بررسی جو سیاره زهره

روح اله لطفی[1]

چکیده

در این مقاله تاریخچه تحول جو زهره و عوامل مؤثر آن گردآوری‌شده است. جو اولیه زهره متشکل از گازهای هیدروژن و هلیوم بوده است، گرانش ضعیف، گرمای حاصل از نزدیکی به خورشید و پدیده گلخانه‌ای موقعیت فرار گازهای سبک‌تر از جو را فراهم کرده‌اند، فعالیت آتش‌فشانی در سطح سیاره، گازهای دیگری به جو افزوده است که امروزه جو متفاوتی نسبت به جو اولیه در سیاره زهره مشاهده می‌شود.

بررسی داده‌های فضاپیمای اروپایی ونوس اکسپرس در سال ۲۰۰۶ م وجود ابرهای حاوی قطرات اسیدسولفوریک را نشان داد، اختلاف شدید دما بین لایه‌های بالا و پایین ابرهای جو زهره موجب همرفت گرما در دو نیمکره جنوبی و شمالی سیاره در مسیر سلول هادلی شده است. ابرهای جو زهره نورهای تابشی خورشید را بازتاب می‌کند و پرتوهای فروسرخ تابشی از سطح سیاره را به دام انداخته و گرمایش سیاره را در پی دارد.

واژگان کلیدی: سیاره زهره، جو زهره، تحول جو سیارات.

۱. مؤسسه آموزش عالی عبدالرحمن صوفی رازی، زنجان، ایران، Roohollah_62@yahoo.com

مقدمه

جو زهره

زهره سیاره دوقلوی خواهر زمین است [۱]. باوجود شباهت زهره با زمین در اندازه و ساختار فیزیکی، جو زهره از جو زمین کاملاً متفاوت است. جو زهره بسیار عظیم و با جرم $۵/۳\times۱۰^{۲۳}$ کیلوگرم است.
جو زهره حاوی دی‌اکسید کربن، نیتروژن و گازهای دیگر به مقدار ناچیز است، ولی جو زمین دارای نیتروژن، اکسیژن، آرگون و مقدار ناچیز از گازهای دیگر است.

سیاره زهره با مشخصات درج‌شده در جدول (۱) از سیارات خاکی منظومه شمسی است [۱,۲,٤,٥,۷,۸,۹]. جو سیارات منظومه شمسی در ابتدای پیدایش از گازهای هیدروژن و هلیوم تشکیل‌شده است. در سیارات خاکی، نزدیکی به خورشید عامل افزایش دمای سطح، فعالیت‌های آتش‌فشانی و گرانش ضعیف سیاره عوامل تغییر جو اولیه

جدول ۱: مشخصات فیزیکی سیاره زهره						
جرم (کیلوگرم)	شعاع (کیلومتر)	شتاب گرانشی	شعاع مداری (MKm)	دوره تناوب وضعی	دوره تناوب انتقالی	سرعت فرار
$۴/۸\times۱۰^{۲۴}$	۶۰۵۲	$۸/m/s^{۲}۸۷$	۱۰۷/۶	۲۴۳ روز	۲۲۵ روز	۱۰/Km/s۳۶

وجود گاز دی‌اکسید کربن باعث پدیده گلخانه‌ای قوی شده و دمای سطح زهره را تا ٤٦۷ درجه سانتی‌گراد بالابرده است [۲]. در ارتفاعات جو زهره، ابرهای حاوی قطرات اسیدسولفوریک به‌شدت نور خورشید را بازتاب می‌کند و کمترین شار گرمایی از طرف خورشید به‌صورت مستقیم وارد سطح زهره می‌شود [۱,۲,۳]. بازتاب نور توسط ابرهای جو زهره سبب شده از دید ناظر زمینی، زهره درخشان‌ترین جرم آسمانی بعد از ماه شناخته شود [۲,٤]. مدارگردش زهره به دور خورشید نسبت به سایر سیارات با خروج از مرکز ۰/۰۰۷ به دایره نزدیک‌تر است [٥,٦].
با توجه به اینکه سیارات منظومه شمسی در جهتی که به دور خورشید در حال چرخش هستند در همان جهت به دور خود در حال گردش هستند یعنی سیارات حرکتی روبه‌جلو دارند ولی سیاره زهره برخلاف سایر سیارات در خلاف جهت چرخش به دور خورشید (در جهت حرکت عقربه‌های ساعت) به دور خود می‌چرخد[۱]. دوره تناوب حرکت وضعی زهره ۲٤۳ روز است که نشانگر حرکت بسیار کند و آرام زهره است [۱,۲,٤,٥,٦].
زهره همانند زمین دارای ساختار جامد و هسته حاوی آهن است، پس زهره می‌تواند دارای میدان مغناطیسی باشد. سیاره زهره با حرکت بسیار کند مانع بزرگ مکانیسم خودالقایی و هسته‌ای به‌مراتب کوچک‌تر از هسته زمین، میدان مغناطیسی بسیار ضعیف در حدود یک درصد میدان مغناطیسی زمین را دارد [٤,٥,۷].

سیارات خاکی هستند، طوری که گازهای سبک‌تر از جو سیارات فرار کرده‌اند و در اثر فعالیت‌های آتش‌فشانی گازهای دیگری به جو سیارات افزوده‌شده است [٥].

جو زهره متشکل از ۹٦/٥ درصد دی‌اکسید کربن، ۳/٥ درصد نیتروژن و گازهای دیگر مانند نئون، آرگون، منو کسید کربن، بخارآب و ... به مقدار ناچیز است. کشف نئون و آرگون در جو اولیه زهره به مقدار چند صد برابر مقدار آن در جو زمین شگفت‌آور بوده است که اغلب نظریه‌ها به این استوار است که عناصر سبک‌تر اولیه از هیدروژن تا آرگون براثر گرمای خورشید از سیارات درونی منظومه شمسی گریخته‌اند [۸].

تاریخچه و تکامل جو زهره

زهره دنیایی تیره و خشن از فعالیت‌های آتش‌فشانی همراه با جو خفه‌کننده دارد [٦]. شناخت زهره به زمان بابلی‌ها بازمی‌گردد که هومر[۲] شاعر و حماسه‌سرای یونان باستان زهره را در اشعار خویش به‌عنوان زیباترین سیاره و همنام با الهه زیبایی (ونوس) می‌ستاید [٤]. گالیله در سال ۱٦۱۰ میلادی دوربین ساده خویش را به‌سوی زهره نشانه رفت و سیاره زهره را به چشم مسلح دید. در سال ۱٦٤٥ میلادی توسط اف. فونتانا[۳] نخستین نقشه زهره تهیه گردید ولی چیزهایی را که ظاهراً در سطح زهره دیده بود به نام اقیانوس‌ها و خشکی‌ها در

۱. با توجه به صحبت انجام‌شده با آقای دکتر ثبوتی، نظر ایشان بر این بود که علت این‌گونه حرکت زهره هنوز مشخص نشده است و یکی از پدیده‌هایی است که در پیدایش منظومه شمسی اتفاق افتاده است.

2. Homer
3 .F.Fontana

نقشــه خود منعکس نمود. در سال ۱۷٦۱ میلادی ستاره‌شناس روسی ام.و.لومونوســف[1] هنگام عبور ســیاره از برابر خورشید، هاله‌ای در پیرامون قرص زهره مشــاهده نمود و ازاین‌رو به وجود جو زهره پی برد. در ســال ۱۹٦۱میلادی فضاپیمای ونرای ۱[2] شــوروی و در سال ۱۹٦۲میلادی فضاپیمای مارینــر ۲[3] آمریکا زهره را رصد کردند [٤]. فضاپیمای مارینر ۲ با ابزارهای در دسترس خود، تابش‌های گسیل‌شده از سیاره زهره را در طول‌موج‌های ۱/۳٥cm و ۱/۹cm اندازه گرفت که جو زهره در برابر هردوی این طول‌موج‌ها شــفاف است. با توجه به‌شدت تابش در این دو طول‌موج دریافتند که دمای سطح زهره باید بالاتر از ٤۰۰ درجه سانتی‌گراد باشد.

در ســال ۱۹۷۰ میلادی توســط فضاپیمای ونرای ۷ مشخص گردید که ســطح زهره دمــای تقریباً ثابــت ٤٦۰ درجه ســانتی‌گراد را دارد [۲,٦]. یافته بســیار مهم فضاپیماهای ارســالی به زهره این اســت که گاز دی‌اکســید کربن بیشــترین مقدار گاز موجود در جو را به خود اختصاص داده است.

بخشــی از جو اولیه هر دو ســیاره از فعالیت‌های آتش‌فشــانی بوده است، گازهایی که غالباً بخارآب، دی‌اکسید کربن و دی‌اکسید گوگرد بوده است. با توجه به شباهت فیزیکی زهره و زمین دو سؤال مطرح می‌شود [۲,٦]:

۱- چرا گاز دی‌اکســید کربن در جو زهره بیشــترین مقدار را دارد ولی در جو زمین مقدار بسیار اندکی دارد؟

۲- چرا آب در زمین به شــکل‌های مختلف یافت می‌شود ولی در سطح زهره اثری از بخارآب نیست؟

پاســخ پرسش نخست این است که درواقع دی‌اکسید کربن هنوز هم در زمین فراوان یافت می‌شــود اما بیشــتر آن در اقیانوس‌ها حل‌شده است یا در سنگ‌های کربناتی که در اقیانوس‌ها شکل می‌گیرند وجود دارد. در پاسخ پرسش دوم، همانند زمین مقادیر زیاد دی‌اکسید کربن در اقیانوس‌های زهره حل‌شده بوده و سنگ‌های کربناتی در آن وجود داشــته اســت. به علت نزدیکی ســیاره زهره به خورشید آن‌قدر آب اقیانوس‌ها تبخیر شده است که لایه ضخیمی از بخارآب جو سیاره را پوشانده شده است.

بخارآب از گازهای گلخانه‌ای اســت که باعــث به دام انداختن گرما در ســیاره زهره شــده، فشــار بخارآب، آب اقیانوس‌های زهره را در حالت مایع نگه‌داشــته اســت. بعد از چند صد میلیون سال با افزایش فعالیت‌های هســته‌ای خورشید شار انرژی خروجی آن افزایش یافت و موجب بالا رفتن دمای ســطح زهره تا حدود ۳۷٤درجه سانتی‌گراد شــد، بالاتر از این دما، فشــار جو دیگر نگهدار حالت مایع آب نبود. پس با افزایش تبخیر آب در اثر افزایش دما، پدیده گلخانه‌ای گریزان[4] به وجود آورد. این پدیده موجب تسریع فرآیند تبخیر آب شده است و بعد از ناپدید شــدن آب در ســطح زهره سازوکار حذف دی‌اکسید کربن از بین رفت و جو امروزی زهره به وجود آمد [۲].

با این توصیف که دی‌اکســید کربن از گازهای گلخانه‌ای است، پس دمای ســطح زهره می‌باید تا بی‌نهایت افزایــش می‌یافت [۲]. در اثر تابش نور فرابنفش خورشــید، مولکول‌های دی‌اکســید کربن CO_2 به مولکول‌های منوکســیدکربن CO و اتم‌های اکســیژن O شکسته می‌شــوند. اتم‌های اکســیژن O باهم ترکیب می‌شوند و مولکول‌های اکســیژن O_2 به وجود می‌آیند. توســط اتم‌های کلــر Cl موجود در ترکیبــات جوی مانند کلریــد هیدروژن HCl ســاز کار ترکیب اتم اکســیژن، مولکول‌های اکســیژن و منو کسید کربن شروع می‌شود که دوباره دی‌اکسید کربن به وجود می‌آید (مشابه اثر کلروفلوئوروکربن‌ها در لایــه ازن زمین). با این مکانیســم دمای ســطح زهره تا بی‌نهایت افزایش نمی‌یابد. به علت تراکم بالای جو در سطح زهره انتقال گرما به‌راحتی صــورت نمی‌گیرد، بدین ترتیب در طول شــبانه‌روز دمای تقریباً ثابتی در سطح زهره مشاهده می‌گردد [۲,٦].

ابرهای جو زهره

حدود ٤ میلیارد ســال پیش که زهره و زمین جوان بودند جو این دو ســیاره شبیه به هم بوده است، اما امروزه جو زهره جرمش ۱۰۰ برابر جرم جو زمین شــده است؛ جو زهره آن‌قدر ضخیم شده است که از روی سطح سیاره ستارگان قابل‌رؤیت نیستند. از دید ناظر زمینی زهره درخشــان‌ترین جرم آسمانی بعد از ماه است طوری که در پرنورترین حالت قدر[2] آن به ٤/۸- می‌رسد [۱].

بر فراز سطح زهره تا ارتفاع حدوداً ٤۸ کیلومتری از سطح زهره، جو شفافی نســبت به نور خورشــید قرار دارد، بعدازآن تا ۲۰ کیلومتری [۲,۱] ابــر ضخیمــی با بازتاب بســیار بالا و حاوی غبــار و محلول اسیدســولفوریک با غلظت ۷٥٪ دور سیاره را فراگرفته است [۱,۲,۳] که از رســیدن نور خورشید به سطح سیاره جلوگیری می‌کند و سیاره زهره را همیشــه تیره‌وتــار نگه می‌دارد [۱]. در ســال ۱۹۷٤م وجود ابرهای جو زهره، ترکیب شیمیایی و نحوه حرکت آن‌ها توسط مارینر ۱۰ آمریکا مشخص شد [۸].

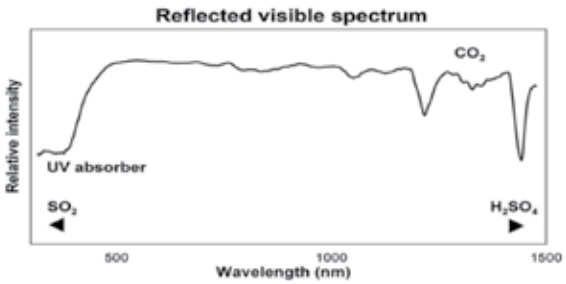
اندازه‌گیری‌های فضاپیمایی نشان می‌دهند که گوگرد نقش اساسی در جو زهره بــازی می‌کند [۲]. در گازهای موجود در ابرهای جو زهره SO_2 پیشــرو است که منبع اصلی آن از سولفورهای کربن دار COS

---

۱. در پدیده گلخانه‌ای گازهای گلخانه‌ای عامل افزایش دما می‌شوند ولی با توجه به اینکه افزایش دما خود موجب آزاد شدن گازهای گلخانه‌ای از آب اقیانوس شده است می‌گوییم افزایش دما عامل افزایش دماست که این پدیده به پدیده گلخانه‌ای گریزان مشهور است.

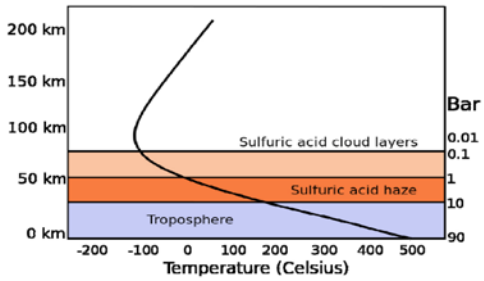
۲. قدرمقیاسی عددی از روشنایی ستارگان از دید ناظر در زمین است. هرچه عدد آن کمتر باشد نورانی بودن ستاره بیشتر است. به روش یونانیان کم نورترین ستاره دارای قدر ششم است.

سطح سیاره است. COS به‌راحتی به بالای جو منتقل می‌شود و با استفاده از اکسیژن به‌دست‌آمده از فتولیز CO_2 به ترکیب SO_2 می‌رسد [۳,٦]. گوگرد با عناصر دیگر ترکیب می‌شود و گازهایی مانند دی‌اکسید گوگرد SO_2، سولفید هیدروژن HS و اسیدسولفوریک H_2SO_4 را پدید می‌آورد [۲,۳,۱۰]. با توجه به دمای زیاد سطح سیاره زهره و ارتفاع زیاد ابرها، باران‌های اسیدی به وجود آمده در ارتفاع‌های بالاتر تبخیر می‌شود و به سمت فضا برمی‌گردد. اگر باران اسیدسولفوریک به سطح زهره می‌رسید، زهره را تبدیل به محیطی می‌کرد که باوجود اسیدسولفوریک واکنش‌های شیمیایی در آن به‌راحتی انجام می‌گرفت [۲].



شکل ۱: نمودار طیف نورهای بازتابی از جو سیاره زهره

با توجه به شکل (۱) مشاهده طیف بازتابی از زهره در نزدیکی طول‌موج ۱μm چند ویژگی قابل‌توجهی را ارائه می‌کند. در طول‌موج‌های نزدیک ۵۰۰nm طیف تختی مشاهده می‌شود. در پایین‌تر از این طول‌موج یک جذب‌کننده ناشناخته‌ای بازتاب را بسیار شدید کاهش می‌دهد. در طول‌موج حدوداً ۳۰۰nm گاز جذاب SO_2 قرار دارد. جذب گازی دیگری که توسط CO_2 در بالای طول‌موج ۱μm انجام می‌گیرد جذب را به‌شدت افزایش می‌دهد. ذرات ابرهای حاوی اسیدسولفوریک نیز در نزدیکی طول‌موج ۲μm ویژگی‌های جذب‌کننده تولید می‌کند [۳]. جذب نور آبی توسط ابرهای جو، سیاره زهره به چشم زردرنگ دیده می‌شود. جذب طول‌موج‌های بالاتر از فرابنفش الگوی ابرها را مشخص می‌کند [٦].



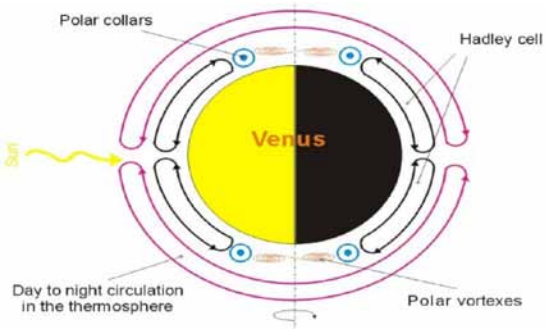
شکل ۲. نمودار بررسی دما و فشار جو سیاره زهره با تغییر ارتفاع

ابرهای زهره در سه لایه مرتفع قرار دارند. لایه ابرهایی در ارتفاع بین ٦۸ تا ۵۸ کیلومتری، لایه ابرهای چگال در ارتفاع ۵۸ تا ۵۲ کیلومتری و لایه ابرهای چگال‌تر در ارتفاع ۵۲ تا ٤۸ کیلومتری قرار دارند [۲,۷]. ابرهای همیشگی زهره مانع رسیدن بخش بزرگی از انرژی خورشیدی به این سیاره می‌شود و بیشتر انرژی رسیده به سمت فضا بازتاب می‌شود، این پدیده به‌خودی‌خود موجب سرد شدن سطح زهره می‌شود.

برخی دانشمندان بر این باور بودند که این سرد شدن اثر گرمایشی پدیده گلخانه‌ای را می‌تواند خنثی کند و دمای سطح زهره می‌تواند تا دمای زیر نقطه‌جوش آب برسد. در این صورت سیاره زهره اقیانوس‌های آبگرم و احتمالاً حیاتی به شکل گیاهان گرمسیری می‌داشت [۲]؛ ولی با توجه به دمای سطح زهره امکان این باور از بین رفته است.

جو زهره تا ارتفاع ۱۰۰ کیلومتری از سطح سیاره گسترش‌یافته است که با توجه به نمودار شکل (۲) در ارتفاع‌های مختلف دماهای متفاوتی وجود دارد [۹].

در بالاترین ارتفاع جو دما بین ۳۷ درجه سانتی‌گراد و ۱٤۳- درجه سانتی‌گراد مشاهده می‌شود. دمای جو از ۱۰۰- درجه سانتی‌گراد در ارتفاع ۱۰۰ کیلومتری تا دمای ۱۰- درجه سانتی‌گراد در سطح بالایی ابرهای جو (٦۸ کیلومتری از سطح سیاره) افزایش می‌یابد. دما از لایه بالایی ابرها با شیب بسیار تندی شروع به افزایش می‌کند که در سطح سیاره زهره دما به حدود ٤٦۷ درجه سانتی‌گراد می‌رسد [۹].



شکل ۳: چرخه همرفتی گرما در جو سیاره زهره

با توجه به شکل (۳) گازهای نواحی استوایی سیاره زهره گرما را از خورشید می‌گیرند و به سمت قطب‌ها پیش می‌روند که با سرد شدن در نواحی قطب‌ها به‌سوی ارتفاع‌های پایین‌تر حرکت می‌کنند و دوباره به منطقه استوا برمی‌گردند که این روند همرفتی در دو واحد همرفتی بزرگ، یکی در نیمکره جنوبی و دیگری در نیمکره شمالی رخ می‌دهد

که مسیر همرفتی را سلول‌های هادلی[1] می‌نامند [۲,۷,۸].
عکس‌برداری‌ها با نور فرابنفش توسط فضاپیمای مارینر ۱۰ آشکار کرده است که قله‌های این ابرها در مدل‌های مشابه به تندبادهای زمین به بالای جو جریان می‌یابند، ابرهایی که مانند فرفره با سرعت تقریباً ۳۶۰ Km/hr می‌چرخند استوا را احاطه می‌کنند [۸] که این سرعت برای دور زدن سیاره در ٤ روز کافی است [٦]. سرعت حرکت ابرها در سطح سیاره بسیار کند است که به این دلیل تراکم جو در سطح سیاره بسیار بالا است [۲]. تراکم بالای جو در سطح سیاره باعث شده است که انتقال گرما در روز و شب بسیار کند انجام گیرد و دمای سطح زهره مقدار تقریباً ثابتی دارد [۲]. بررسی‌های مدارگرد اروپایی ونوس اکسپرس[2] در سال ۲۰۰٦ م نشان داد که گرداب[3] بسیار فعال و پایداری در سمت قطب‌های سیاره زهره وجود دارد که علت پیدایش این گرداب‌ها تفاوت شدید دمایی در جو سیاره زهره است [۱]. مشاهدات VIRTIS[4] نشان می‌دهد که این گرداب ممکن است تا پایین‌ترین لایه ابرها در حدود ۵۰ کیلومتری گسترش یابد. این گرداب ۱۰ کلوین گرم‌تر از طوق[5] قطبی است و ممکن است در سلول هادلی تا عرض‌های جغرافیایی پایین‌تر گسترش یابد [۳].

نتیجه‌گیری

جو اولیه زهره همانند بقیه سیارات خاکی دچار تغییراتی شده است، تغییرات جو زهره گرمایش و از دست دادن آب در سطح زهره را در پی داشته است. فعالیت‌های آتش‌فشانی با افزایش گازهای گلخانه‌ای و افزایش شار خروجی انرژی خورشیدی دمای سطح زهره را تا ٤٦٧ درجه سانتی‌گراد بالابرده است و این افزایش دما با حذف مکانیسم حل دی‌اکسید کربن موجب افزایش دما شده است. مطالعه زهره فرصت مناسبی است برای درک آینده سیاره‌ای همانند زمین که می‌تواند در اثر گرمایش آب خود را از دست بدهد.
در پایان از راهنمایی‌ها و مشارکت بی‌دریغ جناب آقای دکتر یوسف ثبوتی[6] جهت تدوین و نگارش این مقاله، کمال سپاس و قدردانی را تقدیم می‌کنم. این مقاله به‌صورت شفاهی در دومین همایش منطقه‌ای گرمایش زمین در دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان در آبان ماه ۹۳ ارائه‌شده است.

وب‌سایت‌های بازدید شده:

http://en.wikipedia.org/wiki/Atmosphere_of_Venus
http://www.space.com/18527-venus-atmosphere.html

منابع و مآخذ

[۱]. کوپر، ه.، هنبست،ن. (۱۳۸۸). "فرهنگ‌نامه نجوم و فضا"، مترجم: شادی حامد آزاد، چاپ دوم، نشر طلایی، تهران، ۱۲٦-۱۳۲.
[۲]. آفریدمن، ر.، کافمان، و. جی.(۱۳۹۱)."شناخت عالم"، ترجمه شهاب صفری، چاپ نخست، نشر پژواک، تهران، ۲٤۰-۲۵۹.
[3].Hueso,R., Santiago, P., Hoyos, E., Agust´In S., Lavega, E., J.Peralta. "The Atmosphere Of Venus: Winds And Clouds Observed by V irtis" Venus Express, F´ısica Aplicada I, Escuela Superior de Ingenier´ıa, Universidad del Pa´ıs Vasco,Alda. Urquijo, Bilbao, SPAIN.
[٤]. مور، پاتریک، هانت، گری. (۱۳۷۲). "اطلس منظومه خورشیدی"، مترجم: عباس جعفری، سازمان جغرافیایی کارتوگرافی گیتاشناسی، تهران، ٦۲-۷٦.
[۵]. مایردگانی.(۱۳٦۱)."نجوم به زبان ساده"، مترجم: محمدرضا خواجه پور، ویراست سوم، سازمان جغرافیایی کارتوگرافی گیتاشناسی، تهران، ۲۸٤-۲۹٤.
[6].Gierasch, P J., Yung, Y L. (2003)."Venus", Cornell University, Ithaca, NY, USA, California Institute of Technology, Pasadena, CA, USA.
[7].Donahve, T.M., Russell, C.T. (1995), "The Venus Atmosphere and Ionosphere and their Interaction With the Solar Wind Overview", University of Michigan, University of California at Los Angeles.
[۸]. دیکسون، رابرت تی (۱۳۸۲)."نجوم دینامیکی"، مترجم: احمد خواجه نصیر طوسی، مرکز نشر دانشگاهی، تهران، ۲۲٦-۲۱۲.
[۹]. زیلیک و اسمیت. (۱۳۷٦)."اخترفیزیک مقدماتی"، مترجم: جمشید قنبری و تقی عدالتی، چاپ هفتم، دانشگاه امام رضا (ع)، مشهد، ۱۸۵-۱۹۷.
[10]. Helmut,R.,Kasting,J.F., Chassefière,E.,Johnson R.E., Kulikov, Yuri N.,Tian, F."Atmospheric Escape and Evolution of Terrestrial Planets", Satellites Springer Science &Business Media B.V. 2008.

1.Hadley cell
2.Venus Express
3. Vortex
4.Visible and Infrared Thermal Imaging Spectrometer
5. Collar
٦. رئیس پژوهشکده تغییر اقلیم و گرمایش زمین زنجان