

## سیارات فراخورشیدی

**خلاصه مقاله:** هرچند تنها کمتر از دو دهه از شروع مطالعه علمی بر سیارات فراخورشیدی می‌گذرد، مطالعه چنین مکان‌های احتمالی شکل‌گیری حیات و بررسی امکان پیدایش و دوام در آنها نه تنها دریایی از اطلاعات جدید را در اختیار کاوشگران حیات قرار داده است، بلکه موجب بروز تغییرات بنیادین در بسیاری از نظریه‌های مربوط به شرایط شکل‌گیری حیات بر روی یک کره خاکی شده و دایره جستجو به دنبال حیات را گسترده‌تر کرده است.

### مقدمه

مبحث سیارات فراخورشیدی نخستین بار در سال 1990 و با کشف اولین سیاره خارج از منظومه شمسی مطرح شد. گرچه آن سیاره به دور ستاره‌ای در حال زوال پیدا شد، اما به شدت کنجکاوی منجمان را برای کشف سیارات فراخورشیدی برانگیخت. از سوی دیگر، از آنجا که در آن زمان امیدها برای کشف حیات در منظومه شمسی به خصوص سیاره مریخ روز به روز کمتر می‌شد و مطالعات بر اقمار مشتری و زحل هنوز در حد گسترده‌ای شروع نشده بود، امکان کشف سیاره‌ای با شرایط شکل‌گیری حیات خارج از منظومه شمسی، ایده‌ای بس مهیج می‌نمود. جستجو برای یافتن سیارات فراخورشیدی آغاز شد و دیری نپایید تا نخستین سیاره فراخورشیدی که به دور ستاره‌ای مانند خورشید در حال گردش بود در سال 1995 کشف شد. کشف این سیاره سرآغازی بود برای جستجوی گسترده‌تر به دنبال پاسخی برای یکی از قدیمی‌ترین، بنیادی‌ترین و مهم‌ترین سوالات ذهن بشر: آیا ما در جهان تنها هستیم؟ نخستین گام برای پاسخ به این سوال و یافتن حیات هوشمند در سایر سیارات، پیدا کردن گونه‌های ساده‌تر حیات مانند باکتری‌ها و موجودات تک سلولی است. بدین منظور، یافتن سیاراتی که شرایط تکوین حیات را دارا باشند مهم‌ترین مأموریت دانشمندانی است که در این زمینه تحقیق می‌کنند. علاوه بر این، دریافتن این مساله که آیا منظومه ما منظومه‌ای منحصر به فرد است یا خیر نیز می‌تواند کمک شایانی به حل بزرگ‌ترین معمای بشر کند. از زمان کشف نخستین سیارات فراخورشیدی تا کنون بیش از 230 سیاره خارج از منظومه شمسی کشف شده‌اند که عموماً دارای شرایطی بسیار متفاوت از یکدیگرند. برخی سیارات غول‌پیکر و گازی و شبیه مشتری و برخی دیگر سیارات خاکی مانند سیارات داخلی منظومه شمسی هستند. برخی آنقدر به ستاره خود نزدیکند که همواره یک سمت خود را رو به ستاره می‌بینند و برخی آنقدر دور که امکان بروز و رشد حیات در آنها به حداقل می‌رسد. برخی از این سیارات به دور ستارگانی در حال گردشند که زندگی بر روی آنها را تقریباً ناممکن می‌سازد - مانند تپ اخترها ( فوت‌نوت؛ پالسار ) که ستارگان نوترونی در حال چرخش با میدان‌های مغناطیسی قوی و سرعت‌های بالا هستند. فوران اشعه‌های گاما از سطح تپ اخترها به سیاراتی که در اطراف آنها در گردشند اجازه بروز و تکامل حیات را نمی‌دهد. تعداد سیارات فراخورشیدی روز به روز در حال افزایش است. در این جهان فراخ، گرچه کشف سیارات جدید دریایی از اطلاعات را در اختیار سیاره‌شناسان قرار می‌دهد، اما دانشمندان بیشتر به دنبال سیاراتی هستند که شرایط ایجاد حیات را دارا باشند.

### شرایط پیدایش حیات

برای اینکه حیات بتواند در سیاره‌ای به وجود آمده و تکامل یابد، آن سیاره باید در کمربند حیات منظومه خود قرار گرفته باشد. به علاوه، چنانچه ستاره میزبان دارای شرایط زیر باشد، احتمال تشکیل و دوام حیات در آن بیشتر است:

- سن ستاره باید بیشتر از 3 میلیارد سال باشد: سه میلیارد سال حداقل زمانی است که حیات می‌تواند در طی آن به وجود آمده و تکامل یابد.
- جرم آن باید حداکثر  $1/5$  برابر جرم خورشید باشد: ستارگانی با جرم بالاتر گرچه هیدروژن و هلیوم بیشتری دارند اما ذخیره سوخت خود را با سرعت بیشتری به پایان می‌برند و بنابراین عمر کوتاه‌تری دارند و به همین خاطر، فرصت لازم برای پیدایش و تکامل حیات را فراهم نمی‌کنند - حتی اگر سیاره یا سیاراتی در فاصله مناسبی از چنین ستارگانی قرار گرفته و شرایط خوبی برای ایجاد حیات داشته باشد.

• عناصر سنگین موجود در ستاره باید حداقل 40 درصد عناصر موجود در خورشید باشند؛ سیارات خاکی اطراف ستارگانی که دارای میزان پایینی عناصر سنگین هستند تشکیل نمی‌شوند و تنها سیارات گازی که بر روی آنها امکان حیات وجود ندارد در چنین منظومه‌هایی یافت می‌شوند.

البته در سال‌های اخیر منظومه‌های خورشیدی متعددی کشف شده‌اند که یک یا چند شرط بالا را دارا نبودند، اما سیاراتی که در چنین منظومه‌هایی کشف شده‌اند باز هم از نظر دانشمندان شرایط ایجاد حیات را داشته‌اند زیرا در کمربند حیات منظومه خود قرار داشته‌اند. دلیل این امر آن است که بسته به قطر، جرم و نوع ستاره‌ای که در یک منظومه وجود دارد، کمربند حیات آن منظومه گسترده‌تر یا کوچک‌تر می‌شود.

### کمربند حیات

کمربند حیات یک منظومه به ناحیه‌ای در اطراف آن اطلاق می‌شود که در آنجا انرژی دریافتی از ستاره نه خیلی زیاد و نه خیلی کم است و بنابراین درجه حرارت سیاره‌ای که در این مکان قرار می‌گیرد برای شکل‌گیری آب مایع در سطح آن مناسب است. بر اساس نظریه سنتی، وجود آب مایع برای شکل‌گیری و دوام حیات ضروری است. اما امروزه دانشمندان به دلایلی که بعداً به آنها می‌پردازیم کمی محتاطانه‌تر در این رابطه اظهار نظر می‌کنند. اکنون می‌دانیم هر کجا آب مایع پیدا شود، حیات از نوعی که ما در سیاره خود می‌بینیم می‌تواند به وجود آید. بیشتر سیاره شناسان در این زمینه معتقدند پیدا کردن آب مایع نمی‌تواند به طور قطع وجود حیات در سیاره‌ای را به اثبات برساند چرا که هیچ کس هنوز به طور قطع نمی‌داند حیات بر روی زمین چگونه به وجود آمده و آیا اصلاً منشأ آن خود کره زمین بوده یا خیر؟ اما با این وجود، این دانشمندان معتقدند سیارات خاکی که بر سطح آنها آب مایع وجود دارد و به دور ستارگان رشته اصلی (ستارگانی که در مرکز آنها همجوشی هسته‌ای رخ می‌دهد) می‌گردند، بهترین مکان برای جستجو به دنبال فعالیت‌های زیستی هستند، هر چند این مساله بدان معنا نیست که امکان وجود حیات در سیستم‌های خورشیدی با شرایط متفاوت مورد بررسی قرار نگیرد. اوایل نیمه دوم قرن بیستم بود که مطالعات بیشتر بر نحوه شکل‌گیری، دوام و تکامل حیات موجب شد تا دانشمندان در دیدگاه سنتی خود تجدید نظر کنند و به جای محدود ساختن جستجو به دنبال حیات تنها در سیاراتی که به دور ستارگان رشته اصلی وجود دارند، امکان پیدایش حیات به دور سایر ستارگان و حتی اقمار سیارات را نیز بررسی کنند. ایده این امر زمانی مطرح شد که متخصصان علوم زیستی در دهه 1960 در مکان‌هایی از کره زمین مانند اعماق اقیانوس‌ها، محیط‌هایی با دماهای بسیار پایین، فشار هوای به شدت بالا و یا حتی مکان‌های بسیار خشک و بدون آب که شرایط حیات بسیار مشکل می‌نمود موفق به کشف هزاران گونه موجود زنده که بیشتر آنها از نوع تک‌سلولی یا باکتری‌ها بودند، شدند. برخی از این موجودات حتی قادر به دوام در مقابل میزان بسیار بالایی تشعشعات گوناگون بودند و برخی دیگر برای دوام نیازی به اکسیژن و نور خورشید نداشتند. این امر موجب طرح ایده‌ای نوین در جامعه نجومی شد که بر اساس آن کاوشگران حیات دریافتند اگر حیات در شرایطی بسیار دشوار در همین کره خاکی می‌تواند به وجود آمده و دوام یابد، در جستجو به دنبال حیات به سادگی نمی‌توان از کنار سیارات دیگری که شرایط آنها با شرایط معمول زمین بسیار متفاوت به نظر می‌رسد گذشت. حدود یک دهه بعد، فضاپیماهای وویجر ناسا بار دیگر کاوشگران حیات فرازمینی را که تصور می‌کردند تمامی احتمالات موجود جهان‌هایی که دارای شرایط حیات هستند را بررسی کرده‌اند به شدت متحیر ساختند. تصاویری که این دو فضاپیما از قمر مشتری، اروپا، در سال 1979 به زمین مخابره کردند نشان داد این قمر با وجود آنکه در کمربند حیات منظومه شمسی قرار ندارد، دارای مقادیر زیادی یخ بر سطح خود است. اما نکته جالب دیگری که در این تصاویر وجود داشت، سطح نسبتاً هموار این قمر بود. بر خلاف ماه که بر سطح خود زخم‌هایی کهنه از برخوردهای سماوی دارد که همچنان به دلیل میزان بسیار ناچیز فعالیت‌های زمین‌شناسی و فرسایش خاک تقریباً از هنگام برخورد بدون تغییر باقی مانده است، در تصاویر قمر مشتری اثرات زیادی از برخوردهای سماوی دیده نمی‌شد. به طور کلی هنگامی که یک جسم سماوی مانند سیاره، قمر، یا سیارک بر روی سطح خود نشانه‌های زیادی از برخوردهای سماوی ندارد، می‌توان گفت یک یا چند مورد زیر در مورد آن صادق است: • مدت زمان زیادی از عمر آن جسم سماوی نمی‌گذرد و پوسته آن جوان

است. به همین دلیل هنوز توسط اجرام مهاجم سماوی بمباران نشده است و یا چون پوسته هنوز در حال شکل‌گیری است، اثرات به جا مانده از برخوردهای اجرام سماوی دستخوش تغییر شده‌اند. • آن جسم سماوی دارای فعالیت‌های زمین‌شناسی مانند فعالیت‌های آتشفشانی و حرکات زمین‌ساختی است که موجب تغییر شکل پوسته در طی سال‌ها می‌گردد. • آن جسم سماوی دارای جو است و به دلیل بارش‌های جوی و جابجایی هوا در آن، خاک دچار فرسایش می‌شود. • در مرکز جسم سماوی، منبع تولید انرژی وجود دارد که موجب گرم شدن لایه‌های مختلف آن و تغییر شکل پوسته می‌گردد. سیاره‌شناسان می‌دانستند که قمر اروپا تقریباً به طور همزمان با سایر اجرام منظومه شمسی یا حداقل با اختلاف چند ده میلیون سال از آن به وجود آمده است؛ بنابراین اروپا یک قمر جوان محسوب نمی‌شود. به علاوه، از آنجا که پوسته اروپا برخلاف پوسته زمین که از مواد سنگی ساخته شده، پوشیده از یخ است، فعالیت‌های زمین‌شناسی به نحوی که بر روی زمین شاهد آن هستیم نیز در سطح این قمر مشاهده نمی‌شد. از سوی دیگر، اروپا فاقد جو است، بنابراین نه فرسایش خاک در آن رخ می‌دهد و نه اجرام مهاجم پیش از برخورد با سطح قمر در لایه‌های جو سوخته و تبخیر می‌شوند. از طرفی، با توجه به فاصله نزدیک این قمر به سیاره خود یعنی مشتری که تنها 671 هزار کیلومتر است، انتظار می‌رفت اروپا به دلیل گرانش قوی مشتری که سیارک‌ها و شهابسنگ‌ها را به سوی خود جذب می‌کند، آماج حملات این تکه سنگ‌های مهاجم باشد. تمامی این عوامل موجب شد سیاره‌شناسان اعلام کنند که اروپا احتمالاً در لایه‌های درونی خود دارای یک منبع تولید انرژی و حرارت است که موجب جریان آب مایع جایی حدود 15 کیلومتر پایین‌تر از خارجی‌ترین لایه یعنی پوسته آن می‌شود. این جریان متداوم مایعات در زیر پوسته موجب بروز تغییرات در سطح آن و تغییر شکل دادن و پر شدن دهانه‌های برخوردی ناشی از تصادم شهابسنگ‌ها می‌گردد. سیاره‌شناسان با محاسبه تعداد دهانه‌های برخوردی که امروزه بر سطح اروپا دیده می‌شوند دریافتند که از عمر پوسته این قمر به طور متوسط 10 میلیون سال بیشتر نمی‌گذرد. بسیاری معتقدند گرمای قمر اروپا ناشی از پدیده‌ای است که به آن گرمایش جذر و مد گرانشی گفته می‌شود. پوسته تمامی اقمار منظومه شمسی از جمله قمر زمین تحت تأثیر نیروی گرانش سیارات خود مدام در حال تغییراند. این تغییرات اما در اغلب اقمار بسیار جزئی و در طی زمان‌های کوتاه بسیار نامحسوس است. سطح اقمار در نتیجه این فرآیند منبسط و منقبض می‌شود که این امر موجب بروز اصطکاک، تولید حرارت و گرم شدن آنها می‌گردد. طبیعی است که هرچه قمر به سیاره مادر خود نزدیک‌تر و هر چه آن سیاره دارای نیروی گرانش قوی‌تری باشد، گرمای ناشی از جذر و مد گرانشی بیشتر است. البته اقمار منظومه شمسی نیز بر روی سیارات خود چنین تأثیر متقابلی می‌گذارند، اما به دلیل جرم کمتر و متعاقباً نیروی گرانش ضعیف‌تری که نسبت به سیارات خود دارند، چنین تأثیراتی عموماً قابل چشم‌پوشی است. پیش از اعزام فضایی‌ماهای وویجر به ماموریت خود، دانشمندان تصور می‌کردند تمامی اقمار منظومه شمسی مانند قمر زمین جهان‌هایی مرده هستند که امکان بروز و دوام حیات بر روی آنها به هیچ وجه حتی قابل بررسی هم نیست. تصاویر جدیدی که وویجرها از اروپا در سال 1979 ارائه دادند ثابت کرد چنین دیدگاهی نادرست است و از آن پس اقمار سیارات نیز مورد توجه کاوشگران حیات قرار گرفتند. از آنجا که قمر اروپا خارج از کمربند حیات منظومه شمسی قرار داشت، دستاورد مهم دیگری که اطلاعات ارسالی وویجرها برای کاوشگران حیات دربرداشت این بود که آنان دریافتند جهان‌هایی که خارج از این محدوده و در فواصل زیادی از منبع اصلی تولید انرژی یک منظومه که ستاره آن است، قرار دارند نیز چنانچه دارای منابع حرارتی درونی باشد و در اثر فرایندهایی همچون گرمایش گرانشی یا زوال رادیواکتیو که در نیمکره جنوبی تیتان، قمر زحل، رخ می‌دهد، بتوانند انرژی مورد نیاز خود را تامین کنند باید در زمره مکان‌هایی با احتمال ایجاد شرایط حیات و حتی وجود آب مایع محسوب شوند. از آن زمان بود که در جستجو به دنبال حیات، اقمار سیارات گازی منظومه شمسی دیگر حتی از سیاره مریخ نیز بیشتر مورد توجه قرار گرفتند و مطالعات بیشتری در این زمینه بر روی این قمرها آغاز گردید. با گسترش دامنه این مطالعات به سیارات فراخورشیدی و اقمار آنها، بار دیگر تعداد جهان‌های ناشناخته‌ای که هر یک می‌توانند شرایط بروز و تکامل حیات را ایجاد کنند رو به فزونی گذارد. تنها در کهکشان راه شیری بیش از 300 میلیارد ستاره وجود دارند. اگر 10 درصد آنها ستارگانی مانند خورشید باشند و نحوه شکل‌گیری منظومه‌های آنها شبیه به چگونگی شکل‌گیری منظومه شمسی باشد، در کهکشان ما باید 30 میلیارد سیاره گازی و به همین تعداد سیاره

خاکی وجود داشته باشد. با در نظر گرفتن تنها مدل منظومه‌ای شناخته شده یعنی منظومه شمسی، اگر فرض کنیم هر سیاره گازی دست کم 4 قمر و سیارات خاکی به طور متوسط هر یک تنها یک قمر داشته باشند، انتظار می‌رود حدود 150 میلیارد قمر در کهکشان ما وجود داشته باشد! همزمان سوال دیگری ذهن کاوشگران حیات را به خود مشغول ساخت: آیا تنها سیاراتی که به دور ستاره‌های رشته اصلی در گردشند سیارات قابل سکونت محسوب می‌شوند یا سایر گونه‌های ستاره‌ای مانند کوتوله‌های قرمز یا حتی غول‌های قرمز نیز می‌توانند چنین شرایطی را برای سیارات خود به وجود بیاورند؟ ستاره‌های کوتوله قرمز که به وفور در جهان یافت می‌شوند حدود 50 برابر کم فروغ‌تر از خورشیدند و جرم آنها تقریباً یک پنجاهم جرم خورشید است. نگاهی اجمالی به دسته بندی ستارگانی که تا کنون در جهان کشف شده‌اند نشان می‌دهد حدود 85 درصد کل ستارگان جهان را کوتوله‌های قرمز تشکیل می‌دهند. این ستارگان به دلیل جرم و درخشندگی پایین خود اصلاً در زمره میزبانان احتمالی سیاراتی با امکان پیدایش حیات به حساب نمی‌آیند. یکی از مهم‌ترین دلایل این امر آن است که کمربند حیات در چنین منظومه‌هایی باید بسیار نزدیک به ستاره مادر باشد تا سیاره‌ای که در این ناحیه قرار می‌گیرد بتواند میزان مناسب حرارت و انرژی را برای حفظ حیات بر روی خود دریافت کند. از سوی دیگر، یک سیاره در صورتی که در چنین فاصله نزدیکی از ستاره خود قرار گیرد، در تله گرانشی ستاره خود می‌افتد و همواره یک روی آن به سمت ستاره است در حالی که روی دیگر هیچ‌گاه حرارت مستقیم ستاره را دریافت نمی‌کند. این پدیده که قفل مداری نام دارد هنگامی رخ می‌دهد که به دلیل فاصله کم دو کره سماوی با جرم‌های متفاوت از یکدیگر و گرانش کره بزرگ‌تر، طول حرکت وضعی جسم کوچک‌تر با مدت حرکت انتقالی آن به دور جسم دیگر برابر می‌شود. درست مانند قمر زمین که به دلیل قرار گرفتن در تله گرانشی سیاره مادر، همیشه یک روی خود را به زمین می‌نماید و ما هرگز قادر به دیدن نیمه دیگر ماه نیستیم. در چنین شرایطی، دما در نیمی از سیاره که همواره رو به ستاره مادر است به شدت زیاد و در نیمه دیگر آن به شدت کم خواهد بود به گونه‌ای که حتی اگر این سیاره دارای آب هم باشد، حرارت ستاره در نیمی از آن موجب تبخیر آب و در نیم دیگر سبب انجماد آن می‌گردد. اما در سال‌های اخیر مدل‌های کامپیوتری نشان دادند که چنانچه چنین سیاره‌ای دارای جوی با ضخامت مناسبی باشد، حرارت دریافتی از ستاره کوتوله قرمز می‌تواند از سمتی که رو به ستاره دارد به سمت دیگر منتقل و موجب متعادل شدن حرارت کل سیاره شود. این یافته نیز بار دیگر بر تعداد اجرام و منظومه‌هایی که می‌توانند از لحاظ ایجاد و پیدایش حیات مورد بررسی قرار گیرند افزود و این بار ستارگان کوتوله قرمز که همانطور که پیشتر اشاره شد بخش عمده‌ای از ستارگان جهان را به خود اختصاص داده‌اند مورد توجه جستجوگران حیات قرار گرفتند. از آن پس، هر روز بر تعداد اخترشناسانی که معتقد بودند جستجو به دنبال حیات فرامنظومه‌ای نباید به ستارگان رشته اصلی محدود شود رو به افزایش گذاشت تا اینکه سیاراتی که به دور غول‌های قرمز می‌گردند نیز مورد توجه قرار گرفتند. غول قرمز ستاره‌ای است با قطری معادل 10 تا 100 برابر قطر خورشید که پیشتر خود در زمره ستارگان رشته اصلی قرار داشته، بدان معنا که در مرکز آن همجوشی هسته‌ای به وقوع می‌پیوسته است. سرانجام با اتمام ذخیره هیدروژن در مرکز چنین ستارگانی و فشرده‌تر شدن آنها، همجوشی هسته‌ای اتم‌های هیدروژن در لایه‌ای اطراف هسته آغاز شده، در اثر برهم خوردن تعادل میان لایه‌های گازی، ستاره شروع به انبساط می‌کند که در آن هنگام غول قرمز نامیده می‌شود. گرچه مرکز چنین ستارگانی بسیار فشرده و دارای دمای بالایی است، اما لایه‌های خارجی آنها در اثر انبساط دچار کاهش نسبی دما می‌شوند. چنین سرنوشتی حدود 5 میلیارد سال آینده در انتظار خورشید ما نیز هست. تک ستاره ما در آن هنگام به قدری بزرگ می‌شود که سیارات داخلی منظومه شمسی یعنی عطارد و زهره را می‌بلعد و تا نزدیکی زمین پیشروی می‌کند. در حال حاضر، یکی از موضوعاتی که ذهن اخترشناسان را به خود مشغول داشته، امکان وجود حیات بر سیاراتی است که به دور غول‌های قرمز می‌گردند. بر اساس مطالعات اولیه، به نظر می‌رسد چنین مساله‌ای زیاد هم دور از واقعیت نیست، هر چند کمربند حیات یک منظومه با افزایش قطر ستاره و تغییر درخشش و دمای سطحی آن به نقطه‌ای دورتر نقل مکان می‌کند. به عنوان نمونه، 2 میلیارد سال دیگر، زمین به دلیل تغییراتی که در دما و درخشندگی خورشید ایجاد خواهد شد، از کمربند حیات کنونی منظومه شمسی خارج می‌شود. کمربند حیات ستارگان غول قرمز در فاصله 1000 تا 3000 میلیون کیلومتری آنها قرار دارد، در حالی که

کمریند حیات ستاره‌ای مانند خورشید که یک ستاره معمولی از دسته ستارگان رشته اصلی محسوب می‌شود، به ناحیه‌ای در فاصله 140 تا 240 میلیون کیلومتری آن که تنها دربرگیرنده مدار زمین و مریخ است، اطلاق می‌شود. کشف سیارات فراخورشیدی در اطراف ستارگان رشته اصلی بسیار ساده‌تر از ردیابی سیاره‌ای در اطراف یک غول قرمز است، چراکه گرچه کمریند حیات ستارگان رشته اصلی در فاصله نزدیک‌تری از ستاره خود قرار دارد، اما با توجه به اینکه درخشندگی سطحی غول‌های قرمز عموماً هزاران برابر بیشتر از ستارگان رشته اصلی است، سیاراتی که به دور آنها می‌گردند غالباً در نور ستاره مادر به سادگی قابل رصد نیستند. به عنوان نمونه، هنگامی که خورشید تبدیل به یک غول قرمز شود، قطر آن حدوداً 100 برابر، اما درخشندگی سطحی ستاره ما به بیش از 1000 برابر درخشندگی فعلی خود خواهد رسید. بررسی امکان وجود و دوام حیات در اطراف چنین ستارگانی باز هم دایره جستجو به دنبال حیات را گسترده‌تر کرد. از سوی دیگر، از زمان کشف نخستین سیاره فراخورشیدی در سال 1990 تا کنون، سیارات متعددی خارج از منظومه شمسی کشف شده‌اند که از نظر ساختار و همچنین منظومه‌ای که در آن قرار گرفته‌اند با یکدیگر بسیار متفاوتند. با وجود تنوع زیادی که در سیارات فراخورشیدی تا کنون مشاهده شده، دانشمندان بیشتر به دنبال سیاراتی هستند که از نظر ساختار، دما و سایر مشخصات تا حدی شبیه زمین باشند. برای این امر پاسخ به این سوال که آیا منظومه شمسی، منظومه‌ای منحصر به فرد است یا خیر مساله‌ای است که مدت‌هاست ذهن منجمان را به خود مشغول کرده است.

### سیارات فراخورشیدی در يك نگاه

#### نخستین

سیاره 51 پگاسی بی نخستین سیاره‌ای بود که به دور ستاره‌ای مانند خورشید کشف شد. کشف این سیاره گازی که به سال 1995 بازمی‌گردد سرآغازی بود برای جستجو به دنبال سیارات فراخورشیدی که در اطراف ستارگان رشته اصلی در گردشند. علت نامگذاری این سیاره به 51 پگاسی بی، کشف آن در صورت فلکی اسب بالدار یا پگاسوس بوده است.

#### نزدیک ترین

نزدیک‌ترین سیاره فراخورشیدی به زمین که تا کنون کشف شده، سیاره ایسیلون اریدانی بی است. این سیاره که به دور ستاره‌ای خورشید مانند و در فاصله تنها 10/5 سال نوری از زمین قرار دارد، آنقدر از ستاره خود فاصله دارد که احتمال وجود آب مایع بر سطح آن تقریباً منتهی است.

#### جوان ترین

جوان‌ترین سیاره فراخورشیدی که تا کنون کشف شده است کمتر از یک میلیون سال عمر دارد و به دور ستاره‌ای با نام کاکو تائو 4 در فاصله 420 سال نوری از زمین در حال گردش است. منجمان در هنگام بررسی حلقه‌ای از غبار در اطراف این ستاره، متوجه یک حفره عظیم حلقه مانند به دور آن شدند که قطر آن 10 برابر فاصله زمین تا خورشید بود و احتمالاً به دلیل نیروی گرانش سیاره که موجب پراکندگی ذرات غبار در طی مسیر خود شده، به وجود آمده است.

#### کهنسال ترین

مسن‌ترین سیاره‌ای که تا کنون کشف شده، 12/7 میلیارد سال عمر دارد. این سیاره که قدمت آن 8 میلیارد سال از زمین بیشتر است تنها 1 میلیارد سال پس از پیدایش جهان و انفجار مهیبی که به مهبانگ معروف است شکل گرفته است. کشف این سیاره که پی اس آر بی 1620-26 سی نامیده شد، از آن جهت حائز اهمیت بود که نشان داد حیات می‌تواند بسیار زودتر از آنچه پیشتر تصور می‌شد در نقطه‌ای از جهان به وجود آمده باشد.



### بزرگ ترین

سیاره تی آر ای اس-4 با قطری معادل  $1/7$  برابر قطر مشتری (20 برابر قطر زمین)، بزرگترین سیاره‌ای است که تا کنون کشف شده است. منجمان قطر این سیاره را هنگامی که در حال عبور از جلوی ستاره خود به نام جی اس سی 02620-00648 بود محاسبه کردند. چگالی متوسط این سیاره غول آسا به طرز عجیبی پایین و معادل  $0/2$  گرم بر سانتی‌متر مکعب است. مدت حرکت انتقالی این سیاره که در فاصله 1400 سال نوری از زمین قرار دارد، تنها  $3/5$  روز است. ستاره‌ای که این سیاره به دور آن کشف شده در مرحله گذار از یک ستاره رشته اصلی به غول قرمز و با عمری حدود 5 تا 7 میلیارد سال است. گرچه سن این ستاره تقریباً معادل سن خورشید ( $4/5$  میلیارد سال) است، اما از آنجا که جرم این ستاره بسیار بزرگتر از جرم خورشید بوده، با سرعت دو برابر خورشید سوخت خود را به پایان رسانده و در حال تبدیل شدن به غول قرمز تا یک میلیارد سال آینده است. در آن زمان، سیاره تی آر ای اس-4 به واسطه فاصله کمی که تا ستاره خود دارد به طور کامل توسط ستاره مادر بلعیده خواهد شد.

### کوچک ترین

سیاره اُ جی ال ای-2005-بی ال جی-390 ال بی کوچکترین سیاره فراخورشیدی که تاکنون کشف شده، جرمی حدود  $5/5$  برابر زمین دارد و به دور ستاره کوتوله قرمزی که فاصله آن تا زمین 28000 سال نوری است، می‌گردد. گرچه پیش از این سیاراتی در ابعاد کره زمین خارج از منظومه شمسی کشف شده بودند، اما تمامی آنها به دور ستارگان نوترونی پیدا شدند و بدین سبب شرایط ایجاد حیات را نداشتند. فاصله میان این کوتوله قرمز با سیاره خاکی خود که از نظر ساختار یکی از شبیه‌ترین سیارات فراخورشیدی به زمین محسوب می‌شود،  $2/5$  برابر فاصله زمین تا خورشید است. این در حالی است که اغلب سیارات فراخورشیدی که تاکنون کشف شده‌اند در فاصله‌ای معادل فاصله عطارد تا خورشید از ستاره خود قرار گرفته‌اند. دمای پایین این سیاره که حدود 220- درجه سانتیگراد تخمین زده می‌شود امکان پیدایش و رشد حیات به گونه‌ای که ما در زمین با آن روبه‌رو هستیم را به حداقل می‌رساند.

### سریع ترین

سرعت بالای سوییس-10 که در فاصله تقریبی 1,200,000 کیلومتری از ستاره خود کشف شده، این سیاره را ملقب به سریع‌ترین سیاره فراخورشیدی کرده است. یک شبانه روز در این سیاره بادپا تنها 10 ساعت است. به همین دلیل، سوییس-10 در زمره سیاراتی با دوره تناوبی بسیار کوتاه موسوم به USPPs طبقه بندی شده است.

### عجیب ترین

سیارات فراخورشیدی که تا کنون کشف شده‌اند هر يك دارای ویژگی‌های منحصر به فرد و غالباً عجیبی هستند. اما یکی از عجیب‌ترین اکتشافات سیارات فراخورشیدی، سیاره‌ای است که در سپتامبر 2004 میلادی به دور يك کوتوله قهوه‌ای کشف شد. کوتوله‌های قهوه‌ای ستارگانی کم فروغ با دمای سطحی کم هستند که چگالی نسبتاً پایین آنها مانع از همجوشی هسته‌ای در مرکز آنها شده است. این سیاره که 2 ام 1207 بی نام گرفت، در فاصله تقریبی 100 واحد نجومی (هر واحد نجومی فاصله متوسط زمین تا خورشید معادل 150 میلیون کیلومتر) از ستاره خود قرار گرفته است. جرم این سیاره 5 برابر سیاره مشتری - بزرگترین سیاره منظومه شمسی - و تنها 5 برابر کمتر از ستاره میزبان خود بود در حالی که بیشتر سیاراتی که تاکنون کشف شده‌اند از نظر جرم با ستاره خود در نسبت 1:1000 هستند. دمای این سیاره جوان که تقریباً 8 میلیون سال از زمان پیدایش آن می‌گذرد، در حال حاضر حدود 1000 درجه سانتیگراد تخمین زده می‌شود. نشانه‌هایی از وجود آب در جو این سیاره و تغییرات درخشندگی آن که می‌تواند دلیل وجود ابرها باشد، منجمان را به بررسی بیشتر این سیاره مرموز ترغیب ساخته است. از

سوی دیگر، فاصله زیاد میان این سیاره با ستاره خود و همچنین نسبت پایین جرم این دو، نظریه سحابی خورشیدی را که در حال حاضر قوی‌ترین نظریه پیدایش سیارات است با مشکل مواجه کرده است.

## تولد سیارات

نخستین فرضیات در مورد چگونگی پیدایش سیارات ریشه در افسانه‌ها و داستان‌های قومی و قبیله‌ای در سالیان ماقبل تاریخ دارد. به‌علاوه، تقریباً تمامی ادیان و آیین‌های مذهبی نیز اشاراتی به نحوه خلقت آسمان‌ها و زمین داشته‌اند. اما قرن‌ها بعد، ریاضی‌دانان و منجمانی همچون کوپرنیک، گالیله و کپلر نخستین افرادی بودند که به جستجو در مورد دلایل علمی پدیده‌های طبیعی از جمله حرکت اجرام سماوی پرداختند. نخستین فرضیه علمی در مورد منشا پیدایش زمین توسط فیلسوف و ریاضی‌دان فرانسوی، رنه دکارت (1650-1596 م) ارائه شد. اما از آنجا که در زمان دکارت هنوز نیوتون و نظریه گرانش وی پا به عرصه وجود نگذاشته بودند، وی در ارائه فرضیه خود هیچ جایی برای نیروی گرانش به عنوان یکی از عوامل اصلی پیدایش سیارات نگذاشته بود. دکارت معتقد بود نیرو از طریق تماس اجسام با یکدیگر از جسمی به جسم دیگر منتقل می‌شود و جهان از ذراتی که مانند گردابی در حال چرخش هستند تشکیل شده است. دکارت در فرضیه خود که در سال 1644 میلادی ارائه کرد عنوان داشت خورشید و سیارات در اثر انقباض و تراکم یکی از همین گرداب‌ها که به طور طبیعی در جهان وجود دارند، تشکیل شده‌اند. درست یک قرن بعد و در سال 1745، دانشمند فرانسوی، جرج لویی بوفون (1788-1707) فرضیه دیگری را مطرح کرد که بر اساس آن سیارات به دنبال تصادم ستاره‌ای که از نزدیکی خورشید عبور می‌کرد با آن به وجود آمده‌اند. وی معتقد بود این برخورد سهمگین آسمانی موجب جدا شدن تکه‌های گازی از هر دو ستاره و تشکیل سیارات در منظومه خورشیدی شده که سپس هر یک در مدارهایی به دور خورشید قرار گرفتند. طی دو قرن بعد، این فرضیه هر چند سال یک بار توسط دانشمندان زمان مطرح می‌شد و به تناوب مورد تایید قرار می‌گرفت یا به کلی مردود می‌گشت. اما فرضیه بوفون مشکلات فراوانی داشت: اندازه ستارگان در مقایسه با فواصل میان آنها بسیار ناچیز است و بنابراین تصادم آنها با یکدیگر امری بسیار نادر است. بر اساس مطالعات کیهان‌شناسان، از هنگام شکل‌گیری کهکشان ما در بیش از 10 میلیارد سال پیش تا کنون، تعداد ستارگانی که با یکدیگر برخورد کرده‌اند شاید از تعداد انگشتان یک دست نیز کمتر باشد. از سوی دیگر، ذرات گاز و غباری که بر اساس نظریه بوفون در این تصادم از خورشید و ستاره مهاجم جدا شده بودند آنقدر داغ و با حرارت بالا بودند که امکان تراکم آنها و تشکیل سیارات را به حداقل می‌رساند. با همه این اوصاف، اگر هم سیارات می‌توانستند بر اساس این فرضیه تشکیل شوند، هرگز نمی‌توانستند در مدارهای پایدار به دور خورشید قرار گیرند. فرضیاتی که توسط دکارت و بوفون ارائه شدند، دو تفاوت عمده با یکدیگر دارند و آن ماهیت آنهاست. فرضیه دکارت، فرضیه‌ای تکاملی است که در آن خورشید و سیارات به تدریج و در فرایندی تکاملی به وجود آمده‌اند. اگر فرضیه وی صحیح باشد، ستارگانی که در اطراف آنها سیاراتی وجود دارند باید در جهان به وفور یافت شوند. از طرف دیگر، فرضیه ارائه شده توسط بوفون اتفاقی است که بر اساس آن سیارات به طور تصادفی و در اثر یک اتفاق به وجود می‌آیند. بنابر این فرضیه، منظومه‌های خورشیدی باید بسیار نادر باشند. گرچه فرضیه‌های دکارت و بوفون امروزه مردود اعلام شده‌اند، اما زحمات این دو دانشمند در معطوف ساختن افکار سایر دانشمندان به چگونگی پیدایش سیارات را نباید نادیده گرفت. نظریاتی که در حال حاضر در مورد پیدایش سیارات مورد قبول دانشمندان هستند گرچه با دو فرضیه فوق بسیار متفاوتند اما می‌توان گفت تا حدی تلفیقی از این دو فرضیه‌اند چرا که غالباً نظریاتی تکاملی همراه با وقوع وقایعی تصادفی و نادر هستند. ریشه‌های نظریه کنونی پیدایش سیارات که در ادامه به آن می‌پردازیم را باید نتیجه تحقیقات منجم و ریاضی‌دان فرانسوی، پیر سیمون د. لاپلاس دانست. در سال 1796 وی با تلفیق فرضیه دکارت و قوانین گرانش نیوتون موفق به ارائه مدلی شد که بر اساس آن ابری از ماده در حال چرخش که بر روی نیروی گرانش خود در حال تراکم و مسطح شدن به شکل قرصی از گاز بود را به تصویر کشید و به این ترتیب پایه‌های نظریه کنونی را بنا نهاد. در مدلی که لاپلاس از پیدایش سیارات ارائه کرده بود، بنابر اصل پایداری اندازه حرکت زاویه‌ای، هرچه این قرص چرخان گازی کوچک‌تر می‌شود، سرعت چرخش آن بیشتر می‌گردد. وی معتقد بود هنگامی که این قرص چرخان به بیشترین سرعت خود می‌رسد، شروع به

برون‌پاشی لایه‌های خارجی خود می‌کند که این لایه‌ها سرانجام تشکیل حلقه‌هایی از ماده می‌دهند. این فرایند آنقدر ادامه می‌یابد که حلقه‌های متعددی در فواصل مختلف تشکیل می‌شوند و در نهایت با متراکم شدن مواد تشکیل دهنده آن حلقه‌ها، سیاراتی تشکیل می‌شوند که همگی به دور خورشیدی که در مرکز این قرص گازی متولد شده است، در حال چرخشند. این فرضیه که به نظریه سحابی مشهور است بعدها با اندک تغییراتی مورد قبول اکثر دانشمندان قرار گرفت. یکی از اشکالات عمده مدل لاپلاس این بود که خورشید به عنوان مرکز ابری که موجب تشکیل آن و سیارات اطرافش شد دارای بیشترین اندازه حرکت زاویه‌ای بود، حال آنکه بعدها و پس از مطالعه اولیه سیارات و خورشید، دانشمندان دریافتند سیارات منظومه شمسی بیشترین اندازه حرکت زاویه‌ای منظومه را دارا هستند. از آنجا که فرضیه سحابی لاپلاس در توجیه مشکل اندازه حرکت زاویه‌ای اجرام منظومه شمسی با شکست رو به رو شد، توجه دانشمندان در طی یک قرن پس از آن مجدداً به نظریه بوفون معطوف گردید.

### نظریه سحابی خورشیدی

امروزه می‌دانیم عناصر سنگینی که جهان ما از آنها ساخته شده در دل ستاره‌ها به وجود می‌آیند. از سوی دیگر آخرین نظریه علمی که مورد قبول اغلب اخترشناسان نیز هست، پیدایش سیارات را نتیجه فرایندهای گرانشی هنگام تولد ستارگان می‌داند. بر اساس این نظریه، که نظریه سحابی خورشیدی نامیده می‌شود، سیارات از قرصی از گاز و غبار که در اطراف ستاره‌ای در حال تولد به وجود می‌آید، پدید می‌آیند. هنگامی که ذرات گاز و غبار میان‌ستاره‌ای در مکان‌هایی از کپکشان، مانند بازوهای کپکشان‌های مارپیچی از جمله کپکشان راه شیری، در اثر نیروی گرانش متراکم می‌شوند، ستاره‌ای در مرکز این ابر متولد می‌شود. این ستاره در تمام مراحل تکامل خود توسط ابری از غبار احاطه شده که چرخش ذرات موجود در آن سبب می‌شود قرصی چرخان از غبار در اطراف ستاره در حال تولد تشکیل شود. سرانجام فشار لایه‌های مختلف گازی ستاره سبب بالا رفتن دمای مرکز آن و آغاز همجوشی هسته‌ای شده، دمای سطحی ستاره به سرعت بالا می‌رود. این امر سبب می‌شود لایه‌های غبار که در اطراف ستاره قرصی چرخان تشکیل داده بودند توسط جریان فوتون‌های پر انرژی که موفق به فرار از سطح ستاره شده بودند پراکنده شوند. بر اساس نظریه سحابی خورشیدی، سیارات درون همین قرص چرخان در اطراف ستارگان جوان به وجود می‌آیند. مشاهداتی که در طول موج‌های مختلف به خصوص طول موج فرسرخ انجام گرفته نیز نشان می‌دهند ستارگان جوان پس از آغاز همجوشی هسته‌ای در مرکز خود با سرعتی حدود 200 کیلومتر بر ثانیه این قرص‌های چرخان را از خود رانده، به اطراف پراکنده می‌کنند. فناوری جدید حتی به دانشمندان امکان مشاهده و عکس‌برداری از قرص‌های چرخان غبار در اطراف ستارگان در حال تولد را می‌دهد. منظومه شمسی ما نیز به احتمال فراوان در چنین فرایندی به وجود آمده است. هنگامی که خورشید در اثر تراکم غبار میان‌ستاره‌ای به وجود آمد و فرایند همجوشی هسته‌ای خود را حدود 4/7 میلیارد سال پیش آغاز کرد، فوران فوتون‌ها و ذرات باردار از سطح آن توسط بادهای خورشیدی سبب پراکنده شدن قرص غبار اطرافش شد. پس از پراکنده شدن این قرص چرخان، آنچه باقی ماند مجموعه‌ای از کرات خاکی و گازی در مدارهایی به دور خورشید بود که آنها را سیاره می‌نامیم. درست مانند نظریه‌ای که لاپلاس از پیدایش منظومه شمسی ارائه داده بود، نظریه سحابی خورشیدی نیز با اشکال بزرگی رو به رو است که آن پایین بودن سرعت حرکت زاویه‌ای خورشید در مقایسه با سیارات است. برای درک چنین مساله به ظاهر نامتعارفی باید بررسی کنیم چه چیز موجب کند شدن سرعت چرخش خورشید شده است؟ می‌دانیم خورشید در هر ثانیه حدود 4/6 میلیون تن از جرم خود را به واسطه همجوشی هسته‌ای از دست می‌دهد. این میزان جرم تبدیل به انرژی شده که ما آن را به صورت نور و گرما احساس می‌کنیم. بر اساس قانون پایستگی اندازه حرکت زاویه‌ای، کاهش جرم یک جسم به معنای کند شدن سرعت حرکت زاویه‌ای آن است. بعلاوه، میدان مغناطیسی قوی خورشید تاثیر بسزایی در کاهش سرعت چرخش آن دارد. یکی از راه‌هایی که از طریق آن می‌توان نظریه پیدایش سیارات منظومه شمسی در ابرهای گازی اطراف خورشید را تا حد زیادی اثبات کرد، بررسی شباهت‌های سیارات منظومه خورشیدی ما با یکدیگر است چرا که اگر تمامی سیارات از یک ابر غبار در اطراف خورشید به وجود آمده باشند، به طور طبیعی باید دارای ویژگی‌های مشترکی نیز باشند.



## منظومه همهانگ

تمامی سیارات منظومه شمسی تقریباً در یک صفحه مداری به دور خورشید می‌گردند. به استثنای عطارد که صفحه مداری آن با صفحه مداری زمین یا دایره‌البروج زاویه‌ای معادل تقریبی  $7^\circ$  می‌سازد، تمایل صفحات مداری سایر سیارات منظومه شمسی نسبت به صفحه مداری زمین، کمتر از  $3/4^\circ$  است. این بدان معناست که اگر به منظومه شمسی از پهلو نگاه کنیم ظاهری شبیه به یک صفحه تخت دارد. زوایایی که محور گردش سیارات به دور خود با صفحه مدار زمین می‌سازند نیز اختلاف چندانی با یکدیگر ندارند. انحراف محور سیارات منظومه شمسی به این صفحه کمتر از  $30^\circ$  است. انحراف محور خورشید نیز نسبت به صفحه دایره‌البروج  $7/25^\circ$  است. راستای حرکت وضعی (گردش سیاره به دور خود که موجب پیدایش شب و روز می‌شود) و حرکت انتقالی (گردش سیاره به دور خورشید که سبب پیدایش سال می‌گردد) سیارات منظومه شمسی نیز می‌تواند گواهی بر نظریه سحابی خورشیدی باشد. اگر از نقطه‌ای در بالای قطب شمال زمین به سیارات بنگریم، تمامی سیارات در جهت خلاف عقربه‌های ساعت به دور خورشید در گردشند و به استثنای زهره و اورانوس، جهت حرکت وضعی سایر سیارات نیز عکس جهت عقربه‌های ساعت است. برخی سیاره‌شناسان معتقدند علت این ناهماهنگی در زهره و اورانوس می‌تواند برخورد سهمگین یک جرم سماوی با این دو سیاره در سال‌های آغازین پیدایش منظومه شمسی باشد، گرچه صحت این فرضیه هنوز به اثبات نرسیده است. سه دلیل فوق، یعنی قرار گرفتن تمامی سیارات در یک صفحه مداری، راستای چرخش آنها به دور خود (به استثنای زهره و اورانوس)، و جهت گردش آنها به دور خورشید از مهم‌ترین دلایلی هستند که نشان می‌دهند منشأ پیدایش تمامی سیارات منظومه شمسی یکسان و به نوعی مرتبط با پیدایش خورشید بوده است. علاوه بر این، دانشمندان به کمک محاسبه نیمه عمر مواد رادیواکتیو موجود در زمین، ماه، مریخ و شهابسنگ‌ها دریافتند اجرام منظومه شمسی بین  $4/3$  تا  $4/8$  میلیارد سال عمر دارند که همزمانی تولد آنها را نشان می‌دهد. این شباهت‌ها و هماهنگی میان اجزای منظومه خورشیدی، مهم‌ترین دلیل اثبات نظریه سحابی خورشیدی است. علاوه بر این، فناوری جدید تصاویری از ستاره‌های در حال تولد شکار کرده است که ابری از غبار در حال تراکم را در اطراف آنها نشان می‌دهد که محل تولد سیارات آن منظومه محسوب می‌شود. چنانچه نظریه سحابی خورشیدی صحیح باشد، سیارات در جهان ما باید به وفور یافت شوند چرا که اغلب ستارگان در مرکز قرص‌هایی از غبار که محل تولد سیارات است، تشکیل می‌شوند. کشف سیارات فراخورشیدی گامی مهم در اثبات این نظریه تاکنون بوده است.

منابع:

<http://www.space.com/>

<http://www.isa.ir/>

<http://planetquest.jpl.nasa.gov/>

<http://exoplanet.eu/index.php/>

saramany@gmail.com

www.Ulduzlarda.blogspot.com