



t.me/mhbb_ir



@mhbb.ir

اسماء محمدی زاده

جزوه گفتار 2 فصل 1 زیست دوازدهم

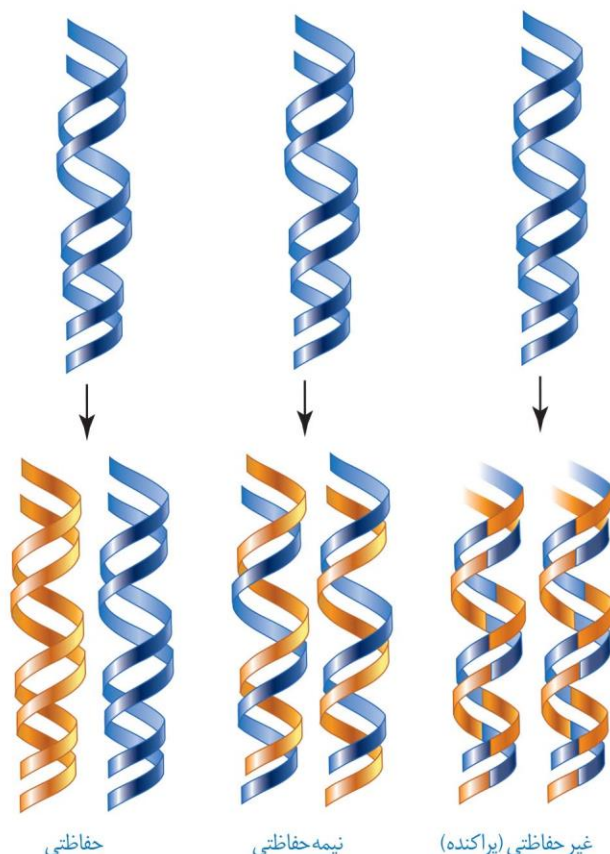
مولکول های اطلاعاتی _ همانند سازی دنا



mhbb.ir



گفتار ۲ همانندسازی دنا



شکل ۹- طرح‌های مختلف برای همانندسازی

با توجه به اینکه دنا به عنوان ماده وراثتی، حاوی اطلاعات یاخته است، این پرسش مطرح می‌شود که هنگام تقسیم یاخته، این اطلاعات، چگونه بدون کم و کاست به دو یاخته حاصل از تقسیم می‌رسند؟ این کار با همانندسازی دنا انجام می‌شود. به ساخته شدن مولکول دناي جديد از روی دناي قديمی **همانندسازی** می‌گویند. با توجه به مدل واتسون و کریک و وجود رابطه مکملی بین بازها تا حد زیادی همانندسازی دنا قابل توضیح است؛ گرچه طرح‌های مختلفی برای همانندسازی دنا پیشنهاد شده بود (شکل ۹).

۱- همانندسازی حفاظتی: در این طرح هر دو رشته دناي قبلی (اولیه) به صورت دست نخورده باقی مانده، وارد یکی از یاخته‌های حاصل از تقسیم می‌شوند، دو رشته دناي جديد هم وارد یاخته دیگر می‌شوند. چون دناي اولیه به صورت دست نخورده در یکی از یاخته‌ها حفظ شده است به آن همانندسازی حفاظتی می‌گویند.

۲- همانندسازی نیمه حفاظتی: در این طرح در هر یاخته یکی از دو رشته دنا مربوط به دناي اولیه است و رشته دیگر با نوکلئوتیدهای جديد ساخته شده است. چون در هر یاخته حاصل، فقط یکی از دو رشته دناي قبلی وجود دارد، به آن نیمه حفاظتی می‌گویند.

۳- همانندسازی غیر حفاظتی (پراکنده): در این طرح هر کدام از دناهای حاصل، قطعاتی از رشته‌های قبلی و رشته‌های جديد را به صورت پراکنده در خود دارند.

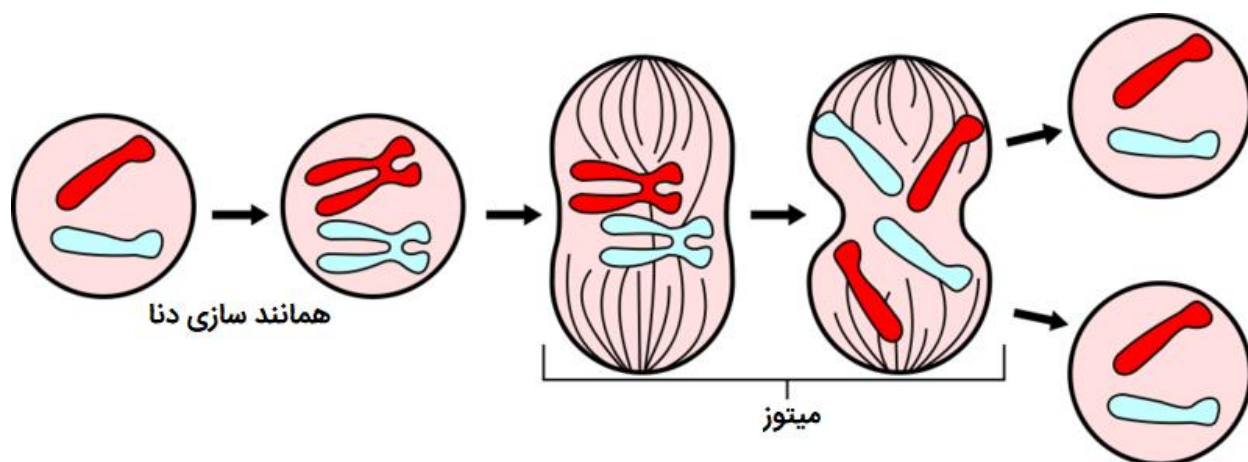
در زیست یازدهم یاد گرفتید که وقتی یک یاخته میتوز و تقسیم سیتوپلاسم انجام می‌دهد، دو یاخته ی جديد ایجاد می‌شود که به این یاخته‌های جديد اصطلاحاً یاخته ی دختری می‌گویند.





تعداد کروموزوم های هر یک از یاخته های دختری با تعداد کروموزوم های یاخته ی مادری برابر است.

قبل از اینکه یاخته ی مادری تقسیم شود، دنا ی آن در مرحله ی S اینترفاز همانند سازی می کند برای اینکه از هر دنا دو نسخه داشته باشد و به هر یاخته ی دختری یک نسخه از آن را بدهد.



به ساخته شدن مولکول دنا ی جدید از روی دنا ی قدیمی همانند سازی می گویند. همانند سازی دنا با توجه به مدل واتسون و کریک و وجود رابطه ی مکملی بین باز ها تا حد زیادی قابل توضیح است.

انواع طرح های پیشنهادی برای همانند سازی دنا

همانند سازی حفاظتی: در این طرح مولکول دنا ی مادری به طور کامل حفظ میشه. به این صورت که پس از همانند سازی دنا، دو مولکول دنا داریم. یکی از مولکول های دنا هر دو رشته اش قدیمی و متعلق به یاخته ی مادری است و دنا ی دیگر هر دو رشته اش جدید هست. پس از پایان



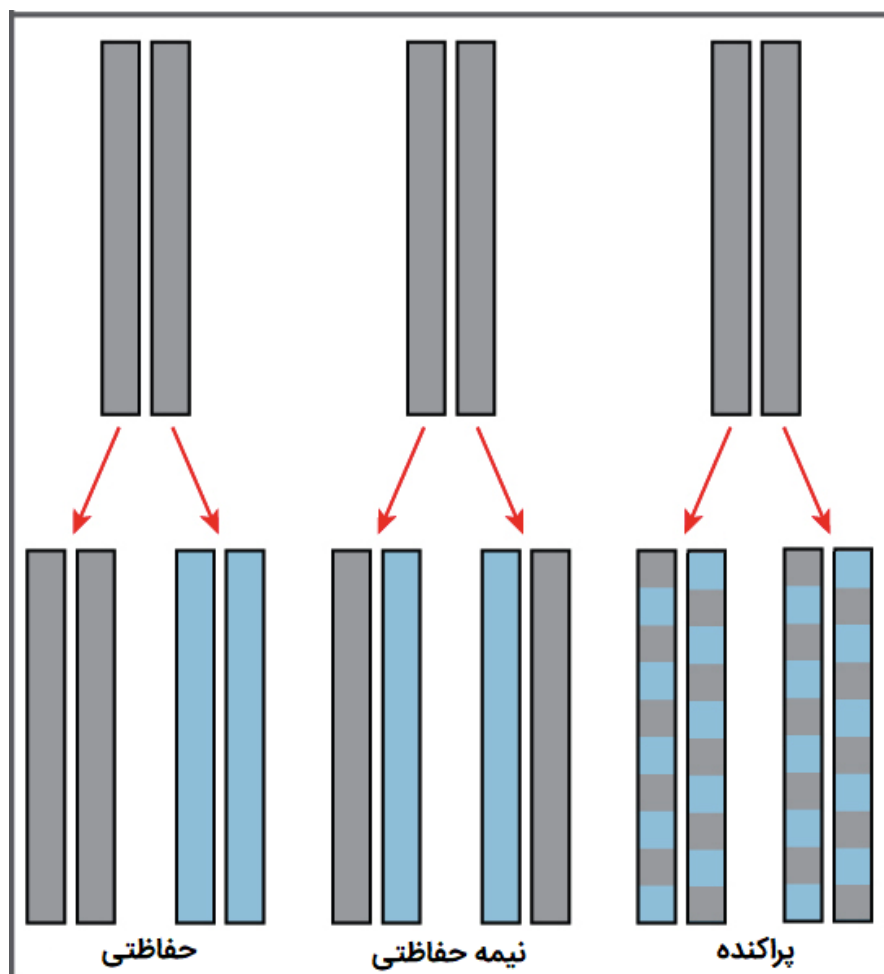


همانند سازی یاخته یمادری تقسیم میشه، و دو تا یاخته ی جدید را به وجود می آورد. مولکول دنا ی دارای دو رشته ی مادری وارد یکی از یاخته ها میشه و مولکول دنا ی دارای دو رشته ی جدید وارد یاخته ی دیگر می شود. چون دنا ی اولیه به صورت دست نخورده در یکی از یاخته ها حفظ شده است. به این طرح همانند سازی حفاظتی گفته می شود.

همانند سازی نیمه حفاظتی: در این طرح پس از همانند سازی دو مولکول دنا داریم که هر مولکول دنا دارای یک رشته ی مادری و یک رشته ی جدید است. هم زمان با تقسیم یاخته ی مادری هر یک از این مولکول های دنا به یکی از یاخته های دختری منتقل می شوند. چون در هر یاخته ی حاصل فقط یکی از دو رشته ی دنا ی قبلی وجود دارد به این طرح همانند سازی نیمه حفظ شده می گویند.

همانند سازی غیر حفاظتی (پراکنده): در این طرح هر رشته از دناهای حاصل، حاوی قطعاتی از رشته های قبلی و رشته های جدید به صورت پراکنده درون خود است. در طرح غیر حفاظتی هر دو رشته ی یک مولکول دنا ی حاصل، دارای قطعات قدیمی و جدید است.





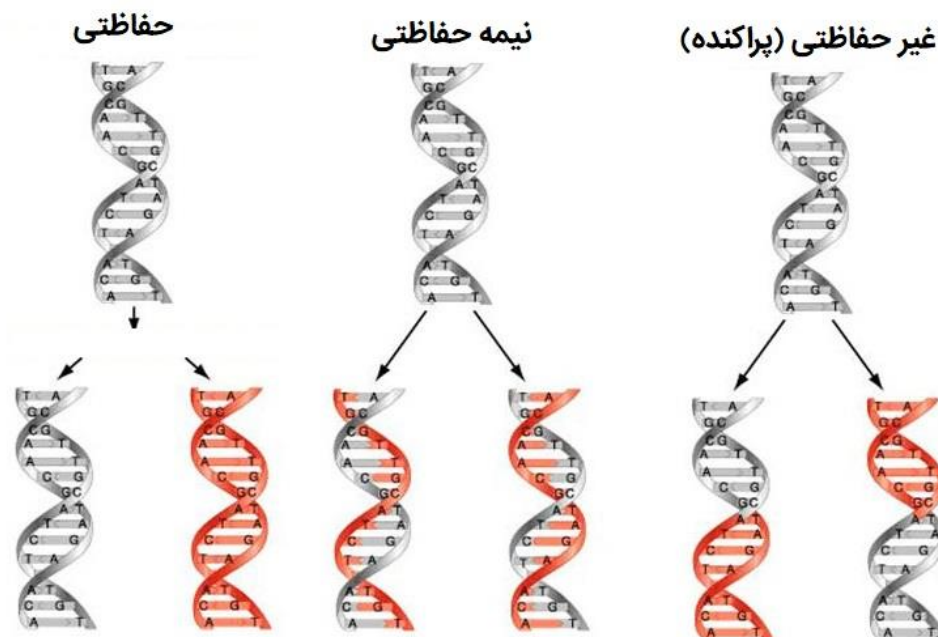
نکته: در طرح غیر حفاظتی که الگوی استفاده از قطعات جدید و قدیمی در هر دو مولکول دنا حاصل شبیه یکدیگر است.

نکته: در بین سه طرح ارائه شده برای همانند سازی، روش غیر حفاظتی تنها روشی است که در آن پیوند فسفو دی استر بین نوکلئوتید های دنا ی مادری شکسته می شود و در هر رشته بین نوکلئوتید های جدید و قدیمی پیوند فسفو دی استر تشکیل می شود. (چون در این روش باید ی



قطعه از دناى مادری شکسته بشه و به جاش دناى جدید قرار بگیره، شکسته شدن یک قطعه از دنا

سب شکسته شدن پیوند های فسفو دی استر می شود)



نکته: در هر سه طرح در نهایت از یک مولکول دنا دو مولکول دنا حاصل می شود. در طرح

حفاظتی از دو مولکول دناى حاصل، یکی دارای دو رشته ی قدیمی و دیگری دارای دو رشته ی جدید است. در طرح نیمه حفاظتی، در هر دو مولکول دناى حاصل یکی از رشته ها قدیمی و رشته

ی دیگر جدید است. اما در طرح غیر حفاظتی در هر رشته ی مولکول دنا بعضی از قسمت ها

قدیمی و بعضی از قسمت ها جدید است.



کدام طرح مورد تأیید قرار گرفته است؟

مزلسون^۲ و استال^۳ با به کارگیری روش علمی پاسخ این پرسش را به دست آوردند. آنها فرضیه های متعدد ارائه شده را در نظر گرفتند و با توجه به امکانات، آزمایشی را طراحی کردند تا بتوانند به پاسخ قانع کننده ای برسند. برای شروع کار، آنها باید بتوانند رشته های دِنای نوساز را از رشته های قدیمی تشخیص دهند. آنها با این هدف دِنا را با استفاده از نوکلئوتیدهایی که ایزوتوپ سنگین نیتروژن (^{15}N) دارند، نشانه گذاری کردند.

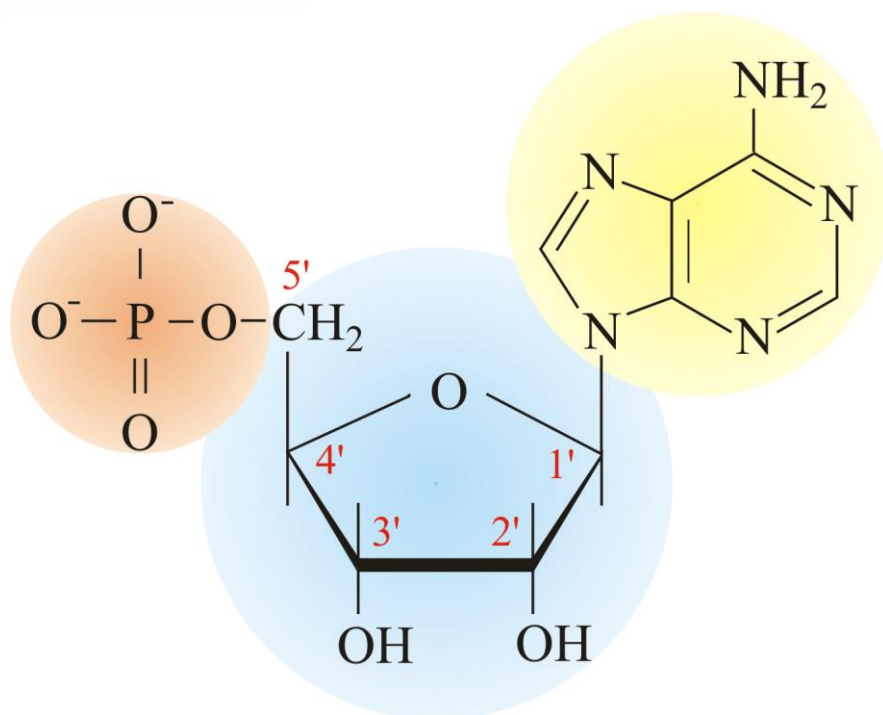
کدام طرح مورد تایید قرار گرفته است؟

مزلسون و استال به به کارگیری روش عملی توانستند به این نتیجه برسند. مزلسون و استال فرضیه های متعددی که ارائه شده بود را در نظر گرفتن و آزمایشی را طراحی کردن تا بتوانند به جواب برسند.

برای شروع مزلسون و استال اول باید راهی برای تشخیص رشته های دِنای جدید از رشته های دِنای قدیمی پیدا می کردند. برای این کار آن ها از دو ایزوتوپ مختلف نیتروژن استفاده کردند. نیتروژن 15، ایزوتوپ سنگین نیتروژن و نیتروژن چهارده، ایزوتوپ سبک نیتروژن است.

نکته: تنها بخشی از نوکلئوتید که نیتروژن دارد باز آلی نیتروژن دار است. پس با استفاده از انواع نوکلئوتید هایی که نیتروژن سنگین یا سبک دارند می توانیم دو نوع نوکلئوتید و در نهایت دو نوع دِنا داشته باشیم.





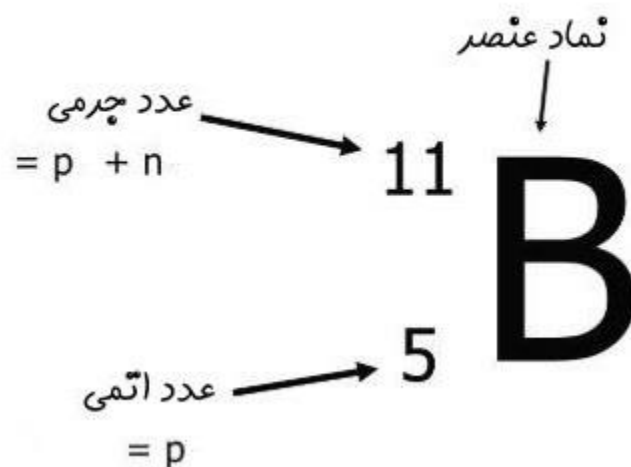
نکته: نیتروژن معمولی نوکلئوتید ها نیتروژن چهارده می باشد که از نیتروژن 15 سبک تر است. بنابراین با نشانه گذاری یکسری از دنا ها با نیتروژن 15 دو نوع رشته ی دنا خواهیم داشت. یکسری که در ساختارشان نیتروژن چهارده دارند و سری بعدی که سنگین ترند و نیتروژن 15 دارند.

نکته: عدد جرمی نیتروژن 15 و عدد اتمی آن 7 است.

عدد اتمی: به تعداد پروتون عدد اتمی می گویند.

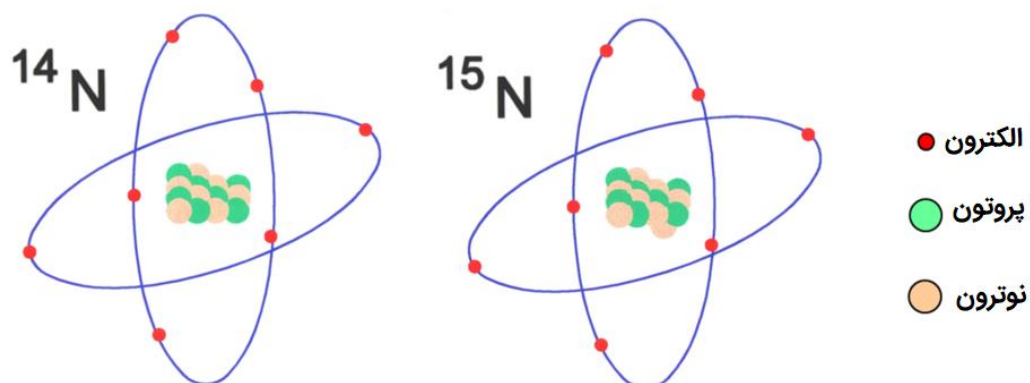
عدد جرمی: به مجموع تعداد پروتون و نوترون عدد جرمی می گویند.





ایزوتوپ: به اتم های یک عنصر که عدد اتمی یکسان ولی عدد جرمی متفاوت دارند، ایزوتوپ می گویند.

نکته: در ایزوتوپ ها، ایزوتوپی که عدد جرمش بیشتر است، چگالی آن هم بیشتر می باشد.





دِنَاهایی که با ^{15}N ساخته می‌شوند نسبت به دِنای معمولی که در نوکلئوتیدهای خود ^{14}N دارد چگالی بیشتری دارند. بنابراین، به وسیلهٔ گریزانۀ با سرعت بسیار بالا می‌توان آنها را از هم جدا کرد. آنها ابتدا باکتری‌ها را در محیط دارای ^{15}N کشت دادند. ^{15}N در ساختار بازهای آلی نیترोजن دار که در ساخت دِنای باکتری شرکت می‌کنند، وارد شدند. پس از چندین مرحله رشد و تکثیر در این محیط، باکتری‌هایی تولید شدند که دِنای سنگین‌تری نسبت به باکتری‌های اولیه داشتند. سپس این باکتری‌ها را به محیط کشت دارای ^{14}N منتقل کردند. با توجه به اینکه تقسیم باکتری‌ها حدود ۲۰ دقیقه طول می‌کشد در فواصل ۲۰ دقیقه‌ای باکتری‌ها را از محیط کشت جدا و بررسی کردند. برای سنجش چگالی دِناهای در هر فاصلهٔ زمانی، دِنای باکتری‌ها را استخراج و در شیبی از محلول سزیم کلرید با غلظت‌های متفاوت و در سرعتی بسیار بالا گریز دادند؛ در نتیجه مواد بر اساس چگالی در بخش‌های متفاوتی از محلول در لوله قرار گرفتند. مراحل آزمایش مزلسون و استال و نتایج آن را در شکل ۱۰ می‌بینید.

همان‌طور که مشاهده می‌کنید نتایج این آزمایش نشان داد که همانندسازی دِنای نیمه حفاظتی است.

مراحل آزمایش مزلسون و استال

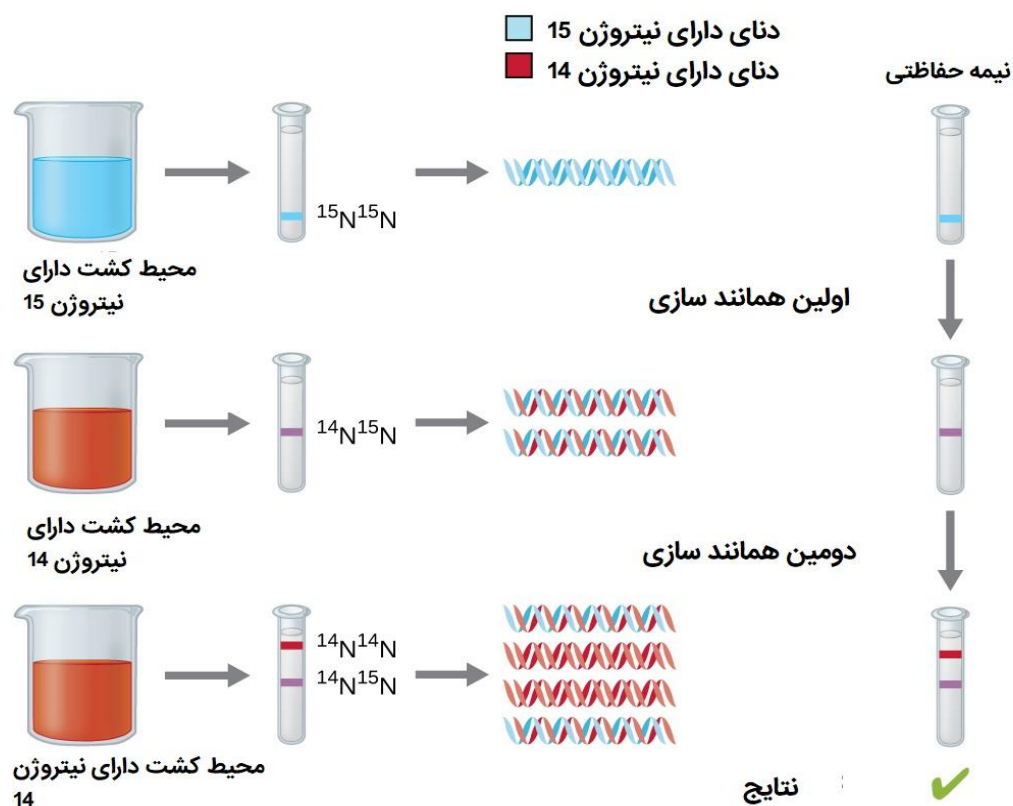
1. مرحله ی اول:

آن‌ها باکتری‌هایی که به طور طبیعی در ساختارشان ان 14 دارند را در محیط کشتی که دارای ان 15 بود، وارد کردند. باکتری‌ها برای همانند سازی به نوکلئوتید نیاز دارند. پس باکتری‌ها از نیترोजن 15 استفاده کردند و بازهای آلی مورد نیازشان را ساختند و سپس باکتری‌ها با استفاده





از این باز هایی که نیتروژن 15 دارند، نوکلئوتید های جدید می سازند و سپس از این نوکلئوتید های حاوی نیتروژن 15 برای همانند سازی استفاده می کنند.



نکته: چون سرعت تقسیم باکتری زیاد است. باکتری را در محیط کشت نیتروژن 15 قرار دادند.

باکتری وقتی می خواهد تقسیم شود در مرحله ی همانند سازی دنا ی حلقوی باکتری برای

ساخت باز آلی از این نیتروژن 15 استفاده می کند.

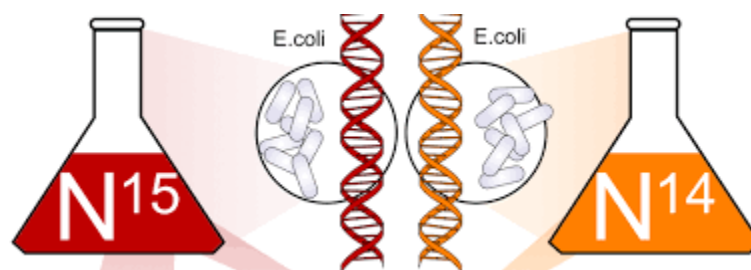


پس از چندین مرحله رشد و تکثیر در این محیط، باکتری هایی تولید شدند که همگی دنا ی سنگین تری نسبت به باکتری اولیه داشتند (چون در دنا ی باکتری ها به جای نیتروژن 14، نیتروژن 15 بود و این نیتروژن سنگین تر از نیتروژن 14 هست).

نکته: مزلسون و استال در ادامه تعدادی از باکتری ها را از محیط کشت جدا کردند و دنایشان را که حاوی نیتروژن 15 بود استخراج کردند و در شیبی از محلول سزیم کلرید با غلظت های مختلف قرار دادند و در سرعتی بسیار بالا گریزانه دادند. چون هر دو رشته ی دنا نوکلئوتید های دارای نیتروژن 15 داشتند، چگالی سنگینی داشته و پس از سانتریفیوژ در انتهای لوله، یک نوار تشکیل شد که حاوی دنا های نیتروژن 15 دار بود. این آزمایش تایید کرد که همگی دناها دارای نیتروژن 15 هستند.

نکته: در آزمایش از شیبی از محلول سزیم کلرید با غلظت های متفاوت استفاده می کنیم؛ به طوری از ته لوله به سمت سر لوله محلول رقیق تر می شود. بنابراین مولکول دنا با توجه به چگالی اش در یک قسمت محلول که با آن هم چگال است به دام می افتد. با توجه به اینکه می دانیم چگالی هر قسمت از محلول چقدره می توانیم با توجه به آن چگالی دنا ی قرار گرفته در آن را حدس بزنیم.





نکته: در هنگام سانتریفیوژ چگالی های هم چگال میان کنار هم قرار می گیرند.

نکته: وقتی مولکول های دنا بعد از گریزانه در قسمت پایین لوله قرار بگیرند؛ یعنی همگی دارای

نیتروژن 15 هستند. وقتی در بالای لوله قرار بگیرند یعنی همگی دارای نیتروژن 14 هستند. اما

اگر در قسمت وسط قرار بگیرند؛ یعنی در مولکول های دنا هم زمان، هم نیتروژن 14 و هم

نیتروژن 15 قرار دارند.

مرحله ی دوم:

مزلسون و استال باکتری های با دنا ی سنگین را که در مرحله ی قبل تولید کرده بودند حالا به

محیط کشت دارای نیتروژن 14 منتقل کردند. با توجه به اینکه تقسیم باکتری ها حدود 20

دقیقه طول می کشد. آن ها برای اینکه فقط یک دور به باکتری ها اجازه ی همانند سازی بدهند،

20 دقیقه بعد باکتری ها را از محیط کشت جدا کرده و برای سنجش چگالی دنا ی باکتری ها،

دنا ی آن ها را استخراج کردند و دنا ی استخراج شده را در محلول سزیم کلرید با غلظت های

متفاوت قرار دادند و در گریزانه با سرعت بسیار بالا گریز دادند. آن ها مشاهده کردند دنا ی باکتری

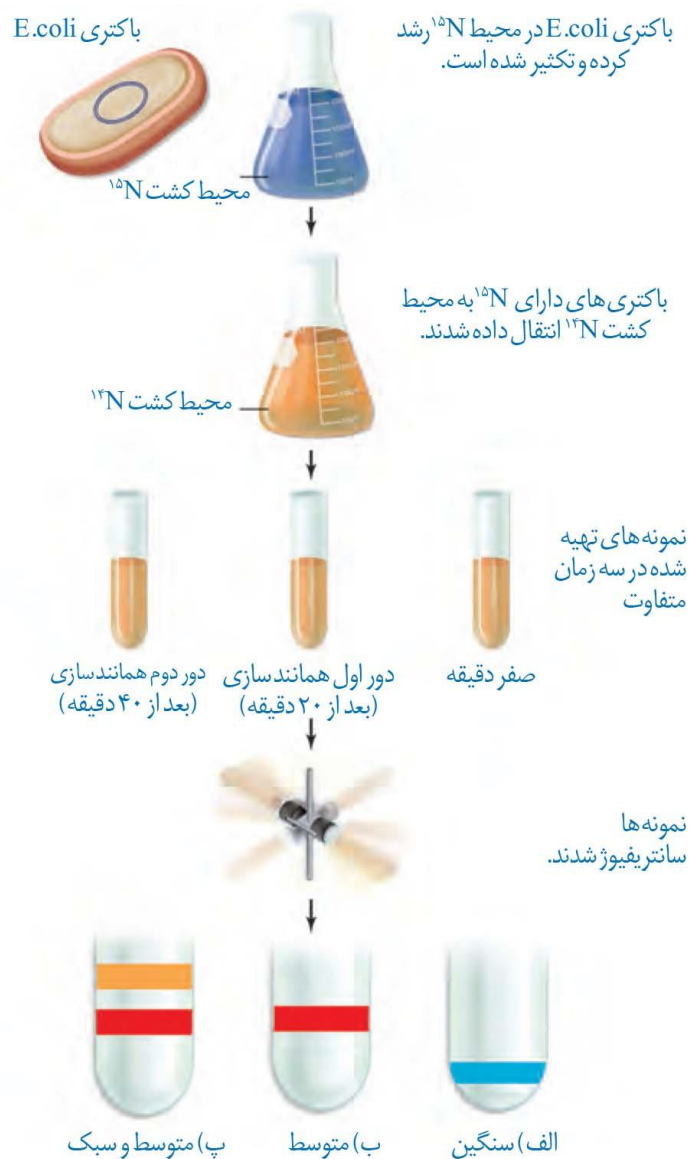
های حاصل از دور اول همانند سازی (بعد از 20 دقیقه) در محیط نیتروژن 14 پس از سانتریفیوژ



یک نوار تشکیل می دهد. آن هم در وسط لوله این یعنی اینکه دناهای باکتری های دور اول همانند سازی در محیط نیتروژن 14 چگالی متوسطی دارند، یعنی در هر مولکول دنا هم نیتروژن 14 و هم نیتروژن 15 وجود دارد.

وقتی باکتری هایی که هر دو رشته ی دنا ی آن ها فقط دارای نیتروژن 15 هستند در محیط کشت دارای نیتروژن 14 قرار بگیرند، تقسیم می شوند و طی همانند سازی دنا ی آن ها، دو رشته ی دنا از هم جدا می شوند و مقابل هر رشته ی مادری که نیتروژن 15 دارد یک رشته ی مکمل و جدید با نوکلئوتید های نیتروژن 14 تشکیل می شود. (چون در محیط کشت نیتروژن 14 وجود دارد) بنابراین دناهای دختری یک رشته ی قدیمی نیتروژن 15 دار و یک رشته ی جدید یعنی نیتروژن 14 دار دارند.





مرحله ی سوم:

در این مرحله مزلسون و استال اجازه دادند که باکتری های دور اول همانند سازی، باز هم به رشد و تکثیر خود در محیط کشت دارای نیتروژن 14 ادامه دهند و باکتری های دور دوم همانند سازی



در محیط نیتروژن 14 را ایجاد کنند. آن ها پس از گذشت 20 دقیقه ی دیگر (حدود 40 دقیقه از ابتدای قرار گیری باکتری ها در محیط کشت حاوی نیتروژن 14) تعدادی از باکتری های دور دوم همانند سازی را از محیط کشت جدا کردند و دنایشان را استخراج کردند و دوباره آن را در شیبی از محلول سزیم کلرید با غلظت های متفاوت قرار دادند و سپس محلول را با سرعت بسیار بالا سانتریفیوژ کردند.

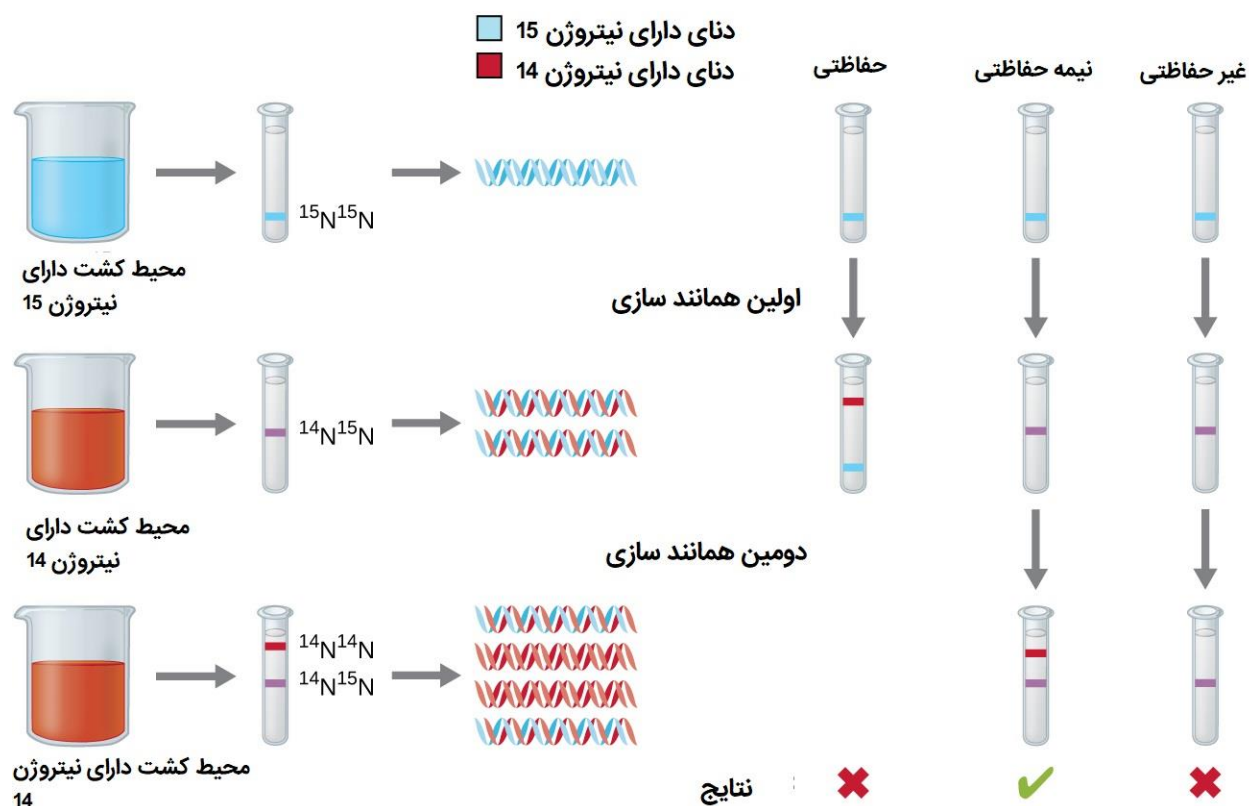
پس از سانتریفیوژ دیدند که این بار دو تا نوار تشکیل شده است. یک نوار در میانه ی لوله (حاوی نیتروژن 14 و 15) یک نوار در بالای لوله (حاوی نیتروژن 14). از آن جایی که این دو نوار ضخامت یکسانی داشتند، پس یعنی تعداد دناهایی که در این دو نوار جمع شده اند با هم برابرند. بنابراین آن ها نتیجه گرفتند که نیمی از دناهای باکتری های نسل دوم، چگالی سبک (یعنی دارای نیتروژن 14 هستند) و نیمی دیگر چگالی متوسط دارند.

نکته: هر باکتری حاصل از دور اول همانند سازی در محیط کشت 14 یک دنا ی حلقوی دارد که یک رشته ی آن نیتروژن 15 دار و رشته ی دیگر نیتروژن 14 دار است. بنابراین با همانند سازی دنا ی آن ها، این دو رشته از هم جدا می شوند. سپس از روی رشته ی نیتروژن 15 دار یک رشته ی جدید و مکمل نیتروژن 14 دار (چون محیط کشت فقط دارای نیتروژن 14 است) و از روی رشته ی دیگر که نیتروژن 14 دار است رشته ی جدید و مکمل نیتروژن 14 تشکیل می شود؛ بنابراین پس از دور دوم همانند سازی دو نوع مولکول دنا از نظر چگالی ایجاد می شود که یکی دارای دو رشته ی نیتروژن 14 دار (هر دو رشته جدید اند) است و چگالی سبک دارد و دیگری





حاوی یک رشته ی نیتروژن 15 دار و یک رشته ی نیتروژن 14 دار است (یک رشته جدید و یک رشته قدیمی است) و چگالی متوسطی دارد.



نکته: مزلسون و استال با انجام این آزمایش ها فهمیدند که دنا به روش نیمه حفاظتی همانند سازی می کند.

نکته: اگر همانند سازی دنا به روش حفاظتی باشد، در این حالت در دور اول همانند سازی در محیط کشت دارای نیتروژن 14 از هر باکتری دو باکتری ایجاد می شود که یکی از آن ها هر دو رشته اش قدیمی است و نیتروژن 15 دارد و باکتری دیگر هر دو رشته ی 14 را دارد و دارای



نیتروژن 14 است. در نتیجه پس از سانتریفیوژ یک نوار در انتهای لوله و یک نوار در بالای لوله تشکیل می شود. اما در آزمایش مزلسون و استال پس از سانتریفیوژ در انتهای دور اول همانند سازی تنها یک نوار در میانه ی لوله تشکیل شد. در نتیجه طرح حفاظتی رد شد.

طرح نیمه حفاظتی و غیر حفاظتی هر دو پس از سانتریفیوژ دور اول یک نوار تشکیل می دهند چون بر اساس طرح نیمه حفاظتی پس از دور اول همانند سازی دناهایی خواهیم داشت که یک رشته ی حاوی نیتروژن 14 و یک رشته ی حاوی نیتروژن 15 دارند و پس از سانتریفیوژ فقط یک نوار در میانه ی لوله تشکیل می دهند. بر اساس طرح غیر حفاظتی نیز پس از دور اول همانند سازی دناهایی خواهیم داشت که در هر رشته شان قطعاتی از رشته های جدید و قدیمی دارند و در ضمن الگوی قرار گیری این قطعات پراکنده یکسان است. خب در این حالت هم پس از دور اول همانند سازی یک نوار در میانه ی لوله تشکیل می شود. به همین دلیل مزلسون و استال سراغ مرحله ی بعدی آزمایش رفتند و مشاهده کردند که وقتی دنا ی باکتری های حاصل از دور دوم همانند سازی را گریز می دهند دو نوار تشکیل می شود یکی در بالای لوله و دیگری در وسط لوله، این امر تایید کننده ی طرح نیمه حفاظتی بود. چون اگر الگوی همانند سازی غیر حفاظتی بود، دوباره پس از سانتریفیوژ فقط یک نوار تشکیل می شد. چرا که بر اساس طرح غیر حفاظتی، هر چند مرحله ی همانند سازی هم که انجام شود باز دناهایی ایجاد می شود که در هر رشته شان دارای قطعاتی از رشته های قدیمی و جدید هستند و الگوی قرار گیری این قطعات رشته های





جدید و قدیمی در تمام مولکول های دناى آن دور همانند سازی، ثابت است. و در نتیجه تمام این مولکول های دنا چگالی یکسانی دارند.

در آزمایش مزلسون و استال حاصل سانتیفریوژ دناى استخراج شده...

1. اگر همانند سازی به صورت حفاظتی بود، چون یکسری مولکول دنا همگی دارای نیتروژن سنگین و یکسری همگی دارای نیتروژن سبک اند از دقیقه ی 20 به بعد همواره دو نوار در لوله ی آزمایش مشاهده می شود. یکی در بالای لوله و دیگری در پایین لوله و ضخامت نوار بالایی در هر نسل همانند سازی افزایش می یابد.

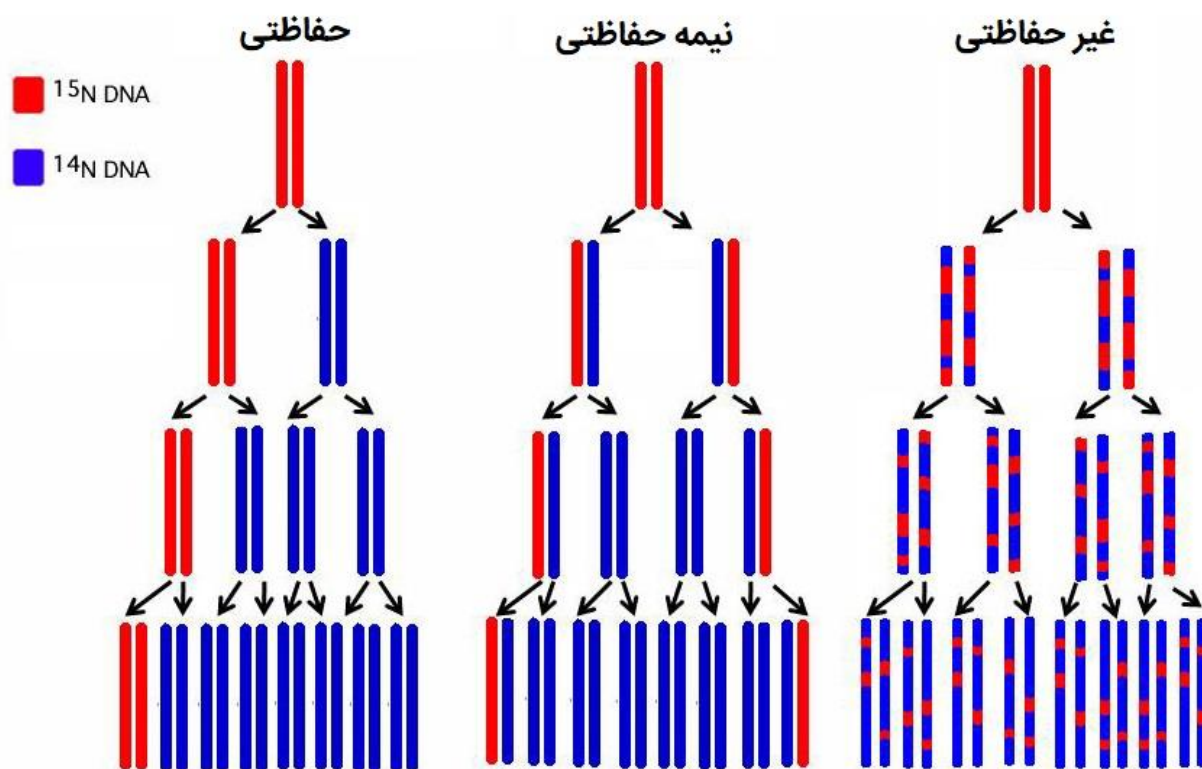
2. اگر همانند سازی به صورت نیمه حفاظتی باشد از دقیقه ی 40 به بعد چون یکسری مولکول های دنا دارای رشته های قدیمی (نیتروژن سنگین) به همراه رشته های جدید (نیتروژن سبک) و سری های جدید تر دنا همگی دارای نیتروژن سبک اند. همواره دو نوار در لوله ی آزمایش مشاهده می شود. یکی در بالای لوله و دیگری در وسط لوله. ضخامت نوار بالایی در هر نسل همانند سازی افزایش می یابد.

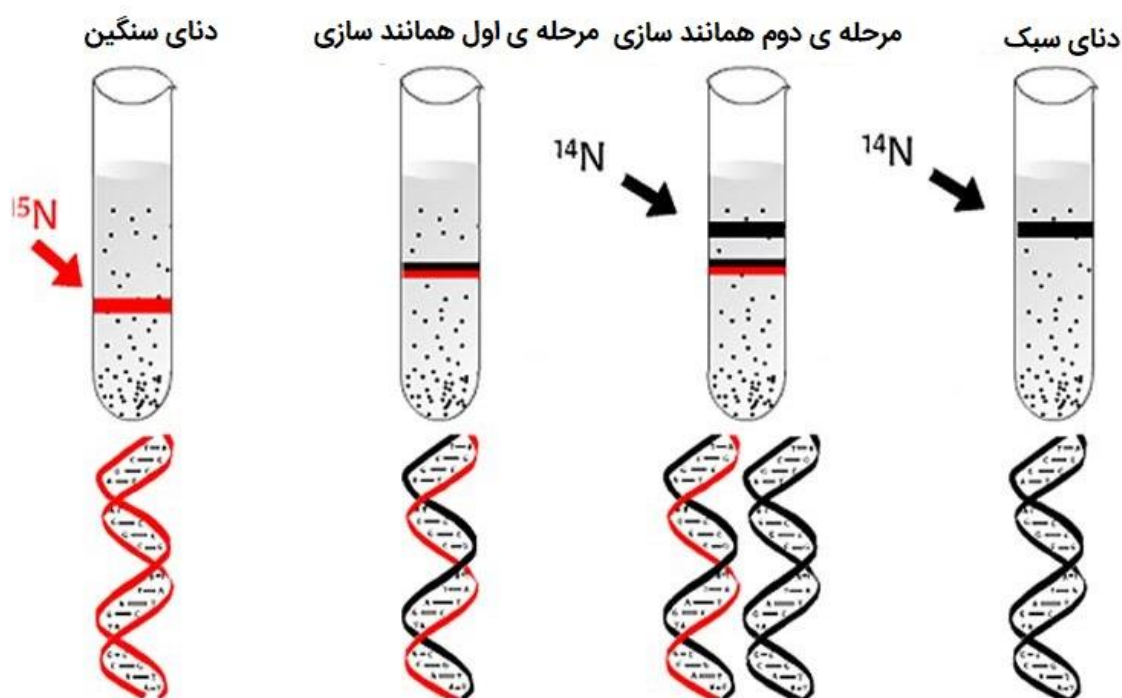
3. اگر همانند سازی به صورت غیر حفاظتی بود از دقیقه ی 20 به بعد همواره یک نوار در وسط لوله تشکیل خواهد شد. چون همواره هر دناى ایجاد شده دارای هر دو نوع نیتروژن است.





دقت کنید در گریزانه با سرعت بسیار بالا رشته های هر مولکول دنا از هم تفکیک نشده اند بلکه مولکول های دنا بر اساس چگالی تفکیک شده اند.





با مشخص شدن اینکه همانندسازی به صورت نیمه حفاظتی انجام می شود، سؤال دیگری مطرح شد: دو رشته دنا چگونه از یکدیگر باز می شوند؟ آیا هر دو رشته کاملاً از یکدیگر جدا می شوند و سپس همانندسازی انجام می شود یا جدا شدن دو رشته تدریجی و همراه با آن همانندسازی انجام می شود؟ تحقیقات نشان داده است در محلی که قرار است همانندسازی انجام شود دو رشته از هم باز می شوند. بقیه قسمت ها بسته هستند و به تدریج باز می شوند.

با مشخص شدن اینکه همانندسازی به صورت نیمه حفاظتی انجام می شود، سؤال دیگری مطرح شد. اینکه دو رشته دنا چگونه از یکدیگر باز می شوند؟ آیا هر دو رشته کاملاً از یکدیگر جدا می شوند و سپس همانندسازی انجام می شود یا جدا شدن دو رشته به صورت تدریجی و همراه با آن



همانندسازی انجام می شود؟ تحقیقات نشان داده است در محلی که قرار است همانندسازی انجام شود دو رشته از هم بازمی شوند. بقیه قسمت ها بسته هستند و به تدریج باز می شوند.

عوامل و مراحل همانندسازی

در همانندسازی عوامل متعددی مؤثرند که مهم ترین آنها به شرح زیر است:

– مولکول دنا به عنوان الگو

– واحدهای سازنده دنا که بتوانند در کنار هم نسخه مکمل الگو را بسازند. این واحدها نوکلئوتیدهای آزاد داخل یاخته و سه فسفات هستند که در لحظه اتصال به رشته پلی نوکلئوتید در حال ساخت، دو فسفات خود را از دست می دهند.

– آنزیم های لازم برای همانندسازی که ضمن بازکردن دو رشته نوکلئوتیدها را به صورت مکمل روبه روی هم قرار می دهد و با پیوند فسفودی استر به هم وصل می کند.

در همانندسازی عوامل متعددی مؤثرند که مهم ترین آنها به شرح زیر است:

1. مولکول دنا به عنوان الگو

2. نوکلئوتید های آزاد داخل یاخته: به عنوان واحد های سازنده ی دنا که کنار هم قرار می

گیرند، رشته ی مکمل الگو را می سازند. این نوکلئوتید های آزاد داخل یاخته دارای قند دئوکسی ریبوز و سه فسفات هستند که در لحظه ی اتصال به رشته ی پلی نوکلئوتیدی در حال ساخت دو فسفات خود را با شکسته شدن پیوند اشتراکی بین فسفات اول و دوم توسط دناپسپاراز از دست می دهند.





3. آنزیم ها: آنزیم های مختلفی در فرایند همانند سازی دنا نقش دارند که مهم ترین آن ها،

آنزیم هلیکاز و دنا بسپاراز (DNA پلی مراز) است. این آنزیم ها ضمن باز کردن دو رشته، نوکلئوتید ها را به صورت مکمل رو به روی هم قرار می دهند و با پیوند فسفو دی استر به هم وصل می کنند.

مراحل همانند سازی: قبل از همانند سازی دنا باید پیچ و تاب فامینه، باز و پروتئین های همراه آن یعنی هیستون ها از آن جدا شوند تا همانند سازی بتواند انجام شود. این کارها با کمک آنزیم هایی انجام می شود. سپس آنزیم **هلیکاز** مارپیچ دنا و دو رشته آن را از هم باز می کند (شکل ۱۱).



به نظر شما برای باز شدن دو رشته دنا آنزیم هلیکاز چه پیوندهایی را از هم باز می کند؟ انواع دیگری از آنزیم ها با همدیگر فعالیت می کنند تا یک رشته دنا در مقابل رشته الگو ساخته شود. یکی از مهم ترین آنها که نوکلئوتیدهای مکمل را با نوکلئوتیدهای رشته الگو جفت می کند **دنا بسپاراز** (DNA پلی مراز) است. با توجه به اینکه در محل همانند سازی، همانند سازی در دو جهت انجام می شود؛ به آن **همانند سازی دو جهتی** نیز می گویند.

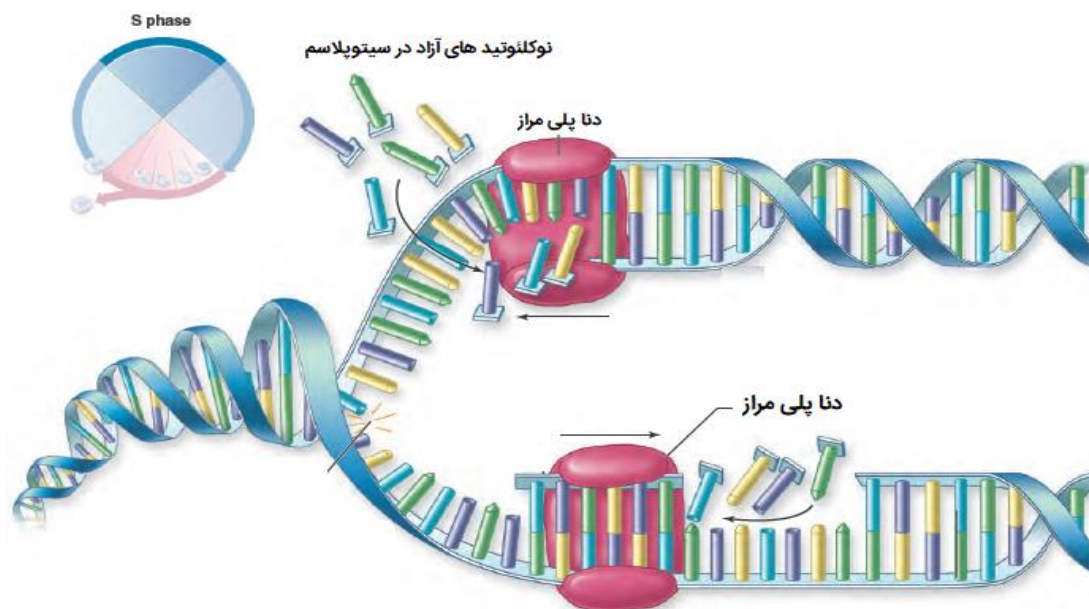


مراحل همانند سازی

در زیست یازدهم خواندیم که در ساختار فام تن ها علاوه بر مولکول دنا، پروتئین هایی نیز وجود دارند که در فشرده سازی دنا نقش دارند. در یاخته های یوکاریوتی مهم ترین پروتئین هایی که به دنا وصل می شوند **هیستون ها** هستند. هر کروماتین واحد های تکراری به نام هسته تن (یا نوکلئوزوم) دارد. در هر هسته تن مولکول دنا حدود دو دور به دور 8 مولکول پروتئینی به نام هیستون می پیچد. برای اینکه همانند سازی انجام شود باید این پروتئین ها از دنا جدا شوند. قبل از شروع همانند سازی آنزیم هایی پیچ و تاب فامینه را باز و پروتئین های همراه آن یعنی هیستون ها را از آن جدا می کنند تا همانند سازی انجام شود. سپس آنزیم هلیکاز مارپیچ دنا و دو رشته ی آن را از هم باز می کند. در هر مولکول دنا بخش هایی به نام جایگاه آغاز همانند سازی وجود دارد که آنزیم هلیکاز آن را شناسایی و از این محل به دنا متصل می شود. هلیکاز ابتدا مارپیچ دنا را باز و بعد در قسمتی از دنا با شکستن پیوند های هیدروژنی بین باز های مکمل، دو رشته ی آن را از هم جدا می کند

حواستون باشه هلیکاز دو رشته ی دنا را کاملاً از هم جدا نمی کند بلکه فقط در منطقه یا مناطق خاصی دو رشته ی دنا ی مادری را از هم فاصله می دهد و بقیه ی قسمت ها بسته می مانند، سپس به صورت تدریجی باز کردن دو رشته را ادامه می دهد و همانطور که رشته ها در محل های مخصوص باز می شوند همانند سازی هم انجام می شود تا اینکه در نهایت دو مولکول دنا خواهیم داشت.





در محلی که دو رشته ی دنا از هم باز می شوند همانند سازی هم از چپ انجام می شود و هم از راست هر کدام از این دو جهت که حالتی شبیه به حرف Y دارند یک دو راهی همانند سازی هستند

در این زمان انواع دیگری از آنزیم ها با هم فعالیت می کنند تا یک رشته ی دنا در مقابل رشته ی الگو ساخته شود یکی از مهم ترین آن ها دنا بسپاراز (DNA پلی مرز) است. این آنزیم نوکلئوتید های مکمل را در مقابل نوکلئوتید های رشته ی الگو قرار می دهد و بین نوکلئوتید های جدید پیوند فسفو دی استر برقرار می کند.

نکته: فعالیت هلیکاز فقط در آغاز همانند سازی نیست. با توجه به اینکه باز شدن دو رشته ی دنا تدریجی صورت می گیرد، پس هلیکاز ها تقریباً تا پایان همانند سازی فعال اند.



مراحل اضافه شدن یک نوکلئوتید جدید به رشته ی در حال ساخت:

الف. قرار دادن نوکلئوتید مناسب مقابل نوکلئوتید رشته ی الگو: دنباسپاراز در طول رشته

ی الگو حرکت می کند و نوکلئوتید هایی با باز مکمل را در مقابل نوکلئوتید های رشته ی الگو

قرار می دهد. یعنی در مقابل تیمین، آدنین و در مقابل سیتوزین، گوانین را قرار می دهد.

ب. ایجاد پیوند هیدروژنی به صورت خود به خودی بین دو باز آلی مکمل مربوط به نوکلئوتید

رشته ی الگو و نوکلئوتید جدید.

ج. شکسته شدن پیوند اشتراکی بین فسفات های نوکلئوتید سه فسفات و جدا شدن دو

فسفات از آن

د. تشکیل پیوند فسفودی استر بین فسفات نوکلئوتید جدید و قند نوکلئوتید قبلی موجود در

رشته ی در حال ساخت

دوراهی همانندسازی: در شکل ۱۱ می بینید در محلی که دو رشته دنا از هم جدا می شوند، دو ساختار Y مانند به وجود می آید که به هریک از آنها دوراهی همانندسازی می گویند. در فاصله بین این دو ساختار، پیوندهای هیدروژنی بین دو رشته از هم گسیخته و دو رشته از یکدیگر باز شده اند. همچنین پیوندهای فسفودی استر جدیدی در حال تشکیل هستند. دنباسپاراز نوکلئوتیدها را به انتهای رشته در حال تشکیل اضافه می کند. اضافه شدن یک نوکلئوتید به نوع بازی بستگی دارد که در نوکلئوتید رشته الگو قرار دارد. هر نوکلئوتید باید با نوکلئوتید روی رشته الگو مکمل باشد. هنگام اضافه شدن هر نوکلئوتید سه فسفات به انتهای رشته پلی نوکلئوتید دو تا از فسفات های آن از مولکول جدا می شوند و نوکلئوتید به صورت تک فسفات به رشته متصل می شود (شکل ۱۲).



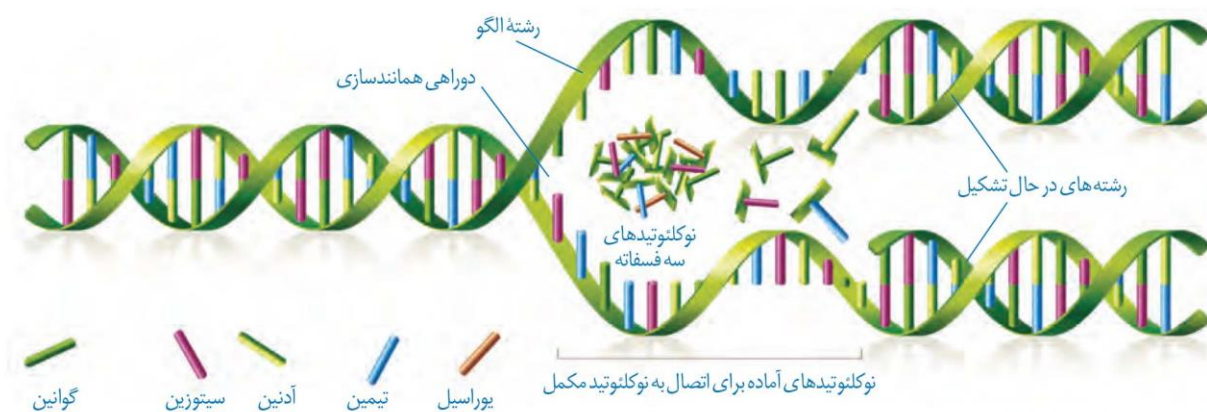


دو راهی همانند سازی:

همانطور که گفتیم در محلی که دو رشته ی دنا از هم جدا می شوند، دو ساختار Y مانند به وجود می آید که به هریک از آنها دوراهی همانندسازی می گویند. در فاصله ی بین این دو ساختار، پیوندهای هیدروژنی بین دو رشته از هم گسیخته و دو رشته از یکدیگر باز شده اند. همچنین پیوندهای فسفودی استر جدیدی در حال تشکیل هستند.



نکات شکل:





1. هم زمان با ساخته شدن رشته ی جدید، مولکول دنا به تدریج پیچ می خورد و در پایان همانند سازی دو مولکول دنا ی پیچ خورده ایجاد می شود.

2. در محل دوراهی همانند سازی، نوکلئوتید هایی با قند ریبوز و باز آلی یوراسیل دار هم وجود دارد. ولی در همانند سازی استفاده نمی شود.

3. نوکلئوتید های جدید به انتهای رشته ی در حال ساخت اضافه می شوند نه ابتدای آن.

4. در هر دوراهی همانند سازی، هر آنزیم دنا بسپاراز فقط یکی از رشته های دنا ی مادری را در بر می گیرد و از روی آن الگو برداری می کند.

سوال: همانند سازی دنا در هسته انجام می شود. نوکلئوتید های آزاد در سیتوپلاسم قرار دارند، چجوری نوکلئوتید های آزاد وارد هسته میشن؟ از طریق منافذ هسته

نکته: نوکلئوتید های آزاد سه فسفات در سیتوپلاسم و در هسته (قبل از اتصال) دیده می شود.

نکته: برای شکستن پیوند های بین دو فسفات هیدرولیز انجام می شود که انرژی زا است.

نکته: تشکیل پیوند فسفو دی استر انرژی خواه هست واین انرژی از انرژی شکستن پیوند بین فسفات ها استفاده می شود.

نکته: هلیکاز و دناپلیمراز از جنس پروتئین است. و در مرحله ی G1 ساخته می شود.





نکته: باز شدن پیچ و تاب دنا جزء همانند سازی نیست. قبل از همانند سازی پیچ و تاب باز می شود.

نکته: به ازای هر نقطه ی آغاز همانند سازی دو آنزیم هلیکاز و چهار آنزیم دنا پلیمراز فعالیت می کنند و دو دو راهی همانند سازی دیده می شود. و همانند سازی دو جهته است.

نکته: فعالیت آنزیم هلیکاز مقدم است بر آنزیم دنا پلی مراز

نکته: دنا پلیمراز توانایی شکستن (نوکلئازی؛ هیدرولیز) و تشکیل پیوند فسفو دی استر (فعالیت پلی مرازی؛ سنتز آبدهی) را دارد.

سوال: آیا ممکنه اشتباهات اصلاح نشود و به نسل بعد منتقل شود؟ بله. به این اشتباهات تصحیح نشده جهش می گویند.

فعالیت های آنزیم دنا بسپاراز

همانند سازی دنا با دقت زیادی انجام می شود؛ این دقت تا حدود زیادی مربوط به رابطه مکملی بین نوکلئوتیدها است. اگرچه آنزیم دنا بسپاراز، نوکلئوتیدها را براساس رابطه مکملی مقابل هم قرار می دهد ولی گاهی در این مورد اشتباهی هم صورت می گیرد؛ بنابراین آنزیم دنا بسپاراز پس از برقراری هر پیوند فسفودی استر، برمی گردد و رابطه مکملی نوکلئوتید را بررسی می کند که رابطه آن درست است یا اشتباه؟ اگر اشتباه باشد آن را برداشته و نوکلئوتید درست را به جای آن قرار می دهد. برای حذف نوکلئوتید نادرست باید بتواند پیوند فسفودی استر را بشکند و نوکلئوتید نادرست را از دنا جدا کند. توانایی بریدن دنا را فعالیت **نوکلئازی** گویند که در آن پیوند فسفودی استر می شکند. بنابراین آنزیم دنا بسپاراز، هم فعالیت **بسپارازی** (پلیمرازی) دارد که در آن پیوند فسفودی استر را تشکیل می دهد و هم فعالیت نوکلئازی که در آن پیوند فسفودی استر را برای رفع اشتباه می شکند. فعالیت نوکلئازی دنا بسپاراز را که باعث رفع اشتباه ها در همانند سازی می شود، **ویرایش** می گویند.





فعالیت های آنزیم دنا بسپاراز

آنزیم دنابسپاراز که مهم ترین آنزیم بین آنزیم های موثر در ساخت یک رشته ی دنا در مقابل رشته ی الگو است، دارای دو نوع فعالیت بسپارازی و نوکلئازی است.

فعالیت بسپارازی

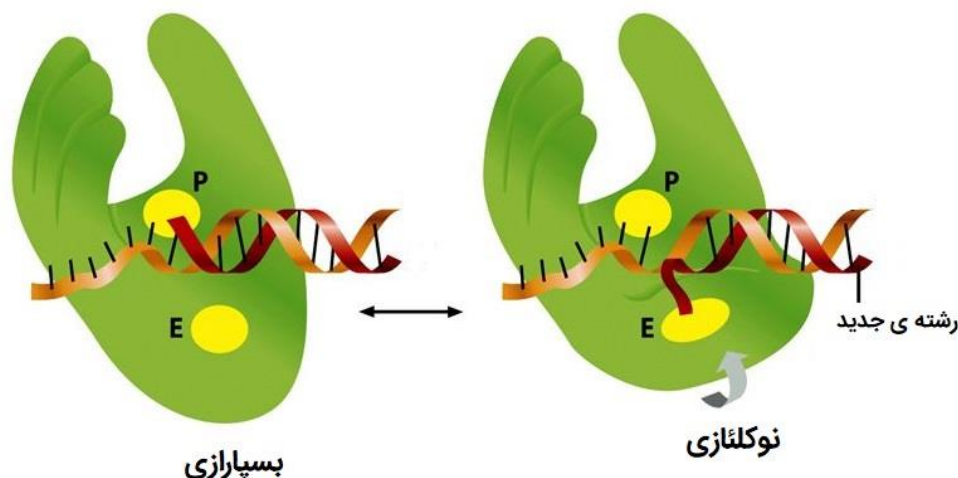
دنا بسپاراز در طول رشته ی مادری حرکت می کند و نوکلئوتید های آن را یکی یکی نگاه می کند و نوکلئوتید هایی با باز مکمل را در مقابل آن ها قرار می دهد، یعنی در مقابل تیمین، آدنین و در مقابل سیتوزین گوانین را قرار می دهد. همین طور که دنابسپاراز در طول رشته ی مادری جلو می رود و مقابل نوکلئوتید های آن، نوکلئوتید های جدید و مکمل قرار می دهد، بین نوکلئوتید های جدید مجاور هم پیوند فسفو دی استر تشکیل می دهد. به این کار دنا بسپاراز فعالیت پلی مرازی (بسپارازی) گفته می شود. پس در فعالیت بسپارازی بین نوکلئوتید ها پیوند فسفو دی استر ایجاد می شود.

زمانی که نوکلئوتیدی در برابر نوکلئوتید مکملش قرار می گیرد. بین باز های آلی آن ها پیوند هیدروژنی تشکیل می شود. پس می توان گفت دنا بسپاراز به طور غیر مستقیم در تشکیل پیوند های هیدروژنی بین باز های مکمل رشته ی مادری و رشته ی جدید نقش دارد و شرایط را برای تشکیل این پیوند ها فراهم می کند.





مثلا اگر در رشته ی مادری توالی T و G باشد دنباسپاراز در مقابل تیمین آدنین و در مقابل گوانین سیتوزین قرار می دهد و سپس بین نوکلئوتید آدنین و سیتوزین پیوند فسفو دی استر برقرار می کند.

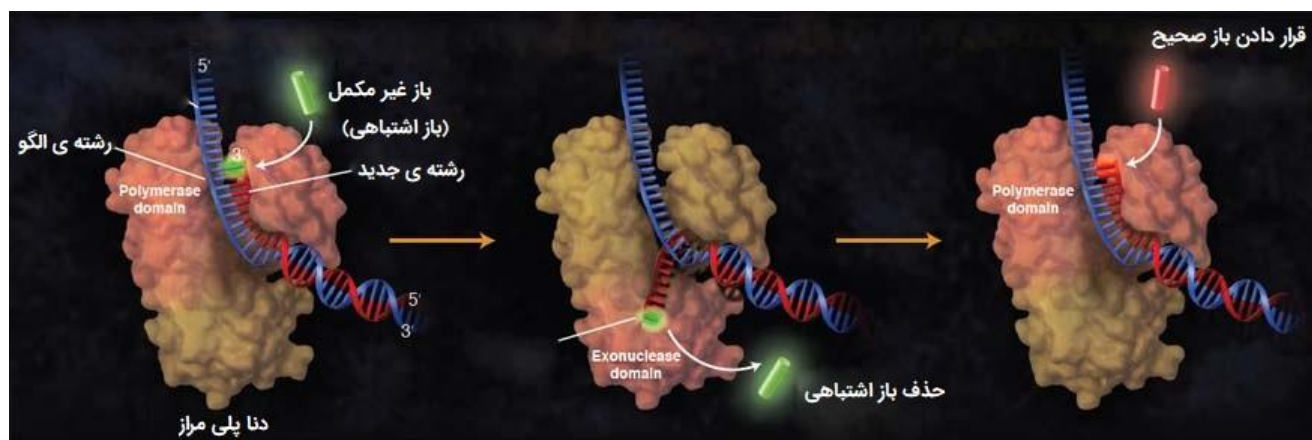


فعالیت نوکلئازی

به دلیل رابطه ی مکملی بین باز های آلی نیتروژن دار، دنباسپاراز مکمل هر باز را در رو به رویش قرار می دهد. به خاطر همین همانند سازی دنا با دقت زیادی انجام می شود اما ممکنه دنا بسپاراز اشتباه کنه و نوکلئوتید غیر مکملی را در برابر نوکلئوتید های رشته ی مادری قرار بده. مثلا در مقابل باز سیتوزین به جای گوانین، تیمین قرار بده! دنا بسپاراز برای جلوگیری از اینگونه اشتباهات، هر بار بعد از اینکه نوکلئوتید جدیدی را مقابل نوکلئوتید های رشته ی مادری قرار داد و آن را با پیوند فسفو دی استر به نوکلئوتید مجاور متصل کرد بر می گردد و رابطه ی مکملی



نوکلئوتید رو بررسی می کند. اگر رابطه ی مکملی صحیح باشد که هیچ اما اگه اشتباه باشد نوکلئوتید نادرست را بر می دارد و به جای آن نوکلئوتید صحیح رو می گذارد. برای این کار پیوند فسفو دی استر بین نوکلئوتید نادرست و نوکلئوتید مجاورش را میشکند و نوکلئوتید نادرست را بر میدارد. به توانایی بریدن دنا فعالیت نوکلئازی می گویند که در آن پیوند فسفو دی استر شکسته می شود. دنا بسپاراز به جای نوکلئوتید نادرست، نوکلئوتید صحیح را قرار می دهد. و بین آن و نوکلئوتید مجاور پیوند فسفو دی استر برقرار می کند. به این فرایندی که در ون با فعالیت نوکلئازی دنا بسپاراز اشتباهات همانند سازی رفع می شود، **ویرایش** می گویند.



در هر دو راهی همانند سازی چه چیز هایی دیده می شود؟

یک عدد آنزیم هلیکاز، دو تا آنزیم دنا بسپاراز، انواعی از آنزیم ها، شکسته شدن پیوند های هیدروژنی بین دو رشته ی دنا ی مادری توسط هلیکاز، فعالیت بسپارازی دنا بسپاراز، فعالیت نوکلئازی دنا بسپاراز (در صورتی که به ویرایش نیاز باشه فعالیت نوکلئازی دنا بسپاراز دیده میشه)



نکته: برگشت دنا بسپاراز در خلاف جهت همانند سازی ارتباطی به صحیح یا غلط بودن نوکلئوتید قرار گرفته در رشته ی در حال ساخت ندارد.

نکته: دنا بسپاراز همواره پس از ایجاد هر پیوند فسفو دی استر در رشته ی در حال ساخت یک بار بر می گردد و صحت رابطه ی مکملی نوکلئوتید قرار گرفته در رشته را باز بینی می کند. ویرایش فقط فعالیت نوکلئازی دنبسپاراز است. نه هر فعالیت این آنزیم.

نکته: تنوع پیوند های اشتراکی که توسط دنبسپاراز تشکیل می شود (فسفو دی استر) کمتر از تنوع پیوند های اشتراکی است که توسط این آنزیم شکسته می شود (پیوند اشتراکی بین فسفات های نوکلئوتید سه فسفات در زمان اضافه کردن نوکلئوتید به رشته ی در حال ساخت، پیوند فسفو دی استر).

نکته: شکستن پیوند هیدروژنی در دنا نیازمند وجود آنزیم (هلیکاز) است اما برای تشکیل این پیوند عملکرد آنزیم ضرورتی ندارد این پیوند به صورت خود به خود و بر اساس رابطه ی مکملی شکل می گیرد.

نکته: دنا پلیمراز توانایی شکستن (نوکلئازی؛ هیدرولیز) و تشکیل پیوند فسفو دی استر (فعالیت پلی مرازی؛ سنتز آبدهی) را دارد.

سوال: آیا ممکنه اشتباهات اصلاح نشود و به نسل بعد منتقل شود؟ بله. به این اشتباهات تصحیح نشده جهش می گویند.





همانند سازی در پروکاریوت ها و یوکاریوت ها

در پروکاریوت ها که شامل همهٔ باکتری ها می شوند، مولکول های وراثتی در غشا محصور نشده و فام تن اصلی دارای یک مولکول دِنای حلقوی است که در سیتوپلاسم قرار دارد و به غشای یاخته متصل است. پروکاریوت ها علاوه بر دِنای اصلی ممکن است مولکول هایی از دِنایی دیگر به نام **دیسک (پلازمید)** داشته باشند. اطلاعات این مولکول ها می تواند ویژگی های دیگری را به باکتری بدهد مانند افزایش مقاومت باکتری در برابر **پادزیست (آنتی بیوتیک)** ها.

اغلب پروکاریوت ها فقط یک جایگاه آغاز همانندسازی در دِنای خود دارند. در این جایگاه دو رشته دِنای هم باز می شوند. همانند یوکاریوت ها، همانندسازی دو جهتی در باکتری ها نیز وجود دارد؛ یعنی از یک نقطه همانندسازی شروع و در دو جهت ادامه می یابد تا به همدیگر رسیده و همانندسازی پایان یابد (شکل ۱۳).

همانند سازی در پروکاریوت ها و یوکاریوت ها

در پروکاریوت ها که شامل همه ی باکتری ها می شوند، مولکول های وراثتی در غشا محصور نشده (اندامک غشا دار مانند هسته ندارند) و فام تن اصلی دارای یک مولکول دِنای حلقوی است که در سیتوپلاسم قرار دارد و به غشای یاخته متصل است. پروکاریوت ها علاوه بر دِنای اصلی ممکن است مولکول هایی از دِنایی دیگر به نام **دیسک (پلازمید)** داشته باشند. اطلاعات این



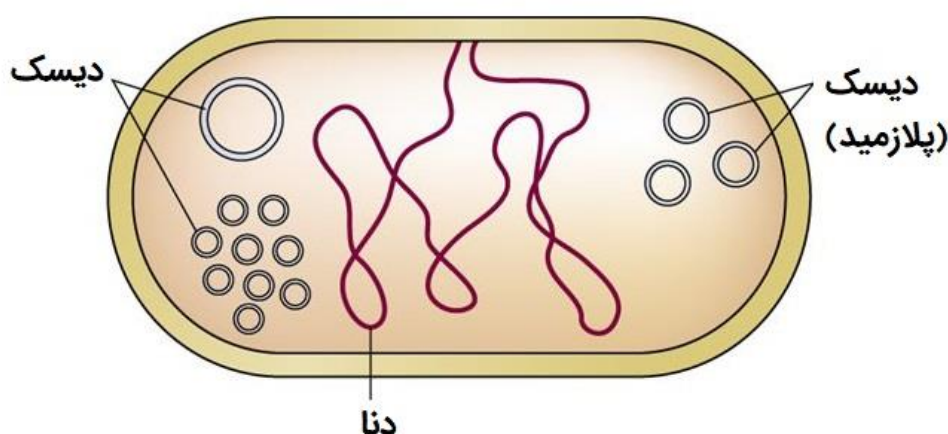


مولکول ها می تواند ویژگی های دیگری را به باکتری بدهد مانند افزایش مقاومت باکتری در برابر

پادزیست (آنتی بیوتیک ها)

نکته: هر باکتری دیسک ندارد. تعداد دیسک در یک باکتری می تواند بیشتر از یک عدد باشد؛ هم

چنین دیسک به غشای یاخته متصل نمی شود.



نکته: در باکتری ها نوکلئیک اسید خطی وجود دارد (مثل رنا) ولی دنا ی خطی وجود ندارد.

نوکلئیک اسید ها به دو دسته دنا و رنا تقسیم می شوند. وقتی می گه نوکلئیک اسید خطی

منظورش دنا و رنا ی خطی هست. در باکتری ها فقط رنا خطی می باشد. دنا حلقوی هست.

نکته: در پروکاریوت ها فقط دنا ی اصلی به غشا متصل است. در پروکاریوت ها دنا می تواند به غشا

متصل نباشد مانند دیسک



نکته: همانند سازی در پروکاریوت ها درون سیتوپلاسم انجام می شود. اغلب پروکاریوت ها فقط

یک جایگاه آغاز همانند سازی در دنا ی خود دارند. در این جایگاه دو رشته ی دنا توسط آنزیم

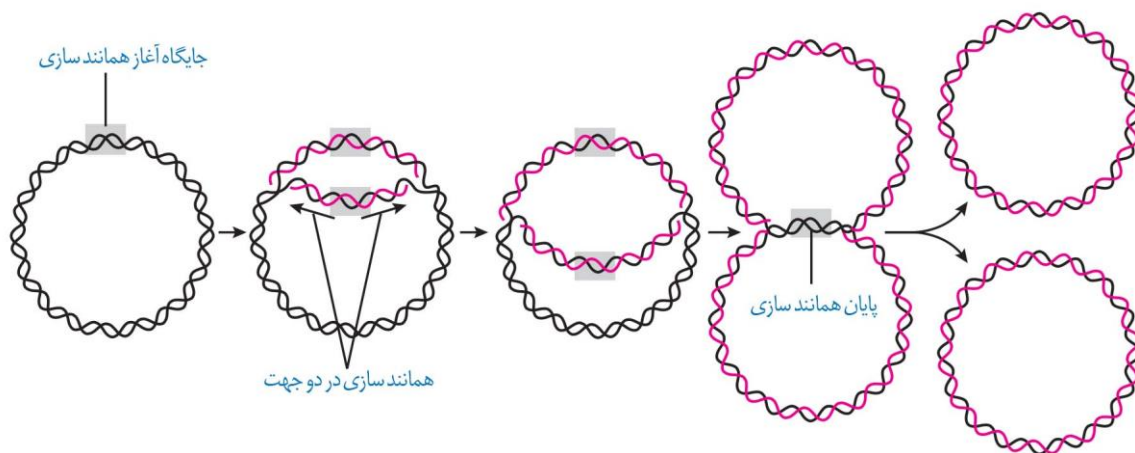
هلیکاز از هم باز می شوند و دنا بسپاراز و آنزیم های دیگر با همکاری همدیگر دنا ی مادری را

همانند سازی می کنند. همانند سازی دو جهتی همانند یوکاریوت ها، در باکتری ها نیز وجود

دارد. در همانند سازی دو جهتی، در هر بخش باز شده ی دنا دو تا دوراهی همانند سازی وجود

دارد. در هر دو راهی یک آنزیم هلیکاز دو رشته ی مادری را از هم جدا می کند. و دنا بسپاراز ها

هم با الگو برداری از دنا ی مادری رشته های جدید را می سازند.



نکته: در همانند سازی دو جهتی در باکتری که دارای یک جایگاه آغاز همانند سازی است، نقطه

ی پایان همانند سازی روبه روی جایگاه آغاز قرار دارد، ولی اگر همانند سازی یک جهتی و یک



جایگاه آغاز همانند سازی داشته باشیم، آنگاه جایگاه پایان همانند سازی در مجاورت جایگاه آغاز است.

نکته: در همانند سازی دو جهتی در باکتری ها (در صورت وجود یک جایگاه آغاز همانند سازی) ابتدا هلیکاز های متصل به جایگاه آغاز از هم دور و سپس در مجاورت جایگاه پایان همانند سازی به هم نزدیک می شوند.

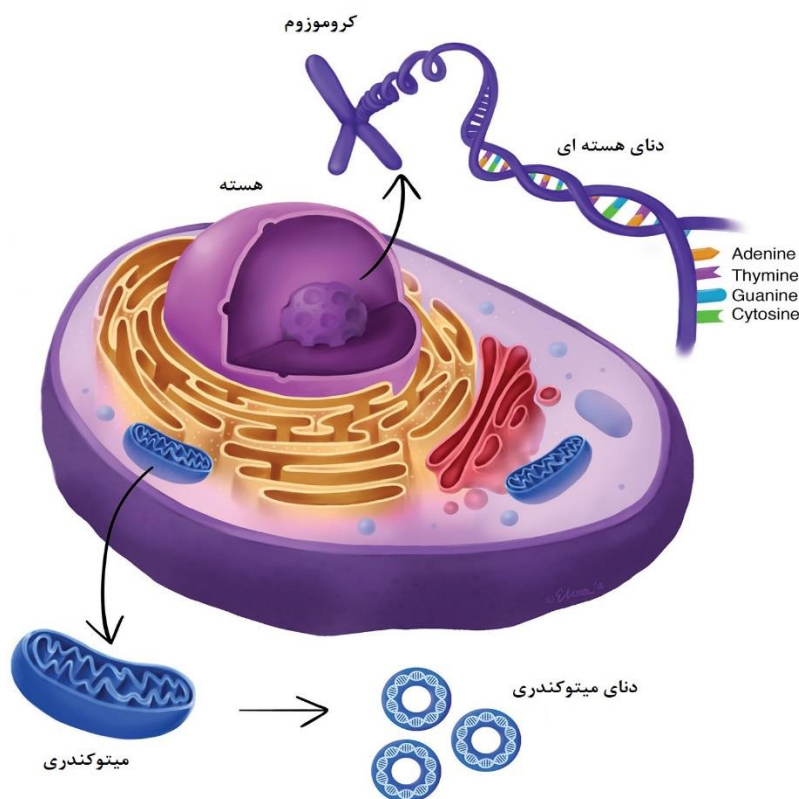
در یوکاریوت ها که بقیه موجودات زنده یعنی آغازیان، قارچ ها، گیاهان و جانوران را شامل می شوند دنا در هر فام تن به صورت خطی است و مجموعه ای از پروتئین ها که مهم ترین آنها هیستون ها هستند همراه آن قرار دارند. بیشتر دنا درون هسته قرار دارد که به آن **دناي هسته ای** می گویند. در یوکاریوت ها علاوه بر هسته در سیتوپلاسم نیز مقداری دنا وجود دارد که به آن **دناي سیتوپلاسمی** می گویند. این نوع از دنا که حالت حلقوی دارد در راکیزه (میتوکندری) و دیسه (پلاست) دیده می شود.

همانند سازی در یوکاریوت ها بسیار پیچیده تر از پروکاریوت ها است. علت این مسئله وجود مقدار زیاد دنا و قرار داشتن در چندین فام تن است که هر کدام از آنها چندین برابر دناي باکتری هستند. بنابراین اگر فقط یک جایگاه آغاز همانند سازی در هر فام تن داشته باشند مدت زمان زیادی برای همانند سازی لازم است. به همین علت در یوکاریوت ها، آغاز همانند سازی در چندین نقطه در هر فام تن انجام می شود (شکل ۱۴). تعداد جایگاه های آغاز همانند سازی در یوکاریوت ها حتی می تواند بسته به مراحل رشد و نمو تنظیم شود؛ مثلاً در دوران جنینی در مراحل مورولا و بلاستولا (مرحله تشکیل بلاستوسیست) سرعت تقسیم زیاد و تعداد جایگاه های آغاز همانند سازی هم زیاد است ولی پس از تشکیل اندام ها، سرعت تقسیم و تعداد جایگاه های آغاز کم می شوند.





در یوکاریوت ها که بقیه موجودات زنده یعنی آغازیان، قارچ ها، گیاهان و جانوران را شامل می شوند دنا در هر فام تن به صورت خطی است و مجموعه ای از پروتئین ها (نه یک پروتئین) که مهم ترین آنها هیستون ها هستند (پروتئین غیر هیستونی هم داریم). همراه آن قرار دارند. بیشتر دنا درون هسته قرار دارد که به آن **دناي هسته ای** می گویند (دناي اصلی یوکاریوت ها دناي هسته ایه). در یوکاریوت ها علاوه بر هسته در سیتوپلاسم نیز مقداری دنا وجود دارد که به آن **دناي سیتوپلاسمی** می گویند. این نوع از دنا که حالت حلقوی دارد در راکیزه (میتوکندری) و دیسه (پلاست) دیده می شود.





نکته: همانندسازی در یوکاریوت ها بسیار پیچیده تر از پروکاریوت ها است. علت این مسئله وجود مقدار زیاد دنا و قرار داشتن در چندین فام تن است که هر کدام از آنها چندین برابر دنا ی باکتری هستند. بنابراین اگر فقط یک جایگاه آغاز همانندسازی در هر فام تن داشته باشند مدت زمان زیادی برای همانندسازی لازم است. به همین علت در یوکاریوت ها آغاز همانند سازی در چندین نقطه از هر فام تن انجام می شود و به این صورت مدت زمان لازم برای همانند سازی آن فام تن کاهش می یابد.

نکته: تعداد جایگاه های آغاز همانند سازی در کروموزوم یوکاریوت ها متعدد و متغیر است. تعداد این جایگاه ها از یاخته ای به یاخته ی دیگر متفاوت است و تعداد جایگاه های آغاز همانند سازی حتی در یاخته بسته به این که در چه مرحله ای از رشد و نمو قرار دارد، متفاوت است و می تواند کم و زیاد شود.

نکته: حواستون باشه تغییر در تعداد جایگاه های آغاز همانند سازی فقط در یوکاریوت هاست.

نکته: در یاخته های یوکاریوتی تعداد جایگاه های آغاز همانند سازی همواره از تعداد دوراهی های همانند سازی کمتر است؛ چون به ازای هر جایگاه آغاز، دو دوراهی همانند سازی ایجاد می شود.

مثال هایی از تغییر در تعداد جایگاه های آغاز همانند سازی در شرایط مختلف

1. یاخته های مریستمی در گیاهان و یاخته های بنیادی مغز قرمز استخوان به دلیل

سرعت بالای تقسیم شدن باید تعداد جایگاه های آغاز همانند سازی در دنایشان بیشتر از سایر





یاخته ها باشد تا دنایشان سریعتر همانند سازی کند.

2. یاخته های سرطانی

3. وجود نوعی عامل رشد در پوست انسان در زیر محل زخم

4. هورمون های محرک رشد در گیاهان یعنی سیتوکینین ها و جیبرلین ها.

5. در دوران جنینی در مراحل مورولا و بلاستولا چون سرعت تقسیم زیاد است تعداد جایگاه

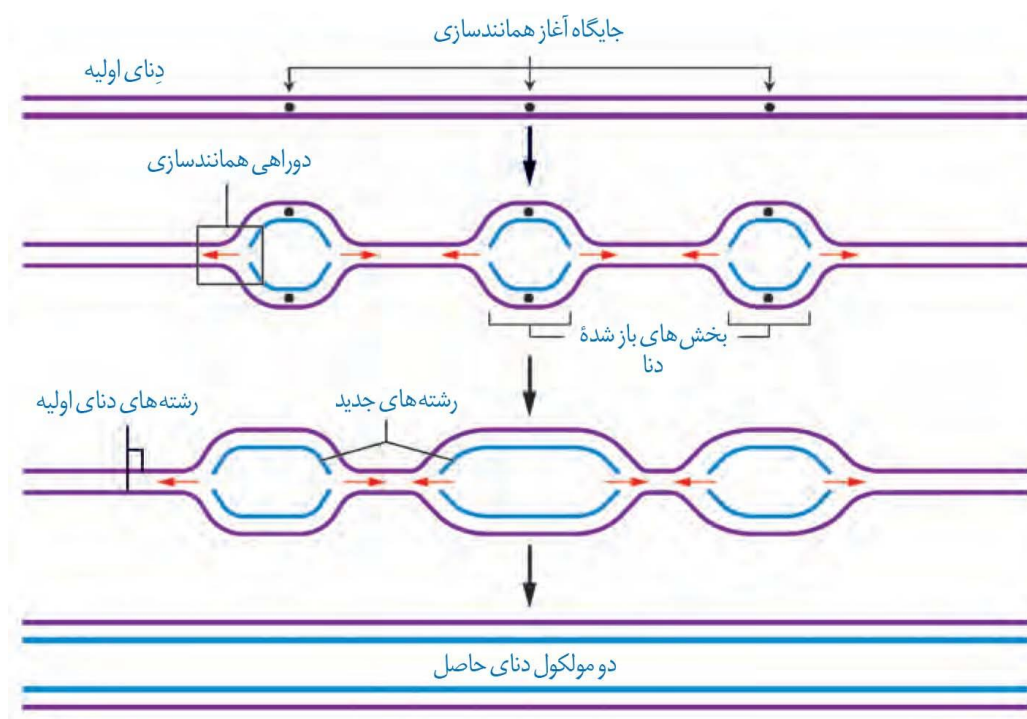
های آغاز همانند سازی هم زیاد شده است ولی پس از تشکیل اندام ها سرعت تقسیم و تعداد جایگاه های آغاز همانند سازی کم می شود.

چرا بخش های باز شده ی دنا یا همان حباب های همانند سازی اندازه های متفاوتی

دارند؟ در صورتی که هم زمان همانند سازی را شروع کرده اند؟ به علت سرعت متفاوت

آنزیم های موثر در همانند سازی است. سرعت آنزیم در هر حباب همانند سازی به عوامل مختلفی بستگی دارد مانند نوع جفت باز های مکمل. اگر مقدار آدنین و تیمین بیشتر باشد زودتر از هم باز می شوند و اگر مقدار سیتوزین و گوانین بیشتر باشد دیر تر باز می شوند.





نکته: در یک حباب همانند سازی دو آنزیم هلیکاز از هم دور می شوند ولی آنزیم های موجود در دو حباب مجاور می توانند به هم نزدیک شوند.

نکته: دنباسپاراز در دو جهت می تواند حرکت کند در فعالیت بسپارازی به سمت جایگاه پایان همانند سازی و در فعالیت نوکلئازی به سمت جایگاه آغاز همانند سازی.

نکته: در یوکاریوت ها و پروکاریوت ها دنا ی حلقوی در سیتوپلاسم قرار دارد

نکته: دنا ی خطی در یوکاریوت ها در هسته و در پروکاریوت ها وجود ندارد.