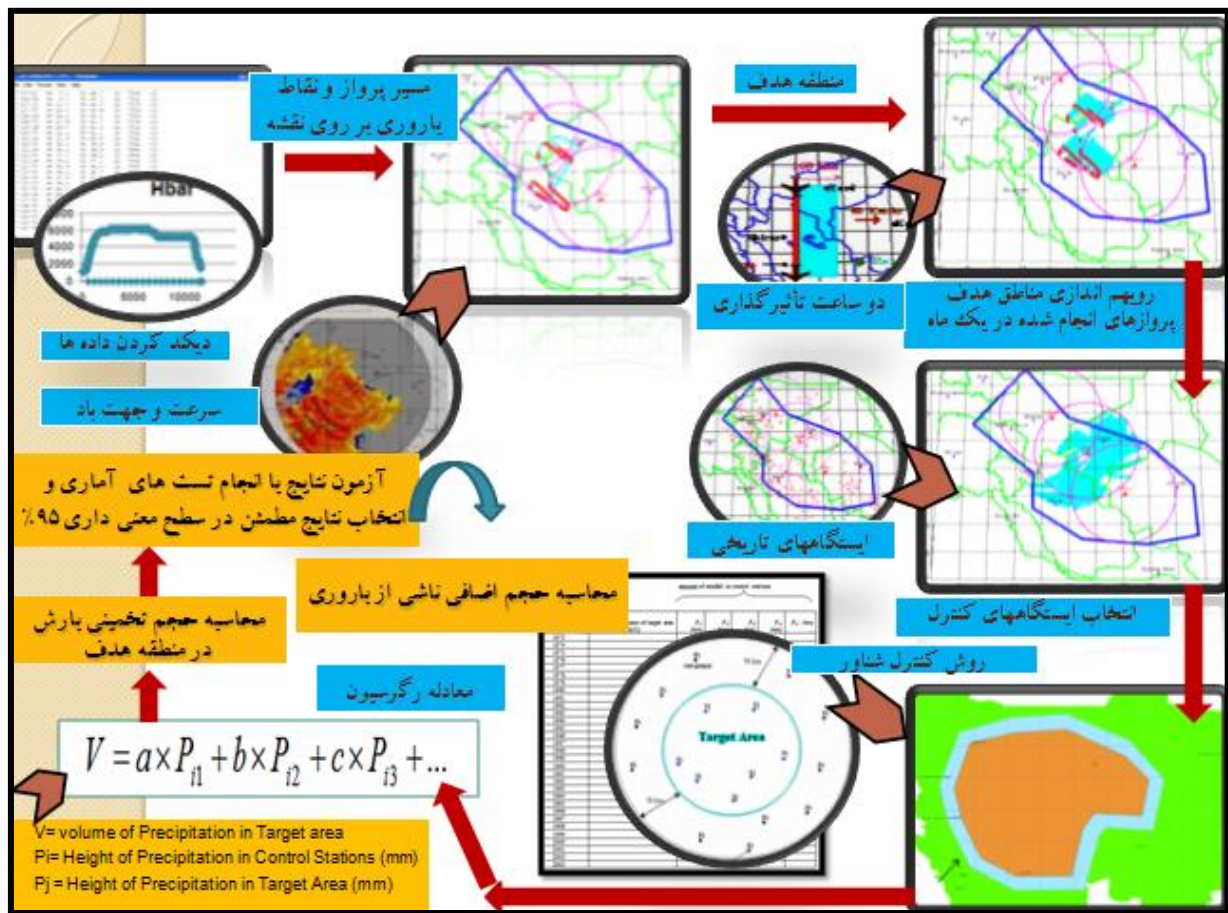


وزارت نیرو

موسسه تحقیقات آب

مرکز ملی تحقیقات و مطالعات باروری ابرها

ارزیابی پروژه‌های باروری ابرها با روش‌های آماری و مدل‌های عددی

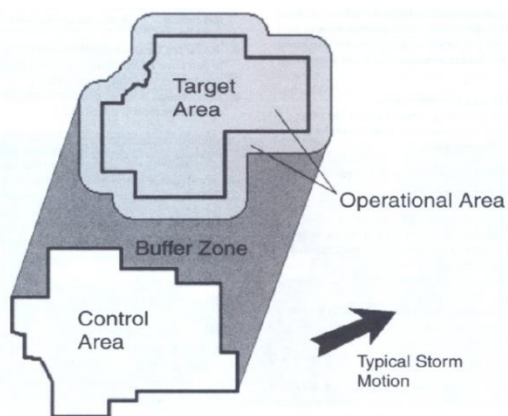


به طور کلی روشهای مختلفی جهت ارزیابی برنامه های باروری ابرها وجود دارد که مهمترین آنها روش آماری، روش فیزیکی و استفاده از مدل های عددی می باشد. روش آماری با توجه به اعتبار علمی و نیز قابلیت آن در محاسبه حجم بارش استحصالی در ایران تنها روشی است که با اعمال برخی تغییرات با توجه به شرایط اجرا، تاکنون در تمام پروژه های باروری ابرها در ایران به کار گرفته شده است. تاکنون به دلیل محدودیت های تجهیزاتی از روش ارزیابی فیزیکی جهت ارزیابی پروژه های باروری ابرها در ایران استفاده نشده است. از مدل های عددی برای اولین بار به صورت آزمایشی جهت ارزیابی پروژه باروری ابرها در سال آبی ۹۴-۹۳ بهره گیری شده است. در این گزارش ابتدا کلیاتی از هر کدام از روشهای فوق بیان گردیده و سپس وضعیت انجام آنها در ایران بیان می گردد.

۱- روش آماری

از میان روشهای آماری دیرینه ترین و معتبرترین روش جهت ارزیابی پروژه های باروری ابرها روش رگرسیون تاریخی هدف-کنترل می باشد (BR,2006). در پروژه های عملیاتی تمام ابرها یا طوفان هایی که معیارهای بارورسازی را دارند مورد باروری قرار می گیرد. لذا تنها راه ممکن برای ارزیابی، مقایسه بارندگی ثبت شده در منطقه هدف نسبت به منطقه مجاور و مشابه از نظر اقلیمی با منطقه هدف می باشد. این روش آماری به روش معتبر رگرسیون تاریخی هدف-کنترل معروف است. در این روش، آمار طولانی مدت (۲۰ ساله یا بیشتر) متغیری که تحت تأثیر باروری قرار می گیرد به ویژه باران یا برف در ایستگاه های واقع در مناطق هدف و کنترل ثبت و جمع آوری و داده های مربوط به دوره های بارور شده حذف می شود. چراکه باروری گذشته، برآزش رابطه رگرسیون بین دو منطقه را تحت تأثیر قرار می دهد. با تحلیل ریاضی دو مجموعه داده تاریخی بارش در مناطق هدف و کنترل، یک معادله رگرسیون تعیین می شود که می تواند مقدار بارش منطقه هدف را براساس بارش مشاهده ای در منطقه کنترل پیش بینی نماید. سپس بارش پیش بینی شده منطقه هدف و آنچه که واقعاً رخ داده است مورد مقایسه قرار گرفته و تفاوت حاصل، از نظر معنی داری با تست های آماری مورد آزمون قرار می گیرد. روش هدف-کنترل، زمانی خوب عمل می کند که بتوان همبستگی خوبی بین بارش منطقه هدف و کنترل پیدا کرد. درجه همبستگی، توانایی این روش جهت تمایز بین افزایش بارش حاصل از باروری از تغییرات طبیعی بارش را تعیین می کند (یعنی سیگنال به نوفه). برای ارزیابی بارش و برف، همبستگی های ۰/۹ یا بالاتر عالی، همبستگی های حدود ۰/۸۵ خیلی خوب و همبستگی های کمتر از حدود ۰/۸ هنوز قابل قبول می باشد اما در این صورت بایستی دوره طولانی تری برای آشکارسازی نتایج باروری با معنی داری آماری در نظر گرفته شود. لازم به ذکر است موفقیت ارزیابی به روش هدف-کنترل بستگی زیادی به انتخاب عاقلانه مناطق کنترل دارد. عموماً انتخاب مناطق کنترل نزدیک به منطقه هدف باعث ماکزیم شدن ضریب همبستگی می شود. بنابراین بایستی منطقه کنترل را ضمن اطمینان از عدم آلودگی آن به مواد باروری، تا حد امکان نزدیک به منطقه هدف در نظر گرفت. ریسک آلودگی فیزیکی منطقه کنترل به مواد باروری را می توان با انتخاب منطقه کنترل در بالادست

یا عمود بر جهت باد در جوانب منطقه هدف کاهش داد. علاوه بر این انتخاب مناطق کنترل مشابه با منطقه هدف از نظر شرایط ارتفاعی و در معرض قرارگیری بادهای چیره نیز مهم می باشد. اگر انتخاب منطقه کنترل از نظر معیارهای فوق ضعیف در نظر گرفته شود ضرایب همبستگی بسیار پایین و تحلیل غیرحساس خواهد بود. نکته مهم این که همبستگی بین مناطق هدف و کنترل معمولاً در فواصل زمانی نمونه گیری کوتاه تر، ضعیف تر است. به عبارت دیگر همبستگی طوفان به طوفان ضعیف تر از همبستگی ماه به ماه و این نیز ضعیف تر از فصل عملیاتی چندین ماهه یا طولانی تر می باشد (BR,2006; ASCE,2006; Dennis,1980; Griffith & Tomptson,1991) شکل شماره ۱ طرح مناسب انتخاب منطقه هدف و کنترل را نشان می دهد.



شکل ۱: نحوه تعیین منطقه هدف و کنترل در روش معروف

هدف-کنترل (ASCE, 2004)

در مورد محدودیت های این روش باید گفت این روش نیز همانند دیگر روش های ارزیابی محدودیت های خاص خود را دارد. در کاربرد روش رگرسیون تاریخی، فرض می شود رابطه بین بارش طبیعی در مناطق هدف و کنترل پایدار بوده و لذا تفاوت شرایط اقلیمی جزئی است. علاوه بر آن از مهم ترین محدودیت های آن عامل تغییر اقلیم می باشد که ممکن است باعث شود تغییر در رابطه بین مناطق مجاور کمتر از تغییرات در اقلیم کلی بارش باشد و دیگری اینکه یک یا چند منطقه ممکن است تحت تأثیر یک اتفاق افراطی قرار گیرند که مناطق دیگر تحت تأثیر آن نباشند. این موارد می تواند منجر به نتیجه گیری مثبت یا منفی غلط در مورد اثرات باروری شود. داوری در خصوص نتایج برنامه، معمولاً در یک ماه یا یک فصل پریسک انجام می شود که تغییرپذیری طبیعی قابل ملاحظه بوده و ممکن است یک یا دو رویداد بزرگ در مناطق هدف و یا کنترل شدیداً بر روی اثربخشی برنامه تأثیر گذارد. به عبارت دیگر اگر یک رویداد بزرگ بارشی فقط در منطقه کنترل رخ دهد می تواند به طور اشتباه منجر به استنتاج تأثیر منفی برنامه شده و برعکس یک رویداد بزرگ فقط در منطقه هدف می تواند به طور غلط منجر به استنتاج اثر مبالغه آمیز مثبت برنامه شود که هر دو این نتیجه گیری های ظاهری، نادرست می باشند (ASCE,2006).

۲- روش فیزیکی

روش‌های مربوط به این دسته عبارتند از اندازه‌گیری‌های میدانی در محل و یا از راه دور کمیت‌های جو و ابر و ردیابی دود باروری و بررسی اثرات آن‌ها روی بارش (BR,2006). سازمان‌های علمی از قبیل سازمان جهانی هواشناسی، انجمن هواشناسان آمریکا و مرکز تحقیقات علمی بر مهم بودن اندازه‌گیری‌های فیزیکی برای ارزیابی توافق دارند چرا که کنترل و تعیین کمی و کیفی زنجیره رویدادهای فیزیکی در یک باروری موفق الزامی است. مثالی از اندازه‌گیری کمیت‌های ابر، محتوای آب ابر سرد می‌باشد که یا از راه دور توسط رادیومتر میکروموج و یا به صورت در محل از جو اندازه‌گیری می‌شود.

موضوع دیگری که در این بخش بسیار مهم است انتقال و نهشت مواد باروری است که بزرگ‌ترین مانع در تأثیرگذاری مواد باروری محسوب می‌شود. برای اینکه افزایش مورد انتظار بارش رخ دهد بایستی پس از تزریق غلظت کافی مواد باروری، زنجیره‌ای از رویدادهای فیزیکی وابسته و پیچیده پشت سرهم در مکان‌های مناسب روی دهد که تشخیص آن تنها از طریق مشاهده مستقیم و یا مدل‌سازی امکان‌پذیر است. در مطالعات و تحقیقات انجام شده در ایالت‌های مختلف آمریکا از جمله یوتا (Heimbach et al. 1997)، نوادا (Huggins et al. 2005b)، کلرادو (Busto et al. 2005) و وایومینگ (Jensen et al. 2005)، از مدل‌های عددی سه بعدی ابر در شبیه‌سازی انتقال و نهشت مواد و نیز تحقیقات خرد فیزیک ابر مربوط به اثرات باروری استفاده شده است. این مدل‌ها بیشتر برای پیش‌بینی انتقال و نهشت دود باروری برای تعیین بهترین مکان استقرار ژنراتورهای زمینی و نیز تعیین تأثیر باروری استفاده شده است. مشاهده مستقیم که با اندازه‌گیری‌های فیزیکی مقدور است به طور متعدد در برنامه‌های تعدیل آب و هوا به کار گرفته شده است که یکی از آن‌ها، اندازه‌گیری مواد ردیاب یا مسیریابی هسته یخی با یک شمارنده هسته یخ و یا اندازه‌گیری نقره موجود در مواد باروری می‌باشد (BR,2006).

یکی دیگر از فعالیت‌هایی که در ارزیابی فیزیکی صورت می‌گیرد اندازه‌گیری دود دیدنقره و اثرات آن‌ها روی بارش می‌باشد که علاوه بر اندازه‌گیری‌های فیزیکی، با کمک ردیاب‌ها نیز انجام می‌شود و در برخی موارد توسط رادارهای هواشناسی نیز قابل مشاهده می‌باشد (Martner et al., 1992; Reinking et al., 1999). اما معمولاً برای اندازه‌گیری دود دیدنقره از دو روش نمونه‌گیری هواپیما و آنالیز شیمیایی ردیاب‌ها درون برف استفاده می‌شود. مهم‌ترین تحقیقات در زمینه ردیاب‌ها توسط واربرتون و همکاران (۱۹۹۵ و ۱۹۹۶)، مسگورتی (۱۹۹۹) و چای (۱۹۹۳) صورت گرفته است. چرا که تحقیقات فیزیکی در مورد هدف‌گیری مواد باروری نقش چشمگیری در استمرار برنامه‌های باروری ابرها دارد. حاصل این تحقیقات، اصلاح هدف‌گیری نامناسب مواد باروری و بهبود اثربخشی برنامه می‌باشد. در صورت عدم وجود محدودیت‌های مالی و گنجاندن این تحقیقات در طرح برنامه، می‌توان هدف‌گیری مواد باروری را از طریق رها کردن مسیریاب‌های مختلف از قبیل هگزافلورید سولفور یا اکسید ایندیم یا سزیم و رابیدیم همراه با مواد باروری یا از طریق مسیریابی هسته‌های یخی با یک شمارنده هسته یخ مورد تحقیق قرار داد. مواد شیمیایی ردیاب هم‌زمان با مواد باروری زمینی یا هوایی رها شده و مقدار آن در پایین دست منطقه هدف آشکار سازی می‌شود. تحقیقات کاربردی ردیاب‌ها در ایالت‌های کالیفرنیا (Stone & Marler, 1993; Chai et al., 1993)، داکوتای شمالی (Boe et al., 1992) و یوتا (Super & Huggins, 1992) انجام شده است. میزان نقره موجود در دیدنقره مصرفی نیز به عنوان ردیاب

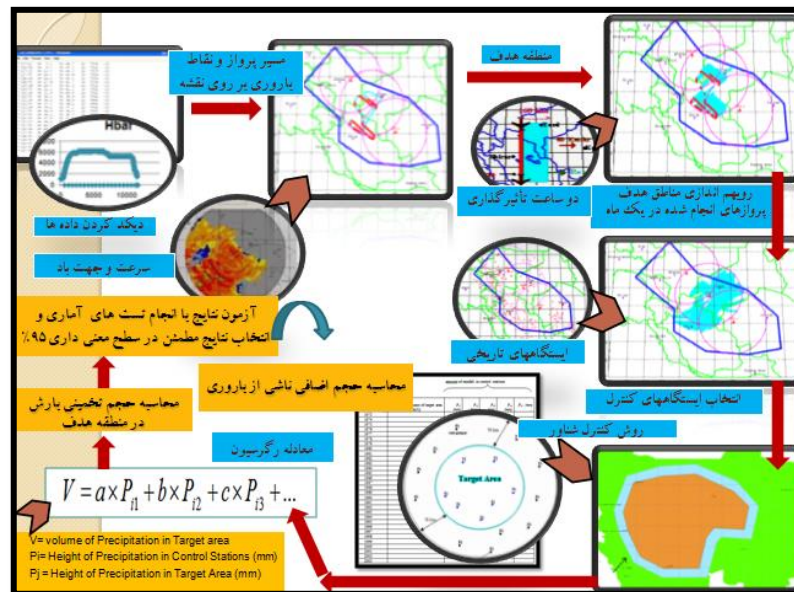
مورد استفاده قرار می‌گیرد. این نقره یا توسط بارش طبیعی از ابر شسته می‌شود و یا پس از هسته‌سازی، درون برف یا باران نهشت می‌کند. بنابراین با مقایسه مواد شیمیایی دیگری که خواص هسته‌سازی یخ را نداشته اما توسط بارش شسته می‌شوند می‌توان مدارک محکمی مبنی بر اینکه دود باروری باعث تولید بارش اضافی در منطقه هدف (Warburton et al. 1995a) شده است یا نه را به دست آورد. در صورتی که نقره اندازه‌گیری شده در برف بیشتر از مقدار زمینه آن نباشد نشان‌دهنده این است که باروری یدینقره با این روش تأثیر متقابلی بر ابرها و بارش در منطقه هدف نداشته است. البته با اندازه‌گیری‌های فیزیکی دیگر از جمله اندازه و شکل ذرات در سنجنده‌های الکترونیکی نیز می‌توان ذرات یخ طبیعی را از بارور شده تفکیک نمود. علاوه بر این برای یافتن تفاوت، می‌توان چگالی لایه‌های مختلف برف را بر اساس دوره‌های بارور شده و بارور نشده با هم مقایسه نمود. برای نمونه در پروژه تحقیقاتی ادیسون در جنوب کالیفرنیا در سال ۱۹۹۴ (McGurty 1999)، بر اساس افزایش چگالی لایه‌های برف بارور شده تخمین زده شد باروری باعث حداقل ۸ درصد افزایش در آب برف شده است (ASCE, 2006). در ارزیابی فیزیکی می‌توان از سنجنده‌های ماهواره‌ای پیشرفته و روش کنترل هیدرومتئورهای ابر نیز بهره جست. مزیت ماهواره‌ها در مقایسه با تجهیزات دیگر این است که مناطق نمونه‌گیری وسیع تری را تحت پوشش قرار داده و قادرند محتوای آب ابر سرد ابر را در موارد ویژه اندازه‌گیری نمایند. یکی دیگر از روش‌های ارزیابی فیزیکی استفاده از رادارها برای ردیابی دوده‌های باروری می‌باشد (Martner et al., 1992; Reinking et al., 1999).

۳- روش مدل‌سازی عددی

این روش که در دهه گذشته بسیار رایج شده است، به دلیل افزایش قدرت محاسبه جذابیت زیادی یافته است. پروژه‌های نمونه که در آن بیشتر از مدل‌سازی استفاده شده عبارتند از آزمایشات کلرادو و نوادا در "برنامه تعدیل خسارت آب و هوا" و پروژه پایلوت وایومینگ. در این پروژه‌ها از مدل‌های آب‌شناسی جهت تخمین رواناب حاصل از افزایش برف فرضی ناشی از باروری و از ترکیب مدل‌های پیچیده سه‌بعدی ابر با مدل‌های پخش، به منظور پیش‌بینی پخش دوده‌های باروری در رشته‌کوه‌ها جهت بررسی هدف‌گیری و مکان ژنراتورها و نیز تعیین اثرات باروری استفاده شده است. بر اساس گزارش مرکز تحقیقات ملی آمریکا، گرچه مدل‌سازی، پیشرفت‌های قابل توجهی در نظریه‌ها، شبیه‌سازی‌های فیزیکی، سرعت، پیچیدگی و دقت یافته است، اما تاکنون دقت بالایی در تفکیک بارش ابر بارور شده از ابر بارور نشده نداشته است. به عبارت دیگر علی‌رغم پیشرفت‌های قابل ملاحظه در مدل‌سازی، اکثر محققان بر این توافق دارند که مدل‌ها قابلیت کافی برای شبیه‌سازی دقیق همه فرایندهای وابسته به ابر را نداشته و لذا نایستی به عنوان تنها ابزار مورد استفاده در این امر به کار گرفته شوند. از مدل‌های هواشناسی MM5 و WRF می‌توان جهت پیش‌بینی مکانی انتقال و نهشت مواد باروری استفاده نمود (BR, 2006).

کاربرد روش آماری در ایران

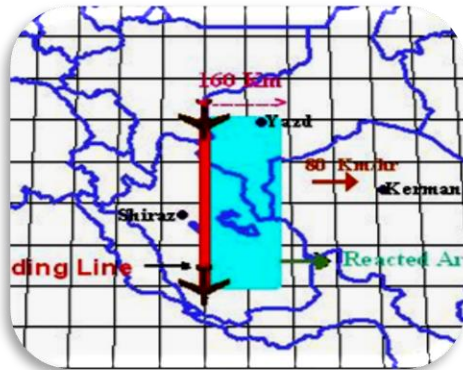
به طور کلی فرایند ارزیابی این پروژه‌ها که به صورت ماهیانه صورت می‌گیرد پس از کسب اطلاعات پروازهای عملیاتی آغاز می‌شود. شکل ۲ روند ارزیابی در ایران را به صورت تصویری نشان می‌دهد. به دلیل استفاده بیشتر از منابع آب جوی و لزوم استفاده از تمام فرصت‌های باروری، مناطق عملیاتی پروژه‌های باروری ابرها در ایران بسیار وسیع است. از طرف دیگر تنوع اقلیمی در ایران زیاد بوده و لذا امکان انتخاب منطقه کنترل مطابق با معیارهای مناسب تعریف شده وجود ندارد. لذا از روش کنترل شناور که توسط مؤسسه آب و هواشناسی روسیه معرفی شده است، جهت ارزیابی این پروژه‌ها استفاده می‌گردد.



شکل ۲: مراحل ارزیابی پروژه‌های باروری ابرها در ایران

در روش کنترل شناور، منطقه هدف برای هر عملیات باروری متفاوت بوده و بنا به تعریف، منطقه‌ای است که به مدت دو ساعت پس از تزریق مواد در راستای جهت باد و با توجه به سرعت باد تحت تأثیر مواد باروری قرار می‌گیرد (شکل ۳). با روی هم اندازی مناطق هدف کلیه پروازهای عملیاتی انجام شده در یک ماه، منطقه هدف ماهیانه تعیین می‌شود (شکل ۴). از طرف دیگر در این روش، ایستگاه‌هایی که ترجیحاً به فاصله ۵۰ تا ۷۰ کیلومتری از مرز منطقه هدف ماهیانه و در بالادست آن قرار داشته و در ناحیه هم‌اقلیم بارشی با منطقه هدف می‌باشند به عنوان ایستگاه‌های کنترل در نظر گرفته می‌شوند (شکل ۵). پس از برقراری رابطه رگرسیون با استفاده از آمار بارندگی تاریخی (جدول ۱) بین حجم بارش منطقه هدف و ارتفاع بارش ایستگاه‌های کنترل که همبستگی زیادی با منطقه هدف دارند بارش قابل انتظار در منطقه هدف که در صورت عدم انجام باروری انتظار می‌رود در این منطقه رخ دهد محاسبه می‌گردد (معادله ۱). اختلاف بارش مشاهده‌ای و بارش تخمینی حاصل از مدل رگرسیون تاریخی، به باروری ابرها منسوب شده و نتایج به دست آمده مورد آزمون‌های آماری قرار گرفته و نتایج نهایی در سطح معنی داری ۹۵ درصد به عنوان افزایش بارش ناشی از باروری ابرها اعلام می‌گردد. البته در راستای ارتقاء کیفی ارزیابی، افزایش بارش روی داده در

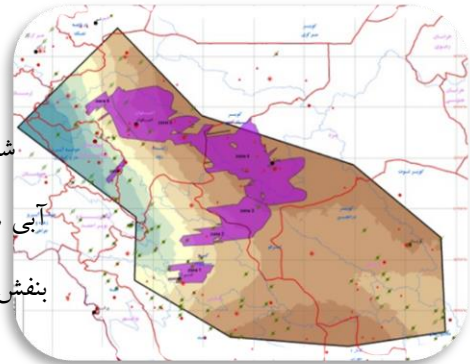
هریک از ایستگاه‌های واقع در منطقه تحت تأثیر مواد باروری با برقراری رابطه رگرسیون بین ارتفاع بارش ایستگاه‌های هدف و کنترل محاسبه می‌شود.



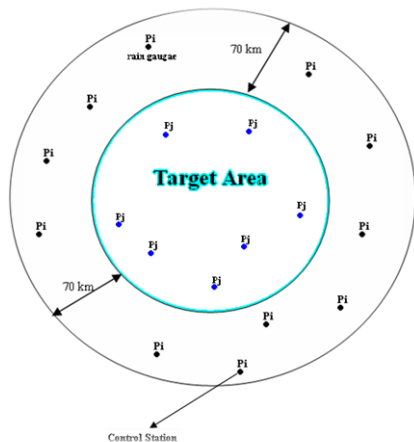
شکل ۳: طرحواره منطقه هدف یک عملیات پروازی، خط قرمز رنگ مسیر تزریق مواد باروری و منطقه آبی رنگ منطقه تحت تأثیر مواد باروری در دو ساعت پس از تزریق در جهت باد می‌باشد.

شکل ۴: منطقه هدف یا منطقه تحت تأثیر مواد باروری در ماه آوریل در سال

۸۸-۸۹ آبی. چندضلعی نامنظم، منطقه عملیاتی در مناطق مرکزی ایران و محدوده بنفش رنگ، منطقه هدف می‌باشد. نقاط واقع بر روی نقشه ایستگاه‌های دارای سابقه



تاریخی می‌باشند.



شکل ۵: موقعیت منطقه و ایستگاه‌های هدف و ایستگاه‌های کنترل در محدوده ۵۰ تا ۷۰ کیلومتری از مرز منطقه هدف، P_i ایستگاه‌های کنترل که در معادلات رگرسیون وارد می‌شود، دایره با مرز آبی رنگ منطقه هدف ماهیانه و P_j ایستگاه‌های واقع در منطقه هدف که در محاسبه حجم بارش منطقه هدف مورداستفاده قرار می‌گیرد.

جدول ۱: داده‌های تاریخی حجم بارش منطقه هدف و ارتفاع بارش ایستگاه‌های کنترل

Year (For example in January)	V (rainfall volume of target area (m ³))	amount of rainfall in control stations				
		P_{11} (mm)	P_{12} (mm)	P_{13} (mm)	P_{14} (mm)	P_{15} (mm) ...
1973						
1974						
1975						
1976						
1977						
1978						
1979						
1980						
1981						
1982						
...						

معادله (۱)

$$V = a \times P_{i1} + b \times P_{i2} + c \times P_{i3} + \dots$$

معادله (۱) معادله رگرسیون بین حجم بارش منطقه هدف و ارتفاع بارش ایستگاه‌های کنترل می‌باشد که در آن:

V = حجم بارش منطقه هدف (متر مکعب)

P_i = ارتفاع بارش در ایستگاه‌های کنترل بر حسب میلی‌متر

P_j = حجم بارش در منطقه هدف بر حسب مترمکعب

کاربرد مدل‌های عددی در ایران

در ایران برای اولین بار در دنیا از طراحی یک سامانه همادی (خوشه ای) (Ensemble) پیش بینی عددی وضع هوا با استفاده از مدل میان مقیاس پیش بینی WRF جهت ارزیابی پروژه های باروری ابرها استفاده شده است. از دیدگاه تاریخی پیش‌بینی همادی ابتدا به مدل های جهانی اعمال شد و پس از آن در مدل‌های میان مقیاسی همچون WRF به کار گرفته شد. به دلایل وجود عدم قطعیت موجود در مدل جهانی و عدم قطعیت ناشی از شرایط مرزی جانبی، اعمال همادی به مدل‌های میان مقیاس پیچیده تر از همادی به مدل‌های جهانی است. در مجموع بسته به نوع روش عملیاتی برای تولید شرایط اولیه در مدل برای پیش بینی های کوتاه و میان مدت سه نوع سامانه همادی به شرح ذیل ابداع شده اند.

- سامانه همادی در NCEP توسط کشور آمریکا

- سامانه همادی در ECMWF توسط کشور اروپا

- سامانه همادی در MSC توسط کشور کانادا

در سامانه‌های همادی آمریکا و اروپا فرض می‌شود مدل پیش‌بینی کامل بوده یعنی نقص‌های موجود در مدل پیش‌بینی به عنوان بخشی از عوامل ایجاد خطا در نظر گرفته نمی‌شوند اما در سامانه‌های همادی کانادا، تلاش می‌شود برای ایجاد پیش‌بینی همادی خطاهای موجود در مدل هم در نظر گرفته شود.

مدل میان مقیاس پیش بینی عددی (WRF) سامانه مدل سازی پیشرفته وضع هوا است که در طی چند سال گذشته در حال توسعه بوده است. مدل مذکور یک مدل انعطاف پذیر است که می‌تواند در مکان‌های مختلف و با حالت‌های پردازش سری و موازی به اجرا درآید. می‌توان از مدل مذکور برای اهداف مختلفی استفاده نمود، این قابلیت به دلیل امکان انجام شبیه سازی این مدل برای مقیاس‌های مکانی از چندین متر تا هزاران کیلو متر با کاربردهای فراوان می‌باشد.

منبع اصلی ایجاد عدم قطعیت در پیش‌بینی توسط مدل‌های عددی عبارتند از:

۱- شرایط اولیه

۲- نحوه حل عددی معادلات حاکم بر جو

برای حذف عدم قطعیت‌های فوق به منظور انجام ارزیابی پروژه‌های باروری ابرها از پیش‌بینی همادی که در برگرفته چندین اجرای مدل (معمولاً بین ۵ تا ۱۰۰) می‌باشد استفاده می‌شود. بطور خلاصه اهداف اصلی پیش‌بینی به روش همادی را می‌توان بهبود پیش‌بینی‌های منفرد با استفاده از متوسط‌گیری به صورت گروهی و فراهم آوردن میزانی از درجه اعتماد نسبت به پیش‌بینی‌ها ذکر کرد. پیش‌بینی همادی می‌تواند پیش‌بینی قطعی را به صورت پیش‌بینی احتمالی بیان کند که اعتبار و ارزش بالایی داشته و انعطاف‌پذیری بیشتری نسبت به پیش‌بینی قطعی دارد. براساس معادله زیر، کاربران با توجه به پیش‌بینی‌های احتمالی حاصل از اجرای سامانه تصمیم به اقدامات حفاظتی می‌گیرند. بنابراین پیش‌بینی احتمالی نسبت به پیش‌بینی قطعی از نظر اقتصادی به صرفه‌تر است.

ضرر عدم اقدام حفاظتی / هزینه اقدام حفاظتی = c/I

پیش‌بینی احتمالی انجام شده را می‌توان با انجام میانگین‌گیری ساده و یا وزنی به پیش‌بینی قطعی تبدیل نمود.

گرچه سامانه همادی محدودیت‌های مدل WRF شامل انحراف نتایج، عدم ارائه مناسب خطاهای پیش‌بینی و تفاوت

مقیاس‌های مکانی مدل و مشاهدات را ندارد. اما خود دارای عدم قطعیت‌هایی است که به شرح زیر است:

۱- عدم قطعیت مرتبط با شرایط اولیه

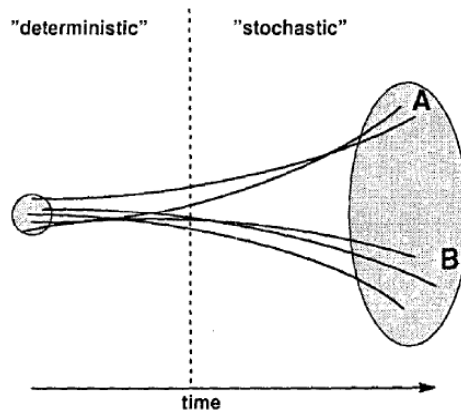
۲- عدم قطعیت مرتبط با شرایط مرزی

۳- عدم قطعیت مرتبط با مدل مربوط به بخش‌های عددی و بخش‌های مرتبط با پارامتره سازی فیزیکی

دو مورد عدم قطعیت در شرایط اولیه و شرایط مرزی با اضافه کردن پیش‌بینی به شرایط اولیه و مرزی و همچنین به کارگیری

دو نوع شرایط اولیه مورد پوشش قرار می‌گیرند. چرا که در مدل‌های شبیه‌سازی سیستم جو، تغییر اندک در داده‌های ورودی

می‌تواند تفاوت‌های بزرگی در خروجی ایجاد نماید که به CHAOS معروف است (شکل ۶).



شکل ۶: تغییر اندک در داده‌های ورودی می‌تواند تفاوت‌های بزرگی در خروجی ایجاد نماید. دایره سمت چپ عدم قطعیت در شرایط اولیه و بیضی سمت راست عدم قطعیت نتایج پیش‌بینی را نشان می‌دهد.

عدم قطعیت‌های ناشی از مدل‌های عددی میان‌مقیاس پیش‌بینی عددی وضع هوا را نیز با به‌کارگیری طرح‌واره‌های متفاوت برای انجام پارامترسازی‌های فیزیکی در مدل‌های میان‌مقیاس و از جمله مدل WRF برطرف می‌سازند. لذا یک سامانه همادی را می‌توان متشکل از اعضاء اصلی زیر دانست:

۱- پیش‌بینی‌های کنترلی که از بهترین تخمین شرایط اولیه یعنی شرایط مشاهده شده بدون اضافه کردن پریشیدگی شروع می‌شوند.

۲- پیش‌بینی همادی که از شرایط اولیه کنترلی به اضافه و منهای مقادیر پریشیده شده شروع می‌شوند.

۳- متوسط‌گیری گروهی

۴- تغییرات واقعی جو

در اینجا باید به این نکته اشاره نمود که در واقع برای یک منطقه خاص و یک زمان خاص از سال در واقع یک یا دو ترکیب از پارامترسازی‌های فیزیکی مدل که به کمک آزمایش و کالیبراسیون مشخص شده‌اند مناسب خواهند بود. این مطلب بدین معنی است که لزوماً تمامی پیکربندی‌های مدل که از آنها برای در ایجاد سامانه استفاده شده برای هر منطقه مناسب نیستند. یعنی در هر مرحله پس از اجرای سامانه و با انجام آزمایش‌های کالیبراسیون پیکربندی یا پیکربندی‌های مناسب مدل برای منطقه باید مشخص شوند و سپس بعد از آن کار انجام پیش‌بینی و تحلیل داده‌های خروجی براساس پیکربندی و یا پیکربندی‌های مناسب انتخاب شده، انجام شود. بنابراین برای هر منطقه و زمان خاص از سال لزوماً تمامی اعضاء سامانه همادی مورد استفاده قرار نخواهند گرفت. مسئله نحوه برخورد با خروجی‌های یک سامانه همادی و چگونگی کالیبره کردن آنها باید مورد توجه قرار گیرد تا نتایج حاصل از اعضاء سامانه تقریب واقع‌بینانه‌ای از مشاهدات را بدست دهند (برای مثال، همیل و کولوچی، ۱۹۹۷)

در حال حاضر با کمک این روش سامانه ای در مرکز ملی تحقیقات و مطالعات باتروری ابرها با راهنمایی و مشاوره آقای دکتر سرمد قادر دانشیار موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران طراحی گردیده است که با انجام تحقیقات تکمیلی امکان ارزیابی روزانه پروژه‌های بهبود بارش فراهم گردیده است و این ارزیابیها توسط کارشناسان مرکز در حال انجام می‌باشد.