مشت بازشدهٔ شیمی در کیهان

مهین سلطانی
کارشناس ارشد شیمی آلی

اشاره

«پس از دو ســـال و پیمودن میلیاردها کیلومتر از زمین، کاوشگر اُسیریس‌ـ رکس[1] به مقصد رسیده است؛ سیارک بنو[2]»

ذهن کنجکاوش سال‌ها اخبار کاوشگر اُسیریس‌ـ رکس را دنبال می‌کرد؛ درست از همان سال ۲۰۱۶ که این کاوشگر سفر ماجراجویانهٔ خود را به جهانی فراسوی زمین آغاز کرده بود.

«هدف اُسیریس‌ـ رکس جمع‌آوری دست‌کم یک نمونه۶۰ گرمی خاک و سنگ از سیارک بنو، بازگشت به زمین در سال ۲۰۲۳ و رها کردن محفظهٔ نمونه در بیابان غرب یوتا[3] است؛ جایی که دانشمندان منتظر دریافت آن هستند.»

آنچه را با چشم‌هایش می‌خواند شگفت‌آور می‌پنداشت. بی‌شک بنو سیارکی زیرک است که گلچینی از مهم‌ترین عنصرهای جدول دوره‌ای را در خود جای داده است. با اشتیاق بیشتر به مطالعهٔ یافته‌های این مارکوپولوی فضاپیما ادامه داد.

«سیارک بنو سرشار از مولکول‌های آلی و زنجیره‌های کربنی است که با اتم‌های اکسیژن، هیدروژن و دیگر عنصرهای اساســـی برای حیات، پیوند یافته‌اند. افزون بر کربن، بنو ممکن است یکی دیگر از گزینه‌های ضروری زیست را در برداشته باشد؛ آب که در مواد معدنی تشکیل‌دهندهٔ سیارک به دام افتاده است.»

برای بار دوم گزارش اُسیریس‌ـ رکس را از نظر گذراند، بله عجیب است اما واقعیت دارد؛ وجود آب، کربن و دیگر عنصرهای مهم آلی ... .

کلیدواژه‌ها: کمربند سیارکی، تعادل هیدرواستاتیکی، سیارک‌های کربنی، اثر یارکوفسکی، مواد معدنی آبدارشده

مقدمه

ما در حال سفر به اجرام کوچک منظومهٔ خورشیدی به‌سوی سیارک‌ها رهسپاریم. سیارک‌ها یکی از مشهورترین اجرام کوچک منظومهٔ خورشیدی هستند. چه بسا همهٔ ما چیزهایی در مورد سیارک‌ها شنیده‌ایم، با این حال گاهی دانش ما بیشتر به فیلم‌های هالیوود یا اخبار رسانه‌ها محدود می‌شود. هنگامی که به آسمان نگاه می‌کنیم تا اجرام منظومهٔ خورشیدی را مشاهده کنیم، معمولاً از دیدن ماه، سیاره و ستاره‌های دنباله‌دار مبهوت می‌شویم. در این میان، سیارک‌ها اغلب نادیده گرفته می‌شوند چون اجسامی مرده و سرد هستند که از سنگ ساخته شده‌اند. اجسامی خسته‌کننده که به‌سختی دیده می‌شوند. درواقع فقط سِرِس[4] که اکنون به خانوادهٔ سیاره‌های کوتوله تعلق دارد با چشم غیرمسلح مشاهده می‌شود، آن هم در یک آسمان کاملاً تاریک که امروزه به‌ندرت شرایط آن فراهم می‌شود. حتی با کمک تلسکوپ‌ها نیز غیرممکن است که بتوان جزئیات سطح سیارک‌ها را شناسایی کرد.

واژهٔ سیارک به معنای شیء شبیه به ستاره، ریشه‌ای یونانی دارد. برخلاف ستاره‌های دنباله‌دار که هزاران سال از شناخت آن‌ها می‌گذرد، مشاهدهٔ سیارک‌ها فقط دویست سال قدمت دارد. پیش از اختراع تلسکوپ، بشر کاملاً از وجود سیارک‌ها بی‌اطلاع بود. با آنکه حدود ۶۸۰۰۰۰ سیارک در کمربند اصلی شناسایی شده است، به نظر می‌رسد شمار واقعی آن‌ها از مرز میلیون‌ها عدد بگذرد. جالب است که فقط شمار کمی از سیارک‌ها قطرهای بزرگ‌تر از صد کیلومتر دارند.

سیارک‌ها برای رسیدن به تعادل هیدرواستاتیکی[5] به اندازه کافی بزرگ نیستند؛ یعنی جرم آن‌ها در حدی نیست که شکلی کروی به خود بگیرند، بنابراین به شکل‌هایی نامنظم درمی‌آیند و اغلب پر از چاله‌هایی هستند که در برخورد با سیارک‌های دیگر به وجود آمده‌اند [۱].

سیارک‌ها چگونه تشکیل شده‌اند؟

در سال ۱۸۰۲، پس از کشف دومین سیارک به نام پالاس[6]، هاینریش آلبرس[7] فرضیهٔ اولیهٔ خود را دربارهٔ تشکیل کمربند سیارکی مطرح کرد. وی پیشنهاد داد که هر دو سیارک سِرِس و پالاس، بقایایی از یک سیارهٔ بزرگ‌تر هستند که در ناحیه‌ای میان مریخ و مشتری، در فاصله‌ای نزدیک به ۸/۲ واحد نجومی، به دور خورشید می‌چرخند [۱]. یک واحد نجومی (AU)، میانگین فاصلهٔ میان زمین و خورشید و در حدود ۱۵۰ میلیون کیلومتر است. واحدهای نجومی معمولاً برای اندازه‌گیری فاصله‌ها در منظومه خورشیدی استفاده می‌شوند [۲].

آلبرس اندیشید که این سیاره در نتیجه یک انفجار عظیم داخلی یا بر اثر برخورد یک ستارهٔ دنباله‌دار تخریب شده است. سپس این قطعه‌های جداشده، سیارک‌ها یا سیاره‌ها را شکل داده‌اند. پس از تجزیهٔ طیفی، ترکیب‌های شیمیایی این اجرام به دست آمد و معلوم شد این ترکیب‌ها از یک سیارک به سیارک دیگر تغییر می‌کنند. پس این اجرام با ترکیب‌های متفاوت، چگونه از یک جسم مشترک نتیجه شده‌اند؟ از سوی دیگر، چنین رویدادی، یعنی جداسازی بخش‌هایی از یک سیاره، انرژی بسیار زیادی می‌طلبد. تا آن زمان، فرایندی که بتواند چنین نیرویی فراهم کند، ناشناخته بود. آخرین استدلال مبنی بر نپذیرفتن فرضیهٔ آلبرس از این قرار بود: جرم کمابیش پایین همهٔ سیارک‌ها، برای تشکیل یک سیاره کافی نبود [۱].

به‌راستی سیارک‌ها چه هستند؟ ۶/۴ میلیارد سال پیش، منظومهٔ خورشیدی از مجموعه‌ای از گازها و گرد و غبارها در اطراف خورشید تازه متولدشده، پدید آمد. درحالی‌که مقداری از این مواد به هم می‌پیوستند و سیاره‌ها را به وجود می‌آوردند، آوارهایی هم بر جای می‌ماند.

برخی از آوارها بقایای برجای‌مانده از خرده‌سیاره‌هایی بودند که درون سحابی منظومهٔ خورشیدی جوان، با هم برخورد کرده و متلاشی شده بودند؛ خرده‌سیاره‌هایی که هرگز به تشکیل یک سیاره نرسیدند. از طرفی به علت گرانش شدید سیارهٔ مشتری، دیگر قطعه‌های حاصل از تخریب نیز هیچ‌گاه گرد هم نیامدند. این بقایای سنگی اکنون سیارک‌هایی هستند که پیرامون منظومهٔ خورشیدی حرکت می‌کنند. از آنجا که این بقایا سرنخ‌های مهمی از چگونگی شکل‌گیری منظومهٔ خورشیدی در اختیار بشر قرار می‌دهند، از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند [۳].

دانش کلی از یک سیارک

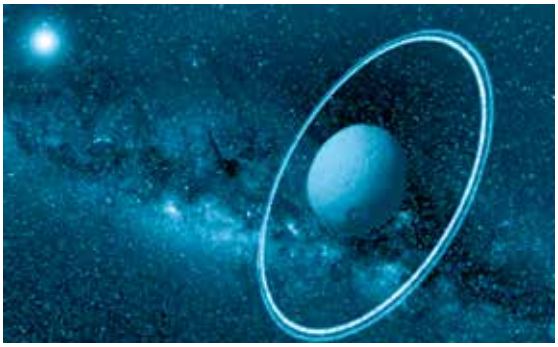
سیارک‌ها اجرامی از سنگ و فلز هستند که افزون بر چرخش حول محور خود، اطراف خورشید نیز در مدارهایی بیضی‌شکل می‌گردند. گاهی به آن‌ها ریزسیاره هم گفته می‌شود در حالی که بسیار کوچک‌تر از سیاره‌ها و قمرها هستند.

در سال ۱۹۹۳ فضاپیمای گالیله هنگام گذر از سیارک (۲۴۳) آیدا[8]، به کشف جدیدی دست یافت. یک ماهوارهٔ طبیعی کوچک که بعدها دکتیل[9] نام گرفت پیرامون سیارک می‌چرخید، شکل ۱. ماهوارهٔ طبیعی یا قمر در ستاره‌شناسی، به جسمی آسمانی گفته می‌شود که گرد جسم آسمانی بزرگ‌تری بگردد. ماه، قمر زمین است. سیارک‌ها هواکره ندارند با وجود این، نزدیک به ۱۵۰ سیارک شناخته شده است که قمرهای کوچکی دور آن‌ها می‌چرخند و برخی حتی دو قمر دارند. همچنین، پژوهش‌ها از کشف سیارک‌های دوتایی خبر می‌دهند، به این ترتیب که دو جرم سنگی تقریباً هم‌اندازه به دور یکدیگر می‌چرخند. به‌تازگی نیز سامانهٔ سیارک‌های سه‌تایی به این فهرست اضافه شده است.

▲ شکل ۱ سیارک آیدا و قمر آن به نام دکتیل

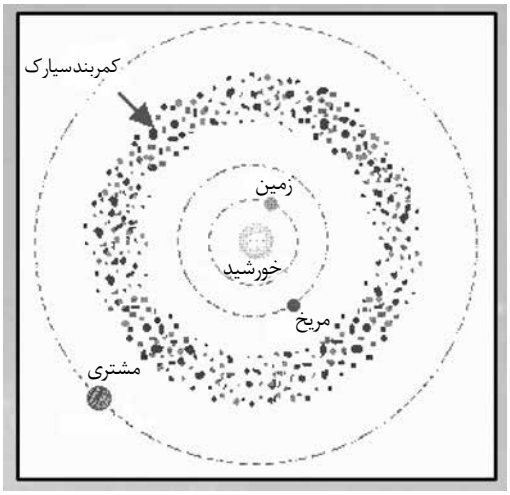
یک سیارک حلقه‌دار نیز شناخته شده که با قد و قواره‌ای کوچک توانسته است به جمع غول‌های گازی حلقه‌دار راه یابد. این کشف شگفت‌انگیز در سال ۲۰۱۳، هنگامی روی داد که دانشمندان عبور

سیارک چاریکلو[10] را از مقابل یک ستاره رصد می‌کردند. هنگام عبور سیارک، ستاره چند بار چشمک زده بود که به کشف دو حلقه در اطراف چاریکلو انجامید، شکل ۲.



▲ شکل ۲ سیارک چاریکلو و حلقه‌های پیرامون آن

بیشتر سیارک‌ها در کمربند سیارکی خانه دارند؛ یک حلقهٔ دونات‌مانند بین مدارهای مریخ و مشتری که سیارک‌های ساکن آن با فاصلهٔ دو تا چهار واحد نجومی از خورشید، در حال چرخش هستند، شکل ۳. شاید این‌طور برداشت شود که کمربند سیارکی، تعداد زیادی سیارک است که نزدیک به هم، بین مریخ و مشتری جای گرفته‌اند. اما سیارک‌ها به‌ندرت در یک‌میلیون کیلومتری یکدیگر واقع شده‌اند به‌طوری که گهگاهی میان آن‌ها برخوردهایی روی می‌دهد و تراشه‌هایی کوچک ایجاد می‌شود که شهاب‌واره‌ها را می‌سازند. گاه بر اثر برهم‌کنش‌های گرانشی بین برخی از سیارک‌ها با سیاره‌ها یا دیگر سیارک‌های منظومهٔ خورشیدی، اختلال و تغییراتی در مدار سیارک روی می‌دهد که سبب می‌شود به خورشید و همچنین به زمین نزدیک‌تر شود. اگر مدار این سیارک‌ها در فاصلهٔ ۳/۱ واحد نجومی از زمین قرار بگیرد در دستهٔ سیارک‌های نزدیک به زمین طبقه‌بندی می‌شوند. آن گروه از سیارک‌های نزدیک زمین که در مسیر حرکت خود، مدار زمین را قطع می‌کنند و در فاصلهٔ ۵/۰ واحد نجومی از زمین چرخ می‌زنند، سیارک‌های خطرناک نامیده می‌شوند. گذشته از سیارک‌های بالقوهٔ



▲ شکل ۳ کمربند سیارکی

کمربند اصلی، بحث‌های جدید در میان ستاره‌شناسان، از حضور شمار زیادی سیارک بالقوه در مسافت‌های دور از منظومهٔ خورشیدی در کمربند کوییپر[11] و ابر اورت[12] خبر می‌دهد [۳، ۴].

نام‌گذاری

در آغاز، نام سیارک‌ها از اساطیر یونانی یا رومی گرفته می‌شد اما خزانه نام‌های موجود، خیلی زود تهی شد. امروزه از منابع مختلفی مانند نام افراد مشهور، نام همسر یا شخصیت‌های تلویزیونی استفاده می‌شود که سیارک‌های (۲۳۰۹) آقای اسپاک[13]، «(۹۰۰۷) جیمز باند»[14] و «(۲۶۸۵۸) آقای راجرز»[15] از آن جمله‌اند. با این حال، انتخاب نام آزاد نیست و نام‌گذاری برخی اجرام فضایی از قواعد خاصی پیروی می‌کند. سانتور[16]ها اجسامی در میان زحل و نپتون هستند که هم‌زمان، دارای ویژگی‌هایی از ستارهٔ دنباله‌دار و سیارک هستند. از این رو، نام‌گذاری آن‌ها به سانتورهای معروف اساطیر یونانی محدود می‌شود. همچنین نام تروجان[17]های مشتری از میان قهرمان‌های جنگ تروجان انتخاب شده است.

در مجموع، برای نام‌گذاری نخستین سیارک‌هایی که در قرن نوزدهم کشف شدند مانند سیارک‌های سِرِس و پالاس، از اعداد خبری نبود. در سال ۱۸۵۲، جیمز فرگوسن[18] آمریکایی یک سامانهٔ شمارش با این هدف که سیارک مورد نظر چندمین سیارک کشف شده است، تعریف کرد. سیارک‌های آستریا[19] (سیارک ۵)، هایجیا[20] (سیارک ۱۰) و یونومیا[21] (سیارک ۱۵) با این قواعد نام‌گذاری شده‌اند. البته بحث‌هایی درباره اینکه چه کسی این سامانه را معرفی کرده، در میان است به‌طوری که ولف[22] و گولد[23] نیز ادعا کرده‌اند که این کار در سال ۱۸۵۱ از جانب آن‌ها انجام پذیرفته است.

در گذشته، تعداد اندکی از سیارک‌ها با نمادهای نسبتاً پیچیده‌ای نشان داده می‌شدند. برای نمونه، سیارک «آیرس»[24]، هفتمین سیارک کشف‌شده با نماد نشان‌داده‌شده در شکل ۴ شناخته می‌شد.

▲ شکل ۴ نماد سیارک آیرس

از آنجا که طراحی نمادها و تشخیص آن‌ها دشوار به‌نظر می‌رسید، این شیوه پس از مدتی متوقف شد. در سال ۱۸۹۲، یک اخترشناس آلمانی به نام کروگر[25]، سامانه‌ای دیگر پیشنهاد داد که بنابر مقررات آن، سیارک‌های جدید با عدد سال کشف و یک حرف بزرگ، نام برده می‌شدند. در سال بعد، این نام‌گذاری به شکل نمایش دو حرف بزرگ پس از سال کشف سیارک، تغییر یافت.

سامانه‌ای که اینک به‌کار می‌رود در سال ۱۹۲۴ به‌وسیلهٔ باوئر[26] از رصدخانهٔ نیروی دریایی ایالات متحده منتشر شد

که در سال ۱۹۲۵ به اجرا درآمد. سامانهٔ نام‌گذاری باوئر ترکیبی از سال کشف، دو حرف بزرگ همراه با یک عدد است. در این روش، یک سال به ۲۴ نیمهٔ ماه تقسیم و هر نیمه با یک حرف نمایش داده می‌شود، (جدول ۱). اگر نخستین حرف A باشد، به این معنی است که سیارک در نیمهٔ اول ماه ژانویه کشف شده و اگر با حرف B نشان داده شود یعنی در نیمهٔ دوم همین ماه شناسایی شده است. این روند با حرف Y که به نیمهٔ دوم دسامبر اختصاص می‌یابد، به پایان می‌رسد. برای اینکه حرف I با عدد ۱ اشتباه گرفته نشود، در این نام‌گذاری آن را حذف کرده‌اند.

دومین حرف، تعداد کشف سیارک را در طول یک نیمهٔ ماه می‌شمارد به‌طوری که حرف A به سیارک نخست، B به دومین و در آخر Z به بیست‌وپنجمین سیارک کشف‌شده در یک نیمهٔ ماه اشاره می‌کند و همچنان از حرف I استفاده نمی‌شود.

جدول ۱ حرف اول نام‌گذاری در هر نیمهٔ ماه کشف سیارک

حرف	نیمهٔ ماه	حرف	نیمهٔ ماه
A	۱- ۱۵ ژانویه	N	۱- ۱۵ جولای
B	۱۶- ۳۱ ژانویه	O	۱۶- ۳۱ جولای
C	۱- ۱۵ فوریه	P	۱- ۱۵ اوت
D	۱۶- ۲۹ فوریه	Q	۱۶- ۳۱ اوت
E	۱- ۱۵ مارس	R	۱- ۱۵ سپتامبر
F	۱۶- ۳۱ مارس	S	۱۶- ۳۰ سپتامبر
G	۱- ۱۵ آوریل	T	۱- ۱۵ اوکتبر
H	۱۶- ۳۰ آوریل	U	۱۶- ۳۱ اوکتبر
J	۱- ۱۵ مه	V	۱- ۱۵ نوامبر
K	۱۶- ۳۱ مه	W	۱۶- ۳۰ نوامبر
L	۱- ۱۵ جون	X	۱- ۱۵ دسامبر
M	۱۶- ۳۰ جون	Y	۱۶- ۳۱ دسامبر

بنابراین، نخستین سیارک که بین ۱ تا ۱۵ ماه ژانویه ۱۹۲۵ کشف شد، با این نام معرفی شد: ۱۹۲۵ AA. دومین سیارک این نیمهٔ ماه، ۱۹۲۵ AB و سومین آن‌ها ۱۹۲۵ AC نام گرفتند. این طرح برای دورهٔ زمانی محدودی کارایی داشت. با پیشرفت شیوه‌های نوین کشف اجرام آسمانی، شمار سیارک‌های جدید به‌طور چشمگیری افزایش یافته است، چنان که اغلب به ازای هر نیمهٔ ماه بیش از ۲۵ سیارک شناسایی می‌شود. از این رو، یک شماره به‌صورت پایین‌نویس به حرف دوم نام‌گذاری افزوده می‌شود که بیانگر دوره‌های بعدی در همان نیمهٔ ماه است و با عدد ۱، ۲، ۳ و ... مشخص می‌شود. هر دوره شامل ۲۵ سیارک جدید است. برای نمونه، VA ۲۰۰۸ یعنی نخستین سیارکی که در نیمهٔ اول نوامبر سال ۲۰۰۸ کشف شد، و VA_1 ۲۰۰۸ یعنی نخستین سیارک از ۲۵ سیارک بعدی که در همین تاریخ به رسمیت شناخته شده است [۱، ۷].

سیارک‌ها به‌ندرت در یک‌میلیون کیلومتری یکدیگر واقع شده‌اند به‌طوری که گهگاهی میان آن‌ها برخوردهایی روی می‌دهد و تراشه‌هایی کوچک ایجاد می‌شود که شهاب‌واره‌ها را می‌سازند

طبقه‌بندی سیارک‌ها

سیارک‌ها با توجه به جایگاه و آرایششان در گروه‌های مختلفی قرار می‌گیرند.

طبقه‌بندی براساس مکان

ـ **سیارک‌های کمربند اصلی** بیشترین سیارک‌های شناخته‌شده در کمربند سیارکی (کمربند اصلی)ـ فضایی میان مریخ و مشتری‌ـ پخش شده‌اند.

ـ **تروجان‌ها** سیارک‌هایی هستند که هم‌مدار با یک سیارهٔ بزرگ‌تر حول خورشید می‌گردند و هیچ برخوردی با سیاره ندارند زیرا در دو مکان خاص در مدار قرار گرفته‌اند که نقاط لاگرانژی[۲۷] L_4 و L_5 نامیده می‌شوند [۳]. نقطهٔ لاگرانژ، مکانی در فضاست که در اطراف دو جسم بزرگ مثل خورشید و زمین یا خورشید و ماه یافت می‌شود و در آن نیروهای گرانشی این دو جسم با نیروی گریز از مرکز یک جسم سوم بسیار کوچک‌تر برابر است. به بیان دیگر، جسم سوم در نقطهٔ لاگرانژ، در تعادل گرانشی به سر خواهد برد [۵]. تروجان‌های مشتری مهم‌ترین جمعیت سیارک‌های تروجان را تشکیل می‌دهند. به نظر می‌رسد تعداد آن‌ها به اندازهٔ سیارک‌های کمربند اصلی باشد. تروجان‌های مریخ و نپتون هم وجود دارند. همچنین ناسا کشف یک تروجان زمین را در سال ۲۰۱۱ گزارش کرد.

▲ شکل ۵ سیارک‌های نزدیک به زمین

ـ سیارک‌های نزدیک زمین؛ این اجرام دارای مدارهایی هستند که از نزدیک زمین می‌گذرند و با توجه به موقعیت مدارهایشان به زیرگروه‌های مختلفی تقسیم می‌شوند. چهار نوع سیارک نزدیک به زمین در ادامه معرفی می‌شوند.

● **آتیراها** سیارک‌هایی که مدار آن‌ها درون مدار زمین قرار می‌گیرد. این سیارک‌ها پس از کشف سیارک ۱۶۳۶۹۳ آتیرا[۲۸]، به این نام خوانده شدند.

● **آتن‌ها** آن دسته از سیارک‌هایی هستند که مدار آن‌ها از زمین عبور می‌کند. این نام‌گذاری پس از کشف سیارک ۲۰۶۲ آتن[۲۹] انجام گرفت.

● **آپولوها** گروه دیگری از سیارک‌های نزدیک به زمین که محور نیم‌قطر بزرگ مدارشان بیش از زمین است. با کشف سیارک ۱۸۶۲ آپولو[۳۰]، نام آپولو بر این دسته از سیارک‌ها ماندگار شد.

● **آمورها** سیارک‌هایی هستند که مدار آن‌ها خارج از مدار زمین و درون مدار مریخ قرار دارد. عنوان آمور پس از کشف سیارکی به این نام سیارک ۱۲۲۱ آمور[۳۱] روی آن‌ها نهاده شد.

بیشتر سیارک‌ها از سنگ، برخی از رُس، سیلیکات و فلزهای مختلفی همچون نیکل و آهن ساخته‌شده‌اند

طبقه‌بندی براساس ترکیب‌ها

مطالعهٔ این دسته‌بندی ما را به دنیای عنصرها دعوت می‌کند و برای ما شرح می‌دهد که سیارک‌ها از چه موادی ساخته شده‌اند. مواد موجود در سیارک به فاصلهٔ شکل‌گیری آن از خورشید بستگی دارند. برخی از سیارک‌ها پس از پدید آمدن، دمای بالایی را تجربه کرده و تا حدی ذوب شده‌اند، آهن به سمت مرکز نشست کرده است و گدازه‌های بازالتی به لایه‌های سطحی سیارک رانده شده‌اند.

سه نوع اصلی از سیارک‌های این طبقه عبارت‌اند از:

ـ سیارک‌های نوع C (سیارک‌های کربنی) رایج‌ترین سیارک‌ها هستند که ۷۵ درصد سیارک‌های شناخته‌شده را شامل می‌شوند. سیمایی تیره‌رنگ دارند و احتمالاً از رُس و سنگ‌های سیلیکاتی تشکیل شده‌اند. نام آن‌ها در زمرهٔ کهن‌ترین اجرام منظومهٔ خورشیدی ثبت شده است. به‌جز هیدروژن، هلیم و دیگر گازهای فرّار که در ترکیب سیارک‌های کربنی حضور ندارند، به نظر می‌رسد که ترکیب‌های آن‌ها شباهت زیادی به خورشید داشته باشد. این سیارک‌ها به‌طور عمده در مناطق بیرونی کمربند سیارکی گردش می‌کنند [۳].

درواقع، منظومهٔ خورشیدی ما در روزهای اولیه، دوران متلاطمی را از سر گذرانده است. مدل‌های نظری این دوره پیش‌بینی می‌کنند در پی شکل‌گیری غول‌های گازی، آن‌ها بر اثر سامانهٔ خورشیدی از کنترل خارج شدند و اجسام کوچک سنگی را از منظومهٔ خورشیدی درونی به مدارهایی دور از خورشید بیرون راندند. این مدل‌ها پیشنهاد می‌دهند که کمربند کوپیر ـ یک ناحیهٔ سرد خارج از مدار نپتون ـ باید شامل کسر کوچکی از اجسام سنگی منظومهٔ خورشیدی درونی، مانند سیارک‌های غنی از کربن (سیارک‌های کربنی) باشد. هم‌اکنون، شواهدی درباره کشف نخستین سیارک کربنی در کمربند کوپیر ارائه شده است [۶].

ـ سیارک‌های نوع S (سنگی) از سیلیکات و نیکل ـ آهن ساخته شده‌اند و ۱۷ درصد از سیارک‌ها را دربر می‌گیرند. روشن‌تر از سیارک‌های تیرهٔ کربنی هستند و قلمروشان در مناطق داخلی کمربند سیارکی است.

ـ سیارک‌های نوع M (فلزی) نیکل و آهن عنصرهای سازندهٔ سیارک‌های فلزی هستند. حدود هشت درصد از سیارک‌های کشف‌شده در این گروه جای دارند. همانند سیارک‌های نوع S، روشن‌تر از سیارک‌های کربنی هستند و در مناطق میانی کمربند سیارکی یافت می‌شوند [۳].

تعداد سیارک‌ها

میلیون‌ها سیارک، همسایه‌های دور و نزدیک زمین ما را تشکیل داده‌اند. دانشمندان ۱/۱ تا ۹/۱ سیارک با قطر بزرگ‌تر از یک کیلومتر را تخمین زده‌اند. این در حالی است که میلیون‌ها سیارک کوچک‌تر نیز وجود دارند. بیشتر سیارک‌های کشف‌نشده به‌قدری کوچک‌اند که اگر همهٔ آن‌ها را روی هم بگذارید کوچک‌تر از ماه خواهند بود، از این رو قابل تشخیص نیستند و بررسی‌های علمی آن‌ها با تلسکوپ‌های زمینی و فضایی پیش می‌رود. دیگر ستاره‌شناسان بر این باورند که مجموع سیارک‌های کل سامانهٔ خورشیدی به بیش از ۱۵۰ میلیون می‌رسد و به علت کشف سیارک‌های جدید، این آمار روندی افزایشی خواهد داشت. به‌طور متوسط، روزانه سه سیارک نزدیک به زمین پیدا می‌شود. تا سال ۲۰۱۵، ۱۳۰۲۴ جرم نزدیک به زمین کشف شده است. ۸۷۵ مورد این اجرام، سیارک‌هایی با قطر یک کیلومتر یا بزرگ‌تر هستند و ۱۶۰۹ شیء در گروه سیارک‌های خطرناک، برای زمین خط و نشان می‌کشند اما به نظر نمی‌رسد که هیچ‌یک از آن‌ها با زمین برخورد کنند.

برخلاف تصور عمومی که ممکن است از تصویر و فیلم‌های علمی ـ تخیلی منشأ بگیرد، بیشتر قسمت‌های کمربند سیارکی، خالی است. براساس گزارش‌های ناسا متوسط فاصلهٔ بین اجسام کمربند سیارکی بیش از یک تا سه میلیون کیلومتر است [۳].

عنصرهای شیمیایی سیارک‌ها

چنان‌که اشاره شد، بیشتر سیارک‌ها از سنگ، برخی از رُس سیلیکات، و فلزهای مختلفی همچون نیکل و آهن ساخته شده‌اند. در سال ۱۹۹۱، فضاپیمای گالیله در مسیر حرکت خود به سمت مشتری از کنار سیارک (۹۵۱) گاسپرا[۳۲] عبور کرد و در این هنگام یک میدان مغناطیسی در اطراف گاسپرا احساس کرد. این بدین معنی است که سیارک احتمالاً از فلز تشکیل شده و به همین دلیل مغناطیسی است [۴].

پژوهشگران، طیف گسترده‌ای از مواد معدنی شامل اُلیوین[۳۳] و پیروکسن[۳۴] را در سیارک‌های مختلف و نیز شهاب‌سنگ‌های فرودآمده روی زمین پیدا کرده‌اند. اغلب سیارک‌ها حاوی مقادیر زیادی کربن هستند که از ارتباط نزدیک آن‌ها با عنصرهای

موجود در خورشید سخن می‌گوید. گفتنی است، سیارک‌ها در لبهٔ داخلی کمربند سیارکی، ماهیتی سنگی دارند، درحالی‌که در لبهٔ بیرونی به دلیل وجود کربن بیشتر، تیره‌تر هستند. گزارش‌ها حاکی از این است که در داخل سیارک‌ها آب و یخ وجود دارد. هرچند سِرِس یک سیارهٔ کوتوله است، فرض بر این است که یک هستهٔ سنگی پوشیده با گوشتهٔ یخی باشد. وستا[۳۵]، دومین جرم بزرگ کمربند اصلی، چه‌بسا از یک هستهٔ نیکل‌ـ آهن، یک گوشتهٔ اُلیوین و یک پوستهٔ بازالت[۳۶] تشکیل شده باشد. همچنین «کاوشگر بامداد» شواهدی از امکان جریان آب در سراسر سطح سیارک وستا در اختیار دانشمندان گذاشت.

روشن است که سیارک‌ها با دنباله‌دارها تفاوت دارند. به‌طور عمده، دنباله‌دارها از جنس سنگ و یخ هستند و معمولاً دُم‌هایی دارند که در نتیجهٔ نزدیک شدن دنباله‌دار به خورشید و تصعید یخ و سنگریزه‌های آن شکل می‌گیرند درحالی‌که سیارک‌ها هیچ دنباله‌ای ندارند حتی اگر در مجاورت خورشید قرار بگیرند. با وجود این، به‌تازگی ستاره‌شناسان، سیارک‌هایی را رصد کرده‌اند که دنباله دارند مانند سیارک P/۲۰۱۰ A۲. به نظر می‌رسد این اتفاق هنگامی رخ می‌دهد که سیارک به دیگر سیارک‌ها برخورد کند و گرد و غبار یا گاز از سطح آن خارج شود و به این ترتیب دنبالهٔ منفرد را خلق می‌کند. عبارت «سیارک‌های فعال» اصطلاحی است که دربارهٔ چنین سیارک‌هایی به کار می‌رود؛ پدیده‌ای نادر که تا سال ۲۰۱۵ فقط ۱۳ مورد از آن‌ها در کمربند اصلی پیدا شده است [۱، ۳].

طیف‌بینی سیارک‌ها

برخی از اجرام آسمانی، ستاره‌ها و گازهای گرم، خود نورشان را تولید می‌کنند و طیف آن‌ها به‌عنوان طیف نشری در نظر گرفته می‌شود در حالی که روشنایی سیارک‌ها بازتاب نور خورشید است. بنابراین، طیف آن‌ها به‌عنوان طیف بازتاب شناخته می‌شود. طیف سیارک‌ها شباهت بسیاری به طیف خورشید دارد. البته به علت وجود مواد معدنی مختلف در سطح یک سیارک، تفاوت‌هایی در انعکاس نور خورشید رخ می‌دهد. به‌طور کلی طیف‌های به‌دست‌آمده از سیارک‌ها، اطلاعات مهمی دربارهٔ ترکیب‌های سطح آن‌ها آشکار می‌کنند. اگرچه ترکیب‌ها عامل اصلی تعیین‌کنندهٔ شکل طیف هستند، عوامل دیگری روی شکل طیف تأثیر می‌گذارند که از آن جمله می‌توان به این موارد اشاره کرد: قرمز شدن طیف به دلیل افزایش زاویهٔ فاز، تاریک و قرمز شدن سطح ناشی از فرسایش فضایی، اندازهٔ ذرات تشکیل‌دهندهٔ سنگ‌پوشه‌ها (رگولیت[۳۷]) و دمای سطح.

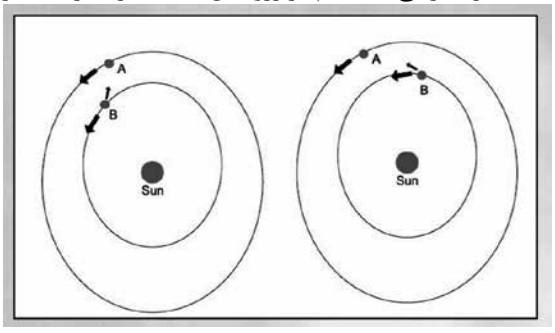
شیب طیفی در طول موج‌های بیشتر از ۵۵/۰ میکرومتر نشان‌دهندهٔ وجود یا فقدان موادی همچون آهن، نیکل یا آن دسته از مواد آلی است که سطح سیارک را قرمز می‌کنند. سیارک سِرِس نمونه‌ای از یک سیارک نوع C کمابیش آبی‌رنگ است و از بررسی طیف آن مشاهده می‌شود که نور آبی (طول موج کوتاه‌تر) بیشتری را در مقایسه با نور قرمز (طول موج بلندتر) منعکس می‌کند.

نخستین بار در سال ۱۹۷۵، چپمن[۳۸]، موریسون[۳۹] و زلنر[۴۰] دسته‌بندی سیارک‌ها را مطرح کردند. آن‌ها همهٔ سیارک‌ها را در سه گروه جای دادند: سیارک‌های نوع C (سیارک‌های کربنی)، سیارک‌های نوع S (اجسام سنگی یا سیلیکاتی) و دستهٔ U که برای بقیهٔ سیارک‌ها در نظر گرفته شد. پس از مدتی، دیوید جیمز ثولن[۴۱] آمریکایی سامانهٔ اصلی طبقه‌بندی سیارک‌ها را جایگزین سامانهٔ قبلی کرد و طبقه‌بندی SMASS ـ که از سرواژه‌های عبارت ترجمه شدهٔ «بررسی طیف‌بینی ریزسیارک‌های کمربند اصلی» گرفته شده است ـ به میان آمد. در آغاز، چهارده نوع سیارک در این طبقه‌بندی قرار می‌گرفت و سپس به ۲۲ نوع گسترش یافت. هرچند دسته‌بندی SMASS براساس طبقه‌بندی ثولن پایه‌ریزی شده، فقط بر مبنای حضور یا عدم حضور ویژگی‌های جذبی در قسمت مرئی طیف استوار است [۷].

تشدید مداری سیارک‌ها زمانی روی می‌دهد که اجسام در حال چرخش، اثر گرانشی معین و دوره‌ای روی یکدیگر اعمال می‌کنند و نسبت دورهٔ تناوبی گردششان به هم، نسبت دو عدد صحیح است

تشدید (رزونانس) مداری

همهٔ اجسام در منظومهٔ خورشیدی ما در امتداد مدارهایی حول خورشید می‌چرخند. این مدارها دایره‌ای نیستند بلکه مسیری بیضی‌شکل دارند. انحراف مدارها از دایرهٔ کامل و میزان کشیدگی آن‌ها به سمت بیضی، با کمیت گریز از مرکز بیان می‌شود. تشدید مداری از مفاهیم مهم در بحث سیارک‌هاست و زمانی روی می‌دهد که اجسام در حال چرخش، اثر گرانشی معین و دوره‌ای روی یکدیگر اعمال می‌کنند و نسبت دورهٔ تناوبی گردششان به هم، نسبت دو عدد صحیح است. به عبارت ساده‌تر، اجرامی که با هم در رزونانس هستند بر مدار یکدیگر



▲ شکل ۶ تأثیر رزونانس مداری دو جسم بر همدیگر

اثر می‌گذارند و اثر گرانشی یکدیگر را تشدید می‌کنند، یعنی توانایی هر کدام از این اجرام در تغییر دادن یا محدود کردن مدار دیگری افزایش می‌یابد. شکل ۶، اثرهای احتمالی تشدید مداری را نشان می‌دهد. در حالت (۱) حرکت جسم B به سمت پایین آهسته‌تر پیش می‌رود که به علت اثر متقابل گرانشی به سمت عقب کشیده می‌شود. در وضعیت (۲)، جسم B به سمت جلو شتاب گرفته است که این اتفاق به دلیل برهم‌کنش با جسم A روی می‌دهد.

در بیشتر موارد، انحراف‌های مداری که ناشی از برهم‌کنش‌های گرانشی دو جرم آسمانی است، مدارهایی ناپایدار ایجاد می‌کنند. گاه رزونانس‌ها می‌توانند پایدار شوند، به‌طوری که اجرام همواره در رزونانس باقی بمانند. یک نمونهٔ برجسته از رزونانس‌های پایدارشده، رزونانس ۲:۳ پولوتو و نپتون است، یعنی زمانی که پولوتون در مدار خود دو دور می‌چرخد، نپتون سه مرتبه مدار خود را طی می‌کند [۱].

برخورد سیارک‌ها با زمین

چقدر احتمال دارد که سیارهٔ ما بر اثر ضربهٔ یک سیارک بزرگ یا یک دنباله‌دار آسیب ببیند؟ زمین و ماه در گذشته بارها از سوی سیارک‌هایی که مدارشان آن‌ها را به منظومهٔ خورشیدی درونی کشانده است، مورد حمله قرار گرفته‌اند. به‌طور متوسط هر پانصد سال یک‌بار، جسمی به اندازهٔ یک زمین فوتبال به کرهٔ زمین برخورد می‌کند و آسیب‌هایی جدی پدید می‌آورد و هر چند میلیون سال یک‌بار یک شیء به نسبت بزرگ در برخورد با زمین، فاجعه‌ای منطقه‌ای یا جهانی به بار می‌آورد. اسناد علمی محکمی در دست هستند که تأیید می‌کنند ضربه‌های یک سیارک، نقش مهمی در نابودی جمعی فسیل‌ها در زمین داشته‌اند. به‌طور گسترده پذیرفته شد که ضربهٔ یک سیارک یا یک دنباله‌دار با قطر دست کم ده کیلومتر در شبه‌جزیرهٔ یوکاتان[۴۲]، که به دهانهٔ چیکسالوب[۴۳] معروف است، نابودی دایناسورها را در پی داشته است.

ما فقط از تعداد انگشت‌شماری از برخوردهای سیاره‌های بزرگ اخیر با زمین اطلاع داریم. در سال ۱۹۰۸ انفجار مهیبی بر فراز جنگلی دورافتاده در نزدیکی رودخانهٔ تونگاسکا[۴۴] واقع در سیبری به وقوع پیوست (به احتمال زیاد بر اثر برخورد یک دنباله‌دار) و در فوریهٔ ۲۰۱۳ بر فراز شهر چلیابینسک[۴۵] روسیه، انفجار یک شهاب‌سنگ به شکستن پنجره‌ها و آسیب‌های بسیاری انجامید. ۲۶ انفجار مشابه رویداد چلیابینسک از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳ ثبت شده است. ناسا می‌گوید هر سال برخورد یک سیارک به اندازهٔ یک اتومبیل با هواکرهٔ زمین، یک گوی آتشین مهم ایجاد می‌کند که پیش از رسیدن به سطح زمین می‌سوزد. اشیای نزدیک به زمین، زنگ خطری برای سیارهٔ امروز ما به شمار می‌آیند. با این حال، برنامه‌های پژوهشی ناسا و آژانس فضایی اروپا، ESA، و سازمان‌های فضایی دیگر، صدها سیارک کمربند اصلی و دنباله‌دار را کشف کرده‌اند که تاکنون هیچ‌کدام تهدیدی برای زمین نداشته‌اند [۳].

دانشمندان مشتاق پیش‌بینی مسیر حرکت سیارک‌ها هستند که بدانند وقتی آن‌ها به زمین نزدیک می‌شوند چقدر می‌توانند خطرآفرین باشند

بنو، سیارک برگزیده

هنگامی که دانشمندان قصد داشتند تحقیق‌های جزئی‌تری را روی یک سیارک آغاز کنند، گزینه‌های بسیاری روی میز بود تا کاوشگر اُسیریس-رکس در آنجا فرود آید اما از میان بیش از پانصد هزار سیارک داوطلب، سیارک بنو انتخاب شد. بی‌شک این گزینش نمی‌تواند تصادفی باشد. در ادامه، بررسی علت‌های این انتخاب، به پرسش‌هایی که در ذهن ماست پاسخ می‌دهد.

● نزدیکی به زمین

برخلاف دیگر سیارک‌های کمربند سیارکی، سیارک بنو در همسایگی مدار زمین قرار گرفته است تا جایی که از آن عبور می‌کند. اجسام نزدیک به زمین (NEO) در فاصلهٔ ۳/۱ AU از خورشید، حول آن می‌گردند. در مأموریت فضاپیمای اُسیریس-رکس که هدف آن جمع‌آوری نمونه و بازگشت به کرهٔ زمین است، در دسترس‌ترین سیارک‌ها که فضاپیما بتواند به آنجا برسد باید در فاصله‌ای بین ۶/۱ AU و ۸/۰ AU قرار داشته باشند و نیز سیارک ایده‌آل از مداری مشابه زمین برخوردار باشد تا با گریز از مرکز و انحراف کمی گردش کند. هنگام انتخاب سیارک‌های داوطلب در سال ۲۰۰۸، از میان هفت‌هزار جرم شناخته‌شدهٔ نزدیک به زمین، فقط ۱۹۲ مدار دارای چنین شرایطی بودند.

● بنو اندازه‌ای مناسب دارد

سیارک‌های دارای قطر کوچک سریع‌تر از آن‌هایی می‌چرخند که قطر بزرگ‌تری دارند. سیارکی با قطر کمتر از دویست متر چنان سرعتی دارد که مواد سست یا رگولیت، از سطح آن به بیرون پرتاب می‌شوند. پس سیارک مورد نظر، سیارکی با قطر بیش از دویست متر است، به‌طوری که یک فضاپیما می‌تواند در کمال ایمنی با آن تماس داشته باشد و نمونهٔ رگولیت کافی را جمع کند. اهمیت تناسب اندازه، ۱۹۲ سیارک را به ۲۶ سیارک کاهش داد.

● بنو، سیارکی قدیمی است

سیارک‌ها بر پایه ترکیب‌های شیمیایی موجود در ساختار خود به گروه‌های مختلفی تقسیم می‌شوند. سیارک‌های اولیه، غنی از کربن هستند و از زمان شکل‌گیری که تقریباً به چهارمیلیارد سال پیش بازمی‌گردد، تغییرات درخور توجهی نداشته‌اند. این سیارک‌ها حاوی مولکول‌های آلی، فرّار و آمینواسیدها هستند و ممکن است منشأ حیات را پی‌ریزی کرده باشد. از ۲۶ سیارک

باقی‌مانـــده، فقـــط پنج مـــورد را سیارک‌های قدیمی و غنی از کربن تشـــکیل می‌دادند که سرانجام از بین آن‌ها بنو انتخاب شـــد. البته دلایل مهـــم دیگری هـــم به این انتخاب کمک کردند.

● بنو از مواد باارزشی پوشیده شده است

کاوش‌هایی کـــه از نزدیک روی ســـیارک بنو انجام شـــد، بشـــر را به‌سوی برنامه‌ریزی‌های دقیق‌تری برای آینده سوق می‌دهد. سیارک‌ها سرشـــار از مـــواد طبیعـــی مانند آهـــن، آلومینیم و فلزهای گران‌بها همچون پلاتین هستند. از این‌رو، برخی از شـــرکت‌ها و حتی کشورها، در حال ایجاد فناوری‌هایی هستند که اجازهٔ استخراج این مواد را به ما بدهند. از همه مهم‌تر، سیارک‌هایی همچون بنو، کلید ســـفر به فضا خواهند بود. اگر بشر، نحوهٔ استخراج هیدروژن و اکسیژن را از آب حبس‌شده در مواد معدنی ســـیارک یاد بگیرد، به تولید سوخت موشک دست می‌یابد. بنابراین، سیارک‌ها می‌توانند روزی به‌عنوان ایستگاه‌های سوخت‌گیری برای روبات‌ها یا مأموریت‌های بشر به مریخ و فراتر از آن، به جهان خدمت کنند.

هر سال برخورد یک سیارک به اندازهٔ یک اتومبیل با هواکرهٔ زمین یک گوی آتشین مهم ایجاد می‌کند که پیش از رسیدن به سطح زمین می‌سوزد

● سیارک بنو رهنمون ما در درک هر چه بیشتر نیروی شگفت‌انگیز خورشیدی است

ستاره‌شناسان محاسبه کرده‌اند که مدار بنو ۲۸۰ متر در سال نســـبت به خورشید جابه‌جا شده اســـت. این تغییر مدار ممکن است به علت پدیده‌ای به نام «اثر یارکوفسکی»[۴۶] باشد؛ فرایندی که در نتیجه آن، نور خورشید یک طرف از یک سیارک کوچک و تاریک را گرم می‌کند، ســـپس بازتابش گرمای جذب‌شـــده از سطح سیارک به چرخش سیارک منجر می‌شود. انرژی گرمای آزادشده، یک سیارک را هم از خورشید دور و هم به آن نزدیک می‌کند. اگر ســـیارک در همان جهت مدار خود، که هم‌جهت با زمین است، بچرخد از خورشید دور می‌شود و اگر مانند سیارک بنـــو، در خلاف جهت مدار خود بگردد، نزدیک‌تر به خورشـــید قرار می‌گیرد. از مهم‌ترین اهداف کاوشـــگر اُســـیریس- رکس اندازه‌گیری اثر یارکوفسکی است تا دانشمندان را در پیش‌بینی تغییرات مکانی بنو و دیگر سیارک‌ها راهنمایی کند.

● نگه‌داشتن سیارک‌ها در قرنطینه

یکی از دلایل مشـــتاق بودن دانشمندان به پیش‌بینی مسیر حرکت ســـیارک‌ها، این اســـت که بدانند وقتی آن‌ها به زمین نزدیک می‌شـــوند چقـــدر می‌توانند خطرآفرین باشـــند و آیا به‌آرامـــی از کنـــار زمین می‌گذرند؟ بنو ســـیارکی از نوع B با قطری حدود پانصد متر اســـت. هر دور سیارک حول خورشید ۶۰۴/۴۳۶ روز (۱/۲ ســـال) طول می‌کشد و هر شش سال در حدود ۰۰۲/۰ واحد نجومی به زمین نزدیک‌تر می‌شـــود. این نزدیکی، بســـتر برخورد ســـیارک بنو با زمین را در اواخر قرن بیست‌ودوم فراهم می‌کند. دانشمندان با توجه به اثر یارکوفسکی تخمین زده‌اند که بنو در ســـال ۲۱۳۵ در مقایســـه با ماه، به زمین نزدیک‌تر می‌شـــود و حتی بین سال‌های ۲۱۷۵ و ۲۱۹۵ تنگاتنگ زمین قـــرار می‌گیرد. بـــا آنکه احتمال برخورد بنو با زمین کم است، با استفاده از داده‌های اُســـیریس- رکس می‌توان بهترین راه را بـــرای انحراف آن و دیگر ســـیارک‌های تهدیدکننده‌ای که کشف می‌شوند، به کار بست.

● کاوشگر اُســـیریس- رکس در حال آماده کـــردن یک هدیه برای جامعهٔ علمی جهان است

نمونه‌هایی از بنو در ۲۴ سپتامبر ۲۰۲۳ به زمین می‌رســـد. پژوهشـــگران یک‌چهـــارم از رگولیت نمونه را بررســـی می‌کنند و بقیه آن در دســـترس دانشمندان سراسر جهـــان قرار می‌گیرد. افزون بر این، مقداری از آن برای آیندگان اندوخته می‌شود تا با استفاده از روش‌هایی که هنوز اختراع نشده به پرســـش‌هایی که تا به حال پرسیده نشده است، پاسخ دهند [۸، ۹].

کشف آب در برخی سیارک‌ها

با استفاده از ماهوارهٔ فروسرخ آکاری[۴۷]، یک گروه پژوهشی برای نخســـتین بار، وجود آب را در مـــواد معدنی آبدار، در تعدادی از سیارک‌ها تأیید کرده‌اند. این کشف، بسیاری از ابهام‌ها را دربارهٔ توزیع آب در منظومهٔ خورشیدی، سیر تکاملی سیارک‌ها و منشأ آب روی زمین، روشن خواهد کرد.

زمین ما یک سیارهٔ آبی است و تنها سیارهٔ منظومهٔ خورشیدی اســـت که وجود آب در ســـطح آن ثابت شده است. با این حال، هنوز نمی‌دانیم که زمین چگونه آب را به دســـت آورده اســـت. بررســـی‌های جدید نشـــان داده‌اند که دیگر اجرام آسمانی در منظومهٔ خورشیدی از شـــکل‌های دیگر آب استفاده می‌کنند. سیارک‌ها یکی از نامزدهای انتقال آب به زمین هستند.

باید توجه داشت که آب به‌صورت مایع روی سطح سیارک‌ها جریان نیافته بلکه به شـــکل مواد معدنی آبدار ذخیره شـــده است که از واکنش‌های میان آب و سنگ‌های بی‌آب در درون سیارک‌ها تشکیل شده است. مواد معدنی آبدار حتی از دمای تصعید یخ پایدارتر هســـتند. بی‌شک با جست‌وجوی این مواد می‌توان فهمید که ســـیارک‌ها آب دارنـــد یا نه. ماهوارهٔ ژاپنی آکاری که در فوریهٔ ۲۰۰۶ به فضا پرتاب شـــد، به یک دوربین فروسرخ مجهز اســـت که امکان دریافت طول‌موج‌های امواج فروســـرخ نزدیک از دو تا پنج میکرومتـــر را فراهم می‌کند. با اســـتفاده از این توانایی ویژه، طیف فروســـرخ نزدیک در ۶۶ ســـیارک به دســـت آمد. این نخســـتین فرصت برای مطالعهٔ ویژگی‌های مواد معدنی آبدار در سیارک‌هایی با طول موج‌های حدود ۷/۲ میکرومتر اســـت. در مشاهده‌ها معلوم شد که مواد

معدنی آبدار به هفده سیارک نوع C مربوطاند. پیش از این، به نظر می‌رسید که سیارک‌های نوع C غنی از آب و مواد معدنی باشند اما سند معتبری در دست نبود. بررسی‌های ماهوارهٔ آکاری، نخستین بار و به‌طور مستقیم حضور مواد معدنی آبدار را در این سیارک‌ها تأیید کرد. شدت جذب هر سیارک در طول موج نزدیک به ۷/۲ میکرومتر با دیگری متفاوت بود. برخی سیارک‌ها، ویژگی‌های جذب مواد دیگری مانند یخ‌آب و مواد غنی از آمونیاک را در ۱/۳ میکرومتر نشان دادند. موضوع مهم دیگری که در این پژوهش‌ها مشخص شد، این بود که مواد معدنی آبدار در سیارک‌های کربنی بر اثر گرم شدن، به‌تدریج آب خود را از دست می‌دهند. انرژی گرمایی می‌تواند در نتیجه طوفان‌های خورشیدی، اثر ریزشهاب‌واره‌ها یا گرمای واپاشی ایزوتوپ‌های پرتوزا فراهم شود. مشخص شد بسیاری از سیارک‌های نوع C از این روند پیروی می‌کنند. از سوی دیگر، سیارک‌های سنگی نوع S برخلاف سیارک‌های کربنی آب ندارند و مواد معدنی آبدار در این‌گونه سیارک‌ها مشاهده نشده است. البته به‌تازگی، با کشف آب در نمونه‌های سیارک نوع S ایتوکاوا[48]، پژوهش‌ها روی این سیارک‌ها جان دوباره‌ای یافته است.

نشانه‌های آب پیداشده در سیارک‌های نوع S احتمالاً از جنس تغییراتی نیست که در ترکیب‌های سنگی سیارک‌های کربنی با آب رخ داده است، بلکه از برخورد با دیگر سیارک‌های آبدار تولید شده است یعنی منشأ آن خارجی است. برخورد سیارک‌ها با یکدیگر گهگاهی روی می‌دهد. در مراحل اولیهٔ تشکیل منظومهٔ خورشیدی تعدادی از اجرام کوچک از جمله سیارک‌ها، بزرگ‌تر از امروز بودند و احتمالاً برخوردهای تصادفی بسیار بیشتر بوده است. از آنجا که زمین، برخورد با بسیاری از سیارک‌ها را تجربه کرده است، به نظر می‌رسد که دست‌کم مقدار اندکی از آب روی زمین رهاورد سیارک‌ها در برخورد با زمین باشد. با بررسی سیارک‌های بیشتر می‌توان قدم مهمی در جهت شناسایی منبع آب در زمین برداشت و از راز چگونگی آغاز زندگی در زمین پرده‌برداری کرد [۱۰، ۱۱].

****

کسی چه می‌داند، شاید سیارک‌ها دیرزمانی است که در پی ایجاد رابطه‌ای دوستانه با یگانه سیارهٔ پرجنب‌وجوش کیهان هستند. پیشکش کردن هدیهٔ گران‌قدری همچون آب به سیارهٔ ما، مهر تأییدی بر حسن نیت آن‌هاست و شاید چون راهی دگر برای این ارتباط نمی‌یابند خود را به زمین و زمان می‌کوبند. به هرحال آسیب‌های نزدیکی بیش از حد آن‌ها، سیارهٔ زیبای ما را به‌شدت می‌ترساند.

از آنجا که زمین، برخورد با بسیاری از سیارک‌ها را تجربه کرده است، به نظر می‌رسد که دست‌کم مقدار اندکی از آب روی زمین رهاورد سیارک‌ها در برخورد با زمین باشد

پی‌نوشت‌ها

1. OSIRIS-Rex
2. Asteroid Bennu
3. Utah
4. Ceres
5. hydrostatic
6. Pallas
7. Olbers H.
8. Ida
9. Dactyl
10. Chariklo
11. Kuiper Belt
12. Oort Cloud
13. (2309) Mr. Spock
14. (9007) James Bond
15. (26858) Mister Rogers
16. centaurs
17. Trojan
18. Ferguson J.
19. Astraea
20. Hygiea
21. Eunomia
22. Wolf
23. Gould
24. Iris
25. Kruger
26. Bower
27. Lagrangian Points
28. Atira
29. Aten
30. Apollo
31. Amor
32. Gaspra
33. olivine
34. pyroxen
35. Vesta
36. basalt
37. regolith
38. Chapman
39. Morrison
40. Zellner
41. Tholen DJ.
42. Yucatan
43. Chicxulub
44. Tunguska
45. Chelyabinsk
46. Yarkovsky effect
47. AKARI
48. Itokawa

منابع

1. Moltenbrey, M. *"Dawn of Small Worlds: Dwarf Planets, Asteroids, Comets"* Springer, **2015**.
2. coolcosmos.ipac.caltech.edu/ask/301-What-is-an-Astronomical-Unit-
3. phys.org/news/2015-09-asteroids.html
4. Pasachoff, J.M.; Filippenko, A. *"The Cosmos: Astronomy in the New Millennium"* Thomson-Brooks/Cole, **2007**.
5. www.space.com/30302-lagrange-points.html
6. Seccull, T. et al. *The Astrophysical Journal*, **2018**, 855, 1.
7. Dymock, R. *"Asteroids and Dwarf Planets and How to Observe Them Astronomers Observing Guides"* Springer Science & Business Media, **2010**.
8. www.asteroidmission.org/why-bennu/
9. solarsystem.nasa.gov/news/517/why-bennu-10-reasons/
10. Usui, F. *"AKARI/IRC near-infrared asteroid spectroscopic survey: AcuA-spec"* Publications of the Astronomical Society of Japan, 71, 1-41, **2018**.
11. Jin, Z.; Bose, M. *Science Advances*, **2019**,5, 1.