



مقاله پژوهشی بررسی آب قابل بارش جو در شرایط گرد و غبار با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای (مطالعه موردی: جنوب غربی ایران)

طاهره انصافی مقدم^{۱*}، طاهر صفرزاد^۲

دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۲۳ / پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۲۲ / دسترسی اینترنتی: ۱۴۰۲/۰۳/۰۱

(۱۹۸۶ - ۲۰۱۶) انجام شده است. این تحقیق، با استفاده از داده‌های طبقه‌بندی شده محصول مد ۰۶ (MOD06) سنجنده مادیس (MODIS) تاثیر گردوغبار بر بارش را مورد بررسی قرار داد. نتایج این تحقیق با بررسی داده‌های سنجنش از دور از جمله مقادیر آب قابل بارش و رخداد گردوغبار جو در برخی موارد انتخابی، نشان داد در مقطعی از زمان که گردوغبار به مقدار بالایی می‌رسد، میزان آب قابل بارش که نشانگر پتانسیل و توانایی رخداد بارش است، به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. نتایج این تحقیق نشان داد یکی از اثرات رخدادهای گردوغبار در جنوب غربی ایران، نقصان بارش بوده و گردوغبار می‌تواند به طور قابل توجهی به عنوان عامل کاهشدهنده یا سرکوب کننده میزان بارندگی در منطقه عمل کند. کارایی بالای محصول مد ۰۶ (MOD06) در اثبات اثر کاهش دهندگی گردوغبار بر آب قابل بارش جو در منطقه جنوب غربی ایران، در این تحقیق اثبات گردیده است.

در حالی که تاثیر گازهای گلخانه‌ای نیروگاه‌ها، خودروها و سایر ذرات معلق انسان ساخت بر کیفیت هوا و بهداشت عمومی به خوبی شناخته شده، تاثیر آنها بر آب و هوا به طور کامل شناخته نشده است. تحقیقات نشان داده است که ذرات معلق در هوا می‌تواند چه به طور مستقیم، از طریق بازتابش انرژی خورشیدی به آسمان، چه به طور غیر مستقیم، با افزایش بازتاب ابرها، درجه حرارت سطح زمین را کاهش دهد. ذرات معلق گردوغبار به ویژه در مناطق شهری و صنعتی، به عنوان عامل کاهشدهنده بارندگی و نزولات آسمانی عمل می‌کند. ریزگردهای بزرگ (بزرگتر از ۱ میکرون) می‌توانند بارندگی را افزایش دهند. اما ذرات بسیار ریز گردوغبار در سطوح فوقانی جو می‌تواند به سرکوب بارش‌های فراوان بیانجامد.

مطالعه حاضر با هدف بررسی ارتباط ظرفیت آب قابل بارش جوی با وقایع گرد و غبار در جنوب غربی ایران طی دوره

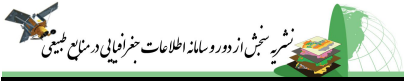
طاهره انصافی مقدم (✉)، طاهر صفرزاد^۲

۱. مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
۲. استادیار اقلیم شناسی، گروه جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه مازندران، ایران

DOI: 10.30495/girs.2023.690417

پست الکترونیکی مسئول مکاتبات: ensafi@rifr-ac.ir

طرح مسئله: «مطالعه خصوصیات فیزیکی ابر با هدف برآورد آب قابل بارش، امکان بررسی و انجام پروژه های بررسی آب قابل بارش جو در شرایط گردوغبار را در زمان ها و مکان های مناسب فراهم می کند. یکی از بهترین گزینه‌ها برای دستیابی به



بیشتر مناطق جهان، آب قابل بارش توسط ماهواره ها و رادارها اندازه گیری می شود (۵۱)

هدف: «هدف از این تحقیق استفاده از محصولات فیزیک ابر (مد ۰۶) مادیس برای شناسایی و تفکیک آب قابل بارش و تحت تاثیر رخدادهای گرد و غبار از مناطقی با آب قابل بارش بدون رخداد های گردوغبار به منظور تشخیص اثر گردوغبار بر سرکوب یا تقویت بارندگی در منطقه جنوب غربی ایران است.

روش تحقیق: با در نظر داشتن اهداف تحقیق حاضر و اطلاعات قابل دسترس، داده‌های ثبت و پردازش شده هواشناسی همراه با نقشه‌های ترسیمی مناطق تحت تاثیر مورد استفاده قرار گرفته است. از این اطلاعات و داده‌ها در ارتباط با موارد یا کیس های انتخابی تحقیق استفاده شد. با توجه به تعداد زیاد روزها و در نتیجه تصاویر و نقشه‌های فراوان، تصمیم گرفته شد به عنوان نمونه دو روز منتخب و متفاوت از نظر مناسب بودن سامانه ابری مورد بحث قرار گیرد. به همین دلیل برای داشتن نمونه عملی و تجربه شده از اطلاعات موجود، پردازش دو تصویر در دو تاریخ مجزا در منطقه مورد مطالعه صورت پذیرفته است. و در نهایت داده‌های بکار گرفته شده و مورد نیاز سنجنده مادیس در یک مطالعه مربوط به روز برگزیده از سال ۲۰۱۵ ارائه شد. نقشه‌های ترکیبی مربوط به پارامترهای هواشناسی و تحلیل و بررسی اطلاعات، در تاریخ برگزیده به صورت مجزا مورد بررسی قرار گرفت. سپس محصولات اخذ شده مادیس در مد ۰۶ برای روز انتخاب شده در نظر گرفته شد. « با توجه به اطلاعات بدست آمده از محصولات مد ۰۶ و نقشه‌های هواشناسی امکان بررسی احتمال وقوع بارش و یا عدم وقوع آن در روزهای غباری منتخب وجود داشت. جهت اطمینان از صحت تحلیل انجام شده با استفاده از داده‌های ثبت بارش در ایستگاه‌های زمینی منطقه، وقوع و یا عدم وقوع بارش بر روی سطح زمین، کنترل شد. بررسی بارش‌های روزانه ایستگاه‌های زمینی نشان داد روزهایی که در تحلیل تصاویر ماهواره ای به لحاظ ویژگی‌های فیزیکی

خواص فیزیکی و میکروفیزیکی ابرها، به ویژه در غیاب داده‌های رادار هوا، استفاده از محصولات و داده‌های ماهواره‌های هواشناسی، مانند مادیس می باشد. وضوح بالای طیفی مادیس با ۳۶ باند طیفی و همچنین سنسورهای نصب شده برای مطالعات ابر، محققان را قادر می سازد انواع مختلف ابرها را شناسایی کنند که در این بین، ۲۶ باند برای بررسی مشخصات جوی از جمله پوشش ابر، پروفیل های جوی، خصوصیات آئروسول ها و خواص بخار آب و ابر قابل بارگذاری، اختصاص داده شده است (۱۸). «ذرات معلق انسانی در تعیین محل افزایش یا کاهش بارندگی که در سراسر جهان رخ می دهد تاثیر بسیار زیادی را اعمال می کنند» (۱۲). «گردوغبار موجود در هوا می تواند تاثیر بسزایی در وضعیت آب و هوایی و شرایط اقلیمی یک منطقه داشته باشد. با توجه به شرایط فیزیکی ذرات (شکل و اندازه ریزدانه‌ها) و مواد تشکیل دهنده هر کدام، این ذرات توانایی آن را دارند که با انعکاس نور خورشید به فضا موجب خنک شدن سطح زمین و کاهش شدت تابش شده، یا در حالتی دیگر با جذب نور خورشید، جو یک منطقه را گرم تر کنند (۶۲). همچنین یکی دیگر از ویژگی‌های مهم این ذرات، توانایی آن‌ها در تشکیل و اضمحلال ابرهاست و خود این مسئله تاثیر بسزایی در میزان نزولات جوی یک منطقه دارد.» (۲۱) «ذرات آئروسول انسانی مانند سولفات و ذرات کربن دار نسبت به میانگین گنجایش ذرات آئروسول دوران ماقبل صنعتی تا به امروز به طور قابل ملاحظه ای افزایش یافته است. این ذرات آئروسول از طریق مکانیسم فیزیکی، سیستم های آب و هوایی را تحت تاثیر قرار می دهند: نخست، آنها می توانند تابش خورشیدی را منتشر و جذب کنند. دوم، آنها می توانند تابش حرارتی را منتشر و جذب کرده و بازتاب کنند. سوم، ذرات آئروسول به عنوان هسته تراکم ابر (CCN) و هسته یخ (IN) عمل می کنند.

دانستن محتوای آب قابل بارش یک اقدام پیشگیرانه در شناسایی توفان های شدید است. رادارهای هواشناسی ابزاری کارآمد برای رصد سیستم های هواشناسی هستند. آنها شرایط میکروفیزیکی بارش در ابرها را نشان می دهند. بنابراین، در

ابر، مناسب بارش تشخیص داده نشده‌اند، در ایستگاه‌های زمینی نیز بارشی ثبت نشده است» (۱۸).

نتایج و بحث: به منظور برآورد آب قابل بارش در تصاویر زمین مرجع شده، از محصولات سنجنده مادیس بر پایه شرایط فیزیکی و میکروفیزیکی ابرها، در مد ۰۶، استفاده شد. بررسی بارش‌های روزانه ایستگاه‌های زمینی نشان داد روزهایی که در تحلیل‌های بارشی دوره سی ساله در ایستگاه‌های مورد مطالعه، گردوغبار و بارش توامان گزارش شده، به لحاظ ویژگی‌های فیزیکی ابر در برآورد حجم آب قابل بارش مناسب می‌باشند.

براساس نتایج حاصل از تحقیقات (۲۸) چرخه زندگی بسیار کوتاه و سریع آب قابل بارش در جو همراه با تغییرات دما با ارتفاع، موقعیت جغرافیایی، فاصله تا دریا، تبخیر و تعرق و تغییر رطوبت، توزیع نامنظم آب قابل بارش به صورت افقی و عمودی در جو را موجب می‌شود. مطالعه حاضر با استفاده از محصولات اخذ شده مادیس در مد ۰۶، نوسانات آب قابل بارش جو جنوب غربی ایران را در یک نمونه مطالعه موردی مورد بررسی و ارزیابی قرار داده است.

مطابق با هدف انجام این تحقیق، بارش و گردوغبار روزانه برای روزها و ایستگاههایی که پدیده گردوغبار و بارش توامان رخ داده به مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت، و کلیه محصولات اخذ شده مادیس در مد ۰۶، با توجه به زمان گذر ماهواره از منطقه مورد مطالعه و نزدیکترین زمان به وقوع گردوغبار در همان روز و قبل از زمان بارش ابرهای باران زا انتخاب گردید و سپس رخداد های موردی متفاوت مورد تحلیل و بررسی قرار گرفتند. نتایج حاصل از پردازش تصاویر ماهواره ای و نیمرخ عرضی حجم آب قابل بارش ابر (cloud integrated water path) برحسب گرم بر متر مربع نشان داد گردوغبار باعث کاهش چشمگیر مقدار بخار آب قابل

بارش شده است. نمودار حاصل از مطالعه موردی بدست آمده از تصویر پردازش شده تایید کننده فرضیه کاهش حجم بخار آب قابل بارش ابر توسط گردوغبار می‌باشد. به نظر می‌رسد اگر این پردازش در مورد سایر تصاویر هم صورت بپذیرد همین نتیجه تکرار شود (۱۴).

نتایج تحقیقات روستا و همکاران (۵۱) نشان داد که آب قابل بارش جوی ایران با استفاده از داده های تجزیه و تحلیل شده هوای بالا توسط NCEP / NCAR در سه دوره ۱۹۴۸ - ۱۹۵۷، ۱۹۵۸ - ۱۹۷۸ و ۱۹۷۹ - ۲۰۱۲ با نوسانات مختلفی روبرو شده است. در هر سه دوره، توزیع متوسط و ضریب تغییرات مکانی با ارتفاع کاهش می‌یابد. در مقابل، بین ضریب تغییرات مکانی و ارتفاع رابطه مثبت وجود داشت. نتایج تحقیق حاضر با نتایج تحقیقات کلسی و همکاران (۲۵)، گلکار و همکاران (۱۸) و مباحثی و همکاران (۴۰) مطابقت نشان داده است.

نتیجه‌گیری: نتایج ما نشان داد که محصولات مادیس می‌تواند ابزاری قابل اعتماد برای ارزیابی الگوهای رویدادهای گردوغبار و بررسی غلظت ذرات معلق باشد. نتایج بررسی تصاویر MODIS / Terra (MOD06) در ارزیابی الگوی حرکت ویژه فرکانس گردوغبار در منطقه مورد مطالعه نشان داد که عکس العمل باران کم به افزایش گردوغبار، در مناطق کوهستانی و دشتی دیده شده است. این مطالعه نشان داد که رابطه بین بروز فراوانی گردوغبار و بارندگی روزانه در منطقه مورد مطالعه منفی است و این امر نشان می‌دهد که گردوغبار به عنوان مهار کننده بارندگی در این منطقه می‌تواند به طور قابل توجهی در کاهش بارش تاثیرگذار باشد.

واژگان کلیدی: آب قابل بارش، آئروسول، سنجش از دور، سنجنده مادیس (MODIS)، مد ۰۶ (MOD06).

مقدمه

«در حال حاضر آب در ایران و به ویژه در مناطق جنوب غربی آن یک منبع طبیعی کمیاب و مستعد درگیری است. عدم در دسترس بودن آب، بهره وری از اکوسیستم ها و کشاورزی، منابع انرژی و توسعه کلی اقتصادی- اجتماعی را محدود می کند. پیش بینی می شود تأثیرات تغییرات آب و هوایی، به ویژه افزایش دما و تغییر در الگوی بارندگی، چرخه هیدرولوژیکی در آسیای میانه را به شدت تغییر دهد و تأثیرات خشکسالی و درگیری های مربوط به آب تشدید شود» (۵۸).

آب قابل بارش (Precipitable water: PW) یکی از مهمترین گازهای گلخانه ای است که از نظر مکان و زمان بسیار متغیر بوده و نقش مهمی در مطالعه تغییرات آب و هوا، چرخه هیدرولوژیکی، بودجه انرژی و پیش بینی عددی آب و هوا دارد (۲۴). «بنابراین، به دست آوردن شرایط توزیع بخار آب در جو و اثرات تغییرات مکانی- زمانی آب قابل بارش در مقیاس سیاره ای، کوچک و منطقه ای، ضروری است» (۶۱). «آب قابل بارش دارای چرخه زندگی بسیار کوتاهی در جو است. این چرخه، همراه با تغییرات دما با ارتفاع، فاصله تا دریا، تغییرات رطوبت و تبخیر و تعرق، موجب توزیع نامنظم افقی و عمودی بخار آب موجود در جو، می شود. اگرچه ایران از شمال و جنوب به دریا محدود است، اما رطوبت جوی در کشور بسیار کم است. طبق نتایج تحقیقات انجام شده، حداقل و حداکثر اختلاف آب قابل بارش در سطح کشور حدود ۲۷ میلی متر است. این بدان معناست که علی رغم داشتن منابع عالی آب در جنوب و شمال، جو ایران از رطوبت ضعیف رنج می برد. توپوگرافی به عنوان مانعی برای ورود رطوبت از دریاهای شمال و جنوب به مناطق داخلی عمل می کند. در داخل کشور، ارتفاع نقش مهمی در توزیع فراوانی آب قابل بارش بازی می کند، بنابراین، در منطقه ای بالاتر از ۳۰۰۰ متر از سطح دریا، در ۶۰٪ از مواقع، آب قابل بارش به زیر ۶ میلی متر می رسد، و در سواحل دریای عمان بیش از ۲۶ میلی متر است. به این ترتیب، جذب رطوبت عامل مهمی برای توجیه

تغییرات مکانی- زمانی آب قابل بارش در ایران است و این پارامتر است که بودجه آب را تحت تأثیر قرار می دهد (۲۸).

کشور ایران در غرب آسیا به دلیل قرار گرفتن در کمربند خشک و نیمه خشک جهان (۴۱)، مکرراً در معرض توفان های گردوغبار قرار می گیرد (۳۳ و ۳۶). در همین راستا، جنوب غربی کشور از جمله مهم ترین مناطق متأثر از توفان های گردوغبار است. مناطق غرب و جنوب غرب کشور ایران در مسیر ورود سیکلون ها و سیستم های آورنده گردوغبار به کشور قرار دارد و نیز با توجه به نزدیکی این منطقه به بیابان های کشورهای مجاور، همواره در معرض نفوذ ریزگردها واقع شده است. «کشورهایی مانند ایران که با کمبود آب مواجه هستند، مدیریت صحیح و به هنگام منابع آب را می طلبند. یکی از ابزارهای مدیریتی در این زمینه، آگاهی از میزان کل آب قابل بارش در جو است. پیش بینی آب قابل بارش از مسائل مشترک هواشناسی و هیدرولوژی است که می تواند راهگشای بسیاری از مسائل هواشناسی در پیش بینی دقیق وضعیت جو و نیز بسیاری از مسائل در تخمین بارش و رواناب باشد. هیدرولوژیست ها به منظور تخمین حداکثر بارش محتمل که فاکتور مهمی در تعیین محاسبات مربوط به مخازن و سرریز سدها و نیز پیش بینی وقوع سیلاب می باشد آب قابل بارش کلی را در محاسبات لحاظ می کنند. به مقدار آبی که در هوا به سه حالت فیزیکی جامد، مایع، گاز وجود دارد رطوبت گفته می شود. در اینجا فقط حالت گاز که همان بخار آب است، مورد توجه ماست» (۴۰).

چین وانگ، دانشمند محقق ارشد در برنامه مشترک MIT در علم و سیاست های جهانی، جو و علوم سیاره ای می گوید: تحقیقات ما نشان می دهد که ذرات معلق در هوا به طور قابل توجهی در بارش سراسر جهان از زمان های ماقبل صنعتی نهفته است. مطالعه ناتسادورج و همکاران (۴۲) در تحلیل توفان های گردوغباری دیده بانی شده در منطقه مغولستان و مطالعه اکستروم (۳) در بررسی توفان های گردوغباری استرالیا و همچنین مطالعه روزنفلد و همکاران (۴۸) در گرد و غبار بیابان به عنوان عامل متوقف کننده بارندگی و حلقه محتمل بازخورد

دارای ابعاد بزرگتری می‌شوند و عمر طولانی‌تری پیدا می‌کنند. همچنین، این قبیل ابرها به دلیل ویژگی‌های خاص، گرمای بیشتری را از سطح زمین گرفته و به لایه‌های بالاتر جو انتقال می‌دهند که این امر در آب و هوای کره زمین نقش مهمی دارد» (۳۴).

«باید توجه داشت بارش و آب قابل بارش دو مفهوم مجزا از هم هستند. از لحاظ تعریف، بارش هرگونه رطوبت متراکم شده ای است که به سطح زمین فرو می‌ریزد. بنابراین بارش در واقع تراکم و میعان ذرات ریز بخار آب موجود در هوا می‌باشد و به اشکال مختلف فیزیکی برف، باران، تگرگ و ... به سطح زمین می‌رسد. اما آب قابل بارش الزاماً به مفهوم نزولات جوی نخواهد بود. اینکه چه مقدار از این آب به سطح زمین خواهد رسید به بسیاری از پارامترهای دیگر مثل مقدار و نوع هواویزها، نیمرخ دما و فشار جو، جهت و سرعت باد و غیره بستگی دارد» (۴۰).

گرچه ممکن است ابر به صورت افقی گسترش یابد (۳۱). وجود گردوغبارهای معدنی در جو، به عنوان هسته‌های تراکم و هسته‌های یخ (Ice Nuclei) در تشکیل بلورهای یخ در ابرها مؤثر است (۵۷) که این شرایط اهمیت گردوغبارهای معدنی را در تشکیل ابرهای سرد نشان می‌دهد. گرچه ممکن است این ماهیت این ذرات در مسیر انتقال به بخش‌های مختلف جو طی فعل و انفعالات شیمیایی با دیگر گازها، تغییر کند، اما به‌طور کلی به عنوان هسته‌های تراکم در تشکیل ابر مؤثر هستند (۵). در چنین شرایطی، اثر گردوغبار بر فرآیند تشکیل ابر به عنوان هسته‌های تراکم، به عنوان اثرات نیمه مستقیم گردوغبار تلقی می‌شود.

یکی از پارامترهای تاثیر گذار بر حجم آب قابل بارش ذرات معلق یا آئروسول است. «آئروسول به عنوان یکی از عوامل مهم تأثیرگذار بر آب و هوای جهانی در نظر گرفته شده است که می‌توان آن را با سایر عوامل مجبور کننده آب و هوا مانند گازهای گلخانه‌ای، کاربری زمین، فعالیت‌های خورشیدی و غیره مقایسه کرد» (۱۱).

بیابان زایی» از تحقیقات مرتبط با موضوع تحقیق در مقاله حاضر می‌باشد.

«گرد و غبار، سیستم آب و هوا را بواسطه تغییر ویژگی‌های ابر، از وجوه بسیار، تحت تاثیر قرار می‌دهد. ذرات معلق به عنوان هسته تراکم ابر و هسته یخ عمل می‌کند. آنها ممکن است هم انجماد را مهار کنند و فرو بنشانند و هم می‌توانند بر چرخه آب تاثیر بگذارند» (۳۴).

«با استفاده از تصاویر ماهواره ای، امکان برآورد حجم آب قابل بارش با کمک باندهای جذبی بخار آب و باندهای حرارتی در هر زمان و مکان و در هر مقیاسی ممکن است. پژوهشگران با تعیین مناطق فاقد ابر روی تصاویر ماهواره ای، کل آب قابل بارش را تخمین می‌زنند. بدین طریق قادر به پیش بینی وضعیت پتانسیل بارش اند و در مراحل بعدی (مرحله تراکم و تولید ابر) نیز با در نظر گرفتن فاز ابر (یخی یا آبی بودن) و یک سری اطلاعات کمکی دیگر همانند موقعیت جغرافیایی، فصل سال، زمان سال، و غیره قادر به پیش بینی نوع و مقدار بارش اند. برای این منظور استفاده از الگوریتم‌هایی که مقدار بارش را به صورت کمی به دست دهد ضروری است. اندازه گیری بارش از فضا از طریق تفسیر انرژی دریافت شده به وسیله سنجنده که از ابرها، بارش و سطح زیرین آن پخش یا منعکس شده، انجام می‌شود (۱۵).

بدیهی است که «الزاماً بخار آب موجود در ستون جو که قابلیت بارش دارد به مفهوم نزولات جوی نخواهد بود. اینکه چه مقدار از این آب به سطح زمین خواهد رسید به بسیاری از پارامترهای جوی از قبیل دما، فشار جو، جهت و سرعت باد» (۲) و برخی از پارامترهای آنتروپولوژی همچون گردوغبار منطقه‌ای، موجود در جو بستگی دارد. « به گفته محققان، انتشار ذرات معلق در هوا سبب می‌شود قطرات ریز آب پیرامون این ذرات جمع شوند و در نتیجه شکل‌گیری ابرهای بزرگ با سرعت بیشتری رخ بدهد. هنگامی که فراوانی ذرات معلق (با قطر کمتر از ۱۰ میکرومتر) در جو، بالا باشد، ابعاد قطرات ریز تشکیل شده آب درون ابرها پایین‌تر از حدی است که قطرات باران شکل بگیرد و به همین علت ابرها به دلیل عدم بارندگی

ارتفاع ابر) می‌شود (۹). در مجموع، در هر شرایطی، افزایش آئروسول در جو منجر به افزایش سپیدایی ابر نمی‌شود (۵۶). «محصولات مد ۰۶ که حاوی اطلاعاتی از مشخصات ابر می‌باشد، شامل مشخصه‌های فاز ابر، دمای تاج ابر، فشار تاج ابر، قطر ذرات موثر در تاج ابر و ژرفای نوری یا ضخامت اپتیکی ابر می‌باشد که در الگوریتم‌های محصول مد ۰۶ و نتایج بدست آمده از آن، لحاظ گردیده است. در اینجا به معرفی مختصر محصولات مد ۰۶، مورد استفاده در این پژوهش می‌پردازیم. در سنجش غیر مستقیم یا از راه دور از ویژگی‌های فیزیکی ابرها برای تشخیص و پیش بینی بارش استفاده می‌شود (۱۸).

۲-۷-۱- مشخصات محصولات Mod06

۲-۷-۱-۱- پوشش ابر

«محصول ابر مادیس ترکیبی از تکنیک‌های مادون قرمز و مرئی برای تعیین خواص فیزیکی و تابشی ابر است. وضع ذرات ابر، شعاع موثر، ضخامت نوری ابر و آب قابل بارش با وضوح هر پیکسل ۱ کیلومتری از باندهای مادون قرمز، مادون قرمز نزدیک و موج کوتاه مرئی سنجنده مادری، مشتق شده است. میزان دمای بالای ابر، مقدار فشار بالای ابر، میزان انتشار موثر و وضع ذرات ابر بوسیله روش‌های بازیابی مادون قرمز هم در روز و هم در شب با وضوح پیکسل‌های 5×5 کیلومتری تولید می‌شود».

۲-۷-۱-۲- ضخامت اپتیکی ابر

ضخامت اپتیکی ابر مربوط به ژرفای نوری ابر است که با حرف (τ) نشان داده می‌شود. این مشخصه ابر بدون بعد بوده و دامنه‌ای بین ۰ تا ۱۰۰ را دارا می‌باشد. ژرفای نوری ابر تابعی از چگالی مایع در ابر و ضخامت ابر است که در واقع نشان دهنده گذر نور در ابر است. هرچه ضخامت ابر و چگالی آب موجود در ابر بیشتر باشد، انتظار ما از وقوع بارش و میزان آن نیز بیشتر خواهد بود.

«ذرات معلق در هوا چه به طور مستقیم از طریق پراکندگی و جذب، و چه به طور غیر مستقیم، از طریق تغییر و تبدیل خواص ابر و رخداد‌های آن، بودجه تابش جهانی را آشفته می‌سازد». افزایش غلظت هوامیزها در جو مناطق شهری و صنعتی، از عوامل اصلی در تغییر مقدار ابرناکی و به تبع آن بارش می‌باشد (۱).

ارزیابی دقیق اثرات آئروسول و ابر بر آب و هوا به اطلاعات جهانی در مورد خصوصیات آئروسول نیاز دارد. چنین اطلاعات جهانی فقط با استفاده از ماهواره‌های سنجش از دور قابل ارائه است (۵۵). از جمله ابزارهای ماهواره‌ای که برای بازیابی آئروسول و ابر استفاده می‌شود، محصولات سطح ۲ (مد ۰۶) سنجنده مادیس است که برای شناسایی و تفکیک مناطق ابری بارانی از مناطق ابری بدون باران مورد استفاده قرار می‌گیرد. «ذرات معلق گردوغبار در مناطق شهری و صنعتی، به عنوان عامل کاهنده بارندگی و نزولات آسمانی عمل می‌کند. در واقع، ریزگردهای بزرگ (بزرگتر از ۱ میکرون) می‌توانند بارندگی را افزایش دهند. اما «ریزباری» عاملی است که به سرکوب بارش‌های فراوان می‌انجامد (۳۹).

افزایش تراکم گردوغبار جو، منجر به افزایش تعداد قطرات معلق و همچنین کاهش اندازه قطرات آب موجود در ابر می‌شود. در نتیجه انعکاس ابر افزایش می‌یابد. این فرآیند را می‌توان اولین مرحله در اثرات غیرمستقیم گردوغبار دانست. بدین ترتیب که گردوغبار باعث تغییر در سپیدایی ابر در اثر تغییر در هسته‌های تراکم ابر و یا هسته‌های یخ ابر می‌شود (۵۹). کاهش اندازه قطرات ابر به معنای کاهش برخورد این قطرات به هم و در نتیجه کاهش به هم آمیختگی ابر می‌شود (۴۷) این شرایط شکل‌گیری ابر را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۱۷). در چنین شرایطی علی‌رغم اینکه ممکن است ابر برای مدت زمان بیشتری در جو باقی بماند، اما انعکاس ابر افزایش یافته و فرآیند انجماد در ابر در مرحله اختلاط قطرات آب ابر افزایش می‌یابد. بنابراین منجر به افزایش باران‌های سرد، تگرگ (عمدتاً درشت‌دانه)، تشکیل ابرهای بالا (افزایش

۲-۷-۱-۳- شعاع موثر ابر

کم یا زیاد می شود. نکته کلیدی که باید توجه داشت این است که بر خلاف نظریه دانشمندان، در ایران آب قابل بارش کمتر از عرض جغرافیایی تبعیت کرده و بیشتر از توپوگرافی و دوری و نزدیکی به دریا تاثیر می پذیرد (۱۰).

شعاع موثر ابر مربوط به شناسایی قطر ذرات در تاج ابر در مقیاس میکرون و در دامنه ۰ تا ۴۰ میکرون است. این مشخصه ابر با حرف (re) نشان داده می شود. شعاع موثر ذرات ابر از مشخصه های بنیادین ابر در اندازه گیری های سنسجش از راه دور بارش ابر، کاربرد دارد.

۲-۷-۱-۴- فشار و دمای تاج ابر

از آنجایی که آگاهی از تنوع مکانی و زمانی آب قابل بارش به منظور درک فرآیند های آب و هوایی همراه با پایش شرایط خشکسالی، تولید گردوغبار و فرآیند های بیابان زایی حائز اهمیت است (۲۴) در این مقاله سعی بر این بوده است که با استفاده از تصاویر سنجنده مادیس، محصول مد ۰۶ (MOD06) میزان آب قابل بارشی که بواسطه گردوغبار، سرکوب و خفه شده، تشخیص و روشی جدید برای برآورد آب قابل بارش با استفاده از داده های سنسجش از دور (سنجنده مادیس محصول MOD06) که به خوبی کار می کند ارائه شود.

این مشخصه ویژگی های مربوط به دما و فشار را در تاج ابر بیان می کند. دمای تاج ابر از مشخصه های مهم در تشخیص پتانسیل باران زایی ابر است. از سویی فشار تاج ابر، فاکتوری برای بیان ارتفاع تاج ابر می باشد. از آنجایی که ارتفاع بر دمای ابر و دما نیز بر تعداد و شکل کریستال های درون ابر و فاز ابر موثر است، همچنین همگی این عوامل بر بارانزا یا غیربارانزایی ابر تاثیر گذارند، این دو مشخصه در میان محصولات مد ۰۶ فیزیک ابر از اهمیت زیادی برخوردار است (۱۸).

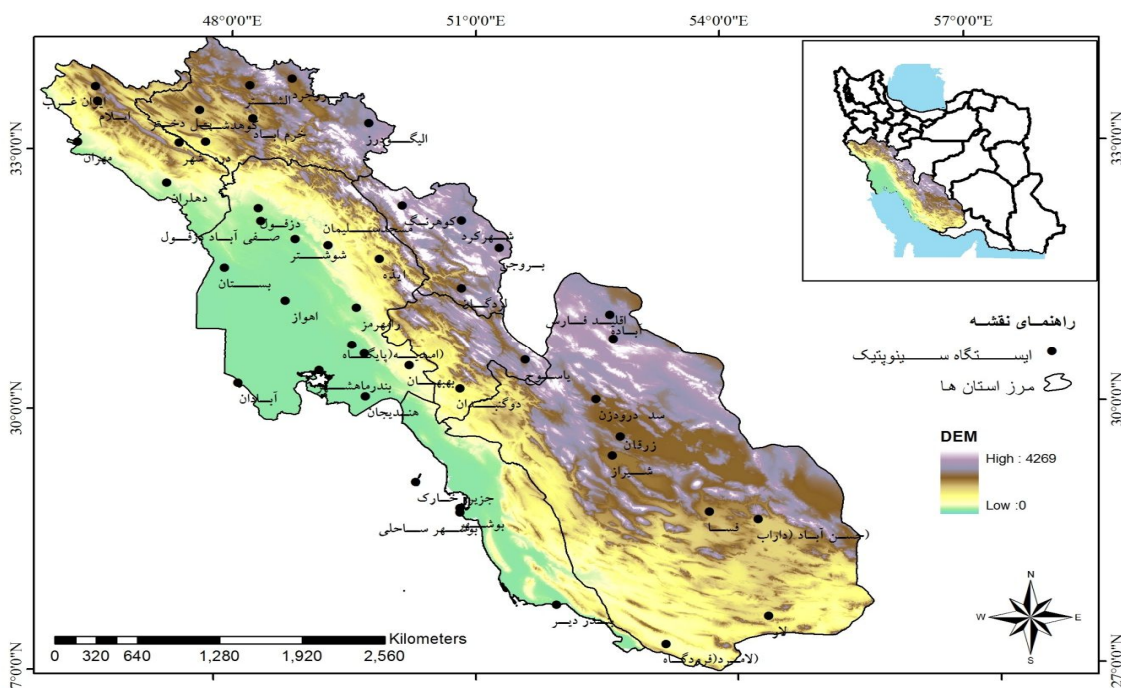
مواد و روش ها

مشخصات منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در جنوب غربی ایران و در محدوده طول جغرافیایی ۴۵ درجه و ۸۶ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۳۵ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۷ درجه و ۳ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۲ دقیقه شمالی قرار دارد (شکل ۱). این مطالعه برای استان های جنوب غربی ایران و با استفاده از داده ها و اطلاعات ۴۵ ایستگاه همدیدی واقع در هفت استان ایلام، لرستان، کهگیلویه و بویر احمد، چهارمحال و بختیاری، خوزستان، بوشهر و فارس واقع در جنوب غربی ایران انتخاب شدند. «بررسی وضعیت اقلیمی، جهت بادهای منطقه و وضعیت فشار هوا در این مناطق نشاندهنده تأثیرپذیری وقوع گردوغبار از شرایط جوی منطقه از جمله ناپایداری جوی حاصل از باد و تقابل توده های کم فشار و پرفشار هواست» (۵۳).

۲-۸- مفهوم آب قابل بارش

به تمام بخار آب موجود در ستونی از جو (۴۰)، که از سطح زمین تا پایان تروپوسفر ادامه داشته و قابل تبدیل به ریزش های جوی باشد، آب قابل بارش گویند (۸). حجم بخار آب قابل بارش تحت تأثیر عوامل غلظت جو، دما، پوشش ابر (۴۰)، جهت و سرعت باد، عوامل محلی و از همه مهم تر میزان وزش و همگرایی رطوبت می باشد. داده های ماهواره ای آب قابل بارش به خوبی تغییرات بخار آب موجود در جو را قبل از زمان بارش و پس از زمان بارش بازگو می کند (۲). بسیاری از دانشمندان معتقدند که با افزایش عرض جغرافیایی و همچنین دوری و نزدیکی به دریا، آب قابل بارش



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی و نقشه توپوگرافی منطقه مورد مطالعه

Fig. 1. Geographical location and topographical map of Southwest of Iran

جهت آشکارسازی گردوغبار همزمان با بارش در این تحقیق، از روش ترکیبی آماری-سنیوپتیکی و سنجش از دوری استفاده شده است. مشخصات ایستگاه های هواشناسی و ویژگی های ماهانه پارامترهای مورد بررسی در جدول ۱ ارائه شده است.

تحقیق حاضر بر اساس ماهیت و روش، یک تحقیق تحلیلی توصیفی موردی به شمار می رود که شیوه تجزیه و تحلیل اطلاعات و داده های تحقیق به روش کمی و با استفاده از آمار توصیفی و همچنین تجزیه و تحلیل فضایی صورت گرفته است.

جدول ۱: مشخصات ایستگاه های هواشناسی منطقه مورد مطالعه و فراوانی ماهانه مهمترین پارامترهای مورد بررسی

Table 1. Specifications of Southwest of Iran Meteorological Stations and Monthly Climatic Parameters

ردیف	ایستگاه	استان	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع بر حسب متر	میانگین بارش سالانه (میلیمتر)	روزهای بارش سالانه	بداقتی روزهای بارش
۱	آبادان	خوزستان	۴۸	۳۰	۷	۱۵۴	۷۶	۵۰
۲	اهواز	خوزستان	۴۹	۳۱	۲۳	۲۲۰	۸۵	۵۱
۳	بهبهان	خوزستان	۵۰	۳۱	۳۱۳	۳۳۲	۳۹	۲۲
۴	بستان	خوزستان	۴۸	۳۲	۸	۱۹۸	۷۰	۴۲
۵	دزفول	خوزستان	۴۸	۳۲	۱۴۳	۳۹۳	۹۴	۳۶
۶	صفی آباد	خوزستان	۴۸	۳۲	۸۳	۳۲۸	۷۶	۴۲
۷	ایذه	خوزستان	۵۰	۳۲	۷۶۷	۶۳۴	۴۴	۱۸
۸	مسجد سلیمان	خوزستان	۴۹	۳۲	۳۲۱	۴۴۰	۶۲	۴۶
۹	بندر ماهشهر	خوزستان	۴۹	۳۱	۶	۱۹۷	۶۰	۳۹

ردیف	ایستگاه	استان	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع بر حسب متر	میانگین میانگین سالانه	ماه روزهای	سالانه	دب اقتی	روزهای ب
۱۰	امیدیه (آغاچار ی)	خوزستان	۵۰	۳۱	۲۷	۲۵۹	۵۲	۲۷		
۱۱	امیدیه (پایگاه)	خوزستان	۵۰	۳۱	۳۵	۲۴۷	۱۲۸	۴۲		
۱۲	رامهرمز	خوزستان	۵۰	۳۱	۱۵۱	۲۹۱	۴۵	۱۲		
۱۳	شوشتر	خوزستان	۴۹	۳۲	۶۷	۲۹۸	۴۳	۳۲		
۱۴	هندیجان	خوزستان	۴۹	۳۰	۷	۲۰۵	۴۳	۲۲		
۱۵	بنلر دیر	بوشهر	۵۲	۲۸	۴	۲۲۶	۹۲	۱۱		
۱۶	بوشهر ساحلی	بوشهر	۵۱	۲۹	۸	۲۶۷	۸۸	۱۵		
۱۷	بوشهر (فروگاه)	بوشهر	۵۱	۲۹	۹	۲۵۷	۹۷	۳۱		
۱۸	جزیره خارک	بوشهر	۵۰	۲۹	۱-	۲۰۷	۵۷	۲۱		
۱۹	جم (کنگان)	بوشهر	۵۲	۲۸	۶۵۹	۳۵۳	۱۰۴	۲۱		
۲۰	دوگنبدان	کهگیلویه و بویراحمد	۵۱	۳۰	۷۲۶	۴۹۷	۳۰	۲۶		
۲۱	یاسوج	کهگیلویه و بویراحمد	۵۲	۳۱	۱۸۱۶	۸۱۳	۲۲	۱۳		
۲۲	کوهرنگ	چهارمحال و بختیاری	۵۰	۳۳	۲۳۶۵	۱۳۳۲	۱۰	۲۸		
۲۳	لردگان	چهارمحال و بختیاری	۵۱	۳۲	۱۶۱۱	۵۵۰	۱۳	۱۰		
۲۴	شهرکرد	چهارمحال و بختیاری	۵۱	۳۲	۲۰۴۹	۳۴۱	۱۶	۱۶		
۲۵	بروجن	چهارمحال و بختیاری	۵۱	۳۲	۲۲۶۰	۲۵۶	۱۶	۸		
۲۶	خرم آباد	لرستان	۴۸	۳۳	۱۱۴۸	۴۷۸	۳۴	۸		
۲۷	بروجرد	لرستان	۴۹	۳۴	۱۶۲۹	۴۶۱	۲۴	۱۱		
۲۸	الشتر	لرستان	۴۸	۳۴	۱۵۶۷	۴۵۸	۳۸	۲۰		
۲۹	الیگودرز	لرستان	۵۰	۳۳	۲۰۲۲	۴۱۹	۲۱	۱۲		
۳۰	پل دختر	لرستان	۴۸	۳۳	۷۱۴	۳۶۶	۴۰	۷		
۳۱	کوهدشت	لرستان	۴۸	۳۴	۱۱۹۸	۳۶۶	۲۷	۱۱		
۳۲	آباده	فارس	۵۳	۳۱	۲۰۳۰	۱۱۵	۲۲	۴		
۳۳	اقلید	فارس	۵۳	۳۱	۲۳۰۰	۳۱۷	۶	۴		
۳۴	فسا	فارس	۵۴	۲۹	۱۲۶۸	۲۸۳	۴۰	۵		
۳۵	حسن آباد	فارس	۵۴	۲۹	۱۰۹۸	۲۵۰	۵۸	۱۳		

ردیف	ایستگاه	استان	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع بر حسب متر	میانگین سالانه	روزهای یخبندان	سالانه	دید افقی	روزهای برف	
	داراب										
۳۶	لار	فارس	۵۴	۲۸	۷۹۲	۲۰۰	۷۲			۱۴	
۳۷	لامرد	فارس	۵۳	۲۷	۴۱۱	۲۱۷	۴۷			۱۳	
۳۸	شیراز	فارس	۵۳	۳۰	۱۴۸۸	۳۲۹	۷۱			۱۶	
۳۹	زرقان	فارس	۵۳	۳۰	۱۵۹۶	۳۱۸	۱۷			۷	
۴۰	سد درودزن	فارس	۵۲	۳۰	۱۶۴۲	۴۷۰	۱۹			۹	
۴۱	ایلام	ایلام	۴۶	۳۴	۱۳۳۷	۵۷۸	۳۴			۲۰	
۴۲	دره شهر	ایلام	۴۷	۳۴	۶۷۰	۴۳۵	۴۲			۱۶	
۴۳	دهلران	ایلام	۴۷	۳۳	۲۳۲	۲۷۶	۶۱			۱۷	
۴۴	ایوان	ایلام	۴۶	۳۴	۱۱۷۰	۶۷۱	۳۶			۹	
۴۵	مهران	ایلام	۴۶	۳۴	۱۵۰	۲۰۵	۶۶			۳۰	

داده های ایستگاهی و ماهواره ای مورداستفاده

حاضر (ww) گزارشات سینوپتیک دیده بانی و ثبت می گردند عبارتند از: کدهای (کد ۰۶، ۰۷، ۰۸، ۰۹، ۳۰، ۳۱، ۳۲، ۳۳، ۳۴، ۳۵، ۳۶ و ۹۸). در سازمان هواشناسی کشور به دلیل عدم استخراج آمارهای مربوط به پدیده گردوغبار به تفکیک کدهای فوق، دسترسی به آمارهای تفکیک شده گردوغبار به سختی امکان پذیر است. از این رو اطلاعات ورودی و مبنای انجام تحلیل های آماری در این مطالعه، داده های مذکور می باشد. از گزارشات سینوپتیک دیده بانی در تعدادی از مطالعات پیشین در خارج از کشور نیز استفاده شده است (۲۷). علاوه بر میزان بارش روزانه (mm) و تعداد روزهای گردوغبار، پدیده های مرتبط با بارش و گردوغبار که عبارت هستند از: فراوانی رخداد های روزانه گردوغبار (کدهای ۶ تا ۸)، فراوانی رخداد های روزانه گردوغبار (کدهای ۹ تا ۳۴)، دید افقی کمتر از ۲۰۰۰ متر، تعداد روزهای توام با گرد و غبار، ابرناکی، حداقل دمای روزانه، حداکثر دمای روزانه، میانگین دمای روزانه، تبخیر، ساعات آفتابی و رطوبت نسبی، از طریق شبکه داده های هواشناسی، در این تحقیق استفاده شده است.

مواد تحقیق شامل، داده های هواشناسی مربوط به کدهای غباری (کدهای ۸-۶)، و داده های هواشناسی شامل بارش روزانه و روزهای توام با گردوغبار و رخداد های روزانه گردوغبار برای دوره آماری (۲۰۱۶-۱۹۸۶) و برای ایستگاه های سینوپتیک جنوب غربی کشور (۴۵ ایستگاه از ۷ استان) در مقاطع ۸ ساعته، از سازمان هواشناسی اخذ و در محیط Excel در قالب جداول ماهانه تنظیم شد. در سازمان هواشناسی کشور برای بیان هوای حاضر از اعداد رمزی (کد ۰۰ تا ۹۹) استفاده می کنند. طبق این کد بندی، کد ۰۵ به پدیده هیز (Haze) کد ۰۶ به گردوخاک معلق در هوا که در اثر توفان شن و یا خاک از نقاط خارج از ایستگاه به ایستگاه وارد شده و کد ۰۷ به گردوخاک یا شنی که بوسیله باد در ایستگاه و یا نزدیکی آن در ساعت دیده بانی بلند شده است، اختصاص داده شده است (۱۶). «تعداد روزهای گرد و غبار تنها داده هواشناسی قابل دسترس در ارتباط با گردوغبار های کشور است. تیپ های متفاوتی از گرد و غبار وجود دارد که سازمان هواشناسی جهانی (WMO) بر حسب عوامل هواشناسی ایجادکننده، محدوده تاثیر، میزان کاهش دید افقی، و سرعت باد همراه آن به صورت کد، طبقه بندی کرده است. این کدها که در گروه هوای

دسته دوم شامل نقشه های همدیدی و تصاویر ماهواره ای در روزهای غباری است. «داده های محصول ابر مد ۰۶ (MOD06)، شرح داده شده در این تحقیق « توسط موسسه

مجدد انجام شد. «بیشتر گردوغبارهای مشاهده شده در منطقه، منشأ فرامحلی داشته و در مسیر ورود چرخنده ها و سامانه‌های منتقل کننده گردوغبار به کشور قرار دارد» (۵۴).

«در مرحله سنجش ازدوری اثر گردوغبار همراه با بارش روی ابر به لحاظ میزان آب قابل بارش بر مبنای تصاویر ماهواره ای مورد بررسی قرار گرفت. از آنجایی که ذرات گردوغبار به دلیل کوچک بودن اندازه ذرات می توانند تا ارتفاعات بالای جو انتقال یافته و مسافت زیادی را در سطح زمین طی کنند بنابراین اثر آنها فقط محدود به محل وقوع توفان ها نشده بلکه اثرات آنها را کیلومترها دورتر از محل وقوع قابل جستجو می باشد. همین امر به اهمیت تاثیر گردوغبار بر روی ابر افزوده است. مشاهدات مبتنی بر باند مرئی، معرف ضخامت ابر و مشاهدات مبتنی بر باند مادون قرمز معرف دمای ابر است. که آن هم خود معرف ارتفاع ابر می باشد. در روش های مبتنی بر مادون قرمز فرض بر این است که ابرهای با دمای پایین تر دارای ارتفاع و ضخامت بیشتری هستند و به بارش بیشتر منجر خواهند شد. بنابراین از دما یا آلدوی قسمت فوقانی ابرها به عنوان آستانه ای برای نسبت دادن بارش استفاده می کنند» (۱۵).

«برای انجام این تحقیق، علاوه بر داده های ماهواره مادیس شامل محصولات فیزیک و میکروفیزیک ابر از طریق وب سایت ناسا، استفاده شد. محصولات مد ۰۶ (MOD06) شامل اطلاعات مربوط به ویژگی های ابر مانند فاز ابر، دمای بالای ابر، فشار بالای ابر، قطر قطرات موثر در بالای ابر و عمق نوری ابر یا ضخامت نوری در الگوریتم های MOD06 و نتایج آن می باشد. در تحقیق انجام شده تفکیک و عمق نوری ابرها با احتمال زیاد بارش تجزیه و تحلیل شد» (۱۸).

رویداد های مورد مطالعه در این تحقیق بارش های سنگینی است که قبل از وقوع آن رخداد های گردوغبار به وقوع پیوسته است. به منظور بررسی آب قابل بارش، همه رخدادهای بارش سنگین که در روزهای قبل از وقوع بارندگی در شرایط گردوغبار قرار داشتند، انتخاب و تفکیک شدند. برای بررسی تغییرات خردفیزیک ابر همان رویداد (حاد

گودارد (GODDARD) توزیع و بایگانی شده است» (۲۹). این داده ها شامل داده های شبکه ای اقلیمی با قدرت تفکیک مکانی $2/5 \times 2/5$ درجه طول و عرض جغرافیایی و با فرمت Netcdf (Network Common Data Form) می باشد. تصویر همزمان با روزهای غباری از پایگاه گودارد سازمان فضایی ناسا (NASA) تهیه شد. «اساس بازیابی اطلاعات بر مبنای مشخصات ابر، شامل مشخصه های فاز ابر، دمای تاج ابر، فشار تاج ابر، قطر ذرات موثر در تاج ابر و ژرفای نوری یا ضخامت اپتیکی ابر می باشد که در الگوریتم های مورد استفاده در محصولات مد ۰۶ (Mod06) و نتایج بدست آمده از آن، لحاظ گردیده اند.» (۱۸) ترکیب رنگی حاصل از بازتاب باندهای (۱، ۴ و ۳) سنجنده مادیس، جهت آشکارسازی گردوغبار در این تحقیق استفاده شده است.

برای دستیابی به اهداف در نظر گرفته شده در این پژوهش و انجام مقایسه در مناطقی که در معرض رخداد بارش قرار داشته اند و مناطقی که در تحلیل تصاویر ماهواره ای به عنوان ابرهای بارش زا تشخیص داده شده است، آمار بارندگی روزهای یک دوره سی ساله میلادی (۲۰۱۶-۱۹۸۶) از کلیه ایستگاه های مورد نظر از اداره کل هواشناسی به صورت روزانه دریافت گردید.

روش کار

پژوهش حاضر در محدوده هفت استان جنوب غربی ایران انجام گردیده است. برای انجام تحقیق در بازه زمانی سی سال علاوه بر استفاده از داده های سنجنده مادیس شامل محصولات فیزیک و میکروفیزیک ابر اخذ شده از طریق تارنمای سازمان ناسا، از نقشه های هواشناسی مورد نیاز تهیه شده از تارنمای نوا (نقشه های بازتحلیل شده NCEP-NCAR) نیز استفاده گردید.

پس از اخذ داده ها از سازمان هواشناسی کشور، فراوانی رخدادهای گردوغبار و بارندگی با استفاده از داده های روزانه ۴۵ ایستگاه تفکیک شده و سپس روزهایی که هر دو رخداد گردوغبار و بارندگی در آن به وقوع پیوسته است جداسازی

تجزیه و تحلیل قرار گرفت. اگر چه ما بر روی جنبه جهانی آئروسول های مختلف غیر مستقیم انسانی تمرکز داریم، اما به دلیل اینکه بررسی تمام مطالعات منطقه ای بر روی اثرات غیر مستقیم آئروسول بر روی بارش فراتر از محدوده این مطالعه می باشد، بر روی یک مورد مطالعاتی واکاوی اثر گردوغبار بر روی بارش تمرکز صورت گرفته است.

داده های محصول MOD06 مادیس نیازی به اعتبار سنجی ندارند. اهمیت داده های اعتبارسنجی این است که از وقوع بیش برآزش جلوگیری می کند. از آنجا که توزیع مکانی و زمانی بارش به ویژه در باران های سنگین که اغلب توسط ابرهای همرفتی ایجاد می شود به عنوان یک پدیده طبیعی، بسیار نامنظم می باشد، لذا فرموله کردن آن حتی در صورت استفاده از روش های غیرخطی حداقل با دانش امروزی امکان پذیر نیست؛ از این رو در این تحقیق، تخمین آب قابل بارش با فرض یکنواخت بودن نرخ باران در سطح زیر ابر صورت گرفته است.

به منظور برآورد اثر گردوغبار بر روی کل آب قابل بارش، کل رخدادهای گردوغبار در زمان بارش، قبل و بعد از رویدادهای بارش پیاده سازی و تفکیک شد. محصولات میزان کل آب قابل بارش از باندهای مادون قرمز نزدیک در مد ۰۶ (MOD06) دریافت شد و پس از انجام پردازش های اولیه شامل برش مکانی، چسباندن لایه ها و اعمال ضرایب، تبدیل آب قابل بارش در محل ۴۵ ایستگاه همدیدی واقع در هفت استان جنوب غربی کشور، که منطبق با بیشترین فراوانی رخدادهای گردوغبار روزانه بودند استخراج شد. سپس با مقادیر پارامترهای سینوپتیک ایستگاههای زمینی شامل دما، بارش، میدان دید افقی، تعداد روزهای گردوغبار، فراوانی رخدادهای گردوغبار، سمت و سرعت باد، و رطوبت نسبی مقایسه گردید.

روش برآورد حجم آب قابل بارش از طریق روش های

مبتنی بر تصاویر باندهای مرئی و مادون قرمز

در شکل (۲)، تصویر سمت راست مربوط به تصویر رنگی واقعی (با ترکیب رنگی حاصل از قابلیت بازتاب باندهای ۱، ۴

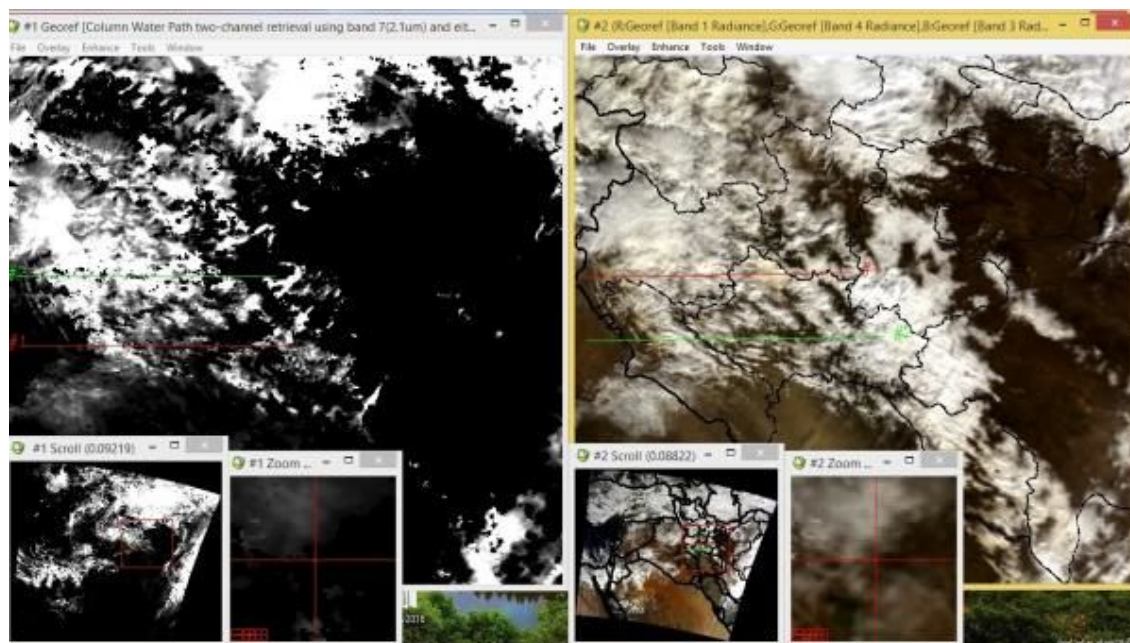
آلودگی)، تصاویر مربوط به ابر سنجنده مادیس برای آن رویداد، و یک مورد بارش که الگوی همدیدی یکسان با آن داشت، استخراج و بررسی شدند. تصاویر برای یک تا ۲۰ روز قبل از شروع بارش و ادامه رویداد بارش، بررسی شدند. بر مبنای داده های طبقه بندی شده مادیس محصول مد ۰۶ (MOD06) تاثیر گردوغبار بر بارش مورد بررسی قرار گرفت. پارامترهای شعاع موثر قطرک ابر، ضخامت نوری ابر، فاز ابر، دما و فشار قله ابر مورد بررسی قرار گرفتند. «آلودگی ذره ای در ابرهای با فاز مخلوط باعث کاهش شعاع موثر قطرک ابرها قبل از وقوع بارش، افزایش ضخامت نوری، افزایش ارتفاع ابر، بارش بیشتر و کاهش دمای بالای (قله) ابر می شود» (۱).

«در این مطالعه، محصول میزان کل آب قابل بارش (TPW) در جو با استفاده از پارامتر درصد ابرپوش فرآورده ابر سطح ۲، نسخه ۶ مودیس تررا (MOD06) در یک مورد به تاریخ ۲۰۱۵/۰۲/۲۱ که در ساعت های قابل استخراج در محدوده مورد مطالعه، استفاده و مورد بررسی قرار گرفته و با اطلاعات زمینی مقایسه انجام شده است. به منظور مکان یابی بارزسازی و زون بندی غلظت توده های گردوغبار جنوب غرب ایران و تشخیص مناطق مستعد به بلند شدن غبار، پس از به دست آوردن نقشه های عمق اپتیکی، اطلاعات زمینی شدت و فراوانی وقوع گردوغبار و بارندگی، تصاویر و محصولات سنجنده مودیس در بدترین روزهای غباری هر فصل تهیه شده و مورد بررسی قرار گرفت. در اولین مرحله با توجه قابلیت های سنجنده های مختلف، سنجنده MODIS به عنوان منبع اصلی داده های سنجش از دوری انتخاب گردید. از بین تصاویر منتخب تصویر مربوط به تاریخ (۲۱ فوریه ۲۰۱۵) به عنوان نمونه موردی انتخاب شده است. در مرحله اول تحقیق که واکاوی گردوغبار و بارش انجام پذیرفت روزهایی که گردوغبار توام با بارش ثبت شده بود جداسازی شدند. در این تاریخ گردوغبار همراه با بارش مشاهده شده است. در واقع بر اساس شباهت شرایط همدیدی و قابلیت دریافت تصاویر ماهواره ای، این دو نمونه انتخاب و شرایط همدیدی آنها مورد

اصلی (تصاویر بزرگ) مشاهده می شود و پنجره zoom هم بخشی از پنجره اصلی را دوباره بزرگ نمایی می کند. با دقت در تصویر رنگی کاذب می توان گردوغباری را که وارد ابر شده است دید. در داخل این تصویر دو خط با رنگ های قرمز و سبز دیده می شود. این دو خط طوری ترسیم شده است که ابر و گردوغبار را شامل می شود.

در این پژوهش جهت پردازش و تحلیل اطلاعات سنجنش از دور و به ویژه داده های ماهواره ای از نرم افزار ENVI استفاده شده است.

و ۳) سنجنده مادیس می باشد و تصویر سمت چپ، محصول MOD06 (column water path g/m2) موقعیت منطقه را در همان زمان نشان می دهد. تصاویر کوچکتر ضمیمه در بخش پایین شکل به شرح زیر است: تصویر اصلی، که با عنوان zoom، مشخص شده است تصویر بزرگ نمایی شده از ابر و گردوغبار را نشان می دهد و تصویر کناری آن که با عنوان Scroll) مشخص است کل منطقه تصویر برداری شده را نشان می دهد. در داخل تصویر scroll که کل منطقه را نشان می دهد پنجره ای قرمز رنگ به صورت بزرگ نمایی شده در تصویر

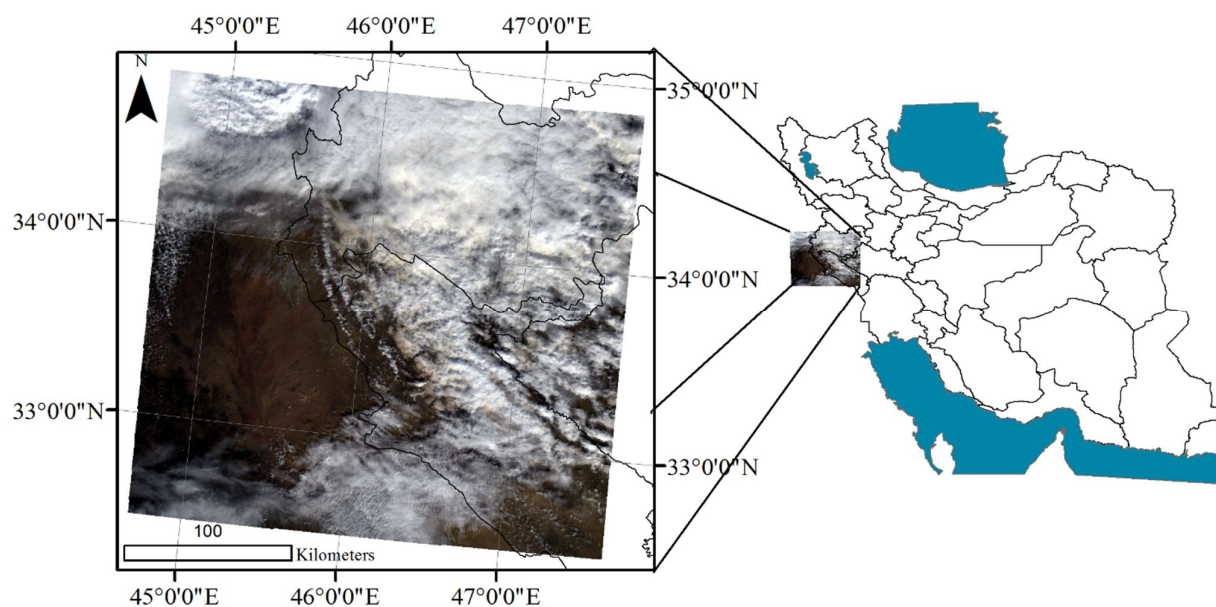


شکل ۲: تصویر ماهواره ای پردازش شده تاریخ ۲۱/۰۲/۲۰۱۵

Fig. 2. Geometric correction of satellite image in (February 21, 2015).

تصویر نیز دیده می شود در این روز گرد و غبار از عراق وارد ایلام شده است طوری که نیمه غربی ایلام زیر پوشش گرد و غبار قرار داشته و نیمه شرقی آن عاری از گرد و غبار بوده است. ایستگاههای سینوپتیک غرب کشور در این روز ورود گرد و غبار از عراق را تایید کرده اند.

روش واکاوی گردوغبار و بارش با استفاده از داده های محصول MOD06 در تاریخ (۲۱ فوریه ۲۰۱۵). جهت بررسی مقدار رطوبت موجود در اتمسفر در دو شرایط وجود گرد و غبار و عدم وجود آن، تصویر ۲۰۱۵-۰۲-۲۱ برای غرب کشور انتخاب شد (شکل ۱) همانطور که در



شکل ۳: محدوده جغرافیایی منطقه مورد مطالعه، تصویر رنگی واقعی سنجنده مادیس ۲۱/۰۲/۲۰۱۵

Fig. 3. Geographical location of the study area, true color image of Madis sensor

column water path g/m^2 برحسب گرم بر متر مربع در دو

ناحیه طیفی با مشخصات زیر از تصاویر MYD06_L2A2

استخراج گردید:

محدوده شماره ۱:

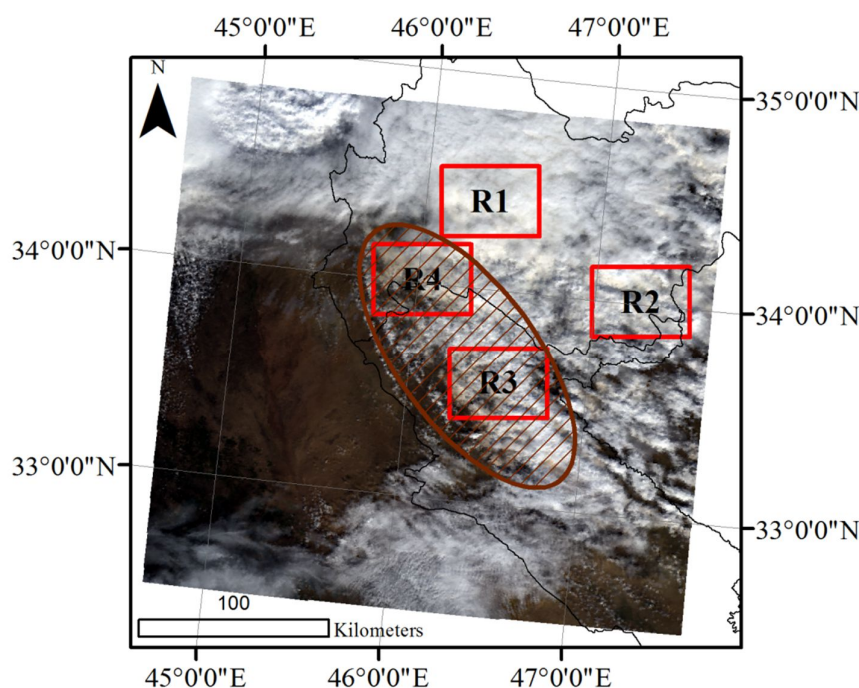
Column Water Path two-channel retrieval using band 7(2.1 μm) and either band 1(0.65 μm); 2(0.86 μm); or 5(1.2 μm) (g/m^2)

محدوده شماره ۲:

Column Water Path two-channel retrieval using band 20(3.7 μm) and either band 1(0.65 μm); 2(0.86 μm); or 5(1.2 μm) (g/m^2)

چنانچه در تصویر ماهواره‌ای شکل ۲، مشاهده می شود سامانه بارشی همزمان با رخداد گرد و غبار به منطقه مورد نظر وارد شده است و بیشتر غرب کشور را پوشش داده است. چهار ناحیه هم اندازه در منطقه مورد مطالعه به گونه ای انتخاب شدند که دو مورد از آنها در منطقه رخداد گرد و غبار و دو مورد دیگر خارج از منطقه رخداد گرد و غبار قرار گرفته است. (شکل ۲).

بعد از مشخص شدن نواحی نمونه، نمونه برداری با پیکسل ۱ کیلومتر در ۴ ناحیه مورد مطالعه انجام شد. بر این اساس ۷۴۴۶ نمونه استخراج شد و برای تمامی نمونه‌ها مقادیر



شکل ۴: تصویر رنگی واقعی محدوده مورد مطالعه در تاریخ ۲۰۱۵-۰۲-۲۱، مربع‌های قرمز رنگ مناطق مورد بررسی را نشان می‌دهد و محدوده بیضوی قهوه‌ای رنگ محدوده تقریبی گرد و غبار را نشان می‌دهد.

Fig. 4. In true color image of the study area on 02/21/2015, the red squares show the areas under study and the brown elliptical area shows the approximate range of dust

نتایج
 (۲). نتایج آزمون تعقیبی توکی مشخص ساخت که میانگین column water path g/m^2 مناطق ۳ و ۴ که در منطقه رخداد گرد و غبار واقع شده اند کمتر از دو منطقه خارج از گرد و غبار هستند و این تفاوت با اطمینان ۹۹ درصد معنادار است (جدول ۲ و شکل ۳).

نتایج
 با بهره گیری از آزمون ANOVA میانگین column water path g/m^2 در هر دو محدوده طیفی برای نواحی چهارگانه مورد بررسی مطالعه و مورد آزمون قرار گرفتند. نتایج نشان داد که تفاوت معناداری بین میانگین column water path g/m^2 نواحی چهارگانه در هر دو محدوده طیفی وجود دارد (جدول ۲).

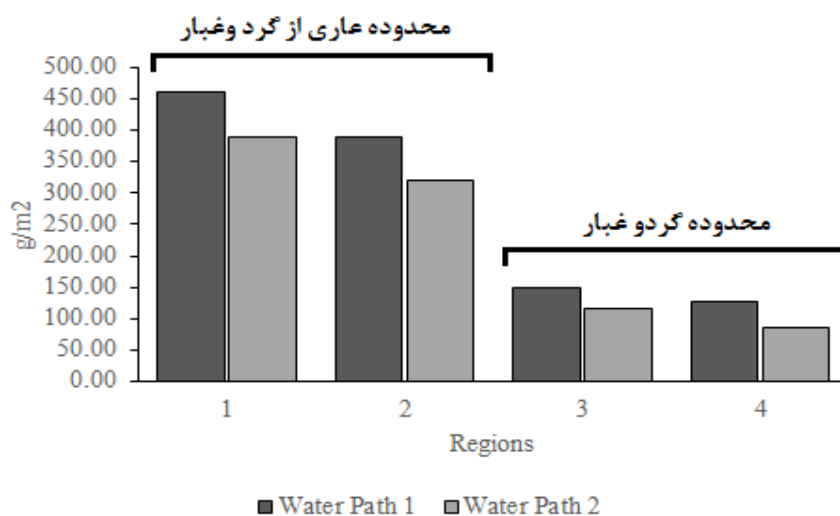
جدول ۲: نتایج حاصل از آزمون ANOV جهت بررسی تفاوت معناداری مقدار column water path g/m^2 برحسب گرم بر مترمربع در

مناطق مشخص شده برای هر دو محدوده باند مورد مطالعه

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Column Water Path 1	Between Groups	98728654.577	3	32909551.526	495.113	0.000
	Within Groups	323570118.095	4868	66468.800		
	Total	422298772.672	4871			
Column Water Path 2	Between Groups	109898311.401	3	36632770.467	786.192	0.000
	Within Groups	318431693.789	6834	46595.214		
	Total	428330005.189	6837			

جدول ۳: آزمون تعقیبی توکی جهت بررسی وجود تفاوت معناداری بین میانگین column water path g/m² نقاط مشخص شده (برحسب گرم بر متر مربع) در هر یک از مناطق مورد مطالعه در محدوده طیفی شماره ۱ و ۲

Multiple Comparisons							
Tukey HSD							
Dependent Variable		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval		
					Lower Bound	Upper Bound	
Column Water Path 1	1	2	59.68	9.25	0.00	35.90	83.46
		3	312.19	9.93	0.00	286.68	337.70
		4	334.48	12.16	0.00	303.24	365.72
	2	1	-59.68	9.25	0.00	-83.46	-35.90
		3	252.51	10.20	0.00	226.29	278.73
		4	274.80	12.38	0.00	242.98	306.61
Column Water Path 2	1	2	109.54	7.16	0.00	91.13	127.94
		3	289.57	7.31	0.00	270.80	308.34
		4	301.23	7.46	0.00	282.06	320.40
	2	1	-109.54	7.16	0.00	-127.94	-91.13
		3	180.03	7.34	0.00	161.16	198.90
		4	191.69	7.50	0.00	172.43	210.95



شکل ۵: نمودار میانگین column water path g/m² در دو محدوده طیفی متفاوت برای نواحی چهارگانه مورد بررسی

Fig. 5 : Average of column water path g/m² in two different spectral ranges for 4 identified areas

می‌توان استدلال کرد که رخدادهای گردوغبار، کاهش میزان آب قابل بارش یا مقدار رطوبت جوی را سبب شده است (شکل ۵).

همانطور که نشان داده شد در یک منطقه جغرافیایی همگن و برای یک سامانه بارشی واحد مقدار cloud integrated water path برای محدوده رخداد گرد و غبار و محدوده عاری از آن به صورت معناداری کاهش یافته است. از این رو

قطرات موثرشان بیش از ۱۴ میکرون است، احتمال بارش بسیار زیاد است. از طرف دیگر ناووس و کوخانوفسکی (۴۳) از نتایج مطالعه انجام شده در توصیف بارش با استفاده از خواص ابرهای مناطق عرض میانی استفاده کردند. روزنفلد (۴۴)، (۴۵)، (۴۶)، (۴۷)، (۴۸) و (۴۹)، (۵۰)، از جمله پیشگامانی است که با استفاده از واکاوی آماری داده های رقومی و تصاویر ماهواره ای، به بررسی نقش ذرات معلق گردوغبار بر بارش برف و باران پرداخته است. پژوهش وی در سال ۲۰۰۰، نشان داد که آلاینده های مناطق شهری و صنعتی، در ابرهای زودگذر و کم بار (کم عمق)، می تواند بارش را به کلی متوقف و سرکوب کند. پژوهش روزنفلد و همکارانش همچنین نشان داد که اثر ذرات معلق در شهرهای آلوده، تا صدها کیلومتر آنسوتر، در مسیر باد، کشیده می شود. در نوامبر ۲۰۱۱ نیز پژوهش یکی از دانشمندان دانشگاه مریلند (۶۰) نشان داد "آلاینده های هوا بر افزایش پدیده هایی چون سیل، خشکسالی و طغیان، اثر مستقیم دارد. پژوهش تیم دانشگاه مریلند ثابت کرد که آلودگی نه تنها بر میزان بارش، بلکه بر نوع ابرهایی که در یک منطقه شکل می گیرد و نیز بر میزان رطوبت آن منطقه موثر است».

«با در نظر گرفتن تغییرات دمایی روی بخار آب قابل بارش در دهه ۱۹۹۰، روش های جدیدی برای تخمین اراضی خشک با استفاده از تصاویر ماهواره ای انجام شده است که نمونه ای از این کار به وسیله کلسپیس و مک میلین در سال ۱۹۹۰، انجام شد (۳۰).

بر مبنای پژوهش جلیلیان و همکاران (۲۲)، روند میزان آب قابل بارش در کشور در ماه آوریل، مارس، می و دسامبر کاهشی و معنادار و روند میزان بارش در همه ماه ها به جز ماه می کاهش معناداری داشته است در دیگر ماه ها بدون معناداری می باشد. به طور کلی در فصل تابستان کم ترین هماهنگی بین تغییرات کاهشی و افزایشی بارش وجود دارد اما در فصل زمستان این نسبت اختلاف از سال ۱۹۶۷ تا سال ۱۹۹۴ تقریباً حفظ شده است. از این سال به بعد این نسبت بر هم خورده و بین تغییرات بارش و آب قابل بارش اختلاف بیشتر نشان داده

نتایج حاصل از پردازش تصاویر ماهواره ای تاریخ ۲۱ فوریه ۲۰۱۵ نیمرخ عرضی cloud integrated water path برحسب گرم بر متر مربع نشان داد گردوغبار باعث کاهش چشمگیر مقدار بخار آب قابل بارش شده است. نمودار بدست آمده از تصویر پردازش شده تایید کننده فرضیه کاهش حجم بخار آب قابل بارش ابر توسط گردو غبار می باشد. بعید به نظر نمی رسد چنانچه این پردازش در مورد سایر تصاویر هم صورت بپذیرد و همین نتیجه تکرار شود (۱۴).

بحث

به منظور بررسی و تحلیل محتوی آب قابل بارش در شرایط گردوغبار در جنوب غربی ایران با استفاده از داده های محصول MOD06 سنجنده MODIS نیمرخ عرضی مقدار بخار آب ابر در ستون اتمسفر (column water path g/m2) در شرایط گردوغبار استخراج و به نمایش درآمد. نتایج این تحقیق نشان داد که یک رابطه نمایی بین میزان آب قابل بارش و وقوع گردوغبار در منطقه جنوب غربی ایران وجود داشته است. آزمون ANOVA و آزمون تعقیبی توکی دقت رابطه مشاهده شده بین میزان آب قابل بارش و وقوع گردوغبار را اثبات کرد و نشان داد افزایش گرد و غبار در جنوب غربی ایران کاهش ظرفیت آب قابل بارش اتمسفر برای بارندگی را سبب می شود.

اصطلاح اثرات نیمه مستقیم گردوغبار برای اولین بار توسط هانسن و همکاران (۱۹) برای توصیف اثرات جذب تابش توسط هواویزهای موجود در ابر بکار برده شد. گردوغبارهای معلق موجود در ابر جذب تابش شده را موجب شده، که کاهش رطوبت و افزایش تبخیر در ابر را در پی داشته (۳، ۲۰، ۲۱) و نتیجه آن کاهش پوشش ابر است (۵). بنابراین وجود چنین شرایطی باید یک رابطه معکوس بین میزان جذب تابش توسط هواویزهای موجود در ابر و پوشش ابر وجود داشته باشد. لازم به توضیح است که قبلاً روزنفلد و همکاران (۴۴)، رابطه بین بارش و قطر ذرات موثر در بالای ابر را بررسی کرده و نشان دادند در ابرهایی که میانگین شعاع

پدیده‌هایی چون سیل، خشکسالی و طغیان، اثر مستقیم دارد". پژوهش تیم دانشگاه مرینلد ثابت کرد که آلودگی نه تنها بر میزان بارش، بلکه بر نوع ابرهایی که در یک منطقه شکل می‌گیرد و نیز بر میزان رطوبت آن منطقه موثر است. (۲۳). نتایج تحقیق حاضر بیانگر این مطلب است که فرضیه کاهش بارندگی در مقابل روند افزایش گردوغبار آنچنان که روزنفلد(۴۵) در تشریح حلقه محتمل بازخورد بیابان زایی، ابراز داشته و گردوغبار بیابان را متوقف کننده یا تضعیف کننده بارندگی معرفی کرده است، در منطقه مورد بررسی صرفاً در فصول سرد سال و تا حدودی در فصول گرم قابل مشاهده است. همچنین بین نتایج حاصل از تحقیق حاضر با نتایج تحقیقاتی کلسی و همکاران(۲۵)، گلکار و همکاران(۱۸) و مباشری و همکاران(۴۰) شباهت و مطابقت وجود دارد.

نتیجه گیری نهایی:

برخی از داده های سنجش از دوری در واکاوی دو فراسنج مقادیر آب قابل بارش جو ($Column\ water\ path\ g/m^2$) و داده های گردوغبار می تواند کارایی بهتری داشته باشد. در این تحقیق نتایج بررسی داده های سنجش از دوری شامل مقادیر آب قابل بارش و گردوغبار جو در برخی موارد انتخابی رخداد گردوغبار، با انجام تصحیحات لازمه نشان داد که در مقطعی که گردوغبار به مقدار بالایی می رسد میزان آب قابل بارش که نشانگر پتانسیل و توانایی رخداد بارش می باشد به طور قابل توجهی کاهش می یابد. این امر نشان می دهد که گردوغبار می تواند به طور قابل توجهی به عنوان عامل کاهش یا سرکوب کننده میزان بارندگی در منطقه عمل کند.

در پژوهش انجام شده مقادیر منفی بارش که مبین رخداد های بارندگی کمتر از معدل دوره بلندمدت می باشد دقیقاً با افزایش فراوانی تعداد روزهای گردو غبار همراه بوده و برعکس مقادیر مثبت بارش که مفهوم بارندگی بیشتر از معدل دوره بلندمدت را داراست با کاهش فراوانی تعداد روزهای گردو غبار همراه بوده است.

شده است. در حال حاضر ثابت شده «ذرات معلق گردوغبار هم بواسطه عملکرد بارش و هم به عنوان هسته میعان(ابر) و هستک زایی یخ (که اثر غیر مستقیم هواویز را دربردارد) و هم از طریق تاثیر بردار نیروی تابشی ذرات معلق بر روی دینامیک و ترمودینامیک جو و گردش عمومی اقیانوسی، بارش را دستخوش تغییر قرار می دهد»(۳۸)

نتایج بدست آمده از پورهاشمی و همکاران(۲۰۱۵) حاکی از آن است که تعداد وقوع گرد و غبار از روند مشخصی تبعیت نمی کند ولی به طور میانگین در سال های اخیر نسبت به سالهای گذشته، از روند افزایشی برخوردار شده است، به گونه ای که از سال ۲۰۱۰ به بعد بر تعداد وقوع گرد و غبار روزانه افزوده گردیده است(۵۲)

نتایج بدست آمده از تحقیق حاضر با نتایج حاصل از تحقیقات برخی از محققین تطابق داشته است. دانیل روزنفلد(۴۴)، (۴۵)، (۴۶)، (۴۷)، (۴۸) و (۴۹)، (۵۰)، از جمله پیشگامانی است که با استفاده از واکاوی آماری داده های رقومی و تصاویر ماهواره ای، به بررسی نقش هواویز ها و گردوغبار بر بارش برف و باران پرداخته اند.

پژوهش آنها در سال ۲۰۰۰ در مجله ساینس(Science) نشان داد که آلودگی های شهری و صنعتی، می تواند در ابرهای زودگذر و کم بار(کم عمق) بارش را به کلی متوقف و سرکوب کند. پژوهش روزنفلد و همکارانش همچنین نشان دادند که اثر آلودگی شهرهای کثیف، تا صدها کیلومتر آن سوتر، در مسیر باد، کشیده می شود. همانگونه که در مرور منابع نیز ذکر گردیده است شماری از دانشمندان مانند روزنفلد و همکارانش(۴۹ و ۵۰)، قطر ذرات بیش از ۱۴ میکرومتر را موثر در ریزش بارش ذکر نموده‌اند و احتمال ریزش بارش با ذرات کوچکتر را بسیار کمتر می‌دانند. بنابراین در اختیار داشتن پارامتر میکروفیزیکی ابر شعاع موثر ابر از عوامل مهم و تاثیرگذار بر نتایج کار بوده است.

در نوامبر ۲۰۱۱ نیز پژوهش گروهی از دانشمندان دانشگاه مرینلد در تارنمای مجله نیچر ژئوساینس (Nature GeoScience) (۶۰) نشان داد "آلودگی هوا بر افزایش

قدردانی

این مقاله حاصل رساله با عنوان "واکاوی تاثیر رخداد گردوغبار بر تغییرات بارش در جنوب غربی ایران" در مقطع دکترا در سال ۱۳۹۶ است که با حمایت دانشگاه تهران، گروه جغرافیای طبیعی، اجرا شده است. به جاست از حمایت های ارزشمند و عالمانه اساتید راهنما و مشاور و کلیه افراد و همکارانی که به هر نحوی در دستیابی به نتایج حاصله، همکاری و نقش داشته اند قدردانی به عمل آید.

نتایج این تحقیق می تواند برای سیاست گذاری های آینده در زمینه مدیریت منابع آب و کشاورزی منطقه مورد بررسی دستاوردی برجسته محسوب شود. نتایج ارزیابی تولیدات ماهواره ای آب قابل بارش با داده های ایستگاهی فراوانی گردوغبار، حاکی از همبستگی بالای بین این داده ها در کلیه ایستگاههای همدیدی جنوب غربی ایران می باشد.

منابع

1. Abdemanafi, D., Hajjam, S., Meshkatee A. H., Vazifedoost, M. 2014. The case study of impacts of Tehran ambient air pollution on the cloud and precipitation characteristics, SPRING 2018 , Volume 20 , Number 1 (76) ; Page(s) 119 To 130.
2. Abdollahi, V., Pirmoradian, N., Vazifehdoost, M. Ashrafzadeh, A. 2013. Evaluation of total precipitation water derived from the MODIS sensor using ground based dataset, First National Meteorological Conference, 31 May and 1 June 2013. University of Complementary Industrial Studies and Advanced Technology, Kerman, Iran. <https://civilica.com/doc/209300>.
3. Ackerman S. A., Chung H. 1992. Radiative effects of airborne dust on regional energy budgets at the top of the atmosphere, *J. Appl. Meteor.*, 31, 223–233.
4. Ackerman, A. S., Toon O. B., Stevens D. E., Heymsfield A. J., Ramanathan V., Welton E. J. 2000. Reduction of tropical cloudiness by soot, *Science*, 288(5468), 1042–1047.
5. Alizadeh Choobari O. 2013. Modelling the spatial distribution, direct radiative forcing and impact of mineral dust on boundary layer dynamics, PhD. Thesis, Canterbury University.
6. Alizadeh Choobari O., Zawar-Reza P., Sturman, A. 2014a. The global distribution of mineral dust and its impacts on the climate system: a review. *Atmos Res* 138:152–165.
7. Alizadeh Choobari O., Zawar-Reza P., Sturman, A. 2014b. The wind of 120 days and dust storm activity over the Sistan Basin, *Atmospheric Research*, 143: 328–341.
8. Alizadeh, A. 2011. Principles of Applied Hydrology, Ferdowsi University Press, 30th edition.
9. Andreae, M. O., Rosenfeld, D., Artaxo P., Costa A. A., Frank G. P., Longo K. M., Silva-Dias M. A. F. 2004. Smoking rain clouds over the Amazon, *Science*, 303(5662), 1337–1342.
10. Asakereh, H., & Doostkamian, M. 2014. TEMPO-SPATIAL CHANGES OF PERCEPTIBLE WATER IN THE ATMOSPHERE OF IRAN, *Iranian Journal of Water Resources Research*, Year 10, Issue 1, Spring and Summer 2014. P: 72-86.
11. Cao, J.J., J.C. Chow, J. Tao, S.C. Lee, J.G. Watson, K.F. Ho, G.H. Wang, C.S. Zhu, and Y.M. Han. 2011. Stable carbon isotopes in aerosols from Chinese cities: Influence of fossil fuels. *Atmos. Environ.* 45:1359–1363. doi:10.1016/j.atmosenv.2010.10.056.
12. Dworzan, Mark. 2016. How aerosols drive the rain, *Joint Program on the Science and Policy of Global Change*, January 21. 20169. (<http://news.mit.edu/2016/how-aerosols-drive-rain-0121>)
13. Ekstrom Marie, Mctainsh Grant H. and Chappell Adrian .2004. "Australian Dust Storms: Temporal Trends and

- Relationships with Synoptic Pressure Distributions (1960-99)", International Journal of Climatology, No. 24: PP 1581-1599.
14. Ensafi Moghaddam T. 2018. Analysis of dust occurrence effects on precipitation changes in South-West of Iran 'A Thesis for Receipt Degree of PHD In Physical Geography-Climatology 'Winter 2018, Department of physical Geography, University of Tehran (In Persian).
 15. Farajzadeh, M., Karimi, N. 2013. Principles of Satellite Meteorology, Organization for the Study and Compilation of University Humanities Books, Humanities Research and Development Center.
 16. Fattahi, E., Ghannad H. 2014. AN ANALYSIS OF SYNOPTIC PATTERNS FOR FLYING DUST STORMS IN SOUTHWESTERN IRAN, Journal of GEOGRAPHY SPRING 2010 , Volume 4 , Number 12; Page(s) 49 To 63.
 17. Ferek, R. J., Liu Q. F., Albrecht B. A., Babb D., Garrett T., Hobbs P. V., Strader S., Johnson D., Taylor J. P., Nielsen K., Ackerman A. S., Kogan Y. 2000. Drizzle suppression in ship tracks, J. Atmos. Sci., 57(16), 2707-2728.
 18. Golkar, F., Hajam S., Vazifeh Doost, M. 2016. Use of MODIS Products to Help Cloud Seeding Operation, Journal of Climatological Research, Article 8, Volume 1393, Number 19, Spring 2016, Pages: 93-111.
 19. Hansen, J., Sato, M., and Ruedy, R. 1997. Radiative forcing and climate response, J. Geophys. Res., 102(D6), 6831-6864, 1997.
 20. Huang, J. P., Lin B., Minnis P., Wang T. H., Wang X., Hu Y. X., Yi Y. H., Ayers J. K. 2006. Satellitebased assessment of possible dust aerosols semi-direct effect on cloud water path over East Asia, Geophys. Res. Lett., 33(19), doi:10.1029/2006GL026561.
 21. Huang, J.-P., Wang Y., Wang T., Yi Y. 2006. Dusty cloud radiative forcing derived from satellite data for middle latitude region of East Asia, Prog. Nat. Sci., 10, 1084-1089.
 22. Jalilian, M. 2017. Statistical of Synoptic Analysis of Temporal-Spatial distribution of Iranian Atmospheric Moisture, Master Thesis, Supervisor: Mostafa Karimi Ahmadabad, Consultant: Faramarz Khosh Akhlagh, Faculty of Geography, University of Tehran(In Persian).
 23. Kalantari, Farzad 2013. The Relationship between Air Pollution and Rainfall Reduction, Etemad Newspaper, No. 2827, 8/26/92, Page 13 (Society), Page Link: magiran.com/n2849007.
 24. Kaufman Y. J., Gao. B. C. 1992. Remote sensing of water vapor in the near IR from EOS/MODIS, IEEE Transaction on Geosciences and Remote Sensing, Vol.30, 1992.
 25. Kelsey 'V. 'Riley 'S. 'and Minschwaner 'K. 2021. Atmospheric Precipitable Water and its Correlation with Clear Sky Infrared Temperature Observations, Atmos. Meas. Tech. Discuss. [preprint] , <https://doi.org/10.5194/amt-2021-130> 'in review, 2021.
 26. Kermanshahi, A. H. 2011. Investigation of the causes of dust in the western regions of the country and its impact on climate change, Master Thesis in Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering, Sharif University of Technology.
 27. Khorshidooost A.M., Mohammadi GH.H., Hosseini Sadr A., Javan, KH., Jamali A. 2014. JOURNAL OF GEOGRAPHY AND PLANNING WINTER 2014 , Volume 17 , Number 46; Page(s) 47 To 66.
 28. Kianipour 'M. ; Masoodian A.; Asakereh 'H. 2020. Frequency Distribution Patterns of Precipitable Water in Iran 'Physical Geography Research Quaternary 'Volume 52 'Issue 4 'Winter 2021 'Pages 553-565.
 29. King, M. D., W. P. Menzel, Y. J. Kaufman, D. Tanre, B. C. Gao, S. Platnick, S. A. Ackerman, L. A. Remer, R. Pincus, and P. A. Hubanks .2003. Cloud and aerosol properties, precipitable water, and profiles of temperature and humidity from MODIS, IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., 41, 442-458, doi:10.1109/TGRS.2002.808226.
 30. Kleespies and McMillin .1992. Retrieval of precipitable water from bservations in

- the split window over varying surface temperatures, *Journal of Applied Meteorology*, 29, 1990.
31. Koch, D., Del Genio, A. D. 2010. Black carbon semi-direct effects on cloud cover: review and synthesis, *Atmos. Chem. Phys.*, 10(16), 7685–7696.
 32. Kokhanovsky, A.A., Rozanov, V.V., Zege, E.P., Bovensmann, H. and Burrows, J.P. 2003. A semianalytical cloud retrieval algorithm using backscattered radiation spectral region, *Journal of Geophysical Research*, V.108.
 33. Kuitel, H., and Furman, T. 2003. Dust storms in the Middle East, source of origin and their temporal characteristics. *Indoor and Built Environment*. 12: 419-426
 34. Lohmann, U. and Feichter, J. 2005. Global indirect aerosol effects: A review, *Atmos. Chem. Phys.* 5, 715–737.
 35. Meteorological site (2014/7/21), concept of rainwater* (<http://climatology.ir>).
 36. Middleton, N.J. 1986. The geography of dust storms. Unpublished PhD thesis, University of Oxford.
 37. Miller, R. L. 2008. Dust Impact On Atmospheric Dynamics and Precipitation, Dept. of Applied Physics and Math, Columbia University, New York, NY, USA: <https://www.yumpu.com/en/document/view/54159823/atmosphere/5>, Dust2008.tropos.de.
 38. Miller, S.D., Kuciauskas, A.P., Liu, M., Ji, Q., Reid, J.S., Breed, D.W., Walker, A.L., Al Mandoos, A. 2008. Haboob dust storms of the southern Arabian Peninsula. *J. Geophys. Res.* 113, D01202, doi:10.1029/2007JD008550.
 39. Ming, Yi. Ramaswamy, V., and Persad, Geeta. 2010. Two opposing effects of absorbing aerosols on global mean, *GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS*, VOL. 37, L13701, doi:10.1029/2010GL042895, 2010.
 40. Mobasheri, M. R.; Pourbaqer Kurdi, S. M.; Farajzadeh Asl, M; Sadeghi Naeini, A. 2010. Estimation of Total Precipitation Water Using MODIS Satellite Images and Radiosound Data (Study Area: Tehran Region) *Modares Journal of Humanities*, Spring 2010 - ISC Issue 65 (20 Pages - From 107 to 126).
 41. Modarres, R. and Silva, V.P.R. 2007. Rainfall Trends in Arid and Semi-Arid Regions of Iran. *Journal of Arid Environments*, 70, 344-355. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.12.024>
 42. Natsagdorj L., Jugdera D., Chung Y.S. 2003. Analysis of Dust Storms Observed in Mongolia during 1937-1999, *J. Atmospheric Environment*, No. 37, PP 1401-1411.
 43. Naus, T. and Kokhanovsky, A. A. 2006. Discriminating raining from non-raining clouds at mid-latitudes using multispectral satellite data, *Atmos. Chem. Phys.*, 6, 5031–5036, 2006.
 44. Rosenfeld, D. 1999. TRMM observed first direct evidence of smoke from forest fires inhibiting rainfall, *Geophys. Res. Lett.*, 26(20), 3105–3108.
 45. Rosenfeld, D. 2000. Suppression of rain and snow by urban and industrial air pollution, *Science*, 287(5459), 1793–1796, doi:10.1126/science.287.5459.1793.
 46. Rosenfeld, D. 2006. Aerosols suppressing precipitation in the Sierra Nevada: results of the 2006 winter field campaign. Presentation at the 3rd Annual Climate Change Research Conference, Sacramento, Sept. 2006. See www.climatechange.ca.gov/events/2006-conference/presentations/2006-09-14/2006-09-14.
 47. Rosenfeld, D., and I. M. Lensky. 1998. Satellite based insights into precipitation formation processes in continental and maritime convection clouds, *Bull. American Meteorological Society*, 79, 2457-2476.
 48. Rosenfeld, D., Rudich Y., and Lahav, R. 2001. Desert dust suppressing precipitation: A possible desertification feedback loop, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 98, 5975–5980, 2001.
 49. Rosenfeld, D., X. Yu, and J. Dai. 2005. Satellite retrieved microstructure of AgI seeding tracks in supercooled layer clouds, *J. Applied Meteorology*, 44, 760-767.
 50. ROSENFELD.PDF Rosenfeld, D., and A. Givati. 2006. Evidence of orographic precipitation suppression by air pollution induced aerosols in the western USA, *J. Applied Meteorology*, 45, 893-911.

51. Rousta, Iman & Doostkamian, Mehdi & Olafsson, Haraldur & Zhang, Hao & Vahedinejad, Sayed & Sarif, Md. Omar & Vargas, Edgar. 2020. Analyzing the Fluctuations of Atmospheric Precipitable Water in Iran During Various Periods Based on the Retrieving Technique of NCEP/NCAR. The Open Atmospheric Science Journal. ISSN: 1874-2823 - Volume 14, 2020. 12. 48-57. 10.2174/1874282301812010048.
52. Pourhashemi, S., Boroghani, M., Zangane Asadi, M., Amir Ahmadi, A. 2015. 'Analysis relation of vegetation cover on the number of dust event in Khorasan Razavi using geographic information system and remote sensing', Journal of RS and GIS for Natural Resources, 6(4), pp. 33-45.
53. Saieedifar Z, Khosroshahi M, Gohardust A, Ebrahimikhusfi Z, Lotfinasabasl S, Dargahian F. 2020. Investigation of the origin and spatial distribution of high dust concentrations and its synoptical analysis in Gavkhooni basin. Journal of RS and GIS for Natural Resources, 11(4): 47-64.
54. Sehhatkashani, S., Kamali, G.A., Vazifedoost, M., AliAkbari Bidokhti A.A. 2016. STUDY OF AIR QUALITY OVER WEST AND SOUTH WEST IRAN USING AEROSOL OPTICAL THICKNESS PRODUCTS OF MODIS, Journal of SHARIF CIVIL ENGINEERING, SPRING 2016 , Volume 32-2 , Number 1.2; Page(s) 91 To 97.
55. Sogacheva, Larisa, Kolmonen, Pekka, Virtanen, Timo H. ,Saponaro, Giulia, Kokhanovsky, Alexander, de Leeuw, Gerrit. 2014. Aerosol-cloud interaction using AATSR NASA Astrophysics Data System (ADS) , 2014-05-01.
56. Tao, W. K., Chen J. P., Li Z. Q., Wang C., Zhang C. D. 2012. Impact of aerosols on convective clouds and precipitation, Rev. Geophys., 50, RG2001, doi:10.1029/2011RG000369.
57. Teller, A., Levin Z. 2006. The effects of aerosols on precipitation and dimensions of subtropical clouds: a sensitivity study using a numerical cloud model, Atmos. Chem. Phys., 6(1), 67–80.
58. Tuncok, Kaan. 2021. Impacts of Climate Change in Central Asia, Academia Letters. (<https://www.academia.edu/49331497/>)
59. Twomey, S. A., Piepgrass M., Wolfe T. L. 1984. An assessment of the impact of pollution on global cloud albedo, Tellus B, 36(5), 356–366.
60. Vieru, Tudor. 2011. Air Pollution Leads to Precipitation Pattern Shifts, These changes can affect the global climate in its entirety. <http://news.softpedia.com/news/Air-Pollution-Leads-to-Precipitation-Pattern-Shifts-234290.shtml> Nov 14, 2011 09:36 GMT.
61. Wang, H., Wei, M., Li, G., Zhou, S., and Zeng, Q. 2013. Analysis of precipitable water vapor from GPS measurements in Chengdu region: Distribution and evolution characteristics in autumn: Advances in Space Research, 52, 656–667.
62. Washington, R., M. Todd, N. J. Middleton, and A. S. Goudie .2000. Dust storm source areas determined by the Total Ozone Monitoring Spectrometer and surface observations, Ann. Assoc. Am. Geogr., 93(2), 297 – 313.



Original
paper

Title English: Investigate of Precipitable Water in Dusty Conditions Using Satellite Images (Case study: Southwest of Iran)

Tahereh Ensafimoghaddam^{1*}, Taher Safarrad²

Received: 2021-12-14 / Accepted: 2022-04-11 / Published: 2023-05-22

Abstract

Suspended dust particles, especially in urban and industrial areas, act as a reducing agent for rainfall. Large fine dust (larger than 1 micron) can increase rainfall. But very fine dust particles in the upper atmosphere can suppress heavy rainfall. The current study aimed at investigating atmospheric precipitable water capacity and its relationship with periods of dust occurrences data in South west of Iran during (1986 –2016). In this paper MODIS surface classification data was used to consider this influence. In this paper the effect of dust occurrences on rainfall studied by using classified data of MODIS/Terra Calibrated Radiances (MOD06). In order to atmospheric precipitable water content in Georeferenced satellite images it was used MODIS satellite remote sensing from MOD06 product based on the physical and microphysical properties of clouds. The results of this study by examining remote sensing data such as the amount of atmospheric precipitable water content and the occurrences of dust in some

selected cases, graphically and after the necessary corrections showed that over time when dust rises, the amount of atmospheric precipitable water content which indicates the potential for rainfall, significantly reduced. The results of this study showed that one of the effects of dust events in southwestern Iran there was a decrease in rainfall during a period of thirty years(1986-2016) and dust can significantly to act as reducing agent or rain suppressor in study region.

Statement of the Problem: Precipitable Water (PW) is highly variable in space and time, being one of the most important abundant greenhouse gases to play a crucial role in the study of climate change, hydrological cycle, energy budget, and numerical weather prediction. Knowledge about spatial and temporal variability of PW is important for understanding climatic processes along with monitoring drought conditions and desertification processes (24). Knowing the content of precipitable water is a preventive measure in identifying heavy storms. Weather radars are efficient tools for monitoring weather systems. They reveal microphysical conditions of precipitation within clouds. Thus, in most parts of the world, precipitable water is measured by satellites and radars(51). It is, therefore, necessary to obtain the distribution condition of Precipitable Water in the atmosphere and understand the effects of

Tahereh Ensafimoghaddam¹(✉), Taher Safarrad²

1. Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

2. Assistant Professor of Climatology, Department of Geography and Urban Planning, Faculty of Humanities and Social Sciences, Mazandaran University, Babolsar, Iran

DOI: 10.30495/girs.2023.690417

e-mail: ensafi@rifr-ac.ir

spatiotemporal variations of PW on regional, meso-micro scales as well as global climate change (61).

Purpose: The purpose of this study was to use MODIS cloud physics level 2 (MOD06) products to identify and distinguish areas with rainwater and affected by dust events from areas with rainwater without dust events in order to determine the effect of dust on suppressing or enhancing rainfall. It is located in the southwestern region of Iran.

Methodology: Combined maps related to meteorological parameters and analysis and analysis of their information were reviewed separately for each case on selected dates. Then the products obtained by Madis in Mod 06 were considered for the selected days. After reviewing the available maps and actual meteorological data, in accordance with the purpose of this research, using Madis sensor 06 fashion products on selected dates in the hours that can be extracted in the study area, satellite images are processed and studied and images with other The information has been compared. According to the information obtained from Mod 06 products and meteorological maps, it was possible to investigate the occurrence or non-occurrence of precipitation on selected dusty days. In order to ensure the accuracy of the analysis, the occurrence of precipitation or no precipitation on the ground was controlled using the rainfall data recorded in the ground stations of the region. Examination of the daily precipitation of ground stations showed that the days that were not found to be suitable for precipitation in the analysis due to the physical properties of the cloud, no precipitation was reported in the ground stations.

Results and discussion: Based on the results of research, precipitable water (28) has a very short and fast life cycle in atmosphere. This rapid turnover, accompanied by temperature variations with altitude and geography, distance to sea, evapotranspiration, and moisture advection, causes an irregular PW distribution in the atmosphere, both

horizontally and vertically. Thus this study aims at identifying the distribution patterns of PW in Iran and correlate these patterns with elevation and distance to sea. The current study has compared and assessed the fluctuations of atmospheric precipitable water over Southwest of Iran in two case study using MODIS satellite remote sensing, from MOD06 product.

The results of (51) trend analysis showed that atmospheric precipitable water of Iran calculated using the upper-air reanalyzed data by NCEP/NCAR experienced various fluctuations during the three periods of 1948 – 1957, 1958 – 1978, and 1979 – 2012. The results indicated that, in all the three periods, average distribution and coefficient of spatial variation decreased with altitude. In contrast, there was a positive relationship between coefficient of spatial variation and altitude.

According to the purpose of this study, all products obtained by Madis in mode06, daily precipitation and dust occurrences evaluated for Simultaneous dustfall and rain events frequency in southwestern of Iran. According to the passage time of the satellite from the study area and the closest time to the occurrence of dust on the same day and before the time of precipitation, precipitation clouds were selected and analyzed in two different case events. The results of processing satellite images and cross-sectional profile of cloud integrated water path in terms of grams per square meter showed that dust has significantly reduced the amount of precipitable water. The results of processing satellite images and cross-sectional profile of cloud integrated water path in terms of grams per square meter showed that dust has significantly reduced the amount of precipitable water. The diagrams obtained from the one processed image confirm the hypothesis of a decrease in the volume of Precipitable Water by the dust occurrences. It seems that the same result will be repeated if this processing is done for other images.

Conclusion: Our results indicated that MODIS products could be a reliable tool to assess dust events patterns and to survey the

concentration of particulate matter .So MODIS/Terra Calibrated Radiances 0(MOD06) were utilized to assessment of special move pattern of the dusts frequency in the study area, and indicated the opposite response of light rain to the increase in dust, have seen in mountainous and plain areas. This study showed that the relationship between the dust frequency incidence and daily rainfall in the studied area is negative and this shows that

dust can be significantly reduced as a suppressor of rainfall in studied area.

Keywords: Aerosols, Precipitable water vapor, satellite remote sensing, MODIS, MOD06.

Please cite this article as: Ensafimoghaddam T, Safarrad T. Title English: Investigate of Precipitable Water in Dusty Conditions Using Satellite Images (Case study: Southwest of Iran). Journal of RS and GIS for Natural Resources, 14(2): 1-25