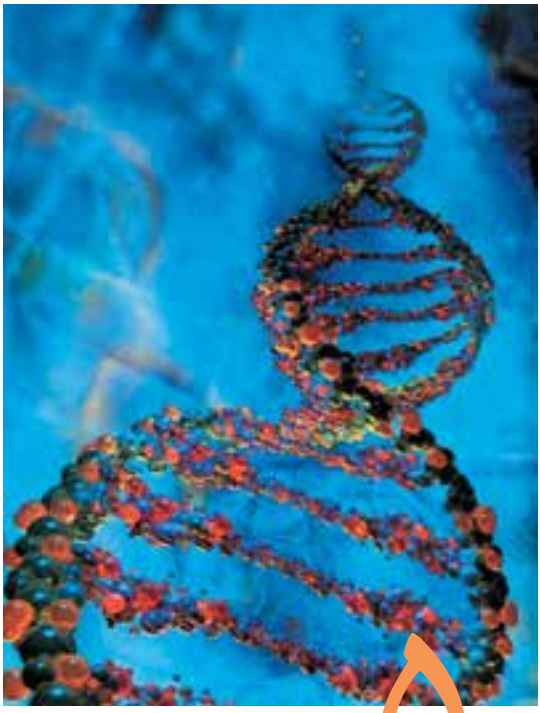
بخش دوم

وراثت، تولیدمثل و رشد و نمو



مدل رایانه‌ای
DNA

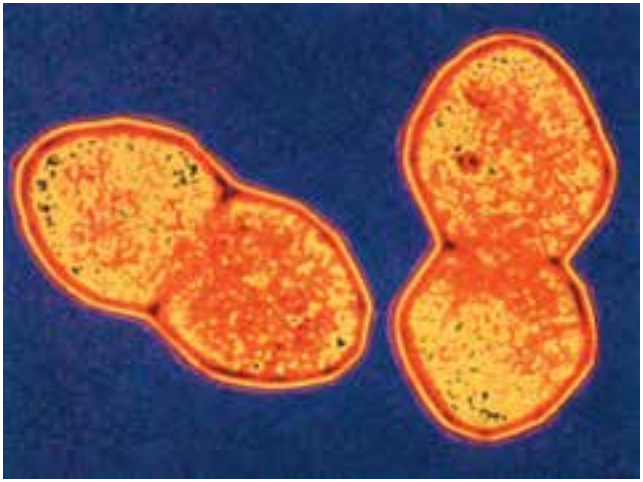
۵ ماده‌ی ژنتیک

در سال اول دبیرستان با ساختار کروموزوم‌ها و DNA به‌طور مختصر آشنا شدید. امروزه می‌دانیم که نوکلئیک اسیدها ماده‌ی ژنتیک را تشکیل می‌دهند. زیست‌شناسان عاملی را که باعث انتقال خصوصیات و ویژگی‌های یک نوع جاندار، از نسلی به نسل دیگر می‌شود، **ماده‌ی ژنتیک** می‌نامند. در ماده‌ی ژنتیک **اطلاعات** و **دستورالعمل**هایی نهفته است که بسیاری از ویژگی‌های جاندار به آن‌ها بستگی دارد.

در آغاز قرن بیستم تلاش‌های فراوانی برای یافتن ماده‌ی ژنتیک در سلول آغاز شد. در آن زمان زیست‌شناسان نمی‌دانستند که ماده‌ی ژنتیک کدام یک از مولکول‌های درون سلول است ؛ اما می‌دانستند برای آن که مولکولی بتواند نقش ماده‌ی ژنتیک را ایفا کند، باید ویژگی‌های خاصی داشته باشد. مثلاً بتواند اطلاعات ژنتیک را در خود ذخیره کند، آن‌ها را از نسلی به نسل دیگر منتقل کند و در عین حال نسبتاً پایدار باشد تا بتواند در سراسر زندگی فرد، خود را حفظ کند.

۱ در جستجوی ماده‌ی ژنتیک

در سال ۱۹۲۸، آزمایشی که ارتباط چندانی با ژنتیک نداشت، منجر به کشف بزرگی درباره‌ی ماده‌ی ژنتیک شد. در این سال فردریک گریفیت[۱] که باکتری شناس بود، سعی می‌کرد تا واکسنی علیه باکتری مولد ذات‌الریه، که نام علمیِ آن *استرپتوکوکوس نومونیا*[۲] است، تهیه کند (شکل ۱ــ ۵).



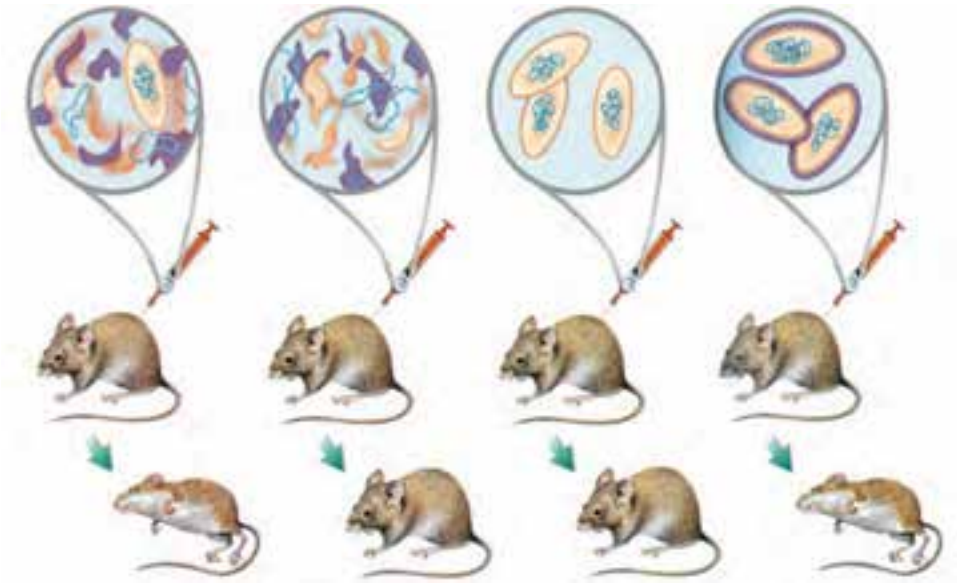
شکل ۱ــ ۵ ــ باکتری مولد بیماری ذات‌الریه (×۱۷۲۵۰)

گریفیت روی دو نوع (سویه) از این باکتری‌ها کار می‌کرد. یکی از این سویه‌ها، کپسولی پلی‌ساکاریدی دارد که اطراف باکتری را احاطه می‌کند. این کپسول، باکتری را در برابر دستگاه ایمنی بدن محافظت می‌کند و در نتیجه موجب بیماری‌زایی آن می‌شود. سویه‌ی دیگر این نوع باکتری، بدون کپسول پلی‌ساکاریدی است و به این علت موجب بیماری ذات‌الریه نمی‌شود.

۱ــ Frederick Griffith

۲ــ *Streptococcus pneumoniae*

گریفیت پی برده بود که تزریق باکتری کپسول‌دار به موش‌ها، موجب بیماری و مرگ آن‌ها می‌شود ؛ در حالی که موش‌هایی که به باکتری بدون کپسول آلوده شده‌اند، سالم باقی می‌مانند (شکل ۲ــ ۵). گریفیت برای بررسی این که آیا کپسول عامل مرگ موش‌هاست یا خیر، تعدادی باکتری کپسول‌دار را با گرما کُشت و سپس آن‌ها را به موش‌ها تزریق کرد. او مشاهده کرد که موش‌ها پس از آن بیمار نشدند و زنده ماندند.



۱ــ باکتری‌های کپسول‌دار موش را می‌کشند.

۲ــ باکتری‌های بدون کپسول موش را نمی‌کشند.

۳ــ باکتری‌های کپسول‌داری که با گرما کشته شده‌اند، موش را نمی‌کشند.

۴ــ باکتری‌های کپسول‌داری که با گرما کشته شده‌اند، همراه با باکتری زنده‌ی بدون کپسول، موش را می‌کشند!

شکل ۲ــ ۵ ــ آزمایش گریفیت.

گریفیت دریافت که کپسول باکتری عامل مرگ‌موش‌ها نیست. او سپس باکتری‌های بدون کپسول زنده و باکتری‌های کپسول‌داری را که بر اثر گرما کشته بود، با یکدیگر مخلوط و مخلوط حاصل را به موش‌ها تزریق کرد. نتیجه‌ی این آزمایش غیرمنتظره بود. او مشاهده کرد که همه‌ی موش‌ها در اثر ابتلا به بیماری ذات‌الریه مُردند. گریفیت پس از بررسی خون موش‌های مرده، با کمال

تعجب مشاهده کرد که در خون این موش‌ها، بعضی از باکتری‌های بدون کپسول، کپسول‌دار شده‌اند. به عبارت دیگر، باکتری‌های بدون کپسول تغییر شکل داده‌اند و به باکتری‌های کپسول‌دار تبدیل شده‌اند.

آنچه گریفیت مشاهده کرده بود، امروزه **ترانسفورماسیون**[1] نامیده می‌شود. در فرآیند ترانسفورماسیون، باکتری با دریافت مواد ژنتیک از محیط خارج، در خصوصیات ظاهری خود تغییراتی پدید می‌آورد. با آزمایش‌هایی که گریفیت انجام داد، علت ترانسفورماسیون باکتری‌های بدون کپسول و تبدیل آن‌ها به باکتری کپسول‌دار، مشخص نشد.

جستجو برای یافتن عامل ترانسفورماسیون که پژوهشگران مطمئن شده بودند این عامل همان ماده‌ی ژنتیک است، تا سال ۱۹۴۴ ادامه یافت.

آزمایش اِیوری

یکی از مهم‌ترین آزمایش‌ها در تاریخ زیست‌شناسی، آزمایش اُسوالد اِیوری[2] است که به شناسایی عامل ترانسفورماسیون انجامید و ماهیت ماده‌ی ژنتیک را آشکار ساخت. اِیوری و همکاران او با انجام این آزمایش، به بحث‌ها و پژوهش‌های چندین ساله درباره‌ی ماهیت ماده‌ی ژنتیک خاتمه دادند. و برگ زرینی به تاریخ زیست‌شناسی افزودند.

ایوری و همکارانش می‌دانستند که در سلول چهار نوع ماده‌ی شیمیایی اصلی وجود دارد. این مواد عبارت‌اند از : کربوهیدرات‌ها، لیپیدها، پروتئین‌ها و نوکلئیک اسیدها. بنابراین، عامل ترانسفورماسیون هرچه باشد، یکی از این چهار نوع است. گروه ایوری، در آن زمان آنزیم‌های تخریب‌کننده‌ی این چهار نوع ماده‌ی شیمیایی اصلی را در اختیار داشتند. آنان ابتدا عصاره‌ی سلولی باکتری‌های کپسول‌دار کشته شده را استخراج کردند. عصاره‌ی سلولی، همه‌ی مواد شیمیایی درون باکتری را در بردارد و سپس عصاره‌ی سلولی را به چند قسمت تقسیم و به هر قسمت یک نوع از آنزیم‌های تخریب کننده را اضافه کردند و کوشیدند با هر قسمت، به طور جداگانه، باکتری بدون کپسول زنده را وادار به ترانسفورماسیون کنند.

ایوری و همکارانش مشاهده کردند که ترانسفورماسیون فقط هنگامی رخ می‌دهد که DNA تخریب نشده باشد و به این ترتیب دریافتند که عامل ترانسفورماسیون، همان DNA موجود در باکتری‌های کپسول‌دار است.

تا پیش از ایوری، زیست‌شناسان اطلاعات زیادی درباره‌ی DNA در اختیار نداشتند ؛ اما

۱ـ transformation ۲ـ Oswald Avery

می‌دانستند که پروتئین‌ها بسیار متنوع‌اند و کارهای مختلفی در سلول انجام می‌دهند. به همین علت، تصور عمومی بر این بود که عامل ترانسفورماسیون نیز نوعی پروتئین است. ایوری دریافت که اگر پروتئین‌ها را با آنزیم‌های تخریب کننده‌ی پروتئین از بین ببریم، ترانسفورماسیون همچنان رخ می‌دهد و بنابراین عامل ترانسفورماسیون نمی‌تواند پروتئین باشد و چنان‌که دیدیم آنان به این نتیجه رسیدند که عامل ترانسفورماسیون، DNA است.

ایوری برای تحکیم ادعای خود، DNA باکتری‌های کپسول‌دار را به‌طور خالص تهیه کرد. وی دریافت که اگر به باکتری‌های بدون کپسول، DNA خالص مربوط به باکتری‌های کپسول‌دار، اضافه کنیم، باکتری‌های بدون کپسول به باکتری‌های کپسول‌دار تبدیل می‌شوند. به این ترتیب دیگر تردیدی باقی نماند که عامل ترانسفورماسیون، DNA است. در واقع DNA اطلاعات و دستورالعمل‌های لازم برای ساختن کپسول را به باکتری‌های بدون کپسول منتقل می‌کند و باکتری‌های بدون کپسول براساس این اطلاعات و دستورالعمل‌ها، کپسول می‌سازند. ایوری، بعد از ۱۶ سال آزمایش در سال ۱۹۴۴، گزارش نتایج پژوهش‌های خود را منتشر کرد. با انتشار گزارش اِیوری، توجه سایر دانشمندان نیز به DNA جلب شد و آنان با انجام آزمایش‌های دیگری اهمیت نقش DNA را به‌عنوان عامل ترانسفورماسیون، یا به عبارت دیگر ماده‌ی ژنتیک، بیش از پیش استوار کردند.

بیش‌تر بدانید

استرپتوکوکوس نومونیا در کجا زندگی می‌کند؟

استرپتوکوکوس نومونیا ممکن است در گلوی افراد سالم نیز زندگی کند. اگر دستگاه ایمنی بدن در اثر بیماری‌هایی، مانند آنفلوآنزا یا سوءِ تغذیه، تضعیف شود، آن‌گاه این باکتری به‌شش‌ها حمله می‌کند و موجب بیماری ذات‌الریه، یعنی التهاب شش‌ها می‌شود.

خودآزمایی ۱ــ ۵

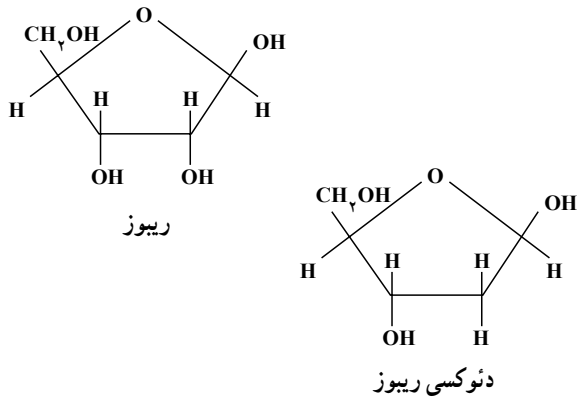
۱ــ آزمایش‌های گریفیت را به‌طور خلاصه بیان کنید.

۲ــ ترانسفورماسیون چیست؟

۳ــ چگونه آزمایش اِیوری نشان داد که DNA ماده‌ی ژنتیکی است؟ توضیح دهید.

۲ ساختار شیمیایی نوکلئیک اسیدها

اگر چه قبل از اِیوری، دانشمندان با ساختار شیمیایی نوکلئیک اسیدها آشنا بودند، اما از کار این مولکول‌ها اطلاعی نداشتند. در سال ۱۸۷۰ فردریک میشر[۱] از هسته‌ی سلول، ماده‌ای استخراج کرد که خاصیت اسیدی داشت و برهمین اساس، آن را **نوکلئیک اسید** (به معنی اسید هسته‌ای) نام‌گذاری کرد. بعد از مدتی معلوم شد که نوکلئیک اسیدهای موجود در سلول بر دو نوع‌اند : یکی **ریبونوکلئیک اسید** یا به اختصار **RNA** که در ساختار آن قند ریبوز به کار رفته است و دیگری **دئوکسی ریبونوکلئیک اسید** که در ساختار آن قند دئوکسی ریبوز به کار رفته است (شکل ۳ــ۵).



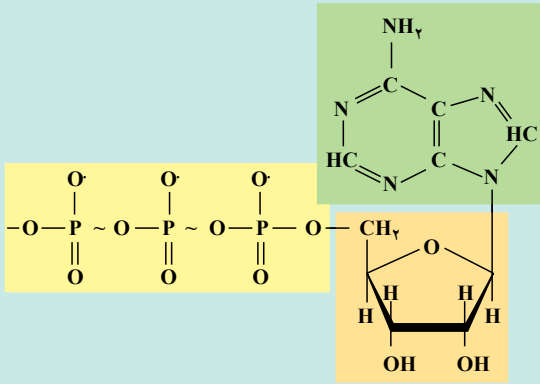
شکل ۳ــ ۵ ــ فرمول ساختاری ریبوز و دئوکسی ریبوز

نوکلئیک اسیدها، همانند کربوهیدرات‌ها و پروتئین‌ها، پلی‌مر هستند. واحدهای مونومری‌نوکلئیک اسیدها، **نوکلئوتید** نام دارد. هر نوکلئوتید از سه بخش تشکیل شده است (شکل ۴ــ۵) : (۱) یک قند پنج کربنی که ریبوز (در RNA) یا دئوکسی ریبوز (در DNA) است، (۲) یک تا سه گروه فسفات (۳)یک باز آلی نیتروژن‌دار که یا پورینی یا پیریمیدینی است. (ساختار بازهای پورینی، دو حلقه‌ای، اما ساختار بازهای پیریمیدینی یک حلقه‌ای است).

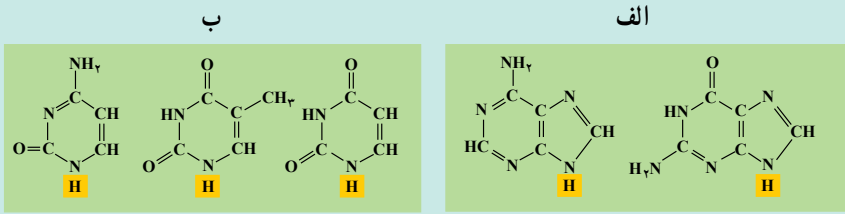
۱ــ Friederrich Miescher

بازهایی که در ساختار DNA شرکت می‌کنند، عبارت‌اند از آدنین[1] (A)، تیمین[2] (T)، سیتوزین[3](C) و گوانین[4] (G). در RNA به جای باز T، باز یوراسیل[5] (U) وجود دارد.

بیش‌تر بدانید



شکل ۴ــ ۵ ــ ساختار ATP. AMP یکی از مشتقات این مولکول انرژی‌زاست که در ساختار RNA شرکت دارد.

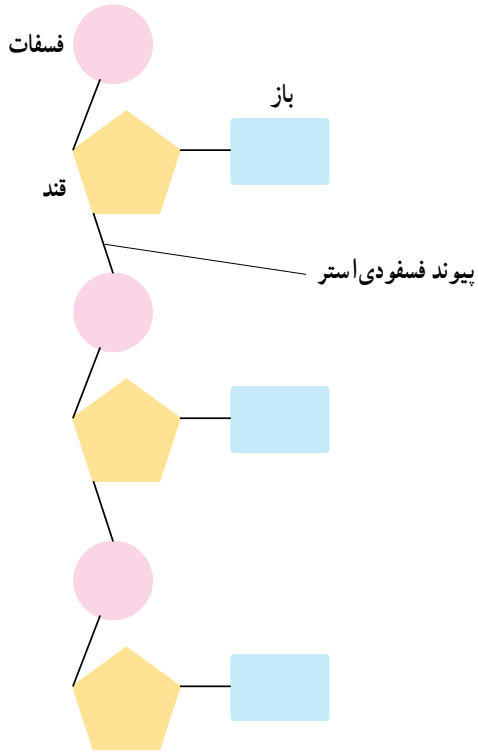


شکل ۵ــ ۵ ــ بازهایی که در ساختار نوکلئیک اسیدها به کار می‌روند.
الف ــ پورین‌ها و ب ــ پیریمیدین‌ها

از اتصال نوکلئوتیدها با یک‌دیگر، پلی‌مری خطی به وجود می‌آید (شکل ۶ــ۵). اتصال نوکلئوتیدها به یک‌دیگر از طریق برقراری پیوند کووالان بین گروه قند یک نوکلئوتید با گروه فسفات نوکلئوتید دیگر صورت می‌گیرد. نوکلئوتیدها در ابتدا به صورت آزاد، سه گروه فسفات دارند ؛ اما

۱ــ Adenine ۲ــ Thymine ۳ــ Cytosine
۴ــ Guanine ۵ــ Uracil

هنگام برقراری پیوند با یکدیگر، دو گروه از سه گروه فسفات خود را از دست می‌دهند و فقط با یک گروه فسفات خود در رشته‌ی **پلی‌نوکلئوتیدی** جای می‌گیرند. پیوند بین دو نوکلئوتید را **پیوند فسفودی‌استر**[1] می‌نامند.



شکل ۶ــ ۵ ــ یک رشته‌ی پلی نوکلئوتیدی

اگر به دو انتهای رشته‌ی پلی‌نوکلئوتیدی شکل ۶ــ۵ نگاه کنید، خواهید دید که دو انتهای این رشته، مثل هم نیستند. در یک انتها، گروه فسفات وجود دارد، حال آن که در انتهای دیگر، گروه فسفات یافت نمی‌شود. از آنجا که دو انتهای رشته مثل هم نیست، می‌گویند رشته‌ی پلی‌نوکلئوتیدی دارای قطبیت است.

۱ــ Phosphodiester bond

خودآزمایی ۲ــ۵

۱ــ با رسم شکل ساختار عمومی یک نوکلئوتید را مشخص کنید و انواع نوکلئوتیدها را نام ببرید.

۲ــ چه تفاوتی بین DNA و RNA از نظر نوع قند و باز به کار رفته در ساختار آن‌ها وجود دارد؟

۳ــ پیوند بین دو نوکلئوتید را چه می‌نامند؟

۴ــ منظور از این که گفته می‌شود، رشته‌ی پلی نوکلئوتیدی دارای قطبیت است، چیست؟

کشف ساختار DNA

تا اواخر نیمه‌ی اول قرن بیستم، اطلاعاتی که درباره‌ی نوکلئیک اسیدها در دست بود، عمدتاً به‌اجزای تشکیل دهنده‌ی آن محدود می‌شد و درباره‌ی ساختار سه‌بعدی (فضایی) این مولکول اطلاعات چندانی در دست نبود. آزمایش‌هایی که در سال‌های اول نیمه‌ی دوم قرن بیستم، به انجام رسید، توانست ساختار سه‌بعدی مولکول DNA را مشخص کند. مشاهدات چارگف یکی از این موارد بود.

مشاهدات چارگف: در آغاز دهه‌ی ۱۹۵۰، اروین چارگف[1]، مقدار بازهای A، T، C و G را در DNA جانداران مختلف اندازه گرفت. او مشاهده کرد که بین نسبت بازهای DNA، رابطه‌ی جالبی برقرار است : در همه‌ی DNAهایی که او بررسی کرده بود، نسبت A به T و C به G برابر ۱ بود. این آزمایش نشان داد که در مولکول DNA، مقدار A با مقدار T(A T) و نیز مقدار C با مقدار G(C G) برابر است. به‌راستی این مشاهده‌ی چارگف، چه مفهومی می‌تواند داشته باشد؟

داده‌های حاصل از پراش پرتو X

در دهه‌ی ۱۹۵۰، زمانی که دانشمندان شروع به بررسی ساختار مولکول‌ها با کمک پراش پرتو ایکس کردند، اهمیت یافته‌های چارگف روشن‌تر شد. در این روش، پرتو X مستقیماً به بلور جسمی که می‌خواهند به ساختار آن پی ببرند، تابانده می‌شود. پرتوهای X پس از برخورد به‌جسم پراکنده می‌شوند و پرتوهای پراکنده شده روی صفحه‌ی حساس فیلم که در پشت بلور قرار دارد، ثبت

۱ــ Erwin Chargaff

می‌شوند. پژوهشگران با تجزیه و تحلیل الگوهای پیچیده‌ای که روی فیلم ثبت می‌شود، می‌توانند ساختار مولکول را تعیین کنند. این کار مثل آن است که بخواهیم با تجزیه و تحلیل سایه‌ی یک جسم به شکل و ساختار آن پی‌ببریم.

موریس ویلکینز[1] و **روزالین فرانکلین**[2]، تصاویری از بلورهای مولکول DNA با روش پراش پرتوایکس تهیه کردند (شکل ۷ ــ ۵). براساس این تصاویر معلوم شد که مولکول DNA به صورت مولکولی مارپیچی است که از دو یا سه زنجیره تشکیل شده است.

شکل ۷ ــ ۵ ــ تصویری که با روش پراش اشعه‌ی X از مولکول DNA گرفته شده است.

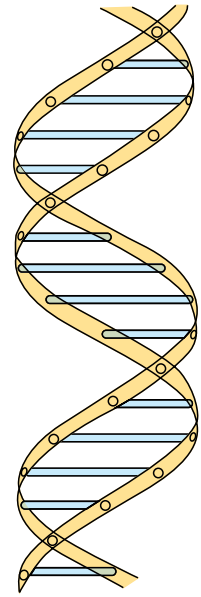
مدل واتسون و کریک: واتسون و کریک سرانجام در سال ۱۹۵۳ با کمک یافته‌های چارگف و داده‌های حاصل از روش پراش پرتوایکس که حاصل کارهای علمی فرانکلین و ویلکینز بود و نیز با شناختی که خود از پیوندهای شیمیایی داشتند، مدلی برای DNA پیشنهاد کردند.

مدلی که امروزه از DNA ارائه می‌شود، همان مدل واتسون و کریک است. شکل ۸ ــ ۵ واتسون و کریک را در کنار مدل گوی و میله‌ای خود از مولکول DNA نشان می‌دهد. در سال ۱۹۶۲ واتسون و کریک به خاطر این کشف خود، موفق به دریافت جایزه‌ی نوبل شدند.

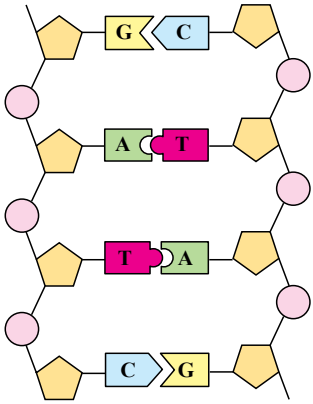
شکل ۸ ــ ۵ ــ واتسون و کریک در کنار مدل گوی و میله‌ی DNA

۱ــ Maurice Wilkins ۲ــ Rosalind Franklin

طبق مدل پیشنهادی واتسون و کریک، DNA از **دو رشته‌ی** پلی‌نوکلئوتیدی تشکیل شده است که حول یک محور فرضی، به دور یکدیگر پیچیده‌اند (شکل ۹ــ۵). این مدل، به مدل مارپیچ دو رشته‌ای (یا مارپیچ دوگانه) معروف شده است. مارپیچ دو رشته‌ای در واقع شبیه نردبانی است که حول محور طولی خود پیچ خورده است. نرده‌های این نردبان را گروه‌های قند ــ فسفات تشکیل می‌دهند. بازهای یک رشته در مقابل بازهای رشته‌ی دیگر قرار دارند و پله‌های این نردبان را می‌سازند. بین بازهایی که مقابل هم هستند، پیوند هیدروژنی وجود دارد.



مدل مارپیچ دورشته‌ای (دوگانه) DNA در این مدل دو رشته‌ی DNA را پیوندهای هیدروژنی به یکدیگر متصل می‌کنند.



بازهای مکمل در مارپیچ دو رشته‌ای DNA

شکل ۹ ــ ۵ ــ ساختار مولکول DNA

پیوند هیدروژنی بین بازها، دو رشته را کنار یکدیگر نگه می‌دارد. دو بازی را که با یکدیگر پیوند هیدروژنی دارند، **جفت باز** می‌نامند. جفت شدن بازها از قوانین خاصی پیروی می‌کند.

فعالیت ۱ــ ۵ ــ چگونه می‌توان DNA را از سلول‌های پیاز استخراج کرد؟

شما می‌توانید به کمک اتانول (الکل اتیلیک) و یک میله‌ی همزن، DNA را از سلول‌های پیاز استخراج کنید.

وسایل و مواد لازم: عینک ایمنی، دستکش پلاستیکی، ۵ میلی‌لیتر عصاره‌ی پیاز، لوله‌ی آزمایش، ۵ میلی‌لیتر اتانول سرد، پیپت پلاستیکی، میله‌ی همزن شیشه‌ای و جالوله‌ای.

روش کار

۱ــ ۵ میلی‌لیتر عصاره‌ی پیاز را در یک لوله‌ی آزمایش بریزید.

توجه: اتانول ماده‌ای است که قابلیت اشتعال دارد و نباید درمجاورت شعله از آن استفاده کنید.

۲ــ لوله‌ی آزمایش را به‌طوری در دست بگیرید که با خط افق زاویه‌ی ۴۵ بسازد. با کمک پیپت، اتانول سرد را قطره‌قطره به آن بیفزایید. دقت کنید که اتانول را به آرامی از کناره‌های لوله به عصاره‌ی پیاز اضافه کنید تا الکل به‌صورت یک لایه‌ی مجزا روی عصاره تشکیل شود.

۳ــ به مدت ۳ــ۲ دقیقه لوله‌ی آزمایش را به‌صورت قائم نگه‌دارید.

۴ــ یک همزن شیشه‌ای را در مرز بین عصاره‌ی پیاز و اتانول وارد کنید و آن را به آرامی حول محور آن بچرخانید.

۵ ــ میله‌ی همزن را از مایع خارج کنید و به بررسی موادی که به آن چسبیده‌اند بپردازید. با لبه‌ی لوله‌ی آزمایش این مواد را از همزن جدا کنید. به خواص فیزیکی این مواد دقت کنید.

۶ ــ قبل از ترک آزمایشگاه، ظروف و وسایل را تمیز بشویید و در محل خود قرار دهید.

تجزیه و تحلیل

ماده‌ای که به همزن می‌چسبد، DNA است. خواص فیزیکی آن را شرح دهید.

جفت شدن بازها: همان‌طور که در شکل ۹ــ ۵ می‌بینید، در مولکول DNA آدنینِ یک زنجیره با تیمینِ زنجیره‌ی مقابل و سیتوزینِ آن با گوانینِ زنجیره‌ی مقابل جفت می‌شود. علت این نحوه‌ی جفت شدن را باید در ساختار بازها جستجو کرد. بازهای A و T از نظر ساختار سه بعدی مکمل یک‌دیگرند. بازهای C و G نیز همین‌طورند. برای آن که مفهوم ساختار مکمل را در مورد این بازهای آلی دریابید، به شکل ۹ــ۵ توجه کنید.

جفت شدن بازهای مکمل اصل چارگف را توجیه می‌کند. براساس نحوه‌ی جفت شدن بازها،

می‌توان گفت که هر رشته مکمل رشته‌ی مقابل است. به عبارت دیگر ترتیب بازهای یک رشته ترتیب بازهای رشته‌ی دیگر را تعیین می‌کند. مثلاً اگر ترتیب بازهای یک رشته‌ی DNA، به صورت TCGAACT باشد، ترتیب بازهای رشته‌ی دیگر AGCTTGA است.

تحقیقات نشان داده‌اند که اطلاعات وراثتی را ترتیب و تعداد بازها، تشکیل می‌دهند. هیچ محدودیتی برای تعداد و ترتیب بازها در یک رشته وجود ندارد ؛ اما به محض آن که توالی بازها در یک رشته تعیین شد، توالی بازها در رشته‌ی مکمل آن نیز براساس رابطه‌ی مکملی تعیین می‌شود.

خودآزمایی ۳ــ ۵

۱ــ گریفیت و اِیوری در آزمایش‌های خود به چه نتایجی دست یافتند؟

۲ــ جدول زیر درصد بازهای نیتروژنی را در DNA انسان، گندم و باکتری اِشریشیاکُلی نشان می‌دهد.

درصد هر باز نیتروژنی

	C	G	T	A
انسان	۱۹/۹	۱۹/۶	۳۰/۱	۳۰/۴
گندم	۲۲/۸	۲۲/۷	۲۷/۱	۲۷/۳
اِشریشیاکلی E. coli	۲۵/۷	۲۶/۰	۲۳/۶	۲۴/۷

الف ــ در هر یک از این جانداران نسبت پورین‌ها به پریمیدین‌ها چقدر است؟

ب ــ در هر یک از این جانداران درصد چه بازهایی به یکدیگر نزدیک‌تر است؟

ج ــ آیا نسبت و درصد پرسش‌های الف و ب از اصول چارگف تبعیت می‌کنند؟

۳ــ چه ارتباطی بین جفت شدن بازها و ساختار DNA وجود دارد؟

۴ــ دانستن چه اطلاعاتی درکشف ساختمان مارپیچ مضاعف DNA به واتسون و کریک کمک کرد؟

۵ــ نسبت بازهای DNA گونه‌های مختلف جانداران چه تفاوت و تشابهی با یکدیگر دارند؟

۶ــ چه شباهتی بین ساختار مولکول DNA و نردبان وجود دارد؟

۷ــ چرا می‌گوییم دو رشته‌ی مارپیچ مضاعف، مکمل یک‌دیگرند؟

۸ ــ فرض کنید ردیف نوکلئوتیدی یک رشته‌ی DNA به‌صورت CCAGTTG است ردیف نوکلئوتیدی رشته‌ی مکمل آن چیست؟

۹ ــ روزالین فرانکلین در سن ۳۷ سالگی بر اثر سرطان درگذشت. آیا ممکن است کار با روش تفرق اشعه‌ی X در مرگ وی دخالت داشته باشد؟ بحث کنید.

۱۰ ــ با کمک وسایل در دسترس، مانند : نی‌نوشابه و گیره‌ی کاغذ، مدلی از ساختار DNA بسازید.

همانندسازی DNA

واتسون و کریک همزمان با پیشنهاد مدل خود برای DNA، چنین بیان داشتند که وجود رابطه‌ی مکملی بین بازها می‌تواند در فرآیند همانندسازی DNA نقشی اساسی داشته باشد. تحقیقات بعدی نشان داد که در همانندسازی DNA، دو رشته‌ی آن به کمک آنزیم **هلیکاز**[1] مانند زیپ از یک‌دیگر جدا می‌شوند و سپس از روی هر رشته، رشته‌ی جدیدی ساخته می‌شود ؛ به این ترتیب که با استفاده از نوکلئوتیدهای آزاد که در سیتوپلاسم وجود دارند، در مقابل A، باز T و در مقابل C باز G قرار می‌گیرد (شکل ۱۰ــ۵). چون هر DNA دختر یک رشته‌ی جدید و یک رشته‌ی قدیمی دارد، می‌گویند همانندسازی DNA به طریقه‌ی **نیمه‌حفظ شده** است.

در فرآیند همانندسازی DNA، دو مولکول DNA تولید می‌شود که هر یک، دارای یک رشته‌ی DNA جدید و یک رشته‌ی DNA قدیمی هستند، ردیف نوکلئوتیدها در هر یک از مولکول‌های DNA حاصل، یکسان است.

همانندسازی DNA به کمک آنزیم **DNA پلی‌مراز**[2] صورت می‌گیرد. این آنزیم در طول DNA حرکت می‌کند و نوکلئوتیدها را در مقابل نوکلئوتیدهای مکمل خود قرار می‌دهد. این آنزیم توانایی دیگری نیز دارد و آن **ویرایش** است : درصورتی که نوکلئوتید اشتباهی به DNAهای دختر اضافه شود، یعنی مکمل نباشد، آنزیم DNA پلی‌مراز برمی‌گردد و نوکلئوتید غلط را جدا و آن را با نوکلئوتید درست تعویض می‌کند. با این حال به‌ندرت یک نوکلئوتید غلط در DNAهای دختر باقی می‌ماند و به نسل بعد سلول منتقل می‌شود. این اشتباه‌های تصحیح‌نشده **جهش** نام دارند.

۱ــ helicase ۲ــ DNA polymerase

بیش‌تر بدانید

چگونه دانشمندان پی بردند که همانندسازی DNA به روش نیمه‌حفظ شده انجام می‌شود؟

درسال ۱۹۵۸ «مزلسون و استال» آزمایش‌هایی را برای بررسی چگونگی همانندسازی DNA طراحی و اجرا کردند. آنان سلول‌های نوعی باکتری را در محیط دارای نیتروژن رادیواکتیو $N^{۱۵}$ کشت دادند. در این محیط باکتری‌ها رشد کردند و تقسیم سلولی انجام دادند و پس از چند نسل باکتری‌هایی به دست آمد که DNA آن‌ها به‌جای نیتروژن معمولی، نیتروژن رادیواکتیو داشتند. چگالی این مولکول‌ها از مولکول‌های DNA دارای نیتروژن معمولی ($N^{۱۴}$) بیش‌تر است.

در مرحله‌ی بعد دانشمندان این باکتری‌ها را در محیط دارای $N^{۱۴}$ کشت دادند و تعدادی از سلول‌های دختر را پس از یک دور همانندسازی به‌عنوان سلول‌های دختر نسل اوّل و تعداد دیگری را پس از دو دور همانندسازی به‌عنوان سلول‌های دختر نسل دوم درنظر گرفتند و DNA این سلول‌ها را خالص‌سازی و چگالی آن‌ها را تعیین کردند. این دو دانشمند فرض کردند که اگر همانندسازی DNA نیمه حفظ شده باشد، چگالی مولکول‌های DNA سلول‌های دخترِ این باکتری‌ها باید مقدار متوسط چگالی مولکولی DNA دارای $N^{۱۴}$ و $N^{۱۵}$ باشد.

بررسی چگالی مولکول‌های DNA سلول‌های دختر نسل اوّل و دوم نشان داد که چگالی مولکول‌های DNA آن‌ها مقدار متوسط مولکول‌های DNA دارای $N^{۱۴}$ و $N^{۱۵}$ است.

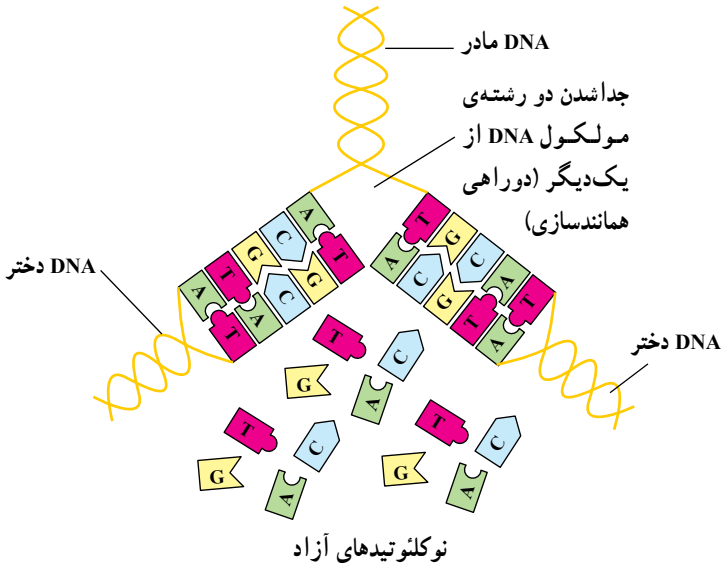
انجام آزمایش‌های دیگر بر روی سلول‌های مختلف، نشان داد که همانندسازی DNA به روش نیمه حفظ شده انجام می‌شود.

دوراهی همانندسازی

همانندسازی از یک انتهای DNA شروع نمی‌شود تا در انتهای دیگر پایان یابد. باکتری‌ها که دارای DNA حلقوی هستند، معمولاً دو دوراهی همانندسازی ایجاد می‌کنند. این دوراهی‌ها در یک نقطه‌ی خاص به‌وجود می‌آیند. دوراهی‌های همانندسازی به تدریج از یک‌دیگر دور می‌شوند، تا این که در نقطه‌ی مقابل حلقه‌ی DNA به‌هم می‌رسند.

در سلول‌های یوکاریوتی، هر کروموزوم از یک مولکول DNA طویل تشکیل شده است. اما طول DNA آن قدر طویل است که اگر قرار باشد یک کروموزوم انسان، مانند باکتری همانندسازی

را از یک نقطه آغاز کند، همانندسازی هر کروموزوم ۳۳ روز طول می‌کشید! از این رو همانندسازی در سلول‌های انسانی و سایر سلول‌های یوکاریوتی در نقاط مختلف انجام می‌شود. دوراهی‌های همانندسازی مختلف، سبب می‌شوند تا یک کروموزوم انسانی در حدود ۸ ساعت به طور کامل همانندسازی کند.



شکل ۱۰ ــ ۵ ــ همانندسازی DNA

بیش‌تر بدانید

مولکول‌های DNA افراد مختلف (به جز دو قلوهای یکسان) با یک‌دیگر متفاوت است. به‌عبارت دیگر از نوع DNA هر یک از ما در جهان بی‌همتاست و نمی‌توان دو فرد را یافت که DNA کاملاً مشابه داشته باشند، حتی DNA والدین با DNA فرزندان متفاوت است. چندی است که از این ویژگی در تحقیقات جنایی استفاده می‌شود.

فرض کنید آقای X متهم به قتل است و هیچ شاهد دیگری به جز مقداری از پوست قاتل در زیر ناخن‌های مقتول در دست نیست. انگشت‌نگاری ژنی در این مورد به کمک می‌آید.

قطره‌ای خون، تعدادی مو یا قدری از پوست خراشیده شده‌ی قاتل که در محل قتل برجا مانده است، راهنمایی غیرقابل انکار برای یافتن قاتل است. پژوهشگران مراکز پزشکی‌قانونی این

نمونه‌ها را به آزمایشگاه خود منتقل می‌کنند، مقداری از DNA شخص را از آن ماده استخراج می‌کنند و سپس با کمک آنزیم‌هایی آن را به قطعات کوچکی تقسیم می‌کنند. محل برش‌ها در واقع بخش کوچکی از DNA است که ترتیب نوکلئوتیدهای آن از نوع خاصی است.

پژوهشگران محلولی از این قطعات DNA را تهیه و در یک میدان الکتریکی قرار می‌دهند. این میدان الکتریکی قطعات مختلف DNA را از یکدیگر جدا می‌کند و با روش‌های مخصوصی آن‌ها را روی فیلم به‌صورت مرئی درمی‌آورند. پژوهشگران سپس از DNA آقای X که در مظان اتهام است، به همین شیوه انگشت‌نگاری ژنی می‌کنند. اگر دو نمونه کاملاً یکسان باشند، چنین نتیجه‌گیری می‌شود که آقای X قاتل است.

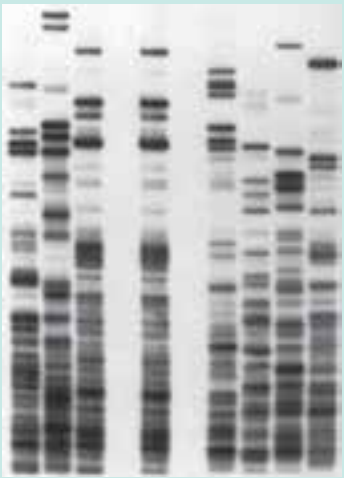
انگشت‌نگاری ژنی را می‌توان با استفاده از هرگونه بافتی که از بدن جدا شده باشد، انجام داد. خون، اسپرم و حتی سلول‌های موجود در پیاز موها را می‌توان برای این منظور مورد استفاده قرار داد.

کاربرد دیگر انگشت‌نگاری ژنی پیدا کردن والدین کودکانی است که لازم است هویت والدین آن‌ها مشخص شود. حتی پیدا کردن خویشاوندانِ اشخاص و نیز نزدیکی و دوری خویشاوندی از موارد استفاده این فنّ است.

۱ــ فکر می‌کنید آیا شواهدی برای شک کردن در درستی نتیجه‌ی انگشت‌نگاری ژنی وجود دارد؟

۲ــ بعضی‌ها عقیده دارند که انگشت‌نگاری ژنی تجاوزی است به حریم خصوصی افراد. فکر می‌کنید در چه مواردی ممکن است از این فنّ سوء استفاده شود؟

۳ــ در شکل زیر نوارهای حاصل از انگشت‌نگاری ژنی مربوط به یک نمونه‌ی خون، همراه با نوارهای مربوط به چند فرد مظنون نشان داده شده است. تعیین کنید این نمونه به کدام یک از افراد تعلق دارد.



۱ ۲ ۳ ۴ ۵ ۶ ۷

نمونه خون