

دلایل عدم شکل‌گیری سیاره‌ی سنگی دیگر در فاصله‌ی مداری بین مریخ و مشتری

دکتر راهوار

آریانا سیف‌اللهی 402100837 – نرگس صفری 402100872

در منظومه‌ی شمسی، سیارات سنگی در بخش‌های داخلی و سیارات گازی در بخش‌های بیرونی شکل گرفته‌اند. اما در فاصله‌ی میان مدار مریخ و مشتری، به‌جای یک سیاره‌ی منسجم، مجموعه‌ای از اجرام کوچک و نامنظم به نام کمربند سیارکی وجود دارد. بررسی‌های دینامیکی و کیهان‌شناسی نشان می‌دهد که دلایل متعددی مانع از تشکیل سیاره‌ای سنگی در این ناحیه شده‌اند.

۱. اثر گرانشی بسیار قوی سیاره‌ی مشتری

مهم‌ترین عامل، تاثیر گرانشی عظیم مشتری است. مشتری با جرم بیش از ۳۰۰ برابر زمین، میدان گرانشی گسترده‌ای دارد که ناحیه‌ی بین خودش و مریخ را به شدت دچار آشفتگی مداری می‌کند. در مراحل اولیه‌ی شکل‌گیری منظومه‌ی شمسی، زمانی که ذرات غبار و سنگ‌ریزه‌ها در حال هم‌گرایی و تجمع برای تشکیل پیش‌سیاره‌ها بودند، گرانش مشتری باعث ایجاد اختلالات مداری تناوبی (رزونانس‌های مداری) شد. این اختلالات موجب می‌شدند که مدار ذرات پیوسته کشیده و بی‌ثبات شود، در نتیجه برخوردها اغلب با سرعت بالا و ماهیت تخریبی رخ می‌دادند و به جای تجمع، باعث خرد شدن اجرام می‌شدند.

به‌طور خاص، رزونانس‌های ۳:۱، ۵:۲، ۷:۳ و ۲:۱ با مشتری در ناحیه‌ی کمربند سیارکی، مدارهای بسیاری از ذرات را ناپایدار کرده‌اند. هر جسمی که در این فواصل قرار می‌گرفت، پس از مدتی به دلیل تداخل‌های گرانشی از مدار خود خارج می‌شد یا به بخش‌های دیگر منظومه پرتاب می‌گردید.

۲. سرعت برخوردها و عدم رشد پیش‌سیاره‌ها

در فاصله‌ی میان مریخ و مشتری، سرعت مداری ذرات به‌اندازه‌ی زیاد است که برخورد میان آن‌ها معمولاً منجر به شکستن و تبخیر جزئی مواد می‌شود، نه چسبیدن و رشد. برای تشکیل یک سیاره، ذرات باید در برخوردهای کم‌سرعت به هم بچسبند تا توده‌های بزرگ‌تر ایجاد شود. اما در این ناحیه، آشفتگی‌های گرانشی و تفاوت در سرعت مداری مانع از این فرآیند هم‌گرایی می‌شود. در نتیجه، پیش‌سیاره‌ها نتوانستند به جرم بحرانی لازم برای جذب گرانشی خودکار برسند.

۳. فشار تابشی و بادهای خورشیدی اولیه

در دوران جوانی خورشید، تابش و بادهای خورشیدی بسیار قوی‌تر از امروز بودند. این جریان‌های انرژی، مواد سبک‌تر را از نواحی داخلی منظومه بیرون راندند و ترکیب مواد در ناحیه‌ی مریخ تا مشتری را تغییر دادند. ذرات کوچک‌تر و غبارهای ظریف به‌آسانی از مدار خارج شدند و فقط سنگ‌ریزه‌ها و فلزات سنگین‌تر باقی ماندند. کاهش چگالی ماده در این ناحیه نیز مانع از تجمع کافی جرم برای تشکیل یک سیاره شد.

۴. توزیع جرم و ترکیب شیمیایی

مدل‌های عددی نشان می‌دهند که چگالی ماده‌ی اولیه (در قرص پیش‌سیاره‌ای) در ناحیه‌ی میان مریخ و مشتری از آغاز کمتر از مقدار بحرانی برای تشکیل سیاره بوده است. ترکیب مواد نیز متنوع بود: از سنگ‌های سیلیکاته تا کربنات‌ها و فلزات. این ناهمگونی ترکیبی و چگالی پایین، در کنار اختلالات مداری، مانع از رشد یک هسته‌ی منسجم شد.

۵. احتمال فروپاشی سیاره‌ی اولیه (فرضیه‌ی تاریخی)

در گذشته برخی اخترشناسان (مانند هینتشل) فرض کردند که شاید در این ناحیه سیاره‌ای وجود داشته که بعداً در اثر برخورد یا آشفته‌گی گرانشی از هم پاشیده است. اما امروزه با محاسبه‌ی مجموع جرم کمربند سیارکی (حدود ۴٪ جرم ماه)، این نظریه رد شده است؛ زیرا جرم کل سیارک‌ها بسیار کمتر از جرم مورد انتظار یک سیاره‌ی کامل است. پس نتیجه می‌گیریم که هیچ‌گاه سیاره‌ای کامل در آن ناحیه شکل نگرفته است.

۶. کشش جزر و مدی گرانشی (Tidal Forces)

گرانش بسیار قوی مشتری در مقایسه با خورشید، نه تنها باعث آشفته‌گی مداری می‌شود، بلکه نیروهای کششی شدیدی نیز ایجاد می‌کند. این نیروها موجب می‌شوند اگر توده‌های بزرگی در حال شکل‌گیری باشند، در اثر اختلاف نیروی گرانشی بین بخش‌های مختلفشان، از هم گسیخته شوند. به عبارت دیگر، حتی اگر یک پیش‌سیاره تا حدی رشد کند، نیروی جزر و مدی مشتری آن را قبل از رسیدن به پایداری گرانشی متلاشی می‌کند.

۷. تداخل در رشد به دلیل کمبود زمان تجمع

در مدل‌های شکل‌گیری منظومه شمسی، زمان لازم برای تجمع ذرات و تشکیل پیش‌سیاره‌ها به فاصله از خورشید بستگی دارد. در فاصله بین مریخ و مشتری، دوره تناوب مداری طولانی‌تر است و در نتیجه، زمان لازم برای رشد اجرام بسیار بیشتر از عمر مرحله گازی قرص خورشیدی است.

وقتی گاز و غبار اولیه توسط تابش خورشید پراکنده شد، مواد کافی برای ادامه رشد باقی نماند. بنابراین، پیش‌سیاره‌ها پیش از رسیدن به جرم بحرانی رشدشان متوقف شدند.

۸. برخوردهای متوالی با اجرام مهاجر

در دوران آغازین منظومه، اجرام یخی و سنگی از نواحی بیرونی (مثل ناحیه مشتری-زحل و فراتر از آن) به درون منظومه مهاجرت می‌کردند.

این اجرام بزرگ هنگام عبور از کمربند سیارکی باعث برخوردهای شدید می‌شدند و اجسام در حال رشد را خرد و پراکنده کردند. مدل‌های عددی موسوم به مدل نیس نشان می‌دهند که مهاجرت مداری سیارات غول‌پیکر (به‌ویژه مشتری و زحل) با جابه‌جایی بزرگ اجرام و بی‌ثباتی کمربند سیارکی هم‌زمان بوده است.

۹. اثرات حرارتی و ترکیبی (Thermochemical effects)

در نواحی نزدیک به خط برف که دقیقاً در همین محدوده بین مریخ و مشتری قرار دارد، دمای قرص پیش‌سیاره‌ای آن‌قدر پایین بود که ترکیبات فرّار (مثل آب، آمونیاک، متان) می‌توانستند منجمد شوند.

این تغییر ترکیب باعث شد چگالی مواد کاهش یابد و بخش عمده‌ای از جرم موجود به صورت یخ در مدارهای بیرونی‌تر منتقل شود.

در نتیجه، ماده جامد سنگی کافی برای تشکیل یک سیاره در این ناحیه باقی نماند.

۱۰. تداوم برخوردها تا امروز

حتی پس از پایان دوران شکل‌گیری سیارات، کمربند سیارکی هنوز هم دچار برخوردهای مکرر است. سیارک‌ها در بازه‌های زمانی چند میلیون سال با هم برخورد می‌کنند و قطعات کوچک‌تر ایجاد می‌شود. اگر فرایند رشد سیاره‌ای هنوز هم می‌توانست ادامه یابد، این برخوردهای تخریبی آن را متوقف می‌کردند. به همین دلیل کمربند سیارکی هنوز ساختار تکه‌تکه و ناپایدار خود را حفظ کرده است.

۱۱. تأثیر رزونانس‌های ترکیبی با زحل و مشتری

تحلیل‌های دقیق‌تر نشان می‌دهد که نه فقط مشتری، بلکه رزونانس‌های ترکیبی بین مشتری و زحل نیز باعث نوسانات بزرگ در مدار سیارک‌ها شده‌اند.

این رزونانس‌ها به‌ویژه در اوایل عمر منظومه باعث تغییرات ناگهانی در تمایل (inclination) و خروج از مرکز (eccentricity) مدار اجرام شدند، که مانع از پایداری طولانی‌مدت توده‌های بزرگ شد.

۱۲. فشار گاز قرص اولیه و اثر درگ (Gas drag)

در مراحل نخست شکل‌گیری منظومه، هنوز مقدار زیادی گاز در قرص وجود داشت.

ذرات کوچک در اثر اصطکاک با این گاز (اثر درگ) انرژی مداری خود را از دست می‌دادند و به سمت خورشید حرکت می‌کردند.

در ناحیه بین مریخ و مشتری این اثر شدیدتر بود و باعث شد بسیاری از ذرات کوچک قبل از اینکه بتوانند در آنجا بمانند، به سمت داخل یا بیرون رانده شوند.

در نتیجه تراکم ماده برای تشکیل سیاره کاهش یافت.