

## در ستایش کتاب

«کشف ساختار ریبوزوم یک لحظه‌ی واقعاً باور نکردنی در تاریخ بشر بود: این ماشین میکروسکوپی ظریف که در دل تمام حیات قرار دارد و عمدتاً از RNA ساخته شده است، ماده‌ای اسرارآمیز که قدمت آن به قبل از DNA و پروتئین برمی‌گردد. اکنون که با روش‌های هوشمندانه‌ی بلورنگاری، شکل و اجزای متحرک آن به تدریج روشن شده است، خارق‌العاده است که فکر کنیم که این دستگاهی است که در تمام اشکال حیات نقش اساسی دارد، و با این حال، هیچ موجود زنده‌ای تاکنون آن را ندیده یا نفهمیده است. در این کتاب که همچون یک داستان کارآگاهی، با شوخ‌طبعی و ظرافت، نوشته شده است، ونکی راماکریشنان بیان می‌کند که او، به‌عنوان مهاجری از هند، چگونه توانسته است افراد، ایده‌ها، و ابزارهای لازم را گرد هم آورد تا در همکاری و رقابت (گاه شدید) با تیم‌های علمی دیگر، به این موفقیت بزرگ که منتهی به دریافت جایزه‌ی نوبل شد، دست پیدا کند. برای دانشجویانی که می‌خواهند ببینند تحقیقات علمی واقعاً چگونه اتفاق می‌افتد، این کتابی است که باید آن را قدر بدانند و به دقت بخوانند.»

– مات ریدلی، مؤلف ژنوم و فرانسیس کریک: کاشف کد ژنتیکی

«ماشین ژن، کتابی است مسحورکننده و نیروبخش که نکات زیادی را درباره‌ی دنیای علم، ماهیت کشفیات علمی، و یکی از عمیق‌ترین معماهای زیست‌شناسی قرن بیستم روشن می‌کند. راماکریشنان، که از بازیگران کلیدی در رازگشایی مبنای مولکولی ترجمه‌ی پروتئین بوده است، کتابی را به ما عرضه می‌کند که هم یک داستان علمی مهیج است و هم یک قصه‌ی عمیقاً انسانی. کتاب ماشین ژن، به تأسی از کتاب مارپیچ دو گانه، فرایند پیشرفت علم را بی‌تأمل آشکار می‌کند: حرکت گاه آهسته و گاه تند، غالباً همراه با رقابت‌ها و مسابقه‌های شدید، گاه دچار شدن به خطا و تصورات غلط، ولی نهایتاً پیش رفتن به سوی حقیقت ژرف و قدرتمند. راماکریشنان که از بیرون به دنیای زیست‌شناسی ریبوزوم وارد شده است – یک مهاجر هندی که تحصیلاتش در رشته‌ی فیزیک بوده است – نظرگاه 'بیرونی' خود را در سرتاسر کتاب حفظ می‌کند، درباره‌ی ماهیت آسیب‌زنده‌ی جوایز علمی و شدت رقابتی که محرک کار پژوهشگران است، برای ما صحبت می‌کند (به گمانم هر دوی این مفاهیم تأثیر شگرفی بر فرهنگ علمی کنونی ما دارد). نوشتار راماکریشنان چنان صادقانه و گیرا است که من تا به آخر کتاب نرسیدم، نتوانستم آن را زمین بگذارم.»

– سیدارتا موخرجی، مؤلف امپراتور همه‌ی بیماری‌ها و ژن

«ریبوزوم پردازشگر مرکزی است که کد ماشینی سراسری حیات را کدگشایی می‌کند، و تاریخ اکتشاف آن هم‌سنگ اکتشاف خود DNA است. ونکی راماکریشنان را می‌توان نوعی 'جیم

واتسون خوش اخلاق<sup>۶</sup> به حساب آورد. خاطرات دقیق و مفصل و سخاوتمندانه‌ی او از همان روراستی نافذ کتاب مارپیچ دوگانه برخوردار است. صداقت شخصی او درباره‌ی جاه طلبی رقابتی که محرک تلاش او بود، در مقابل نظرات بسیار اندیشمندانه‌اش درباره‌ی تأثیر بعضاً مخرب جایزه‌های بزرگ، رنگ می‌بازد. کتاب ماشین ژن به‌عنوان سندی مهم در تاریخ علم بارها و بارها خواننده خواهد شد.»

– ریچارد داکینز

«این کتاب به‌عنوان شرح فرحبخش مسابقه برای شناخت ماشین مولکولی که ژن‌ها را به گوشت و خون بدل می‌کند، از جهت بیان صادقانه‌ی چگونگی انجام تحقیقات علمی، به‌وسیله‌ی آدم‌هایی با همه‌ی استعدادها و ضعف‌هایی که دارند، قابل توجه است. ونکی راماکریشنان، غریبه‌ای که وارد این مسابقه شده است، از نظرگاه فردی مطلع، این تلاش چند ده ساله را برای نقشه‌برداری از میلیون‌ها اتم موجود در این ماشین به‌منظور فهمیدن مبنای حیات، هموار کردن راه برای ساخت آنتی‌بیوتیک‌های جدید، و سهمین شدن در افتخار دریافت جایزه‌ی نوبل، بازگو می‌کند.»

– راجر هایفیلد، مدیر امور خارجی، گروه موزه‌های علوم

«سفری شگفت‌انگیز. این کتاب بیانی شخصی و مهیج از مسابقه برای رمزگشایی از ساختار ریبوزوم است، یکی از پیچیده‌ترین و اساسی‌ترین ماشین‌ها در سلول. راماکریشنان نویسنده این کتاب مشعل را از کتاب مارپیچ دوگانه‌ی واتسون تحویل گرفته و همچون واتسون، با صداقتی تعجب‌آور و حتی نگران‌کننده، آن را نگاشته است. کتاب پُر است از پندهایی برگرفته از داستان زندگی جالب توجه او و قصه‌هایی گِیرا از زندگی روزمره‌ی پژوهشگران آزمایشگاه.»

– نیک لین، مؤلف پرسش حیاتی

# ماشین ژن

مسابقه برای رمز گشایی اسرار ریوزوم

ونکی راما کریشانان  
(برنده‌ی جایزه‌ی نوبل شیمی)

ترجمه‌ی دکتر قاسم کیانی مقدم

انتشارات مازیار

## فهرست مطالب

---

۹	پیش‌گفتار
۱۱	مقدمه
۱۳	فصل ۱: تغییر غیرمنتظره‌ی برنامه‌ها در آمریکا
۲۱	فصل ۲: برخورد اتفاقی با ریوزوم
۳۷	فصل ۳: دیدن چیزهای نامرئی
۵۱	فصل ۴: نخستین کریستال‌های ماشین
۶۵	فصل ۵: رفتن به پایتخت کریستالوگرافی
۷۹	فصل ۶: برآمدن از مه اولیه
۸۹	فصل ۷: عبور از آستانه
۱۰۱	فصل ۸: مسابقه آغاز می‌شود
۱۱۳	فصل ۹: شروع کار در یوتا
۱۲۹	فصل ۱۰: بازگشت به پایتخت
۱۴۱	فصل ۱۱: بیرون آمدن از پستو
۱۵۳	فصل ۱۲: نزدیک بود از قافله جا بمانم
۱۶۹	فصل ۱۳: حمله‌ی پایانی
۱۸۱	فصل ۱۴: دیدن قاره‌ی جدید
۱۹۱	فصل ۱۵: پولتیک شهرت
۲۰۱	فصل ۱۶: نمایش خیابانی ریوزوم
۲۱۵	فصل ۱۷: فیلم سینمایی پدیدار می‌شود
۲۳۱	فصل ۱۸: تماس تلفنی در ماه اکتبر
۲۴۳	فصل ۱۹: یک هفته در استکهلم
۲۵۳	فصل ۲۰: علم هم‌چنان به پیش می‌رود

۸ ماشین ژن

خاتمه

سپاسگزاری

یادداشت‌ها و خواندنی‌های پیشنهادی

۲۶۱

۲۶۹

۲۷۰

## پیش‌گفتار

این کتاب، روایت شخصی تجربیات مؤلف به‌عنوان دانشجو، استاد، و تجربه‌گری مشتاق است که می‌خواست بفهمد که سلول‌ها یکی از باستانی‌ترین و بنیادی‌ترین فعالیت‌های خود، یعنی سنتز پروتئین، را چگونه انجام می‌دهند. این داستان جذاب بیانگر شور و شوق برای اکتشاف، سرخوردگی از جواب ندادن آزمایش‌ها، و تلاش‌های شخصی و حرفه‌ای در مسیر رسیدن به موفقیت علمی است.

دیدگاه‌های مؤلف از چند جهت منحصر به فرد است. از آن‌جا که او به آمریکا و سپس به انگلستان مهاجرت کرد و به‌عنوان یک فیزیکدان وارد دنیای زیست‌شناسی شد، داستان او بیان‌کننده‌ی احساسات فردی است که از بیرون وارد می‌شود و مشتاق است که جزئی از دنیای علمی و اجتماعی پیش روی خود شود. شاید این اشتیاق در رویکرد او به پژوهش که در این‌جا توصیف کرده است، نقش داشته باشد: از یک سو خواهان آن است که به گروه تعلق داشته باشد، و از دیگر سو سعی دارد یک‌تازی کند و سفری اکتشافی را آغاز کند که در ابتدا دور از دسترس به نظر می‌رسید. مسئله‌ی بعدی خود این اکتشاف علمی است: ساختارهای الهام‌بخش دستگاهی که کد ژنتیکی را می‌خواند و توالی اسید نوکلئیک آن را به زنجیره‌های اسید آمینه‌ای ترجمه می‌کند که تشکیل‌دهنده‌ی پروتئین‌های لازم برای حیات بر روی زمین هستند. ریبوزوم، که مشکل از یک زیرواحد بزرگ و یک زیرواحد کوچک است، با شکوه تمام آشکار می‌شود، و کارهای خود مؤلف سازوکار کدگشایی زیرواحد کوچک ریبوزوم را مشخص می‌کند، و مکانیسم عمل چندین داروی آنتی‌بیوتیکی را برملا می‌کند که با مسدود کردن عمل ریبوزوم باکتری، عفونت میکروبی را از بین می‌برند. فرایند تعیین ساختمان‌های زیرواحد کوچک ریبوزوم، از تلاش‌های اولیه‌ای که برای شناسایی هر کدام از اجزا انجام شد، تا تلاش‌های قدرتمندانه‌ی بعدی برای تخلیص و جداسازی زیرواحد کوچک، قصه‌ای گیرا از هوشمندی، اقبال، و در نهایت، موفقیت است.

از سوی دیگر، این داستان نشان‌دهنده‌ی دوراهی‌های حرفه‌ای است: شناسی بودن اکتشاف، و خاصیت پژوهشگری که در اعماق فطرت انسانی نهفته است و شخصیت انسان در آن نقش بسیار مهمی ایفا می‌کند. هر کشف علمی بزرگی مشتمل بر همکاری تعداد زیادی از دانشمندان و تعاملات بین آن‌ها است که در مسیر پربینج‌و‌خم خود به‌سوی درک حقیقت با چالش‌ها و موانع گوناگون روبه‌رو می‌شوند. همیشه روشن نیست که ایده‌ها چگونه ظاهر می‌شوند، آیا حقیقتاً حاصل کار خود

فرد هستند یا نتیجه‌ی مباحثات او با دیگران. گاه رقابت بر روابط بین همکاران سایه می‌افکند و لازم است که به‌خوبی مدیریت شود، ولو آن‌که لذت اکتشاف در چند قدمی فرد باشد. اهدای جایزه‌ی نوبل شیمی در سال ۲۰۰۹، پاسداشتی بود از موفقیت عادا یونات در بلوری‌سازی ریبوزوم و دستاوردهای بعدی ونکی راماکریشن و تام استایتز در شناسایی ساختار زیرواحدهای ریبوزوم. با این حال، همان‌گونه که در متن کتاب نیز شرح داده شده است، افراد دیگری نیز در این کشفیات نقش کلیدی داشتند، ولی به‌علت آن‌که جایزه‌ی نوبل حداکثر به سه نفر اهدا می‌شود، از این افتخار بی‌نصیب ماندند. این کتاب شرحی خواندنی از تجربیات و دیدگاه‌های مؤلف در مورد این موضوعات است و بیشتر باید به‌عنوان یک کتاب خاطرات تلقی شود، نه یک نوشتار تاریخی عینی. این داستان برای دانشجویان رشته‌های علمی و روش تحقیق علمی، نگاه تازه‌ای ارائه می‌کند به فرایند اکتشاف و مسیر گاه پریپیچ‌وخمی که منجر به کسب دانش جدید می‌شود. و سرانجام، این کتاب گزینه‌ی جذابی نیز برای افزودن به ادبیات علمی است که از یک سو حقایق تاریخی را بیان می‌کند و از سوی دیگر، بیان‌کننده‌ی وجه عاطفی رویکرد دانشمندان برای اکتشاف و در نهایت، موفقیت است.

جنیفر دودنا

## مقدمه

حالا که فکر می‌کنم، تعجب‌آور است که چرا دیدار او این قدر کم مورد توجه قرار گرفته بود. یکی از روزهای ابری پاییز در سال ۱۹۸۰ بود. آگهی کوچکی در تابلوی اعلانات دانشگاه ییل، سخنرانی‌ای را با عنوانی مبهم اعلام کرده بود. با آن‌که من درست قبل از خود سخنران رسیدم، راحت توانستم صندلی خالی پیدا کنم، چون تنها تعداد معدودی از متخصصان به خود زحمت آمدن داده بودند.

خانم سخنران با اعتماد به نفسی بالا، حتی در حد بی‌پروایی، به جایگاه رفت. پس از معرفی کوتاهی به وسیله‌ی مجری مراسم، سخنران شروع به تشریح تلاش‌های خود و همکاری‌اش در برلین برای به دست آوردن بلور از مجموعه‌ی عظیم مولکول‌های دخیل در ترجمه‌ی ژن‌ها به پروتئین کرد. در آن زمان، به دست آوردن بلور یک مرحله‌ی کلیدی برای رمزگشایی از ساختمان این مولکول‌ها بود.

پس از پایان سخنرانی چندان سؤالی مطرح نشد، چون ما دقیقاً نمی‌دانستیم در برابر این تحقیقات چه دیدگاهی اتخاذ کنیم. به نظر ما حیرت‌انگیز بود که کسی بتواند چنین ذره‌ی بزرگ و شل‌وولی را به‌صورت پشته‌ی سه‌بعدی منظمی درآورد که برای تشکیل بلور لازم است. در حالی که داشتیم از راهرو به آزمایشگاه می‌رفتیم، یکی از همکارانم به‌شوخی به دیگری گفت: «چگونه است که شما حتی تکه‌ی کوچکی از آن را نمی‌توانید به‌صورت بلور درآورید، در حالی که او توانسته تمام آن را متبلور کند؟» ولی کریستال‌های او از چنان کیفیتی برخوردار نبودند که بتوان براساس آن‌ها ساختمان آن را به دست آورد، و در آن زمان، هیچ‌کس نمی‌دانست چگونه می‌توان ساختمان چیزی به این بزرگی را تعیین کرد. از این‌رو، این نهایتاً برای ما چیزی بیش از یک کار جالب نبود، و فکر نمی‌کردیم تغییری در دنیایمان ایجاد شده باشد که لازم باشد دست از کارهایی را که انجام می‌دهیم، برداریم.

من به‌هیچ‌وجه نمی‌دانستم که این دانشمند، یعنی عادا یونات، در سه دهه‌ی بعد در زندگی من نقش مهمی خواهد داشت؛ و این‌که من با او و دیگران در مسابقه‌ای شدید برای درک کردن شیئی که نقش مهمی در تمام اشکال حیات دارد، رقابت خواهم کرد؛ و یا این‌که در ماه دسامبر چند سال بعد، میان او و ولیعهد سوئد در ضیافت جایزه‌ی نوبل در استکهلم خواهم نشست.



# فصل ۱

## تغییر غیرمنتظره‌ی برنامه‌ها در آمریکا



وقتی که از هند خارج شدم، مصمم بودم یک فیزیکدان نظری شوم. نوزده سالم بود و تازه از دانشگاه بارودا فارغ‌التحصیل شده بودم. مرسوم بود که دانشجویان کارشناسی ارشد را در هند می‌گرفتند و بعد برای گرفتن دکترا به خارج می‌رفتند، ولی من مشتاق بودم که هر چه زودتر به آمریکا بروم. آمریکا برای من فقط سرزمین فرصت‌ها نبود، بلکه زادگاه قهرمانان اندیشمندی مانند ریچارد فاینمن نیز بود که کتاب درس‌های فیزیک او در دوره‌ی کارشناسی بخشی از برنامه‌ی آموزشی من بود. تازه والدینم هم در آن‌جا بودند، چون پدرم برای فرصت مطالعاتی کوتاهی به دانشگاه ایلینوی در اوربانا رفته بود.

از آن‌جا که این تصمیم را در آخرین لحظات گرفته بودم، فرصتی برای شرکت در آزمون GRE نداشتم که برای دانشکده‌های تخصصی آمریکا لازم است، و اکثر دانشکده‌ها اصلاً درخواست مرا بررسی نمی‌کردند. گروه فیزیک دانشگاه ایلینوی در ابتدا مرا پذیرش کردند، ولی وقتی که مسئولان دانشکده‌ی تخصصی فهمیدند که من فقط نوزده سال دارم، گفتند که حداکثر می‌توانم در دوره‌ی کارشناسی با احتساب دو سال کالج شرکت کنم. در آن زمان، هیچ فرد هندی از طبقه‌ی متوسط، توانایی پرداخت هزینه‌ی شهریه و زندگی در آمریکا را نداشت. در این اثنا، رئیس دپارتمان ما در بارودا نامه‌ای از دانشگاه اوهایو را به من نشان داد که از او خواسته بودند دوره‌ی آموزشی آن دانشگاه را به اطلاع متقاضیان کارشناسی ارشد و دکترا برساند. من قبلاً چیزی از دانشگاه اوهایو نشنیده بودم، ولی مطلع شدم که این دانشگاه یک کامپیوتر IBM سیستم/۳۶۰ و یک شتاب‌دهنده‌ی وند گراف دارد، و اعضای هیأت علمی آن در برخی از بهترین دانشگاه‌ها تربیت شده‌اند؛ برای من دانشگاه خوبی به نظر می‌رسید. آن‌ها شرط قبولی در آزمون GRE را که به‌طور معمول ضروری بود، برای من حذف کردند، و مرا با حمایت مالی پذیرش کردند.

پس از مصاحبه‌ی طبیعتاً اعصاب‌خردکن ویزای دانشجویی در کنسولگری آمریکا در بمبئی، بلیت رفتن به سرزمین موعود را خریدم.

همین که امتحانات نهایی را تمام کردم، از گرمای سوزان هند خارج و عازم آمریکا شدم. تب داشتیم، و پرواز انگار قرار نبود به آخر برسد، و در مسیر رفتن به نیویورک در شهرهای بیروت، ژنو، پاریس، و لندن توقف کرد. در آنجا سوار هواپیمایی به مقصد شیکاگو شدم، و بعد از آن با پرواز کوتاهی به شمین-اوربانا رفتم. وقتی که در شامگاه ۱۷ مه ۱۹۷۱ از هواپیما پیاده شدم، وزش سردترین بادی را که تا آن زمان تجربه کرده بودم، حس کردم.

ورود ناگهانی‌ام به زندگی دانشجویی در آمریکا تا حدودی شوکه‌کننده بود. زندگی دانشجویی در هندوستان نسبتاً معمولی بود. دانشجویان لباس‌های متعارفی می‌پوشیدند و حواس‌شان به درس‌شان بود؛ خیلی‌ها، مثل من، هنوز با پدر و مادرشان زندگی می‌کردند. معاشرت با جنس مخالف، و خصوصاً ارتباط جنسی قبل از ازدواج، امری بسیار غیرمعمول بود. من با سر و وضع یک دانشجوی کتاب‌خوان با موهای کوتاه، عینک ضخیم با فریم کائوچویی سیاه، و کفش‌های جیر نارنجی که دو سالی برایم بزرگ بود، به آمریکا آمدم که در سال ۱۹۷۱، هنوز مدهای دهه‌ی شصت در آن متداول بود. دانشجویان آمریکایی گویی به رده‌ی کاملاً متفاوتی تعلق داشتند: پسرها با جین‌های پاره و موهایی که حتی از دخترها هم بلندتر بود، و دخترها با شلوارهای اغواگرانه و تاپ‌های یقه‌هالتری که در مقایسه با زنان هندی که در کشور خودم دیده بودم، تقریباً برهنه به نظر می‌رسیدند. دانشجویها در پردیس‌های سراسر آمریکا بر علیه جنگ ویتنام اعتراض می‌کردند. یک روز بعدازظهر، بر اثر ترکیبی از کنجکاو و هم‌فکری، تصمیم گرفتم در تظاهرات صلح‌طلبانه شرکت کنم. وسط دانشجویان مثل وصله‌ی ناجوری بودم، ولی بعد دو مرد مسن‌تر را در پشت تظاهرات پیدا کردم که مثل من موهای کوتاه داشتند و شلوار و پیراهن ارزان‌قیمت پلیستر پوشیده بودند. به‌طرف آن‌ها رفتم و سعی کردم رفتاری دوستانه داشته باشم، ولی آن‌ها کم‌حرف و مشکوک به نظر می‌رسیدند. بعدها فهمیدم که آن‌ها مأموران FBI بودند که می‌خواستند مراقب افراد دردرساز ضدجنگ باشند.

در طول تابستان، در کلاس‌های دانشگاه ایلینوی شرکت می‌کردم و تلاش داشتم کم‌وکسری‌های تحصیلاتم در بارودا را تکمیل کنم. آخر تابستان، با والدین و خواهرم به شهر دانشگاهی آتن در جنوب اوهایو رفتیم که تپه‌های قشنگی داشت و قرار بود محل اقامت در طول چند سال آینده باشد. اولین مسئله پیدا کردن خانه بود. با خودم

فکر کردم که چون قرار است با حقوق دستیار معلمی زندگی کنم و گیاه‌خوار هم هستم، بهتر است آپارتمان کوچکی اجاره کنم تا بتوانم برای خودم غذا درست کنم. در روزنامه به دنبال آگهی‌های اجاره گشتیم، ولی جای مناسبی پیدا نکردیم. در یک مورد، خانم صاحبخانه گفت آپارتمان برای اجاره موجود است، ولی وقتی که همان چند دقیقه‌ی بعد، به آنجا رفتیم تا خانه را ببینیم، نگاهی به من انداخت و گفت که خانه «اجاره داده شده است». این اولین تجربه‌ی من از نژادپرستی در آمریکا بود. وقتی که تا آخر هفته موفق به پیدا کردن آپارتمان نشدم، برای خوابگاه ثبت‌نام کردم و در طول سال اول، اکثراً در کافه‌تریا ساندویچ پنیر می‌خوردم.

با وجود مشکلاتی که از نظر غذا داشتم، یک فایده‌ی بزرگ خوابگاه این بود که توانستم بلافاصله چندین دوست پیدا کنم و دچار حس جدایی و پایین‌شهری نشوم که در بین خارجی‌ها شایع است. رفقای خوابگاهی‌ام خیلی زود به من کمک کردند که با زندگی دانشجویی در آمریکا سازگار شوم. اولین روز شنبه به یک بازی فوتبال رفتیم. مراسم تشریفاتی، با حضور تشویق‌کننده‌ها، گروه‌های موسیقی، و صدای بلند بلندگو، انگار از خود بازی مهم‌تر بود.

یکی دیگر از مزیت‌های خوابگاه این بود که نزدیک گروه فیزیک بود، و چندین دانشجوی دیگر کارشناسی ارشد فیزیک در اتاق‌هایی نزدیک من اقامت داشتند، به طوری که توانستیم یک گروه مطالعه‌ی دوستانه تشکیل بدهیم و با هم به دانشکده‌ی تخصصی‌ی خود بگردیم. معمولاً دانشجویان تخصصی فیزیک یکی دو سال درس می‌خوانند و بعد در امتحان جامعی شرکت می‌کنند و آن‌گاه پژوهش جدی را شروع می‌کنند. گرچه من درس‌ها و بخش کتبی امتحان جامع را بدون مشکلات زیادی به پایان رساندم، ولی در امتحان شفاهی برای اولین بار این فکر به مغزم خطور کرد که خیلی هم مشتاق نیستم که یک فیزیکدان باشم. از من پرسیدند که درباره‌ی چه کشفیات جالب جدیدی از فیزیک، چیزی خوانده‌ام. حتی یک مورد هم نتوانستم نام ببرم، و پس از کنکاش بیشتر، تنها توانستم یک عرصه را نام ببرم که برایم جالب بود. به هر حال، مرا قبول کردند و تصمیم گرفتم زیر نظر تومویاسوتاناکا، یک فیزیکدان نظری مشهور در زمینه‌ی ماده‌ی چگال، کار کنم. در آن زمان، علاقه‌ی زیادی به پرسش‌های مربوط به زیست‌شناسی پیدا کرده بودم، و چند مسئله‌ی زیست‌شناختی را هم در پروپوزال ترم گنجاندم. از آن‌جا که نه من چیزی از زیست‌شناسی می‌دانستم و نه تومویاسو، این پیشنهادها چیزی فراتر از خواب و خیال نبود و خیلی زود آن‌ها را کنار گذاشتم.

وقتی که کار ترم را شروع کردم، متوجه شدم که اصولاً نمی‌دانم سوالات کلیدی چیست، چه رسد به این که چگونه باید به آن‌ها پاسخ داد. بدتر از همه این که اصولاً مطالب برایم جالب نبود. پناه بردم به زندگی اجتماعی‌ام. در تیم شطرنج دانشگاه بازی می‌کردم، با دوستم سودیر کایکر به پیاده‌روی می‌رفتم، از دوست دیگرم، تونی گریمالدی، چیزهایی درباره‌ی موسیقی کلاسیک غرب یاد می‌گرفتم، و به‌طور کلی، هر کاری می‌کردم غیر از پیشرفت در کار تخصصی‌ام. تومویاسو یک ژاپنی مؤدب و سنتی بود که گهگاه به اتاق کار من می‌آمد و با ظرافت درباره‌ی پیشرفتم سؤال می‌کرد، و من هم به‌طور سرپوشیده می‌گفتم که پیشرفتی در کار نیست. این وضعیت یکی دو سال ادامه داشت. اغلب می‌گویم که اگر من استاد بودم، دانشجویی مثل خودم را اخراج می‌کردم!



شکل ۱.۱ مؤلف در دوره‌ی دانشجویی تخصصی فیزیک در دانشگاه اوهایو

وقتی که با ورا روزنبری ملاقات کردم، اوضاع ناگهان تغییر کرد. او زنی بود که اخیراً طلاق گرفته بود و دختر چهارساله‌ای داشت. برخی از دوستان مشترکمان به این فکر افتاده بودند که بد نیست ما دو تا همدیگر را ببینیم، شاید به این علت که هر دو گیاه‌خوار بودیم — چیزی که در دهه‌ی ۱۹۷۰ در جنوب اوهایو تا حدودی

عجیب بود. در اولین ملاقات‌مان اصلاً متوجه نبودم که این ملاقات یک برنامه‌ی قبلی بوده است، چون در یک مهمانی روز شکرگزاری بودیم که افراد زیادی در آن حضور داشتند. دوستانم که دیدند من اصلاً توی باغ نیستم، تصمیم گرفتند که دستی برای کمک به من بالا بزنند و مرا به یک مهمانی شام فقط با یک زوج دیگر دعوت کردند. ورا به نظر من هم باهوش بود و هم از زیبایی متعارفی برخوردار بود، ولی با خودم گفتم که من هرگز در کلاس کسی مثل او نیستم و بعید است که او اندک علاقه‌ای به من داشته باشد. از این‌رو، سعی کردم او را با یکی از دوستانم آشنا کنم و دوستم را با ورا و دخترش، تانیا، به شام دعوت کردم. مدتی با تانیا بازی کردم تا دوستم و ورا فرصت پیدا کنند با هم حرف بزنند. بعد دوستم به من خاطرنشان کرد که گویا او به خود من علاقه‌مند است نه به او، و احتمالاً حالا که دیده با دخترش چقدر خوب کنار می‌آیم، علاقه‌اش بیشتر هم شده است. با وجود این‌که شروع ارتباطم با او این‌قدر ناشیانه بود، ولی نامزدی پرحرارتی را شروع کردیم که کمتر از یک سال طول کشید، و مدت کوتاهی بعد از آن‌که کارهای طلاقش تمام شد، با هم ازدواج کردیم. این‌گونه بود که در سن بیست و سه سالگی، متأهل و ناپدری یک دختر پنج‌ساله شدم.

ولی ازدواج سبب شد که فکرم بیشتر بر روی زندگی حرفه‌ای‌ام متمرکز شود. ورا می‌خواست یک بچه‌ی دیگر هم داشته باشد، بنابراین، باید خرج یک خانواده را درمی‌آوردم، در حالی که اصلاً نمی‌دانستم چکار می‌خواهم بکنم. تردیدی نبود که اگر در رشته‌ی فیزیک می‌ماندم، بقیه‌ی عمرم را صرف محاسبات خسته‌کننده و بی‌حاصلی می‌کردم که تأثیری در پیشرفت علم نداشت. از طرف دیگر، زیست‌شناسی دستخوش تحولات شگرفی بود، مانند آن‌چه در اوایل قرن بیستم در فیزیک رخ داده بود. انقلاب زیست‌شناسی مولکولی که با ساختار DNA شروع شده بود، هنوز با قدرت در جریان بود، و کم‌کم داشتیم درکی اساسی درباره‌ی مبنای مولکولی فرایندهای زیست‌شناختی که تا قرن‌ها ما را میبهوت ساخته بود، به دست می‌آوردیم. تقریباً در هر شماره‌ی مجله‌ی *ساینتیفیک امریکن* کشف بزرگ و مهمی در زمینه‌ی زیست‌شناسی ارائه می‌شد، و ظاهراً هم افراد یک‌لایه‌ی مثل خود من این کارها را می‌کردند. مشکل من این بود که از زیست‌شناسی چیزی غیر از مبانی پایه‌ی آن را نمی‌دانستم و هیچ اطلاعی نداشتم که پژوهش‌های زیست‌شناختی چگونه انجام می‌شود. بنابراین، حتی قبل از آن‌که دکترای فیزیک‌ام را تمام کنم، یک تصمیم دشوار گرفتم و آن این‌که دوباره دوره‌ی کارشناسی ارشد را، این بار در رشته‌ی

زیست‌شناسی، از سر بگیرم، و چیزی که مایه‌ی دلگرمی‌ام می‌شد، این بود که بسیاری از دانشمندان برجسته، همچون ماکس پروتس، فرانسیس کریک، و ماکس دلبروک نیز جابه‌جایی مشابهی انجام داده بودند.

با چند دانشگاه سطح بالا مکاتبه کردم، ولی بسیاری از آن‌ها نمی‌خواستند کسی را که از قبل برای درجه‌ی دکترا در دانشکده‌ی تخصصی است، بپذیرند. دو مورد از جواب‌ها خیلی به‌یادماندنی بود. اولی از فرانکلین هاجینسون در دانشگاه ییل بود، که در نامه‌ای دوستانه برایم نوشته بود که گرچه این دانشگاه نمی‌تواند مرا به‌عنوان دانشجوی کارشناسی ارشد بپذیرد، ولی او رزومه‌ی مرا برای اعضای هیأت علمی خواهد فرستاد تا شاید یکی از آن‌ها علاقه‌مند باشد که مرا به‌عنوان دستیار پژوهشی فوق‌دکترا پذیرش کند. دو نفر از آن اعضای هیأت علمی به من پاسخ دادند: یکی دان انگلمن، و دیگری، از قضای روزگار، تام استایتز. از هر دوی آن‌ها تشکر کردم و گفتم که من هنوز زمینه‌ی کافی ندارم که بتوانم به‌عنوان دستیار فوق‌دکترا مفید باشم و اول باید مقداری آموزش ببینم. برعکس این برخورد خوب هاجینسون، برخورد جیمز بانر از کلتک [مؤسسه‌ی فناوری کالیفرنیا] بود. من در درخواست‌هایم نوشته بودم که از آن‌جا که سنم بیست و سه سال بیشتر نیست، آن‌قدر جوان هستم که دوباره به دوره‌ی کارشناسی ارشد بروم. بانر مرا به‌خاطر این‌که درباره‌ی سن‌ام فخرفروشی کرده بودم، سرزنش کرد و اضافه کرد که او هم وقتی دکترایش را گرفت، بیست و سه ساله بود، و تازه در میان خانواده‌اش از بقیه عقب‌تر محسوب می‌شد. علاوه بر این، گفت که علاقه‌ی من به رشته‌هایی که از آن‌ها نام برده بودم — دگرریختاری، پروتئین‌های غشایی، و زیست‌شناسی عصبی — جای تعجب ندارد، چون این رشته‌ها هم‌اکنون در زیست‌شناسی توی بورس هستند. او نوشته بود که اگر من خواهان کار کردن در این رشته‌ها هستم، اول باید نشان دهم که واقعاً در این عرصه‌ها دارای صلاحیت هستم، و مطمئناً کلتک مرا به‌عنوان دانشجو نخواهد پذیرفت. شاید او هرگز تبصره‌ی ۲۲ را نخوانده بود. از شانس من، دن لیندزلی از دانشگاه کالیفرنیا در سان‌دیگو حاضر شد مرا به‌عنوان دانشجوی کارشناسی ارشد با کمک‌هزینه‌ی تحصیلی در گروه زیست‌شناسی پذیرش کند. و باز خوش‌شانسی بیشتر این‌که ورا و تانیا هم حاضر بودند به کالیفرنیا نقل مکان کنند و با مستمری ناچیز یک دانشجوی کارشناسی ارشد به‌همراه خرج اضافی یک بچه‌ی شیرخوار — آن هم بدون داشتن ماشین — زندگی کنند.

به طریقی موفق شدم درست در زمان مناسب، مطالبی را به‌عنوان یک تز قابل

فصل ۱: تغییر غیرمنتظره‌ی برنامه‌ها در آمریکا ۱۹

قبول گرد هم آورم. پسرمان رمان درست یک ماه بعد از امتحان دکترای من به دنیا آمد. یکی دو هفته بعد، به‌همراه یکی از دوستانم با همه‌ی دار و ندارمان با یک کامیون رایدِر از اوهایو به کالیفرنیا رفتیم. ورا و بچه‌ها یک هفته بعد با هواپیما به‌همراه مادرزنم به آن‌جا آمدند. بعد از آن‌که مستقر شدیم، درس‌هایم را با جدیت از پاییز ۱۹۷۶ شروع کردم.

چیزی که در زیست‌شناسی بلافاصله توجه‌ام را جلب کرد، زیاد بودن حجم مطالبی بود که باید یاد می‌گرفتم. درس‌های مقدماتی برای دانشجویان تخصصی جدید پر از اصطلاحاتی بود که اصلاً نمی‌فهمیدم. برای این‌که خودم را برسانم، دوره‌ی کاملی از درس‌های دوره‌ی کارشناسی را در زمینه‌ی ژنتیک، بیوشیمی، و زیست‌شناسی سلولی، گرفتم و علاوه بر آن، دوره‌های چرخشی سال اول کارشناسی ارشد را هم گذراندم. این دوره‌ها به‌صورت پروژه‌های شش‌هفته‌ای کوتاهی است که دانشجویان کارشناسی ارشد در آمریکا معمولاً آن را می‌گذرانند و سپس برای پژوهش دکترای خود در یک آزمایشگاه مستقر می‌شوند. از آن‌جا که تحقیقات فیزیک من کاملاً نظری بود، هیچ اطلاعی از کار آزمایشگاهی نداشتم. این موضوع را مخصوصاً در دوره‌ای در آزمایشگاه میلتن سائر فهمیدم که در آن‌جا بر روی برداشت قند به‌وسیله‌ی باکتری‌ها کار می‌کردیم. برای این آزمایش، می‌بایست در زمان صفر، مقدار معینی گلوکز رادیواکتیو را به کشت باکتری‌ها اضافه کنیم، و سپس در نقطه‌های زمانی مختلف اندازه‌گیری کنیم که چه مقدار گلوکز وارد باکتری‌ها شده است. مقدار گلوکزی که باید اضافه می‌شد، از هر آن‌چه قبلاً دیده بودم، کمتر بود: فقط حدود ۲۰ میکرولیتر (کمتر از ۱ درصد حجم یک قاشق چای‌خوری). پرسیدم: مگر می‌شود یک‌چنین حجم کوچکی را اندازه‌گیری کرد؟ تکنیسینی که به من آموزش می‌داد، با کمال خوش‌رویی دستگاهی را به نام سمپلر به من نشان داد. این دستگاه اصولاً لوله‌ای است با یک پیستون، که می‌توان محل آن را تعیین کرد به‌طوری که بتواند به میزان دقیقی بالا یا پایین برود. این خانم به من نشان داد که چگونه حجم را روی درجه تعیین کنم، چگونه مقدار صحیح را بالا بکشم، و چطور موقع خالی کردن، دسته را کمی بیشتر فشار بدهم تا مطمئن شوم که تمام نمونه از آن خارج شده است. او گفت: همه‌اش همین قدر کار دارد. من توصیه‌اش را گوش کردم و دستگاه را توی گلوکز رادیواکتیو فرو بردم، و او با تعجب گفت: «چه غلطی داری می‌کنی؟ باید از سر سمپلر استفاده کنی!» این دستگاه به‌قدری متداول بود که یادش رفته بود به نوک‌های پلاستیکی باریک یک بار مصرفی اشاره کند که لازم بود

به انتهای سمپلر متصل شود، تا هرگز بر اثر تماس با نمونه آلوده نشود. اسباب‌کشی با یک کودک خردسال و یک طفل شیرخوار طبیعتاً شرایط مناسبی برای شروع یادگیری یک رشته‌ی جدید نبود. ولی از شانس خوب من، ورا که به‌عنوان تصویرگر کتاب کودک شروع به کار کرده بود، می‌توانست کارش را در خانه انجام دهد. او تقریباً تمام کارهای بچه‌داری و خانه‌داری را انجام می‌داد، تا من بتوانم تمام توجه‌ام را بر روی درس خواندن متمرکز کنم. در پایان سال اول، با خوش‌بینی احساس می‌کردم که به‌قدر کافی مطالب پایه در زمینه‌ی زیست‌شناسی فراگرفته‌ام و تجربیات نسبتاً متنوعی در آزمایشگاه کسب کرده‌ام. در سال دوم، شروع به همکاری با موریسیو مونتال کردم، که پروتئین‌هایی را مطالعه می‌کرد که امکان عبور یون‌ها را از غشاهای لیپیدی نازک احاطه‌کننده‌ی سلول‌ها فراهم می‌کنند. از قضا، در آزمایشگاه او مدت زیادی نماندم. تقریباً از روی اتفاق محض، یک بار دیگر به آن سوی کشور نقل‌مکان کردم تا بر روی یکی از قدیمی‌ترین و محوری‌ترین مولکول‌های حیات مطالعه کنم.



## فصل ۲

### برخورد اتفاقی با ریوزوم



تا اسم DNA می‌آید، تقریباً همه سرشان را به علامت فهمیدن تکان می‌دهند. همه می‌دانیم — یا فکر می‌کنیم می‌دانیم — DNA چیست. DNA مشخص می‌کند که اساساً چی هستیم و چه چیزهایی را به فرزندانمان منتقل می‌کنیم. DNA تبدیل به استعاره‌ای برای ویژگی‌های بنیادی تقریباً همه چیز شده است. حتی ممکن است در مورد یک شرکت بگوییم: «این در DNA آنها نیست.»

ولی اگر نام ریوزوم را بیاورید، حتی اکثر دانشمندان هم با نگاهی حاکی از ناآگاهی به شما خیره می‌شوند. چند سال قبل، کوئنتین کوپر در برنامه‌ی دنیای مادی رادیو بی‌بی‌سی به من گفت که مهمان هفته‌ی قبل برنامه عصبانی شده که چرا به چشم فقط نصف برنامه اختصاص داده شده است، در حالی که برای ریوزوم که یک مولکول بیشتر نیست، یک برنامه‌ی کامل در نظر گرفته شده است. البته نه تنها اکثر اجزای چشم به وسیله‌ی ریوزوم ساخته شده است، بلکه تقریباً تمام مولکول‌ها در تمام سلول‌ها در تمام اشکال حیات یا به وسیله‌ی ریوزوم‌ها ساخته شده‌اند و یا به وسیله‌ی آنزیم‌هایی که خودشان محصول کار ریوزوم‌ها هستند. در حقیقت، در مدتی که این صفحه را می‌خوانید، ریوزوم‌ها در داخل تریلیون‌ها سلول بدن شما هزاران پروتئین را خواهند ساخت. میلیون‌ها شکل حیات هستند که چشم ندارند، ولی تک‌تک آنها نیاز به ریوزوم دارند. کشف ریوزوم و نقش آن در ساختن پروتئین‌ها، نقطه‌ی اوج یکی از بزرگ‌ترین فتوحات زیست‌شناسی مدرن است.

وقتی که برای فراگرفتن زیست‌شناسی به کالیفرنیا آمدم، مثل اکثر فیزیکدانان هیچ اطلاعی نداشتم که ریوزوم چیست، و تنها تصور مبهمی از ژن داشتم. می‌دانستم که ژن‌ها انتقال‌دهنده‌ی صفاتی هستند که از نیاکانمان به ارث می‌بریم، و به فرزندانمان منتقل می‌کنیم. ولی بعد فهمیدم که ژن‌ها کارهای خیلی بیشتری نیز انجام می‌دهند. ژن‌ها واحدهای اطلاعاتی هستند که امکان آن را فراهم می‌کنند که ارگانیسم کاملی از

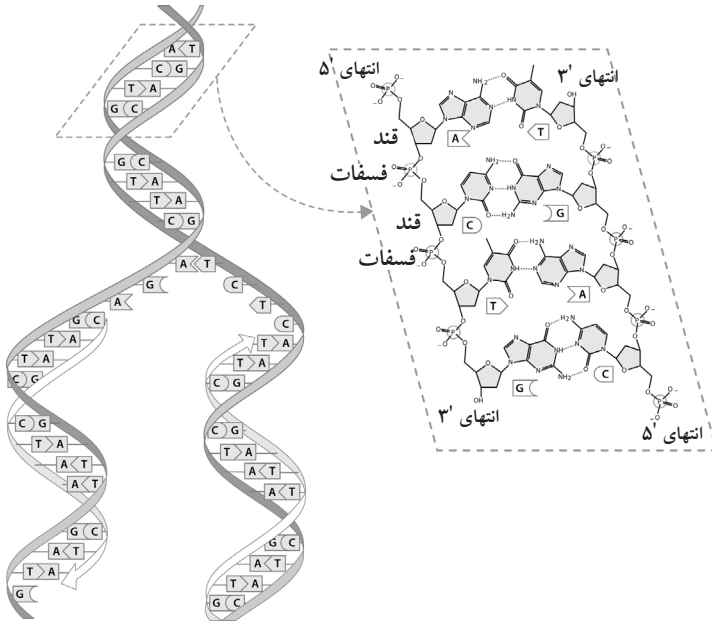
یک سلول واحد، مانند یک تخم بارور شده، ساخته شود. گرچه تقریباً همه‌ی سلول‌ها حاوی مجموعه‌ی کاملی از ژن‌ها هستند، ولی در بافت‌های مختلف مجموعه‌ی متفاوتی از ژن‌ها فعال یا غیرفعال می‌شوند، به طوری که سلول مو یا پوست با سلول کبد یا مغز بسیار متفاوت است. ولی ژن‌ها واقعاً چی هستند؟

به بیان وسیع، ژن رشته‌ای از DNA است که حاوی اطلاعاتی درباره‌ی این‌که چگونه و چه زمان یک پروتئین ساخته شود. پروتئین‌ها هزاران کارکرد در حیات دارند. مثلاً پروتئین‌ها هستند که سبب می‌شوند که ماهیچه‌ها حرکت کنند. پروتئین‌ها به ما امکان می‌دهند که روشنایی، لمس، و گرما را حس کنیم، و با بیماری‌ها مبارزه کنیم. پروتئین‌ها اکسیژن را از ریه‌های ما به عضلاتمان می‌رسانند. حتی فکر کردن و به یاد آوردن با استفاده از پروتئین‌ها امکان‌پذیر می‌شود. پروتئین‌های بسیاری به نام آنزیم واکنش‌های شیمیایی مختلفی را کاتالیز می‌کنند که منجر به ساخت هزاران مولکول دیگر در سلول می‌شوند. بنابراین، در نهایت، پروتئین‌ها نه تنها ساختمان و شکل سلول را تعیین می‌کنند، بلکه در عملکرد آن نیز دخالت دارند.

درک این‌که چگونه اطلاعات موجود در یک قطعه‌ی DNA می‌تواند برای ساختن یک پروتئین مورد استفاده قرار گیرد، نقطه‌ی اوج دهه‌ی مهیجی بود که با مقاله‌ی کلاسیک سال ۱۹۵۳ جیمز واتسون و فرانسیس کریک درباره‌ی ساختمان مارپیچ دوگانه‌ی DNA آغاز شد. غالباً ساختمان یک مولکول بلافاصله مشخص نمی‌کند که آن مولکول چه عملی انجام می‌دهد. ولی در مورد DNA این‌طور نیست، زیرا ساختمان آن هم نشان‌دهنده‌ی چگونگی انتقال اطلاعات بود و هم چگونگی تکثیر آن. از دیرباز یک معما بود که وقتی سلول تقسیم می‌شود، اطلاعات موجود در آن چگونه همانندسازی می‌شود، و وقتی که یک ارگانیسم تولید مثل می‌کند، چگونه فرزندان این اطلاعات را از آن به ارث می‌برند.

در هر مولکول، دو رشته‌ی DNA که در هم تنیده شده و مارپیچ دوگانه را تشکیل می‌دهند، در جهت مخالف جریان می‌یابند. هر رشته ستون فقراتی متشکل از گروه‌های متناوب قند و فسفات دارد، و یکی از چهار نوع باز — A، T، C، یا G — به قند متصل شده و به طرف داخل مارپیچ قرار گرفته است. واتسون مدل‌های این بازها را از مقوا بریده بود و با آن‌ها بازی می‌کرد، که ناگهان فکر درخشانی به ذهنش رسید: او متوجه شد که وقتی که روی یکی از رشته‌ها یک A قرار دارد، فقط می‌تواند با یک T در رشته‌ی دیگر متصل یا جفت شود، و با انواع دیگر بازها جفت نمی‌شود، و به‌طور مشابه، وقتی که در یک رشته یک G قرار دارد، با یک C در

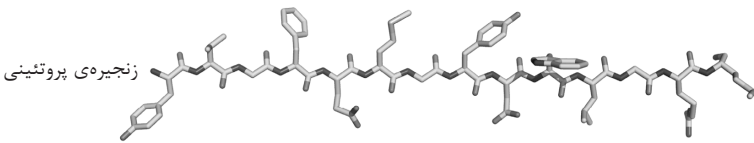
رشته‌ی دیگر جفت می‌شود. به این ترتیب، شکل هر جفت باز، چه AT باشد و چه CG، تقریباً یکسان است، بدان معنا که صرف نظر از ترتیب بازها، شکل و ابعاد کلی مارپیچ دوگانه تقریباً یکسان است. تشکیل جفت‌های باز بدان معناست که ترتیب بازها در یک رشته، دقیقاً ترتیب بازها در رشته‌ی دیگر را نیز مشخص می‌کند. وقتی که سلول‌ها تقسیم می‌شوند، دو رشته از یکدیگر جدا می‌شوند، و هر کدام از آنها اطلاعات لازم برای ساخت رشته‌ی دیگر را دارد، به این ترتیب، از یک مولکول DNA، دو نسخه حاصل می‌شود. به این طریق، ژن‌ها می‌توانند خودشان را تکثیر کنند. بالاخره بعد از قرن‌ها توانستیم از نظر مولکولی بفهمیم که چگونه صفات ارثی از نسلی به نسل دیگر منتقل می‌شوند.



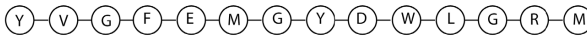
شکل ۱.۲ ساختار DNA

از این ساختار بلافاصله می‌شد فهمید که ژن‌ها چگونه تکثیر می‌شوند و انتقال می‌یابند، ولی مشخص نمی‌شد که چگونه اطلاعات ژن‌ها واقعاً برای ساخت پروتئین‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. مسئله این بود که هر رشته‌ی DNA زنجیره‌ی بلندی است که از قطعات سازنده متشکل از چهار نوع باز تشکیل می‌شود. ولی پروتئین‌ها زنجیره‌های کاملاً متفاوتی هستند که از اسیدهای آمینه تشکیل شده‌اند، و

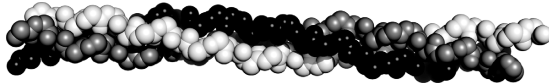
پیوند شیمیایی آن‌ها کاملاً متفاوت است. تنوع عظیم پروتئین‌ها ناشی از این حقیقت است که بیست نوع اسید آمینه داریم که واجد محدودی وسیعی از خواص شیمیایی هستند. طول هر زنجیره‌ی پروتئینی و ترتیب اسیدهای آمینه‌ی آن منحصر به فرد است، و به طرز شگفت‌انگیزی، اطلاعات لازم برای چین خوردن پروتئین و درآمدن آن به یک شکل منحصر به فرد را در خود دارد، و همین شکل به آن امکان می‌دهد که کارکرد ویژه‌ی خود را انجام دهد. کریک متوجه شد که ترتیب بازها در DNA، ترتیب اسیدهای آمینه را در پروتئین کدگذاری می‌کند، ولی سؤال این بود که چگونه.



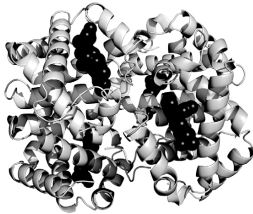
نمایش به صورت رشته‌ای از اسیدهای آمینه



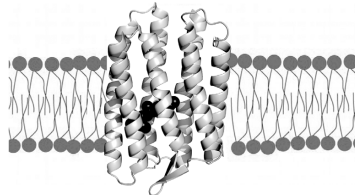
زنجیره‌های پروتئینی به شکل‌های مختلفی چین می‌خورند



کلاژن بافت پوست ما را تشکیل می‌دهد



هموگلوبین اکسیژن را در خون ما منتقل می‌کند



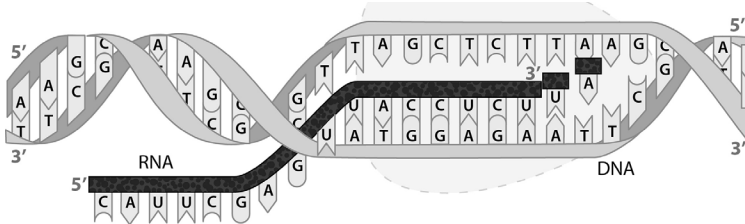
رودوپسین در غشای سلول‌های شبکیه‌ی ما قرار دارد و نور را حس می‌کند

### شکل ۲.۲ پروتئین‌ها

افراد زیادی به مدت بیش از یک دهه بر روی این مسئله کار کردند. بررسی‌ها نشان داد که یک رشته‌ی DNA که حاوی یک ژن است، به مولکول مشابهی به نام RNA پیام‌رسان یا mRNA کپی می‌شود، که بدان علت به این نامیده شده است که «پیام» ژنتیکی را به جایی که لازم است، انتقال می‌دهد. تفاوت RNA، که مخفف ریبونوکلیک اسید است، با DNA یعنی دزوکسی ریبونوکلیک اسید، در این است که در حلقه‌ی قند خود یک اکسیژن اضافی دارد. RNA نیز چهار نوع باز دارد، ولی

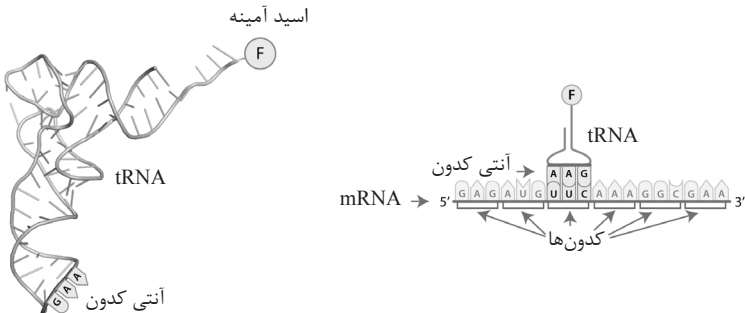
فصل ۲: برخورد اتفاقی باریبوزوم ۲۵

به جای باز تیمین (T) که در DNA یافت می شود، باز بسیار مشابهی به نام اوراسیل (U) دارد، که آن هم، مانند T، با A جفت می شود.



شکل ۲.۲ رونویسی: کپی کردن ژن از DNA به RNA پیام رسان

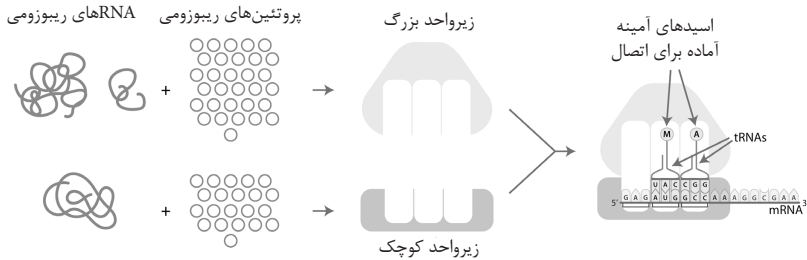
چطور می توان از چهار نوع باز به بیست نوع اسید آمینه رسید؟ مانند آن است که بخواهید بر مبنای یک جمله ی طولانی دستورالعمل ها که به صورت رمزی با یک الفبای خارجی نوشته شده است، عمل کنید. معلوم شده است که بازها به صورت سه تایی خوانده می شوند، که به هر گروه یک کدون گفته می شود. نحوه ی خوانده شدن آن ها — که کریک هم آن را پیش بینی کرده بود — به این صورت است که یک مولکول RNA دیگر به نام RNA ناقل یا tRNA داریم که اسید آمینه ی مناسب به یک انتهای آن متصل شده و گروهی متشکل از سه باز به نام آنتی کدون به انتهای دیگر آن. آنتی کدون و کدون جفت های باز تشکیل می دهند، درست مانند جفت هایی که بین دو رشته ی DNA برقرار می شود. کدون بعدی به وسیله ی یک tRNA دیگر شناسایی می شود که اسید آمینه ی خود را وارد می کند، و الی آخر.



شکل ۴.۲ RNA ناقل: مولکول های واسطه ای که اسیدهای آمینه را می آورند و کد روی RNA پیام رسان را می خوانند.

کشف بزرگ بعدی این بود که این به خودی خود اتفاق نمی افتد. زیست شناسان

سلولی ذراتی را در داخل سلول شناسایی کردند که در آنجا mRNA خوانده شده و پروتئین‌ها ساخته می‌شوند. این ذرات براساس استانداردهای معمول خیلی ریز بودند — چهار هزار تا از آن‌ها را می‌شد در پهنای یک تار موی انسان جای داد. در داخل هر سلول، از باکتری گرفته تا انسان، هزاران هزار از آن‌ها یافت می‌شد. ولی این ذرات از نظر مولکولی خیلی عظیم بودند. هر کدام از آن‌ها حاوی حدود پنجاه پروتئین و سه قطعه‌ی بزرگ RNA مخصوص بود — یعنی نوع سومی از RNA (غیر از mRNA و tRNA). در ابتدا، دانشمندان به آن‌ها «ذرات ریونوکلئوپروتئینی جزء میکروزومی» می‌گفتند، زیرا هم شامل RNA و هم پروتئین بودند، و از قطعات سلولی به نام میکروزوم جدا می‌شدند. ولی این عنوان خیلی ثقیل بود؛ بنابراین، در اواخر دهه‌ی ۱۹۵۰، هوارد دیتزیز در همایشی نام ریبوزوم را برای آن‌ها پیشنهاد کرد و از آن زمان به این نام خوانده شده‌اند. علاوه بر این، دیتزیز نخستین کسی بود که جهت ساختن شدن زنجیره‌ی پروتئین را شناسایی کرد. مایه‌ی خجالت است که من با آن‌که سی سال در این عرصه کار کرده بودم، دیتزیز یا کارهای او را نمی‌شناختم. بالاخره در سال ۲۰۰۹ که برای ایراد سخنرانی در همایشی به نام او به دانشگاه جانز هاپکینز دعوت شده بودم، با او ملاقات کردم، و او هنوز هم از این‌که این نام را وضع کرده بود، به حق احساس افتخار می‌کرد.



شکل ۵.۲ ترکیب ریبوزوم‌ها

کل ریبوزوم بیش از یک میلیون اتم دارد. از آنجا که ریبوزوم پیوند بین ژن‌های ما و پروتئین‌هایی است که براساس آن‌ها ساخته می‌شود، لذا می‌توان گفت که درست در چهارراه حیات واقع شده است. با آن‌که این نکته برای همگان روشن شده بود، ولی هیچ‌کس نمی‌دانست ریبوزوم‌ها چه شکلی هستند، جز این‌که قطعاتی هستند که از دو بخش تشکیل می‌شوند. مشکل اصلی هم همین‌جا بود. ریبوزوم به طریقی به mRNA متصل می‌شد و اسیدهای آمینه‌ای را که به وسیله‌ی tRNAها آورده