ارزیابی اقتصادی استحصال آب باران به کمک فناوری باروری ابرها (مطالعه موردی: استان همدان)

سمانه پورمحمدی[۱] مرتضی خلیلی[۲]

۱-دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری موسسه تحقیقات آب ایران و محقق مرکز ملی تحقیقات و مطالعات باروری ابرها

۲- کارشناس ارشد هواشناسی و رهبر عملیات مرکز ملی تحقیقات و مطالعات باروری ابرها

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۲

تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۳

چکیده

با وجود این که نزدیک به ۷۰ درصد از سطح زمین را آب فرا گرفته است ولی «بحران آب» در بسیاری از کشورهای جهان از جمله کشورهای واقع در کمربند خشک زمین مثل ایران، روز به روز ابعاد پیچیده‌تری به خود می‌گیرد. تغییر اقلیم و مدیریت ناصحیح منابع آب از عوامل تاثیرگذار بر بحران آب در کشور می‌باشد. در این میان استفاده از روش‌های مختلف استحصال آب باران و استفاده بهینه از آن یکی از راهکارهای سازگاری با اثرات سوء تغییر اقلیم می‌باشد. فناوری باروری ابرها از جمله راهکارهای افزایش استحصال آب باران و در واقع افزایش و مدیریت منابع آب جوی می‌باشد که سال‌های متمادی است که در سطح بین المللی استفاده شده و در کشور ایران سابقه‌ای ۱۸ ساله دارد. از سوی دیگر بحث اقتصادی بودن و مقرون به صرفه بودن استحصال آب نیز امر ضروری و مهمی می‌باشد. بنابراین هدف از تحقیق حاضر بررسی هزینه تمام شده هر متر مکعب آب استحصالی به کمک فناوری بارورسازی ابرها می‌باشد. به این منظور دو سناریوی ۱۰ و ۲۰ درصدی افزایش بارش برای حوضه‌های آبخیز استان همدان در نظر گرفته شد و با استفاده از ضریب رواناب حوضه آبخیز و هزینه‌های جاری و سرمایه‌ای اجرای پروژه‌های بارورسازی ابرها، هزینه تمام شده یک متر مکعب آب استحصالی برآورد شد. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که به ازای هر متر مکعب آب استحصالی ناشی از بارورسازی ابرها تحت سناریوی ۱۰٪ و ۲۰٪ به ترتیب ۲۷۸ و ۱۸۶ ریال هزینه خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: استحصال آب، باروری ابرها، ارزیابی اقتصادی، استان همدان، خشکسالی

مقدمه

یکی از راه‌کارهای مقابله با کاهش آب‌های سطحی و زیر زمینی و کاهش اثرات خشکسالی، استحصال آب از طریق تکنیک بارورسازی ابرها می‌باشد. در این روش با بارورسازی مصنوعی ابر، انتظار می‌رود که افزایشی در حدود ۲۰- ۱۵ درصد در بارش منطقه ایجاد شود. باروری ابرها[۲] که به عنوان شاخه‌ای از علم تعدیل آب و هوا[۳] شناخته می‌شود، 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 است. بارورسازی ابر در ایران قدمتی ۱۷ ساله دارد و تاکنون موفق به اجرای عملیات بارورسازی ابر در استان‌های ایران مرکزی، گیلان، اردبیل، قم، مرکزی، زنجان و آذربایجان غربی و شرقی شده و به طور متوسط باعث افزایش ۵ تا ۴۰ درصدی افزایش بارش در این مناطق گردیده است. باروری ابرها در دنیا قدمتی طولانی دارد، در این میان کشورهای ایالات متحده آمریکا، استرالیا، چین، روسیه در این زمینه پیشتاز بوده به طوری که برخی از کشورهای پیشرفته از سال ۱۹۴۷ از این فن‌آوری برای افزایش استحصال آب باران استفاده می‌کنند. در ارتباط با تاثیری که بارورسازی ابر به طور مستقیم و غیر مستقیم بر روی حوضه‌های آبخیز می‌گذارد تحقیقات زیادی انجام شده است که به عنوان نمونه در تحقیقی که (Silverman, 2010) بر روی ۱۱ پروژه بارورسازی ابر در ایالت سریانودا آمریکا انجام داده است به بررسی اثرات بارورسازی ابر از سال ۱۹۵۱ تا ۲۰۰۷ بر

[1] نویسنده مسئول: سمانه پورمحمدی s.poormohammadi@yahoo.com

[2] Cloud Seeding

[3] Weather Modification

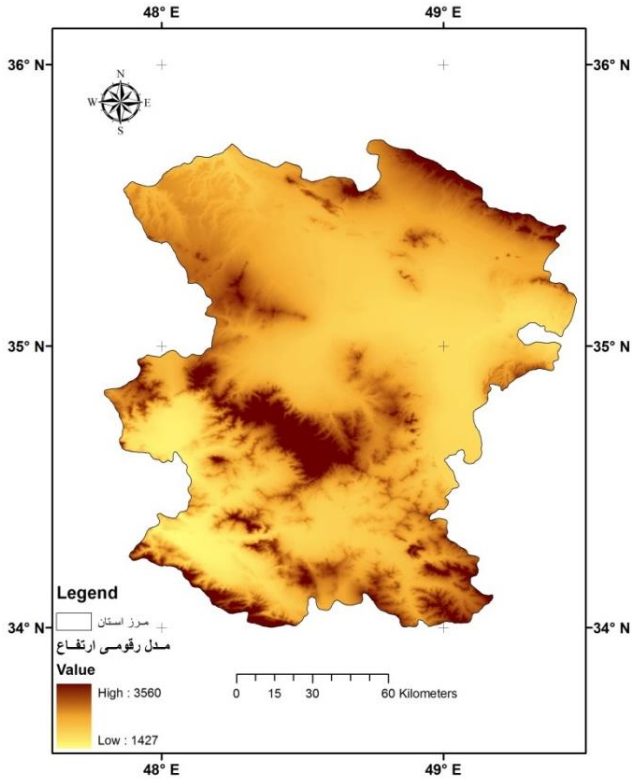
روی افزایش رواناب در ۱۱ حوضه آبخیز این ایالت پرداخته و به این نتجه رسیده است که عملیات بارورسازی ابر در افزایش رواناب در ۶ حوضه آبخیز در این ایالت اثر بسیار مطلوبی داشته است. در تحقیق دیگری که اخیرا توسط Acharya et al. (2011) صورت گرفته به بررسی اثر بارورسازی ابر در افزایش رواناب حوضه آبخیز پلت شمالی در آمریکا پرداخته شده است. این تحقیق به این نکته اشاره دارد که در اثر افزایش خشکسالی‌ها استفاده از عملیات بارورسازی ابر در این منطقه افزایش یافته است. و افزایش آب رودخانه و کاهش دوره‌های خشکسالی از نتایج اجرای پروژه‌های بارورسازی ابر در این حوضه می‌باشد. در این تحقیق از یک مدل هیدرولوژیکی جهت ارزیابی اثرات بارورسازی ابر بر افزایش رواناب رودخانه استفاده شده است و نهایتا افزایش ۰/۳ تا ۱/۵ درصدی آب رودخانه در اثر بارورسازی ابر نتیجه این تحقیق می‌باشد. Pourmohammadi et al. (2011)، با بررسی ارزیابی اثر بارورسازی ابر در ایران به چالش‌های موجود در اثر بارورسازی ابر در ایران پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد کمبود آمار و نداشتن منطقه هدف و کنترل ثابت یکی از مشکلات اساسی ارزیابی پروژه‌های بارورسازی ابرها در ایران است. در تحقیقی دیگر پورمحمدی و گلکار (۱۳۹۲) به ارزیابی اقتصادی پروژه‌های بارورسازی ابر در حوضه آبریز رفسنجان پرداختند نتایج نشان داد استحصال آب به کمک فن بارورسازی ابرها می‌تواند جهت کشت پسته در این منطقه مقرون به صرفه باشد. طی تحقیق صورت گرفته توسط پورمحمدی و جوادیان‌زاده (۱۳۹۳) مشخص شد که در اثر اجرای پروژه بارورسازی ابر در حوضه آبریز طشک-بختگان، ۱۱٪ به منابع آب این حوضه در سال آبی ۸۹-۸۸ افزوده شده است. پورمحمدی و رحیمیان (۱۳۹۲) نیز به بررسی اثر بارورسازی ابر بر کشت گندم دیم استان خوزستان پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که باروری ابرها می‌تواند باعث افزایش عملکرد محصول گندم دیم در استان شود. علومی و همکاران (۱۳۹۳) اثر بارورسازی ابر بر پوشش طبیعی استان فارس را بررسی نمودند. نتایج نشان داد که بارورسازی ابر باعث افزایش ۸٪ پوشش طبیعی منطقه شده است. مطالعات انجام شده در نقاط مختلف دنیا نشان از بالا بودن نسبت سود به هزینه استحصال آب ناشی از اجرای پروژه بارورسازی ابرها دارد. به طوری که درحوضه رودخانه کلرادو آمریکا برای افزایش تولید برق آبی، نسبت سود به هزینه ۱۳ به ۱ و برای افزایش ۲ تا ۹٪ رواناب این نسبت ۶۱ به ۱ ذکر گردیده است (Andersen, 2006). این در حالیست که نسبت سود به هزینه باروری در فصل تابستان از دید کمک به اقتصاد کشاورزی در داکوتای شمالی ۴۰ به ۱ گزارش شده است (Shivaji, 2005). همچنین در آنالیز انجام شده برنامه بارورسازی تابستانه در کشور هندوراس، این نسبت ۲۳/۵ به ۱ محاسبه گردید (Hunter, 2007). در موارد مشابه در کشور هند نسبت سود به هزینه در منطقه پونه با افزایش ۲۰٪ بارش ابرهای گرم ۶۰ به ۱ می‌باشد (Hunter, 2007). عملیات بارورسازی ابرها، نه تنها دارای نسبت سود به هزینه بالا می‌باشد بلکه نسبت به سایر پروژه‌های استحصال آب نیز مقرون به صرفه‌تر است. به عنوان مثال طبق مطالعات انجام شده در کشور آمریکا، هزینه استحصال ۱۰۰۰ مترمکعب آب، به واسطه احداث سد ۱۱۰ دلار، تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی ۲۳۰ دلار، انتقال بین حوضه‌ای ۴۰۰ دلار، تصفیه فاضلاب‌ها ۲۲۰ دلار و شیرین کردن آب‌های شور ۲۰۰۰ دلار برآورد گردیده است. این در حالیست که هزینه استحصال ۱۰۰۰ مترمکعب آب از طریق بارورسازی ابرها در این مطالعه، تنها ۳ دلار برآورد گردیده که بسیار مقرون به صرفه‌تر از دیگر پروژه‌های استحصال آب است (Andersen, 2006). ارزیابی اقتصادی پروژه‌های بارورسازی ابر در حوضه آبریز کوهدشت و رومیشگان استان لرستان نیز نشان از اقتصادی بودن پروژه بارورسازی ابرها در تامین و استحصال آب مورد نیاز این حوضه آبریز داشت (پورمحمدی و همکاران ۱۳۹۳). هدف از تحقیق حاضر ارزیابی اقتصادی اجرای پروژه‌های بارورسازی ابرها در استحصال آب باران در استان همدان می‌باشد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مطالعاتی

استان همدان در شمال‌غرب کشور با آب و هوایی سرد و نیمه خشک واقع شده است. با توجه به پستی و بلندی‌های زیاد، دشت‌ها، مناطق کوهستانی، قله‌های مرتفع، رودخانه‌ها، چشمه سارها، مزارع، اشجار و سرآب‌های

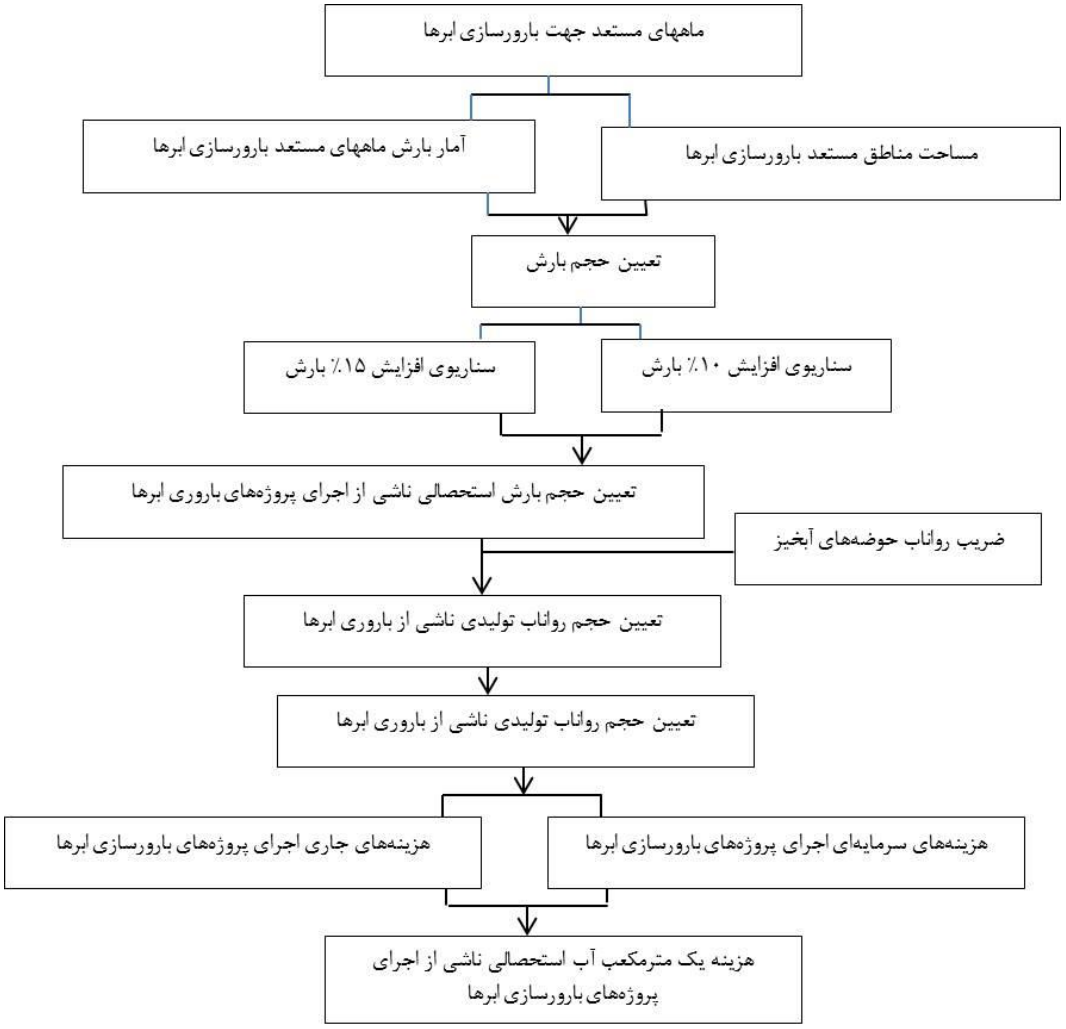
متعدد، آب و هوای استان همدان متغیر است و معمولاً دارای زمستان‌های سرد و پر برف و تابستان‌های معتدل و ییلاقی است و به طور کلی در دره‌های شمالی کوه الوند و شمال استان سردتر و جنوب استان ملایم‌تر است. مناطق مرتفع استان، آب و هوای سرد کوهستانی دارد و مناطق جنوبی آن، ملایر و نهاوند، دارای آب و هوای معتدل کوهستانی است. در شکل ۱ محدوده استان همدان بر روی نقشه توپوگرافی نمایش داده شده است.



شکل (۱): نقشه توپوگرافی استان همدان

روش تحقیق

در ابتدا حجم بارش منطقه هدف باروری ابرها در ماه‌های مستعد جهت اجرای پروژه تعیین گردید. با توجه به منابع معتبر جهانی افزایش بارش در اثر باروی ابرها ۱۰ تا ۱۵ درصد می‌باشد (Silverman, 2010) و همچنین تجربه ۸ ساله اجرای عملیات بارورسازی ابر در مرکز ملی تحقیقات و مطالعات باروری ابرها نیز همین امر را نشان داده است لذا به منظور بررسی قیمت تمام شده استحصال آب با استاده از بارورسازی ابر در منطقه هدف استان همدان دو سناریو برای افزایش بارش در نظر گرفته شد. در سناریوی اول فرض می‌شود باروری ابرها در استان همدان باعث ۱۰٪ افزایش بارش می‌شود و در سناریوی دوم فرض ۱۵٪ افزایش بارش در نظر گرفته خواهد شد. پس از محاسبه حجم بارش استحصالی ناشی از بارورسازی ابرها در منطقه هدف (منطقه‌ای که تحت تاثیر مواد بارورسازی ابرها واقع شده است)، با استفاده از ضریب رواناب حوضه‌های آبخیز، حجم رواناب تولیدی در اثر بارورسازی ابرها محاسبه گردید. در گام بعدی با استفاده از هزینه‌های سرمایه‌ای اجرای پروژه‌های بارورسازی ابرها و هزینه‌های جاری (شامل مواد باروری، هزینه‌های پرسنلی، سوخت هواپیما و ...)، هزینه تمام شده هر متر مکعب آب استحصالی از اجرای پروژه بارورسازی ابرها محاسبه گردید. در نهایت به تحلیلی از مزایایی استفاده از فناوری باروری ابرها بر منابع طبیعی و حوضه‌های آبخیز پرداخته شد (شکل ۲). لازم به ذکر است جهت تعیین زمان و مکان مستعد بارورسازی ابرها از طرح تحقیقاتی که در این زمینه صورت گرفته بود استفاده گردید (۱۳۹۴).



شکل (۲): روندنمای تحقیق

نتایج و بحث

در جدول (۱) حجم بارش ماه‌های انتخابی جهت بارورسازی ابر در استان همدان نشان داده شده است. بیشترین حجم بارش منطقه هدف بارورسازی ابر در استان همدان در ماه مارس به میزان ۲۳۷۸/۱ میلیون متر مکعب و کمترین میزان بارش مربوط به ماه ژانویه با میزان ۱۶۳۸/۵ میلیون متر مکعب می‌باشد. در جدول (۱) حجم بارش ماه‌های انتخابی جهت بارورسازی ابر در استان همدان نشان داده شده است. بیشترین حجم بارش منطقه هدف بارورسازی ابر در استان همدان در ماه مارس به میزان ۲۳۷۸/۱ میلیون متر مکعب و کمترین میزان بارش مربوط به ماه ژانویه با میزان ۱۶۳۸/۵ میلیون متر مکعب می‌باشد.

جدول (۱): حجم کل بارش ماه‌های انتخابی در منطقه هدف استان همدان (میلیون متر مکعب)

حجم بارش	ژانویه	فوریه	مارس	نوامبر	دسامبر
مقدار	۱۶۳۸/۵	۱۸۵۸/۱	**۲۳۷۸/۱**	۱۶۶۲/۵	۱۹۳۸

جدول (۲) حجم بارش استحصالی ناشی از بارورسازی ابر با احتمال افزایش۱۰٪ و ۱۵٪ بارش در منطقه هدف استان همدان را نشان می‌دهد. بیشترین میزان افزایش حجم در استان همدان مربوط به ماه مارس به میزان ۲۳۷/۸ میلیون متر مکعب با فرض ۱۰٪ افزایش بارش و ۳۵۶/۴ میلیون متر مکعب با فرض ۱۵٪ افزایش بارش بوده است.

کمترین میزان حجم بارش افزایش یافته مربوط به ماه ژانویه به میزان ۱۶۳/۸۵میلیون متر مکعب با فرض ۱۰٪ افزایش بارش و ۲۴۵/۷ میلیون متر مکعب با فرض ۱۵٪ افزایش بارش می‌باشد.

جدول (۲): حجم بارش استحصالی ناشی از بارورسازی ابر با احتساب افزایش ۱۰٪ و ۱۵٪ بارش هدف استان همدان (میلیون متر مکعب)

درصد افزایش بارش	ژانویه	فوریه	مارس	نوامبر	دسامبر
٪۱۰	۱۶۳/۸۵	۱۸۵/۸۱	**۲۳۷/۸**	۱۶۶/۲۵	۱۹۳/۸
٪۱۵	۲۴۵/۷	۲۷۸/۷	**۳۵۶/۴**	۲۴۹/۳	۲۹۰/۷

با توجه به گزارشات بیلان استان همدان، محاسبات انجام شده برای تعیین ضریب رواناب در دشت‌های استان که به صورت متوسط وزنی انجام شده است، ضریب رواناب ۱۲٪ برای استان به دست آمد (۱۳۹۴). جدول (۳) حجم رواناب استحصالی ناشی از بارورسازی ابر در منطقه مورد مطالعه تحت دو سناریوی ۱۰٪ و ۱۵٪ افزایش بارش را نشان می‌دهد بیشترین میزان حجم رواناب تولیدی ناشی از بارورسازی ابر در منطقه هدف استان همدان مربوط به ماه مارس بوده که تحت سناریوی ۱ به میزان ۲۸/۵ میلیون مترمکعب و تحت سناریوی ۲ به میزان ۴۲/۷۶ میلیون مترمکعب می‌باشد و کمترین میزان آن مربوط به ماه ژانویه به میزان ۱۹ /۶میلیون مترمکعب در سناریوی ۱ و ۲۹/۴ میلیون مترمکعب در سناریوی ۲ می‌باشد.

جدول (۳): حجم رواناب استحصالی ناشی از بارورسازی ابر در منطقه هدف استان همدان (میلیون متر مکعب)

درصد افزایش بارش	ژانویه	فوریه	مارس	نوامبر	دسامبر
٪۱۰	۱۹/۶	۲۲/۲	۲۸/۵	۱۹/۹	۲۳/۲
٪۱۵	۲۹/۴	۳۳/۴	۴۲/۷۶	۲۹/۹	۳۴/۸

ارزیابی اقتصادی پروژه بارورسازی ابر در استان همدان

جدول (۴) محاسبات اقتصادی افزایش استحصال آب به کمک تکنیک بارورسازی ابر در استان همدان را نشان می‌دهد.

جدول (۴): محاسبات اقتصادی افزایش استحصال آب به کمک تکنیک بارورسازی ابر در استان همدان

ردیف	شرح	واحد	٪۱۰	٪۱۵
۱	هزینه سرمایه‌ای باروری هوایی	میلیون ریال	۱۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰
۲	مدت اجرا	ماه	۵	۵
۳	هزینه هر ماه عملیات هوایی	میلیون ریال	۶۳۰۰	۶۳۰۰
۴	هزینه جاری باروری هوایی در هر سال	میلیون ریال	۳۱۵۰۰	۳۱۵۰۰
۵	حجم بارش حوضه در ماه‌های عملیاتی	میلیون متر مکعب	۹۴۷۳	۱۴۲۰۸
۶	حجم بارش اضافه شده در اثر باروری ابرها	میلیون متر مکعب	۹۴۷	۲۱۳۱
۷	ضریب رواناب	درصد	٪۱۲	٪۱۲
۸	حجم رواناب تولید شده	میلیون متر مکعب	۱۱۳	۲۵۶
۹	جمع هزینه سالیانه استهلاک سرمایه	میلیون ریال	۱۵۹۷۶	۱۵۹۷۶
۱۰	جمع هزینه جاری	میلیون ریال	۳۱۵۰۰	۳۱۵۰۰
۱۱	جمع هزینه‌های سرمایه‌ای و جاری	میلیون ریال	۴۷۴۷۶	۴۷۴۷۶
هزینه تمام شده هر متر مکعب	-	ریال	۲۷۸	۱۸۶

این محاسبات بر پایه هزینه‌های استفاده از هواپیما در منطقه هدف استان همدان محاسبه شده است. در این محاسبات فرض افزایش ۱۰٪ و ۱۵٪ بارش برای ۵ ماه مستعد بارورسازی در سال بوده است. کل حجم رواناب تولیدی ناشی از بارورسازی ابر طی این ۵ ماه در اثر افزایش ۱۰٪ در مجموع ۱۱۳ میلیون مترمکعب و در اثر افزایش ۱۵٪ در مجموع ۲۵۶ میلیون مترمکعب می‌باشد. هزینه تمام شده به ازای یک مترمکعب رواناب تولیدی به کمک بارورسازی ابر در منطقه هدف استان همدان ۲۷۸ ریال تحت سناریوی ۱ و ۱۸۶ ریال تحت سناریوی ۲ خواهد بود. لازم به ذکر است در برآورد اقتصادی این مطالعه نرخ تنزیل ۱۵٪ با فرض دوره طرح ۲۰ ساله در نظر گرفته شده است.

بررسی نتایج اثرات عملیات باروری ابرها بر منابع طبیعی

با توجه به نتایج بیان شده در بالا و بررسی احتمال افزایش بارش در اثر بارورسازی ابر می‌توان اثرات آن بر منابع طبیعی و کشاورزی منطقه را بررسی و تجزیه و تحلیل نمود. قطعا افزایش بارش در یک حوضه آبریز تمام جنبه‌های مدیریتی، اکولوژیکی و اقتصادی-اجتماعی را تحت تاثیر خود قرار می‌دهد. افزایش بارش بر منابع آب سطحی و زیرزمینی تاثیر به سزایی خواهد داشت به طوری که بررسی‌های اولیه هیدرواقلیمی منطقه نشان داد که خشکسالی‌های اخیر باعث کم شدن آب رودخانه، چشمه و قنوات و کاهش سطح آب زیرزمینی در استان همدان شده است. با توجه به دو سناریوی افزایش ۱۰٪ و ۱۵٪ بارش که بر اثر بارورسازی ابر در منطقه هدف استان همدان صورت می‌گیرد و افزایش ۱۱۳ و ۲۵۶ میلیون مترمکعبی افزایش منابع آب در منطقه هدف استان، می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که با استفاده مداوم از این تکنیک می‌توان تا حدودی مشکلات منابع آب سطحی و زیرزمینی را در بلند مدت مرتفع نمود. از طرفی با افزایش منابع آب سطحی و زیرزمینی، کشاورزی استان نیز تحت تاثیر قرار خواهد گرفت و با توجه به کشاورزی گسترده دیم و آبی در استان همدان، بارورسازی ابر می‌تواند در رونق گرفتن و توسعه پایدار کشاورزی و امنیت غذایی در منطقه موثر باشد. در دید کلی شیوه زندگی مردم روستایی و عشایر استان همدان نیز می‌تواند تحت تاثیر افزایش بارش ناشی از بارورسازی ابرها قرار گیرد. بنابراین بارورسازی ابر ابعاد اقتصادی- اجتماعی ساکنین روستایی و عشایر استان همدان را نیز تحت تاثیر قرار داده و باعث رونق کسب و کار در روستاها و کاهش مهاجرت به شهر و خالی شدن روستاها از سکنه می‌شود. موضوع مطرح دیگر در منابع طبیعی و محیط زیست آلودگی هوا ناشی از صنایع، کارخانجات و ریزگردهای ورودی از کشورهای همسایه می‌باشد، بارورسازی ابر در این زمینه نیز با افزایش مقدار و تعدد بارش می‌تواند در کاهش آلودگی هوا نیز نقش موثر و جامعی را ایفا نماید.

نتیجه‌گیری

بنا بر نتایج تحقیق صورت گرفته می‌توان گفت که بارورسازی ابر می‌تواند تمام ابعاد اکولوژیکی، اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی استان همدان را تحت تاثیر قرار دهد. پیشنهاد می‌شود که ابعاد تاثیرات بارورسازی ابر بر منابع طبیعی و کشاورزی در استان همدان به صورت گسترده‌ای مورد تحقیق قرار گیرد چرا که بارورسازی ابر می‌تواند بر مدیریت بهنیه و توسعه پایدار منابع آب و کشاورزی استان همدان تاثیر به سزایی داشته باشد.

تقدیر و تشکر

این تحقیق برگرفته از طرح مطالعاتی با عنوان "مطالعات امکان‌سنجی و اجرای پروازهای شناسائی بارورسازی بر روی سامانه‌های ابرناکی استان همدان" تصویب شده در شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان همدان می‌باشد و از آقایان مهدی زربو، محمد شجاعی، علی فلاحی و خانم‌ها، بهاره باستانفر و وحیده خطیبی که در این طرح همکاری داشته‌اند کمال تشکر را داریم.

منابع

۱- پورمحمدی، س.، جوادیان‌زاده، م.م. و ف. گلکار (۱۳۹۳). بررسی افزایش منابع آب به کمک فناوری باروری ابرها و برآورد اقتصادی آن در حوضه آبریز کوهدشت و رومیشگان، مجله بین المللی-پژوهشی منابع آب و توسعه، شماره۱، ص۸۱-۹۰.

۲- پورمحمدی، س. (۱۳۹۰). بارورسازی ابرها، تکنیک نوینی جهت کاهش اثرات خشکسالی و تغییرات اقلیمی (مطالعه موردی حوضه آبریز گاو خونی)، مجموعه مقالات هفتمین همایش ملّی علوم و مهندسی آبخیزداری، گروه مهندسی مرتع و آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی دانشگاه صنعتی اصفهان

۳- پورمحمدی، س. (۱۳۹۱). مدیریت منابع آب به کمک پروژه‌های بارورسازی ابر (مطالعه موردی: ایران مرکزی، سال آبی ۸۸-۸۹)، هشتمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه لرستان

۴- پورمحمدی، س. (۱۳۸۹). افزایش استحصال آب در حوضه آبخیز گاوخونی به کمک تکنیک بارورسازی ابرها، مجموعه مقالات دومین همایش معضلات آبخیزداری در حوضه‌های آبخیز کارون و زاینده‌رود، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری.

۵- پورمحمدی، س. و م.ح. رحیمیان (۱۳۹۳). ارزیابی اثرات تغییر اقلیم و بارورسازی ابرها بر عملکرد گندم دیم (مطالعه موردی: استان خوزستان)، دومین کنفرانس ملی تغییر اقلیم و امنیت غذایی، اصفهان.

۶- پورمحمدی، س. و م.ح. جوادیان‌زاده (۱۳۹۳). ارزیابی تأثیر بارورسازی ابر بر میزان بارش در حوضه‌های آب‌ریز ایران در سال آبی ۸۹-۸۸ (مطالعه موردی: حوضه‌های آب‌ریز بختگان- طشک و گاوخونی)، فصلنامه پژوهشی بین المللی منابع آب و توسعه

۷- پورمحمدی، س. و ف. گلکار (۱۳۹۲). برآورد اقتصادی افزایش منابع آب به کمک فن‌آوری باروری ابرها در حوضه آبریز رفسنجان، پنجمین کنفرانس منابع آب ایران، دانشگاه شهید بهشتی.

۸- علومی، م.، م. زارع و س. پورمحمدی (۱۳۹۳). اثر بارورسازی ابر در پوشش گیاهی طبیعی در استان فارس توسط سنجش از دور، پذیرش شده، مجله علمی پژوهشی کاربرد سنجش از دور منابع طبیعی

۹- مرادی، ن.، ع. طالبی و س. پورمحمدی (۱۳۹۲). بررسی اثرات تکنیک بارورسازی ابر بر خشکسالی هواشناسی، اولین همایش ملی الکترونیکی کشاورزی و منابع طبیعی پایدار.

۱۰- مؤسسه تحقیقات آب (مرکز ملی تحقیقات و مطالعات باروری ابرها) (۱۳۸۹-۱۳۸۸). برآورد هزینه تمام شده آب استحصالی از اجرای عملیات باروری ابرها در سال آبی، کتابخانه اسناد ملی باروری ابرها.

11- American Society of Civil Engineers, 1801 Alexander Bell Drive, Reston, VA 20191 USA, *(2006). "Guidelines for Cloud Seeding to Augment Precipitation"*, Second Edition, ISBN: 078440819X.

12- 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*.

13- Acharya A., Piechota T., Stephena H. And Tootle G. *(2011). Modeled streamflow response under cloud seeding in the North Platte River watershed*, Journal of Hydrology *409 (2011) 305–314*.

14- Hunter S.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, *CEC-500-2007-008.*

15- Shivaji R.T. *(2005). Cloud Seeding For India*, Author: Publisher: T. Lavanya Lata Distributors :THE BOOK SYNDICATE, Opp. Central Bank of India, Bank Street, Hyderabad - *500 095*, India, First Edition.

16- Silverman B.A. *(2010). An evaluation of eleven operational cloud seeding programs in the watersheds of the sierra Nevada Mountains*. Atmospheric Research97 *526–539).*

Economical Evaluation of Rain Water Harvesting with Cloud Seeding Technology (Case Study: Hamedan Province)

Poormohammadi S., Khalili M.
Email: s.poormohammadi@yahoo.com
Received: 2016/02
Accepted: 2016/06

Abstract

About 70 percent of earth's surface is covered with water, but "water crisis" in many countries increasingly takes on more complex dimensions. The crisis is more sensible in countries located in the arid belt of the earth especially Iran. Climate change and mismanagement of water resources are the factors affecting water crisis. The use of different methods for efficient use of rain water and water harvesting, is one of the ways to compatibility with the effects of the climate change. Cloud seeding technology is one of the ways to increase water harvesting rain and atmospheric water resource management, which has been used for many years at international level, and it has a 18-year history in Iran. On the other hand, the economic feasibility and cost-effectiveness of water harvesting is also necessary and important. The aim of this study is to determine the unit cost of each cubic meter of water extracted with the help of cloud seeding technology. For this purpose, two scenarios of 10 and 20 percent of the increase in rainfall for the watersheds of Hamadan employed in, and cost of one cubic meter water obtained using the runoff coefficient and operating costs of cloud seeding projects. The results show that for every cubic meter of water extracted from cloud seeding under the scenario of 10% and 20%, 278 and 186 Rials will cost respectively.

Keyword: Water harvesting, Cloud seeding, Economical evaluation, Hamedan province, Drought