

برخی از دیگر نقاط، کوچکتر شدن دانه‌های تگرگ می‌تواند به میزان قابل توجهی زیانهای وارده به محصولات کشاورزی را کاهش دهد؛ در این جاست که "برنامه تعدیل آب و هوا" و دیگر عملیات بارور کردن ابرها وارد عمل می‌شود. عوامل موثر بر توانایی باروری ابرها در افزایش منابع آب متعدد و پیچیده می‌باشد و در دو دسته عوامل محیطی و انسانی قرار می‌گیرند. عوامل محیطی شامل کمیت‌های جوی (دما، رطوبت، باد، پایداری، فیزیک ابر، میزان هسته‌های طبیعی) و متغیرهای جغرافیایی (پستی و بلندی، رطوبت خاک، نفوذ و پوشش گیاهی) و وضعیت پوشش برفی منطقه می‌باشد. عوامل مهم انسانی نیز شامل مشخصات و کیفیت باروری از جمله ترکیب و نوع ماده باروری و نرخ توزیع آن در جو، مکانها، زمانها، و مدت آزادسازی ماده باروری (چه در روش زمینی و چه هوایی) با توجه به کمیت‌های جوی می‌باشد [۶]. بارورسازی ابر در ایران قدمتی ۱۷ ساله پس از انقلاب دارد و تاکنون موفق به اجرای عملیات افزایش بارش در استان‌های واقع در ایران مرکزی، گیلان، اردبیل، قم، زنجان و آذربایجان غربی و شرقی شده است. باروری ابرها در دنیا سابقه طولانی دارد، در این میان کشورهای ایالات متحده آمریکا، استرالیا، چین، روسیه و اسرائیل در این زمینه پیش‌تاز بوده به طوری که برخی از کشورهای پیشرفته از سال ۱۹۴۷ از این فن‌آوری برای افزایش استحصال آب باران استفاده نموده‌اند. در ارتباط با تأثیری که بارورسازی ابر به طور مستقیم و غیر مستقیم بر روی حوزه‌های آبخیز می‌گذارد تحقیقات زیادی انجام شده است؛ برخی مطالعات حاکی از وجود اثرات دنباله‌دار در اثر اجرای پروژه‌های باروری ابرها می‌باشند؛ یک فرضیه این است که دید نقره مورد مطالعه در بارورسازی ابرها بر اجزاء خاک تأثیر گذار بوده و باعث می‌شود باکتریها از خاک آزاد شوند، فرضیه دیگر این است که که تأثیر هسته‌سازی درون ابر ممکن است در یک دوره طولانی پس از فعالیت‌های واقعی باروری ابرها باقی بماند، این موضوع گرچه تعیین کمی میزان اثرات باروری ابرها را دشوار می‌سازد، اما در صورت صحت، باعث افزایش بارش خواهد بود و نه کاهش بارش [۹]. در مورد اثرات اجتماعی و اقتصادی باروری ابرها نیز، عمده‌ترین ملاحظات اجتماعی که در انجام یک پروژه باروری ابرها باید مد نظر قرار بگیرد عبارتند از: ایمنی فرآوری، دلایل علمی برای اثبات اثرات باروری، شرایط خشکسالی، منافع اقتصادی منطقه، هزینه در مقابل کارایی و جبران خسارت‌های احتمالی [۳]. مطالعات انجام شده در نقاط مختلف نشان از بالا بودن نسبت سود به هزینه

معرفی روشهای ارزیابی پروژه‌های بارورسازی ابرها

مطهره اسفندیاری^۱

تاریخ دریافت: ۹۳/۹/۱۱ تاریخ پذیرش: ۹۴/۳/۱۸

چکیده

با توجه به خشکسالی‌های اخیر رخ داده در کشور ایران و اثرات سوئی که در حوزه‌های آبخیز داشته است؛ استفاده بهینه از منابع آب و نیز استفاده از روش‌های جدید استحصال آب نقش مهمی را در مبارزه با بحران آب ایفا می‌کند. یکی از روش‌های نه‌چندان جدید استحصال آب، استفاده از فن‌آوری باروری ابرها می‌باشد. نکته قابل توجه میزان تأثیر باروری ابرها بر افزایش میزان آب استحصال و ارزش اقتصادی آن می‌باشد. روش‌های مختلفی برای ارزیابی پروژه‌های باروری ابرها پیشنهاد شده است. ارزیابی پروژه‌های بارورسازی ابر بسیار دشوار است و با چالش‌های فراوانی روبه‌رو است. هدف از تحقیق حاضر معرفی روشهای ارزیابی اجرای پروژه‌های باروری ابرها و چالش‌های فراوری می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: باروری ابر، روش آماری، روش فیزیکی، روش

عددی

مقدمه

تکنیک بارورسازی ابر^۲ یکی از روش‌های موثر و نوین جهت کاهش اثرات خشکسالی‌های هیدرولوژیکی و افزایش آب در دسترس می‌باشد. بارورسازی ابر نوعی رفتار هوشمندانه با ابرها و سیستم‌های ابری و در جهت افزایش بارش در ابرهایی است که با توجه به شرایط محیطی و آب و هوایی فرایندهای بارش در داخل آنها در حال شکل‌گیری و اجرا می‌باشد. با توجه به شرایط خشکی کشور ایران، بارورسازی ابرها تکنیکی مناسب جهت تعدیل آب و هوا و افزایش استحصال آب و تخفیف خشکسالی می‌باشد. در بعضی نقاط دنیا که با کم‌آبی روبه‌رو هستند، حتی ریزش چند میلی‌متر باران هم می‌تواند در فصل رشد محصول، حیاتی باشد و در

۱- نویسنده مسئول: Motiesfandiari@gmail.com

2- Cloud Seeding

3- Weather Modification

این راهکار را دارد؛ بطوری که در حوزه رودخانه کلرادو آمریکا برای افزایش تولید برق آبی، نسبت سود به هزینه ۱۳ به ۱ و برای افزایش ۲ تا ۹ درصد رواناب این نسبت، ۶۱ به ۱ ذکر گردیده [۴]. این در حالی است که نسبت سود به هزینه باروری در فصل تابستان از دید کمک به اقتصاد کشاورزی در داکوتای شمالی ۴۰ به ۱ گزارش شده است [۱۰]. همچنین در آنالیز انجام شده برنامه بارورسازی تابستانه در کشور هندوراس این نسبت ۲۳/۵ به ۱ محاسبه گردید [۲۱]. در موارد مشابه در کشور هند نسبت سود به هزینه در منطقه پان^۱ با افزایش ۲۰٪ بارش ابرهای گرم ۶۰ به ۱ می باشد [۲۱]. عملیات بارور سازی ابرها، نه تنها دارای نسبت سود به هزینه بالا می باشد بلکه نسبت به سایر پروژه های استحصال آب نیز مقرون به صرفه تر است. به عنوان مثال طبق مطالعات انجام شده در کشور آمریکا هزینه استحصال ۱۰۰۰ متر مکعب آب، به واسطه احداث سد ۱۱۰ دلار، تغذیه سفره های آب زیرزمینی ۲۳۰ دلار، انتقال بین حوضه ای ۴۰۰ دلار، تصفیه فاضلابها ۲۲۰ دلار و شیرین کردن آبهای شور ۲۰۰۰ دلار برآورد گردیده است، این در حالی است که هزینه استحصال ۱۰۰۰ متر مکعب آب، از طریق بارور سازی ابرها در مطالعه ای تنها ۱۵ دلار برآورد گردیده که بسیار مقرون به صرفه تر از سایر پروژه های استحصال آب است [۱۲]. در تحقیق جامع دیگری که توسط [۵] در همین ایالت صورت پذیرفت، سود اقتصادی بر اساس نتایج افزایش بارش بین ۵ تا ۱۰ درصد محاسبه شده اند. در داکوتای شمالی اثرات باروری ابرها بر روی ۸ محصول رایج (گندم، جو، آفتابگردان، حبوبات خشک، دانه غلات، جو دوسر و کتان) نیز مورد ارزیابی اقتصادی قرار گرفت [۱۸]. در مقاله ای که [۱۹] بر روی ۱۱ پروژه بارورسازی ابر در ایالت سریانودا آمریکا انجام داده است به بررسی اثرات بارورسازی ابر از سال ۱۹۵۱ تا ۲۰۰۷ بر روی افزایش رواناب در ۱۱ حوزه آبخیز این ایالت پرداخته است و به این نتیجه رسیده که عملیات بارورسازی ابر در افزایش رواناب در ۶ حوزه آبخیز در این ایالت اثر بسیار موثری داشته است. در تحقیقی که اخیراً^۲ به بررسی اثر بارورسازی ابر در افزایش رواناب در حوزه آبخیز پلت شمالی پرداخته شده است، نشان از افزایش آب رودخانه و کاهش دوره های خشکی در این حوزه می باشد. در این تحقیق از یک مدل هیدرولوژیکی جهت ارزیابی اثرات بارورسازی ابر بر افزایش رواناب رودخانه استفاده شده است و نهایتاً افزایش ۰/۳ تا ۰/۱۵ درصدی آب رودخانه از نتایج بارورسازی بوده است [۱]. هدف از تحقیق حاضر معرفی روشهای ارزیابی اجرای پروژه های بارورسازی ابرها و چالش های فرارو می باشد.

روش های ارزیابی باروری ابرها

جهت تعیین اثرات اجرای پروژه های بارورسازی ابر باید از روش های مختلف ارزیابی استفاده نمود. روش های ارزیابی باروری ابرها به طور کلی به سه دسته روش های آماری، روش های فیزیکی

و روش های مدل سازی تقسیم می شود [۶] که در ادامه به طور کامل شرح داده می شود.

الف- روش های آماری

آمار رایج ترین و دیرینه ترین ابزار جهت پردازش اثرات باروری از زمان پیدایش علم تعدیل آب و هوا می باشد. به طور کلی مهم ترین روش های آماری جهت ارزیابی پروژه های باروری ابرها به دو دسته پروژه های تحقیقاتی و پروژه های عملیاتی تقسیم می شوند:

۱- **ارزیابی آماری پروژه های تحقیقاتی:** (پروژه سازماندهی شده باروری ابرها اصولاً با هدف کسب دانش بیشتر در خصوص چگونگی بارورپذیری ابرها در یک محل معین، شناخت فرآیندهای طبیعی بارش و چگونگی تغییر آنها توسط باروری، آزمایش روشهای مختلف باروری و پردازش اثرات بارورسازی؛ این نوع پروژه ها به دلیل هزینه بالا، بیشتر توسط سازمانهای دولتی انجام می شود).

۲- **ارزیابی آماری پروژه های عملیاتی:** (پروژه های اجرایی باروری ابرها که با یک هدف معین از جمله بهینه سازی تولید بارش در منطقه هدف انجام می شود).

۱- **ارزیابی آزمایشات تحقیقاتی** (که عمدتاً این ارزیابی ها با عملیات تصادفی انجام می شوند):

۱-۱- روش تصادفی یک منطقه ای

در این روش یک منطقه به عنوان منطقه هدف تعیین می شود و این منطقه در طول دوره های آزمایشی به صورت تصادفی انتخاب شده، مورد باروری قرار می گیرد. ارزیابی چنین آزمایشی بر اساس مقایسه بارش در طول دوره های بارور شده و بارور نشده می باشد.

۱-۲- روش تصادفی هدف - کنترل

در این روش دو منطقه در نظر گرفته می شود، یک منطقه هدف و یک منطقه کنترل. منطقه هدف در طول دوره های آزمایشی، بطور تصادفی انتخاب شده، بارور می شود و منطقه کنترل اصلاً تحت باروری قرار نمی گیرد. منطقه کنترل هم به منظور داشتن رابطه همبستگی خوب با منطقه هدف بسیار نزدیک به آن انتخاب می شود و هم برای جلوگیری از تاثیر مواد باروری به آن، به اندازه کافی دور از آن انتخاب می گردد. منطقه کنترل هم بعنوان متغیر پیش بین برای منطقه هدف خواهد بود و هم دقت آزمایش را افزایش می دهد این روش به عنوان یک طرح استاندارد برای پروژه های تجاری به کار رفته است.

۳- ۱- روش راندمی متقاطع

این روش که استاندارد آن در استرالیا پایه ریزی گردید دو منطقه را در بر می گیرد که رفتار باروری بر روی یکی یا دیگری بصورت تصادفی صورت می گیرد. به عبارتی در این روش باروری در یکی از این مناطق به طور تصادفی صورت می گیرد؛ منطقه ای که مورد باروری قرار نرفته منطقه کنترل خواهد بود، این سیکل در هر بار باروری تکرار می شود.

2- Rresearch Cloud Seeding Projects

3- Operational Cloud Seeding Projects

1- Pune

۲- ارزیابی پروژه‌های عملیاتی (این ارزیابی‌ها بدون عملیات تصادفی انجام می‌شوند):

۱-۲- روش دو یا چند منطقه‌ای یا روش هدف - کنترل
در این روش دو منطقه شامل یک منطقه هدف و یک منطقه کنترل انتخاب می‌شود. معمولاً از نظر اقتصادی، انتخاب تصادفی واحدهای آزمایشی مقرون به صرفه نیست لذا منطقه هدف معمولاً در هر واحد آزمایشی بارور می‌شود. در این روش ارزیابی عموماً با استفاده از روش مقایسه نسبت‌های بارش در این دو منطقه و روش مقایسه رگرسیون بارش منطقه هدف، با بارش منطقه کنترل در طول دوره عملیاتی با بارش در طول دوره‌های تاریخی صورت می‌گیرد.

۲-۲- روش یک منطقه‌ای

در این روش یک منطقه به عنوان منطقه هدف منظور شده و ارزیابی براساس مقایسه بارش در طول دوره عملیاتی با بارش در طول دوره تاریخی می‌باشد این روش به روش درصد از نرمال نیز معروف می‌باشد.

۳-۲- روش هدف و کنترل شناور
این روش توسط کارشناسان رصدخانه آب و هواشناسی روسیه ارائه گردیده و در تحقیقات انجام شده در ایران بیشتر از این روش استفاده شده است. در این روش منطقه هدف، تحت تاثیر موادی می‌باشد که در هر ماه متغیر است و منطقه کنترل نیز به دلیل تغییر ماهیانه منطقه هدف، در هر ماه متغیر می‌باشد. در این روش از آنالیز رگرسیون تاریخی، با مقایسه بارش منطقه هدف، با بارش منطقه کنترل، در طول دوره تاریخی و عملیاتی بارش در منطقه هدف در طول دوره عملیاتی تخمین زده شده و با بارش منطقه کنترل مقایسه می‌شود. مقایسه بین هدف و کنترل علاوه بر بارش می‌تواند بر اساس متغیرهای دیگر از قبیل آب برف و یا رواناب نیز باشد. در برخی منابع دوره تاریخی حداقل ۱۰ سال، برای حصول به نتایج معنی‌دار آماری لازم دانسته شده است [۱۲].

ب- ارزیابی 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 [۶].

در بررسی فیزیکی تأثیرات باروری ابرها، تنها مکانیزم‌هایی که در تشکیل ذرات یخ مؤثر می‌باشند از دیگر مکانیزم‌ها تفکیک شده و مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این روش با استفاده از سنسورهای هواپیما، تصاویر رادار، سیستم‌های زمینی و روش سنجش از دور مشخصات ابر، برخی پارامترهای جوی مورد نیاز و میزان بارش اندازه‌گیری شده، طیف ذرات، فرم کریستالها و میزان دیدنقره مورد آنالیز قرار می‌گیرد تا مشخص شود نتیجه‌ای که در منطقه هدف مشاهده می‌شود ناشی از باروری بوده و یا بارش بصورت طبیعی بوده است. یکی دیگر از فعالیت‌هایی که در ارزیابی فیزیکی صورت می‌گیرد، اندازه‌گیری دود دیدنقره و اثرات آنها روی بازش

می‌باشد، که علاوه بر اندازه‌گیری‌های فیزیکی، با کمک ردیاب نیز انجام می‌شود و در برخی موارد توسط رادارهای هواشناسی نیز قابل مشاهد می‌باشد [۱۴]. معمولاً برای اندازه‌گیری دود دیدنقره از دو روش نمونه‌گیری هواپیما و آنالیز شیمیایی ردیاب‌های درون برف استفاده می‌شود؛ مهم‌ترین تحقیقات در زمینه استفاده از ردیابها توسط [۸، ۲۳ و ۲۴] صورت گرفته است.

ج- روش مدل‌سازی عددی

این روش به دلیل افزایش قدرت محاسبه جذابیت زیادی یافته است هدف از مدل‌سازی عبارت است از:

۱- شبیه‌سازی تشکیل ابرها روی عوارض پیچیده زمین در یک منطقه

۲- مطالعه اثرات ریز و جزئی باروری با استفاده از مدل‌های جزئی‌تر عددی. در مدل‌سازی عددی رخدادهای متفاوت معمول و رایج در طول بارش، توزیع مکانی ابرها و برف و باران در منطقه و همچنین نقش ارتفاعات و نیز کاراکترهای دیگر سطحی مهم در توزیع مکانی و زمانی بارش انتخاب شده و بر روی یک برنامه اعمال می‌شوند. سپس این شبیه‌سازی هم بر روی نمونه طبیعی و هم بطور مجزا بر روی نمونه باروری مورد بررسی قرار گرفته و بارش شبیه‌سازی شده با بارش واقعی رخ داده، با هم مقایسه و تفاوت حاصل به باروری ابرها نسبت داده می‌شود. از مدل‌های هواشناسی MM5 و WRF می‌توان جهت پیش‌بینی مکانی انتقال و نهشت مواد باروری استفاده نمود. استفاده از مدلی شبیه MM5 حتی در برنامه باروری غیر تصادفی نیز می‌تواند به بهبود مناطق هدف و کنترل و ارزیابی طوفان کمک کند. قبل از اعتماد به نتایج مدل‌های MM5 و WRF و یا هر مدل دیگر، بایستی مدل‌های تعیین شده در هر منطقه اعتبارسنجی شود، چرا که بدون آن، اختلاف‌های پیش‌بینی شده کوچک در بارندگی ناشی از باروری، غیر مطمئن شده و نتایج غیر قطعی و ناتمام خواهد ماند [۶].

تحقیقات انجام شده در زمینه ارزیابی پروژه‌ها

ارزیابی پروژه‌های بارورسازی ابر به صورت حوضه‌ای می‌باشد در تمامی کشورهای جهان که پروژه‌های بارورسازی ابر انجام می‌شود عملیات و ارزیابی باورسازی ابر در قالب حوزه‌های آبخیز انجام می‌شود و مرز استانی در نظر گرفته نمی‌شود علت این امر هم این است که بارورسازی معمولاً در قسمت‌های مرتفع و بالادست حوزه‌های آبخیز انجام می‌شود و بنابراین تا انتهای حوزه آبخیز تأثیر خواهد داشت در ایران ارزیابی‌ها در استانها انجام می‌شود و مرز سیاسی استانها باید در نظر گرفته شود در حالی‌که ممکن است بخشی از یک حوزه آبخیز در یک استان و بخش‌های دیگر در استان‌های مجاور باشد [۱۶].

ارزیابی اثرات باروری ابرها در چین

روشهای مورد استفاده جهت ارزیابی اثرات باروری ابر در چین را

می‌توان در موارد زیر خلاصه نمود [۷].

۱- به دلیل تحت پوشش قرار دادن مناطق وسیع در چین با روش هوایی در نظر گرفتن مناطق ثابت دشوار بوده و بنابراین از مناطق هدف - کنترل شناور و یا منطقه هدف - کنترل چندگانه استفاده گردید.

۲- در عملیات زمینی به منظور افزایش بارش، امکان در نظر گرفتن مناطق ثابت وجود داشت، لذا از روش هدف - کنترل ثابت، و از روش آنالیز رگرسیون تاریخی استفاده شد؛ برای نمونه با انجام باروری ابرها در استان فونگ هانگ^۱ در طول سالهای ۱۹۷۵-۱۹۷۷، مطابق آمار افزایش بارش ۵۵ درصدی در بارش روزانه حاصل گردید.

۳- در منطقه گوتیانگ^۲ در سال ۱۹۷۵-۱۹۸۶ یک ارزیابی تصادفی افزایش بارش انجام گرفت؛ مناطق هدف - کنترل، وسعتی معادل ۱۵۰۰ کیلومتر مربع داشته و زمان واحد آزمایشی ۳ ساعت در نظر گرفته شد. از ۲۴۴ واحد آزمایش ۵۰٪ واحدها بارور شده و مطابق آمار افزایش ۲۳/۸ درصد بدست آمد.

۴- در یک آزمایش باروری اوروگرافیک که در حوزه رودخانه بایانگ^۳ واقع در منطقه شین جیانگ^۴ انجام شد. رواناب سالانه رودخانه، برای ارزیابی مد نظر قرار گرفت. بر طبق آمار، رواناب رودخانه در طول دوره باروری (۱۹۸۴-۱۹۹۵) در مقایسه با دوره بارور نشده (۱۹۸۳-۱۹۶۲) ۱۱/۶ درصد افزایش نشان داد.

۵- اثبات فیزیکی اثرات باروری با کنترل و ارزیابی میکروساختار ابر، اکورادار و غیره انجام شد. برخی از مشاهدات هوایی حاکی از افزایش غلظت یخ، گستردگی تدریجی توزیع ذره یخ و اکورادار در منطقه بارور شده ابرها بود، علاوه بر این اندازه‌گیری غلظت یون یدید نقره در بارش برخی آزمایشات، داده‌های مورد نیاز جهت ارزیابی اثرات باروری را فراهم نمودند.

ارزیابی اثرات باروری در لیبی

جهت ارزیابی پروژه‌ها در یک دوره سه ساله از دو روش نقشه‌های بارش مؤثر و تجزیه و تحلیل مستقیم نیمه‌آماري استفاده نمودند.

۱- روش نقشه‌های بارش مؤثر

بارش مؤثر کسری از رطوبت میانگین است که به صورت بارش بطور متوسط در یک روز سقوط می‌کند. بارش مؤثر عبارت است از درصد میانگین مقادیر بارندگی به میانگین حجم آب قابل بارش که به درصد بیان می‌شود. تغییرات بارش مؤثر منعکس کننده تأثیر عواملی همچون اثر اوروگرافیک روی بارش، پایداری هوا، مجاورت با دریا می‌باشد. تغییر بارش مؤثر در جایی که طوفان‌های سیکلونی بیشترین فعالیت را داشته ماکزیمم و در جایی که پایداری هوا وجود

- 1- Feunghuang
- 2- Gutian
- 3- Baiyang
- 4- Xinjiang

دارد کمترین مقدار خود را دارد. در ارزیابی پروژه، دو دوره در نظر گرفته شد. دوره بارور شده و بارور نشده. نتایج حاصله نشان از افزایش ۱۹ درصدی بارش در ماه ژانویه بود.

۲- محاسبه نیمه آماری

به دلیل مدت کوتاه نمونه‌برداری یعنی سه سال متوالی امکان استفاده از روش‌های استاندارد جهت ارزیابی پروژه‌ها وجود نداشت و علاوه بر آن هیچ آنالیز آماری به سطح معنی‌داری بالا نرسیدند، به همین جهت از روش نیمه‌آماري زیر استفاده شد:

$$[(R_1 - R)/R] * 100$$

R: بیشترین میانگین بارش روزانه در طول دوره تاریخی

R₁: بیشترین میانگین بارش روزانه واقعی در طول مدت باروری؛

نتایج حاصل از این روش نشان از افزایش ۱۷ درصدی بارش بوده است [۲۲].

ارزیابی اثرات باروری در ایران

در سال ۱۳۹۴ جهت ارزیابی پروژه باروری ابرها در استان یزد در سالهای ۲۰۰۹ - ۲۰۱۰ از روش آماری (هدف - کنترل) استفاده گردید و نتایج نشان داد که در بیش از ۵۶ درصد موارد میزان بارش در همه ایستگاه‌های مورد بررسی در استان یزد صفر گزارش شده است [۱۷]. در تحقیقی دیگری که به بررسی نتایج عملیات باروری ابرها در ایران درباره زمانی ۱۹۹۹ الی ۲۰۰۷ پرداخته شد، از روش آماری (هدف - کنترل) استفاده گردید و این نتیجه به دست آمد که بر اثر عملیات باروری ابرهای سرد در مناطق مرکزی ایران حدود ۲۲ تا ۴۰ درصد، بارش فصلی، افزایش یافته است [۱۱]. در ایران مرکزی به منظور ارزیابی پروژه بارورسازی ابرها از روش آماری (هدف - کنترل) و آنالیز رگرسیون تاریخی به قرار زیر استفاده شد: منطقه کنترل جهت ارزیابی تأثیر بارور سازی ابر بر روی تغییرات بارش، با توجه به ویژگی‌های اقلیمی و توپوگرافی منطقه هدف مشخص گردید، پس از نرمال سازی داده‌های بارش در دو منطقه هدف و کنترل به بررسی میزان همبستگی بین حجم بارش دو منطقه هدف و کنترل پرداخته شد؛ نتایج حاصل نشان از افزایش بارش ۴۶ درصدی در ماه فوریه ۲۰۰۹ و افزایش ۴۲ درصدی بارش در ماه دسامبر بوده است [۱۶].

چالشهای فراوری ارزیابی پروژه‌های باروری ابرها

۱- ماهیت پدیده‌های جوی به‌ویژه بارش بسیار متغیر است. روند بارش تغییرات فراوانی داشته و به عبارتی بین مقدار بارش در یک منطقه معین و بین یک منطقه و منطقه دیگر در یک فصل معین تغییرات طبیعی زیادی وجود دارد.

۲- هنوز دانش لازم و کافی در خصوص فرآیندهای ریز مقیاس و بزرگ مقیاس طبیعی جو وجود نداشته و پیش‌بینی رفتار طبیعی ابرها و مقدار طبیعی بارش دشوار است.

۳- افزایش بارش حاصل از باروری در مقایسه با تغییرات طبیعی

سپاسگزاری

از راهنمایی‌های جناب آقای مهندس گلکار و سرکار خانم مهندس سید حسنی کارشناسان مرکز ملی تحقیقات و مطالعات باروری ابرها کمال تشکر را دارم.

منابع

1. Acharya Anil, T., Piechota, H.S. and Glenn T. 2011. Modeled streamflow response under cloud seeding in the North Platte River watershed, Journal of Hydrology. 409: 305-314
2. Adderley, E. and Twomey, S. 1957. An Experiment on Artificial Stimulation of Precipitation in the Snowy Mountains Region of Australia. 10:192 - 212
- 3- ASCE(American Society of Civil Engineers). 2006. Guidelines for Cloud seeding to Augment Precipitation ISBN 07844 - 0819.
- 4- Andersen, H.E., Kronvang, B., Larsen, S.E., Hoffmann, C.Ch., Jensen, T.S. and Rasmussen, E.K. 2006. Climate-change impacts on hydrology and nutrients in a Danish Lowland river basin. Science of the Total Environment. 365: 223-237.
- 5- Bangsund, D. and Leistritz, L. 2009. Economic Impacts of cloud seeding on Agricultural Crops in North Dakota. Report prepared for the North Dakota Atmospheric Resource Board.
- 6- Bureau of Reclamation. (BR). 2006. Optimizing Cloud Seeding for Water and Energy in California U.S. Technical Service Center, Steven M. Hunter, Denver, Colorado, and Commission Contract No. Insert: #500-99-013, Commission work Authorization No: 103, Prepared for: Public Intersect Energy Research (PIER) Program, California Energy Commission CEC- 500-2007-008
- 7- Campana, K. A., Hou, Y-T K., Mitchell, E. Yang, S-K. and Cullather, R. 1994. Improved diagnostic cloud parameterization in NMC's global model. Preprints of the Tenth Conference on Numerical Weather Prediction, Portland, OR, American Meteorological Society. 67: 324-325
- 8- Chai, S. K., Finnegan, W. G. and Pitter, R. L. 1993. An interpretation of the mechanisms of ice crystal formation operative in the lake Almanor cloud seeding program. J. Appl. Meteor. 32: 1726- 1732

بارش کوچک بوده و میزان آن در دامنه تغییرات طبیعی بارش قرار می‌گیرد و لذا تفکیک اثرات باروری (سیگنال) از تغییرپذیری بارش (نویز) دشوار است.

۴- چون باروری ابرها زمانی صورت می‌گیرد که ابرهای موجود تقریباً در حال بارش می‌باشند، لذا تعیین مقدار ریزش حاصل از باروری ابرها دشوار می‌باشد.

۵- هیچ دو ابر یا دو سامانه طوفانی کاملاً شبیه هم نیستند و نمی‌توان یکی را بارور و دیگری را بارور نکرد و سپس اختلافها را مقایسه نمود و حتی تکرار آزمایش نیز موثر نیست.

۶- مقایسه بارش مشاهده شده در طول دوره بارور شده با دوره‌های تاریخی به دلیل تغییرات اقلیم و دیگر تغییرات مشابه از یک دوره به دوره‌ای دیگر با مشکل روبه‌رو است.

۷- اثرات بالقوه سهوی ناشی از آلودگی هوا، کلان شهرها و فعالیت‌های کشاورزی بر روی تشکیل ابر و بارش موثر می‌باشد، مدارک موجود نشان می‌دهد تغییر اقلیم ممکن است باعث ایجاد تغییرات بارش جهانی و نیز توزیع مجدد مکانی بارش گردد. بنابراین در استفاده از هر روش ارزیابی می‌بایست این اثرات غیر تصادفی به حساب آورده شود.

۸- هزینه پروژه‌های تحقیقاتی برای ارزیابی دقیق برنامه بسیار زیاد بوده و لذا معمولاً تغییرات در این زمینه همراه با اجرای پروژه‌های عملیاتی صورت می‌گیرد [۱۹].

بحث و نتیجه‌گیری

باروری ابرها به عنوان یکی از ابزارهای مدیریتی منابع آب، از راهکارهای قابل توجه می‌باشد و جهت کاهش اثرات خشکسالی در حوزه‌های آبخیز و افزایش سطح آب رودخانه‌ها از لحاظ اقتصادی با صرفه می‌باشد. جهت تعیین اثرات اجرای پروژه‌های بارورسازی ابر باید از روش‌های مختلف ارزیابی استفاده نمود. روش‌های ارزیابی باروری ابرها به‌طور کلی به سه دسته روش‌های آماری، روش‌های فیزیکی و روش‌های مدل‌سازی تقسیم می‌شوند. در رابطه با انواع روشهای ارزیابی نیز سازمان جهانی هواشناسی بر این اعتقاد است که ارزیابی مناسب پروژه باروری ابرها با استفاده از روش‌های تصادفی (آماري، تحقیقاتی) امکان پذیر است؛ همچنین توصیه شده است، نتایج ارزیابی تصادفی با نمونه‌گیری و کاربرد تحلیل‌های ارزیابی فیزیکی مورد تأیید قرار گیرد. در تمام منابع توصیه شده است برای ارزیابی باروری ابرها می‌بایست همزمان با سه روش محاسباتی آماری، اندازه‌گیری‌های فیزیکی و تکنیک‌های مدل‌سازی ارزیابی‌ها انجام شود تا نتایج نهایی از تأیید هر سه روش اعتبار بیشتری داشته باشد. تحقیقات و مقالات منتشر شده حاکی از این است که سرعت و دقت پیشرفت‌های حاصل شده در تحقیقات ارزیابی فیزیکی بسیار بیشتر از روشهای آماری بوده است؛ این در حالی است که، تحقیقاتی که در ایران در زمینه ارزیابی باروری ابرها صورت پذیرفته است از نوع روش آماری هدف و کنترل شناور بوده است.

- 17- Sahraian, F., Sabetghadam, S., Javanmard, S. 2015. Evaluation of the Yazd province cloud seeding experiment during 2009-2010. National Weather Conference. Yazd University
(In Persian)
- 18- Sell, R. and Leistriz, F.L. 1998. Economic Impact of Reducing Hail and Enhancing Rainfall in North Dakota Report prepared for the North Dakota Atmospheric Resource Board. 245P
- 19- Seyed hasani, M. 2012. Cloud Seeding From Idea to Reality. Ministry of Energy Water Research Institute Cloud Seeding Research Center. (In Persian)
- 20- Silverman Bernard A. 2010. An evaluation of eleven operational cloud seeding programs in the watersheds of the sierra Nevada Mountains, Atmospheric Research. 97: 526–539
- 21- Shivaji Rao, T. 2005. Cloud Seeding For India, Author: Publisher: Mrs. T. Lavanya Lata, Distributors :THE BOOK SYNDICATE, Opp.
Central Bank of India, Bank Street, Hyderabad - 500 095, India, First Edition – 2005.
- 22- Sundqvist, H., Berge, E. and Kristjansson, J. E. 1989. Condensation and cloud studies with musicale numerical weather prediction model. Mon. Wea. 117: 1641- 1757.
- 23- Warrburton, J.A., Young, L. G. and Stone, R.H. 1995. Assessment of seeding of AgI aerosols may affect detect ability of seeding effect by statistical method. J Appl. Meteor. 34:1929-1941
- 24- Warrburton, J.A., Chai, S. K., Stone, R.H. and Young, L. G. 1996. The Assessment of snow pack enhancement by silver iodide cloud seeding using the physics and chemistry of the snow fall. J Weather Mod. 28: 19-28
- 9- DSE (Department of Sustainability and Environment,). 2008. Background Report 9 Overview of cloud seeding Region. Melbourne. The State of Victoria Department of Sustainability and Environment. Isbn 978-1-74208-765-8, Published by the Victoria Government. 15p
- 10- Griffith, M., Solak E. and David, P. 2009. Yorty, Winter Seasons of Operational Cloud seeding in UTAH, Don A. North American Weather Consultants, Inc., Sandy, Utah, April 2009. 23 P.
- 11- Khalili, M., Seidhassani, M. Golkar, F. Khatibi, V. 2009. Results of Cloud Seeding Operations for Precipitation Enhancement in Iran during 1999-2007., National Cloud Seeding Research Center, Yazd, Iran. (In Persian)
- 12- Henderson, T.J. 2003. The King River Weather resources management program. J. Wea. Mod. 35: 41-44
- 13- Hunter Steven, M. 2007. Optimizing Cloud Seeding for Water and Energy in California, Prepared for: California Energy Commission, Public Interest Energy Research Program, Prepared by: U.S. Bureau of eclamation, March 2007, CEC-500-2007-008.
- 14- Martner, B.E.R.A., Kropfli, and Marwitz, J.D. 1992. Radar observations of transport and diffusion in clouds and precipitation using TRACIR. J.Atoms Technol. 3: 226-241
- 15- McGurty, B.M. 1999. Turing silver into gold. Measuring the benefits of cloud seeding Hydro Review. 18: 2-6
- 16- Poormohammadi, S. 2012. Seeding the clouds, a new technique for reducing the effects of drought and climate change (Case study Gavkhouni wetland Seventh National Conference on Science and Watershed Engineering. Isfahan University of Technology. (In Persian)

*Abstract***Presentation of the methods of evaluation of clouds seeding projects**M. Esfandiari¹

Received: 2014/10/30 Accepted: 2015/06/25

According to recent droughts have occurred in the country and have adverse effects on drainage areast he optimum use of water resources and new methods of water harvesting has important role in combat with water crisis one method of the water harvesting is cloud seeding technology the rate of effects of cloud on increasing of water harvesting and its economical value are very important. The different methods suggested for cloud seeding but the evaluation of these projects are very difficult and has very challenges. The aim of this paper is presentation of evaluation methods for cloud seeding projects and their future challenges.

Keywords: *Cloud seeding, Statistical methods, physical methods, modeling methods*

1. Corresponding author: Motiesfandiari@gmail.com