فصل اول

مولکول‌های اطلاعاتی

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.

گفتار ۱ نوکلئیک اسید

هر یک از یاخته‌های بدن ما ویژگی‌هایی مانند شکل و اندازه دارند. این ویژگی‌ها تحت فرمان هسته هستند. دستورالعمل‌های هسته در حین تقسیم از یاخته‌ای به یاختهٔ دیگر و در حین تولیدمثل از نسلی به نسل دیگر منتقل می‌شود. اطلاعات و دستورالعمل فعالیت‌های یاخته در فام‌تن‌های درونِ هسته ذخیره می‌شود در ساختار فام‌تن‌های دِنا (DNA) و پروتئین مشارکت می‌کنند و ماده دِنا به عنوان مادهٔ ذخیره‌کنندهٔ اطلاعات وراثتی عمل می‌کند.

فعالیت دانشمندان برای شناخت ساختار دنا

۱- **گریفیت:** با بررسی اثرات تزریق دو نوع استرپتوکوکوس نومونیا روی موش‌ها، مشخص نمود مادهٔ وراثتی می‌تواند از یاخته‌ای به یاخته دیگر منتقل شود ولی ماهیت ماده وراثتی و چگونگی انتقال آن را متوجه نشد.

۲- **ایوری:** با بررسی اثرات بخش‌های مختلف حاصل از سانتریفیوژ عصاره سلولی باکتری کپسول‌دار به کمک آنزیم‌های تخریب‌کننده مواد آلی، مشخص نمود که عامل انتقال صفات، دنا است.

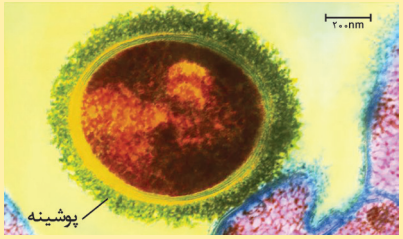
۳- **چارگاف:** با تحقیق روی دناهای جانداران مختلف نشان داد که مقدار A با T و C با G برابر است.

۴- **ویلکینز و فرانکلین:** با استفاده از تصاویر حاصل از پرتو X، ابعاد دنا، مارپیچی بودن آن و اینکه بیش از یک رشته دارد را مشخص کردند.

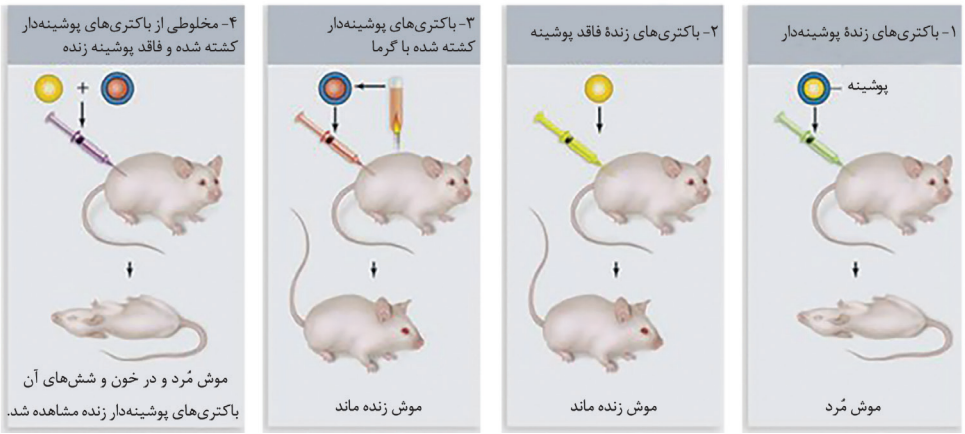
۵- **واتسون وکریک:** با استفاده از یافته‌های چارگاف و داده‌های حاصل از تصاویر تهیه شده با پرتو X مدل فعلی دنا را ارائه دادند.

نکته ۱

اطلاعات اولیه در مورد مادهٔ وراثتی از فعالیت‌ها و آزمایش‌های باکتری‌شناسی انگلیسی به نام گریفیت به دست آمد. او سعی داشت واکسنی برای آنفلوانزا تولید کند. در آن زمان تصور می‌شد عامل این بیماری، نوعی باکتری به نام استرپتوکوکوس نومونیا است. گریفیت با دو نوع از این باکتری، آزمایش‌هایی را روی موش‌ها انجام داد. نوع بیماری‌زای آن که کپسول‌دار است در موش‌ها سبب سینه‌پهلو می‌شود ولی نوع بدون کپسول آن موش‌ها را بیمار نمی‌کند.



باکتری پوشینه‌دار



آزمایشات گریفیت و نتایج آن

نکته ۲

همانطور که در شکل بالا مشخص است 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. او در آزمایش دیگری باکتری‌های پوشینه‌دار کشته شده با گرما را به موش‌ها تزریق و مشاهده کرد که موش‌ها سالم ماندند. گریفیت نتیجه گرفت وجود پوشینه به تنهایی عامل مرگ موش‌ها نیست. سپس مخلوطی از باکتری‌های پوشینه‌دار کشته شده با گرما و زندهٔ بدون کپسول را به موش‌ها تزریق کرد، برخلاف انتظار، موش‌ها مُردند! او در بررسی خون و شش‌های موش‌های مرده، تعداد زیادی باکتری‌های کپسول زنده مشاهده کرد. مسلماً باکتری‌های مرده، زنده نشده‌اند بلکه **تعدادی** از باکتری‌های بدون پوشینه به نحوی تغییر کرده و پوشینه‌دار شده‌اند.

نکته ۳

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.

نکته ۴

ویژگی‌های هر یک از یاخته‌های بدن انسان مثل شکل، اندازه و توانایی‌های یاخته‌ها تحت کنترل هسته است و دستورالعمل این ویژگی‌ها در حین تقسیم بین یاخته‌ها و در حین تولیدمثل، بین نسل‌های مختلف انتقال می‌یابد.

نکته ۵

هر چند در ساختار کروموزوم‌هایی (فام‌تن‌هایی) که در هسته قرار دارند دنا و پروتئین مشارکت می‌کنند اما تنها دنا به عنوان مادهٔ ذخیره کنندهٔ اطلاعات وراثتی عمل می‌کند.

نکته ۶

گریفیت تصور می‌کرد عامل بیماری آنفلوانزا باکتری استرپتوکوکوس نومونیا است و تحقیقاتش را در جهت تولید واکسنی برای بیماری آنفلوانزا آغاز نمود.

نکته ۷

استرپتوکوکوس نومونیا دارای دو نوع پوشینه‌دار و بدون پوشینه است که تنها نوع پوشینه‌دار آن در موش، سینه‌پهلو ایجاد کرده و باعث مرگ آن می‌شود.

نکته ۸

از آنجا که تزریق باکتری پوشینه‌دار حرارت دیده به موش سبب مرگ موش نشد می‌توان نتیجه گرفت که حرارت، تا حدی که سبب کشته شدن باکتری شود، روی پوشینه باکتری اثرگذار نیست و به عبارت دیگر پوشینه باکتری نسبت به حرارتی که باعث مرگ باکتری می‌شود مقاوم است.

در واقع لازم است درباره کپسول باکتریِ استرپتوکوکوس نومونیا موارد زیر را به خاطر بسپارید:

۱ پوشینه نیز نامیده می‌شود. ۲ از جنس پلی‌ساکارید است. ۳ بودن یا نبودن آن ویژگی ژنتیکی محسوب می‌شود. ۴ تا حدی به حرارت مقاوم است. ۵ به تنهایی عامل بروز بیماری محسوب نمی‌شود. ۶ چون پلی‌ساکارید است با ترکیباتی مثل سلولز، نشاسته و گلیکوژن در یک گروه قرار می‌گیرد.

نکته ۹

با تزریق مخلوطی از باکتری‌های پوشینه‌دار کشته شده و بدون پوشینهٔ زنده به موش و پس از آن مشاهدهٔ مقدار زیادی از باکتری‌های پوشینه‌دار زنده در خون و شش‌های موش‌های مرده، مشخص شده که مادهٔ وراثتی امکان انتقال بین یاخته‌ها را دارد.

نکته ۱۰

توجه داشته باشید که هر چند آزمایشات گریفیت مشخص کرد که مادهٔ وراثتی می‌تواند بین یاخته‌ها منتقل شود اما ماهیت مادهٔ وراثتی و چگونگی انتقال آن را مشخص نکرد.

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 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. سپس باقی ماندهٔ 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.

در آزمایش دیگری عصاره استخراج شده از باکتری‌های کشته شده پوشینه‌دار را در یک گریزانه (سانتریفیوژ) با سرعت بالا قرار دادند و مواد آن را به صورت لایه لایه جدا کردند. با اضافه کردن هریک از لایه‌ها به صورت جداگانه به محیط کشت باکتری فاقد پوشینه مشاهده کردند که انتقال صفت **فقط** با لایه‌ای که در آن دِنا وجود دارد انجام می‌شود. 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 به دست آمده مورد قبول عده‌ای قرار نگرفت؛ چون در آن زمان بسیاری از دانشمندان بر این باور بودند که پروتئین‌ها مادهٔ وراثتی هستند.

در آزمایش‌های دیگری عصارهٔ باکتری‌های پوشینه‌دار را استخراج و آن را به چهار قسمت تقسیم کردند. به هر قسمت، آنزیم تخریب کنندهٔ یک گروه از مواد آلی (کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها، لیپیدها و نوکلئیک‌اسیدها)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 به جز ظرفی که حاوی آنزیم تخریب‌کنندهٔ دِنا است.

نکته۱

خالص‌سازی دنا از سایر مولکول‌های زیستی برای اولین بار در آزمایشات ایوری و به دنبال سانتریفیوژ صورت گرفت.

نکته۲

در آخرین آزمایشات ایوری به عصارهٔ باکتری‌های پوشینه‌دار، نوعی آنزیم تجزیه کنندهٔ مادهٔ آلی افزوده شد. سپس این مخلوط به محیط کشت حاوی باکتری بدون پوشینه انتقال داده شد و تنها در ظرفی انتقال صفت صورت نگرفت که حاوی آنزیم تخریب‌کنندهٔ دنا بود.

نکته۳

توجه داشته باشید در آزمایشات اول و سوم ایوری، اساساً آنزیم‌های آب‌کافت کننده، به عصارهٔ یاخته‌ایِ باکتری‌های کپسول‌دار اضافه می‌شدند، سپس مخلوط حاصل به محیط کشت باکتری‌های بدون کپسول افزوده می‌شد به‌طوریکه در آزمایش اول عصارهٔ یاخته‌ایِ باکتری‌های کپسول‌دار و پروتئاز خورده به محیط کشت باکتری‌های بدون کپسول افزوده شد و در این محیط انتقال صفت مشاهده گردید [یعنی در محیط انتقالِ صفت آزمایش اول، پروتئین داریم] و در آزمایش سوم، عصارهٔ یاخته‌ایِ باکتری‌های کپسول‌دار که چند قسمت شده بود و هر قسمت تحت تأثیر نوعی آنزیم آب‌کافت دهنده قرار گرفته بود به محیط کشت باکتری‌های بدون کپسول افزوده شد و تنها در محیطی که عصارهٔ نوکلئاز خورده به آن افزوده شده بود، انتقال صفت صورت نگرفت!

نکته۴

توجه داشته باشید که در آزمایش دوم ایوری و در هر نوبت، مولکول‌های موجود در یک لایهٔ حاصل از سانتریفیوژِ عصارهٔ باکتری‌های کپسول‌دار، به محیط کشت باکتری‌های فاقد کپسول افزوده شد و مشاهده شد تنها در محیطِ کشتی انتقال صفت رخ می‌دهد که به آن دنا افزوده شده است.

تست۱ **کدام‌یک جملهٔ زیر را به شکل نادرستی تکمیل می‌کند؟**

«ویژگی‌های هر یک از یاخته‌های بدن .....»

۱) مانند شکل، اندازه و توانایی‌ها، تحت فرمان هسته است.
۲) دستورالعمل‌هایی دارد که حینِ تقسیم، از نسلی به نسل دیگر منتقل می‌شود.
۳) تحت کنترل اطلاعات وراثتی است که در ساختار دنا ذخیره شده است.
۴) قابل انتقال از یاخته‌ای به یاختهٔ دیگر و از نسلی به نسل دیگر است.

پاسخ: بدیهی است که ویژگی‌های هر یک از یاخته‌های بدن مثل شکل و اندازه آنها تحت کنترل اطلاعات وراثتی درون دنا است که درون هسته قرار دارد و قابل انتقال بین یاخته‌ها و نسل‌ها می‌باشد. بنابراین گزینه‌های یک، سه و چهار صحیح‌اند. اما گزینه دو نادرست است چون اطلاعات وراثتی حین تقسیم از یاخته‌ای به یاختهٔ دیگر منتقل می‌شوند نه از نسلی به نسل دیگر و انتقال این اطلاعات از یک نسل به نسل دیگر حین تولیدمثل و یا در حین تقسیم پروکاریوت‌ها صورت می‌گیرد.

تست۲ **از نتایج آزمایشات گریفیت ..... .**

۱) چگونگی انتقال مادهٔ وراثتی مشخص شد.
۲) عامل بیماری آنفلوانزا شناسایی شد.
۳) ماهیت مادهٔ ژنتیکی مشخص شد.
۴) مشخص شد، مادهٔ وراثتی امکان انتقال، بین یاخته‌ها را دارد.

پاسخ: توجه داشته باشید که به کمک آزمایشات گریفیت عامل بیماری آنفلوانزا شناسایی نشد! همچنین چگونگی انتقال مادهٔ وراثتی و ماهیت مادهٔ ژنتیکی هم مشخص نشد اما مشخص شد که مادهٔ وراثتی امکان انتقال بین یاخته‌ها را دارد بنابراین تنها گزینهٔ قابل قبول گزینهٔ چهار است.

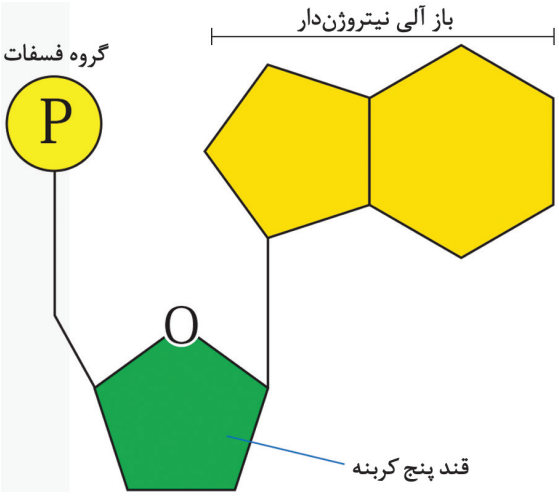
تست ۳ **در آزمایشاتِ ایوری، با افزودنِ مخلوطِ عصارهٔ باکتری‌های ..... و آنزیم تخریب‌کنندهٔ ..... به محیط کشت باکتری‌های .....، انتقالِ صفت صورت ..... .**

۱) پوشینه‌دار ـ پروتئین ـ بدون پوشینه ـ گرفت
۲) بدون پوشینه ـ پروتئین ـ پوشینه‌دار ـ نگرفت
۳) پوشینه‌دار ـ دنا ـ بدون پوشینه ـ گرفت
۴) بدون پوشینه ـ دنا ـ پوشینه‌دار ـ گرفت

پاسخ: توجه داشته باشید که در آخرین آزمایشات ایوری عصارهٔ باکتری‌های پوشینه‌دار استخراج و به چند قسمت تقسیم شده و به هر قسمت آنزیم تخریب‌کنندهٔ یک مادهٔ آلی اضافه شد و این مخلوط به محیط کشت حاوی باکتری‌های بدون پوشینه انتقال پیدا کرد [تا اینجا گزینه‌های دو و چهار نادرست می‌باشند.] سپس مشاهده شد که در همهٔ ظروف انتقال صورت می‌گیرد به جز ظرفی که حاوی آنزیم تخریب‌کنندهٔ دنا است. بنابراین گزینهٔ یک صحیح است یعنی اگر مخلوطی از عصارهٔ باکتری‌های پوشینه‌دار و آنزیم تخریب‌کنندهٔ پروتئین به محیط کشت باکتری‌های بدون پوشینه انتقال یابد انتقال صفت، صورت می‌گیرد.

ساختار نوکلئیک اسیدها

نوکلئیک اسیدها که شامل **دئوکسی ریبونوکلئیک اسید** (دِنا) و **ریبونوکلئیک اسید** (رِنا) هستند، **همگی** بسپارهایی (پلیمرهایی) از واحدهای تکرارشونده به نام **نوکلئوتید** هستند.



اجزای یک نوکلئوتید

نکته ۱

هر نوکلئوتید شامل سه بخش است: یک قند پنج کربنه، یک باز آلی نیتروژن‌دار و یک تا سه گروه فسفات.

نکته ۲

قند پنج کربنه در دِنا، **دئوکسی ریبوز** و در رِنا، **ریبوز** است. دئوکسی ریبوز یک اکسیژن کمتر از ریبوز دارد.

نکته ۳

باز آلی نیتروژن‌دار می‌تواند **پورین** باشد که ساختار دو حلقه‌ای دارد؛ شامل آدنین (A) و گوانین (G) یا می‌تواند **پیریمیدین** باشد که ساختار تک حلقه‌ای دارد، شامل تیمین (T)، سیتوزین (C) و یوراسیل (U). در دِنا باز یوراسیل شرکت ندارد و به جای آن تیمین وجود دارد و در رِنا به جای تیمین، باز یوراسیل وجود دارد.

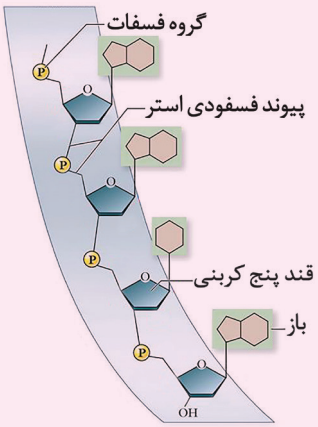
نکته ۴

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

نکته ۵

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

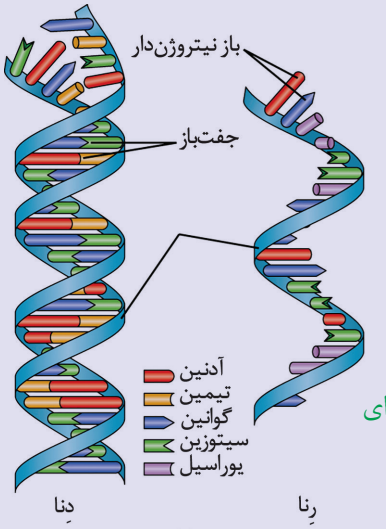
نوکلئوتیدها با نوعی پیوند اشتراکی به نام فسفودی‌استر به هم متصل می‌شوند و رشتهٔ پلی نوکلئوتیدی را می‌سازند. در تشکیل پیوند فسفودی‌استر، فسفات یک نوکلئوتید به گروه هیدروکسیل (OH) از قند مربوط به نوکلئوتید دیگر متصل می‌شود. رشته‌های پلی‌نوکلئوتیدی یا به تنهایی نوکلئیک‌اسید را می‌سازند مثل رنا، یا به صورت دوتایی مقابل هم قرار می‌گیرند و نوکلئیک‌اسیدهایی مثل دِنا را می‌سازند.



بخشی از رشته نوکلئیک اسید

نکته ۶

مولکول‌های دِنا از دو رشته پلی نوکلئوتید و مولکول‌های رِنا از یک رشته پلی نوکلئوتید تشکیل می‌شوند. دو انتهای رشته‌های پلی‌نوکلئوتید نیز می‌توانند با پیوند فسفودی‌استر به هم متصل شوند و نوکلئیک‌اسید **حلقوی** را ایجاد کنند؛ برای مثال دِنا در باکتری‌ها به صورت حلقوی است، در نوکلئیک‌اسیدهای **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.



دنای دو رشته‌ای و رنای تک رشته‌ای

نکته ۷

توجه داشته باشید که هر چند نوکلئوتیدهای دنا (DNA) و رنا (RNA) می‌توانند در بازهای آلی آدنین، سیتوزین و گوانین اشتراک داشته باشند اما به دلیل تفاوت در ساختار قندهایشان هرگز نمی‌توانند کاملاً یکسان باشند.

نکته ۸

دنا و رنا در وجود انواع بازهای پورینی و همچنین یک نوع باز پیریمیدینی یعنی سیتوزین دارای اشتراک‌اند.

نکته ۹

برای تشکیل یک نوکلئوتید، لازم است باز آلی نیتروژن‌دار و گروه فسفات به دو طرف قند با پیوند اشتراکی (کووالانسی)، متصل شوند.

نکته ۱۰

با توجه به تصویر فصل ۱ می‌توان گفت: ۱ برای تشکیل هر نوکلئوتید لازم است قند ۵ کربنه [ریبوز یا دئوکسی‌ریبوز] از یک سو با پیوند کووالانسی (اشتراکی) به باز آلی و از سوی دیگر با پیوند اشتراکی به فسفات [یا فسفات‌ها] متصل شود.
۲ در نوکلئوتیدهایی که باز آلی دو حلقه‌ای دارند، پیوندِ قند ـ باز بین قند ۵ کربنه و حلقهٔ ۵ ضلعی باز آلی برقرار می‌شود.

نکته ۱۱

در ارتباط با تصویر فصل ۱ می‌توان گفت: ۱ مولکول دنا به شکل نردبانی است که نرده‌های آن را قند، فسفات و پیوندهای فسفودی‌استر و پلّه‌های آن را بازهای آلی و پیوندهای هیدروژنی تشکیل می‌دهند. ۲ هر چند رنا مولکولی تک رشته‌ای است ولی در بخش‌هایی از آن، پیوندهای هیدروژنی، بین بازهای آلی مکمل، برقرار می‌شود.

نکته ۱۲

در هر رشتهٔ پلی نوکلئوتیدی خطی، دو سر رشته، دارای فسفات و هیدروکسیل بوده و با هم تفاوت دارند.

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 به دست آمده باشد با یکدیگر برابر باشد.
امّا مشاهدات و تحقیقات چارگاف 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.

استفاده از پرتو ایکس برای تهیه تصویر از دِنا

ویلکینز و فرانکلین با استفاده از پرتو ایکس از مولکول‌های دِنا تصاویری تهیه کردند.
با بررسی این تصاویر در مورد ساختار دِنا نتایجی را به دست آوردند از جمله اینکه دِنا حالت مارپیچی و بیش از یک رشته دارد. البته با استفاده از این روش ابعاد مولکول‌ها را نیز تشخیص دادند.

ویلکینز　　فرانکلین

تصویر تهیه شده با پرتو ایکس از مولکول دِنا توسط ویلکینز و فرانکلین

مدل مولکولی دِنا

واتسون و کریک با استفاده از نتایج آزمایش‌های چارگاف و داده‌های حاصل از تصاویر تهیه شده با پرتو ایکس و با استفاده از یافته‌های خود، 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.

واتسون و کریک و مدل پیشنهادی آنها برای دنا

نکات کلیدی مدل واتسون و کریک

هر مولکول دِنا در حقیقت از دو رشته پلی نوکلئوتیدی ساخته شده است که به دور محوری فرضی پیچیده شده و ساختار مارپیچ دو رشته‌ای را ایجاد می‌کند.

نکته ۱

مارپیچ دنا **اغلب** با یک نردبان پیچ‌خورده مقایسه می‌شود. ستون‌های این نردبان را قند و فسفات و پله‌ها را بازهای آلی تشکیل می‌دهند. بین قند یک نوکلئوتید و قند نوکلئوتید مجاور پیوند فسفودی‌استر و بین بازهای روبه‌روی هم پیوند هیدروژنی برقرار است.

مدل مارپیچ دو رشته‌ای دنا

نکته ۲

پیوندهای هیدروژنی بین بازها، دو رشته دِنا را در مقابل هم نگه می‌دارد. این پیوندها بین جفت بازها به صورت اختصاصی تشکیل می‌شوند. آدنین (A) با تیمین (T) روبه‌روی هم قرار می‌گیرند و گوانین (G) با سیتوزین (C) جفت می‌شوند. به این جفت بازها بازهای مکمل می‌گویند. بین C و G نسبت به A و T پیوند هیدروژنی بیشتری تشکیل می‌شود.

نکته ۳

قرارگیری جفت بازها به این شکل باعث می‌شود که قطر مولکول دنا در سراسر آن یکسان باشد. زیرا یک باز تک حلقه‌ای در مقابل یک باز دو حلقه‌ای قرار می‌گیرد و باعث پایداری مولکول دنا می‌شود.

نتیجه دیگرِ جفت شدن بازهای مکمل این است که اگرچه دو رشتهٔ یک مولکول دِنا یکسان نیستند، ولی شناسایی ترتیب نوکلئوتیدهای هر کدام می‌تواند ترتیب نوکلئوتیدهای رشتهٔ دیگر را هم مشخص کند؛ مثلاً اگر ترتیب نوکلئوتیدها در یک رشته ATGC باشد ترتیب نوکلئوتیدها در رشتهٔ مکمل آن باید TACG باشد.

نکته ۴

اگرچه هر پیوند هیدروژنی به تنهایی انرژی پیوند کمی دارد، ولی وجود هزاران یا میلیون‌ها نوکلئوتید و برقراری پیوند هیدروژنی بین آنها به مولکول دِنا حالت پایدارتری می‌دهد. در عین حال، دو رشته دِنا در موقع نیاز هم می‌توانند در **بعضی** نقاط از هم جدا شوند بدون اینکه پایداری آنها به هم بخورد.

نکته ۵

تحقیقات چارگاف منتهی به کشف این نکته شد که مقدار آدنین با تیمین و گوانین با سیتوزین در دنا برابر است. اما دلیل برابری نوکلئوتیدهای دارای این بازها و تعداد پیوندهای هیدروژنی بین آنها توسط این دانشمند مشخص نشد.

نکته ۶

مدل مولکولی ارائه شده از دنا، توسط واتسون و کریک با استفاده از نتایج آزمایشات چارگاف، داده‌های حاصل از تصاویر تهیه شده از دنا با استفاده از پرتوهای ایکس توسط ویلکینز و فرانکلین و همچنین با استفاده از یافته‌های سایر دانشمندان ارائه شد و امروزه نیز مورد تأیید است.

نکته ۷

در ساختار دنا بین سیتوزین و گوانین، بیشترین (۳) و بین آدنین و تیمین، کمترین (۲) پیوند هیدروژنی تشکیل می‌شود.

نکته ۸

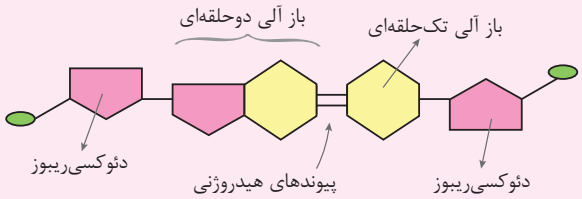
در هر مولکول دنا همواره تعداد بازهای پورینی و پیریمیدینی برابر است و در هر پله آن یک باز پورینی در برابر یک باز پیریمیدینی قرار گرفته است که این امر باعث ثبات قطر مولکول دنا می‌شود که خود عاملی برای پایداری اطلاعات دنا و فشرده شدن بهتر فام‌تن‌ها محسوب می‌شود.

نکته ۹

دقت کنید که هر چند پیوندهای هیدروژنی عامل ثبات قطر دنا هستند اما در موقع نیاز می‌توانند بدون اینکه پایداری دنا به هم بخورد در بعضی از نقاط از هم جدا شوند.

نکته ۱۰

در ساختار دنا، اولاً پیوند بین دو نوکلئوتید مجاور در یک رشته فقط اشتراکی (فسفودی‌استر) است و هیچ‌گونه پیوند غیراشتراکی بین آنها برقرار نمی‌شود، ثانیاً پیوند بین دو نوکلئوتید مقابل از دو رشتهٔ دنا، تنها از نوع غیراشتراکیِ هیدروژنی است.



هر جفت نوکلئوتید مکمل دنا، دارای ۵ حلقه آلی در ساختار خود است [۲ حلقهٔ قندی و ۳ حلقهٔ بازی یا دو حلقهٔ ۶ ضلعی و ۳ حلقهٔ ۵ ضلعی] که پیوند هیدروژنی بین نوکلئوتیدهای مکمل، لزوماً بین حلقه‌های ۶ ضلعی برقرار می‌شود.

نکته ۱۱

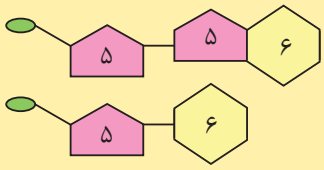
تعداد پیوندهای فسفودی‌استر در دناهای حلقوی، رناها و دناهای خطی با n نوکلئوتید به ترتیب، n، n − ۱ و n − ۲ است.

نکته ۱۲

وجود دنای خطی یا هیستون بیانگر یوکاریوت بودن یاخته و وجود دنای حلقویِ متصل به غشا و همچنین وجود پلازمید، دیسک یا فام‌تن کمکی، بیانگر پروکاریوت بودنِ یاخته است اما وجود دنایِ حلقوی در یاخته، با توجه به اینکه میتوکندری و کلروپلاست، دنای حلقوی دارند، نمی‌تواند نشان دهد، یاخته پروکاریوتی است یا یوکاریوتی!

نکته ۱۳

هر چند بازهای آلی، یک یا دو حلقه‌ای‌اند، اما چون در ساختار هر نوکلئوتید، قند که ساختار حلقوی دارد نیز به کار می‌رود، هر نوکلئوتید، ۲ یا ۳ حلقه دارد، توجه داشته باشید که پیوند اشتراکی بین قند و باز در نوکلئوتیدهای ۲ حلقه‌ای، بین حلقه‌های ۵ و ۶ کربنه برقرار می‌شود و در نوکلئوتیدهای ۳ حلقه‌ای بین حلقه‌های ۵ کربنه برقرار می‌شود پس هرگز در یک نوکلئوتید پیوند بین حلقه‌های ۶ ضلعی وجود ندارد.



نکته ۱۴

چون تعداد گروه‌های فسفات در یک نوکلئوتید بین ۱ تا ۳ است و قندِ یک نوکلئوتید می‌تواند ریبوز یا دئوکسی ریبوز باشد می‌توان گفت: در یاخته ۶ نوع نوکلئوتیدِ سیتوزین‌دار، ۶ نوع نوکلئوتیدِ گوانین‌دار، ۶ نوع نوکلئوتیدِ آدنین‌دار، ۳ نوع نوکلئوتیدِ تیمین‌دار و ۳ نوع نوکلئوتیدِ یوراسیل‌دار وجود دارد.

تست ۴ **چند نوع نوکلئوتید دو فسفاته با باز آلی پیریمیدینی در یاخته قابل تصور است؟**

۱) ۳ ۲) ۴ ۳) ۶ ۴) ۸

پاسخ: بازهای آلی پیریمیدینی شامل سیتوزین، یوراسیل و تیمین‌اند که هر کدام می‌توانند در ساختار نوکلئوتیدی با دو گروه فسفات قرار گیرند اما تیمین فقط در دنا و یوراسیل فقط در رنا قرار می‌گیرد. بنابراین نوکلئوتید دو فسفاته دارای باز تیمین فقط دارای قند دئوکسی ریبوز و نوکلئوتید دو فسفاته دارای یوراسیل فقط دارای قند ریبوز است اما نوکلئوتید دو فسفاتهٔ دارای باز سیتوزین هم می‌تواند دارای قند ریبوز و هم می‌تواند قند دئوکسی ریبوز داشته باشد. بنابراین می‌توان گفت ۴ نوع نوکلئوتید دو فسفاته با باز آلی پیریمیدینی در یاخته قابل تصور است پس گزینهٔ مورد قبول گزینهٔ دو می‌باشد.

تست ۵ **چند نوع نوکلئوتید یک فسفاته با باز آلی دو حلقه‌ای در یاخته قابل تصور است؟**

۱) ۳ ۲) ۴ ۳) ۶ ۴) ۸

پاسخ: منظور از نوکلئوتید یک فسفاته با باز آلی دو حلقه‌ای، نوکلئوتیدی است که بازهای آلی گوانین یا آدنین و یک فسفات دارد و چون هم گوانین و هم آدنین می‌توانند در ساختار دنا و رنا دیده شوند بنابراین هر یک از نوکلئوتیدهای مورد نظر می‌توانند به قند ریبوز یا قند دئوکسی ریبوز متصل شوند و ۴ نوع نوکلئوتید یک فسفاته با باز آلی دو حلقه‌ای را تشکیل دهند بنابراین گزینهٔ مورد قبول گزینهٔ دو می‌باشد.

تست ۶ **کشف ..... دنا از نتایج بررسی تصاویر به دست آمده توسط پرتو ایکس، بر روی دنا، نمی‌باشد.**

۱) مارپیچی بودن
۲) چند رشته‌ای بودن
۳) برابری تعداد بازهای ۱ و ۲ حلقه‌ای
۴) ابعاد مولکول

پاسخ: به کمک نتایج حاصل از بررسی تصاویر به دست آمده توسط پرتو ایکس مشخص شد که دنا حالت مارپیچی دارد و دارای بیش از یک رشته است ضمناً به کمک این روش ابعاد دنا نیز مشخص شد اما برابری تعداد بازهای یک حلقه‌ای و دو حلقه‌ای، حاصل تحقیقات چارگاف بود بنابراین گزینهٔ سه پاسخ مورد نظر است.

تست ۷ **ثبات قطر دنا باعث ..... می‌شود.**

۱) تشابه دو رشتهٔ آن و برقراری حداکثر پیوندهای هیدروژنی
۲) پایداری اطلاعات آن و فشرده شدن بهتر فام‌تن‌ها
۳) مکمل شدن رشته‌های آن و فشرده شدن بهتر فام‌تن‌ها
۴) پایداری اطلاعات آن و برقراری حداکثر پیوندهای هیدروژنی

پاسخ: ثبات قطر دنا باعث پایداری اطلاعات آن می‌شود و به فشرده شدن بهتر فام‌تن‌ها کمک می‌کند بنابراین پاسخ صحیح گزینهٔ دو است.

رِنا و انواع آن

رنا نوع دیگری از نوکلئیک اسیدها، است. مولکول رِنا تک رشته‌ای است و از روی بخشی از یکی از رشته‌های دِنا ساخته می‌شود. رِناها نقش‌های متعددی دارند که به بعضی از آنها اشاره می‌کنیم:

رِنای پیک (mRNA): اطلاعات را از دِنا به رِناتَن‌ها می‌رساند. رِناتَن با استفاده از اطلاعات رِنای پیک، پروتئین‌سازی می‌کند که در فصل بعد با آن آشنا خواهید شد.

رِنای ناقل (tRNA): آمینواسیدها را برای استفاده در پروتئین‌سازی به سمت رِناتَن‌ها می‌برد.

رِنای رِناتَنی (rRNA): در ساختار رِناتَن‌ها علاوه بر پروتئین، رِنای رِناتَنی نیز شرکت دارد.

علاوه بر این نقش‌ها، رِناها نقش آنزیمی و دخالت در تنظیم بیان ژن نیز دارند.

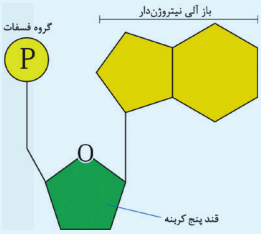
خانم دکتر و آقای دکتر آینده توجه کنید:

شناخت دِنا و رِنا:

در همهٔ یاخته‌های زنده ۲ نوع نوکلئیک‌اسید DNA (دنا) و RNA (رنا) وجود دارد که مولکول‌های دنا می‌توانند به شکل خطی یا حلقوی دیده شوند و لزوماً ۲ رشته‌ای‌اند. مولکول‌های رنا تک رشته‌ای بوده و فقط به شکل خطی دیده می‌شوند بنابراین بد نیست در همین ابتدای کار بخاطر بسپارید که تمام یاخته‌های زنده مگر حالت‌های خاصی مثل گویچه‌های قرمز بالغ که هستهٔ خود را از دست داده‌اند، دارای ۲ نوع نوکلئیک‌اسید می‌باشند که یک نوع آن لزوماً خطی است یعنی هر یاختهٔ زنده‌ای دارای نوکلئیک‌اسید خطی [نه دنای خطی!] می‌باشد که منظور همان RNA است ضمناً با توجه به اینکه مولکول‌های دنا در هستهٔ یاخته‌های هوهسته‌ای به شکل خطی و در راکیزه و سبزدیسهٔ این یاخته‌ها و همچنین درون یاخته‌های پیش‌هسته‌ای به شکل حلقوی دیده می‌شوند می‌توان گفت که دنای حلقوی هم در یاخته‌های هوهسته‌ای و هم در یاخته‌های پیش‌هسته‌ای دیده می‌شود اما دنای خطی مخصوص یاخته‌های هوهسته‌ای است.

بد نیست توجه داشته باشید که در پیش‌هسته‌ای‌ها لزوماً یک دنای حلقوی متصل به غشا به نام دنای اصلی دیده می‌شود و در بعضی از یاخته‌های پیش‌هسته‌ای مولکول‌های دنای کوچکی به نام دیسک (پلازمید) یا فام‌تن کمکی نیز دیده می‌شود که حاوی ژن‌هایی متفاوت با دنای اصلی‌اند مثلاً ژن مقاومت به پادزیست دارند. بنابراین اگر عنوان شود یاخته‌ای دارای DNA ی حلقوی متصل به غشا است و یا درون یاخته‌ای دیسک وجود دارد، آن یاخته لزوماً پیش‌هسته‌ای است. چون هر چند در راکیزه و سبزدیسهٔ هوهسته‌ای‌ها نیز دنای حلقوی دیده می‌شود امّا این مولکول‌های دنا نه به غشا اتصال دارند و نه دیسک نامیده می‌شوند! از آنجا که در ساختار دنا قند دئوکسی ریبوز و ۴ نوع باز A,T,C,G به کار می‌رود و در ساختار رنا قند ریبوز و ۴ نوع باز آلی A,U,C,G به کار می‌رود می‌توان گفت به طور کلی در ساختار دنا و رنا ۸ نوع نوکلئوتید به عنوان تکپارهای ا فسفاته وجود دارد [یعنی ۴ نوع دئوکسی ریبونوکلئوتید تک فسفاته و ۴ نوع ریبونوکلئوتید تک فسفاته] ضمناً در ساختار دنا و رنا روی هم ۵ نوع باز آلی A,C,T,G,U و ۲ نوع قند ۵ کربنه یعنی ریبوز و دئوکسی ریبوز به کار رفته است.

برای شناخت دقیق ساختار دنا و رنا لازم است متن زیر را با دقت و تمرکز بخوانید تا بتوانید پاسخگوی سوالات فراوان مربوط به این مولکول‌ها باشید:



توجه داشته باشید که هم مولکول‌های DNA و هم مولکول‌های RNA از مونومرهایی (تکپارهایی) به نام نوکلئوتید تشکیل شده‌اند. هر نوکلئوتید خود از ۳ بخش قند، باز و فسفات تشکیل شده است به طوریکه مولکول‌های قند موجود در هر نوکلئوتید از یک سو در پیوند اشتراکی با باز آلی و از سوی دیگر در پیوند اشتراکی با گروه فسفات قرار می‌گیرند تا نوکلئوتید ساخته شود.

مولکول‌های قندی که در ساختار رنا به کار می‌روند از نوع ریبوزاند و بازهای آلی رنا از ۴ نوع A,U,C,G می‌باشند و از اتصال قند و باز با پیوند اشتراکی بخش اصلی یک نوکلئوتید شکل می‌گیرد اما لازم است توجه داشته باشید که هنوز ساختار نوکلئوتید تشکیل نشده است در واقع تا زمانی که فسفات به ترکیب حاصل از اتصال قند و باز اضافه نشود نوکلئوتید به وجود نیامده است. مثلاً به دنبال اتصال قند ریبوز به باز آدنین، ساختاری به نام آدنوزین تشکیل می‌شود که چون هنوز فسفات ندارد، نوکلئوتید محسوب نمی‌شود امّا زمانی که به این ساختار یک گروه فسفات اضافه شود یک نوکلئوتید تک فسفاته به نام آدنوزین مونوفسفات (AMP) تشکیل شده است سپس با اضافه شدن یک فسفات دیگر به این مولکول، نوکلئوتیدی دو فسفاته یعنی ADP به وجود می‌آید و در صورتیکه یک فسفات دیگر به این مولکول اضافه شود نوکلئوتید ۳ فسفاته یعنی ATP به وجود می‌آید و همانطور که می‌دانید ADP و ATP در نقل و انتقال انرژی درون یاخته بسیار مهم‌اند به طوریکه ADP می‌تواند با دریافت انرژی به ATP تبدیل شود و ATP می‌تواند با آزاد کردن انرژی مجدداً به ADP تبدیل گردد.

بازهایی که در ساختار دنا یا رنا به کار می‌روند می‌توانند دارای یک حلقهٔ ۶ ضلعی در ساختار خود باشند که در این صورت به بازهای آلی تک حلقه‌ای یا پیریمیدینی معروف‌اند این بازها شامل ۳ نوع باز سیتوزین (C)، تیمین (T) و یوراسیل (U) می‌باشند که یکی از آنها یعنی سیتوزین هم در ساختار دنا و هم در ساختار رنا به کار می‌رود امّا از ۲ باز تک حلقه‌ای دیگر تیمین

(T) فقط در ساختار دنا و یوراسیل (U) فقط در ساختار رنا به کار می‌رود به علاوه ۲ نوع باز دیگر یعنی آدنین (A) و گوانین (G) که هم در ساختار نوکلئوتیدهای دنا و هم در ساختار نوکلئوتیدهای رنا به کار می‌روند ۲ حلقه‌ای بوده و پورینی نامیده می‌شوند و دارای یک حلقهٔ ۵ ضلعی و یک حلقهٔ ۶ ضلعی‌اند و هنگام اتصال به قند از سمت حلقهٔ ۵ ضلعی خود به قند متصل شده و نوکلئوتید را تشکیل می‌دهند بنابراین در ساختار هر نوکلئوتید لزوماً یک حلقهٔ ۵ ضلعی که مربوط به قند است وجود دارد که می‌تواند در اتصال با یک حلقهٔ ۶ ضلعی که همان باز پیریمیدینی است قرار گرفته باشد و یا می‌تواند در اتصال با حلقهٔ ۵ ضلعی باز پورینی قرار گرفته باشد. بنابراین نوکلئوتیدهای موجود در یاخته یا دارای باز پیریمیدینی بوده و در ساختار خود ۲ حلقه دارند که یکی مربوط به قند و دیگری مربوط به باز است و دیگری دارای باز پورینی بوده و در ساختار خود ۳ حلقه دارند که یکی مربوط به قند و ۲ تای دیگر مربوط به باز است و لازم است توجه داشته باشید که در ساختار یک نوکلئوتید، پیوند اشتراکی بین قند و باز به شرط تک حلقه‌ای بودن باز، بین حلقه‌های ۵ و ۶ ضلعی و به شرط دو حلقه‌ای بودن باز، بین حلقه‌های ۵ ضلعی برقرار می‌شود یعنی هرگز ممکن نیست در ساختار یک نوکلئوتید پیوند بین ۲ حلقهٔ شش ضلعی مشاهده شود اما این امکان نیز وجود دارد که پیوند اشتراکی بین ۲ حلقهٔ ۵ ضلعی یا یک حلقهٔ ۵ ضلعی با یک حلقهٔ ۶ ضلعی مشاهده گردد.

پس از آنکه ساختار نوکلئوتیدها تکمیل شد این نوکلئوتیدها با پیوند اشتراکی فسفودی‌استر به یکدیگر متصل می‌شوند و مولکول‌های رنا یا دنا را به وجود می‌آورند با این تفاوت که مولکول‌های رنا تک رشته‌ای‌اند و مولکول‌های دنا ساختاری دو رشته‌ای دارند بنابراین در مولکول‌های رنا جفت نوکلئوتیدها و پیوندهای هیدروژنی بین آنها اهمیت چندانی ندارند امّا در مولکول‌های دنا چون نوکلئوتیدها در ۲ رشتهٔ مکمل هم قرار دارند وجود جفت نوکلئوتیدها و پیوندهای هیدروژنی بین آنها دارای اهمیت زیادی است. در واقع در مولکول‌های دنا بازهای آدنین و تیمین در مقابل هم و بازهای سیتوزین و گوانین نیز در مقابل هم قرار می‌گیرند و بین T و A، ۲ پیوند هیدروژنی و بین G و C، ۳ پیوند هیدروژنی تشکیل می‌شود تا مولکول به حداکثر مقدار پایداری خود برسد. توجه داشته باشید که تنها پیوندی که بین بازها برقرار می‌شود پیوند هیدروژنی است و این پیوند بین بازهای مکمل تشکیل خواهد شد و به عبارت ساده‌تر بازهای مربوط به ۲ نوکلئوتید مجاور به هم در یک رشته در شرایط طبیعی هرگز در تشکیل پیوند با هم شرکت نمی‌کنند [البته ممکن است در مواردی مثل ایجاد جهش یافته‌ها که غیرطبیعی محسوب می‌شوند بازهای مجاور با هم در تشکیل پیوند کووالانسی شرکت کنند و ساختارهایی مثل دوپار تیمین را تشکیل دهند که موضوع صحبت این بحث نیست].

در انتها لازم است که به این نکتهٔ مهم توجه داشته باشید که هر چند مولکول‌های رنا برخلاف دنا ساختاری تک رشته‌ای دارند. امّا در این مولکول‌ها نیز ممکن است بخش‌هایی از مولکول در مجاورت یکدیگر قرار گرفته و با هم تشکیل پیوند هیدروژنی دهند مثلاً در ساختار رناهای ناقل [tRNA ها] به دلیل تشکیل پیوند هیدروژنی در بخش‌هایی از مولکول رناهای ناقل ابتدا به شکل برگ شبدر در می‌آید و ساختاری به نام ساختار تاخوردگی اولیه پیدا می‌کنند بنابراین تنها با اشاره به این نکته که در ساختار نوعی نوکلئیک‌اسید، تعدادی پیوند هیدروژنی بین نوکلئوتیدها برقرار شده است «نمی‌توان گفت که نوکلئیک اسید مورد بحث دنا است!»

ژن چیست؟

طبق آزمایش‌های ایوری و همکارانش، اطلاعات وراثتی در دِنا قرار دارند و از نسلی به نسل دیگر منتقل می‌شوند. این اطلاعات در واحدهایی به نام ژن سازماندهی شده‌اند. ژن بخشی از مولکول دِنا است که بیان آن می‌تواند به تولید رِنا یا پلی‌پپتید بینجامد.

دخالت نوکلئوتیدها در واکنش‌های سوخت و سازی

نوکلئوتیدها علاوه برشرکت در ساختار دِنا و رِنا نقش‌های اساسی دیگری نیز در یاخته برعهده دارند. برای مثال نوکلئوتید آدنین‌دار ATP (آدنوزین تری‌فسفات) به عنوان منبع رایج انرژی در یاخته است و یاخته در فعالیت‌های مختلف از آن استفاده می‌کند.

همچنین نوکلئوتیدها در ساختار مولکول‌هایی مثل NADH وارد می‌شوند که در فرایندهای فتوسنتز و تنفس یاخته‌ای نقش حامل الکترون را بر عهده دارند.