فهرست

فصل اول مولکول‌های اطلاعاتی ۱
گفتار ۱ نوکلئیک اسیدها ۲
گفتار ۲ همانندسازی دنا ۹
گفتار ۳ پروتئین‌ها ۱۵
فصل اول در آئینه کنکور سراسری ۱-۲۰

فصل دوم جریان اطلاعات در یاخته ۲۱
گفتار ۱ رونویسی ۲۲
گفتار ۲ به سوی پروتئین ۲۷
گفتار ۳ تنظیم بیان ژن ۳۳
فصل دوم در آئینه کنکور سراسری ۲-۳۶

فصل سوم انتقال اطلاعات در نسل‌ها ۳۷
گفتار ۱ مفاهیم پایه ۳۸
گفتار ۲ انواع صفات ۴۲
فصل سوم در آئینه کنکور سراسری ۱-۴۶

فصل چهارم تغییر در اطلاعات وراثتی ۴۷
گفتار ۱ تغییر در مادهٔ وراثتی جانداران ۴۸
گفتار ۲ تغییر در جمعیت‌ها ۵۳
گفتار ۳ تغییر در گونه‌ها ۵۷
فصل چهارم در آئینه کنکور سراسری ۳-۶۲

فصل پنجم از ماده به انرژی ۶۳
گفتار ۱ تأمین انرژی ۶۴
گفتار ۲ اکسایش بیشتر ۶۹
گفتار ۳ زیستن مستقل از اکسیژن ۷۳
فصل پنجم در آئینه کنکور سراسری ۱-۷۶

فصل ششم از انرژی به ماده ۷۷
گفتار ۱ فتوسنتز: تبدیل انرژی نور به انرژی شیمیایی ۷۸
گفتار ۲ واکنش‌های فتوسنتزی ۸۲
گفتار ۳ فتوسنتز در شرایط دشوار ۸۶
فصل ششم در آئینه کنکور سراسری ۲-۹۰

فصل هفتم فناوری‌های نوین زیستی ۹۱
گفتار ۱ زیست فناوری و مهندسی ژنتیک ۹۲
گفتار ۲ فناوری مهندسی پروتئین و بافت ۹۷
گفتار ۳ کاربردهای زیست فناوری ۱۰۱
فصل هفتم در آئینه کنکور سراسری ۱-۱۰۶

فصل هشتم رفتارهای جانوران ۱۰۷
گفتار ۱ اساس رفتار ۱۰۸
گفتار ۲ انتخاب طبیعی و رفتار ۱۱۵
گفتار ۳ ارتباط و زندگی گروهی ۱۲۱
فصل هشتم در آئینه کنکور سراسری ۲-۱۲۴
پاسخنامه تشریحی سوالات کنکور سراسری ۱۲۵
سؤالات کنکور سراسری ۱۴۰۲ ..... ۱۵۹
پاسخنامه تشریحی سوالات کنکور سراسری ۱۴۰۲ ..... ۱۶۳

مدل نردبان مارپیچ

فصل ۱

مولکول های اطلاعاتی

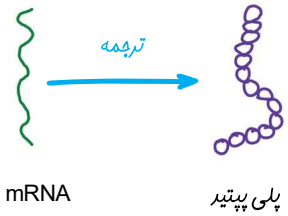
DNA
RNA
پروتئین

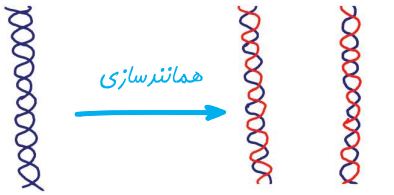
مولکول‌های وراثتی
DNA
RNA

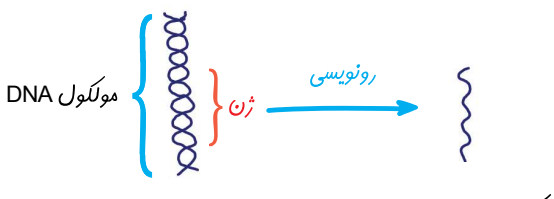
یکی از پرسش‌هایی که یافتن جوابی برای آن بیش از پنجاه سال طول کشید، این بود که ژن چیست و از چه ساخته شده است؟

پاسخ این سؤال، به ظاهر شاید ساده باشد ولی برای رسیدن به آن، پژوهش‌ها و آزمایش‌های زیادی انجام شد که در حال حاضر هم ادامه دارد.

در این فصل مطالب در قالب زنجیره‌ای از آزمایش‌ها توضیح داده می‌شود که نتایج آنها آگاهی ما را از ژن و مولکول‌های مرتبط به آن یعنی دِنا (DNA)، رِنا (RNA) و پروتئین بیشتر می‌کند. آشنا شدن با ساختار این مولکول‌ها مقدمه‌ای است برای فهم بهتر فصل‌های دیگر این کتاب. همچنین، در کنار این مباحث با سازوکار مولکولی و چگونگی ذخیره و انتقال اطلاعات وراثتی آشنا می‌شویم.







دئوکسی ریبونوکلئیک اسیدها (DNA)
ریبونوکلئیک اسیدها (RNA)

گفتار ۱ نوکلئیک اسیدها

یاخته‌های یوکاریوت

هریک از یاخته‌های بدن ما ویژگی‌هایی مانند شکل و اندازه دارند. این ویژگی‌ها تحت فرمان هسته هستند. دستورالعمل‌های هسته در حین تقسیم از یاخته‌ای به یاخته دیگر و در حین تولید مثل از نسلی به نسل دیگر منتقل می‌شود. اطلاعات و دستورالعمل فعالیت‌های یاخته در چه قسمتی از هسته ذخیره می‌شود؟

حتی ویژگی‌های کوچک‌تر، مثل قرمز، چون آنها نیز در ابتدا هسته داشته‌اند.

اطلاعات ژن‌ها

جنسی یا غیرجنسی

کروموزوم‌ها

قبلاً آموختیم که فام‌تن‌ها در هسته قرار دارند و در ساختار آنها دِنا و پروتئین مشارکت می‌کنند. کدام‌یک از این دو ماده، ذخیره‌کنندهٔ اطلاعات وراثتی است؟

DNAهای خطی (۲ تا بیش از ۱۰۰۰ عدد)

مثل هیستون‌ها

پاسخ این سؤال مشخص شده است. این ماده دِنا است که به‌عنوان مادهٔ ذخیره‌کنندهٔ اطلاعات وراثتی عمل می‌کند. امّا دانشمندان چگونه به این پاسخ رسیده‌اند؟

آنفلوانزا یک بیماری ویروسی است و تصور نادرست گریفیت، منجر به کشف واکسن نشد!

اطلاعات اولیه در مورد مادهٔ وراثتی از فعالیت‌ها و آزمایش‌های باکتری‌شناسی انگلیسی به نام گریفیت[1] به‌دست آمد. او سعی داشت واکسنی برای آنفلوانزا تولید کند. در آن زمان تصور می‌شد عامل این بیماری، نوعی باکتری به نام استرپتوکوکوس نومونیا[2] است. گریفیت با دو نوع از این باکتری، آزمایش‌هایی را روی موش‌ها انجام داد. نوع بیماری‌زای آن که پوشینه‌دار (کپسول‌دار) است در موش‌ها سبب سینه پهلو می‌شود ولی نوع بدون پوشینه آن موش‌ها را بیمار نمی‌کند (شکل ۱).

نه دو گونه!

ذات‌الریه

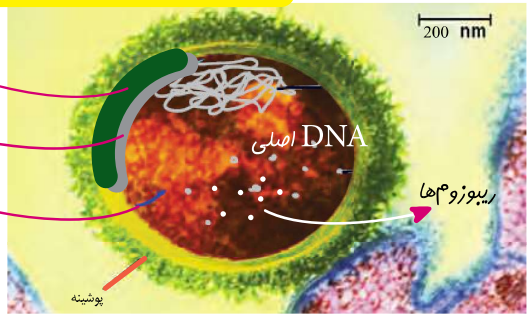
علائم شبیه آنفلوانزا دارد.

یوکاریوت، جانور، مهره‌دار، پستاندار، جفت‌دار، لقاح داخلی، شش دار و ...

همانند نوع کپسول‌دار، سیستم ایمنی موش را تحریک می‌کند.

نکته

گریفیت از ماهیت مولکول ماده وراثتی و نحوه انتقال آن هیچ اطلاعاتی به‌دست نیاورد.



پروکاریوت، فاقد هسته، دارای یک کروموزوم اصلی، گاهی دارای یک یا چند پلازمید، فاقد اندامک غشادار

شکل ۱ــ باکتری پوشینه‌دار

استرپتوکوکوس نومونیا

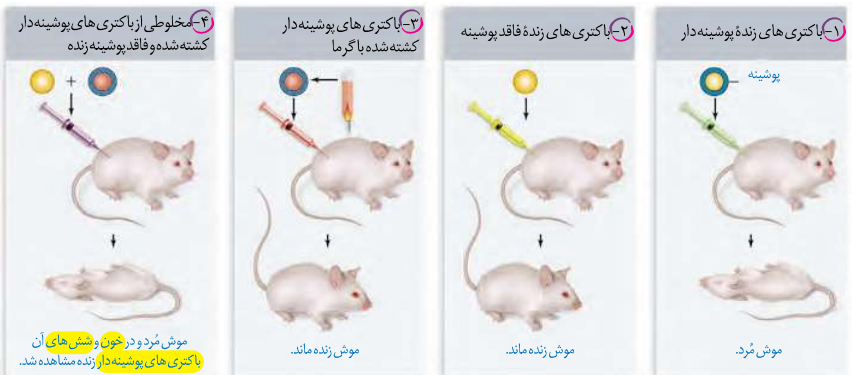
باکتری مصرف‌کننده

DNA اصلی حلقوی
DNA های کوچک حلقوی (پلازمیدها)
انواع RNAها
ریبوزوم‌ها
پروتئین‌ها
آنزیم‌ها
لیپید
ویتامین
کربوهیدرات
مواد معدنی
و ...

فرضیه‌های گریفیت پس از آزمایش چهارم:
۱) باکتری‌های کپسول‌دار مرده در هماورت بدون کپسول‌های زنده، زنده شده‌اند. ← رد شد
۲) باکتری‌های بدون کپسول زنده وارد کپسول باکتری‌های مرده شده‌اند. ← رد شد
۳) باکتری‌های بدون کپسول، کپسول‌دار شده‌اند (فرشتان کپسول سافته‌اند!). ← تأیید شد

آزمایش‌ها و نتایج کار گریفیت را در شکل ۲ ملاحظه کنید.

شکل ۲ــ آزمایشات گریفیت و نتایج آن



قطعاً در شش و خون موش، باکتری‌های پوشینه‌دار یافت می‌شود.

باکتری‌های بدون پوشینه، اطلاعات ساخت پوشینه را از عصارهٔ باکتری‌های پوشینه‌دار کشته‌شده با گرما دریافت می‌کنند.

گرما موجب تخریب ساختار مولکول‌های پروتئینی آنتی‌ژنی سطح باکتری، از بین رفتن سافتار فسفولیپیدی غشای یافتهٔ باکتری و مرگ باکتری‌ها شده است.

ایمنی اختصاصی (فط سوم) بدن موش با پادتن‌های ترشح‌شده از پلاسموسیت‌ها و به کمک یافته‌های دفاعی فط دوم با باکتری مبارزه می‌کنند و پیروز می‌شوند. (ترکیبی با فصل ۵ یازدهم)

۱ــ Fredrick Griffith
۲ــ *Streptococcus Pneumoniae*

۱ گریفیت مشاهده کرد تزریق باکتری‌های پوشینه‌دار به موش باعث بروز علائم بیماری و مرگ در آنها می‌شود؛ در حالی که تزریق باکتری‌های بدون پوشینه به موش‌های مشابه، باعث بروز علائم بیماری نمی‌شود. ۲ او در آزمایش دیگری باکتری‌های پوشینه‌دار کشته شده با گرما را به موش‌ها تزریق و مشاهده ۳ کرد که موش‌ها سالم ماندند. گریفیت نتیجه گرفت وجود پوشینه به تنهایی عامل مرگ موش‌ها نیست.

۴ سپس مخلوطی از باکتری‌های پوشینه‌دار کشته شده با گرما و زندهٔ بدون پوشینه را به موش‌ها تزریق کرد؛ برخلاف انتظار، موش‌ها مُردند! او در بررسی خون و شش‌های موش‌های مرده، تعداد زیادی باکتری‌های پوشینه‌دار زنده مشاهده کرد. مسلماً باکتری‌های مرده، زنده نشده‌اند بلکه تعدادی از باکتری‌های بدون پوشینه به نحوی تغییر کرده و پوشینه‌دار شده‌اند. آزمایش چهارم

از نتایج این آزمایش‌ها مشخص شد که مادهٔ وراثتی می‌تواند به یاختهٔ دیگری منتقل شود ولی ماهیت این ماده و چگونگی انتقال آن مشخص نشد. نمی‌دونستن چیه؟! از محیط

عامل اصلی انتقال صفات وراثتی، مولکول دِنا است

عامل مؤثر در انتقال این صفت تا حدود ۱۶ سال بعد از گریفیت همچنان ناشناخته ماند. تا اینکه نتایج کارهای دانشمندی به نام ایوری[1] و همکارانش عامل مؤثر در آن را مشخص کرد. آنها ابتدا از عصارهٔ استخراج شده از باکتری‌های کشته شدهٔ پوشینه‌دار استفاده کردند و در آن تمامی پروتئین‌های موجود را تخریب کردند. به نظر شما چگونه این کار انجام شد؟ با استفاده از آنزیم‌های پروتئازی

← بدون سانتریفیوژ
آزمایش اول: استفاده از آنزیم

آنها سپس باقی‌ماندهٔ محلول را به محیط کشت باکتری فاقد پوشینه اضافه کردند و دیدند که انتقال صفت صورت می‌گیرد؛ پس می‌توان نتیجه گرفت که پروتئین‌ها مادهٔ وراثتی نیستند.

نشان می‌دهد که پروتئین، مادهٔ وراثتی نیست؛ ولی نشان نمی‌دهد که DNA مادهٔ وراثتی است.

← استفاده از سانتریفیوژ
آزمایش دوم:
بدون استفاده از آنزیم

در آزمایش دیگری عصارهٔ استخراج شده از باکتری‌های کشته شدهٔ پوشینه‌دار را در یک گریزانه (سانتریفیوژ[2]) با سرعت بالا قرار دادند و مواد آن را به‌صورت لایه‌لایه جدا کردند. با اضافه کردن هریک از لایه‌ها به‌صورت جداگانه به محیط کشت باکتری فاقد پوشینه مشاهده کردند که انتقال صفت فقط با لایه‌ای که در آن دِنا وجود دارد انجام می‌شود.

هر دو آزمایش دوم و سوم نشان می‌دهند که DNA مادهٔ وراثتی است.

نتایج این آزمایش‌ها، ایوری و همکارانش را به این نتیجه رساند که عامل اصلی و مؤثر در انتقال صفات، دِنا است. به عبارت ساده‌تر، دِنا همان ماده وراثتی است. با این حال نتایج به‌دست آمده مورد قبول عده‌ای قرار نگرفت؛ چون در آن زمان بسیاری از دانشمندان بر این باور بودند که پروتئین‌ها ماده وراثتی هستند.

← بدون سانتریفیوژ
آزمایش سوم:
استفاده از آنزیم‌های مختلف در ظرف‌های مختلف

در آزمایش‌های دیگری عصارهٔ باکتری‌های پوشینه‌دار را استخراج و آن را به چهار قسمت تقسیم کردند. به هر قسمت، آنزیم تخریب‌کننده یک گروه از مواد آلی (کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها، لیپیدها، نوکلئیک اسیدها) را اضافه کردند. سپس هر کدام را به محیط کشت حاوی باکتری بدون پوشینه منتقل و اجازه دادند تا فرصتی برای انتقال صفت و رشد و تکثیر داشته باشند. مشاهده شد که در همهٔ ظروف انتقال صورت می‌گیرد به‌جز ظرفی که حاوی آنزیم تخریب‌کننده دِنا است.

تقسیم یافته‌ای به روش دوتایی (دو نیم شدن) در باکتری‌ها، تقسیم یافته فقط موجب تولید مثل و تکثیر می‌شود و نقشی در ترمیم و رشد جاندار ندارد. (دهم، فصل ۱)

نوعی آنزیم نوکلئازی

دقت کنید که در آزمایشات ایوری و همکارانش همانند آزمایشات گریفیت، روی باکتری استرپتوکوکوس نومونیا مطالعه شد؛ ولی ایوری و همکارانش، روی موش آزمایشی انجام ندادند.

۱ـ Oswald Avery
۲ـ Centrifuge

دقت کنید که نمی‌توان گفت، دئوکسی ریبوز، اتم اکسیژن ندارد، بلکه دئوکسی ریبوز فقط یک اتم اکسیژن کمتر از ریبوز دارد و وزن مولکولی قند ریبوز بیشتر از دئوکسی ریبوز است.

در ساختار هر نوکلئوتید، حداقل ۳ و حداکثر ۵ مولکول وجود دارد که همیشه فقط دو تای آنها مولکول حلقه‌دار هستند (قند و باز آلی).

کنکور

گروه یا گروه‌های فسفات هر نوکلئوتید موجود در بدن یک فرد سالم، با پیوند کووالانسی به قند اتصال دارد. (کنکور – ۱۴۰۰)

کنکور

هرمولکول حامل اطلاعات وراثتی در یوکاریوت‌ها، واحدهای سه‌بخشی آن توسط نوعی پیوند به هم متصل می‌شوند. (سراسری – ۹۹)

نوکلئوتیدهای موجود در ساختار DNA و یا RNA } فقط تک‌فسفاته

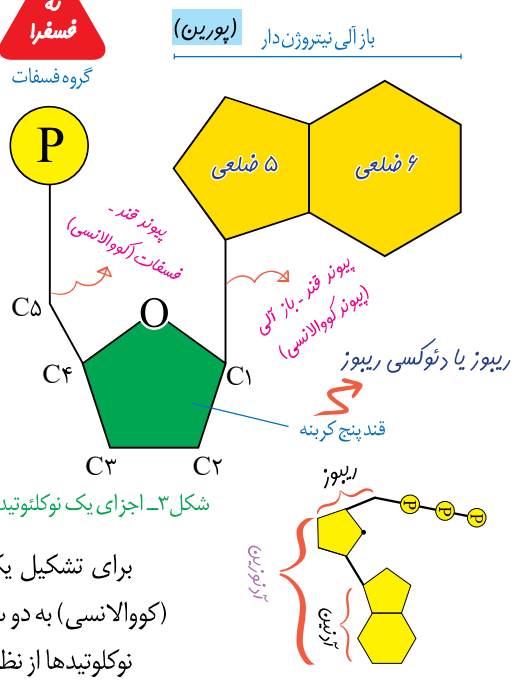
نوکلئوتیدهای آزاد در سلول } تک‌فسفاته / دو فسفاته / سه فسفاته

ساختار نوکلئیک اسیدها

نه فسفرا

نوکلئیک اسیدها که شامل **دئوکسی‌ریبونوکلئیک‌اسید** (دِنا) و **ریبونوکلئیک‌اسید** (رِنا) هستند، همگی بسپارهایی (پلیمرهایی) از واحدهای تکرارشونده به‌نام **نوکلئوتید** هستند. با توجه به شکل ۳ هر نوکلئوتید شامل سه بخش است: ۱) یک قند پنج کربنه، ۲) یک باز آلی نیتروژن‌دار و ۳) یک تا سه گروه فسفات. قند پنج کربنه در دِنا، **دئوکسی‌ریبوز** و در رِنا، **ریبوز** است. دئوکسی‌ریبوز یک اکسیژن کمتر از ریبوز دارد. **باز آلی نیتروژن‌دار** می‌تواند **پورین** باشد که ساختار دو حلقه‌ای دارد؛ شامل آدنین (A) و گوانین (G) یا می‌تواند **پیریمیدین** باشد که ساختار تک‌حلقه‌ای دارد؛ شامل تیمین (T) سیتوزین (C) و یوراسیل (U). در دِنا باز یوراسیل شرکت ندارد و به‌جای آن تیمین وجود دارد و در رِنا به‌جای تیمین، باز یوراسیل وجود دارد.

مونومرها

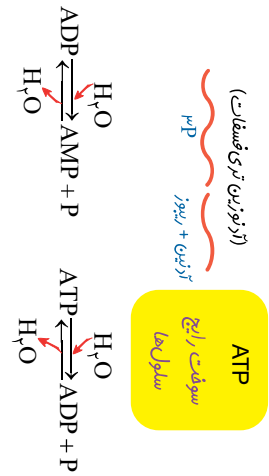


شکل ۳ـ اجزای یک نوکلئوتید

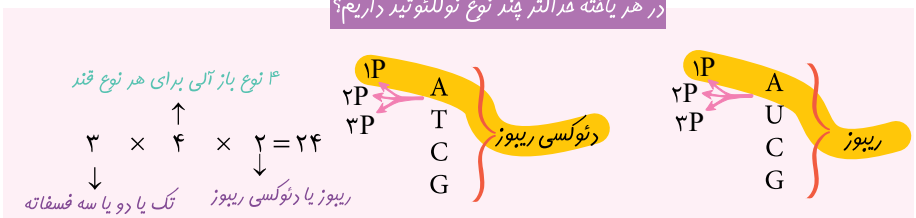
برای تشکیل یک نوکلئوتید، باز آلی نیتروژن‌دار و گروه یا گروه‌های فسفات با پیوند اشتراکی (کووالانسی) به دو سمت قند متصل می‌شوند (شکل ۳).

نوکلوتیدها از نظر نوع قند، نوع باز آلی و تعداد گروه‌های فسفات با یکدیگر تفاوت دارند.

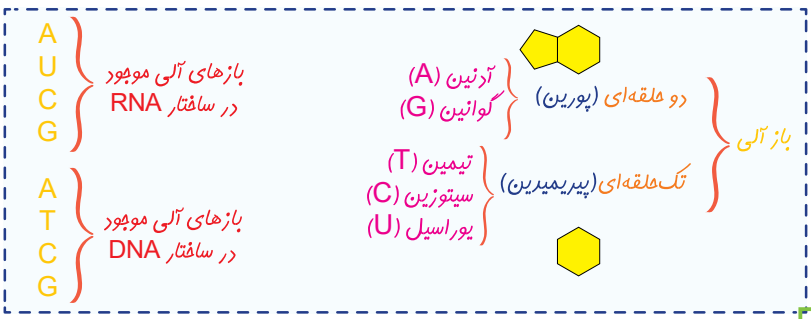
نوکلئوتیدها با نوعی پیوند اشتراکی به نام **فسفودی‌استر** به هم متصل می‌شوند و **رشتهٔ پلی‌نوکلئوتیدی** را می‌سازند. در تشکیل پیوند فسفودی‌استر، فسفات یک نوکلئوتید به گروه هیدروکسیل (OH) از قند مربوط به نوکلئوتید دیگر متصل می‌شود (شکل ۵). رشته‌های پلی‌نوکلئوتیدی یا به تنهایی نوکلئیک اسید را می‌سازند، مثل رنا، یا به‌صورت دوتایی مقابل هم قرار می‌گیرند و نوکلئیک اسیدهایی مثل دِنا را می‌سازند.



در هر یافته حداکثر چند نوع نوکلئوتید داریم؟



پلیمرها	مونومر
نشاسته (منشعب)	گلوکز
سلولز (خطی)	گلوکز
گلیکوژن (منشعب)	گلوکز
پروتئین (خطی)	آمینواسید (۲۰ نوع)
DNA (خطی / حلقوی)	نوکلئوتید (۴ نوع)
RNA (خطی)	نوکلئوتید (۴ نوع)



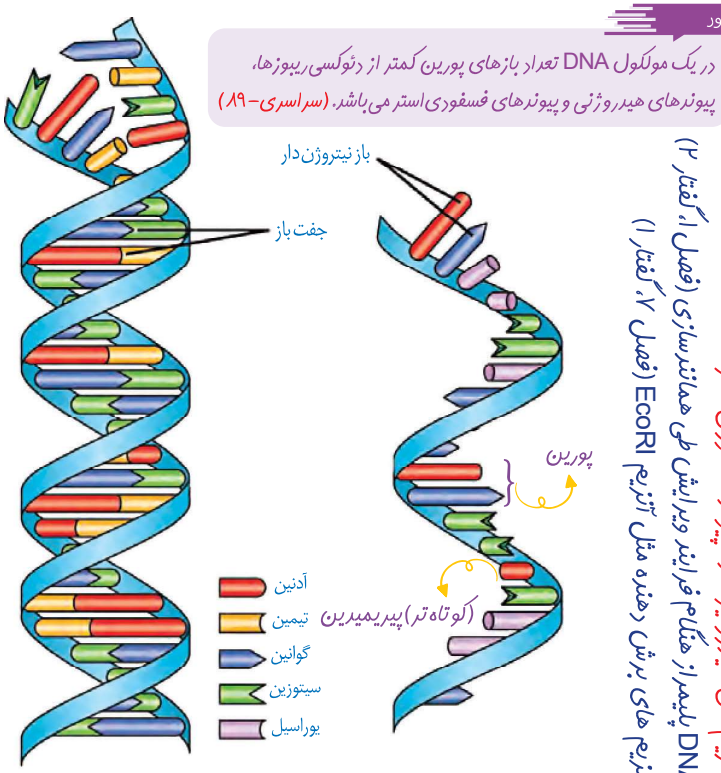
انواع DNAهای حلقوی:
- کروموزوم‌های اصلی باکتری ← فقط در پروکاریوت (یک عدد در هر باکتری)
- کروموزوم‌های کمکی برفی باکتری‌ها و برفی قارچ‌ها (مثل مفمر) ← در پروکاریوت و یوکاریوت (چند عدد در برفی یافته‌ها)
- DNAهای سیتوپلاسمی درون میتوکندری و انواع پلاست‌ها ← فقط در یوکاریوت‌ها (چند عدد)

بنابراین مولکول‌های دِنا از دو رشته پلی نوکلئوتید و مولکول‌های رِنا از یک رشته پلی نوکلئوتید تشکیل می‌شوند (شکل ۴).

کنکور

در یک مولکول DNA تعداد بازهای پورین کمتر از دئوکسی ریبوزها، پیوندهای هیدروژنی و پیوندهای فسفودی‌استر می‌باشد. (سراسری-۸۹)

آنزیم‌های هیدرولیزکنندهٔ پیوند فسفودی‌استر
۱) DNA پلیمراز هنگام فرایند ویرایش طی همانندسازی (فصل ۱، گفتار ۲)
۲) آنزیم‌های برش دهنده مثل آنزیم EcoRI (فصل ۷، گفتار ۱)



شکل ۴ــ دنای دورشته‌ای و رنای تک‌رشته‌ای

* گاهی مولکول RNA هم روی همان یک رشتهٔ خودش تا می‌خورد و بازهای مکمل با هم پیوندهای هیدروژنی تشکیل می‌دهند. مثل ساختار مولکول tRNA (فصل ۲، صفحهٔ ۲۸)

* در هر مولکول DNA خطی یا حلقوی، تعداد بازهای پورین با تعداد بازهای پیریمیدین برابر است.

* در ساختار هر نوکلئوتید، قند با حلقهٔ پنج‌ضلعی پورین و یا با حلقهٔ شش‌ضلعی پیریمیدین، پیوند کووالانسی دارد.

* هر قند در دو پیوند اشتراکی شرکت دارد؛ یکی با گروه فسفات و یکی با باز آلی.

* دقت کنید که پیوندهای بین اتم‌های هر قند و یا بین اتم‌های هر باز آلی نیز، پیوند کووالانسی هستند.

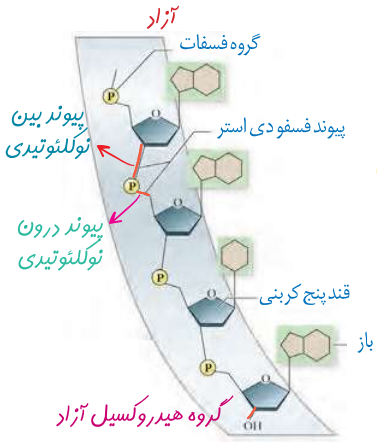
آنزیم‌های تشکیل‌دهندهٔ پیوند فسفودی‌استر:
۱) DNA پلیمراز هنگام همانندسازی (فصل ۱، گفتار ۲)
۲) RNA پلیمراز هنگام رونویسی (فصل ۲، گفتار ۱)
۳) آنزیم لیگاز در مهندسی ژنتیک (فصل ۷، گفتار ۱)

دو انتهای رشته‌های پلی نوکلئوتید نیز می‌توانند با پیوند فسفودی‌استر به هم متصل شوند و نوکلئیک اسید **حلقوی** را ایجاد کنند؛ برای مثال دِنا در باکتری‌ها به صورت حلقوی است.

در نوکلئیک اسیدهای **خطی** گروه فسفات در یک انتها و گروه هیدروکسیل در انتهای دیگر آزاد است؛ بنابراین هر رشتهٔ دِنا و رِنای خطی همیشه دو سر متفاوت دارد (شکل ۵).

یعنی قطبیت دارد.

* دقت کنید که DNA حلقوی فاقد قطبیت است.



شکل ۵ــ بخشی از رشته نوکلئیک اسید

زنجیره
زنجیرهٔ DNA
زنجیرهٔ RNA

تلاش برای کشف ساختار مولکولی دِنا

در ابتدا تصور می‌شد که چهار نوع نوکلئوتید موجود در دِنا به نسبت مساوی در سراسر مولکول توزیع شده‌اند. بر این اساس دانشمندان انتظار داشتند که مقدار ۴ نوع باز آلی در تمامی مولکول‌های دِنا از هر جانداری که به‌دست آمده باشد با یکدیگر برابر باشد.

امّا مشاهدات و تحقیقات چارگاف[۱] روی دِناهای جانداران نشان داد که مقدار آدنین در دِنا با مقدار تیمین برابر است و مقدار گوانین در آن با مقدار سیتوزین برابری می‌کند. تحقیقات بعدی دانشمندان دلیل این برابری نوکلئوتیدها را مشخص کرد.

دقت کنید که چارگاف دلیل برابری A با T و C با G در هر مولکول DNA را کشف نکرد.

* دقت کنید که نمی‌توان گفت در هر رشتهٔ (زنجیره) پلی‌نوکلئوتیدی، A با T (U) و C با G برابر است.

۱ــ Erwin Chargaff

اگر یک مولکول **RNA**، ۱۰۰ نوکلئوتید داشته باشد:

چند باز آلی؟ ۱۰۰

چند ریبوز؟ ۱۰۰

چند پیوند فسفودی‌استر؟ ۹۹

چند پیوند قند ـ باز آلی؟ ۱۰۰

چند پیوند قند ـ فسفات؟ ۱۹۹

تعداد نوکلئوتید + تعداد فسفودی‌استر

RNA (تک‌رشته‌ای)

اگر مولکول **DNA** هسته‌ای، ۱۰۰ نوکلئوتید داشته باشد:

چند باز آلی؟ ۱۰۰

چند ریبوز؟ صفر

چند پیوند فسفو دی استر؟ ۹۸

چند پیوند قند ـ باز آلی؟ ۱۰۰

چند پیوند قند ـ فسفات؟ ۱۹۸

چند دئوکسی ریبوز؟ ۱۰۰

۵۰ نوکلئوتید ← ۵۰ نوکلئوتید

DNA (خطی دو رشته‌ای)

اگر مولکول **DNA** باکتری (حلقوی)، ۱۰۰ نوکلئوتید داشته باشد:

۱۰۰N = رشتهٔ اول ۵۰N + رشتهٔ دوم ۵۰N

۱۰۰ دئوکسی ریبوز

۱۰۰ باز آلی

۱۰۰ فسفات

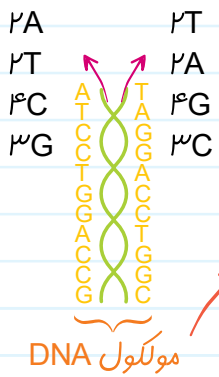
۱۰۰ فسفودی استر

۲۰۰ قند ـ فسفات

۱۰۰ قند ـ باز آلی

DNA (حلقوی دو رشته‌ای)

حواستون باشه که چارگاف نتوانست دلیل برابر بودن **A** با **T** و **C** با **G** را اثبات کند.



$$۴\,A = ۴\,T$$

$$۷\,G = ۷\,C$$

$$A + G = T + C$$

$$۴ + ۷ = ۴ + ۷$$

$$\frac{A + G}{T + C} = ۱ \Leftarrow \frac{A + C}{T + G} = ۱$$

* در هر مولکول DNA (نه RNA ! نه رشته DNA) مجموع تعداد پورین‌ها برابر با مجموع تعداد پیریمیدین‌هاست.

بیشتر بدانید

برخی از نتایج آزمایش‌های چارگاف (درصد)

گونه	A	T	G	C	$\frac{A+G}{T+C}$	$\frac{A+T}{G+C}$
انسان	۳۱/۰	۳۱/۵	۱۹/۱	۱۸/۴	۱/۰۰	۱/۶۶
مگس سرکه	۲۷/۳	۲۷/۶	۲۲/۵	۲۲/۶	۰/۹۹	۱/۲۲
ذرت	۲۵/۶	۲۵/۳	۲۴/۵	۲۴/۶	۱/۰۰	۱/۰۴

اختلاف کم درصدها به دلیل خطاهای آزمایش است.

استفاده از پرتو ایکس برای تهیهٔ تصویر از دِنا

طول موج کم و انرژی زیاد

ویلکینز[1] و فرانکلین[2] با استفاده از پرتو ایکس از مولکول‌های دِنا تصاویری تهیه کردند (شکل ۶).

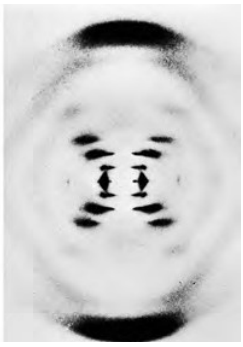
پرتو سرطان‌زا

با بررسی این تصاویر در مورد ساختار دِنا نتایجی را به‌دست آوردند از جمله اینکه دِنا ۱ حالت مارپیچی و ۲ بیش از یک رشته دارد. البته با استفاده از این روش ابعاد مولکول‌ها را نیز تشخیص دادند. ۳

۲ یا ۳ رشته‌ای

ابعاد RNA، DNA و پروتئین

خانم فرانکلین



آقای ویلکینز

شکل ۶ــ تصویر تهیه شده با پرتو ایکس ازمولکول دِنا توسط ویلکینز و فرانکلین

مدل مولکولی دِنا

واتسون[3] و کریک[4] با استفاده ۱ از نتایج آزمایش‌های چارگاف و ۲ داده‌های حاصل از تصاویر تهیه شده با پرتو ایکس و ۳ با استفاده از یافته‌های خود، ۴ مدل مولکولی نردبان مارپیچ را ساختند که باعث شد در سال ۱۹۶۲ جایزه نوبل را دریافت کنند. نتایج حاصل از این تحقیقات با پژوهش‌های امروزی مورد تأیید قرار گرفته‌اند.

شکل ۷ــ واتسون و کریک و مدل پیشنهادی آنها برای دِنا

۱ــ Maurice Wilkins
۲ــ Rosalind Franklin
۳ــ James Watson
۴ــ Francis Crick