

## بکارگیری محصولات سنجنده مدیس باهدف کمک به اجرای باروری ابرها

فرید گلکار\*<sup>۱</sup>، سهراب حجام<sup>۲</sup>، مجید وظیفه‌دوست<sup>۳</sup>

۱- کارشناس ارشد هواشناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

۲- دانشیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران- استاد راهنما

۳- استادیار دانشگاه گیلان، ایران- استاد مشاور

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۷/۱۵

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۲/۱۰/۲۸

### چکیده

بررسی مشخصه‌های فیزیکی ابر با هدف سنجش وقوع بارش به مطالعه امکان اجرای باروری ابر در زمان و مکان مناسب و کاهش خطاهای تصمیم‌گیری در اجرای عملیات افزایش بارش و در نتیجه کاهش هزینه‌های اجرای پروژه‌ها کمک می‌کند. یکی از بهترین گزینه‌ها برای دستیابی به خصوصیات فیزیکی و میکروفیزیکی ابرها بویژه در شرایط نبود داده‌های رادار هواشناسی، استفاده از محصولات و داده‌های ماهواره‌های هواشناسی از جمله سنجنده مدیس است. قدرت تفکیک طیفی بالای سنجنده مدیس با ۳۶ باند طیفی و همچنین حساسه‌های نصب شده مختص مطالعات ابر محقق را در شناسایی انواع ابرها توانمند می‌نماید که از این میان ۲۶ باند برای اهداف مطالعات مشخصات اتمسفر از قبیل پوشش ابری، نیمرخ جو، مشخصه‌های هواویزها، آب قابل بارش مجموع و ویژگیهای ابر اختصاص دارد. از اساسی‌ترین مراحل کسب موفقیت در بارورسازی ابرها، تشخیص بموقع و دقیق شرایط و ابر مناسب برای باروری است. در کشورهای توسعه یافته جهان با استفاده از ابزار سنجش از دور مانند ماهواره و بخصوص رادار هواشناسی، همچنین هواپیماهای مجهز به آزمایشگاه فیزیک ابر این کار انجام می‌گردد (خطیبی، ۱۳۹۰ و شیواجی، ۲۰۰۵). در ایران به دلیل نبود چنین امکاناتی مانند پوشش گسترده رادار هواشناسی و آزمایشگاه هوابرد، ناگزیر باید با انجام برخی روشهای ابتکاری، با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای موجود به این اهداف دست یافت. بنابراین جنبه مجهول و مبهم قضیه، تشخیص موقعیت ابرهای بارانزا از غیر بارانزا در گستره وسیع و متنوع جغرافیایی و در کوتاه‌ترین زمان می‌باشد. در سنجش غیر مستقیم یا دور ابر، از مشخصه‌های فیزیکی ابر برای تشخیص بارش و پیش‌بینی آن استفاده می‌شود. پژوهش حاضر در طول ماه فوریه سال ۲۰۰۹ میلادی در استان فارس انجام گردیده است. در این ماه بیشترین پروازهای ماهیانه باروری سال ۲۰۰۹ (۱۳) پرواز در ۸ روز عملیات باروری ابر) انجام شده و منطقه فاقد اطلاعات رادار هواشناسی است. برای انجام تحقیق بر روی صحت انجام پروازهای باروری در این بازه زمانی علاوه بر استفاده از داده‌های سنجنده مدیس شامل محصولات فیزیک و میکروفیزیک ابر اخذ شده از طریق تارنمای سازمان ناسا، از نقشه‌های هواشناسی مورد نیاز تهیه شده از تارنمای نوا (نقشه‌های بازتحلیل شده NCEP-NCAR) نیز استفاده گردید. نتیجه کاربردی بدست آمده از این تحقیق نشان می‌دهد در صورتی که در زمان اجرای پروژه باروری ابرها از محصولات مد ۰۶ استفاده می‌گردید، می‌توانست تعداد روزهای اجرای باروری ابر از ۸ روز ابری با وضعیت نامشخص از دید وجود شرایط مناسب برای باروری ابرها به ۳ روز مفید و بارانی کاهش یافته و از اجرای ۶ پرواز باروری ابر بی‌اثر یا اثر، اجتناب نمود. بنابراین علاوه بر کاهش هزینه‌ها، امکان افزایش دقت اجرای پروژه و استفاده از فرصتهای باروری در دیگر مناطق کشور فراهم می‌شد.

**واژگان کلیدی:** مد ۰۶، محصولات فیزیک ابر، سنجنده مدیس، باروری ابرها

## مقدمه

بیش از ۵۰ سال است که فناوری باروری ابرها جهت کمک به حل موضوعات اجتماعی مرتبط با آب و هوا به کار می‌رود، کاهن و همکاران (Kahan et al., 2006). پیشرفتهای فنی و علمی اخیر همراه با مشکلات اقتصادی معاصر، انگیزه جستجوی کاربردهای فناوری جدید باروری ابرها را تقویت کرده است و برای مناطقی که به بارش اضافی بعنوان یک سرمایه اقتصادی نگاه می‌شود، می‌تواند مفید باشد. چنانکه شواهد نشان می‌دهد به گفته یکی از محققین، احتمال افزایش بارش در حالت مطلوب ممکن است بین ۵ تا ۲۰ درصد باشد، الیوت و همکاران (Elliott et al., 1995) با این وجود، همین مقدار آب باران اضافی می‌تواند برای کشاورزی در مناطق کشاورزی، برای صنعت نیروی برقی در مناطق کوهستانی، تامین آب شهری و امور آبیاری مفید باشد. از آنجائیکه این فناوری بدون محدودیت نیست، بنابراین می‌بایست این محدودیتها به درستی شناسایی شده و بسته به کاربری آن در تصمیم‌گیری انجام پروژه باروری ابر دخالت داده شوند.

بررسی و مطالعه مشخصه‌های ابر برای سنجش وقوع بارش و تعیین خصوصیات بارش نیز امری بسیار حساس و پر اهمیت می‌باشد. البته تاکنون در کشور تحقیقات بسیاری بر روی تخمین میزان بارش با استفاده از داده‌های تولیدی ماهواره‌های زمین ثابت، مانند محصولات پرشین انجام شده است ولی تقریباً در تمامی آنها مشخصات میکروفیزیکی ابر در نظر گرفته نشده‌اند (به طور مثال بارانی‌زاده و همکاران ۱۳۹۰، جوانمرد و همکاران ۲۰۱۰ با استفاده از محصول ماهواره‌ای تی‌آر ام ام و غضنفری مقدم و همکاران ۱۳۸۹). سجادی (۱۳۸۵) جهت تحقیق پایان‌نامه دکتری خود اقدام به بررسی آب قابل بارش ابر با استفاده از داده‌های سنجنده مدیس با بکارگیری الگوریتم بخارآب محصول مد ۰۵ و همچنین داده‌های رادیوسوند با هدف تعیین آستانه بارورسازی و همچنین استفاده از یک روش ترمودینامیکی در تعیین آستانه بارورسازی در ابرهای همرفتی غرب و شمال غرب کشور نمود. در نهایت محقق نسبت به امکان‌سنجی

باروری ابر در استانهای غربی کشور اقدام نموده و به محدوده زمانی و مکانی باروری رسیده است.

ناووس و کوخانوفسکی، (T. Naus and A. A. Kokhanovsky, 2006) با استفاده از یک روش جدید برای توصیف بارش با استفاده از مشخصه‌های ابر استنتاج شده از داده‌های اپتیکی ماهواره که برای ابرهای جبهه‌ای عرضهای میانی مناسب است، اقدام به تفکیک ابرهای باران‌زا از غیرباران‌زا در عرضهای میانی با کمک داده‌های چند طیفی یا طیف ترکیبی ماهواره نموده‌اند. در این مقاله با توجه به مشکلات هر یک از روشهای بازیابی و شناسایی ابرهای باران‌زا از غیرباران‌زا و محدودیتهای مکانی هر یک، نویسندگان پیشنهاد استفاده از شعاع موثر قطرات ابر و ضخامت اپتیکی را به جای دمای درخشندگی داده‌اند. دستیابی به مشخصه‌های ابر بوسیله الگوریتم شبه تحلیلی بازیابی ابر ساکورا، ناووس و کوخانوفسکی (Kokhanovsky and Kokhanovsky et al., 2003، Naus et al. 2005، Naus, 2003-4) با استفاده از داده‌های مدیس با قدرت تفکیک‌پذیری یک کیلومتر مربع بازیابی شده است. این الگوریتم که برای هم سطوح خشکی و هم سطوح دریایی معتبرسازی و تهیه شده است در مقایسه با مشخصات ابری تولید شده توسط الگوریتم مد ۰۶، طبق نظر پلاتنیک (Platnick et al, 2003) توافق خوبی را برای ضخامت اپتیکی سیستمهای ابری نشان می‌دهد. توسط ناووس و کوخانوفسکی (and A. A. Kokhanovsky et al., 2003، Naus et al. 2005) دیده شد که بررسی‌های متعدد و مقالات متنوع چاپ شده در این زمینه نشان از کارآمد بودن تصاویر فیزیک و میکروفیزیک ابر در بررسی فرآیند بارش و حتی پیش‌یابی بارش دارد. بطورکلی و به عنوان جمع‌بندی از منابع مورد اشاره، (میشل کینگ و همکاران، ۲۰۰۳، فرج‌زاده، ۱۳۸۵، بوریس تیس و همکاران، ۲۰۱۰) و سجادی (۱۳۸۵) و کمالی (۱۳۹۰) می‌توان گفت که با توجه به تنوع نسبتاً زیاد ماهواره‌های هواشناسی و تعداد باندهای هر ماهواره و الگوریتمهای متعددی که برای اهداف مختلف تهیه شده‌اند، امکان بهره‌گیری از این اطلاعات و داده‌های

ماهواره‌های هواشناسی است. یکی از ماهواره‌های مناسب در این امر سنجنده مدیس متصل بر روی سکوه‌های ترا و آکو می‌باشد. با استفاده از داده‌های میکروفیزیک ابر بدست آمده از این سنجنده، امکان مشاهده دقیق‌تر شرایط ابرهای مورد مطالعه جهت اجرای باروری ابر در زمان و مکان مناسب و کاهش خطاهای تصمیم‌گیری در اجرای عملیات باروری فراهم می‌شود، شیواجی (Shivaji, 2005).

در کشور ایران با توجه به عدم وجود پوشش گسترده رادارهای هواشناسی و دیگر تجهیزات زمینی فرستنده و گیرنده رادیویی مانند لیدار از یک طرف و عدم وجود هواپیمای مجهز به سنجنده‌های پیشرفته میکروفیزیک ابر، بهترین راه استفاده از داده‌های موجود ماهواره‌های هواشناسی است. در طی آخرین فرآیندهای مورد تایید جهت تشخیص منطقه تحت تاثیر ابرهای بارانزا از ابرهای غیربارانزا (چه ابرهای از نوع پوششی و چه ابرهای جوششی) توسط ناووس و کوخانوفسکی (Naus And Kokhanovsky, 2006) شیوه جدید بهره‌گیری از شعاع موثر قطرات ابر<sup>۱</sup> و ضخامت اپتیکی ابر به جای دمای درخشندگی توصیه گردیده است. در این تحقیق نیز با تکیه بر مشخصه‌های ذکر شده در بالا و کاربرد تصاویر میکروفیزیک ابر با استفاده از سنجنده مدیس در سنجنش بارش، نسبت به بررسی منطقه تحت تاثیر ابرهای بارانزا و غیر بارانزا و کنترل صحت آن با استفاده از داده‌های ثبت شده در ایستگاه‌های باران سنجی پرداخته می‌شود.

### مواد و روشهای تحقیق

با استفاده از برخی خصوصیات میکروفیزیک ابر که توسط داده‌های بدست آمده از سنجنده مدیس در دسترس هستند، مانند شعاع موثر قطرکهای درون ابر و ضخامت اپتیکی ابر، می‌توان وقوع بارش یا عدم ریزش بارش را مورد مطالعه قرار داد. از آنجایی که بدست آوردن بهترین نتیجه در بارورسازی ابرها، تشخیص بموقع و دقیق شرایط مناسب ابر برای بارورسازی است، بنابراین تشخیص موقعیت ابرهای باران زا

ماهواره‌ای با توجه به اهداف محقق بسیار متنوع و وسیع و گسترده می‌باشد. در این بین از یک طرف به الف: قدرت تفکیک طیفی بالای سنجنده مدیس با ۳۶ باند طیفی و همچنین حساسه‌های نصب شده روی ماهواره‌های زمینگرد مدار پایین مختص مطالعات ابر که محقق را در شناسایی انواع ابرها توانمند می‌نماید، آکرمن (Akermann et al. 2006)، ب: قدرت تفکیک مکانی بالای تصاویر مدیس (۱ کیلومتر و کمتر) که آن را برای کاربردهای هواشناسی بسیار مناسب می‌کند که توسط سیمن (Seemann et al. 2003) اشاره گردیده است و از طرف دیگر بر خصوصیات الگوریتمهای طراحی شده جهت تحقیقات فیزیک و میکروفیزیک ابر و ترکیب باندهای مختلف در بازیابی بهتر مشخصات ابر و بارش (مانند تصاویر حاصل از باند مرئی و مادون قرمز نزدیک ذکر شده در مقاله لبسوک، (Lebsouk, 2011) و امکان بهره‌گیری از بهترین و دقیقترین الگوریتم که توسط ناسا تهیه شده است (مد ۰۶ مختص خصوصیات ابر و بارش) تاکید گردیده است و نتایج بدست آمده از دیگر الگوریتمها را که طراحی گردیده‌اند با الگوریتم برگزیده شده در این تحقیق (مد ۰۶) مورد سنجنش قرار داده‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند که از تصاویر ماهواره مدیس به خوبی می‌توان با دستیابی به برخی مشخصات میکروفیزیک ابر مانند شعاع موثر قطرکها و ضخامت اپتیکی ابر و مشخصه فیزیکی ابر مانند دمای تاج ابر و سطح پوشش ابر که در کانالهای ۲۹ و ۳۶-۳۱ قابل دست‌یابند به نتایج دلخواه در مورد برداشت اطلاعات از ابرهای بارانزا و غیر بارانزا دست یافت، جواکستا، ناکاجیما و بوریتیس (buristiss et al., 2010) (nakajima, 1995) (jovakosta et al., 2004).

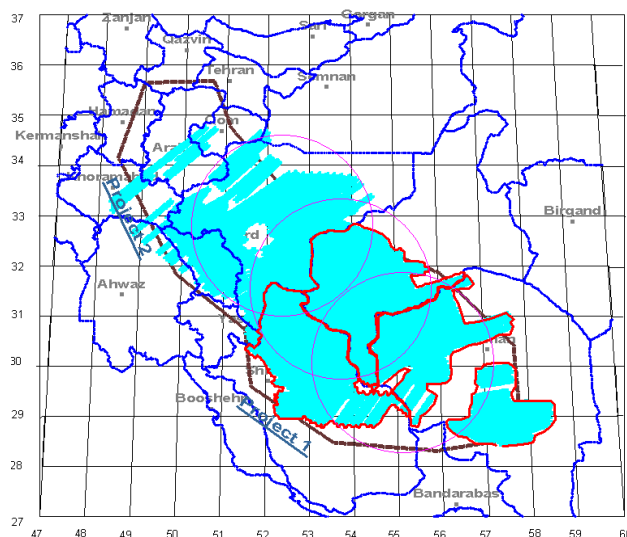
یکی از این محدودیتهای مهم در اختیار نداشتن اطلاعات از وضعیت و شرایط فیزیکی و میکروفیزیک ابرها در کل محدوده اجرای پروژه در زمانی مناسب است. از این رو برای دستیابی به این داده‌ها بویژه در شرایطی که اطلاعات رادار هواشناسی وجود ندارد، بهترین گزینه استفاده از داده‌های

هاشورهای آبی رنگ مشخص گردیده است) در فوریه ۲۰۰۹ به شرح شکل (۱) می‌باشد. همچنین در جدول (۱) مساحت تحت پوشش عملیات در استان ارائه شده است. شایان ذکر است محدوده بارور شده و مساحت تحت پوشش معرفی شده در جدول با روی هم‌اندازی مناطق هدف طی یک ماه حاصل شده است و نشانگر مساحت منطقه بارور شده در تک تک پروازها نمی‌باشد.

از غیر باران‌زا در گستره وسیع و متنوع جغرافیایی و در کوتاه‌ترین زمان بسیار اهمیت دارد. به همین دلیل برای داشتن نمونه عملی و تجربه شده از اطلاعات موجود، اجرای یکی از پروژه‌های باروری ابر در استان فارس انتخاب گردیده است.

### محدوده مورد مطالعه

بر پایه گزارش مصوب مرکز ملی بارورسازی ابرها در سال ۱۳۸۷ منطقه هدف (مناطق بارور شده که در شکل ۱ با



شکل ۱- منطقه هدف در ماه فوریه در استانهای یزد، کرمان و فارس (مهاب قدس- گزارش ارزیابی باروری ابرها، ۱۳۸۷)

جدول ۱- مساحت منطقه هدف در استان فارس (مساحت استان فارس ۱۲۲۶۰۸ کیلومتر مربع می‌باشد)

(مهاب قدس- گزارش ارزیابی باروری ابرها، ۱۳۸۷)

ماه	مساحت منطقه هدف (کیلومتر مربع)	نسبت مساحت تحت پوشش به مساحت استان
ژانویه	۱۰۶۲۵/۸۸	۰/۰۹
فوریه	۴۷۴۶۵/۴۲	۰/۳۹
مارس	۱۶۵۷۰/۷۷	۰/۱۴
آوریل	۲۰۲۲۱/۹۵	۰/۱۶

داده است و مناطقی که در تحلیل تصاویر ماهواره به عنوان ابرهای بارش‌زا تشخیص داده شده است، آمار بارندگی ماه فوریه سال ۲۰۰۹ میلادی کلیه ایستگاه‌های مورد نظر و مناطق

### داده‌های مورد استفاده

برای دستیابی به اهداف در نظر گرفته شده در این پژوهش و انجام مقایسه بین مناطقی که در آنجا بارش رخ

تصاویر سنجنده مدیس حاصل تصویربرداری دو ماهواره ترا و آکوا بوده که در شبانه روز حداقل ۴ بار گستره کشور را پایش می‌نماید. داده‌های این سنجنده در ۳۶ باند نوری فراهم گردیده و ابزاری مناسب در پایش ابر، ریزگردها و دیگر نمایه‌های زیست محیطی و آب و هوایی می‌باشد. همچنین این تصاویر دارای قدرت تفکیک ۱۰۰۰ متر برای شناسایی ابر می‌باشد و قابلیت حداقل چهار بار رصد ایران در شبانه‌روز را دارد. داده‌های بکار گرفته شده و مورد نیاز سنجنده مدیس در این تحقیق مربوط به روزهای ۱، ۱۱، ۱۵، ۲۰، ۲۱، ۲۴، ۲۷ و ۲۸ فوریه ۲۰۰۹ است. محصولات مد ۰۶ یکی از محصولات سنجنده مدیس در سطح ۲ می‌باشد که اطلاعات ارزنده‌ای در مورد فیزیک ابر به دست می‌دهد. البته اطلاعات این مد به صورت آماده توسط الگوریتم‌های معتبر تهیه شده توسط ناسا تولید می‌گردد و در دسترس کاربران قرار دارد. 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 مورد استفاده در محصولات این مد و نتایج بدست آمده از آن، لحاظ گردیده‌اند. در اینجا به معرفی مختصر محصولات مد ۰۶، مورد استفاده در این پژوهش می‌پردازیم.

پوشش ابر: مشخصات پوشش ابری مشخص کننده نهایی تمام پیکسل‌های بدون ابر در چشم‌انداز ماهواره‌ای است. الگوریتم آن بر اساس تکنیک آستانه چند طیفی بنا گردیده است که مشخص کننده هر یک از پیکسل‌های تصویر ماهواره‌ای است.

ضخامت اپتیکی ابر: این تصویر مربوط به ژرفای نوری ابر است که با حرف (T) 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.

مورد مطالعه از اداره کل هواشناسی و شرکت آب منطقه‌ای استان فارس بصورت روزانه دریافت گردید. از طرف دیگر برای کسب اطلاعات از برخی پارامترهای جوی بخصوص باد، ابرناکی، دمای قله ابر و آب قابل بارش در روزهای مورد نظر با استفاده از سایت اینترنتی نوآ امکان دریافت داده‌های مورد نیاز و رسم نمودن داده‌های ترکیبی NCEP وجود دارد که در این تحقیق از آنها استفاده گردیده است.

همچنین با در نظر داشتن اهداف این تحقیق و اطلاعات قابل دسترس، در این پژوهش داده‌های ثبت شده توسط هواپیمای باروری ابرها، یادداشتهای ثبت اطلاعات وضعیت جوی و ابرها در حین پروازها توسط کارشناس هواشناسی، مناطق بارور شده همراه با نقشه‌های ترسیمی مناطق تحت تاثیر مواد باروری ابر یا مناطق هدف و مسیر پروازها مورد استفاده قرار گرفته است. این اطلاعات و داده‌ها مربوط به فوریه سال ۲۰۰۹ (معادل ۱۲ بهمن تا ۱۰ اسفند ۱۳۸۷) می‌باشد. برگزیدن این بازه زمانی برای انجام بررسی‌ها، بدین دلیل است که در این بازه زمانی، ۸ روز عملیات بارورسازی در استان انجام گرفته است. این تعداد، بیشینه تکرار عملیات در یک ماه مشخص در سال منتخب، ۲۰۰۹ می‌باشد. این روزها شامل ۱، ۱۱، ۱۵، ۲۰، ۲۱، ۲۴، ۲۷ و ۲۸ فوریه ۲۰۰۹ است. انتخاب سال آبی ۸۸-۱۳۸۷ (۲۰۰۹) نیز مشابه موارد بالا به دلیل انجام شدن حداکثر تعداد عملیات باروری در استان و همچنین در دسترس بودن اطلاعات برداشت شده حین پرواز و انجام ارزیابی آماری در این سال می‌باشد.

داده‌های هواپیما در بهترین شرایط و در صورت سالم بودن کلیه سنجنده‌های نصب شده در هواپیما شامل سرعت و جهت باد، دما و دمای نقطه شبنم، محتوای آب درون ابر، مجموع آب و یخ، مختصات جغرافیایی، اطلاعات مسیر حرکت هواپیما، ارتفاع نسبت به سطح دریا و زمین می‌باشد. در این تحقیق با توجه به اهداف پژوهش و داده‌های در دسترس از هواپیما، بیشتر داده‌های سرعت و جهت باد و دمای ابر مورد استفاده قرار گرفته است.

کارشناسان مرکز ملی باروری ابرها) و برخی مشخصات ابرها در سطوح مختلف جو نظیر مشخصه‌های بردار باد، حرکت عمودی در جو (فراسنج اُمگا: اصطلاح امگا برای توضیح حرکت عمودی)، ابرناکی (شاخص آل آر)، دمای ابر، آب قابل بارش و شدت بارش رخ داده در منطقه مورد مطالعه، اطلاع حاصل گردد. بدین منظور کلیه نقشه‌های مورد استفاده در این بخش از سایت نوآ و داده‌های بازتحلیل NCEP/NCAR استخراج گردیده است.

در مرحله نخست نقشه پرواز شامل: اطلاعات مسیر پرواز هواپیمای باروری، نقاط شلیک مواد باروری ابر (پیروپاترونهای یدیدنقره) به شکل مربعهای کوچک قرمز رنگ، منطقه تحت تاثیر مواد باروری با خطوط آبی رنگ در پس زمینه نقشه مرزهای استانی، زمان برخاست و نشست هواپیما، تعداد پیروپاترونهای مصرفی، تاریخ و شماره پرواز برای هر روز عملیاتی با بهره‌گیری از داده‌های ثبت شده در حین پروازهای باروری مرکز ملی باروری ابرها مورد استفاده قرار گرفته است (گزارش اجرای پروژه باروری ابرها در استان فارس، سال آبی ۸۸-۸۷).

در ادامه نتایج مشاهدات ثبت شده توسط هواشناس مستقر در هواپیماها در حین اجرای عملیات باروری ابر از شرایط جوی و ابرهای منطقه مورد نظر آورده شده است (گزارش هواشناسی پروازهای باروری ابرها در پروژه سال آبی ۸۸-۸۷، مرکز ملی تحقیقات و مطالعات باروری ابرها). سپس نقشه‌های مربوط به مشخصه‌های هواشناسی (باد در سطوح فوقانی جو و...) در روزهای انجام عملیات باروری ابرها در بهمن ماه ۱۳۸۷ و تحلیل و بررسی اطلاعات آن، به صورت مجزا برای هر روز اجرای عملیات باروری ابرها ارائه گردیده است. سپس کلیه محصولات اخذ شده مدیس در مد ۰۶ برای همان روز عملیات همراه با تحلیل و بحث آورده شده است. لازم به توضیح است که تصاویر محصولات مورد اشاره با توجه به زمان گذر ماهواره از منطقه مورد مطالعه و نزدیکترین زمان به پرواز باروری همان روز و قبل از زمان اجرای باروری انتخاب گردیده‌اند و اگر گذری در آن منطقه

شعاع موثر ابر: این تصویر 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 می‌شود. شعاع موثر ذرات ابر از مشخصه‌های بنیادین ابر است که در اندازه‌گیری - های از راه دور بارش یک ابر، کاربرد فراوان دارد. همانگونه که در مرور منابع نیز ذکر گردیده است شماری از دانشمندان (مانند روزنفلد و همکارانش، ۲۰۰۰) 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 این پارامتر میکروفیزیکی ابر از عوامل مهم و تاثیرگذار بر نتایج کار است.

فشار و دمای تاج ابر: این مشخصه ویژگی‌های مربوط به دما و فشار را در تاج ابر بیان می‌کند. دمای تاج ابر از مشخصه‌های مهم در تشخیص پتانسیل باران‌زایی ابر است. از سویی فشار تاج ابر، فاکتوری برای بیان ارتفاع تاج ابر می‌باشد. از آنجایی که ارتفاع بر دمای ابر و دما نیز بر تعداد و شکل کریستالهای درون ابر و فاز ابر موثر است، همچنین همگی این عوامل بر بارانزا یا غیربارانزایی ابر تاثیر گذارند، این دو مشخصه در میان محصولات فیزیک ابر مد ۰۶ از اهمیت زیادی برخوردار است.

## روش تحقیق

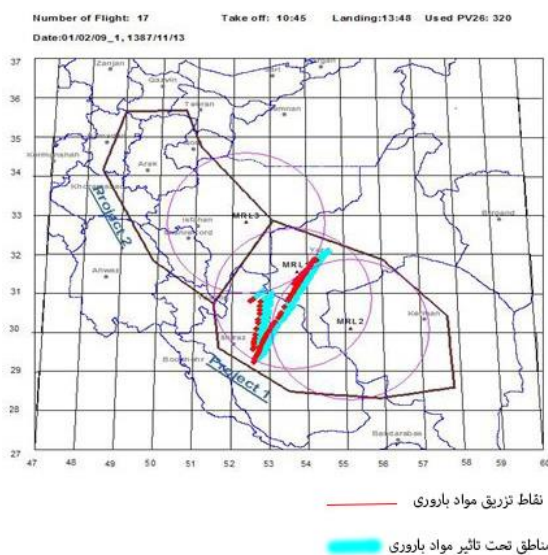
طی مطالعات و آزمایشات انجام شده مشخص گردیده است، قبل از هرگونه برنامه‌ریزی برای انجام عملیات باروری ابرها، ضمن انجام مطالعات امکان سنجی و توجه به سوابق اقلیمی و هواشناسی منطقه، بررسیهای موردی مرتبط با فیزیک ابر نیز انجام می‌گردد و در صورت اثبات مناسب بودن ابرهای منطقه برای انجام بارورسازی، اقدام به عملیات اجرایی می‌شود (گزارش تعدیل آب و هوا سازمان جهانی هواشناسی، ۲۰۱۰). در این پژوهش لازم بود قبل از بررسی هر یک از نقشه‌های پرواز باروری ابرها، جهت داشتن دید بهتر از شرایط جوی در شرایط فرضی عدم اطلاع از داده‌های ماهواره، تا حد ممکن از وضعیت ابر گزارش شده در حین پرواز (گزارش میدانی

حاوی اطلاعات کامل از منطقه مورد مطالعه نباشد مانند اول فوریه ۲۰۰۹، اگر از نظر در دسترس بودن تصاویر ممکن پذیر بوده، در دو زمان متفاوت از این تصاویر استفاده شده است.

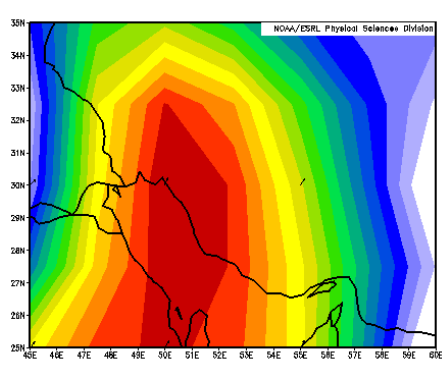
### بحث و نتایج

با توجه به تعداد زیاد روزها و پروازهای باروری ابر انجام شده در ماه فوریه ۲۰۰۹ و در نتیجه تصاویر و نقشه‌های فراوان این پروازها، تصمیم گرفته شد بعنوان نمونه دو روز منتخب و متفاوت یکی از نظر مناسب بودن سامانه ابری برای بارورسازی و دیگری نامناسب بارورسازی مورد بحث قرار گیرد و در نهایت در جدول، نتایج اخذ شده ذکر می‌گردد.

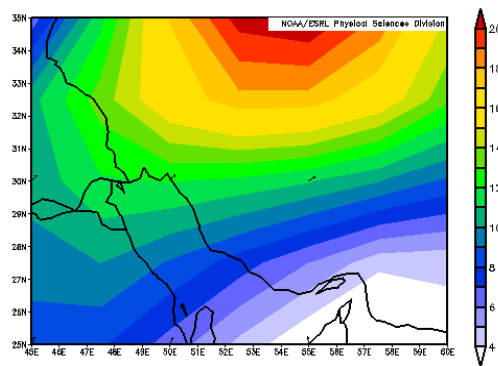
پرواز شماره ۱۷، ۱۳ بهمن ۱۳۸۷ (۱ فوریه ۲۰۰۹)  
 گزارش هواشناس مستقر در هواپیما: مطابق محدوده پروازی شکل ۱، حدود ساعت ۱۲ به وقت محلی، ارتفاع پایه ابر ۲۹۳۲ متر از سطح دریا می‌باشد. ایزوترمهای صفر، ۱۰- و ۲۰- درجه سلسیوس نیز به ترتیب در ارتفاعات ۳۸۲۱، ۴۲۸۸ و ۶۰۳۵ متر از سطح دریا مشاهده شدند. هواپیما در داخل ابر در معرض یخزدگی ضعیف و توربولانس‌های آرام قرار داشت.



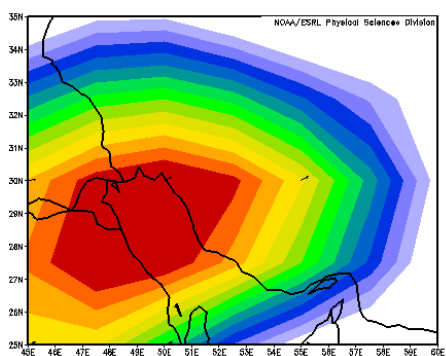
شکل ۲: مسیر پرواز، نقاط تزریق مواد باروری و منطقه هدف در پرواز شماره ۱۷، اول فوریه ۲۰۰۹



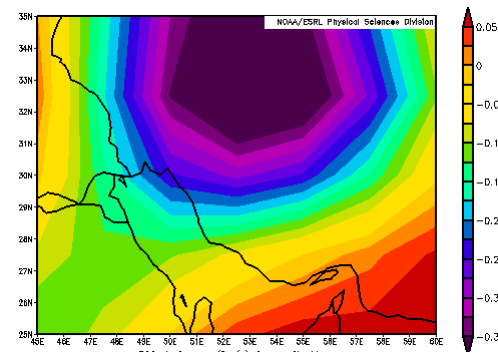
شکل ۴- نقشه میانگین روزانه بردار باد (m/s) در سطح ۵۰۰ میلی‌بار



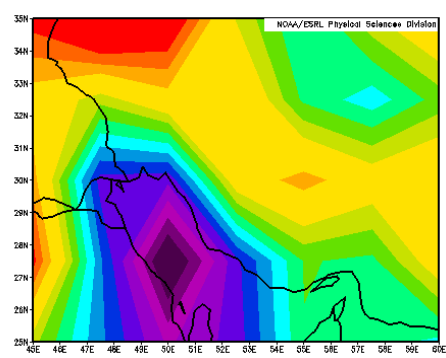
شکل ۳- نقشه میانگین روزانه بردار باد (m/s) در سطح ۳۰۰ میلی‌بار



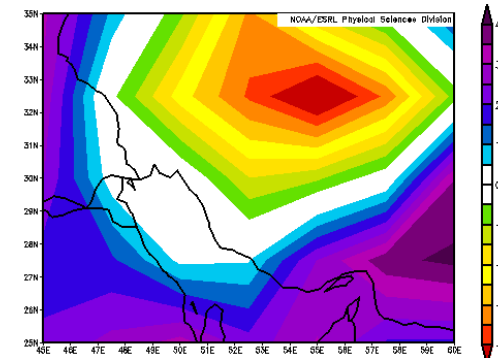
شکل ۶: نقشه میانگین روزانه مقدار امگا (pa/s) در سطح ۵۰۰ میلی بار



شکل ۵: نقشه میانگین روزانه بردار باد (m/s) در سطح ۷۰۰ میلی بار



شکل ۸: نقشه میانگین روزانه آب قابل بارش (kg/m2)



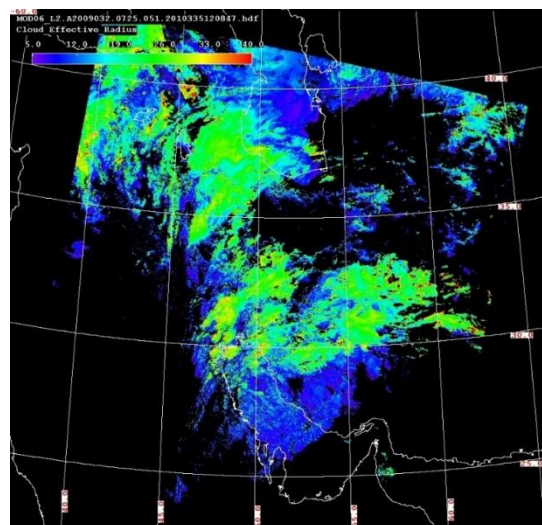
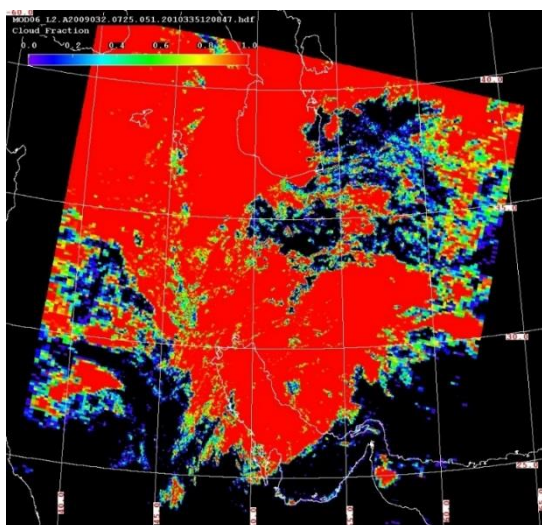
شکل ۷: نقشه میانگین روزانه شاخص OLR (w/m2)

نشان می دهد که با اطلاعات دمای قله ابر ماهواره مدیس مطابقت دارد و این دما برای بارورسازی ابرها بسیار مناسب است.

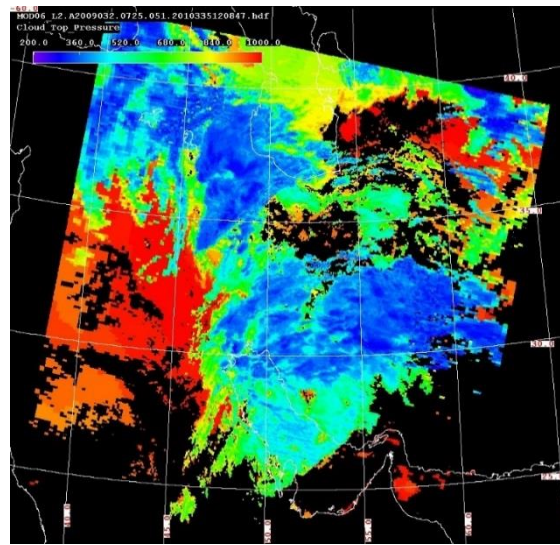
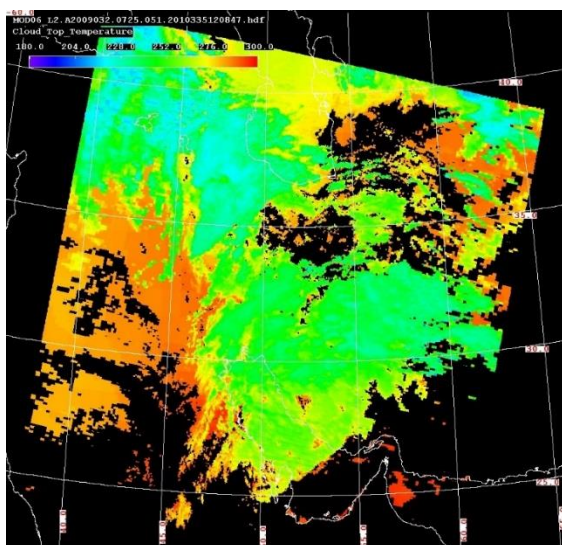
پس از بررسی نقشه ها و داده های واقعی در دسترس، مطابق با هدف انجام این تحقیق با استفاده از محصولات مد ۰۶ سنجنده مدیس در تاریخ ۲۰۰۹/۲/۱ در ساعت های قابل استخراج در محدوده مورد مطالعه، تصاویر ماهواره بررسی و مقایسه آنها با دیگر اطلاعات انجام شده است.

بررسی نقشه ها: شکل های ۳، ۴ و ۵ نشان می دهند جهت باد در سطوح مختلف جو، جنوب غربی است. شکل ۸ وجود منبع رطوبتی مناسب (۲۴ kg/m3 و کمتر) بر روی خلیج فارس را بیان می کند. از طرفی شکل ۶ مشخصه وجود شرایط مناسب تشکیل ابر مانند جریان های بالا رونده و شکل ۷ نشان دهنده ابرناکی مناسب در مناطق مرکزی و شمالی استان فارس و استان های همجوار یزد و اصفهان است. داده های ثبت شده حین پرواز توسط سنسور هواپیما دمای ابر را در ارتفاع حدود ۶ کیلومتر ۲۰- درجه سلسیوس

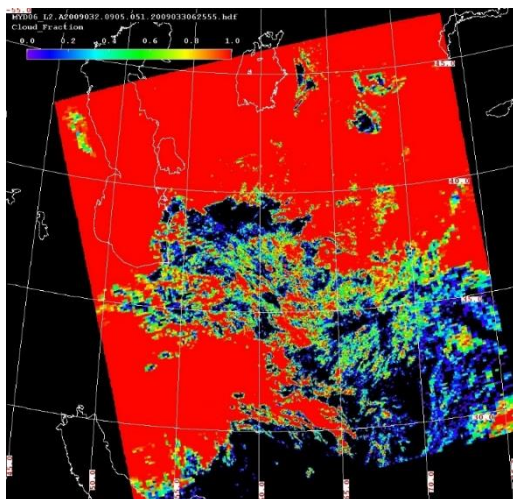




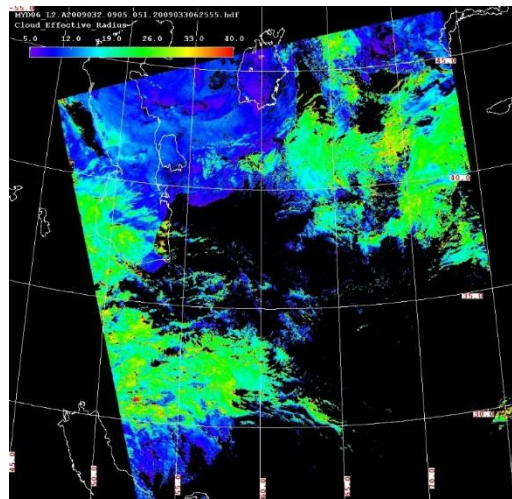
شکل ۹- تصویر شعاع موثر قطرکهای قله ابر ساعت ۷:۲۵ قبل از ظهر گرینوچ  
 شکل ۱۰- تصویر کسر ابر ساعت ۷:۲۵ قبل از ظهر گرینوچ



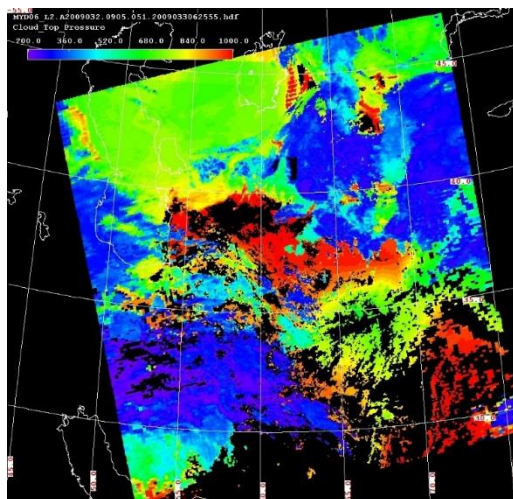
شکل ۱۱- تصویر فشار قله ابر ساعت ۷:۲۵ قبل از ظهر گرینوچ  
 شکل ۱۲- تصویر دمای قله ابر ساعت ۷:۲۵ قبل از ظهر گرینوچ



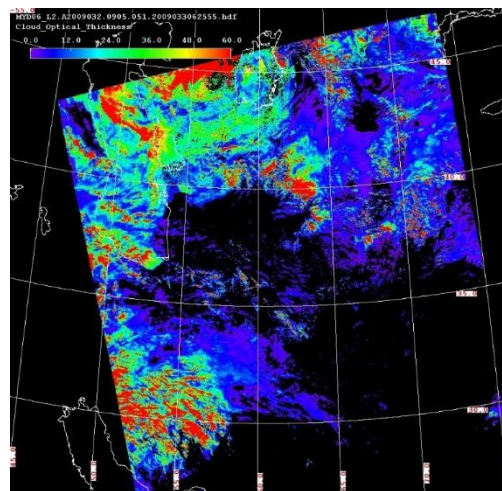
شکل ۱۴: تصویر کسر ابر ساعت ۹:۰۵ قبل از ظهر گرینویچ



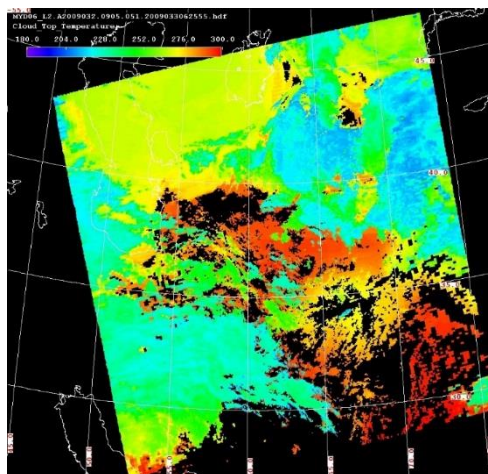
شکل ۱۳- تصویر شعاع موثر قطرکهای قله ابر ساعت ۹:۰۵ قبل از ظهر



شکل ۱۶- تصویر فشار قله ابر ساعت ۹:۰۵ قبل از ظهر گرینویچ



شکل ۱۵- تصویر ضخامت نوری ابر ساعت ۹:۰۵ قبل از ظهر گرینویچ



شکل ۱۷- تصویر دمای قله ابر ساعت ۹:۰۵ قبل از ظهر گرینویچ

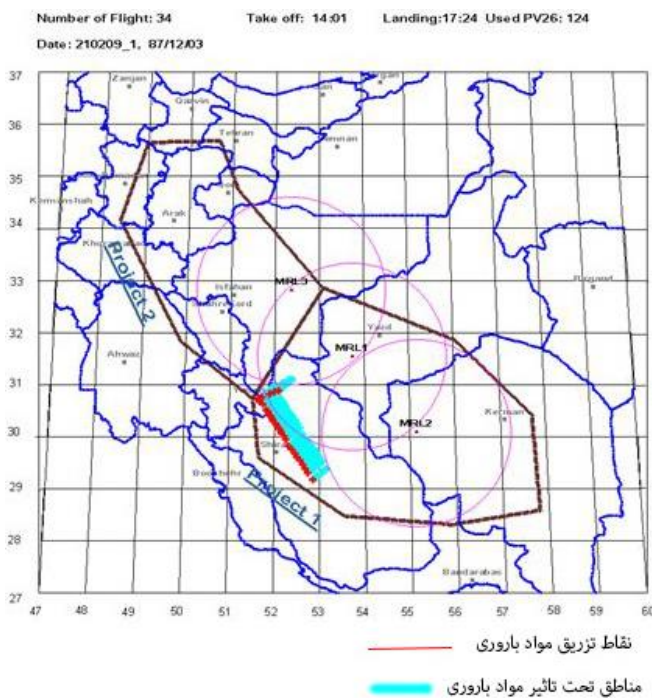
وجود دارد. ژرفای نوری ابر در شکل شماره ۱۵ بین ۴۸ تا ۶۰ که بیش از مقدار متوسط است، می‌باشد. این شاخص به نوعی ضخامت ابر و چگالی آب موجود در ابر را نشان می‌دهد.

### پرواز شماره ۳،۳۵ اسفند ۱۳۸۷ (۲۱ فوریه ۲۰۰۹)

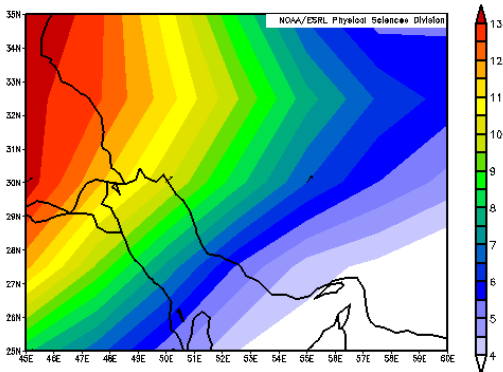
گزارش هواشناس مستقر در هواپیما: مطابق محدوده پروازی شکل ۱۸، حدود ساعت ۱۵:۳۰ به وقت محلی، ایزوترمهای صفر، -۱۰ و -۲۰ درجه سلسیوس نیز به ترتیب در ارتفاعات ۳۱۷۶،۴۴۰۹ و ۵۸۵۳ متر از سطح دریا مشاهده شدند. هواپیما در داخل ابر در معرض توربولانس های آرام و متوسط قرار داشت. یخزدگی متوسط و شدید نیز در طول پرواز مشاهده گردید.

بحث و بررسی: شعاع موثر ذرات قله ابر در شکل شماره ۹ و ۱۳ در پهنه استان به جز نیمه شمالی استان کمتر از ۱۴ میکرون است. در شمال استان قطر ذرات تا ۱۹ میکرون و بیشتر رشد نموده است. کسر ابر در شکل شماره ۱۰ و ۱۴ تقریباً در بیش از ۹۰ درصد از گستره استان یک می‌باشد که معرف ابرناکی کامل منطقه است.

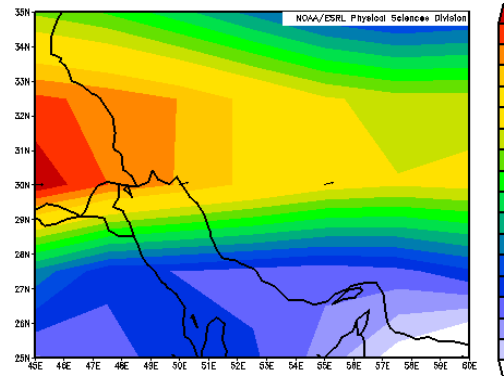
دمای سطح فوقانی ابر در اشکال شماره ۱۲ و ۱۷، حدود ۲۵۲ درجه کلونین می‌باشد و در اشکال شماره ۱۱ و ۱۶ فشار سطح بالایی ابر نیز حدود ۳۵۰ تا ۵۵۰ میلی‌بار است که نشان‌دهنده وجود ابرهای میانی و بالا در بخشهای زیادی از منطقه است. در بخشهای کوچکی از شمال غرب استان فارس نیز ارتفاع قله ابر ۷۵۰ میلی‌بار است و در این مناطق احتمال وجود ابرهای کومولوس و استراتوکومولوس



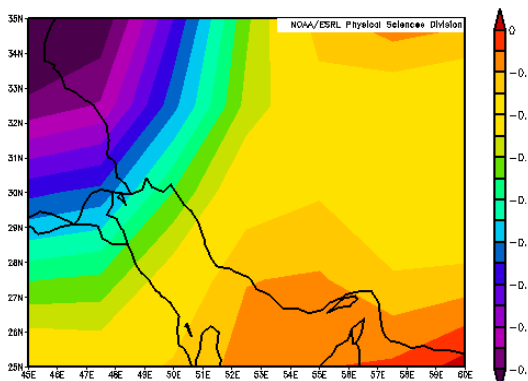
شکل ۱۸- مسیر پرواز، نقاط تزریق مواد باروری و منطقه هدف در پرواز شماره ۳،۳۵ بیست و یکم فوریه ۲۰۰۹



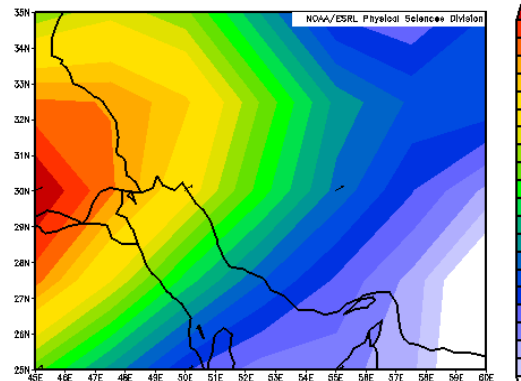
شکل ۲۰- نقشه روزانه بردار باد (m/s) در سطح ۵۰۰ میلی بار



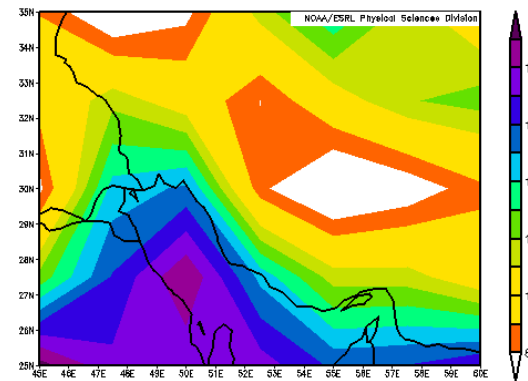
شکل ۱۹- نقشه روزانه بردار باد (m/s) در سطح ۳۰۰ میلی بار



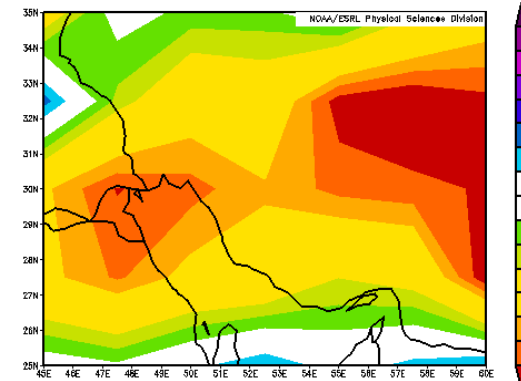
شکل ۲۲- نقشه میانگین روزانه مقدار امگا (pa/s) در سطح ۵۰۰



شکل ۲۱- نقشه روزانه بردار باد (m/s) در سطح ۷۰۰ میلی بار



شکل ۲۴- نقشه میانگین روزانه آب قابل بارش (kg/m2)



شکل ۲۳- نقشه میانگین روزانه شاخص OLR (w/m2)

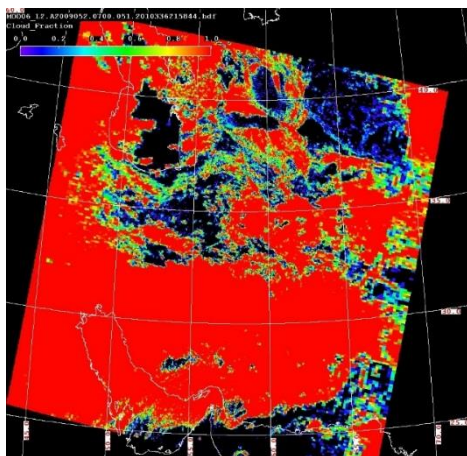
مشخصه وجود شرایط تشکیل ابر مانند جریانات بالا رونده، در مناطق دارای رطوبت ضعیف است و مقدار امگا بر روی غرب ایران و کشور عراق متمرکز گردیده است و بر روی کل استان در حد ضعیف می باشد. شکل ۲۳ بیان کننده

بررسی نقشه ها: شکل های ۱۹، ۲۰ و ۲۱ نشان می دهند جهت باد در سطوح مختلف جو، جنوب غربی است. شکل ۲۴ وجود منبع رطوبتی متوسط (کمتر از  $18 \text{ kg/m}^3$ ) بر روی خلیج فارس را بیان می کند. از طرفی شکل ۲۲ بعنوان

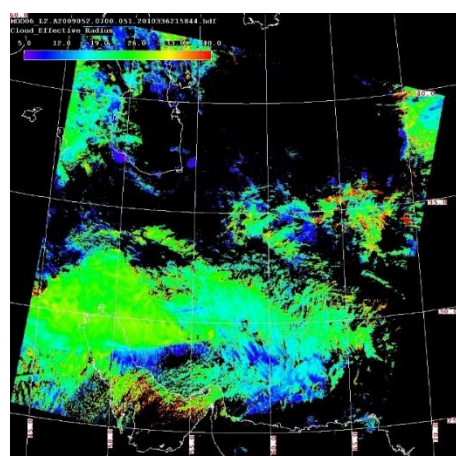
از ایران، محصولات مدیس در دو ساعت ۷ و ۱۰:۱۵ قبل از ظهر در دسترس بود که زمان دوم علی‌رغم نزدیکتر بودن آن به پروازهای باروری، چون فقط بخش کوچکی از جنوب غرب ایران را پوشش می‌داد، ناگزیر از تصاویر ساعت ۷:۰۰ گرینویچ در تاریخ ۲۰۰۹/۲/۲۱ که از لحاظ مقادیر کمی تغییرات تاثیرگذاری با تصاویر گذر بعدی ندارد، استفاده گردید.

شاخص ابرناکی متوسط در استان فارس است. با توجه به با اطلاعات حاصل از ماهواره مدیس دمای قله ابر به طور میانگین دارای دمای ابر نامناسب باروری ابر، حدود ۲۲۰ درجه کلوین است. همچنین داده‌های ثبت شده در هواپیما در سطح ۴۰۰ میلی‌بار، دماهای بیشتر یعنی حدود ۲۰- درجه سلسیوس را نشان می‌دهد.

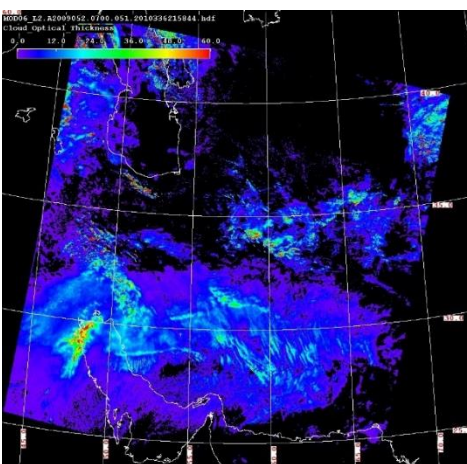
در تاریخ ۲۱ فوریه دو پرواز باروری ابر در ساعتهای بعد از ظهر انجام شده است و با توجه به زمان گذر ماهواره



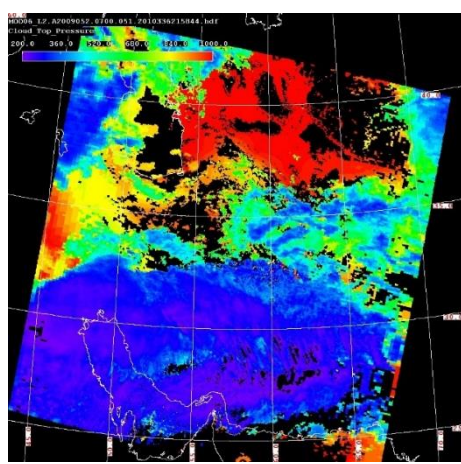
شکل ۲۶- تصویر کسر ابر ساعت ۷ قبل از ظهر گرینویچ



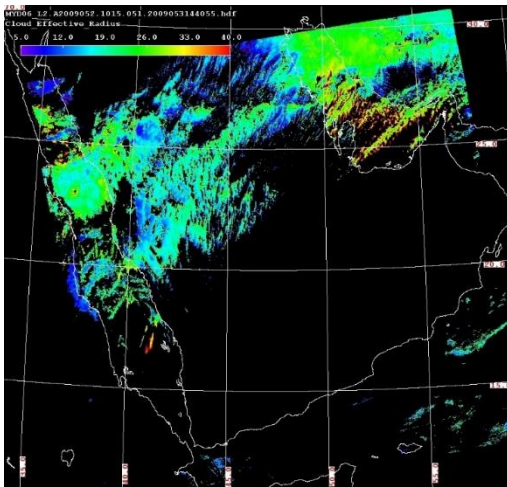
شکل ۲۵- تصویر شعاع موثر قطرکهای قله ابر ساعت ۷ قبل از ظهر



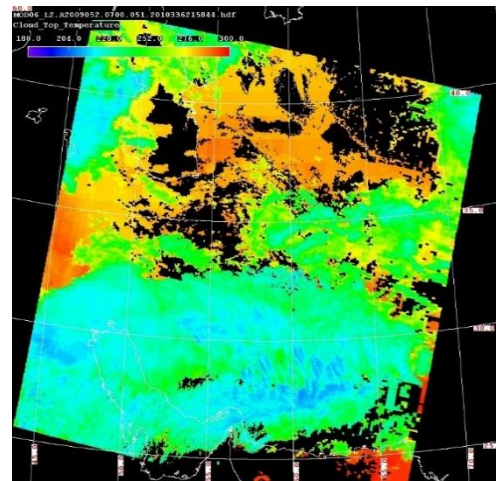
شکل ۲۸- تصویر فشار قله ابر ساعت ۷ قبل از ظهر به



شکل ۲۷- تصویر ضخامت نوری ابر ساعت ۷ قبل از ظهر



شکل ۳۰- تصویر شعاع موثر قطرکهای قله ابر ساعت ۱۰:۱۵



شکل ۲۹- تصویر دمای قله ابر ساعت ۷ گریونچ

(تصمیم‌گیری در مورد اجرای پروازهای باروری ابرها در ایران با کمک نقشه‌های پیش‌بینی حاصل از مدل‌های هواشناسی، داده‌های هوای حاضر ایستگاههای زمینی و جو بالا (در صورت امکان و وجود) از قبیل دما، رطوبت نسبی، شدت بارش، ارتفاع پایه و قله ابر و... و تصاویر ماهواره متئوست ۷ و ۹ و همچنین در صورت وجود تصاویر رادار هواشناسی در مناطق تحت پوشش کشور انجام می‌گردد (خطیبی، ۱۳۹۰)). بنابراین در مناطقی که به هر دلیل فاقد اطلاعات با ارزش راداری است به طور معمول تصمیم‌گیری جهت انجام پرواز با هدف باروری ابرها، با مشکل و تردید مواجه می‌گردد. یکی از ابزارها برای کمک به روند اجرای پروژه در کنار دیگر اطلاعات جهت کاهش خطای تصمیم‌گیری اجرای باروری ابرها، استفاده از تصاویر ماهواره مدیس است. در این بخش با توجه به اطلاعات بدست آمده از محصولات مد ۰۶ و نقشه‌های هواشناسی به بررسی احتمال وقوع بارش و یا عدم وقوع آن در روزهایی که بدون وجود این اطلاعات تصمیم به اجرای پروازهای باروری ابر در فوریه ۲۰۰۹ گرفته شده است، پرداخته می‌شود. جهت اطمینان از صحت تحلیل انجام شده با استفاده از داده‌های ثبت بارش در ایستگاه‌های زمینی استان

بحث و بررسی: شعاع موثر ذرات قله ابر در شکل شماره ۲۵ در کل استان از ۲۰ تا ۳۰ میکرون است و با توجه به محصول کسر ابر در شکل شماره ۲۶، به استثنای بخشی از جنوب استان گستره ابر در کل منطقه یک می‌باشد که معرف ابرناکی تقریباً پیوسته در کل استان است. دمای سطح فوقانی ابر در شکل شماره ۲۹، ۲۵۰ درجه کلوین و کمتر در سطح استان است. در شکل شماره ۲۸ فشار سطح بالایی ابر در کل بخشهای ابری استان ۳۵۰ میلی‌بار و کمتر است که نشان‌دهنده نفوذ ابرهای بالا در کل استان است. ژرفای نوری ابر در شکل شماره ۲۷ در بیشتر مناطق استان به صورت ناپیوسته کمتر از ۲۴ می‌باشد که بسیار کمتر از میانگین این شاخص است. مقدار این شاخص بستگی به ضخامت ابر و چگالی آب موجود در ابر دارد. در کل با بررسی تصاویر ماهواره به طور قطع بدلیل ضخامت بسیار کم و چگالی آب پایین ابر، همچنین ارتفاع زیاد ابرها که همراه با دمای بسیار پایین است، نشان می‌دهد که نباید در این مقطع زمانی پرواز باروری صورت گیرد.

در مناطقی که به هر دلیل فاقد اطلاعات با ارزش راداری است به طور معمول تصمیم‌گیری جهت انجام پرواز با هدف باروری ابرها، با مشکل و تردید مواجه می‌گردد.

۲۸ فوریه بقیه روزها بدون بارش روزانه گزارش گردیده است. این ایستگاه‌ها که بارش روزانه صفر داشته‌اند و در منطقه مورد بررسی هدف و اطراف منطقه هدف واقع هستند (منطقه هدف به ناحیه‌ای گفته می‌شود که تحت تاثیر مواد باروری قرار گرفته‌اند و با هاشور آبی رنگ در نقشه‌های پروازی مشخص شده‌اند (سیدحسینی، ۱۳۹۱)) در جدول ۲ آورده شده‌اند:

فارس، وقوع بارش و یا عدم ریزش بارش بر روی سطح زمین، کنترل شده است. بررسی بارش‌های روزانه ایستگاه‌های زمینی نشان می‌دهد روزهایی که در تحلیل‌ها به لحاظ ویژگی‌های فیزیکی ابر مناسب بارش تشخیص داده نشده‌اند، بارشی در ایستگاه‌ها گزارش نشده است، به عبارتی بارش در ایستگاه‌های منطقه بارور شده و محدوده اطراف آن صفر بوده است. بنابراین به جز روزهای ۱، ۱۱ و

جدول ۲- ایستگاه‌های محدوده منطقه باروری در ۱۵، ۲۰، ۲۱، ۲۴ و ۲۷ فوریه ۲۰۰۹ که در آنها بارش صفر گزارش شده است.

۲۷-فوریه	۲۴-فوریه	۲۱-فوریه	۲۰-فوریه	۱۵-فوریه
بیدکل	نرگسی	کافتر	سرکت	دهکویه
مهرآباد رامجرد	شیمب تانگ	بندیهمن	کولی کوش	کشمنگان
کندازین	دودو	سزیوشان	ارتفاعات تیمارگون	عباس آباد
امامزاده اسماعیل	خانزینان	دوبنه	کافتر	چمریز
احمد آباد	ارتفاعات امیرتباد	احمدآباد	حسن آباد	دروذن
دروذن	هریجان	راهدار	خسروشیرین	تلمیه سیروس
دشتک	مل قاندی	حیدرآباد	دهکده سفید	دیدگان
یل خان	خرقه	قلات	سده	ده بید
شول	چوکان	خانزینان	اران	احمد آباد
اقبال آباد	حنیفقان	برقان	کافتر	کافتر
یل فسا	علی آباد خفر	ده کهنه	امامزاده اسماعیل	امامزاده اسماعیل
سزیوشان	دزان	جویخله	دشتک	دشتک
کشمنگان	تلمیه حسنی	اسپاس	عباس آباد	عباس آباد
شمال احمد آباد	قلات	جمالیگ	سهلکی	سهلکی
کافتر	کوسنگان	دهکده سفید	ده کهنه	ده کهنه
دشمن زیاری	جمالیگ	فسا	دیدگان	دیدگان
خلار	دهکده سفید	اقبال آباد	کافتر	کافتر
هریجان	بند بهرام	حنیفقان	کتوری	کتوری
مل قاندی	حسن آباد	سروستان	قنجان	قنجان
دزان	آباد	کافتر	شوریان	شوریان
تلمیه حسنی	علی ایباد خفر	یل تلخ	ده بید	ده بید
مهرآباد رامجرد	میان چنگل	خرامه		
دزان	سروستان	جهان آباد		
تلمیه حسنی	یل تلخ	تلمیه میشی		
کوسنگان	خرامه	آباد طشک		
قلات	جهان آباد	مل قاندی		
گرایب	ارسنجان	بیدکل		
جویخله	تلمیه میشی	کندازین		
ده کهنه	آباد طشک	تلمیه سیروس		
جمالیگ	جهان آباد	امامزاده اسماعیل		
اسپاس	قلعه سادات	دروذن		
دزگرد	گذاربرازجان	دشمن زیاری		
جویخله	مزایجان			
جمالیگ	منج			
دهکده سفید	سوریان			
حسن آباد				
شمال کافتر				
احمد آباد				
کتوری				
سوریان				
دیدگان				
حسن آباد				
آباد				
کولی کش				

باروری انجام شده، اطلاعات دریافتی از محصولات ماهواره در دو روز منتخب ۱ و ۲۱ فوریه در زیر بعنوان نمونه ارائه گردیده است.

بمنظور نشان دادن نحوه تحلیل و برداشت از تصاویر ماهواره با هدف کمک به تصمیم‌گیری در اجرا یا عدم اجرای پرواز باروری ابر، با توجه به کمبود فضای ارائه کلیه مطالب و صفحات زیاد مورد نیاز بیان خصوصیات تمامی پروازهای

بارورسازی ابر است. ثبت نشدن ریزش بارش در ایستگاه‌های منطقه هدف و مناطق اطراف مربوط به پرواز شماره ۳۲ و تطابق آن با اطلاعات نقشه شدت بارش همین روز (شکل ۴-۷۰)، تایید کننده تفسیر تصاویر ماهواره است.

در این جا پس از بررسی دو نمونه از روزهایی که در آنها پرواز باروری ابر صورت گرفته است، بر اساس معیارهایی که در این تحقیق جهت تشخیص مناسب بودن شرایط فیزیکی ابر برای باروری تعیین شده است، جدول شماره ۱ که حاوی اطلاعات کلیه روزهای مورد بررسی است تهیه گردید. در این جدول T نشاندهنده دمای قله ابر برحسب درجه کلونین، H ارتفاع قله ابر برحسب میلی‌بار، re شعاع موثر قطرکهای درون ابر بر حسب میکرومتر، T ژرفای نوری ابر در بازه صفر تا ۶۰ واحد و CF کسر ابر در بازه صفر تا یک واحد می‌باشد. نکات مهمی را از دسته‌بندی اطلاعات و گنجاندن نتایج در جدول ۳ از جمله تایید معیارهای تعیین شده می‌توان استخراج نمود. همانگونه که در مطالعه موردی این تحقیق نیز مشخص می‌گردد بر اساس معیارهای بدست آمده از مقالات مورد استناد این تحقیق در مورد شرایط فیزیکی و میکروفیزیکی ابرها، حاصل از محصولات سنجنده مدیس در مد ۰۶، ابرهایی که دارای مشخصات فیزیکی خارج از مقادیر تعیین شده برای ابرهای بارانزا و مناسب باروری می‌باشند، بارورسازی روی آنها موثر نبوده و در نتیجه هیچ بارشی نیز در ایستگاه‌های واقع در مناطق تحت تاثیر مواد باروری ثبت نشده است. نتیجه اینکه اگر به طور همزمان شرطهای ژرفای نوری بیش از ۳۵ واحد، دمای قله ابر بیش از ۳۰- درجه سلسیوس، ارتفاع قله ابرهای میانی بیش از ۵۰۰ میلی‌بار، قطرکهای درون ابرهای میانی دارای قطر بیش از ۱۹ میکرومتر و کسر ابر در حد یک واحد در منطقه مورد نظر برای باروری ابر برقرار باشد آنگاه شرایط کلی برای اجرای پروازهای بارورسازی فراهم است. در غیر اینصورت همانگونه که در جدول زیر نیز نمایان است (فراسنجهایی که به صورت زیرخطدار و درشتتر مشخص شده‌اند و فاقد مشخصه‌ها یا مقادیر لازم جهت وقوع بارش می‌باشند) در صورت عدم برقراری همزمان دو و یا بیشتر این

تحلیل پرواز باروری ابر در اول فوریه ۲۰۰۹: مطابق اطلاعات و نقشه‌های اول فوریه با توجه به جریانات همرفت و حرکت عمودی جو (شکل ۴-۶)، جهت مناسب باد (شکل ۴-۳، ۴-۴ و ۵-۵)، وجود ذخیره رطوبتی مناسب در اتمسفر (شکل ۴-۹) و ابرناکی خوب منطقه (شکل ۴-۷ و ۴-۱۲)، همچنین با توجه به اندازه مناسب قطرکهای درون ابر (شکل ۴-۱۱)، ژرفای نوری بیش از ۴۸ (شکل ۴-۱۷) و دمای مناسب تاج ابرهای میانی در نیمه شمالی استان (شکل ۴-۱۴)، به نظر می‌رسد شرایط هواشناسی و فیزیکی ابرها برای انجام پرواز باروری ابرها فراهم است. در تایید این برداشت از تصاویر ماهواره با عنایت به بارشهای ثبت شده در ایستگاه‌های بند بهمن و جوکان در منطقه هدف و خرقة در مناطق اطراف مربوط به پرواز شماره ۱۷ و ایستگاه‌های مادر سلیمان، امامزاده سلیمان و دشتک در منطقه هدف و گشنکان، چمریز و سده در مناطق اطراف مربوط به پرواز شماره ۱۸، می‌توان اظهار نمود که تصمیم به انجام پرواز باروری ابر در بخشهای پوشیده از ابر صحیح بوده است.

تحلیل پرواز باروری ابر در ۲۱ فوریه ۲۰۰۹: مطابق اطلاعات و نقشه‌های ۲۱ فوریه با توجه به جریانات همرفت و حرکت عمودی جو (شکل ۴-۶۸)، وجود ذخیره رطوبتی کم در اتمسفر (شکل ۴-۷۱)، ابرناکی پیوسته منطقه (شکل ۴-۶۹ و ۴-۷۴)، همچنین با توجه به اندازه نامناسب قطرکهای درون ابر ابرهای میانی (شکل ۴-۷۳) ( ابرهای سطوح بالا دارای شعاع موثر بزرگتری هستند که بدلیل دمای پایین و ارتفاع زیاد قابلیت باروری ندارند)، ژرفای نوری کمتر از ۲۴ در بیشتر استان (شکل ۴-۷۵) و دمای پایین تاج ابرهای استان (شکل ۴-۷۷) بدلیل ارتفاع زیاد ابرها (شکل ۴-۷۶)، شرایط هواشناسی و فیزیکی ابرها برای انجام پرواز باروری ابرها به طور قطع فراهم نبوده است. از تصاویر ماهواره می‌توان نتیجه گرفت که در این روز شرایط برای اجرای باروری ابرها مناسب نمی‌باشد. تصاویر ۲۱ فوریه که همراه با انجام دو پرواز باروری در زمان بعد از ظهر بوده است نمونه خوبی برای نشان دادن نتایج بهره نبردن از این محصولات در تصمیم‌گیری



فراسنجه‌ها مطابق معیارهای مشخص شده، می‌بایست از انجام عملیات باروری ابر اجتناب نمود.

جدول ۳- خصوصیات فیزیکی و میکروفیزیکی ابرها در روزهای بارورسازی ابر در استان فارس (فوریه ۲۰۰۹)

روز باروری	شرایط فیزیکی ابرها بدست آمده از محصولات مدیس ۰۶ سنجنده مدیس [به ترتیب از راست به چپ بر حسب $mb, K, \mu m$ ، میکرومتر، مقدار واحد، مقدار واحد]	تحلیل شرایط کلی و وضعیت فیزیک ابرها با استفاده از محصولات مدیس ۰۶ سنجنده مدیس (ناووس و کوخانوفسکی، ۲۰۰۶) (روزنفلد، ۲۰۱۰)	ثبت وقوع بارش در ایستگاه‌ها
۱ فوریه ۳ سورتی	$r_e > 19, H = 550 - 350, T = 252$ $CF = 0.8 - 1, \tau > 48$	مجموعه فراسنجه‌ها نشان دهنده شرایط مناسب برای باروری است	+
۱۱ فوریه ۳ سورتی	$r_e > 12 - 24, H = 680, T = 226 - 276$ $CF \approx 1, \tau > 36$ در مناطق شمالی استان	مجموعه فراسنجه‌ها نشان دهنده شرایط مناسب برای باروری است	+
۱۵ فوریه ۱ سورتی	$r_e > 19 - 26, H = 300, T < 250$ $CF < 1, \tau = 5 - 35$	مجموعه فراسنجه‌ها نشان دهنده شرایط کاملاً نامناسب برای باروری است.	-
۲۰ فوریه ۱ سورتی	$r_e > 19 - 26, H = 300, T < 250$ $\tau = 36 - 60$ در شمال استان، $CF < 1, \tau < 20$ برای دیگر مناطق استان	در کل شرایط برای باروری ابر در استان نامناسب است اما تحت شرایطی در استانهای شمال فارس امکان باروری ابر بوده است.	-
۲۱ فوریه ۲ سورتی	$r_e = 20 - 30, H < 350, T < 250$ $CF \approx 1, \tau < 24$	مجموعه فراسنجه‌ها نشان دهنده شرایط کاملاً نامناسب برای باروری است	-
۲۴ فوریه ۱ سورتی	$r_e > 26, H < 500, T < 237$ $CF < 1, \tau < 20$	مجموعه فراسنجه‌ها نشان دهنده شرایط کاملاً نامناسب برای باروری است	-
۲۷ فوریه ۱ سورتی	$r_e = 15 - 26, H = 300, T < 252$ $\tau = 36 - 60$ در شمال استان، $CF < 1, \tau < 20$ برای دیگر مناطق استان	مجموعه فراسنجه‌ها نشان دهنده شرایط کاملاً نامناسب برای باروری است	-
۲۸ فوریه ۳ سورتی	$r_e > 19, H = 700 - 500, T = 252$ $CF \approx 1, \tau = 24 - 60$ برای ابرهای متوسط بارانزا، (برای ابرهای بالا $T < 228, H < 300$ )	مجموعه فراسنجه‌ها نشان دهنده شرایط مناسب برای باروری است	+

روز مفید و بارانی کاهش یافته و در نتیجه از اجرای ۶ پرواز باروری ابر کاملاً بی‌اثر، اجتناب نمود. بنابراین علاوه بر کاهش هزینه‌ها، امکان افزایش دقت اجرای پروژه و استفاده از فرصتهای باروری در دیگر مناطق مستعد بارورسازی ابر در کشور فراهم می‌گردید. نتایج بدست آمده در این پژوهش به

در این تحقیق مشخص گردید چنانچه در زمان اجرای پروژه باروری ابرهای استان فارس در فوریه ۲۰۰۹ از محصولات مدیس ۰۶ استفاده شده بود، می‌توانست تعداد روزهای عملیات باروری ابر از مجموع ۸ روز ابری (در شرایط نامشخص وجود معیارهای مناسب برای باروری ابرها)، به ۳

- and global aerosol models". *Atmospheric Chemistry and Physics journal*. 7, 3081–3101. 2007.
10. Daniel Rosenfeld, M. Pinsky, A. Khain, A. Pokrovsky., 1996, "Comparison of collision velocity differences of drops and graupel particles in a very turbulent cloud". *Atmospheric Research* 49. 99–113.
  11. E. Cattani<sup>1</sup>, M. J. Costa, V. Levizzani<sup>1</sup> and Ana Maria Silva, 2003, "satellite observation and radiative modeling of the influence of aerosol particles from biomass burning on cloud microphysical properties". *Atmospheric Research* 82 310-327.
  12. Han, Q., W. B. Rossow, and A. A. Lacis, 1994, "Near-global survey of effective droplet radii in liquid water clouds using ISCCP data", *J. Climate*, 7, 465-497.
  13. John T. Turk, David W. Clow\*, George P. Ingersoll, M. Alisa Mast, Donald H. Campbell, 2000, "Comparison of snowpack and winter wet-deposition chemistry in the Rocky Mountains, USA: implications for winter dry deposition". *Atmospheric Environment* 36 (2002) 2337–2348.
  14. Kentaroh Suzuki and Teruyuki Nakajima, Takashi Y. Nakajima, Hirohiko Masunaga and Toshihisa Matsui, Alexander P. Khain, 1995, "CHARACTERISTICS OF WATER CLOUD OPTICAL PROPERTY AS SIMULATED BY A NON-HYDROSTATIC SPECTRAL MICROPHYSICS CLOUD MODEL",
  15. Kokhanovsky A. A., T. Nauss, J. Bendix, 2005, "A novel technique for the detection of rain using visible and near-infrared satellite imagery", *Journal of Geophysical Research* Volume 110, Issue D19.
  16. 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.
  17. Kawamoto, K., T. Nakajima, and T. Y. Nakajima, 2001, "A global determination of cloud microphysics with AVHRR remote sensing", *J. Climate*, 14, 2054-2068.
  18. Kokhanovsky A. A. and T. Nauss, 2006, "Reflection and transmission of solar light by clouds: asymptotic theory", *Atmos. Chem. Phys.*, 6, 5537–5545.
  19. Maria João Costa, Elsa Cattani, Vincenzo Levizzani and Ana Maria Silva, 2004, "CLOUD PROPERTIES DERIVED FROM SEVIRI AND
- خوبی نشان‌دهنده امکان کاربردی نمودن نتایج تحقیقات دانشگاهی برای بخشهای اجرایی کشور و صنعت و برآوردن بخشی از نیازهای دستگاه‌های مجری طرح‌های عمرانی است.
- ### منابع
1. Ba, Mamoudou B., Arnold Gruber, 2001, "GOES Multispectral Rainfall Algorithm (GMSRA)." *J. Appl. Meteor.*, 40, 1500–1514.
  2. Boris Thies, Meike Kühnlein, Thomas Nauß, and Jörg Bendix, 2010, "Rainfall-Rate Assignment Using MSG SEVIRI Data—A Promising Approach to Spaceborne Rainfall-Rate Retrieval for Midlatitudes", *Journal of applied meteorology and climatology.*, 49, 1477–1495.
  3. C. Kidd and V. Levizzani., 2003, "Status of satellite precipitation retrievals". *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 15, 1109–1116.
  4. Daniel Rosenfeld, Duncan Axisa, William L., Woodley, Ronen L., 2009, "A Quest for Effective Hygroscopic Cloud Seeding", *Journal of applied meteorology and climatology.* 49, 1548–1562.
  5. Daniel Rosenfeld, Khain A., Pokrovsky A., Blahak U., Ryzhkov A., 2010, "The role of CCN in precipitation and hail in a mid-latitude storm as seen in simulations using a spectral (bin) microphysics model in a 2D dynamic frame.", *Atmospheric Research.* 99, 129–146.
  6. Daniel Rosenfeld, Assaf Zipori, Jacob Shpund, David M. Steinberg, Yigal Erel, 2003, "Targeting and impacts of AgI cloud seeding based on rain chemical composition and cloud top phase characterization." *Atmospheric Research* 114-115, 119–130.
  7. Daniel Rosenfeld, Hailong Wang, and Philip J. Rasch, 2012, "The roles of cloud drop effective radius and LWP in determining rain properties in marine stratocumulus". *Geophysical research letter*, VOL. 39.
  8. Daniel Rosenfeld, et. al., 2003. "An Innovative Satellite Mission Concept to Measure the Effects of Aerosols on Clouds and Climate". *Geophysical Research* Vol. 14.
  9. Daniel Rosenfeld, et. al., 2000. "Aerosol-cloud interaction inferred from MODIS satellite data MODIS: A COMPARISON STUDY". *Atmospheric Sciences and Climate*, 15.
  20. Michael D. King, et. al., 2003. "Cloud and Aerosol Properties, Perceptible Water, and Profiles of Temperature and Water Vapor from MODIS". *IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING*, VOL. 41, NO. 2.

21. Nauß, T; Bendix, J: An operational MODIS processing scheme for PC dedicated to direct broadcasting applications in meteorology and earth sciences, *Computers & Geosciences*, 31, 804-808.
22. Seemann, S.W., J. Li, W.P. Menzel, and L.E. Gumley, 2003: Operational retrieval of atmospheric temperature, moisture, and ozone from MODIS infrared radiances. *J. Appl. Meteor.*, 42, 1072-1091.
23. Steven Platnick et. al., 2003," The MODIS Cloud Products: Algorithms and Examples from Terra", *Remote Sens.*, 41, 459-473.
24. Teruyuki Nakajima and Michael D. King, 1990," Determination of the Optical Thickness and Effective Particle Radius of Clouds from Reflected Solar Radiation Measurements.". *journal of the atmospheric sciences*, Vol. 47, No. 15.
25. Vincenzo Levizzani, and Alberto Mugnai. 2004, "RAINFALL MEASUREMENTS FROM SPACE: WHERE ARE WE?", *Atmospheric Sciences and Climate*, Vol. 15.
26. Majid Rahimzadegan M. Reza Mobasheri.1390"A simple method to derive profiles of atmospheric moisture MODIS images ". The 5th Geomatics conference Tehran, Iran.
27. M. Reza Mobasheri et al.1385," Detection of fog and cloud cover short st, using satellite imagery MSG -1". *Journal of Technical Faculty of Tehran University*, Vol. 1107-1119, No. 40.