مدرسان شریف

فصل اول

«زمین در ارتباط کیهان»

مقدمه

در ساده‌ترین شکل، ژئوشیمی را می‌توان به عنوان علمی تعریف کرد که با شیمی کل زمین و اجزای تشکیل‌دهنده آن سروکار دارد. علم ژئوشیمی به تعبیری هم محدودتر و هم گسترده‌تر از زمین‌شناسی است. این علم با توزیع و مهاجرت عناصر شیمیایی در درون زمین و در ابعاد زمان و مکان سروکار دارد. علم رخداد توزیع عناصر در جهان، به طور کلی **فضاشیمی** (Cosmochemistry) نامیده می‌شود. برای درک درست شیمی زمین لازم است که تا حد زیادی از شیمی و تاریخ خورشید و سایر اجسام سیاره‌ی منظومه شمسی و همچنین شیمی ستارگان و فضای میان سیاره‌ای و میان ستاره‌ای اطلاع داشته باشیم. **کلارک** (Clark) موضوع علم ژئوشیمی را در کتاب «داده‌های ژئوشیمی» به‌صورت زیر تعریف نموده است:

هر سنگ را می‌توان یک سیستم شیمیایی به حساب آورد که تغییرات شیمیایی در آن به وسیله عوامل مختلف صورت می‌پذیرد. این چنین تغییری مستلزم در هم ریختن تعادل است و در نهایت به تشکیل سیستم جدیدی منجر می‌شود که به نوبه خود تحت شرایط جدید پایدار است.

از نقطه نظر زمین‌شناسی، پوسته جامد زمین موضوع اصلی این مطالعه است. واکنش‌هایی که در آن رخ می‌دهند را به سادگی می‌توان تحت سه عنوان تقسیم‌بندی کرد. ۱ـ واکنش‌هایی که بین اجزای اصلی خود زمین صورت می‌گیرد ۲ـ واکنش‌هایی ناشی از لایه نازک آبگین ۳ـ واکنش‌های تولید شده به‌وسیله اتمسفر.

نکته ۱: گلدشمیت (Goldschmidt) ژئوشیمی را به این صورت توصیف کرده است: وظیفه اصلی ژئوشیمی از سویی تعیین **ترکیب کمّی زمین** و بخش‌های مختلف آن و از سوی دیگر **کشف قوانین کنترل‌کننده** توزیع هریک از عناصر است.

وظایف اصلی ژئوشیمی را به صورت زیر می‌توان خلاصه کرد:

۱- تعیین فراوانی **نسبی** و **مطلق** عناصر و انواع اتمی **(ایزوتوپ‌ها)** در زمین.

۲- مطالعه **توزیع** و **مهاجرت** هر یک از عناصر در بخش‌های مختلف زمین (اتمسفر، هیدروسفر، پوسته و غیره) و همچنین در کانی‌ها و سنگ‌ها به منظور کشف اصول کنترل‌کننده این توزیع و مهاجرت.

مثال۱: علم رخداد توزیع عناصر در جهان، چه نامیده می‌شود؟

۱) ژئوشیمی ۲) فضاشیمی ۳) بیوشیمی ۴) ژئوشیمی اکتشافی

☑ **پاسخ:** گزینه «۲» علم رخداد توزیع عناصر در جهان، به طور کلی فضاشیمی نامیده می‌شود.

تاریخچه ژئوشیمی

علم ژئوشیمی عمدتاً طی قرون اخیر توسعه یافته است، با این وجود، مفهوم نظامی مستقل که با شیمی زمین سروکار داشته باشد مفهومی قدیمی است و واژه ژئوشیمی برای اولین بار توسط شیمی‌دان سوئیسی به نام **شون بین** (کاشف ازن) معرفی گردید. بدیهی است که تاریخچه علم ژئوشیمی شامل بخش بزرگی از تاریخ علوم شیمی و زمین‌شناسی است. از آنجایی که ژئوشیمی اساساً با عناصر شیمیایی سروکار دارد، کشف این عناصر و تشخیص آنها، سنگ بناهای مهمی در تاریخ این علم پدید می‌آورد. مفهوم جدید یک عنصر را می‌توان به **لاوازیه** (Lavoisier) نسبت داد. **بونزن و کیرشهف** (Bunsen and Kirchhoff) در سال ۱۸۶۰ چگونگی کاربرد طیف‌سنج در تشخیص و شناسایی عناصر را به نمایش گذاشتند، پس از آن، عناصر Cs ،Rb ،Tl به سرعت و پی در پی بوسیله این دستگاه جدید کشف شدند. کشف رادیواکتیویته توسط **بکرل** در سال ۱۸۹۶ به شناسایی عناصر پولونیوم و رادیوم به وسیله **کوری‌ها** (Curies) و اکتینیوم به وسیله **دبی یرن** (Debierne) در سال ۱۸۹۹منجر شد. **موزلی** (Moseley) نشان داد بین طیف‌های **اشعه X** و **اعداد اتمی** همبستگی وجود دارد. اکثر پیشرفت‌های ژئوشیمی را می‌توان ناشی از پیشرفت تکنیک‌های تجزیه‌ای دانست.

مثال۲: اکثر پیشرفت‌های ژئوشیمی را ناشی از چه چیز می‌دانند؟

۱) فعالیت و تحقیق فراگیر ژئوشیمیست‌ها ۲) گسترش تحقیقات شیمی‌دان‌ها

۳) کشف اشعه ایکس ۴) پیشرفت تکنیک‌های تجزیه‌ای

☑ **پاسخ:** گزینه «۴» اکثر پیشرفت‌های ژئوشیمی را می‌توان ناشی از پیشرفت تکنیک‌های تجزیه‌ای دانست.

◆ ◆ ◆ ◆

ماهیت جهان

زمین یکی از اعضای منظومه شمسی است. منظومه‌ای که خود از خورشید، سیارات، قمرها، سیاره ماننده‌ها، ستاره‌های دنباله‌دار و شخانه‌ها تشکیل یافته است. خورشید یکی از ستارگان درون کهکشان ماست. در ورای کهکشان ما تعداد بیشماری از سیستم‌های ستاره‌ای با اندازه‌های تقریباً مشابه آن وجود دارند. این سیستم‌ها، **سحابی‌های فراکهکشانی** نامیده می‌شوند.

نکته ۲: نزدیکترین سحابی‌ها به زمین، سحابی **آندرومدا** (Andromeda) با فاصله تقریبی $۱/۷۵\times۱۰^{۹}$سال نوری است.

مثال۳: نزدیک‌ترین سحابی فراکهکشانی به کهکشان ما چه نام دارد و در چه فاصله‌ای واقع است؟

۱) آندرومدا با فاصله تقریبی $۱/۷۵\times۱۰^{۹}$ سال نوری ۲) آندرومدا با فاصله تقریبی ۲×۱۰^{۵} سال نوری

۳) آندرومدا با فاصله تقریبی ۱/۲ سال نوری ۴) آندرومدا با فاصله تقریبی $۲/۳\times۱۰^{۴}$سال نوری

☑ **پاسخ:** گزینه «۱» در ورای کهکشان ما تعداد بیشماری از سیستم‌های ستاره‌ای با اندازه‌های تقریباً مشابه کهکشان ما وجود دارند. این سیستم‌ها سحابی‌های فراکهکشانی نامیده می‌شود. نزدیکترین سحابی‌ها به زمین، سحابی آندرومدا با فاصله تقریبی $۱/۷۵\times۱۰^{۹}$ سال نوری است.

◆ ◆ ◆ ◆

نظریه پیرامون تشکیل جهان

در ارتباط با نحوه تشکیل جهان، نظریه‌ای به نام نظریه انبساط (جهان در حال انبساط) وجود دارد. بر این اساس، جهان در ابتدا به‌صورت نقطه‌ای منقبض بوده سپس به تدریج دچار انبساط شده است. سرعت دور شدن ستاره‌ها و سحابی‌ها و فاصله آنها طبق اثر **دوپلر** متناسب با جابه‌جایی طیف نوری سحابی‌های فراکهکشانی به طرف انتهای سرخ است. بر این اساس سن نجومی جهان را از زمانی که به‌صورت نقطه‌ای بوده، در نظر می‌گیرند (نقطه مبدأ). با توجه به نرخ انبساط، سن نجومی جهان حدود $\mathbf{۱۶\times۱۰^{۹}}$ سال نوری است. منظومه شمسی اساساً یک **سیستم بسته** است و ترکیب عنصری آن از زمان تشکیل تاکنون به‌جز در موارد کاهش ناشی از تبدیل هیدروژن به هلیم و دیگر واکنش‌های هسته‌ای خورشیدی و نیز واپاشی عناصر رادیواکتیو، هیچ تفاوتی نکرده است.

منظومه شمسی ابتدا به صورت یک نقطه بوده و پس از آن طی واپاشی‌های رادیواکتیو تکامل یافته است. برای تعیین سن معمولاً از عناصر رادیواکتیو استفاده می‌کنند. این عناصر طی واپاشی، عناصر جدیدی را می‌سازند که پایدار هستند. در سن‌یابی زمین‌شناسی معمولاً از ۵ عنصر استفاده می‌گردد. وجود یا عدم وجود یک عنصر رادیواکتیو با توجه به نیمه عمر آن می‌تواند سن آن را تعیین کند. با توجه به اعداد نیمه عمر و اینکه فراوانی دو عنصر ذکرشده مشابه عناصر رادیواکتیوی چون **جیوه** و **بیسموت** است می‌توان نتیجه گرفت که این عناصر قدمتی بیش از چند هزار میلیون سال ندارند. عدم وجود عناصری مثل نپتونیوم (^{۲۳۷}Np) و ساماریوم (^{۲۴۷}Cm) با نیمه عمر $۲/۲۵\times۱۰^{۶}$ و ۴×۱۰^{۷} نشان می‌دهد که زمان تشکیل هریک از این هسته‌ها حداقل چند صد میلیون سال پیش بوده و بنابراین آنها اجازه یافتند که تا زیر سطح حد آشکارسازی (Detection Limit) دچار واپاشی شوند. با توجه به نیمه عمر رادیواکتیو، عنصر رادیواکتیو دچار واپاشی شده و به عنصر نوزاد تبدیل می‌گردد، مثل اورانیوم که به سرب تبدیل می‌گردد. سرب دارای چهار ایزوتوپ ^{۲۰۴}Pb، ^{۲۰۶}Pb، ^{۲۰۷}Pb و ^{۲۰۸}Pbاست که ایزوتوپ $^{۲۰۴}\mathbf{Pb}$رادیوژن نیست و مقدار **کنونی** آن با **مقدار اولیه** آن در زمان تشکیل **برابر** است. بخشی از دیگر ایزوتوپ‌های سرب، اولیه بوده و بخشی نیز حاصل واپاشی ایزوتوپ‌های ^{۲۳۵}U، ^{۲۳۶}U و ^{۲۳۳}Th است. با گذشت زمان نسبت ایزوتوپ‌های **رادیوژن** نسبت به ایزوتوپ **غیر رادیوژن** ^{۲۰۴}Pb **افزایش** یافته است. به عنوان مثال شخانه‌های سنگی دارای مقادیر قابل اندازه‌گیری از اورانیوم هستند و مقدار سرب موجود در آنها، اثرات افزایش پی در پی سرب رادیوژن را نشان می‌دهد. شخانه‌های آهنی فاقد اورانیوم هستند و مقدار ناچیز سرب موجود در آنها، بالاترین مقدار نسبی ^{۲۰۴}Pb را در هر ماده طبیعی نشان می‌دهد. تجزیه و تحلیل ریاضی داده‌ها، سن شخانه‌ها را از $\mathbf{۴/۶\times۱۰^{۹}}$ سال تعیین می‌کند که این سن مستقیماً از طریق تعیین سن شخانه‌های سنگی به روش **Rb/Sr** تأیید شده است و این همان زمان **جدا شدن شخانه‌های سنگی و آهنی** از یکدیگر است که بدین ترتیب می‌توان از نظر عقلانی زمان تشکیل سیارات در منظومه شمسی را **یکسان** دانست.

مثال۴: با برخی پیش فرض‌های خاص در مورد نرخ انبساط، سن نجومی جهان را چند سال تعیین کرده‌اند؟

۱) $۱/۶\times۱۰^{۹}$ ۲) ۱۶×۱۰^{۹} ۳) $۱/۶\times۱۰^{۱۱}$ ۴) ۱۶×۱۰^{۱۰}

☑ **پاسخ:** گزینه «۲» سن نجومی جهان را از زمانی‌که به‌صورت نقطه‌ای بوده در نظر می‌گیرند (نقطه مبدأ). با توجه به نرخ انبساط، سن نجومی جهان حدود ۱۶×۱۰^{۹}سال است.

ماهیت منظومه شمسی

در مطالعات ژئوشیمی، منظومه شمسی از اهمیت بسزایی برخوردار است. مهمترین قوانین حاکم در منظومه شمسی به شرح زیر است:

۱ـ خورشید به تنهایی بیش از **۹۸%** از جرم منظومه را به خود اختصاص داده، اما تنها ۲% از ممان زاویه‌ای منظومه را دارا است.

۲ـ تمام سیارات در مدارهای بیضی شکل در **یک جهت** به دور خورشید گردش کرده و تمام مدارها عملاً در یک صفحه قرار می‌گیرند.

۳ـ سیارات حول محورشان در همان جهت گردش به دور خورشید می‌چرخند (به استثنای **اورانوس** و **زهره** که جهت چرخش آنها برعکس است).

۴ـ فاصله بین سیارات دارای نظم خاصی است که از قانون "باد" پیروی می‌کند؛ و سیارات به دو گروه مختلف تقسیم می‌شوند: گروه داخلی شامل سیارات کوچک (**عطارد، زهره، زمین، مریخ**) و گروه بیرونی شامل سیارات بزرگ (**مشتری، ناهید، اورانوس و نپتون**) که به سیارات اصلی شهرت دارند.

۵ـ علی‌رغم تجمع جرم در خورشید، بخش اصلی ممان زاویه‌ای منظومه شمسی در سیارات آن مجتمع شده است.

نکته ۳: قانون "باد" یک سری عددی است که با فواصل نسبی سیارات از خورشید رابطه نزدیکی دارد. فواصل واقعی سیارات از خورشید با فرض اینکه فاصله زمین مساوی ۱۰ باشد.

داده‌های مربوط به منظومه شمسی

سیارات	جرم (زمین=۱)	شعاع (برحسب کیلومتر)	دانسیته $\frac{g}{cm^3}$	دمای سطحی (برحسب درجه کلوین)	فشار سطحی (برحسب بار)	گازهای اصلی و فرعی اتمسفر
خورشید	۳۳۲/۰۰۰	۶۹۵,۰۰۰	۱/۴۱	۵۵۰۰	-	H_2, He
عطارد	۰/۰۵	۲۴۴۰	۵/۴۴	۶۲۰	-	$CO_2, N_2, H_2O, Ar, SO_2$
زهره	۰/۸۱۵	۶/۵۰	۵/۲۷	۷۴۱	۹۳	N_2, O_2, CO_2, H_2O
زمین	۱/۰۰	۶۳۷۱	۵/۵۲	۲۹۰	۱	CO_2, N_2, Ar, O_2
مریخ	۱۰/۱۱	۳۳۹۷	۳/۹۵	۲۱۰–۲۴۰	۰/۰۰۷	H_2, He, CH_4, NH_3
مشتری	۳۱۸	۷۱/۶۰۰	۱/۳۱	۱۷۰	High	H_2, He, CH_4, NH_3
زحل	۹۵/۲	۶۰/۰۰۰	۰/۷۰	۱۴۰	High	H_2, He, CH_4, NH_3
اورانوس	۱۴/۶	۲۵/۹۰۰	۱/۲۱	۸۰	High	H_2, He, CH_4, NH_3
نپتون	۱۷/۲	۲۴/۷۵۰	۱/۶۶	۸۰	High	H_2, He, CH_4, NH_3
پلوتون	۰/۰۰۱۷	۱۳۰۰	۱۱?	۸۰	-	-

مثال۵: جهت چرخش کدام سیارات برعکس دیگر سیارات منظومه شمسی است؟

۱) زهره و زمین ۲) اورانوس و نپتون ۳) مریخ و مشتری ۴) زهره و اورانوس

☑ **پاسخ:** گزینه «۴» تمام سیارات در مدارهای بیضی شکل در یک جهت به دور خورشید گردش کرده و تمام مدارها عملاً در یک صفحه قرار می‌گیرند. سیارات حول محورشان در همان جهت گردش به دور خورشید می‌چرخند (به استثنای اورانوس و زهره که جهت چرخش آنها برعکس است).

منشأ منظومه شمسی

هر نظریه‌ای که درباره منظومه شمسی ارائه شود باید از عهده توضیح نظم‌های فوق برآید تا مورد قبول واقع شود. به‌طور کلی منشأ منظومه شمسی را خورشیدی قدیمی یا یک سحابی خورشیدی می‌دانند در این باره دو تفکر اصلی وجود دارد که هر دو دارای پیشینه‌ای کهن و درخور احترام هستند. براساس این دو طرز تفکر، منظومه شمسی از خورشیدی کهن یا سحابی خورشیدی پدید آمده است، اما **تفاوت این دو تفکر** در این است که یکی، عملکرد نیروی خارجی را برای تشکیل سیارات از خورشید در نظر می‌گیرد، در حالی که دیگری ایده نیروی خارجی را مردود شمرده و انرژی مورد نیاز تشکیل سیارات را در درون سحابی خورشید قدیمی جستجو می‌کند.

طرز تفکر اول مربوط به فیلسوف فرانسوی **بافون** (Buffon) است که اظهار داشت: «سیارات در اثر تصادم ستاره‌ای دیگر با خورشید از آن جدا شده‌اند» (اشاره به وجود نیروی خارجی در تشکیل منظومه شمسی). تفکر دوم با ارائه فرضیه **کانت** به وجود آمد. وی اظهار داشت که در درون سحابی خورشید اصلی، مناطقی با چگالی کمی بیشتر از میانگین چگالی سحابی، به عنوان محلی برای اجتماع ماده عمل کرده و بدین ترتیب سیارات در مراکز این مناطق رشد می‌یابند. **لاپلاس** (Laplace) وضعیت ابتدایی خورشید را به صورت توده‌ای از گازهای رقیق چرخان در نظر گرفت که تمام حجم فعلی منظومه شمسی را در برمی‌گرفت. انقباض این توده که با افزایش سرعت و چرخش همراه بود، به جدا شدن چند سری از **حلقه‌های گازی** به وسیله نیروی گریز از مرکز منجر شد. سپس این حلقه‌ها سرد شده و سیارات را تشکیل دادند. این نظریه به مدت ۶۰ سال تفکر علمی زمان را به خود اختصاص داده بود، تا اینکه فیزیکدانی به نام **کلارک ماکسول** (Clark Maxwell) نشان داد که فیزیک منظومه شمسی با منشأ فرضی لاپلاس جور درنمی‌آید.

نکته ۴: ماکسول نظریه لاپلاس را به دو دلیل رد کرد: الف) ممان زاویه‌ای در سیارات متمرکز بوده نه در خورشید ب) مکانیزم تشکیل سیارات از حلقه گازی چه بود؟

این ایرادات، نظریه لاپلاس را از نظریه‌ها ساقط کرد و بار دیگر نظریه بافون با شکلی صحیح‌تر احیاء شد. تصحیح این نظریه در ابتدا به وسیله **چمبرلاین و مولتون** (Chamberlin and Moulton) در ایالت متحده، سپس به وسیله **جینز و جفریز** (Jeans and Jeffreys) در انگلستان صورت پذیرفت. وجه تشابه همه این نظریه‌ها در تشکیل زمین و سایر سیارات از مواد جدا شده از خورشید، به علت تصادم و یا نزدیک شدن ستاره‌ای دیگر است. فرضیه چمبرلاین و مولتون، تشکیل سیارات را ناشی از **تجمع سیارک‌ها** در نظر می‌گیرند، در حالی‌که فرضیه جینز و جفریز تشکیل سیارات را ناشی از سرد شدن توده‌هایی از **گاز ملتهب** می‌داند.

در سال‌های اخیر، منشأ زمین و منظومه شمسی موضوع فرضیات بی‌شماری بوده است. برخی از ستاره‌شناسان نظریه سحابی را با تغییراتی، مجدد ارائه کردند. به نظر می‌رسد نظریه‌ای که در ابتدا به وسیله **ون ویزساکر** (Von Weizsacker) ارائه شد، بیش از نظریات دیگر با واقعیت‌ها مطابقت دارد. این نظریه خورشید اولیه را توده‌ای در نظر می‌گیرد که با سرعت بسیار در حال چرخش است و به وسیله هاله‌ای عدسی شکل متشکل از ذرات جامد و گاز احاطه شده است که **حرکتی متلاطم** دارند. در این هاله عدسی شکل، مرکزی شبیه به گرداب به وجود می‌آید و موجب اجتماع ماده می‌شود که این نیز به نوبه خود سیارات را به‌وجود می‌آورد. **مزایای نظریه ون ویزساکر** در دو علت خلاصه می‌شود؛ اولین علت، **فواصل منظم سیارات** را بیان می‌دارد. دیگری **اختلاف بین اندازه و چگالی سیارات درونی و بیرونی** را توضیح می‌دهد.

ون علت اختلاف چگالی سیارات درونی و بیرونی را رابطه **دما با فاصله** می‌داند. بنابراین هرچه فاصله سیارات از خورشید بیشتر می‌شود، دما کمتر می‌گردد. در اثر کاهش دما در بخش‌های بیرونی، مواد بیشتر تجمع می‌یابند.

نکته ۵: در سیارات درونی به دلیل **افزایش دما** تنها ترکیباتی که **فرّاریت کمتر** دارند تجمع می‌یابند، به همین دلیل این **مراکز چگالتر هستند،** اما در **سیارات بیرونی** به دلیل **کاهش دما** سیارات بهتر رشد کرده و **دارای مواد فرّار** نیز است، لذا **بزرگتر و کم چگالتر هستند.**

ون ویزساکر پیرو نظریه چمبرلاین بوده و تشکیل سیارات را ناشی از تجمع ذرات جامد می‌داند و نه ناشی از سرد شدن گاز ملتهب.

سایر نظریات ارائه شده در مورد چگونگی تشکیل منظومه شمسی به ماهیت ستاره‌های دوتایی مربوط می‌شود. تمام **ستاره‌های دوتایی** که تا به حال مشاهده شده‌اند دارای ممان زاویه‌ای بزرگی هستند و تا آنجایی که می‌دانیم، ممان زاویه‌ای ستاره‌های کوچک ناچیز است. بنابراین منطقی خواهد بود که بگوییم یک ستاره دوتایی ممکن است از طریق تبدیل شدن به یک ستاره فرد و سیستمی از سیالات در حال چرخش به دور آن، به شرایط پایداری بیشتری دست یابد. در این حالت سیستم سیاره‌ای بخش عمده ممان زاویه‌ای خواهد بود. **هویل** (Hoyle) پیشنهاد نمود که تکوین یک ستاره دوتایی به ستاره‌ای فرد با سیستم سیاره‌ای ممکن است از متلاشی شدن یکی از اجزای ستاره دوتایی که با انفجار سوپرنوا (Supernova) همراه است حاصل شود.

مثال۶: چرا نظریه ون ویزساکر درباره تشکیل منظومه شمسی بخشی از نظریه چمبرلاین را دربر می‌گیرد؟

۱) تشکیل سیارات را ناشی از تجمع ذرات جامد می‌داند و نه ناشی از سرد شدن گازهای ملتهب.

۲) تشکیل سیارات را ناشی از سرد شدن گازهای ملتهب می‌داند و نه ناشی از سرد شدن و تجمع ذرات جامد.

۳) به تجمع عناصر و مواد فرّار در سیارات بیرونی اشاره دارد.

۴) به تجمع عناصر و مواد سنگین در سیارات بیرونی اشاره دارد.

☑ **پاسخ:** گزینه «۱» نظریه ون پیرو نظریه چمبرلاین بوده و تشکیل سیارات را ناشی از تجمع ذرات جامد می‌داند و نه ناشی از سرد شدن گازهای ملتهب.

◆ ◆ ◆ ◆

مثال۷: چه کسی پیشنهاد نمود که " تکوین یک ستاره دوتایی به ستاره‌ای منفرد و همراه با یک سیستم سیاره‌ای ممکن است از متلاشی شدن یکی از اجزای ستاره‌ای دوتایی که با انفجار سوپرنوا همراه است ایجاد شود"؟

۱) هویل ۲) ون ویزساکر ۳) لاپلاس ۴) کانت

☑ **پاسخ:** گزینه «۱» هویل پیشنهاد نمود، ستاره‌های دوتایی دارای ممانی بزرگتر از ستاره‌های کوچک هستند، بر این اساس در اثر انفجار، مواد زیادی در فضا پخش می‌گرددکه مواد باقیمانده به عنوان هسته سیارات در نظر گرفته می‌شوند.

ترکیب شیمیایی جهان

دانش ما از ترکیب شیمیایی جهان از بررسی **طیف‌نگاری** تشعشعات خورشیدی و ستاره‌ای، تجزیه شیمیایی **شهاب‌ها** و آن چیزی که در مورد ترکیب زمین و سایر **سیارات** می‌دانیم، به دست می‌آید. مشاهدات طیف‌نگارانه، عناصر مسئول تشعشع را مشخص می‌کند و از روی تجزیه و تحلیل دقیق شدت خطوط طیف‌ها، می‌توان به تخمین تقریبی در مورد مقادیر نسبی عناصر مختلف موجود در لایه‌های بیرونی در حال تشعشع دست یافت. این داده‌ها با این عقیده که کیهان تماماً از عناصر مشابهی تشکیل شده است، سازگار است و علی‌رغم تغییرات محلی که عموماً به آسانی قابل توضیح هستند، فراوانی نسبی عناصر مختلف در همه جا تقریباً یکسان است. **هلیم** که برای اولین بار در سال ۱۸۶۸توسط **لاک‌یر** (Lockyer) در طیف خورشید مشخص شد،

در سال ۱۸۹۵ به وسیله **رمزی** به عنوان یک گاز حاصل از حرارت دادن یورانینیت به وسیله اسیدهای معدنی شناخته شد (**هیلبراند** (Hillebrand) چند سال پیش از آن متوجه این گاز نجیب از یورانینیت شده بود، اما فکر کرد این گاز ازت است). **تکنتیوم** (Technetium) عنصری است که به خاطر نیمه عمر کوتاهش در زمین تشخیص داده نشده است، ولی در طیف بعضی از ستاره‌ها ظاهراً به خاطر ساخته شدن اخیر این عنصر در آنها، مشاهده شده است.

مثال۸: دانش ما از ترکیب شیمیایی جهان از چه راه‌هایی به دست می‌آید؟

۱) بررسی طیف‌نگاری تشعشعات خورشیدی و ستاره‌ای به اضافه ترکیب شیمیایی شخانه‌ها

۲) بررسی طیف‌نگاری تشعشعات خورشیدی و ستاره‌ای به اضافه دانسته‌های موجود درباره ترکیب شیمیایی زمین

۳) بررسی طیف‌نگاری تشعشعات خورشیدی و ستاره‌ای به اضافه ترکیب شیمیایی شخانه‌ها و دانسته‌های موجود درباره ترکیب زمین و سایر سیارات

۴) بررسی طیف‌نگاری تشعشعات خورشیدی به اضافه ترکیب شیمیایی منظومه شمسی

☑ **پاسخ:** گزینه «۳» دانش ما از ترکیب شیمیایی جهان از بررسی طیف‌نگاری تشعشعات خورشیدی و ستاره‌ای، تجزیه شیمیایی شخانه‌ها و آن چیزی که در مورد ترکیب زمین و سایر سیارات می‌دانیم، به دست می‌آید.

ترکیب شیمیایی خورشید

مطالعات طیف‌نگاری خورشید در طول سال‌های متمادی انجام شد و داده‌های زیادی فراهم گردیده است. محدودیت‌هایی در روش طیف‌نگاری خورشیدی وجود دارد که عبارت‌اند از:

الف) برخی عناصر، طیف قابل تشخیص ندارند و یا طول موج خطوط قوی آنها **کمتر** از ۲۹۰۰ آنگستروم بوده و به وسیله **اتمسفر** جذب شده و قابل رؤیت نیستند.

ب) طیف در بخش بیرونی خورشید تولید می‌شود و در حقیقت نمایانگر **اتمسفر خورشید** است. در طیف خورشیدی حدود ۷۰ عنصر وجود دارد. هیچ دلیلی در دست نیست که به استناد آن بتوان گفت یکی از عناصر جدول تناوبی در خورشید حضور ندارد. علت عدم حضور عناصر در خورشید فراوانی ناچیز آنها و یا محدودیت‌هایی است که پیش از این به آنها اشاره شد.

نکته ۶: از نظر فراوانی **بیشترین عناصر** موجود در خورشید **He** و **H** است که همچنین بخش اعظم سیارات بزرگتر شامل مشتری، ناهید، نپتون و اورانوس را تشکیل می‌دهند و کمترین آنها مربوط به **Sc** است.

فراوانی عناصر در اتمسفر خورشید

عناصر	عددانمی	فراوانی (برحسب اتم بر 10^6 اتم Si)
H	۱	$2/2\times10^{10}$
He	۲	$1/4\times10^{9}4$
C	۶	$9/3\times10^{6}$
N	۷	$2/0\times10^{6}$
O	۸	$1/6\times10^{7}6$
Na	۱۱	$4/3\times10^{4}$
Mg	۱۲	$8/9\times10^{5}$
Al	۱۳	$7/4\times10^{4}$
Si	۱۴	$1/0\times10^{76}$
S	۱۶	$3/2\times10^{5}$
K	۱۹	$3/2\times10^{5}$
Ca	۲۰	$5/0\times10^{4}$
Sc	۲۱	$2/5\times10^{1}$
Ti	۲۲	$2/3\times10^{2}$
V	۲۳	$1/1\times10^{4}$
Cr	۲۴	$7/1\times10^{4}$
Mn	۲۵	$1/8\times10^{5}$
Fe	۲۶	$4/3\times10^{4}$
Co	۲۷	$2/6\times10^{2}$
Ni	۲۸	$6/3\times10^{2}$

مثال۹: کدام گروه از عناصر در اتمسفر خورشید فراوانی بیشتری دارند؟

۱) H ،He ،O ،C ،N ،Si ۲) H ،He ،C ،N ،O ،Na ۳) H ،He ،O ،Si ،Ca ،Mg ۴) He ،C ،N ،O ،Na ،Ca

☑ **پاسخ:** گزینه «۱» Si ، N، C، O، He، H بیشترین و کمترین آنها Sc تشکیل می‌دهند.

مثال۱۰: مطالعات طیف‌نگاری خورشید، ترکیب شیمیایی چه چیزی را نشان می‌دهد؟

۱) ترکیب کلی خورشید ۲) ترکیب بخش‌های داخلی خورشید

۳) ترکیب اتمسفر خورشید ۴) ترکیب بخش‌های خارجی خورشید

☑ **پاسخ:** گزینه «۳» برخی عناصر، طیف قابل تشخیص ندارند و یا طول موج خطوط قوی آنها کمتر از ۲۹۰۰آنگستروم بوده و به وسیله اتمسفر جذب شده و قابل رؤیت نیستند. طیف در بخش بیرونی خورشید تولید می‌شود و در حقیقت نمایانگر اتمسفر خورشید است.

ترکیب شیمیایی سیارات

مشاهدات عینی و تحقیقات طیف‌نگارانه سطوح سیارات، اطلاعات اندکی درباره ترکیب کلی آنها به ما می‌دهد؛ زیرا سیارات ناهمگن بوده و بدون شک ترکیب درون و سطح آنها با هم تفاوت دارد.

نکته ۷: از میان سیارات درونی، **عطارد فاقد اتمسفر** است و چگالی آن مشابه چگالی زمین است.

زهره نزدیکترین همسایه زمین بوده و اتمسفر بسیار متراکمی دارد که به طور کل تقریباً از **دی اکسید کربن** و **ازت** تشکیل شده و سطح آن را از نظرها پنهان می‌کند. **مریخ** اولین سیاره‌ای است که در ورای زمین قرار گرفته و **اتمسفر رقیقی** دارد. در هر صورت ابرها و طوفان‌های غباری در سطح مریخ مشاهده شده‌اند و کلاهک‌های منجمد قطبی در زمستان تشکیل شده و در تابستان ناپدید می‌شوند. به نظر می‌رسد که این کلاهک‌های قطبی از لایه‌های نازک یخ H_2O، احتمالاً همراه با مقدار ناچیزی CO_2 جامد تشکیل شده باشند. بخش بزرگی از سطح مریخ قرمز یا نارنجی است که مؤید حضور **اکسید آهن** است. ترکیب مریخ نیز **مشابه** زمین است و تنها با توجه به پهن بودن قطب‌های آن و عدم وجود میدان مغناطیسی می‌توان به حضور هسته‌ای مایع در آن پی برد.

سیارات اصلی شامل **مشتری، کیوان، نپتون** و **اورانوس** هستند و به‌طور کلی این گروه **چگالی** کم و **اتمسفر ضخیمی** دارند، ترکیب اصلی این گروه هیدروژن و هلیم است که هیدروژن به صورت متان و آمونیاک دیده می‌شود. این سیارات ترکیبی مشابه زمین دارند که روی آنها ضخامت‌های عظیمی از یخ و گاز سرد پوشیده شده است و اتمسفر آنها از هیدروژن، هلیم، ازت، متان، آمونیاک تشکیل یافته است. گفته شده که حلقه‌های **کیوان** احتمالاً از **ذرات یخ** تشکیل شده است. درخشش و چگالی بعضی از اقمار این سیارات، حاکی از آن است که خود سیارات نیز عمدتاً از یخ تشکیل یافته‌اند.

مثال۱۱: بخش اعظم سیارات بیرونی شامل مشتری، زحل، اورانوس و نپتون از چه عناصری تشکیل شده است؟

۱) He و N ۲) He و O ۳) He و N ۴) He و H

☑ **پاسخ:** گزینه «۴» سیارات اصلی شامل مشتری، کیوان، نپتون و اورانوس هستند و به‌طور کلی این گروه چگالی کم و اتمسفر ضخیمی دارند، ترکیب اصلی این گروه هیدروژن و هلیم است که هیدروژن به صورت متان و آمونیاک دیده می‌شود. این سیارات ترکیبی مشابه زمین دارند که روی آنها ضخامت‌های عظیمی از یخ و گاز سرد پوشیده شده است و اتمسفر آنها از هیدروژن، هلیم، ازت، متان، آمونیاک تشکیل یافته است. گفته شده که حلقه‌های کیوان احتمالاً از ذرات یخ تشکیل شده است.

مثال۱۲: جنس کلاهک‌های قطبی مریخ از چه ماده‌ای تشکیل شده است؟

۱) $H_2O + N_2$ ۲) $H_2O + CO_2$ ۳) $N_2 + CO_2$ ۴) $H_2O + He$

☑ **پاسخ:** گزینه «۲» جنس کلاهک‌های قطبی مریخ از آب و دی‌اکسیدکربن است.

مثال۱۳: بخش بزرگی از سطح مریخ چه رنگی دارد؟ علت آن چیست؟

۱) قرمز یا نارنجی ـ وجود اکسید آهن ۲) آبی ـ وجود کربنات مس

۳) سبز و آبی ـ وجود کربنات مس ۴) سفید ـ وجود تیتان

☑ **پاسخ:** گزینه «۱» بخش بزرگی از سطح مریخ قرمز یا نارنجی است که مؤید حضور اکسید آهن است.

ترکیب شخانه‌ها

شواهد طیف‌نگاری چیزی درباره ترکیب درونی سیارات بیان نمی‌کند. بنابراین ناگزیر باید در این باره به مقایسه با ترکیب زمین و شواهد گرد آمده از شخانه‌ها متکی باشیم. شخانه‌ها بخشی از منظومه شمسی هستند (احتمالاً قطعاتی از سیاره مانندهای متلاشی شده) که بر روی زمین فرو افتاده‌اند. ترکیب شخانه‌ها اساساً از آلیاژ **آهن** و **نیکل**، یک **فاز سیلیکاتی** که بیشتر اولیوین یا پیروکسن است، کانی سولفید آهن **تروایت** و یا مخلوطی از این‌ها ساخته شده‌اند. تاکنون شخانه‌ای که شبیه به سنگ‌های رسوبی یا دگرگونی باشد، دیده نشده است. سیستم‌های طبقه‌بندی بسیاری برای شخانه‌ها ارائه شده است، اما می‌توان آنها را به گروه‌های زیر تقسیم‌بندی نمود:

۱ـ سیدریت‌ها (Siderites) یا شخانه‌های آهنی (به طور متوسط دارای ۹۸% فلز).

۲ـ سیدرولیت‌ها (Siderolites) یا شخانه‌های سنگ آهنی (به طور متوسط ۵۰% فلز، ۵۰% سیلیکات).

۳ـ آئرولیت‌ها (**Aerolites**) یا شخانه‌های سنگی.

سیدریت‌ها: یا شخانه‌های آهنی عمدتاً از یک یا دو فاز فلزی آهن ـ نیکل (Ni معمولاً بین ۴ تا ۲۰%، به ندرت بیشتر) و عموماً با کانی‌های فرعی تروایت (Fes)، شری‌برسیت (Scheribersite، $(Fe, Ni, Co)_3P$) و گرافیت تشکیل شده است. کانی‌های فرعی شامل کرومیت ($FeCr_2O_4$)، کوهینیت (Cohenite، Fe_3O) و دابری‌لیت (Dubreelite، $FeCr_2S_4$) است. کانی‌های فرعی به صورت لایه‌ها یا دانه‌های مدور در فاز فلزی به‌صورت پراکنده دیده می‌شوند. این کانی‌های فرعی به صورت دانه‌های کوچک مدور و یا لایه‌ای که در میان فلز پراکنده هستند، حضور دارند. فلز عموماً ساختار مشخصی موسوم به شکل‌های **ویدمن اشتاتن** از خود نشان می‌دهد که برای پدیدار شدن آن باید سطح صیقلی شخانه را با محلول الکلی NH_3 مالش داد. این ساختار در شخانه‌های سیدریتی مشاهده می‌گردد که از لایه‌های **کاماسیت** (Kamacite) (نوعی آلیاژ آهن و نیکل ۶٪) با حاشیه‌ای از **تائنیت** (Taenite) (آلیاژ آهن و نیکل با ۳۰%) تشکیل شده است که این لایه‌ها به موازات یک بلور هشت‌وجهی قرار دارند. به همین دلیل به این دسته شهاب سنگ **اوکتاهدریت** (Octahedrite) نیز اطلاق می‌گردد. این ساختار در واقع نوعی اکسولوشن است. **هگزاهدریت** (Hexahedrites) شخانه‌های آهنی هستند که تماماً از کاماسیت تشکیل شده است. **آتاکسیت** (Ataxites) به شخانه‌هایی با بیش از ۱۴٪ نیکل می‌گویند که عمدتاً دارای تائنیت است.

سیدرولیت‌ها: یا شخانه‌های سنگ آهنی که از آلیاژ آهن، نیکل و سیلیکات به نسبت تقریباً مساوی تشکیل شده‌اند و به دو دسته تقسیم می‌شوند:

پالاسیت‌ها (Pallasites): از زمینه‌ای پیوسته از آهن و نیکل تشکیل شده‌اند.

مزوسیدریت‌ها (Mesosiderites): فاز فلزی ناپیوسته است و فاز سیلیکاتی نیز بیشتر فلدسپات پلاژیوکلاز و پیروکسن است.

آئرولیت‌ها: یا شخانه‌های سنگی بر مبنای **بافت** به دو گروه تقسیم می‌شوند که عبارت‌اند از:

۱ـ کندریت‌ها (**Chondrites**): نامگذاری آنها به خاطر حضور **کندریول** یا **کندری** (Chondri) است که اجسامی کوچک و گرد بوده (با قطر متوسط یک میلی‌متر) و بیشتر از اولیوین یا پیروکسن تشکیل شده‌اند. از آنجا که **کندریول‌ها** هرگز در سنگ‌های زمینی دیده نشده‌اند به نظر می‌رسد که حضور آنها منحصر به این شخانه‌ها باشد. ترکیب متوسط کندریت‌ها حدود ۴۰% اولیوین، ۳۰% پیروکسن، ۲۰ – ۵% آلیاژ آهن و نیکل، ۱۰% پلاژیوکلاز و ۶% تروایت است.

کندریت‌های کربن‌دار: در میان شخانه‌ها منحصر به فرد هستند. زیرا اکثراً از سیلیکات آبدار آهن و منیزیم (سرپانتین یا کانی‌هایی شبیه کلریت) تشکیل گردیده و تا ۱۰% وزنی دارای ترکیبات آبدار کمپلکس آلی است. از جمله آن می‌توان به مورچیسون اشاره کرد. این شهاب سنگ مخلوطی از ترکیبات آلی را داراست که شامل **هیدروکربن‌های آلیفاتیک** و **آروماتیک**، **کربوکسیلیک**، **اسیدهای آمینه** و غیره است. ترکیبات آلی این شهاب سنگ غیربیولوژیکی است. شباهت این ترکیبات با محصولاتی که به وسیله سنتز گرمایی از مولکول‌های ساده آلی به‌دست می‌آید، تأییدکننده **منشأ غیرزیستی** است.

۲ـ ناکندریت‌ها: گروه متفاوتی از شخانه‌های سنگی است که **کندریول نداشته** و معمولاً از کندریت‌ها متبلورتر هستند. بسیاری از ناکندریت‌ها از نظر ترکیبی و بافت مشابه سنگ‌های آذرین زمینی هستند و بنابراین احتمالاً از یک مذاب سیلیکاتی متبلور شده‌اند.

تکتیت‌ها: یا شخانه‌های شیشه‌ای اجسامی اسرار آمیزند که از یک شیشه غنی در سیلیس (به‌طور متوسط $SiO_2 = 75\%$) که **شبیه اوبسیدین** بوده، تشکیل شده اما از نظر بافت و ترکیب تفاوت دارند. ترکیب تکتیت شامل مقدار زیادی سیلیس همراه مقدار اندکی منیزیم و سدیم شبیه گرانیت‌ها، ریولیت‌ها و سنگ‌های رسوبی غنی از سیلیس است.

شهاب سنگ‌های **آهنی** و **کندریتی** از نظر میانگین ترکیب فلز به یکدیگر شباهت دارند. از این رو می‌توان منشأ مشترکی برای این دو در نظر گرفت. **شخانه‌های سیدریتی** احتمالاً نمایانگر فلز جدا شده در اثر **ذوب (کامل یا جزئی)** از موادی با **ترکیب کندریتی** است.

نکته ۸: تائنیت نوعی آلیاژ آهن و نیکل ۳۰% است، در حالی‌که کاماسیت نوعی آلیاژ آهن و نیکل ۶% است.

ترکیب شیمیایی ماده شخانه‌ای

عناصر	فلز (از آهن‌ها)	درصد وزنی فلز (کندریت‌ها)	سیلیکات (از کندریت‌ها)	کندریت میانگین
O			۴۳/۷	۳۳/۲۴
Fe	۹۰/۷۸	۹/۷۲	۹/۸۸	۲۷/۲۴
Si			۲۲/۵	۱۷/۱۰
Mg			۱۸/۸	۱۴/۲۹
S				۱/۹۳
Ni	۸/۵۹	۸/۸۰		۱/۶۴
Ca			۱/۶۷	۱/۲۷
Al			۱/۶۰	۱/۲۲
Na			۰/۸۴	۰/۶۴
Cr			۰/۳۸	۰/۲۹
Mn			۰/۳۳	۰/۲۵
P			۰/۱۴	۰/۱۱
CO	۰/۶۳	۰/۴۸		۰/۰۹
K			۰/۱۱	۰/۰۸
Ti			۰/۰۸	۰/۰۶

شخانه‌ها از نظر اینکه فروافتادن آنها رؤیت شده یا نه به دو دسته تقسیم می‌شوند:

افتاده‌ها (Falls)؛ شخانه‌هایی هستند که پس از رؤیت افتادنشان جمع‌آوری شده‌اند و همچنین تخمین فراوانی نسبی شهاب‌سنگ‌ها روی افتاده‌ها صورت می‌گیرد.

یافته‌ها (Finds)؛ شخانه‌هایی هستند که فرو افتادن آنها در زمین دیده نشده است. **در بین شهاب‌سنگ‌ها، کندریت‌ها از همه فراوانترند** و ترکیب این دسته نشان می‌دهد که احتمالاً قطعاتی از سیارک‌ها بوده‌اند و در واقع می‌توان آنها را به عنوان قطعاتی از هسته اولیه سیاره‌ها در نظر گرفت. بقیه شهاب‌سنگ‌ها در اثر ذوب نسبی یا کامل کندریت‌ها حاصل شده‌اند. بنابراین برای مطالعه فراوانی مطلق فضایی عناصر می‌توان روی **کندریت‌ها** مطالعه کرد. مقایسه کندریت‌ها با خطوط خورشید نشان می‌دهد که فراوانی عناصر در هر دو تقریباً یکی است و این مؤید آن است که کندریت‌ها نمونه میانگین خوبی از مواد منظومه شمسی هستند.

فراوانی شخانه‌های یافته و افتاده

نوع	افتاده‌ها		یافته‌ها	
	فراوانی (درصد)	تعداد	فراوانی (درصد)	تعداد
آهنی	۴/۶	۳۳	۵۸/۱	۵۴۵
سنگ ـ آهنی	۱/۵	۱۱	۵/۷	۵۳
ناکندریت‌ها	۷/۸	۵۶	۰/۷	۷
کندریت‌ها	۸۶/۱	۶۲۱	۳۵/۵	۳۳۳
مقدار کل	۱۰۰/۰	۷۲۱	۱۰۰/۰	۹۳۸

مثال۱۴: قطر متوسط کندری یا کندریول چه قدر است؟

۱) ۰/۱ میلی‌متر ۲) ۱ میلی‌متر ۳) ۲ میلی‌متر ۴) ۳ سانتی‌متر

☑ **پاسخ:** گزینه «۲» نامگذاری کندریت‌ها به خاطر حضور کندریول یا کندری است که اجسامی کوچک و گرد بوده (با قطر متوسط یک میلی‌متر) و بیشتر از اولیوین یا پیروکسن تشکیل شده‌اند.

مثال۱۵: ساختار ویدمن اشتاتن در کدام شخانه‌ها قابل رؤیت است؟

۱) سیدریت‌ها ۲) سیدرولیت‌ها ۳) آئرولیت‌ها ۴) تکتیت‌ها

☑ **پاسخ:** گزینه «۱» این ساختار در شخانه‌های سیدریتی مشاهده می‌گردد که از لایه‌های کاماسیت (نوعی آلیاژ آهن و نیکل ۶٪) با حاشیه‌ای از تائنیت (آلیاژ آهن و نیکل با ۳۰%) تشکیل شده است که این لایه‌ها به موازات یک بلور هشت‌وجهی قرار دارند. به همین دلیل به این دسته، شهاب‌سنگ اوکتاهدریت نیز اطلاق می‌گردد. این ساختار در واقع نوعی اکسولوشن است.

مثال۱۶: منشأ ترکیبات آلی کندریت‌های کربن‌دار را چه می‌دانند؟

۱) بیولوژیکی ۲) غیربیولوژیکی

۳) بقایای ارگانیسم‌های فرازمینی ۴) بیولوژیکی و گاهی غیربیولوژیکی

☑ **پاسخ:** گزینه «۲» کندریت‌های کربن‌دار، در میان شخانه‌ها منحصر به فرد هستند. زیرا اکثراً از سیلیکات آبدار آهن و منیزیم (سرپانتین یا کانی‌هایی شبیه کلریت) تشکیل گردیده و تا ۱۰% وزنی دارای ترکیبات آبدار کمپلکس آلی است. از جمله آن می‌توان به مورچیسون اشاره کرد. این شهاب‌سنگ مخلوطی از ترکیبات آلی را داراست که شامل هیدروکربن‌های آلیفاتیک و آروماتیک، کربوکسیلیک، اسیدهای آمینه و غیره است. ترکیبات آلی این شهاب‌سنگ غیربیولوژیکی است. شباهت این ترکیبات با محصولاتی که بوسیله سنتز گرمایی از مولکول‌های ساده آلی به‌دست می‌آید، تأییدکننده منشأ غیرزیستی است.

مثال۱۷: چند درصد شخانه‌های افتاده را کندریت‌ها تشکیل می‌دهند؟

۱) ٪۷۶/۱ ۲) ٪۸۶/۱ ۳) ٪۸۸/۱ ۴) ٪۹۶/۱

☑ **پاسخ:** گزینه «۲» ۸۶/۱ درصد شخانه‌های افتاده را کندریت‌ها تشکیل می‌دهند.

مثال۱۸: ترکیب اولیه‌ی زمین و شخانه‌ها به کدام گزینه نزدیک‌تر است؟

۱) کربنات آهن، سیلیکات آهن، سولفید آهن و آهن آزاد

۲) سیلیکات آهن، اکسید آهن، سولفید آهن و آهن فلزی

۳) سیلیکات آهن، منیزیم، سولفید آهن و آهن فلزی

۴) سیلیکات آهن، منیزیم، اکسیدهای آهن، سولفید آهن و آهن آزاد

☑ **پاسخ:** گزینه «۳» دانش ما از ترکیب اولیه‌ی زمین از شخانه‌ها به دست می‌آید که شخانه‌ها اساساً از یک آلیاژ آهن و نیکل، یک فاز سیلیکاتی که بیشتر اولیوین یا پیروکسن است، کانی سولفید آهن ترولیت و یا مخلوطی از این‌ها ساخته شده است.

فراوانی عناصر در فضا

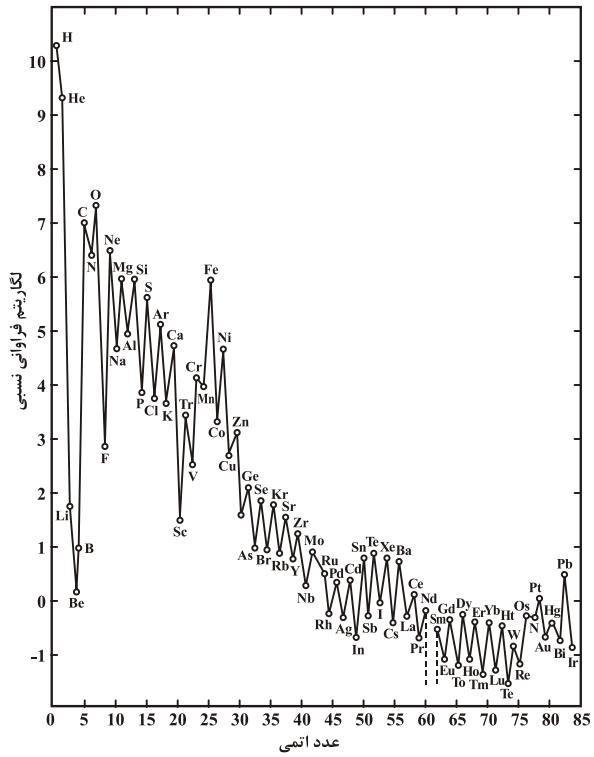
گلدشمیت در سال (۱۹۷۳)، بر مبنای داده‌های حاصل از ترکیب شخانه‌ها و مواد خورشیدی و ستاره‌ای، اولین جدول رضایت‌بخش از فراوانی عناصر و ایزوتوپ‌ها در فضا را گردآوری کرد. داده‌های مربوط به هیدروژن و هلیم و سایر مواد فرار عمدتاً از بررسی **خورشید** و **ستاره‌ها** به دست آمده است. اعداد مربوط به سایر عناصر نیز بر مبنای فراوانی نسبی مواد شخانه‌ای استوار است. از هم پوشانی عناصر غیرفرّاری مانند **سیلیسیم** برای ربط دادن داده‌های حاصل از این دو منبع استفاده می‌شود. به طور کلی نوعی یکنواختی بین فراوانی نسبی عناصر در خورشید و سایر بخش‌های کیهان شباهت‌هایی وجود دارد (نوعی یکنواختی). علت برخی تفاوت‌ها اندازه ستاره‌ها می‌تواند باشد بدین صورت که هرچه **ستاره بزرگتر** باشد با **سرعت بیشتری می‌سوزد** و ممکن است به **سوپرنوا تبدیل و منفجر** گردد و به این ترتیب هسته‌های آن در فضا پخش می‌شود. در ستاره‌ها معمولاً با توجه به مراحل تکوین تغییراتی در میزان هیدروژن و هلیم اتفاق می‌افتد علت اختلاف در مقادیر عناصر سنگین نیز به علت تغییرات مواد موجود برای سنتز و ساخته شدن آنهاست.

فراوانی عناصر به ازای هر 10^6 اتم Si

عناصر	فراوانی
Ru^{44}	۱/۹
Rb^{45}	۰/۴۰
Pb^{46}	۱/۳
Ag^{47}	۰/۴۶
Cd^{48}	۱/۵۵
In^{49}	۰/۱۹
Sn^{50}	۳/۷
Sb^{51}	۰/۳۱
Te^{52}	۶/۵
I^{53}	۱/۲۷
Xe^{54}	۵/۸۴
Cs^{55}	۰/۳۹
Ba^{56}	۴/۸
La^{57}	۰/۳۷
Ce^{58}	۱/۲
Pr^{59}	۰/۱۸
Nd^{60}	۰/۷۹
Sm^{62}	۰/۲۴
Eu^{63}	۰/۰۹۴
Gd^{64}	۰/۴۲
Tb^{65}	۰/۰۷۶
Dy^{66}	۰/۳۷
Ho^{67}	۰/۰۹۲
Er^{68}	۰/۲۳
Tm^{69}	۰/۰۳۵
Yb^{70}	۰/۲۰
Lu^{71}	۰/۰۳۵
Hr^{72}	۰/۱۷

عناصر	فراوانی
Ta^{73}	۰/۰۲۰
W^{74}	۰/۳۰
Re^{75}	۰/۰۵۱
Os^{76}	۰/۶۹
lr^{77}	۰/۷۲
Pt^{78}	۱/۴۱
Au^{79}	۰/۲۱
Hg^{80}	۰/۲۱
Ti^{81}	۰/۱۹
Pb^{82}	۲/۶
Bi^{83}	۰/۱۴
Th^{90}	۰/۰۴۵
U^{92}	۰/۰۲۷
H^{1}	$۲/۶۶\times۱۰^{۱۰}$
He^{2}	$۱/۸\times۱۰^{۶}$
Li^{3}	۶۰
Be^{4}	۱/۲
B^{5}	۹
C^{6}	$۱/۱۱\times۱۰^{۷}$
N^{7}	$۲/۳۱\times۱۰^{۴}$
O^{8}	$۱/۸۴\times۱۰^{۵}$
F^{9}	۷۸۰
Ne^{10}	$۲/۶\times۱۰^{۴}$
Na^{11}	$۶/۰\times۱۰^{۴}$
Mg^{12}	$۱/۰۶\times۱۰^{۴}$
Al^{13}	$۸/۵\times۱۰^{۴}$
Si^{14}	$۱/۰۰\times۱۰^{۴}$
P^{15}	۶۵۰۰

عناصر	فراوانی
S^{16}	۵۰×۱۰^{۵}
Cl^{17}	۴۷۴۰
Ar^{18}	$۱/۰۶\times۱۰^{۳}$
K^{19}	۳۵۰۰
Ca^{20}	$۶/۲۵\times۱۰^{۴}$
Sc^{21}	۳۱
Ti^{22}	۲۴۰۰
V^{23}	۲۵۴
Cr^{24}	$۱/۲۷\times۱۰^{۴}$
Mn^{25}	۹۳۰۰
Fe^{26}	$۹/۰\times۱۰^{۳}$
Co^{27}	۲۲۰۰
Ni^{28}	$۴/۷۸\times۱۰^{۴}$
Cu^{29}	۵۴۰
Zn^{30}	۱۲۶۰
Ga^{31}	۳۸
Ge^{32}	۱۱۷
As^{33}	۶/۲
Se^{34}	۶۷
Br^{35}	۹/۲
Kr^{36}	۴۱/۳
Rb^{37}	۶/۱
Sr^{38}	۲۲/۹
Y^{39}	۴/۸
Zr^{40}	۱۲
Nb^{41}	۰/۹
Mo^{42}	۴/۰



فراوانی نسبی عناصر بر حسب $si = 10^6$ ، در مقابل عدد اتمی