

تکامل شیمیایی و پیدایش حیات

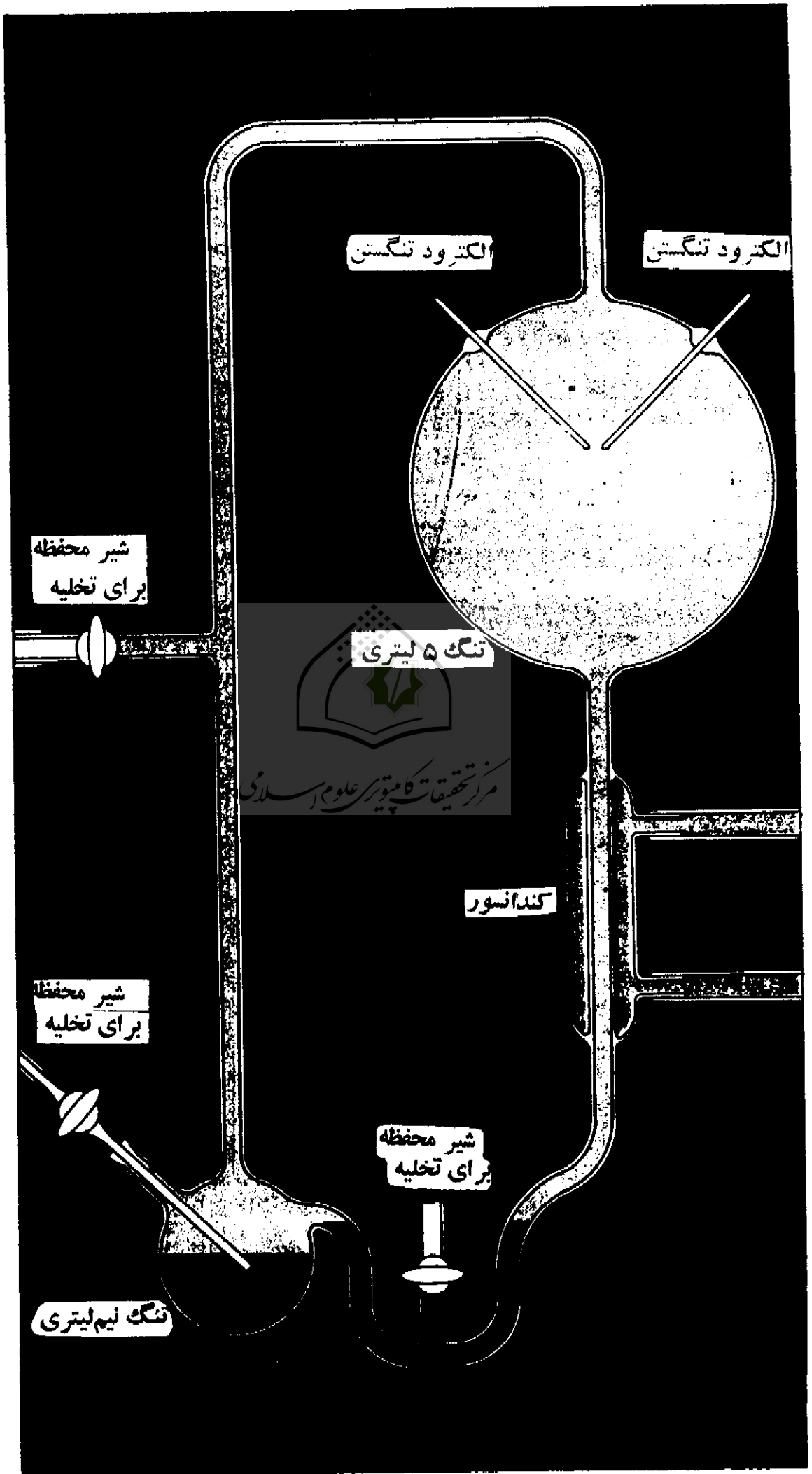
طی يك میلیارد سال از تشکیل زمین (حدود ۴۶۰۰ میلیون سال پیش)، زیست‌مندان تک یاخته‌ای، به‌روش غیر زیستی و در جوی بدون اکسیژن، از مولکولهای آلی تک‌وین یافته‌اند.

شگرف‌ترین جنبه تکامل حیات بر روی زمین، سرعت انجام پذیرفتن آن است. روشهای گوناگون رادیواکتیو - ایزوتوپ، که برای تعیین عمر سنگهای آسمانی (شخانه‌ها) به‌کار گرفته شده، تقریباً رقم ۴۶۰۰ میلیون سال را به‌دست می‌دهند. چنانچه فرض کنیم خورشید، سیاره‌ها، شخانه‌ها و مواد دیگر موجود در منظومه شمسی، تماماً از همان توده غبار اولیه و تقریباً به‌طور هم‌زمان تشکیل شده باشند، آنگاه می‌توان عمر زمین را هم ۴۶۰۰ میلیون سال دانست. بخش بزرگی از سرگذشت زمین در ابتدای پیدایش آن، به‌واسطه رخداد‌های بعدی محو شده است. برخی از قدیمیترین سنگ‌های ته‌نشستی شناخته شده، در ته‌نشستهای فیک‌تری Figtree و اون‌فرواخت Onverwacht در آفریقای جنوبی، به‌ترتیب ۳۲۰۰ و ۳۴۰۰ میلیون سال عمر دارند. هر دو ته‌نشست محتوی سنگواره‌های ریز شبه‌باکتری هستند و ظاهراً کمی بیش از يك میلیارد سال پس از تشکیل سیاره ما، بر روی آن ظاهر گشته‌اند. همچنین، تا پیدایش یاخته‌های هسته‌دار و نیز تا پیدایش زیست‌مندان پریاخته، بیش از دو برابر این مدت زمان طول کشیده است.

به‌نظر می‌رسد، گام نهادن از ماده آلی غیرزیستی به آسانه حیات، از آنچه انتظار می‌رفته آسانتر، و گام نهادن از باکتریهای تک یاخته‌ای به زیست‌مندان پریاخته دشوارتر بوده است. فرایندهای بعدی حیات، به‌خاطر نتایجی که از سنگواره‌ها به‌دست آمده، قابل فهمتر است. اصولاً، يك میلیارد صفحه از ابتدای کتاب تاریخ کره زمین، تقریباً

1 - R. E. Dickerson, Scientific American, Vol. 239, No. 3, pp 70-86, September 1978.

ریچارد ای. دیکرسون، استاد شیمی در انستیتو تکنولوژی کالیفرنیاست. دیکرسون و همکارانش توانسته‌اند به‌کمک اشعه ایکس، ساختار ملکولی آنزیم گوارشی تریپسین trypsin و همچنین ساختارهای مولکولی سیتوکروم (cytochrome C) ، به‌دست آمده از اسب، ماهی و دو نوع باکتری را پیدا کنند.



به طور کامل ناپدید گشته است و اکنون باید تلاش شود آن را از طریق اطلاعات موجود در صفحات بعدی و تمام آنچه انسان به طور کلی در باره سیارات دیگر و در باره دانش شیمی می‌داند، بازنویسی کرد. این مقاله مبین کوششهای کاشفانی است که هدفشان بازسازی تاریخ تکامل حیات طی يك میلیارد سال نامعلوم ابتدای پیدایش کره زمین می‌باشد.

سازوکارهای قابل پذیرشی وجود دارند که نشان می‌دهند تحت شرایط آغازین زمین امکان ترکیب کردن بیشتر تکپار *monomer* ها یا مولکولهای ساده وجود داشته است. بسیار *Polymer* حاصل از این تکپارها را می‌توان به دو دسته بزرگ تقسیم کرد: دسته نخست، اسیدهای نوکلئیک که ماده وراثتی را در بردارند و منتقل می‌کنند، و دسته دوم، پروتئینها، که برخی به عنوان مواد ساختاری و برخی دیگر به عنوان آنزیم‌هایی برای کاتالیدن *Catalizing* واکنشهای شیمیایی پیچیده (که هم اساس سوخت و ساز و هم اساس تولید مثل را تشکیل می‌دهند)، عمل می‌کنند. نشان دادن چگونگی پیوند تکپارها در داخل بسپارهای مؤثر زیستی کار دشواری است، لیکن برخی راههای قابل پذیرش یافت شده‌اند. بعلاوه، در بعضی آزمایشها، نشان داده شده که قطرات کوچک دارای پوسته غشا مانند ظرفیت کاتالیدن واکنشهای ابتدایی را - شبیه آنچه در یاخته‌های زنده مشاهده شده - دارا هستند و از استعداد ادامه زندگی در محیطی جز محیط خود برخوردارند. همه اینها راهی طولانی تا ایجاد «حیات در لوله آزمایش» را نشان می‌دهند، لیکن منظور تنها این نیست، بلکه هدف عمده، دستیابی به دلایل قانع کننده در باره چگونگی پدیدار شدن شکلهای گوناگون حیات، از ماده بیجان، بر روی کره زمین است. اکنون به نظر می‌رسد دستیابی به این هدف نزدیک شده باشد.

البته، احتمال دارد که ابتدا حیات بر روی زمین آغاز نشده باشد. بر اساس نظریه پانس پرمیا (*panspermia*)، که در سده پیشین رواج فراوان داشت، احتمال داده می‌شود، انتقال زندگی از یک منظومه شمسی به منظومه شمسی دیگر از طریق انتشار میکروارگانیسمها صورت گرفته باشد. فرانسیس کریک *F. H. C. Crick* و لسلی اورگل *Leslie E. Orgel* اخیراً پیشنهاد جسورانه تری درباره پیدایش حیات بر روی زمین

در دستگاه طرح شده توسط استانی میلر و هارولد اوری در دانشگاه شیکاگو، شرایط مصنوعی مشابه جو زمین در آستانه پیدایش حیات سبب به وجود آمدن ترکیبات آلی از مواد ساده تر می‌شود. آمیزه‌های گوناگون گازهایی که تصور می‌رود در جو آغازین زمین وجود داشته‌اند، از طریق شیر واقع در وسط لوله عمودی (سمت چپ) به دستگاه وارد می‌شوند. آب در بالون ۵۰۰ سانتی‌متر مکعبی، واقع در پایین لوله، جوشانده می‌شود تا مجموعه گازه‌ها در يك مدار بسته در داخل دستگاه به حرکت درآیند. در بالون پنج لیتری، واقع در قسمت بالا (سمت راست) مخلوط گازه‌ها تحت عمل تخلیه الکتریکی (در شکل بارتنگ سفید مشخص شده) قرار می‌گیرد. منابع انرژی داده شده، مشابه آنچه در جو آغازین زمین وجود داشته، انتخاب شده‌اند. ترکیبات گوناگونی پایین دستگاه، در محلول جمع‌آوری می‌شوند.

(و بر روی سایر سیارات) به میان کشیده‌اند. بر اساس نظریهٔ آنان، حیات بر روی این سیارات توسط موجوداتی، که میلیاردها سال از انسان متکاملتر بوده‌اند و در سایر سیارات منظومهٔ شمسی زندگی می‌کرده‌اند، «کاشته» شده است. فرایندی که کریک و اورگل آن را «پانس پرمیای هدایت شده» *directed panspermia* نام دادند، شاید بتواند برای ماروین سازد عنصر مولیبدن، که مقدار آن بر روی زمین بسیار ناچیز است، چگونه در عملیات و رفتار بسیاری از آنزیمهای بنیادی نقش اساسی دارد. اثبات یا رد تئوریهای پانس پرمیا با دانش امروزی بشر ممکن نیست و، به همین دلیل، به مورد علاقهٔ ما در این نوشتار ربطی پیدا نمی‌کنند.

زمین نسبت به انواع حیات یافت شده بر روی آن مهمان نواز بوده است. اگر پیدایش نوعی از حیات بر روی زمین صورت نگرفته باشد، بیشک باید بر روی سیارهٔ دیگری، که از نظر دما و ترکیب آن اختلاف زیادی با زمین نداشته، تکوین یافته‌باشد. پرسیدنی است که، حیات چگونه بر روی سیاره‌ای مانند زمین تکوین پیدا کرده است؟ شروع فرایند به چه صورت بوده است؟ یک چیز مسلم است: اکسیژن آزاد موجود در جو بسیار کم بوده، و شاید وجود نداشته، وازینرو، اکسایش *oxidation* قوی، مانند امروزه، ممکن نبوده است، زیرا ترکیبات آلی که باید به‌عنوان مواد اولیه برای تکوین حیات ذخیره شوند در یک جواکسیدان پایدار نمی‌باشند. معمولاً فراموش می‌کنیم که اکسیژن یک گاز فرساینده *corrosive* و سمی است که انسان و زیست‌مندان دیگر به وسیلهٔ سازوکارهای دقیق شیمیایی و فیزیکی در مقابل آن محافظت می‌شوند. غذای بسیاری باکتریها و همچنین اشکال متکاملتر حیات، از طریق ترکیب آن با اکسیژن می‌سوزد. مصرف مقدار انرژی در هر گرم سوخت، در این فرایند خیلی بیشتر از تخمیر بی‌هوازی (بدون اکسیژن) می‌باشد. آنزیمهایی مانند کاتالاز، پراکسیداز *peroxidase* و سوپر اکسید دیسموتاز *superoxide dismutase* برای حفاظت از تأثیرات سمی جنبی اکسیژن مصرفی زیست‌مندان تکوین یافته‌اند. باکتریهای بی‌هوازی فاقد این دستگاههای حفاظتی هستند و اکسیژن برای آنها بی‌فایده و مہلک است.

به نظر می‌رسد برای اولین بار هالدین *J. B. S. Haldane* زیست‌شیمی‌دان انگلیسی، به این نکته توجه کرده که جو احیاکننده، یعنی جو بدون اکسیژن آزاد، برای تکوین حیات از مادهٔ آلی بیجان ضرورت داشته است. بدون اکسیژن آزاد، لایهٔ ضخیم ازن در فاصلهٔ زیاد از سطح زمین نمی‌توانست وجود داشته باشد، تا مانند امروز از رسیدن تابش فرابنفش *ultraviolet* به زمین به مقدار زیاد جلوگیری کند.

مقدار تابش فرابنفش که در آن روزگاران به سطح سیاره می‌رسیده، می‌توانسته انرژی لازم را برای ساختن بسیاری ترکیبات آلی از مولکولهایی چون آب، دی‌اکسید کربن و آمونیاک فراهم سازد. چنین ترکیباتی برای اینکه در این جو بدون اکسیژن آزاد نابود نشوند، می‌بایست در اقیانوسها مجتمع شده باشند، تا به گفتهٔ هالدین: «آب اقیانوسهای اولیه به غلظت سوپ رقیق داغ برسد.»

نظریات هالدین، که در سال ۱۹۲۹ مطرح شد، تقریباً واکنشی را برینگیخت. پنج

عنصر	نشانه	عدد اتمی	در سراسر گیتی	در زمین	در پوسته زمین	در آب اقیانوسها	در بدن انسان
HELIUM	He	2	7,185	—	—	—	—
LITHIUM	Li	3	—	—	9	—	—
BERYLLIUM	Be	4	—	—	—	—	—
BORON	B	5	—	—	—	—	—
FLUORINE	F	9	—	—	—	—	—
NEON	Ne	10	20	—	—	—	—
ALUMINIUM	Al	13	0.2	1,300	6,251	—	—
SILICON	Si	14	2.8	15,000	20,475	—	—
ARGON	Ar	18	0.3	—	—	—	—
CALCIUM	Ca	20	—	—	—	—	—
TITANIUM	Ti	22	—	28	191	—	—
CHROMIUM	Cr	24	—	—	4	—	—
MANGANESE	Mn	25	—	—	8	—	—
IRON	Fe	26	14	14,000	1,856	—	—
COBALT	Co	27	—	—	1	—	—
NICKEL	Ni	28	0.1	1,400	3	—	—
COPPER	Cu	29	—	—	1	—	—
ZINC	Zn	30	—	—	2	—	—
			99,999.5	99,998.1	99,999	99,994.4	99,999

توزیع عناصر عمده، تا حد زیادی به ماهیت نمونه مورد نظر بستگی دارد. این جدول مقدار هر یک از ۳۰ عنصر ابتدای جدول تناوبی عناصر را، بر حسب یک اتم در هر صد هزار اتم موجود در تمام گیتی، در تمام کره زمین، در پوسته زمین، در آب اقیانوسها و در بدن انسان، نشان می‌دهد. جاهای خالی نشان‌دهنده آن است که مقدار عنصر، کمتر از ۰.۱ اتم در هر صد هزار اتم است. از جدول پیداست که مقدار عناصر موجود در کره زمین، با مقدار عناصر موجود در تمام گیتی تفاوت بسیار دارد. ترکیب بدن انسان، بسیار شبیه ترکیب سایر زیست‌مندان است. بیست و چهار عنصر از تمام عناصر (۱۰۵ عنصر)، برای فرایندهای حیات ضروری شناخته شده‌اند: بیست عنصری که در این جدول با رنگ تیره مشخص شده‌اند همراه با عناصری مانند سلیوم (عدد اتمی ۳۴)، مولیبدن (عدد اتمی ۴۲)، قلع (عدد اتمی ۵۰) وید (عدد اتمی ۵۳).

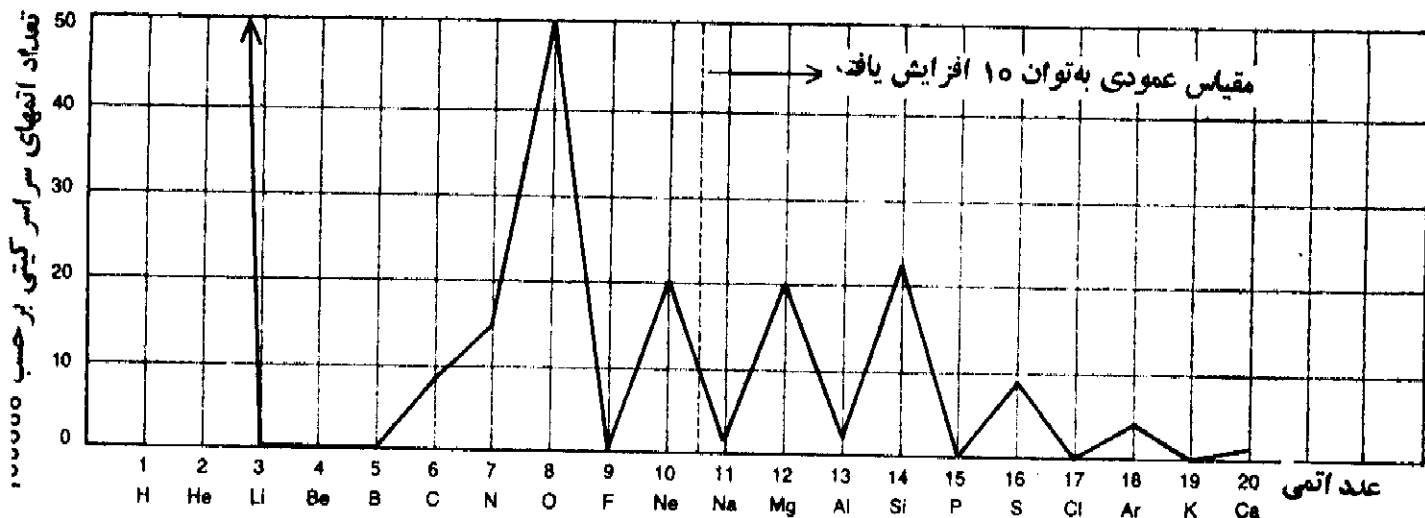
سال پیش از آن اوپارین A. I. Oparine زیست شیمی‌دان شوروی، رساله کوچکی چاپ کرده و در آن نظریات تقریباً مشابهی درباره منشأ حیات ارائه داده بود. در آن زمان، زیست شیمی‌دانان سنتی متقاعد شده بودند که لوئی پاستور منشأ حیات را که

مسئله‌ای علمی است، مورد توجه قرار داده و نظریهٔ خلق‌الساعه را یکبار و برای همیشه رد کرده بود. اما در آن موقع نمی‌توانستند درک کنند که اوپارین وهالدین موضوعی بسیار استثنایی را مطرح می‌ساختند: حیات به‌طور خلق‌الساعه، از مادهٔ بیجان تکوین نمی‌یابد (تئوری کلاسیک خلق‌الساعه، پس از پاستور دیگر قابل دفاع نبود)، لیکن، حیات یکبار از مادهٔ بیجان تحت شرایط آغازین زمین و فارغ از رقابت با زیست‌مندان دیگر تکوین یافته است.

چارلز داروین در مسیر درستی گام برمی‌داشت، هنگامی که در سال ۱۸۷۱ به یکی از دوستانش نوشت: اغلب گفته می‌شود تمام شرایط برای ایجاد زیست‌مندان از بیجان، اکنون نیز فراهم است و همیشه نیز فراهم بوده است. لیکن اگر، فرضاً، ما قادر بودیم حوضی گرم و کوچک را با انواع نمک‌های آمونیاک و فسفریک، نور، حرارت، الکتریسیته و غیره مورد نیاز برای تشکیل یک پروتئین به‌طریق شیمیایی و همچنین شرایط لازم برای انجام تغییرات پیچیده‌تر را فراهم سازیم، در حال حاضر که شرایط آغازین زمین دیگر به‌طور طبیعی فراهم نیست، چنین معجونی سبب به‌وجود آمدن تک‌یاخته‌ها و سایر موجودات آغازین نخواهد شد.

در سال ۱۹۵۲ هارولد اوری Harold C. Urey نظریهٔ اوپارین وهالدین را در کتاب خود به‌نام «سیارات» بازگو کرد. او و استانیلی میلر Stanley Miller در دانشگاه شیکاگو دست به‌انجام آزمایش‌های علمی جالبی زدند. برای اثبات این نظریه که در شرایط آغازین زمین، سنتز ترکیبات آلی و پیچیده از گازهای ساده موجود در جو زمین و تحت تأثیر منابع انرژی آن روزگاران صورت گرفته است، آنها نشان دادند که تخلیهٔ الکتریکی در مخلوطی از هیدروژن، متان، آمونیاک و آب، موجب ایجاد آلدئیدها، اسیدهای کربوکسیلیک و اسیدهای آمینه می‌شود. در مخلوط گازهای دیگر، از جمله مونوکسید کربن، دی‌اکسید کربن و ازن نیز، بدون وجود هیچ‌گونه اکسیژن آزاد، همین عمل انجام می‌گیرد. انجام آن آزمایش‌ها و شروع تحقیقات فضایی در سالهای ۱۹۶۰، علاقه به‌منشأ حیات و امکان وجود زندگی در هر جای گیتی را برانگیخت.

از ابتدا اوپارین وهالدین نظریات متباینی را، در بارهٔ شرایط مهم آغازین برای تکامل حیات بیان داشتند و این امر سبب شده که امروزه ناسازگاریهایی در میان نظریه پردازان پیدایش حیات ادامه یابد. یک سلول زنده دارای دو استعداد اساسی است: یکی ظرفیت سوخت و ساز و دیگری ظرفیت تولید مثل. ادامهٔ حیات سلول در کوتاه مدت به‌وسیلهٔ تغییر آرایش اتمهای ترکیباتی (غذا) که به‌صورت مولکولهای گوناگون مورد نیازش مصرف می‌کند، ممکن می‌گردد. در درازمدت، حیات سلول به‌وسیلهٔ قابلیت تولید مثل و ایجاد زادگان، تأمین می‌شود. مسئله این است که آیا یک سوخت و ساز عملی که به‌وسیلهٔ نوعی غشا در برابر رقیق‌شدگی و خرابی توسط محیط اطرافش حفاظت شده باشد، زودتر به‌وجود آمده است یا یک مولکول بزرگ که بقای آن به‌وسیلهٔ ایجاد



این نمودار مقدار عناصر را در تمام گیتی نشان می‌دهد. برتری با عنصری است که عدد اتمی زوج دارند، یعنی عنصری که تعداد پروتونهای هسته آنها زوج است. توضیح اینکه، واکنشهای هسته‌ای اختری (stellar) که عناصر سنگینتر، لافل تا آهن، راستتر می‌کنند، از هسته هلیوم به‌عنوان سنگ بنا استفاده می‌نمایند. علت نایاب بودن عنصر برلیوم در طبیعت آن است که عنصر هلیوم به‌جای آنکه طی یک واکنش دموولکولی به برلیوم تبدیل شود، ترجیح می‌دهد تا ضمن یک واکنش سه مولکولی، کربن به‌وجود آورد.

مولکولهای همانند خود از مواد موجود در محیط اطرافش تأمین گردیده به‌عبارت دیگر، کدامیک از این دو مفهوم قدیمیتر است: پروتوبیون protobion ، یا ژن برهنه naked gene ؟ هالدین به‌دومی توجه داشت. اوپارین بیشتر به‌واکنشهای شیمیایی که در داخل قطرات کوچک، جدا از محیط خارج، رخ می‌دهند و همچنین به‌مسئله رقابت برای تنازع بقا در میان چنین قطراتی علاقه‌مند بوده است (اوپارین در ۸۴ سالگی در مسکو به‌عنوان پیشکسوت پژوهشگران پیدایش حیات شناخته شد). برای اوپارین، دستگاه تولید مثل و DNA تنها ظرایف زیست‌شیمیایی هستند، که از طریق سوخت و ساز توانستند پروتوبیونهای درحال رقابت را به‌سلولهای زنده تبدیل نمایند.

احتجاج دربارهٔ تقدم سوخت و ساز بر همانند سازی (یا تقدم پروتئین بر اسید نوکلئیک) و بالعکس، سرانجام ما را به‌سرنوشت نسلهای پیشین— که در مورد تقدم جوجه یا تخم مرغ و یا تقدم توارث یا محیط بحث وجدل می‌کردند— دچار خواهد ساخت. امروزه اسیدهای نوکلئیک نمی‌توانند بدون آنزیم، و همچنین آنزیمها نمی‌توانند بدون اسیدهای نوکلئیک ساخته شوند. پاسخ پرسش «ابتدا کدامیک به‌وجود آمد: آنزیمها یا اسیدهای نوکلئیک؟» باید این باشد: ظهور آنها به‌طور موازی صورت گرفت. کاتالیزرهای لازم برای واکنشهایی که در ابتدای حیات، بقای قطرات مخصوص را در داخل «سوپ هالدین» تأمین می‌کردند، همچنین سازوکار تکثیر این کاتالیزرها (درمقابل ضربهٔ امواج و سایر نیروهای مکانیکی که سبب شکستن قطرات و پراکنده‌شدن کاتالیزر می‌گردید) بایستی به‌طور همزمان تکوین یافته باشد. دستگاه‌های کهنه‌تر

شش نوع اتم موجود در مولکول هایی که در شکلهای دیگر از آنها یاد شده است در این تصویر مشخص شده اند. علامت رادیکال (R) نشانگر يك شاخه جانبی است که در چندین واکنش شرکت می کند و بدون تغییر می ماند.

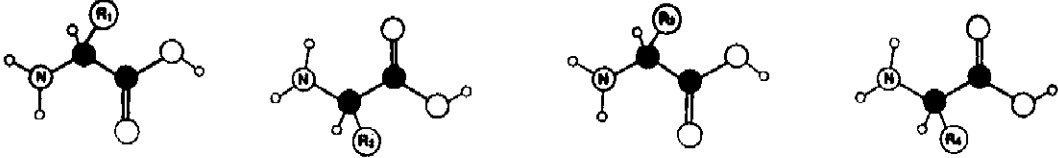
●	کربن	⊙	فسفر
○	هیدروژن	⊙	گوگرد
○	اکسیژن	⊙	نیتروژن
⊙	ازت		

به حیات خود ادامه ندادند، زیرا نمی توانستند با دستگاههای نو و پیشرفته، برای تأمین مواد اولیه مورد نیازشان، رقابت کنند. امروزه در سلولهای زنده، کاتالیزورهای آنزیمی و پدیده تولید مثل DNA کاملاً درهم آمیخته شده اند؛ آنچنانکه مشکل بتوان دریافت دستگاه ساده تر از آنچه امروز وجود دارد، چگونه بوده است. لیکن همانطور که برنال J.D. Bernal فیزیکدان انگلیسی نوشت: تصویر مولکول مجرد DNA بر روی ساحل دریای اولیه، که ادامه حیات از آن نشأت یافته، با آب و رنگی شبیه به تصویر «آدم و حوا در باغ عدن»، مطرح شده است.

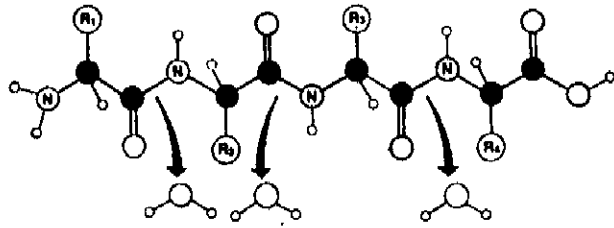
گذار از آلدئیدها و اسیدهای آمینه ای که به طور غیر زیستی تشکیل شده اند، به یک سلول زنده، به نوبه خود گام بلندی است. به میان کشیدن يك سناریو برای بیان منشأ احتمالی حیات، يك امر است و بحث در مورد ممکن بودن یا محتمل بودن آن سناریو، امر دیگری است. در این زمینه مدارکی وجود دارد که عبارتند از: اطلاعات مختصری درباره میکروارگانیسمهای سنگواره ای، تاریخ زمین شناسی سیاره، تجربیات آزمایشگاهی که نشان می دهد در آغاز پیدایش حیات چه واکنشهایی می توانسته اند انجام شوند، مدرک غیر زمینی مربوط به وجود ماده آلی در شخانه ها و در طیف غبار بین ستاره ای و امید کشف حیاتی که بر روی سیارات دیگر، به طور جداگانه تکوین یافته باشد.

تکامل سلولهای زنده از ماده بیجان را می توان به پنج بخش تقسیم کرد: (۱) تشکیل سیاره، همراه با گازهایی در جو که ممکن است به عنوان مواد اولیه برای حیات به کار رفته باشند؛ (۲) سنتز تکپارهای زیستی مانند اسیدهای آمینه، قندها و قلیاهای آلی Organic bases؛ (۳) بسپارش Polymerization تکپارهای اخیر به زنجیرهای پروتئین اولیه و اسید نوکلئیک در یک محیط آبی که در آن تجزیه بسپار از لحاظ ترمودینامیکی ممکن بوده است؛ (۴) جدا شدن قطرات کوچک سوپ هالدين به صورت پروتوبیونها با شیمی و هویت ویژه خودشان؛ و (۵) پیشرفت نوعی دستگاه تولید مثل برای مراقبت از اینکه سلولهای زاده شده، تمام قابلیت های شیمیایی و سوخت و سازی سلولهای مادر را داشته باشند. به عبارت دیگر، برای تبیین پیدایش حیات بایستی مسایل مربوط به مواد اولیه، تکپارها، بسپارها، جداسازی و تولید مثل را مورد بررسی قرار داد.

پروتئین

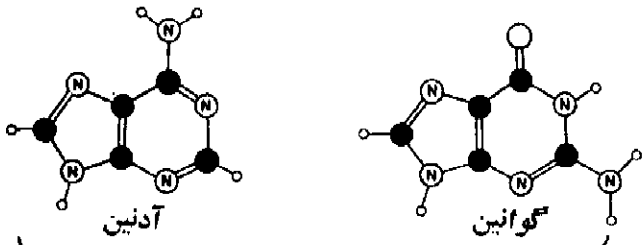


اسید آمینه



پروتئین

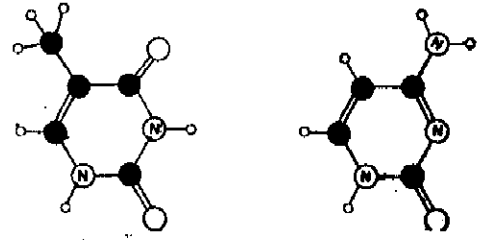
اسید نوکلئیک



آدنین

گوانین

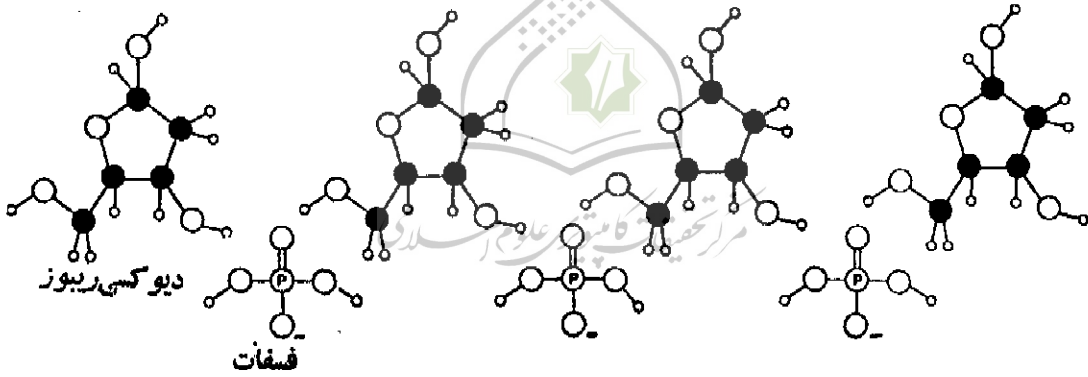
پورین



تیمین

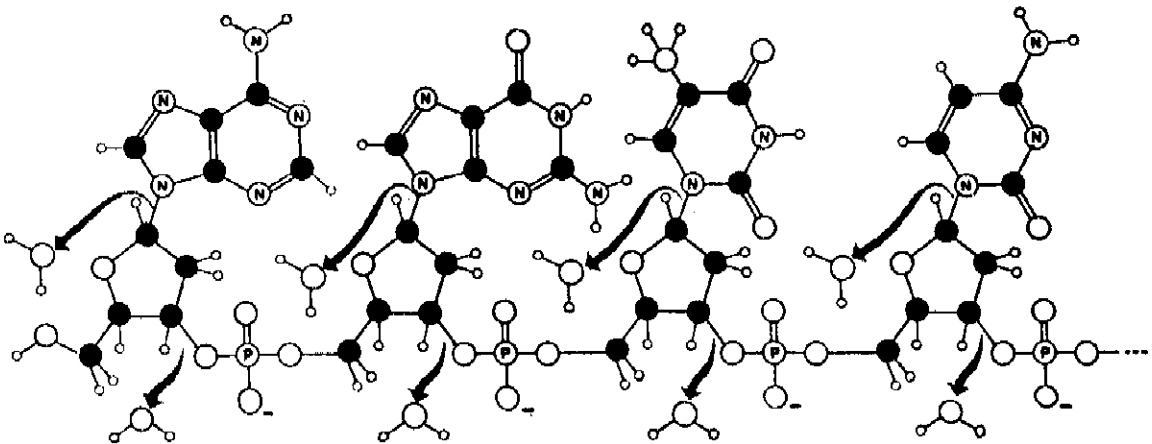
سیتوزین

پیریمیدین



دیوکسی ریبوز

فسفات



اسید دیوکسی ریبونوکلئیک (د ان آ)

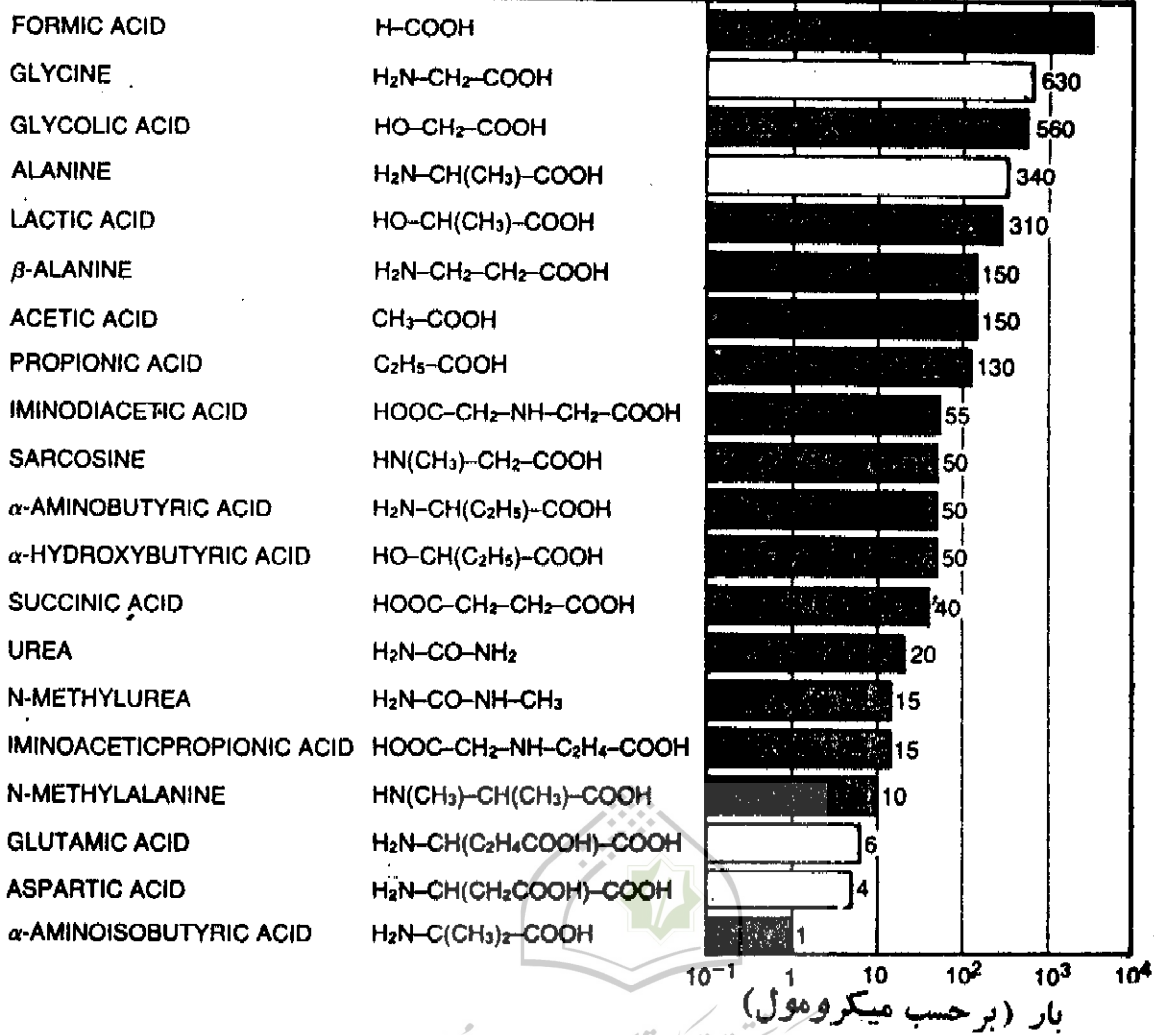
← بسیاری از حیات، پروتئینها و اسیدهای نوکلئیک هستند. پروتئینها

گیتی را هیدروژن (۹۲٫۸ درصد) و هلیوم (۷٫۱ درصد) همراه با مقدار جزئی (۰٫۱ درصد) از ناخالصیهایی چون ازت، اکسیژن، نئون و بقیه عناصر، تشکیل داده است. دوجنبه مهم باید مورد توجه قرار گیرد: فراوانی يك عنصر با افزایش عدد اتمی (تعداد پروتونها در هسته اتم) آن کاهش می‌یابد، و فراوانی اتمهای با عدد اتمی زوج بیشتر است از فراوانی اتمهای با عدد اتمی فرد، که در همسایگی آنها قرار دارند. علت آن است که عناصر سنگینتر، از عناصر سبکتر درون ستارگان تشکیل می‌شوند. این سنتز، حداقل در مورد عناصری با عدد اتمی کمتر از عدد اتمی آهن، با گرفتن ذرات آلفا، یا هسته هلیوم (که دوپروتون دارد) همراه است. عناصر با عدد اتمی زوج فراوانترند، زیرا آنها در جریان اصلی سنتز قرار می‌گیرند؛ عناصر با عدد اتمی فرد به مقدار کمتری یافت می‌شوند، زیرا آنها به وسیله واکنشهای جانبی سنتز می‌گردند.

قبلاً تصور شده بود که خورشید و سیارات منظومه شمسی به وسیله تراکم و سرد شدن يك توده گاز داغ تشکیل شده‌اند. لیکن، امروزه به نظر می‌رسد که در آغاز يك توده گاز سرد و ذرات غبار وجود داشته و در اثر حرکت دورانی پهن شده و سپس يك خورشید اولیه یا هسته متمرکز در مرکز آن تکوین یافته است. این توده بعداً به وسیله آزاد کردن انرژی گرانشی و نیز (به مقدار کمتری) به وسیله رادیو اکتیویته طبیعی برخی از اتمهایش، گرم شده است. در مرکز این ابر پهن گردنده، خورشید شکل گرفت و ناهمگنیهای موضعی دیگر نیز در تقاطعی به فواصل مختلف از مرکز، مجتمع شدند تا سیارات را تشکیل دهند. سیارات بزرگی همچون مشتری، زحل، اورانوس و نپتون، که دورتر از مرکز قرار گرفته‌اند، از نظر ترکیب شیمیایی و درصد عناصرشان به جهان آغازین شباهت بیشتری

→
 بسیاری هستند که هم به عنوان مصالح ساختمانی و هم به عنوان کاتالیزور برای انجام واکنشهای زیست شیمیایی به کار می‌روند. اسیدهای نوکلئیک، بسیاری دیگری هستند که رمز ژنتیک را، که در آن ویژگی هر يك از پروتئینهای يك زیست‌مند ثبت شده، در بردارند. ستون فقرات دیوکسی ریبو نوکلئیک اسید د ان آ، از واحدهای متغیر دیوکسی ریبوز (نوعی قند) و فسفات تشکیل شده است. به هر واحد دیوکسی ریبوز، یکی از چهار باز آلی [آدنین (A) گوانین (G)، تیمین (T) و سیتوزین (C)] وصل شده است. رمز ژنتیک، به صورت ردیفهایی از سه باز آلی (مثلاً، ATC, GCA یا GTA) که ویژه یکی از ۲۰ اسید آمینه تشکیل دهنده بسیار پروتئین هستند، ثبت شده است. بنابراین ردیفی از بازهای سه گانه در دان آ، ردیفی از اسیدهای آمینه در يك پروتئین را مشخص می‌سازد. زنجیره‌های جانبی که يك اسید آمینه را از دیگری متمایز می‌سازد، در اینجا با R_1 و R_2 و R_3 و ... نشان داده شده‌اند. وقتی که اسیدهای آمینه برای تشکیل بسیار پیوند می‌یابند، در هر نقطه پیوند، باید يك مولکول آب جدا شود تا پیوند پپتید به وجود آید. ازینرو، بسیار حاصل به عنوان يك پلی پپتید شناخته می‌شود. پروتئین، پلی پپتیدی است که منشأ زیستی دارد. همچنین ساختمان رشته‌های اسید نوکلئیک، با جدا کردن مولکولهای آب در نقاط پیوندی، ایجاد می‌گردند. انجام مرحله اخیر نیاز به وجود شرایط ویژه بر روی زمین اولیه دارد.

مولکول



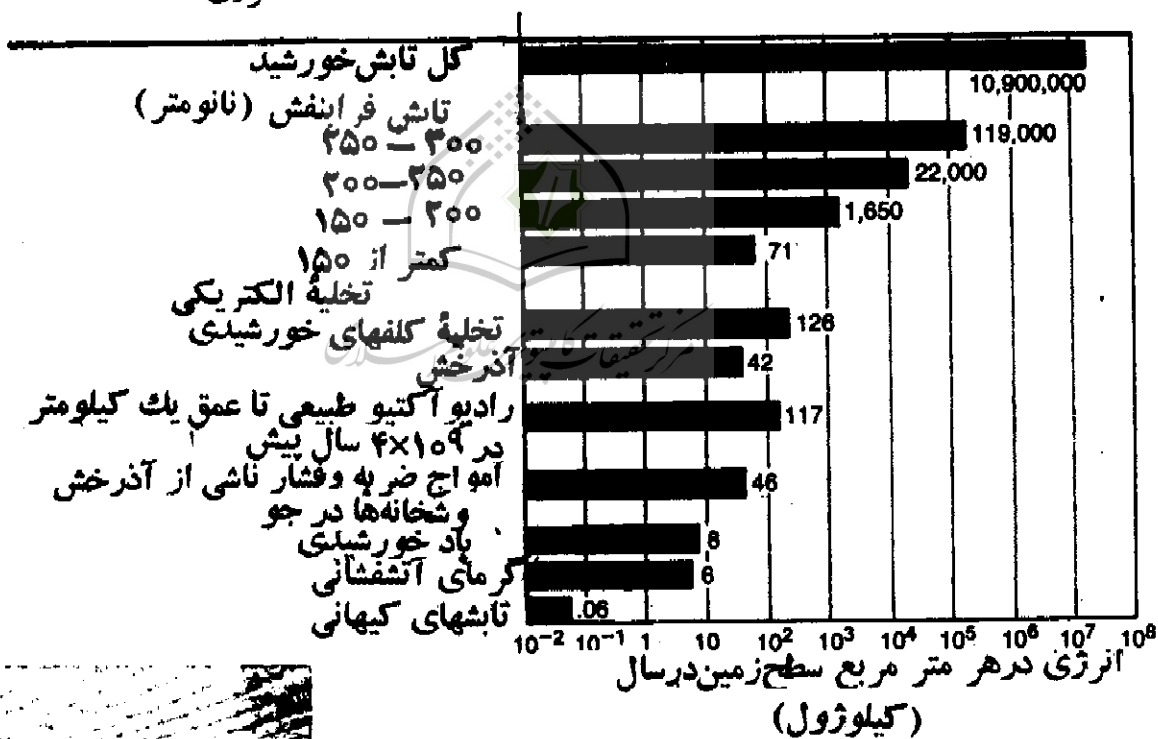
مولکولهایی که حیات بدانیها بستگی دارد، در آزمایشهای انجام شده توسط میلر و اوری تولید شده‌اند. ترکیباتی که در فهرست آمده‌اند، به وسیله انجام عمل تخلیه الکتریکی مکرر در آمیزه‌ای از گازهای هیدروژن، متان، آمونیاک و آب ایجاد شده‌اند. آمیزه، در ابتدا محتوی ۷۱۵ میلیگرم (۵۹۰۰۰ میکرومول) کربن به شکل گازمتان بود که در حدود ۱۵ درصد آن به ترکیبات موجود در فهرست بالا تبدیل شد. بخش عمده‌ای از کربن، به صورت ماده‌ای قیرگون که قابل تجزیه و شناسایی نبوده، ته‌نشین شده بود. از این آزمایش، چهارنوع از ۲۵ اسید آمینه‌ای که معمولاً در پروتئینها وجود دارند، حاصل شده که در اینجا با رنگ سفید مشخص شده‌اند. ساختمان این ترکیبات در شکل ۱۷ نشان داده شده است.

دارند. آنها به طور عمده از هیدروژن، هلیوم، متان، آمونیاک و آب تشکیل شده‌اند. سیارات کوچکتری همچون عطارد، زهره، زمین و مریخ از نظر عناصر سنگین، غنیتر و از نظر گازهایی همچون هلیوم و نئون که می‌توانند از کشش گرانشی ضعیف این سیارات بگریزند، فقیرترند. بلافاصله پس از تشکیل زمین در فضای میان سیارات، به علت وجود جاذبه کم و دمای زیاد، بیشتر اجزای فرار تشکیل دهنده سیاره ما ز دست رفت. نسبت

اکسیژن افزایش یافت، زیرا در داخل مواد کانی سیلیکاتی غیر فرار به حالت محبوس درآمده بود. در صورتی که بخش عمده‌ای از ازت از دست رفت، زیرا نیتريد هانا پایدارتر از سیلیکاتها هستند و خیلی آسانتر به صورت گازهای فرار درمی‌آیند. به طور کلی زمین مشتمل است بر يك هسته آهن - نیکل و يك پوشش که تقریباً ترکیبی مشابه سنگ معدن سیلیکاتی «اولیون» ($FeMgSiO_4$) دارد. عنصر کربن حدود ۰٫۳۴ درصد زمین را تشکیل می‌دهد.

در نتیجه حرارت آزاد شده به هنگام تشکیل زمین از طریق بهم پیوستگی اجزای آن، لایه‌های زمین مشتمل بر يك هسته، يك جبهه و يك قشر پوسته‌ای به وجود آمدند. در آغاز سطح زمین اولیه باید خیلی داغتر از آن بوده باشد که آب به حالت مایع بتواند بر روی آن بماند. لیکن به محض پایین آمدن دما تا زیر نقطه جوش آب، آبهای بیرون آمده از درون زمین، به وسیله فرایندهای خروج گاز، همچون آتشفشان، به حالت مایع درآمده و اقیانوسهای اولیه را تشکیل داده‌اند. خروج گاز باعث ایجاد

منشأ انرژی



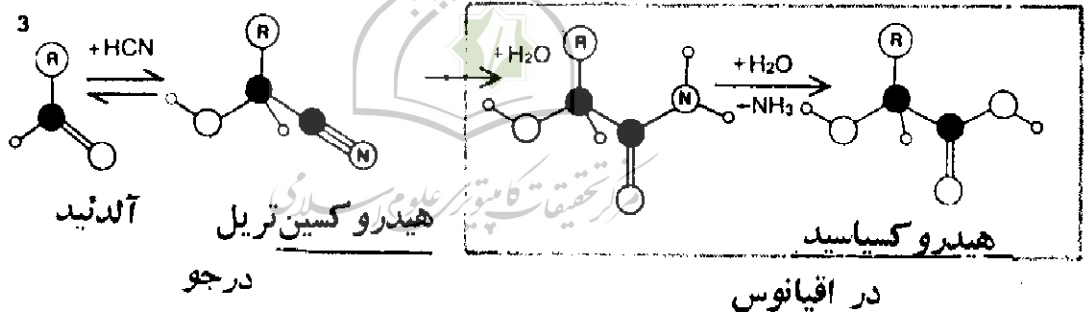
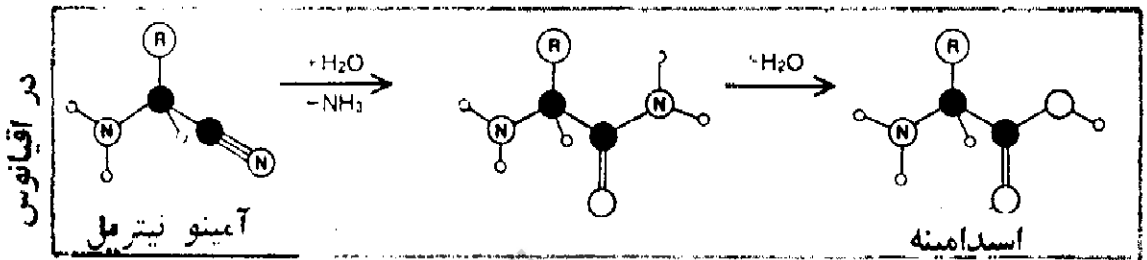
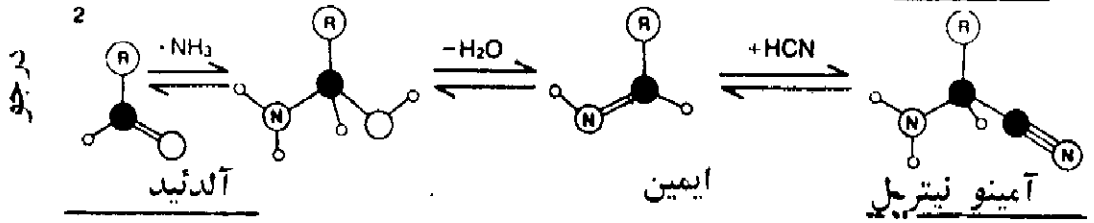
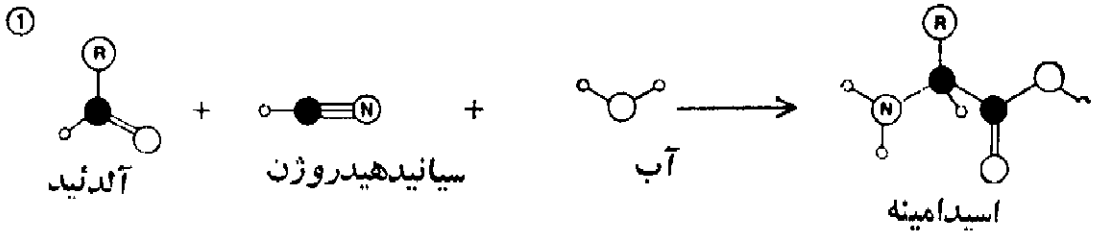
منابع انرژی برای سنتزهای شیمیایی در جو اولیه زمین (جو زمین در آستانه پیدایش حیات)، بسیار متنوع بوده‌اند. امروزه بیش از ۹۸ درصد انرژی تابش خورشیدی، به صورت فوتونهایی به زمین می‌رسد که برای ساختن و شکستن پیوندهای شیمیایی کافی نمی‌باشد. تنها فوتونهای تابش فرابنفش، با طول موجهای کوتاهتر از حدود ۲۰۰ نانومتر (ده میلیون نانومتر يك سانتی‌متر است)، که کمتر از ۱٫۲ درصد تمام تابش فرابنفش هستند، در برانگیختن واکنشهای شیمیایی مؤثر می‌باشند. امروزه مقدار انرژی تخلیه‌های الکتریکی، حدود ۱۶۸ کیلووات در متر مربع سطح زمین در سال است، که احتمالاً در شرایط آغازین زمین مقدار آن بیشتر بوده است.

جونوینی، مرکب از بخار آب حاصل از آبدهی Hydration مواد کانی، متان CH_4 ، دی اکسید کربن CO_2 ، مونواکسید کربن CO حاصل از تجزیه کربیدهای فلزی، آمونیاک NH_3 ، ازت حاصل از نیتریدها و سولفید هیدروژن H_2S حاصل از سولفیدها گردید. ظاهراً حیات از این جو، که بیشتر احیا کننده است تا اکسید کننده، برخاسته است. همانطور که هالدین خاطر نشان می‌سازد، نخستین زیست‌مندی که موفق به استفاده از انرژی خورشیدی برای شکافتن مولکولهای آب و تشکیل دادن دی‌اکسید کربن برای ساختن گلوکز $C_6H_{12}O_6$ و آزاد ساختن اکسیژن (به‌عنوان محصول جانبی) شدند، موجب دگرگونی سیاره و ایجاد شرایط پیدایش حیات اولیه گردیدند.

در جو زمین و در اقیانوسهای اولیه، چه مولکولهایی ممکن است به‌عنوان آغازگران حیات سنتز شده باشند؟ بدون شك، آنها باید شامل اسیدهای آمینه (برای ایجاد پروتئین)، قندها، فسفات‌ها و قلیاهای آلی (برای ایجاد اسیدهای نوکلئیک)، چربیها (برای ایجاد پرده‌های غشا) و مولکولهای آلی دیگری با خواص ویژه همچون فلاوینها **flavin** بوده باشند. چنانچه زنجیره‌های بسپاری پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک از تکپارهای اولیه آنها پدید آمده باشند، نتیجتاً از هر بند زنجیره بایستی يك مولکول آب جدا شده باشد. بنابراین مشکل به‌نظر می‌رسد بسپارش توانسته باشد در محیط آبی اقیانوسهای اولیه صورت گیرد، زیرا حضور آب بیشتر به تجزیه بسپار کمک می‌کند تا به بسپارش. قبل از آنکه این ابهام را بررسی کنیم، می‌خواهیم چگونگی به‌وجود آمدن تکپارها را روشن سازیم.

اطلاعات فراوانی درباره تشکیل تکپارها از گازهای جو اولیه موجود است، زیرا به‌آسانی می‌توان واکنشهایی مشابه با آنچه را در شرایط آغازین زمین رخ داده است، در آزمایشگاه مورد مطالعه قرارداد. میلر و اوری آزمایشهای مقدماتی خود را با کار بر روی يك جو مصنوعی مشتمل بر هیدروژن و اشکال کاملاً احیا شده کربن، ازت و اکسیژن (همچون متان، آمونیاک و آب) آغاز کردند. ابتدا میلر پرتو فرابنفش را به‌عنوان منبع انرژی برای انجام واکنشهای خود انتخاب کرد، ولی در عمل برای نصب «پنجره»های مخصوص عبور پرتو فرابنفش بر روی ظروف واکنش و تمیز نگهداشتن آنها با دشواریهایی روبرو شد و به‌همین دلیل به تخلیه الکتریکی (نمایش آزمایشگاهی رعد و برق) روی آورد.

در يك آزمایش نمونه، جریان گاز و عمل تخلیه الکتریکی به مدت يك هفته ادامه داشت و از جریان پیشرفت سنتز، به وسیله بیرون آوردن نمونه‌ها از بالون جوشان و تجزیه آنها، اطلاع حاصل می‌شد. ابتدا پی‌بردن به اینکه مواد سنتز شده مشتمل بر چندین نوع اسید آمینه معمولی و مولکولهای تشکیل‌دهنده ماده زنده می‌باشد، شگفت‌انگیز بود. این آزمایش، تاکنون با تغییر برخی متغیرها با جانشین کردن مونواکسید کربن یادی اکسید کربن به جای آمونیاک و نیز تابش فرابنفش به جای تخلیه الکتریکی، توسط

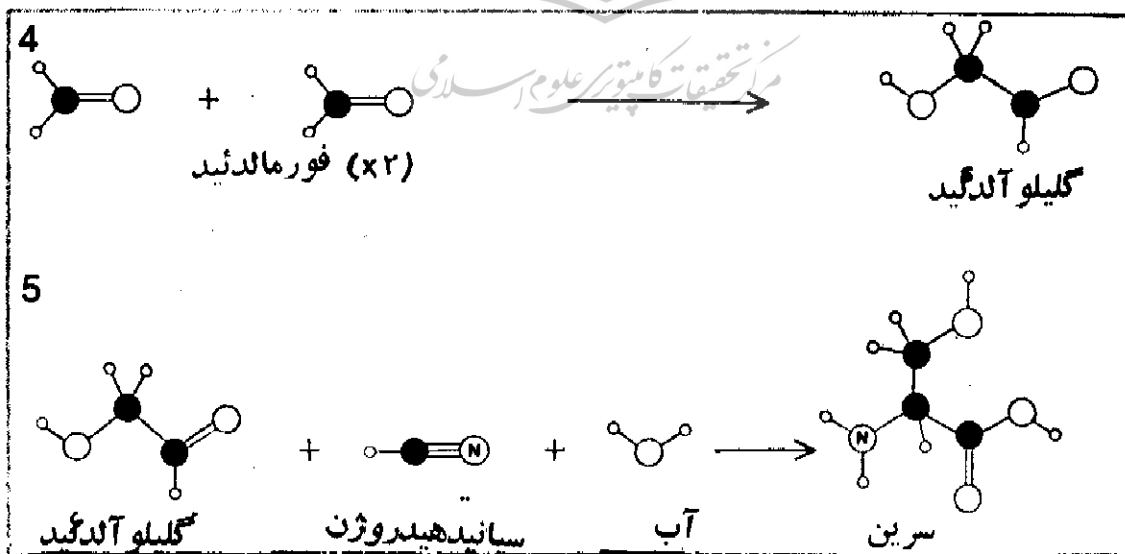


منابع اسیدهای آمینه، در آزمایشهای مربوط به جو آغازین، آلدئیدها، اسید سیانیدریک (HCN) و آب می باشند (۱). در واکنش، R (استخلاف شاخه جانبی آلدئید) به عنوان گروه جانبی اسید آمینه ظاهر شده است. این واکنش مرحله را که به ستر استر معروف است، طی می کند. (۲). سه مرحله نخستین، که در آنها جدا شدن آب صورت گرفته، ممکن است در جو اولیه اتفاق افتاده باشند. اگر امینو-نیتریل تشکیل شده وارد اقیانوس شده باشد، احتمالاً مراحل نیترولیزهایی را در آنجا طی کرده است. بعلاوه، نیتروکسی اسیدهایی چون اسید لاکتیک و اسید گلیکولیک، که یک عامل نیتروکسیل (OH) اضافه دارند، می توانند طی ستر استر تشکیل شده باشند.

میلر و دیگران تکرار شده است. بسیاری اسیدهای آمینه طبیعی در طی این واکنشها به دست آمده اند، از جمله: لوسین، ایزولوسین، سرین، تریونین، آسپاراژین، لیزین، فنیل آلانین و تیروزین. اکنون روشن شده است که در جو اولیه اسیدهای آمینه به سولت ستر می شده اند.

در اینجا توجه به دو نکتهٔ اخطار آمیز ضروری است. نخست اینکه در این آزمایشها بسیاری اسیدهای آمینه یافت شده در پروتئین زیست‌مندان حاصل شده، لیکن مولکولهای بسیاری نیز، که در پروتئین زیست‌مندان وجود ندارند، به دست آمده‌اند. مثلا در آزمایش میلر سه اسید آمینه با فرمول مشترک $C_3H_7NO_2$ سنتز شده‌اند: آلانین، بتا-آلانین، و سارکوزین. تاکنون، تنها آلانین در پروتئین‌های زیست‌مندان شناخته شده است. امروزه، از سه ایزومروالین، ایزووالین، ونوروالین تنها والین در پروتئین‌ها دیده می‌شود. هفت همپار isomer اسید آمینه‌ای با فرمول $C_4H_9NO_2$ ، از آزمایشهای تخلیهٔ الکتریکی به دست آمده‌اند که هیچکدام از آنها به‌عنوان مادهٔ تشکیل دهندهٔ پروتئین شناخته نشده‌اند. کاملا مشهود است که انتخاب ۲۰ اسید آمینه در رمز ژنتیک با دسترسی به یک رشته مولکولهای مخصوص بر روی زمین اولیه، صورت نگرفته است. اصولا یکی از موضوعات جانبی جالب در زیست شیمی پیدایش حیات، این است که چرا این رشته مشتمل بر ۲۰ اسید آمینه انتخاب شده است. آیا از ابتدا رمزهای ژنتیک مشخص کنندهٔ رشته‌های گوناگون اسیدهای آمینه در شاخه‌های رشد، که بدون هیچگونه نشانی از بین رفتند (چون نمی‌توانستند با شاخه‌هایی که به حیات خود ادامه دادند، رقابت کنند) بدرستی انتخاب شده است؟ شاید اینطور باشد.

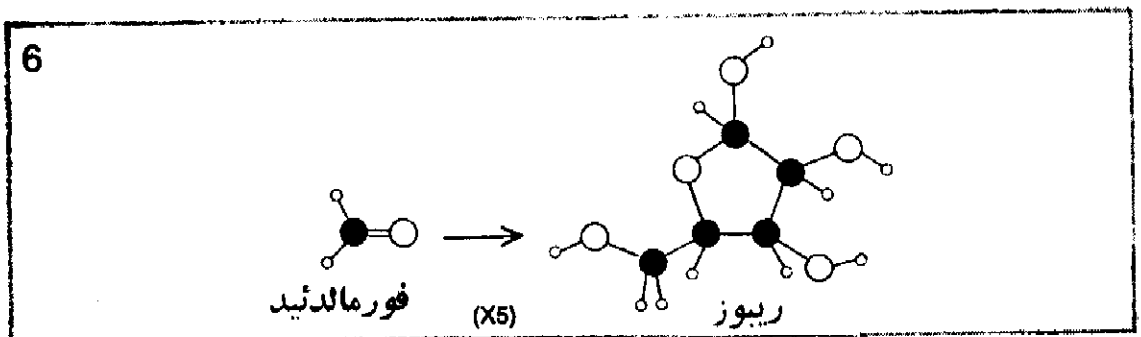
نکتهٔ اخطار آمیز دیگر این است که در این آزمایشها، که نمایی از واکنشهای پیش زیستی prebiological می‌باشند، تعداد مساوی از هر دو شکل مولکولهای فعال نوری optically active به وجود می‌آیند: مولکولهایی که نور قطبیده را در جهات مخالف می‌چرخانند، زیرا این مولکولها به‌دو صورت که هر یک تصویر دیگری در



سنتز اسید آمینهٔ سرین در جو آغازین، می‌تواند با تراکم دو مولکول فرمالدئید شروع شده باشد که منجر به تشکیل گلیکوآلدئید نمی‌شود (۴). سنتز استرکرمی‌تواند گلیکوآلدئید را به سرین، که در استخلاف شاخهٔ جانبی خود عامل تیروکسیل دارد، تبدیل کرده باشد (۵).

آینه است، وجود دارند. چنین مولکولهایی با پیشوند D یا L مشخص می‌شوند که هر کدام بترتیب مخفف **dextro** و **levo** هستند، و این دو، خود مشخص کننده جهت چرخش نور قطبیده‌اند. بجز برخی سازگاریهای خاص مانند ساختمان دیواره‌های سلولی باکتریها و سازوکارهای دفاع‌زیت شیمیایی، اکنون تمام زیست‌مندان تنها اسیدهای آمینه L را به کار می‌گیرند. تلاشهای فراوانی صورت گرفته تا دلیل به کار گرفته شدن یکی از تکپارهای نوری اسیدهای آمینه روشن گردد و در این زمینه از ساختار نامتقارن بلورهای کانی، که به‌عنوان کاتالیزور سطحی عمل می‌کنند، تا قطبش طبیعی اشعه کیهانی و نیروهای کوریولیس (**Coriolis forces**)، که نتیجه چرخش زمین هستند (و در دونیمکره مختلفند)، کمک گرفته شده است. به نظر می‌رسد که انتخاب اولیه همپار L جای همپار D یک امر تصادفی بوده باشد. ما می‌دانیم که آنزیمها برای انجام واکنش بایستی با مولکول مورد نظر به‌صورتی پیوند حاصل کنند و هنگامی که ساختار آنزیمها طوری باشد که تنها بایکی از همپارهای نوری مولکول پیوند حاصل کنند، آنگاه، سرعت واکنش بیشتر خواهد شد. ممکن است زمانی بنای حیات اولیه یا آغاز گران حیات بر هر دو نوع D, L اسیدهای آمینه (با احتمال ۵۰ درصد) گذاشته شده، ولی سرانجام اسیدهای آمینه L مسلط گشته‌اند.

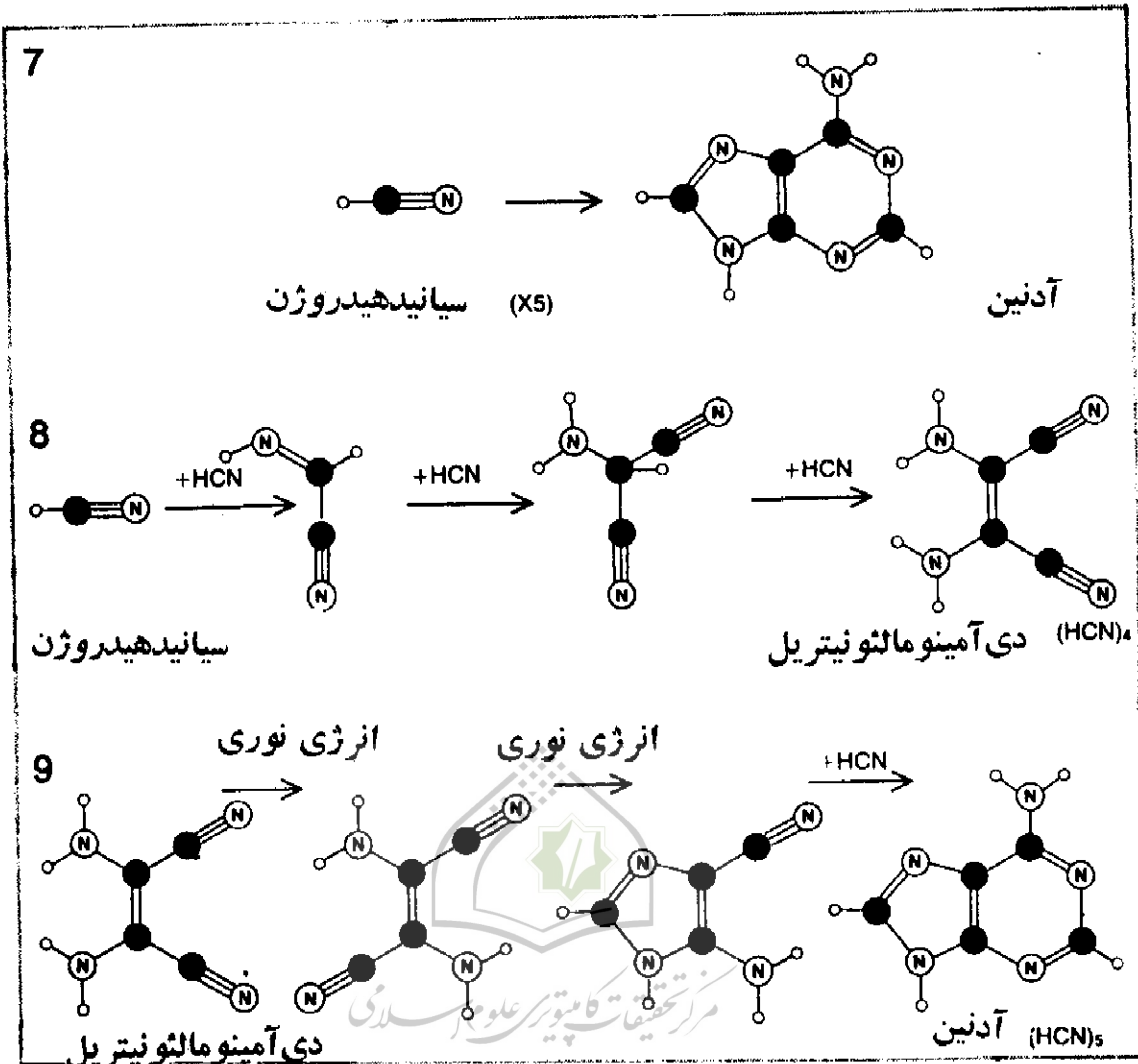
مراحل شیمیایی که طی آنها اسیدهای آمینه توسط تخلیه الکتریکی یا تابش فرابنفش سنتز می‌شوند، کدامند؟ میلر و اوری هنگام بررسی پیدایش و ناپدید شدن مواد حدواسط در واکنش یک هفته‌ای خود، متوجه شدند که غلظت آمونیاک بتدریج کاهش پیدا کرد و اتمهای ازت آن ابتدا در مولکولهای اسید سیانیدریک **HCN** و سیانوژن **C₂N₂** که در آغاز همراه با آلدئیدها به وجود آمده بودند ظاهر شدند. اسیدهای آمینه به آهستگی و به‌خرج اسید سیانیدریک و آلدئیدها به وجود آمدند. این مسیر پیشرفت واکنش، نشان می‌دهد که اسیدهای آمینه، مطابق سازوکاری که برای شیمیدانان آشناست، از آلدئیدها به وجود آمده‌اند. این سازوکار به‌سنتز استر کر **Strecker synthesis** معروف است. (معادلات شکل ۸ را ببینید).



سنتز قند ریبوز (یکی از اجزای اصلی اسیدهای نوکلئیک) می‌تواند به‌وسیله یک واکنش چندین مرحله‌ای که در آن پنج مولکول فورمالدئید، برای تشکیل یک مولکول ریبوز با همدیگر ترکیب می‌شوند، انجام پذیرد (۶).

از ترکیب آلدئید با آمونیاک، که با ازدست دادن آب همراه است، یک ایمین imine تشکیل می‌گردد. سپس ایمین با اسید سیانیدریک ترکیب شده، یک آمینونیتربل به وجود می‌آورد. این دو مرحله به سهولت برگشت پذیرند. اسید آمینه به وسیلهٔ ئیدرولیز برگشت ناپذیر آمینونیتربل، با اضافه شدن دومولکول آب و جدا شدن آمونیاک، تشکیل می‌شود. آمینونیتربلها، بر روی زمین اولیه می‌توانسته‌اند ابتدا در جو سنتز و سپس در اقیانوسها حل و ئیدرولیز شده باشند. در عملیات آزمایشگاهی سنتز استرکر، در محلولهایی ئیدرولیز صورت می‌گیرد که اسیدی یا بازی باشند، زیرا سرعت ئیدرولیز در یک محلول خنثی بسیار کم است. هر چند، بر روی زمین اولیه، مرحلهٔ ئیدرولیز بایستی پیش از دهها هزار سال طول کشیده باشد. نظر به اینکه، در آن روزگاران اکسیژن آزادی برای تجزیه کردن آمینونیتربلها وجود نداشته، این فرضیه معقول به نظر می‌رسد. بعلاوه، ئیدروکسی اسیدها به وسیلهٔ سنتز استرکر تشکیل شده‌اند. فرمالدئید CH_2O به اسید گلیکولیک $C_2H_4O_3$ و آمینو اسید گلیسین $C_2H_5NO_2$ و همچنین استالدئید C_2H_4O به اسید لاکتیک $C_3H_6O_3$ و آمینو اسیدالانین $C_2H_7NO_2$ تبدیل شده‌اند. بعضی از اسیدهای آمینهٔ پیچیده‌تر، به آلدئیدهای پیچیده‌تری، به عنوان مواد اولیه، احتیاج دارند. از سوی دیگر، سرین $C_3H_7NO_3$ اسید آمینه‌ای با عامل ئیدروکسیل OH میتواند به وسیلهٔ تراکم دومولکول فرمالدئید طی یک سنتز استرکر ساخته شده باشد (رجوع کنید به معادلات ۴ و ۵ در شکل ۹). علاوه بر این، روشهای گوناگون دیگری نیز برای سنتز بیشتر اسیدهای آمینهٔ طبیعی پیشنهاد شده است.

تخلیهٔ الکتریکی و تابش فرابنفش، تنها منابع قابل تصور انرژی برای سنتزهای ماقبل زیستی نیستند. بلکه منابع دیگری نیز، مانند فرایند عناصر رادیواکتیو در سنگهای سطحی و ضربات امواج حاصل از آذرخشها و سنگهای آسمانی، وجود داشته‌اند. هر چند بیشترین مقدار انرژی از خورشید به دست می‌آمده، لیکن مقدار زیادی از این انرژی در ناحیهٔ مرئی و فروسرخ طیف قرار داشته است، یعنی جایی که فوتونها انرژی کافی ندارند تا پیوندهای شیمیایی را بشکنند یا تشکیل دهند. بعلاوه، بیشترین مقدار تابش فرابنفش در به جریان انداختن واکنشهای شیمیایی غیر مؤثر بوده است، زیرا متان و مولکولهای کوچک دیگر (آب، مونواکسید کربن و دی اکسید کربن) می‌توانند تنها طول موجهای کوتاهتر از حدود ۲۵۰ نانومتر یا کمتر از ۱۲ درصد تابش فرابنفش موجود (در حدود ۱۷۲۰ کیلوژول از تمام ۱۴۳۵۰۰ کیلوژول در مترمربع سطح زمین در سال) را جذب کنند. از گازهایی که فرض شده در جو اولیه موجود بوده باشند، تنها آمونیاک و سولفور هیدروژن می‌توانند طول موجهای بلندتر را جذب کنند؛ آمونیاک تا ۲۲۰ نانومتر و سولفور هیدروژن تا ۲۴۰ نانومتر. در نتیجه، این دو گاز می‌توانسته‌اند نقش گردآورندهٔ انرژی خورشیدی را در جو اولیهٔ زمین ایفا کرده باشند. چنانچه فرض کنیم هوای زمین اولیه متغیرتر از امروز نبوده باشد، مقدار انرژی

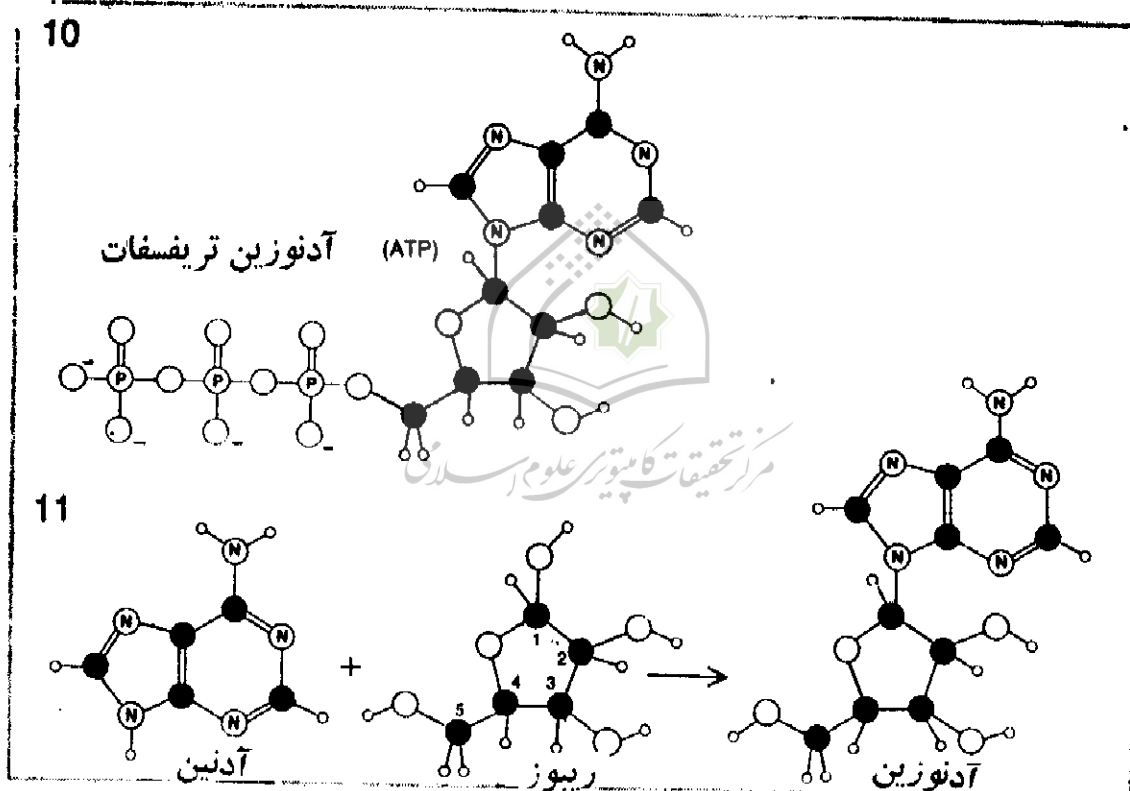


ستر آدنین (۷) (پنتامر اسیدسیانیدریک)، در میان چهار باز آلی که به عنوان واحدهای رمز به کار می‌روند، سهلتر است. احتمالاً چهار مولکول اسیدسیانیدریک با همدیگر ترکیب می‌شوند و تشکیل یک تترامری آمینومالئونیتریل می‌دهند (۸). اتمهای این تترامر به گونه‌ای سامان و آرایش مجدد می‌یابند که یک حلقه پنج‌عضوی تشکیل می‌گردد و در پایان یک مولکول دیگر اسیدسیانیدریک، دومین حلقه را می‌بندد (۹).

که از آذرخشها و تخلیه‌های الکتریکی در جو، به زمین می‌رسیده بایستی در حدود ۱۷۵ کیلوژول در متر مربع در سال بوده باشد. مقدار انرژی حاصل از رادیواکتیویته طبیعی که به طور تقریبی برای نخستین سالهای تاریخ زمین محاسبه شده، در حدود ۱۱۷ کیلو ژول برای هر متر مربع، و همچنین، انرژی ضربه‌های موج در جو حدود ۴۶ کیلوژول بوده است (البته با فرض اینکه هوای اولیه زمین شبیه امروز بوده باشد). جریان ذرات انرژی‌دار از خورشید و از آتشفشانها، جمعاً ممکن است حدود ۱۴ کیلوژول (و شاید هم بیشتر)، اگر زمین اولیه دارای تعداد بیشتری آتشفشان فعال بوده باشد) به حساب آورده شود. در میان تمام منابع انرژی برای سنتزهای پیش زبستی، احتمالاً تخلیه‌های الکتریکی از همه قابل توجه‌تر هستند، هم به علت مقدار انرژی به کار رفته

وهم به علت اینکه این انرژی باید نزدیک سطح اقیانوس آزاد شده باشد یعنی جایی که فرآورده‌های آن می‌توانستند به‌سختی در آب حل شوند.

تنها بیست نوع اسید آمینه، سنگ بنای پروتئین‌ها را تشکیل می‌دهند. برای اسیدهای نوکلئیک باید دو نوع قند (ریبوز برای RNA و دی‌اکسی ریبوز برای DNA)، فسفات و دو نوع ترکیب ازت دار مشتمل بر بازهایی مانند پورین‌ها purines و پیریمیدین‌ها pyrimidines به کار رود. قندها ممکن است به وسیله فرایندی که به‌عنوان واکنش فورموز formose شناخته شده، به‌صورت فرآورده‌های تراکمی فرمالدئید، ساخته شده باشند. این سازوکار مشتمل بر چندین مرحله است، لیکن واکنش کلی ساده می‌باشد. پنج مولکول فرمالدئید باهم ترکیب می‌شوند تا یک مولکول ریبوز تشکیل دهند (رجوع



آدنوزین تری فسفات (آت پ) که محیط اصلی برای ذخیره و تبادل انرژی در تمام زیست‌مندان است، از ادنین، ریبوز و یک گروه تری فسفات تشکیل شده است (۱۰). درست‌تر غیر زیستی آدنوزین، دشواری ویژه‌ای وجود دارد، زیرا ادنین می‌تواند با هر یک از چهار کربن (۱، ۳، ۴ یا ۵) در ریبوز، که یک عامل تی‌دیروکسیل را با خود دارند، پیوند یابد (۱۱). به‌علاوه، سه تا از چهار کربن تی‌دیروکسیل‌دار (۱، ۲ و ۳)، نا متقارن هستند، به‌طوری‌که اشکال آلفا و بتای مولکول، می‌تواند در هر یک از آنها ستر شده باشد. در زیست‌مندان امروزی، ادنین با کربن ۱ ریبوز در آرایش بتای مولکول پیوند می‌یابد.

شود به معادله ۶ در شکل ۱۵). البته مسایلی در رابطه با واکنش فورموز وجود دارد (ریبوز تولید شده در محلول آبی ناپایدار است و شرایط آزمایشگاهی، کاملاً همانند شرایط زمین اولیه نیستند)، لیکن مولکولهای ریبوز می‌توانسته‌اند از برخی از چنین واکنشهایی حاصل شده باشند.

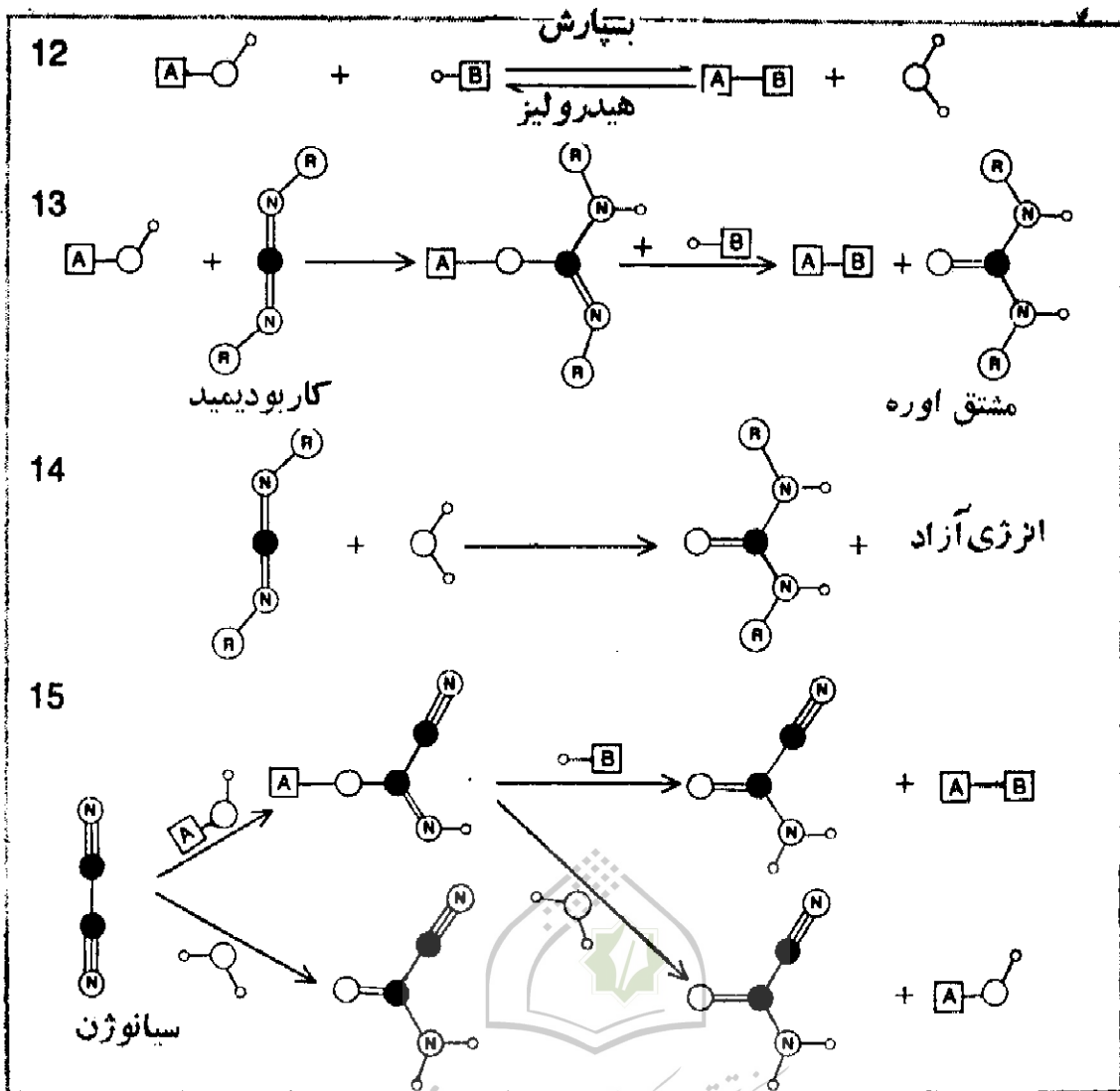
در میان بازهای آلی، ادنین (از گروه پورین) می‌توانسته آسانتر از همه سنتز شود. ادنین یک پنج‌جبار Pentamer ساده اسید سیانیدریک است: از پنج مولکول HCN یک مولکول $H_5C_5N_5$ حاصل می‌شود. به نظر می‌رسد که ابتدا چهار ملکول اسید سیانیدریک با هم ترکیب می‌شده‌اند تا یک چهارپار Tetramer یعنی دی‌آمینو مالئونیتریل diaminomaleonitrile تشکیل دهند. مولکول اخیر، یک واسطه مهم در بسیاری واکنشهاست، که به تشکیل بازهای آلی منتهی می‌گردند.

مولکول دی‌آمینو مالئونیتریل می‌تواند در حضور نور، اتمهایش را آرایش مجدد دهد و سپس با گرفتن یک مولکول دیگر اسید سیانیدریک ادنین را به وجود آورد (رجوع کنید به معادلات ۷ و ۸ و ۹ در شکل ۱۱). گوانین-پورین دیگری که در اسیدهای نوکلئیک لازم است - می‌تواند به وسیله واکنشهای هیدرولیزی در حضور سیانوزن، از دی‌آمینو مالئونیتریل به دست آید. سنتزهای دیگری نیز، که کمتر قانع کننده هستند، برای بازهای پیریمیدین (تیمین، اوراسیل و سیتوزین) پیشنهاد شده‌اند.

با پیوستن ادنین به یک مولکول ریبوز، نوکلئوزید ادنوزین تشکیل می‌گردد. با اضافه کردن یک رشته تری فسفات به مولکول ادنوزین، بسادگی، ادنوزین تری فسفات ATP (مولکولی که به عنوان وجه تبادل انرژی در تمام زیست‌مندان به کار می‌رود) به دست می‌آید (رجوع کنید به معادله ۱۵ در شکل ۱۲). قابل توجه است که برای پیوند یافتن باتری فسفات، نوکلئوزید ادنوزین انتخاب شده است و نه گوانوزین، سیتیدین و یا اوریدین. برای تبیین این پدیده دلایل روشنی در دست نیست. شاید علت این باشد که، سادگی نسبی سنتز ادنین سبب شده باشد که مقدار آن در «سوپ‌هالدين» بیشتر از سایر بازهای آلی گردد.

توجیه چگونگی به وجود آمدن بازها و قندهای به کار رفته در ساختمان اسیدهای نوکلئیک بر روی زمین اولیه دشوار نیست. اما، زمانی که بخواهیم چگونگی بهم پیوستن بازها با قندها، نظیر بهم پیوستن ادنین و ریبوز برای تشکیل ادنوزین، را در یابیم آن وقت با دشواریهای فراوان روبرو خواهیم شد.

مسئله این است که ریبوز چهار عامل ئیدروکسیل دارد که هر یک از آنها می‌تواند به عنوان اتصال برای ادنین به کار رود. بعلاوه، سه تا از عاملهای ئیدروکسیل، به اتمهای نامتقارن کربن پیوند یافته‌اند، به طوری که ادنین می‌تواند به هر یک از اتمهای کربن (که ۱، ۲ و ۳ مشخص شده)، بادو روش که از نظر ساختاری مختلفند، پیوند یابد و هر یک از اشکال آلفا یا بتا را به وجود آورد. در واکنش بین ادنین و ریبوز، که در DNA و RNA به طور گسترده‌ای به کار گرفته می‌شود، تنها یکی از محصولات ممکن، یعنی بتا $1'(\beta-1')$



برای تشکیل یا رشد یک زنجیر بسیار، بایستی پیوندهای پتیدی به وجود آیند و ضمن تشکیل هر یک از آنها یک مولکول آب از اجزای ترکیب شده جدا گردد. در اینجا اجزای ترکیب شونده، که می‌توانند تکپار یا بسیار باشند، بانشانه‌های A و B مشخص شده‌اند (۱۳). واکنش در حضور آب، به سمت چپ جریان می‌یابد، نتیجتاً، زیر واحدها بهم پیوند نمی‌یابند. برای راندن واکنش به سمت راست، علاوه بر جدا کردن آب، تأمین انرژی نیز ضروری است. بر روی زمین پیش زیستی یک عامل بهم پیوستگی مانند کربودی ایمید می‌توانسته شرایط انجام چنین بسیارهایی را فراهم ساخته باشد (۱۳). جدا کردن آب توسط کربودی ایمید، انرژی آزاد لازم برای واکنش را تأمین می‌سازد (۱۴). هرچند، حضور آب می‌تواند از انجام بسیارش جلوگیری کنند (۱۵). در این مثال، عامل بهم پیوستگی، سیانوژن است. در هر مرحله، واکنش با آب از نظر ترمودینامیک قابل انجام (معقول) می‌باشد.

به وجود می‌آید؛ تاکنون توجیه دقیقی از انجام این واکنش به عمل نیامده است. علی‌رغم آنچه شرح داده شد، اطلاعات جاری شیمی که بر اساس آن اسیدهای آمینه، بازها، قندها و تکپارهای دیگر حیات می‌توانند بر روی زمین اولیه سنتز شده باشند، قابل توجه است.

انرژی لازم برای انجام واکنشهای بسیار در زیست‌مندان امروزی، به وسیله مولکول‌های ATP تأمین می‌شود. جفت کردن واکنشهایی که انرژی لازم دارند با آنهایی که انرژی آزاد می‌کنند، به وسیله آنزیمها انجام می‌گردد. بر روی زمین پیش‌زیستی پیش از آنکه آنزیمها به وجود آیند، این دو عمل توسط برخی ترکیبات که دارای مقادیر زیادی انرژی آزاد و قدرت ترکیب شدن با سایر مولکولها بوده‌اند، انجام می‌شده است. امروزه، چنین مولکولهایی برای شیمی‌دانان مواد آلی آشناست. در یک دسته از این مولکولها، یعنی کربودی‌ایمیدها carbodiimides ، یک اتم کربن به وسیله پیوند های دوگانه پیرانرژی به دو اتم ازت اتصال دارد - $\text{N}=\text{C}=\text{N}$ - کربودی‌ایمید، در مجاورت بادو تکپار یا بسیار A و B، که یکی از آنها یک عامل هیدروکسیل انتهایی و دیگری یک اتم هیدروژن انتهایی داشته باشد، مولکول آب را جدا، و دو تکپار یا بسیار را به همدیگر متصل می‌سازد. اضافه شدن آب به کربودی‌ایمید، انرژی لازم برای انجام مراحل بعدی واکنش را آزاد می‌سازد (رجوع کنید به معادلات ۱۳ و ۱۴ در شکل ۱۳).

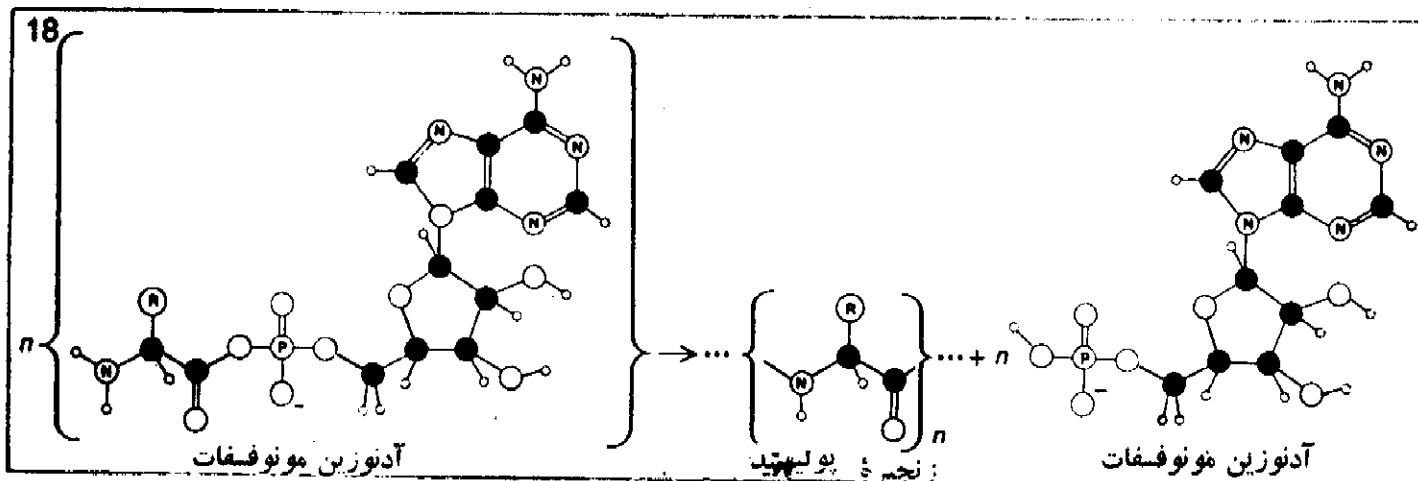
کربودی‌ایمیدها تنها نمونه‌ای از عوامل بهم پیوستگی هستند. عوامل دیگری که در تراکم تکپارها در سنتزهای پیش‌زیستی شرکت داشته‌اند، عبارتند از سیانوژن $\text{N} \equiv \text{C} - \text{C} \equiv \text{N}$ ، سیانامید $\text{N} \equiv \text{C} - \text{N}_2$ ، سیانواستیلن $\text{N} \equiv \text{C} - \text{C} \equiv \text{C} - \text{H}$ و دی‌آمینومالئونیتریل. تمام این مولکولها دارای پیوندسه‌گانه بین کربن و ازت هستند و حامل مقدار قابل‌توجهی انرژی، که در پیوندهای آنها نهفته است.

سیانواستیلن را می‌توان به وسیله تخلیه الکتریکی از اسید سیانیدریک تولید کرد. از اثر تخلیه الکتریکی یا تابش فرابنفش بر اسید سیانیدریک، می‌توان سیانوژن نیز به دست آورد.

انرژی جرقه الکتریکی یا انرژی فوتونها به صورت انرژی آزاد در پیوندهای سه‌گانه موجود در مولکولهای تولید شده، ذخیره می‌گردد تا بعداً در ضمن واکنشهای تراکم آزاد شود. در نتیجه، بسیارشهای پیش‌زیستی می‌توانسته‌اند به طور غیر مستقیم توسط تابش فرابنفش یا آذرخش انجام گرفته باشند. این پدیده شبیه عمل‌جانداران امروزی است که از نشاسته‌های گیاهی (که به طور غیر مستقیم با انرژی خورشیدی تولید می‌شوند) تغذیه می‌کنند.

مسئله مهمتری که به وسیله چنین سازوکارهای بهم پیوستگی تحت شرایط پیش‌زیستی مطرح می‌شود، این است که چگونه از ترکیب مستقیم عامل پیوستگی با مولکولهای آب حاضر در محیط جلوگیری به عمل آمده است. واکنشهای بهم پیوستگی کربودی‌ایمید در آزمایشگاه، در حلال‌های غیر آبی انجام می‌گیرند، لیکن روشن است که این مدل برای زمین اولیه مناسب نیست. مثلاً، اگر عامل بهم پیوستگی اولیه سیانوژن بوده باشد، آب می‌توانسته از انجام بسیارش در اولین یا دومین مرحله واکنش جلوگیری کند (رجوع کنید به معادله ۱۵ در شکل ۱۳).

یک پیشنهاد این است که در واکنشهای بهم پیوستگی پیش‌زیستی در محلول



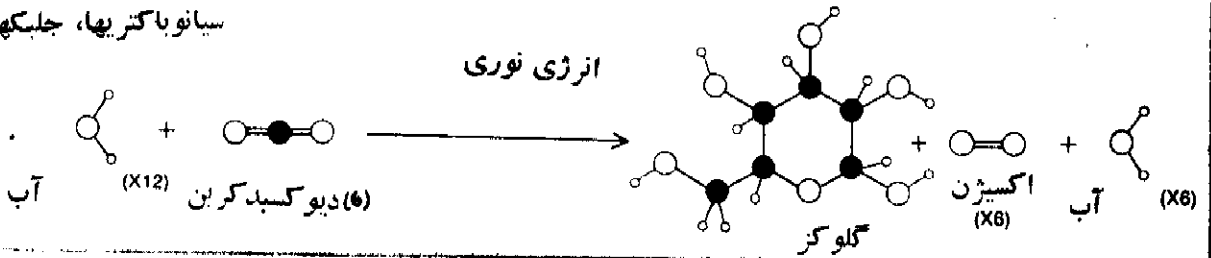
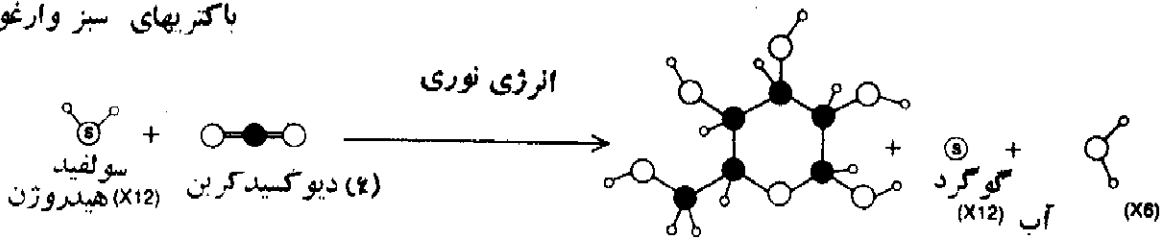
تشکیل زنجیرهای پلی پتید بر روی سطح ذرات خاک رس اتفاق می‌افتد. در يك مثال نمونه، خاک رس مونت موریلونیت بسیارش امینواسیدانیدیلاتها (استرهای تشکیل یافته به وسیله واکنش اسیدهای آمینه با آدنوزین مونوفسفات - آ ام پ) را صورت می‌دهد. انرژی آزاد شده توسط یونهای فسفات، تشکیل بسیار را در مجاورت آب ممکن می‌سازد.

آبی، مولکول‌هایی که قرار بوده بسیاری شوند، ابتدا با یونهایی با بار منفی، نظیر یون فسفات PO_4^- ترکیب شده‌اند و ترکیبات آلی فسفات‌دار توانسته‌اند به نحو موفقیت آمیزی

برای ترکیب با عامل بهم پیوستگی، با آب رقابت نمایند. فسفات‌ها در واکنشهای تراکمی مانند تشکیل پتید از اسیدهای آمینه، تشکیل آدنوزین مونوفسفات از آدنین و فسفات، وصل کردن ریبوزفسفات در اسیدهای نوکلئیک و در تشکیل پلی فسفات از یونهای فسفات، به نحو موفقیت آمیزی عمل می‌کنند.

سنتز غیر زیستی پلیفسفات‌ها (بسیارهای بلند رشته فسفات) می‌تواند از اهمیت فراوانی در تکامل حیات برخوردار باشد. مولکول آت پ برای سلولهای زنده، به عنوان ذخیره کننده انرژی مفید است، زیرا هیدرولیز یک پیوند آت پ برای تولید آدنوزین دیفسفات آدپ و یک یون فسفات غیر آلی، مقدار زیادی انرژی آزاد شیمیایی رها می‌سازد. رها شدن این انرژی به خاطر از میان برداشته شدن انرژی دافعه موجود بین بارهای منفی سه گروه فسفات در آت پ است، که با گستن یکی از آنها و تشکیل آدپ، مقدار انرژی دافعه کاهش پیدا می‌کند (رجوع کنید به معادلات ۱۶ و ۱۷ در شکل ۱۴). مولکول آت پ را بسادگی می‌توان به عنوان یک پلیفسفات کوچک، که آدنین به صورت نشانه‌ای بر آن قرار گرفته است تا توسط آنزیمها شناخته شود، در نظر گرفت. برخی از باکتریهای امروزی توسط سیتوپلاسم خود، در پیکره پلیفسفات‌ها انرژی ذخیره می‌سازند. شاید پایفسفات‌های تولید شده توسط عوامل تراکم نخستین منبع انرژی مورد استفاده زیست‌مندان یا اسلاف آنها را تشکیل می‌داده‌اند.

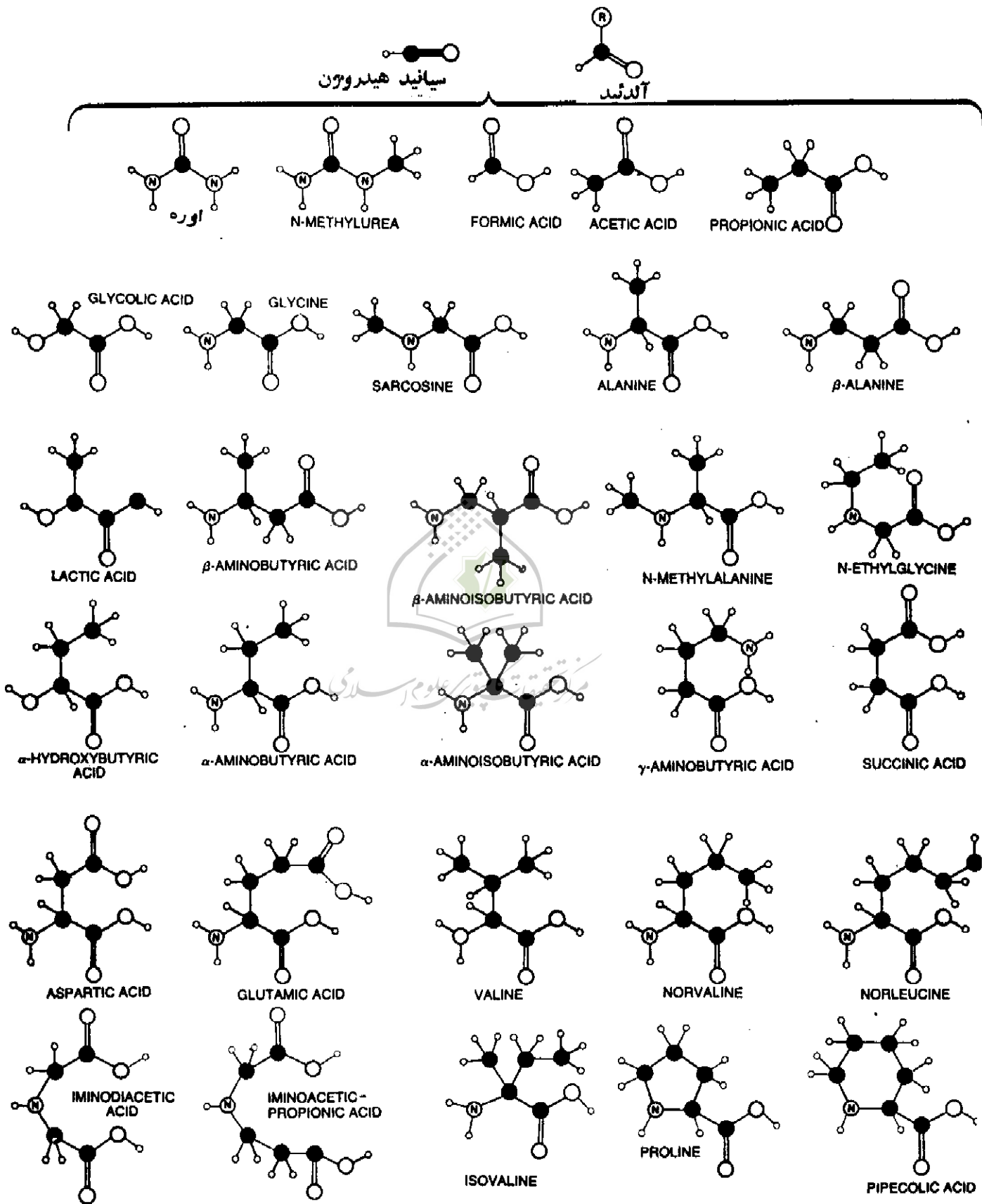
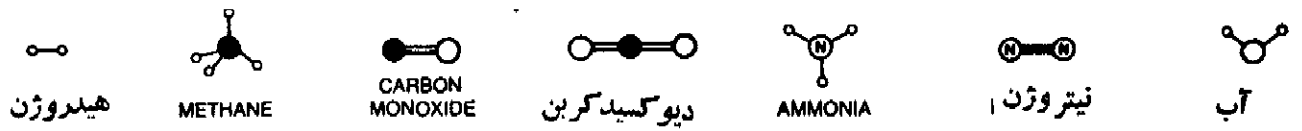
احتمالا گلیکولیز یا تخمیر بیهوازی، قدیمیترین راه استخراج انرژی است که امروزه شناخته شده، و نقش آن شکستن گلوکوز یا مولکولهای مشابه آن و ذخیره انرژی



ابداع فتوسنتز زیستمدان را قادر می‌سازد به‌جای اینکه تنها مصرف‌کنندگان حاصل فرایندهای پیش‌زیستی باشند، خود به‌صورت تولیدکنندگان مولکولهای انرژی درآیند. نخستین زیستمدانی که قادر به فتوسنتز بوده‌اند، از سولفور هیدروژن (H₂S) به‌عنوان منبع اتمهای هیدروژن برای تبدیل دی‌اکسید کربن CO₂ به گلوکز استفاده کرده‌اند (۱۹)، بعداً، زادگان سیانوباکتریها (جلبکهای سبز-آبی)، جلبکهای سبز و گیاهان عالیتر، هنر تهیه هیدروژن از آب را که یک فرایند دو مرحله‌ای است، فراگرفتند (۴۵). این فرایند که اکسیژن آزاد می‌کند، جو زمین را به‌گونه‌ای تغییر داد که در آن تمام مراحل بعدی حیات تکوین یافت.

به‌صورت «پلیفسفاتهای نشاندار» یا آت‌پ است. به‌کار گرفتن روش گلیکولینیک می‌تواند تنها پاسخی به‌کمبود پلیفسفاتهای طبیعی بوده باشد، زیرا انرژی مورد نیاز جماعت درحال افزایش زیستمدان اولیه، از سرعت طبیعی تولید پلیفسفاتها به‌وسیله فرایند تراکم، تجاوز می‌کرده است. چنانچه فرض شود عوامل بهم‌پیوستگی، با انرژی حاصل از تابش فرابنفش یا تخلیه الکتریکی سنتز شده باشند، و یا مسئولیت ساختن پلیفسفاتها را دارا بوده‌اند و نیز اگر هیدرولیز پلیفسفاتها منبع انرژی برای حیات اولیه را تأمین کرده باشد، آنگاه می‌توان گفت نخستین زیستمدان با استفاده از انرژی آذرخش و تابش فرابنفش ادامه حیات می‌داده‌اند.

مسئله جلوگیری از رقابت مولکولهای آب در واکنشهای بهم‌پیوستگی، زیست‌شیمیدانان را به‌یافتن راههایی برانگیخت تا بتوان به‌وسیله آنها مقدار آب‌رادر محیطهای بسیارش کاهش داد. آسانترین روش تبخیر است. روش دیگری که می‌توان تصور کرد، تغلیظ بخش کوچکی از «سوپ هالدين» است که به‌وسیله تبخیر خورشیدی حوضچه‌هایی که در برخی سواحل اولیه وجود داشته‌اند، صورت گرفته است. موضوع قابل ذکر در این نظریه این است که بسیاری از آغازگران مهم مولکولهای زیستی، همچون اسید سیانیدریک، سیانوزن، فرمالدئید، استالدئید و آمونیاک خودشان ترکیباتی فرار



فراورده‌های آزمایش‌های تخلیه الکتریکی، شامل بسیاری از ترکیبات یافت شده در پیکر زیست‌مندان است (وترکیبات دیگری که در ماده زنده امروزی یافت



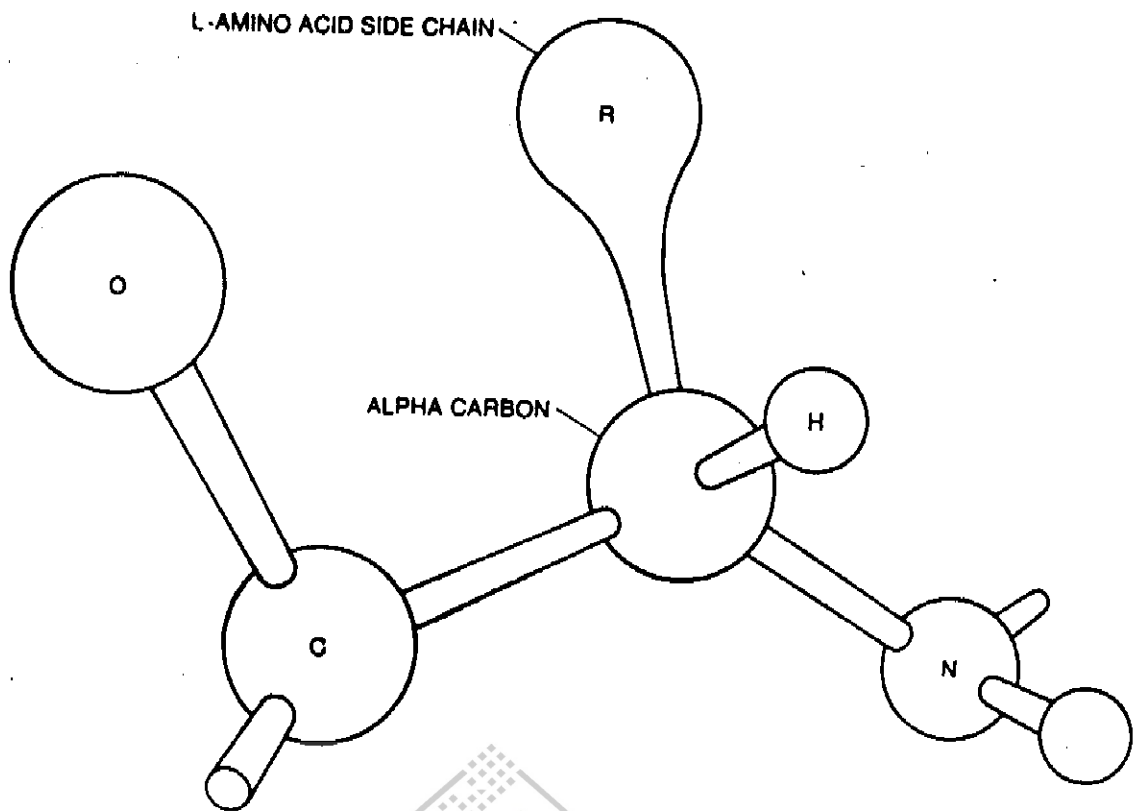
هستند. تبخیر حوضچه‌ها د رافزایش غلظت تکپارها برای سپارش، بایستی مؤثرتر از سنتر خود تکپارها بوده باشد.

سازوکار احتمالاً جالبتری که برای افزایش غلظت مولکولهای پیش زیستی، نخستین بار توسط برنال پیشنهاد گردید، جذب سطحی مولکولها بر روی سطح مواد کانی است، مثلاً، میکاها و خاکهای رس شامل توده‌ای از صفحات سیلیکاتی اند که به وسیله یونهای مثبت در مجاورت همدیگر نگه داشته شده‌اند و لایه‌هایی از مولکولهای آب در بین این صفحات قرار گرفته است. لایه آب هر دو طرف صفحات سیلیکاتی را برای مولکولهایی که در داخل رس پراکنده می‌شوند آماده می‌سازد. به طوری که جذب مولکولها در سطح بسیار وسیعی می‌تواند صورت گیرد. در خاک کائولینیت فاصله لایه‌ها از یکدیگر تنها ۷۱ ر. نانومتر است، و این به معنی آن است که یک حبه کائولینیت به ضلع یک سانتیمتر، سطحی به وسعت حدود ۲۸۰۰ متر مربع، یا دوسوم سطح یک میدان فوتبال را می‌پوشاند. صفحات سیلیکاتی، دارای بار منفی هستند و یونهای آلومینیوم با بارهای مثبت سه گانه به آنها متصلند. فراوانی بارهای مثبت و منفی نه تنها می‌تواند پیوند مولکولهای باردار به صفحات را تسهیل کند، بلکه، به عنوان مراکز کاتالیزوری اولیه برای واکنشها نیز عمل می‌نماید.

هارون کاجالسکی از «انستیتوی علوم وایزمن» در اسرائیل، نشان داد، رسهای مونت موریلونیت سبب برانگیختن سپارش در رشته‌های پلی پیتیدی ادنیلات اسیدهای آمینه می‌گردند. این رشته‌های شبه پروتئین، استرهای حاصل از اسیدهای آمینه و اندوزین مونوفسفات آم ب هستند. چون ادنیلاتها از نظر انرژی آزاد، غنی می‌باشند و توانایی نگهداشتن یونهای فسفات را دارند، می‌توانند حتی در محلول آبی (مائی) سپاریده گردند (رجوع کنید به معادله ۱۸ در شکل ۱۵). هنگامی که ادنیلاتها بر روی سطح رس جذب می‌شوند، زنجیرهای پلی پیتیدی، شامل ۵۰ اسید آمینه یا بیشتر را، با بازدهی تقریباً ۱۰۰ درصد، به وجود می‌آورند. ادنیلات آمینواسیدها، مواد اولیه سنتر پروتئین در تمام زیست‌مندان می‌باشند، ازینرو می‌توان تصور کرد که سپارش بر روی سطح خاک رس، یکی از مراحل بنیادی تکامل روش زیستی سنتر پروتئینهاست. سپارها پس از تشکیل بر روی لایه‌های رس، با آب به داخل محلول شسته شده و از انباشته شدن آنها، واکنشهای بعدی حیات آغاز می‌گردند.

دو روش دیگر نیز برای تغلیظ و سپارش مواد پیش‌زیستی پیشنهاد شده‌اند: منجمد کردن و حرارت دادن محلولها تا مرحله خشک شدن. میلر وارگل خاطر نشان ساختند

→
نمی‌شوند). مواد اولیه برای آزمایش در قسمت بالا نشان داده شده است. اولین واسطه‌های تشکیل شده، اسید سیانیدریک و آلدئیدهای گوناگونند. فراورده‌ها به صورتی مرتب شده‌اند که تعداد اتمهای کربن از چپ به راست و از بالا به پایین افزایش می‌یابد. همپارها (مولکولهایی با اتمهای همانند، از نظر تعداد و نوع، ولی آرایشهای گوناگون) به وسیله خطوط محصور شده‌اند. این ۳۰ فراورده، اسیدهای آمینه‌ای هستند که در پروتئینها یافت می‌شوند.



همپارهای فضایی، مولکولهایی هستند که دارای دو آرایش می‌باشند، به طوری که یکی تصویر آینه‌ای دیگری است. در میان مولکولهای آلی، بسیاری فضایی وقتی می‌توانند تشکیل شوند که یک اتم کربن در مولکول، با چهار اتم یا گروه اتم مختلف پیوند داشته باشد. این گونه اتم کربن، نامتقارن خوانده می‌شود. در یک اسید آمینه، اتم مرکزی یا کربن آلفا (که با رنگ تیره مشخص شده)، نامتقارن است. اسید آمینه‌ای که زنجیر جانبی (R) آن، هنگامی که پلی خیالی از R به گروه کربونیل (CO) و به اتم نیتروژن (N) در نظر بگیریم، به سمت چپ حرکت کند، اسید آمینه L (L-amino acid) نامیده می‌شود. در اسید آمینه‌های نوع D گردش از R به گروه کربونیل و به نیتروژن به سمت راست صورت می‌گیرد. زیستمدان، پروتئینها را تنها از اسیدهای آمینه L می‌سازند.

که محلولها را می‌توان با انجماد مکرر آنها تغلیظ نمود. از انجماد مکرر آب یک محلول رقیق اسید سیانیدریک به صورت بلورهای یخ، امکان داشته است که، بالاخره، محلولی با غلظت ۷۵ درصد وزنی اسید سیانیدریک به وجود آورد، که نقطه انجماد آن ۲۱ درجه صلب بخشی زیر صفر باشد.

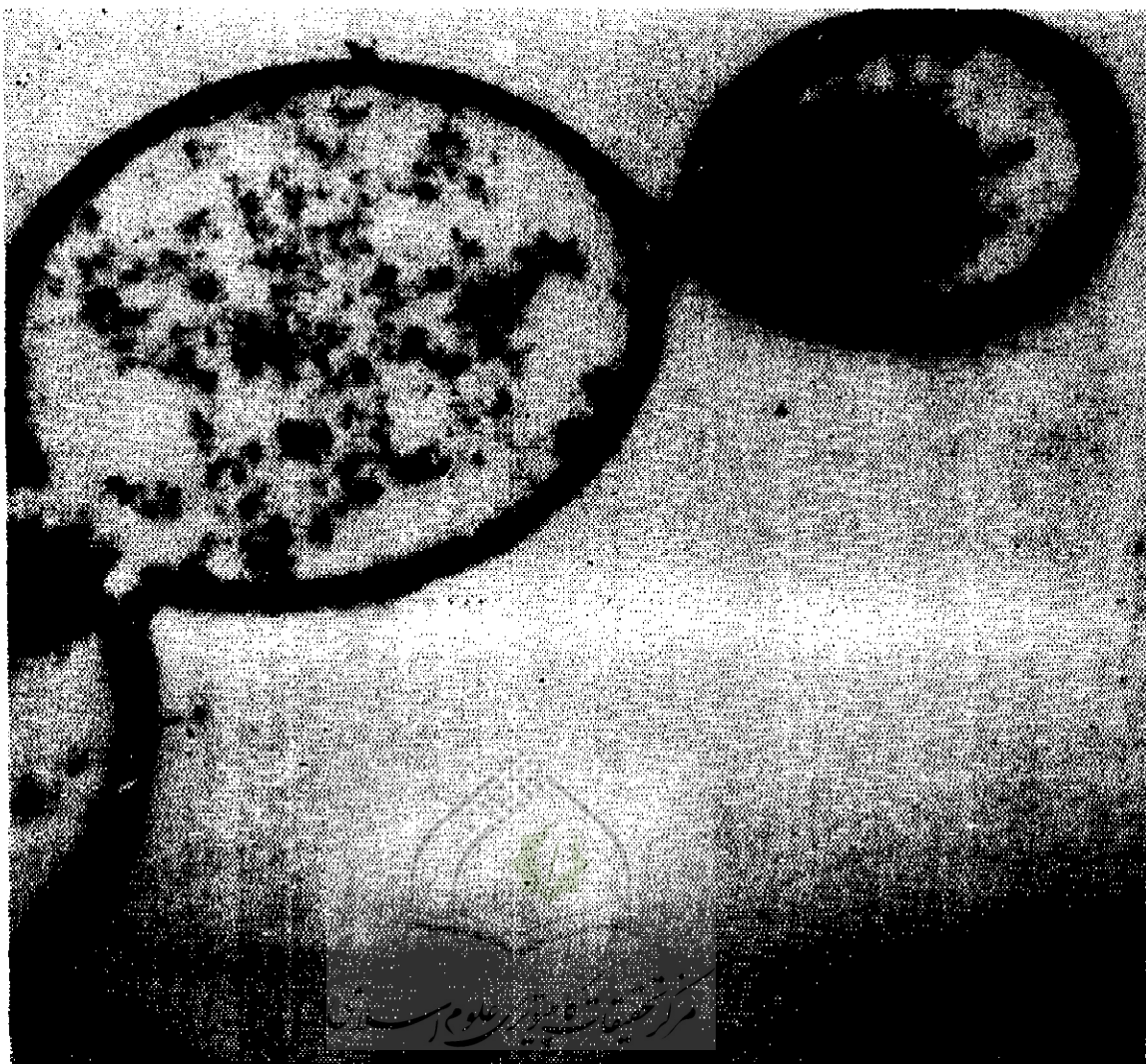
همانطور که سیدنی فاکس Sidney W. Fox، از دانشگاه میامی، نشان داده است، آمیزه (mixture) های اسیدهای آمینه خالص، در دمای حدود ۱۳۵ درجه صلب بخشی به طور خودبخودی در عرض چند ساعت بسپاریده می‌شوند تا آنچه را که فاکس پروتئینوئید (شبه پروتئین) های حرارتی می‌نامد، تولید کنند. در حضور پلیسفاتها، چنین نتایجی می‌توانند تنها به وسیله گرم کردن آمیزه اسید آمینه‌ها تا ۶۵ درجه به

مدت تقریبی یک روز به دست آیند. در صورتی که اسیدهای آمینه موجود در آمیزه، عمدتاً اسیدی و یا بازی و دارای زنجیره جانبی بوده و در معرض تخلیه الکتریکی قرار داده شده باشند، آنگاه با استفاده از روش فاکس، می‌توان بسیاری از مشتعل بر ۲۵۰ واحد اسید آمینه، یا بیشتر، ساخت. باینکه بیشتر پیوندهای پپتید تشکیل شده، از نوع معمولی می‌باشد، بخش کوچکی از پپتیدهای به دست آمده دارای اتصالات «نادرست» در زنجیرهای جانبی خود هستند و این جای شگفتی چندانی ندارد نباید انتظار داشت یک بسیار پیش‌زیستی، کمال مشاهده شده در فراورده سوخت و ساز زیست‌مندی تکوین یافته را نشان دهد. به عقیده فاکس، اسیدهای آمینه تشکیل شده در اقیانوس، ممکن است از شسته شدن مواد روی مخروط سرباره آتشفشانها، که تبخیر و خشک شده و به وسیله حرارت بسیار شده اند، تشکیل شده باشند. پروتئین‌های حاصل، ممکن است پس از ورود به دریا، برای ادامه فرایندهای پیش‌زیستی به کار رفته باشند.

برای اسیدهای نوکلئیک، مسئله اطمینان از تشکیل اتصالات «درست» در بسیار شهای زیستی، حیاتی‌تر است تا برای پروتئین‌ها. همانطور که دیده‌ایم، هر مولکول ریبوز، چهار عامل هیدروکسیل دارد که می‌توانند در پیوند با یک باز پورین یا پیریمیدین و همچنین در بسیارش با فسفات‌ها شرکت نمایند. با فرض اینکه یک روش غیر آتری می برای ساختن نوکلئوتیدها (یک باز + یک ریبوز + یک فسفات) با تمام پیوندهای صحیح می‌توان یافت، آنگاه هنوز مسئله اتصال درست نوکلئوتیدها برای ساختن بسیارهای اسید نوکلئیک باقی می‌ماند. گرچه نوکلئوتیدها می‌توانند با حرارت ملایم (حدود ۵۵ درجه صدمه) به روش غیر زیستی بسیار شده شوند، در مجاورت پلی‌فسفات‌ها اتصال بین هیدروکسیل ۵ (۵ پریم) یک قند با هیدروکسیل ۳ قند بعدی صورت می‌گیرد و نه اتصال با هیدروکسیل ۳ نظیر آنچه در مولکولهای اران آ و د آن آی امروزی دیده می‌شود. با وجودی که از نظر شیمیائی ایجاد اتصال ۵ و ۳ آسانتر است، علت وجود اتصال ۵ و ۳ در مولکولهای اران آ - د آن آ بایستی در تسهیل امر ذخیره و انتقال رمز ژنتیک نهفته باشد.

بررسی مدل‌های مولکولی نشان می‌دهد، امکان ساختن مارپیچ مضاعف د آن آ با بازهای جفت شده و پیوند ۵ و ۳ وجود دارد، لیکن دیده می‌شود که این مارپیچ از مار پیچ دیگری که ساختمان ۵، ۳ دارد، ناپایدارتر است. ازینرو پیام ژنتیک ذخیره شده در یک مارپیچ ۵، ۳ می‌تواند از پیام ذخیره شده در یک مارپیچ ۵، ۳ امنیت کمتری داشته باشد. برای اطمینان از عدم تشکیل مارپیچ ۵ و ۳ می‌توان گروه هیدروکسیل ۳ را از قند جدا کرد و این پدیده در د آن آ اتفاق افتاده است و سبب تمایز آن از اران آ گردیده است. ممکن است د آن آ از اران آ قدیمتر باشد و بسیار اخیر تنها پس از به وجود آمدن آتری‌مهایی که می‌توانسته‌اند مانع ایجاد اتصال با هیدروکسیل ۳ شوند، به وجود آمده است.

زیست‌مندی که با جانداران دیگر در یک محیط زندگی می‌کنند، برای پرهیز



کواسرواتها یعنی قطرات کلوئیدی غنی از بسیار، به خاطر شباهت تقریبشان به موجودات پیش زستی، در آزمایشگاه اوپارین در مسکو، مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. این کواسرواتها، قطرات کوچکی هستند که در یک محلول آبی پروتئین و اسیدپلی ادنیلیک تشکیل شده‌اند. اوپارین پی برده بود که اگر قطرات کوچک بتوانند واکنشهای بسیار را انجام دهند، عمر آنها طولانیتر می‌شود.

از نابودی، بایستی اجزای درونی پیکر خود را به وسیله پرده (یا پوسته‌ای) از محیط اطراف جدا سازند. پدیده جدایی ماده از محلولی که آن را فرا گرفته‌است، اولین بار توسط اوپارین و فاکس مورد بررسی قرار گرفت. اوپارین سالهای بسیاری را به مطالعه گرایش محلولهای آبی بسیارها برای تشکیل قطرات کوچکی که او آنها را کواسروات **coacervate** نامید، گذراند. کواسرواتها قطرات کوچک کلوئیدی مملو از بسیارند که در محیط آبی اطراف خود شناورند و ممکن است از آغازگران حیات بوده باشند. اجتماع بسیارهای زیستی گوناگون سبب ایجاد کواسرواتها می‌شوند: پروتئین - کربوهیدرات (هیستون یا صمغ عربی)، پروتئین - پروتئین (هیستون یا کلپتین با آن آ یا د ان آ). این کواسرواتها نیاکان سلولهای زنده امروزی نمی‌باشند، زیرا

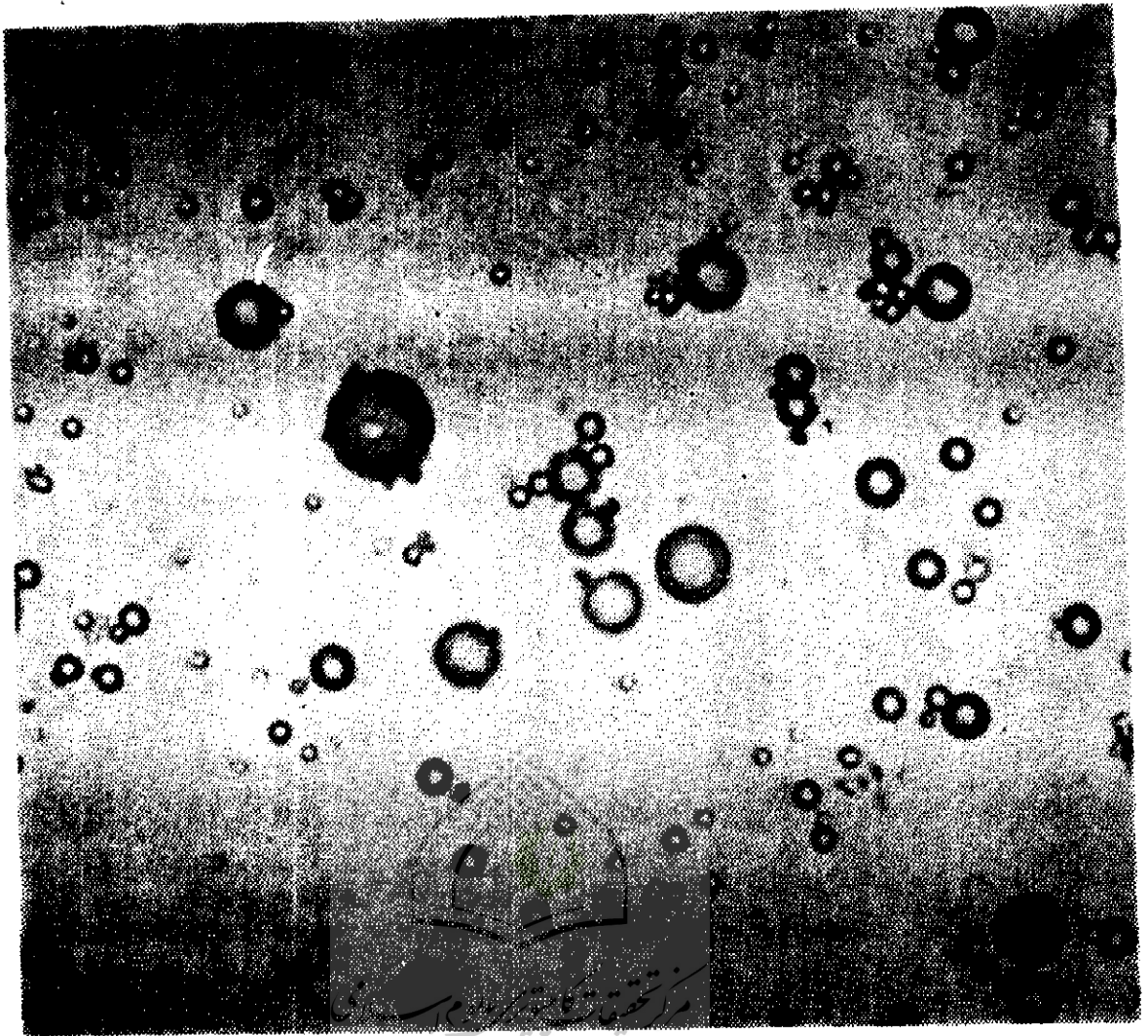
بسیارهای به کار گرفته شده توسط اوپارین قطعاً جزو مولکولهای آغازین نیستند، بلکه بیشتر به عنوان نمونه ها و مدلهایی برای مطالعه انواع رفتار شیمیایی پیچیده، که می تواند تحت تأثیر نیروهای طبیعی به وجود آید، به کار رفته اند.

قطر قطرات کوچک کواسروات از يك ميكرومتر تا ۵۰۰ ميكرومتر است. به نظر می رسد این قطرات به وسیله نوعی غشا از محیط اطراف خود جدا شده باشند. بعضی سیستمهای کواسروات ناپایدارند: قطرات در ته ظرف مایع ته نشین می گردند و به صورت لایه ای غیر آبی به هم می پیوندند. اوپارین و همکارانش ساعتها (و گاهی هفته ها)، شرایط لازم برای معلق نگهداشتن قطرات کواسروات را مورد کاوش قرار دادند. جالبتر از همه اینکه، آنها دریافتند دادن نوعی سوخت و ساز اولیه به کواسرواتها سبب تثبیت آنها می گردد.

يك خاصیت مهم کواسرواتها یا هر سیستم دوفاز دیگر، این است که موادی که قابلیت انحلال آنها در دوفاز با هم فرق می کند، در یکی از فازها جمع می شوند. اوپارین دریافت هنگامی که آنزیم فسفریلاز را به محلولی محتوی هیستون و صمغ عربی اضافه می کند، آنزیم در داخل قطرات کواسروات جمع می شود. حال اگر گلوکز ۱- فسفات $glucose - 1 - phosphate$ به آب حاوی قطرات کواسروات اضافه شود، می تواند به داخل قطرات نفوذ کند و به وسیله آنزیم به نشاسته بسیار پدیده گردد. چون صمغ عربی نیز يك بسیار قندی می باشد، افزایش نشاسته به مواد داخل قطره ها سبب افزایش حجم آنها می گردد. انرژی لازم برای بسیاری از پیوند فسفات موجود در گلوکز ۱- فسفات تأمین می گردد و فسفات غیر آلی آزاد شده به صورت يك فراورده جانبی از قطره خارج می شود.

هنگامی که قطرات کواسروات خیلی بزرگ شدند، بخودی خود تمایل به تقسیم شدن پیدا می کنند و قطرات کوچکتری را تشکیل می دهند. قطرات نوزادی که به طور تصادفی مولکولهای آنزیم فسفریلاز را در بر می گیرند، توانایی ادامه رشد دارند، گرچه رشد آنها به علت پراکنده شدن مولکولهای آنزیم در میان قطرات فراوان، بسیار کند می باشد. اگر راههایی وجود می داشت که قطرات بتوانند مولکولهای فسفریلاز بیشتری بسازند، چنین کواسرواتهایی می توانستند نمونه هایی از پیش زیستمدان **Proto organism** با سوخت و ساز يك مرحله ای انرژی باشند. در آن صورت آنها می توانستند زنده بمانند، رشد و تولید مثل کنند و خوراکشان هم منحصر به گلوکز ۱- فسفات باشد.

اگر آنزیمهای فسفریلاز و آمیلاز به معجون کواسروات اضافه شوند، هر دو در داخل قطرات جمع می گردند و يك واکنش دو مرحله ای را صورت می دهند. گلوکز ۱- فسفات به داخل قطرات نفوذ می کند و به وسیله فسفریلاز به صورت نشاسته بسیار پدیده می شود. آمیلاز در مرحله دوم، نشاسته را به مالتوز (گلوکز + گلوکز) تبدیل می کند. آنگاه مالتوز همراه فسفات غیر آلی در محلول پراکنده می گردد. بنابر این، کواسرواتها کارخانه های کوچکی هستند که سوخت آنها از انرژی پیوند گلوکز



نوع دیگری از مجموعه گویچه‌ها که به وسیله سیدنی فوکس، از دانشگاه میامی، مورد مطالعه قرار گرفته، از پروتئینوئید (شبه پروتئین) حرارتی (بسیاری که با حرارت دادن آمیزه‌های خشک اسیدهای آمینه بادمای مناسب تولید می‌گردد) تشکیل می‌شود. تحت شرایط مساعد، پروتئید حرارتی، گویچه‌هایی به قطر چند میکرومتر تشکیل می‌دهد، که به آرامی رشد می‌کنند و سرانجام جوانه می‌زنند. به نظر می‌رسد این گویچه‌ها دارای یک غشای دولایه باشند، نظیر آنچه در باکتریها دیده می‌شود.

فسفات تأمین می‌گردد و خود گلوکوز فسفات را نیز به مالتوز تبدیل می‌سازند.

سیستم خودروی دیگری که در آن قطرات کواسروات از هیستون و ار ان آ تشکیل شده بودند، توسط اوپارین مورد بررسی قرار گرفت. آتریم ار ان آی پلیمر از به داخل قطرات هدایت شد و آ د پ نیز به عنوان «غذا» به محلول اضافه گردید. هنگامی که آ د پ به داخل قطرات نفوذ می‌کند، بر اثر حضور ار ان آ، پلیمر از به پلی‌ادنیلیک اسید بسپاریده می‌گردد. انرژی لازم برای انجام بسپارش در خود آ د پ نهفته است. پلی‌ادنیلیک اسید جدید در داخل قطره کواسروات به مولکول ار ان آ افزوده، و سبب

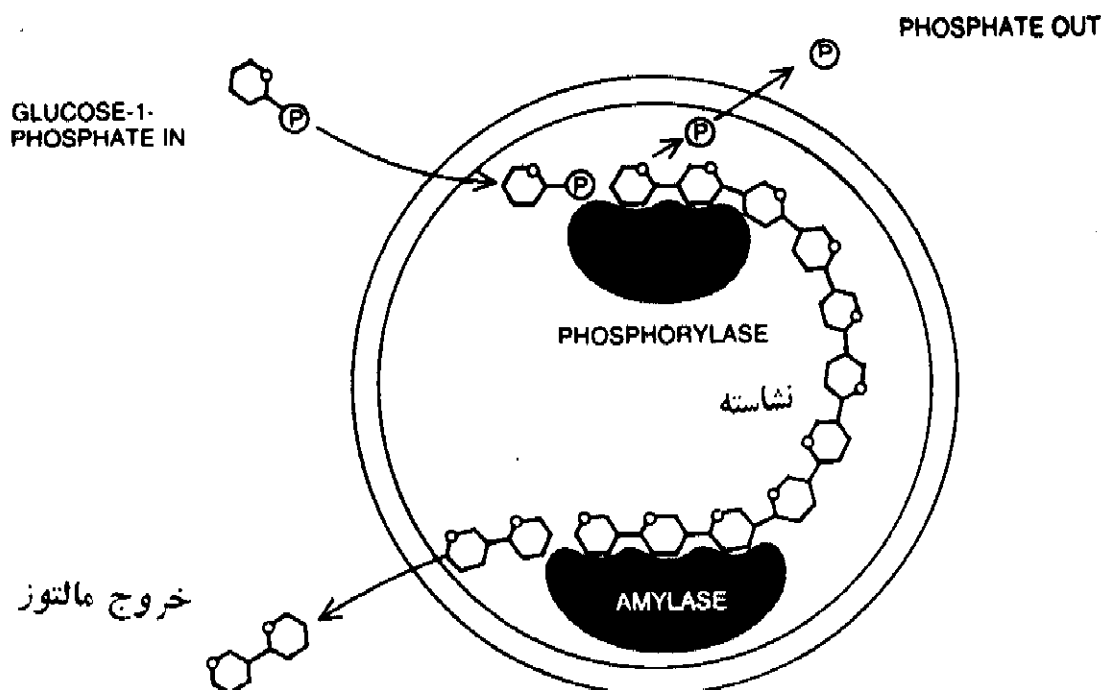
از قطره خارج و در داخل محلول پراکنده می‌شوند.

آزمایش دیگری نیز که در آن از پدیده احیای رنگها بهره گرفته شده بود، تقلید فتوسنتز گیاهان بود. کلروفیل در داخل قطرات کواسرات قرار داده شده بود و متیل قرمز و اسید اسکوربیک نیز به‌عنوان غذا به محلول افزوده شده بودند. اسید اسکوربیک، بخودی خود، از آنچنان قدرت احیاکنندگی برخوردار نیست که بتواند متیل قرمز را احیا کند. اما در صورتی که قطره کواسرات در معرض تابش نور خورشید قرار گیرد، الکترونهاى برانگیخته شده کلروفیل سبب احیای متیل قرمز می‌گردند و در مرحله دوم کمبود الکترونهاى کلروفیل از اسید اسکوربیک جبران می‌شود. به این ترتیب اسید اسکوربیک، به کمک نور خورشید، می‌تواند متیل قرمز را در فرایندی که شبیه احیای $NADP^+$ به $NADPH$ توسط آب (به کمک فوتونهاى نور) می‌باشد، احیا کند.

علاوه فاکس به قطرات شبه کواسرات، با آزمایشهای روی پروتئینوئید (شبه پروتئین) آغاز گردید. از ویژگیهای مهم پروتئینوئیدها این است که: هنگامی که محلول آبی آنها در حدود ۱۳۵ تا ۱۹۵ درجه صلبخشی حرارت داده می‌شود، به‌طور خودبخودی به صورت گویچه‌هایی به قطر ۱ تا ۲ میکرومتر درمی‌آیند. هرچند که در محیط واکنش، لی‌بید (چربی) وجود ندارد، گویچه‌های پروتئینوئید غشاهایی (شبه به پوسته‌های مضاعف لی‌بیدی در سلولها) در اطراف خود به وجود می‌آورند. در شرایط مناسب، گویچه‌ها، به خرج پروتئینوئید محلول در محیط اطرافشان، به روشی که بی‌شبهت به رفتار باکتریها نیست، رشد و تکثیر پیدا می‌کنند.

بر خلاف سیستمهای اوپارین، که کاتالیزور به‌طور مصنوعی در آنها قرار داده شده بود، فاکس در پی بررسی قدرت کاتالیزوری نهفته در خود گویچه‌ها برآمد. فاکس متوجه شد که گویچه‌های شبه پروتئینی می‌توانند نظیر آنزیمهای «استراز» و «پروکسیداز»، سبب تجزیه گلوکوز شوند. البته، جای شگفتی بود اگر پلی‌پپتیدی با آنچنان گروههای با بار مثبت و منفی در ابتدا و انتهای رشته‌هایش، نتواند مانند کاتالیزورهای معمولی اسید و باز عمل نماید؛ بنابراین، رفتار گویچه‌های شبه پروتئینی هم چندان عجیب نیست. شاید در مراحل بعدی تکوین حیات، همین گویچه‌های پروتئینوئیدی بتدریج «آموخته» باشند چگونه از رشته‌های جانبی خود به‌عنوان عوامل دافعه و جاذبه الکترونها بهره‌گیرند و به‌صورت آنزیمهای پیچیده و متکامل امروزی درآیند.

هرچند آزمایشهای اوپارین و فاکس، تنها تصویرهایی از حیات را رسم می‌کنند، ولی نکات بسیار با اهمیتی می‌توان از آنها آموخت. این آزمایشها نشان می‌دهند که تا چه حد می‌توان در آزمایشگاه شرایط آغازین پیدایش حیات را به‌طور مصنوعی ایجاد و مطالعه کرد و، همچنین، مفهوم انتخاب شیمیایی را برای ادامه حیات به‌نمایش گذاشت. انتخاب شیمیایی تنها نوع انتخاب طبیعی در دورانی بوده است که هنوز



واکنش دو مرحله‌ای، توسط دو آنزیم، در داخل یک قطره پروتئین-کربوئیدرات صورت می‌گیرد. یکی از آنزیمها، فسفریلاز است که گلوکز ۱ - فسفات را به صورت نشاسته بسیاری می‌کند و دیگری، آمیلاز است که از نشاسته، مالتوز می‌سازد. قطرات کوچک در این لحظه رشد نمی‌کنند. زیرا نشاسته به همان سرعت که ساخته می‌شود، ناپدید می‌گردد و مالتوز هم در محیط اطراف پراکنده می‌شود.

مولکولهای ذخیره کننده اطلاعات به وجود نیامده بودند و انتخاب ژنتیک امکان پذیر نبوده است. این آزمایشها نشان دادند که به وجود آوردن کواسرواتها یا گویچه‌ها از ویژگیهای محلولهای حاوی بسیار است، هر چند که پایداری و بقای سیستمهای به وجود آمده (کواسرواتها و گویچه‌ها)، به توانایی آنها برای انجام واکنشهای ساده‌ای که بتوانند به کمک آن رشد و همانند سازی نمایند و غشای خود را در مقابل عوامل ناساز بیرونی استحکام بخشند، بستگی پیدا می‌کند.

می‌توان تصور کرد که پیش از تکوین سلولهای آغازین، اقیانوسها از قطرات کوچکی که دارای ویژگی شیمیایی بودند، انباشته شده بود. قطراتی که تصادفاً توانایی کاتالیدن واکنشهای مفید بسیار را داشتند، به حیات خود ادامه دادند و طول عمر آنها با درجه پیچیدگی ساختارشان و کارآمد بودن روش سوخت و سازشان بستگی مستقیم داشت. پس از مدتی مسئله انتخاب شیمیایی پیش آمد و قطراتی توانستند به حیات خود ادامه دهند که توانایی رقابت با سایر قطرات را پیدا کرده بودند و همچنین، می‌توانستند شرایط مناسب برای ادامه حیات خود و نوزاد حاصل از زادولدها را تأمین کنند. این پدیده‌ها هنوز دارای «حیات» نیستند، ولی به آن نزدیک تر شده‌اند. تنها چیزی که از «حیات» کم دارند، سازوکار منظمی است که وجود کاتالیزورها در قطرات نوزاد را، که شرط اساسی ادامه حیاتشان می‌باشد، تأمین کند. این سازوکار منظم، همان دستگاه

ژنتیک است که اکنون به آن می‌پردازیم.

تکامل ماشین ژنتیکی مرحله‌ای است که برای آن مدل آزمایشگاهی وجود ندارد، با وجود این، می‌توان به‌طور نامحدودی درباره آن، بدون نگرانی از واقعیات نامطلوب، به‌نظر به‌سازی پرداخت. دستگاه پیچیده ژنتیک در زیست‌مندان امروزین به‌حدی عام و کلی می‌باشد که برای تصور چگونگی ساختار آن در موجودات آغازین، راه‌سما و تصویری در دست نداریم.

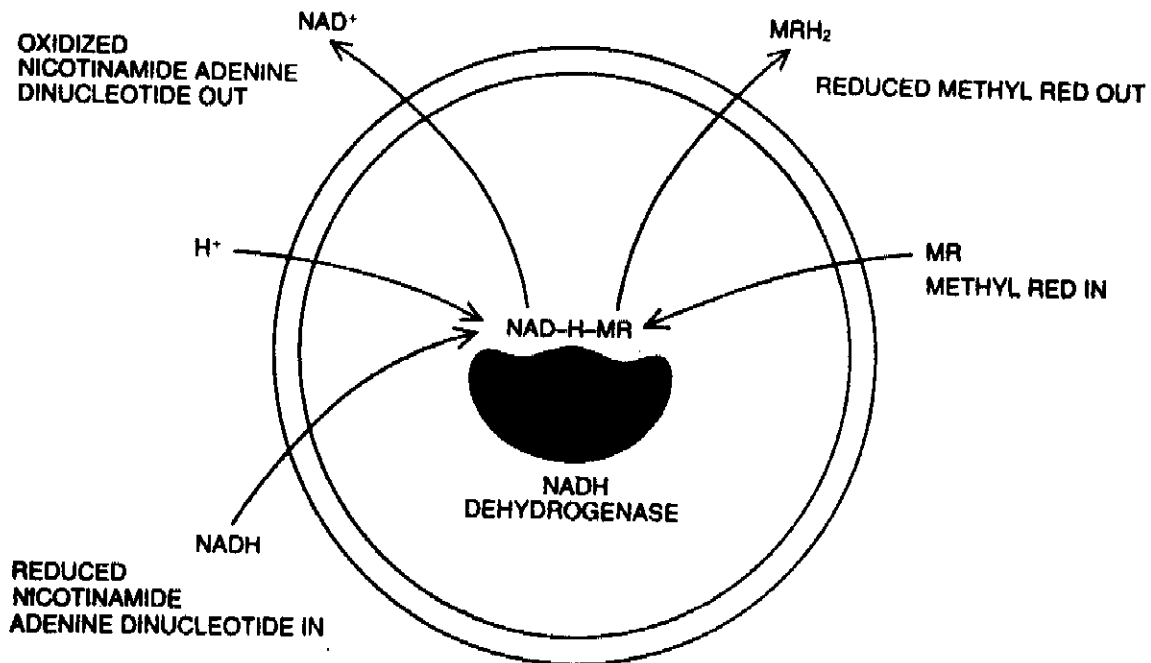
حدود سی سال پیش نورمن هورویتس Norman H. Horowitz از انستیتو تکنولوژی کالیفرنیا، پیشنهادی جالب ارائه داد که براساس آن سیستمهای سوخت و ساز، به اصطلاح، از عقب به‌جلو تکامل می‌یافتند. اگر امروزه يك دسته از واکنشهای سوخت و ساز از جسم الف به جسم ب و سپس به‌جسم ج و د و بالاخره به ه می‌رود و نیاز اولیه احتمالاً تولید ه بوده است، آنگاه قدیمترین واکنش، همان تشکیل ه از د خواهد بود (د ماده اولیه به‌دست آمده از محیط است). تنها زمانی که غلظت جسم د در محیط به‌حد معینی کاهش پیدا کند، می‌توان به‌فکر تولید د از ماده اولیه دیگر، یعنی ج، افتاد. کاهش غلظت ج نیز سبب خواهد شد که به‌فکر تولید آن از ب برآییم و از این طریق تمام سلسله تکامل به طریق عکس و به‌آرامی صورت می‌گیرد.

براساس این تفکر، فتوسنتز به‌عنوان منبع نوین تأمین گلوکوز برای زیست‌مندان در آمد، که به‌تخمیر بیهوازی مواد پرانرژی متکی بودند و ذخیره طبیعی آن مواد بر اثر رقابت کاهش پیدا کرده بود. تخمیر بیهوازی، یا گلیکولیز، نیز بنوبه خود به‌عنوان وسیله‌ای برای تأمین آت پ مورد نیاز زیست‌مندان آغازین، که ابتدا به‌منبع بیرونی نوکلئوتیدها و پلی‌سفاتنها برای تأمین انرژی متکی بودند، تکامل یافت. بنابراین واکنشهای آشنای سوخت و ساز از قبیل: (۱) فتوسنتز گلوکوز، (۲) گلیکولیز با ذخیره انرژی از طریق آت پ و (۳) به‌کارگرفتن آت پ به‌عنوان منبع انرژی در فعالیتهای سلولی، می‌تواند حاصل نوعی تکامل از عقب به‌جلو باشد که ابتدا توسط هورویتس مطرح گردید.

در مراحل نخستین تکوین حیات، احتمالاً، به‌علت مقدار کافی تکپارهای فعال و عوامل تراکم، وجود خود آتریمها هم ضرورتی نداشته است. آتریمها نه‌تنها کاتالیزور می‌باشند، بلکه نقش هدایت‌کننده یا پیوند دهنده نیز دارند. در مراحل بعدی حیات، که مقدار محدودی انرژی در دسترس زیست‌مندان قرار می‌گرفت، برای استفاده اقتصادی از این انرژی و کسب اطمینان از اینکه انرژی آزاد شده در يك واکنش، به‌جای رها شدن به‌صورت گرما، در واکنش دیگری به‌کارگرفته می‌شود، کاتالیزورهای هدایت‌کننده‌ای نظیر آتریمها به‌صحنه آمدند.

آتریمهای نخستین، احتمالاً، رشته‌های بسپاری بوده‌اند که خود بخود به‌وجود آمدند. برخی از بسپارهای حاصل از واکنشهای بسپارش، نقش کاتالیزور را برای خود ایفا می‌کنند؛ حضور نوعی بسپار سبب می‌شود که مقدار بیشتری از همان نوع تولید گردد. مارییج مضاعف دان آ مثال جالبی از بسپارش خود - کاتالیزوری Autocatalytic

a



عمل انتقال الکترون در یکی از آزمایشهای اوپارین، که در آن قطران کواسروات با آنزیم **NADH dehydrogenase** تقلید شده است. در محیط واکنش ماده رنگین متیل قرمز همراه با شکل احیا شده نیکوتین آمیدادین دی-نوکلئوتید (**NADH**) وجود دارد. هنگامی که دو ماده در داخل قطره نفوذ می‌کند، آنزیم موجب انتقال هیدروژن از **NADH** به ماده رنگین متیل قرمز می‌شود و آنرا احیا می‌کند. پدیده انتقال هیدروژن و احیای متیل قرمز با تغییر رنگ آن همراه است. پس از خاتمه واکنش، فراورده‌های آن به خارج قطره تراوش می‌کنند و پراکنده می‌شوند.

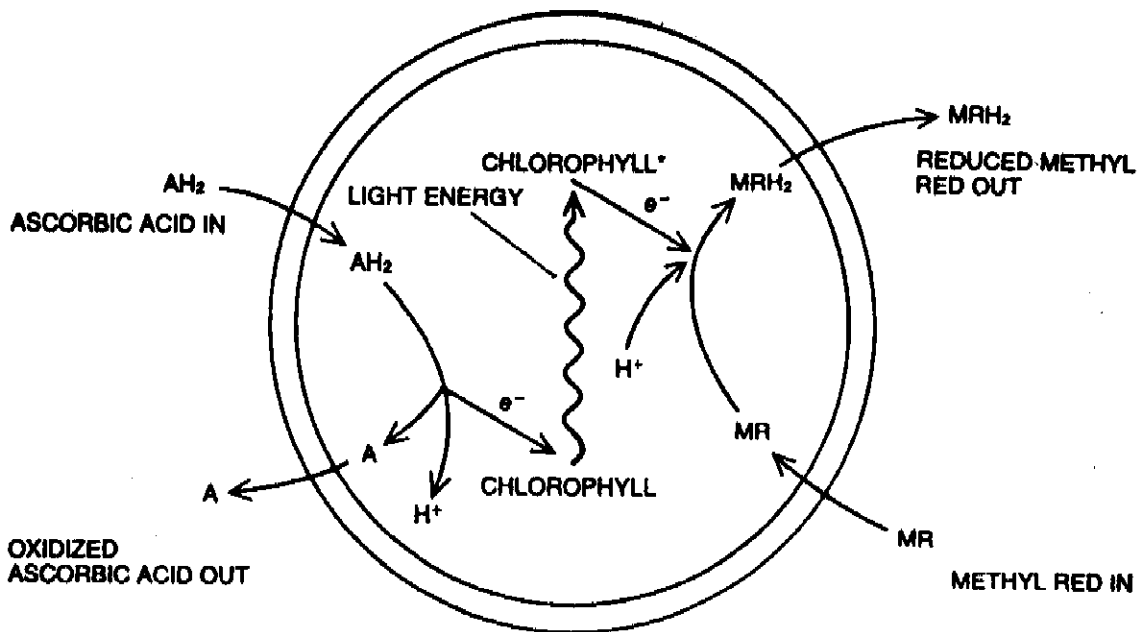
است، و تنها به همین دلیل، دان آن ممکن است نقش اساسی در حیات زیست‌مندان را پیدا کرده باشد. به محض آنکه واکنش کاملاً خودکاتالیزور شد (یعنی، دیگر کاتالیزور برای واکنش تنها یک محصول ساده به شمار نرفت)، آنگاه می‌بایست به نحوی از افزایش ذخیره کاتالیزور و انتقال آن به نوزادان پروتویونها اطمینان حاصل گردد. نخستین پروتویونهایی که به نحو موفقیت‌آمیزی پایدار شدند، کواسرواتهای خود کاتالیزور حاصل از اسیدهای نوکلئیک (مانند آنها که توسط اوپارین ساخته شدند) بودند که به تکپارهای فعال و عوامل تراکم، به جای آنزیمهای «پلیمراز»، متکی بودند. اگر اسید نوکلئیک به عنوان قالب **template** برای بسپارش رشته‌های پروتئینی عمل کرده باشد (حتی برای تشکیل یک ردیف نامنظم) رشته‌های پروتئینی حاصل به عنوان غشا و پوسته‌ای برای حفظ کواسروات اسید نوکلئیک کارساز بوده‌اند. شاید در آغاز، نوعی «همکاری» بین اسید نوکلئیک و پروتئین وجود داشته است که در آن اسید نوکلئیک نقش قالب و خود کاتالیزور را بازی کرده و پروتئین نیز نقش ساختاری و حفاظتی را به عهده داشته است. اگر نحوه مشخصی از استقرار بارهای مثبت و منفی در طول رشته پلی‌پپتیدی توانسته باشد اسید نوکلئیک یا پلی‌پپتید را به گونه مشخصی

بسپاریده کرده باشد، آنگاه می‌توان از برخاستن نخستین کاتالیزور پروتئینی یا آنزیم خبر داد. در مراحل بعدی تکوین آنزیمها، ممکن است فشار انتخاب، سبب سامان‌گیری ویژه بارهای مثبت و منفی در شاخه‌های جانبی اسیدهای آمینه تشکیل‌دهنده آنزیمها شده باشد. بنابراین، همانند سازی قالبی در اسیدهای نوکلئیک و کاتالیدن آنزیمی در پلی‌پپتیدها، به‌طور همزمان تکامل یافته‌اند و ادواری مانند دوران «حیات بی‌دان‌آ» یادوران «ژن لخت» وجود نداشته است.

چنین نظریه‌هایی، تماماً نیاز به وجود نوعی شناخت متقابل یا مکمل (در سطح مولکولی) میان رشته‌های اسید آمینه در پروتئینها و رشته‌های باز در اسیدهای نوکلئیک دارد. تلاشهای فراوانی برای یافتن یک تناسب طبیعی میان رشته‌های پروتئین و رشته‌های اسید نوکلئیک، که پیش از پدیدار شدن ماشین متکامل امروزی [یعنی مولکولهای آر ان آی انتقال (transfer-RNA) ریبوزومها و آنزیمهای دارای بار الکتریکی]، می‌توانسته وجود داشته باشد، صورت گرفته است. تاکنون، نتایج هیچیک از این تلاشها کاملاً قانع‌کننده نبوده است. امروزه، آنزیمی که دارای بار الکتریکی می‌باشد در یک انتهای رشته‌اش اسید آمینه‌ای را به‌خود متصل می‌کند، در حالیکه در انتهای دیگرش پادرمز anticode مشخص همان اسید آمینه را دارا می‌باشد. (یک پادرمز از سه باز به‌وجود آمده که مکمل رمز هستند؛ بازهای سه‌گانه‌ای که رمز یکی از اسیدهای آمینه مورد نظر را دربردارند). ویژگی انطباق اسیدهای آمینه و رمز مربوط به آنها، نه با رمزونه با آر ان آی انتقال می‌باشد، بلکه در آنزیم دارای بار الکتریکی نهفته است. پیش از آنکه آنزیمهای دارای بار الکتریکی به‌وجود آیند، انطباق و پیوند چگونه انجام می‌شده است؟ این مسئله نظیر معمای جوجه و تخم مرغ است، زیرا آنزیمهای دارای بار الکتریکی، خود توسط همین ماشین ترجمه و انطباق، که امروزه در گرداندن آن شرکت دارند، سنتز شده‌اند. پاسخ معمای جوجه و تخم مرغ اولیه این بود که نه جوجه و نه تخم مرغ اول نیامدند، آنها با همدیگر از ابتدایی‌ترین اشکال و مراحل حیات تکوین یافتند. در مورد دستگاه ژنتیک نیز همین مطلب بایستی صادق باشد، تمام دستگاه به‌گونه‌ای هماهنگ از سیستمهای ساده‌ای، که در اثر رقابت از صحنه بیرون شده‌اند و دیگر وجود ندارند، تکامل یافته است. با اینکه می‌توانیم سنگواره بازمانده از نیاکان جوجه را مطالعه کنیم، برای بررسی آنزیمها هیچگونه «سنگواره آنزیمی» در اختیار نداریم. ما تنها می‌توانیم تصور کنیم چه چیزی احتمالاً وجود داشته، و تاکنون نظریه پردازیهای ما، در این مورد، یاری دهنده نبوده است.

امروزه، تنها سیستمی که می‌تواند چگونگی همبستگی اولیه میان اسیدهای نوکلئیک و تکثیر پروتئینها روشن سازد، سیستم عامل جلوگیری کننده - عامل گرداننده کنترل ژنتیک است. گرچه شناسایی مستقیم ترتیب اسیدهای نوکلئیک توسط شاخه‌های جانبی اسیدهای آمینه، دیگر بخشی از پیام ژنتیک نمی‌باشد، وقتی برخی ژنها در باکتریها «کشته» می‌شوند، یک مولکول پروتئین با ترتیب مشخص اسیدهای آمینه (عامل جلوگیری کننده) بایستی ترتیب ویژه و مضاعف بازها را تشخیص دهد و به آن متصل گردد

b



پدیده فتوسنتز در آزمایش دیگری از اوپارین، با کواسرواتهای محتوی کلروفیل، تقلید شده است. در اینجا نیز از متیل قرمز به عنوان ماده احیا شونده استفاده شده است. اسید اسکوربیک (ویتامین ث) که می‌تواند به داخل قطرات کواسرواتها نفوذ کند، بخودی خود قدرت احیا کنندگی کافی برای انجام واکنش را ندارد و بدون یک محرک قادر به احیای متیل قرمز نیست. لیکن، اگر قطرات کواسروات در معرض نور قرار گیرند، الکترونهاي کلروفیل قابلیت احیای متیل قرمز را پیدا می‌کنند و سپس کلروفیل، الکترونهاي مصرف شده را از اسید اسکوربیک به دست می‌آورد. اسید اسکوربیک که در طول فرایند اکسیده می‌گردد، به بیرون قطرات کواسروات تراوش می‌کند و پخش می‌شود.

(عامل گرداننده د ان آ). اکنون ماهیت این سیستم شناسایی ترتیب رشته ، در بسیاری از آزمایشگاهها مورد بررسی می‌باشد. هنگامی که، بالاخره، فهمیده شود که عامل جلوگیرنده پروتئین چگونه از ترتیب بازها در عامل گرداننده د ان آ با خبر می‌گردد، آنگاه می‌توانیم فرضیه‌های خود را در مورد نقش يك ردیف داده شده از بازها در ساخته شدن رشته‌ای از پلی‌پپتید با ردیف مشخص را، در روزگارانى که هنوز از آن آى انتقال، ریبوزومها و آنزیمهای دارای بار وجود نداشته‌اند، مطرح سازیم.

گامهایی که تاکنون برشمرديم، و یا چیزی شبیه به آنها، احتمالاً سبب ظاهر گشتن نخستین زیست‌مندان بر روی زمین بوده‌اند. شاید این زیست‌مندان موجوداتی تك سلولی شبیه به باکتریهای امروزی (مانند کلوستریدیوم Clostridium) بوده‌اند که با وجود داشتن دستگاه کامل ژنتیکی، از نظر تأمین انرژی، به تجزیه مولکولهای حاصل از فرایندهای غیر زیستی، متکی می‌باشند. زیست‌مندان آغازین احتمالاً می‌توانسته‌اند شکارگر مواد آلی ساخته شده بر اثر تخلیه الکتریکی و تابش فرابنفش باشند. اما، وسعتی

که حیات می توانسته، با توجه به محدودیت تولید غیر زیستی آن ترکیبات، داشته باشد، محدود بوده است. بنابراین، زیست‌مندان آن روزگاران تنها مصرف‌کننده مواد آلی بوده‌اند، نه تولیدکننده آن.

ظرفیت زمین برای تأمین حیات، با اختراع فتوسنتز، که سبب شد تا زیست‌مندان بتوانند مولکولهای آلی را با استفاده از انرژی خورشید سنتز نمایند، افزایش عظیمی یافت. نخستین زیست‌مندانی که به سازوکار فتوسنتز دست یافتند، توانستند خود را از رقابت (با سایر زیست‌مندان) برای تأمین مولکولهای پرانرژی، بی‌نیاز کنند. واکنش فتوسنتز که در آن از سولفید هیدروژن (H_2S) به‌عنوان منبع اتمهای هیدروژن برای احیای دی‌اکسیدکربن (CO_2) استفاده می‌شده (فرایندی که امروزه نیز توسط باکتری سبز و ارغوانی گوگرد به کار بسته می‌شود)، بدون تردید ابتدایی‌تر از شکل پیچیده و امروزی فتوسنتز بوده است، که به صورت یک واکنش دومارحله‌ای انجام می‌گیرد و آب در آن نقش تأمین‌کننده اتمهای هیدروژن را دارد. سیانوباکتریها (یا جلبکهای آبی - سبز) و گیاهان سبز از سازوکار امروزی فتوسنتز استفاده می‌کنند (معادلات ۱۹ و ۲۰ در شکل ۱۶). بر روی زمین اولیه، مقدار سولفید هیدروژن به‌حدی بوده است که توانسته باشد به‌عنوان یک عامل احیا کننده سهل‌الوصول درآید. چون مقدار آب در طبیعت فراوان است، زیست‌مندانی که توانستند برای تأمین هیدروژن مورد نیازشان، به‌جای سولفید هیدروژن، به آب روی آورند، به‌امتیاز بزرگی بر سایر زیست‌مندانی که از گوگرد استفاده می‌کردند دست‌یافتند.

تا اینجا، داستان پیدایش حیات بر روی زمین را تا سیانوباکتریها، که سنگواره نیاکان آنها در ته‌نشستها حداقل ۳۲۰۰ میلیون سال عمر دارند، به‌جلو آورده‌ایم. آشکار است که نه تنها حیات، بلکه حیات فتوسنتزی نیز طی هزار میلیون سال از پیدایش زمین تکوین یافته است. هنوز بدرستی نمی‌دانیم، نخستین زیست‌مندانی که با فتوسنتز، اتمهای اکسیژن و هیدروژن آب را از همدیگر گسستند، اکسیژن آزاد شده را در جو رها می‌ساختند یا نه؟ احتمالاً چنین کاری می‌کرده‌اند.

طی دو میلیارد (۲۰۰۰ میلیون) سال بعدی، دگرگونی عظیمی در ماهیت جو زمین به‌وجود آمد: از یک جو احیا کننده فاقد اکسیژن (یا دارای کمی اکسیژن) به‌جوی اکسیدکننده که از هر پنج مولکول تشکیل دهنده آن یکی اکسیژن می‌باشد، رسید.

یکی از پی‌آمدهای این پدیده، تشکیل لایه ازن O_3 در جو بالا بوده، که مقدار تابش فرابنفش رسیده به‌سطح زمین را بشدت کاهش می‌داده است. گرچه این رخداد نقطه پایانی بر سنتز غیر زیستی مواد آلی گذاشت، اما سنتز زیستی این مواد، با استفاده از تابش ناحیه مرئی طیف خورشید، گسترش فراوان یافت. انگاره حیات، توسط انرژی خورشید برای همیشه بر روی زمین نقش بست و صحنه برای تکامل زیستی راستین آراسته شد.

ترجمه عباس موسوی