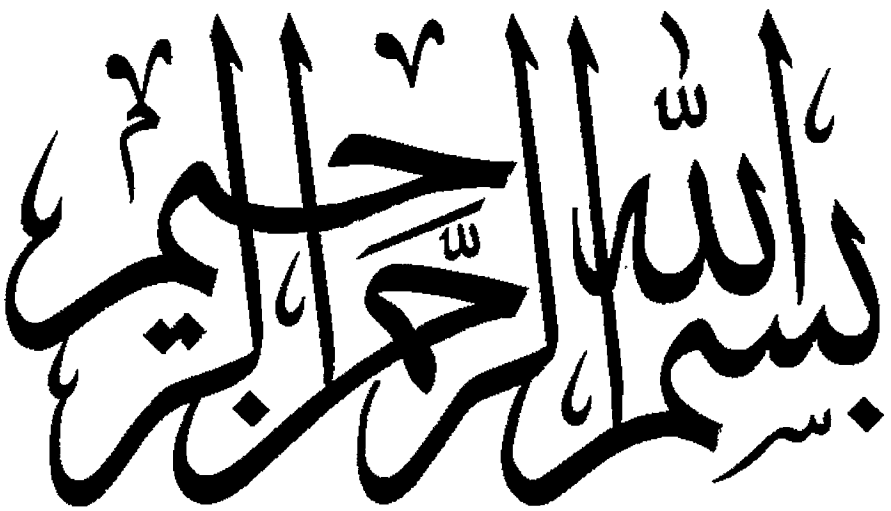


١١٢٢٤٩

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
مرکز تحصیلات تکمیلی در علوم پایه
گاوازنگ - زنجان

مطالعه پارامترهای اپتیکی جو زنجان با استفاده از شید سنج خورشیدی

پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد

علی بیات

استاد راهنما: دکتر حمید رضا خالصی‌فرد

۱۳۸۸/۱۲/۱۲

شهریور ۱۳۸۷

۱۱۲۲۴۶

تقدیم به

روح بلند پدرم و مادر عزیزم

قدردانی و تشکر

از استاد خوبم جناب آقای دکتر خالصی‌فرد به خاطر گرمی و سخاوتی که در کارشان دارند، بابت زحمتی که در این مدت برای من کشیدند و درس‌های خوبی که از ایشان یاد گرفته‌ام، صمیمانه سپاس گذارم.

از اساتید خوبم در مرکز تحصیلات تکمیلی، دانشگاه ارومیه و دانشگاه زنجان که کلاس‌های درس پرشور و پرباری با ایشان داشتم و نیز از دکتر ثبوتی و دکتر خواجه‌پور و همه‌ی اساتید و کسانی که امکانات علمی و محیط گرم و سالمی را در مرکز بر پا کرده‌اند، تشکر می‌کنم.

برای روح پدرم که همیشه مشوق من در امر تحصیل بوداند آرزوی آرامش دارم. از مادر عزیزم و برادرهای خوبم و خواهر مهربانم که محیطی آرام و شاد را برای من مهیا کرده‌اند، سپاسگزارم.

از دوستان خوب هم گروهی به خاطر هم فکری‌ها و کمک‌هایی که در کارم به من کرده‌اند و جلسات مفیدی که با هم داشته‌ایم، تشکر می‌کنم.

چکیده

در این پایان نامه ضخامت اپتیکی جو زنجان از مهر ۱۳۸۵ تا مهر ۱۳۸۷ توسط شیدسنج خورشیدی در ۸ کانال طول موجی بررسی شده است. محل اندازه‌گیری دارای طول جغرافیایی ۴۸/۵۷ درجه شرق گرینویچ، عرض جغرافیایی ۳۶/۷ درجه نسبت به استوا و ارتفاع از سطح دریای آزاد آن ۱۸۰۵ متر است. داده‌برداری به طور روزانه از طلوع تا غروب خورشید به وسیله‌ی شیدسنج خورشیدی در مد خودکار انجام می‌شود. شیدسنج خورشیدی دارای دو مد اصلی خورشید و آسمان است. در مد خورشید، شدت نور مستقیم خورشید توسط شیدسنج در تمامی طول موج‌ها اندازه‌گیری می‌شود. از اندازه‌گیری در مد خورشید می‌توان پارامترهای اپتیکی مانند عمق اپتیکی هواویزها، میزان ستونی بخار آب و نمای آنگستروم را به دست آورد. در مد آسمان نور پراکنده شده از ذرات موجود در جو در زوایای مختلف اندازه‌گیری می‌شود. با استفاده از داده‌های به دست آمده از مد آسمان اطلاعات مهمی مانند توزیع اندازه ذرات و خواص اپتیکی هواویزها چون تابع فازی و بازتاب پراکندگی یگانه را می‌توان به دست آورد.

در این تحقیق تنها از اندازه‌گیری‌های مد خورشید استفاده شده است. از این داده‌ها عمق اپتیکی هواویزها، میزان ستونی بخار آب و ضریب نمای آنگستروم به دست آمده‌اند. بیشترین (کمترین) میزان هواویزها در ماه‌های فروردین و اردیبهشت (مهر و دی) و همچنین بیشترین (کمترین) میزان ستونی بخار آب در ماه‌های مرداد و شهریور (دی، بهمن و اسفند) مشاهده شده است. ضریب نمای آنگستروم نشان می‌دهد که اغلب هواویزهای منطقه زنجان درشت دانه هستند. ضریب α_2 نشان می‌دهد که اغلب هواویزها در مد درشت‌دانه هستند و ضریب $\alpha_2 - \alpha_1$ نشان می‌دهد که ۷۰ درصد از داده‌ها در مد درشت‌دانه‌اند (اندازه ذرات بزرگتر از ۰.۵ میکرون) و ۳۰ درصد در مد ریزدانه (اندازه ذرات کوچکتر از ۰.۵ میکرون) هستند.

مقایسه داده‌های شهر زنجان با داده‌های شبکه AERONET نشان می‌دهد که هواویزهای این منطقه از دو منشاء آلودگی شهری/صنعتی و گردوغبار ناشی می‌شوند که شهری/صنعتی ۵۰ درصد هواویزهای گردوغباری هستند.

فهرست

چکیده . . . . . پنج

مقدمه . . . . . ده

۱ هواویزها و تأثیر آنها بر جو زمین

۱.۱ مقدمه ۱

۲.۱ انواع هواویزها ۳

۳.۱ تأثیر هواویزها بر روی جو زمین ۹

۱.۳.۱ تأثیر مستقیم ۹

۲.۳.۱ تأثیر غیر مستقیم ۱۱

۴.۱ امکانات اندازه‌گیری جدید ۱۳

۲ مبانی نظری، معرفی شید سنج خورشیدی و الگوریتم‌های اندازه‌گیری

۱.۲ جذب و پراکندگی تابش خورشیدی توسط اجزای سازنده جو ۱۶

۱.۱.۲ پراکندگی ۱۸
۲.۱.۲ پراکندگی ریلی ۱۹
۳.۱.۲ پراکندگی می ۲۱
۲.۲ قانون بیر–لامبرت ۲۲
۳.۲ بدست آوردن ثابت درجه بندی به روش لانگلی ۲۴
۴.۲ توضیح در رابطه با پارامتر میزان هوا ۲۴
۵.۲ حرکت خورشید در فضا ۲۶
۱.۵.۲ مدار زمین ۲۶
۲.۵.۲ زمان ۳۰
۳.۵.۲ روز خورشیدی ۳۱
۴.۵.۲ معادله‌ی زمان ۳۲
۵.۵.۲ مختصات خورشید ۳۵
۶.۵.۲ مختصات محلی خورشید ۳۷
۶.۲ الگوریتم‌های اندازه‌گیری ۳۹
۱.۶.۲ الگوریتم به دست آوردن عمق اپتیکی هواویزها ۳۹
۲.۶.۲ عمق اپتیکی ریلی ۴۱
۳.۶.۲ الگوریتم بدست آوردن بخار آب ستونی ۴۴
۴.۶.۲ به دست آوردن ثابت درجه بندی برای طول موج ۹۳۶ نانومتر ۴۷
۵.۶.۲ الگوریتم به دست آوردن ضریب آنگستروم ۴۸

۷.۲ معرفی دستگاه شیدسنج خورشیدی ۵۱
۱.۷.۲ اجزای اصلی تشکیل دهنده‌ی دستگاه ۵۱
۲.۷.۲ مدهای اندازه‌گیری و کاربردهای آنها ۵۴
۳.۷.۲ علت انتخاب طول موج‌های مختلف در شیدسنج خورشیدی ۵۸
۴.۷.۲ توضیحی در رابطه با مدهای قطبیده طول موج ۸۳۶ نانومتر ۵۹

۳ اندازه‌گیری‌ها و شرح نتایج

۱.۳ مقدمه ۶۱
۲.۳ مشخصات محل اندازه‌گیری و مدت زمان اندازه‌گیری ۶۲
۳.۳ نمودار لانگلی برای به دست آوردن ثابت درجه بندی ۶۴
۴.۳ ضخامت اپتیکی جو ۶۵
۵.۳ عمق اپتیکی هواویزها ۶۷
۱.۵.۳ چند مورد از نمودارهای عمق اپتیکی هواویزها ۶۷
۲.۵.۳ نمودار میانگین روزانه عمق اپتیکی هواویزها ۷۰
۳.۵.۳ نمودار میانگین ماهانه‌ی عمق اپتیکی هواویزها ۷۳
۶.۳ میزان ستونی بخار آب ۷۶
۷.۳ نمای آنگستروم ۷۹
۸.۳ نتیجه‌گیری ۸۳
۹.۳ کارهای پیش رو ۸۵

مراجع ٨٦

مقدمه

هواویزها[1] ذرات ریز جامد یا مایع معلق در هوا هستند که نقش مهمی در بودجه تابشی جو، تشکیل ابر، کیفیت هوا، سلامتی جامعه و فرآیندهای تابشی جو دارند. هواویزها چگالی اپتیکی جو زمین را در طول موج‌های مختلف تغییر می‌دهند. از آنجایی که میزان مانایی آنها در جو زمین کم است و با توجه به وسعت منابعی که آنها را تولید می‌کنند، تغییرات زمانی و مکانی زیادی در جو دارند. به همین خاطر هواویزها منبع بزرگ خطا در مدل‌های پیش بینی هواشناسی هستند. برای درک بهتر تاثیر هواویزها در جو زمین باید آنها را مورد مطالعه قرار داد.

سنجش از دور[2] بررسی اشیاء از یک فاصله دور، تشخیص و اندازه‌گیری ویژگی‌ای از جسم بدون تماس با آن است. امروزه سنجش از دور یکی از روش‌های مهم در مطالعه جو زمین است. دور سنجی به دو نوع فعال و غیر فعال تقسیم بندی می‌شود: دسته اول روش‌های دور سنجی غیر فعال[3] است، در این روش برای مطالعه محیط از نور مربوط به یک چشمه‌ی خارجی (که معمولا خورشید است) و بر همکنش آن با محیط برای مطالعه پارامترهای اپتیکی جو استفاده می‌شود. یکی از مهمترین این روش‌ها شیدسنجی خورشید است. دسته‌ی دوم روش‌های دور سنجی فعال[4] است، در این روش‌ها سیستم اندازه‌گیری خود موج یا نوری را با ویژگی‌های مشخص به جو گسیل می‌کند سپس با آشکار سازی و مطالعه‌ی موج یا نور پس پراکنده شده بازگشتی، اطلاعاتی راجع به جو به دست می‌آورند. لیدار یکی از مهمترین روش‌های دور سنجی فعال است.

شیدسنج خورشیدی یکی از دستگاه‌های مهم برای بررسی و تشخیص نوع هواویزها است. شیدسنج‌های خورشیدی، نور سنج‌های خاص با زاویه دید باریک هستند که به منظور اندازه‌گیری تابش نور خورشیدی در سطح زمین طراحی شده‌اند. آنها بطور نوعی دارای پهنای باند بین ٦ تا ١٠ نانومتر هستند. از اندازه‌گیری‌های شیدسنج خورشیدی می‌توان پارامترهای اپتیکی جو مانند عمق اپتیکی هواویزها، میزان ستونی بخار آب، میزان اوزون را بدست آورد و همچنین با ثبت شدت نور پراکنده از آسمان می‌توان توزیع اندازه ذرات و تابع فازی را بدست آورد. داده‌های بدست آمده از شید سنج‌های خورشیدی را می‌توان در هواشناسی و علوم جوی مورد

[1] Aerosol
[2] Remote sensing
[3] Passive remote sensing
[4] Active remote sensing

استفاده قرار داد. همچنین این داده‌ها قابلیت استفاده در تصحیح تصاویر بدست آمده از شیدسنج‌های ماهواره‌ای و هوابردی را نیز دارد. این داده‌ها در طیف سنجی میدانی به منظور تصحیح داده‌های جوی که از تصاویر ماهواره‌ها و هوابردهابدست می آید استفاده می‌شود. شیدسنج‌های خورشیدی در اوایل قرن بیستم با پیشرفت ساخت تکنولوژی فیلترهای عبوری در یک پهنای طول موجی خاص، گسترش یافتند. در اوایل کار از آنها برای اندازه‌گیری ثابت خورشیدی با استفاده از روش خاموشی طیفی لانگلی استفاده می‌کردند. این روش بر اساس اندازه‌گیری شار خورشیدی در بیرون از جو زمین استوار است. اولین شیدسنج خورشیدی توسط ولتز[۵] در سال ۱۹۵۹ ساخته شد که یک شیدسنج دارای دو باند طیفی باریک بود که تنها برای اندازه‌گیری تیرگی جوی استفاده می‌شد. شیدسنج‌های مدرن دارای تکنولوژی پیشرفته در اپتیک و الکترونیک هستند و بطور کلی دارای حساسیت و مانایی بیشتری هستند. شیدسنج‌های خورشیدی جدید دارای قابلیت اندازه‌گیری تابش پراکنده شده از آسمان در صفحات افقی و عمودی نسبت به خورشید هستند که از داده‌های بدست آمده از این حالت برای بدست آوردن اطلاعاتی در مورد عمق اپتیکی هواویزها، توزیع اندازه ذرات و تابع فازی استفاده می‌شود. برخی از شید سنج‌های اخیر دارای فیلترهای قطبیده[۶] برای اندازه‌گیری توزیع زاویه‌ای و قطبیدگی تابش پراکنده شده از آسمان به منظور بدست آوردن اطلاعات دقیقی در باره توزیع اندازه ذرات هستند.

این پایان نامه در سه فصل تهیه و تنظیم شده است:

فصل اول در مورد هواویزها و تاثیر آنها در جو زمین است. این فصل در چهار بخش تنظیم شده است. در بخش اول مقدمه‌ای راجع به هواویزها و نقش آنها در جو زمین صحبت شده است. در بخش دوم درباره انواع هواویزها، منشاء آنها، دسته بندی و طریقه بازگشت آنها به زمین توضیح داده شده است. در بخش سوم در مورد تاثیر هواویزها بر روی زمین از جمله اثرات مستقیم و غیر مستقیم توضیح داده شده است. در بخش چهارم درباره امکانات جدید اندازه‌گیری از قبیل ماهواره‌ها و هواپیماهای هواشناسی توضیحاتی داده شده است.

در فصل دوم مبانی نظری شیدسنج خورشیدی، معرفی آن و الگوریتم‌های اندازه‌گیری مورد بحث قرار گرفته است. این فصل دارای هفت بخش است. در بخش اول در مورد جذب و پراکندگی تابش خورشیدی توسط اجزای سازنده جو توضیحاتی داده شده است. در بخش دوم قانون بیر لامبرت و نیز در بخش سوم روش لانگلی برای بدست آوردن ثابت درجه بندی توضیح داده شده است.[۰] در بخش چهارم در باره پارامتر میزان هوا

---

[۵] Voltz

[۶] Polarized filters

توضیحاتی داده شده است. در بخش پنجم حرکت خورشید در فضا بررسی شده و مختصات محلی خورشید بر حسب زمان و موقعیت جغرافیایی محل اندازه‌گیری بدست آمده است. در بخش ششم الگوریتم‌های اندازه‌گیری عمق اپتیکی هواویزها، میزان ستونی بخار آب و ضریب آنگستروم (یک مغیار کیفی از اندازه هواویزها است) توضیح داده شده است. در بخش هفتم در باره اجزای تشکیل دهنده شیدسنج خورشیدی، مدهای اندازه‌گیری و کاربردهای آنها و همچنین دلیل انتخاب طول موج‌های مختلف توضیح داده شده است.

در فصل سوم اندازه‌گیری‌ها و نتایج آورده شده است. این فصل دارای پنج بخش است. در بخش اول مقدمه و در بخش دوم مشخصات محل اندازه‌گیری و مدت زمان اندازه‌گیری را آمده است. در بخش‌های سوم تا هفتم به ترتیب نمودار لانگلی برای بدست آوردن ثابت درجه بندی، ضخامت اپتیکی جو، عمق اپتیکی هواویزها، میزان ستونی بخار آب و ضریب نمای آنگستروم را ارائه شده است. در بخش هشتم نتیجه‌گیری و کارهای پیش رو را تشریح گردیده است.

فصل اول

هواویزها و تأثیر آنها بر جو زمین

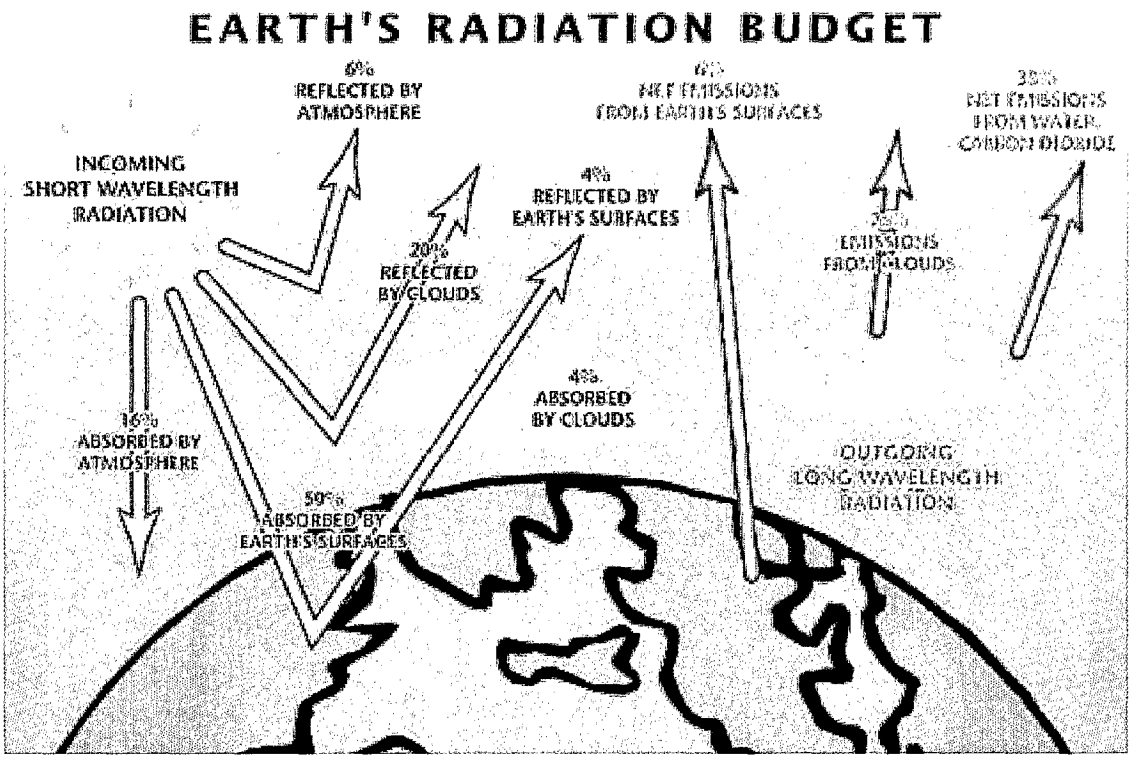
۱.۱ مقدمه

هواویزها[۱] ذرات ریز جامد یا مایع معلق در هوا هستند که نقش مهمی در جو ایفا می کنند. اگر چه کمتر از یک صد هزارم درصد از کل حجم جو زمین را تشکیل می دهند، اما نقش کلیدی در نرخ تابشی جو زمین[۲]، تشکیل ابر[۳]، فرآیندهای شیمیایی[۴]، کیفیت هوا[۵] و سلامت عمومی[۶] دارند. نقش هواویزها در نرخ تابشی جو زمین بسیار پیچیده است. بسته به نوع هواویزها، آنها می‌توانند موجب بازتاب و جذب تابش نور فرودی خورشید شوند[۲ ،۱].

از کل تابش فرودی خورشید که به جو زمین می‌رسد، ۳۰ درصد از بالای جو زمین به فضا بازتاب می‌شود که

[۱] Aerosols
[۲] Earth Radiation Budget
[۳] cloud formation
[۴] Chemical Process
[۵] Air quality
[۶] Health of people

به آن بازتاب زمینی[۷] می‌گویند. جو زمین نیز ٦ درصد از نور فرودی خورشید را بازتاب می‌کند که مقداری از آن نیز ناشی از هواویزها است. جو زمین ١٦ درصد از نور فرودی را جذب می‌کند که مقداری از آن توسط هواویزها و بقیه توسط مولکول‌های گازی مختلف صورت می گیرد. هواویزها بودجه تابشی زمین را بوسیله‌ی پراکندگی و جذب طول موج‌های کوتاه و بلند نور فرودی خورشید تغییر می دهند. بنابراین موجب سرمایش یا گرمایش زمین[۸] می‌شوند. در شکل(١—١) میزان تاثیر عوامل مختلف در نرخ تابشی زمین را مشاهده می‌کنید[٣].



شکل١—١: میزان تأثیر عوامل مختلف در نرخ تابشی زمین[٣].

---

[۷] Earth Albedo

[۸] cooling or warming

هواویزها چگالی اپتیکی [۹] جو زمین را در طول موج‌های مختلف تغییر می‌دهند. میزان مانایی آنها در جو زمین کوتاه است و با توجه به وسعت منابعی که هواویزها را تولید می‌کنند، تغییرات هواویزها در جو زمین در بازه‌ی زمانی و مکانی زیاد است. این موضوع عدم قطعیت در تاثیر تابشی هواویزها [۱۰] را به میزان قابل توجهی افزایش می‌دهد. به همین خاطر آنها یک منبع بزرگ خطا در مدل‌های پیش بینی هواشناسی [۱۱] هستند. بنابراین برای درک بهتر تاثیر هواویزها بر روی جو زمین باید آنهارا بطور دقیق و پیوسته مورد مطالعه قرار دهیم[۵ ،۴].

۲.۱ انواع هواویزها

در حالت کلی هواویزها از دو منشاء طبیعی و فعالیت‌های انسانی بوجود می آیند. اقیانوس‌ها، صحراها، جنگل‌ها و آتشفشان‌ها منابع تولید کننده هواویزهای طبیعی هستند و اغلب هواویزهای موجود در جو از این نوع هستند. انسان‌ها نیز با سوزاندن سوخت‌های فسیلی [۱۲] بوسیله‌ی ماشین‌ها و کارخانجات، تولید انواع اسپری‌ها و همچنین با تغییر پوشش سطحی طبیعی زمین [۱۳] باعث تولید هواویزها می‌شوند[۷].

در جدول (۲.۱) انواع مختلف هواویزها، منشاء تولید آنها، میانگین سالیانه و همچنین اندازه‌ی آنها در جو زمین را مشاهده می‌کنید. همانطور که از جدول (۲.۱) پیداست هواویزهایی که منشأ طبیعی دارند میزان بیشتری از کل هواویزهای موجود در جو زمین را تشکیل می دهند[۸].

---

[۹] Optical density

[۱۰] Aerosol radiative forcing

[۱۱] meteorology prediction models

[۱۲] Burning of fossil fuels

[۱۳] alteration of natural surface cover

شکل۱—۲: جدول منابع هواویزهای مختلف در جو زمین، میانگین سالانه و نوع اندازه آنها.[۷]

منابع	شار برآورد شده ($Tgyr^{-1}$) کمینه	بیشینه	میانگین	اندازه ذرات
طبیعی				
اولیه				
گرد و غبار (هواویز معدنی)	1000	3000	1500	خیلی درشت دانه
نمک دریایی	1000	10000	1300	درشت دانه
ذرات آتش فشانی	4	10000	30	درشت دانه
باکتری های زیستی	26	80	50	درشت دانه
ثانویه				
سولفات حاصل از گازهای ذرات زنده	80	150	130	ریز دانه
سولفات حاصل از دی اکسید سولفور آتش‌فشانی	5	60	20	ریز دانه
ذرات زنده حاصل از ذرات زنده VOA	40	200	60	ریز دانه
نیترات حاصل از NO_x	15	50	30	ریز دانه و درشت دانه
میزان کلی هواویز طبیعی	2200	23500	3100	
فعالیت های انسانی				
اولیه				
ذرات حاصل از صنایع و... (بجز دوده)	40	130	100	ریز دانه و درشت دانه
دوده	5	20	10	خیلی ریز دانه
ثانویه				
سولفات حاصل از دی اکسید سولفور	170	250	190	ریز دانه
سوختن مواد زیستی	60	150	90	ریز دانه
نیترات حاصل از NO_x	25	65	50	خیلی ریز دانه
موجودات زنده حاصل از فعالیت های انسانی(VOC)	5	25	10	ریز دانه
میزان کلی هواویزهای انسانی	300	650	450	
میزان کلی	2500	24000	3600	

هواویزهایی که به طور مستقیم تولید می‌شوند را هواویزهای اولیه [۱۴] می‌نامند مانند گردوغبارهایی که از صحراها[۱۵] بلند می‌شوند ، ذراتی چون دی اکسید گوگرد که از آتشفشان‌ها[۱۶] بوجود می آیند، دوده[۱۷] که از سوختن سوخت‌های فسیلی توسط ماشین‌ها و کارخانجات و ... تولید می‌شود و یا نمک دریایی[۱۸] که از اسپری شدن آب دریا توسط باد یا از برخورد به صخره‌های ساحلی تولید می‌شوند. هواویزهایی که بعد از تولید، تجزیه و یا با مولکول‌های هوا ترکیب می‌شوند، هواویزهای ثانویه [۱۹] می‌گویند، مانند سولفات که از تجزیه دی اکسید سولفور یا نیترات که از تجزیه NO_x ها تولید می‌شوند. با توجه به جدول(۲.۱) هواویزهایی که بطور اولیه از منابع طبیعی وارد جو می‌شوند، اندازه درشتی (قطرشان بزرگتر از یک میکرومتر) دارند اما بعد از اینکه وارد جو شداند تجزیه شده و اغلب به ذرات کوچکتری (قطرشان کوچکتر از یک میکرومتر) تبدیل می‌شوند. هواویزهایی که از فعالیت‌های انسانی [۲۰] بوجود می آیند نیز اغلب ذرات ریزی به لحاظ اندازه هستند[۹].

در حال حاضر، هواویزهای تولید شده بوسیله‌ی فعالیت‌های انسان‌ها در حدود ده درصد از مقدار کل هواویزهای موجود در جو زمین را تشکیل می دهد.[۷]

اندازه هواویزها از ۰/۰۱ میکرومتر تا ۱۰ میکرومتر گسترده است. هواویزها دارای خواصی چون اندازه، ترکیب شیمیایی، چگالی و شکل هستند. اما بطور معمول از اندازه هواویزها برای طبقه بندی آنها استفاده می‌شود زیرا اغلب اندازه‌گیری این پارامتر راحت بوده و حتی از روی آن می‌توان اطلاعاتی در مورد دیگر خواص هواویز به دست آورد. در شکل(۱—۳) هواویزهای مختلف از اندازه‌های گوناگون نشان داده شده است.

---

[۱۴] Primary aerosols

[۱۵] desert dust

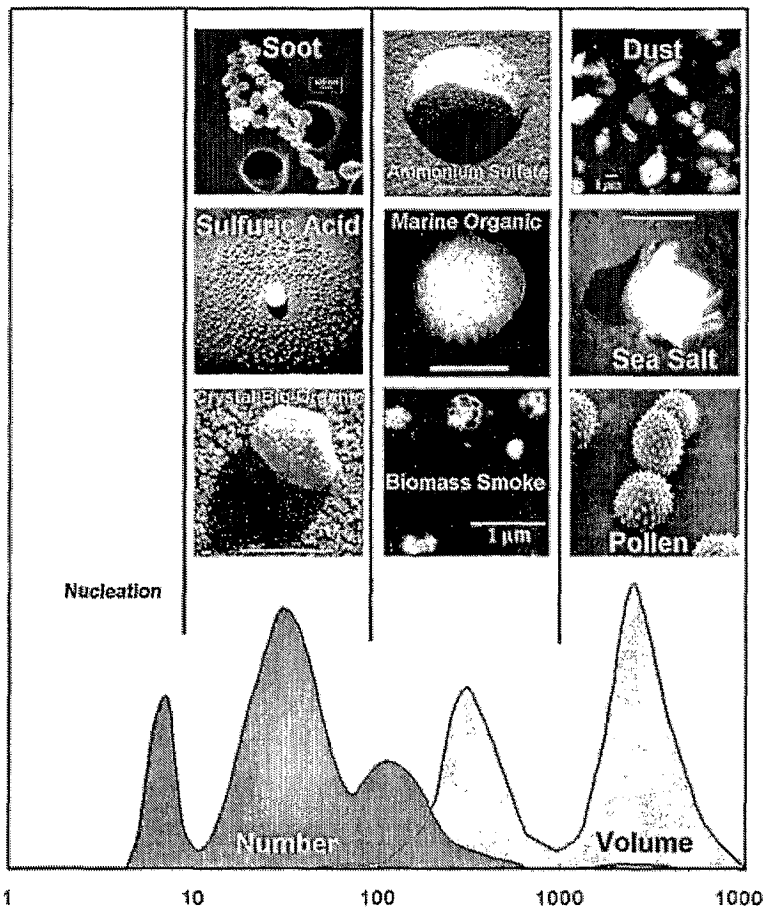
[۱۶] volcanoes

[۱۷] Soot

[۱۸] Sea salt

[۱۹] Secondary aerosols

[۲۰] Human activities



شکل ۱—۳: نمونه‌ای از هواویزهای مختلف با اندازه‌های گوناگون

هواویزها از لحاظ اندازه به سه قسمت تقسیم بندی می‌شوند:

۱) هواویزهایی که قطرشان کوچکتر از۰/۱ میکرومتر است را مد ریز دانه [۲۱] می‌گویند.

۲) هواویزهایی که قطرشان بین ۰/۱ تا ۱ میکرومتر است را مد درشت دانه [۲۲] می‌گویند.

۳) هواویزهایی که قطرشان بزرگتر از ۱ میکرومتر است را مد بسیار درشت دانه [۲۳] می‌گویند.

هواویزهایی که در جو پایین معلق هستند بطور پیوسته در عرض چندین روز به زمین باز می‌گردنند. بوضوح مانایی ذرات در جو به اندازه و محل آنها بستگی دارد.

هواویزها به دو طریق به زمین باز می‌گردند:[۱۰]

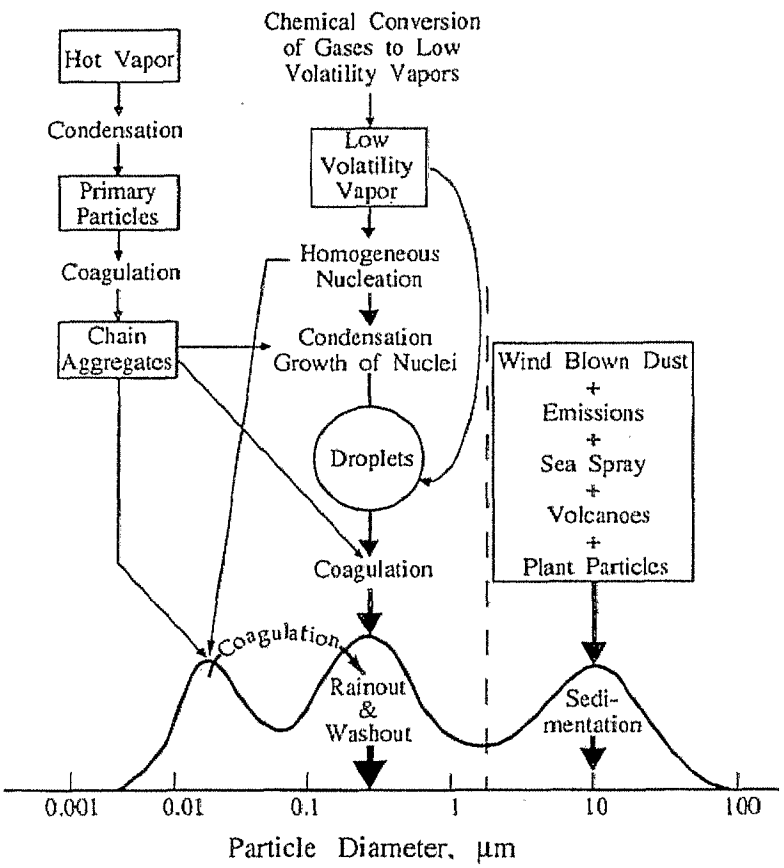
[۲۱] Fine mode

[۲۲] Coarse mode

[۲۳] Mainly coarse mode

۱) حذف توسط رطوبت[۲۴]؛ هواویزها هسته‌های اولیه قطره‌های آب موجود در ابرها را تشکیل می‌دهند، با باریدن باران هواویزهایی که هسته قطره‌های آب را تشکیل می‌دهند و نیز آنهایی که در مسیر بارش باران قرار دارند به زمین منتقل می‌شوند.

۲) ته نشینی توسط نیروی گرانشی زمین[۲۵]؛ هواویزهایی که اندازه آنها بزرگتر از ۱ میکرومتر است اغلب توسط نیروی گرانشی به زمین منتقل می‌شوند.



شکل۱—۴: شمایی از انواع فرآیندهای بازگشت هواویزها به سطح زمین[۷].

[۲۴] Wet removal

[۲۵] Gravitational sedimentation

ذرات هواویز بزرگتر از ۱ میکرومتر معمولاً شامل گردوغبارهایی هستند که به وسیله‌ی بادها از صحراها به هوا بلند می‌شوند یا نمک های دریایی که از پاشیدن آب دریا در هنگام طوفان‌های دریایی یا برخورد آب دریا به صخره‌های اطراف ساحل به هوا بر می‌خیزند. هواویزهای کوچکتر از ۱ میکرومتر اغلب به وسیله‌ی فرآیندهای تجزیه مانند تبدیل گاز دی اکسید سولفور به ذرات سولفور بوجود می آیند.[۲] در شکل (۱—۴) انواع فرآیندهای بازگشت هواویزها به سطح زمین را مشاهده می‌کنید[۸].