دانشکده فیزیک
گروه هواشناسی

پایان‌نامه برای دریافت درجه‌ی کارشناسی ارشد هواشناسی

ارزیابی برخی ویژگی‌های فیزیکی ابر در جنوب ایران به کمک داده‌های ماهواره‌ای در دوره‌ی ۲۰۱۲–۲۰۰۸

استادان راهنما:

دکتر سید مجید میرزکنی

دکتر سید محمدجعفر ناظم‌السادات

استاد مشاور: دکتر محمدحسین معماریان

پژوهش و نگارش: دانیال افتخاری

بهمن‌ماه ۱۳۹۲

بسم الله النور

دانشـــگاه یـــــزد
دانشکده فیزیک
گروه هواشناسی

پایان‌نامه برای دریافت درجه‌ی کارشناسی ارشد هواشناسی

ارزیابی برخی ویژگی‌های فیزیکی ابر در جنوب ایران به کمک داده‌های ماهواره‌ای در دوره‌ی ۲۰۱۲–۲۰۰۸

استادان راهنما:

دکتر سید مجید میررکنی

دکتر سید محمدجعفر ناظم‌السادات

استاد مشاور: دکتر محمدحسین معماریان

پژوهش و نگارش: دانیال افتخاری

بهمن‌ماه ۱۳۹۲

تقدیـــم

این فعالیت علمی ناچیز را به ساحت پاک دو اسوهء بی همتای فرهیختگی و فرزانگی، حضرت باقرالعلوم و امام جعفربن محمد الصادق (علیهما السلام) تقدیم می نمایم.

قدردانی و سپاس

پدر و مادر مهربانم!

به پاس تمام مهر و عاطفه‌ای که بی مزد و منّت نثار این حقیر نمودید، و امید بخشی‌تان در این زندگی پر فراز و نشیب، گل سپاس را تقدیم حضورتان می‌کنم؛ هرچند می‌دانم لایق وجود سراسر جود شما نیست.

در پایان این راه دانش افزا، که البته آغازی دیگر خواهد بود، از کوشش‌ها و بذل دانش و معرفت و محبت همهء اساتید گرانمایهء دورهء تحصیل، به‌ویژه سروران عزیز: جناب دکتر سید مجید میرکنی، جناب دکتر سید محمد جعفر ناظم السادات، و جناب دکتر محمد حسین معماریان سپاسگزارم؛ و نیز از یکایک پژوهندگان و کارکنان مرکز پژوهش‌های علوم جوّی و اقیانوسی دانشگاه شیراز برای آموزه‌های پربارشان در این پژوهش قدردانی می‌کنم.

چکیده

ابرها که یکی از عناصر مهم در سامانه‌ی زمین-هواکره به‌شمار می‌آیند، در کنار تأثیر بلندمدت بر پراسنج‌های گوناگون سامانه‌ی اقلیمی، با ایجاد بارش در شکل‌های باران، برف، تگرگ، باران یخزن و...، و نوسان در میزان رطوبت هوا بر پراسنج‌های هواشناختی تأثیر می‌گذارند. رخداد بارش در برخی گونه‌های ابر دیده می‌شود که در آن‌ها ویژگی‌های فیزیکی ویژه‌ای بر ابر حکمفرماست. این ویژگی‌ها که با پراسنج‌های گوناگونی همچون شعاع قطرک‌ها، ارتفاع، دما و فشار قله، گذرگاه آب مایع و ضخامت نوری ابر شناخته می‌شوند، باید به دقت ارزیابی شوند. بررسی این ویژگی‌ها می‌تواند به فهم بهتر شرایط بارش در مناطق گوناگون و پیش‌بینی میزان ریزش‌های جوی کمک کند .به دلیل وردایی زمانی و مکانی بالا در ابرها، یکی از بهترین ابزار برای پیمایش و فرابینی آن‌ها، ماهواره‌های هواشناختی هستند. سنجنده‌ی MODIS یکی از این ماهواره‌های هواشناختی و زیست‌محیطی است که در سال ۱۹۹۹ توسط مرکز NASA راه‌اندازی شد.

در این پژوهش به کمک داده‌های مربوط به ابر در این سنجنده، یک ارزیابی کمّی و کیفی از ویژگی‌های فیزیکی مهم ابرهای بارشی در جنوب ایران انجام شده است. این بررسی از این جهت اهمیت می‌یابد که در جنوب کشور (به‌ویژه استان‌های فارس، بوشهر و خوزستان)، از سویی بارش‌ها نسبتاً کم و محدود به زمان‌های ویژه‌ای از سال هستند، و از سوی دیگر شرایط بالقوه‌ی مناسبی برای کشاورزی، صنعت و گردشگری وجود دارد. با بررسی ۷۷ داده‌ی ماهواره‌ای (هر روز یک داده) در روزهای ویژه‌ای از زمستان سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۲ میلادی، پراسنج‌هایی که با بارش پیوند بیشتری داشتند، گزینش و ارزیابی شدند. نخستین و ساده‌ترین نتیجه‌ی کار این است که ضخامت نوری و شعاع مؤثر قطرک‌های ابر همبستگی بهتر و معنی‌دارتری با بارش روزانه داشتند. ارزیابی دقیق‌تر نشان داد که در آغاز شکل‌گیری بارش، پراسنج شعاع مؤثر ذرات ابر نقش پررنگی دارد؛ بدین مفهوم که شعاع مؤثر، که نشان دهنده‌ی رشد و تراکم قطرک‌ها در ابر می‌باشد، در آستانه‌ی بارش، مقدار ویژه‌ای دارد. اما در مناطق پر بارش یا روزهای با بارش گسترده، بالا بودن ضخامت نوری ابر خود را بیشتر نشان می‌دهد و تفاوت آن با روزهای با بارش اندک و پراکنده معمولاً معنی‌دار است. نتیجه‌ی دیگر این پژوهش آن بود که در میان نقاط نسبتاً کم بارش و نسبتاً پر بارش جنوب، که تفاوت بارش آن‌ها معنی‌دار است، تفاوت در ضخامت نوری و نیز فشار قله‌ی ابر بالا و معنی‌دار است. نکته‌ی مهم در نتایج این است که دو عامل کوهساری و دسترسی به

چشمه‌های رطوبت، می‌تواند تفاوت در برخی پراسنج‌های فیزیکی ابر را در مناطق پر بارش و کم بارش توجیه کند.

کلید واژه‌ها: **ابر بارشی، پراسنج‌های فیزیکی، سنجنده‌ی MODIS، ضخامت نوری، رابطه‌ی معنی‌دار، جنوب ایران**.

فهرست مطالب

فصل ۱ پیشگفتار ۱

۱-۱ اهمیت پژوهش ۲

۱-۲ پیشینه پژوهش ۳

۱-۳ ضرورت پژوهش ۶

۱-۴ هدف پژوهش ۸

فصل ۲ مبانی نظری ۱۰

۲-۱ ابرها و تأثیرات آب‌وهوایی ۱۱

۲-۲ ابر و بارش ۱۲

۲-۳ سنجش از دور ابر ۱۴

۲-۳-۱ تعریف سنجش از دور ۱۵

۲-۳-۲ ماهواره‌های هواشناختی ۱۶

۲-۳-۳ سنجنده‌ی MODIS ۱۷

۲-۴پراسنج‌های اساسی ابر در MODIS ۱۸

۲-۴-۱ دمای قله‌ی ابر ۱۸

۲-۴-۲ حالت یا فاز ترمودینامیکی ۱۹

۲-۴-۳ شعاع مؤثر قطرک‌های ابر ۲۰

۲-۴-۴ ضخامت نوری ۲۱

۲-۴-۵ گذرگاه آب مایع ۲۳

فصل ۳ داده‌ها و روش پژوهش ۲۷

۳-۱ داده‌ها ۲۸

۳-۱-۱ داده‌های ماهواره‌ای ۲۸

۳-۱-۲ داده‌های زمینی (ایستگاهی) ۲۹

۳-۲ روش پژوهش ۳۱

۳-۲-۱ گام نخست؛ پردازش داده‌های ماهواره‌ای ۳۲

۳-۲-۲ گام دوم؛ نگاشت نقاط ایستگاهی ۳۲

۳-۲-۳ آزمون آماری داده‌ها ۳۴

۳-۲-۴ مطالعه‌ی نقاط پر بارش و کم بارش ۳۵

۳-۲-۵ ارزیابی روزهای با بارش فراگیر ۳۶

۳-۲-۶ بررسی آستانه‌ی آغاز بارش ۳۶

فصل ۴ نتایج ۳۸

۴-۱ نتیجه‌ی آزمون‌های آماری ۳۹

۴-۱-۱ رابطه‌ی وایازی و ارزیابی همبستگی ۳۹

۴-۱-۲ آزمون‌های آماری T و ANOVA ۴۱

۴-۲ بررسی مقایسه‌ای روزهای گستردگی و پراکندگی بارش ۴۴

۴-۲-۱ ارزیابی کیفی پراسنج ضخامت نوری ۴۷

۴-۲-۲ بررسی برون‌دادهای "حالت ترمودینامیکی" ۵۳

۳-۴ ارزیابی مقدارهای آستانه ۵۴

فصل ۵ بحث پیرامون نتایج ۵۷

۱-۵ آزمون وایازی خطی و همبستگی پراسنج‌ها ۵۸

۲-۵ مقایسه‌ی ایستگاه‌های ویژه ۶۰

۳-۵ آستانه‌ی بارش و پراسنج‌های مرتبط ۶۱

۴-۵ گونه‌های ابر در جنوب کشور ۶۲

فصل ۶ خلاصه‌ی نتایج و پیشنهادها ۶۴

۱-۶ جمع‌بندی نتایج کیفی و کمّی ۶۵

۲-۶ تنگناهای پژوهش ۶۵

۳-۶ پیشنهادها ۶۷

واژه‌نامه ۶۸

منابع ۷۴

پیوست‌ها ۷۸

پیوست الف: آشنایی با سنجنده‌ی MODIS ۷۹

پیوست ب: آشنایی مقدماتی با نرم‌افزار ENVI 4.7 ..... ۸۹

فهرست شکل‌ها

شکل (۲-۱) مقدار میانگین ضخامت نوری ابر به عنوان تابعی از شعاع مؤثر، برای ابرهای بارشی (خم نقطه‌چین) و ابرهای غیر بارشی (خم پررنگ). (از کوبایاشی و ماسودا، ۲۰۰۸) ۲۵

شکل (۲-۲) دسته‌بندی ابرها بر پایه‌ی دو پراسنج ضخامت نوری و فشار قله‌ی ابر (از ISCCP) ۲۶

شکل (۳-۱) محدوده‌ی جغرافیایی سه استان مورد بررسی ۳۰

شکل (۳-۲) پراکندگی ایستگاه‌های همدیدی سه استان جنوبی؛ ایستگاه‌های پر بارش و کم بارش، به‌ترتیب با رنگ‌های آبی و قرمز مشخص شده‌اند ۳۱

شکل (۳-۳) برهم‌نهی نگاره‌ی ماهواره‌ای و ایستگاه‌های همدیدی زمینی در محیط ArcMap ۳۳

شکل (۴-۱) نگاره‌ی ماهواره‌ای از پراسنج ضخامت نوری در روز ۱۱ ژانویه ۲۰۰۸ (گستردگی بارش) ۴۷

شکل (۴-۲) مانند شکل (۴-۱)، ولی برای روز ۲۳ ژانویه ۲۰۰۸ (گستردگی بارش) ۴۸

شکل (۴-۳) مانند شکل (۴-۱)، ولی برای روز ۳۰ مارچ ۲۰۰۹ (گستردگی بارش) ۴۸

شکل (۴-۴) مانند شکل (۴-۱)، ولی برای روز ۲۱ فوریه ۲۰۰۹ (پراکندگی بارش) ۴۹

شکل (۴-۵) مانند شکل (۴-۱)، ولی برای روز ۲ مارچ ۲۰۰۹ (پراکندگی بارش) ۵۰

شکل (۴-۶) مانند شکل (۴-۱)، ولی برای روز ۱۰ فوریه ۲۰۱۱ (پراکندگی بارش) ۵۱

شکل (۵-۱) ترسیم توزیعیِ دو پراسنج بارش روزانه و LWP. ۵۹

شکل (۵-۲) مقدار میانگین بارش روزانه زمستانی در ۷ ایستگاه جنوبی ۶۱

فهرست جدول‌ها

جدول (۲-۱) گستره‌ی طول موجی پرتوهای الکترومغناطیسی ۱۵

جدول (۲-۲) زیرموج‌های پرتو فروسرخ ۱۶

جدول (۲-۳) شاخص‌های پراسنج فاز ترمودینامیکی در برون‌داد MODIS ۲۰

جدول (۳-۱) روزهای ابری و بارشی در پهنه‌ی جنوبی ایران؛ عدد روزهای پر بارش پر رنگ‌تر شده‌اند ۲۸

جدول (۴-۱) همبستگی میان بارش و دیگر پراسنج‌های فیزیکی ۳۹

جدول (۴-۲) ضریب‌های معادله‌ی وایازی و سطح معنی‌داری کمیت‌ها ۴۰

جدول (۴-۳) مانند جدول (۴-۱)، ولی برای داده‌های بارش بیش از یک میلی‌متر ۴۱

جدول (۴-۴) مانند جدول (۴-۲) ولی برای داده‌های بارش بالای یک میلی‌متر ۴۱

جدول (۴-۵) میانگین بارش، ضخامت نوری و فشار قله‌ی ابر در روزهای پر بارش ۴۲

جدول (۴-۶) نتیجه‌ی آزمون آماری ANOVA بر روی هفت ایستگاه، برای سه پراسنج بررسی شده ۴۴

جدول (۴-۷) ارزیابی مقدار میانگین دو پراسنج ابر در روزهای با بارش فراگیر و گسترده ۴۵

جدول (۴-۸) ارزیابی مقدار میانگین دو پراسنج ابر در روزهای با بارش اندک و پراکنده ۴۶

جدول (۴-۹) بررسی گونه‌ی غالب ابر در روزهای گسترش بارش به کمک دو ۵۲

پراسنج ضخامت نوری و فشار قله‌ی ابر

جدول (۴-۱۰) مقدارهای عددی دو پراسنج ابر، در روزهای بدون بارش برای ایستگاه ایزدخواست ۵۴

جدول (۴-۱۱) مانند جدول ۴-۱۱، برای ایستگاه لار ۵۴

جدول (۴-۱۲) مانند جدول ۴-۱۱، برای ایستگاه داراب ۵۵

جدول (۴-۱۳) مانند جدول ۴-۱۱، برای ایستگاه بندر دیر ۵۵

جدول (۴-۱۴) مانند جدول ۴-۱۱، برای ایستگاه بُستان ۵۵

جدول (۴-۱۵) مانند جدول ۴-۱۱، برای ایستگاه هندیجان ۵۶

فصل ۱ پیشگفتار

۱-۱ اهمیت پژوهش

ابر پدیده و عنصری ویژه است که در اثر دگرگونی‌های دینامیکی و ترمودینامیکی گردش عمومی هواکُره (جو) به‌وجود می‌آید و به دو روش بر سامانه‌ی زمین-هواکره اثر می‌گذارد: الف- از راه درآشامی، پراکندگی و بازتاب تابش خورشیدی، بودجه انرژی تابشی زمین را دچار دگرگونی می‌کند؛ و ب- با تولید بارش در شکل‌های گوناگون، بر چرخه‌ی آب‌شناختی زمین تأثیر می‌گذارند (بونی و همکاران، ۲۰۰۴). برای آگاهی یافتن دقیق در مورد نقش ابرها در سامانه‌ی اقلیمی و چرخه‌ی آب‌شناختی، اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی آن‌ها ضروری است (ولترز، ۲۰۱۲).

شناخت ویژگی‌های فیزیکی ابر، که معمولاً به دو دسته‌ی کمیت‌های خُردفیزیکی (همچون شعاع مؤثر قطرک‌های ابر) و کمیت‌های کلان‌فیزیکی (همچون ضخامت ابر) تقسیم می‌شوند (کوبار و همکاران، ۲۰۰۹)، دارای اهمیت ویژه‌ای است؛ زیرا این ویژگی‌ها در ارتباط تنگاتنگ با دگرگونی‌های کوتاه‌مدت و بلندمدتِ آب‌وهوایی در مناطق مختلف زمین هستند. برای نمونه، بسیاری از کمیت‌های فیزیکی ابر با پدیده‌ی "بارش" در پیوند نزدیک‌اند؛ پدیده‌ای که یکی از گزینه‌های لازم و اساسی برای تعیین اقلیم یک پهنه یا ناحیه است.

شکل‌گیری ابرها، از جمله ابرهای بارشی، افزون بر اینکه از سامانه‌های آب‌وهوایی و جبهه‌ها ناشی می‌شود، می‌تواند از ویژگی‌های فیزیکی، جغرافیایی، کوهساری و اقلیمی هر منطقه تأثیر بپذیرد. البته فرایند شکل‌گیری ابرها در فصل‌ها و ماه‌های گوناگون، متفاوت است؛ از این رو بررسی ویژگی‌های فیزیکی ابر، ما را در شناخت ویژگی‌های گوناگون یک نقطه یا پهنه‌ی جغرافیایی با توجه به فصل‌های سال، کمک می‌کند. برای نمونه، ابرهایی که برفراز دریا یا خشکی شکل می‌گیرند، یا گذر می‌کنند، از جهاتی متفاوت‌اند. بر روی دریاها به دلیل وجود بخار آب بیشتر و نیز ذرات هواویز متفاوت با خشکی‌ها، برخی ویژگی‌های فیزیکی و تابشی ابرها متفاوت‌اند (ماسوناگا و همکاران، ۲۰۰۲).

به دلیل وردایی زیاد ابرها در زمان و مکان، نیاز است تا این پدیده مهم در یک جداسازی زمانی و فضایی مناسب و کافی دیدبانی شود. ماهواره‌ها به دلیل اینکه از یک منطقه زمین دست‌کم یک بار در روز نمونه‌برداری می‌کنند، ابزاری توانمند در این زمینه به‌شمار می‌روند (ولترز، ۲۰۱۲). البته در کنار ماهواره‌ها، رادارها نیز به‌کار می‌روند که معمولاً تعداد نمونه‌برداری آن‌ها بیشتر است و برای برخی مطالعات، می‌توانند مناسب‌تر باشند. دیدبانی ابرها به کمک گونه‌ای ویژه از ماهواره‌ها

که "ماهواره‌های زیست‌محیطی" هستند انجام می‌گیرد. این ماهواره‌ها تعدادشان نسبتاً زیاد است و در فصل‌های بعد و بخش پیوست، مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

آگاهی در مورد ویژگی‌های نوری و خردفیزیکی ابر، زمینه‌ای برای شگردهای جدیدتر بازیابی بارش ایجاد می‌کند که برای کاربرد در سنجنده‌های نوری ماهواره‌ای بسط یافته‌اند (ناوس و کوخانوفسکی، ۲۰۱۱). پراسنج‌هایی که در اینجا برای ما اهمیت ویژه دارند، دما و فشار قله‌ی ابر، ضخامت نوری، شعاع قطرک‌ها و گذرگاه آب مایع ابر هستند.

ماهواره‌ی MODIS که در این پژوهش از داده‌های آن بهره گرفته شده است، یکی از ماهواره‌های مهم و پیشرفته‌ی زیست محیطی است که در طول یک روز، دست کم یک پوشش کامل از سطح زمین و جو را در اختیار ما می‌گذارد. این سنجنده با بهره‌گیری از الگوریتم‌های پیچیده و دقیق، داده‌هایی گوناگون و گسترده از زمین، هواکره و اقیانوس تهیه می‌کند. داده‌های مربوط به ابر در MODIS به سبب ویژگی‌هایی که در بالا بیان شد، و نیز به دلیل مقیاس فضایی مناسبی که در تهیه‌ی آن‌ها وجود دارد، در این پژوهش به‌کار گرفته شده‌اند. البته چون این ماهواره، عمر نسبتاً کوتاهی دارد، تاکنون پژوهش‌های اندکی داده‌های آن را به‌کار گرفته‌اند. البته تعداد پژوهش‌های خارجی نسبتاً زیاد است اما بخش گسترده‌ای از آن‌ها، به مباحثی غیر از ابر و بارش مربوط می‌شود.

شناخت ویژگی‌های گوناگون ابر، همچنین در فرایند بارورسازی ابرها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. جداسازی ابرهای بارشی از غیر بارشی با بررسی کمیت‌های فیزیکی و تابشی ابر، که پیشتر به برخی از آن‌ها اشاره شد، و بررسی دقیق حالت ترمودینامیکی و ذرات تشکیل‌دهنده‌ی ابر یکی از کارهایی است که در این زمینه انجام می‌شود (محمدحسین‌زاده و جوانمرد، ۲۰۱۲). یکی از پراسنج‌های مهم که در فرایند باروری اهمیت دارد، دمای ابر و به‌ویژه قله‌ی آن است که در انتخاب ماده‌ی تزریق شونده به ابر تأثیر جدی دارد.

۱-۲ پیشینه پژوهش

ویژگی‌های فیزیکی ابر، از دیدگاه‌های گوناگونی می‌توانند بررسی شوند؛ هرچند سه گونه بررسی را می‌توان در پژوهش‌ها بیشتر دید: الف- تأثیر بلندمدت ابرناکی و برخی پراسنج‌ها (پارامترها)ی ابر بر اقلیم یک پهنه (پلاتنیک و والِرو، ۱۹۹۵؛ ماسوناگا و همکاران، ۲۰۰۲؛ فوتیان و همکاران، ۲۰۰۵)؛ ب- برهم‌کنش میان ابر و برخی پدیده‌های دیگرِ هواکره به‌ویژه هواویزها

(کوبایاشی و ماسودا، ۲۰۰۸؛ نیو و لی، ۲۰۱۲) و ج- پیوند میان بارش (هم شدت و هم میزان آن) با ویژگی‌های فیزیکی ابر (ژانگ ژی، ۲۰۰۵؛ کاتانی و همکاران، ۲۰۰۹؛ کوبایاشی و ماسودا، ۲۰۰۹)؛ که هر کدام به نوبه‌ی خود از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

آرکین و میسنِر (۱۹۸۷) به کمک تصویرگرهای یک ماهواره‌ی زمین‌ایستا، ارتباط میان بارش همرفتی بزرگ‌مقیاس و ابرهای سرد را بر روی نیمکره غربی زمین بررسی کردند. آن‌ها با ارزیابی دوره‌ای ۳ ساله (۱۹۸۲ تا ۱۹۸۴) پیوندی خوب میان میزان پوشش ابر از گونه‌ی ابرهای سرد (دارای دمای صفر و زیر صفر درجه) و میانگین بارش‌های همرفتی در بیشتر این مناطق یافتند.

روزنفلدا و گوتمن (۱۹۹۴) در پژوهشی به ارزیابی ویژگی‌های قله‌های ابرِ بالقوه بارشی، که از سنجش‌های گسیلندگی و بازتابندگیِ ماهواره‌ی AVHRR[1] گرفته شده، پرداخته‌اند. هدف اصلی این پژوهش، اثبات سودمندی اطلاعات افزوده شده از یکی از نوارهای طیفیِ این ماهواره برای نتیجه‌گیریِ ویژگی‌های بارشی ابرهای ستبر بوده است. بررسی ویژگی‌های بارشی در منطقه‌ی گرینلند و نروژ و ارتباط آن با شرایط جوی در فصل زمستان موضوع مقاله‌ی دیگری از لیو و کوری (۱۹۹۷) است که از داده‌های ریزموج ماهواره‌ای بهره گرفته‌اند. در این پژوهش دو کمیت مهم "آب بارش‌شو" (غیر مستقیم از داده‌های VIL[2] رادار) و "گذرگاه آب مایع" یا LWP[3] (از داده‌های ماهواره) معرفی شده و به‌کار رفته است که پیوندی اساسی با بارش دارند.

ماسوناگا و همکاران (۲۰۰۲) به‌صورت جزئی و موردی، به وارسی ویژگی‌های ابرهای تراز زیرین و فراوریِ باران گرم از این گونه ابرها پرداخته‌اند. نکته‌ی برجسته‌ی این پژوهش، بهره‌گیری از کمیت "شعاع مؤثر" قطرک‌های ابر است که داده‌های آن از بازیابی‌های دو سنجنده‌ی TRMM[4] و VIRS[5] گرفته شده است. این پژوهش‌گران بر پایه این کمیت، دسته‌بندی ویژه‌ای برای ابرها ارائه کرده‌اند: ابرهای بدون باران و بدون باران‌ریزه؛ ابرهای بدون باران، با باران‌ریزه در نزدیکی قله؛ ابرهای بارانی؛ و ابرهایی بدون تفسیر مشخص برحسب شعاع مؤثر.

---

[1] Advanced Very High Resolution Radiometer

[2] Vertical Integration Liquid

[3] Liquid Water Path

[4] Tropical Rainfall Measuring Mission

[5] Visible/Infrared Scanner