویری**

۱ اُپراتور حد فاصل بین راه‌انداز و محل آغاز رونویسی است و در مجاورت محل آغاز قرار دارد. ۲ وجود مهارکننده در محیط و حتی اتصال آن به اُپراتور، مانع از اتصال RNAپلی‌مراز به ژن (راه‌انداز) نمی‌شود! ۳ دو توالی تنظیمی یعنی راه‌انداز و اُپراتور، بیان هم‌زمان ژن‌های مربوط به تجزیهٔ لاکتوز را تنظیم می‌کنند. ۴ یک mRNAی سه‌ژنی، اطلاعات لازم برای تولید پروتئین‌های تجزیه‌کنندهٔ لاکتوز را دارد. ۵ هیچ‌گاه، مهارکننده به راه‌انداز متصل نمی‌شود. ۶ مهارکننده قبل از ورود لاکتوز از محیط به یاخته، ساخته شده است. ۷ RNAپلی‌مراز برای رونویسی از ژن‌ها حتماً باید از اُپراتور عبور کند.

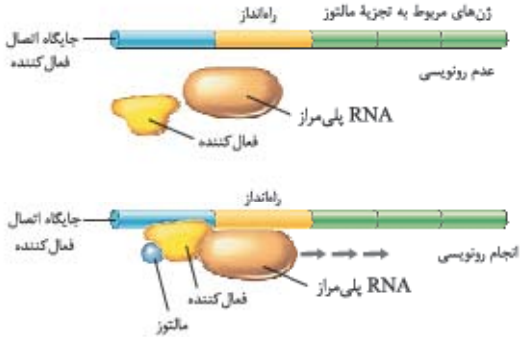
## تنظیم مثبت رونویسی

**تعریف:** هنگامی رخ می‌دهد که **پروتئین‌های خاصی** به RNAپلی‌مراز **کمک کرده** تا به **توالی راه‌انداز** متصل شود و رونویسی از ژن‌ها را **آغاز کند.**

**الف) در هنگام عدم حضور مالتوز:** در نبود مالتوز، **رونویسی** از ژن‌ها توسط RNAپلی‌مراز **انجام نمی‌شود!** ⟸ آنزیم‌های تجزیه‌کنندهٔ مالتوز **ساخته نمی‌شوند**؛ زیرا باکتری ! .کلای به آن‌ها **نیازی ندارد!!**

**ب) در هنگام حضور مالتوز:** در زمان وجود مالتوز، **رونویسی** از **ژن‌ها** توسط RNAپلی‌مراز انجام می‌شود ⟸ درون باکتری ! .کلای، آنزیم‌های تجزیه‌کنندهٔ مالتوز، **ساخته می‌شوند**؛ زیرا تنظیم رونویسی آن‌ها **مثبت** است ⟸ یعنی در حضور مالتوز، **پروتئین‌های فعال‌کننده**، به **توالی‌های خاصی از DNA** به نام **جایگاه اتصال فعال‌کننده** متصل شده و به RNAپلی‌مراز کمک می‌کنند تا به راه‌انداز متصل شود و **رونویسی** از ژن‌ها را **آغاز کند.**

**نکتهٔ تئوری** حضور و اتصال مالتوز به پروتئین فعال‌کننده موجب پیوستن آن به جایگاه اتصال فعال‌کننده شده و پس از اتصال به RNAپلی‌مراز کمک می‌کند تا به راه‌انداز متصل شده و رونویسی از ژن را آغاز می‌کند.




**تنظیم مثبت رونویسی ژن‌های مؤثر در تجزیهٔ مالتوز**

**نکات تصویری**
۱ دو توالی تنظیمی راه‌انداز و جایگاه اتصال فعال‌کننده، بیان هم‌زمان ژن‌های مربوط به تجزیهٔ مالتوز را تنظیم می‌کنند.
۲ فعال‌کننده پیش از ورود مالتوز به یاختهٔ باکتری، ساخته شده است.
۳ پروتئین فعال‌کننده، از لحاظ اندازه از قند دی‌ساکاریدی مالتوز بزرگ‌تر است.

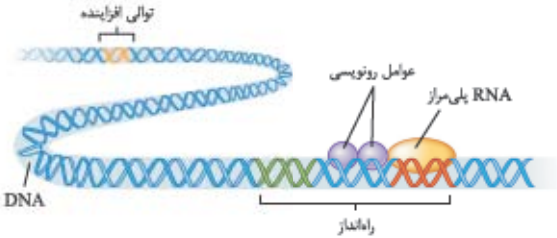
۴ اتصال مالتوز به فعال‌کننده باعث می‌شود تا فعال‌کننده بتواند به جایگاه اتصال خود بر روی DNA متصل شود.
۵ RNAپلی‌مراز فقط پس از ورود مالتوز به باکتری و اتصال آن به فعال‌کننده، می‌تواند به راه‌انداز متصل شده و رونویسی از ژن‌ها را آغاز کند.

## تنظیم بیان ژن در هوهسته‌ای‌ها

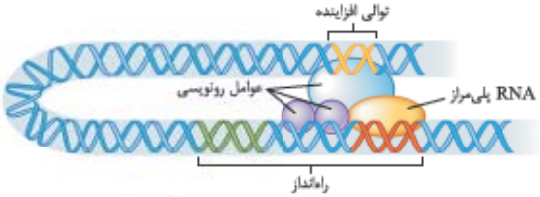
- **غشاها**، درون یاخته‌های هوهسته‌ای را به بخش‌های مختلفی تقسیم کرده‌اند و **عوامل مؤثر** بر یاخته باید به طریقی از **غشاها** عبور کنند و **ژن‌ها** را تحت تأثیر قرار دهند ⟸ به همین دلیل تنظیم بیان ژن در هوهسته‌ای‌ها پیچیده‌تر است.
- در هوهسته‌ای‌ها، **بیشتر ژن‌ها در هسته** و برخی دیگر از ژن‌ها، در **راکیزه** و **دیسه‌ها (پلاست‌ها)** قرار دارند ⟸ در هر یک از این محل‌ها، یاخته بر بیان ژن نظارت می‌کند ⟸ تنظیم بیان ژن در هوهسته‌ای‌ها در **مراحل متعددی** انجام می‌شود.

### تنظیم بیان ژن در مرحلهٔ رونویسی

- **فرایند رونویسی** در هوهسته‌ای‌ها مانند پیش‌هسته‌ای‌ها **با اتصال و پیوستن RNAپلی‌مراز به راه‌انداز** شروع می‌شود.
- برای آغاز فرایند رونویسی، RNAپلی‌مراز نمی‌تواند به تنهایی راه‌انداز را شناسایی کند و برای پیوستن به آن نیازمند پروتئین‌هایی به نام عوامل رونویسی است؛ زیرا گروهی از عوامل رونویسی با اتصال به نواحی خاصی از راه‌انداز، RNAپلی‌مراز را به محل راه‌انداز هدایت می‌کنند.
- در اثر تغییرِ مقدار **تمایل پیوستنِ** عوامل رونویسی به **جایگاه راه‌انداز، مقدار رونویسی از ژن** آن راه‌انداز نیز **تغییر می‌کند.**




**تنظیم بیان ژن در هوهسته‌ای‌ها**




**توالی افزاینده و عوامل رونویسی متصل به آن**

**نکات تصویری**

۱ بیان ژن در هوهسته‌ای‌ها توسط بیش از یک توالی تنظیمی کنترل می‌شود: ۱) راه‌انداز و ۲) توالی افزاینده (البته توالی‌های افزاینده خیلی متنوع‌اند، ولی ما در این شکل فقط یک نوع آن را می‌بینیم!) ۲ توالی راه‌انداز نسبت به توالی افزاینده (در این شکل)، طویل‌تر است. ۳ اندازهٔ راه‌انداز نسبت به عوامل رونویسی و آنزیم RNAپلی‌مراز بزرگ‌تر است. ۴ بیش از یک عامل رونویسی می‌توانند به‌طور هم‌زمان به راه‌انداز متصل شوند. ۵ راه‌انداز و توالی افزاینده از جنس نوکلئیک اسید بوده؛ زیرا بخشی از یک مولکول DNA هستند. ۶ RNAپلی‌مراز فقط در حضور عوامل رونویسی متصل به راه‌انداز

می‌تواند به راه‌انداز متصل شود. ❼ ابتدا عوامل رونویسی به راه‌انداز متصل شده و سپس عوامل رونویسی دیگری به توالی افزاینده وصل می‌شوند. ❽ عوامل رونویسی، اندازه‌های یکسانی ندارند!

■ در هوسته‌ای‌ها ممکن است عوامل رونویسی دیگری به **توالی افزاینده** متصل شوند ← در این حالت، با ایجاد خمیدگی در DNA، مجموع عوامل رونویسی در کنار هم قرار می‌گیرند ⇐ اجتماع این عوامل، **سرعت و مقدار رونویسی** ژن را افزایش می‌دهد.

یادمون باشه: **توالی‌های افزاینده**، متفاوت از راه‌انداز هستند و ممکن است در فاصلهٔ دوری **از ژن** قرار داشته باشند.

## تنظیم بیان ژن در مراحل غیررونویسی

■ **تنظیم بیان ژن** در هوسته‌ای‌ها، می‌تواند **پیش از رونویسی** و یا **پس از رونویسی** نیز اتفاق بیفتد!

### روش‌های تنظیم بیان ژن

**الف** اتصال بعضی RNAهای کوچک مکمل به RNA پیک ⇐ جلوگیری از انجام کار (ترجمه) توسط ریبوزوم ← توقف ترجمهٔ RNA پیک و تجزیه‌شدن آن پس از مدتی (مثالی از تنظیم بیان ژن پس از رونویسی).

**ب** تنظیم در سطح کروموزومی ⇐ با تغییر (افزایش یا کاهش) در میزان فشردگی کروموزوم در بخش‌های خاص، دسترسی RNAپلی‌مراز را به ژن موردنظر تنظیم می‌کند.

**پ** طول عمر RNA پیک ⇐ با افزایش طول عمرِ mRNA، میزان محصول افزایش می‌یابد ← در میزان پروتئین‌سازی مؤثرند.

## عبارت‌های مفهومی

درستی یا نادرستی عبارات زیر را مشخص کنید.

۶۸- مولکول RNAی حمل‌کنندهٔ آمینواسید در فضای سیتوپلاسم نورون، قطعاً توسط یک نوع RNAپلی‌مراز تولید می‌شود.

۶۹- مکمل رمز TGA موجود در رشتهٔ رمزگذار در رمزکردن هیچ آمینواسیدی نقش ندارد.

۷۰- در یاخته‌های توبره‌واش شکستن پیوند بین آمینواسید با tRNAی متصل به آن و تشکیل پیوند بین مونومرهای سازندهٔ هر mRNA در محلی یکسان رخ می‌دهد.

۷۱- در هر یاخته‌ای که دارای دیوارهٔ یاخته‌ای است، قطعاً ترجمهٔ mRNA و پروتئین‌سازی به کمک ریبوزوم صورت می‌گیرد.

۷۲- تبدیل پروترومبین به ترومبین برخلاف فعال‌شدن پروتئین‌های مکمل پس از برخورد به عامل بیگانه، نوعی تنظیم بیان ژن است.

۷۳- در مراحل رونویسی در پلاناریا طول عمر RNA پیک با تعداد اینترون‌های آن رابطهٔ مستقیم دارد.

۷۴- امکان ندارد در فرایند تولید پمپ سدیم ـ پتاسیم در نورون برخلاف یاخته‌های پوششی روده تنظیم بیان ژن صورت نگیرد.

۷۵- در حباب رونویسی از مولکول DNA، در محل شکسته‌شدن پیوند هیدروژنی، پیوند هیدروژنی ایجاد نمی‌شود.

۷۶- هر پروتئینی که بتواند به توالی خاصی در RNA پیک، متصل شود، سرعت رونویسی را افزایش نمی‌دهد.

۷۷- طی فرایند ترجمهٔ RNA پیک میوزین، اولین RNA ناقل واردشده به ریبوزوم در هیچ جایگاهی تخریب پیوند هیدروژنی ندارد.

۷۸- در فراوردهٔ حاصل از رونویسیِ توالی مجاور اُپراتور DNA، در یاختهٔ کناری معده، قطعاً پیوند فسفودی‌استر وجود دارد.

۷۹- در فرایند رونویسی از روی DNA خطی دومین نوکلئوتید اولین رَمزهٔ رونویسی‌شده لزوماً در ساختار خود بیش از ۲ حلقه دارد.

۸۰- هرگاه رَمزهٔ UGA به جایگاه A ریبوزوم وارد شود، قطعاً جایگاه‌های E و A خالی از RNA ناقل هستند.

۸۱- برای تشکیل رشتهٔ پلی‌پپتیدی ۱۲ آمینواسیدی، ۱۱ مولکول آب در جایگاه A، آزاد و ۱۱ بار جابه‌جایی ریبوزوم رخ می‌دهد.

۸۲- در ساختار تاخوردگی اول RNA ناقل مؤثر در ساخت فیبرینوژن همانند ساختار سه‌بعدی آن پیوند هیدروژنی وجود دارد.

۸۳- در تنظیم بیان ژن یاخته‌های میلوئیدی، عوامل ایجاد خمیدگی در DNA با اتصال به راه‌انداز باعث تشدید سرعت رونویسی می‌شوند.

۸۴- در نوعی جاندار که محل ساخت اجزای ریبوزوم در آن یکسان است، رونویسی از تمامی ژن‌ها توسط یک نوع آنزیم رخ می‌دهد.

۸۵- همیشه در RNAی موجود در سیتوپلاسمِ نوتروفیل، تعداد میانه‌های آن از بیانه‌ها کم‌تر است.

۸۶- در یک یاخته تار کشنده هر مولکول RNA توسط یک سری آنزیم بالغ می‌شود.

۸۷- در مرحلهٔ پایان رونویسی از ژن انسولین برخلاف مرحلهٔ طویل‌شدن ترجمه، بین ریبونوکلئوتیدها پیوند شیمیایی برقرار است.

۸۸- طی فرایند ترجمه، اولین رمزه که در جایگاه P ریبوزوم قرار می‌گیرد، قطعاً با اولین رمزهٔ رونویسی‌شده یکسان است.

۸۹- در تنظیم بیان ژن آنزیم تجزیه‌کنندهٔ لاکتوز در پی متصل‌شدن مهارکننده به DNA، تولید آب در سیتوپلاسم افزایش می‌یابد.

۹۰- تشکیل پیوند فسفودی‌استر بین توالی‌های میانه و بیانه برخلاف تشکیل آن بین رونوشت بیانه‌ها توسط RNAپلی‌مراز صورت می‌گیرد.

۹۱- پس از عمل ترجمه در یاختهٔ کرکِ گیاه خرزهره، پروتئین ساخته‌شده می‌تواند به راکیزه ارسال شود.

۹۲- آنزیم ATPساز ساخته‌شده توسط RNAپلی‌مراز۲ در اوگلنا می‌تواند قبل از ورود به سیتوپلاسم یاخته تغییر کند.

۹۳- طول عمر RNA پیک در یاختهٔ میلوئیدی بیشتر از RNA پیک باکتری است.

۹۴- توالی UAA قطعاً به جایگاه تشکیل پیوند پپتیدی در ریبوزوم وارد نشده ولی توانایی تشکیل پیوند هیدروژنی را دارد.

۹۵- با ورود رمزهٔ UAG به جایگاه A، tRNA حامل پلی‌پپتید بدون ورود به جایگاه E، از ریبوزوم جدا می‌شود.

۹۶- همهٔ مولکول‌های RNA که دارای پادرمزه هستند، قطعاً محل ساخت و عملکرد آن‌ها نمی‌تواند یکسان باشد.

۹۷- تعداد آمینواسیدهای موجود در رشتهٔ پلی‌پپتیدی از مجموع رمزه‌های قرارگرفته در جایگاه P و A کم‌تر است.

۹۸- زمانی که ریبوزوم بر روی RNA، ۵ بار حرکت می‌کند به طور حتم رمزهٔ شمارهٔ ۷ در جایگاه A قرار می‌گیرد.

۹۹- در فرایند تولید RNA بالغ همواره تعداد مولکول‌های آب آزادشده از هنگام رونویسی RNA اولیه، کم‌تر است.

۱۰۰- در هر RNAی تولیدشده در یاخته فقط نوکلئوتیدهای یوراسیل‌دار در آن با نوکلئوتیدهای سازندهٔ DNA متفاوت است.

۱۰۱- در صورتی که هر توالی دو نوکلئوتیدی هر یک از رمزهای DNA میتوکندری باشد، امکان ندارد آمینواسیدی دارای چند رمز نباشد.

۱۰۲- هر حباب رونویسی در مرحلهٔ طویل‌شدنِ RNA، دارای حداقل ۳ و حداکثر ۵ نوع نوکلئوتید است.

۱۰۳- در یاختهٔ پارامسی، هیستون‌ها برخلاف آنزیم‌های گوارشی و کانال‌های غشایی پس از تولید، از اجسام گلژی عبور نمی‌کنند.

۱۰۴- در هر جاندار فتوسنتزکنندهٔ اکسیژن‌زا، RNAپلی‌مراز آن قطعاً توانایی تولید هر نوع RNAای را دارد.

۱۰۵- در رونویسی از ژن‌های یاختهٔ ماهیچه، تعداد حلقه‌های آلی در رشتهٔ رمزگذار با RNAی ساخته‌شده از رشتهٔ الگو متفاوت است.

۱۰۶- در یاختهٔ تولیدکنندهٔ سلولاز در معدهٔ گاو، هر یک از مولکول‌های سازندهٔ ریبوزوم در محل‌های متفاوتی از یاختهٔ معده ساخته می‌شود.

۱۰۷- جایگاهی از ریبوزوم که پلی‌پپتید از tRNA جدا می‌شود، همان جایگاه ورود همهٔ tRNAهای لازم برای ترجمه است.

۱۰۸- در یاخته‌های رودهٔ کرم خاکی در مرحلهٔ پایان رونویسی نوکلئوتید رشتهٔ رمزگذار در توالی پایان رونویسی می‌شود.

۱۰۹- در مرحلهٔ آغاز رونویسی آنزیم هلیکاز فقط روی رشته‌ای از راه‌انداز ژن الگو قرار می‌گیرد که قرار است رونویسی شود.

۱۱۰- در مرحله‌ای از ترجمه در جایگاه A ریبوزوم، پس از خروج یک نوع نوکلئیک‌اسید حامل پلی‌پپتید، یک نوع پروتئین وارد آن می‌شود.

۱۱۱- همهٔ گروه‌های فسفات موجود در RNA ناقل در رونویسی در تشکیل پیوند فسفودی‌استر با قند نقش دارند.

۱۱۲- ژن الگوی ساخت آنزیم تجزیه‌کنندهٔ تری‌گلیسرید موجود در کیسهٔ معدهٔ ملخ می‌تواند دارای رونوشت میانه باشد.

۱۱۳- در یاختهٔ کامبیوم آوندساز، رونویسی ژن پروتئین‌های ریبوزومی همانند ژن ساخت هلیکاز بر عهدهٔ RNAپلی‌مراز است.

## عبارت‌های کنکوری

۱۱۴- در فرایند ترجمهٔ ژن اکتین در یاختهٔ عضلانی پس از جابه‌جایی ریبوزوم بر روی mRNA، جایگاه A همواره پذیرای tRNAای حامل آمینواسید است. (سراسری ۸۹- با تغییر)

۱۱۵- در فرایند ترجمه، آزادشدن زنجیرهٔ پلی‌پپتیدی از آخرین tRNA نسبت به سایرین در جایگاه متفاوتی از ریبوزوم رخ می‌دهد. (خارج از کشور ۹۰)

۱۱۶- با توجه به ژن‌های مورد نیاز تجزیهٔ لاکتوز در اشرشیاکلای پس از اتصال پروتئین متصل‌شونده به اپراتور، RNAپلی‌مراز در بخش تنظیم‌کنندهٔ ژن قرار می‌گیرد. (خارج از کشور ۹۲)

۱۱۷- در مورد باکتری در مرحلهٔ دوم رونویسی، پیوند بین بازهای آلی دو رشتهٔ الگو و غیرالگوی DNA گسسته می‌شود. (سراسری ۹۳- با تغییر)

۱۱۸- در همهٔ باکتری‌های بیماری‌زا، هر ژن در مجاورت بخش سازندهٔ پروتئین تنظیم‌کنندهٔ خود قرار می‌گیرد. (خارج از کشور ۹۳)

۱۱۹- در یک یاختهٔ فعال بخش برون‌ریز پانکراس، تنوع آمینواسیدها کم‌تر از تنوع tRNAها است. (سراسری ۹۴- با تغییر)

۱۲۰- در یک جاندار پیش‌هسته‌ای پس از عبور از اولین نقطهٔ وارسی، ژن‌های هر RNA توسط یک RNAپلی‌مراز شناسایی می‌شود. (خارج از کشور ۹۴- با کمی تغییر)

۱۲۱- همهٔ RNAهایی که در مرکز تنظیم ژنتیک یک یاختهٔ کرم خاکی قرار دارند در یک انتهای خود، توالی نوکلئوتیدی یکسانی دارند. (سراسری ۹۵)

۱۲۲- در تنظیم بیان ژن‌های مورد نیاز تجزیهٔ لاکتوز در اشرشیاکلای توالی واحدهای سازندهٔ عامل تنظیم‌کنندهٔ محیطی توسط ژن تولید مهارکننده تعیین می‌شود. (سراسری ۹۵)

۱۲۳- هر یاخته‌ای که سانتریول آن مضاعف می‌شود، بیان هر ژن آن مستلزم استفاده از آنزیم‌های درون‌یاخته‌ای متفاوت است. (سراسری ۹۵)

۱۲۴- در هر یاختهٔ یوکاریوت محصول نهایی هر ژن آن یک زنجیرهٔ پلی‌پپتیدی است. (سراسری ۹۵)

۱۲۵- در یاخته‌ای گیاهی، توالی اجزای سازندهٔ مولکول‌های حاصل از رونویسی با رشته‌های رمزگذار، مکمل است. (خارج از کشور ۹۵- با تغییر)

۱۲۶- در یاختهٔ زندهٔ قورباغه همهٔ RNAها پس از کوتاه‌شدن به سیتوپلاسم وارد می‌شوند. (سراسری ۹۶)

۱۲۷- در یک یاختهٔ پرندهٔ کاکایی هر آمینواسید فقط می‌تواند به یک نوع tRNA متصل شود. (خارج از کشور ۹۶)

۶۸- درست

۶۹- درست

۷۰- نادرست؛ شکستن پیوند بین آمینواسید اتصالی و tRNA در سیتوپلاسم یاخته و عمل رونویسی و تشکیل mRNA، در هستهٔ یاخته انجام می‌شود. توبره‌واش نوعی گیاه و جانداری یوکاریوت است.

۷۱- نادرست؛ یاخته‌های تراکئید و عناصر آوندی دیواره دارند؛ ولی زنده نیستند و پروتئین‌سازی نمی‌کنند.

۷۲- نادرست؛ در هر دو نوع تغییر و تبدیل، تنظیم بیان ژن پس از ترجمه اتفاق می‌افتد.

۷۳- درست

۷۴- نادرست؛ در هر دو تنظیم بیان ژن صورت می‌گیرد.

۷۵- نادرست؛ پیوند هیدروژنی شکسته و دوباره تشکیل می‌شود.

۷۶- درست؛ مانند پروتئین مهارکننده که رونویسی را مهار می‌کند.

۷۷- نادرست؛ در جایگاه E پیوند هیدروژنی شکسته می‌شود.

۷۸- نادرست؛ یاختهٔ کناری معده هوهسته‌ای است و اُپراتور ندارد.

۷۹- نادرست؛ در رَمزهٔ اول (AUG) دومین نوکلئوتید U است که دارای یک حلقه در باز آلی و یک حلقه در قند است.

۸۰- درست؛ پس از ورود یکی از رَمزه‌های پایان به جایگاه A، هیچ tRNAای در جایگاه A و E حضور نمی‌یابد.
۸۱- نادرست؛ برای انجام این عمل، ۱۰ بار جابه‌جایی ریبوزوم رخ می‌دهد.
۸۲- درست
۸۳- نادرست؛ عوامل متصل به افزاینده باعث خمیدگی می‌شود.
۸۴- درست؛ مثل باکتری‌ها
۸۵- نادرست؛ هر RNA دارای میانه و بیانه نیست.
۸۶- نادرست؛ برخی از RNAهای پیک، بالغ می‌شوند.
۸۷- درست
۸۸- نادرست؛ می‌تواند یکسان نباشد! چون ممکن است رَمزه‌های دیگری قبل از رَمزهٔ آغاز (AUG) نیز رونویسی شود.
۸۹- نادرست؛ کاهش می‌یابد؛ چون رونویسی مهار می‌شود.
۹۰- نادرست؛ توالی بیانه و میانه در DNA وجود دارد و تشکیل پیوند بین آن‌ها توسط DNAپلی‌مراز انجام می‌شود.
۹۱- درست
۹۲- نادرست؛ آنزیم رونویسی نمی‌شود؛ بلکه ژن آن رونویسی می‌شود.
۹۳- درست؛ طول عمر RNA پیک یوکاریوت بیشتر از پروکاریوت است.
۹۴- نادرست؛ UAA رَمزهٔ پایان به جایگاه A وارد می‌شود.
۹۵- درست
۹۶- نادرست؛ tRNA می‌تواند در پروکاریوت در یک مکان فعالیت کند.
۹۷- درست؛ به غیر از اولین رَمزه و tRNA مربوطه (حامل آمینواسید متیونین) که مستقیماً به جایگاه P می‌رود، برای اتصال هر آمینواسید بعدی به رشتهٔ پلی‌پپتید باید ۱ رَمزه و tRNA مربوطه، ۲ بار (یکی در جایگاه A و یکی هم در جایگاه P) قرار گیرد ⟸ تعداد آمینواسیدهای پلی‌پپتید معادل است با نصف مجموع تعداد رَمزه‌های قرارگرفته در A و P + ۱

۹۸- درست

۹۹- درست

۱۰۰- نادرست: در کل نوکلئوتیدهای RNA با DNA متفاوت است.

۱۰۱- نادرست: رَمزهٔ دونوکلئوتیدی فقط جوابگوی ۱۶ آمینواسید است.

۱۰۲- نادرست: زیرا حداقل ۲ نوع (مثل C و G) و حداکثر ۵ نوع (مثل A، T، C، G، و U) دارد.

۱۰۳- درست

۱۰۴- نادرست: در جانداران فتوسنتزکنندهٔ اکسیژن‌زا مانند هم باکتری‌ها و هم گیاهان (در راکیزه و سبزدیسهٔ آن‌ها) RNAپلی‌مراز موجود در آن‌ها، هر سه نوع RNA را می‌سازد.

۱۰۵- نادرست: برابر است.

۱۰۶- نادرست: یاختهٔ تولیدکنندهٔ سلولاز باکتری است.

۱۰۷- درست

۱۰۸- نادرست: رشتهٔ رمزگذار رونویسی نمی‌شود.

۱۰۹- نادرست: در رونویسی آنزیم هلیکاز نقشی ندارد.

۱۱۰- درست: جایگزینی عامل پروتئینی آزادکننده با آخرین tRNAی حامل پلی‌پپتید.

۱۱۱- نادرست: گروه فسفات یک انتهای رشتهٔ مولکول tRNA، آزاد است و در تشکیل پیوند فسفودی‌استر شرکت نمی‌کند.

۱۱۲- نادرست: رونوشت در RNA پیک است نه DNA.

۱۱۳- درست

۱۱۴- نادرست: رَمزه‌های پایان، پادرَمزه و tRNA ندارد.

۱۱۵- نادرست: در جایگاه P رخ می‌دهد.

۱۱۶- نادرست: RNAپلی‌مراز قبل از اتصال مهارکننده به اپراتور متصل است.

۱۱۷- درست

۱۱۸- درست؛ چون هسته در باکتری وجود ندارد.

۱۱۹- درست

۱۲۰- نادرست؛ وجود نقاط وارسی در چرخهٔ یاخته‌ای برای هوهسته‌ای‌ها است.

۱۲۱- نادرست؛ این موضوع، فقط در مورد tRNA درست است.

۱۲۲- نادرست؛ عامل تنظیم‌کنندهٔ محیطی در این نوع تنظیم لاکتوز است که پروتئین نیست.

۱۲۳- درست؛ منظور یاختهٔ یوکاریوت است که RNAپلی‌مرازهای مختلفی دارد.

۱۲۴- نادرست؛ ممکن است RNA ناقل و یا RNA ریبوزومی ساخته شود و یک زنجیرهٔ پلی‌نوکلئوتیدی به وجود آید.

۱۲۵- درست

۱۲۶- نادرست؛ برخی از mRNAها بالغ می‌شوند.

۱۲۷- نادرست؛ برخی آمینواسیدها چندین پادرَمزه دارند.