



سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی (سال، هفتم / شماره دوم) تابستان ۱۳۹۵

نمایه شده در سایت: پایگاه استنادی علوم جهان اسلام، جهاد دانشگاهی، مگ ایران، نورمگز

آدرس وب سایت: <http://girs.iaubushehr.ac.ir>



ارزیابی نقش بارورسازی ابرها در افزایش استحصال آب در استان فارس با استفاده فنون سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی

محبوبه علومی مجومرد^۱، محمد زارع^{۲*}، سمانه پورمحمدی^۳

۱. کارشناس ارشد مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشگاه یزد

۲. استادیار دانشکده منابع طبیعی و کوبرشناسی، دانشگاه یزد

۳. دکتری مهندسی آبخیزداری، مرکز ملی تحقیقات و مطالعات باروری ابرها، یزد

مشخصات مقاله

پیشینه مقاله:

دریافت: ۲۳ خرداد ۱۳۹۴

پذیرش: ۶ بهمن ۱۳۹۴

دسترسی اینترنتی: ۳۰ مرداد ۱۳۹۵

واژه‌های کلیدی:

مناطق خشک

مدیریت منابع آب

بارورسازی ابرها

بارش

فارس

چکیده

خشکسالی و تغییرات اقلیمی از مسائلی است که در دهه‌های اخیر آسیب‌های زیادی را به پوشش گیاهی طبیعی و کشاورزی مناطق مرکزی ایران وارد نموده است. بارورسازی ابرها یکی از راه‌های کاهش اثر تغییرات اقلیمی و تا حدودی جبران کمبود آب در مناطق خشک است. به این منظور در این پژوهش به بررسی تأثیر بارورسازی ابرها بر روی بارش در استان فارس پرداخته شد. در این راستا ماه‌های آوریل، فوریه، دسامبر و نوامبر مربوط به سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۰۹ به عنوان ماه‌های مستعد بارش در ایران جهت ارزیابی طرح بارورسازی ابرها در این استان انتخاب گردید. نقشه‌های رستری بارش ماهانه برای هر ماه در هر سال از دوره آماری ۳۴ ساله (۱۹۷۷-۲۰۱۰) با روش درون‌یابی کریجینگ ترسیم و مقادیر ارتفاع بارش برای هر سال استخراج گردید. سپس حجم بارش برای ماه‌های آوریل، فوریه، دسامبر و نوامبر در ایستگاه‌های هدف محاسبه و به عنوان متغیر وابسته در برآورد حجم بارش به روش درون‌یابی کریجینگ در مناطق هدف مورد استفاده قرار گرفت. سری زمانی بارش برای هر ماه برای ایستگاه‌های کنترل نیز برای دوره آماری ۱۹۷۷-۲۰۱۰ تهیه و به عنوان متغیرهای مستقل وارد رگرسیون گردید. سپس رابطه خطی بین حجم بارش منطقه هدف با حجم بارش منطقه کنترل تعیین شد. جهت ارزیابی طرح بارورسازی در استان فارس از روش رگرسیون تاریخی استفاده شد. نتایج تحقیق، افزایش ۱۵ درصدی بارش را در استان فارس در دوره چهار ماهه مذکور نشان می‌دهد.

*mzernani@yazd.ac.ir: پست الکترونیکی مسئول مکاتبات

مقدمه

کشور ایران با اقلیم خشک و نیمه‌خشک، به علت کاهش ۲۳٪ بارش‌های جوی در طول ۴۰ سال گذشته، کاهش شدید میزان بارش در سال‌های اخیر به ویژه در سال‌های آبی ۱۳۸۷-۱۳۸۶ و ۱۳۸۸-۱۳۸۷ و کاهش ذخیره آب سدهای کشور، با کمبود آب چشمگیری مواجه است. با توجه به بحران منابع آب و کسری بیلان آبی که در بیشتر مناطق کشور به چشم می‌خورد، طرح‌های گوناگونی در ارتباط با افزایش بارش و تولید آب مورد توجه قرار گرفته که از میان آن‌ها می‌توان به فناوری بارورسازی ابرها اشاره نمود (۳ و ۴).

موضوع باروری ابرها (Cloud seeding) که به عنوان شاخه‌ای از علم تعدیل آب و هوا (Weather modification) شناخته می‌شود، نوعی رفتار هوشمندانه با ابرها و سیستم‌های ابری به منظور افزایش بارش در ابرهایی است که فرآیند بارش در آن‌ها در حال شکل‌گیری و اجرا است. اگرچه از سال ۱۹۳۲، دانشمندان روسی در مؤسسه باران مصنوعی در جهت کشف راهی برای تعدیل مصنوعی آب و هوا سرگرم تحقیق و بررسی بودند، اما در سال ۱۹۴۶ شفر پی برد که یخ خشک می‌تواند قطره‌های آب ابر سرد (قطره‌های آب مایع با دمای زیر صفر درجه سانتی‌گراد) را به کریستال‌های یخ تبدیل کند (۱۰ و ۱۹). پس از کشف شفر در مورد باروری مصنوعی ابر با یخ خشک، دانشمندان استرالیا در سال ۱۹۴۷ با کریستال‌های یخ اقدام به تولید باران مصنوعی نمودند (۱۶). کشور استرالیا شامل مناطق بیابانی وسیع و خشک و نیز مناطق مستعد خشک‌سالی است. در سال ۱۹۷۷ نیز به دلیل خشک‌سالی شدید یک طرح اضطراری افزایش بارش در ایالت یوتا آمریکا در دوره اواسط جولای تا سپتامبر اجرا گردید (۱۳). مطالعه امکان‌سنجی طرح بارورسازی ابرها در رودخانه سالت (Salt) و کوه‌های وایومینگ (Wyoming) به طور متوسط در حدود ۱۰٪ افزایش میزان بارش برای ماه نوامبر تا مارس را نشان می‌دهد (۱۲). طرح‌های باروری ابرها در ازبکستان در سال ۱۹۹۱-۱۹۹۰ در دره فرگانا (Fergana) و در سال ۱۹۹۲ در دره چرچیک (Chirchik) انجام شد. مواد باروری در این آزمایش‌ها

گرانول‌های یخ خشک بود که در طول نوارهای معین تزریق می‌گردید. در ارزیابی طرح‌های باروری در این کشور افزایش بارش تا ۳۰٪ تأیید شده است (۵).

بارورسازی ابر در ایران تاریخچه‌ای ۱۲ ساله دارد که به وسیله مرکز ملی مطالعات و تحقیقات بارورسازی ابر در استان یزد شروع شده و در اینجا به برخی از نتایج آن اشاره می‌شود. طرح بارورسازی ابر در سال آبی ۱۳۷۷-۱۳۷۸ در استان یزد، ۲۸٪ افزایش بارش را در پی داشته است. باروری ابر در سال آبی ۱۳۷۷-۱۳۷۸ در استان گیلان موجب افزایش ۵۴ درصدی مقدار بارش شده است. همچنین نتایج باروری ابرها در سال آبی ۱۳۸۸-۱۳۸۷ در فلات مرکزی ایران، نشان دهنده ۱۹/۵٪ در افزایش بارش بوده است. در تحقیقی که بر روی ارزیابی نتایج بارورسازی ابر در حوضه آبریز گاوخونی انجام گرفت، افزایش ۴۶٪ و ۴۲٪ بارش به ترتیب مربوط به ماه‌های فوریه ۲۰۱۰ و دسامبر ۲۰۰۹ را نشان داد (۱ و ۲).

هدف از این تحقیق بررسی نقش بارورسازی ابرها در افزایش استحصال آب در استان فارس در سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۰۹ است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان فارس در جنوب ایران و بین مختصات جغرافیایی ۴۲° ۳۱' تا ۲۷° ۰۲' عرض شمالی و ۵۵° ۳۶' تا ۵۰° ۴۲' طول شرقی قرار دارد. این استان از شمال به استان اصفهان، از شرق به استان یزد و کرمان، از جنوب به استان هرمزگان، از غرب به استان بوشهر و از شمال غرب به استان کهگیلویه و بویر احمد محدود است (شکل ۱). استان فارس حدود هشت درصد از مساحت کشور را تشکیل می‌دهد. کوه‌های زاگرس با جهت شمال غربی- جنوب شرقی استان فارس را به صورت منطقه ویژه کوهستانی در آورده است. قسمت عمده این ناهمواری‌ها بر اثر یک سلسله حرکات شدید کوه‌زایی ایجاد شده و تحت تأثیر عوامل فرسایشی مانند بادهای تند به صورت کنونی در آمده است. میانگین ارتفاع این استان از سطح دریا ۱۵۴۰ متر

است. حداکثر و حداقل رطوبت نسبی این ناحیه به ترتیب ۶۰٪ و ۲۴٪ است. تعداد روزهای یخبندان در سال نیز ۳۴ روز گزارش شده است.

است. میانگین دما در سردترین ماه سال بین 7°C تا 2°C - و در گرم‌ترین ماه سال بین 35°C - 40°C در نوسان است. میانگین بارندگی سالانه منطقه ۳۴۶ میلی‌متر که حداکثر آن با ۹۰ میلی‌متر در دی ماه و حداقل آن (بدون بارش) در ماه شهریور



شکل ۱. موقعیت محدوده مورد مطالعه

روش رگرسیون تاریخی این روش یکی از معتبرترین روش‌های ارزیابی طرح‌های باورسازی ابرها است. در این روش بین بارش تاریخی منطقه هدف و کنترل در سال‌های بدون باروری ابرها، بهترین رابطه رگرسیون تعیین شده و با داشتن بارش منطقه کنترل، بارش قابل انتظار در منطقه هدف تخمین زده می‌شود. در این روش ارتباط بین داده‌ها در منطقه هدف و شاهد تنوع بیشتری داشته و همچنین امکان برآورد احتمال این که تغییرات مشاهده شده در یک طرح تصادفی است، وجود دارد. از محدودیت‌های این روش این است که آمار بارش تاریخی می‌بایست نرمال باشد. نرمال نبودن داده‌های واقعی این فرض که انحرافات حول خط رگرسیون دارای توزیع نرمال است را زیر سؤال می‌برد. همچنین روند سری‌های زمانی بارش مربوط به مناطق شاهد و هدف، می‌بایست یکسان باشد. مشابه نبودن روند در این دوسری باعث کاهش همبستگی و برآوردهای نامطمئن خواهد شد.

تعیین منطقه هدف منطقه هدف در هر پرواز متناسب با سرعت باد، محدوده حمل دو ساعته مواد در راستای باد

روش تحقیق

پس از باورسازی ابرها اطلاعات مربوط به نقاط شلیک مواد بارور کننده (پیروپاترون‌ها) به وسیله هواپیما جمع‌آوری و مکان این نقاط شلیک و محدوده تحت تأثیر آن‌ها (با توجه به سرعت باد و زمان تأثیر ۲ ساعت)، به عنوان محدوده هدف در استان فارس در نظر گرفته شد. جهت ارزیابی طرح باورسازی ابرها از روش رگرسیون تاریخی استفاده شد. منطقه کنترل جهت ارزیابی تأثیر باورسازی ابر بر روی تغییرات بارش، با توجه به ویژگی‌های اقلیمی و توپوگرافی منطقه هدف مشخص گردید. پس از نرمال‌سازی داده‌های بارش در دو منطقه هدف و کنترل، به بررسی میزان همبستگی بین حجم بارش دو منطقه مذکور پرداخته شد. سپس رابطه بارش قابل انتظار مشخص و حد اطمینان آن به وسیله روش‌های آماری تعیین شد. در پایان با مقایسه بین بارش قابل انتظار و بارش واقعی، درصد تغییرات بارش تحت تأثیر باروری ابرهای استان فارس مشخص گردید. این تحقیق طی مراحل زیر انجام گردید.

تعریف می‌شود. در این روش با استفاده از اطلاعات سرعت و جهت باد یا سرعت و جهت حرکت سیستم که از منابع اطلاعاتی مختلف به ویژه اطلاعات رادارهای هواشناسی به دست می‌آید، حمل دو ساعته پس از تزریق بر روی نقشه تصویر شده و منطقه حاصل، از روی هم اندازی مناطق تحت تأثیر مواد باروری در پروازهای انجام شده در هر ماه به عنوان منطقه هدف آن ماه در نظر گرفته می‌شود.

تعیین بارش میانگین منطقه هدف ابتدا نقشه‌های رستری بارش ماهانه برای هر ماه در هر سال از دوره آماری ۳۴ ساله (۲۰۰۶ - ۱۹۷۳) با روش درون‌یابی کریجینگ ترسیم و سپس مقادیر ارتفاع بارش برای هر سال، از نقشه‌های مذکور استخراج گردید. سپس حجم بارش برای ماه‌های آوریل، فوریه، دسامبر و نوامبر در ایستگاه‌های هدف محاسبه و به عنوان متغیر وابسته در برآورد حجم بارش به روش درون‌یابی کریجینگ در مناطق هدف مورد استفاده قرار گرفت.

تعیین منطقه کنترل منطقه کنترل حداکثر در شعاع ۵۰ تا ۷۰ کیلومتری مرکز منطقه هدف قرار گرفته و باید با ایستگاه‌های هدف اختلاف اقلیمی قابل توجهی نداشته باشد. نقشه‌های رستری برای بارش مشاهده شده در ماه‌های آوریل، فوریه، دسامبر و نوامبر در سال آبی ۲۰۱۰-۲۰۰۹ به روش کریجینگ ترسیم و حجم بارش مشاهده شده برای کل منطقه هدف نیز استخراج گردید. سری زمانی بارش ماهانه برای هر ماه برای ایستگاه‌های کنترل نیز برای دوره آماری ۱۹۷۳ تا ۲۰۰۶ آماده شده و به عنوان متغیرهای مستقل وارد رگرسیون گردید.

نرمال‌سازی آمار بارندگی ماهانه ایستگاه‌های دارای سابقه تاریخی به منظور رفع محدودیت‌های روش رگرسیون تاریخی بایستی داده‌های موجود از توزیع نرمال پیروی کنند. در اینجا از روش ریشه دوم برای نرمال‌سازی داده‌های بارندگی جهت نرمال کردن داده‌ها و به کارگیری آن‌ها در روش ارزیابی رگرسیون تاریخی، استفاده گردید.

محاسبه حجم بارش قابل انتظار پس از تعیین منطقه هدف، لازم است حجم بارش مورد انتظار در آن تخمین زده شود تا با بارش مشاهده شده (واقعی) مقایسه شود. برای محاسبه حجم

بارش در منطقه هدف و کنترل از لایه بارش ماهانه که برای هر ماه سال از دوره تاریخی ترسیم شده به روش کریجینگ، استفاده شده و مقادیر ارتفاع بارش برای تک‌تک زون‌های عملیاتی برای هر سال، از نقشه‌های مزبور استخراج گردیده است. پس از تعیین مناطق کنترل و محاسبه حجم بارش ماهانه در منطقه هدف و استخراج بارش ماهانه مناطق کنترل در دوره تاریخی (ترجیحاً ۳۰ ساله) در رابطه ۱ بین حجم بارش منطقه هدف با حجم بارش منطقه کنترل تعیین و بارش قابل انتظار در منطقه هدف در صورت عدم انجام باروری ابرها تخمین زده می‌شود.

$$Y = ax + b \quad [1]$$

در این رابطه؛ Y حجم بارندگی قابل انتظار در منطقه هدف بوده که برای هر ماه از سال برای دوره تاریخی (۳۰ سال) محاسبه می‌شود، X نیز حجم بارش در منطقه کنترل است. در این طرح حجم بارش منطقه هدف به عنوان متغیر وابسته و بارش منطقه کنترل به عنوان متغیر مستقل مطرح است.

محاسبه درصد افزایش بارش به منظور تعیین درصد افزایش بارش، حجم بارش قابل انتظار از حجم بارش واقعی کم و بر حجم بارش قابل انتظار تقسیم می‌شود. برای به دست آوردن درصد افزایش بارش در طول ۴ ماه عملیاتی در استان فارس، نخست همه بارش‌های قابل انتظار یا تخمینی در ۴ ماه با هم جمع و از مجموع بارش‌های واقعی در همان ماه‌ها متناظر تفریق گردیده و حاصل آن‌ها بر مجموع بارش قابل انتظار ۴ ماهه تقسیم می‌شود.

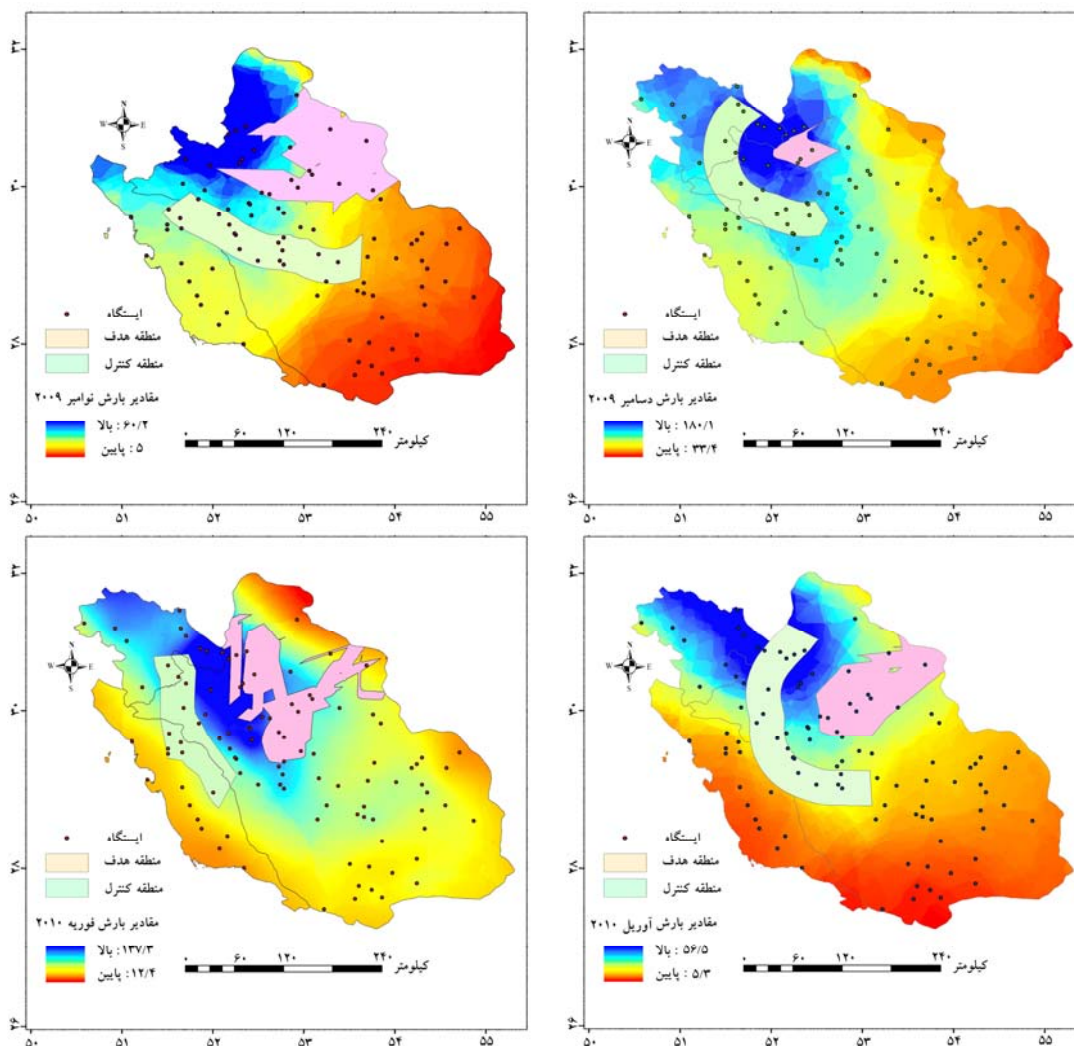
بررسی معنی‌دار بودن نتایج و تعیین فواصل اطمینان در منابع معتبر سطح معنی‌داری نتایج اجرای طرح‌های باروری ابرها، ۹۵٪ تعیین شده است. تعیین فاصله اطمینان در این طرح، بازه تغییرات طبیعی بارش در منطقه هدف است که با استفاده از روش‌های آماری صورت می‌گیرد. برای دستیابی به نقش فواصل اطمینان در معنی‌دار بودن نتایج، می‌توان گفت اگر حجم بارش رخ داده در منطقه هدف یا منطقه تحت تأثیر مواد باروری بالاتر از فاصله پیش‌بینی باشد، به این معنی است که

۲۰۰۹، فوریه ۲۰۱۰ و آوریل ۲۰۱۰ منطقه‌های هدف و کنترل به همراه پراکنش نسبتاً مناسب ایستگاه‌های هواشناسی استان فارس در شکل ۲ ارائه شده است. همبستگی میانگین بارش بلندمدت برای دوره آماری ۳۴ ساله (۲۰۱۰-۱۹۷۷) به ترتیب برای ماه‌های نوامبر، دسامبر، فوریه و آوریل در دو منطقه هدف و کنترل در شکل‌های مذکور، میزان همبستگی بارش در هر چهار ماه نوامبر، دسامبر، فوریه و آوریل بین دو منطقه مذکور بیش از ۸۰٪ و ضریب تبیین آن ۰/۹۰ بوده که این عدد نشان دهنده همبستگی بالای دو منطقه هدف و کنترل از نظر بارش است.

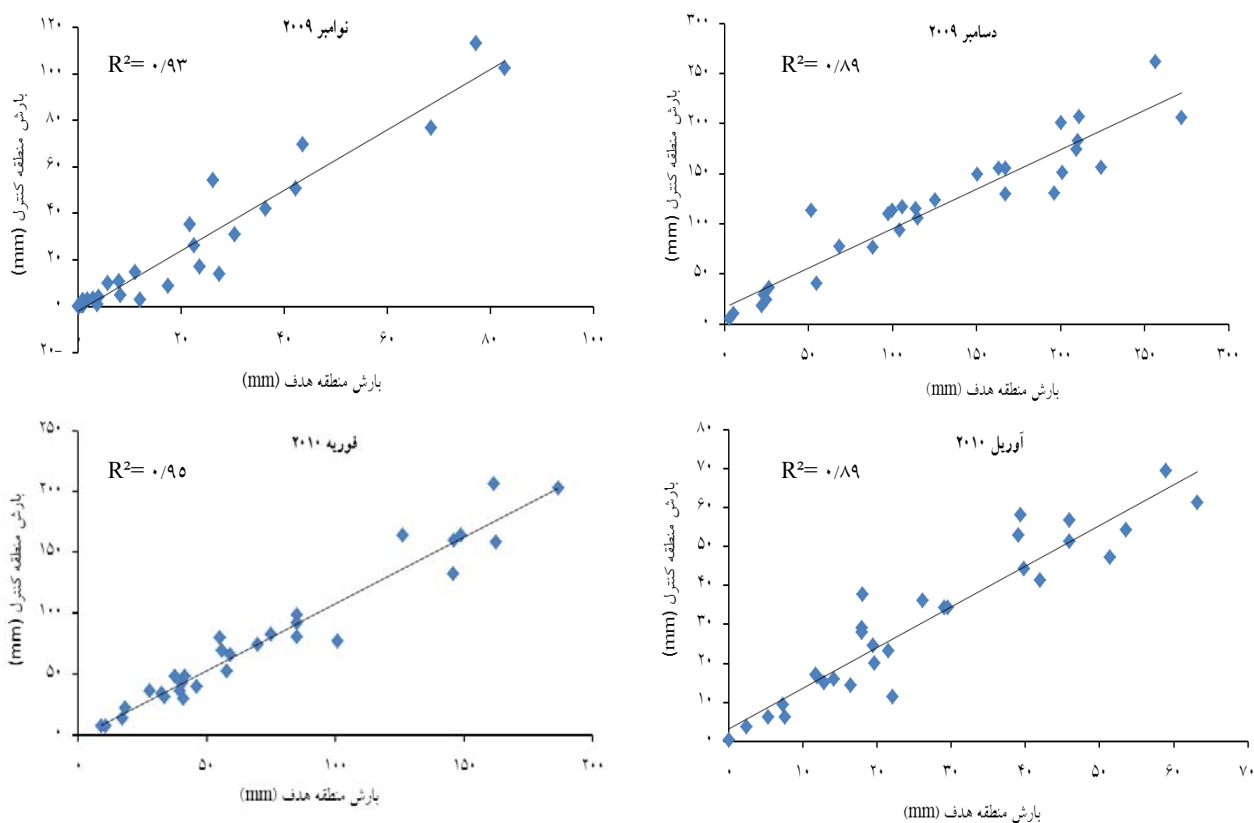
افزایش بارش به دست آمده با فاصله اطمینان ۹۵٪ ناشی از اجرای طرح باروری ابرها است. اگر حجم بارش واقعی کمتر از بازه پایینی این فاصله پیش‌بینی باشد، یعنی اجرای طرح در سطح اطمینان ۹۵٪ باعث کاهش بارش شده است و اگر درون فاصله اطمینان قرار داشته باشد، نمی‌توان قضاوت نمود که این افزایش بارش ناشی از باروری بوده است؛ به عبارت دیگر نمی‌توان در مورد آن اظهارنظر نمود و می‌توان آن را از محاسبات حذف کرد.

نتایج و بحث

تغییرات بارش مربوط به ماه‌های نوامبر ۲۰۰۹، دسامبر



شکل ۲. تغییرات بارش منطقه هدف و کنترل در منطقه مورد مطالعه (۲۰۰۹-۲۰۱۰)



شکل ۳. همبستگی میانگین بارش بلند مدت (۲۰۱۰-۱۹۷۷) در دو منطقه هدف و کنترل

دست آمده از همبستگی بین منطقه هدف و کنترل ۲۳۱۶۴۱۵/۵ هزار متر مکعب است. با توجه به حجم بارش واقعی ۲۶۶۳۳۵۰/۴ هزار مترمکعب در دوره چهار ماهه در سال آبی ۲۰۱۰-۲۰۰۹، حجم بارش استحصالی از باروری ابرها در این دوره ۳۴۶۹۳۴/۹ هزار متر مکعب است که نشان دهنده این است که استان فارس در این دوره مذکور، حدود ۱۵٪ افزایش بارش در اثر بارورسازی ابرها داشته است.

نتایج تجزیه واریانس حجم بارش منطقه هدف و منطقه کنترل برای دوره چهار ماهه نوامبر، دسامبر، فوریه و آوریل ۲۰۱۰ - ۲۰۰۹ از نظر آماری معنی دار است ($p < 0.05$). نتایج افزایش حجم و درصد افزایش آب استحصالی در دوره چهار ماهه طرح باروری ابرها (سال آبی ۲۰۱۰-۲۰۰۹) در استان فارس به علت بارورسازی ابر در جدول ۱ ارائه شده است. حجم بارش قابل انتظار در استان فارس با توجه به رابطه به

جدول ۱. ارزیابی نتایج طرح باروری ابرها در استان فارس در دوره چهار ماهه سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۰۹

حجم بارش قابل انتظار ^a	حجم بارش واقعی	بارش استحصالی از باروری	درصد افزایش بارش
۲۳۱۶۴۱۵/۵	۲۶۶۳۳۵۰/۴	۳۴۶۹۳۴/۹	۱۴/۹

^a حجم بارش بر حسب هزار متر مکعب

همکاران (۲۱ و ۲۲) در داکوتای شمالی، افزایش ۶٪ بارش را جهت تولید گندم و نیز کاهش ۴۵٪ میزان خسارات حاصل از تگرگ را نشان داد. در طرح بارورسازی ابرها در حوزه

در صورتی که عملیات بارورسازی ابرها در یک منطقه به طور صحیح طراحی و اجرا شود می‌تواند میزان بارش را در حدود ۵-۱۵٪ افزایش دهد (۶ و ۱۱). مطالعات اسمیت و

- مهندسی آبخیزداری ایران. دانشگاه صنعتی اصفهان. ۷ الی ۸ اردیبهشت ماه.
۳. مرکز ملی تحقیقات و مطالعات باروری ابرها مرکز یزد. ۱۳۸۹. گزارش اجرای پروژه‌های باروری ابرها در سال آبی ۱۳۸۹-۱۳۸۸ در منطقه ایران مرکزی و اردبیل، ۱۵۰ صفحه.
۴. مرکز ملی تحقیقات و مطالعات باروری ابرها مرکز یزد. ۱۳۸۹. گزارش طرح‌های ارزیابی عملیات باورسازی ابرها در یزد (۱۳۷۷-۱۳۷۸)، گیلان (۱۳۷۷-۱۳۷۸) و فلات مرکزی ایران (۱۳۸۷-۱۳۸۸)، آرشیو گزارش های مرکز ملی تحقیقات و مطالعات بارور سازی ابرها. ۱۷۷ صفحه.
5. Acharya A, Piechota TC, Stephen H, Tootle G. 2011. Modeled streamflow response under cloud seeding in the North Platte River watershed. *Journal of Hydrology*, 409(1): 305-314.
6. Alexandrov V, Genev M. 2003. Climate variability and change impact on water resources in Bulgaria. *European Water*, 1(2): 25-30.
7. Barker R. 2009. North American Interstate Weather Modification Council (NAIWMC) News: Idaho Power's cloud seeding efforts keep water flowing over dams and may save you money. *Idaho Statesman*, Retrieved from <http://www.idahostatesman.com>
8. Changnon SA, Czys RR, Scott RW, Westcott NE. 1991. Illinois precipitation research: a focus on cloud and precipitation modification. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 72(5): 587-604.
9. Changnon SA. 1974. A review of methods to evaluate precipitation modification in North American Stanley Atmospheric Sciences Section, Illinois State Water Survey Urbana, Illinois. WMO Weather Modification p 397-422(SEE N 75-25408 16-47).
10. Finnegan W, Pitter R. 1993. Planned and inadvertent weather modification. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 73: 331-337.
11. Garstang M, Brintjes R, Serafin R, Orville H. 2005. Weather modification: Finding common ground. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 86(5): 647-655.
12. Griffith DA, Solak ME, Yorty DP, Brinkman B. 2007. A Level II weather modification feasibility study for winter snowpack augmentation in the salt river and Wyoming

رودخانه آپر اسنک در آیداهو حدود ۷٪ افزایش میزان بارش گزارش شده است (۷). در نتیجه اجرای طرح باروری ابرها در ایالت تگزاس با استفاده از دید نقره، مقدار بارش بیشتر از دو برابر شده بود (۱۷).

ارزیابی طرح‌های باروری ابرها در کشورهای مختلف نشان می‌دهد که میزان بارندگی در اثر اجرای این طرح‌ها بین ۵ تا ۲۰ درصد در مناطق غیر ساحلی و ۵ تا ۳۰ درصد در مناطق ساحلی افزایش یافته است. بررسی برنامه‌های اجرا شده بارورسازی ابرها در مناطق مختلف دنیا به وسیله گرفت و سولاک (۱۴)، روزنفلد و وودلی (۱۷)، چانگنون و همکاران (۸ و ۹)، آچاریا و همکاران (۵)، هاگینز (۱۵)، ریان و همکاران (۱۸)، شیواجیرائو (۲۰)، نشان می‌دهد که در بیشتر موارد یک بازخورد مثبتی برای افزایش میزان بارش وجود دارد.

نتایج این تحقیق، افزایش بارش و حجم آب استحصالی در اثر باروری ابرها را در دوره چهار ماهه سال آبی ۲۰۱۰ - ۲۰۰۹ در استان فارس را نشان می‌دهد. می‌توان نتیجه گرفت که با استفاده از فناوری نوین باروری ابرها می‌توان به ذخایر منابع آب حوزه‌های آبخیز به ویژه در مناطق خشک، کمک شایانی نمود و تأثیر مخرب ناشی از خشک‌سالی را کاهش داد. در این راستا پیشنهاد می‌شود با انجام مطالعه و ارزیابی‌های لازم، نسبت به اجرای طرح‌های بارورسازی ابر در حوزه‌های آبخیز مناطق خشک کشور جهت کاهش مشکل کمبود آب و خشک‌سالی در آن‌ها، اقدام نمود.

منابع مورد استفاده

۱. پورمحمدی، س. ۱۳۸۹. افزایش استحصال آب در حوضه آبریز گاوخونی به کمک تکنیک باورسازی ابرها. دومین همایش معضلات آبخیزداری و ارائه راه‌حل‌های مناسب در حوزه‌های آبخیز کارون و زاینده‌رود. مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری. ۱۸-۱۹ اسفند ماه، شهر کرد.
۲. پورمحمدی، س. ۱۳۹۰. بارورسازی ابرها، تکنیک نوینی جهت کاهش اثرات خشک‌سالی و تغییرات اقلیمی (مطالعه موردی حوضه آبریز گاوخونی). هفتمین همایش ملی علوم و

2005. Weather modification for precipitation augmentation and its potential usefulness to the Colorado River Basin States. A report for Metropolitan Water District of Southern California. 51 pp.
19. Schaefer VJ. 1946. The production of ice crystals in a cloud of supercooled water droplets. *Science*, 104(2707): 457-459.
 20. Shivaji Rao T. 2005. *Distributors Cloud Seeding for India: The Book Syndicate, Opp. Central Bank of India, Bank Street, Hyderabad - 500 095, India.*
 21. Smith PL, Johnson LR, Priegnitz DL, Boe BA, Mielke Jr PW. 1997. An exploratory analysis of crop hail insurance data for evidence of cloud seeding effects in North Dakota. *Journal of Applied Meteorology*, 36(5): 463-473.
 22. Smith PL, Johnson LR, Priegnitz DL, Mielke Jr PW. 1992. A target-control analysis of wheat yield data for the North Dakota cloud modification project region. *The Journal of Weather Modification*, 24(1): 98-105.
 - Ranges in Wyoming. *The Journal of Weather Modification*, 39(1): 76-83.
 13. Griffith DA, Solak ME, Yorty DP. 2009. 30⁺ winter seasons of operational cloud seeding in Utah. *The Journal of Weather Modification*, 41(1): 23-37.
 14. Griffith DA, Solak ME. 2002. Economic feasibility assessment of winter cloud seeding in the Boise River drainage, Idaho. *The Journal of Weather Modification*, 34(1): 39-46.
 15. Huggins AW. 2007. Another wintertime cloud seeding case study with strong evidence of seeding effects. *The Journal of Weather Modification*, 39(1): 9-36.
 16. Manton MJ. 2007. Evaluation of the Impacts of Cloud Seeding, School of Mathematical Sciences. Australian Cloud Seeding Research Symposium, Monash University, Melbourne, Australia. May 7-9.
 17. Rosenfeld D, Woodley WL. 1989. Effects of cloud seeding in west Texas. *Journal of Applied Meteorology*, 28(10): 1050-1080.
 18. Ryan T, Busto J, Huggins AW, Hunter SM.



Assessment of clouds seeding project in increasing of water harvesting in the Fars province using remote sensing and geographic information system techniques

M. Olumi Majumerd¹, M. Zare^{2*}, S. Pourmohammadi³

1. MSc. of Arid Land and Desert Management, Yazd University

2. Assis. Prof. College of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University

3. Phd. of Watershed Management Engineering, National Center of Research and Study on Clouds Seeding Projects, Yazd

ARTICLE INFO

Article history:

Received 13 June 2015

Accepted 26 January 2016

Available online 20 August 2016

Keywords:

Arid lands

Water resources management

Clouds seeding

Precipitation

Fars

ABSTRACT

Drought and climate change phenomena have severe negative impacts on natural vegetation and agricultural section in Central Iran during the last decades. Cloud seeding is one of the efficient methods to reduce the effects of climate change. The purpose of this study was to investigate the effect of clouds seeding on rainfall in Fars province. November, December, February and April months in the water year of 2010-2009, selected as the prone month of precipitation in Iran, were evaluated cloud seeding projects in Fars province. Historical regression was used to evaluate the cloud seeding project. In the first step, raster monthly precipitation maps for each month of year in the period was 34 years (1977-2010) were plotted using the Kriging method to measure rainfall amounts of each year. Then, the volume of precipitation in April, February, January, and November in the target area stations were calculated and used as a dependent variable. Next, precipitation time series for each month of the period of 1977-2010 in the control area stations were calculated and entered into the regression as independent variables. Correlation between the volume of rainfall in both regions (target and control) were analyzed. Then, expected rainfall in the region was estimated and its confidence was determined using statistical methods. Comparing expected and actual rainfall, percentage of changes in precipitation due to clouds seeding in Fars province were determined. Results showed an increase of about 15% in precipitation in Fars province during the four months of the water year of 2009-2010.

* Corresponding author e-mail address: mzernani@yazd.ac.ir

