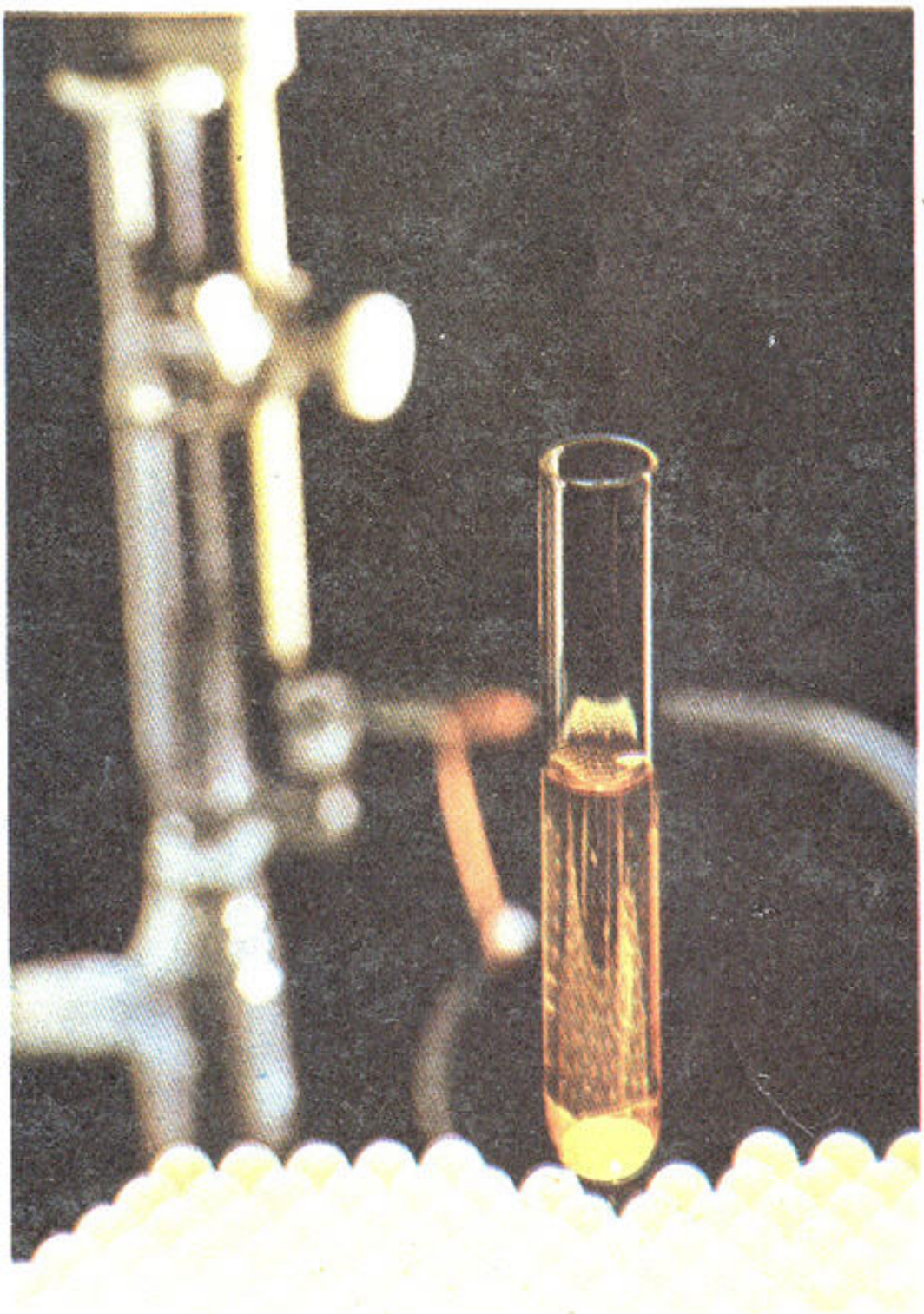
رمز ژنتیک

اثر: آیزاک آسیموف



ترجمه: نظر هنرچیان و آرارات عنبرچیان

رمز ژنتیک

اثر ایزاک آسیموف

ترجمهٔ: نظر هنرچیان ـ آرارات عنبرچیان

انتشارات میر (گوتنبرگ)

نام کتاب : رمز ژنتیک
اثر : ایزاک آسیموف
ترجمه : نظر هنرچیان و آرارات عنبرچیان
چاپ اول : سال ۱۳۶۴
چاپخانه : مهر
تیراژ : ۵۰۰۰ جلد

انتشارات میر (گوتنبرگ)

فهرست

پیش‌گفتار

تحول (شکستن سد یا عبور از مانع) ۷

فصل ۱: وراثت و کروموزوم

پیش از دانش ۱۶
ژنتیک ۱۸
تقسیم سلولی ۲۰

فصل ۲: در درجه نخست از اهمیت

مادهٔ کروموزوم ۲۶
گوناگونی ۳۰
گوناگونی بیشتر ۳۲
آنزیم‌ها در بی‌نظمی ۳۵

فصل ۳: زبان شیمیایی

اتم‌ها ۳۸
ملکول‌ها ۴۲
کربن به‌صورت زنجیر ۴۵
کربن به‌صورت حلقه ۵۱

فصل ۴ : خشت‌های آفرینیش پروتئین

ملکول‌های درشت (غول‌آسا) ۵۸
اسیدهای آمینه ۶۱
زنجیر جانبی ۶۵
کلمه‌ها به‌صورت جمله ۷۵

فصل ۵ : الگوی پروتئین

تعداد و ترتیب (مرتبه) ۸۴
الگو ــ تعبیر مختصر ۸۹
الگو ــ تعبیر و تفسیر مفصل ۹۶
الگو ــ ازنظر قابلیت ۱۰۲

فصل ۶ : یافتن محل رمز

نقشه (اوزالید) ۱۰۶
سقوط پروتئین ۱۰۹
صعود اسید نوکلئیک ۱۱۴

فصل ۷ : ترکیب سیندرلایی

فسفر ۱۱۸
دونوع گوناگونی ۱۲۲
پورین و پیریمیدین ۱۲۶
جور کردن بخش‌ها ۱۳۰

فصل ۸: از زنجیر به‌مارپیچ

طول زنجیر ۱۳۸

تنوع زنجیر ۱۴۰

مارپیچ وارد می‌شود ۱۴۵

فصل ۹: رشته‌های تعاونی

لنگه (بست و پیوند) پورین ـ پیریمیدین ۱۵۰

دوتا به‌جای یکی ۱۵۴

خطاها ۱۶۰

رشته‌های مصنوعی (ساخته دست بشر) ۱۶۵

فصل ۱۰: پیام‌آور از هسته

فوائد RNA- ۱۶۹

موضع سنتز شدن ۱۷۴

RNA- در موضع ۱۷۶

برقراری کلید ۱۷۹

فصل ۱۱: شکستن رمز

سه‌تایی‌ها (سه‌قلوها) ۱۸۴

استفاده از RNA- پیام‌آور ۱۹۱

فرهنگ سه‌تایی (سه‌قلوها) ۱۹۴

فصل ۱۲: آینده

مهندسی درون‌سلولی ۲۰۰

هدف نهایی ۲۰۴

فهرست کتاب‌ها

کتاب‌های زیر که به‌ورسیله نظر هنرچیان ترجمه شده است از انتشارات موءسسه میر (گوتنبرگ) می‌باشد.

۱ــ جهان ستارگان (سیاه‌چاله‌یا خفره‌های سیاه)	اثر: آیزاک آسیموف
۲ــ جهان نور (برنده جایزه نوبل)	اثر: ویلیام براگ
۳ــ "سیبرنتیک و تکامل کامپیوترها	اثر: ویکتورپکلیس و...
۴ــ "فوتون‌ها و هسته‌ها" و۵ ــ "الکترون" جلد ۳ و ۴ سری "فیزیک برای همه"	اثر: آ. کیتایگارودسکی
۶ــ الکترونیک به‌زبان ساده	اثر: آ. سدوف
۷ــ ماشین‌های متفکر چگونه کار می‌کنند؟	اثر: آ. سدوف
۸ــ ستاره‌شناسی و شناخت جهان	اثر: وسخسویاتسکی و...
۹ــ از طبیعت چه می‌دانیم؟	اثر: میخائیل اسکاتکین
۱۰ــ رادار به‌زبان ساده	اثر: رازماخنین
۱۱ــ علم به‌زبان ساده (جلد ۱)	اثر: لوبی میسون
۱۲ــ علم به‌زبان ساده (جلد ۲)	اثر: لوبی میسون
۱۳ــ "ماده و انرژی" و۱۴ــ اتم و انرژی اتمی	اثر: لوبی میسون
۱۵ــ سنگ‌ها را بشناسیم	اثر: ام. بی. کرماک

این کتاب‌ها نیز زیر چاپ می‌باشد که بتدریج منتشر خواهد گردید.

۱۶ــ صداهایی که نمی‌شنویم	اثر: اریک ویندل
۱۷ــ نظم و بی‌نظمی در دنیای اتم‌ها	اثر: آ. کیتایگارودسکی
۱۸ــ اصول کار در کارگاه	اثر: دوبف وبشنکوف
۱۹ــ شیمی به‌زبان ساده (اصول اساسی)	اثر: لوبی میسون
۲۰ــ مفهوم‌ها در شیمی	اثر: گرین‌استون وگراهام
۲۱ــ احتمالات در دنیای کوانتم	اثر: دانیل دانین
۲۲ــ ترتیب اتم‌ها	اثر: ای پتریانسف و، د. ن. تریفونوف
۲۳ــ فتوسنتز	اثر: آیزاک آسیموف
۲۴ــ مغز یادگیرنده	اثر: عذرا حسراتیان (اسرتیان)
۲۵ــ روان‌شناسی عمومی	اثر: گروه مولفان

پیش‌گفتار

تحول (یا عبور از مانع)

همهٔ ما خواه متوجه باشیم ویا نه در نخستین مرحله از یکی از مهم‌ترین تحول‌های علمی در تاریخ زندگی می‌کنیم.

از تولد شیمی نوین کمی بیش از سال ۱۸۰۰ میلادی تا تنها چندسال پیش، زیست‌شناسان بر سر مسئله ماهیت زندگی سردرگم و حیران بودند و تنها در زمینه دوردست (جانبی) آن به‌پیروزی‌هایی دست می‌یافتند. برخی از آنان از فرط نومیدی آماده بودند که مسئله زندگی و مکانیسم آن را به‌عنوان رازی ناگشودنی تلقی کنند و آن را چیزی به‌حساب آورند که فکر انسان نمی‌تواند در آن نفوذ کند و آن را درک کند.

سپس سال‌های به‌یادماندنی دههٔ ۱۹۴۰ فرا رسید. درحالی‌که دنیا دچار آشوب جنگ بود، یک‌نوع خلاقیت شگفت‌انگیز دانشمندان را دربر گرفته بود (قبلا" هم به‌این رابطهٔ بین جنگ و خلاقیت انسان اشاره شده است و از آن به‌ندرت به‌عنوان بهانهٔ مناسبی برای جنگ‌افروزی استفاده شده است).

شیمی‌دانان زیست‌شناس(بیوشیمیست) تا آن‌زمان یاد گرفته بودند که

چگونه از اتم‌های رادیواکتیو در بررسی‌های مربوط به‌ارگانیسم (ساختار)های زنده بهره‌برداری کنند (۱). آنان از این اتم‌ها در ترکیب‌هایی به‌کار بردند که بعدا" می‌توانستند آنها را در بدن تعقیب کنند (۱). سپس در سال‌های ۱۹۴۰ (دهه)، این‌چنین اتم‌هایی به‌برکت وجود راکتورهای هسته‌ای آزادانه دراختیار دانشمندان قرار گرفت و شیمیدانان زیست‌شناسی با استفاده از آنها توانستند با استادی تمام، پدیده‌های مبهم شیمی بدن را آشکار و روشن سازند.

شیمیدانان زیست‌شناسی، هم‌چنین در این دهه یاد گرفتند که به‌یاری کاغذ آب‌خشک‌کن، حلال‌هـای معمولی و جعبه بسته، مخلوط‌های پیچیده‌ای را جدا کنند. از سوی دیگر آن‌ها هم‌چنین از ابـزار بسیار پیچیده‌ای برای هدف‌های خود استفاده کردند، مانند: میکروسکوپ‌های الکترونی که جسم‌ها را با مقایسه با میکروسکوپ معمولی صدها بار بیش‌تر بزرگ می‌کرد و طیف‌نگار یا بنیاب‌نگار جرمی که می‌تواند اتم‌ها را یک‌به‌یک دسته‌بندی و سوا کند وغیره.

در همین دهه، نخستین گام‌ها را برای ترسیم و طرح عملی و واقعی ساختمان پیچیده و شگفت‌انگیز ملکول‌های غول‌آسا (بسیار دراز) که بافت‌های موجود زنده از آن ساخته می‌شود، برداشته شد.

ولی تحول (عبور از سد) در سال ۱۹۴۴ سررسید. در این زمان دانشمندی به‌نام او. تی. آوری به‌همراه دوتن از همکارانش ماده‌ای را مورد بررسی قرار دادند که می‌توانست صفات و ویژگی‌های موروثی را از یک باکتری به‌باکتری دیگر انتقال دهد. این اسید دی‌اکسی‌ریبونوکلئیک
ویا اسید ــ ــ معروف است.

برای کسان عادی ممکن است این کشف چندان مهم به‌نظر نیاید. ولیکن آن مفهوم‌های فراوانی را که شیمی‌دانان و زیست‌شناسان درطول یک‌قرن گذشته بدون‌تردید درست می‌پنداشتند را به‌کلی درهم ریخت و معنی آن‌ها را به‌کلی تغییر داد. آن موجب شد که بررسی زندگی در راستای نوینی شکل گیرد و روش‌های نوینی را برای بررسی پدید آورد. رشتهٔ جدیدی از دانش که اکنون "زیست‌شناسی ملکولی" نامیده می‌شود، پا گرفته است.

تنها پس از گذشت کم‌تر از سی سال، مسئله‌هایی که زمانی لاینحل به‌نظر می‌آمدند، اکنون حل شده‌اند، پندارهایی که در زمان خود تخیل و نتیجهٔ وهم و خیال پنداشته می‌شدند، به‌عنوان واقعیت مسلم پذیرفته شده‌اند. دانشمندان برای پیروزی و نیل به‌موفقیت‌های نو می‌خواستند از یک‌دیگر گوی سبقت بربایند و بسیاری از آنان به‌عنوان برنده بر روی صحنه پدیدار شده‌اند.

نتیجه‌ها بیش از اندازه زیاد است زیرا دید دقیق، روشن و تیزبین دانش نوین، قادر شده است که به‌سطح عمیق‌تری از درک و شناخت انسان با مقایسه با سه‌قرن و نیم پیش برسد.

دانش را هم‌آن‌گونه که امروزه تلقی می‌کنیم و می‌شناسیم از سال ۱۶۰۰ میلادی شروع شد، هنگامی که دانشمند و پژوهشگر بزرگ ایتالیایی، گالیله دستورالعمل به‌کارگیری روش‌های کمی برای مشاهده، انجام آزمایش‌های دقیق و تعمیم‌های تجریدی را که می‌توان به‌صورت رابطه‌های ساده ریاضی بیان کرد، همگانی کرد.

پیروزی‌های گالیله در دانش مکانیک، در بررسی حرکت و نیرو بود. در پایان قرن هفدهم میلادی این بخش از دانش به‌وسیلهٔ اسحق (ایزاک) نیوتون دانشمند انگلیسی پیشرفت بزرگی کرد. حرکت جرم‌های بزرگ آسمانی مانند ماه، زمین، خورشید و ستاره‌ها براساس قانون‌های مکانیک تفسیر و توجیه می‌شد: پدیده‌های پیچیده برمبنای استدلال و استنتاج از روی نتیجه‌گیری‌های ساده و ابتدایی توضیح داده می‌شد. ستاره‌شناسی نیز مانند فیزیک به‌تدریج شکل نوینی به‌خود گرفت.

فیزیک در راستای راهی که گالیله از میان دنیای پرپیچ و خم و ابهام یافته بود به‌پیشرفت و شکوفایی خود ادامه داد. در قرن نوزدهم میلادی برق و مغناطیس مهار شدند و نظریه‌هایی که به‌طور رضایت‌بخشی پدیده‌های الکترو مغناطیس (برق و مغناطیس یا مانیه‌تیزم) را توضیح می‌داد، پایه‌ریزی شدند.

با آغاز قرن بیستم میلادی، کشف رادیواکتیویته (ویژگی تابش پرتوها یا اشعه از برخی فلزها مانند اورانیم وغیره)، و نظریه کوانتم و نسبیت، دانش

فیزیک را به‌اوج جدیدی از پیچیدگی و درعین‌حال ظرافت کشانید.

یادآوری کنیم که در پایان قرن هجدهم، لاوازیه شیمی‌دان فرانسوی روش‌های اندازه‌گیری کمی را در قلمروی دانش شیمی به‌کار گرفت و این زمینه از شناخت به‌صورت علم راستین درآمد. قرن نوزدهم شاهد و ناظر گسترش نظریه‌های نو و پرثمری درباره اتم‌ها و یون‌ها بود. تعمیم‌های نوینی انجام شد: قانون الکترولیز کشف گردید و جدول تناوبی عناصر به‌وسیلهٔ مندلیف، دانشمند نامدار روس پیشنهاد شد. شیمی‌دانان آموختند که چگونه ماده‌های نایافتنی در طبیعت را از راه سنتز به‌دست آورند و این ماده‌های سنتزی دارای ویژگی‌هایی بودند که در بسیاری موارد سودمندتر از ماده‌های طبیعی بودند.

در پایان قرن نوزدهم میلادی، تقسیم‌بندی میان فیزیک و شیمی به‌تدریج زائل شد و به‌تحلیل رفت. رشته‌های نوینی از دانش مانند شیمی فیزیک و ترمودینامیک شکوفا شدند. در قرن بیستم، نظریه کوانتم نشان داد که چگونه اتم‌ها با هم می‌پیوندند و ملکول می‌سازند. اکنون هرگونه تقسیم‌بندی میان فیزیک و شیمی مجازی و ساختگی است و این‌دو با هم‌دیگر یک دانش شمرده می‌شوند.

درحالی‌که فکر انسان در زمینه جهان بی‌جان به‌پیروزی‌های بزرگی نائل می‌شد، هنگامی‌که دانش‌های فیزیکی (مربوط به‌طبیعت بی‌جان) به‌صورت غول درمی‌آمدند، با دانش زندگی چه می‌شد؟

البته دانش‌های مربوط به‌زندگی ساکن و راکد نمی‌ماندند. پیشرفت‌های بزرگی حاصل می‌شد. مثلا" در قرن نوزدهم شاهد سه تحول عمده (یا شکستن سد و مانع) هستیم.

در سال‌های دههٔ ۱۸۳۰، شلیدن، زیست‌شناس آلمانی و همکارش شوان، نظریهٔ سلول را ارائه دادند. به‌عقیدهٔ آنان، همهٔ جانداران از واحدهای ریزی به‌نام سلول ساخته می‌شدند که تنها به‌وسیلهٔ میکروسکوپ (ذره‌بین) دیده می‌شود. این‌ها واحدهای واقعی زندگی بودند.

در سال‌های دههٔ ۱۸۵۰، داروین طبیعی‌دان انگلیسی بر روی نظریهٔ

تکامل کار کرد که همهٔ زندگی گذشته، حال و آینده را به‌هم‌دیگر پیوند داد. این نظریه از سنگ‌بناهای زیست‌شناسی جدید است.

بالاخره در سال‌های دهه ۱۸۶۰، پاستور، شیمی‌دان فرانسوی ابراز کرد که این میکرب‌ها هستند که موجب بیماری می‌شوند. تنها پس از آن بود که دانشمندان طب به‌درستی دریافتند واقعاً" چه بکنند و دانش پزشکی دیگر الابختکی و بازیچهٔ دست "سرنوشت" نبود. از همین زمان است که با پایین آمدن تعداد مرگ و میر به‌نحو چشم‌گیری روبرو هستیم و زندگی انسان‌ها تا حد زیادی درازتر شده است.

این تحول‌ها (شکستن سدها و فرو ریختن مانع‌ها) در دانش زندگی هر قدر که هیجان‌انگیز باشند ازنظر ماهیت با فیزیک و شیمی همانندی ندارد. آن‌ها توصیفی و کمی می‌باشند، در بررسی آن‌ها از روش اندازه‌گیری دقیق بهره‌برداری نمی‌شود.

این ناهماهنگی و عدم‌تجانس در گسترش و پیشرفت رشته‌های گوناگون دانش، بسیاری از پژوهشگران امور انسان را دچار نومیدی کرده است. از آن‌جا که درک انسان از جهان (زمین و سایر دنیاها) اطراف خود، ژرف‌تر و استوارتر شده است، نیروی دم‌دست او به‌تدریج رو به‌فزونی گراییده است.

انسان از تیر و کمان تا تفنگ به‌مواد منفجرهٔ قوی و بمب‌های هسته‌ای اتمی و هیدرژونی رسیده است. او زهرهای جدیدی چه ازنظر شیمیائی و چه زیست‌شناسی یافته است. حتی "پرتوها (یا اشعهٔ) مرگ" جدیدی به‌نام لیزر دردست دارد که درهرحال چیزهای زیادی در زمینه‌های ارتباطات، تکنولوژی صنعتی و حتی پزشکی وعده می‌دهد. (چنانچه بتوانیم از این نور مستقیم و تقویت‌شده برای موردهای زمان صلح (صلح‌آمیز) بهره‌برداری کنیم.).

انسان همیشه قادر بوده است که از دانش خود برای ایجاد ویرانی و بیچارگی استفاده کند. او این توانایی را از زمانی داشته است که افروختن آتش را یاد گرفت و نخستین‌بار از چوبدستی استفاده کرد. در سال‌های دههٔ ۱۹۴۰ برای نخستین‌بار یاد گرفت که از دانش خود برای هدفی مانند نابودی

نژاد انسان و احتمالاً" هرنوع زندگی به‌کار برد.

دانش توانسته است که معرفت سرشار خود را به‌انسان عرضه نماید، ولی موجود انسان هنوز از درک دانش پس مانده است.

حال بر "دانش‌های اجتماعی" چه گذشت؟ اندیشمندان بزرگی به‌بررسی انگیزه‌های روان‌شناسی چه "عادی" و چه بیمارگونه پرداخته‌اند. دیگران به بررسی فرهنگ‌های بشر درطول دوره‌های گوناگون سرگرم بوده‌اند. به‌هرحال نه روان‌شناسی و نه جامعه‌شناسی بیش از این که به‌لمس حاشیه‌های موضوع بپردازد ویا کاری انجام نداده است ویا از مرحلهٔ توصیف پا فراتر ننهاده است. هیچ یک از رشته‌های دانش جامعه چیزی نیست که شیمی‌دان ویا فیزیک‌دان غرق‌شده در اندازه‌گیری کمی آن را "دانش" خواهد نامید.

بنابراین ما با این واقعیت روبرو می‌شویم: انسان به‌آن‌جا رسیده است که می‌تواند با ارادهٔ خود هزاران‌میلیون انسان را درعرض یک روز بکشد ولی هنوز توانایی آن را ندارد که بداند در پشت این جریان اراده چه‌چیزی نهفته است.

سقراط در ۲۵۰۰ سال پیش هشدار داد: "خود را بشناس." و امروز انسان مجبور است که خود را بیش‌تر بشناسد وگرنه همهٔ‌ما محکوم به‌نابودی هستیم.

***

با اطمینان‌خاطر می‌توان گفت که دانش‌های فیزیکی (مربوط به‌دنیای غیر جاندار و طبیعت) به‌قلمروی زیست‌شناسی دست‌درازی کرده‌اند، گاه از منطقه‌ای در مرز سرک کشیده و گاه چندمتری به‌سرزمین این دانش تجاوز کرده‌اند. فیزیک‌دانان انقباض ماهیچه و قابلیت‌های الکتریکی مغز را بررسی کرده‌اند. شیمی‌دانان کوشش نموده‌اند که تصویری از چگونگی واکنش‌های شیمیائی موجود در بافت‌های زنده را ترسیم کنند. ولی قسمت بزرگی از قلمروی زیست‌شناسی دور از دسترس باقی ماند و دانشمندان علوم طبیعی تنها توانستند پوستهٔ بیرونی را کمی خراش دهند یا بکنند، تا این‌که دههٔ بزرگ ۱۹۴۰ فرارسید.

سپس، در سال ۱۹۴۴ گویا با یک ضربه، مسئله اصلی زندگی ــ رشد،

تولیدمثل، وراثت، تغییر و دگرگونی سلول تخم اصلی درطول رشد خود، و شاید کار خود مغز، درمعرض تیغ جراحی علوم‌طبیعی قرار گرفت.

تنها در این هنگام بود که برای نخستین‌بار انسان بر روی جادهٔ دانش واقعی زندگی پا نهاد، جاده‌ای که بالاخره ممکن است (و حتما") به‌درک دقیق زندگی و کار مغز مانند آنچه درمورد اتم و ملکول صدق می‌کند، منتهی شود

البته این درک نو، ممکن است موردسوءاستفاده قرار گیرد و احتمالا" به عنوان سرچشمه‌ای برای وحشت جدید خدمت کند، کنترل علمی زندگی ممکن است برای هدف‌های خودکامگی جدیدی موردبهره‌برداری قرار گیرد. ولی احتمال دارد که چنین نشود. اگر از آن به‌طرز درستی استفاده شود می‌تواند حداقل برای بسیاری از بیماری‌ها که موروثی است درمانی پیدا کند (چه ازنظر فیزیکی و چه ازنظر روانی).

فزون بر این، این واقعیت علمی می‌توانست نیروهای مرگبار طبیعت را در دسترس گونه‌ای (از جانداران) بگذارد که خود را می‌شناسد و درک می‌کند و می‌تواند خود را کنترل کند ــ بنابراین نتیجه می‌گیریم که می‌توان مسئله مرگ و زندگی را با او درمیان گذاشت.

شاید بیش از اندازه دیر شده است، شاید جنون انسان پیش از این که شناخت جدید بتواند به‌سطح لازم کامل بودن برسد، همگی ما را به‌کام مرگ خواهد کشاند.

شاید تنها لازم داریم تا یک تا دو نسل دست نگهداریم، زیرا تندی پیشرفت دانش نوین شگفت‌انگیز است.

ملاحظه کنید:

در سال ۱۸۲۰، دانشمند دانمارکی به‌نام ارستد متوجه شد که هنگامی که قطب‌نما به‌سیمی نزدیک می‌شود که جریان برق از آن عبور می‌کند، عقربه منحرف می‌شود. این مشاهده تصادفی در اول، پدیده‌های الکتریسیته و مغناطیس را به‌هم گره زد.

این آزمایشی ساده بود و به‌ندرت کسی می‌توانست عواقب آن را از پیش

بگوید. درنتیجه پژوهشی که از مشاهده ارستد جوانه زد، مولدهای برق و موتور ابداع شدند و تلگراف اختراع شد، همه این‌ها تنها در یکربع قرن. درطول ۶۰ سال، چراغ ملتهب اختراع شد و الکتریکی‌کردن دنیا آغاز شد.

در سال ۱۸۸۳ ادیسون مشاهده کرد هرگاه پلاک (صفحه) فلزی در درون چراغ برق در کنار رشته داغ‌شده قرار می‌گرفت، می‌توان جریان برق را وادار کنند تا ازمیان خلاء بین رشته و پلاک در یک راستا ولی نه در راستای دیگر حرکت کند.

خود ادیسون ارزش‌این تحول را نمی‌دانست ولی دیگران بالاخره دانستند. از "اثر ادیسون" در لامپ‌های رادیویی (دیود، تریود یا لامپ دوقطبی و سه قطبی) بهره‌برداری شد و دانش الکترونیک پا به‌میدان نهاد. درطول ۴۰ سال، رادیو به‌عامل جدیدی در امور انسان تبدیل شد. پس از ۶۰ سال تلویزیون جای رادیو را گرفت و از الکترونیک برای ساختن کامپیوترهای بزرگ (دستگاه متفکر و محاسبه‌گر) بهره‌برداری شد.

در سال ۱۸۹۶، بکرل، فیزیکدان فرانسوی قطعه‌ای از نمک اورانیوم را تصادفا" در کاغذ عکاسی پیچید و آن را در کشوی تاریکی گذاشت. سپس مشاهده کرد که کاغذ عکاسی نور دیده است. به‌نظر می‌آمد که اورانیم از خود پرتوهای نفوذکننده (نافذ) ولی غیردیدنی منتشر می‌کند و این مشاهده، دریچهٔ دنیای نوینی از قلمروی اتم را دربرابر دانش گشود.

پس از گذشت یکربع قرن از کشف بکرل، دانشمندان اتمی (هسته‌ای) اتم‌ها را خرد می‌کردند و می‌شکافتند. پس‌از یکربع قرن دیگر، آنان شهرها را "خرد" می‌کردند (۱). پس از ۶۰ سال، نیروگاه‌های اتمی، نیرو و انرژی لازم برای نیازهای عادی انسان را تامین می‌کردند و فیزیک‌دانان به‌دنبال روش‌هایی چهاراسبه می‌تاختند که ممکن است انرژی لازم ما را برای میلیون‌ها سال آینده تامین . .

در سال ۱۹۰۳ برادران رایت با نخستین ماشین سنگین‌تر از هوا پرواز کرد. این کار قبلا" به‌وسیله بالن‌های پر از هیدروژن که سبک‌تر از هوا بود،

انجام می‌گرفت. آن دستگاه کوچکی بود که تنها توانست چندمتری به‌هوا بلند شود و "خیز"های کوتاهی بردارد. پس‌از گذشت چندین‌سال این هواپیمای حقیر جای خود را به‌هواپیماهای جتی داده است که بیش از ۲۰۰ مسافر حمل می‌کنند و از فراز اقیانوس‌ها و قاره‌ها با سرعت تا دوبرابر صوت حرکت می‌کنند.

در سال ۱۹۲۶ گودارد نخستین موشک را با سوخت مایع و اکسیژن مایع به‌هوا بلند کرد. آن تا بلندی ۶۰ متر با سرعت ۹۰ کیلومتر در ساعت بالا رفت.

ولی فن موشک‌سازی به‌سرعت پیشرفت کرد و پس از ۳۶ سال موشک‌هایی ساخته شد که می‌توانستند انسان را در مداری دور زمین قرار دهند و تا ارتفاع بیش از ۲۰۰ کیلومتر بالا بروند و با سرعت بیش از ۱۰ کیلومتر در ثانیه حرکت کنند (۱).

دورهٔ ۶۰ سال مدت‌زمانی است که در بسیاری از موردها بین تحول ابتدایی رشته‌ای از دانش تا شکوفایی آن مشاهده می‌شود. از آن‌جا که دانشمندان در سال ۱۹۴۴ ماده‌ای به‌نام ــ ــ را بررسی کردند، بی‌شک، این امر دانش‌های زندگی را دچار تحول شگرفی نمود.

من مطمئن هستم که اگر تا چندین‌سال دیگر زنده باشیم در سال ۲۰۰۴ دانش زیست‌شناسی ملکولی با چنان موفقیتی روبه‌رو خواهد شد که امروز به زحمت می‌توانیم تصور آن را بکنیم.

پس در این کتاب کوششی شده است که سابقهٔ تحول (۱) و معنی و مفهوم کامل آن و عواقب بلافصل آن را توضیح دهیم و بالاخره پیش‌گویی کنیم که این تحول چه تغییراتی در دنیای‌آینده ایجاد کرد و دنیای سال ۲۰۰۴ چگونه خواهد بود؟ تو گویی با دو چشم خود شاهد آن هستم.

۱ــ به‌معنی شکستن سد یا عبور از مانع. م

فصل ۱

وراثت و کروموزوم

پیش از دانش

هر زنی می‌داند که کی مادر می‌شود. او می‌داند که کودک مال اوست زیرا از بدن خودش به‌وجود آمده است.

درک و استنباط پدربودن کمی دشوارتر است. مدت زیادی طول کشید تا انسان نخستین دریافت که خودش هم نقشی اساسی در تولد کودک دارد. بهرحال، بالاخره این اندیشه شکل گرفت و در وقت خود هنگامی که گروهی از انسان‌ها متمدن شدند، فکر پدربودن برقرار شد.

هنگامی که عقیدهٔ پدرشدن استنباط شد، خود خانواده مفهوم جدیدی پیدا کرد. دیگر فکر نمی‌کردند که کودک چیزی است که بدون هیچ دلیل قانع‌کننده و قابل‌توضیحی برای زن پیش‌آمده است و برای مردی که با آن زن همدم بوده است اسباب زحمتی نو است. آن به‌عنوان بخشی از خود مرد محسوب (تلقی) می‌شد: بخشی از خود بدن او که زندگی یافته است و دوباره جوان شده است.

کودک از مقام اسباب‌زحمت‌بودن به‌مظهر (سمبل) جاودانگی رسید:

موجودی که پس از مرگ پدر به‌زندگی ادامه خواهد داد و به‌عنوان نمایندهٔ خانواده باقی خواهد ماند. کودک به‌جزئی از یک گروه مداوم تعلق داشت که وجود او مایه اعتبار همهٔ عضوهای گروه بود، چه زنده، مرده و چه کسانی که بعدا" به‌دنیا می‌آمدند. (در تورات "عهدقدیم" و انجیل "عهد جدید" یا کتاب مقدس مسیحیان هم بارها به‌فاجعهٔ نداشتن بچه اشاره شده است که آن را به‌عنوان نتیجه‌ای برای مرگ یک خانواده تلقی می‌کردند).

به‌موازات استنباط (درک و دریافت) مفهوم پدربودن، تقریبا" به‌طور اجتناب‌ناپذیری تا اندازه‌ای احساسات مربوط به‌وراثت خصوصیات و صفات پیش‌آمد. در درجهٔ نخست، فرزند پسر اغلب ازنظر ظاهر به‌پدر می‌ماند. درحقیقت، این نشانهٔ بارزی بود که نشان می‌داد شوهر مادر درواقع پدر کودک است.

این احساس که فرزند پسر کیفیت‌ها و صفات غیرمحسوس و بغرنج پدر، مانند: دلیری و جسارت، خلق و خو و مهارت‌های گوناگون را به‌ارث می‌برد، گامی دیگر بود که از استنباط وراثت صفات جسمانی فراتر می‌رفت. اگر انسانی نشان می‌داد که شایستهٔ حکمرانی است، به‌سادگی می‌توان تصور کرد که فرزندش خودبه‌خود دارای همان صفاتی است که پدر خود را شایستهٔ حکومت می‌کرد. این تاحدی معقول به‌نظر می‌رسید، بنابراین پادشاهی و حکومت باید از پدر به‌پسر به‌ارث می‌رسید.

این تصور اتحاد و پیوند ارگانیک و استوار، نسل‌ها را از راه مداومت (تداوم) جسمانی و وراثت صفات به‌هم پیوند می‌داد که زیربنای ظهور پدیده‌هایی مانند ستایش نیاکان، اریستوکراسی‌ها و سیستم کاست، امتیازهای فئودالیسم (ملوک‌ـ الطوائفی) دشمن خونی خانوادگی (طایفه‌ای) و حتی نژادپرستی بوده است.

این تصور خانواده درمیان ما هم باقی مانده است. بسیاری از تصورات طایفه‌ای انسان گذشته ازبین رفته است، ولی ما امروزه هنگامی که می‌گوییم کسی از "خانواده‌ای خوب" آمده است، هنوز به‌خوبی می‌دانیم که منظور ما چیست. ما امروزه هم آماده هستیم که گناه پدران را به‌گردن فرزندان بیندازیم

و هنوز هم دراین‌مورد تردید و شک داشته باشیم که فرزندان پدرانی که "خوب نیستند"، خودشان هم به‌درد چیزی نمی‌خورند.

بنابراین تصور به‌ارث بردن صفات، و رسیدن صفات از اولیا به‌فرزندان یکی از قدیمی‌ترین و گسترده‌ترین اندیشه‌ها است، و این تصور استوارترین عقیده‌های انسانی است. با توجه به‌چگونگی تاثیر آن بر زندگی انسان و ساختمان جامعه انسانی، این یکی از مهم‌ترین اندیشه‌ها است.

هرچیزی که بتواند چگونگی به‌وجودآمدن چنین تصوری را روشن سازد، هر چیزی که آن را از سنتی حسی و غیراستدلالی به‌شناخت علمی دقیق ارتقا دهد، نمی‌تواند از اهمیت زیادی برخوردار نباشد.

ژنتیک

تا سال‌های ۱۸۶۰، هیچ‌کس مکانیسم‌های وراثت را عملا" موردآ قرار نداده بود. فقط در این زمان بود که مشاهده‌های دقیق انجام، و تجزیه و تحلیل شد. شخصی که این کار را انجام داد، کشیشی از جم روحانی آگوستین‌یان به‌نام گرگور مندل بود که غرق بررسی‌های گیاه‌شنا شده بود.

او گیاهان نخودفرنگی به‌شکل‌های گوناگون را با هم آمیزش (لقاح مصنوعی) می‌داد و به‌دقت اختلاف بین صفات گوناگون مانند رنگ و شکل دانه (مانند چروکیده یا صاف بودن) و طول ساقه را بررسی می‌کرد. از این آزمایش‌ها نتیجه‌گیری ساده‌ای به‌دست آمد که اکنون به‌نام "قانون‌های مندلی وراثت" نامیده می‌شوند. این قانون‌ها به‌جایی رسیدند که آن‌ها را می‌توانستند نه‌تنها درمورد نخودفرنگی بلکه درمورد همهٔ جانداران مانند حشرات، موش و انسان نیز عمومیت دهند. پس این قانون درمورد همهٔ جانداران صدق می‌کند.

هنگامی‌که این قانون را درمورد انسان به‌کار بردند، نتیجه‌گیری و استدلال

شد که هردوی والدین، نر و ماده، به‌طور برابر در وراثت کودک سهیم هستند. درمورد هر صفت فیزیکی (در شرایطی ساده) هر والدی در یک فاکتور (عامل) شرکت می‌کند. دو فاکتوری که بر یک صفت معینی غالب بودند یا آن را کنترل می‌کردند، نباید حتما" با هم برابر و یکسان باشند. برای مثال، یک والد ممکن است بر فاکتور رنگ چشم که چشمان آبی به‌وجود می‌آورد شرکت کند در حالی که دیگری ممکن است در ایجاد فاکتور بـرای چشم قهوه‌ای‌رنـگ سهیم باشد.

در ترکیب و جمع این‌دو، ممکن است یک فاکتور بر دیگری غالب باشد. برای مثال، شخصی که یک عامل برای چشمان قهوه‌ای و یک عامل برای چشمان آبی به‌ارث برده است ممکن است چشمان آبی داشته باشد. به‌هرحال فاکتور چشمان قهوه‌ای باقی خواهد ماند و با ترکیب با چنین فاکتوری ممکن است که در نسل بعدی کودکی با چشمان قهوه‌ای تولید کند.

در ابتدای قرن بیستم این فاکتورها را به‌نام ژن می‌خواندند که از کلمه "تولیدمثل" یونانی مشتق شده بود و دانشی که چگونگی رفتار این‌ژن‌ها به هنگام وراثت و چگونگی تعیین صفات به‌وسیلهٔ آن‌ها را ژنتیک نامیدند.

مندل به‌هنگام بررسی و کار بر روی نخودفرنگی، خوش‌شانسی آورده بود که با ارگانیسم (ساختار یا هر موجود زنده) ساده‌ای سر و کار پیدا کرده بود که می‌توانست تولیدمثل آن را کنترل کند.

صفات گوناگونی که مطالعه می‌کرد به‌وسیلهٔ یک‌جفت ساده ژن تعیین می‌شد، بنابراین او به‌نتیجه‌های سودمندی رسید. در ساختارهای (ارگانیسم) پیچیده‌تر، صفات تصور می‌شود که بیشتر محصول تعدادی ژن هستند که به صورت شریکی (باهم) عمل می‌کنند. فزون بر این این ژن‌ها ممکن است که صفاتی تولید کنند که خود آن‌ها تحت تاثیر شرائط محیط به‌وجود آمده‌اند. باز کردن گره‌های کور وراثت، ساده به‌نظر نمی‌آید.

به‌ویژه درمیان نوع انسان، مسائلی وجود دارد. برخی صفات مانند گروه یا نوع خون را می‌توان به‌آسانی دنبال کرد. بسیاری دیگر، چیزی ساده مانند

رنگ پوست دارای الگوهای پیچیدهٔ وراثت هستند که تاکنون روشن نشده است. با اطمینان خاطر می‌توان گفت که گاه "دانش عام" پاسخ‌هایی می‌دهد که معقول و قابل‌قبول به‌نظر می‌آیند و نظریه‌های نژادپرستی بر آن‌ها استوار است که برخی انسان‌ها حاضرند به‌خاطر آن‌ها جان خود را فدا کنند. برای دانشمندان موضوع‌ها نه این‌قدر ساده و نه این‌قدر خشن است. این جمله اخیر درمورد رفتار خشونت‌آمیز و غیرانسانی نژادپرستان و عواقب وخیمی که در گذشته برای سرنوشت انسانی داشته است و اکنون هم دارد، گفته شد.

تقسیم سلول

در نیمه دوم قرن نوزدهم، زیست‌شناسان به "مسئله اصلی" پرداختند. آنان این کار را با بررسی دقیق سلول‌های ریز ذره‌بینی انجام دادند که موجود زنده از آن‌ها ساخته می‌شود.

هر سلول قطره‌ای از مادهٔ سیال است (که ازنظر ساختمان و ترکیب شیمیایی بسیار پیچیده است) که به‌وسیلهٔ غشای نازکی پوشیده است و در مرکز بدن آن ماده‌ای به‌نام هسته وجود دارد.

سلول واحد زندگی است و با این که ارگانیسم ممکن است از هزاران میلیون سلول تشکیل شده باشد، همهٔ ویژگی‌ها و صفات ارگانیسم را می‌توان با بررسی کارکرد و واکنش‌های یک گروه از سلول‌ها ویا ترکیبی از گروه‌ها را دنبال کرد.

رنگ پوشت یک انسان به‌فعالیت دسته‌ای از سلول‌های پوست بستگی دارد که مادهٔ ملونه (رنگی) (۱) سیاه متمایل به‌قهوه‌ای تولید می‌کنند. هرقدر توانایی این سلول‌ها در تولید مادهٔ رنگی بیش‌تر باشد، پوست انسان تیره‌تر خواهد بود. اگر کسی از مرض قند (دیابت) رنج می‌برد، به‌این‌دلیل است که سلول‌های ویژه‌ای در پانکراس او به‌این یا آن‌دلیل نمی‌توانند مادهٔ ویژه‌ای را تولید کنند.

ما نمی‌توانیم به‌طور نامحدودی با این روش استدلال کنیم و درعین انجام این کار نمی‌توانیم از این فکر صرف‌نظر کنیم با دانستن چگونگی انتقال این صفات و مشخصات سلول‌ها درنتیجه می‌توانستیم بدانیم که صفات و ویژگی‌های گل ارگانیسم چگونه منتقل می‌شود. بدین‌ترتیب سلول‌های پوست متناوبا" تقسیم می‌شوند به‌طوری‌که به‌جای یک سلول موجود دو سلول نو پوست به‌وجود می‌آید. هریک از سلول‌های نو همان توانایی ایجاد مادهٔ رنگی را دارد که سلول پدر در اصل داشت. این توانایی (استعداد) چگونه حفظ می‌شود؟

درحدود سال ۱۸۸۰، والتر فلمینگ، زیست‌شناس آلمانی روند تقسیم سلول را به‌دقت بررسی کرد. او دریافت که هسته دارای ماده‌ای که رنگ سرخ را به‌خود جذب می‌کند (منظور مادهٔ رنگ‌کننده است، با نور سرخ اشتباه نشود) و بدین‌ترتیب دربرابر محیط بی‌رنگ اطراف به‌خوبی مشخص شود. این ماده را کروماتین نامیدند که از واژهٔ رنگ در زبان یونانی مشتق شده است.

درطول روند تقسیم سلول، کروماتین به‌صورت جفت‌هایی از مادهٔ زنده و رشته‌مانند به‌نام کروموزوم جمع می‌شود. از آن‌جا که این کروموزوم‌های رشته‌مانند نقش اصلی را در تقسیم سلول ایفا می‌کنند، این روند را میتوزیس یا میتوز نامیدند که از واژهٔ یونانی معادل "رشته" گرفته شده بود. در لحظهٔ حساس، پیش از تقسیم عملی سلول، جفت‌های کروموزوم ازهم جدامی‌شوند. هریک از جفت‌ها به‌یک‌سو از سلول تقسیم‌شونده می‌رود، درحالی‌که جفت دیگر به‌سمت مخالف می‌رود. هنگامی‌که تقسیم سلولی کامل می‌شود، هریک از سلول‌های جدید دارای تعداد مساوی کروموزوم است.

اگر به‌این امر توجه نکنیم، چنین به‌نظر خواهد آمد که هر سلول جدید تنها نیمی از شمار اصلی کروموزم‌ها را دارد. ولی چنین نیست، پیش از جدا شدن کروموزوم‌ها، هر کروموزومی، مضاعف یا رونوشتی از خود می‌سازد (یعنی کروموزوم دیگری شبیه خود می‌سازد) که به‌همین‌دلیل این عمل را نسخه‌برداری (replication- ـ رونوشت‌سازی) نامیده‌اند.

تنها پس از این مضاعف‌سازی (تولید کروموزوم جدید)، سلول تقسیم

می‌شود . درنتیجه هر سلول جدید دارای مجموعه‌ای کامل از جفت‌های کروموزوم است که با مجموعه‌های اصلی در سلول پدر همسان و همانند است . هر سلول جدید آمادهٔ تقسیم‌شدن است که در زمان خودش، روند مضاعف‌سازی (دوبله شدن) ، پس از نصف‌شدن تکرار خواهد شد .

از آن‌جا که کروموزوم‌ها درهنگام تقسیم سلولی به‌این خوبی و دقت حفظ شده‌اند و به‌این دقت بین سلول‌های جدید توزیع شده‌اند، طبیعتا" باید نتیجه گرفت که این کروموزوم‌ها هستند که به‌نحوی کارکرد و صفات سلول‌ها را کنترل می‌کنند . اگر سلول‌های فرزند دارای همهٔ استعدادهای سلول پدر هستند ، به‌این‌دلیل است که آن‌ها دارای کروموزوم‌های اصلی پدر هستند ویا مضاعف (رونوشت)های کاملا" همانند این کروموزوم‌ها را در خود دارند .

ولی با این استدلال که کروموزوم‌ها در ساختمان خود استعدادی دارند که صفات سلول ویژه‌ای را تعیین می‌کند می‌توان مطمئن بود که آنها هم‌چنین می‌توانند برای صفات و مشخصات تمام ارگانیسم مسئول باشند؟ درصورت داشتن جواب مثبت بهترین استدلال این خواهد بود که اشاره شود : همهٔ ارگانیسم‌ها ، هرقدر به‌هنگام رشد و بلوغ ممکن است بزرگ و پیچیده باشند ، زندگی را از سلول ساده‌ای شروع می‌کنند .

برای مثال این امر درمورد انسان صدق می‌کند که زندگی را از اووم (سلول جنسی زن) باردارشده شروع می‌کند که از اتحاد سلول تخم مادر و یک سلول اسپرم پدر به‌وجود می‌آید . سلول تخم اصلی ، بزرگ‌ترین سلول بدن انسان در هر دوجنس است که عملا" در بدن تولید می‌شود . بااین‌حال طول آن کم‌تر از یک‌صدم سانتی‌متر است و به‌زحمت به‌وسیلهٔ چشم غیرمسلح دیده می‌شود .

در این جسم بسیار ریز تمام فاکتورهایی (عوامل) که سهم مادر را در صفات به‌ارث‌رسیده به‌فرزند مشخص می‌کند ، دارد ، معلوم نیست که این پدیده از چه قسمت از این سلول ناشی می‌شود . بیش‌تر از مادهٔ درون تخم غذا می‌باشد که خودش زنده نیست . این هستهٔ تخم (یا تخمک) است که

قسمت بسیار کوچکی از سلول را تشکیل می‌دهد و در اصل زنده می‌باشد و فاکتورهای ژنتیک را منتقل می‌کند.

پیش از درنظرگرفتن سهم پدر، این‌ها ممکن است که چیزی کم و بیش حدس به‌نظر آید. سلول اسپرم در خود هیچ‌گونه غذایی ندارد. هنگامی که با سلول تخم پیوند می‌یابد، این ذخیرهٔ غذایی سلول اخیر است که به‌درد سلول تخمک بارورشده می‌خورد. درنتیجه سلول اسپرم بسیار کوچک‌تر از سلول تخمک می‌باشد. درواقع آن تنها $\frac{1}{8000}$ اندازهٔ سلول تخم (تخمک) می‌باشد. این کوچک‌ترین سلولی است که بدن هر جنس در انسان تولید می‌کند.

این سلول اسپرم بسیار ریز عوامل سهم پدر در وراثت کودک را دربر دارد. این شرکت دقیقاً" با سهم مادر برابر است.

در داخل سلول اسپرم کاملاً" از کروموزوم‌های "بسته‌بندی‌شده" (فشرده) پوشیده است که هر جفت از آن‌ها در سلول‌های انسان وجود دارد. تعداد این‌ها درمجموع ۲۳ عدد است. سلول تخم (تخمک) در هستهٔ خودش دارای ۲۳ عدد کروموزوم است، که هر جفت از آن‌ها در سلول‌های مادر وجود دارد.

تنها در شکل‌گیری سلول تخم و سلول اسپرم، می‌توان مورد توزیع کروموزوم‌ها بدون ریپلیکاسیون (مضاعف‌سازی) قبلی را مشاهده کرد. درنتیجه، سلول‌های تخم (سلول جنسی مادر) و سلول‌های اسپرم (مربوط به‌مرد) دارای "نیمی از مجموع" کروموزوم‌ها هستند. این موقعیت هنگامی تصحیح می‌شود که سلول تخم و سلول اسپرم با هم جوش می‌خورند تا اووم ovum- بارورشده را تشکیل بدهند که دارای ۲۳ جفت کروموزوم می‌باشد و هریک از جفت‌ها از مادر و هر یک از جفت‌ها از پدر است.

این برای همه معلوم است که پدر و مادر سهم یکسان و برابری در صفات به‌ارث‌رسیده به‌کودک دارند. درعین‌حالی که سلول تخم مادر چیزی بیش‌تر از کروموزوم را دربر دارد (مانند ذخیرهٔ غذایی) و اسپرم پدر چیزی بیش‌تر از نصف مجموع کروموزوم‌ها ارائه نمی‌دهد، بهرحال این نتیجهٔ قطعی به دست می‌آید که کروموزوم‌ها دارای فاکتور ژنتیک هستند که نه‌تنها درمورد

سلول‌های منفرد، بلکه درمورد تمام ارگانیسم، هرچند پیچیده باشد، صدق می‌کند.

برای اطمینان بیش‌تر، از آن‌جا که هیچ‌کس نمی‌تواند گمان کند که تنها ۲۳ نوع صفات متمایز (به‌تعداد جفت‌های کروموزوم) در بدن انسان وجود دارد، هیچ‌کس تصور نکرده است که هر کروموزوم تنها یک‌نوع صفت را تعیین می‌کند. ولی درعوض چنین گمان می‌شود که هر کروموزوم از تعدادی زیاد ژن درست شده است که هریک صفت یا ویژگی معینی را تعیین می‌کند. یک برآورد جدید، تعداد ژن‌های موجود در کروموزوم‌های انسان را به‌بیش از ۳۰۰۰ عدد می‌رساند.

با آغاز سال ۱۹۰۰ براثر کوشش‌های هوگو دووریس -Hugo de Vries- گیاه‌شناس هلندی، معلوم شد که وراثت همیشه به‌طور طبیعی پیش نمی‌رود. گاه صفات جدیدی بروز می‌کند که هیچ‌گونه شباهتی به‌صفات پدر ویا مادر ندارد. این پدیده را جهش (موتاسیون) می‌نامند که از واژه لاتین به‌معنی "دگرگونی" گرفته شده است.

جهش را می‌توان در پرتوی نظریهٔ کروموزوم‌ها تفسیر و بیان کرد. گاه کروموزوم‌ها درطول تقسیم سلول به‌طور ناکاملی توزیع می‌شوند، سلول تخم (زن) و اسپرم ممکن است دارای کروموزوم بیش‌تر یا کم‌تر باشد. عدم‌تعادل به‌وجودآمده به‌همهٔ سلول‌های بدن سرایت می‌کند.

عواقب جدی این عدم‌تعادل تنها در چند سال اخیر کاملا" درک شده است (حداقل در زمینهٔ انسان). کروموزوم‌ها در سلول‌های ما چنان در هم آمیخته‌اند که تنها در سال ۱۹۵۶ تعداد درست ۴۶ کروموزوم در سلول‌های انسان کشف شد. (پیش از این تصور می‌شد که تعداد آن‌ها در سلول ۴۸ تا است).

روش‌های جدیدی برای جدا کردن و بررسی کروموزوم‌ها ابداع شد و در سال ۱۹۵۹ دانشمندان دریافتند که کودکانی که با عقب‌ماندگی ذهنی به‌نام

"منگولیسم" به‌دنیا می‌آیند، به‌جای ۴۶ کروموزوم دارای ۴۷ تا هستند (۱). بی‌نظمی‌ها (عوارض) دیگر کم‌وبیش جدی‌تر به‌تعداد غیرطبیعی کروموزوم و تغییرشکل آن‌ها در جریان تقسیم سلولی نسبت داده می‌شود.

علی‌رغم این، همهٔ جهش‌ها را نمی‌توان با تغییرات منحصربفرد در کروموزوم‌ها توجیه کرد. بسیاری از آن‌ها درواقع ثابت می‌کنند که ظاهراً در کروموزوم‌ها هیچ‌گونه تغییری حاصل نشده است.

منطقی خواهد بود که نتیجه بگیریم که در این موارد فوق‌الذکر، تغییراتی در کروموزوم‌ها روی داده است ولی در سطحی که چشم مقدور به‌تشخیص آن نیست حتی درصورتی‌که این میکروسکوپ به‌یاری این عضو آمده باشد. تغییرات باید در ساختمان بسیار ریز (ریزتر از آنچه میکروسکوپ می‌تواند تمیز بدهد) ماده‌ای که کروموزوم را می‌سازد، روی داده باشد.

اگر این‌چنین است، بنابراین وقت آن رسیده است که عمیق‌تر به‌بررسی موضوع بپردازیم. یعنی وارد قلمروی شیمی‌دانان شویم، ولی پیش از این که بپرسیم: "در کروموزوم چه تغییرات شیمیایی روی می‌دهد؟"، باید اول بپرسیم: "کروموزوم‌ها از چه ماده‌های شیمیایی ساخته شده‌اند؟"

۱ــ منگولیسم یا سیندرم واون، موجب عوارضی ازنظر رشد ذهنی و فیزیکی (عقب‌ماندگی) می‌شود. اینان به‌جای داشتن دو کروموزوم شماره ۲۱ دارای سه کروموزوم می‌باشند. م

فصل ۲

در درجهٔ نخست از اهمیت

مادهٔ کروموزوم

ساختمان و ترکیب شیمیایی بافت‌های زنده مسئله‌ای بود که از بیش از یک قرن و نیم پیش، توجه شیمی‌دانان را به‌خود جلب کرده بود، معهذا پایه‌های گستردهٔ آن در نیمه‌های قرن نوزدهم نهاده شده بود.

ترکیب اصلی در تمام بافت‌های زنده، مسلما" آب است ــ آبی که همه‌جا در اطراف ما دیده می‌شود. ماده‌های باقی‌مانده، شامل ترکیباتی مشخص است که هیچ‌گونه شباهتی به‌ماده‌های غیرزنده (بیجان) ندارند.

ماده‌های خاک، دریا و هوا دربرابر گرما مقاوم هستند. ما آن‌ها را کم و بیش بادوام می‌نامیم. اغلب آن‌ها مشتعل نمی‌شوند. ماده‌هایی را که از بافت‌های زنده جدا می‌کنند، در اثر گرما به‌آسانی ازبین می‌روند. تمام آن‌ها کم و بیش قابل‌اشتعال (آتش‌گیر) هستند، حتی اگر در فضایی بدون هوا گرم شوند. دراین‌صورت آن‌ها نمی‌سوزند ولی تجزیه می‌شوند. این ماده‌ها در صورت دیدن گرما (گرم‌شدن) بخارهایی از خود متصاعد می‌کنند و به‌ماده‌های دیگری تبدیل می‌شوند.

درنتیجه، ماده‌های جداشده از بافت‌های زنده (یا از بافت‌هایی که زمانی زنده بودند) پیش‌تر از این یعنی تا سال ۱۸۰۷ دارای طبقه‌بندی و نامگذاری ویژهٔ خود بودند. این‌ها ماده‌های آلی (یا موجود در ارگانیسم ــ ساختار) نامیده می‌شدند، زیرا آن‌ها را با جدا کردن از ارگانیسم تهیه می‌کردند. بنا براین واژه ارگانیک (آلی) از ارگانیسم می‌آید. ماده‌هایی که از دنیای غیرزنده به‌دست می‌آمد، طبیعتا "inorganic نامیده می‌شدند (یا مواد غیرآلی و معدنی).

در سال ۱۸۲۰ رسم معمول بر این بود که ماده‌های آلی را به‌سه گروه گسترده تقسیم کنند:

کربوهیدرات‌ها، لیپیدها و پروتئین‌ها. ماده‌های آشنایی چون شکر و نشاسته، کربوهیدرات هستند. روغن‌زیتون و کره، لیپید هستند، درحالی‌که ژلاتین و سفیدهٔ تخم‌مرغ جزء پروتئین به‌حساب می‌آیند.

در نیمه‌های قرن نوزدهم، به‌آسانی می‌شد تشخیص داد که از این سه گروه، ماده‌های پروتئین‌دار، ازنظر ساختمانی از همه پیچیده‌تر و ازنظر کارکرد از همه مهم‌تر می‌باشند. درحقیقت، خود واژهٔ پروتئین از کلمه‌ای یونانی گرفته شد که به‌معنی "در درجهٔ نخست از اهمیت" می‌باشد.

پیچیدگی ساختمان پروتئین در ناپایداری و شکنندگی یاظرافت آن منعکس شده است.

کربوهیدرات‌ها و لیپیدها می‌توانند دربرابر عامل‌هایی مقاومت کنند که پروتئین نمی‌تواند، به‌شرطی که حداقل استعداد کارکرد خود را به‌عنوان یک پروتئین حفظ کند. برای مثال بسیاری از محلول‌های پروتئین در آب، بر اثر کمی گرما تغییر می‌کنند: پروتئین به‌صورت نامحلول درمی‌آید و نمی‌تواند کارکردی را که معمولا" داشت، هم‌چنان حفظ کند و ویژگی‌های خود را از دست می‌دهد. آن ماهیت خود را عوض می‌کند (قلب ماهیت).

تماس پروتئین با اسید می‌تواند ماهیت آن را تغییر دهد، محلول بازی (الکالین یا قلیا) هم این اثر را دارد. محلول‌های قوی نمک و تشعشع (تابش)

هم پروتئین را دچار دگرگونی می‌سازند. در غیبت همه این عامل‌ها، حتی تکان دادن محلول پروتئینی تا کف کردن اغلب برای قلب ماهیت آن کافی است.

درحقیقت، پروتئین همان مادهٔ زندگی است، همان‌قدر شکننده، ظریف و ضعیف که خود مادهٔ زنده است. تمام تغییرات محیط که به‌کارکرد پروتئین آسیب وارد می‌کنند، می‌توانند به‌ارگانیسم هم زیان وارد کرده و حتی به‌زندگی او پایان ببخشند. ظرافت یک ارگانیسم، درمقایسه با یک تکه‌سنگ، می‌تواند تشبیه خوبی باشد که می‌تواند لطافت پروتئین را که ارگانیسم را تشکیل می‌دهد، به‌خوبی روشن سازد.

بنابراین این واقعیت که کروموزوم‌ها بیش‌تر از پروتئین ساخته شده‌اند، شیمی‌دانان زیست‌شناسی را به‌حیرت واداشت. به‌نظر می‌رسد که باید همین طور هم باشد. چه چیزی به‌جز از ترکیبی که "در درجهٔ نخست از اهمیت" بود می‌توانست احتمالا" در ترکیب کروموزوم‌ها شرکت کند، کروموزوم‌هایی که صفات به‌ارث‌رسیدهٔ ارگانیسم را تعیین می‌کردند.

ولی کروموزوم‌ها منحصرا" پروتئین نبودند، به‌هرحال، چنین به‌نظر می‌آید که همهٔ پروتئین‌ها، "منحصرا" پروتئین نیستند. بعضی از پروتئین‌ها به‌راستی تماما" پروتئین هستند، به‌این‌صورت که هیچ پروتئینی از مادهٔ آن‌ها ازنظر خصوصیات و صفات با پروتئین‌های دیگر، تفاوت متمایزی ندارد. پروتئین سفیدهٔ تخم‌مرغ نمونه‌ای از این نوع است: آن پروتئین ساده است.

ازسوی دیگر، هموگلوبین، قسمتی از خون که معمولا" اکسیژن را از ریه‌ها به بدن می‌رساند، پروتئین ساده نیست: آن می‌تواند به‌دو ماده "هم -heme-، و گلوبین تقسیم شود. درحالی‌که این آخری پروتئین ساده است، هم، اصلا" پروتئین نیست ولی ماده‌ای همراه با آهن است که هیچ‌یک از ویژگی‌های معمولی پروتئین را ندارد. در هموگلوبین، این قسمت غیرپروتئینی محکم به‌پروتئین متصل شده است. بنابراین، هموگلوبین، نوعی پروتئین پیوسته است.

انواع دیگر پروتئین پیوسته در قسمت پروتئین ساده از ماده به‌اقسام

گوناگون از کربوهیدرات‌ها، لیپیدها، مادهٔ رنگی سلول‌ها، فلز به‌غیر از آهن، وغیره متصل شده‌اند. پروتئین ویژه در کروموزوم، پروتئین پیوسته است ولی قسمت غیرپروتئین، هیچ‌یک از ماده‌های فوق‌الذکر نیست. آن ماده‌ای بسیار جالب است که برای نخستین‌بار در یک قرن پیش کشف شد.

در سال ۱۸۶۹، فردریخ میشر، شیمی‌دان جوان آلمانی، ماده‌ای از بافت جدا کرد که معلوم شد، نه کربوهیدرات، لیپید ویا پروتئین است. چون آن را از هستهٔ (نوکلی) سلول به‌دست آورده بود، نام نوکلئین را روی آن نهاد. درموقع خود، معلوم شد که ماده دارای ویژگی‌های اسیدی است، بنابراین به نام اسیدنوکلئیک nucleic acid نامیده شد.

بالاخره دانسته شد که همین ماده است که به‌پروتئین کروموزوم، پیوسته است، بنابراین مادهٔ کروموزوم را به‌نام نوکلئوپروتئین نامیدند.

زمان گذشت و درطول نخستین ثلث از قرن بیستم، بیوشیمیست‌ها غرق در بررسی ویروس‌ها بودند، جانداران بسیار ریزی که موجب بیماری می‌شدند ولی به‌علت کوچک بودن، نمی‌شد آن‌ها را زیر میکروسکوپ دید.

در سال ۱۹۳۵، یک شیمی‌دان آمریکایی به‌نام وندل استانلی، ویروس موزائیک توتون را جدا کرد (این موجود ذره‌بینی موجب یک‌نوع بیماری در برگ گیاه توتون می‌شود). این ویروس‌ها به‌صورت کریستال (بلور) بودند. معلوم شد که بلورها در اصل پروتئین هستند. به‌این‌خاطر، استانلی برندهٔ جایزه نوبل در سال ۱۹۴۶ شد.

ویروس از سلول‌ها درست نشده است و از تکه‌ای ماده درست شده بود که در بیش‌تر موارد، از کروموزوم درشت‌تر نیست. ویروس مانند کروموزوم، استعداد مضاعف‌سازی (زپلیکاسیون) را به‌هنگام رسیدن به‌سلول دارد. اگر این شباهت کارکردی وجود داشت، شباهت دیگری ــ از نوع شیمیایی ــ هم به‌زودی کشف شد.

معلوم شد که در ویروس موزائیک توتون به‌جز از پروتئین مادهٔ دیگری

وجود دارد . آن دارای اسیدنوکلئیک هم بود ، بنابراین نوکلئوپروتئین شمرده می‌شود. پس از آن ویروس‌های دیگری هم جدا شده و مورد مطالعه قرار گرفته‌اند . همگی بدون استثنا به‌عنوان نوکلئوپروتئین شناخته شده‌اند .

این امر تصویر روشنی برای دانشمندان در سال ۱۹۴۰ ترسیم کرد . دو نوع هستی (موجود زندد) شناخته شده بودند که می‌توانستند علل همزاد یا مضاعف‌سازی (رپلیکاسیون) را انجام دهند . این‌ها کروموزوم‌ها در داخل سلول بودند و یکی دیگر ویروس‌های مهاجم خارج از سلول. هردو از نظر ساختمان (ماهیت) نوکلئوپروتئین بودند !

ازنظر واژه‌نگاری شیمیایی ، پاسخ برای مسئله ژنتیک در ساختمان و ماهیت نوکلئوپروتئین نهفته است .

گوناگونی -variety

برای شیمی‌دانان سال ۱۹۴۰ و پیش از آن، مسئله نوکلئوپروتئین در درجهٔ نخست ، مسئلهٔ پروتئین بود . ساختمان قسمت غیرپروتئینی درنظر آن‌ها و از روی تجربه ، نسبتا" ساده بود . این قسمت پروتئینی بود که به حساب می‌آمد .

پروتئین‌ها تنها ظریف و پیچیده نبودند ، آن‌ها به‌شکل‌های بسیار گوناگون دیده می‌شدند . این امر موجب شد که موضوع ساختمان پروتئین جالب ، شگفت‌انگیز و پردردسر باشد .

برای نشان دادن منظور خود ، اجازه بدهید که تصویری از این گوناگونی را رسم کنیم .

در بدن هزاران واکنش شیمیایی به‌طور مرتب درحال انجام است و تاکنون کل آن‌ها برآورد نشده است . به‌هرحال این واقعیت را درنظر بگیرید که همهٔ ماده‌های پیچیده در غذا ، ابتدا باید به‌جزءهای کوچک‌تری شکسته شود و

سپس این تکه‌های کوچک جذب بدن شده و به‌صورت ماده‌های پیچیدهٔ جدیدی درآید که برای بدن (که غذا را خورده‌است) مناسب باشد (قابل‌هضم و جذب).

قسمتی از غذا باید شکسته شود تا برای تولید انرژی به‌کار رود و مواد زائد باقی‌مانده باید دفع شود. ماده‌های ویژه‌ای که بدن به‌آن‌ها احتیاج دارد باید از ماده‌های دیگر، موجود در غذا تولید شود، به‌نظر می‌رسد که هر تغییری با ده‌ها مرحله یا قدم‌های مربوط به‌یک‌دیگر شکل می‌گیرد.

اگر ماده‌های واردشده در واکنش شیمیایی بدن را جدا کنیم، تقریبا" هیچ‌یک از واکنش‌های شیمیایی منفرد که به‌این آسانی و روانی در بدن روی می‌دهد، در لولهٔ آزمایشی تکرار نخواهد شد، حتی اگر ماده‌های واردشده را در دمای بدن نگه‌داریم. برای بازسازی (تکرار) این واکنش‌ها، مجبور هستیم که چیزی را اضافه کنیم که از بافت‌های زنده (یا زمانی زنده) خارج کنیم. این یک‌چیز، آنزیم است.

آنزیم یک کاتالیزور است، یعنی ماده‌ای است که مقدار کمی از آن، موجب می‌شود که یک واکنش شیمیایی بسیار سریع‌تر روی دهد، درحالی‌که درغیراین صورت چنین نخواهد شد. خود کاتالیزور در واکنش شیمیائی تغییر نمی‌کند. آنزیم این کار را با تامین سطحی انجام می‌دهد که ماده می‌تواند با انرژی کم‌تر در واکنش شرکت کند و درنتیجه سرعت آن بیش‌تر شود.

این موضوع پیچیده است ولی برای درک بهتر آن، برای نمونه تشبیهی را ذکر می‌کنم. آجری که بر روی یک الوار (تخته) مایل قرار دارد، با وجود کشش زمین به‌پایین نمی‌لغزد، زیرا اصطکاک موجب ماندن آن بر روی تخته می‌شود. معمولا" برای به‌حرکت‌درآوردن آن باید آن را هل داد، یعنی انرژی صرف کرد. پس از آغاز به‌حرکت، ممکن است به‌آن سر الوار بر روی زمین برسد ویا در نیمهٔ راه بایستد.

ولی فرض کنیم که هردو سطح تخته و آجر را با سطح نازکی از موم نرم بپوشانیم. اکنون هردو سطح صاف هستند و آجر بر اثر نیروی کشش و بدون نیروی خارجی مانند هل دادن، حرکت خواهد کرد و با سرعت بیش‌تری به

پایین الوار می‌رسد. آنزیم تاحدی مانند سطح موم عمل می‌کند.

اکنون، تقریباً هریک از هزاران واکنش در بدن به‌وسیلهٔ آنزیم ویژه‌ای (مشخصی) کاتالیز می‌شود. توجه داشته باشید که در هر واکنش یک آنزیم جداگانه شرکت می‌کند، نه همان آنزیم. هر واکنشی آنزیم ویژهٔ خود را دارد و هر آنزیمی پروتئین است، پروتئینی مختلف.

تنها در بدن انسان هزاران آنزیم گوناگون وجود ندارد، هر نوع از جانداران دارای آنزیم است. بسیاری از واکنش‌هایی که در بدن انسان روی می‌دهد، در سلول‌های دیگر جانداران هم شکل می‌گیرد. برخی از واکنش‌ها درواقع عمومی هستند، یعنی در سلول‌های هرنوع از جانداران دیده می‌شود. این بدان معنی است که آنزیمی که می‌تواند واکنش معینی را کاتالیز کند، ممکن است در سلول‌های گرگ، هشت‌پا، جلبک دریایی و باکتری و هم‌چنان در بدن ما وجود داشته باشد.

درعین‌حال، هریک از این آنزیم‌ها که توانایی کاتالیز کردن واکنش معینی را دارند، به‌نوع مشخصی مربوط می‌شود. آن‌ها را می‌توان از یک‌دیگر به‌خوبی تشخیص داد.

بنابراین چنین استنباط می‌شود که هرنوع از جانداران دارای هزاران آنزیم است و همهٔ این آنزیم‌ها ممکن است با هم تفاوت داشته باشند. از آن‌جا که میلیون‌ها نوع گوناگون از جانداران بر روی زمین یافت می‌شود، امکان دارد که تنها با درنظرگرفتن تعداد آنزیم‌ها گفت که هزاران میلیون پروتئین گوناگون در دنیا وجود دارد.

گوناگونی بیش‌تر

توانایی گوناگونی پروتئین‌ها از راه دیگری هم نشان داده می‌شود.

بدن انسان می‌تواند پادتن‌هایی بسازد. این‌ها ماده‌هایی هستند که بر

میکروارگانیسم (موجودات ریز یا ذره‌بینی)ها تاثیر می‌کنند ویا بر مادهٔ سمی که آن‌ها تولید می‌کنند در واکنش شیمیایی قرار می‌گیرند تا دربرابر موجودهای ذره‌بینی ویا سم آن مقابله کنند. بدن با همین روش با بیماری سرخک مبارزه می‌کند. بنابراین پادتن (آنتی‌بادی) ضدویروس سرخک دربدن تولید می‌شود و در بدن ما باقی می‌ماند وبا تماس آنی با ویروس تولید سریع آن را تسریع (یا تحریک) می‌کند. (بدن که شیوهٔ درست کردن پادتن را یاد گرفته است، در دفعه بعد آسان‌تر این کار را انجام می‌دهد)، و ما تا بعد از آن همیشه در برابر بیماری سرخک مصون و ایمن می‌مانیم.

همهٔ ما که در شهرهای بزرگ زندگی می‌کنیم همیشه درمعرض بیماری فلج کودکان و دیگر بیماری‌های خطرناک قرار داریم. بیش‌تر ما، پادتن‌هایی در مقابل این بیماری‌ها درست می‌کنیم و درنتیجه مقاومت لازم برای "عدم‌ابتلا" (مصونیت) را کسب می‌کنیم. (به‌هرحال عده‌ای بدشانس، بخت یارشان نمی‌شود و دچار بیماری می‌شوند).

گاه پادتن در بعضی از موردها دربرابر ماده‌های بی‌زیانی مانند گرد و خاک، گردهٔ گل‌ها که در غذای ما وجود دارد ویا در دیگر بخش‌های محیط ما وجود دارد ساخته می‌شود. هنگامی که ما درمعرض این ماده‌ها قرار می‌گیریم، واکنشی بین آن‌ها و پادتن روی می‌دهد و این گاه موجب بروز تعدادی از عارضه‌های ناراحت‌کننده می‌شود مانند سرفه، تورم مخاط بینی و گلو، سرخ شدن چشمان، جوش (همراه باچرک) پوست و تنگی نفس. دراین‌صورت می‌گوییم که نسبت به‌این ویا آن حساسیت (آلرژی) داریم.

این‌گونه حساسیت‌ها نسبت به‌ماده‌های ویژه را می‌توان به‌طور مصنوعی و عمدی بازسازی کرد. می‌توان مادهٔ معینی را وارد بدن خرگوش کرد (از راه تزریق). سپس این جانور پادتن آن را در بدن خود خواهد ساخت. سرم خون که از بدن خرگوش گرفته می‌شود، دارای مادهٔ پادتن خواهد بود که در برابر ماده‌ای که به‌بدن خرگوش تزریق شده است واکنش نشان خواهد داد و بر دیگر ماده‌ها اثر نخواهد داشت.

به‌نظر می‌رسد که تعداد پادتن‌های تولیدشده در بدن تقریبا" محدودیتی ندارد. هر باکتری، هر سم (توکسین) تولیدشده به‌وسیله باکتری، هر نوع ویروس‌ها، هر ترکیب پروتئین (و برخی از غیرپروتئین‌ها) در غذا ویا هر چیز دیگر می‌تواند به‌تولید پادتن معینی بیانجامد، که به‌آن ماده معین اثر می‌کند و درمقابل چیز دیگری عکس‌العمل نشان نمی‌دهد.

گفتیم که پادتن که برضد یک‌نوع معین از گروه ویروس عمل می‌کند، در مقابل ویروس دیگری هرچند شبیه آن گروه وارد عمل نمی‌شود. به‌همین دلیل است که ما دربرابر بیماری‌هایی مانند سرماخوردگی و آنفلوآنزا مصونیت کامل پیدا نمی‌کنیم. مطمئنا" ما پادتن‌هایی تولید می‌کنیم ولی دفعهٔ دیگر که بدون تردید درمعرض نوع مختلفی قرار می‌گیریم، پادتن ما دیگر اثری ندارد و مفید واقع نمی‌شود.

در ارگانیسم‌ها پروتئین‌هایی وجود دارد که نه آنزیم و نه پادتن هستند ولی درهرحال شما فکر خواهید کرد که بالاخره مادهٔ استانداردی ممکن است وجود داشته باشد. برای مثال، پروتئین‌های معینی در بافت‌های متصل‌کننده (مفصل و پی) ویا ماهیچه‌ها وجود دارد که ازنظر ساختمانی از اهمیت زیادی برخوردارند. این اولی کولوژن colagen- وآخری اکتومیوسین actomyosin- است. هموگلوبین هم هست که یادآوری کرده‌ایم.

حتی این‌ها هرنوع از جانداران با هم تفاوت دارند. برای اجزاء (ترکیب) خون انسان می‌توان پادتن پیدا کرد، که فقط درمورد خون انسان عکس‌العمل نشان خواهد داد. (به‌همین‌دلیل است که خون خشک‌شده و قدیمی را می‌توان به‌عنوان خون انسان تشخیص داد و آن را با خون مرغ اشتباه نکرد، کاری که پژوهشگران جنایی در ردیابی قتل به‌آن نیاز دارند.).

گاه پادتن برای خون مرغ با پادتن خون اردک تاحدی واکنش نشان می‌دهد ویا پادتن خون سگ نسبت به‌پادتن خون گرگ تاحدی عکس‌العمل (واکنش) نشان می‌دهد. این اثرات ــ متقابل (عکس‌العمل‌ها) ضعیف شاهدی هستند که نزدیکی دو نوع را درطول تکامل آن‌ها نشان می‌دهد.

می‌توان چنین خلاصه کرد : هرنوع دارای پروتئین و آنزیم مشخص خود است ، یعنی هر فردی آن‌ها را دارد و هر سلولی از آن‌ها دارد .

کلید رمز آنزیم‌ها هستند زیرا هر ارگانیسم پروتئین‌های خود را در رشته‌ای طولانی از واکنش‌ها که به‌وسیلهٔ آنزیم‌ها کاتالیز می‌شود ــ درست می‌کند . اگر ارگانیسم‌ها درمورد ماده‌هایی به‌جز از پروتئین باهم اختلاف داشته باشند ، مطمئنا" این ماده‌ها هم از راه فعالیت کاتالیزوری آنزیم‌های مشخص خود ، ساخته شده‌اند .

آنزیم‌ها در بی‌نظمی

گوناگونی در کمیت (مقدار و تعداد) یک آنزیم جداگانه ازمیان تعداد زیادی از آن‌ها نه‌تنها در سلول‌هایی که استفادهٔ معینی از آنزیم می‌کنند ، بلکه در تمام بدن می‌تواند تغییرات بزرگ و حتی وخامت‌آوری ایجاد کند .

بدین‌ترتیب سلول رنگ‌ساز ــ pigment ــ قهوه‌ای متمایل به‌سیاه وجود دارد که از یک‌رشته از واکنش‌ها به‌وسیله سلول‌های پوست ساخته می‌شود که هر کدام از آن‌ها به‌وسیلهٔ آنزیم معینی کنترل و اداره می‌شود . اگر همهٔ آنزیم به‌مقدار معمولی وجود داشته باشند، مادهٔ رنگی یا ملونه به‌مقدار قابل‌ملاحظه‌ای تشکیل می‌شود و پوست گندم‌گون (سیاه‌چرده) ، موها سیاه و چشم‌ها قهوه‌ای می‌شوند . اگر یکی از آنزیم‌ها به‌مقدار کمی تشکیل شود ، از تشکیل مادهٔ رنگی (ملونه) جلوگیری می‌شود و پوست ، سفید می‌شود و موها بلوند و چشم‌ها آبی می‌شوند . اغلب ، فرد طوری به‌دنیا می‌آید که استعداد تشکیل یکی از آنزیم‌ها را ازدست می‌دهد . دراین‌صورت هیچ‌گونه مادهٔ رنگی یا سلول‌های رنگ‌ساز تولید نمی‌شود . پوست و مو سفید می‌شوند و چشم‌ها صورتی می‌شوند زیرا رگ‌های خون به‌علت نبودن مادهٔ رنگی (ملونه) ، به‌چشم دیده می‌شوند . این مردم را آلبینو می‌گویند .

به‌سخن دیگر، علت ظهور آنچه را که صفات موروثی تصور می‌کنیم (مانند رنگ چشم‌ها ویا موی یک شخص) ویا یکی از جهش‌های وخیم (مانند ظاهرشدن آلبینو)ـ منحصرا" به‌فعالیت‌های سلول‌ها بستگی ندارد بلکه به‌دلیل گوناگونی و دگرگونی در مقدار یک آنزیم ساده در این سلول‌ها بستگی دارد.

گاه ما نمی‌توانیم به‌این آسانی، راه و مسیر طی‌شده از آنزیم تا اثر نهایی را به‌این خوبی دنبال کنیم. عدم‌وجود آنزیم و عدم‌تعادل عدهٔ زیادی ما ممکن است که مانع تشکیل یک واکنش طبیعی (نرمال) شود ویا شاید موجب واکنشی شود که معمولا" روی نمی‌دهد. ماده‌هایی که باید تشکیل شوند، شکل نمی‌گیرند، ویا مقدار زیادی از آن‌ها تشکیل می‌شود. درهرمورد، این به‌نوبهٔ خود بر کار دیگر آنزیم‌ها اثر خواهد کرد که این‌ها هم به‌نوبهٔ خود موجب اختلال کار دیگران می‌شوند وغیره. یک اختلال در کار آنزیم‌ها، در هر نقطه، موجب پیدایش فعالیتی زنجیره‌ای خواهد شد که ممکن است به‌هرجا خاتمه یابد.

آنزیمی به‌نام فنیل الانینایس phenylalaninase وجود دارد که در موردهای نادری ممکن است در بدن انسان وجود نداشته باشد. واکنش کاتالیزشده به‌وسیلهٔ این آنزیم‌ها یکی از عملیاتی است که در آن یکی از ماده‌های خام برای تولید ملونه pigment- قهوه‌ای ـ سیاه به‌وجود می‌آید (قبلا" تذکر داده‌ام). درصورت عدم حضور این آنزیم، تولید سلول رنگ‌ساز با اشکال مواجه می‌شود و فرد به‌رنگ بلوند درمی‌آید. ولی بنا بر دلایلی که آن‌ها را نمی‌شناسیم، همان فرد بدون این آنزیم، از عارضه‌ای که به‌نام فنیل پیرووِیک آلیگوفرینیا، رنج خواهد برد که عقب‌ماندگی ذهنی جدیی است:
-phenylpyruvic aligophernia

موردهای گوناگونی وجود دارد که در آن‌ها می‌توان مشخصات و صفات یک ارگانیسم را تا تعادل آنزیم‌ها در قلمرو سلول دنبال کرد. از آنچه شیمی‌دانان زیست‌شناسی تاکنون یافته‌اند، این تصور منطقی استنباط می‌شود که همهٔ صفات و مشخصات یک ارگانیسم برمبنای تعادل (بالانس) آنزیم‌ها توجیه و

تفسیر می‌شود (به‌تعادل آنزیم‌ها بستگی دارد).

اگر به‌بررسی حل معمای وراثت بپردازیم، دراین‌صورت به‌دو سئوال زیر برمی‌خوریم:

۱ــ پروتئین دارای چه ویژگی است که می‌تواند این‌همه آنزیم‌های گوناگون تشکیل بدهد؟

۲ــ کروموزوم‌ها دارای چه ویژگی‌هایی هستند که آن‌ها را قادر می‌سازد که آنزیم‌های معینی را تولید کنند و نه آنزیم‌های دیگری؟

برای پاسخ دادن به‌این پرسش‌ها باید در دریایی از زبان شیمیایی، متشکل از نشانه‌ها (سمبل) و فرمول شناور شویم. دنبال کردن جزئیات ریز و بغرنج ژنتیک بدون این کار، مثل این خواهد بود که نمایشنامه‌ای را از تلویزیون بدون شنیدن صدای آن تماشا کنیم. دراین‌صورت نظر کلی عملیات را درک خواهید کرد، ولی هرگز دقیقاً" نخواهید دانست که چه می‌گذرد.

فصل ۳:

زبان شیمیائی

اتم‌ها

زبان شیمیایی با عنصرها آغاز می‌گردد. عنصرها ماده‌هایی هستند که به ماده‌های ساده‌تر تجزیه و شکسته نمی‌شوند (به‌وسیلهٔ روش‌های معمولی که به وسیلهٔ شیمی‌دانان قرن نوزدهم ابداع شده بود). در مجموع ۱۰۳ عنصر شناخته‌شده وجود دارد، بعضی از آن‌ها تنها در آزمایشگاه‌ها ساخته می‌شوند و در طبیعت یافت نمی‌شوند. این عنصرها از شماره ۹۳ به‌آن‌طرف هستند. بنابراین در جهان ۹۲ عنصر طبیعی یافت می‌شود. این عنصرهای طبیعی در زمین یافت می‌شوند ولی نسبتا" نادر می‌باشند. درحالی‌که عنصرهای دیگر هم هستند که در طبیعت به‌فراوانی یافت می‌شوند ولی برای بافت‌های جانداران هیچ اهمیتی ندارند.

درواقع، در این کتاب تنها به ۶ نوع عنصر نیاز داریم که از آن‌ها بحث خواهد شد، نه زیادتر:

۱ــ کربن، ۲ــ هیدروژن، ۳ــ اکسیژن، ۴ــ نیتروژن یا ازت، ۵ــ گوگرد، ۶ــ فسفر.

همهٔ آن‌ها فراوان دیده می‌شوند و با چهارتای آن‌ها اغلب سروکار داریم. برای مثال، زغال تقریبا" کاملا" از کربن تشکیل شده است. به‌همین‌ترتیب زغال چوب، گرافیت مغز مداد مقدار زیادی کربن دارند. الماس هم، شکل ویژه‌ای از کربن است.

دوباره، ۹۹ درصد هوایی که تنفس می‌کنیم از ازت و اکسیژن تشکیل شده است که بیست درصد آن اکسیژن و بقیه ازت است (به‌نسبت ۴ به ۱ به‌نفع ازت). گوگرد به‌صورت جسم جامدی به‌رنگ زرد روشن دیده می‌شود. هیدروژن گازی است سبک، مشتعل‌شونده که گاه بالن‌ها را با آن پر می‌کنند. این سبک‌ترین عنصر روی زمین است. فسفر جامدی به‌رنگ متمایل به‌سرخ است.

همهٔ ماده‌ها از اتم‌های ریز درست شده‌اند. دانش قرن بیستم نشان داده است که اتم‌ها با وجود این‌که بسیار ریز هستند، ولی سیستم‌های پیچیده‌ای متشکل از ذره‌های باز هم ریزتر در درون آن‌ها جریان دارد. برای منظورهای این کتاب، احتیاجی نیست که درمورد ساختمان داخلی اتم نگران شویم. تنها کافی است بدانیم که اتم ماده‌ای بسیار کوچک است.

هر عنصر از یک یا چند اتم تشکیل می‌شود که با اتم عناصر دیگر فرق دارد. به‌هرحال ۱۰۳ نوع گوناگون از اتم وجود دارد، که هر اتم برای عنصر معینی است. چون ما با ۶ نوع عنصر سروکار داریم، بنابراین از ۶ نوع اتم بحث خواهد شد. آن‌ها به‌قرار زیر هستند:

۱ــ اتم کربن، ۲ــ اتم هیدروژن، ۳ــ اتم ازت یا نیتروژن، ۴ــ اتم اکسیژن، ۵ــ اتم گوگرد و ۶ــ اتم فسفر.

چون از این اتم‌ها در موردهای گوناگونی نام خواهیم برد، بنابراین برای راحتی خودمان، روش خلاصه کردن آن‌ها را به‌کار می‌بریم. براساس قرارداد بین‌المللی، این عنصرها با نخستین حرف نام خود مشخص می‌شوند. اتم کربن با حرف C- اتم هیدروژن با حرف H- اتم اکسیژن با حرف O- اتم نیتروژن (ازت) با حرف N، اتم گوگرد (سولفور) با حرف S- و اتم فسفر با حرف P نشان داده می‌شود.

بنابراین بخت به‌ما روی خوش نشان می‌دهد. در زبان معمولی (زبان انگلیسی) با ۲۶ حرف گوناگون سروکار داریم، که هرکدام به‌شکل حرف بزرگ و کوچک نشان داده می‌شوند. برای نشان دادن عددها با ۹ رقم سروکار داریم و برای نقطه‌گذاری و دیگر منظورها نشانه‌ها (سمبل)های گوناگونی به‌کار می‌بریم. (ماشین تحریر من دارای ۸۲ سمبل گوناگون است و در عمل نیازهای مرا برآورده نمی‌سازد). در زبان شیمیائی، ما کار را با تنها ۶ سمبل تمام می‌کنیم.

معمولا" اتم‌ها در دنیا به‌صورت جداگانه دیده نمی‌شوند. اتم‌ها همیشه به‌طور پیوسته با یک یا چند اتم یافت می‌شوند. هنگامی‌که اتم‌های گوناگونی از یک‌نوع در کنار هم قرار می‌گیرند، عنصرهایی که در ابتدای فصل از آن‌ها نام برده شد، تشکیل می‌شوند. گاه اتم‌های دو یا چندنوع گوناگون به‌هم می‌پیوندند که آن‌ها را ترکیب می‌نامیم (مانند آب که از دو اتم هیدروژن و یک اتم اکسیژن تشکیل (ترکیب) شده است.

هر گروه از اتم‌ها (مانند هم یا از نوع‌های گوناگون) که به‌هم‌دیگر پیوسته باشند و خودبه‌خود تجزیه نمی‌شود و به‌ما اجازهٔ بررسی آن‌ها را می‌دهد، ملکول نامیده می‌شود (از واژهٔ لاتین به‌معنی "جرم کوچک" گرفته شده است).

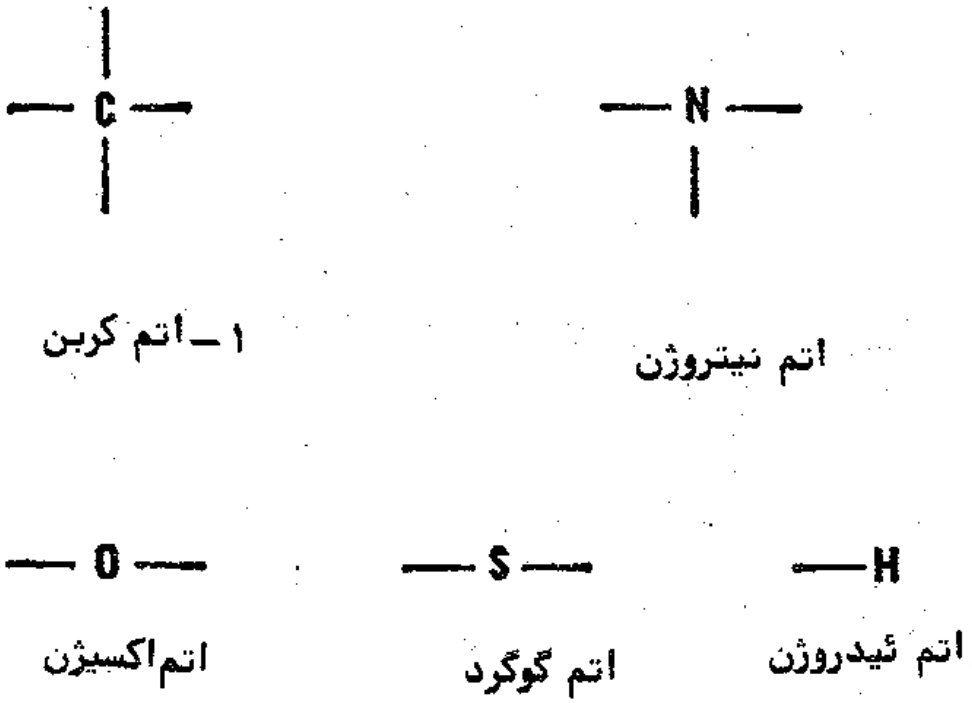
اگر اتم‌ها حروف زبان شیمیایی هستند، ملکول‌ها کلمه می‌باشند. بنابراین برای قرار دادن حروف درکنار هم و تشکیل کلمه‌ای شیمیایی، مانند زبان معمولی نیاز به‌دستورهایی داریم. همان‌طور که در زبان معمولی نمی‌توانیم هر حرفی را درکنار حرف دیگری قرار دهیم، در زبان شیمیایی هم هر اتم را نمی‌توان با اتم دیگری ترکیب کرد (مثلا" حرف رفه‌ی در زبان فارسی بی‌معنی است؟.

تلفظ حرف‌های شیمیایی سخت‌تر از زبان معمولی است. برای آغاز، اتم اکسیژن -O- و اتم گوگرد-S-(را درنظر می‌گیریم که هردو دارای‌دو "محل اتصال" ممکن هستند، مانند حرف‌هایی که در وسط کلمه‌های زبان قرار می‌گیرند، یعنی یک حرف در قبل و یک حرف در بعد از خود دارند. اتم هیدروژن دارای

یک محل اتصال است مانند حرف‌های آخر و ابتدای کلمه .

به‌هرحال اتم نیتروژن (ازت) سه‌محل اتصال دارد و اتم کربن ۴ محل اتصال دارد . در این‌جا می‌بینیم که پیوند در شیمی با زبان معمولی تفاوت دارد . اتم فسفر جای ویژه‌ای دارد و دراین‌مورد بعدا" در وقت خود سخن خواهیم گفت .

محل‌های اتصال یا پیوند در هر اتم را می‌توان خط های کوتاهی به‌نام پیوند (باند) نشان دهیم که به‌نشانهٔ (سمبل) اتم افزوده می‌شود . در این صورت دستور تلفظ شیمیایی در شکل ۱ به‌صورت زیر درمی‌آید .



۱ــ اتم کربن

اتم نیتروژن

اتم ئیدروژن

اتم گوگرد

اتم اکسیژن

شکل ۱ : *اتم‌ها و پیوندها*

ملکول‌ها

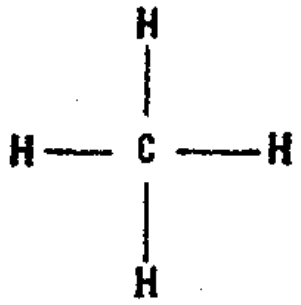
تشکیل ملکول‌های ساده از راه استفاده از سیستم اتصال‌ها در شکل ۱ کار ساده‌ای است . نخستین کاری که باید انجام دهیم این است که درکنار هریک از پیوندها یا اتصال‌ها اتم هیدروژنی قرار دهیم ، مانند آنچه در تصویر ۲ انجام شده است .

درنتیجه فرمول ساختمانی ماده‌های شناخته‌شده به‌دست می‌آید . درمورد آب ، نیاز بـــه‌اضافه کردن چیزی نداریم . درمورد متان که گاز مشتعل‌شونده‌ای است ، باید گفت که بخش بزرگی از "گاز طبیعی" از آن ساخته می‌شود و در آشپزی برای پختن غذا به‌کار می‌رود . آمونیاک گازی است که بوی خفه‌کننده‌ای دارد آمونیاکی که در سوپرمارکت می‌فروشند خود ماده نیست ، ولی محلول این گاز در آب است . سولفید هیدروژن گازی است که بوی تخم‌مرغ فاسدشده می‌دهد که اغلب در آزمایشگاه‌های مدرسه احساس می‌شود ویا از آب‌های راکد به‌مشام می‌رسد .

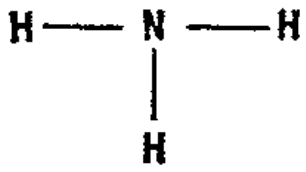
شیمی‌دانان چنان با فرمول ساختمانی این ملکول‌های ساده آشنا هستند که به‌خود زحمت نوشتن آن‌ها به‌صورت پیوند را نمی‌دهند . آن‌ها تنها اتم‌ها را با تعداد آن‌ها در هر فرمول مشخص می‌کنند . بدین‌ترتیب متان را به‌صورت $-CH_4-$، آمونیاک را به‌صورت $-NH_3-$ آب به‌شکل H_2O و سولفید هیدروژن را بـــه $-SH_2-$ نشان می‌دهند . هنگامی‌که ملکول‌ها را به‌این روش نشان می‌دهیم با فرمول ساده (تجربی) آن‌ها مواجه هستیم .

گاه اتم‌های همسایه ممکن است که به‌وسیله استفاده از دو پیوند (باند) به هم متصل شده و نگه‌داشته شوند . آن را پیوند دوگانه می‌نامیم . ممکن است که سه پیوند (پیوند سه‌گانه) داشته باشیم . نمونه‌هایی را در تصویر ۳ نشان داده‌ایم .

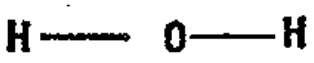
هنگامی‌که دو اتم اکسیژن به‌هم می‌چسبند و هردو پیوند از هر اتم مورد



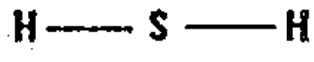
methane
متان



ammonia
آمونیاک



آب ۲



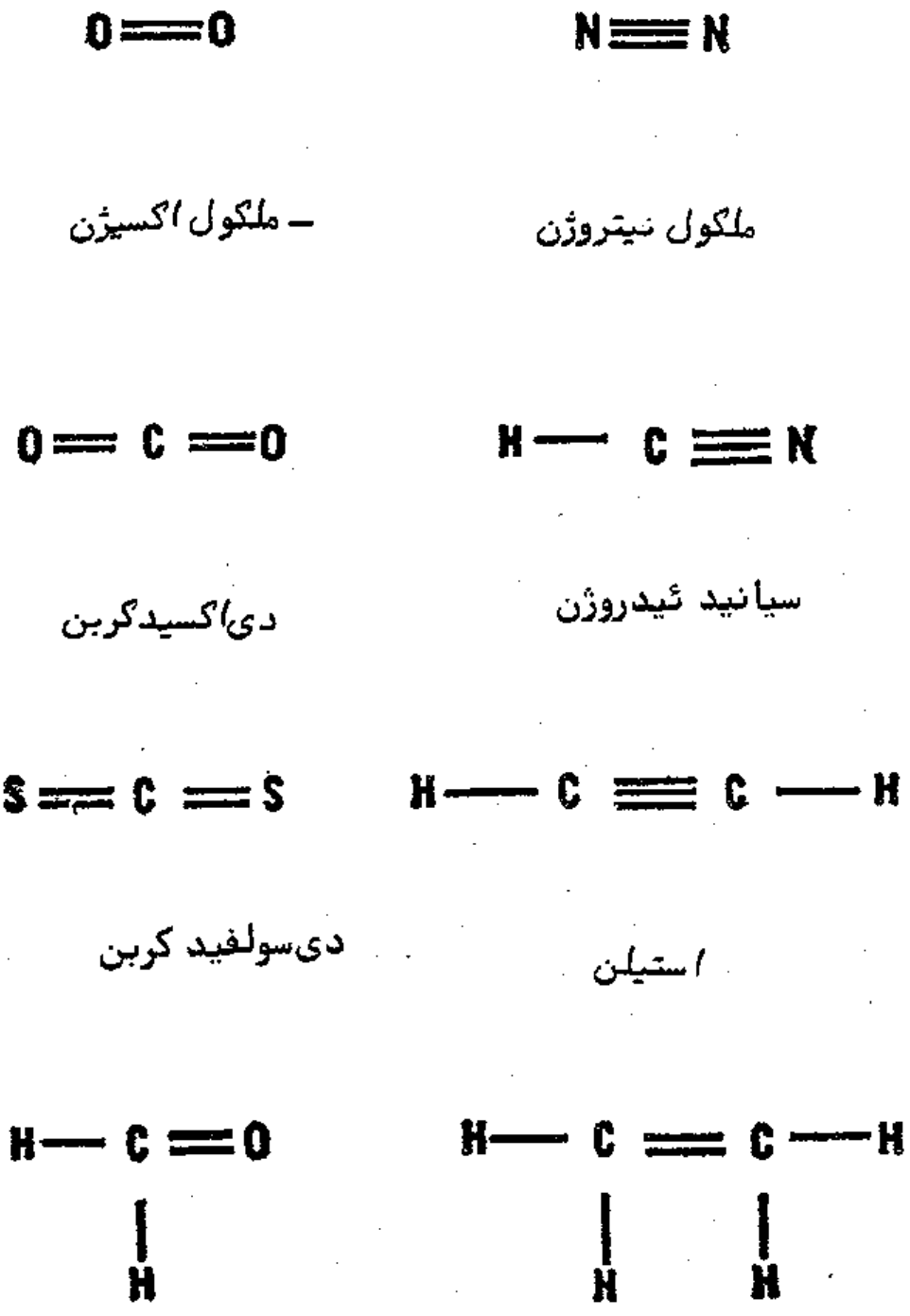
سولفید هیدروژن ۲

شکل ۲ : ملکول‌های ساده

استفاده قرار می‌گیرند ، نتیجهٔ آن ملکولی است که از یک اتم معین تشکیل شده است . ماده‌ای که از این نوع ملکول درست می‌شود ، عنصر است . اکسیژن معمولی موجود در هوا از اتم‌های جداگانه تشکیل نمی‌شود بلکه از ملکول‌هایی درست می‌شود که دارای دو اتم در هرکدام است . بنابراین اکسیژن هوا را می‌توان اکسیژن ملکولی نامید .

به‌همین‌ترتیب ، ازت هوا از ملکول دواتمی تشکیل می‌شود که در آن ، اتم‌ها به‌وسیله هر سه پیوند ازت به‌هم چسبیده‌اند . هیدروژن گازی‌شکل هم به‌همین ترتیب از ملکول دواتمی تشکیل می‌شود که جفت اتم‌های هیدروژن به‌وسیلهٔ یک پیوند به‌هم اتصال دارند ، زیرا هر اتم تنها دارای یک پیوند است .

ممکن است اتم‌های گوناگون دیگری به‌وسیله بیش از یک پیوند به‌هم



شکل ۳: پیوندهای دوگانه و سه‌گانه

متصل شوند، مانند موردهای دی‌اکسیدکربن و سیانید هیدروژن. به‌هرحال وجود پیوندهای دوگانه و سه‌گانه هیچ‌گونه تغییری در دستورهای پیوند وارد نمی‌کند.

در نوشتن فرمول‌ها، پیوندهای دوگانه و سه‌گانه فراموش می‌شوند. شما تنها اتم‌ها را می‌شمارید، بدین‌ترتیب اکسیژن ملکولی به‌صورت O_2 و نیتروژن (ازت) ملکولی به‌صورت N_2- دی‌اکسیدکربن به‌شکل- Co_2و سیانید هیدروژن به‌صورت HCN.وغیره نوشته می‌شود.

کربن در زنجیر

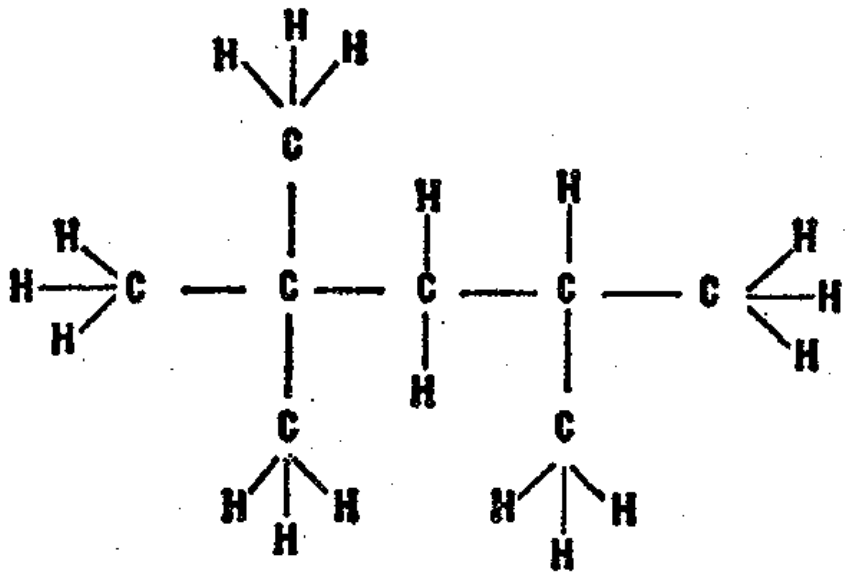
تا این‌جا، فرمول‌هایی را که برایتان نوشتم، بسیار ساده هستند. به‌زبان دیگر آن‌ها کلمه‌های تک‌سیلابی بودند.

این واقعیت که ملکول‌های پیچیده‌تری در بافت‌های زنده وجود دارد به علت ویژگی‌های منحصر به‌فرد کربن است که در تمام بافت‌های زنده وجود دارد. اتم‌های کربن استعداد چشمگیری در اتصال به‌یک‌دیگر و تشکیل زنجیر درازی دارند. از آن‌جا که اتم دارای پیوند است، این زنجیرها می‌توانند شاخه‌شاخه شوند. برای مثال به‌تصویر ۴ نگاه کنید.

این ملکول به‌نام ایزواکتان شناخته می‌شود. آن دارای ۸ اتم کربن است که در زنجیری شاخه‌وار به‌هم‌دیگر متصل شده‌اند. پیوندهای کربن که به‌هم نچسبیده‌اند به‌اتم‌های هیدروژن متصل هستند. اگر بشمارید، می‌بینید که ۸ کربن و ۱۸ اتم هیدروژن وجود دارد. چون این ملکول تنها از کربن و هیدروژن ساخته می‌شود، آن را هیدروکربن می‌نامند. بنزین که ماده‌ای سوختنی (سوخت) برای موتور اتومبیل‌ها است مخلوطی از هیدروکربن‌های گوناگون است که قسمت بیش‌تر آن از ایزواکتان است.

فرمول ساده ایزواکتان C_8H_{18} است ولی هنگامی که وارد دنیای هیدرو-

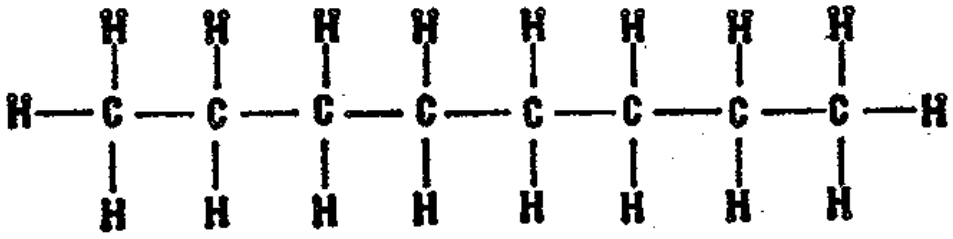
کربن‌ها می‌شویم ، فرمول‌های ساده دیگر قابل‌استفاده نیستند . می‌توانیم



شکل ۴ : ایزواکتان

هشت اتم کربن را به‌صورت شکل ۵ مرتب کنیم .

این ملکول اکتان نرمال (معمولی) است که ویژگی‌های آن با ایزواکتان فرق دارد . این تفاوت ویژگی‌ها نشان می‌دهد که ایزواکتان و اکتان نرمال دو ترکیب متمایز از یک‌دیگر هستند ولی فرمول ساده‌ٔ یکسانی دارند یعنی C_8H_{18}.



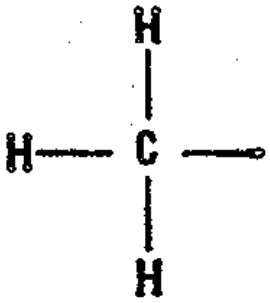
شکل ۵ : اکتان نرمال (معمولی)

(چنانچه مشاهده می‌کنید در هردوترکیب، کربن‌ها دارای ۴ پیوند و هیدروژن‌ها دارای یک پیوند می‌باشند).

به‌سخن دیگر، آن‌چه ملکول‌های گوناگون را از هم متمایز می‌کند، تنها به ماهیت (نوع) اتم‌ها و تعداد آن‌ها بستگی ندارد، بلکه این ترتیب و طرز قرار گرفتن اتم‌ها است که به‌حساب می‌آید. بنابراین درنتیجه به‌هنگام بحث از ملکول‌های موجود در بافت‌های زنده، باید از فرمول ساختمانی آن‌ها استفاده کنیم وگرنه ازدست رفته‌ایم.

همان‌طور که فرمول‌های ساختمانی درازتر و پیچیده‌تر می‌شوند، برای ساده کردن کار از ترکیب معینی از اتم‌ها که در سایر ملکول‌ها تکرار می‌شود به‌عنوان بنیان استفاده می‌کنند.

دراین‌مورد به‌ترکیب اتم‌ها در تصویر ۶ توجه کنید.



شکل ۶ : گروه متیل

آن از یک اتم کربن و سه اتم هیدروژن تکشیل می‌شود که به‌سه پیوند کربن متصل است. پیوند چهارم که در تصویر اشغال (پر) نشده است، را می‌توان تقریبا" به‌هر اتمی متصل کرد. اگر آن را به‌اتم هیدروژن وصل کنیم، متان به‌دست می‌آید (به‌تصویر ۲ مراجعه کنید). به‌همین‌دلیل ترکیب یک اتم کربن با سه اتم هیدروژن را گروه متیل methyl group- می‌نامند. در فرمول ایزواکتان (تصویر ۴) شما ۴ گروه متیل را می‌بینید که هریک از آن‌ها به‌یک اتم

کربن متصل است.

برای اختصار در نوشتن، گروه متیل را به‌صورت CH_3 می‌نویسند. توجه کنید که خط کوتاه نشانهٔ پیوند خالی یا اشغال (پر) نشده است. (گروه متیل یک ملکول نیست، در ملکول‌هایی که در این کتاب سروکار داریم، همهٔ پیوندهای اتم‌های گوناگون پر (اشغال) شده است. بنابراین گروه متیل تنها جزئی از ملکول است و مانند سیلابل در هجا کردن کلمات به‌کار می‌رود).

گروه متیل می‌تواند به‌اتم‌هایی به‌غیر از کربن و هیدروژن متصل شود. آن بیش‌تر به‌اتم‌های اکسیژن، نیتروژن (ازت) ویا گوگرد متصل است. نمونه‌هایی از آن در تصویر ۷ دیده می‌شود.

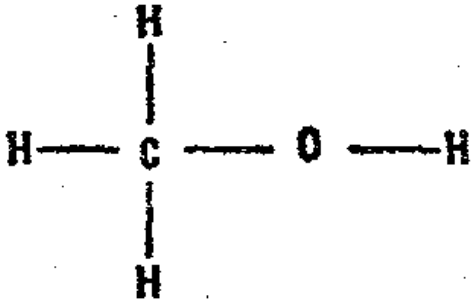
هرکدام از آن‌ها کلمه‌های دو سیلابی‌هستند. گروه متیل در هریک یک سیلابل دارد و آنچه باقی می‌ماند سیلابل دوم است (سیلاب یا هجا).

ترکیب اکسیژن ــ هیدروژن در متیل الکل (الکل‌متیلیک) را می‌توان به صورت "OH-" نوشت. نام این گروه از دو نام اتم تشکیل‌دهندهٔ آن تشکیل می‌شود و به‌اختصار گروه هیدروکسیل نامیده می‌شود.

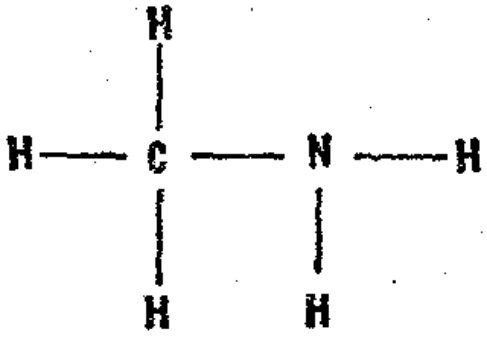
ترکیب ازت (نیتروژن) و دو اتم هیدروژن که در متیل‌آمین وجود دارد، به‌صورت NH_2 نوشته می‌شود. اگر یک اتم هیدروژن اضافه کنیم آمونیاک به دست می‌آید. به‌همین دلیل این را گروه آمین می‌نامند. ترکیب هیدروژن گوگرد در متیل مرکاپتان یعنی -SH، را گروه تیول thiol می‌نامند که پیشوند "تی" از واژه معادل گوگرد در زبان یونانی گرفته می‌شود.

گاه، یک گروه اتمی ساده ممکن است دو پیوند پرنشده داشته باشد. یک اتم کربن و اکسیژن را می‌توان با پیوند دوگانه به‌هم متصل کرد و دراین‌صورت اتم کربن باز دو پیوند آزاد خواهد داشت. این مورد را به‌صورت $Co=$ نشان می‌دهند. این گروه کربنیل است واگر به‌تصویر شماره ۳ رجوع کنید، می‌توانید حضور یک گروه کربنیل را در فرمول فرمالدئید بیابید.

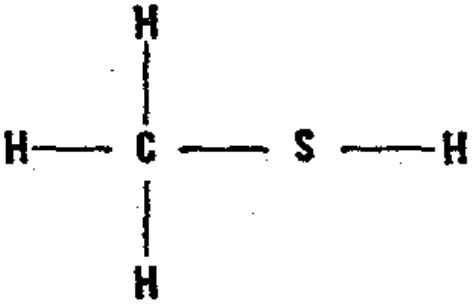
باردیگر، دو اتم گوگرد می‌توانند به‌وسیله یک پیوند ساده به‌هم متصل باشند. هرکدام از آن‌ها یک پیوند آزاد خواهند داشت که درمجموع دو پیوند



متیل الکل



متیل آمین

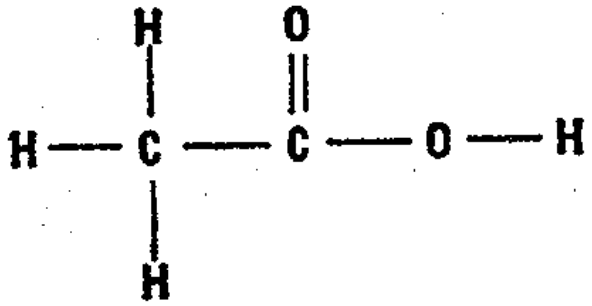


متیل مرکاپتان

شکل ۷ : گروه‌های اتمی

خواهد بود . این گروه ، گروه دی‌سولفید است .

یکی از ترکیب‌های آلی که بیش‌تر از همه برای انسان شناخته شده است ، اسیداستیک خالص است که از واژهٔ "جوهر سرکه" در زبان لاتین گرفته شده است . سرکه یک‌نوع محلول ضعیفی از این اسید است . فرمول اسیداستیک در شکل ۸ نشان داده می‌شود .



شکل ۸ : اسید استیک

چنانچه ملاحظه می‌کنید ، اسیداستیک ملکولی با سه سیلابل است . آن از پیوند یک گره متیل به‌گروه کربنیل درست می‌شود که آن هم به‌نوبهٔ خود به گروه هیدروکسیل متصل است . ترکیب کربنیل ــ هیدروکسیل در بسیاری از ماده‌ها دیده می‌شود بنابراین آن‌ها را خلاصه کرده و به‌نام "کربوکسیل" نشان می‌دهند . چون وجود گروه کربوکسیل موجب می‌شود که ملکول به‌بروز ویژگی‌های اسیدی تمایل نشان دهد ، گاه آن را گروه اسیدی کربوکسیلیک می‌نامند .

گروه کربوکسیل را به‌اختصار به‌صورت COOH-، می‌نویسند . این نمایش خوبی نیست، زیرا به‌نظر می‌رساند که گویا دو اتم اکسیژن به‌هم‌دیگر چسبیده‌اند و نیستند . من ترجیح می‌دادم که آن را CO(OH) یا OH(CO) بنویسم ، ولی کاملا" مطمئن هستم که هرگز در تغییرعادت شیمیایی یک‌قرنی موفق شوم .

اگر قسمت هیدروکسیل در گروه کربوکسیل را با گروه آمین جایگزین کنیم ، نتیجه $CONH_2$-خواهد بود . این را گروه آمید می‌نامند .

گروه‌بندی‌های اضافی دیگری هم هستند که شیمی‌دانان هر روز با آن‌ها سروکار دارند ولی همین هشت‌تا برای ما کافی است. برای راحتی شما آن‌ها را به‌صورت زیر مرتب می‌کنم.

گروه متیل	$-CH_3$
گروه هیدروکسیل	$-OH$
گروه آمین	$-NH_2$
گروه تیول	$-SH$
گروه کربنیل	$=CO$
گروه دی‌سولفید	$(-SS-)$
گروه کربوکسیل	$(-COOH)$
گروه آمید	$(-CONH_2)$

کربن به‌صورت حلقه

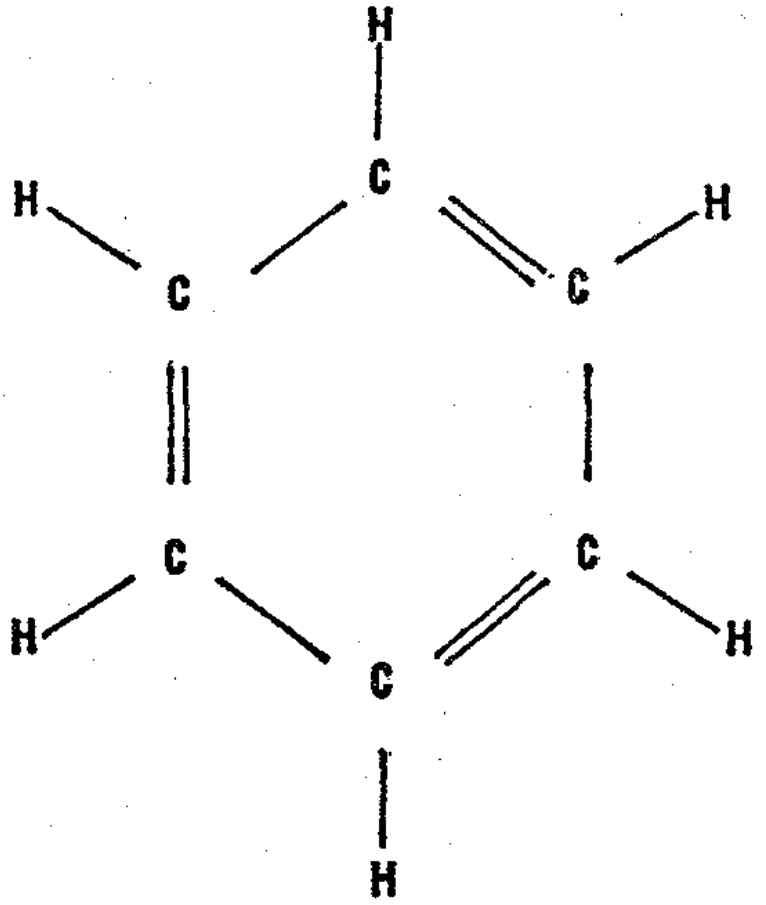
کار ما هنوز تمام نشده است. گروه دیگری را باید درنظر بگیریم.

اتم‌های کربن میل دارند که تشکیل حلقه بدهند. این حلقه‌ها ترکیب‌های پایداری تشکیل می‌دهند، به‌ویژه به‌هنگامی که از ۶ یا ۵ اتم تشکیل شده باشند و از این فراتر، به‌هنگامی که پیوندهای دوگانه متناوبا" با پیوندهای ساده (یک پیوند) ترکیب شده باشند. بهترین نمونه در شکل ۹ نشان داده می‌شود.

در این تصویر، ملکول بنزن را می‌بینید. آن از حلقه‌ای متشکل از ۶ اتم کربن تشکیل می‌شود که هریک از اتم‌های کربن (به‌طور تناوبی) با یک اتم همسایه با پیوند ساده و با اتم کربن دیگر با پیوند دوگانه متصل هست. هر یک از اتم‌های کربن دارای پیوند چهارمی است که به‌اتم هیدروژن متصل است.

این حلقهٔ کربن که پیوندهای ساده و دوگانه متناوبا" تکرار می‌شود،

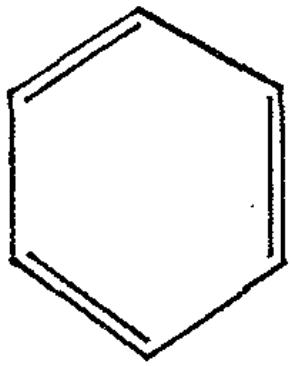
حلقهٔ بنزن نامیده می‌شود. آن به‌قدری پایدار است که در هزاران ترکیب دیده می‌شود.



شکل ۹ : بنزن

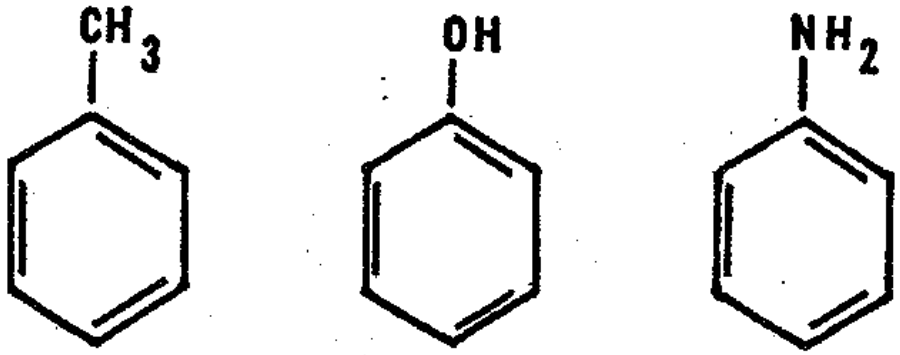
شیمی‌دانان فرمول بنزن را به‌صورت شش‌ضلعی منتظمی درمی‌آورند که در آن تنها پیوندهای ساده و دوگانه نشان داده می‌شود. در هرگوشه حلقه، یک اتم کربن و یک اتم هیدروژن وجود دارد که آن‌ها را نمی‌نویسند.

اگر در پیوندهای موجود به‌جای هیدروژن، اتم‌ها ویا گروه‌های اتم جایگزین کنیم، چه می‌شود؟ نمونه‌ای از آن در تصویر ۱۱ نشان داده می‌شود. در این شکل تولوئن، با پیوستن گروه متیل به‌حلقهٔ بنزن به‌وجود می‌آید. فنول با



شکل ۱۰ : حلقه بنزن

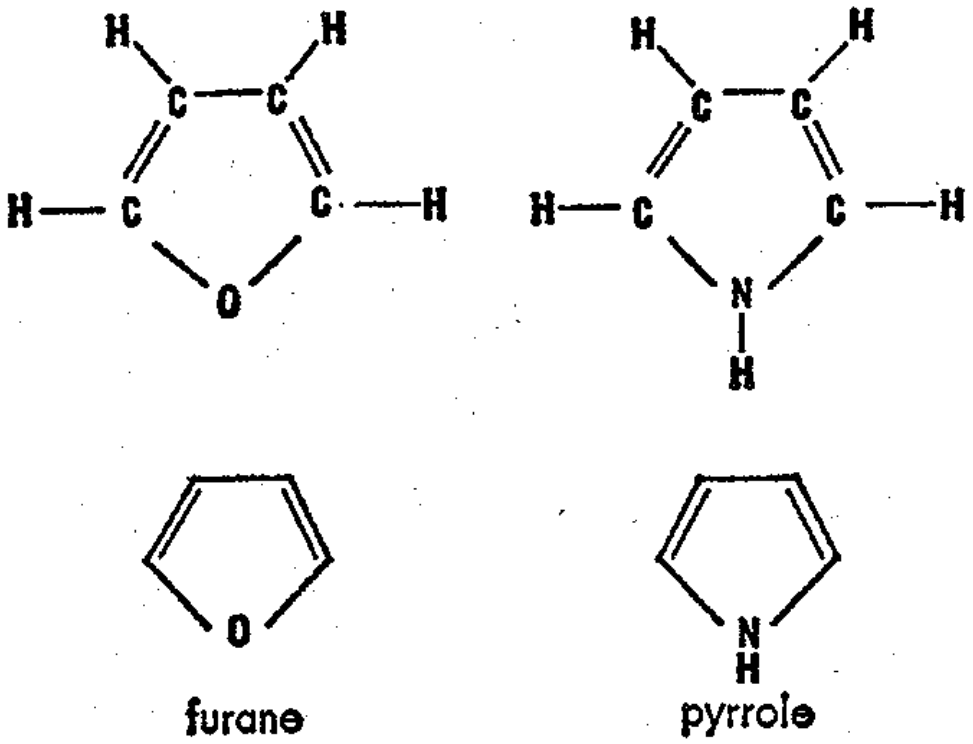
پیوستن گروه هیدروکسیل و آنالین با پیوستن گروه آمین به‌حلقهٔ بنزن شکل می‌گیرند . برای ساده‌تر کردن ، گروه‌های اضافه شدن به‌صورت ساده (تجربی) نوشته شده‌اند .



شکل ۱۱ : ترکیب‌های شامل حلقه بنزن

گاه یک حلقه از اتم‌ها منحصرا" از اتم‌های کربن تشکیل نمی‌شود . اتم‌های دیگر ، معمولا" ازت و اکسیژن وارد آن می‌شوند . دراین‌مورد ، نمایش هندسی

باید اتم‌هایی به‌غیر از کربن را نشان دهد. دراین‌صورت گوشه‌هایی که در آن‌ها اتمی نوشته نشده است، برای کربن درنظر گرفته شده است. برای مثال در تصویر ۱۲، دو تصویر گوناگون یکی با نوشتن اتم‌های کربن و دیگری با نمایش هندسی نشان داده می‌شود.



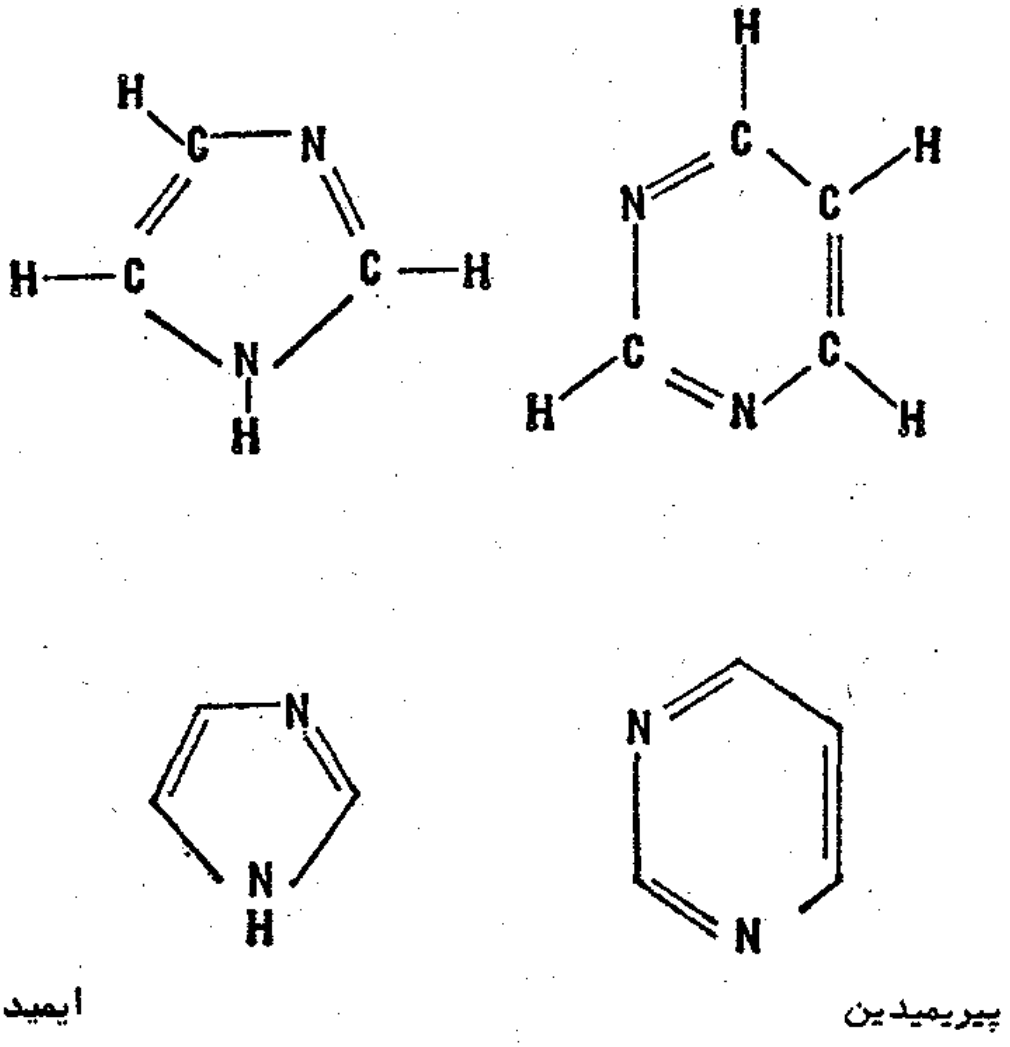
شکل ۱۲: حلقه‌های پنج‌اتمی

درمورد این دو ترکیب، یعنی فوران و پیرول تنها پنج اتم در حلقه وجود دارد بنابراین نمایش هندسی آن به‌صورت پنج‌ضلعی است. (فوران furan- و پیرول pyrol-).

ممکن است که حلقه‌های شش‌گانه اتم‌هایی به‌غیر از کربن و حتی بیش از یک عدد از این‌ها را داشته باشند. بعضی از این نمونه‌ها در تصویر ۱۳ نشان داده می‌شود. ایمیدازول، حلقه‌ای پنج‌گانه با دو اتم ازت است و پیرامیدین حلقه‌ای شش‌گانه با دو اتم ازت است. ایمیدازول imidiazol و پیرامیدین:

-pyrimidine-

برای اتم‌های کربن امکان دارد که به‌صورت ترکیبی از حلقه‌ها دیده شوند



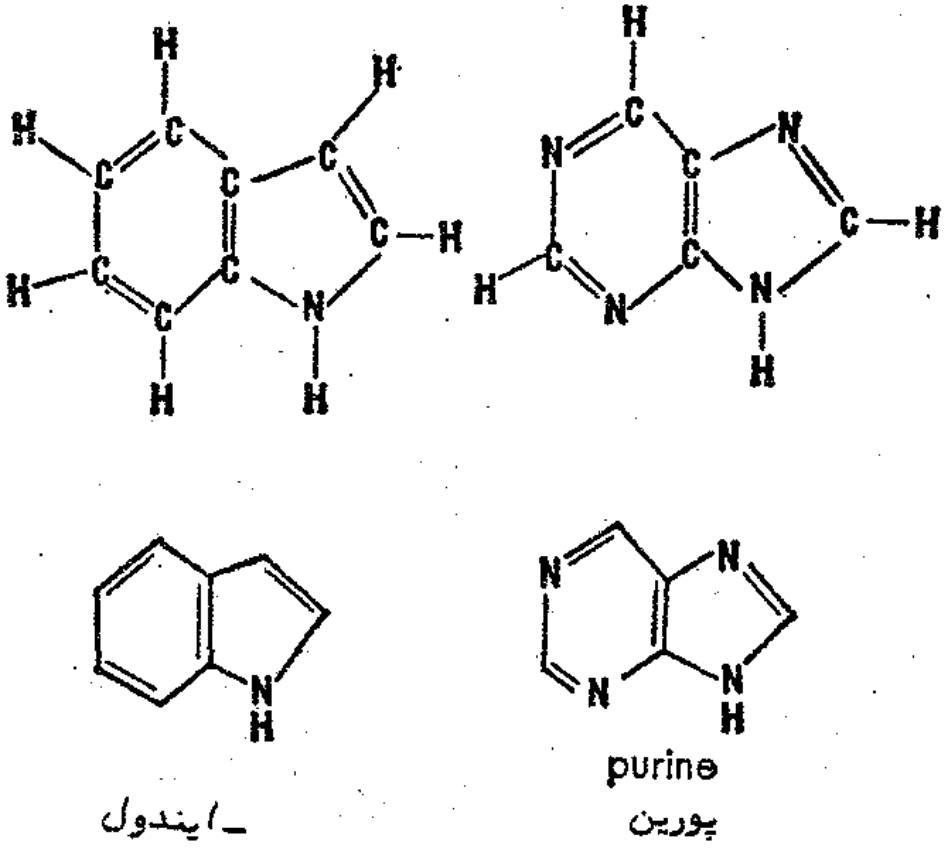
ایمیدیز

پیریمیدین

شکل ۱۳ : دو حلقه نیتروژنی

(با یک یـا چند اتم غیر از کربن) . برای مثـال، یک حلقهٔ بنزن و پیرول می‌توانند به‌هم متصل شده و ایندول را درست کنند . درحالی‌که یک حلقهٔ پیرامیدین و یک حلقهٔ ایمدازول به‌هم متصل شده و پیورین را می‌سازند . آن‌ها را در تصویر ۱۴ ببینید .

بااین‌وجود ، تعداد حلقه‌های گوناگون که ممکن است تشکیل شود ، تمام نمی‌شود . این‌ها در ترکیبات آلی به‌فراوانی یافت می‌شوند . به‌همین **دلیل** ،



شکل ۱۴ : ترکیب‌های حلقوی

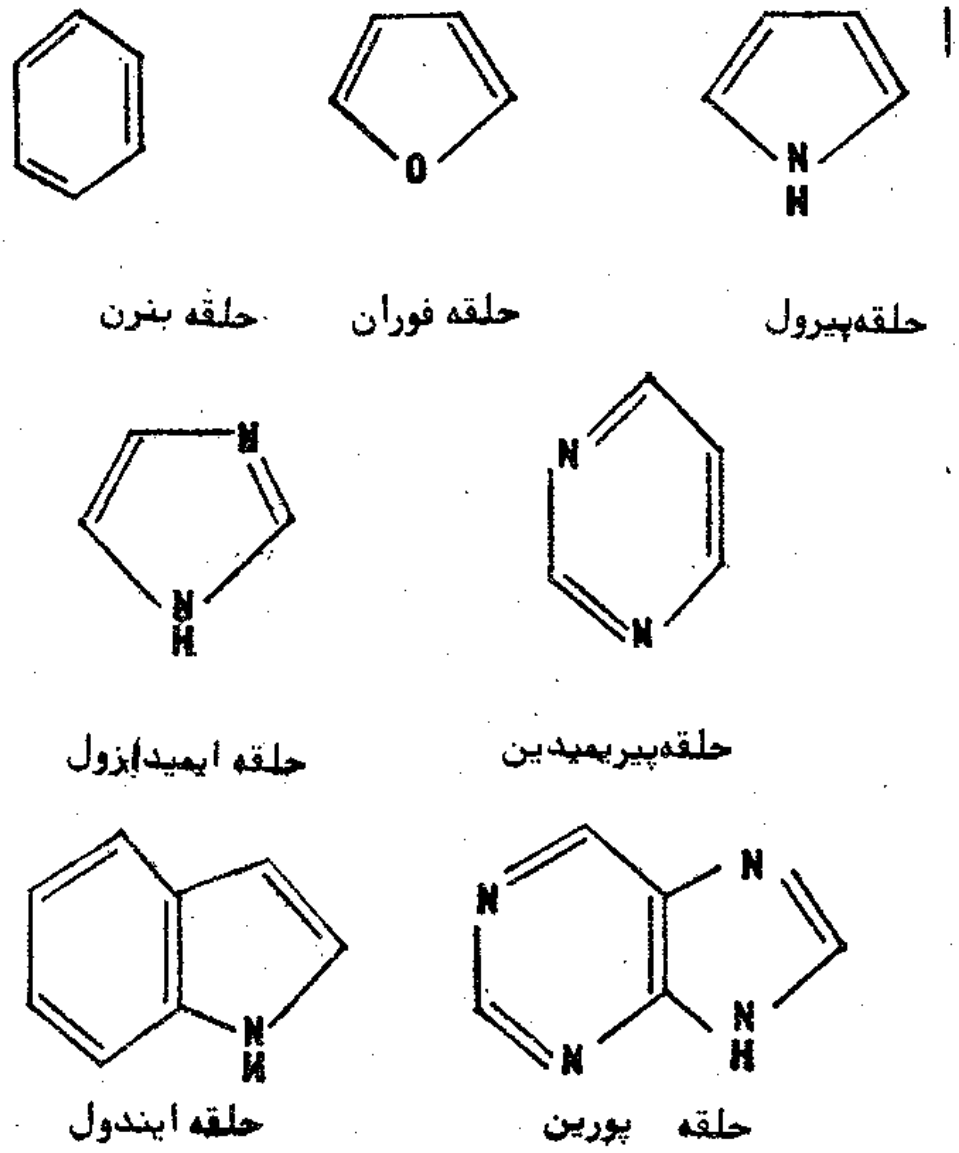
شیمی‌دانان کتاب‌های مفصلی درباره‌ٔ این حلقه‌ها و شکل آن‌ها نوشته‌اند .

برای این کتاب تنها به ۸ گروه و ۷ حلقه که در این کتاب تذکر داده‌ایم ، نیاز داریم .

ممکن است این امر برای شما حیرت‌آور باشد که چنین ترکیب‌های پیچیده‌ای را به‌این سادگی توضیح دهیم . ولی درمورد نشان دادن ترکیبات پروتئین تا این‌حد کافی است .

برای راحتی ، اینک من همه حلقه‌ها و گروه‌ها را با هم به‌صورت تنها نمایش هندسی در شکل ۱۵ ارائه خواهم کرد .

این ۸ گروه و ۷ حلقه فهرست‌شده در این فصل تقریبا "همه "سیلاب‌های" اساسی لازم در بکارگیری زبان شیمیایی را به‌ما می‌دهند . من اضافه خواهم



حلقه‌پیرول حلقه فوران حلقه بنزن

حلقه‌پیریمیدین حلقه ایمیدازول

حلقه پورین حلقه ایندول

شکل ۱۵ : فهرست حلقه‌ها

کرد ، دو یا سه قلم اضافی هم‌چنان که پیش می‌رویم . این ممکن است به‌عنوان چیزی بیش ازحد ساده برای شما تلقی شود . آیا یک‌چنین سیلاب‌بازی محدود می‌تواند به‌ما کمک کنـد تا پیچیدگی گسترده و گوناگونی پروتئیـن را توضیح دهیم .

عجبا ، هم‌چنان که به‌زودی خواهیم دید ، همین‌طور هم خواهد شد .

فصل ۴ :

خشت‌های آفرینش پروتئین

ملکول‌های عظیم و غول‌پیکر

در آغاز قرن نوزدهم ، هنگامی‌که شیمی‌دانان برای نخستین‌بار به‌وجود اتم پی بردند ، ملکول‌هایی کـه با آن‌ها سروکار داشتند ، ساده بودند ، مانند ملکول‌های یک‌سیلابی که در آغاز فصل گذشته نام بردیم . به‌هرحال سر وکار داشتن با ملکول‌های آلی بدون درگیری با ملکول‌های واقعا " بزرگ امکان نداشت .

خوشبختانه ، این ملکول‌های غول‌آسا ، تنها از این‌نظر بزرگ بودند که ملکول‌های کوچک در آن مانند مهره‌هـای گردن‌بند بـه‌هم متصل شده بود . دانشمندان می‌توانستند طوری بـا ملکول‌های بزرگ رفتار کنند کـه واحدهای ملکول ــ کوچک را از واحدهای همسایهٔ متصل ، جدا کنند (۱) .

درحالی‌که بررسی ملکول‌های بزرگ درصورت یکپارچه‌بودن بسیار دشوار است ، واحدهای کوچک‌تر پس از رها شدن به‌خوبی مورد مطالعه قرار می‌گرفتند .

۱ــ *این کار را با گرم کردن ملکول‌های بزرگ در محلول اسید انجام می‌دهند .*

پس از بررسی اطلاعات به‌دست‌آمده از این آجرها ساختمانی (بلوک) ، اغلب می‌توانستند به‌ساختمان ملکول بزرگ به‌صورت پایدار خود (تجزیه و ساده‌نشده) پی ببرند .

اگر این واحدهای کوچک را "کلمه" و ملکول‌های بزرگ را "جمله" فرض کنیم ، مسئله به‌این می‌ماند که شخصی با یک نوشته به‌زبان بیگانه روبرو است که از آن (زبان) تنها دارای معلوماتی دست‌وپاشکسته است . اگر تمام جمله را با یک‌نفس (به‌یک‌باره) برای او بخوانیم ، او نمی‌تواند آن را بفهمد . ولی اگر کلمه‌ها را یک‌به‌یک برای او بخوانیم و هربار به‌واژه‌نامه رجوع کرده ، معنی واژه‌ای را که به‌یاد نمی‌آورد ، برای او تکرار کنیم ، او به‌خوبی می‌تواند جمله را درک کند .

نخستین ملکول‌های بزرگ یا ماکروملکول‌ها که با روش بالا بررسی شدند ، بسیار ساده به‌نظر می‌آمدند . از سال ۱۸۱۴ به‌بعد معلوم شد که اگر نشاسته را به‌مدت زیادی در محلول اسید حرارت دهند ، به‌واحدهایی تجزیه می‌شود که دارای ساختمان ساده و قابل‌تشخیص هستند . این ساختمان گلوکز بود ، نوعی قند که ملکول آن نصف ملکول قند معمولی (قند چای) است . فرمول ساده آن $C_6H_{12}O_6$ است ، یعنی تنها از ۲۴ اتم تشکیل شده است . به‌هرحال صدها و حتی هزاران عدد از این ملکول (واحدها) به‌هم‌دیگر متصل می‌شوند تا یک ملکول واحد نشاسته را بسازند . بدین‌ترتیب این ماده از صدها و هزارها اتم درست می‌شود .

مادهٔ سخت در چوب ، سلولز ، هم به‌گلوکز تجزیه و شکسته می‌شد ، همان گلوکزی که در نشاسته وجود دارد . در سلولز ، واحدهای گلوکز به‌نحو دیگری ، غیر از روش نشاسته به‌هم‌دیگر چسبیده بود .

با گذشت زمان ، معلوم شد که ملکول‌های بزرگ دیگر هم از واحدهای ساده به‌صورت زنجیر درازی درست شده‌اند . لاستیک نمونهٔ خوبی است که از ملکول‌های ایزوپرن ، یک هیدروکربن ساده با ۵ کربن ، تشکیل شده است .

در قرن بیستم ، شیمی‌دانان یاد گرفتند که ملکول‌های بزرگی درست کنند .

این ملکول‌ها در طبیعت وجود نداشتند. آنان روش‌هایی را گسترش دادند که می‌توانستند به‌یاری آن‌ها ملکول‌های یک واحد معین ویا واحد دیگری (گاه مخلوط دو واحد) را به‌هم‌دیگر متصل کنند به‌طوری‌که مثلا" لاستیک مصنوعی ویا الیاف مصنوعی (سنتزی یا سنتتیک) و انواع گوناگون پلاستیک را بسازند.

در همهٔ این ملکول‌های بزرگ چه طبیعی و چه مصنوعی، وجه اشتراک آن‌ها این بود که همگی بزرگ بودند و از هزاران واحد در ملکول تشکیل شده بودند. بااین‌وجود که بزرگ بودند، پیچیده نبودند. شما متوجه خواهید شد که یک گردن‌بند، متشکل از مهره‌های همانند در رنگ و اندازه مطمئنا" پیچیده نیست. در اتصال این مهره‌ها به‌یک‌دیگر ممکن است، خلاقیت به‌خرج داد، مثلا"، یک رشته از رشتهٔ دیگر درازتر باشد، ویا به‌صورت اتصال دو مهره (مروارید) به‌یک‌دیگر به‌جای یک مروارید (مهره) شکل گیرد. ولی همهٔ آن‌ها بسیار شبیه به‌یک‌دیگر هستند.

البته، اندازه به‌جای خود مورداستفاده قرار می‌گیرد. واحدهای گلوکز به هزاران عدد از آن‌ها به‌خط شده‌اند تا سلولز را بسازند، ماده‌ای محکم و سخت که به‌درخت امکان می‌دهد که دربرابر خشم توفان استوار بایستد. ما هم خانه‌های خود را با این چوب می‌سازیم.

مورد دیگر، ملکول‌های بزرگ نشاسته، روش بسیار خوبی برای نگهداری و ذخیرهٔ ظرفیت انرژی (ذخائر پرانرژی) ملکول‌های گلوکز به‌نحو پایدار و حل‌نشدنی است تا به‌موقع از آن استفاده کند. دراین‌صورت، ملکول‌های نشاسته به‌آسانی شکسته می‌شوند و واحدهای منفرد گلوکز وارد جریان خون می‌شوند.

به‌هرحال، ماکروملکول‌هایی مانند نشاسته و سلولز، نقش واقعا" فعالی را در روند زندگی ایفا نمی‌کنند. آن‌ها ماده‌های منفعلی (پاسیو) هستند که عمل نمی‌کنند، بلکه عمل بر روی آن‌ها انجام می‌شود.

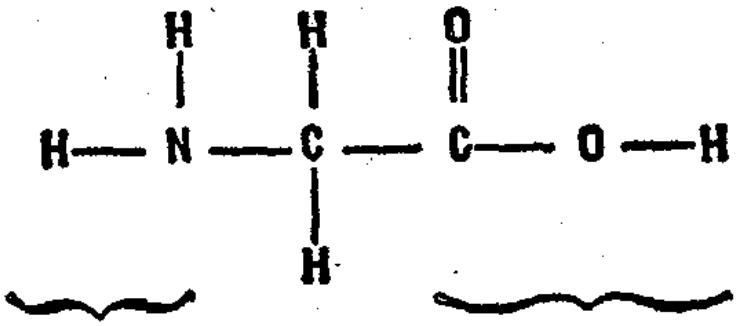
درمورد پروتئین، موضوع فرق می‌کند. در این‌جا ماکروملکولی داریم که مانند نشاسته و سلولز بزرگ است و همانند آن‌ها از واحدهای کوچکتر تشکیل

شده است که مانند مهره‌های (مروارید) رشتهٔ گردن‌بند به‌هم متصل است. در پروتئین‌ها پیچیدگی به‌بزرگی منحصر افزوده شده است. موقع آن است که چگونگی این عمل را توضیح دهیم.

اسیدهای آمینه

درحدود سال ۱۸۲۰، براکونت، دانشمند فرانسوی، پروتئین ژلاتین را در اسیدی گرم کرد و بلورهایی از ماده‌ای شیرین را یافت. بنابراین نام گلیسین را بر روی آن نهادند که به‌زبان یونانی معادل "شیرین" است.

ساختمان ملکول گلیسین معلوم شد و آن را ساده یافتند. آن تنها از ۱۰ اتم یعنی کم‌تر از نصف اتم‌های گلوکز، تشکیل شده بود. فرمول گلیسین در شکل ۱۶ نشان داده می‌شود.



ا– گروه آمین، گروه اسید کربوکسیلیک

شکل ۱۶ : گلیسین

چنانچه ملاحظه می‌کنید، ملکول از کربنی تشکیل شده است که در مرکز قرار دارد که به‌وسیله یک پیوند به‌گروه آمین متصل است و پیوند دوم به‌گروه

اسید کربوکسیل چسبیده است. دو پیوند باقی‌مانده به‌وسیلهٔ اتم‌های هیدروژن پر می‌شود. حال ترکیبی که هم دارای گروه آمین و اسید کربوکسیل است، طبیعتاً "باید اسیدآمینو (آمینه) نامیده شود و همین‌طور هم هست. درحقیقت، گلیسین یک نمونهٔ ساده از اسیدآمینه است.*

اگر موضوع به‌همین‌جا خاتمه می‌یافت، پروتئین به‌عنوان یک ماکروملکول، پیچیده‌تر از نشاسته ویا هر ماکروملکول دیگری تصور نمی‌شد. به‌هرحال، براکونت پا فراتر نهاد و اسیدآمینهٔ دیگری از محصول حاصل از شکسته شدن پروتئین به‌دست آورد. او این ماده را لیوسین نامید (از واژهٔ معادل "سفید" در زبان یونانی، چون بلور به‌دست‌آمده سفید بود).

با گذشت دهه‌ها، پژوهشگران دیگر، اسیدهای آمینهٔ بیش‌تری پیدا کردند. دیرتر از این، یعنی در سال ۱۹۳۵، اسید نو و مهم‌تری که قبلاً" وجود آن حدس زده نمی‌شد، درمیان محصول‌های پروتئین تجزیه‌شده به‌دست آمد. این اسیدهای‌آمینه هستند که به‌عنوان آجرهای‌ساختمان در شکل‌گرفتن ملکول‌های پروتئین کار می‌کنند.

تعداد اسیدهای آمینه که در بافت‌های جانداران یافت می‌شود، بسیار زیاد است. بعضی از آن‌ها با این‌که در جاهای دیگر یافت می‌شوند، در ملکول‌های پروتئین دیده نمی‌شوند. بعضی‌ها در ملکول‌های پروتئین یافت

---

*من گمان می‌کنم که روشن باشد که گروه‌های شیمیایی را می‌توان هم از چپ به راست و یا راست به‌چپ نوشت. بدین‌ترتیب، یک گروه هیدروکسیل را می‌توان به‌صورت HO— یا —OH نوشت. گروه آمین را H_2N— یا —NH_2 و گروه‌کربوکسیل را به‌صورت (-HCOO) یا (-COOH) درهمه این موردها همه‌چیز به‌این بستگی دارد که گروه را ازجلو می‌بینیم یا عقب. ماهیت گروه با این تغییر در نقطه دید ناظر تغییر نمی‌کند. در فرمول گلیسین‌درشکل ۱۶، من گروه آمین را با مقایسه با شکل ۷ در مورد میتل امین از پشت سر نوشتم ولی این اهمیتی ندارد. به‌همین ترتیب، هرگاه ازپشت سر به حلقهٔ بنزنی نگاه کنیم، پیوند (بند)های دوگانه را برعکس (در جهت خلاف عقربه‌های ساعت) خواهیم دید تا در جهت حرکت عقربه‌های ساعت. این نیز اهمیتی ندارد.

می‌شوند ولی در موارد بسیاری نادر می‌توان آن‌ها را مشاهده کرد.

اگر خودمان را به‌تعداد اسیدهای آمینه که در هرکدام از ملکول‌های پروتئین ــ و در همه ملکول‌ها ــ محدود کنیم، تعداد آن‌ها باز هم قابل‌ملاحظه است، یعنی به ۲۱ اسید آمینه برخورد می‌کنیم. به‌این‌ها یک اسید دیگری که تنها در یک‌نوع ملکول پروتئین (ولی بسیار مهم) یافت می‌شود اضافه کنید و رقم ۲۲ به‌دست می‌آید.

ملکول پروتئین ازاین‌نظر بی‌همتا است. هیچ ماکروملکولی چه طبیعی و چه ساختهٔ دست انسان، از این‌همه واحدهای گوناگون ویا حتی یک‌ربع آنها درست نشده است.

اهمیت این امر در این‌جا روشن می‌شود که به‌گردن‌بند خود مراجعه کنیم. فرض کنید که به‌جای یک‌نوع مهره که ازنظر شکل و رنگ با هم یکی هستند، با ۲۲ گونه مهره سروکار داشتید که هرکدام از آن‌ها ازنظر رنگ، اندازه و شکل با دیگری فرق داشت. اکنون می‌توانستیم طرح‌های گوناگون وجالبی با تقارن‌های غیرمنتظره، درجه‌بندی (مرتب قراردادن ازنظر بزرگی و اندازه) خوش‌آیندی داشته باشیم که درغیراین‌صورت ممکن نبود.

ملکول‌هال پروتئین، همین‌طور هستند.

اجازه بدهید که نگاهی دقیق‌تر به‌اسیدهای آمینه بکنیم. و ببینیم که این تفاوت‌ها چگونه در آن‌ها ظاهر می‌شود و چگونه طرح پروتئین در آن‌ها شکل می‌گیرد و امکان داشتن گوناگونی‌های فراوان را کسب می‌کنند که عملاً بی‌پایان به‌نظر می‌آید.

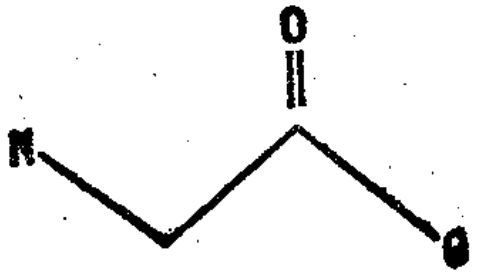
برای انجام این کار تا آن‌جا که ممکن است کوشش خواهم کرد که روش تصویری (ترسیمی) درمورد ارزیابی فرمول‌ها پیش بگیرم. می‌خواهم که اصل هندسی راگسترش و تعمیم دهم که در آن حلقه‌های اتم به‌صورت اتم‌هایی که جزو حلقه نیستند، نشان داده می‌شود (با این‌کار از روشی که شیمی‌دان معمولی برای ساده‌تر کردن فرمول به‌کار می‌برد، پا فراتر نهاده‌ایم. ولی این کتاب برای شیمی‌دان حرفه‌ای تهیه نشده است و من ابتکارهای کوچکی به‌کار برده‌ام

که اصول بنیادی وراثت را به‌ساده‌ترین وجه توضیح می‌دهد).

برای تشکیل شکل‌های هندسی تصویر ۱۴ تا ۱۵، توضیح دادم که در هر گوشهٔ خالی (اشغال‌نشده) یک اتم کربن وجود دارد. باز هم، هر پیوند کربن که نشان داده نمی‌شود، چنین فرض می‌شود که به‌یک اتم هیدروژن متصل است.

بگذارید این کار را با کشیدن خطی زیگزاگ از اتم‌هایی که حلقه تشکیل نمی‌دهند، شروع کنیم. ما می‌توانیم فرض کنیم که در هر گوشهٔ پرنشده، یک اتم کربن حضور دارد (و در هر انتهای خالی یا پرنشده). بدین‌ترتیب ما می‌توانیم دستور "هیدروژن را نشان ندهید" را درمورد اتم‌های غیر از کربن گسترش دهیم.

به‌عنوان مثال، "فرمول زیگزاگ" گلیسین را در شکل ۱۷، نمایش می‌دهم و آن را با فرمول کامل در شکل ۱۶ مقایسه می‌کنم.

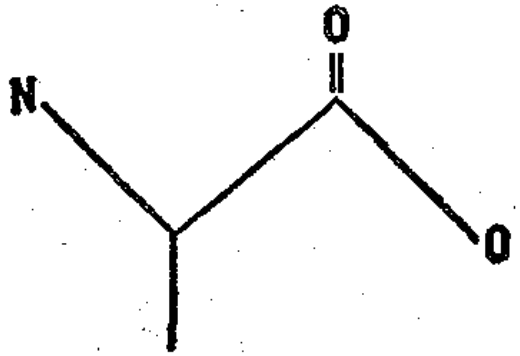


شکل ۱۷ : گلیسین (زیگزاگ)

گام بعدی این است که ببینیم اسیدهای آمینهٔ دیگری که از آن‌ها ملکول پروتئین ساخته می‌شود، با گلیسین چه تفاوتی دارد. عموماً هرکس می‌تواند بگوید که همهٔ آن‌ها دارای یک کربن مرکزی هستند که یک گروه آمینه به‌وسیله یک پیوند و یک گروه اسید کربوکسیلیک به‌وسیله پیوند دیگری به‌آن متصل است.

تفاوت آن‌ها از این‌جا ناشی می‌شود : در گلیسین، پیوندهای سوم و چهارم از کربن مرکزی، هردو به‌اتم هیدروژن متصل هستند. در اسیدهای آمینهٔ دیگر، پیوند سوم واقعا" به‌اتم هیدروژن متصل است ولی پیوند چهارم به‌اتم کربن متصل‌است که این هم به‌نوبهٔ خود جزئی از گروه اتم‌های کم و بیش پیچیده به‌نام زنجیر جانبی است.

اگر به‌شکل ۱۸ نگاه کنید که فرمول کلی اسیدآمینه را به‌صورت زیگزال نشان می‌دهد و آن را با فرمول زیگزال گلیسین در شکل ۱۷ مقایسه کنید، تفاوت کاملا" روشن خواهد بود.



ـ زنجیر جانبی

Figure 18 Amino Acid (zigzag)

شکل ۱۸ : اسید آمینه (زیگزاگ)

هر اسیدآمینه معین دارای زنجیر جانبی مشخص خود می‌باشد. و در ماهیت همین زنجیر جانبی می‌توان تفاوت‌های چشمگیر بین اسیدهای آمینه را یافت.

زنجیر جانبی -Side chain

بیایم به‌هریک از ۲۱ اسیدآمینه به‌جز گلیسین نگاهی بیندازیم و زنجیرهای جانبی را درنظر بگیریم تا تصوری از تفاوت‌های موجود داشته باشیم. من هر یک از زنجیرهای جانبی را به‌طور کامل و با نشان دادن همه اتم‌ها نشان خواهم داد.

نخست، چهار اسیدآمینه وجود دارد که در آن‌ها زنجیر جانبی از گروه هیدروکربن است و یکی لیوسین است که ذکر شد. سه‌تای دیگر آلانین، والین و ایزولیوسین isoleusin هستند. زنجیر جانبی آن‌ها در شکل نشان داده می‌شود.

دو اسید آمینه با گروه هیدروکسیل در زنجیر جانبی وجود دارد. این‌ها سرین-serin و ترئونین هستند و زنجیر جانبی آن‌ها در شکل ۱۹ نشان داده می‌شود. این ترئونین است که بالاخره در سال ۱۹۳۵ کشف شد. شیمی‌دانان تقریبا" مطمئن هستند که هیچ اسید آمینهٔ مهمی (اسیدی که در تقریبا" همه پروتئین‌ها یافت می‌شود) در آینده کشف نخواهد شد.

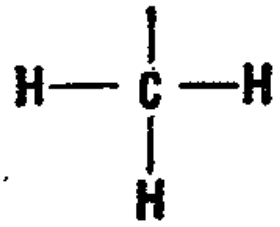
دو اسید آمینه دارای گروه‌های اسید کربوکسیلیک در زنجیرهای جانبی خود می‌باشند این‌ها اسید آسپاروتیکasparotic acid و اسید گلوتامیک glutamic acid-هستند. دو اسید آمینهٔ دیگر که از نظر نام و هم‌چنین ساختمان شبیه این‌دو هستند، به‌جای گروه‌های کربوکسیلیک دارای گروه‌های آمید هستند. این‌ها عبارتند ازآسپاراژین وگلوتامین. هر چهار زنجیر جانبی در شکل ۲۱ نشان داده می‌شود.

دو اسید آمینه در زنجیر جانبی خود دارای گروه آمین هستند. یکی لیسین و دیگری ارژی‌نین است. زنجیر جانبی آن‌ها در تصویر ۲۲ نشان داده می‌شود. (۱).

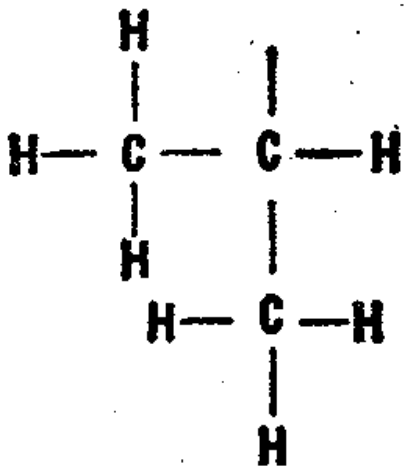
سه اسیدآمینو دارای اتم گوگرد در زنجیر جانبی هستند. یکی میتونین (۲) که دارای یک اتم گوگرد بین دو اتم کربن است (ترکیبی که به‌نام تیو ــ اتر از آن ذکر می‌شود ــ تیو از نام گوگرد در زبان یونانی گرفته می‌شود). یکی دیگر

۱ــ ترکیب سه اتم ازت به‌یک اتم کربن مرکزی متصل است و در زنجیر جانبی ارژی‌نین می‌بینید، به‌گروه گوانیدو تعلق دارد. این اهمیت ندارد ولی به‌این دلیل ذکر می‌کنم که به‌جز از گروه‌های تذکرداده‌شده گروه‌های دیگری هم وجود دارند.

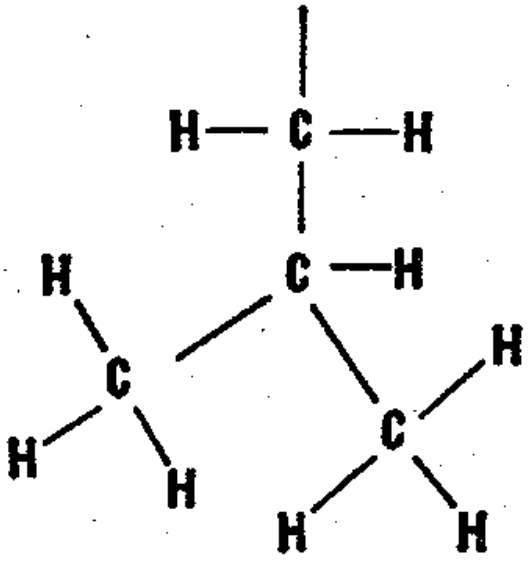
2 ــ mythionin



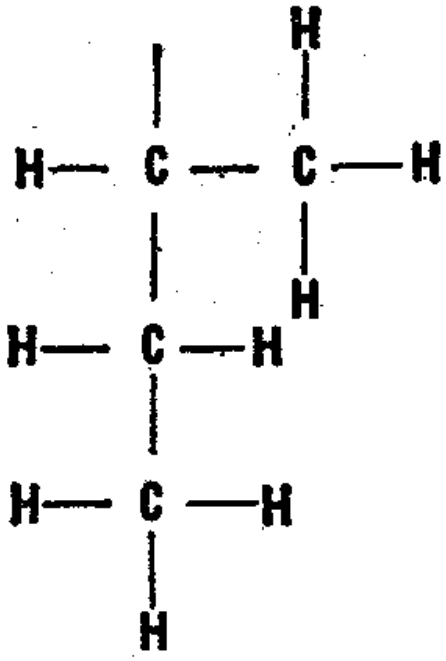
زنجیر جانبی آلانین



زنجیر جانبی والین

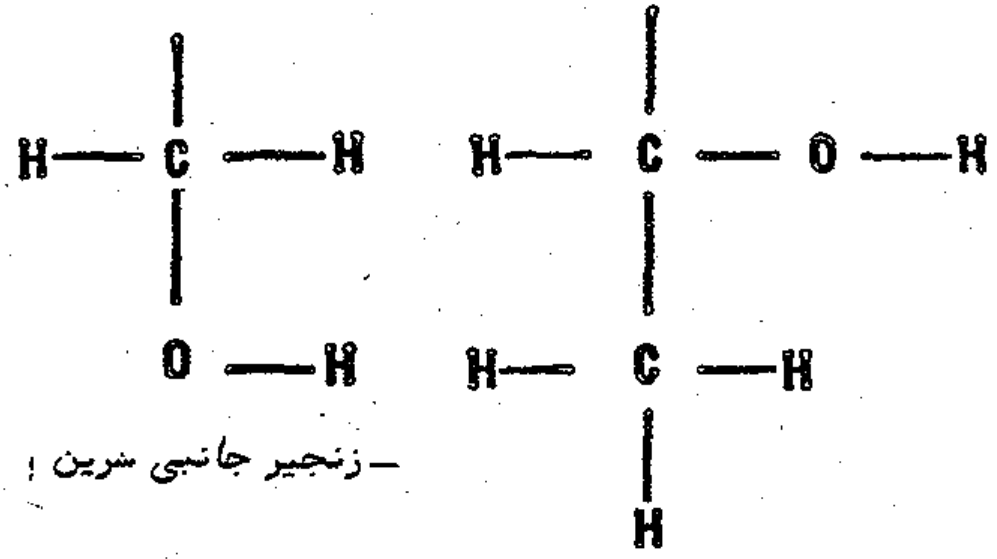


زنجیر جانبی لئوسین (لوسین)

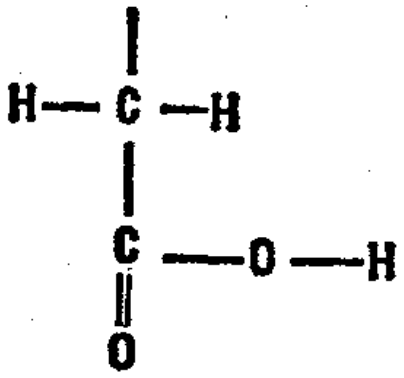


زنجیر ایزولوسین

شکل ۱۹ : زنجیر جانبی هیدروکربنی.

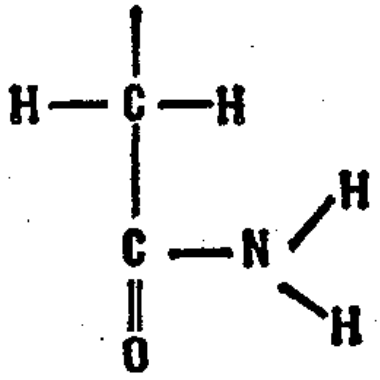


شکل ۲۰ : زنجیرهای جانبی حاوی هیدروکسیل



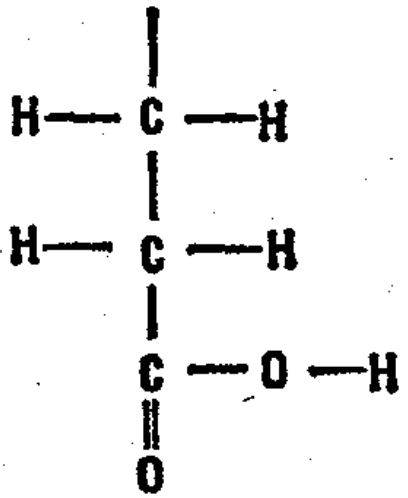
aspartic acid
side chain

اسید اسپارتیک

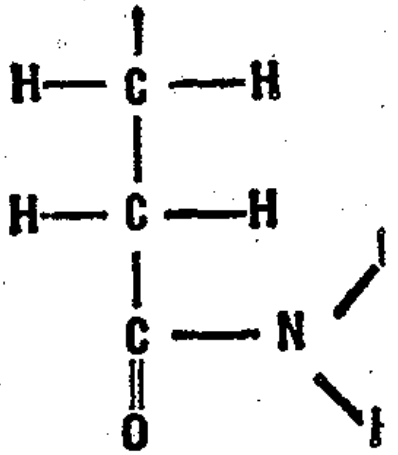


asparagine
side chain

اسپاراژین

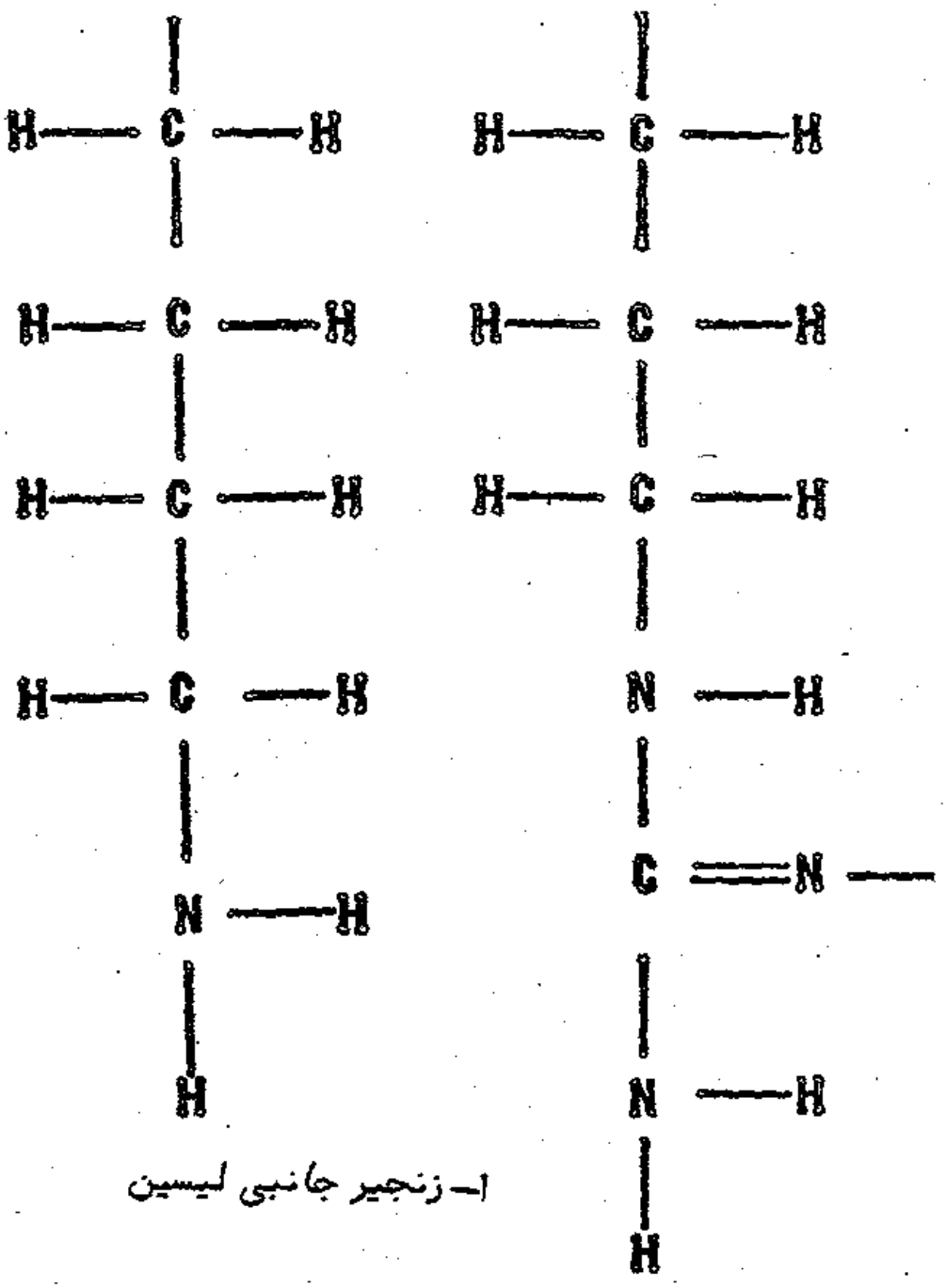


glutamic acid
زنجیر جانبی اسید گلوماتیک



glutamine
chain ، گلوتامین

شکل ۲۱ : زنجیرهای جانبی حاوی کربوکسیل و آمید



ا- زنجیر جانبی لیسین

زنجیر جانبی اسید آرژی‌نین

شکل ۲۲ : زنجیرهای جانبی حاوی آمین

سیس‌تئین (۳) شامل گروه تیول می‌باشد درحالی‌که سومی ، سیستین (۴) شامل دی‌سولفید می‌باشد . هرسه زنجیر جانبی در شکل ۲۳ نشان داده می‌شوند .

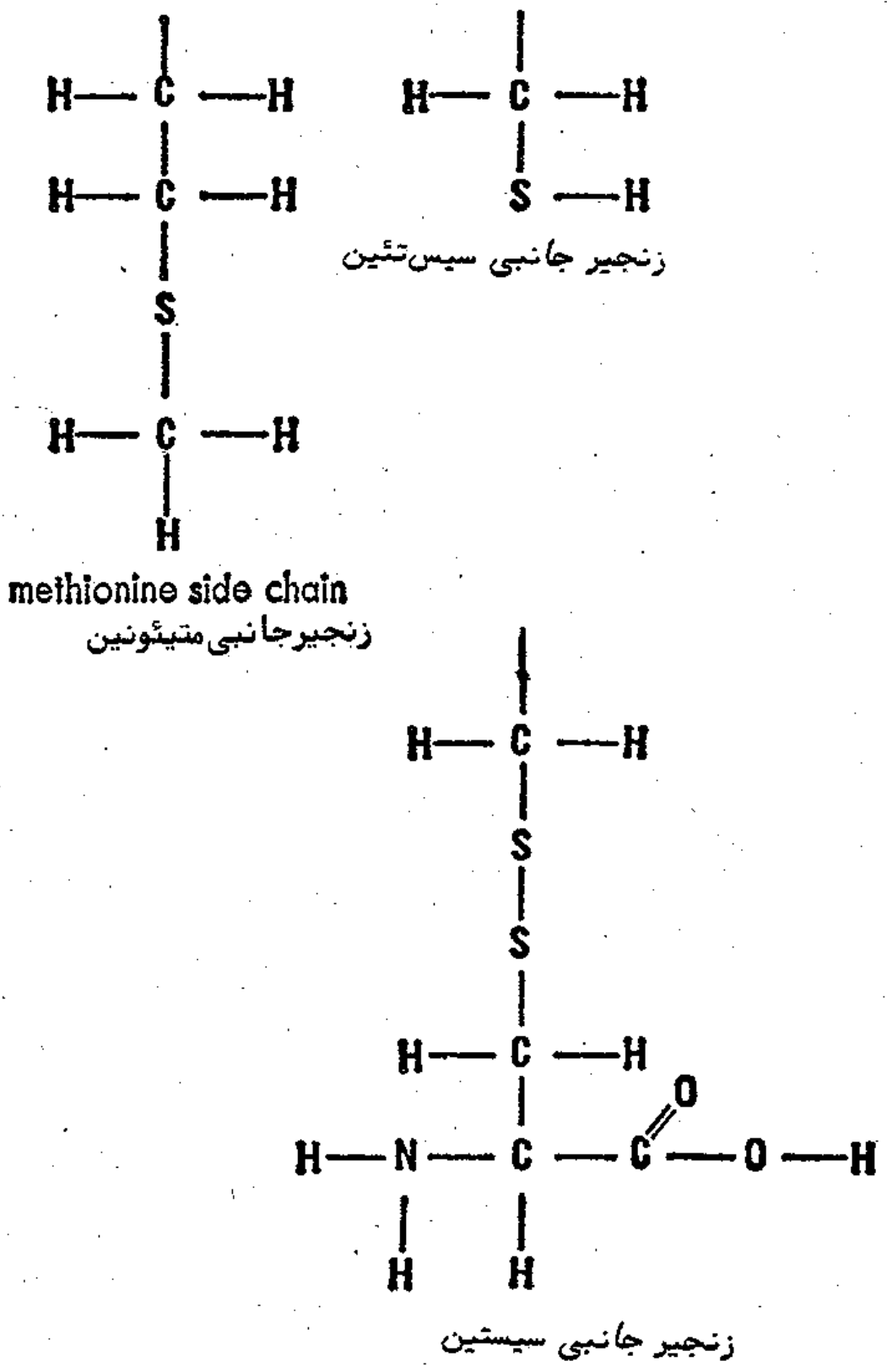
توجه کنید که در زنجیر جانبی ملکول سیستین ، در انتهای آن ترتیبی از اسید آمینه قرار دارد . اگر فرمول ملکول را به‌طور کامل می‌نوشتیم ، درظاهر به‌این می‌ماند که دو ملکول سیستئین به‌وسیلهٔ گروه دی‌سولفید به‌هم چسبیده‌اند . ملکول سیستین به‌آسانی به‌دو ملکول سیس‌تئین تجزیه می‌شود درحالی که دو ملکول سیس‌تئین را می‌توان به‌هم چسباند تا یک ملکول سیستین به‌دست آید . (این موجب می‌شود که در نامگذاری این دو ملکول با هم همانندی داشته باشند که درواقع موجع سردرگمی می‌شود ــ اگر حرف (همزه) حذف شود و یا خوب تلفظ نشود این‌دو با هم اشتباه خواهند شد) .

کم‌تر از چهار اسید آمینه در زنجیر جانبی خود دارای حلقه می‌باشند . دو فنیل‌آلانین و تیروسین دارای حلقه‌های بنزن هستند ، تریپوتوفان دارای حلقهٔ ایندول است و چهارمی ، هیستی‌دین دارای یک حلقهٔ ایمیدازول است . زنجیرهای جانبی در تصویر ۲۴ نشان داده می‌شود .

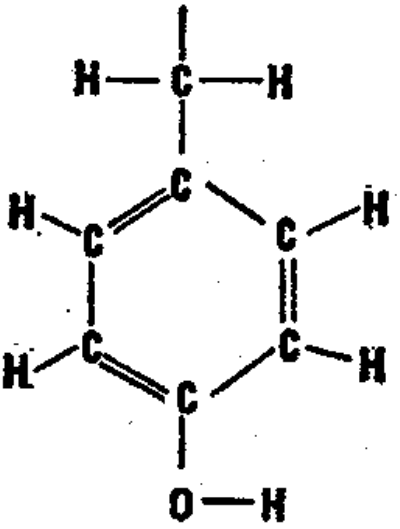
بالاخره دو اسید آمینه هستند که در آن‌ها زنجیر جانبی کار عجیبی انجام می‌دهد . آن بر روی خود برمی‌گردد (وصل می‌شود) . به‌همین‌دلیل فرمول دو اسید آمینه پرولین proline و هیدروکسی پرولین hydroxiproline به طور کاملی در شکل ۲۵ نشان داده می‌شوند .

اتفاقاً " این هیدروکسی پرولین است که تنها در یک پروتئین یافت می‌شود . این پروتئین را کولاژن می‌نامند که در مفصل‌های جانوران به‌مقدار زیادی یافت می‌شود (من‌جمله انسان) . آن در پوست ، غضروف (نرمهٔ استخوان) ، زردپی، استخوان، سم چهارپایان ، شاخ و رباط حلقوی یافت می‌شود . هنگامی که کولاژن را در آب به‌طور شدیدی گرم می‌کنند ، آن به‌صورت پروتئین شناخته‌شده‌ای به‌نام ژلاتین تجزیه می‌شود . بنابراین هیدرواکسی پرولین در این‌جا هم ظاهر می‌شود .

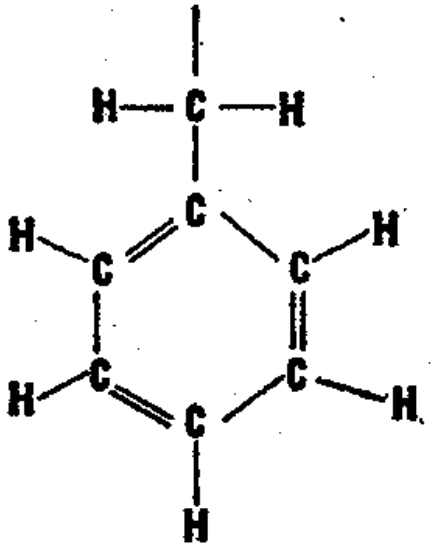
صورت اسامی تمام شده است، حال ما ۲۲ اسیدآمینو داریم ، ۲۲ "کلمه‌ای"



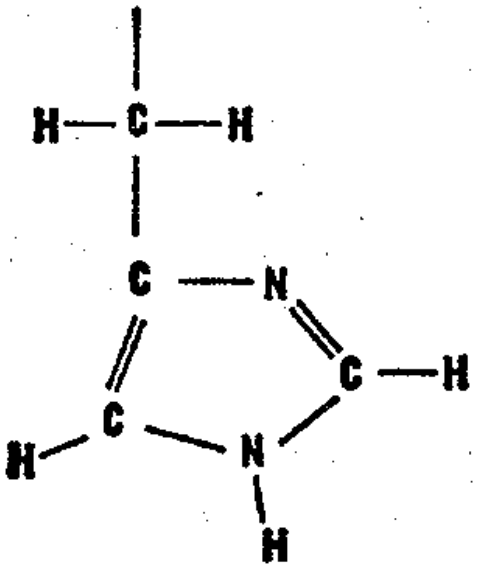
شکل ۲۳ : زنجیرهای جانبی حاوی گوگرد



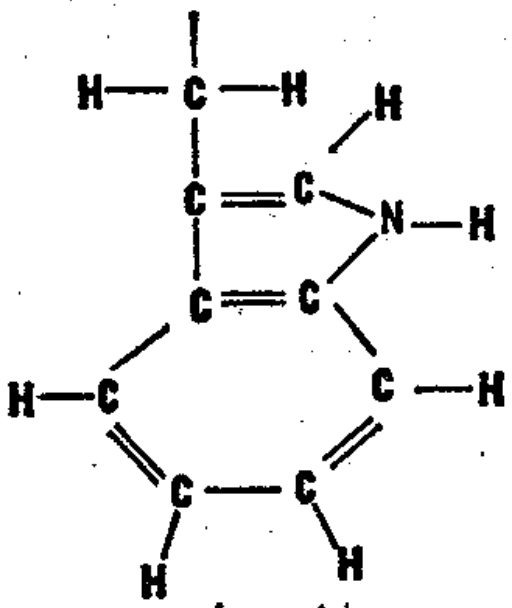
زنجر جانبی تیروسین



زنجیر جانبی فنیل آلانین

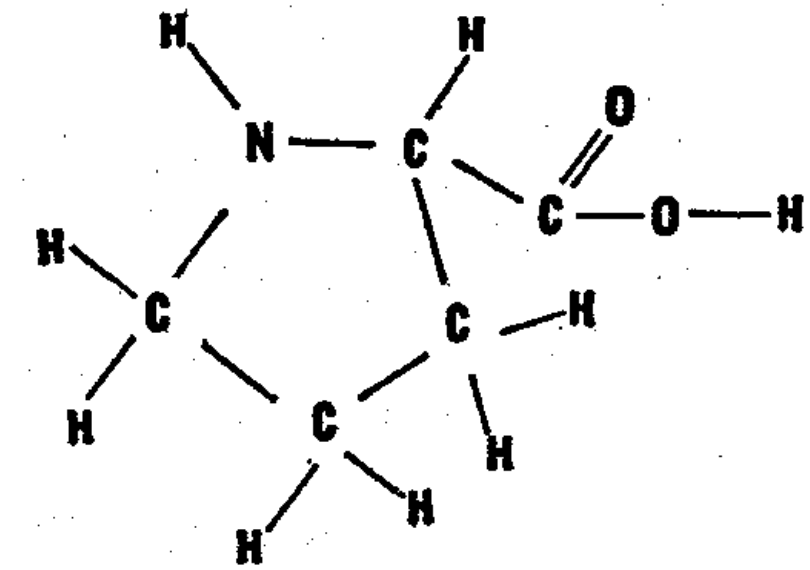


زنجیر جانبی هیستیدین

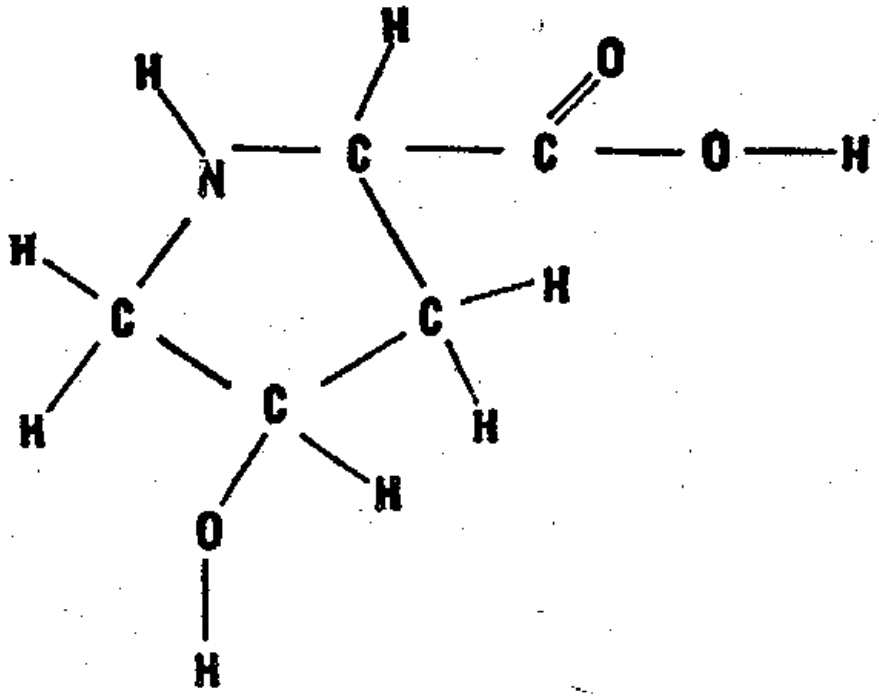


زنجیر جانبی تریپتوفان

شکل ۲۴ : زنجیرهای جانبی حاوی حلقه



پرولین proline



هیدروکسی پرولین hydroxyproline

شکل ۲۵ : پرولین و هیدروکسی پرولین .

که از آن‌ها جمله‌های ملکول پروتئین ساخته می‌شود. (۱).

در این‌جا، میل دارم با فهرست‌بندی تمام اسیدهای آمینه در فرمول زیگزاگی همان‌طور که در شکل ۲۶ نشان داده می‌شود موضوع را خلاصه کنم. فکر می‌کنم الگوی نشان‌داده‌شده در این شکل تفاوت‌های ساختمانی را روشن می‌کند و هم‌چنین بر رابطه‌های فامیلی تاکید می‌کند. با دنبال کردن قاعده‌ای که چندصفحه پیش مطرح شد، می‌توانید هرکدام از این زیگزاگ‌ها را به‌فرمول کامل تبدیل کنید... درصورتی که میل به‌این کار داشته باشید.

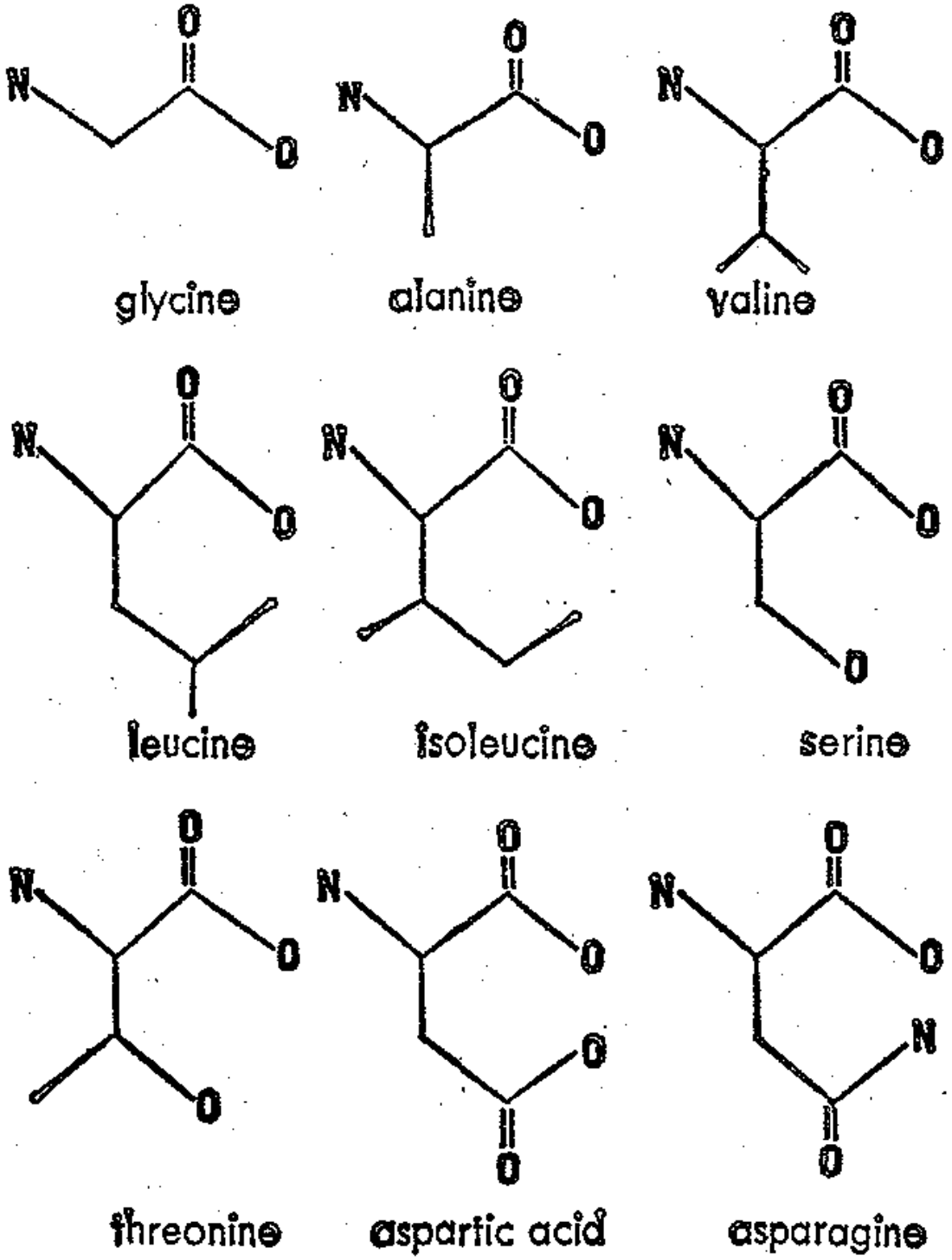
کلمه‌ها به‌صورت جمله

حال که "کلمه‌های" شیمیایی دراختیار ما هستند، بگذارید درنظر بگیریم که آن‌ها را چگونه کنار هم قرار دهیم تا "جمله‌های" شیمیایی درست کنیم. این مسئله تا دههٔ نخست از قرن بیستم حل نشده بود، هنگامی که امیل‌فیشر شیمی‌دان آلمانی، نخستین روش را برای انجام این کار پیشنهاد کرد.

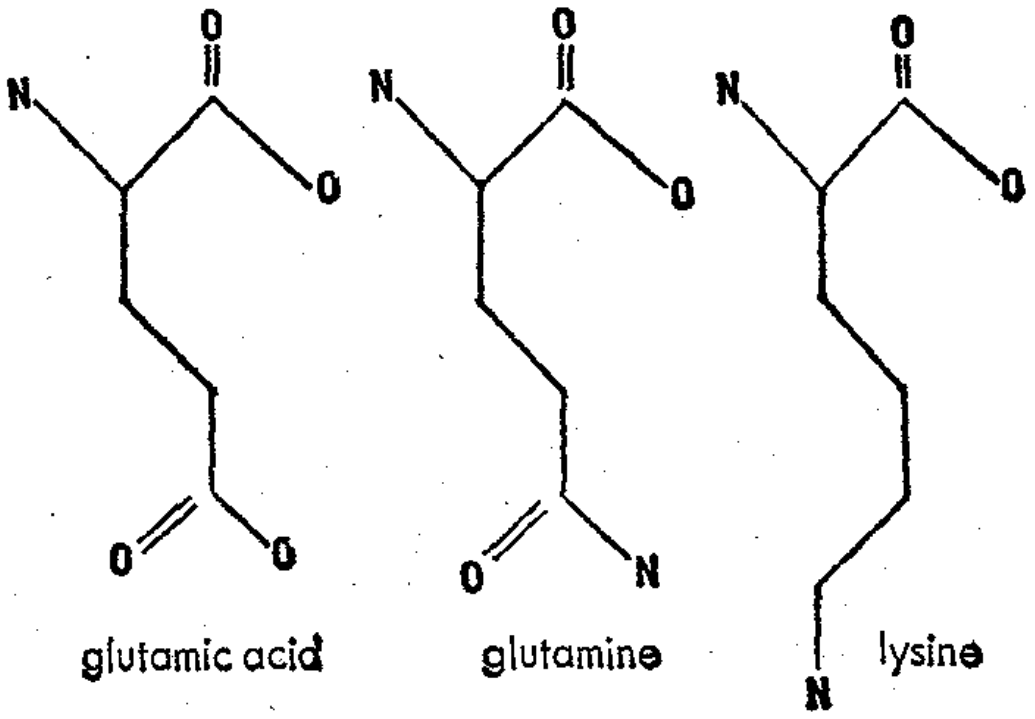
او نشان داد که اسید آمینه که با اتصال گروه اسید کربوکسیلیک یکی با گروه آمین دیگری ترکیب می‌شوند و درطول این روند یک ملکول آب آزاد می‌شود. اگر ما از دو ملکول گلیسین استفاده کنیم، دراین‌صورت کار ما ساده‌تر می‌شود و این‌نوع اتصال در تصویر ۲۷ نشان داده می‌شود که موقعیت هر اتم به‌خوبی نمایان است.

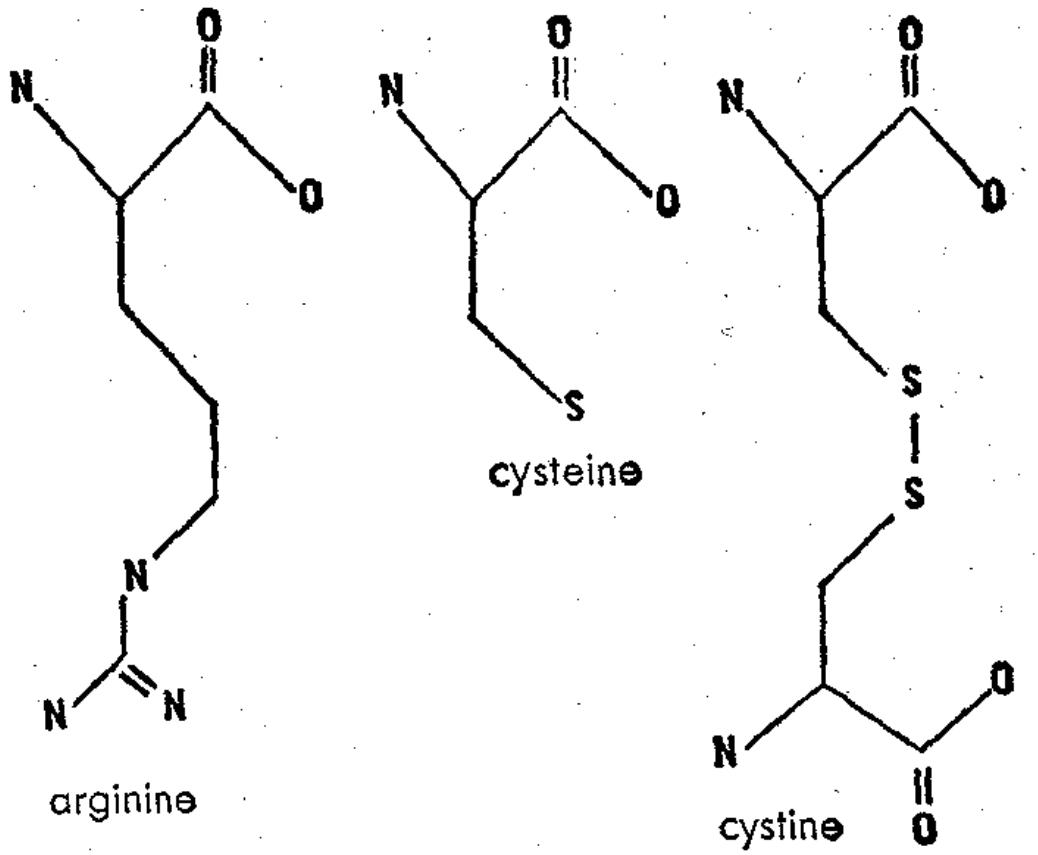
هم‌آن‌طور که می‌بینید، گروه هیدروکسیل که جزئی از گروه اسیدکربوکسیلیک

۱ــ این رقم ۲۲را نباید الزاما "تایید کرد، برخی بیوشیمیت‌ها اسپاراژین و گلوماتین را تنها انواع دیگری از اسید اسپارتیک و اسید گلوماتیک می‌شمارند و یا سیستین و سیس‌تئین را دو نوع گوناگون از یک ترکیب (ساختمان) به‌حساب می‌آورند. با درنظر گرفتن موردهای دیگرتعداد اسیدهای آمینه به ۱۸ رقم می‌رسد ولی من ترجیح می‌دهم که از ۲۲نوع اسید آمینه نام ببرم.

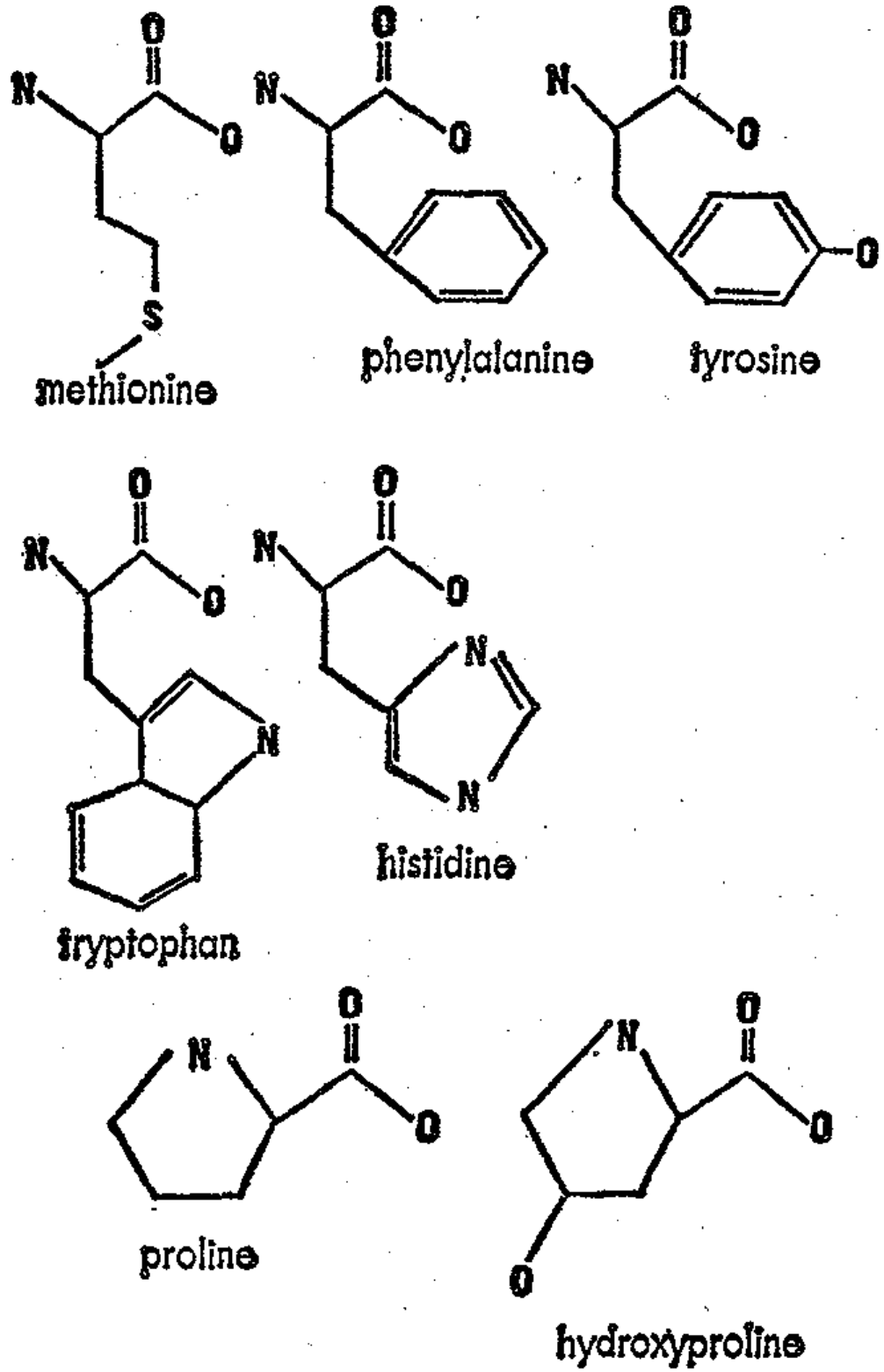


شکل ۲۶(الف) : بیست و دو اسید آمینه (زیگزاگ)





شکل ۲۶(ب) : ادامه شکل پیش.



شکل ۲۶(ج) : ادامه و پایان شکل ۲۶

را تشکیل می‌دهد ، با یکی از اتم‌های هیدروژن از گروه آمین ترکیب می‌شود . این‌ها با هم ، یعنی گروه هیدروکسیل و اتم هیدروژن یک ملکول آب تشکیل

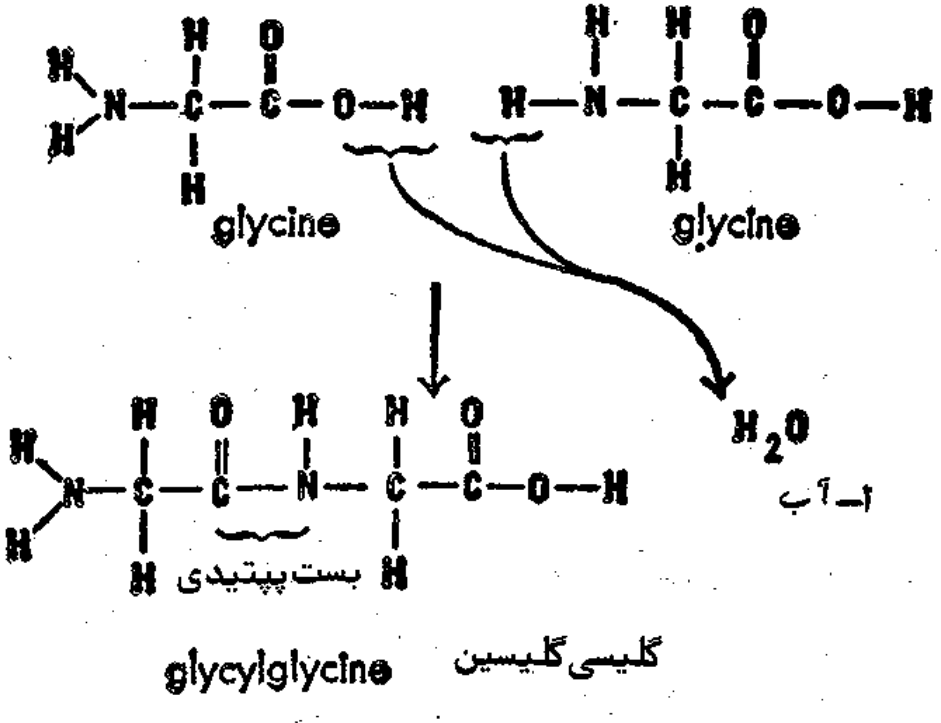


Figure 27. An

شکل ۲۷ : ترکیب اسید آمینه

می‌دهند که آزاد می‌شود . با کنارگذاشته‌شدن گروه هیدروکسیل و اتم هیدروژن ، هر ملکول گلیسین یک پیوند آزادشده دارد و این‌دو به‌هم‌دیگر پیوسته و گلیسی‌گلیسین می‌دهند .

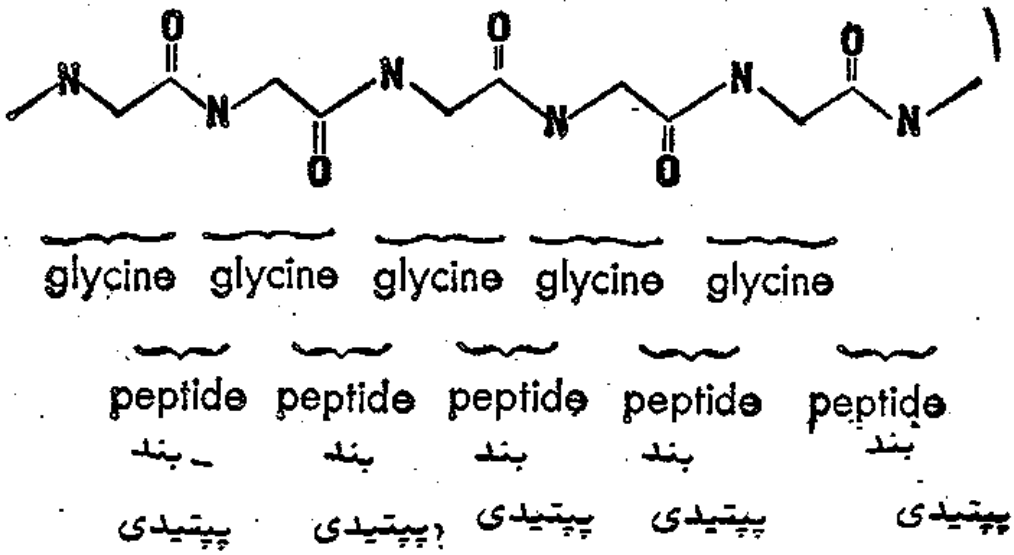
یک‌چنین پیوند یا ترکیب اسیدهای آمینه را پپتیدها می‌نامند که از واژهٔ "هضم" به‌زبان یونانی گرفته شده است ، زیرا آن‌ها را برای اولین‌بار از پروتئین تاحدی هضم‌شده به‌دست آوردند . مجموعه اتم‌های به‌هم‌پیوسته که اتحاد (پیوند) بین اسیدهای آمینو را ممکن می‌سازند CONH است (که در آن می‌توانید قسمت باقیمانده از گروه اصلی اسید کربوکسیلیک و گروه آمین ، را

مشاهده کنید) و این را پیوند (بست و اتصال‌کننده) پپتیدی می‌نامند.
-peptid link-

گلیسیل گلیسین glycylglicin پپتیدی است که از دو اسید آمینه ساخته می‌شود. بنابراین آن را دی‌پپتید می‌نامند (پس این یک "جمله" مشتمل از دو "کلمه" است). به‌هرحال گلیسیل‌گلیسین در یک انتها دارای یک گروه آمین و در انتهای دیگر دارای یک گروه اسید کربوکسیلیک می‌باشد. بنابراین می‌تواند با اسیدهای آمینو دیگر در یک انتهای خود ویا هردو انتها ترکیب شود. درنتیجه تری‌پپتید، تتراپپتید، پنتاپپتید، وغیره ساخته می‌شوند، یعنی سه و چهار و پنج پپتیدی.

برای اسیدهای آمینه که به‌وسیله بست یا پیوند پپتیدی به‌هم پیوند می‌خورند، محدودیتی نیست. پپتیدی که از اسیدهای آمینو زیادی درست می‌شود پلی‌پپتید یا چندپپتیدی نامیده می‌شود، که پلی در زبان یونانی به معنی زیاد است.

سپس درنظر بگیرید که ما تعداد زیادی از ملکول‌های گلیسین به‌وسیلهٔ اتصال (بست) پپتیدی به‌هم‌دیگر متصل شده‌اند. این نتیجه، به‌صورت زیگزاگ نمایش داده می‌شود در تصویر ۲۸ آمده است.



شکل ۲۸: پلی‌گلیسین

این چندپپتیدی معین، که تنها از واحدهای گلیسین ساخته شده است، پلی‌گلیسین نامیده می‌شود. ملکول پلی‌گلیسین با مقایسه با ماکروملکول‌های دیگر (ملکول‌های بزرگ) که از یک یا دو واحد گوناگون ساخته می‌شود، دیگر پیچیده و دارای شگردهای مختص پروتئین نیست. پلی‌پپتیدی که معمولا" در طبیعت یافت می‌شود، و اغلب از گلیسین و آلانین ساخته می‌شود، ابریشم است. در این‌جا کمبود پیچیدگی به‌خوبی معلوم است. ابریشم به‌وسیله ارگانیسم‌هایی (جانداران یا ساختارها) مورداستفاده قرار می‌گیرد که آن را تنها برای بهره‌برداری از امتیاز محکمی آن به‌عنوان الیاف، می‌سازند. این نوعی تعبیر دیگر از سلولز در دنیای جانوران است.

مثال دیگری، الیاف مصنوعی نایلون است. این الیاف از دو واحد ساخته می‌شود: یکی اسید دی‌کربوکسیلیک (یک زنجیر کربن که در هر انتهای آن یک اسیدکربوکسیلیک قرار دارد) و دیگری دی‌آمین است (زنجیر کربن‌دار که در هر انتها یک گروه آمین دارد). این‌دو واحد به‌وسیله اتصال (بست) پپتید به هم‌دیگر چسبیده‌اند و نایلون هم بیش‌تر به‌علت محکمی آن ارزش دارد.

درمورد شگرد و قابلیت اسیدهای آمینه ما باید به‌این واقعیت برگردیم که زنجیر پلی‌پپتید، چنانچه در طبیعت اتفاق می‌افتد، تقریبا" همیشه از تا ۲۲ واحدهای گوناگون ساخته می‌شود. این‌چنین زنجیر پلی‌پپتیدی فرقش با پلی گلیسین درمورد زنجیرهای جانبی به‌صورت وقفه‌های تناوبی نمایان می‌شود. چنانچه در نمایش زیگزاگی این زنجیر پلی‌پپتیدی در تصویر ۲۶ می‌بینید، زنجیر جانبی (که با حرف نشان داده می‌شود) به‌صورت تناوبی در جهت‌های مخالف، منشعب می‌شود (شاخه‌شاخه می‌شود).

بنابراین زنجیر پلی‌پپتید از دو قسمت تشکیل می‌شود: (۱) یک ستون اصلی (ستون فقرات) که درطول زنجیر گسترده می‌شود و (۲)، زنجیرهای جانبی گوناگون که از این ستون فقرات منشعب می‌شوند.

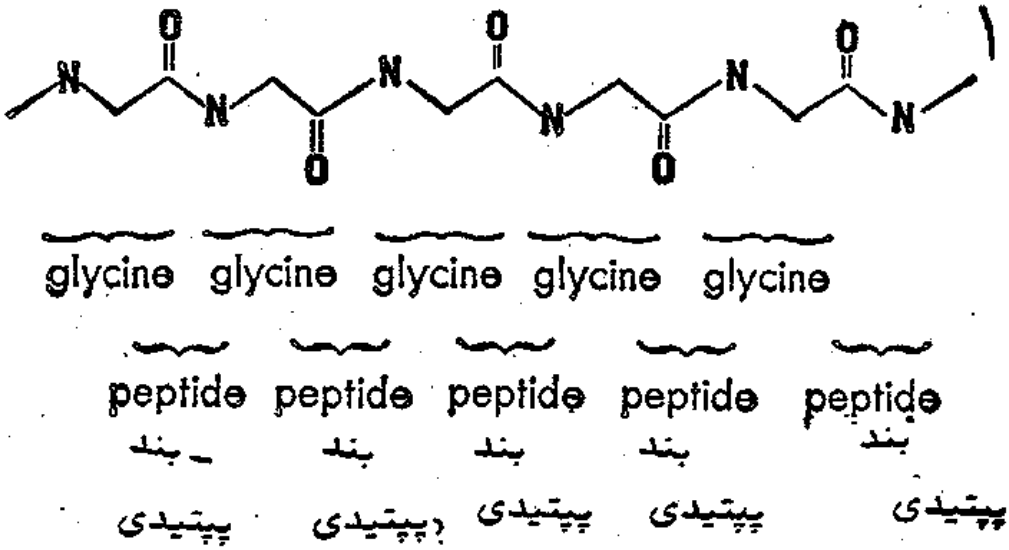
از آن‌رو که ما تنها درمورد ویژگی‌های معینی از ملکول پروتئین که موجب همه‌فن‌حریف‌شدن آن می‌شوند کنجکاو هستیم، ما ویژگی‌ها و مشخصات معمولی

مشاهده کنید) و این را پیوند (بست و اتصال‌کننده) پپتیدی می‌نامند.
-peptid link-

گلیسیل گلیسین glycylglicin پپتیدی است که از دو اسید آمینه ساخته می‌شود. بنابراین آن را دی‌پپتید می‌نامند (پس این یک "جمله" مشتمل از دو "کلمه" است). به‌هرحال گلیسیل‌گلیسین در یک انتها دارای یک گروه آمین و در انتهای دیگر دارای یک گروه اسید کربوکسیلیک می‌باشد. بنابراین می‌تواند با اسیدهای آمینو دیگر در یک انتهای خود ویا هردو انتها ترکیب شود. درنتیجه تری‌پپتید، تتراپپتید، پنتاپپتید، وغیره ساخته می‌شوند، یعنی سه و چهار و پنج پپتیدی.

برای اسیدهای آمینه که به‌وسیله بست یا پیوند پپتیدی به‌هم پیوند می‌خورند، محدودیتی نیست. پپتیدی که از اسیدهای آمینو زیادی درست می‌شود پلی‌پپتید یا چندپپتیدی نامیده می‌شود، که پلی در زبان یونانی به معنی زیاد است.

سپس درنظر بگیرید که ما تعداد زیادی از ملکول‌های گلیسین به‌وسیلهٔ اتصال (بست) پپتیدی به‌هم‌دیگر متصل شده‌اند. این نتیجه، به‌صورت زیگزاگ نمایش داده می‌شود در تصویر ۲۸ آمده است.



شکل ۲۸: پلی‌گلیسین

این چندپپتیدی معین، که تنها از واحدهای گلیسین ساخته شده است، پلی‌گلیسین نامیده می‌شود. ملکول پلی‌گلیسین با مقایسه با ماکروملکول‌های دیگر (ملکول‌های بزرگ) که از یک یا دو واحد گوناگون ساخته می‌شود، دیگر پیچیده و دارای شگردهای مختص پروتئین نیست. پلی‌پپتیدی که معمولا" در طبیعت یافت می‌شود، و اغلب از گلیسین و آلانین ساخته می‌شود، ابریشم است. در این‌جا کمبود پیچیدگی به‌خوبی معلوم است. ابریشم به‌وسیله ارگانیسم‌هایی (جانداران یا ساختارها) مورداستفاده قرار می‌گیرد که آن را تنها برای بهره‌برداری از امتیاز محکمی آن به‌عنوان الیاف، می‌سازند. این نوعی تعبیر دیگر از سلولز در دنیای جانوران است.

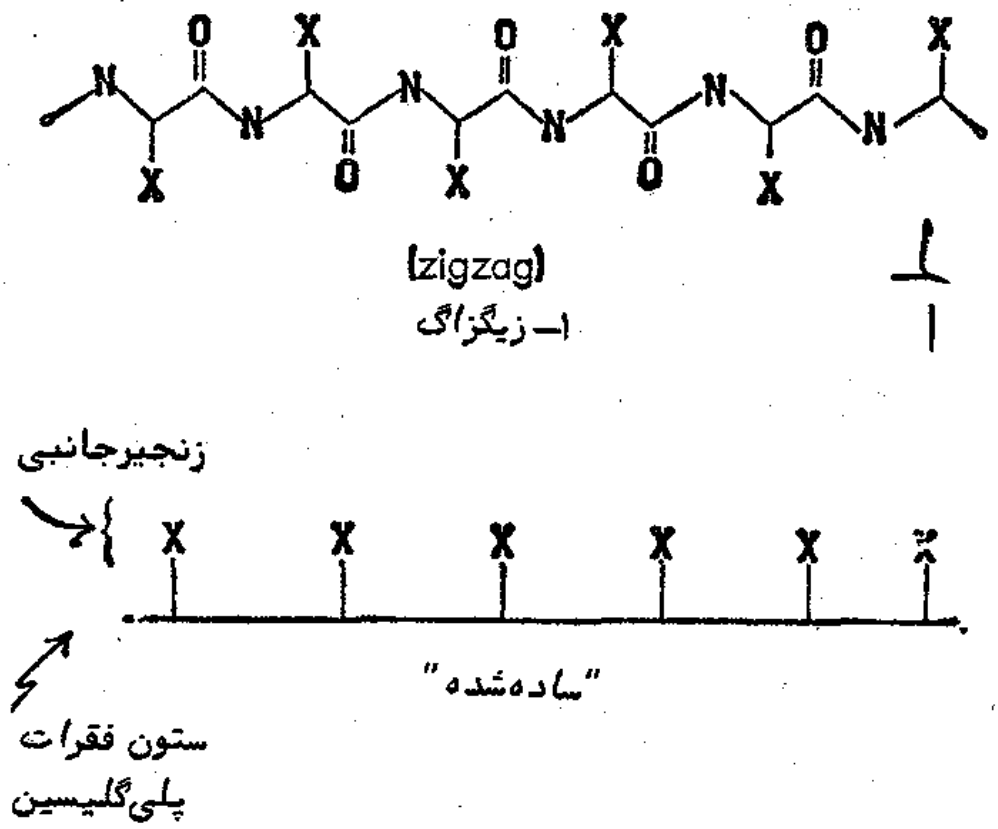
مثال دیگری، الیاف مصنوعی نایلون است. این الیاف از دو واحد ساخته می‌شود: یکی اسید دی‌کربوکسیلیک (یک زنجیر کربن که در هر انتهای آن یک اسیدکربوکسیلیک قرار دارد) و دیگری دی‌آمین است (زنجیر کربن‌دار که در هر انتها یک گروه آمین دارد). این‌دو واحد به‌وسیله اتصال (بست) پپتید به هم‌دیگر چسبیده‌اند و نایلون هم بیش‌تر به‌علت محکمی آن ارزش دارد.

درمورد شگرد و قابلیت اسیدهای آمینه ما باید به‌این واقعیت برگردیم که زنجیر پلی‌پپتید، چنانچه در طبیعت اتفاق می‌افتد، تقریبا" همیشه از تا ۲۲ واحدهای گوناگون ساخته می‌شود. این‌چنین زنجیر پلی‌پپتیدی فرقش با پلی گلیسین درمورد زنجیرهای جانبی به‌صورت وقفه‌های تناوبی نمایان می‌شود. چنانچه در نمایش زیگزاگی این زنجیر پلی‌پپتیدی در تصویر ۲۶ می‌بینید، زنجیر جانبی (که با حرف نشان داده می‌شود) به‌صورت تناوبی در جهت‌های مخالف، منشعب می‌شود (شاخه‌شاخه می‌شود).

بنابراین زنجیر پلی‌پپتید از دو قسمت تشکیل می‌شود: (۱) یک ستون اصلی (ستون فقرات) که درطول زنجیر گسترده می‌شود و (۲)، زنجیرهای جانبی گوناگون که از این ستون فقرات منشعب می‌شوند.

از آن‌رو که ما تنها درمورد ویژگی‌های معینی از ملکول پروتئین که موجب همه‌فن‌حریف‌شدن آن می‌شوند کنجکاو هستیم، ما ویژگی‌ها و مشخصات معمولی

را کنار می‌گذاریم و بر روی زنجیرهای جانبی متمرکز می‌شویم . جزئیات ستون فقرات پلی‌گلیسین (اکنون که آن‌ها را می‌شناسیم) ، بی‌اهمیت هستند و برای منظورهای ما می‌توانیم آن‌ها را به‌صورت خط راست نشان دهیم . بنابراین می‌توان زنجیرهای جانبی را طوری نشان داد که همهٔ آن‌ها از یک‌طرف بیرون می‌آیند (منشعب می‌شوند) و این برای ساده‌کردن انجام شده است . در تصویر ۲۹ که زنجیر پلی‌پپتید را به‌صورت زنجیر نشان می‌دهد ، برای مقایسه ، شکل ساده‌شدهٔ آن هم ضمیمه شده است .



شکل ۲۹ : زنجیر چندپپتیدی (پلی‌پپتید) .

دراین‌صورت ، ملکول پروتئین اغلب از چیز دیگری به‌جز یک زنجیر پلی پپتید ساخته نمی‌شود . به‌هرحال ، گاه آن از دو یا چند زنجیر پلی‌پپتید ، ساخته می‌شود که به‌وسیلهٔ ملکول سیستین به‌هم‌دیگر وصل می‌شوند . اگر به

فرمول سیستین در تصویر ۲۳ رجوع کنید، مشاهده می‌کنید که در هر انتهای آن یک ترکیب اسید آمینه وجود دارد. این بدان معنی است که یک اسید آمینه می‌تواند جزئی از یک زنجیر پلی‌پپتیدی و یک زنجیر پلی‌پپتیدی دیگر باشد. فرمول آن را در شکل ساده‌شده۳۰ می‌بینید. دراین‌صورت زنجیر پلی پپیتدی به‌وسیلهٔ اتصال (پیوند یا بست) دی‌سولفید (دوگوگردی) به‌هم متصل می‌شود.

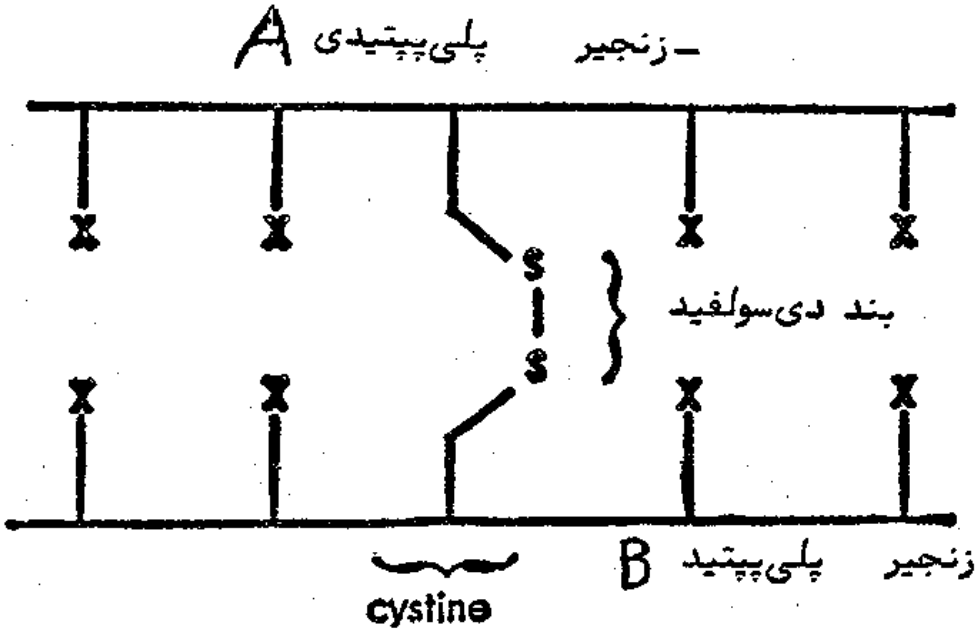


Figure 30. *Polypeptide Chains in Combination*

شکل ۳۰: زنجیرهای چندپپتیدی در ترکیب

این پیوند (بست) دی‌سولفیدی به‌آسانی به‌وسیله فعل و انفعال (کنش و واکنش)های شیمیایی شکسته می‌شود که زنجیر پلی‌پپتید را دست‌نخورده باقی می‌گذارد که درنتیجه شیمی‌دانان‌می‌توانند زنجیرها را منفردا" بررسی کنند. فشر در وقت خود، ماهیت ستون فقرات پلی‌گلیسین را روشن کرده بود و این بخش از مسئله را حل کرده بود. شیمی‌دانان در بررسی‌های خود به‌طرح زنجیر جانبی پرداختند و ما هم به‌همین مسئله خواهیم پرداخت.

فصل ۵

الگوی پروتئین

تعداد و ترتیب

زنجیرهای جانبی طیفی از ویژگی‌های متنوع را نمایان می‌سازند. بعضی از آن‌ها مانند تیروسین thyrosine وتریپتوفان triptophane بزرگ و سنگین هستند، درحالی‌که دیگران مانند آلانین و سرین کوچک هستند. بعضی از زنجیرهای جانبی مانند ترئونین یک گروه هیدروکسیل حمل می‌کنند، دیگران این کار را نمی‌کنند. برخی مانند اسیدهای آسپارتیک و گلوماتیک معمولا" دارای بار منفی (شارژ) هستند و دیگران مانند لیسین Lysine و آرژینین argen، بار مثبت با خود حمل می‌کنند. بیش‌تر از آن‌ها دارای بار الکتریکی (شارژ) نیستند.

نتیجهٔ حاصله این است که یک ملکول معین پروتئین می‌تواند با یک زنجیر جانبی برانگیخته شوند که ممکن است دریک محل به‌سنگینی متمرکز شود و نه جای دیگر و ممکن است که بارهای الکتریکی منفی در نقطه‌ای (این‌جا) و بار مثبت در جای دیگر توزیع کند و در هیچ جا این کار را نکند.

از این نقطه‌نظر، هرکس می‌تواند تصور کند که یک پادتن چگونه می‌بایست کار کند. یک پروتئین با الگوی زنجیر جانبی می‌توانست طوری ساخته شود که با الگو (طرح) زنجیر جانبی پروتئین بیگانه یا ویروس ویا نقطهٔ کلیدی بر روی سطح ویروسی جور دربیاید (وفق کند). مناسب یا جورآمدن ممکن است طوری باشد که بار (شارژ) منفی الکتریکی روی پادتن بر اثر کشش متقابل با بار مثبت الکتریکی ملکول مهاجم ملاقات و برخورد کند ویا مجموعه‌ای سنگین از اتم‌ها بر روی یک ملکول ممکن است که با فرورفتگی در اتم‌های دیگر جور دربیاید. در هر مورد، پادتن و شکار به‌سختی به‌هم می‌چسبند (محکم به‌هم می‌چسبند) و درنتیجهٔ ترکیب آن‌ها برای بدن بی‌زیان می‌شود. البته پادتن معینی با الگویی که با یک‌نوع ملکول معین جور درمی‌آید، با دیگری جور درنمی‌آید (یا تا اندازه‌ای تنها با آن‌هایی جور درمی‌آید که فوق‌العاده شبیه الگوی ساخته‌شده برای آن موجود مهاجم و مزاحم باشد).

هرکس می‌تواند چگونگی کار آنزیم را تصویر کند. آنزیم معین می‌تواند چنان الگوی زنجیر جانبی داشته باشد که دو مادهٔ شیمیایی می‌تواند به راحتی با دو فرورفتگی متصل بهم جور دربیایند (یا به‌آن بخورند و وفق بدهند). آن‌ها که به‌وسیلهٔ واسطه‌ای به‌هم جوش خورده‌اند هردو در هم‌دیگر وارد عمل می‌شوند و جایی خالی برای یک‌نوع دیگر از مادهٔ واکنش‌کننده (فعال) باز می‌کنند به‌طوری که عمل واکنش به‌طور کلی با شدت بیش‌تری به‌جریان خواهد افتاد که درصورت غیبت آنزیم این عمل انجام نمی‌شد. طبیعتا" آنزیمی که با یک گروه از ماده‌های واکنش‌کننده جور درمی‌آید یا مناسب آن ساخته شده است، با گروه دیگری از این مواد جور درنمی‌آید ویا مناسب آن نخواهد بود.

پس برای درک طرزکار پروتئین لازم است که زنجیر جانبی آن را به خوبی و به‌صورت کامل درک کنیم. این بدان معنی نیست که شناخت کامل الگو به‌تمام پرسش‌ها پاسخ خواهد داد، به‌احتمال زیاد نخواهد داد. ولی این کاملا" معلوم است که بدون شناخت الگو (طرح)، به‌پرسش ما پاسخ

داده نخواهد شد. دنبال‌کردن و ردیابی الگو، حداقل قدم لازم برای رسیدن به‌حل مسئله است.

حمله به‌الگو 'pattern-' در سه مرحله انجام می‌گیرد. از آن‌جا که از تشابه ساختمان ملکولی و زبان معمولی در بخش‌های پیشین بهره گرفته‌ام، برای توضیح سه مرحله از همان قیاس(همانندسازی) استفاده خواهم کرد.

نخستین مرحله، شناختی است که به‌ما نشان می‌دهد که اسیدهای آمینه در ملکول فلان پروتئین حضور دارند. این به‌آن می‌ماند که کلیه کلمه‌های موجود در یک جمله را مشخص کنیم. معنی یک جمله حتی با تغییر جای یک کلمه عوض می‌شود. بدین‌ترتیب در جمله زیر:

John only punched Jim in his eyes.

فریبرز تنها به‌زیر چشم بیژن زد.

John only punched Jim in his dreams

فریبرز تنها به‌زیر زوق بیژن زد.

تغییر در کلمه‌های کلیدی(چشم به‌جای زوق) یک‌دنیا تفاوت ایجاد می‌کند.

هرگاه هر واحد اسید آمینه شناخته شود، مرحلهٔ دوم شامل تعیین جا و مرتبه یا طرز قرار گرفتن این واحد در زنجیر پلی‌پپتیدی است.

این همتراز آن خواهد بود که محل یا مرتبهٔ دقیق کلمه را در جمله بیابیم. معنی یک جمله بدون تغییر کلمه‌ای از آن به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای فرق می‌کند. درنظر بگیرید که جای یک کلمه را عوض کنیم (این کلمه "تنها" یا به‌عبارت دیگر "فقط" only است ویا عوض‌کردن جای فاعل با مفعول، به‌شرطی که نظم کلمه‌ها دوباره مرتب شود.

عوض کردن یک کلمه در این‌جا (تنها یا فقط only در زبان انگلیسی). داریم:

John only punched Jim in his eye

فریبرز تنها به‌چشم بیژن زد .

John punched Jim in his only eye

فریبرز به‌تنها چشم بیژن زد .

Only John punched Jim in his eye

تنها فریبرز به‌چشم بیژن زد .

John punched only Jim in his eye

فریبرز تنها به‌چشم بیژن زد .

John Punched Jim only in his eye

فریبرز تنها به‌چشم بیژن زد .

و :

Jim only punched John in his eye ...etc

بیژن تنها به‌چشم فریبرز زد .

بالاخره تغییر دیگری هم هست که نیاز به‌توضیح کوتاهی دارد .

زنجیر پلی‌پپتید استعداد آن را دارد که تا اندازهٔ محدودی خم شود . زنجیر به‌یاری نیروهای ضعیف الکتریکی به‌حالت خمیدگی حفظ می‌شود . این نیروهای الکتریکی در جایی وجود دارند که اتم هیدروژن بین دو اتم نزدیک به‌هم (تنگ‌فشرده به‌یکدیگر) ازت وجود دارد ویا اتم هیدروژن بین یک اتم اکسیژن و ازت قرار گرفته است . این پیوند را پیوند هیدروژن می‌نامند و این به‌علت نقش اصلی ایفا شده ازسوی هیدروژن است .

تا آن‌جا کـه پیوند هیدروژن پایدار و اسـتـوار می‌ماند (دست‌نخورده می‌ماند) زنجیر پلی‌پپتید شکل خمیدهٔ خود را حفظ می‌کند و زنجیرهای جانبی در موقعیت مناسب قرار دارد تا این‌که ملکول به‌عنوان یک پادتن و یا آنزیم معینی ویا به‌نحو دیگری عمل کند (کارکرد داشته باشد).

تقریبا" هرنوع فعل و انفعال شیمیائی وحتی گرمای کم کافی است تا این پیوندهای شکنندهٔ هیدروژن را بشکند. هنگامی‌که این عمل‌روی می‌دهد، زنجیر پلی‌پپتید، شکل ویژهٔ خود را ازدست می‌دهد و به‌وضع بحرانی دچار می‌شود ویا دچار اختلال می‌شود. از آن‌جا که الگو (طرح) زنجیرهای جانبی به‌هم خورده است، ملکول پروتئین نمی‌تواند به‌کارکرد خود ادامه دهد. این است دلیل آسان بودن قلب ماهیت (تغییردادن ماهیت و تبدیل به‌چیز دیگری) پروتئین و دائمی بودن قلب ماهیت.

مرحله سوم در حل و گشودن الگوی پروتئین این است که پس از آن موقعیت دقیق زنجیر چندپپتیدی را در رابطه با محیط خود ارزیابی کنیم. در جمله‌های انگلیسی این معادل آن خواهد بود که پس از دانستن محل دقیق کلمه‌ها در جمله، مفهوم واقعی آن را ارزیابی کنیم. بدین ترتیب، اهمیت بیان زیر:

John only punched Jim in his eye.

هرگاه صحبت از دو مشت‌زن جوان در رینگ باشد چیزی است ویا هرگاه ما از دو استاد پیـر در جلسه دانشگاهی صحبت کنیـم، چیز کامـلا" دیگری خواهد بود.*

---

* *جمله‌ای مانند "فریزر به‌بیژن چشم زد" یا به‌فریزر به‌چشم بیژن زد بـا تغییر جزئی درجای اسم‌ها و مفهومشان کاملا" فـرق می‌کند. جمله‌ای مانند: "فریبرز زیر پای بیژن را خالی کرد"، درموردی که این‌دو باهم دشمن باشند کاملا" با موردی فرق دارد که دونفرکارگرمعدن باشند.* Punch *به‌معنی زدن و درموردی انتقاد آبکی، شل و بدون منطق قوی آمده است.*

پس از آن‌که فیشر ماهیت ستون فقرات (ستون اصلی) پلی‌گلیسین را معلوم کرد، شیمی‌دانان بدون این‌که موفقیت شایانی کسب کنند، به‌تقلای خود برای حل مسئله پروتئین ادامه دادند.

تنها پس از یک‌نسل بعد، چنان که ذکر شد، در سال ۱۹۳۵ آخرین اسید آمینه کشف شد. حتی پس از کشف تمام اسیدهای آمینه باز هم حل نخستین مرحله با دشواری‌هایی روبه‌رو بود. ملکول پروتئین به‌آسانی به تمام اسیدهای آمینهٔ متشکل از آن، تجزیه می‌شد ولی این مخلوط به‌دست آمده، علی‌رغم تلاش‌های شیمی‌دانان دهه ۱۹۳۰، هم‌چنان اسرارآمیز و معمایی باقی می‌ماند. تا دیرزمانی تا ۱۹۴۴، تعیین تعداد دقیق و کامل اسیدهای آمینه در ملکوی پروتئین غیرممکن بود و راه‌حل مرحله‌های دوم و سوم مسئله در چشم‌انداز دانشندان قرار نداشت.

ولی درسال ۱۹۴۴ یک ورق کاغذ آب‌خشک‌کن برای نجات وارد صحنه شد.

الگو ـ تعبیر و تفسیر مختصر

در آن‌سال دو شیمی‌دان زیست‌شناس، آ. جی. پی. مارتین و سینج synge ، روشی ابداع کردند که در آن مخلوطی از اسیدهای آمینه، حاصل تجزیه و شکسته‌شدن یک ملکول پروتئین بر روی فیلتر مشبک (با سوراخ‌های ریز) گذاشته می‌شد تا خشک شود. سپس انتهای کاغذ را در یک مایع آلی قرار می‌دادند که براساس عمل مویینگی درمیان الیاف (فایبر) به‌بالا نفوذ می‌کرد. (می‌توانید یک گوشهٔ جوهرخشک‌کن را در ظرف آب قرار دهید و خاصیت مویینگی را به‌چشم خود مشاهده کنید).

هنگامی‌که مایع از نقطه‌های اسیدآمینه خشک‌شده می‌گذشت، این اسیدهای آمینه تحت کشش مایع قرار می‌گرفتند. هر اسید آمینه با تندی

متفاوتی کشیده می‌شد و پس از مدتی هرکدام از دیگری جدا شده بود. بنا براین دانشمندان به‌آسانی روش‌هایی اتخاذ کردند که به‌یاری‌آن‌ها اسیدهای آمینه را که در محل معینی جمع شده بودند از هم‌دیگر تشخیص بدهند و کیفیت (مقدار و نسبت) هریک را اندازه بگیرند.

این روش به‌نام کروماتوگرافی کاغذی برای نخستین‌بار امکان این را فراهم آورد که همهٔ اسیدهای آمینه موجود در یک ملکول پروتئین معین را تشخیص دهند. نخستین مرحلهٔ مسئله حل شده بود و بنابراین در اواخر دههٔ ۱۹۴۰، تشخیص‌های دقیق اسیدهای آمینو در یک پروتئین ویا دیگری انجام شده بود ۱ــ.

این تنها نخستین مرحله بود. به‌هرحال یورش به‌دومین مرحله بلافاصله آغاز شد. بلافاصله پس از گسترش روش مارتین ــ سینج، فردریک سانجر، شیمی‌دان انگلیسی دیگری، به‌حل مسئله ترتیب اسید آمینه پرداخت.

روش یورش او این بود که ملکول پروتئین را تنها تاحدی بشکند. به جای تبدیل آن به‌اسیدهای آمینه amine جداگانه، او پروتئین را طوری می‌شکست که پپتیدهایی با دو یا سه اسید آمینه به‌دست آورد. او این پپتید را به‌وسیله کروماتوگرافی کاغذی از هم جدا می‌کرد و روی هریک کار می‌کرد. او با دقت تمام، ترتیب دقیق هر اسید آمینه را در زنجیر کوچک پپتید معین می‌کرد (کار ظریفی است ولی غیرممکن نیست). سپس به‌کندی روشی را برآورد و نتیجه‌گیری کرد که در آن همه اسیدهای آمینه می‌بایست در زنجیر درازی به‌هم وصل و جور شوند (تشکیل زنجیر درازی بدهند) تا هنگامی که این‌ها شکسته می‌شدند همان پپتیدها کوچکی تولید می‌شد که او عملاً" ردیابی کرده بود. در سال ۱۹۵۳ ترتیب کامل اسید آمینه‌یی را در

۱ــ برای ابداع این روش این‌دو دانشمند، مارتین و سنیج جایزهٔ نوبل سال ۱۹۵۲ در رشته شیمی را دریافت داشتند.

ملکول پروتئین به‌نام انسولین کشف کرد*.

وینست دو وینئو Vigneau از روش سانجر برای پیدا کردن و تعیین ساختمان دقیق دو ملکول پروتئین دیگر یعنی "واسوپرسین" و "اکسی‌توکسین" استفاده کرد. معلوم شد که آن‌ها ملکول‌های نسبتا" ساده‌ای هستند و او قادر بود که گامی فراتر از سانجر بنهد: او اسیدهای آمینه را به‌طریقی و ترتیبی که از آزمایش خود نتیجه‌گیری کرده بود، به‌هم وصل کرد. بدین ترتیب توانست چنان ماده‌های سنتزی (مصنوعی) تولید کنـــد که همهٔ مشخصات ملکول‌های طبیعی را داشتند و مانندآن پروتئین‌ها عمل می‌کردند. این قوی‌ترین دلیل برای درست بودن تئوری‌های مربوط به‌ساختمان پروتئین بود که پس از فیشر گسترش یافته بود. این بسیار تاسف‌آور بود که وینئو در سال ۱۹۵۵ برندهٔ جایزه نوبل در رشتهٔ شیمی شد، همان‌سالی که کشف خود را انجام داد، درحالی‌که سانجر می‌بایست ۳ سال دیگر برای پاداش تلاش‌های کلی و همه‌جانبه خود صبر کند).

بنابراین مرحلهٔ دوم مسئله حل شده بود و اکنون ما مکثی می‌کنیم تا نتیجه‌ها را بررسی کنیم. ما می‌توانیم از واسوپرسین شروع کنیم که یکی از دو پروتئین سنتزشده به‌وسیلهٔ وینئو است.

واسوپرسین به‌دسته‌ای از ترکیب‌ها به‌نام هورمون تعلق دارد. آن به وسیلهٔ عنصر ویژه‌ای (غدهٔ صنوبری از بافت کوچکی در مغز) تولید می‌شود و سپس وارد جریان خون می‌شود. مانند هر هورمون دیگری مقدار کمی از آن بر شیمی بدن تاثیر زیادی دارد. آن فشار خون را زیادتر می‌کند ولی درعین‌حال عمل کار کبد را تنظیم می‌کند و از تلف شدن زیاد آب جلوگیری می‌کند. هنگامی‌که بدن واسوپرسین کم‌تری تولید می‌کند، بدن دچار بیماریی به‌نام دیابت اینسپیدوس insepidose می‌شود. کسی که دچار این بیماری شود زیاده ازحد ادرار می‌کند و از تشنگی مدام رنج می‌برد.

---

* *به‌همین خاطر، سانجر برنده جایزه نوبل ۱۹۵۸ در رشته شیمی شد.*

دو وینئو کشف کرد که واسوپرسین به‌دست‌آمده از گاو دارای هشت اسید آمینه گوناگون است. این‌ها به‌قرار زیر هستند:

(۱) آژینین، (۲) آسپاریژین، (۳) سیستین، (۴) گلوماتین، (۵) گلیسین، (۶) فنیل آلانین، (۷) پرولین و (۸) تیروسین.

(1)arginine-(2)asparegine-(3)systine-(4)glumatin-(5)glycin (6)phenil alanin-(7)peroline(8)tirosine-

هنگامی‌که نظم نهایی را معلوم کرد، کشف کرد که ملکول سیستین دارای ۲ قسمت اسید آمینه خود در بخش‌های گوناگونی از زنجیر پلی‌پپتید است به‌طوری که این قسمت از زنجیر به‌صورت حلقه‌ای خم شده بود که به‌وسیله بست (اتصال) دی‌سولفید در جای خود محکم شده بود. او هم‌چنین دریافت که ملکول گلیسین در انتهای بدون حلقه‌شده قرار داشت و این که گروه کربوکسیل اسید آمینه به‌گروه آمید تبدیل شده بود (گلسینی که به‌این صورت تغییرشکل دهد گلیسین آمید نامیده می‌شود).

فرمول ساده‌شدهٔ واسوپرسین اکس.ox vasopresin- تنها با زنجیر جانبی در شکل ۳۱ نشان داده می‌شود.

هورمون دومی که به‌یاری دستگاه ترشحی غده صنوبری تولید می‌شود اکسی توسین oxytocin است، پروتئین دیگری که به‌وسیله وینئو سنتز شده بود.

آن هم از هشت اسید آمینه تشکیل شده است که شش‌تای آن با شش تا از اسیدهای آمینه در واسوپرسین یکی است. ولی به‌جای فنیل آلانین در واسوپرسین، اکسی‌توکسین دارای یک ایزولئوسین است و به‌جای ارژینین واسوپرسین دارای یک لئوسین است. فرمول ساده‌شده اکسی‌توکسین در تصویر ۳۲ نشان داده می‌شود.

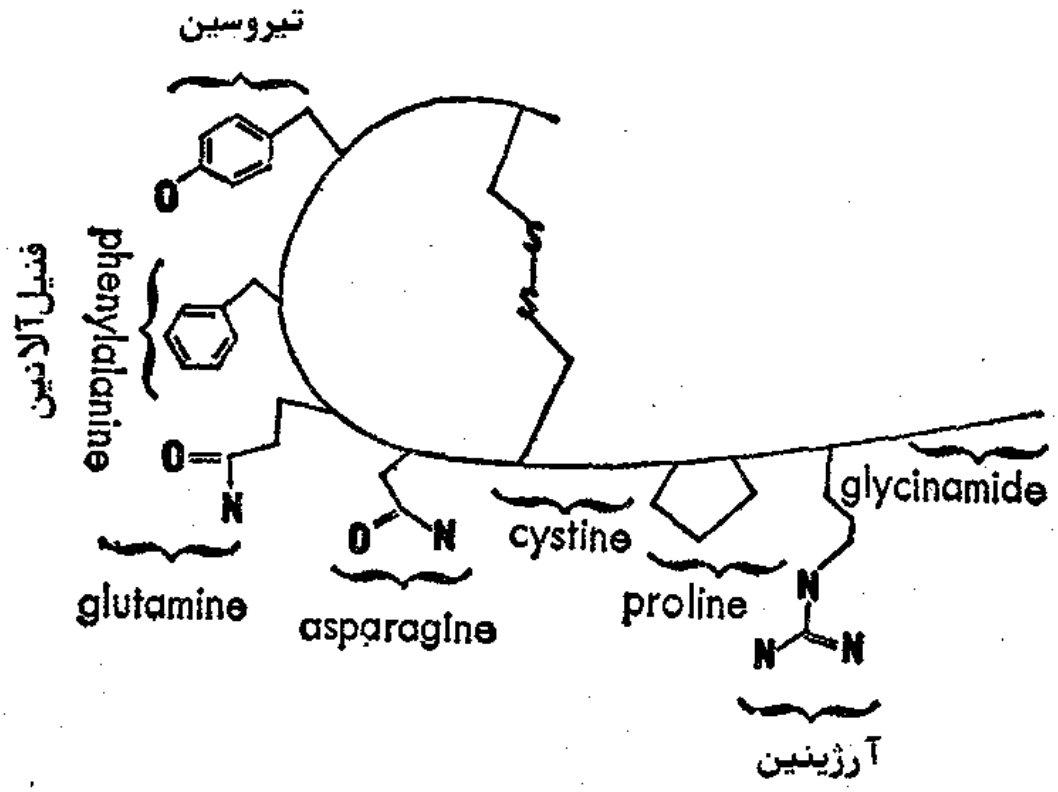
دو فرمول تصویرهای ۳۱ و ۳۲ را با هم‌دیگر مقایسه کنید و خواهید دید که تنها تفاوت در این است که ملکول اکسی‌توسین یک حلقهٔ بنزن و

یک ترکیب سه نیتروژن‌دار گوانیدو guanido کم دارد که هردوی آن در واسوپرسین حضور دارند.

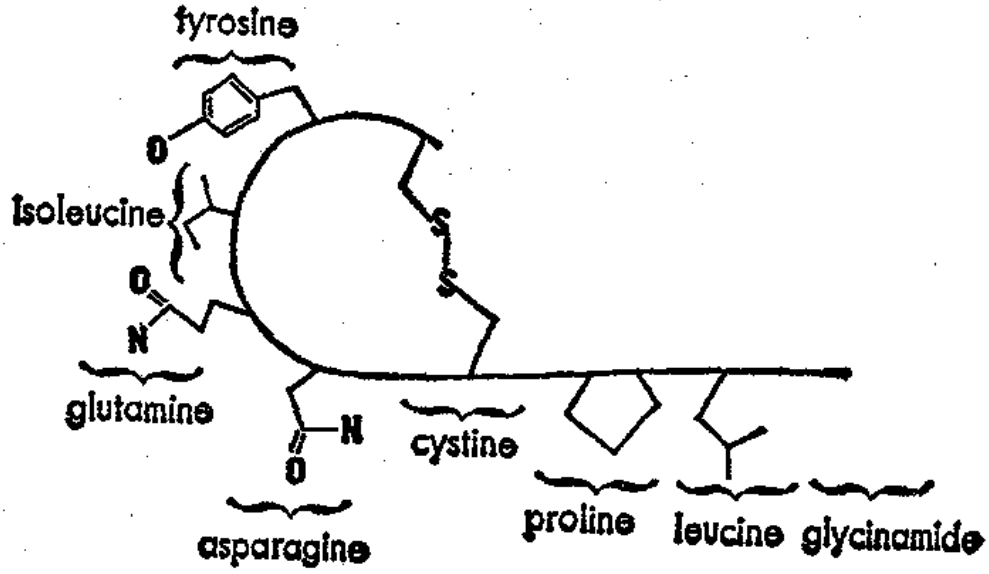
ممکن است که این تفاوت بزرگی به‌نظر نیاید ولی آن به‌اندازهٔ یک‌دنیا موجب تغییر در کارکرد می‌شود. اکسی‌توکسین برخلاف آن‌که واسوپرسین موجب افزایش (بالارفتن) فشارخون می‌شود، باعث فشارخون نمی‌شود و از خاصیت تاثیر شفابخشی که این‌یکی بر بیماران دیابت انسیپیدوس دارد، برخوردار نیست. برعکس اکسی‌توسین موجب انقباض عضله‌های نرم به‌ویژه رحم می‌شود، بنابراین در تولد آسان نوزاد موءثر است (چرا تغییر در زنجیر جانبی موجب بروز چنین مجموعه‌ای از اختلافات می‌شود، هنوز روشن نشده است؟).

به‌هرحال تغییر در دو زنجیر جانبی از میان هشت‌تا، دگرگونی قابل ملاحظه‌ای است. امکان دارد که تغییری کوچک بدون ازدست‌دادن کارکرد، انجام داد. برای مثال در واسوپرسین به‌دست‌آمده از خوک‌ها، هفت‌تا از هشت ملکول با ملکول‌های به‌دست‌آمده از اکس واسوپرسین (گاو) یکی است و در همان ترتیب مرتب شده است. تنها تفاوت این است که در جایی که اکس واسوپرسین دارای یک آرژینین است، واسوپرسین خوک دارای یک لیسین می‌باشد. برای نشان دادن این تفاوت لازم است که "قسمت دم" یا انتهایی ملکول را بنویسیم: یعنی پروتئین بیرون از حلقهٔ سیستین. در تصویر ۳۳ نشان داده می‌شود.

همان‌طور که می‌بینید تفاوت به‌هیچ طریقی با مقایسه با تفاوت بین واسوپرسین و اکسی‌توسین زیاد نیست. واسوپرسین خوک، حلقهٔ بنزنی را که در اکس توسین وجود ندارد، حفظ می‌کند. فزون بر این، آن هرسه اتم حاضر در واسوپرسین گاو را که در اکس توسین وجود ندارد ازدست نداده است. با جانشینی یک لیسین به‌جای زنجیر جانبی آرجی‌نین (آرژی‌نین) در واسوپرسین، آن هم‌چنان یک اتم نیتروژن (ازت) را در زنجیرهای جانبی حفظ می‌کند.

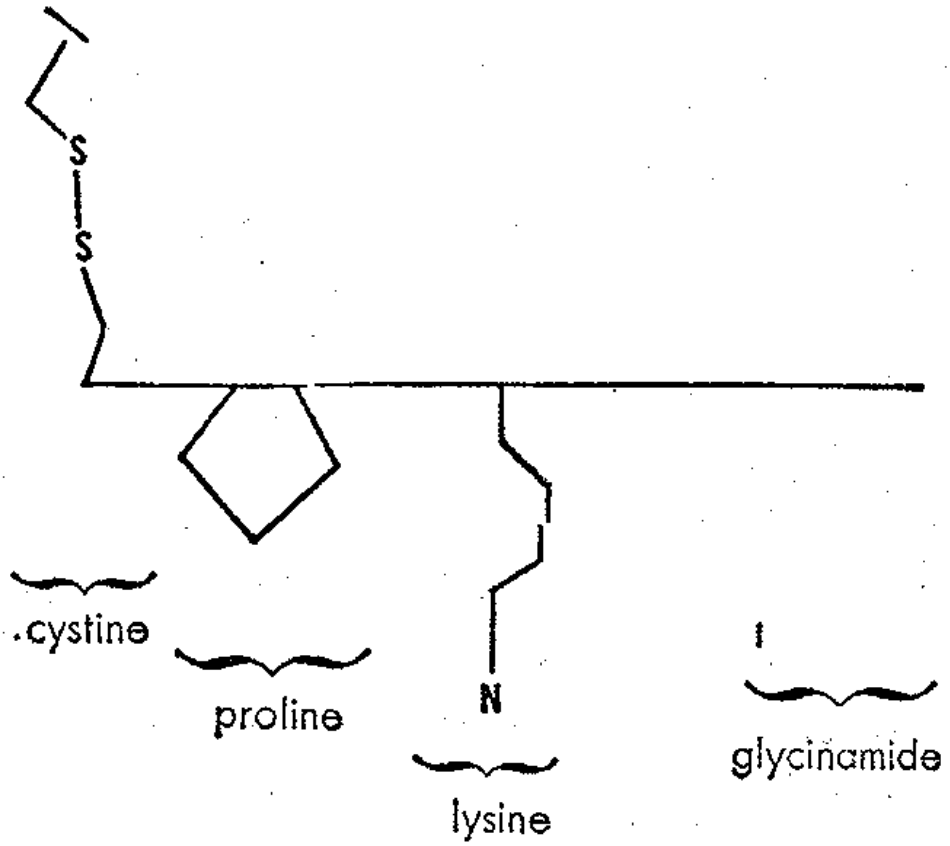


شکل ۳۱ : واسپورسین گاو (اکس) نر



شکل ۳۲ : اکسی‌توسین گاو نر (اکس)

تفاوت به‌قدری کم است که در کارکرد ملکول تاثیری باقی نمی‌گذارد . هرگاه واسوپرسین از خوک ویا از گاو گرفته شود ، باز هم دردهای شخصی



شکل ۳۳ : واسپورسین خوک("بخش دم‌دار")

که از دیابت اینسپیدوس رنج می‌برد ، را رفع خواهد کرد .

ما می‌توانیم این تشابه یا تشبیه را بین این سه ملکول و سه جملهٔ زیر انجام بدهیم :

۱ــ فریبرز اسفندیاری دست بیژن را شکست .

۲ــ فریبرز اسفندیاری دست بیژن را بست .

۳ــ فریبرز اسفندیاری دست‌های بیرن را بست .

1-John Jones punched Mary Smith in the eye.

2-John Jones Kissed Mary Smith on the eye.

3-John Jones Kissed Mary Smith on the eyes.

دو کلمه از جمله اول در جمله دوم عوض شده‌اند (فعل‌ها) و معنی به کلی فرق کرده است: تمام معنی جمله‌ها متفاوت است. در جملهٔ دوم فریبرز از یک آدم شرور به‌فردی خیرخواه و انسان‌دوست ارتقا یافت و واکنش بیژن درهرمورد متفاوت خواهد بود. جمله اول و دوم تفاوت بین اکسی توسین و واسوپرسن را نشان می‌دهند*(منظور از بستن فرضا" دست شکسته بیژن است که بستن و درمان آن خیر است).

جمله سوم شامل یک کلمه eye- است ("دست‌ها" در جمله‌های فارسی) که با همان کلمه در جمله ۲ فرق دارد. به‌هرحال، معنی جمله‌های ۲ و ۳ الزاما" یکی هستند. این تفاوت واسوپرسین اکس(گاو) و واسوپرسین خوک است.

به‌هرحال بین جمله ۲ و جمله ۳ مقداری تفاوت وجود دارد هرچند آن کافی نیست تا مفهوم کلی را تغییر دهد. جمله سوم حداقل، به‌دو دست (-eye) در جمله انگلیسی" اشاره می‌کند، بنابراین رابطه گرم‌تری را نشان می‌دهد ویا صمصمیت بیش‌تری. به‌همان‌ترتیب ماشین شیمیایی غده صنوبری خوک چیزی متمایز از غده صنوبری گاو(گاو نر) تولید می‌کند و هر گاه کارکرد ملکول‌ها در دو نوع بسیار به‌هم شبیه هستند، ماشین شیمیایی که آن‌ها را تولید می‌کند به‌هرحال باید به‌وضوح متفاوت باشد.

الگو ـ تعبیر و تفسیر مفصل

تفاوت در ساختمان حتی در سطح علمی بسیار پایین هم علی‌رغم آن که هیچ نوع تغییری در عملکرد مشاهده نمی‌شود، را نمی‌توان نادیده گرفت. من می‌توانم این امر را با رجوع به‌انسولین نشان دهم که نخستین پروتئینی

بود که مرحلهٔ دوم از مسئله ساختمان آن حل شده است.

انسولین، هورمونی است که به‌وسیله سلول‌های معینی در پانکراس(۱) تولید می‌شود. کنترل واکنش‌های شیمیایی برای شکستن قند و استفاده از انرژی آن در بدن، به‌وسیله این ماده کنترل می‌شود. هنگامی که مقدار کافی آن وجود نداشته باشد، شکستن (خرد و تجزیه شدن) قند آهسته‌تر می‌شود و بیماری خطرناک دیابت ملتیوس (مرض قند) پیش می‌آید.

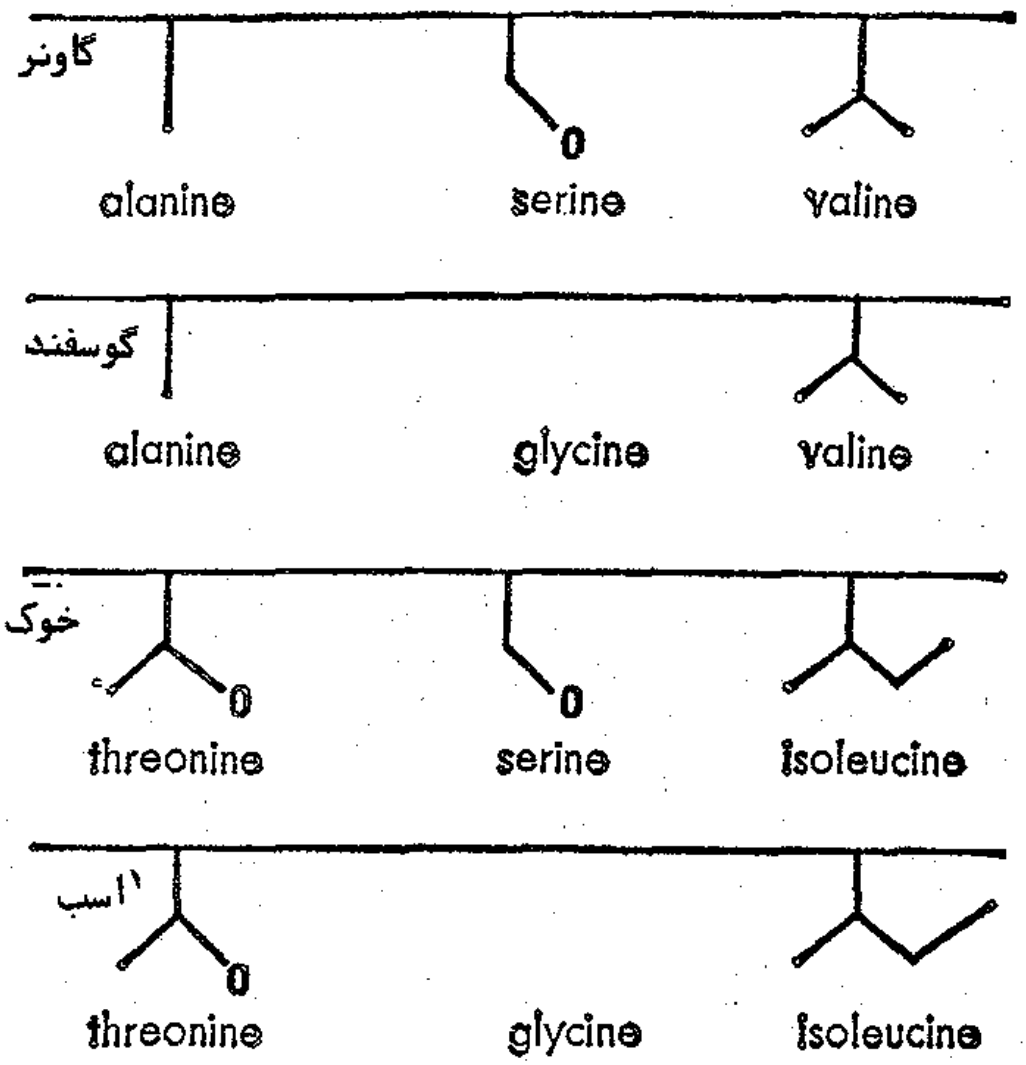
ملکول انسولین دارای ساختمان بسیار پیچیده‌تری با مقایسه با اکسی توکسین ویا واسوپرسین است. آن دارای‌یک‌جفت زنجیر پلی‌پپتید (چند پپتیدی) است که به‌وسیله دو بند یا پیوند دی‌سولفید (دوگوگردی) به‌هم پیوسته‌اند. دو زنجیر را به‌نام زنجیرهای الف و ب می‌خوانند. زنجیر الف از ۲۶ اسید آمینه تشکیل می‌شود، زنجیر ب از ۳۰ تا اسید آمینه. قسمتی از زنجیر الف به‌وسیله بند یا پیوند (بست) دی‌سولفید از ملکول سیستین وادار می‌شود که به‌صورت حلقه درآید. این همانند مورد واسوپرسین و اکسی توکسین است. در این حلقه، علاوه بر خود ملکول سیستین، سه اسید آمینهٔ دیگر وجود دارد.

ملکول‌های انسولین گرفته‌شده از پانکراس تعدادی گوناگون از انواع جانوران موردبررسی قرار گرفته است و اگر حلقهٔ دی‌سولفید را درنظر نداشته باشیم، همهٔ آن‌ها در تمام جزئیات با هم همسان هستند. به‌نظر می‌رسد که هرگونه تغییر در اسیدهای آمینه ویا ترتیب آن‌ها (در بیرون از حلقهٔ دی‌سولفید) به‌کارکرد انسولین پایان می‌بخشد (کار آن را متوقف و بی‌خاصیت می‌کند).

به‌هرحال، سه اسید آمینه در حلقهٔ دی‌سولفید از هر نوعی به‌نوع دیگر فرق می‌کنند ولی درعین‌حال به‌کارکرد انسولین لطمه‌ای‌وارد نمی‌کنند.

۱ــ غدهٔ بزرگی در پشت معده که بین کلیه چپ و راست قرار دارد و مادهٔ هضم‌کننده‌ای ترشح می‌کند. م

تغییرات در تصویر ۳۴ نشان داده می‌شود .



شکل ۳۴ : *انسولین‌های گوناگون*

اگر این تغییرات (فرق‌ها) کارکرد انسولین را عوض نمی‌کند ، اهمیت آن‌ها در چیست ؟ درنظر نخست ، ممکن است که ازنظر تئوری برای شیمی‌دان پروتئین جالب باشند ولی آیا دارای اهمیت علمی هستند ؟ گرچه عجیب به‌نظر می‌آید ، ولی دارند .

طبق معمول ، انسولین موجب پیدایش پادتن (آنتی‌بادی) در بدن نمی‌شود ویا بـــدن در برابر تزریق انسولین جانوران دیگر بـــه‌بدن خود ،

واکنش چندان زیادی از خود نشان نمی‌دهد. این یک خوش‌شانسی است زیرا کسانی که از دیابت ملتیوس (مرض قند) رنج می‌برند گاه‌به‌گاه به‌تزریق انسولین به‌بدن خود نیاز دارند ولی اگر بدن آنان دربرابر پروتئین "بیگانه" ولی بسیار لازم واکنش شدیدی نشان می‌داد، برای این‌نوع بیماران بسیار بد می‌شد.

به‌هرحال، گاه ممکن است که شخصی دربرابر انسولین گرفته‌شده از گاو پادتن (آنتی‌بادی) بسازد و درنتیجه نتواند تزریق را تحمل کند. دراین مورد کافی است که از انسولین گرفته‌شده از خوک استفاده کند. تفاوت بین دو اسید ازمیان ۵۰ اسید آمینه بـرای تغییر کارکرد انسولین کافی نیست ولـی درهرصورت این مقـدار برای تشکیل پادتـن (آنتی‌بادی) متفاوتی (دیگـری) لازم است. بـه‌آنتی‌بادی تشکیل‌شـده برای مقابله با انسولین گاو درموقع تزریق انسولین خوک، نیازی نخواهیم داشت و بیمار می‌تواند بدون این‌که با خطر پیشین واکنش‌تند و شدید روبه‌رو شود، بار دیگر تزریق شود.

اکنون ممکن است به‌نظرتان رسد که الگوی علمی اسیدهای آمینه نسبتا" بی‌اهمیت است. یک اسید ازبین هشت تا (۱۲/۵ درصد) را می‌توان تغییر داد بدون این‌که کارکرد واسوپرسین را عوض کنیم. می‌توان سه اسید آمینه از ۵۰ تا ویا بیش‌تر در انسولین را تغییر داد (۶ درصد).

به‌هرحال، تغییر کم خواهد بود ولی همیشه این‌طور نیست.

بگذارید هموگلوبین را درنظر داشته باشیم که پروتئین حمل‌کننده‌ٔ اکسیژن در سلول‌های سرخ خون است و چندین‌بار از آن نام برده‌ام. ملکول هموگلوبین عادی (نرمال) که در خون تقریبا" همهٔ انسان‌ها یافت می‌شود درمجموع به‌نام هموگلوبین شناخته می‌شود.

تعدادی از افراد انسانی وجود دارند (که خوشبختانه تعداد آنان کم است) که بدنشان نوعی هموگلوبین غیرعادی تولید می‌کند. نمونه‌هایی از این هموگلوبین‌های غیرعـادی عبارتند از هموگلوبیـن S و هموگلوبین C.

هموگلوبین‌های غیرعادی نمی‌توانند به‌خوبی هموگلوبین عادی اکسیژن را جمع کنند. فزون بر این، در شرائطی، این هموگلوبین‌ها به‌صورت بلورهایی درمیان دانه‌های خون سرخ مستقر می‌شوند و غشای آن (دیواره) را بادکرده می‌کنند و با تغییرشکل آن به‌آن لطمه وارد می‌کنند. گلبول (دانه‌های) خون سرخ که دارای هموگلوبین غیرعادی هستند، به‌اندازهٔ گلبول‌های خون سرخ عادی عمر نمی‌کنند. کسانی که همراه هموگلوبین ، نوع‌های و را تولید می‌کنند هنوز می‌توانند به‌خوبی زندگی کنند ولی کسانی‌که تنها هموگلوبین ویا نوع را تولید می‌کنند، محکوم به‌مرگ زودرس هستند.

حال، ملکول هموگلوبین ده‌بار بزرگ‌تر از ملکول انسولین است. آن دارای مجموعه‌ای از ۵۷۴ اسید آمینه است که بین چهار زنجیر پلی‌پپتید توزیع شده‌اند که به‌وسیله بست‌های دی‌سولفید و جذب الکتریکی به‌هم پیوسته‌اند. دوتا از این‌ها "زنجیرهای الفای" مشخص هستند که هرکدام ۱۴۱ اسید آمینه دارند و دوتای دیگر "زنجیرهای بتا" مشخص هستند که هریک ۱۴۶ اسید آمینه دارند.

در یکی از این زنجیرها (و در جفت آن)، یک اسید گلوماتیک در موقعیت ویژه‌ای قرار دارد. اگر در هریک از زنجیرهای یک جفت، اسید گلوماتیک به‌والین تبدیل شود، در ملکول به‌جای هموگلوبین ، هموگلوبین نوع پیدا خواهد شد. اگر گلوماتین (نوعی اسید) به‌لیسین تبدیل شود، ملکول به‌صورت هموگلوبین نوع خواهد بود. تمام پانصد اسید آمینهٔ دیگر (تا آن‌جا که می‌دانیم) ازنظر موقعیت (ترتیب) و ماهیت تغییری نمی‌کنند و ثابت می‌مانند. ظاهرا" به‌نظر می‌رسد که دو اسید آمینه ازبین ۵۷۴ تا در پروتئین ویژه‌ای تنها چیزی هستند که بین زندگی توام با سلامت و مرگ زودرس قرار می‌گیرند.

بنابراین شکی نیست که الگوی پروتئین دارای اهمیت حیاتی است. با درنظر گرفتن کوچک‌ترین جزئیات، نمی‌توان "اجازهٔ گوناگونی" را داد.

از سال ۱۹۵۳ به‌بعد که مرحلهٔ دوم مسئله برای نخستین‌بار حل شد،

تاکنون پروتئین‌های فراوان دیگری تا این مرحلهٔ دوم موردبررسی قرار گرفته‌اند و دربین آن‌ها ملکول‌های پیچیده‌تری هم وجود داشت.

واسوپرسین و توسین گاو در زنجیر چندپپتیدی خود تنها دارای هشت اسید آمینه هستند. زنجیر درازتر انسولین تنها سی تا دارد. در سال ۱۹۶۰، موقعیت دقیق هر اسید آمینه در یک آنزیم به‌نام ریبونوکلئایس تعیین شد، این ماده دارای زنجیری با ۱۲۴ اسید آمینه است که به‌وسیله نه کم‌تر از چهار بست دی‌سولفید کـه از یک نقطهٔ زنجیر بـه‌نقطهٔ دیگر کشیده شده‌اند به‌تشکیل مجموعه‌ای پیچیده از حلقه‌ها وادار شده است.

دراین‌مورد هیچ‌گونه پرسشی نمی‌شود که آیا با داشتن مقدار زیادی از پروتئین به‌صورت خالص و داشتن زمان و حوصلهٔ زیادی، الگوی یک ملکول پروتئین را اکنون می‌توان حداقل تا مرحلهٔ دوم شکست و تجزیه کرد.

دربارهٔ مرحلهٔ سوم چه می‌گوئید؟ درمورد این که یک زنجیر پلی‌پپتید را به‌صورت الگوی سه‌بعدی درآوریم (خم کنیم) که به‌وسیلهٔ پیوندهای هیدروژن در جای خود محکم شده باشد چه نظری دارید؟

حتی این امـر هم تاکنون حل شـده است. در اواخر دهـهٔ ۱۹۵۰، شیمی‌دان انگلیسی به‌نام سی. کندریو با همکاری شیمی‌دان اطریشی‌الاصل، ماکس فردیناند پروتز، پروتئینی به‌نام میوگلوبین را موردبررسی قرار داد که در ماهیچه یافت می‌شود. مانند هموگلوبین، ویژگی حمل اکسیژن را دارد. به‌هرحال اندازهٔ آن یک‌چهارم هموگلوبین است. آن از یک زنجیر پپتید و یک گروه همه(۱) شامل آهن تشکیل شده است. در هموگلوبین به ۴ عدد از این نوع‌ها برخورد می‌کنیم. زنجیر واحد میوگلوبین یعنی پلی پپتید آن که از ۱۵۰ اسید آمینه تشکیل می‌شود یکی از زنجیرهای رهاشدهٔ هموگلوبین نیست. توجه داشته باشید که آن ساختمان کاملا" متفاوتی دارد.

کندریو، کریستال(بلور)های میوگلوبین را به‌وسیلهٔ تفرق(۲) پرتوهای

۱ــ heme- هم

۲ــ پراش diffraction خم‌شدن نور به‌هنگام برخورد با لبه اجسام.

مجهول (اشعه ایکس) موردبررسی قرار داد ، اشعه ایکس را به‌این ماده تاباند که دراین‌مورد در فصل بعدی بیش‌ترخواهیم پرداخت) و می‌توانست کم‌کم به‌موقعیت هر بخش از ماده پی ببرد . در سال ۱۹۵۹ او توانست که مدل سه‌بعدی پروتئین را درست کند که در آن هر اتم من‌جمله اتم آهن، در جای درست خود قرار داشت . کندریو و پروتز برای این کار خود جایزه نوبل در رشته شیمی در سال ۱۹۶۲ را برنده شدند .

به‌نظر می‌رسد که با داشتن پروتئین به‌صورت بلور به‌مقدار زیاد ویا کافی و وقت و حوصله زیاد ، می‌توان همان‌نوع مدل را برای هر پروتئین ویژه درست کرد . کوتاه سخن این‌که هر سه مرحلهٔ مسئله الگوی پروتئین ــ حداقل ازنظر اصولی، حل‌شده به‌حساب می‌آیند .

البته، کار زیادی برای انجام دادن باقی مانده است . درهرصورت ، شیمی‌دانان پروتئین اکنون در امواج خوش‌بینی شناور هستند و با درنظر گرفتن پیشرفت بزرگی که کم‌تر از بیست سال پس‌از ابداع روش کروماتوگرافی حاصل شده است ، چه کسی می‌تواند آنان را سرزنش کند ؟

الگو ــ ازنظر قابلیت

آیا ممکن است که ما در رابطه با الگوی پروتئین راه به‌سوی ترکستان را پیش گرفته‌ایم . قبول کنیم که تغییر در این اسید آمینه در این‌جا یا آن‌جا تفاوت زیادی را به‌وجود می‌آورد ، آیا تغییرات ممکن برای نوع‌های گوناگون آنزیم ، آنتی‌بادی وغیره کافی است . برای اطمینان خاطر اگر به‌تشبیه خودمان برگردیم ، برای ساختن جمله در زبان انگلیسی با تنوع بی‌شمار ممکن روبه‌رو هستیم . ولی جمله‌های زبان انگلیسی از حدود صدهاهزارکلمه (واژه) درست می‌شود . اگر زبان انگلیسی تنها ذخیره‌ای برابر با بیست و دو کلمه داشت ، چه می‌کرد ؟

ازسوی دیگر، زبان انگلیسی ازاین‌نظر محدود است که کلمه‌ها را می‌توان به‌صورت ترکیب‌های معینی درآورد. شما می‌توانید بگویید: "علفی که گاو می‌خورد، سبزرنگ است". شما نمی‌توانید بگویید: "گاو علفی‌رنگ، سبز می‌خورد، است". حداقل در زبان ما این جمله بی‌معنی است. در واقعیت هر دسته‌بندی مجدد جملات، جمله‌های بی‌معنی را خواهد ساخت.

به‌هرحال در ملکول‌های پروتئین اسیدهای‌آمینه را می‌توان به‌هرترتیبی قرار داد.

بگذارید که منظور مرا با توجه به‌یک پروتئین ساده با هشت اسید آمینه مانند واسوپرسین و اکس توکسین (توسین گاو) بهتر روشن کنم. فرض کنید که شماره‌های اسیدها را با عددهای ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷ و ۸ مشخص کنیم. حال برای این هشت اسید چند ترتیب (مرتب قرار دادن) ممکن است؟ ویا (که همان است) چند نوع عدد گوناگون را می‌توان با استفاده از این عددها از یک تا هشت نوشت. روشن است که عددها هشت‌رقمی هستند.

برای شروع می‌توانید شماره‌ای را بنویسید که هریک از هشت رقم در ابتدای آن قرار گیرد. این هشت امکان (شکل گوناگون) را به‌شما می‌دهد. سپس برای رقم دوم از هر هشت‌تای اعداد نوشته‌شده می‌توانید هفت‌تای باقی‌مانده را درنظر بگیرید. دراین‌صورت مجموعا"، ۸×۷ یا ۵۶ عدد خواهید داشت که تنها با دو رقم اول نوشته شده است. برای هریک از این ۵۶ عدد می‌توانید با انتخاب هریک از ۶ عدد باقی‌مانده به‌عنوان رقم سوّم عدد بسازید. دراین‌صورت ۸×۷×۶ عدد ساخته می‌شود. با ادامه دادن می‌توانیم به‌آسانی بفهمیم که مجموع کل ترتیب هشت رقم (ویا هشت اسید آمینه) برابر با ۸×۷×۶×۵×۴×۳×۲×۱ است. حاصل این عددها برابر ۴۰۳۲۰ است.

این نشان می‌دهد که از هشت اسید آمینه در واسوپرسین، تعداد ۴۰۳۲۰ ملکول پروتئین که هرکدام ازنظر ویژگی‌ها با دیگری متفاوت است را می‌توان ساخت.

هنگامی‌که زنجیر پپتیدی درازتر می‌شود مسئله پیچیده‌تر می‌شود . فرض کنید که شما زنجیر پپتیدی با ۳۰ اسید آمینه داشتید مانند انسولین . البته آن از سی اسید آمینهٔ گوناگون تشکیل نخواهد شد و البته وجود بیش از یک عدد از اسید آمینهٔ ویژه ، تعداد ممکن ترتیب را برهم می‌زد و متوقف می‌کرد . (فرض کنید که برای مثال ، زنجیر دارای دو گلیسین بود ، یکی در محل ۴ و دیگری در جای ۱۴. اگر گلیسین ۴ را به‌محل ۱۴ می‌بردیم و گلیسین ۱۴ را به‌محل ۴ می‌بردیم ، همان ملکول خواهد بود با این‌که دو ترتیب ظاهرا" مختلف در عمل یکی هستند .

بنابراین اگر فرض کنیم که پپتید با ۳۰ اسید آمینه شامل دوتا از ۱۵ نوع اسید گوناگون است (این درمورد انسولین کاملا" صدق نمی‌کند ولی به حد کافی نزدیک است) ، معلوم می‌شود که مجموع کل ترتیب‌های ممکن به حدود ۰۰۰ر۰۰۰ر۰۰۰ر۰۰۰ر۰۰۰ر۰۰۰ر۰۰۰ر۰۰۰ر۰۰۰ر۸۰۰۰ویاهشت‌اکتیلیون می‌رسد .

فرض کنیم که ما پپتیدی با ۱۴۰ اسید آمینه مانند هموگلوبین داریم و باز هم فرض کنیم که از هر بیست نوع اسید آمینه گوناگون هفت‌تا در آن وجود دارد . مجموع کل ترکیب‌های مرتب‌شده چیزی است که نمی‌توانم آن را با رقم بنویسم . برای نوشتن آن باید با عدد ۱۳۵ شروع می‌کردم و ۱۶۵ صفر درکنار آن قرار می‌دادم . این رقم بسیار بیش‌تر از تعداد اتم‌ها در کیهان شناخته شده است .

بنابراین به‌پرسش خود پاسخ می‌دهیم . تعداد پروتئین‌های گوناگون که از بیست و دو اسید آمینه ساخته می‌شود ، نامحدود است . زنجیرهای جانبی اسیدهای آمینه برای درنظرگرفتن گوناگونی یافت‌شده در پروتئین‌ها کاملا" کافی هستند ، تعداد آن‌ها به‌حد کافی زیاد است تا بنیاد پدیده‌ای حتی به‌پیچیدگی و لطافت زندگی را تشکیل بدهند .

درواقع ، آن‌ها بیش ازحد کافی هستند . ازمیان ۴۰۳۲۰ ترکیب ممکن واسوپرسین ، بدن تنها یکی را انتخاب می‌کند . ازمیان یک‌اکتیلیون ترکیب

ممکن برای پپتیدهای انسولین، بدن تنها یکی را برمی‌گزیند.

مسئله دیگر در این نیست که بدن نوع لازم خود را از کجا به‌دست می‌آورد، ولی این است که چگونه نوع ممکن را کنترل و آن را تحت اختیار می‌گیرد؟

برای یافتن پاسخ به‌این پرسش است که در فصل بعدی به‌آن خواهیم پرداخت.

فصل ۶:

یافتن محل رمز

نقشه (اوزالید)

اگر سلول می‌رود تا ازمیان امکان‌های عملا" نامحدود، با تشکیل یک زنجیر پلی‌پپتید ــ نه زنجیر دیگری ــ آنزیم تولید کند، باید درجایی از سلول "دستورعملی" برای انجام این کار وجود داشته باشد. نمی‌توان باور کرد که زنجیر ویژه‌ای می‌تواند تصادفی به‌وجود آید.

اگر در زندگی معمولی، به‌معماری گفته می‌شد که ساختمانی درست مانند خانه‌ای بنا کند، به‌طوری که تا آخرین آجر شبیه آن باشد، او نمی‌توانست همین‌طوری به‌سادگی این کار را انجام دهد. او می‌بایست یا دو خانه را همیشه موردبازرسی قرار دهد ویا نقشه‌ای از جزئیات خانهٔ اصلی را در دسترس داشته باشد.

در سلول "ساختمان با بازرسی" شامل استفاده از هر ملکول پروتئین گوناگون به‌عنوان مدل می‌شود. ملکول پروتئین دوم باید بر روی اولی ساخته شود مثلا" اسیدآمینه با اسیدآمینه. ولی هیچ شیمی‌دان زیست‌شناس تاکنون موفق نشده است که پروتئین معمولی را وادارکند که مضاعف (رونوشت)

خود را بسازد ، گرچه دراین‌مورد به‌ماده‌های خام ، آنزیم‌ها ، ترکیب‌های ویژه وغیره را موردبررسی و آزمایش قرار داده‌اند .

تنها ماده‌هایی که در داخل سلول‌ها می‌توانند مضاعف خود را بسازند ، کروموزم‌ها هستند و هر فرد زندگی را تنها با کروموزوم شروع می‌کند . بنا براین بدین‌نتیجه می‌رسیم که کروموزوم‌ها در درون ساختمان خود دارای نقشه‌ای برای تولید پروتئین هستند .

این کم‌وبیش همان نتیجه‌گیری است که از زمان کشف تئوری (فرضیه) کروموزوم به‌عنوان عامل وراثت از سال‌های نخستین قرن بیستم اتخاذ شده بود و این نظریه در سال‌های بعد تقویت شد . این به‌حد کافی آسان می‌نمود که از "ژن برای چشم‌های آبی" صحبت کنند ولی ژن خودش چشم‌های آبی نداشت و خودش چشم‌های آبی به‌وجود نمی‌آورد . آن تنها می‌توانست دستورعمل (یا آموزش) برای تولید یک زنجیر پلی‌پپتید را بدهد که بعدا" به‌صورت آنزیم معینی درخواهد آمد و عمل تولید سلول رنگ‌سازی (یا ملونه که در ایجاد رنگ بدن دخالت می‌کند) را کاتالیز خواهد کرد که به‌چشم‌ها رنگ‌آبی خواهد بخشید . تولید نهایی می‌تواند یک "صفت فیزیکی" (جسمانی) باشد ولی کار مستقیم ژن این بود که پروتئین ویژه را تولید کند .

به‌هرحال تا سال‌های دههٔ ۱۹۴۰ ، مدرک و شاهد روشن منطقی برای پشتیبانی و تایید این نتیجه‌گیری پیدا نشد . در آغاز سال ۱۹۴۱ ، جرج بیدل و ادوارد ال.تاتوم یک‌رشته آزمایش‌ها را بر روی کپک نان انجام دادند .

رشته کپک را می‌توانستند در محیطی دارای شکر و نمک‌های آلی به خوبی رشد دهند . محیط‌کشت دارای ترکیب‌های ازت‌دار بود که کپک از میان آن‌ها تمام اسیدهای آمینهٔ موردنیاز را می‌ساخت . لازم نبود که هیچ‌گونه اسید آمینه به‌محیط‌کشت اضافه شود .

سپس بیدل و تاتوم پرتوهای مجهول (اشعه ایکس) را بر اسپورهای کپک

تاباندند. از پیش‌تر تا سال ۱۹۲۶ معلوم شده بود که این‌گونه تابش‌ها به روشی، ژن‌ها را تغییر می‌دهند و جهش یا موتاسیون ایجاد می‌کنند. بیدل و تاتوم هم دراین‌مورد با واقعیت بالا روبه‌رو شدند. گاه‌به‌گاه، اسپور تابانده شده با پرتوها از رشد کردن در محیط کشت امتناع می‌کرد ولی اگر اسید آمینهٔ معینی، مثلا" لیسین اضافه می‌شد، به‌رشد می‌پرداخت.

آن‌چه ظاهرا" روی داده بود این بود که اسپورهای پرتودیده، استعداد تولید لیسین خودشان ازمیان ترکیب‌های آلی ازت‌دار را ازدست داده بودند. آن بدون لیسین نمی‌توانست رشد کند، اگر لیسین ازقبل‌تهیه‌شده اضافه می‌شد، آن می‌توانست رشد کند.

به‌روشنی آشکار بود که یکی از آنزیم‌ها ــ که معمولا" عملی را کاتالیز می‌کرد که به‌لیسین منجر می‌شد ــ به‌وسیلهٔ اسپور تولید نمی‌شد. هم‌چنین منطقی به‌نظر می‌رسید که یکی از ژن‌های معینی به‌وسیله پرتوهای مجهول آسیب دیده است. با انجام یک‌رشته آزمایش‌های استادانه، بیدل و تاتوم بدین نتیجه‌گیری بااعتبار رسیدند که هر ژن وظیفه (و تنها وظیفه آن) دارد که آنزیم معینی را تولید کند. این را فرضیهٔ یک ژن ــ یک آنزیم می‌خوانند (۱).

هنگامی‌که این امر برای نخستین‌بار اعلام شد، بحث‌های مخالف موافق فراوانی بر سر آن پیش آمد، ولی به‌نظر می‌رسد که بسیاری از شیمی‌دانان زیست‌شناس اکنون آن را می‌پذیرند. در عمل از آن‌جا که هر آنزیم از بیش از یک زنجیر پلی‌پپتید ساخته می‌شود، ممکن است که یک ژن جداگانه برای هر زنجیر مسئول باشد، بنابراین شاید باید این نظریه را ــ یک ژن ــ یک ــ زنجیر پلی‌پپتد بخوانیم.

۱ــ مولر به‌خاطر استفاده از تابش پرتوهای مجهول برای ایجاد جهش درکپک‌ها درسال ۱۹۴۶ برنده جایزهٔ نوبل در رشته پزشکی و فیزیولژی شد. بیدل و تافوم برای کار خودشان درمورد کپک و تابش پرتوهای مجهول بر آن قسمتی از جایزهٔ نوبل سال ۱۹۵۸ دررشتهٔ پزشکی‌وفیزیولوژی‌را برنده‌شدند.

از این دیدگاه، مجموعهٔ کروموزوم‌هایی که هر تخم بارورشده زندگی خود را آغاز می‌کند شامل اطلاعاتی برای مجموعه‌ای از آنزیم‌ها است که تعداد آن‌ها تقریبا" برابر با تعداد ژن‌های گوناگون است. این "نقشه (یا اوزالید)" در کروموزوم‌ها را در سال‌های اخیر رمز (کد) ژنتیک می‌نامند. هیچ کلمه‌ای پس از "جوش هسته‌ای" تا این‌حد دنیای دانش را تکان نداده است.

سقوط پروتئین

ولی هنگامی‌که می‌گوییم: کروموزم‌ها و ژن‌ها رمز ژنتیک را حمل می‌کنند منظور ما چیست؟ آن‌ها چگونه رمز را حمل می‌کنند؟ آن از چگونه سمبل (نشانه) تشکیل شده است.

آسان‌ترین نتیجه‌گیری این است که رمز در ساختمان پروتئینی قرار دارد که هر ژن را می‌سازد. این به‌نظر منطقی می‌رسد که به‌این نتیجه برسیم که تنها یک ملکول پروتئین به‌حد کافی پیچیده است که بتواند نقشه (اوزالید) برای ساختن و تولید ملکول پروتئین را حمل کند. فرض کنیم که هر ژن در جایی از ساختمان خود زنجیر پلی‌پپیتد کاملا" درستی از آنزیم را دارد که سنتز (تولید) آن را کنترل کرده است. ژن به‌عنوان "آنزیم مرجع" خواهد بود که از سلولی به‌سلول دیگر و از ارگانیسمی (ساختار) به‌ارگانیسم دیگر درطول نسل‌ها منتقل شده است، با جور درآمدن و مجددا" جور آمدن آنزیم مرجع، هر تعداد آنزیم‌های بیش‌تری که سلول بدان نیاز دارد، را می‌توان آماده کرد.

همهٔ این‌ها چنان طبیعی به‌نظر می‌رسید که تقریبا" بدون هیچ جر و بحثی مورد قبول واقع می‌شد. با این‌وجود درحدود یک‌ونیم قرن پیش شواهدی وجود داشت که به‌طور اشتباه‌ناپذیری به‌این واقعیت اشاره می‌کرد که این

نظریه نادرست است .

در سال ۱۸۹۶ هنگامی‌که دانشمندان تازه به‌کروموزم‌ها توجه نشان داده بودند ، شیمی‌دان آلمانی به‌نام آلبرشت کزل با اسپرم‌های آزاد ماهی آزمایش‌هایی انجام می‌داد که این اسپرم‌ها مانند نوع‌های دیگر به‌کیسه‌ای پر از کروموزوم می‌ماند .

او در مرتبهٔ نخست کشف کرد که اسپرم آزاد ماهی اکثرا" از اسید نوکلئیک ساخته می‌شود و در اصل ، اسید نوکلئیک وزنی دوبرابر پروتئین دارد . و گویا این کافی نبود که پروتئین در اقلیت قرار دارد ، بلکه معلوم شد که ملکول‌های پروتئین از نوع نسبتا "غیرعادی هستند که‌آن را پروتامین نامید . ملکول‌های پروتامین با مقایسه با پروتئین بسیار کوچک هستند و جالب این است که تقریبا "از یک‌نوع کاملا "معین اسیدآمینه تشکیل شده‌اند . درحدود هشتاد تا نود درصد اسید آمینه در پروتامین را آرژی‌نین تشکیل می‌دهد (۱) (آرژی‌نین arginine) .

این قابل‌توجه و فوق‌العاده است . هنگامی‌که یک ملکول بزرگ تا این حد اکثرا" از یک واحد تنها تشکیل شده است ، استعداد آن برای حمل اطلاعات تاحد زیادی کم و ناچیز خواهد بود . برای مثال فرض کنیم که یک پپتید از ده نوع گوناگون اسیدهای آمینه تشکیل شده است و یکی دیگر از ده اسید آمینه تشکیل شده است که در آن هشت اسید آمینه یکی هستند و دوتای دیگر فرق می‌کنند . زنجیر با ده اسید گوناگون به ۳۶۲۸۸۰۰ شکل گوناگون مرتب می‌شود و زنجیر با هشت اسید همانند و دو اسید گوناگون تنها به ۹۰ شکل گوناگون مرتب می‌شود . بنابراین ملکول‌های پروتامین تنها یک‌چهل‌هزارم قابلیت گوناگونی در ملکول پروتئینی دارند که به‌همان اندازه است ولی دارای اسیدهای آمینهٔ گوناگون است .

۱ــ برای بررسی در این زمینه کوزل (کوسل) برنده جایزه نوبل در رشته فیزیولوژی و پزشکی در سال ۱۹۱۰ شد .

درحالی که باید قبول کرد که قابلیت گوناگونی (تنوع) در پروتئین چنان گسترده است که قابل‌ملاحظه می‌باشد. این عجیب به‌نظر می‌رسد که این تنزل در سلول اسپرم به‌وجود می‌آید، جایی‌که بار اطلاعات موردحمل باید در ماکزیمم باشد.

در سلول‌های آزادماهی معمولی، محتوای کروموزومی پروتئین از نوع گوناگونی هیستن hystine- است. این یک‌نوع ساده پروتئین است، ولی به‌اندازهٔ پروتامین ساده نیست. چرا یک سلول مجزای بدن باید دارای کروموزم‌هایی با پروتئین‌های پیچیده‌تری با مقایسه با پروتئین‌های سلول‌های اسپرم باشد که از آن درنهایت همهٔ سلول‌های بدن به‌دست خواهد آمد (یا رشد خواهد کرد)؟ (نیاز به‌این نیست که فرض کنیم که سلول تخم این کمبود را جبران خواهد کرد. زیرا پدر درست به‌اندازه و نه کم‌تر از مادر در وراثت ژنتیکی سهیم است و بخش پدر در وراثت تنها به‌وسیلهٔ سلول‌های اسپرم انتقال می‌یابد).

بنابراین، آنزیم در آزادماهی (ویا هر جانور دیگر) نه پروتامین هستند و نه هیستن، بنابراین نمی‌توانند مستقیما" از پروتئین کروموزوم کپی شوند، این درمورد دیگرنوع‌ها هم صدق می‌کند. پروتئین کروموزومی به‌ویژه در سلول‌های اسپرم، معمولا" می‌کوشد که ساده‌تر از پروتئین آنزیم باشد.

ازسوی دیگر، همهٔ آزمایش‌ها روی اسپرم‌ها پس از کوزل نشان می‌دهد که اسید نوکلئیک اسپرم بسیار مانند اسید نوکلئیک در سلول‌های معمولی است.

یک راه برای حل این مسئله این خواهد بود که فرض کنیم: هنگامی که ارگانیسمی، مجموعه‌ای از کروموزوم‌ها را به‌صورت سلول اسپرم دسته‌بندی (یا بسته‌بندی) می‌کند، تمام وزنه‌های تعادل از عرشه بالن پایین انداخته می‌شوند.

پس از این سلول اسپرم مجبور است که راه خود را برای رسیدن به‌سلول تخم (مربوط به‌زن) با حداکثر تندی ممکن باز کند و دلیل خوبی دارد که سبک سفر کند. اگر این‌چنین است، چه قسمت از کروموزوم بدون تغییر حفظ خواهد شد. البته، قسمتی که رمز ژنتیک را حمل می‌کند. پس چه قسمتی تنزل پیدا خواهد کرد تا حد ممکن ساده خواهد شد. البته، قسمتی که برای

رمز ژنتیک لازم نیست. از این نقطه‌نظر، به‌نظر می‌رسد که رمز ژنتیک در اسید نوکلئیک حمل می‌شود و نه در پروتئین.

به‌هرحال با این‌که این در خرد ادراک ماوقع بیش ازحد بدیهی خواهد بود، برای مدت‌زمان نیم‌قرن پس از کوزل برای شیمی‌دانان روشن و بدیهی نبود. در آن‌زمان اسیدهای نوکلئیک ازنظر ساختمان نسبتا" کوچک و ساده تلقی می‌شدند. حتی پروتئین‌های ساده‌شده پیچیده‌تر از اسیدنوکلئیک تصور می‌شدند و پریدن از پروتامین به‌اسیدنوکلئیک ازچاله درآمدن و به‌چاه‌افتادن می‌باشد.

بنابراین شیمی‌دانان به‌پروتئین چسبیدند به‌این امید که چیزی رو خواهد شد که ملکول بیش‌ازحد ساده‌ء پروتامین را توضیح خواهد داد و نشان خواهد داد که آن‌ها به‌هرحال به‌حد کافی پیچیده هستند.

ولی چیزی برای نجات تئوری رمز ــ پروتئین از راه نرسید. درعوض چیزی کشف شد که آن را به‌گور خود سپرد.

دو رشته نوع معینی از باکتری عامل ذات‌الریه وجود دارد. یک رشته پوسته یا غشای نازک نرم شکمانند بر غشاء سلول می‌سازد. از ظاهر خارجی نتیجه شده کولونی را "رشته نرم" یا -S- می‌خوانند. دیگری غشائی ایجاد نمی‌کند و از نرم بودن عاری است و رشته خشن یا -R- نامیده می‌شود. در سال ۱۹۲۸ گزارش داده شد که یک‌مقداری باکتری‌های -S- مرده که با جوشاندن کشته شده بودند را می‌توانستند به‌باکتری -R- زنده بدهند تا تولید باکتری -S-زنده را پیش بیاورد S ⟵ S+R.

S-(ن) زنده ⟵ (خشن)زنده + S-(ن) مرده

این غیرقابل‌قبول و ناراحت‌کننده بود که باکتری ن مرده می‌توانست دوباره زنده شود به‌طوری‌که هرکس می‌توانست تنها فرض کند که باکتری زنده‌ء **R** به باکتری زنده **S** تبدیل شده بود و این به‌وسیله چیزی در باکتری مرده پیش آمده است.

به‌نظر می‌آید که بهترین حدس این است: باکتری نرم (مرده) دارای

ژنی بوده است که یک آنزیم لازم برای تشکیل غشاء را کنترل می‌کرد. ازسوی دیگر، باکتری این ژن را نداشت، بنابراین آنزیم فوق را تشکیل نداد، بنا براین دارای غشائی نبود.

به‌هرحال باکتری مردهٔ "ن"، هنوز ژن را در خود داشت. هنگامی که باکتری مرده ن به‌باکتری زنده خ اضافه شد؛ قسمتی از رشته خ به‌نحوی ژن را دریافت کرد و درنتیجه استعداد تشکیل آنزیم و سپس رشته را یافت. درعمل آن‌ها عضو رشته S^- (نرم) شدند.

در سال ۱۹۳۱ نشان داده شد که حتی باکتری‌های مردهٔ کامل (دست‌نخورده) برای تبدیل خ R به‌ن S لازم نیستند. امکان داشت که ماده‌ای از باکتری جدا کنند که بتواند این شگرد را انجام دهد. چگونه؟ این مادهٔ خارج‌شده، شامل ژن لازم بود.

این امید پرورده شد که ماده خارج‌شده را می‌توان خالص کرد به‌طوری که خود چون ژن جدا می‌شد و موردبررسی قرار می‌گرفت. در سال ۱۹۴۴ این امر ممکن شد و مانند صدای انفجار بمبی، ماهیت ژن اعلام شد. سه بیوشیمیست که در انستیتو راکفلر کار می‌کردند: اسوالد تی. آوری، کولین ام. مک‌لئودو و مکلین مک‌کارتی توانستند نشان دهند که ژن اسید نوکلئیک و تنها این‌نوع اسید است. آن‌ها توانستند با استفاده از محلول اسید نوکلئیک و بدون هیچ پروتئینی، خ R را به‌ن S تبدیل کنند.

نمونه‌های دیگری از انتقال رشته‌به‌رشته بعدا" بین باکتری‌ها گزارش داده شد و درهرمورد عاملی که انتقال را انجام می‌داد، اسید نوکلئیک گزارش شده است. هیچ چشم‌پوشی این واقعیت وجود نداشت که کد (رمز) ژنتیک تنها می‌توانست به‌وسیله اسید نوکلئیک حمل شود.

هرگاه هرگونه شک و تردید مردد‌انه میان بیوشیمیست‌ها باقی می‌ماند، دانشمندانی که از دیرباز عادت کرده بودند تا پروتئین را به‌عنوان ماده مختص حیات تلقی کنند، آزمایش‌های انجام‌داده بر ملکول ویروس در اوائل دهه ۱۹۵۰ آن را از دور خارج کرد.

پس از جنگ دوم جهانی، میکروسکوپ الکترونی تا جایی گسترش یافت که هم قابل‌اطمینان بود و هم می‌شد آن را با بودجهٔ متوسط در دسترس داشت. چون معلوم شد که آن می‌تواند چیزها را بسیار بیش‌تر از میکروسکوپ عادی نوری بزرگ‌تر کند، ملکول‌های ویروس (که بیش‌از حد کوچک بودند که به‌وسیلهٔ میکروسکوپ معمولی دیده شوند) زمینه‌ای برای بررسی با طیف وسیعی از کنجکاوی را فراهم نمودند.

معلوم شد که ملکول‌های ویروس معمولاً" از پوستهٔ خالی پروتئین تشکیل می‌شد که در درون آن یک ملکول اسید نوکلئیک قرار داشت. این آخری یک ساختمان سادهٔ دراز بود، درحالی‌که پوستهٔ پروتئین از یک‌رشته قسمت‌های نسبتاً" کوچک شبیه به‌هم درست شده بود. ناگهان به‌نظر مشکوک آمد که همهٔ ملکول‌های پروتئین الزاماً" خیلی بسیار پیچیده‌تر از ملکول‌های اسیدنوکلئیک هستند. در این‌جا مورد بازری وجود داشت که در آن ملکول‌های اسیدنوکلئیک بسیار درازتر از هر ملکول پروتئین در آن سیستم بود. (البته اندازهٔ منحصر (فقط اندازه)، نشان‌دهندهٔ پیچیدگی نخواهد بود، دراین‌مورد قبلاً "توضیح داده‌ایم. بعداً" دراین‌مورد در کتاب بحث خواهم کرد).

در سال ۱۹۵۲ دو بیوشیمیست بـه‌نام‌های آلفرد دی. هرشی و ام. چیس Chase, Hershey، آزمایش جالبـی بر روی باکتریوفاژ انجـام دادند، نوعی از ویروس که غشاء باکتری را مبتلا می‌سازد. آن‌ها وارد سلول می‌شوند، تکثیر می‌شوند و به‌تعداد زیادی می‌رسند و بالاخره سلول را می‌کشند. غشای

سلول می‌ترکد و از جایی که یک ویروس وارد شده است، تعداد زیادی ظاهر می‌شوند. منظور از غشاء، همان کپسول باکتری است (مترجمین).

هرشی و چیس اجازه دادند که باکتری‌ها در محیطی شامل گوگرد و فسفر رادیواکتیو رشد کنند. از آن‌جا که این اتم‌ها مانند اتم‌های معمولی گوگرد و فسفر رفتار می‌کنند، (حداقل ازنظر شیمیایی) باکتری‌ها اتم‌های رادیواکتیو را وارد بدن خود کردند همان‌طور که درمورد اتم‌های معمولی عمل می‌کردند. به هرحال اتم‌های رادیواکتیو به‌تدریج شکسته می‌شدند و ذره‌های کوچک حامل انرژی را خارج می‌کردند که شیمی‌دانان می‌توانستند به‌وسیلهٔ دستگاه ویژه‌ای آن را ردیابی کنند. بدین‌ترتیب معلوم می‌شد که ذره‌ها به‌وسیلهٔ اتم‌های گوگرد یا فسفر انتشار می‌یابد. بدین‌ترتیب باکتری‌های پرورش‌یافته در محیط کشت رادیواکتیو به‌اصطلاح "نشانه‌گذاری‌شده" بودند.

گام بعدی این بود که اجازه دهند که باکتریوفاژ این باکتری‌های نشانه‌دار را مبتلا می‌ساختند. هنگامی‌که این عمل انجام شد، ملکول‌های ویروس مهاجم، از درون سلول‌های باکتری نشانه‌دار، ویروس‌های مانند خود را تولید کردند و درنتیجه ملکول‌های تازه‌تشکیل‌شده خودشان هم نشانه‌دار شدند. به‌هرحال نشانه‌گذاری‌شدن باکتریوفاژ الگوی معینی را دنبال کرد. ملکول‌های پروتئین تقریبا" بدون استثنا حاوی اتم‌های گوگرد هستند، ولی اگر این‌ها حاوی اتم فسفر باشند، شمار آن‌ها بسیار کم است. ازسوی دیگر ملکول‌های اسیدنوکلئیک بدون استثنا حاوی اتم‌های فسفر هستند ولی هرگز اتم‌های گوگرد. درنتیجه، باکتریوفاژی که هم با اتم فسفر و هم با اتم گوگرد نشانه‌گذاری شده است، فسفر را در قسمت داخل یا بخش اسیدنوکلئیک حمل خواهد کرد، درحالی‌که گوگرد در هستهٔ خارجی پروتئین یافت می‌شود.

سپس گام تعیین‌کننده فرارسید. گذاشتند تا باکتریوفاژ نشانه‌دار باکتری‌های عادی و نشانه‌گذاری‌نشده را مبتلا می‌ساخت. اکنون وجود اتم‌های رادیواکتیو، وجود ویروس را مشخص می‌کرد. خوب، تنها فسفر رادیواکتیو وارد باکتری شد. گوگرد رادیواکتیو در بیرون باقی ماند و می‌توانستند آن را بشویند ویا با

تکان‌دادن جدا کنند.

نتیجه‌گیری به‌طور اجتناب‌ناپذیری این بود که این تنها "درون" اسید نوکلئیک ویروس بود که وارد باکتری می‌شد. پوستهٔ پروتئین در خارج باقی می‌ماند و دفع می‌شد. ولی به‌هرحال این ویروس اسید نوکلئیک در زمانی که در باکتری بود، نه‌تنها ملکول‌های اسید نوکلئیک مانند خودش تشکیل می‌داد (البته این‌ها مانند نوع‌های موجود در باکتری نبودند)، ولی پوسته‌های پروتئین جدید را تشکیل می‌داد.

اکنون نمی‌توان از این واقعیت، حداقل دراین‌مورد صرف‌نظر کرد که رمز ژنتیک در اسید نوکلئیک و نه در پروتئین حمل می‌شود و این‌که اسید نوکلئیک بدون پروتئین قادر است که ساختن ملکول‌های پروتئین ویژه‌ای را سر و صورت دهد. درهرحال، هستهٔ پروتئین که برای ملکول ویروس جدید تشکیل شده بود درست مانند پوستهٔ پروتئینی بود که دفع شده بود و در خارج باکتری باقی گذاشته شده بود و هیچ شباهتی به‌پروتئین که در اصل در درون باکتری قرار دارد، نداشت.

ضربهٔ‌دیگری در چند سال بعد وارد شد. در سال ۱۹۵۵ هینز فرانکل ـ کونرات Heinz Frankel روش ملایمی بـرای جدا کردن اسید نوکلئیک از درون پوستهٔ پروتئین یک ویروس موزائیک توتون بدون آسیب رساندن به‌اسید نوکلئیک ویا پروتئین ابداع کرد. هیچ بخش از ویروس خودبه‌خود مصون (غیر قابل‌ابتلا) بود، یعنی می‌توان آن را روی برگ‌های توتون پاشید بدون این‌که موجب بروز بیماریی با ویژگی رنگ‌پریدگی هم مختص باشد. به‌هرحال اگر دو بخش دوباره باهـم مخلوط می‌شدند، اسیـد نوکلئیک می‌توانست راه خود را دوباره به‌هستهٔ پروتئین باز کند و ترکیب بار دیگر غیرقابل‌مبتلا می‌شد. سال بعد فرانکل ـ کرنات قادر شد که نشان دهد، درحالی‌که پروتئین به‌نظر نمی‌رسد که بتواند برگ‌های توتون را مبتلا کند، اسید نوکلئیک ـ حتی به تنهایی (خودبه‌خود ـ مقدار کمی مبتلاشدن را نشان می‌داد.

معنای آن روشن است. هستهٔ پروتئین در درجهٔ نخست به‌عنوان یک

"اسکلت" یا چهارچوبی برای حمایت از اسید نوکلئیک ویروس طرح شده است. در درجهٔ دوم، هستهٔ پروتئین شامل آنزیمی است که یک روزنه را با حل کردن قسمتی از دیوار سلول باکتری در آن ایجاد می‌کند. (این آنزیم حل‌کننده بالاخره در سال ۱۹۶۲ جدا شد). سپس اسیدنوکلئیک به‌تنهایی از درون این روزنه (منفذ) وارد سلول می‌شود.

بدون هستهٔ پروتئین آنزیمی وجود ندارد تا روزنه‌ای برای اسیدنوکلئیک باز کند، و اسیدنوکلئیک تنها ظاهرا "نمی‌تواند باعث مبتلا شدن شود، البته، گاه اسیدنوکلئیک می‌تواند حتی به‌تنهایی موفق شود تا راهی ازمیان شکاف پیدا کند که بتواند لول بخورد و پس از آن حتی درمورد غیبت پروتئین، مبتلا شدن خود را نشان می‌دهد.

ترکیب اسیدنوکلئیک ــ پروتئین ظاهرا "به‌ترکیب انسان ــ ماشین می‌ماند. انسان و ماشین می‌توانند همراه هم از شهر الف به‌شهر ب سفر کنند و در این مدت با دردسر و مشکلی روبه‌رو نشوند. به‌نظر می‌رسد که هرکدام به‌جدایی نمی‌توانند این کار را انجام دهند. اتومبیل به‌تنهایی نمی‌تواند آشکارا این عمل را انجام دهد، البته انسان می‌تواند به‌شرطی که تحت فشار نیاز بسیار ضروری از شهر الف به‌شهر ب راه‌پیمایی کند. هیچ تردیدی نیست که انسان بخش حیاتی ترکیب انسان ــ ماشین است و به‌همین‌ترتیب این اسیدنوکلئیک است که در ترکیب اسیدنوکلئیک ــ پروتئین در ویروس حیاتی است.

تمام آزمایش‌ها پس از سال ۱۹۴۴ به‌این راستا اشاره کردند. اسید نوکلئیک در همه‌جا و در همهٔ نوع‌ها در سلول‌ها و هم در ویروس‌ها، حامل رمز ژنتیک است. پروتئین هرگز حامل نبوده‌است. در آغاز اواخر دههٔ ۱۹۴۰، شیمی‌دانان با اشتیاق فراوان به‌ملکول اسید نوکلئیک روی آورده‌اند.

ما هم به‌نوبهٔ خود به‌آن خواهیم پرداخت، زیرا اکنون باید بر روی ساختمان اسیدنوکلئیک کار کنیم، (همان‌طور که در فصل‌های پیشین بر روی ساختمان پروتئین کار کردیم) تا بدین‌ترتیب به‌ماهیت رمز ژنتیک پی ببریم.

فصل ۷ :

ترکیب گمنام خوش‌سرانجام (ترکیب سیندرلایی)

فسفر

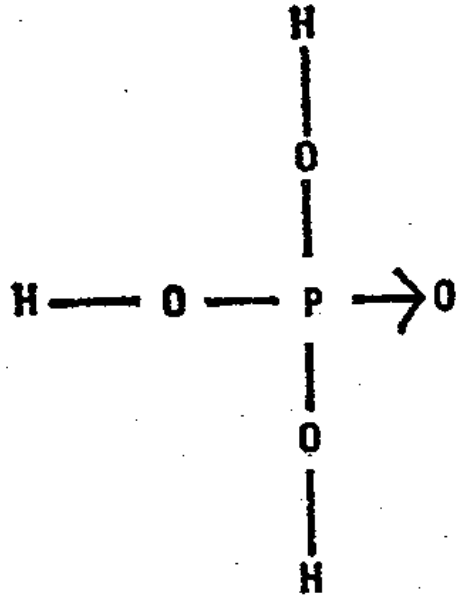
هنگامی‌که اسیدنوکلئیک در سال ۱۹۴۴ به‌افتخار و شهرت رسید ، به‌مدت سه‌ربع قرن شناخته‌شده بود . درطول این مدت تنها چندنفر انگشت‌شمار بر روی آن کار کرده بودند . آن ترکیب گمنامی بود که بعدا" به‌شهرت و محبوبیت رسید .

بااین‌وجود ، پیشگاهنگانی که در روزهای گمنامی آن بر روی آن کار کرده بودند ، توانسته بودند به‌بسیاری از واقعیت‌های ساختمان آن پی ببرند . برای مثال پس از کشف آن ، به‌زودی معلوم شد که شامل فسفر است .

این کاملا" غیرعادی بود . برای اطمینان ، می‌دانستند که بعضی از پروتئین‌ها دارای فسفر هستند ولی مقدار آن کم بود . کاستئین ، پروتئین اصلی موجود در شیر ، درحدود یک‌درصد فسفر است . لسیتین ماده‌ٔ چربی‌دار که در تخم‌مرغ پیـدا می‌شود ، از هر مـاده‌ٔ موجود در بدن دارای فسفر بیش‌تری است : ۹ درصد آن از فسفر تشکیل شده است .

پس زمان آن فرا رسیده است که فسفر را با جزئیات آن بررسی کنیم .

همان‌طور که در فصل سوم تذکر دادیم ، نشانه (سمبل) آن حرف P است . فسفر ، ازنظر خاصیت‌های شیمیایی گاه به‌ازت می‌ماند . فسفر مانند ازت می‌تواند با



شکل ۳۵ : اسید فسفریک

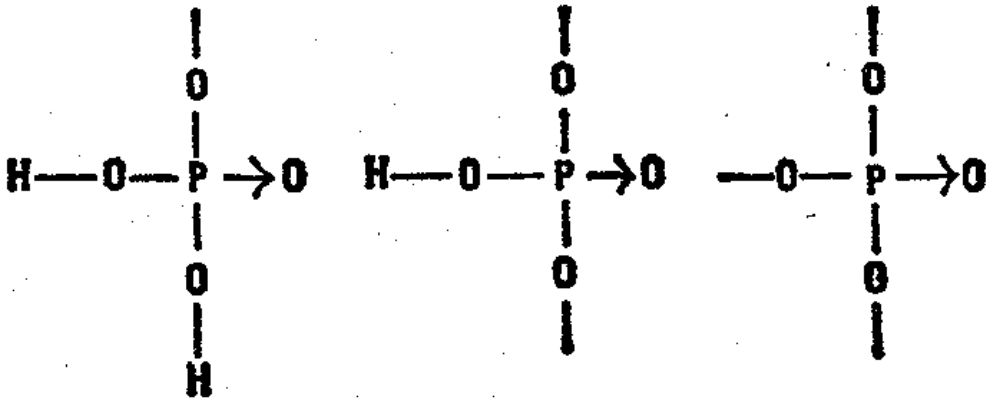
سه اتم گوناگون ترکیب شود . در برخی موارد می‌تواند خود را به‌اتم چهارمی (معمولا" اکسیژن) وصل کند که این پیوند ویژه را به‌جای نشان دادن با خط تیره (داش) با پیکان کوچکی نشان داده می‌شود (۱) .

یک نمونه از آن ، تصویر ۳۵ فرمول ساختمانی اسیدفسفریک را نشان می‌دهد که ماده‌ٔ شیمیایی‌صنعتی مهمی است . فرمول ساده‌ٔ آن H_3PO_4 است ، توجه داشته باشید که اکسیژن گرچه می‌تواند دو پیوند از نوع خط تیره معمولی (—) تشکیل بدهد ، تنها یک‌نوع پیوند از نوع پیکان درست می‌کند .

پیوندهای میان اتم‌های فسفر و اتم‌های اکسیژن در اسید فسفریک قوی است . اتم‌های هیدروژن را می‌توان به‌آسانی از ملکول بیرون کشید . اگر یکی

۱ــ ازت هم می‌تواند این کار را انجام دهد ولی به‌کتاب ما مربوط نمی‌شود ، بنابراین به آن نپرداخته‌ام .

جدا شود ، روزنه‌ای دردسترس اتم یا گروهی از اتم‌ها قرار می‌گیرد تا به باقی مانده‌ء اسیدفسفریک وصل شوند . اگر دو اتم هیدروژن جدا شوند ، دو روزنه (منفذ) در دسترس قرار می‌گیرد و اگر سه اتم هیدروژن جدا شوند ، سه روزنه به‌وجود می‌آید . اسید فسفریک بدون یک یا بیش‌تر از اتم‌های هیدروژن را گروه فسفات می‌خوانند . اگر یک ، دو یا سه اتم هیدروژن جدا شود (رها شود) و یک ، دو یا سه روزنه برای نفوذ دردسترس بگذارد فسفات را اولیه ، ثانویه و ثالثه می‌خوانند .



تری‌فسفات (سه) دی‌فسفات (دو) ــ منوفسفات (یکی)

شکل ۳۶ : گروه فسفاتی

اتم‌های فسفر در بافت‌های زنده همیشه به‌صورت بخشی از یک فسفات اولیه یا ثانویه دیده می‌شوند . بنابراین برای آسان کردن موضوع ، روش معینی برای نشان دادن این دو گروه بدون داشتن نگرانی درباره‌ء ساختمان داخلی اتمی پیش می‌گیریم . روش آسان قراردادی این است که یک اتم فسفر مخلوط شده به‌وسیله دایره‌ای کوچک نه خود فسفر بلکه گروه فسفات را مشخص کند . ما می‌توانیم فسفات اولیه و ثانویه را به‌طریق زیر تمیز دهیم :

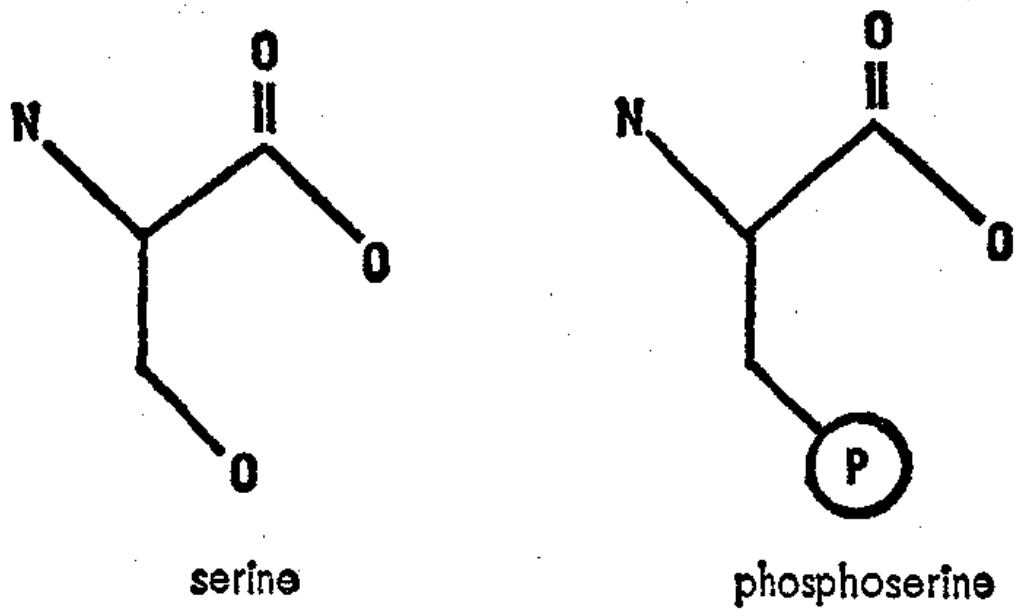
یک پیوند نشانه‌ء فسفات اولیه و دو پیوند ، علامت فسفات ثانویه است .

آن را در شکل ۳۷ می‌بینید .

شکل ۳۷: نشانه‌های فسفات

به‌عنوان مثالی برای این امر که گروه فسفات ممکن است در ترکیب‌هایی که تاکنون با آن‌ها سروکار داشته‌ایم وجود داشته باشد ، اسیدآمینهٔ سرین را درنظر بگیرید . گاه یک گروه فسفات خود را به‌سرین در محل اکسیژن موجود در زنجیر جانبی می‌چسباند . درنتیجه فسفوسرین تشکیل می‌شود (شکل ۳۸) .

گاه‌به‌گاه فسفوسرین در پروتئین‌ها به‌جای سرین دیده می‌شود ، هنگامی که این امر روی می‌دهد ، نتیجه طبیعتا" پروتئین شامل فسفر است ویا همان‌طور



شکل ۳۸: سرین و فسفات

که معمول است، فسفوپروتئین است. کاسئین که در ابتدای این فصل از آن نام بردم یک نمونه است.

بنابراین ما می‌توانیم گروه فسفات را به‌عنوان یک بخش از اسیدنوکلئیک تلقی کنیم. فزون بر این این به‌آن خاصیت اسیدی می‌دهد. البته دارای بخش‌های (جز) دیگری است.

دو نوع گوناگونی (واریته) Variety-

در پیشاپیش بازی اشاره‌هایی مبنی بر این امر بود که اسیدهای نوکلئیک حاوی گروه‌های قند به‌عنوان بخشی از ساختمان آن می‌باشند ولی ماهیت این قند تا دهه‌ها، راز کاملی باقی ماند.

فراوان‌ترین قند ساده در طبیعت همانا گلوکز است، واحدی که ازمیان آن نشاسته و سلولز ساخته می‌شود. ملکول گلوکز زنجیری از شش اتم کربن است. به‌پنج تا از آن‌ها گروه هیدروکسیلی چسبیده است درحالی‌که ششمین اتم کربن بخشی از گروه کربنیلCarbonyl-را می‌سازد. (این همان مالکیت یک گروه کربنیل و گروه‌های متعدد هیدروکسیل است که مختص و مشخص‌کننده ساختمان ملکول قند است).

دوقندمعمولی دیگر، فروکتوز fructose وگالاکتوز galactose می‌باشند. همانند گلوکز هرکدام ازآن‌ها ۶ اتم کربن دارد که یکی از آن‌ها بخشی از گروه کربنیل می‌باشد، درحالی‌که سایرین به‌گروه هیدروکسیل چسبیده‌اند. در هرحال، سمت‌گیری نسبی گروه‌های هیدروکسیل در فضا درهرمورد متفاوت است. (یک‌چنین تفاوت در سمت‌گیری کاملا" کافی است تا ترکیب‌های گوناگون با ویژگی‌های متفاوت تولید کند).

دو قند ساده (درست همان‌گونه که اسیدهای آمینه می‌توانند) می‌توانند با حذف آب با هم‌دیگر ترکیب شوند. گلوکز و فروکتوز با هم ترکیب می‌شوند

تا ملکول سوکروز (Sookrose=sucros)* را بدهند، همان شکر قند که برای شیرین کردن چای خودمان به‌کار می‌بریم. قند نیشکر، چغندر و شربت همگی سوکروز هستند. گلوکز نیز می‌تواند با گالاکتوز ترکیب شود تا لاکتوز -laktose- ایجاد کند، قند تقریبا" بی‌مزه‌ای که تنها در شیر یافت می‌شود. بالاخره شماری از ملکول‌های گلوکز می‌توانند ترکیب و جمع شوند تا تشکیل ملکول‌های نشاسته یا سلولز بدهند.

دیگر قندها و ترکیب‌های قندی زیادی وجود دارد. هم‌چنین ملکول‌هایی از قند وجود دارند که تاحد ناچیزی تغییر یافته‌اند و اصلاح و تعدیل شده‌اند. ملکول‌هایی که به‌آن‌ها گروه‌های حاوی گوگرد، ازت (نیتروژن) یا فسفر افزوده شده است. برخی از ترکیب‌ها از این نوع هرگز در طبیعت یافت نشده‌اند ولی به‌هرحال در آزمایشگاه‌ها سنتز شده‌اند.

همه این ترکیب‌ها ــ ساده، مرکب یا اصلاح‌شده، طبیعی یا مصنوعی (سینتتیک از راه سنتز به‌دست‌آمده) زیر نام کربوهیدرات یک‌کاسه شده‌اند، همان‌گونه که در فصل ۲ تذکر داده شد، این‌ها یکی از سه گروه اصلی ماده‌های آلی در بافت‌ها را درست می‌کنند.

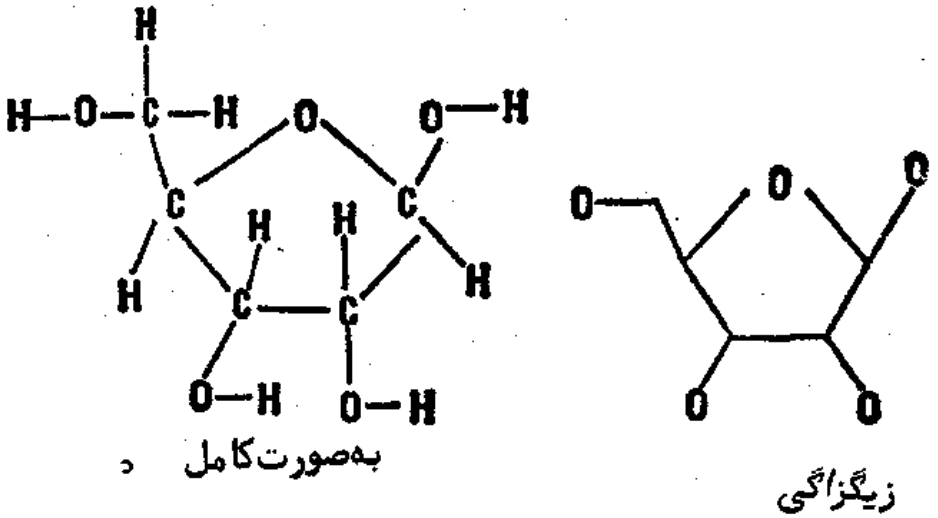
ولی کدام کربوهیدرات، کربوهیدرات ما در اسیدنوکلئیک است؟ این پاسخ تا درحدود سال ۱۹۱۰ یافت نشده بود، هنگامی که بیوشیمیست آمریکایی روسی‌الاصل به‌نام فوبوس آ. تی‌لئون Phoebus A.T. Leven- نخست ریبوز rybose=ribose- را به‌عنوان جزء تشکیل‌دهنده اسیدنوکلئیک شناسایی کرد. پیش از این، نمی‌دانستند که ریبوز در طبیعت یافت می‌شود. امیل فیشر (مردی که ساختمان پپتیدی را روشن ساخت) در سال ۱۹۰۱ آن را سنتز کرد ولی به‌عنوان چیزی نه بیش‌تر از یک کنجکاوی علمی با هیچ‌گونه اهمیت عملی تلقی شده بود. حتی نام آن به‌سادگی توسط فیشر درست شده

واژه‌های بیگانه این کتاب با تلفظ زبان فرانسه به‌فارسی نوشته می‌شود، در پرانتز ابتدا نام لاتین و سپس تلفظ آن در زبان انگلیسی (کلمه سمت‌چپ) آورده می‌شود.

بود بدون این‌که اهمیتی برای آن درنظر گرفته شود.

بااین‌حال، چنین مقدر شده بود که بالاخره به‌عنوان یکی از دو کربوهیدرات شناخته شود که برای زندگی از همه مهم‌تر بودند. (جوجه‌اردک‌های زشتی وجود دارند که در دانش به‌قو تبدیل می‌شوند، همان‌گونه که در زندگی روزمره).

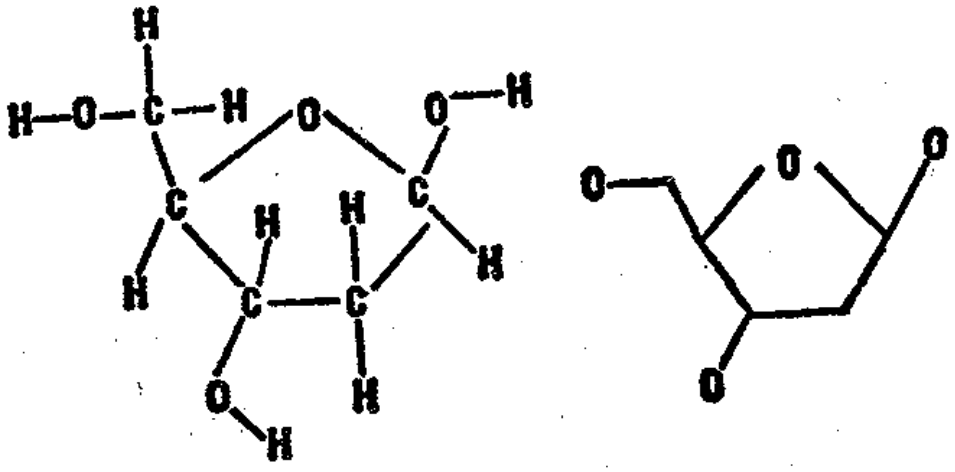
فرق ریبوز با گلوکز، فروکتوز و گالاکتوز این است که به‌جای شش‌تا، دارای پنج کربن است. این زنجیر پنج کربنی میل دارد تا با یک اتم اکسیژن از گروه‌های هیدروکسیل حلقه‌ای درست کند. نتیجه حلقه چهار کربن ـ یک اکسیژن است که می‌توان آن را حلقه فوران بدون پیوندهای دوگانه تلقی کرد، این در شکل ۳۹ نشان داده می‌شود، جایی که ریبوز هم به‌صورت کامل و هم زیگزال نمایان می‌شود.



شکل ۳۹: ریبوز

بعدها، لئون کشف کرد که نه همه ملکول‌های اسید نوکلئیک حاوی ریبوز هستند. برخی از نمونه‌ها حاوی قندی هستند که رابطه نزدیکی دارد، که تنها ازنظر غیبت یکی از اتم‌های اکسیژن ریبوز فرق دارد. بنابراین نام آن

دی‌اکسید ریبوز deoxyribos- است*، و ساختمان آن در شکل ۴۰ نشان داده می‌شود .



زیگزاگی — به‌صورت کامل

شکل ۴۰ : دی‌اکسی‌ریبوز

دی‌اکسی ریبوز مانند ریبوز سال‌ها پیش از این‌که دانسته شود که در طبیعت دیده می‌شود ، توسط فیشر سنتز شده بود .

براساس این دو قندها بود که اسیدنوکلئیک به‌دو نوع تقسیم شد : اسید ریبونوکلئیک که حاوی ریبوز بود و دی‌اکسی ریبو نوکلئیک که حاوی دی‌اکسی ریبوز بود ، از آن‌جا که این نام‌ها به‌کرات بیش و بیش‌تری مورداستفاده قرار می‌گرفت ، و از آن‌جا که بیوشیمیست‌ها مانند هرکس دیگری نسبت به‌چند

---

* تا سال‌های میانی دههٔ ۱۹۵۰ ، پیشوند "دی‌اکسی" به‌طور عمومی به‌صورت "دس‌اکسی" در آمریکا نوشته می‌شد و شما می‌توانید هنوز هم ببینید که به‌عنوان دس‌اکسی ریبوز به آن مراجعه می‌شود . به‌هرحال براساس توافق بین‌المللی ، استفاده آمریکایی‌ها به دی‌اکسی پرش کرد تا با طرز استفاده از آن در بریتانیای کبیر و دیگر ملت‌ها در یک ردیف باشد .

هجایی بودن حساسیت دارند، به‌زودی مرسوم شد تا به‌وسیله حروف اول به آن‌ها رجوع شود.

اسید ریبونوکلئیک RNA شد و اسید دی‌اکسی‌ریبو نوکلئیک، DNA شد. به ندرت کسی اینک بدون حروف اول به‌آن‌ها اشاره می‌کند.

تابه‌حال هیچ قندی به‌جز ریبوز و دی‌اکسی ریبوز در اسیدهای نوکلئیک یافت نشده است و در دهه ۱۹۵۰ کم‌وبیش با اطمینان به‌این باور رسیده بودند، که ریبوز و دی‌اکسی ریبوز تنها قندها در اسیدنوکلئیک می‌باشد. فزون‌براین، هیچ اسید نوکلئیکی یافت نشده است که هم حاوی ریبوز و هم دی‌اکسی‌ریبوز باشد. این یا آن.

دونوع اسیدنوکلئیک در محل‌های متفاوتی در درون سلول یافت می‌شوند. DNA تنها در درون هسته یافت می‌شود و به‌راستی تنها در کروموزوم‌ها. ممکن است مقداری RNA در محدوده درون هسته یافت شود ولی بیش‌تر آن در بیرون قرار گرفته است، در سیتوپلاسم. همه سلول‌های کامل تا بدان‌جا که می‌دانیم، حاوی هم DNA و هم RNA هستند.

درمورد ویروس‌ها، مانند سلول‌ها انواع پرطمطراق آن هم حاوی DNA و هم RNA هستند. به‌هرحال تعداد قابل‌توجهی تنها حاوی DNA هستند. انواع ساده‌تر، ازقبیل ویروس موزائیک توتون تنها حاوی RNA هستند.

پورین و پیریمیدین- purin and pyrimidine--

فزون بر گروه‌های فسفات و قند، معلوم شد که اسیدهای نوکلئیک حاوی ترکیب‌های اتمی هستند که در اطراف حلقه‌های حاوی نیتروژن درست شده‌اند. این‌ها در دهه ۱۸۸۰ و بعد از آن به‌وسیله کوزل (مردی که بعدها با پروتامین کار کرد) کشف شدند.

همه ترکیبات حاوی ازت که جداشده بودند اثبات کردند که در دور یکی

از دو سیستم حلقه‌ای ساخته شده‌اند ، حلقه پورین و حلقه پریمیدین ، هردوی آن‌ها سابقا" در این کتاب در تصویر ۱۵ ارائه شده‌اند . ترکیب‌های حاوی ازت که از اسید نوکلئیک جدا شده بودند درنتیجه به‌عنوان پورین و پریمیدین یک‌کاسه شده‌اند . *

دو پورین و سه پریمیدین به‌مقدار زیادی از اسیدنوکلئیک جدا شده‌اند . دو پورین عبارتند از آدنین adu-hneen=adenin و گوانتین guahneen=-guantine . ، سه پیرامیدین عبارتند از سیتوسین ، تیمین و اوراسیل .

-thymeen)-thymine,-syothseen=-cytosin-)
(-yooracil-=uracil,

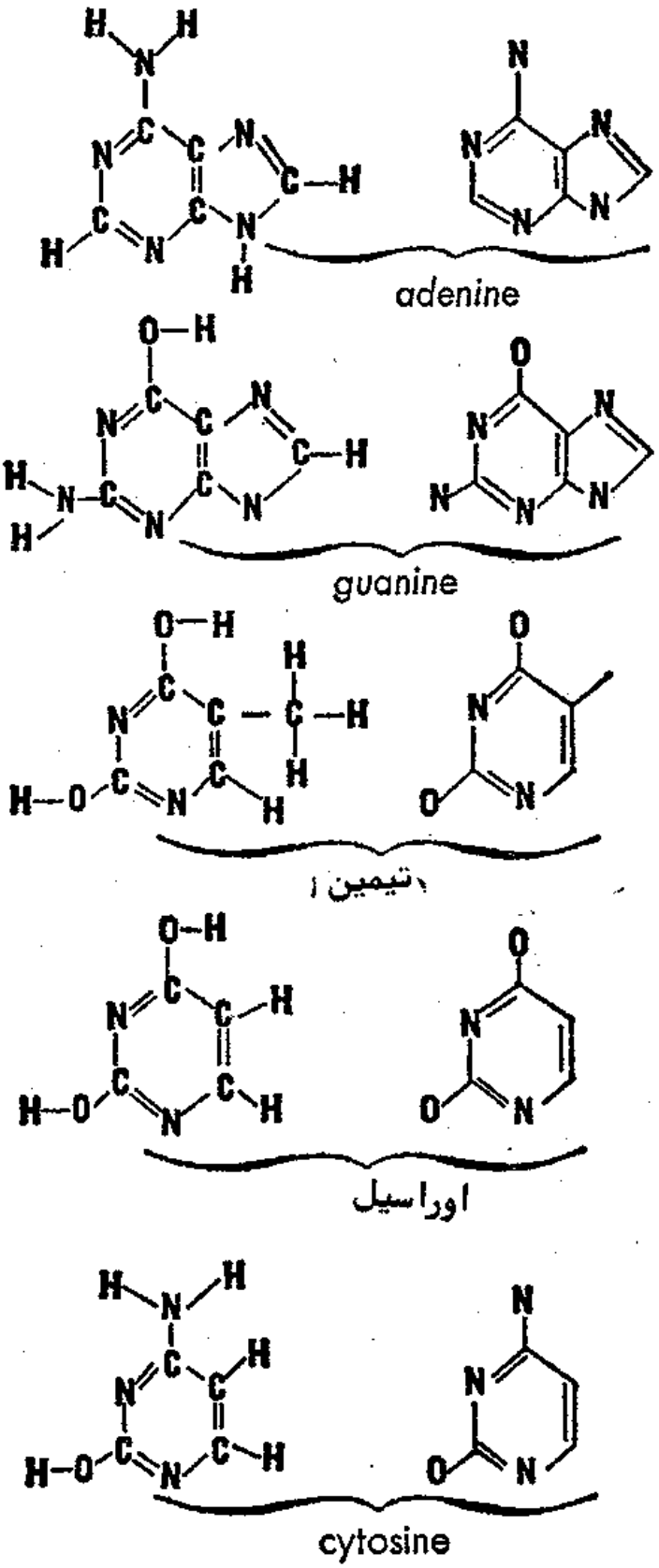
هر پنج تا هم به‌صورت مفصل و هم زیگزاگی در شکل ۴۱ نشان داده شده‌اند .

از این پنج تا ، دنین ، گوانین و سیتوسین هم در RNA و هم در DNA یافت می‌شوند . به‌هرحال ، تیمین تنها در DNA یافت می‌شود ، درحالی‌که اوراسیل تنها در RNA یافت می‌شود . تیمین و اوراسیل فرق چندانی ندارند ، درواقع تنها تفاوت این است که تیمین دارای یک گروه متیل است که اوراسیل فاقد آن است .

در فرمول زیگزال ، ملکول تیمین خودنمایی کوچکی نشان می‌دهد ، جایی که اوراسیل این کار را نمی‌کند . که واقعا" تفاوت را در دورنمای به‌جای خود قرار می‌دهد . تا آن‌جا که به‌رمز ژنتیک مربوط می‌شود ، (در این لحظه کمی از موضوع پیش بیفتیم) ، تیمین در DNA همتراز اوراسیل در RNA است .

چند کلمه درباره فرمول‌ها . در ترکیبات آلی معینی برای اتم هیدروژن امکان هست که تا نسبتا" آزاد حرکت کرده و در یک لحظه به‌یک اتم و در لحظه دیگر به‌اتم دیگری بسته باشد . این هنگامی روی می‌دهد که پیوندهای

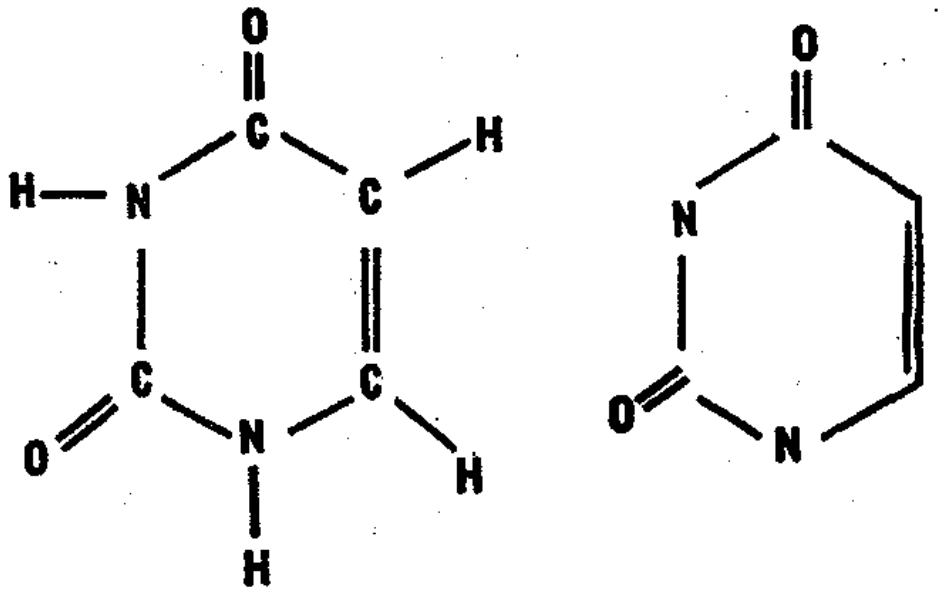
امیل فیشر که بعدها ساختمان پپتئید را بیرون کشید ، کار قابل‌ملاحظه‌ای در شیمی پورین‌ها انجام داد . به‌این خاطر و برای کار او بر روی قند ، برنده جایزه نوبل سال ۱۹۰۲ در رشته شیمی شد .



شکل ۴۱ : پورین‌ها و پیریمیدین‌ها

دوگانه حضور دارند و پرش در اتم هیدروژن شامل پرشی در باند دوگانه نیز می‌شود .

برای مثال در اوراسین ، اتم‌های هیدروژن گروه‌های هیدروکسیل می‌توانند به‌آسانی به‌اتم‌های ازت در نزدیک حلقه بپرند . درواقع آنان بیش‌تر مستعد آن هستند که بر اتم‌های ازت باشند تا این‌که در گروه‌های هیدروکسیل . این پدیده تغییرمکان یک اتم هیدروژن را تا تومریسم tautomerism- * می‌نامند . شکل تاوتومری اوراسیل در شکل ۴۲ نشان داده می‌شود . هرگاه این با فرمول برای اوراسیل در شکل ۴۱ مقایسه شود ، خواهید دید که حداقل در فرمول‌های زیگزاگ ، تنها تغییر در موقعیت پیوندهای دوگانه است .



زیگزاگی — **به‌صورت کامل**

شکل ۴۲ : شکل تاوتومری اوراسیل

(در عمل ، پدیده تاوتومریسم دیگر به‌توجه ما نیاز ندارد . تنها دلیل

---

* *ویژگی برخی از ماده‌ها که مستعد قرار گرفتن در شرائط تعادلی بین دو شکل ایزومریک هستند و به‌آسانی به‌هرکدام از آن‌ها واکنش نشان می‌دهند . م*

برای مطرح کردن آن این است که گاه لازم است تا فرمول ترکیبی مانند اوراسیل را به‌یک شکل تاوتومری یا دیگری نوشت. درصورتی‌که این اینک توضیح داده نشود، ممکن است تفاوت غیرمنتظره‌ای در توزیع پیوند دوگانه نه از فرمولی به‌فرمول مشاهده کنید و موجب دردسر شود).

چندتا از پریمیدین‌های جزئی با اصلاح ساختمان سیتوسین در تعداد بسیار کمی از نمونه‌های اسید نوکلئیک ردیابی شده‌اند. از آن‌جا که همه این‌ها به‌عنوان همتراز سیتوسین تلقی می‌شوند، تا آن‌جایی که به‌رمز ژنتیک مربوط می‌شود، شما لزومی به‌دل‌مشغول آن شوید. دو پورین و سه پریمیدین که در این بخش فهرست‌بندی شدند همگی همان‌هایی هستند که ما به‌آن‌ها نیاز خواهیم داشت.

جور کردن بخش‌ها

اینک تمامی لیست را داریم. گروه فسفات، ریبوز، دی‌اکسید، دوپورین و سه پیریمیدین جزءهای تشکیل‌دهنده اسید نوکلئیک هستند. این‌ها با مقایسه با بیست و دو "کلمه"ای که پروتئین‌ها را می‌سازند، هشت "کلمه" می‌سازند.

این به‌نظر گیج‌کننده است. ترکیب‌هایی که حاوی رمز ژنتیک هستند به نظر می‌رسد که باید حداقل به‌اندازه پروتئین پیچیده باشند. عملا "موضوع از این هم ساده‌تر است. ازمیان هشت "کلمه" -DNA- فاقد ریبوز اوراسیل است، درحالی‌که -RNA فاقد تیمین و دی‌اکسی ریبوز است. بنابراین هرکدام از دو نوع گوناگون اسید نوکلئیک از تنها شش "کلمه" ساخته می‌شود.

ولی این "کلمه‌ها" چگونه بر روی هم گذاشته و جور درمی‌آیند؟ لئون نخستین‌کسی که ریبوز و دی‌اکسی‌ریبوز را در اسید نوکلئیک شناسایی کرد، به این‌مسئله هم پرداخت. او اسید نوکلئیک را به‌تکه‌های درشت‌تر که شامل

واحدهای بنیادی متعدد بود، خرد کرد. با کارکردن با این تکه‌های درشت، او ساختمان آن‌ها را استنتاج کرد.

در اوائل دهه ۱۹۵۰، سر آلکساندر ار. تود بیوشیمیست بریتانیائی ساختمان‌هایی را سنتز کرد که از فرمول‌های پیشنهادی لئون Leven تبعیت می‌کرد و دریافت که آن‌ها به‌راستی دارای ویژگی‌های ماده‌هایی هستند که از اسید نوکلئیک به‌دست می‌آید. این اثبات نهایی اظهارعقیده‌ای بود که در واقع نسبتا" به‌آسانی از سوی بیوشیمیست‌ها پذیرفته شد.*

آن‌چه لئون اثبات کرده بود این بود که در ملکول اسید نوکلئیک هر تکه ریبوز (یا دی‌اکسی‌ریبوز) دارای گروه فسفاتی متصل به‌یک طرف دارد و پورین یا پیریمیدینی به‌دیگری. این ترکیب گروه‌ها نوکلئوتید نامیده می‌شود.

nyookleeohtide=nucletoid-

البته، در RNA همه نوکلئوتیدها حاوی یک گروه ریبوز، فزون بر یا یک آدنین یا یک گوانین، یا یک سیتوسین یا یک اوراسیل. بدین‌ترتیب چهار نوکلئوتید گوناگون امکان دارد: اسیدآدنیلیک، اسیدگوانیلیک، اسید سیتی دیلیک و اسید اوری‌دیلیک.

aduhnilik=adenylic acid — gwah-nih'lik=guanylic acid

sy'tih-dih'lik=cytidylic acid — uridylic acid

دوباره، این وجود گروه فسفاتی است که به‌هرکدام از این‌ها ویژگی‌های اسیدی خود را می‌بخشد و کلمه "اسید" را به‌نام خود اضافه می‌کند.

البته، شما می‌توانید از نام نوکلئوتید، پورین یا پیریمیدینی را که حاوی

---

*تود به‌خاطر کار خود در این رشته، برنده جایزه نوبل سال ۱۹۵۷ در رشته شیمی شد.

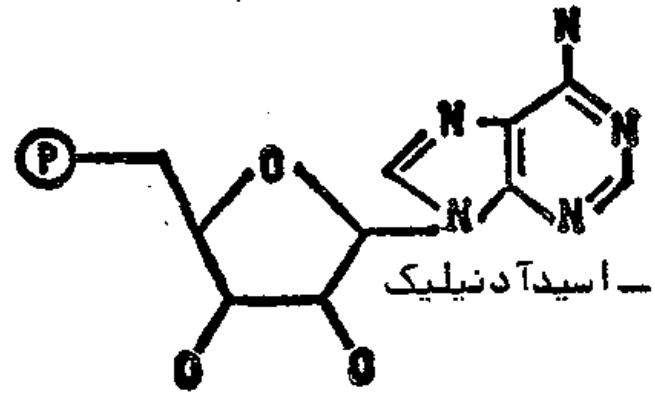
آن است ، تشخیص بدهید .

از آن‌جا که این نوکلئوتیدها از اهمیت قطعی در رمز ژنتیک برخوردارند ، من فرمول هرکدام را ولی تنها به‌نحو زیگزال در شکل ۴۳ ارائه خواهم کرد .

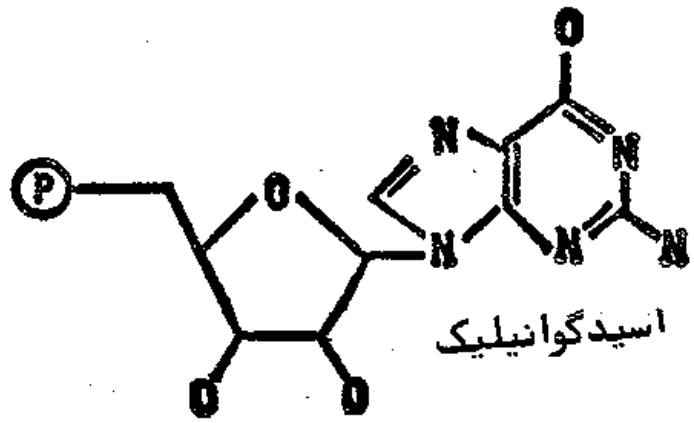
نوکلئوتیدها در DNA این فرق را دارند که به‌جای ریبوز ، دارای دی‌اکسی ریبوز هستند . بنابراین می‌توان از دی‌اکسی ادنیلیک (اسید) و اسید دی‌اکسی گوانیلیک و اسید دی‌اکسی سیتی‌دیلیک صحبت کرد . در DNA هیچ اسید دی اکسی اوریدیلیک deoxyuridylic وجود ندارد: از آن‌جا تیمین جای اوراسیل را گرفته است ، اسید دی‌اکسی تیمی‌دیلیک وجود دارد ، همان‌گونه که در شکل ۴۴ نشان داده می‌شود . همان‌گونه که می‌توانید ببینید آن به‌علت گروه هیدروکسیل غائب بر روی شکر از اسید اوریدیلیک متمایز می‌شود . اسید دی اکسی آدینلیک به‌همان نحو با اسید آدنیلیک فرق دارد و تفاوت همسان هنگامی پدیدار می‌شود که اسید دی‌اکسی گوانیلیک و اسید دی‌اکسی سیتی دیلیک با اسید گوانیلیک و اسید سیتی دیلیک به‌ترتیب مقایسه شوند .

تنوع طرز ترتیب‌های این نوکلئوتیدها از اهمیت نهایی در شیمی بدن برخوردارند . نوکلئوتیدهایی مانند آن‌هایی که در شکل ۴۳ ارائه شد ، وجود دارند ولی با گروه فسفات مجزا که دو یا حتی سه‌تا به‌صورت پشت سرهم متصل شده‌اند . این‌ها ترکیب‌های کلیدی در ذخیره‌سازی و توزیع انرژی هستند . آشناترین آن‌ها آدنوسین تری‌فسفات adenosine triphosphat=tryfos seen-denoh-ah می‌باشد که معمولا" به‌صورت ATP مختصر می‌شود . ملکول آن مانند اسید آدنیلیک است ولی (هم‌چنان که نام ترکیب مستلزم می‌دارد) با سه گروه فسفات به‌جای آن‌که دراختیار اسید آدنیلیک بود .

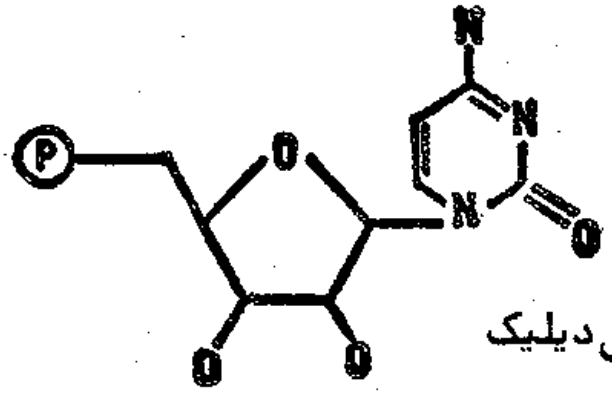
هم‌چنین ترکیب‌های نوکلئوتیدمانندی وجود دارند که به‌صورت تعاونی با آنزیم‌های معینی کار می‌کنند و بنابراین کوآنزیم‌ها نامیده می‌شوند . در این‌ها ، تکه ریبوز گاه‌گاهی به‌وسیله گلوکز یا کربوهیدرات دیگری جانشین می‌شود درحالی‌که به‌جای پورین یا پیریمیدین ممکن است انواع دیگری از



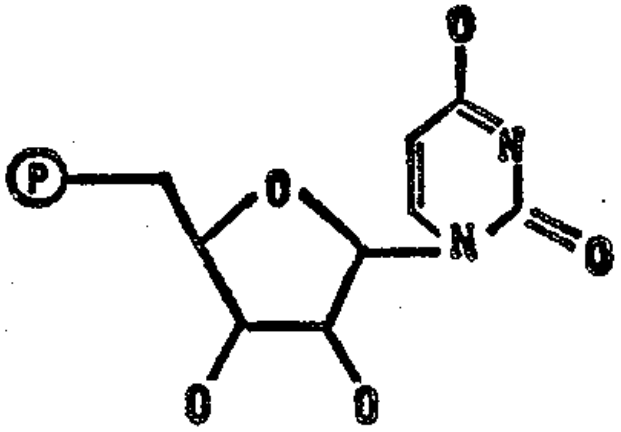
ـ اسیدآدنیلیک



اسیدگوانیلیک

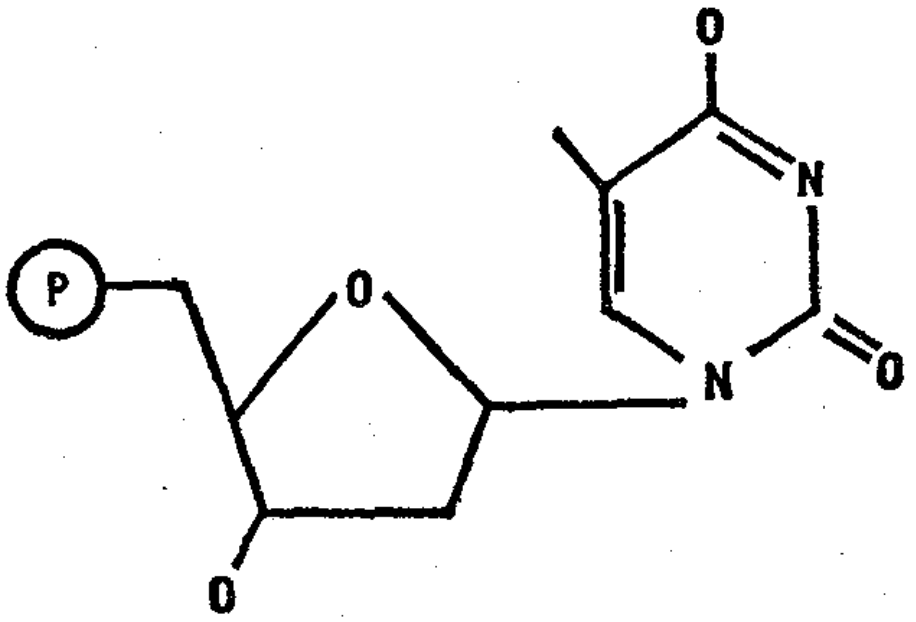


اسیدسیتی دیلیک



اسیداوریدیلیک

شکل ۴۳ : نوکلئوتیدهای ریبوزی



شکل ۴۴ : اسید دی‌اکسی‌تیمیدیلیک

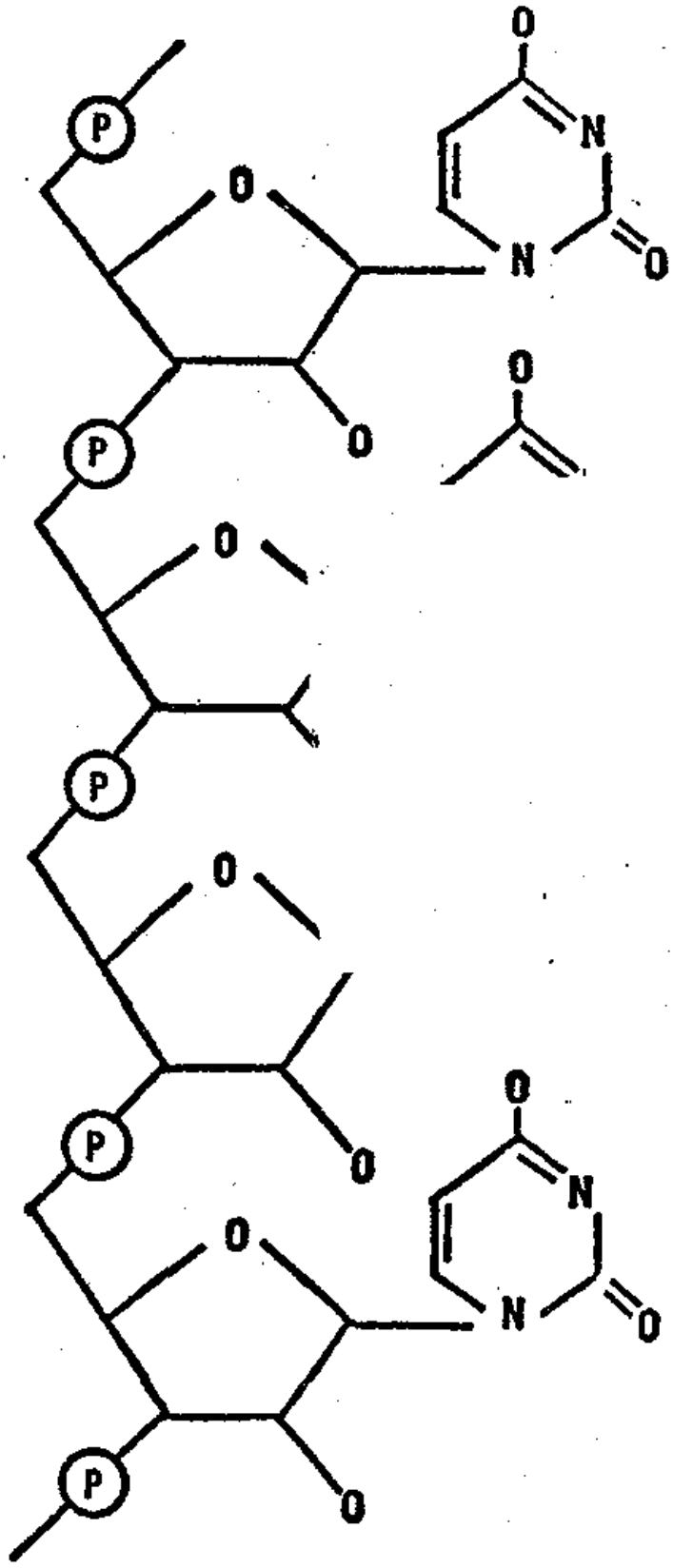
حلقه‌های حاوی ازت وجود داشته باشد .

به‌هرحال ، در این‌جا لازم است تا تنها با این نوکلئوتیدهای به‌دست‌آمده از اسید نوکلئیک خود را طرف بدانیم و از این‌ها ، تنها چهار واریته (نوع گوناگون) در هریک ملکول اسید نوکلئیک وجود دارند .

پرسش بعـدی که باید مطرح کنیم ، آن است کـه چگونه نوکلئوتیدهـا با هم‌دیگر جور می‌شوند تا خود اسیدهای نوکلئیک را شکل بدهند . لئون نیز بر روی این کار کرد و تود آن را تایید نمود .

راز در گروه فسفات نهفته است . در نوکلئوتیدهای منفرد معمولا" یک فسفات اولیه با یک پیوند است ، باوجوداین که می‌تواند فسفات ثانویه‌ای با دو پیوند و پیوند دوم متصل به‌نوکلئوتید دوم باشد . هم‌چنان که در شکل ۴۵ نشان داده می‌شود ، سری کاملی از نوکلئوتیدها را می‌توان ازطریق فسفات‌های ثانویه مربوط کرد .

نوکلئوتیدهای متصل‌شده در شکل ۴۵ زنجیر پلی‌نوکلئوتیدی می‌سازند .



شکل ۴۵ : زنجیر پلی‌نوکلئوتید

درجایی که پلی‌نوکلئوتید از نوکلئوتیدهای ریبوزی ساخته می‌شود، (هم‌چنان که در شکل ۴۵) هر گروه قند در زنجیر یک گروه هیدروکسیل آزاد برآمده دارد. (آن ب ـ ـ مشخص شده است که از هر حلقه قند بیرون زده است).

درجایی که پلی‌نوکلئوتید از نوکلئوتیدهای دی‌اکسی ریبوز درست شده است این گروه هیدروکسیل آزاد حضور ندارد (شکل ۴۴ را با شکل ۴۳ مقایسه کنید). پس نتیجه می‌گیریم که RNA از زنجیر پلی‌نوکلئوتید درست شده است که گروه‌های هیدروکسیل از بخش (تکه) قند بیرون زده‌اند، درحالی‌که DNA از زنجیر نوکلئوتید بدون گروه‌های هیدروکسیل ساخته شده است.

زنجیر پلی‌نوکلئوتید تااندازه‌ای همانند زنجیر پلی‌پپتید پروتئین می‌باشد. زنجیر پلی‌پپتیدی از "ستون فقرات" پلی‌گلیسین ساخته شده است که درطول زنجیر کشانده می‌شود و به‌آن وحدت می‌بخشد. زنجیرهای جانبی گوناگون از آن سر بیرون آورده‌اند که به‌ملکول، گوناگونی (تنوع) خود را می‌بخشند.

به‌همین‌ترتیب، ساختمان پلی‌نوکلئوتید یک "ستون فقرات قند ـ فسفاتی" دارد که درطول زنجیر کشانده می‌شود، از آن پورین‌ها و پیریمیدین‌های گوناگونی سرک کشیده‌اند. مقایسه شماتیک در شکل ۴۶ نشان داده می‌شود.

تنها زنجیر جانبی در ملکول پروتئین تغییر می‌یابد و تنها پورین و پیریمیدین در ملکول اسیدنوکلئیک تغییر می‌کنند.

در این‌جا چیزی قد علم می‌کند که به‌نظر پارادکس- جدیی است ممکن است تا بیست و دو زنجیرهای جانبی در امتداد ستون فقرات پلی‌گلیسینی وجود داشته باشد (با احتساب غیبت یک زنجیر جانبی برای خود گلیسین به عنوان یکی از حریف‌ها)، ولی تنها چهار پورین یا پیریمیدین گوناگون در طول ستون فقرات قند ـ فسفات وجود دارد.

چگونه اسید نوکلئیک تنها با چهار "کلمه" تعیین‌کننده رمز، اطلاعات لازم برای ساختن ملکولی تامین می‌کند که ممکن است حاوی تا این حد "کلمه‌های" زیادی چون بیست و دو باشد.

ما به‌موقع به‌این پرسش کلیدی خواهیم پرداخت و پاسخ آن را خواهیم

یافت ولـــی تنها پس از این‌که تا حدی کاملا" از نزدیک بـــه‌خود ملکول اسیـــد نوکلئیک نگاهی کرده باشیم .

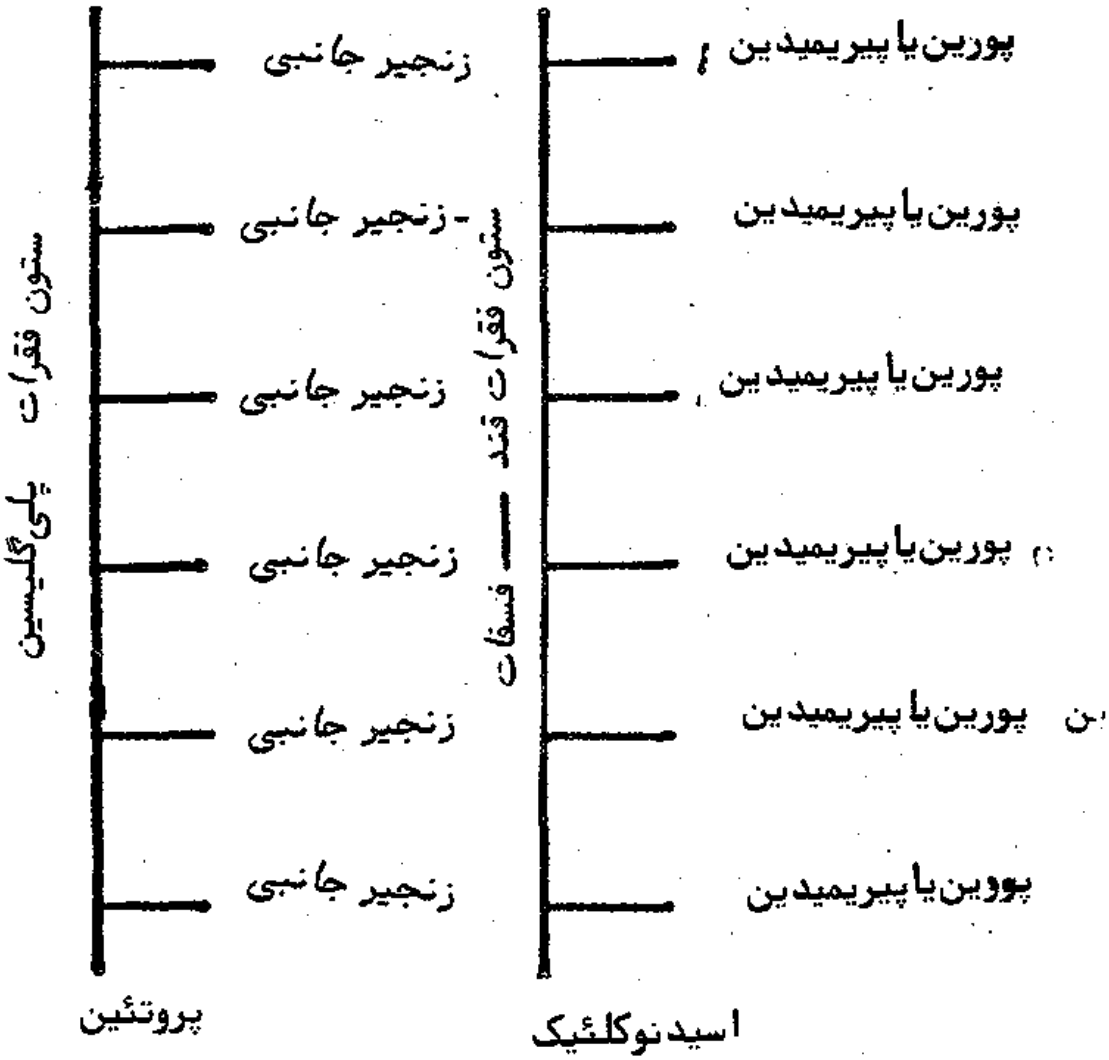


Figure 46. *Protein and Nucleic Acid Compared*

شکل ۴۶ : مقایسه پروتئین و اسید نوکلئیک

فصل ۸

از زنجیر به‌مارپیچ

طول زنجیر

حال به‌این مسئله می‌پردازیم که چند نکلتوئید در ساختن اسید نوکلئیک شرکت می‌کنند.

تا دهه ۱۹۴۰ این مسئله فکر بیوشیمیست‌ها را به‌طورجدی مشغول نمی‌کرد. این از پیش قبول شده بود که ملکول‌های اسید نوکلئیک نسبتا" کوچک بودند. این واقعیت آشکار که آن همراه پروتئین بود، این امر را منطقی می‌کرد: در هر پروتئین مرکب قسمت پروتئین به‌نظر عضو موءثر می‌آمد.

برای مثال هموگلوبین را درنظر بگیرید. علاوه بر ۵۷۴ اسید آمینه دارای چهار گروه همه (۱) است. هر گروه "همه" پنج بار بزرگ‌تر از اسید آمینهٔ متوسط است ولی بااین‌وجود همهٔ آن‌ها در مجموع تنها ۳ درصد از ملکول هموگلوبین را تشکیل می‌دهد. ("همه" را گروه پروس تیتک هم می‌خوانند که از واژهٔ یونانی به‌معنی "چیزی‌اضافه‌شده" گرفته می‌شود.).

"همه" قسمت فعال هموگلوبین است. هر گروه "همه" دارای اتم آهن در مرکز آن است که ملکول‌های اکسیژن به‌سستی به‌آن چسبیده‌اند، به‌طوری که

هموگلوبین به‌عنوان حامل اکسیژن عمل می‌کند. به‌هرحال این قسمت پروتئین است که عملا" کارکرد گروه "همه" را تعیین می‌کند. در بدن آنزیم‌های گوناگونی وجود دارد: کاتالاس -Catalas- پراکسیداس-Peroxidas، سیتوکرومز cytochromes- متعدد که هرکدام شامل یک یا چند گروه "همه" هستند، با این وجود هیچ‌کدام نمی‌توانند جانشین هموگلوبین باشد. در عمل همگی کارکردهای متفاوتی دارند، تفاوت به‌وسیله تفاوت در بخش پروتئینی ملکول تعیین می‌شود.

انواع دیگری از پروتئین‌های درهم‌آمیخته با گروه‌های پروستیک prosthetic* وجود دارد. برای‌مثال، گلیسوپروتئین‌ها -glycoprotein هستند با قندهای تغییرشکل‌داده به‌عنوان گروه‌های پروستتیک.

در هرمورد گروه پروستتیک به‌نظر افزودنی کوچک و جزئی به‌پروتئین به عنوان کلیت می‌باشد. تنها نقش کوچکی برای ایفا کردن. بنابراین به‌نظر طبیعی می‌آمد که فرض شود که اسیدنوکلئیک نیز مانند سایر گروه‌های پروستتیک، ملکول‌های نسبتا" کوچکی هستند که در ملکول به‌عنوان کلیتی کارکرد جنبی معینی دارند.

به‌این فرض "طبیعی"، مشاهدات توسط خود لئون Leven- افزوده شد. او ازمیان نوکلئوپروتئین‌ها ماده‌هایی بیرون کشیده و جدا کرده بود که در بررسی نشان‌دادندکه‌زنجیرهای‌نوکلئوتیدی nucleotid- به‌درازای‌چهار نوکلئوتید می‌باشند. به‌زبان دیگر آن‌ها تترا نوکلئوتید (۴ نوکلئوتیدی) بودند. به‌نظر لئون می‌رسید که این‌ها می‌بایستی نماینده گروه پروستتیک نوکلئوپروتئین‌ها می‌بودند. در گام بعدی به‌نظر عاقلانه می‌آمد فرض شود که هرکدام از تترا نوکلئوتیدها از یکی از چهار نوکلئوتید متفاوت ساخته شده بود.

متاسفانه، نتیجه‌گیری‌های لون براساس مشاهداتی بود که نمی‌توانستند تصویری حقیقی تامین کنند. روش استخراج همراه با مشکل اسیدنوکلئیک از

---

*وابسته به دسته ترکیبات غیرپروتئینی که جز پروتئین درآمده است. م.

پروتئین شامل استفاده از اسیدها و قلیاها بود. این اسیدنوکلئیک را بیرون می‌کشید ولی آن‌ها هم‌چنین زنجیرهای نوکلئوتید را به‌صورت تکه‌های کوچک خرد و تجزیه می‌کرد. همین تکه‌ها بودند که لئون بررسی می‌کرد.

درنهایت، سایر بیوشیمیست‌ها دست به‌استفاده از روش‌های ملایم‌تر برای جدا کردن بردند و نتیجه‌های متفاوتی به‌دست آوردند. آنان اسیدهای نوکلئیکی جدا کردند که حاوی زنجیرهایی بسیار درازتر از چهار نوکلئوتید بودند. به‌کندی، وزنه ملاک (evidence مشهود یا آن‌چه مشهود است) در برابر نظریه تترا نوکلئوتیدی ساختمان اسیدنوکلئیک سنگینی کرد و تاب برداشت.

زنجیرهای بلند و بلندتری با موفقیت دنبال هم در دهه ۱۹۴۰ به‌دست می‌آمدند.

در دهه ۱۹۵۰ نمونه‌هایی از RNA با ملکول‌هایی شامل یک‌هزار نوکلئوتید و نمونه‌هایی از DNA با ملکول‌هایی شامل بیست‌هزار نوکلئوتید به‌دست می‌آمد.

این ارزش‌های اخیر به‌جز ارزش‌های جنبی چیزی نبودند. کاملا" ممکن است که در روندهای کنونی جداکردن، چندین ملکول اسید نوکلئیک بتوانند به‌سستی به‌هم وصل شوند و بدین‌ترتیب کاری کنند که زنجیرهای نوکلئوتیدی درازتر از آن‌چه عملا" هستند خود را نشان دهند.

درحال‌حاضر، برآورد شده است که در یک ژن منفرد ممکن است شامل یک ملکول اسید نوکلئیکی باشد که از زنجیرهای بین ۲۰۰ تا ۲۰۰۰ نوکلئوتید ساخته شده است.

--Diversity of chain تنوع زنجیر

حتی با این مکاشفه که اسیدهای نوکلئیکی ممکن است آن‌قدر دراز باشند که پروتئین‌ها درازترهستند (اسیدنوکلئیکی ساخته‌شده‌از تنها ۲۰۰ نوکلئوتیدها

همان‌قدر درشت است که ملکول هموگلوبین)، نظریه تترا نوکلئوتید تا مدتی به‌صورت تعبیر اصلاح شده معلق ماند. فرض مسلم شده بود ملکول اسید نوکلئیک چیزی بیش‌تر از چهار نوکلئوتید گوناگون است که به‌صورت زنجیر کوتاهی ترکیب شده‌اند ولی اینک اظهار می‌شد که ملکول شامل چهار نوکلئوتید گوناگون است که بارها و بارها روی هم تکرار شده است تا زنجیر درازی بسازد.

هرگاه نظریه تترا نوکلئوتیدی به‌این‌ترتیب اصلاح‌شده درست می‌بود، اسیدهای نوکلئیک هرگز نمی‌توانستند به‌عنوان حاملین رمز ژنتیک باشند. یک‌چنین پلی ـ تترا نوکلئوتید به‌سادگی جمله "درازی" می‌بود که مثلا "و ـ و ـ و ـ و ـ و ـ" می‌گفت.

درست به‌همان‌ترتیبی که ملکول نشاسته به‌طور ساده صرفا "گلوکز ـ گلوکز ـ گلوکز ـ" است، اسید نوکلئیک به‌سادگی صرفا "تترانوکلئوتید ـ تترا نوکلئوتید ـ تترا نوکلئوتید ـ" می‌بود. این واقعیت که هر تترانوکلئوتید درحدود ۷/۵ بار درشت‌تر از ملکول گلوکز است، فرقی به‌حال ما ندارد. جمله‌ای که می‌خواند "شکست‌ناپذیری ـ شکست‌ناپذیری ـ شکست‌ناپذیری ـ" ازنظر اطلاعات چندان هم پربارتر از "و ـ و ـ و ـ و ـ" نیست، هرچند کلمه درمورد اول با مقایسه با مورد دوم بسیار موءثرتر و درازتر است.

بااین‌وجود، هرآن‌گاه که آزمایش‌های آوری، مک‌لئود و مک‌کارتی McLeod-McCarthy (به‌صفحه ۱۱۴ـ۱۱۵ مراجعه کنید) در سال ۱۹۴۴ تکرار شدند، بیوشیمیست‌ها به‌تدریج دریافتند هرچند با اکراه که نظریه تترا نوکلئوتید صرف‌نظر از هرگونه اصلاح باید اشتباه باشد. اسید نوکلئیک اطلاعات ژنتیکی را حمل می‌کرد، مدل تترانوکلئوتیدی نمی‌توانست.

فزون بر این هم‌چنان که اطلاعات باکتری‌ها بررسی می‌شد، دریافتند که اسیدهای نوکلئیک در تنوع زیادی وجود داشتند که هرکدام می‌توانست انتقال ویژه‌ای را سر و سامان دهد ولی دیگران را نه. هرگاه نظریه تترا نوکلئوتیدی درست می‌بود، این‌طور نمی‌شد.

نگاه‌های نزدیک‌تر و دقیق‌تر بر روی اسیدهای نوکلئیک شروع می‌شد.

خوشبختانه در سال ۱۹۴۴، همان‌سالی که در آن، آوری، مک‌لئود و مک کارتی به‌طور کاملی همه نقطه‌نظرهای مربوط به‌اسید نوکلئیک را کاملا" درهم ریخت، مارتین و سینج تکنیک کروماتوگرافی با کاغذ را تدوین کردند. با وجود این‌که روش اصلا" برای اسیدهای آمینه طراحی شده بود، آن را به‌آسانی برای پورین و پیریمیدین مناسب کردند.*

مسیر به‌نظر روشن می‌آمد. اسیدهای نوکلئیک را خرد کنید، پورین و پیرامیدین را جدا کنید، این مخلوط پورین/پیریمیدین را به‌وسیلهٔ کروماتوـ گرافی با کاغذ آنالیز کنید و سپس ببینید که هرگاه همه چهارتا کمیت‌های برابر حضور دارند یا نه.

هرگاه همه چهارتا به‌مقدارهای برابر حضور داشته باشند نظریه تترانوکلئوتیدی ممکن است درست باشد. بنابر نظریه تترانوکلئوتیدی، پورین و پیرامیدین به صورت ـ ۴ ـ ۳ ـ ۲ ـ ۱ ـ ۴ ـ ۳ ـ ۲ ـ ۱ ـ ۴ ـ ۳ ـ ۲ ـ ۱ توزیع می‌شدند به‌طوری که از هرکدام مقدارهای برابر وجود می‌داشت. به‌هرحال ممکن بود به احتمال زیاد مقدارهای مساوی از هرکدام به‌صورت ترتیب اتفاقی و تصادفی توزیع شده باشند.

ازسوی دیگر، هرگاه تجزیه و تحلیل مخلوط پورین/پیریمیدین آشکار می‌ساخت که عضوهای منفرد به‌تعداد برابر حضور دارند، لزومی به‌شک نبود ـ نظریه تترانوکلئوتیدی کامل می‌بود.

آینده نشان داد که همین‌طور است. یکی از کوشاترین پژوهشگران این مسئله اروین چارگاف Erwin Chargaf: بود. در سال ۱۹۴۷ این نتیجه‌گیری‌هایی انجام می‌داد که نه‌تنها کاملا" روشن ساخت که پورین و پیریمیدین به‌مقدارهای نابرابر در درون اسید نوکلئیک حضور داشتند، بلکه

*** درواقع کروماتو گرافی با کاغذی را می‌توان برای هرگونه مخلوط از ماده‌های در ارتباط نزدیک با هم جور کرد و این کار انجام شده است و در چندین سال پس از گسترش ما این تکنیک ابزار بی‌جانشین درهر زمینه از بیوشیمی شده بود.**

نسبت یک نوکلئوتید به‌دیگری از یک اسید نوکلئیک به‌دیگری فرق می‌کرد. نظریه تترا نوکلئوتیدی مرده بود.

در اوائل دهه ۱۹۵۰، چارگاف بعد از آن قادر بود نشان دهد که نوکلئوتیدهای گوناگون درواقع طوری مرتب شده بودند که به‌نظر نظم بی‌قاعده و تصادفی می‌بود. اگر قرار بر این باشد، دراین‌صورت شمار ترتیب‌های گوناگون در محدوده درون زنجیر چندنوکلئوتیدی می‌توانست بسیار بزرگ باشد. نه‌چندان بزرگ تا شاید در محدوده درون زنجیر چندپپتیدی با همان اندازه باشد، زیرا چندپپتیدی ممکن است تا ۲۲ واحد گوناگون برای روی‌هم انباشته‌شدن داشته باشد، درحالی‌که زنجیر پلی‌نوکلئوتید تنها ۴ تا دارد.

بدین‌ترتیب، برای زنجیر پلی‌پپتیدی ساخته‌شده‌از ۲۰ اسیدآمینه‌گوناگون، مجموع ترکیب‌های ممکن کمی بیش از ۰۰۰ر۰۰۰ر۰۰۰ر۰۰۰ر۰۰۰ر۰۰۰ر۲۴ (یا $۲/۴ \times ۱۰^{۱۸}$ معادل تقریبا" دو و نیم کوینتیلیون) می‌باشد. ازسوی دیگر، برای زنجیر پلی نوکلئوتیدی ساخته‌شده از ۲۰ نوکلئوتید یا پنج تا از هرکدام چهار واریته (شکل دیگر) شمار کل ترکیب‌های ممکن تنها چیز پیش‌پا افتاده‌ای مانند بیش از ۰۰۰ر۰۰۰ر۰۰۰ر۱۱ می‌باشد.

به‌عبارت دیگر، زنجیر پلی‌پپتیدی این توانایی را دارد تا با مقایسه با زنجیر پلی‌نوکلئوتیدی با همان شمار کل واحدها بش از دوبیلیون (میلیارد — $۱۰^{۶}$) مرتبه ترکیب‌های گوناگون تشکیل بدهد.

ولی چه‌کسی می‌گوید که زنجیرهای پلی‌نوکلئوتیدی نباید بیش از شمار واحدهای دراختیار پروتئین واحدهای بیش‌تری داشته باشد؟ یک زنجیر پلی نوکلئوتیدی ویژه را درنظر بگیرید که شمار نوکلئوتیدهای آن دوبرابر شمار اسیدهای آمینه در زنجیر چندپپتیدی ویژه می‌باشد. هردو می‌توانند با تعداد تقریبا" برابر ترتیب‌های گوناگون به‌صحنه بیایند. محدود بودن به‌داشتن تنها چهار واحد گوناگون به‌جای ۲۲، به‌وسیله دوبرابر کردن طول زنجیر محدودشده‌تر جبران می‌شود.

همان‌گونه که دیده می‌شود، در ملکول متوسط اسید نوکلئیک شاید شمار

واحدها پنج برابر (نه، صرفا" دوبرابر) شمار واحدها در ملکول متوسط پروتئین باشد. لذا، عدم‌تناسب در راه شکل‌گیری ترتیب‌های گوناگون، به‌هرحال به نفع ملکول اسید نوکلئیک است.

در اوائل دهه ۱۹۵۰، دیگر هیچ تردید بنیادی باقی نماند که ملکول‌های اسید نوکلئیک نه‌تنها می‌توانستند رمز ژنتیک را بدون یاری حمل کنند، بلکه آن‌ها رمز ژنتیک را بدون یاری حمل می‌کردند.

ولی چرا بیش‌تر اسید نوکلئیک تا این‌که پروتئین؟

در دانش همیشه پرسیدن "چرا؟" پرمخاطره است ولی اغلب انجام همین کار بسیار جالب است. البته، ما باید به‌خاطر داشته باشیم که پرسش "چرا؟" همیشه چیز سستی است بدون مقایسه با قدرت و ابهت پاسخ به "چه‌چیزی".

دراین‌مورد امعان‌نظر من این است که پروتئین‌ها بیش‌ازحد پیچیده هستند و واحدهای بیش‌ازحد زیادی دراختیار دارند. ذخیره کردن ساختمان پروتئین در یک پروتئین و توقع داشتن از آن برای نگهداری کامل شکل آن از تقسیم سلول تا تقسیم سلول از نسلی به‌نسل ساختار، شاید بیش‌ازحد زیاد باشد. نقطه‌های بیش‌ازحد زیاد وجود دارد که خطا می‌تواند به‌درون بخزد.

به‌جای آن، فرض کنید که اطلاعات در زنجیر پلی‌نوکلئوتیدی انبار می‌شد، این یک ستون فقرات قند ــ فسفات دارد که حاوی حلقه‌های کپه (کومه‌شده ــ انباشته روی هم) اتم‌ها است، کـه به‌مراتب تنومندتر است تا ستون فقرات سست پلی‌گلیسین در ملکول‌های پروتئین، زنجیر صرف اتم‌ها است. فزون بر این، زنجیر پلی‌نوکلئوتید، تنها با چهار واحد گوناگون "انتخابی" در هر موقعیت از یکی از تنها چهار واحد تا این‌که یکی از بیست و دو واحد، را به بدن پیشنهاد می‌کند. احتمال کم‌تری وجود دارد تا بدن با گیج‌شدن رشدکند.

حتی در این‌حد ، پرسش زیر : چگونه رمز ژنتیک در عمل از سلولی به‌سلول و از نسلی به‌نسل دست‌نخورده حفظ می‌شود ، به‌این آسانی پاسخ داده نمی‌شود. فا فرض مسلم این‌که زنجیر پلی‌نوکلئوتید ممکن است با مقایسه با زنجیر پلی پپتیدی برای وظیفه خود مناسب‌تر باشد ، دریافت ساده این واقعیت هنوز به ما نمی‌گوید که چگونه رمز نگهداری و محفوظ می‌شود ؟

نخستین گام به‌سوی پاسخ از خود همان پژوهش‌ها (درمورد شمار پورین‌ها و پیریمیدین‌ها) بلند شد که نظریه تترانوکلئوتید را برهم زد .

نابرابری‌ها بین پورین‌ها و پیریمیدین‌ها در نگاه نخست ــ بدون ملاحظه بعدی جای هیچ امیدواری برای نظم باقی نمی‌گذارد. شمار گروه‌های آدنین معمولا" بالاتر از شمار گروه‌های گوانین برای مثال بود ، ولی مقدار بالاتر بودن آن با ، گونه‌ها تغییر می‌کرد . در اسید نوکلئیک به‌دست‌آمده از جوجه تیغی دریایی شمار ادنین‌ها دوبرابر گوانین‌ها بود .

در اسید نوکلئیک انسان ، شمار تنها به‌یک و نیم برابر می‌رسید. در برخی گونه‌ها ، موقعیت برعکس شده بود و گروه‌های گوانین ازنظر شما بیش‌تر بودند تا آدنین‌ها .

ولی بااین‌وجود هم‌چنان که زمان پیش می‌رفت نظام‌های سرتاسری معینی کشف شدند ، نظام‌هایی که به‌نظر درمورد همه گونه‌ها و همه آفریده‌ها از انسان تا ویروس صدق می‌کرد .

۱ــ در تمام موردهای بررسی اسیدنوکلئیک شمار کلی آدنین به‌نظر تقریبا " معادل شمار کلی تیمین‌ها در DNA (یا اوراسیل در RNA) بود .

۲ــ در تمام موردهای بررسی اسید نوکلئیک ، مجموع سیتوسین به‌نظر تقریبا " معادل گوانین‌ها بود .

۳ــ بنابراین مجموع پورین‌ها (آدنین به‌اضافه گوانین) باید معادل مجموع

پیریمیدین‌ها (تیمین به‌اضافه سیتوسین در *DNA* یا اوراسیل به‌اضافه سیتوسین در *RNA*) باشد.

این‌ها نظام‌های جالبی بودند و همان‌گونه که رویدادها نشان دادند کلیدهای مهمی برای ساختمان اسید نوکلئیکی بودند. به‌هرحال، پیش از این که بتوان از آن استفاده به‌جایی کرد، سهم قطعی لازم بود.

آن در سال ۱۹۵۳ آمد، هنگامی که فیزیک‌دان انگلیسی به‌نام ام.اچ.اف ویلکینز اسیدهای نوکلئیک را به‌یاری تفرق پرتوهای مجهول بررسی کرد و دو همکار، یک انگلیسی به‌نام اف.اچ.سی کریک و یک آمریکایی به‌نام جی.دی. واتسون که در دانشگاه کمبریج کار می‌کردند از این کار استفاده کردند تا نظریه مهمی از ساختمان اسید نوکلئیک پیش بکشند. در تکنیک تفرق پرتوهای مجهول (تکنیکی که بعدا" کندریو از آن استفاده کرد تا ساختمان دقیق سه‌بعدی ملکول‌های پروتئین را فراهم سازد) دسته‌ای نور به‌صورت باریکه اجازه می‌یابد تا بر روی ماده‌ای تابانده شود. بیشتر پرتوهای مجهول بدون مزاحمت ازمیان آن می‌گذرد ولی برخی از مسیر مستقیم‌الخط خود منحرف می‌شوند.

هرگاه اتم‌هایی که ازمیان آن‌ها می‌گذرند به‌نحو مرتب و باقاعده‌ای قرار نگرفته باشند، دراین‌صورت انحراف‌ها بی‌قاعده و تصادفی است. هرگاه بگذاریم تا پرتوهای مجهول پس از عبور ازمیان ماده بر روی صفحه حساس عکاسی بیفتند، لکه‌ای مرکزی وجود دارد که محل دسته اصلی را مشخص می‌سازد. این بدون انحراف گذشته است و باقی مانده است تا صفحه عکاسی را تاریک کند. در دور این لکه مرکزی، مه نورانی وجود دارد که بر اثر پرتوهای مجهول منحرف‌شده به‌وجود می‌آید. این مه با افزایش فاصله از لکه مرکزی پیوسته محو می‌شود و در تمام زاویه‌ها از آن لکه، به‌طور برابر قوی (یا ضعیف) می‌باشد.

هرگاه اتم‌هایی که پرتوهای مجهول ازمیان آن‌ها می‌گذرد به‌نحو مرتبی چیده شده باشند، به‌هرحال دراین‌صورت، پرتوهای مجهول در یک راستا بیش‌تر از راستای دیگری منحرف می‌شوند، اتم‌های مرتب با قاعده به‌هم‌دیگر به‌اصطلاح دست تقویت‌کننده‌ای عاریه می‌دهند. این به‌ویژه در جایی موکد

است که در آن‌جا اتم‌ها کاملا" مرتب شده و باقاعده هستند، همانند مورد بلورها. پ. باریکه یا دسته‌نوری از پرتوهای مجهول که ازمیان بلوری می‌گذرد، الگویی از نقطه‌ها با تقارن زیبا شکل خواهد داد که این نقطه‌ها از لکه مرکزی تشعشع می‌یابند. از فاصله این نقطه‌ها از لکه مرکزی و زاویه‌ای که می‌سازند، امکان دارد تا موقعیت‌های نسبی اتم‌ها در محدوده بلور را محاسبه کرد.

همان تکنیک را می‌توان با ماکروملکول‌ها به‌کار برد، ماده‌هایی که در آن‌ها واحدها به‌نحو مرتبی تکرار می‌شوند. در این‌جا ماده کاملا" مانند مورد بلور باقاعده و مرتب‌شده نیستند ولی ازسوی دیگر کاملا" نامرتب و بی‌قاعده نیستند. الگوی تفرق پرتوهای مجهول ازنظر تعبیر و تفسیر بسیار مبهم و دشوارتر است ولی آن مه بدون مشخصات نیست و تفسیر آن ناممکن نیست.

واتسون و کریک با کار ازجهت مخالف با داده‌های تفرق پرتو مجهولی، به‌این نتیجه‌گیری رسیدند که ملکول اسید نوکلئیک به‌صورت مارپیچ مرتب شده بود. مارپیچ helix- شکلی است به‌صورت پلکان مدور که اغلب با "مارپیچ" spiral- عوضی گرفته می‌شود (به‌طوری‌که شخص از "پلکان مارپیچی" سخن می‌گوید). در عمل، مارپیچ (اسپیرال) منحنی دوبعدی است مانند فنر ساعت درحالی‌که مارپیچ (هلیکس) منحنی سه‌بعدی است چیزی مانند فنر تخت‌خواب.

این نتیجه‌گیری‌ها در نوع خود، نوآوری نبود. هم‌چنان که پیش از این تذکر دادیم، زنجیر پلی‌پپتید می‌تواند خم شود. خوب، در سال ۱۹۵۱، شیمی‌دان‌های آمریکایی به‌نام لینوس بی. پولینگ و ار. ب کوری قادر بودند تا اثبات کنند که زنجیرهای پلی‌پپتیدی در پروتئین‌هایی ازقبیل کولاژن در مارپیچی مرتب شده‌اند که به‌وسیله پیوندهای هیدروژنی به‌هم محکم شده‌اند*.

به‌هرحال، مدل واتسون ــ کریک ملکول اسیدنوکلئیک با مدل پروتئین پولینگ ــ کوری تاحدی فرق دارد. اسید نوکلئیک واتسون ــ کریک از دو پلی

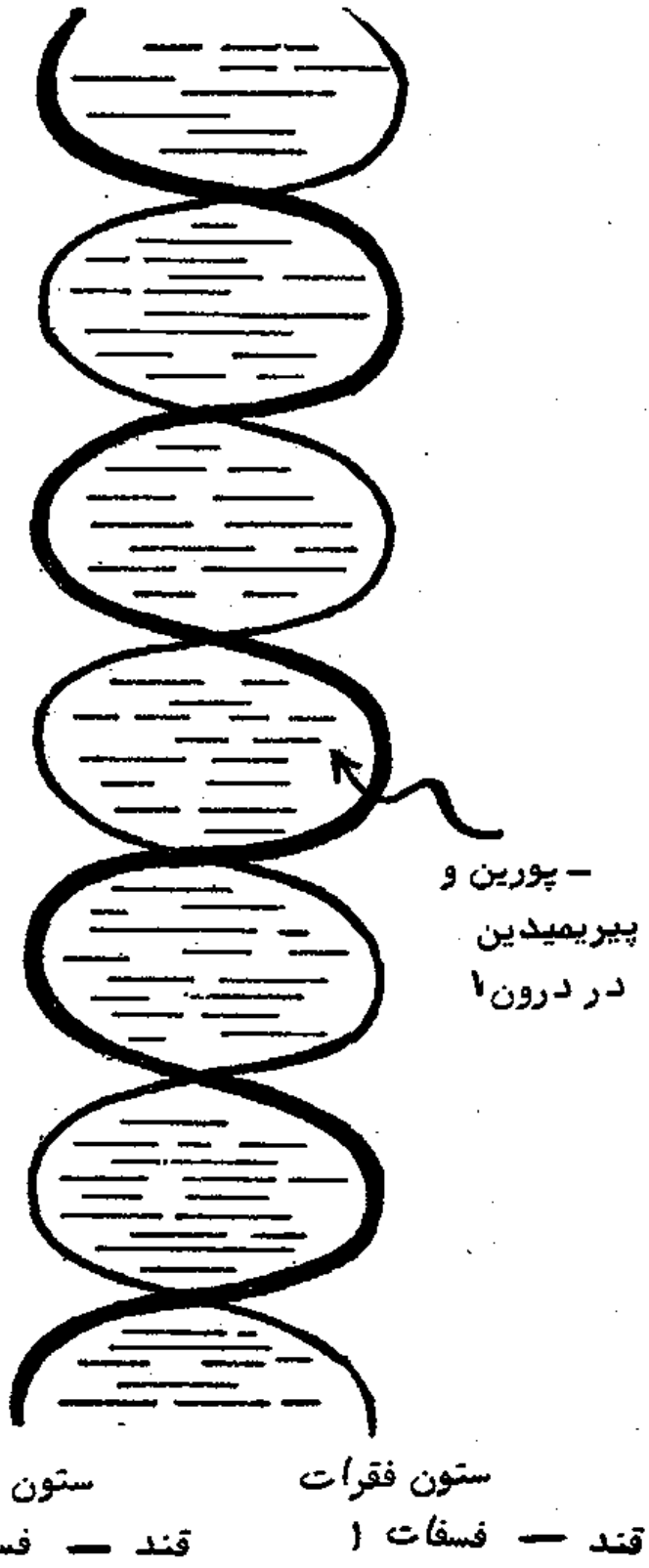
* *به‌این خاطر و به‌خاطر کارهای فوق‌العاده قبلی در مورد پیوند بین اتم‌ها، پولینگ به احراز جایزه نوبل در رشته شیمی سال ۱۹۵۴ نائل آمد.*

نوکلئوتید درست شده است که مارپیچ درهم قفل‌شده‌ای را تشکیل می‌دهد که دور همان محور مرکزی است. ستون فقرات قند ـ سولفاتی خط‌های مارپیچ را می‌سازد، درحالی‌که پورین‌ها و پیریمیدین‌ها به‌درون به‌سوی مرکز اشاره می‌کنند، همان‌گونه که در شکل ۴۷ نشان داده می‌شود.

این است مدلی که بالاخره از همه داده‌ها سر درآورد، داده‌هایی که با مشقت فراوان از سهمیه‌های پورین و پیریمیدین جمع شده‌اند و آن‌هایی که چنین مقدر شده بود که از مسئله‌های رونوشت‌سازی سر دربیاورند، همان‌گونه که در بخش بعدی خواهیم دید*.

---

* ویلکینز، واتسون و کریگ به‌خاطر کار خود در این زمینه جایزه نوبل سال ۱۹۶۲ در رشته طب و فیزیولوژی را مشترکاً برنده شوند.



شکل ۴۷ : مارپیچ مضاعف اسید نوکلئیک

فصل ۹:

رشته‌های تعاونی-Cooperating Strands-

لنگه پورین ــ پیرامیدین

دو رشته مارپیچی ملکول اسید نوکلئیک بـه‌وسیله پیوندهای هیدرژونی بین پورین و پیریمیدین در نقطه‌ای که مورد اخیر به‌مرکز مارپیچ دست می‌یابد (می‌رسد) به‌هم‌دیگر نگه داشته شده‌اند.

سه ترتیب امکان دارد: ممکن است پورینی با پیوند هیدروژنی به‌پورین دیگر متصل شده باشد. یک پیریمیدین با پیوند هیدروژنی به‌پیریمیدین دیگری ممکن است متصل باشد ویا پورین ممکن است با پیوند هیدروژنی به‌پیریمیدینی پیوسته باشد.

از آن‌جا که پورین از دو حلقه و پیریمیدین از یکی ترکیب شده است، ترکیب پورین ــ پورین به‌معنی کش‌خوردگی (جر خوردن) چهارحلقه‌ای از رشته به‌رشته خواهد بود. ترکیب پیریمیدین ــ پیریمیدین به‌معنی کش‌خوردگی دو حلقه‌ای کوتاه می‌بود و ترکیب پورین ــ پیریمیدین به‌معنی کش‌خوردگی یک در میان سه‌حلقه‌ای می‌بود.

هرگاه هر سه‌نوع گوناگون از ترکیب حلقه‌ای ــ یا حتی اگر هردوتا از آن‌ها ــ

درطول مارپیچ مضاعف (هلیکس دوگانه) روی می‌داد، دراین‌صورت دو رشته در فاصله‌های متغیری از هم‌دیگر جدا می‌شدند. مدل واتسون ــ کریک به‌این عنوان که از داده‌های تفرق پرتوهای مجهول استنتاج شده بود، نشان می‌دهد کـه این ناممکن است. رشته‌ها Strands-بـا فاصله ثابت همگی در امتداد مارپیچ جدا شده‌اند، بنابراین پیوند خوردن باید همگی پورین ــ پورین، همگی پیریمیدین ــ پیریمیدین یا همه‌اش پورین ــ پیریمیدین باشد.

ولی هرگاه اتصال‌ها بدون تغییر پورین ــ پورین بودند، در ملکول دیگر پیریمیدینی وجود نمی‌داشت و اگر آن بدون تغییری پیریمیدین ــ پیریمیدین بود، دیگر در ملکول پورین وجود نمی‌داشت.

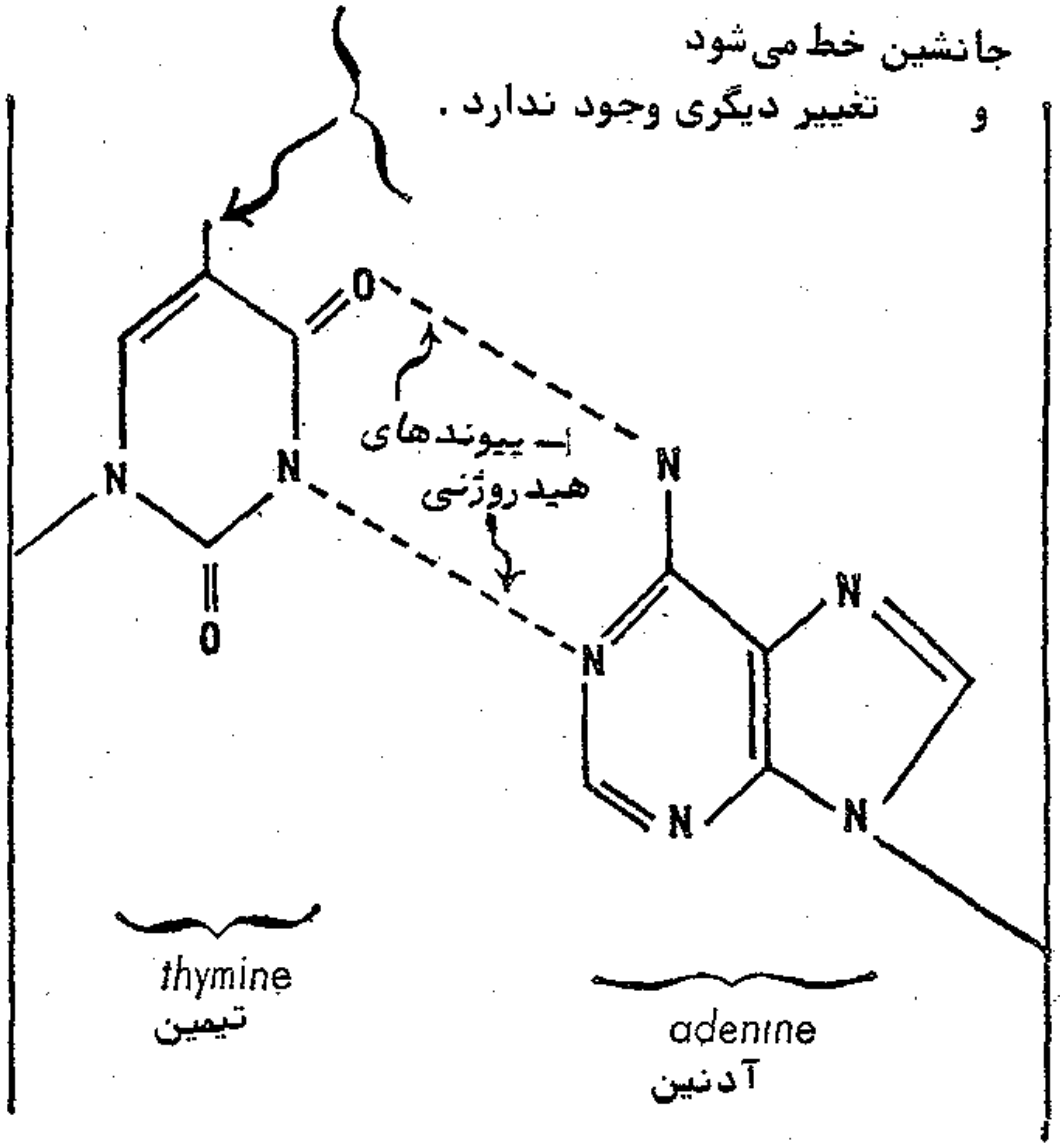
از آن‌جا که در طبیعت هیچ ملکول اسید نوکلئیکی پیدا نشده است که هر دو پورین و پیریمیدین را نداشته باشد، پیرین ــ پیرین و پیریمیدین ــ پیریمیدین به‌عنوان اتصال ممکن باید حذف شوند.

دراین‌صورت، تنها ترکیب ممکن، است. درتمام طول رشته‌های مارپیچی، هرجا که پورینی رو به‌داخل از یک ستون فقرات کش می‌خورد، یک پیریمیدین رو بـه‌خارج از نقطه مربوطه در دیگـری کش می‌خورد و هـردو ازطریق پیوند هیدروژنی درمرکز همدیگر را ملاقات می‌کنند.

البته، دو پورین مختلف و دو پیریمیدین مختلف وجود دارد، بنابراین پرسش باز هم وجود دارد که کدام پورین با کدام پیریمیدین متصل می‌شود؟ به‌هرحال، پاسخ به‌چنین پرسشی آسان است. از آن‌جا که معلوم می‌شود که شمار آدنین با شمار تیمین‌ها (یا اوراسیل‌ها) در همه اسیدهای نوکلئیک تحت بررسی یکی است و از شمار گوانین‌ها معلوم می‌شود که با شمار سیتوسین یکی است، روشن است که یک آدنین باید با پیوند هیدروژنی به‌تیمین (یا یک اوراسیل) و یک گوانین باید درهرحال، پیوسته با پیوند هیدروژنی به‌سیتوسین وصل شده باشد. تنها بدین‌طریق برابری صریح و بارز باید به‌دست آید و حفظ شود.

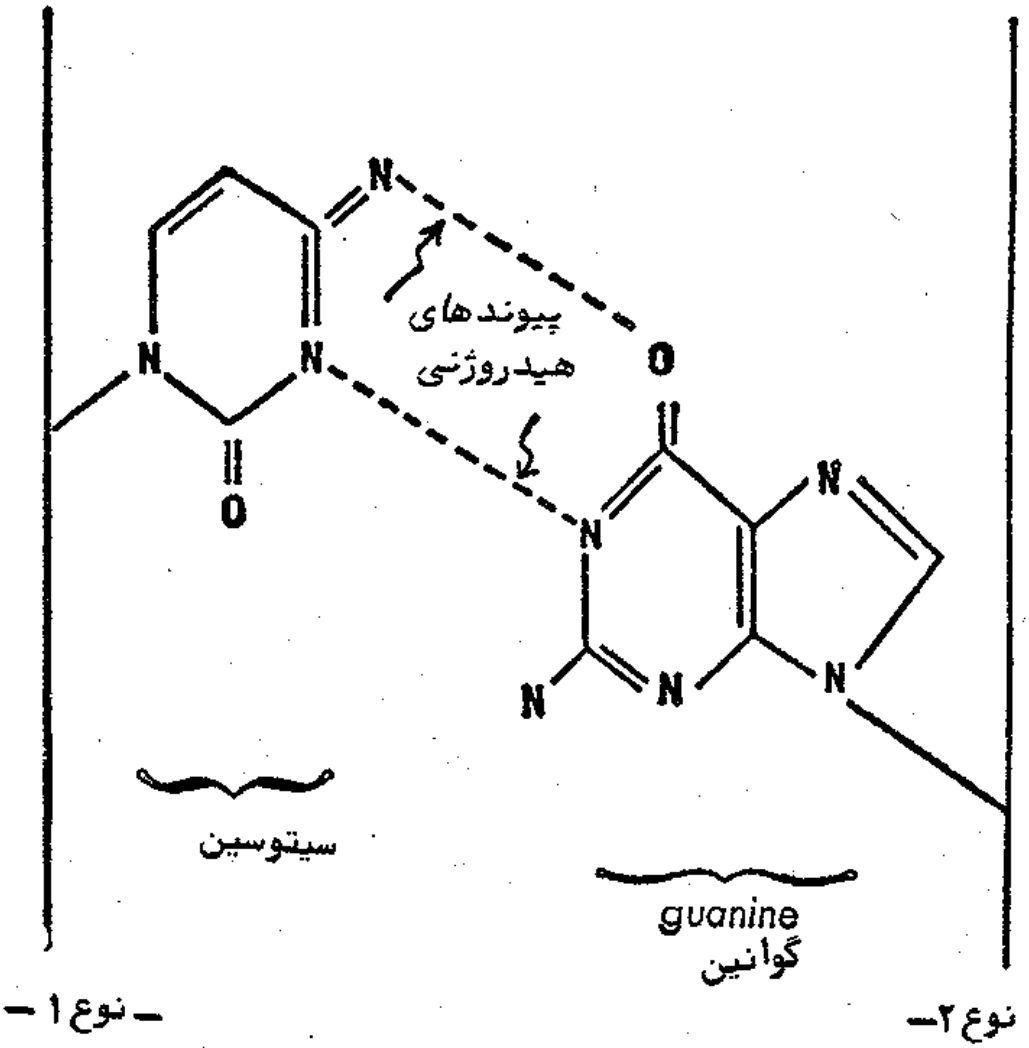
ترکیب آدنین ــ تیمین در شکل ۴۸ نشان داده می‌شود، ترکیب گوانین ــ

ـ (درمورد RNA-)،یک ملکول اوراسیل ،



شکل ۴۸ : ترکیب آدنین ـ تیمین

سیتوسین در شکل ۴۹ نشان داده می‌شود .



شکل ۴۹ : ترکیب گوانین ـ سیتوسین

جالب این‌جا است که در ترکیب آدنین ـ تیمین و در ترکیب (جمع شدن) گوانین ـ سیتوسین یکی از دو پیوند هیدروژنی یک O و یک N را به‌هم متصل می‌کند . هرگاه بنا بود تا تیمین با گوانین جوش بخورد دراین‌صورت یک پیوند هیدروژنی "N-N" و یک پیوند هیدروژنی 'O-O' وجود می‌داشت . هرگاه بنا بود تا سیتوسین باید با آدنین پیوند' خورند ، دو پیوند هیدروژنی 'N-N'

وجود می‌داشت. در هریک از این اتصال‌های "غلط"، یک پیوند هیدروژنی "N-O" وجود می‌داشت.

سخن کوتاه، تا مدتی که فاصله بین رشته‌های قند ــ سولفات ثابت باقی می‌ماند، تا زمانی‌که هردو پورین و پیریمیدین الزاماً بخشی از ملکول هستند، تا زمانی‌که پیوندهای هیدروژنی از نوع "N-O" وجود دارند، ما یقین داریم که ترکیب‌های آدنین ــ تیمین (یا اوراسیل) و گوانین ــ سیتوسین بیابیم، نه دیگری.

در این موقعیت، دو رشته در درون ملکول اسید نوکلئیک متمم هستند. آن‌ها درست یکی نیستند. به‌هرحال، یکی با دیگری ازنظر به‌اصطلاح "مخالفان" با هم جور درمی‌آیند. هرگاه قرار بر این باشد که نظم دقیق نوکلئوتید در رشته ۱ هر ملکول اسید نوکلئیک را بیرون بیاوریم، دراین‌صورت قادر خواهیم بود تا نظم دقیق نوکلئوتیدها در رشته ــ۲ ملکول همان اسیدنوکلئیک را بی‌درنگ بنویسیم.

درجایی که رشته ــ ۱ آدنین داشت، رشته ــ ۲ تیمین خواهد داشت و برعکس(یا اوراسیل به‌جای تیمین برای *RNA*). هرجا که رشته ــ ۱ گوانین داشت، رشته ــ ۲ سیتوسین خواهد داشت و برعکس.

به‌خاطر سادگی بیاییم آدنین را با **A**، تیمین را با **T**، گوانین را با **G** و سیتوسین را با **C** نمایش دهیم. هرگاه توالی نوکلئوتیدها در یک زنجیر *DNA* از قرار ATTTGTCCACAGATACGG- . . . می‌بود، آیا بلافاصله شما نمی‌دانستید که توالی نوکلئوتید در تکه مربوطه از زنجیر دیگر می‌بایستی TAAACAGGTGTGCTATGCC . . . . می‌بود؟* شما می‌توانستید. از این‌لحاظ، طبیعت همان‌قدر هوشمند است که ما هستیم.

دوتا به جای یکی

** هرگاه ــ U ــ (اوراسیل) را به‌جای ــ T ــ (تیمین در هرنقطه جانشین کنیم، آن در مورد -RNA- هم صدق می‌کرد.*

مدل مارپیچ مضاعف واتسون ـ کریک فورا" پرثمر اثبات شد. واتسون و کریک این ایده را پیش‌کشیدند که در تقسیم سلولی، ملکول‌های گوناگون اسید نوکلئیک که ژن‌ها و کروموزوم‌ها را می‌سازند، به‌وسیله روندی خود را رونوشت‌سازی می‌کنند که در آن هر رشته به‌عنوان مدلی برای دیگری خدمت می‌کند.

برای آسان کردن امور، ملکول DNA را درنظر بگیرید که از رشته‌های مضاعف معمولی تشکیل شده است ولی با تنها چهار نوکلئوتید در هر رشته.

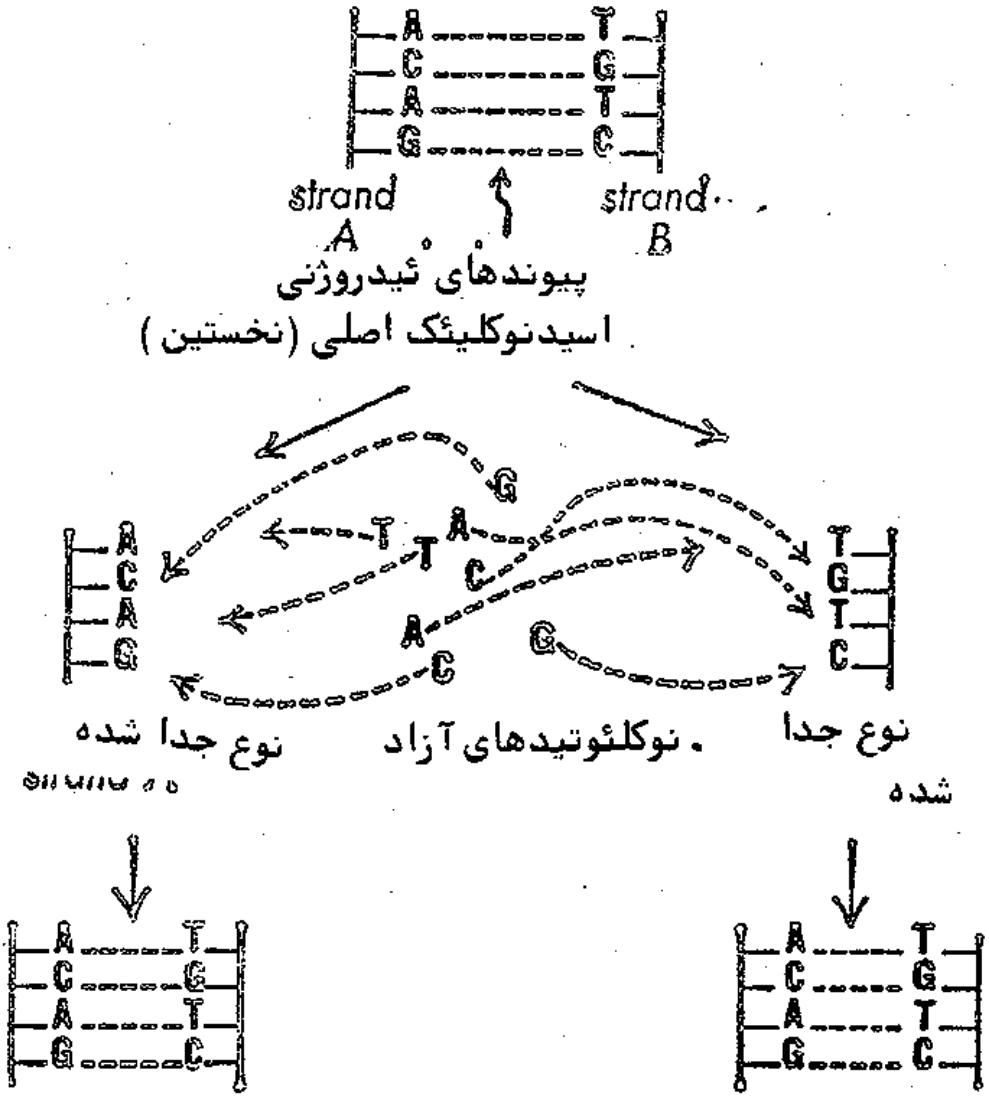
بیاییم بگوییم که رشته A شامل نوکلئوتیدهای حاوی یک آدنین، یک سیتوسین، یک آدنین و یک گوانین در این نظم :-ACAG- طبیعتا"، رشته ب باید شامل نوکلئوتیدهایی حاوی نظم زیر یک تیمین، یک گوانین، یک تیمین و یک سیتوسین : -TGTC.

اینک آن‌ها جدا می‌شوند. رشته الف به‌عنوان یک مدل عمل می‌کند. آن از نوکلئوتیدهای آزاد بهره‌برداری می‌کند، نوکلئوتیدهایی که سلول می‌تواند به‌آسانی تولید کند، ترکیب‌هایی که بنابراین درهرحال درکمیت و تنوع فراوان حضور دارند.

نخستین نوکلئوتید در رشته الف شامل یک آدنین است که به‌طور خودکار پیوند هیدروژنی با یک ملکول اسید تیمیدیلیک thymidylic درست خواهد کرد. در پشت‌سر این "هدفمندی" وجود ندارد. ملکول‌ها ازطریق حرکت کورکورانه و بی‌هدف خود که همیشه همه ملکول‌های درون سلول را تحریک می‌کند به‌آدنین برخورد خواهند کرد.

ممکن است آدنین با برخی از آن‌ها پیوندهای هیدروژنی برقرار کند. به هرحال، قوی‌ترین پیوند از این‌نوع هنگامی شکل خواهد گرفت که یک تیمین به‌نحو مناسبی ضربه می‌زند. تیمین جای هر ملکولی که نقدا" وصل شده است را خواهد گرفت و سایرین نمی‌توانند جای آن را بگیرند. پس از یک‌دوره از زمان که با معیارهای انسانی کوتاه است (یک‌هزارم ثانیه یا کم‌تر) ولی هنوز به حد کافی طولانی است تا اجازه دهد میلیون‌ها برخورد روی دهد، انتهای تیمینی اسیدتیمیدیلیک محکم درجای خود است.

به‌نحو همانندی، دومین نوکلئوتید دررشته که حاوی یک سیتوسین است یـک وابسته (وابستگی) بـا اسید گوانیلیک تشکیل خواهد داد. سخن کوتاه، ACAG رشته ایزوله‌شده الف در دنبالهٔ خود یک رشته TGTC درست خواهد کـرد. درعین‌حال، یـک رشته B ایزوله‌شده در طول ACA خودش یک ACAG- تشکیل خواهد داد. به‌جای رشته مضاعف (دوبل) اصلی، دو رشته مضاعف، درست مانند آنچه در شکل ۵۰ می‌بینید، وجود خواهد داشت.



ـ دو اسید نوکلئیک ـ
همسان و همانند اسید نوکلئیئک اصلی ۱

شکل ۵۰: نسخه‌برداری (همانندسازی)

این مدل واتسن ــ کریک ساختمان اسیدنوکلئیک و نسخه‌برداری (نقشه‌برداری یا مضاعف‌سازی) چنان ساده و غیرپیچیده است (دانشمندان صفت "باذوق" را بکار می‌بردند) و آن‌همه توضیح می‌دهد که سایر بیوشیمیست‌ها بی‌درنگ خواستند تا آن را بپذیرند. درهرحال، دانشمندان انسان هستند و یک‌نظریه واقعا" جذاب بعینه تمنای باور کردن دارد.

ولی بااین‌حال، هرقدر هم نظریه‌ای جذاب باشد، همیشه بهتر است تا ملاک و شواهد روشنی برای پشتیبانی آن داشته باشیم.

دراین‌صورت درنظر بگیرید که در مدل واتسون ــ کریک نسخه‌برداری اسید نوکلئیک، رشته پلی‌نوکلئوتید منفرد DNA هرگز خرد نمی‌شود. یک‌جفت رشته ممکن است جدا شوند و نوکلئوتیدهای آزاد را جذب کنند تا ازمیان آن‌ها رشته نوبی درست کنند ولی رشته قدیمی در این بین دست‌نخورده باقی می‌ماند. هنگامی‌که سلول می‌میرد، البته همه پلی‌نوکلئوتیدهای آن خرد می‌شوند، ولی تا زمانی‌که زندگی طول می‌کشد آن‌ها این‌طور نمی‌کنند.

خوب، دراین‌صورت فرض کنید آزمایشی انجام می‌شود که هرگاه رشته درهم می‌شکند، آن یک نتیجه خواهد بخشید و هرگاه آن‌ها دست‌نخورده باقی بمانند، نتیجه دیگری خواهد داد.

این آزمایش درسال ۱۹۵۸ انجام شد. باکتری‌ها در محیطی حاوی مقدارهای زیادی از گونه سنگین‌تر اتم ازت تکثیر شدند (ازت سنگین به‌اصطلاح "ازت ۱۵" با مقایسه با "ازت ۱۴" معمولی)؛ که به‌وسیله ابزارهای نوین به‌آسانی از گونه (واریته) معمولی تمیز داده شود. به‌تدریج، باکتری‌ها رشد کرده در محیط، ازت (نیتروژن) ۱۵ را مشمول ترکیب‌های گوناگونی به‌ویژه رشته‌های پلی نوکلئوتیدی نو کردند که سنتز می‌کردند. پس از این‌که باکتری‌ها برای مدت زیادی تکثیر می‌شدند، مجازا" همه رشته‌های پلی‌نوکلئوتید حاوی نیتروژن ۱۵ شدند. هر ملکول اسید نوکلئیک را که حاوی دوتا از این‌قبیل رشته‌ها بود، می‌شد "۱۵ــ۱۵" خواندش.

اینک برخی از باکتری‌ها با DNA-"۱۵ــ۱۵" به‌محیطی تغییرمکان یافتند

که حاوی نیتروژن معمولی ۱۴ بود و اجازه یافتند برای دقیقا" دو نسل رشد کنند. انتظار دارید که چه بشود.

هرگاه، رشته‌های پلی‌نوکلئوتید به‌تکه‌های کوچک خرد شد، شاید به نوکلئوتیدهای منفرد، و پس از آن بازسازی شدند، دراین‌صورت تمام رشته‌های پلی‌نوکلئوتید شکل‌گرفته در این دو نسل حاوی نیتروژن ۱۵ می‌بودند. آن رقیق‌شده می‌بود و بر اثر نفوذ اتم‌های عادی نیتروژن ۱۴ کم‌مایه‌تر می‌بود، به‌طوری‌که همه رشته‌های نو نیتروژن ۱۵ کم‌تری می‌داشتند ولی هر رشته باز هم مقداری نیتروژن ۱۵ می‌داشت. اسید نوکلئیک "۱۵–۱۵" باقی می‌ماند و شما نمی‌توانستید یک اسید نوکلئیک را از هرکدام تمیز دهید و مشخص کنید.

ولی فرض کنید که تصویر واتسون ــ کریک درست بود و رشته‌ها فرد نمی‌شدند. در نخستین رونوشت‌سازی، هرکدام از اسیدهای‌نوکلئیک "۱۵–۱۵" به‌دو رشته "۱۵" جدا می‌شدند. با هرکدام از این‌ها، به‌عنوان مدل رشته‌های نوبی ساخته می‌شدند، آن‌ها درهرحال تنها حاوی نیتروژن ۱۴ می‌بودند، به طوری که نسل جدید اسیدهای نوکلئیک، ــ که هرکدام از یک‌رشته قدیم و جدید شکل گرفته بودند ــ همگی "۱۴–۱۵" می‌بودند.

با نسخه‌نویسی دوم، دو رشته اسیدنوکلئیک جدید دوباره جدا می‌شدند. دراین‌بین، نیمی از رشته‌های مدل "۱۵" می‌بودند و نیمی "۱۴" می‌بودند. به‌هرحال، همه رشته‌های جدید شکل‌گرفته در این نسخه‌برداری دوم، "۱۴" می‌بودند. بدین‌ترتیب نسل سوم اسیدهای نوکلئیک بار دیگر به‌دو مقوله (دسته یا طبقه) می‌افتادند، نیمی از آن‌ها "۱۴–۱۵" و نیمی از آن‌ها "۱۴–۱۴".

پس از دو نسل، اسیدهای نوکلئیک به‌دقت آزمایش می‌شدند و دو نوع یکی با نیتروژن ۱۵ و دیگری بدون آن به‌راستی یافت می‌شدند.

نتیجه‌های همانندی از آزمایش‌ها در آزمایشگاه‌های ملی بروک هیون Brook Haven به‌دست آمد، درحالی‌که این‌بار از سلول‌های گیاهی درحال رشد و هیدروژن رادیواکتیو استفاده می‌شد. درنهایت، برخی از کروموزوم‌ها نشان دادند که رادیواکتیو هستند و برخی نبودند.

همه این کارهای انجام‌شده ثابت نمی‌کند که تصویر واتسون ــ کریک درست می‌باشد، ولی آن به‌یقین درست بودن آن را محتمل‌تر می‌سازد. چنانچه نتیجه ازطریق دیگر می‌بود ــ اگر قرار بود تا همه اسیدهای نوکلئیک شکل‌گرفته مثلا "۱۵ــ۱۵" باشند، ــ تصویر واتسون ــ کریک به‌طور کامل و به وضوح خرد و خمیر می‌شد.

ولی این‌طور نشد. درواقع، پژوهش‌ها در سالیان پس‌از زمانی که واتسون و کریک نظریه خود را پیش کشیدند تمایل داشته‌اند تا آن را موردحمایت قرار دهند و امروز به‌ندرت بیوشیمیستی می‌بینید که آن را نپذیرد.

برای یقین خاطر، شمار کمی ویروس گزارش شده است که به‌نظر می‌رسد ملکول‌های اسیدنوکلئیکی دراختیار داشته باشد که تنها از رشته‌پلی‌نوکلئوتیدی مجزا تشکیل شده باشد ــ و این ویروس‌ها نسخه‌نویسی replication را به‌انجام می‌رسانند. *ظاهرا"، این کار درحالی انجام می‌شود که نسخه‌برداری در دو گام انجام می‌شود: رشته مجزا متمم خود را می‌سازد و سپس متمم نسخه‌ای از رشته اصلی را تولید می‌کند.

این آشکارا کم‌تر موءثر است تا روش رشته مضاعف، زیرا آن به‌معنی دفع نیمی از رشته‌هایی است که شکل می‌گیرند. باوجود این که آن کار می‌کند، روش رشته مجزا به‌نظر به‌شمار بسیار کمی از ویروس‌ها محدود می‌شود. بیش‌تر ویروس‌ها و تا بدان‌جا که می‌دانیم، همه آفریدگان سلولی از نسخه‌برداری مضاعف رشته‌ای بهره می‌گیرند.

مدل نسخه‌برداری واتسون ــ کریک مستلزم می‌دارد که رشته‌پلی‌نوکلئوتیدی می‌تواند درطی عمر ارگانیسم (ساختار) ویژه‌ای خود را دست‌نخورده حفظ کند. از روی شانس، ممکن است خود را در سلول تخم یا سلول اسپرم بیابد و سپس پیشاپیش به‌سوی ساختار جدید ادامه دهد و برای طول‌عمر جدیدی راه را ادامه دهد. ازنظر تئوری، حتی ممکن است که در جایی بر روی سطح زمین، رشته‌های

---

*به‌معنی همانندسازی یا درست کردن مانند خود.

پلی‌نوکلئوتیدی هستند که درطی نسل‌های بی‌شماری دوام آورده‌اند ، شاید حتی از بدو پیدایش زندگی .

البته، این نامحتمل است ، بسیاری از رشته‌ها با ساختار تلف می‌شوند ، تنها اقلیت غیرقابل‌توجهی راه خود را به‌درون اووم باردار می‌یابند و برای نسل دیگری طاقت می‌آورند . محتمل است که همه رشته‌های پلی‌نوکلئوتیدی این اقلیت غیرقابل‌توجه ، از نوع ثانویه باشند که درطی دوره طول‌عمر والد شکل‌گرفته‌اند . دراین مورد ، ممکن است بنا بر این باشد که عملا" بـر روی زمین شمار بسیار کمی رشته پلی نوکلئوتیدی وجود داشته باشد که به اندازه یک قرن از عمرش گذشته باشد .

بااین‌حال ، امکان یک جد اولیه درمیان رشته‌های موجود کنونی با سپری کردن ائون‌ها از بدو زمانی که دنیا جوان بود* تصویری نسبتا" نفس‌گیری از وحدت و تداوم زندگی را پیش کشید .

خطاها

آیا **نسخه‌برداری** همیشه کامل است؟ (آیا هرچیزی همیشه کامل است؟) فرض کنید که رشته الف یک تیمین در موقعیت ویژه‌ای دارد و آمادگی کامل دارد تا در آن نقطه به‌آدنین بپیوندد . هم‌چنین فرض کنید که یک گوانین ، تیمین را درست درجهت صحیح خود (سمت‌گیری) ضربه می‌زند تا یک پیوند هیدروژنی تشکیل بدهد . امکان دارد که یک آدنین نتواند با سرعت کافی ضربه بزند تا آن را جابه‌جا کند ، به‌طوری که ردیف (خط) نوکلئوتیدها شکل می‌گیرد و به‌صورت رشته جدیدی به‌هم‌دیگر متصل می‌شود ، درحالی‌که گوانین ناجور را در محل خود متصل می‌کند .

دراین‌مورد ، شما جفت‌رشته‌ها کاملا" مکمل هم A-B را نخواهید داشت ،

---

* ائون eon ـ هر ائون برابر یک بیلیون یاهزار میلیون سال است . عمر زمین در حدود ۴/۵ میلیون سال است . م

درعوض رشته جدیدی تا اندازه ناچیزی از دور خارج خواهد شد و ما A-B' را خواهیم داشت (الف ــ ب پریم) .

در نسخه‌برداری (رونوشت‌سازی) بعدی، دو رشته جدا خواهند شد. الف رشته دیگری دقیقاً" مکمل خود را تشکیل خواهد داد، ازاین‌رو که تصادف‌ها نادر هستند و محتمل نیست که دوبار در یک ردیف روی دهند. درعین‌حال، به‌هرحال در همین رونوشت‌سازی رشته B' (ب‌پریم) مکمل خود را A (آ پریم) را تشکیل خواهد داد. گوانین از جا در رخنه یک سیتوسین به‌خود وصل خواهد کرد، به‌جای تیمین که باید در A حضور داشته باشد.

این بدان معنی است هنگامی‌که اسیدنوکلئیک A-B' (آ ــ ب‌پریم) خود را تکرار می‌کند (نسخه خود را می‌سازد) آن دونوع گوناگون اسیدنوکلئیک A'-B' (ب‌پریم ــ آ پریم) خود را درنقشه‌برداری‌های آینده تداوم می‌بخشد. البته درحالی‌که راه را برای مداخله تصادف جدیدی سد می‌کند.

اسیدنوکلئیک B'-A' (ب‌پریم، آ پریم) شکل‌گیری همان آنزیم را به اندازه A-B سر و سامان نخواهد داد. درهرحال، آن نقشه متفاوتی است، رمز گوانین تغییر یافته است. حضور آنزیم متفاوتی انحراف (بدشکل شدن یا تغییرشکل ازحالت عادی) را در طرز کار سلول وارد خواهد کرد. و ما جهشی خواهیم داشت، حضور مشخصه مختص (صفت اختصاصی) در سلول دختر و عدم‌حضور در سلول والد. (همین‌نوع جهش سلولی است که برخی مردم فکر می‌کنند که آن موجب بروز مکانیسم ناقص برای تنظیم تقسیم سلول می‌شود. یک‌چنین سلول ناقص تقسیم می‌شود درحالی‌که شمار آن‌ها به‌طور فزاینده افزایش می‌یابد ــ این همان چیزی است که سرطان می‌نامیم.

هرگاه اسیدنوکلئیک A'-B' راه خود را به‌داخل سلول اسپرم یا سلول تخم یابد، و از آن‌جا به‌اووم ovum باردار، همه سلول‌های ساختار جدید آن را دراختیار خود خواهد داشت (درحالی‌که راه را برای تغییرات بعدی و آنی سد می‌کند) به‌طوری‌که جهش ساختار جدید را به‌عنوان کلیتی تحت‌تاثیر قرار خواهد داد نه این که تازه برخی از سلول‌های خودش.

ممکن است جهش درنتیجه حلقه‌ای‌شدن رشته در روند نسخه‌برداری باشد. نسخه‌برداری کامل مستلزم می‌دارد تا هر رشته همه اجزای تشکیل‌دهنده نوکلئوتیدهای خود را دراختیار بمباران نوکلئوتیدهای آزاد بگذارد، به‌طوری که هر جزء از رشته قادر باشد تا مکمل خود را انتخاب و دست‌چین کند.

به‌هرحال، فرض کنید که رشته حلقه می‌زند به‌طوری که اجزای در حلقه از رده عمل خارج می‌شوند. رشته عادی با بخشCTAGدر مکمل خود بخشی دارد که به‌رسم GATC است. به‌هرحال هرگاه سهمیهTA به‌صورت حلقه از سر راه برداشته شود وCوGرا به‌هم‌دیگر نزدیک‌تر کنیم ممکن است مکملی شکل گیرد که صرفا "GC"است. دوباره، این رشته غیرعادی مکمل غیرعادی همانندی در نسخه‌برداری بعدی تشکیل داده و یک ملکول اسیدنوکلئیک تولید خواهد کرد که در آن سهمیهTAحلقه شده برای همیشه ازدست رفته است.

هم‌چنین، نوکلئوتیدهای رشته درحال سکون ملکول اسید نوکلئیک ممکن است ازطریق واکنش با ماده‌های به‌ویژه فعال در مجاورت خود تغییر یابد. یک‌چنین تغییرهایی ازطریق نسخه‌سازی، همیشگی و دائم خواهد شد، باز هم جهش.

هر عامل (فاکتور) در محیط که امکان موتاسیون (جهش) را بالا می‌برد، "عامل موتاژنیک" می‌باشد mutagenie agent- از جهش(موتاسیون) و ژنیک ـ ایجادکننده ـ تولیدکننده). به‌نظر، گرما موتاژنیک می‌آید، هم‌چنان که دما بالا می‌رود، میزان موتاژنی درمیان باکتری‌ها یا مگس‌های میوه (یا سایر ساختارهای کوچک) بالا می‌رود. شاید این درست باشد زیرا حتی یک افزایش دما کوچک گره سست و شکننده پیوندهای هیدروژنی تااندازه‌ای ضعیف می‌کند.

تفاوت در مقاومت (محکم بودن) پیوند هیدروژنی بین یک نوکلئوتید و مکمل آن و پیوند هیدروژنی بین نوکلئوتید و غیرمکمل آن ممکن است کاهش یابد. دراین‌صورت چنین است که جایگزین کردن یک گوانین درجایی که باید به‌احتمال زیاد یک آدنین باشد، تا این‌حد برای ایجاد جهش آسان‌تر است.

عامل (واسطه) موتاژنیک، انرژی تابشی است که هم شامل نور فرابنفش نور خورشید و پرتوهای مجهول (اشعه ایکس) و هم‌چنین تابش‌های گوناگون (تشعشع) است که توسط ماده‌های رادیواکتیو ایجاد می‌شود. همه آن‌ها بنیان (رادیکال)های آزاد در درون سلول ایجاد می‌کنند: یک‌چنین رادیکال‌های آزاد تکه‌های ملکول‌ها هستند. معمولا" ملکول‌های آب، از آن‌رو که آن‌ها به مراتب ازنظر شمار بر سایر واریته‌ها در بافت برتری دارند.

بنیان یا رادیکال‌های آزاد بسیار فعال و حساس نسبت به‌واکنش هستند، که با هر ملکولی که برخورد کنند ترکیب می‌شوند و تقریبا" همه آن‌ها را تغییر می‌دهند. هرگاه به‌حد کافی بنیان‌های آزاد شکل گیرد، بعضی‌ها مقید هستند تا با ملکول‌های اسید ـ نوکلئیک برخورد کنند و آن‌ها را تغییر دهند. نتیجه، یک جهش است.

هرگاه دز* به‌طور غیرعادی سنگین باشد، رمز ژنتیک سلول‌های حیاتی ممکن است آسیب بیند تاحدی که سلول‌ها دیگر نمی‌توانند کارکردهای خود را انجام دهند. این منجر به"بیماری تشعشع" و حتی مرگ می‌شود. این همان نوع خطر است که خاکسترهای هسته‌ای برای نوع بشر عرضه می‌کنند.

هم‌چنین ماده‌های شیمیایی وجود دارد که با ترکیب با ملکول‌های اسید نوکلئیک و تغییر ساختمان آن‌ها، میزان جهش را بالا می‌برند. از این‌نوع موتاژن‌های شیمیایی معروف‌ترین آن‌ها عبارتند از گاز خردل (موستارد) که شهره جنگ اول جهانی بود و ترکیب‌های مربوط شده به‌نام "خردل ازتی (نیتروژن موستارد)" می‌باشد.

حتی در بهترین و ملایم‌ترین شرائط، جهش روی خواهد داد زیرا واسطه‌های موتاژنیک را نمی‌توان کاملا" حذف کرد. نور خورشید حاضر است، که دائما" شکل‌های زندگی را تحت فورانی از پرتوهای نور فرابنفش قرار دهد. باید از تابش‌هایی نام برد که از ماده‌های رادیواکتیو موجود در خاک، دریا و هوا به مقدار ناچیز، گسیل می‌شود. هم‌چنین ذره‌های تشعشعی کیهانی که ما را از فضا بمباران می‌کنند. همیشه کار و عمل شانس محض درطی دوره نسخه‌سازی

وجود دارد .

به‌زبان دیگر، تصادف‌ها روی خواهند داد و جهش روی خواهد داد. برای مثال، مرضی به‌نام هموفیلی وجود دارد که در آن خون لخته نمی‌شود (نمی‌بندد)، به‌طوری که حتی یک زخم یا بریدگی جزئی موجب خواهد شد تا کسی که از این بیماری رنج می‌برد دچار خونریزی تا دم مرگ شود. این به علت "خطای ذاتی" در مکانیک شیمیایی بدن است. شخص دچار هموفیلی با ناتوانایی تولید آنزیم یا آنزیم‌های معینی متولد می‌شود، که در مرحله‌ای از مکانیسم بسیار پیچیده لخته شدن لازم است. معمولا" یک‌چنین ناتوانایی در تولید آنزیم (به‌علت ملکول اسید نوکلئیک ناقص در کروموزوم‌ها) به‌ارث می‌رسد. به‌هرحال آن نیز می‌تواند در کودکی از پدر و مادر سالم ــ ازطریق جهش بروز کند. یک‌چنین جهشی به‌طور متوسط می‌تواند به‌نسبت یک مورد از میان سی‌هزار تولد بروز کند (جهش همیشه آشکارا خود را نشان نمی‌دهد. به دلائلی که در این‌جا به‌آن‌ها نخواهم پرداخت، دخترها و نه پسرها ــ ممکن است این ژن ناقص را داشته باشند و باز هم خونی داشته باشند که به‌طور عادی لخته می‌شود (می‌بندد)).

ولی جهش‌ها به‌سادگی از مایه خطای نابودکننده نیستند. برخی تغییرها ــ ازطریق شانس محض ــ ممکن است ساختار را بهتر با محیط خود تطابق دهند.

سیر تکامل ازطریق انتخاب طبیعی، به‌طور نهایی به‌همین امر بستگی دارد. لذا، یک قرن کامل پس از آن‌که داورین نظریه تکامل خود را براساس مشاهدات شاق ساختارها تدوین کرد، دانشمندان آن را درحد و سطح ملکولی با دلیل و مدرک موردتائید قرار می‌دهند.

در نسخه‌سازی اسید نوکلئیکی، نوکلئوتیدهای گوناگون آزاد به‌محض برداشتن موضع های به‌جا و ویژه خود در امتداد زنجیر، باید به‌یکدیگر متصل شوند. ظاهرا" این در دو مرحله انجام می‌گیرد. نخست، فسفات دومی بر روی دم فسفات اولی به‌نوکلئوتید افزوده می‌شود. نتیجه یک دی‌فسفات (۲ تا فسفات) است. نوکلئوتیدهای مجاور سپس جایگزین این فسفات دوم می‌شوند و بدین‌ترتیب دو نوکلئوتید به‌وسیله گروه فسفاتی ثانویه به‌هم چفت می‌شوند. همان‌طور که این امر در تمام طول خط‌روی می‌دهد، یک زنجیر پلی‌نوکلئوتیدی ساخته می‌شود.

یک‌چنین واکنشی باید به‌وسیله آنزیم کاتالیز شود. در سال ۱۹۵۵، شیمی‌دان آمریکایی اسپانیایی‌الاصل به‌نام سورو اکوا Severo Ocho یک‌چنین آنزیم را از باکتری جدا کرد. با افزودن این آنزیم به‌محلول انواع گوناگون دی‌فسفات از نوکلئوتیدها موجب افزایش چشمگیر گرانروی شد. محلول ضخیم و ژله‌مانند شد، نشان بسیار خوبی که ملکول‌های دراز، نازک شکل گرفته بودند.

هرگاه کسی با یک نوع ترکیب، مثلا" ادنوزین دی‌فسفات شروع کند (نام به‌اسید آدنیلیک داده شده است که دارای گروه دوم فسفات است)، دراین صورت زنجیر پلی‌نوکلئوتیدی مرکب از سری‌های اسید آدنیلیک شکل می‌گیرد. این اسید پلی‌آدنیلیک یا AAAAAAAA... است. با شروع با دی‌فسفات اوریدین، اسید پلی‌اوریدیک یا UUUUUUUU.... را می‌توان سنتز کرد، و الی آخر. هرکس می‌تواند با دو، سه یا چهار دی‌فسفات‌های گوناگون نیز شروع کند و با زنجیرهای پلی‌نوکلئوتیدی حاوی دو، سه یا چهار جزء پایان دهد.

ساخته شدن زنجیر در ابتدا کند است، نوعی "دوره کندروی" وجود دارد. پس از مدتی، هنگامی که قسمتی از زنجیر نقدا" شکل گرفته است، آن به‌عنوان

هسته‌ای عمل می‌کند که دور آن می‌توانند بیش‌تر شکل گیرند و واکنش بالا می‌گیرد. دوره کندروی را می‌توان به‌کلی حذف کرد. به‌شرطی که مقداری از پلی‌نوکلئوتید اضافه شود تا به‌عنوان متقدم (پیش‌آهنگ) آغاز کند.

هرگاه ما اسیدهای پلی‌دنیلیک را به‌محلولی از دی‌فسفات آدنوزین افزاییم، اسید پلی‌ادنیلیک اضافی به‌تندی شکل می‌گیرد. هرگاه اسید پلی‌یوریدیلیک به‌محلول دی‌فسفات آدنوزین افزوده شود، به‌هرحال شکل‌گیری اسید پلی‌ادنیلیک تسریع نمی‌شود. اسید پلی‌یوریدیلیک، متقدم اشتباهی است.

کار اکوا با RNA بود. سال بعد، ۱۹۵۶ بیوشیمیست آمریکایی به‌نام آرتور کورنبرگ همان کار را با DNA انجام داد. او آنزیمی را جدا کرد که زنجیرهای دراز پلی‌نوکلئوتیدی ازمیان دی‌اکسی نوکلئوتیدهای مجزا تشکیل می‌داد. که بر روی آن سه (نه دو) گروه فسفاتی باید یافت می‌شد. یک‌چنین نوکلئوتیدی، "تری‌فسفات‌ها" هستند. (تری‌فسفات آدنوزین یا ATP (آدنوزین تری‌فسفات با حرف اول هریک) که قبلا" تذکر داده شد یک مثال است).

به‌هرحال، در این‌جا او واریته‌های DNA ساخته‌شده‌ازنوع مجزای نوکلئوتید را تشکیل نداد (حداقل نه با این آنزیم موردنظرویژه). به‌جای آن زنجیرهای DNA تنها هنگامی تشکیل می‌شدند که چهارگونه گوناگون دی‌اکسی نوکلئوتیدها در محلول حضور داشتند. فزون بر این، DNA تنها هنگامی تشکیل می‌شد که نمونه‌ای از DNA دراز زنجیر علاوه بر تری‌فسفات‌ها، نقدا" در محلول وجود داشت. *

ظاهرا"، تشکیل دو نوع گوناگون اسد نوکلئیک به‌نحو گوناگونی در لوله آزمایش پیش می‌رفت. RNA به‌وسیله افزودن یک نوکلئوتید به‌دیگری بدون لزوم هر مدل راهنما تشکیل می‌شد. متقدم‌ها تنها به‌عنوان هسته‌های مفید بودند که بر روی آن‌ها نوکلئوتیدهای بعدی می‌توانستند شکل بگیرند و زنجیرهای

---

* *برای این کار اکوا و کورنبرگ مشترکا" برنده جایزه نوبل ۱۹۵۹ در رشته طب و فیزیولوژی شدند.*

ساخته‌شده ا همان نوع یکسان متقدم بودند نه مکمل آن . به‌هرحال DNA به‌نظر می‌رسید که به‌وسیله نسخه‌برداری، حتی در لوله آزمایش شکل می‌گرفت .

این به‌نظر مستدلل می‌باشد ، از آن‌رو که آن DNA است نه RNA ، این اسید نوکلئیک مختص ژن‌هـا و کروموزوم‌ها است . ایـن DNA است نـه RNA که ماده نسخه‌برداری در سلول‌ها است .

این بدان معنی نیست که ملکول‌های RNA نمی‌توانند سرگرم نسخه‌برداری شوند زیرا آن می‌تواند ، دلیل آن به‌سادگی این است که شماری از ویروس‌های ساده‌تر تنها شامل RNA هستند و نه DNA ، به‌هیچ‌وجه . یک نمونه ازآن ، همان گونه که قبلا" بیان شد ، ویرس معروف موزائیک توتون است ، نخستین ویروسی که بلوری می‌شود (خود را به‌شکل بلور درمی‌آورد) . هنگامی‌که ویروس موزائیک توتون سلولی از برگ بوته توتون را مبتلا می‌سازد ، آن در درون سلول تکثیر می‌شود و ملکول‌های جدید ویروس تا صدها شکل می‌گیرند .

هر ملکول جدید حاوی یک RNA ملکول متفاوت از هر ملکول RNA در توتون ولی یکسان و یکی همان با RNA ویروس مهاجم اصلی است . ملکول‌های جدید RNA تنها می‌توانست با نسخه‌برداری شکل گرفته باشد .

درهرحال ، زندگی برپایه نسخه‌برداری RNA به‌طور مبرهن مانند زندگی برپایه موفقیت‌آمیز نیست . تنها ویروس‌های ساده ، نمونه‌هایی از مورد قبلی است . ویروس‌های پیچیده‌تر و تمام حیات سلولی بدون هیچ استثنا شناخته شده برپایه نسخه‌برداری DNA ئی است .

ولی بااین‌وجود همه حیات سلولی فزون بر DNA ، RNA را نگه می‌دارد و هر گونـه‌ای دارای واریتـه (نوع گوناگون) هـای RNA مختص را دارد . چگونـه ملکول‌های ویژه RNA بدون نسخه‌برداری درطی نسل‌ها ساخته و حفظ می‌شوند؟

به‌نظر پاسخ این می‌آید کـه ملکول‌های RNA را می‌توان با استفاده از DNA به‌عنوان مدل ساخت . بسیاری از بیوشیمیست‌ها تا سالیان متمادی این فرض را می‌کردند ولی شهود و ملاک روشن از آن تنها در سال ۱۹۶۰ عرضه شد .

درآن‌هنگام معلوم شد که ملکول‌های DNA قادر بودند تا به‌عنوان متقدم

برای شکل‌گیری ملکول RNA ازمیان ریبونوکلئوتیدها عمل کنند و حتی برای شکل‌گیری یک ملکول RNA مکمل متقدم DNA

هرگاه DNA ساخته‌شده از نوع مجزای نوکلئوتید ازقبیل اسید پلی‌دی‌اکسی تیمیدیلیک-Polydeoxythymidylic acid... TTTTTT) به‌عنوان متقدم استفاده می‌شود، یک ملکول RNA ساخته می‌شود که آن نیز حاوی نوع مجزای نوکلئوتید است. در این مورد این اسید پلی‌آدنیلیک است (AAAAAAAA.....) از آن‌رو که تیمین و آدنین مکمل هستند.

هرگاه DNA مرکب از هم اسید دی‌اکسی‌تیمیدیلیک و اسید دی‌اکسی‌آدنیلیک به‌عنوان متقدم به‌کار رود، دراین‌صورت RNA مرکب از اسید ادنیلیک مکملی و اسید اوریدیلیک شکل می‌گیرد.

به‌هر تخمین موردنظر که بتوان گفت، اسیدآدنیلیک همیشه مخالف اسیدهای دی‌اکسی‌تیمیدیلیک شکل می‌گیرند درحالی‌که اسیدهای اوریدیلیک مخالف اسیدهای دی‌اکسی آدنیلیک شکل می‌گیرند.

شکل‌گیری RNA مکملی حتی هنگامی روی می‌دهد که نوکلئوتیدهایی از نوع غیرمکملی دم‌دست هستند. به‌زبان دیگر هرگاه هر چهار نوکلئوتیدها در محلول حضور داشته باشند، یک متقدم DNA ئی ساخته‌شده از اسید دی‌اکسی‌تیمیدیلیک باز هم تنها اسیدهای آدنیلیک را برخواهند گرفت و دیگران را دست‌نخورده پشت‌سر خود باقی می‌گذارد.

تمام این شهود و ملاکی نه‌تنها به‌نفع تولید RNA بر روی مدل‌های DNA ئی نیست بلکه شهود اضافی برله مدل نسخه‌سازی واتسون ــ کریک است.

پس، نتیجه‌گیری این است: DNA عامل نهایی رمز ژنتیک در زندگی سلولی است. هرگاه RNA رمز را نیز حمل کند، آن تنها بدین‌علت می‌باشد که اطلاعات به‌وسیله DNA بر روی آن حک شده است.

دراین‌مورد، چرا RNA به‌کلی موردنیاز است؟ هرگاه آن صرفا" بچه‌دلقک مقلد است، دیگر چه داریم بگوییم. بیاییم بعدا" به‌این بپردازیم.

فصل ۱۰:

پیام‌آور از هسته

فوائد -RNA-

حتی باوجود این‌که RNA به‌عنوان جز (موءلفه) اصلی کروموزوم‌ها شناخته نشده بود، اهمیت RNA به‌یقین در سال‌های پیش از مدل واتسن ــ کریک بیش ازحد ارزیابی نشده بود. هرگاه موردی پیش آمده بود به‌علت رابطه روشن بین DNA و سنتز پروتئین، بیش ازحد ارزیابی شــده بود (در آن اغــراق شده بود.م).

به‌نظر می‌رسد که غلظت DNA در سلول‌های گوناگون ساختار ویژه موردنظر، ثابت باشد.

هر سلول، خواه درحال رشد است یا نه، خواه درحال تراوش دائمی ماده است یا نه، همان مقدار DNA را دارد. این غیرمنتظره نیست، از آن‌رو که هر سلول همــان مجموع (دست) کروموزوم‌ها را دارد و این‌جا است که DNA جا گرفته است.

درواقع، استثناهای صرف عبارتند از سلول‌های تخم و سلول‌های اسپرم. آن‌ها تنها یکی از هریک از جفت‌کروموزوم‌ها را دارند، به‌عبارتی نیمی از

مجموع (یک‌دست set-) و هیچ‌کس تعجب نمی‌کند که آن‌ها حاوی تنها نیمی از مقدار RNA هستند که در سلول معمولی وجود دارد.

به‌هرحال، غلظت RNA در سلول‌های گوناگون ساختار ویژه‌ای در دامنه پهنی تغییر می‌کند. آزمایش‌های انجام‌شده در دیرباز تا دهه ۱۹۴۰ بدون استثناء همواره نشان داده‌اند که غلظت RNA درجایی که میزان سنتز پروتئین بالاتر است، (آن‌هم) بالاتر است.

سلول‌های درحال‌رشد، با مقایسه با سلول‌های در سکون ازنظر RNA غنی‌تر می‌باشند. به‌هرحال سلول درحال‌رشد بین زمانی که شکل می‌گیرد و زمانی که آمانده تقسیم مجدد است باید محتوی پروتئین خود را دوبرابر کند. هنگامی که بخشی از بافت رشد می‌کند و بخشی نمی‌کند، غلظت RNA دربخش درحال رشد بالاتر است.

سلول‌هایی که ترشح‌هایی غنی در پروتئین ازنظر محتوی تشکیل می‌دهند ــ سلول‌های پانکراس و کبد، برای مثال ــ هم‌چنین در RNA غنی می‌باشند.

فزون بر این، هرگاه آنزیم‌هایی که خرد شدن RNA را به‌سرانجام می‌رسانند (ولی به DNA اثری ندارند) به‌محیط اطراف سلول افزوده می‌شوند، به‌طوری‌که ملکول‌های RNA درواقع ازهم دیگر پاره شده، تولید پروتئین به‌ایستایی می‌رسد.

همه شهود و ملاک را روی هم بگذارید و به‌نظر می‌رسد که شکلی نباید باشد تا RNA به‌طور عمیقی در سنتز پروتئین مشمول شده است. این است اهمیت سنتز پروتئین برای زندگی که این شهود و ملاک چند پیشنهاد در همان بدو دهه ۱۹۵۰ پیش کشید مبنی بر این‌که RNA واریته اساسی‌تر و حیاتی‌تر ملکول اسید نوکلئیک است.

به‌هر تقدیر، این موضع لــه RNA-(pro-RNA) هنوز برقرار نشــده است. همه شهود و ملاک انباشت‌شده این را کاملا" روشن می‌سازد که این DNA است کــه متقدم (اولیه) است و این کــه RNA-تولید به‌اصطلاح ثانویه است، که DNA مدلی برای آن است. این دیدگاه از این واقعیت ناشی می‌شود که RNA موجود در کروموزوم‌ها به‌کم‌تر از ده درصد مجموع کل اسید نوکلئیک است درحالی که

در درون نوکلئوس(هسته) ساختمان کوچکی وجود دارد که نوکلئولوس nyoo-klee' oh-lus=nucleolus- خوانده می‌شود از واژه لاتینی به معنی "نوکلئوس کوچک") که به‌نظر می‌رسد اکثرا" یا کاملا" RNA می‌باشد. به نظر عاقلانه است فرض شود که RNA دائما" در موضع های DNA کروموزوم‌ها تشکیل می‌شود و سپس در نوکلئولوس ذخیره می‌شود.

از آن‌جا که سنتز پروتئین اصولا" در سیتوپلاسم روی می‌دهد، باید در آن‌جا RNA یافت شود و به‌راستی چنین است. درواقع، بخش اصلی RNA سلولی در سیتوپلاسم است، با وجود این‌که هیچ ئی به‌هیچ‌وجه در آن‌جا حضور ندارد. این بدان‌معنی است که هم‌چنان که تشکیل می‌شود باید از هسته به‌خارج و در سیتوپلاسم عبور کرده باشد. بررسی‌ها با میکروسکوپ الکترونی در عمل ماده‌هایی را عکس‌برداری کرده‌اند که از هسته (نوکلئوس) به‌بیرون زده بود و به‌سیتوپلاسم کشیده شده بود و این "ورم "ها (همان‌گونه که تلویحا" به‌زبان ویژه زرگری نام‌گذاری شده‌اند) حاوی RNA هستند.

پس، RNA رمز ژنتیک را از DNA کروموزوم می‌گیرد و پیام را به‌سیتوپلاسم انتقال می‌دهد، درجایی که آن ناظر بر تشکیل پروتئین است. پیش‌ترها، در تشریح نظریه یک ژن ــ یک آنزیم من گفتم که به‌نظر می‌رسد که گویا تنها کارکرد هر ژن ویژه تشکیل آنزیم ویژه‌ای است. این هنوز درست است ولی نباید فکر کرد که این در مرحله مجزایی روی می‌دهد. بیش‌تر، ژن ویژه مورد نظر DNA، RNA ویژه‌ای تشکیل می‌دهد که این هم به‌نوبهٔ خود، آنزیم ویژه را تشکیل می‌دهد. شاید اینک باید آن را نظریه یک DNA یک RNA یک زنجیر پلی‌پپتید خواند.

هرگاه ما چیزی همانند را در تکنولوژی بشری را درنظر بگیریم، می‌توان علت پشت‌سر این سیستم دوگانه اسیدهای نوکلئیک در سلول را آسان‌تر دید. درحدود بیش از یک‌ونیم قرن، سیستم متریک برقرار شد و برای نخستین‌بار، دانش یک سیستم واقعا" مفیدی از اندازه‌گیری دراختیار خود داشت.

یکی از واحدهای بنیادی سیستم متریک، همان "متر" بود که در اصل به

عنوان یک‌ده میلیونیم فاصله بین استوا تا قطب شمال درطول نصف‌النهار پاریس تعریف و مشخص شده بود. به‌هرحال چنین مقدر شد که این فاصله دقیقا" شناخته نشود، به‌طوری که بالاخره متر را به‌عنوان فاصله بین دو علامت بر روی میله پلاتین ــ ایریدیم تعریف شد، میله‌ای که در قفسه‌ای محافظت شده از نزدیک با تهویه مطبوع در حومه پاریس نگهداری می‌شود.

این میله را "متر نمونه بین‌المللی" می‌خوانند. هر کشوری که به‌پیمان برقراری بین‌المللی سیستم متریک می‌پیوست، یک کپی از این استاندارد را دریافت می‌کرد، که هر کپی، یک "متر پیش‌نمونه ملی" محسوب می‌شد. به نوبه خود، هر ملتی پیش‌نمونه ملی خود را به‌کار گرفت تا میله‌های اندازه‌گیری خود را که برای هدف‌های صنعتی، تجارتی و تکنولوژیکی تولید می‌کرد، استانداردیزه کند.

از پیش‌نمونه‌های ملی به‌خوبی نگه‌داری می‌شد، چون هرگاه هر حادثه‌ای که بر سر میله معمولی اندازه‌گیری (یا بدتر، بر سر یکی از ماشین‌های تنظیم شده برای تولید این‌چنین میله‌ها)، می‌آمد، همیشه می‌توانستند خطا را با مراجعه به‌پیش‌نمونه ملی اصلاح کنند. هرگاه حادثه‌ای بر سر پیش‌نمونه ملی می‌آمد، حتی این خطا را می‌توانستند با مراجعه به‌پیش‌نمونه بین‌المللی اصلاح کنند.*

موقعیت اسید نوکلئیک به‌نظر می‌رسد همانند این است. DNA "یک پیش‌نمونه هسته‌ای" است، همتراز پیش‌نمونه بین‌المللی در سیستم متریک. بنابراین در هسته "نوکلئوس) به‌امن محافظت می‌شود تا از دنیای بی‌در و پیکر و خشن سیتوپلاسم به‌دور باشد. ملکول‌های RNA "پیش‌نمونه‌های سیتوپلاسمی" هستند

** احتمالا" ممکن است حادثه‌ای برای پیش نمونه بین‌المللی روی دهد، بنابراین در سال ۱۹۶۰ از نظر بین‌المللی توافق شد که سیستم متریک را بر پایه طول موج‌های نور ایجاد شده توسط نوع ویژه‌ای از اتم گاز نادر کریپتون قراردهند، که گرم شده‌است. اینک، اندازه‌گیری‌ها محکم به‌واقعیت غیرقابل تغییر طبیعی (امید است) چسبیده است).*

که از اهمیت کم تری برخوردارند و معادل پیش‌نمونه ملی وحتی میله‌های معمولی اندازه‌گیری می‌باشند . این می‌تواند در وظیفه شاق سنتز پروتئینی ریسک شود.

حال ، حتی ممکن است بتوانیم دلیل قابل‌قبولی برای این واقعیت بیابیم که DNA شامل تیمین است درجایی که RNA شامل اوراسیل است . تفاوت علمی بین ایندو پیریمیدین همان‌قدر جزئی است که هرکس می‌تواند با نشستن بر روی یک گروه مجزای متیل تصور کند . فزون بر این ، گروه متیل در چنان موقعیتی قرار گرفته است (به‌شکل ۴۸ مراجعه کنید) تا گویا با تشکیل پیوندهای هیدروژنی با آدنین مداخله و ممانعت نکند . در DNA ، آدنین با تیمین مرتبط خواهد شد درحالی‌که در RNA آن با اوراسیل خواهد پیوست ، به‌نظر تفاوت مهمی بین این‌دو پیوند وجود ندارد . درواقع ، هنگامی که یک ملکول DNA خود را نسخه‌سازی می‌کند ، تیمین‌ها خود را در موقعیت‌های آدنین می‌چسبانند ، هنگامی که همان ملکول DNA یک RNA تولید می‌کند ، اوراسیل‌ها خودشان را به آن‌جا خواهند چسباند . در این‌جا به‌نظر هیچ مشکلی در پریدن از یکی به دیگری وجود ندارد .

پس ، ممکن است (این امعان‌نظر خود من می‌باشد) که اوراسیل صرفا " به عنوان "برچسبی " برای RNA خدمت می‌کند . دو اسید نوکلئیک به‌هر تقدیر ، از سرنوشت‌های متفاوتی رنج می‌برند . DNA درهمه‌حال در کروموزوم‌ها باقی می‌ماند ، درحالی‌که RNA نه صرفا " کروموزوم‌ها را ترک می‌کند ، جایی که در آن تشکیل شده است ، بلکه از کل هسته (نوکلئوس) به‌خارج می‌گذرد .

هرگونه مکانیسمی اجازه می‌دهد تا RNA هسته را ترک کند و DNA را در آن جا نگه می‌دارد ، باید روشی برای تمیز دادن بین آن‌ها داشته باشد و عامل تمیز و مشخص کردن نبایستی همان یکی باشد که در کارکرد اسید نوکلئیک دخالت و ممانعت می‌کند (ایجاد تداخل می‌کند) .

دراین‌صورت چرا نه ، به‌عنوان حداقل بخش تمیز دادن ، غیبت گروه مبتذل میتل در RNA که به‌طور تناوبی در DNA پدیدار می‌شود .

هرگاه ، سیتوپلاسم جایی باشد که در آن‌جا RNA پروتئین سنتز می‌کند ، بیایید لمحه‌ای به‌آن نگاه بیندازیم . سیتوپلاسم به‌هیچ‌رو سیال صاف و همگن نیست ، آن سیستم پیچیده‌ای است شامل هزاران روی هزاران جسم‌ها با اندازه‌ها ، شکل‌ها و کارکردهای گوناگون است .

معروف‌ترین مورد این جسم کوچک یا ذره‌های ریز پارتی کولیت particulate- به‌نام میتوکوندریا - mytoh=mitoch ondri -Kon'd-ree- از واژه یونانی به‌معنی "رشته‌های دانه‌ای" خوانده می‌شود . میتو کاندری‌ها به‌شکل میله با قطرهایی از ۱ تا پایین‌تر ۰/۵ میکرون و طول تا ۷ میکرون (هر میکرون برابر $\frac{۱}{۱۰۰۰۰}$ سانتی‌متر است) می‌باشند . شاید ۲۰۰۰ میتوکوندری هستند که به‌طور هماهنگ در محدوده درون سیتوپلاسم یک سلول متوسط توزیع شده‌اند .

در اواخر دهه ۱۹۴۰ و اوائل دهه ۱۹۵۰ برای جداکردن هسته‌های سلول‌ها از سیتوپلاسم و سپس جدا کردن انواع گوناگون ذره‌های ریز – پارتی کولیت در درون سیتوپلاسم روش‌هایی ابداع شد . هم‌چنان که بررسی میتوکوندری‌ها ممکن شد ، کشف گردید که آن‌ها "نیروگاه" سلول هستند . یعنی عملا" همه واکنش‌های شیمیایی که با خرد کردن کربوهیدرات‌ها یا ملکول لیپید تولید انرژی می‌کنند ، در درون میتوکوندری‌ها ادامه می‌یابد، که حاوی تمام آنزیم‌های ضروری و کوآنزیم برای این هدف می‌باشد .

در طی دهه ۱۹۵۰ ، کار بیش و بیش‌تری با میکروسکوپ الکترونی انجام شد که میتوکوندری‌ها را به‌حد کافی درشت کرد تا دانشمندان کشف کنند که آن‌ها بیش‌تر از هر چیزی ، ساختمان‌های پیچیده‌ای هستند . کنجکاوی نسبت به‌آن‌ها به‌راستی بیش‌تر شد و ذره‌های ریزد دیگری (پارتی‌کولیت) به‌اصطلاح تحت‌الشعاع میتوکوندری‌ها قرار گرفتند .

برای مثال، ذره‌های ریز کوچک‌تری وجود داشتند، که میکروسوم (-microsome-) نامیده می‌شدند، از کلمه یونانی به‌معنی "جسم های کوچک" که هرکدام درحدود $\frac{1}{100000}$ اندازه میتوکوندری‌ها بودند. تا مدتی آن‌ها کم و بیش به‌فراموشی سپرده شدند. حتی باور می‌کردند که آن‌ها صرفا "تکه‌های میتوکوندری‌ها بودند که درطی جداشدن پارتی‌کولیت‌ها شکسته شده بودند.

به‌هرحال واقعیتی بود که علیه این به‌مخالفت برمی‌خاست و کنجکاوی ویژه‌ای را درمورد میکروسوم‌ها برانگیخت. این موضوع ترکیب شیمیایی بود.

میکروکوندری‌ها حاوی پروتئین و ماده‌های چربی معینی حاوی فسفر به‌نام "فسفولیپید" می‌باشد. روی هم، این دو نوع ماده، تقریبا" تمام ماده میتوکوندری را تشکیل می‌دهند. مقدار اسید نوکلئیک در میتوکوندری بسیار کم است. تنها ۰/۵ درصد ماده آن -RNA- است.

از آن‌جا که میتوکوندری مشغول واکنش‌های انرژی‌زایی است (تولید انرژی) که برای آن لزومی به RNA نیست، این بسیار غیرمنتظره نیست. با این وجود، سیتوپلاسم از -RNA-غنی می‌باشد. چنان‌چه آن در میتوکوندری نیست، پس کجاست.

معلوم شد که RNA- در میکروزوم قرار دارد که معلوم شد از نظر اسید نوکلئیک غنی می‌باشد. از آن‌جا که چنین بود، احتمال زیادی نمی‌رفت که آن‌ها صرفا" تکه‌پاره‌های میتو ـ کوندریان بودند، درحالی که این مورد اخیر ازنظر اسید نوکلئیک بی‌چیز بود. بیش‌تر، میکروسوم‌ها بایستی پارتی ـ کولیت (ذره‌های بسیار ریز) یا کارکرد مستقل می‌بودند. از دیدگاه محتوی RNA ئی خود آیا آن‌ها نباید موضع سنتز پروتئین باشند.

این فرضیه از راه شهود و ملاک تجربی پیش کشیده شد. سلول‌هایی که

اسید آمینه رادیواکتیو به‌خوردشان داده بودند ، اسیدها را به‌صورت زنجیرهای پلی‌پپتیدی جان دوباره بخشیدند (تبدیل کردند)، به‌طوری که خود پروتئین‌ها که پس از آن در محدوده درون سلول تشکیل می‌شدند ، به‌صورت رادیواکتیو درخواهند آمد .

هرگاه به‌سلول امکان دهند تا تنها برای مدت بسیار کوتاهی درحال‌تماس با اسیدهای آمینه رادیواکتیو باقی بماند وسپس بلافاصله درجستجوی رادیواکتیو بودن آن بربیاییم تنها پروتئین در موضع بلافصل شکل‌بندی پروتئین قادر بوده است تـا رادیواکتیویته را برچیده باشد . **هنگامی‌که** این جستجو به‌اتمام می‌رسید ، درواقع ، رادیواکتیویته تنها در تکه **میکروسومی** یافت می‌شد . بنابر این ، میکروسوم‌ها آشکارا کارخانه‌های پروتئین‌ساز سلول بودند .

اینک ، میکروسکوپ الکترونی دیگر بر روی میکروسوم‌ها متمرکز می‌شد . در سال ۱۹۵۳، بیوشیمیست آمریکایی رومانی‌الاصل به‌نام جرج . ائی . پالاد ذره‌های ریزی یافت که به‌طور چگال (با شدت زیاد) بر روی شبکه غشاءها توزیع شده بودند ، غشاءهایی که با تکه میکروسومی همراهی می‌کردند . تا سال ۱۹۵۶، او ایـن ذره‌های ریز (هرکدام درحدود ـــــــــ اندازه میتوکوندزین و شاید نه بسیار بزرگ‌تر از ژن‌های منفرد) را ایزوله کرد و کشف کرد که آن‌ها تازه حاوی خدود تمام RNA را در تکه میکروسومی بودند .

درواقع ، تاحد زیادی چون ۹۰ درصد RNA در برخی سلول‌ها در این پارتی کولیت‌های متعدد یافت می‌شود که از ✓ و پروتئین با نسبت حدود ۵۰ــ۵۰ ساخته شده‌اند . آن‌ها را به‌نام ریبوزوم خواندند و درطی اواخر دههٔ ۱۹۵۰ و اوائل دهـهٔ ۱۹۶۰ ، کنجکاوی درمورد آن‌ها بـه‌حدی رسید که درعمل میتو کندرین‌ها را تحت‌الشعاع قرار دادند .

RNA در موضع

در اواخر دههٔ ۱۹۵۰ ، بیوشیمیست‌ها با اشتیاق فکر می‌کردند که در

ریبوزوم‌ها آن‌ها کلید مهم برای مسئله سنتز پروتئین را یافته‌اند. جنین باور می‌شد که هر ژن از راه نسخه‌سازی واتسن ــ کریک RNA-تولید می‌کرد و این‌که RNA پس از سفر به‌سیتوپلاسم، جمع می‌شد. تا ریبوزوم‌های منفرد تشکیل بدهد.

این بدان معنی خواهد بود که هر آنزیم متفاوت سلول به‌وسیله ریبوزوم مشخصی تولید خواهد شد که به‌وسیله ژن مشخصی تولید شده بود. باور نمی‌شد که هر ریبوز می‌توانست یک آنزیم متفاوت را کنترل کند. شمار زیاده ازحدی ریبوزوم برای این امر وجود داشت، بلکه بیش‌تر احساس می‌شد که شماری از ریبوزوم‌ها برای این آنزیم‌ها مسئول می‌شوند تعدادی برای این آنزیم، شماری برای آنزیم دیگر و الی آخر.

این واقعیت که سلول تحت شرائط متفاوتی می‌تواند آنزیم‌ها را با میزان تندی مختلفی بسازد، این امر را بیش‌تر موردقبول می‌کرد. آیا این بدان معنی بود که معمولا" ، سلولی تنها بخش(سهمیه) از ریبوزوم‌هایی را به‌کار خواهد برد که ماموریت تولید آنزیم ویژه‌ای دارند ولی این‌که در این وضع اضطراری، اغلب آنزیم‌های مامور وادار به‌فعال بودن می‌شدند؟

متاسفانه، مشکلات بروز کرد. گاه آنزیمی با چنان درجه(میزان) بالایی از تندی تشکیل می‌شد که هرکس می‌بایستی فرض کند که ریبوزوم‌های بسیار زیادی وارد عمل می‌شدند ــ چنان‌بسیار متعدد که درواقع این غیرعاقلانه می‌آمد که باور شود که یک‌چنین تکه بزرگی از ریبوزوم‌ها تنها مامور یک آنزیم می‌شدند. ولی آلترناتیو(شق)دیگر چه بود. فرض کنید تنها چند ریبوزوم در عمل مامور تولید آنزیم بودند. دراین صورت، برای به‌حساب آوردن تولید به‌ویژه سریع این آنزیم، هرکس باید فرض کند که ریبوزوم منفرد قادر به‌تشدید ظرفیت تشکیل پروتئین خسود تا چندین برابر بود و قادر بود به‌کارآیی‌های کارکردنی برسد که کاملا" غیرقابل باور بود.

هیچ کدام از آلترناتیوها جور درنمی‌آمد.

در رابطه با ابتلای سلول با ویروس، مشکل دیگری قد علم کرد. سلول

مبتلا به‌ویروس درست مانند سلول مبتلانشده به‌تولید پروتئین با همان میزان ادامه می‌دهد، ولی ماهیت پروتئین تشکیل‌نشده دچار تغییری می‌شود. ورود یک ویروس به‌منزلهٔ پایانی برای تشکیل پروتئین خود سلول و آغازی برای تولید پروتئین ویروسی است. ولی با توجه به‌کوچکی ویروس این ناممکن به نظر می‌رسد. یک ویروس تنها می‌تواند تعداد بسیار کمی ریبوزوم نگه دارد، چگونه این تعداد کم، از هزاران ریبوزوم حاضر در سلول پیشی بگیرد.

بالاخره، مسئله خود RNA ریبوزومی نیز وجود داشت (ملکول‌های RNA که ریبوزوم تشکیل می‌دادند). آن ترکیبی مخصوص به‌خود داشت که تمام ایده را تضعیف می‌کرد.

ملکول‌های DNA از گونه‌ای به‌گونه دیگر را بسیار متمایز می‌بینیم. برخی گونه‌ها ملکول‌های DNA ئی دارند که ازنظر آدنین، غنی ولی ازنظر گوانین فقیر هستند که نسبت به‌مقدار بالایی هم‌چون ۳ به ۱ می‌رسد. عده‌ای دارای ملکول‌های DNA که ازنظر آدنین فقیر هستند ولی ازنظر گوانین غنی هستند که نسبت به‌مقدار پایینی هم‌چون ۱ به ۳ می‌رسد.

هرگاه RNA ریبوزومی به‌وسیله DNA کروموزوم‌ها تشکیل شود، آن باید به احتمال زیادی این تفاوت‌ها را در نسبت پایه‌ای منعکس سازد. یعنی درصورتی که مدل نسخه‌برداری واتسون ــ کریک درست باشد. به‌هرحال، RNA ریبوزومی نسبت به‌متغیر از گونه‌ای به‌گونه را منعکس نمی‌کند.

در RNA ریبوزومی چهار نوکلئوتید تاحد زیادی هماهنگ توزیع شده‌اند، بنابراین در همه گونه‌های ساختار بررسی‌شده کشف شد.

آیا مدل نسخه‌برداری واتسون ــ کریک مادرست بود؟ پس از همه‌چیز، نظریه تترانوکلئوتید درست بود؟ بیوشیمیست‌ها نمی‌توانستند به‌قبول آن تن دردهند. آن‌ها دنبال توضیح رفتند و در سال ۱۹۶۰ آن را یافتند. به‌نظر می‌رسید که آن‌ها در سه یا چهار سال دنبال ردپای اشتباهِ می‌گشتند.

ریبوزوم‌ها به‌حق موضع تولید پروتئین هستند ولی RNA ریبوزومی وسیله‌ای نیست که این کار با آن انجام می‌شود. RNA ریبوزومی رمز ژنتیک را حمل

نمی‌کند، آن صرفا" به‌عنوان ستون فقرات ساختمانی ریبوزوم خدمت می‌کند. آن چیزی مانند "شاه‌کلید" است که می‌توان طوری ساخت که به‌هر قفلی بخورد، به‌شرطی که به‌شکل به‌جا و درست خود درآورده باشند.

دراین‌صورت باید نوع دیگری از RNA وجود داشته باشد. یکی که به‌وسیله نسخه‌برداری واتسون ــ کریک از ژن شکل می‌گیرد، یکی که رمز ژنتیک را حمل می‌کند، یکی که همراه با "پیام" ژن از ژن به‌ریبوزوم سفر می‌کند.

این واریته دوم RNA، به‌شایستگی کافی RNA پیام‌آور خوانده می‌شود. (آن گاهی template-RNA خوانده می‌شود که تمپلیت قالبی است که به‌عنوان راهنما برای تولید شکل به‌خصوصی به‌کار می‌رود.

برقراری کلید

شهود و ملاک برای وجود RNA پیام‌آور در سال ۱۹۶۰ به‌مرحله نتیجه‌گیری رسید. نمونه‌های RNA با توزیع DNA مانند پورین‌ها و پیریمیدین‌ها در انستیتو پاستور پاریس ایزوله شدند.

توزیع DNA مانند با این واقعیت مشهود شد که RNA می‌توانست با رشته‌های DNA از باکتریی پیوند خورد که به‌عنوان منبع RNA خدمت می‌کرد، ولی نه با رشته‌های DNA از باکتری گونه دیگر. شکل‌گیری اتحاد پیوند هیدروژنی بین یک رشته DNA و یک رشته RNA ("اسید نوکلئیک دورگه" تنها به‌شرطی امکان دارد که دو رشته مکملی هستند.)

از قرار معلوم، رشته RNA تحت بررسی مکمل رشته DNA ئی از همان گونه باکتری خودش بود، زیرا آن از راه نسخه‌برداری از همان رشته DNA تشکیل شده بود.

RNA - پیام‌آور باید از رشته DNA در میزان‌های بالای تندی شکل گرفته باشد، زیرا هرگاه سلول به‌مدت کوتاهی با اتم‌های رادیواکتیو برچسب خورده

باشد، آن‌ها بلافاصله در RNA-پیام‌آور خود را نشان می‌دهند. سپس پس از مدت کوتاهی اتم‌های رادیواکتیو پدیدار می‌شوند، درحالی‌که جای دیگری در سلول پخش شده‌اند. از این می‌توان استنتاج کرد که هرگاه RNA-پیام‌آور شکل گرفت به‌تندی به‌صورت نوکلئوتیدهای منفردی خرد می‌شود که سپس استفاده‌های گوناگونی از آن در سلول می‌شود.

RNA-پیام‌آور نخست در باکتری کشف شد. به‌راستی تعداد بزرگی از کشفیات معاصر در بسه‌اصطلاح "زیست‌شناسی ملکولی" ازطریق آزمایش‌هایی مشمول ساختارهای میکرو (میکروارگانیسم) انجام شده است. به‌هرحال، دانشمندان در این زمینه فکر می‌کنند که یافته‌ها به‌احتمالی درمورد آفریدگان دیگر نیز قابل به‌کارگیری هستند.

برای مثال در سال ۱۹۶۲، برای نخستین‌بار RNA-پیام‌آور از سلول‌های پستانداران ایزوله شد. آلفرد ای. میرسکی و وینسنت جی. آلفری از بنیاد راکفلر آن را از غده تیموس -Thymus gland- گوساله به‌دست آوردند آن هم در مقدار بسیار بیش‌تری که می‌توان از باکتری به‌دست آورد.

دراین‌صورت، تصویر وضعیت کنونی از قرار زیر است:

۱- DNA ژن ویژه به‌وسیله نسخه‌برداری واتسون ــ کریک، یک ملکول RNA-پیام‌آور تولید می‌کند. RNA پیام‌آور یک مکمل درحد نوکلئوتیدها در DNA-را دراختیار دارد (به‌جز این‌که در تمام جاهایی که تیمین در DNA- وجود دارد، اوراسیل موجود است). RNA-پیام‌آور که شاید از تعداد زیادی هم‌چون ۱۵۰۰ نوکلئوتید ساخته شده است، بدین‌ترتیب رمز ژنتیک ژنی که آن را ساخته است، را حمل می‌کند.

۲- ملکول RNA- پیام‌آور به‌سیتوپلاسم سفر می‌کند و خود را به‌ریبوزوم اشغال‌نشده می‌چسباند. "جای خالی" RNA-ریبوزومی که اینک با RNA-پیام‌آور، "قفل می‌شود" و قادر به‌تولید پروتئین ویژه و مشخصی می‌شود. (RNA-پیام‌آور در متصل کردن خود، به‌نظر من می‌رسد که به‌هر طریقی باید پورین‌ها و پیریمیدین‌های خود را آزاد بگذارد تا درطول روند تولید پروتئین، پیوندهای

هیدروژنی تشکیل دهد. روندی که در فصل بعد تشریح خواهد شد. احساس من این است که بنابراین RNA-پیام‌آور ممکن است خود را ازطریق دنباله خودش به RNA ریبوزومی بچسباند. یعنی با تشکیل پیوندهای هیدروژنی با گروه هیدروکسیل بر روی واحدهای ریبوز در طول زنجیر RNA ریبوزومی.

شاید به‌این دلیل است که RNA به‌جای دی‌اکسی‌ریبوز، ریبوز دراختیار دارد. دی‌اکسی‌ریبوز و درنتیجه DNA فاقد هیدروکسیل آزاد است. همان‌گونه که در فصل ۷ توضیح داده شد و شاید RNA تنها به‌خاطر هیدروکسیل اضافی "اختراع‌شده" بود. تنها می‌توان بدین‌ترتیب فرض کرد که آن قادر به‌کارکرد به‌عنوان پیام‌آور می‌باشد.

۳ــ پس از آن‌که چند ملکول پروتئین درست شده‌اند (یا شاید حتی پس از این‌که یکی تشکیل شده است) RNA-پیام‌آور خرد شده و بار دیگر جای خالی ریبوزوم را ترک می‌کند، درحالی‌که آماده "قفل شدن" برای پروتئین دیگری است، شاید همان که قبلا" بود، شاید پروتئین متفاوتی.

تمام این روند حداکثر تنها دو یا سه دقیقه طول می‌کشد، که شگفت‌آور است به‌شرطی که درنظر بگیرید که درطی این طرزعمل چندصد نوکلئوتید باید دقیقا" در موضع خود قرار گیرند تا RNA-پیام‌آور تشکیل بدهند و این که چندین‌صد اسید آمینه پس از آن باید در موضع خود قرار گیرند تا پروتئین تشکیل بدهند.

ازسوی دیگر، این فکر ممکن است شما را به‌وحشت اندازد که حتی چند دقیقه مدتی که برای تشکیل تازه یک ملکول پروتئین مجزا لازم می‌شود، در حالی‌که در هر لحظه از زمان، پیوسته تعداد آن‌چنان زیادی از آن‌ها لازم است. البته شما می‌توانید با این فکر خود را دلداری دهید برای هر سلول، میلیون‌ها ریبوزوم وجود دارد و همه آن‌ها با کار با هم در این چند دقیقه کم می‌توانند میلیون‌ها ملکول پروتئین تولید کنند.

تصویر RNA-پیام‌آور مشکلاتی را رفع می‌کند که به‌هنگام درنظرگرفتن ریبوزوم‌ها ازسوی بیوشیمیست‌ها، بلای جان آن‌ها شده بود.

در مرتبه نخست، دیگر لازم نیست تا باور کنیم که هر سلول ویژه، برای هر ملکول پروتئین متفاوت که قادر به‌سنتز آن است، ریبوزوم ویژه‌ای دارد. ریبوزوم را می‌توان صرفا" به‌عنوان "جای خالی" درنظر گرفت که می‌توان به طور موقتی برای هر ملکول DNA، "عاریه کرد". درنتیجه ساختمان پورین/پیرامیدین RNA-ریبوزومی مهم نیست.

فزون بر این، این بدان معنی است که میزان سنتز آنزیمی می‌تواند بسته به‌میزان تشکیل شدن ملکول‌های RNA پیام‌آور گوناگون، در سرتاسر دسته تغییر کند. هرگاه ژنی، ملکول‌های بسیار زیادی از RNA، پیام‌آور تولید می‌کند، دراین‌صورت این‌ها صرفا "شمار زیادی متناسب با آن از جاهای خالی ریبوزومی را به‌خود اختصاص می‌دهند و شروع به‌تولید آنزیم‌ها در میزان به‌تناسب بالا می‌کنند. هنگامی‌که احتیاج برطرف شد، RNA-پیام‌آور به‌سرعت خرد شده و جاهای خالی را دوباره جای خالی باقی می‌گذارد درحالی‌که آماده وظیفه دیگری است.

دراین‌صورت، نیز مسئله ابتلای ویروسی و سنتز پروتئینی کم‌تر مرموز شده‌اند. ویروس اجباری ندارد تا ریبوزوم‌های مال خود را تولید کند. آن از ریبوزوم‌های باکتری‌گونه (مربوط به‌باکتری) استفاده می‌کند. (درسال ۱۹۶۰، آزمایش‌ها با اتم‌های رادیواکتیو به‌روشنی نشان داد که پس از ابتلا بر اثر ویروس، ریبوزوم‌های جدیدی شکل نمی‌گیرند). کاری که ویروس انجام می‌دهد به‌سرانجام‌رساندن سوسپانسیون (معلق) شکل‌گیری RNA پیام‌آور به‌وسیله DNA م..ط به‌باکتری است.

RNA-پیام‌آور که نقدا" به‌وسیله باکتری تشکیل شده است با تندی معمولی خود تجزیه و تباه می‌شود و بدین‌ترتیب ریبوزوم‌ها را آزاد می‌کند که پس از آن RNA پیام‌آور تشکیل‌شده توسط‌ویروس می‌تواند آن را بردارد.

سنتز پروتئین پس از ابتلا با همان میزان هم‌چون قبل ادامه می‌یابد، چون همه ریبوزوم‌ها هنوز در استعمال هستند، اینک آن‌ها صرفا "با RNA-پیام‌آور ویروس پوشانده شده‌اند و نه دیگر باز هم با RNA پیام‌آور باکتری‌گونه. (مربوط

به‌باکتری) .

طبیعتا"، همه این‌ها باز هم مسئله‌های زیادی باقی می‌گذارد تا بیوشیمیت‌ها را مشغول کنـــد . چگونه یک ملکول DNA ویژه می‌داند کی مقدار زیادی از DNA پیام‌آور ویژه خود را تشکیل بدهد و کی تنها مقدار کمی تشکیل بدهد ؟ ظاهرا" DNA باید به‌اصطلاح اطلاعاتی درمورد حالت سلول خود در هر لحظه از زمان را دریافت کند .

هرگاه سلول کمبود یک جزء دارد که نیازمند آن است ، ملکول‌های DNA ئی که آنزیم‌های لازم برای شکل‌گیری آن جزء را اداره می‌کنند ، به‌نحوی تحریک شده و آن‌ها مقدارهای بیش‌تری از RNA پیام‌آور خود را تولید می‌کنند . در نتیجه آنزیم بیش‌تری تولید می‌شود و جزءهای سلولی موردنیاز بیش‌تری تولید می‌شود . هرگاه ازسوی دیگر ، سلولی از یک جزء مقداری اضافی دارد ، فعالیت ملکول DNA مناسب اختصاصی بیش از حد تحت فشار قرار می‌گیرد .

این نمونه‌ای برجسته از فدبک (پس‌خور) است*. سلول به‌طور کاملا" بدیهی سیستمی و گسترده و پیچیده از همه‌نوع پس‌خور است . افشای جزئیات مربوط به‌این‌که RNA-DNA ، آنزیم‌ها و فرآورده‌های واکنش‌های کاتالیزشده به روش آنزیمی همه بر هم‌دیگر عمل می‌کنند و آسان نخواهد بود .

به‌هرحال ، مسئله ازسوی بیوشیمیست‌ها به‌وسیله چیزی موردحمله قرار می‌گیرد که تنها می‌توان آن را به‌عنوان علاقه با عطش ، سیری‌ناپذیر تشریح کرد و امید زیادی هست که این به‌کندی پیش از حمله شدید تسلیم خواهد شد .

** واژه‌ای‌که در الکترونیک هم زیاد به‌کار می‌رود . سیستم فدبک در تبخیر آب‌های سطحی زمین به‌خوبی مشهود است . آب دریاها پس ازتبخیر به‌صورت باران برف ، تگرگ وغیره دوباره به‌محل قبلی‌خود برمی‌گردد واین کار مرتب دنبال و تکرار می‌شود .م .*

فصل ۱۱ :

شکستن رمز

سه‌گانه‌ها (سه‌تایی) The triplets-

تا بدین‌جا در کل کتاب من عمدا" از مسئله کلیدی در تمام پیشه (امر) سنتز پروتئین پرهیز کرده‌ام : چگونه از اسید نوکلئیک به‌پروتئین می‌رود ؟ عملا" ، تا این‌جا ما آن را به‌صورت زیر کم‌مایه‌تر کرده‌ایم : چگونه شخص از پیام‌آور ویژه RNA به‌زنجیر پلی‌پپتیدی ویژه می‌رسد .

در نگاه نخست ، به‌نظر می‌رسد که رسیدن به‌حل این مسئله به‌وسیله همان مانع مهیب سد می‌شود که قبلا" به‌آن اشاره کرده‌ایم . ملکول اسید نوکلئیک "جمله‌ای" است که از چهار "کلمه" مختلف ، نوکلئوتیدها درست شده است . ملکول پروتئین "جمله" دیگری است که از بیست و دو "کلمه" گوناگون ، اسیدهای آمینه درست شده است . چگونه می‌شود اطلاعات به‌وسیله ۴ قلم گوناگون حمل شود که برای توضیح آن‌چه باید با بیست و دو قلم گوناگون انجام شود ، کفایت می‌کند .

این مشکل ، که بسیاری را در ابتدا نگران می‌کرد ، درحقیقت به‌هیچ‌وجه مشکلی نیست . این فکر که حتی پیش می‌آید تنها شهود و ملاکی است که ما

عادت به‌فکرکردن درباره این رمزها هستیم ، رمزهایی که حرف ویژه نمایانگر حرف دیگری است همانند درمورد معماهای کدگذاری‌شده که هرکس می‌تواند در برخی روزنامه‌ها بیابد . لذا هرگاه در کدگذاری ویژه، حرف معینی با حرف بعدی خود در الفبا نمایانده می‌شد ، PROTEIN به‌عنوان Q-SPUFJO کدگذاری می‌شد .

بااین‌حال ، معمولی‌ترین رمزهای ما به‌هیچ‌وجه بدین‌نحو کار نمی‌کنند . برای مثال ما دقیقاً" ۲۶ حرف در الفبای انگلیسی داریم . این ۲۶ حرف کافی هستند تا بیش از ۴۵۰۰۰۰ کلمه در فرهنگ وبستر (بدون اختصار) * را کدگذاری کنند . ده نشانه مورداستعمال در ساختن عددها (نه رقم و صفر) کافی هستند تا مجموعه‌ای نامعین عددها را کدگذاری کنیم ، درحقیقت ، دو نشانه ۱ و ۰ برای همان منظور کافی خواهند بود و همین کار را در کامپیوترها انجام می‌دهند .

برای فراهم آوردن این امکان ، تنها کافی است موافقت کرد تا نشانه‌های کدگذاری ، حرف‌های الفبا یا رقم‌ها را در گروه مورداستفاده قرار دهیم .

به‌یقین تنها ۲۶ حرف وجود دارد ولی تعداد ۲۶×۲۶ ترکیب دوکلمه‌ای ممکن وجود دارد ، ۲۶×۲۶×۲۶ یا ۱۷۵۷۶ ترکیب سه‌کلمه‌ای ممکن و الی‌آخر . به‌همان‌نحو ، تنها ۹ عدد یک‌رقمی ممکن وجود دارد ولی ۹۰ عدد دورقمی ممکن ، ۹۰۰ عدد سه‌رقمی ممکن و الی آخر .

بنابراین در گذر از نوکلئوتیدها به‌اسیدهای آمینه ، ما باید هر فکر در مورد ارتباط یک‌به‌یک را ترک کنیم و نوکلئوتیدها را به‌صورت واحدهای چندگانه درنظر بگیریم . در RNA پیام‌آور (یا در DNA ژن) تنها ۴ نوکلئوتید گوناگون وجود دارد ولی ۴×۴ یا ۱۶ ترکیب دونوکلئوتیدی ("دوقلوها") و ۴×۴×۴ یا ۶۴ ترکیب سه‌نوکلئوتیدی ("سه‌گانه‌ها") وجود دارد . همه این‌ها در شکل ۵۱ نشان داده می‌شوند ، جایی که هر چهار نوکلئوتید با حرف اول خود نمایش داده می‌شوند : برای اسید بوریدیلیک ، برای اسید سیتی‌دیلیک ، برای اسید آدنیلیک و برای اسید گوانیلیک .

A G C U

۵ — ۴ نوکلئوتید

AA AC GA GC CA CC UA UC

AG AU GG GU CG CU UG UU

۱۶ نوکلئوتید (دو قلوها)

AAA ACA GAA GCA CAA CCA UAA UCA

AAG ACG GAG GCG CAG CCG UAG UCG

AAC ACC GAC GCC CAC CCC UAC UCC

AAU ACU GAU GCU CAU CCU UAU UCU

AGA AUA GGA GUA CGA CUA UGA UUA

AGG AUG GGG GUG CGG CUG UGG UUG

AGC AUC GGC GUC CGC CUC UGC UUC

AGU AUU GGU GUU CGU CUU UGU UUU

۶۴ . تری نوکلئوتید ("سه‌قلوها")

شکل ۵۱ : ترکیب‌های نوکلئوتیدی

این بی‌درنگ مسئله جدیدی را پیش می‌کشد. تعداد دو نوکلئوتید برای به‌حساب‌آوردن اسیدهای آمینه گوناگون بسیار کم است ولی همه نوکلئوتیدها بیش‌ازحد زیاد. ما منحصرا" نمی‌توانیم با بیش از حد کم کنار بیابیم، بنابر این ما هیچ انتخابی نداریم مگر این‌که تا دور دورها حداقل به‌سه‌تایی (سه‌گانه‌ها) برسیم.

اینک، به‌نظر منطقی نمی‌آید فرض شود که ما می‌توانیم چند دونوکلئوتیدی و چند سه‌نوکلئوتیدی به‌کار بریم، درحالی‌که مقدار کافی از هرکدام را داریم تا بیست و دو را بسازیم (یا هر تعداد اسید آمینه که به‌آن می‌پردازیم).

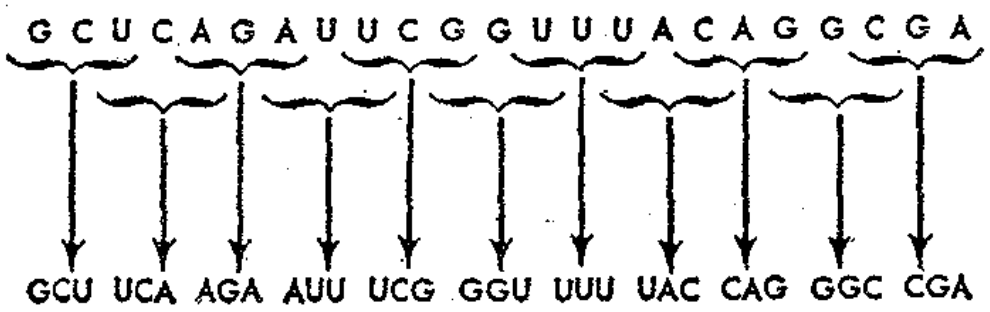
اشکال با آن، این است که هیچ‌کس نمی‌تواند راهی را مجسم سازد که در آن پروتئین می‌توانست "بگوید" چه‌هنگام برای مثال ترکیب AC دوقلو است و کی قسمتی از سه‌گانه‌ای ازقبیل ACG است.

هرگاه در ادامه راه از مرحله سه‌تایی عبور می‌کردیم و چهارتایی‌ها را در نظر می‌گرفتیم، موقعیت حتی بدتر می‌شد، چون ۴×۴×۴×۴ یا ۲۵۶ ترکیب‌های چهارنوکلئوتیدی گوناگون وجود دارد. بنابراین بهتر است به‌سه‌تایی‌ها بچسبیم، به‌شرطی که بتوانیم.

به‌هرحال چندین‌بار تلاش شده است تا شمار سه‌تایی‌های ممکن را کم‌تر کرده تا آن‌چه که به‌نظر اتلاف بیهوده به‌شمار می‌آمد، یعنی اجازه باشد تا ۶۴ سه‌تایی مظهر ۲۲ اسید آمینه باشد. برای مثال، فرض کنید که بنا بود تا زنجیر نوکلئوتید را به‌عنوان سری‌هایی خواند که سه‌تایی‌ها را همپوشانی می‌کرد، همان‌گونه که در شکل ۵۲. یک‌چنین سه‌تایی‌های همپوشان (سوار بر یک‌دیگر) (که معمولا" سیستم‌های پیچیده‌تری به‌دنبال دارند) را می‌توان به نحوی طراحی کرد که تعداد سه نوکلئوتیدهای ممکن را به‌چیزی درحدود بیست خلاصه کرد و برید.

هرگاه شما به‌رمز همپوشان (سوار روی هم) در شکل ۵۲ نگاه کنید به‌هر حال شما خواهید دید که نوکلئوتیدها یک درمیان قسمتی از دو سه‌تایی را تشکیل می‌دهد. نخستین U برای مثال آخرین قلم GCU است بلکه هم‌چنین

نخستین قلم UCA . سپس یک آدنین هست که آن هم آخرین قلم در UCA و نخستین قلم در AGA است .



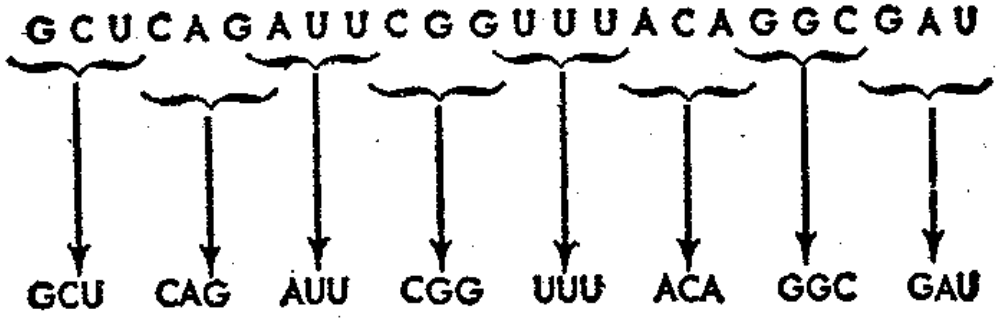
شکل ۵۲ : یک رمز تداخلی (همپوشان)

این محدودیت جدیدی را برقرار می‌سازد . در یک رمز همپوشان، ازقبیل مشکل ۵۲، سه‌تایی GCU بایستی به‌وسیله سه‌تایی دیگری دنبال شود که با U آغاز می‌شود، ازقبیل UCA سه‌تایی دنبال آن نمی‌تواند برای مثال AGA باشد . اینک، چنان‌چه GCU مظهر اسید آمینه ۱ باشد و چنان‌چه AGA مظهر اسید آمینه ۲۰ باشد، دراین‌صورت این بدان معنی است که هرگاه رمز (کد) همپوشان درست باشد، اسید آمینه ۲ نمی‌تواند هرگز دنبال اسید آمینه ۲ بیاید .

این‌گونه محدودیت درمورد هر رمز همپوشان Overlapping code- صدق می‌کند . یک رمز همپوشانی به‌هر نحوی که مرتب و چیده شده باشد، باید همیشه نحوه دنبال‌هم قرارگرفتن هر اسید آمینه را محدود کند : همیشه چند سکانس (سری) "ممنوعه" از اسیدهای آمینه در یک‌چنین رمزی وجود دارد .

بااین‌حال، آن‌چه نقدا" درباره سری‌های اسیدهای آمینه در پروتئین (به صفحه ۸۱ رجوع کنید) کافی است تا به‌ما بگوید که هیچ‌گونه ترکیب‌های ممنوعه وجود ندارد . هر ترکیب دو اسید آمینه‌ای ممکن است، هر ترکیب سه اسید آمینه‌ای ممکن است و الی آخر .

نتیجه این است که رمز باید غیرهمپوشان باشد، یعنی در سری‌های مشخص صریح همان‌گونه که در شکل ۵۳ نشان داده می‌شود.



شکل ۵۳: رمز غیرتداخلی (غیرهمپوشان).

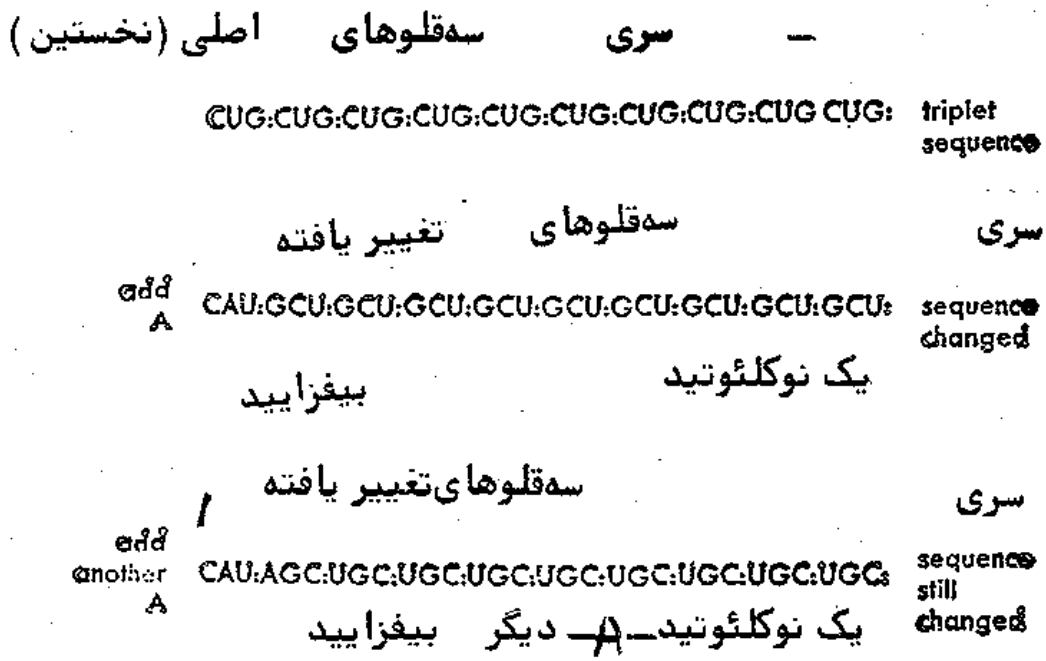
در این‌جا سه‌تایی‌ها می‌توانند در هر سری بیایند و اسیدهای آمینه به همین‌گونه می‌توانند.

به‌رسم معمول، به‌هرحال هرقدر هم قانع‌کننده باشد، استدلال به‌تنهایی نمی‌تواند به‌پای داشتن تحقیق تجربی برسد. در سال ۱۹۶۱، خود کریک همراه با همکاران خودش یک‌چنین ملاکی را تامین کردند.

آنان با ملکول اسید نوکلئیک کدگذاری‌شده آغاز کردند، ملکول‌هایی که می‌توانستند با استفاده از آن‌ها سنتز پروتئینی ویژه‌ای را به‌سرانجام برسانند و سپس نوکلئوتیدی به‌آن افزودند. پروتئین ویژه را دیگر نمی‌شد سنتز کرد. نوکلئوتید دومی افزوده شد، باز هم فایده‌ای نداشت. نوکلئوتید سومی افزوده شد و کارکرد به‌جای ویژه ملکول دوباره برگشت کرد و حفظ شد. هم‌چنان که در شکل ۵۴ نشان داده می‌شود، بنا، براین می‌شد که نظریه سه‌تایی غیر همپوشان را با قدرت تمام تاکید کند.

به‌هرحال آن هنوز ما را با ۶۴ سه‌تایی برای ۲۲ اسید آمینه تنها می‌گذارد. هنوز دو مفسر (راه گریز) ممکن باقی می‌ماند. شاید ۳۲ سه‌تایی گوناگون، "جاهای خالی" هستند و بنابراین در کدگذاری عمومی باید از آن‌ها صرفنظر

کرد . یا ممکن است دو یا حتی سه سه‌تایی گوناگون همگی مظهر همان اسید آمینه هستند . همان‌گونه که خواهیم دید ، ملاک و شهود تجربی به‌طور مشخص



شکل ۵۴ : بازسازی سه‌تایی‌ها

به‌نفع آلترناتیو دوم رای صادر کرده است .

رمزی که در آن دو ترکیب نشانه‌ها یا بیش‌تر، همگی مظهر همان چیزی هستند ، "دژنره" نامیده می‌شوند . بنابراین رمز از این طبقه می‌باشد.

خلاصه کنیم .

۱ــ رمز ژنتیک شامل ترکیب‌های سه‌نوکلئوتیدی یا سه‌تایی‌ها که درطول زنجیر پلی‌نوکلئوتید کشانده می‌شود ، درحالی‌که هر سه‌تایی نمایانگر اسید آمینه ویژه است .

۲ــ رمز ژنتیک غیرهمپوشان است .

۳ــ رمز ژنتیک دژنره است .

فزون بر این ، رمز ژنتیک همگانی (مشمول همه) است ، یعنی همان رمز در مورد تمام ساختارها از بزرگ‌ترین درخت‌ها به‌نام سکوآ تا کوچک‌ترین ویروس صدق می‌کند .

بهترین ملاک و شهود برای بیان اخیر این است که شماری از ویروس‌ها قادر به‌مبتلا کردن سلول‌های ویژه‌ای هستند که هرکدام ازRNA پیام‌رسان خود برای تولید پروتئین‌ها ازمیان ریبوزوم‌های سلول ، آنزیم‌ها و مایه‌ها وسائل شیمیایی طبقه‌بندی‌شده استفاده می‌کنند . سلول ظاهرا" می‌تواند زبان ویروس‌های گوناگون را "درک کند" . در آزمایشگاه حتی به‌هنگامی که RANپیام‌آور از یک گونه با ماده‌های سلولی طبقه‌بندی‌شده از گونه‌های دیگر مخلوط می‌شود ، زبان "درک" شده است و پروتئین‌ها شکل می‌گیرند .

استفاده از RAN پیام‌آور (پیام‌رسان)

ما اینک می‌توانیمRNA پیام‌آور را تجسم کنیم که ریبوزومی را می‌پوشاند و سپس از راه سری‌های سه‌تایی خود ، درحال سنتز کردن زنجیر پلی‌پپتید ویژه‌ای است . ولی این چگونه انجام می‌شود ؟ خیلی بهتر است گفته شود که سه‌تایی ویژه‌ای ، "مظهر" اسید آمینه ویژه‌ای است ، چه چیزی اسیدهای آمینه ویژه‌ای را وادار می‌سازد تا عملا" در ترتیب و نظم سه‌تایی همردیف شوند (صف بکشد) .

اواخر دهه ۱۹۵۰ ، شروع پاسخ را آورد ، به‌طور عمده ازطریق تلاش‌های بیوشیمیست آمریکایی به‌نام موهلون بی .هوگلند . در سال ۱۹۵۵ او کشف کرد که اسیدهای آمینه پیش از تجسم یافتن (به‌صورت چیزی درآمدن) به‌صورت زنجیر پلی‌پپتید ، آن‌ها به‌صورت اسید آدنیلیک به‌هم می‌پیوندند . این ترکیب به‌ویژه ازنظر انرژی غنی می‌باشد و می‌توان آن‌ها را "اسیدهای آمینــه فعال یا

تحریک‌شده" خواند.

او، سپس در ادامه کار خود، به‌کشف حضور تکه‌های کوچک RAN در سلول موفق شد، که این‌ها چنان کوچک بودند که آزادانه قابل‌حل در سیال سلولی بودند. او این تکه‌ها را درنتیجه "RNA قابل‌حل" خواند ولی بنا به‌دلایلی که مختصرا" عرضه خواهم کرد، آن‌ها در اغلب اوقات، به‌عنوان "RAN انتقالی" اطلاق می‌شوند.

معلوم شد که تعدادی از انواع گوناگون (واریته) RNA انتقالی وجود دارد و هرکدام از آن‌ها خود را به‌فلان بخش یا تکه اسید آدنیلیکی اسیدآمینه فعال شده خواهد چسباند. فزون بر این، هرکدام خود را به‌یک اسید آمینه فعال شده معینی و نه به‌دیگری خواهد چسباند. آن‌چه پس از آن روی می‌دهد، به نظر آشکار و معلوم است.

بیاییم فرض کنیم که واریته ویژه‌ای از RNA انتقالی خود را به‌هیستیدین فعال‌شده خواهد چسباند و تنها به‌این. سپس RNA انتقالی، هیستیدین فعال شده را به RNA پیام‌رسان انتقال خواهد داد (این است نحوه اخذ نام که RNA انتقالی به‌خود گرفته است). به‌هرحال آن به‌هر نقطه بر روی RNA پیام‌رسان منتقل نخواهد کرد بلکه تنها به‌نقطه مشخص و معینی.

ظاهرا" RNA انتقالی یک محل اتصال دارد، که شامل سه‌تایی ویژه است و این سه‌تایی بر آن نقطه روی RNA پیام‌آور، خواهد چسبید، جایی که سه‌تایی مکملی وجود دارد.

به‌زبان دیگر، هرگاه RNA انتقالی هیستیدین یک محل AUG اتصال دارد، آن تنها به‌سه‌تایی UAC بر روی RNA پیام‌آور خواهد چسبید. به‌همین‌ترتیب، سه‌تایی UAC بر روی RNA پیام‌رسان ازطریق RNA انتقالی به‌هیستیدین می‌چسبد و تنها یک هیستیدین.

هرجا که یک UAC در RNA پیام‌رسان وجود دارد، هیستیدین پیدا خواهد شد و چگونه سه‌تایی UAC را می‌توان "مظهر و نمایانگر" هیستیدین در رمز ژنتیک خواند.

این به‌یاری آزمایشی به‌فکر ما می‌رسد که در سال ۱۹۶۲ انجام شد. یک ملکول RNAانتقالی به‌کار گرفته می‌شد که معمولا" خود را به‌سیستین اسیدآمینه می‌چسباند. تکنیکی به‌کار می‌رفت که به‌یاری آن سیستین پس از ترکیب و پیوستن به‌RNA انتقالی به‌آلانین اسیدآمینه مشابه تغییر داده می‌شد. به‌رغم این، RAN انتقالی با آلانین وصل شده آن را به‌محلی حمل کرد که در آن سیستین باید معمولا" یافت می‌شد. این نشان داد که چسبانده شدن بین RNA انتقالی و RNA پیام‌رسان شامل اسیدآمینه نمی‌شد (اسیدآمینه را درگیر نمی‌کرد).

هنگامی‌که همه‌RNA های انتقالی درطول تمام زنجیر پلی‌نوکلئوتید از RNA پیام‌رسان جا گرفته‌اند، اسیدهای آمینه در مجاورت بسیار نزدیک هم درحین اتصال به‌سمت پایین تاب می‌خورند و در چنان نظم ویژه‌ای که به‌وسیله سری سه‌تایی RNA پیام‌رسان دیکته می‌شودRNA پیام‌رسانی که به‌نوبه خود از DNA ژن به‌دست آمده است). باوجود اسیدهای آمینه در مجاورت نزدیک هم و در نظم ویژه و به‌جا، برای روندهای آنزیمی (آنزیماتیک) متعدد آسان است تا واکنشی را به‌سرانجام برسانند که آن‌ها را به‌صورت یک زنجیر پلی‌نوکلئوتید ویژه و مشخصی درمی‌آورد.

در سال ۱۹۶۱، هوارد .ام. دینتزیس از ام .آی .تی (موءسسه تکنولوژی ماساچوست) که با اسیدهای آمینه برچسب‌خورده با اتم‌های رادیواکتیو کار می‌کرد، آزمایش‌هایی ابداع کرد که در آن‌ها قادر بود تا پیدایش رادیواکتیویته در پروتئین‌ها را دنبال کند، او نشان داد که RNA های انتقالی در نظمی مانند مهره‌های گردن‌بند، اسیدهای آمینه خود را از یک سر به‌آن سر زنجیر RNA پیام‌رسان چسباندند.

این هرگونه امکان سر درگم‌شدن را رفع کرد. فرض کنید شما سری G— AUU CGC را دارید. در این، سه‌تایی‌های ممکن گوناگون (هرگاه شما می‌توانستید از هر جایی شروع کنید) عبارت خواهند بود از CUA و GC و CGC وUCG وUUC و . . . . و AUU. کدام یک از این هفت سه‌تایی درصورتی که می‌توانستند به‌جایی چنگ بزنند، به‌وسیله RNA انتقالی مورداستفاده خواهد

بود ؟ هرگاه یک RNAانتقالی بایستی هدفشUUCو هدف یکی دیگر برایU'C G باشد ، تا مدتی که دو سه‌تایی همپوشانی می‌کنند ، نتیجه جز هرج و مرج نخواهد بود .

درعوض، یکRNA انتقالی بهAUU می‌چسبد . هنگامی‌که این کار انجام شد ، یکی دیگر به CGCمی‌چسبد و هنگامی‌که این کار انجام شد ، سومی بهU A G می‌چسبد . هرکدام از چهار سه‌تایی ممکن دیگر منحصرا" مورداستفاده قرار نمی‌گیرند .

دینتزیس هم‌چنین قادر بود نشان دهد که همه اسیدهای آمینه در ملکول هموگلوبین را می‌توان درحد مدت‌زمانی درحدود ۹۰ ثانیه درجای خود قرار داد و پیوندشان زد .

تمام شما (نما یا طرح) با استفاده از تکه‌های سلول تا این‌که سلول‌های دست‌نخورده، رونوشت‌سازی (تکرار) شده است. در سال ۱۹۶۱، جرارد هورویتز در مرکز پزشکی دانشگاه نیویورک ، سیستمی را برقرار کرد که شاملDNA ، نوکلئوتیدها ، و آنزیم‌های متناسب بود و موفق شد تاRNA پیام‌رسان را در لوله آزمایش تولید کند .

در همان‌سال ، جی . دیوید نوولی از آزمایشگاه ملی اکریجG. Novelli of Oak Ridge National Laboratories نه‌تنهاDNA و نوکلئوتید ، بلکه ریبوزوم‌ها و اسیدهای آمینه به‌کار برد . با انجام این عمل او تنها موفق به‌تولیدRNA پیام‌رسان، بلکه توانست آن را به‌پوشاندن ریبوزوم‌ها و عمل کردن به‌مثابه مدلی برای شکل‌گیری آنزیم ویژه‌ای به‌نام بتاگالاکتوزیداز وادار کند .baytuh=beta-galactosidase

9a-laktoh-sy'das

فرهنگ سه‌تایی The triplet dictionary

هنوز باز هم مسئله کلید عملی رمز باقی می‌ماند : کدام سه‌تایی مظهر

کدام اسید آمینه است.

نخستین تحول (عبور از مانع) در این‌جهت در سال ۱۹۶۱ آمد، در چیزی که شاید مهم‌ترین پیشرفت از بدو زمانی در هشت سال پیش بود که مدل واتسون ـ کریک پیشنهاد شد. تحول نتیجه آزمایشی توسط مارشال، وی. نیرنبرگ‌وجی. هنریش‌ماتائی W.Nirenberg and J.Henrich Matlahaei در "موءسسه ملی بهداشت" بود.

آنان دریافتند که برای فراگیری کلید رمز، لازم بود تا با ساده‌ترین موقعیت ممکن آغاز کرد. اسید نوکلئیک ساخته‌شده از زنجیر یک واریته مجزای نوکلئوتید. اکوآ تا آن‌زمان نشان داده بود چگونه یک‌چنین زنجیری به‌یاری آنزیم "به‌جای خود" می‌توانست ساخته شود، به‌طوری که برای مثال اسید پولی‌اوردیلیک می‌توانست به‌آسانی تولید شود و به‌کار رود.

بنابراین نیرنبرگ و ماتائی اسید پلی‌اوریدیلیک را به‌سیستمی افزودند که حاوی اسیدهای آمینه، آنزیم‌ها، ریبوزوم‌های گوناگون و تمام سایر اجزائی که برای سنتز پروتئین لازم بود. ازمیان مخلوط، پروتئینی کله‌پا شد که به‌همان سادگی RNA ئی بود که در آغاز داشتند. درست همان‌گونه که اسید نوکلئیک تماما" اوریدیلیک بود، به‌همان‌ترتیب پروتئین تماما" فنیل آلانین بود.

این مهم بود. اسید پلی‌اوریدیلیک را می‌توان به‌عنوان UUUUUUUU..... نمایاند. تنها سه‌تایی ممکن که می‌تواند در یک‌چنین زنجیری وجود داشته باشد، البته UUU است. تنها اسید آمینه که در ساختن زنجیر پلی‌پپتید به‌کار می‌رفت، فنیل‌آلانین بود، هرچند که تمام اسیدهای آمینه گوناگون در سیستم حاضر و قابل‌دسترسی بودند. نتیجه‌گیریی که می‌توان از این به‌دست داد، این است که سه‌تایی UUU همتراز و معادل فنیل‌آلانین اسید آمینه است.

نخستین گام به‌سوی کشف رمز ژنتیک برداشته شده بود. "UUU به‌معنی فنیل‌آلانین است" نخستین قلم در "فرهنگ سه‌تایی‌ها" بود.

گام بعدی بلافاصله قاپیده شد، شماری از گروه‌های پژوهش با دنبال‌کردن

چراغ راهنما که به‌آن‌ها داده شد رو به‌فعالیت آوردند . فرض کنید که یک پلی نوکلئوتید به‌روش آنزیمی ازمیان محلولی از اسید اوردیلیک درست شده است که کمی اسیدآدنیلیک به‌آن افزوده شده است .

زنجیر اکثرا " شامل U بود با A گاه‌به‌گاهی که به‌طور تصادفی واتفاقی پدیدار می‌شد . دراین‌صورت زنجیر ممکن است برای مثال از قرار زیر باشد :

UUUU U A UUUA UUUUUUUUUU

یک‌چنین زنجیری از سه‌تایی‌های زیر ساخته خواهد شد :

. . . .

سه‌تایی‌ها هنوز اکثرا "UUU هستند ولی گاهی یک یا به‌درون می‌خزند . (این‌ها تنها سه "تایی " هستند که می‌توانند از U ها و یک A ساخته شود .

به‌یقین ، پروتئین تشکیل‌شده به‌وسیله یک‌چنین اسید پلی‌اوریدیلیک "ناخالص" معلوم داشت که عمدتا " فنیل‌آلانین است ولی با "تهاجم " گاه‌به گاهی سایر اسیدهای آمینه . سه‌تا از این‌نوع "مهاجمین " ردیابی شده‌اند : لئوسین leasin (لوسین) ، ایزولوسین isoleusin ، و یکی تیروسین tyrosin . به‌نظر روشن بود که یکی از سه "سه‌تایی "ها UAU یا AUU یا UUA مظهر لوسین ، یکی مظهر ایزولوسین و یکی برای تیروسین بود . کی به‌کی ، کدام برای کدام یک تا زمان تحریر این سطرها تعیین نشده است .

بهترین کاری که می‌شود انجام داد ، نوشتن UUA در پرانتز است ، UUA و اجازه داد تا سه "سه‌تایی " گوناگونی را مشخص کرد که می‌توان از دو U و یک A ساخت بدون این‌که حتی سعی کنیم تا نظم را مشخص و معلوم کنیم . در این‌مورد ، فرهنگ ما می‌توانست خوانده شود : "(UUA) به‌معنی لوسین ، ایزو لوسین یا تیزوسین می‌باشد . "

هرگاه به‌جای اسیدآدنیلیک کمی اسید سیتی‌دیلیک یا کمی اسیدگوانیلیک به‌محلول اصلی اسید اوریدیلیک اضافه شود ، پلی‌نوکلئوتیدی ساخته می‌شود که حاوی سه‌تایی‌هایی به‌قرار زیر است : (UUC) و UUG . دوباره ، پرانتزها

به‌معنی این است که ما نظم و ترتیب دقیق سه نوکلئوتید را مشخص نمی‌کنیم .

در هردو مورد اخیر ، لوسین هنوز می‌تواند در پروتئین که هنوز هم عمدتا " فنیل آلانین است ، ردیابی شود . این تنها می‌تواند بدان معنی باشد که UUA، UUC و همگی می‌توانند به‌عنوان لوسین ترجمه شوند . نمونه‌ای از آن‌چه "دژنره بودن" (انحطاط) رمز خوانده‌ایم

هرگاه مقدار کمی اسید آدنیلیک یک‌بار دیگر به‌محلول نقدا "ناخالص" اسید اوریدیلیک افزوده شود ، به‌طوری که پلی‌نوکلئوتید نهایی حاوی کمی بیش‌تر "A" ها است که درمیان ریخت‌وپاش(مقدار فراوان و دست و دلباز) "U" ها پخش شده است ، هنوز خیلی غیرمحتمل است که هردو "A" ها نزدیک هم خواهند بود .

به‌هرحال ، هرگاه این تصادفی روی دهد ، پلی‌نوکلئوتید ممکن است حاوی سه‌تایی‌هایی از این‌قبیل باشد ، AAU یا AUA . این‌ها تنها سه امکانات هست که از دو A ها و یک "U"می‌توان ساخت و هرسه را می‌توانیم با UUA مشخص کرد .

هم‌چنان که مقدار اسید آدنیلیک اضافه شده ، افزایش می‌یابد ، سه‌تایی (UUA) هنوز هم ازنظر کمیت افزایش خواهد یافت حتی با میزان بالاتر . ابتدا ، تنها سه‌تایی(UUA) به‌حد کافی حضور خواهد داشت تا به‌اسیدهای آمینه خود اجازه ردیابی دهد . هم‌چنان که سه‌تایی (UUA) عاید می‌شود ، به هرحال ، اسیدهای آمینه جدید شروع به‌افشای خود می‌کنند که سپس می‌تواند به‌طور مشخصی به‌یکی یا دیگر سه "سه‌تایی" (UAA) نسبت داده شود . هرگاه مقدار درحال‌افزایشی از هرکدام از اسید سیتی‌دیلیک یا اسید گوانیلیک اضافه شود ، موقعیت همانندی روا می‌باشد . اسیدهای آمینه جور با سه‌تایی (UGG) و سه‌تایی UUC را می‌توان یافت .

چنان‌چه هم اسید آدنیلیک و اسید گوانیلیک قرار بود در مقدارهای افزایش‌شونده افزوده شوند ، چه؟ در ابتدای امر ، تنها (UUA) و (UUG) در مقدارهای کافی حضور دارند تا اسیدهای آمینه آن‌ها ردیابی شوند . ولی در

این‌هنگام سه‌تایی‌های متعدد که به‌وسیله UAG نمایانده می‌شوند، تعداد آن‌ها کم‌تر از شش نیست. چندوقت یک‌بار به‌کرات انبار می‌شوند و اسیدهای آمینه جدیدی پدیدار می‌شوند و می‌توانند به‌آن‌ها نسبت داده شوند.

سه‌تایی‌های نمایانده‌شده در شکل ۵۵ تنها شامل ۳۷ تا از ۶۴ ممکن است. ۲۷ تای باقیمانده آن‌هایی هستند که حاوی U نیستند: برای مثال AGG، CCA AAA و الی آخر.

بیوشیمیست‌ها یقین دارند که در مدت‌زمان منطقا" کوتاهی هر سه‌تایی (که هم در ترتیب و هم در محتوی تعریف و مشخص می‌شوند) با اسید آمینه ویژه‌ای همردیف خواهند شد. سپس یک فرهنگ سه‌تایی کاملی وجود خواهد داشت و رمز ژنتیک به‌طور کاملی حل خواهد شد...

برای مثال در پایان سال ۱۹۶۲ اوکوا قرائتی به‌دست آورد که سه‌تایی (سه قلو) مربوط به تیروسین به‌ترتیب ـ ـ AUU ـــ است و سه‌تایی مربوط به سیستین به‌ترتیب ـ G UU ـ ـ ـ است.

فنیل‌آلانین - UUU -

سیستئین

والین (UUG) -

لوسین

ایزولوسین

لوسین (UUA) -

تیروزین

لوسین

سرین (UUC) -

آسپاراژین

لیسین (UAA) -

گلیسین

تریپتوفان (UGG) -

ترئونین

پرولین (UCC) -

آلانین

آرژنین (UCG)

گلوتامین

اسید آسپارتیک

اسید گلوتامیک - (UAG) -

متیونین

آسپارازین

هیستدین (UAC)

ترئونین

شکل ۵۵ ــ فرهنگ سه‌تایی‌ها (سه‌قلوها)

فصل ۱۲:

آینده

مهندسی درون‌سلولی Subcellular engineering

تلاش برای نگاه کردن به‌درون گوی بلورین شاید پرریسک‌ترین شغل‌ها باشد. متاسفانه آن هم‌چنین یکی از وسوسه‌انگیزترین مشغله‌ها است. هرگاه فرصت پیش‌گویی به‌دست دهد، تنها قوی‌ترین و سطحی‌ترین افراد می‌توانند تاب تحمل بیاورند. من از این لحاظ بسیار قوی نیستم و بنابراین خواهم کوشید با دست‌های بسته به‌آینده نگاهی بیندازم.

در این لحظه ما در شروع چیزی هستیم که قول ثمربخش‌ترین دوره تطور بیش از همه غیرعادی تاریخ علوم حیات را می‌دهد. مسئله‌هایی که تا بیست سال پیش به‌نظر لاینحل می‌آمدند، حل شده است، پیشرفت که تنها در خواب و خیال ممکن می‌نمود به‌صورت واقعیت مجسم درآمده است. پژوهش با چنان میزانی به‌جلو می‌شتابد و با چنان شتابی که بیش از هر زمانی بالاتر است.

بیوشیمیست‌ها تاکنون تکه‌هایی از سلول‌ها را به‌کار برده‌اند تا پروتئین‌های ویژه‌ای را تولید کنند. دلیلی نیست که چرا این را نمی‌توان برای هر پروتئینی

انجام داد. توانایی انجام این ــ توانایی که ما هم‌اکنون دراختیار داریم ــ در اصل اعلام استقلال از شکل‌های زندگی است.

ملکول انسولین را درنظر بگیرید. این ماده‌ای است که هرگاه بخواهیم بیماری دیابت ملیتوس (مرض‌قند) را تحت‌کنترل درآوریم، لازم است. میلیون‌ها بیمار دیابتی برای زندگی طبیعی و عادی به‌آن نیاز دارند. درحال‌حاضر، آن از پانکراس گاو و خوک ذبح‌شده به‌دست می‌آید. چارپایان کافی برای هدف‌های تغذیه ذبح می‌شوند تا با انسولین موردلزوم ساکنان دنیا را برآورده سازند.

بااین‌وجود، فرض کنید که فشار جمعیت فزاینده نسل‌های آینده را وادار به‌رژیم گیاهی بیش و بیش‌تری کند. این به‌معنی کاهش تدریجی در قابلیت تامین انسولین خواهد بود.

ولی چنان‌چه ما دخیره‌ای از سلول‌های تولیدکننده انسولین از پانکراس گاو نر به‌دست آوریم، DNA و ریبوزوم‌های متناسب را ایزوله کردیم و وسائل لازم دیگر را جمع و جور کردیم، چه؟ دراین‌صورت آیا در آن‌هنگام به‌طور عملی می‌توانستیم یک نیروگاه شیمیایی برقرار کنیم که در آن اسیدهای‌آمینه از یک انتها تغذیه می‌شدند و بدون احتیاج به‌جانور زنده ویا حتی به‌پانکراس دست‌نخورده به‌عنوان واسطه، انسولین ساخته‌شده از انتهای دیگر پدیدار می‌شود.

برای اطمینان خاطر باید گفت، ما نمی‌توانستیم به‌کلی گاو نر را دست به سر کنیم. ذخیره اصلی DNA و ریبوزوم هنوز هم از پانکراس زنده می‌آمد. با این‌حال به‌جای این که تنها همان مقدار از انسولین را دراختیار داشته باشیم که در زمان ذبح در سلول وجود داشت، ما می‌توانستیم مایه‌های درون‌سلولی را تا دوره نامحدودی به‌کار واداریم و مقدار انسولین به‌دست‌آمده از هر پانکراس به‌تندی بسالا می‌رفت. وابستگی ما به‌گاو نر تا حد قابل‌ملاحظه‌ای محدودتر می‌شد.

حتی ممکن است ترتیبی داد تا DNA بتواند خود را نسخه‌برداری کند.

شاید روزی خواهد آمد که درآن‌زمان پانکراس را تنها یک‌بار از انبار خود بیرون کشیده شود. درنتیجه، سیستم که به‌دقت از آن مواظبت می‌شود، خود محرک دائمی خواهد بود.

درواقع، این‌روز احتمالاً فرا می‌رسد، زیرا در اوت ۱۹۶۲، جرج وی. کوچران از دانشگاه ایالتی یوتا اعلام کرد که او با استفاده از تکه‌های درون سلولی گوناگون و هیچ‌گونه سلول دست‌نخورده، تولید ملکول اسید نوکلئیک را از نوکلئوتیدها به‌سرانجام رسانده است. اسید نوکلئیک تولیدشده یک نمونه زیست‌شناختی خوبی بود، چون آن اسید نوکلئیک ویروس موزائیک توتون بود و کوچران ملکول‌های سرایت‌کننده را تولید کرده بود.

هیچ لزومی نداریم تا انسولین تنها سلول برای تولید می‌بود. واکنش‌های شیمیایی مهم ازنظر صنعتی وجود دارد که به‌یاری روش آنزیمی اجرا می‌شود و به‌سرانجام می‌رسد. معمولاً این کار به‌وسیله بهره‌برداری از توانایی تخمیر و سنتز کردن باکتری‌ها، مخمرها و سایر ساختارهای ذره‌بینی انجام می‌شود. هر ساختار ذره‌بینی، به‌هرحال به‌طور تمام‌وقت در هزاران واکنش دل‌مشغول است که به‌هدف‌های خودش خدمت می‌کند و آن را از یک واکنش بیرون می‌کشد که ما بدان علاقمند هستیم.

هرگاه می‌توانستیم یک سیستم اسید نوکلئیک/آنزیم برقرار سازیم که همان کار ویژه موردتقاضای همان واکنش را انجام می‌داد، ما می‌توانستیم هم تراز و معادل همان ساختارهای ریز با تخصص فوق‌العاده را داشته باشیم که خودش نیازی ندارد، یک برده ملکولی با یک هدف مجزا را می‌داشتیم که بدون خستگی برای ما کار می‌کرد. یک زمینه جدید از شناخت، "مهندسی درون‌سلولی" ممکن است به‌احتمال زیاد قد علم کند که شامل آماده‌سازی، تهیه و کنترل یک‌چنین سیستم‌هایی خواهد بود.

حتی ممکن است یاد بگیریم تا گونه‌های نوینی را به‌دست آوریم. اسید نوکلئیک دم‌دست ما تحت‌تاثیر گرما، تابش ویا ماده‌های شیمیایی را می‌توان به‌ظرافت تغییر داد و اسیدهای نوکلئیک تغییریافته دراین‌صورت پروتئین‌های

تغییریافته ایجاد می‌کردند، اکثریت بزرگی یک‌چنین پروتئین‌هایی بی‌شک به عنوان غیرمفید خود را نشان می‌دادند ولی قابل‌استنباط است که هرگاه به‌گاه پروتئین تغییریافته یا مفید ("پروتئین نو") ممکن است تولید شود. یک‌چنین نئوپروتئینی (پروتئین نو) ممکن بود کارکرد قدیمی را با کارآیی بیش‌تری انجام می‌داد یا این‌که کارکرد کاملا" نوینی را انجام دهد.

تازه درحال‌حاضر متخصصانی وجود دارند که به‌دقت گیاهان و جانوران را در پژوهش ابدی برای واریته‌های نو و اصلاح‌شده پرورش می‌دهند تا شاید روزی مهندس‌های درون‌سلولی وجود داشته باشند که علاقه اصلی آن‌ها پژوهش تمام‌نشدنی برای واریته‌های جدید نئوپروتئین‌ها باشد.

هرگاه به‌حد کافی به‌جلوتر نگاه کنیم، شاید بتوانیم روزی را ببینیم که تولید نئوپروتئین‌ها ــ پروتئین‌های نو ــ لزومی نخواهد داشت تا کاملا" زدی ــ نزدی hitormiss باشد (الابختکی و بدون‌امید به‌پیروزی) هرگاه ما شناخت بیش‌تر به‌حد کافی درمورد ساختمان پروتئین‌ها داشته باشیم، ممکن است، حتی به‌نقطه‌ای برسیم که بتوانیم استنتاج کنیم که برای انجام هدف ویژه‌ای که توسط هیچ یک از پروتئین‌های موجود در طبیعت درحال‌حاضر انجام نمی‌شود کدام ساختمان پروتئینی مورد درخواست خواهد شد. از شناخت خودمان نسبت به‌رمز ژنتیک، درآن‌زمان دقیقا" می‌دانستیم که برای ساختن یک‌چنین پروئتینی کدام اسید نوکلئیک لازم است. دراین‌صورت، هرگاه بتوانیم یاد بگیریم که سنتز حتی مقدارهای کمی از یک‌چنین اسیدهای نوکلئیک را چگونه به‌سرانجام برسانیم، ما "وارد کارزار می‌شویم" و می‌توانیم پروتئین جدید را در مقدارهای زیاد تولید کنیم.

از برخی جهات، موقعیت ما همانند آن‌چه برای مثال در ۱۸۲۰ بود، می‌باشد. در آن‌سال هرکس به‌احتمال زیاد حدس می‌زده است که شیمی‌دانان یاد خواهند گرفت تا چگونه ترکیب‌های آلی بسازند، این‌که آنان پس از آن، جلو می‌رفتند تا هزاران روی هزاران از یک‌چنین ترکیب‌هایی را بسازند که در طبیعت یافت نمی‌شد، یا این‌که حتی آنان ترکیب‌های ویژه‌ای می‌ساختند که

ازپیش می‌دانستند که فایده‌های معینی دارند. در آن‌سال، هرکس ممکن بود پیش‌گویی کند که درطول یک قرن و اندی، رنگ‌های سنتزی (مصنوعی) الیاف و پلاستیک سنتتیک (سنتزی یا مصنوعی)، داروهای مصنوعی (سنتزی) که در آن‌زمان در طبیعت یافت نمی‌شد و به‌مراتب برتر از هر فرآورده طبیعی که قرار بود به‌جای آن‌ها مصرف شوند، به‌مصرف عمومی نائل می‌شدند. یک‌چنین پیش‌گویی‌هایی به‌هرحال تاحد غیرمنطقی خیالی به‌گوش می‌خورد.

اینک، ما می‌توانیم همان امر ولی در سطح ظریف‌تر، بغرنج‌تر و بیش و بیش‌تر معجزه‌آسا از شیمی پروتئین‌ها را پیش‌گویی کنیم.

هدف نهایی

دورنماها برای آینده صرفا" به‌صنایع شیمیایی جدید مربوط نیست. شناخت شناخت می‌آورد، و وعدهٔ پژوهش‌های درجریان در زیست‌شناسی ملکولی، خیال‌آسا است.

هرگاه مقداری RNA پیام‌رسان ایزوله شود، و آنزیمی که پیام‌رسان آن را کنترل می‌کند، شناسایی شود، دراین‌صورت می‌توان از RNA پیام‌رسان استفاده کرد تا ملکول DNA ویژه را که آن را تشکیل داد، شناسایی کرد. آن خود را به آن‌قسمت از کروموزوم ایزوله‌شده خواهد چسباند، کروموزومی که مکمل دقیق آن خواهد بود و سپس می‌تواند ازطریق پیوند هیدروژن خود را کاملا" به‌آن بچسباند.

دراین‌صورت راه برای "نقشه‌کشی کروموزومی" دقیق باز خواهد بود. طبیعتا" این آسان نخواهد بود. به‌هرحال آغازی درحال تکوین است. در سال ۱۹۶۲، ربرت‌اس. ادگار از انستیتو تکنولوژی کالیفرنیا اعلام کرد که او نیمی از ژن‌های حاضر در ویروس ویژه‌ای را ردیابی کرده است درحالی که به ماهیت آنزیم‌هایی که هرکدام تولید می‌کردند، پی برده است. برای یقین

بیش‌تر، او برای این هدف DNA پیام‌رسان به‌کار نبرد بلکه تکنیک‌های قدیمی‌تر مشتمل بر جهش را. هم‌چنین ویروس روی هم تنها ۱۰۰ ژن دارد، درحالی‌که انسان می‌تواند تا حد بزرگی چون ۱۵۰۰۰۰ را داشته باشد. ولی هنوز آغاز راه است. هرکس به‌احتمال زیاد ممکن است و باید بدین‌وسیله هر ملکول DNA در هر کروموزوم را شناسایی کند.

پس از آن پیشرفت باید به‌احتمال زیاد در شماری از راستاهای گوناگون روی دهد. برای مثال، کروموزوم‌های سلول‌ها در بافت‌های گوناگون باید نقشه‌برداری شود تا مسئله‌های بی‌سرانجامی را حل کند که چه چیزی یک بافت را متمایز از دیگری می‌سازد.

به‌هرتقدیر، حتی هر ساختاری همان‌قدر پیچیده است که انسان با سلول باردارشده مجزایی تنها با دو دست ژن‌ها شروع می‌کند. پنجاه‌تریلیون سلول انسانی و بیش‌تر از آن سلول اصلی ناشی می‌شوند و با این‌که این همانند یک تکثیر تند عظیمی به‌نظر می‌آید، آن‌ها می‌توانند به‌یاری نه بیش‌تر از ۴۷ تقسیم سلولی متوالی ناشی شوند.

شما می‌توانید با این ملاحظه آن را چک کنید که سلول اصلی پس از یک تقسیم، دو سلول می‌شود. دو سلول پس از یک تقسیم چهارتا می‌شوند و چهار سلول پس از سومین تقسیم ۸ تا می‌شوند. شما این را تا ۴۷ بار ادامه دهید، به‌شرطی که حوصله‌اش را داشته باشید و به‌شماره نهایی توجه داشته باشید.

دراین‌مورد، کروموزوم‌ها نسخه‌برداری می‌کنند (همانندسازی)، بنابراین باید انتظار داشت که همه سلول‌های بدن انسان بالغ ژن‌های یکسانی دارند. ولی این بدان معنی خواهد بود که همگی باید آنزیم‌های یکسان نیز داشته باشند و بنابراین مکانیسم سلولی همسان و ویژگی‌های یکسان (درست یکی) داشته باشند.

به‌هرحال، اصل مطلب این است که آن‌ها این‌طوری نیستند. سلول‌های هر عضو و هر بافت از یک عضو دارای ساختمان (طرز ساخت) آنزیمی مشخص

و مختص خود است، با توانایی‌های خود، با ویژگی‌های مال خود. سلول عصب، سلول ماهیچه، سلول استخوان، سلول کلیه، سلول غده ترشحی هر یک ۴۷ نسخه‌برداری (تکثیر) هستند که از همان اووم باردار درآمده‌اند ولیکن هریک چقدر با دیگری تفاوت دارد.

پایه شیمیایی این متمایز شدن بافت‌ها تنها اینک به‌کندی شروع به‌درک می‌شود. تا همین اواخر، نمی‌دانستیم که آیا بافت‌های گوناگونی قد علم می‌کنند چون درطی دوره تقسیم سلولی، گروه‌های معینی از سلول‌ها دست ویژه‌ای از ژن‌ها را ازدست می‌دهند یا این‌که هرکدام شامل دست‌های (مجموعه) ژن‌ها هستند ولی عمل عده‌ای معین از آن‌ها را خنثی می‌سازد یا ممانعت می‌کند.

حداقل دو خط از آزمایش‌های اخیر به‌نظر، مورد اخیر دو آلترناتیو را مورد حمایت قرار می‌دهد. پژوهشگران در دانشگاه آکسفورد به‌وسیله نور فرا بنفش، هسته تخم‌های قورباغه را می‌کشتند. هسته از جنین‌های قورباغه‌ها یا حتی بچه‌قورباغه‌ها که به‌تازگی از تخم درآمده بودند جانشین شده بودند. سی درصد هسته‌ها از جنین‌ها کفایت می‌کردند تا اجازه تقسیم سلول‌ها را بدهند و قورباغه‌های بالغ عادی ایجاد کردند. چهار درصد هسته‌ها از سلول‌های درونی از بچه‌قورباغه تازه ازتخم‌درآمده همان کار را انجام دادند. در این صورت، ظاهرا" پس از متمایز بودن قابل‌ملاحظه، هسته سلول قورباغه حاوی تمام ژن‌های لازم برای تولد قورباغه کاملی بود.

کار روچی. سی. هوانگ و جیمز بونر JamesBonner---Ru-chih C.Huang در انستیتو تکنولوژی کالیفرنیا در این‌جا وفق می‌دهد. آن‌ها جزءهای پروتئینی کروموزوم را بررسی کردند و دریافتند که در برخی موردها آنان می‌توانستند با برداشتن واریته‌های معینی از پروتئین حاضر در کروموزوم میزان تولید RNA-پیام‌رسان را افزایش دهند. دراین‌صورت ممکن است که برخی پروتئین‌ها به عنوان "قفل" خدمت کرده، عمل ملکول‌های معین اسید نوکلئیک را مانع می‌شود. دراین‌مورد، هر سلول به‌هر نحوی که ممکن است تخصص یافته باشد،

هنوز هم می‌توانست حاوی هر ژن باشد، ولی هریک ممکن بود الگوی پروتئین قفل‌کننده خود را دراختیار داشته باشد، پروتئینی که ژن‌های معینی را در سلول‌های عصب، ژن‌های دیگر در سلول‌های ماهیچه و الی آخر را بلوکه می‌کرد (راه را سد می‌کرد).

چنان‌چه همه همین‌طور هم دربیاید، پس قابل‌استنباط است که ما هم می‌توانیم ژن‌ها را با کلید باز کنیم. دراین‌صورت آیا ممکن است که روزی قادر باشیم تا باقی‌مانده بازوی قطع شده را تشویق کنیم که با متمایز ساختن سلول‌های خود و اجازه دادن به‌رشد و متمایز کردن آن برای یک‌بار دیگر، عضو کامل نوبی را رشد دهد؟ آیا می‌توانیم تکه‌هایی از بافت‌های جنینی یا اووم‌های باردار را به‌دست آوریم و آن‌ها را به‌سوی تولید منحصر قلب، یا کلیه هدایت کنیم، از آن‌رو که این‌ها برای پیوند و انتقال لازم هستند.

دیگر این‌که لازم نیست تا صرفا" با امکان بازسازی‌های فیزیکی (جسمانی) توقف کنیم. ما ممکن است قادر باشیم تا عیب‌های کلی را تصحیح و رفع کنیم: با عدم‌تعادل هورمونی به‌مقابله برخیزیم، ویا امکان سرطان را به‌کلی رفع کنیم.

نقطه‌های دقیق عدم کارآیی در بیماری‌های ارثی گوناگون و در بی‌نظمی مکانیسم شیمیایی سلول ممکن است درطول کروموزوم‌ها ردیابی شود. این می‌توانست راه را به‌سوی علائم اولیه و عوارض شرائطی رهنمون شود که معمولا" تنها بعدها در مرحله‌های بعدی زندگی بروز می‌کند و گسترش می‌یابد. حتی ممکن است وجود یک‌چنین عیبی را ردیابی کرد درجایی که آن با حضور یک ملکول DNA نرمال بر روی کروموزوم‌های جفت‌شده در فرد مربوطه سرکوب می‌شود. می‌بینید این نقص که مانع آن شده‌اند یا در فرد بروز کند، با تمام عوارض خود در نسل بعدی پیدا خواهد شد.

هرکس ممکن است درباره آینده‌ای تاحدی دور امعان‌نظر کند که در آن افراد به‌رسم معمول تحت "آنالیز ژنی" قرار می‌گرفتند، همان‌طور که امروزه به رسم معمول واکسینه می‌شوند.

این می‌تواند درنهایت به‌گسترش پایه‌ای منطقی برای ائوژنیک* منجر شود ــ یعنی برای دوره‌ای از عمل‌ها که برای رفع ژن‌های مضر و تشویق پخش و گسترش ژن‌های دلخواه طراحی می‌شود.

شاید آنالیز ژنی عمومی جمعیت درنهایت اطلاعاتی به‌ما خواهد داد که به‌پیش کشیدن پایه فیزیکی برای بیماری‌های روانی منجر خواهد شد. حتی می‌توانیم به‌احتمال زیاد ترکیب ژنی برای یک‌چنین چیزی مانند هوش بالا، آفرینندگی هنرمندانه و همه چیزهایی پیش‌بکشیم که جوهر بشریت در بالاترین و ایده‌آل‌ترین شکل خود می‌باشد.

آیا آن‌روز خواهد آمد، و دراین‌صورت ما به‌هدف نهایی هدایت تکامل خود ما به‌صورت هوشمندانه و هدفمند به‌سوی گسترش شکل بهتر و پیشرفته‌تر زندگی بشر نائل خواهیم شد.

---

* Eogenics ــ *جنبشی که به‌اصلاح گونه‌های انسانی ازطریق کنترل عامل‌های وراثتی درهنگام جفت‌گیری می‌پردازد.م*

در سال ۱۹۴۴ ترکیب شیمیایی -DNA- (اسید دی‌اکسی‌ریبونوکلئیک) یافت شد که قادر به‌تغییر یک‌رشته ویروس به‌ویروس دیگر بود. کشف‌های بعدی در مورد -DNA- به‌پیشرفت‌های غیرقابل‌احتساب علمی منجر شد، که یکی از آن‌ها "شکستن" جزئی رمز ژنتیک می‌باشد.

آسیموف، دانشمند ـ نویسنده نامدار کارکرد پیچیده سلول، کروموزوم ملکول و پروتئین را در رابطه با این تحول بزرگ در زیست‌شناسی ملکولی را به‌طرز برجسته‌ای نشان می‌دهد و کاوش می‌کند.

او نشان می‌دهد که نقشه درون کروموزوم، صفت‌ها و خصلت‌های مختص فرد را دیکته می‌کند و چگونه آن ظاهر، هوش و ساختمان بدن را تضمین می‌کند.

اسیموف به‌امکانات موجودی اشاره می‌کند که ازطریق کشف ـ ـ اینک دربرابر چشمان ما قرار دارند. انسان بیش و بیش‌تر به‌راز زندگی نزدیک می‌شود، شاید روزی خودش قادر خواهد بود ازطریق کنترل رمز ژنتیک از بسیاری ناهنجاری‌های جسمی و روانی جلوگیری کند.

بزرگ‌ترین تحول علمی در عصر جدید در سال ۱۹۴۴ فرا رسید، هنگامی که او.تی.آوری و دو همکار ـ ـ را کشف کردند. این ماده مرموز اساس تمام زندگی بر روی زمین است -DNA- طبیعت و ماهیت هر ساختار زنده از آمیب تا انسان را تعیین می‌کند.

در "رمز ژنتیک" آسیموف گام به‌گام پژوهش علمی را ردیابی می‌کند که به این موفقیت بزرگ منجر شد. او معنی و مفهوم آن را موردتجزیه و تحلیل قرار می‌دهد و عواقب آن را بررسی می‌کند و با پیش‌گویی جسورانه‌ای امعان‌نظر می‌کند که چگونه این شناخت زیست‌شناختی جدید را می‌توان برای کنترل تطور جسمی و معنوی نژاد بعدی انسان به‌کار گرفت.

آیزاک آسیموف در سال ۱۹۲۳ در روسیه به‌دنیا آمد و از کودکی همراه خانواده‌اش به آمریکا مهاجرت کرد. او استاد کرسی بیوشیمی دانشکده طب دانشگاه بوستون است. وی بیش از ۲۰۰ جلد کتاب در زمینه‌های گوناگون دانش و هم‌چنین داستان و بررسی‌های تاریخی را تالیف کرده است.

انتشارات میر (گوتنبرگ)