

مقدمه

کمبود منابع آب یکی از مهم ترین چالش های روز جهان به ویژه کشور ما ایران است. مدیریت نامناسب منابع آب های سطحی و زیرزمینی و در کنار آن خشک سالی های اخیر و تغییر اقلیم موجب بحران آب در کشور شده است. سدهای مهم کشور که تأمین کننده آب شرب، کشاورزی و صنایع هستند با محدودیت و افت شدید سطح تراز روبه رو شده اند. در این میان استفاده از روش های تعدیل وضع هوا به منظور استحصال و مدیریت منابع آب جوی می تواند یکی از راهکارهای مؤثر در تأمین آب کشور باشد. بیش از ۷۰ سال است که بسیاری از کشورهای پیشرفته جهان از فناوری باروری ابرها در تأمین منابع آب شرب، کشاورزی و تولید برق استفاده می کنند و تاکنون نتایج قابل قبول و مؤثری گرفته اند به طوری که روزبه روز در حال گسترش و پیشرفت آن هستند. در کشور ایران نیز اولین فعالیت باروری آب ها به منظور افزایش بارش و تأمین آب سد کرج در سال ۱۳۵۴ انجام شد در آن زمان از زراتورهای زمینی برای عملیات باروری ابرها در ارتفاعات حوضه آبریز کرج و جاجرود استفاده شد [۱۵]. هم اکنون انجام پروژه های بارورسازی ابرها در کشور به طور فعال صورت می پذیرد و هدف اصلی آن تأمین منابع آب سدهای مهم و بزرگ می باشد. در زمینه پروژه های موفق تعدیل وضع هوا و نتایج آن برافزایش منابع آب در خارج و داخل کشور تحقیقات زیادی انجام شده است که در زیر به تعدادی از آن ها اشاره می شود. در غرب تگزاس عملیات باروری ابرها به طور پیوسته ۲۰ سال است که انجام می شود. بارش این منطقه معمولاً سالانه ۲۰ اینچ باران می باشد، کارشناسان معتقدند در اثر باروری ابرها بارش ۱۰ تا ۱۵ درصد افزایش یافته است. «این مقدار دو تا سه اینچ اضافی است. شاید زیاد به نظر نرسد، اما برای کشاورزان و دامداران منطقه تفاوت زیادی ایجاد می کند. به طوری که باران اضافی در تولید علوفه، پنبه، ذرت، سویا مؤثر و در پرورش گاو بسیار سودآور بود [۶].

یکی از طولانی ترین برنامه های اجرای عملیات باروری ابرها در کلرادو برای تقویت بارش برف در مناطق تفریحی و ورزشی پیست های اسکی انجام شده است، در این ایالت علاوه بر تولید منابع آب از اجرای پروژه های باروری ابرها برای اهداف گردشگری و جذب توریست در بخش های بازی های زمستانه، هم استفاده می کنند [۴].

در ایالت آیداهو آمریکا بیش از ۵۰ سال است که از فناوری باروری ابرها برای ذخیره آب پشت سد برای کشاورزی و از همه

مدیریت منابع آب به کمک روش های تعدیل وضع هوا و اثرات آن بر رواناب حوضه آبریز زاینده رود

سمانه پورمحمدی^۱، محمدحسن رحیمیان^۱

تاریخ دریافت ۱۴۰۱/۰۹/۱۵ تاریخ پذیرش ۱۴۰۱/۱۱/۰۵

چکیده

امروزه مدیریت منابع آب جوی یکی از راهکارهای اجرایی در کاهش اثرات خشک سالی و تغییر اقلیم می باشد. درواقع درون اتمسفر منبع قابل توجهی از آب قابل شرب است که با توجه به محدودیت منابع آب شیرین سطح زمین و از سوی دیگر خشک سالی های طولانی بیش از پیش حائز اهمیت می باشد. هدف از مقاله حاضر بررسی اثرات مدیریت منابع آب جوی بر رواناب ورودی به سد زاینده رود می باشد. به این منظور آمار بارش ۱۰ ایستگاه تأثیرگذار بر سد زاینده رود و حجم رواناب روزانه ورودی به سد در دوره اجرای تعدیل وضع هوا دریافت شد. با استفاده از روش آماری تحلیل عاملی ابتدا رابطه تک تک ایستگاه ها با رواناب ورودی به سد زاینده رود بررسی و بعد از تعیین ایستگاه ها با تأثیرگذاری بیش تر با استفاده از نرم افزار SPSS رابطه بارش همان روز تا ۷ روز تأخیر به صورت ماتریسی با رواناب ورودی به سد زاینده رود مورد بررسی قرار گرفت و نهایتاً میزان تأثیرگذاری عملیات تعدیل وضع هوا در حوضه آبریز زاینده رود (افزایش بارش ۱۴ میلی متر) و آب ورودی به سد برآورد گردید. نتایج نشان داد، در طول دوره آماری مورد بررسی به میزان ۲/۱ میلیون مترمکعب بر حجم آب ورودی به سد زاینده رود در اثر عملیات تعدیل وضع هوا اضافه شده است.

واژه های کلیدی: سد زاینده رود، حجم آب، مدیریت جامع حوزه آبخیز، هیدرولوژی.

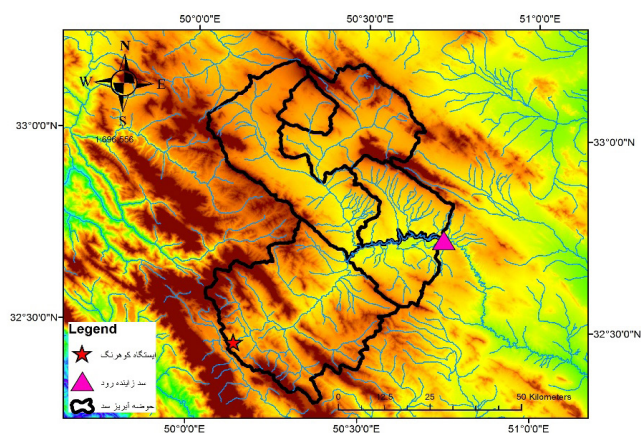
۱- دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری و کارشناس فنی پژوهشی شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران، عضو هیئت علمی مرکز ملی تحقیقات شوری
 * نویسنده مسئول
 Email: s.poormohammadi@gmail.com

مهم‌تر تولید نیروی برقایی و تولید برف استفاده می‌کنند در این ایالت از ژنراتورهای زمینی و هواپیماهای فلز سوز استفاده می‌شود. تخمین زده می‌شود سالانه ۱ میلیون ایکرفوت آب اضافی به میزان حدود ۲ میلیون دلار در سال تولید کند دارد [۵]. در ایالت یوتای ایالت متحده که سابقه‌ی بالای شش سال اجرای پروژه‌های باروری ابرها را دارد از شبکه‌های منظم ژنراتورهای زمینی برای تولید برف در حوضه‌های آبریز استفاده می‌شود. مطابق ارزیابی‌های صورت گرفته از نتایج اجرای پروژه‌های بارورسازی ابرها، نشان داده که باروری ابرها تاکنون توانسته است ۵ تا ۱۵ درصد بر پوشش برفی منطقه اثرگذار باشد دارد [۳ و ۴].

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مطالعاتی

حوضه آبریز زاینده‌رود بزرگ‌ترین و پرآب‌ترین رودخانه فلات مرکزی ایران است. که از کوه‌های زاگرس مرکزی به‌ویژه زردکوه در استان چهارمحال و بختیاری سرچشمه گرفته و در دشت مرکزی ایران به سمت شرق پیش می‌رود تا در نهایت به تالاب گاوخونی می‌ریزد. مساحت حوزه رودخانه زاینده‌رود ۴۱/۵۰۰ کیلومتر مربع است. امروزه حوضه آبریز زاینده‌رود نقش مهم و اساسی در تأمین آب شرب، کشاورزی و صنایع ایران مرکزی دارد. لذا تأمین آب پشت سد زاینده‌رود برای ادامه حیات در ایران مرکزی بسیار حائز اهمیت می‌باشد [۹]. در شکل ۱ نقشه حوضه آبریز زاینده‌رود بر روی نقشه رقومی ارتفاع نمایش داده‌شده است و مکان سد بارنگ بنفش نمایش داده‌شده است.



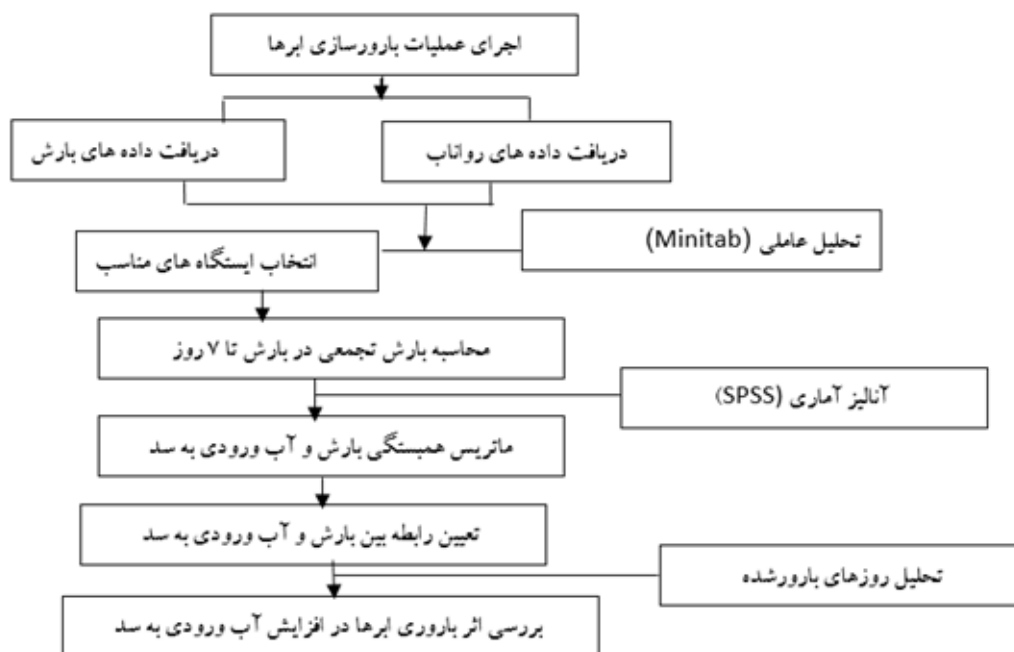
شکل ۱: نقشه حوضه آبریز زاینده‌رود به همراه سد زاینده‌رود

در جدول ۱ نام ایستگاه‌های باران‌سنج مورد مطالعه نمایش داده‌شده است. همان‌گونه که مشخص است در این تحقیق از هفت ایستگاه بارش تأثیرگذار بر حوضه آبریز زاینده‌رود استفاده‌شده است. دو ایستگاه در استان اصفهان و پنج ایستگاه در استان چهارمحال و بختیاری واقع‌شده است. در طول دوره آماری از ۸ آبان تا ۲۳ دی‌ماه ۱۴۰۰ بیش‌ترین میزان بارش مربوط به ایستگاه کوهرنگ با ۶۷ میلی‌متر بارش در استان چهارمحال و بختیاری و کم‌ترین میزان بارش مربوط به ایستگاه نجف‌آباد با ۲۸ میلی‌متر بارش در استان اصفهان می‌باشد.

در یوتا پروژه‌های باروری ابرها با روش هدف/کنترل تاریخی ارزیابی می‌شوند. به‌طور مثال در سال ۲۰۰۹ میزان افزایش بارش ۱۱-۱۵ درصد تخمین زده‌شده است [۱۳]. در تحقیقی که توسط زهرایی و همکاران انجام گرفت به بررسی اثرات بارورسازی ابرها در ایران مرکزی پرداخته شد نتایج نشان داد که با استفاده از دو روش آماری و مدل‌سازی هیدرولوژیکی، باروری ابرها توانسته است ۱۵ درصد بر منابع آب حوضه آبریز اریان مرکز اثرگذار باشد دارد [۱۴]. در تحقیقی که توسط پورمحمدی صورت گرفت به بررسی اثر بارورسازی ابرها بر بارش حوضه آبریز گاوخونی پرداخت. نتایج نشان داد بارورسازی ابر در حوضه آبریز گاوخونی منجر به افزایش ۲۱ درصد بارش در سال آبی ۸۹-۹۰ شده است [۸]. پورمحمدی و همکاران 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 [۹]. در تحقیقی دیگر که توسط پورمحمدی و گلکار صورت گرفت، به ارزیابی اقتصادی پروژه‌های بارورسازی ابر در حوضه آبریز رفسنجان پرداختند، نتایج نشان داد استحصال آب به کمک فن‌آوری بارورسازی ابرها می‌تواند جهت کشت پسته در این منطقه مقرون‌به‌صرفه باشد. طی تحقیق صورت گرفته توسط پورمحمدی و جوادیان‌زاده دارد [۱۰]. در اثر اجرای پروژه بارورسازی ابر در حوضه آبریز طشک-بختگان، ۱۱ درصد به منابع آب این حوضه در سال آبی ۸۸-۸۹ افزوده‌شده است. پورمحمدی و رحیمیان نیز به بررسی اثر بارورسازی ابر برکشت 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 اثر بارورسازی ابر بر پوشش طبیعی استان فارس را بررسی نمودند. نتایج نشان داد که بارورسازی ابر باعث افزایش ۸ درصد پوشش طبیعی منطقه شده است [۹]. همان‌گونه که در نتایج تحقیقات در متن بیان شد اجرای پروژه‌های بارورسازی ابرها می‌تواند بر منابع آب سطحی، زیرزمینی، تأمین انرژی برقایی، پوشش برفی و حتی بر پوشش گیاهی حوضه‌های آبریز تأثیر بسزایی داشته باشد. هدف از تحقیق حاضر بررسی اثرات اجرای

جدول ۱: مشخصات ایستگاه‌های باران‌سنج مورد مطالعه (۸ آبان ماه تا ۲۳ دی ماه ۱۴۰۰)

نام ایستگاه	مجموع بارش (طول دوره مطالعاتی)	نام استان	مختصات		ارتفاع ایستگاه (متر)
			طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	
داران	۱۲۸/۸	اصفهان	۵۰/۳۶	۳۲/۹۶	۲۲۹۰
زرین شهر	۳۶/۴	اصفهان	۵۱/۳۷	۳۲/۳۰	۱۷۱۳
سامان	۱۱۸/۳	چهارمحال و بختیاری	۵۰/۸۰	۳۲/۴۳	۲۰۷۵
فریدون شهر	۱۹۳/۲	اصفهان	۵۰/۱۰	۳۲/۹	۲۴۹۰
کوه‌رنگ	۴۶۷/۶	چهارمحال و بختیاری	۵۰/۱۳	۳۲/۴۶	۲۳۶۵
مبارکه	۳۰/۶	اصفهان	۵۱/۴	۳۲/۳	۱۶۸۰
نجف‌آباد	۲۸/۱	اصفهان	۵۱/۳	۳۲/۶	۱۶۳۶



شکل ۲: فلوچارت مراحل تحقیق

روش تحقیق

در این تحقیق به بررسی اثر و نقش اجرای پروژه‌های بارورسازی ابرها بر افزایش حجم آب پشت سد زاینده‌رود پرداخته می‌شود. به این منظور پس از اجرای عملیات بارورسازی ابرها در پاییز و زمستان ۱۴۰۰ در دوره زمانی ۸ آبان ماه تا ۲۳ دی‌ماه آنالیزهای مربوط به اثربخشی بر بارش حوزه آبخیز صورت گرفت. در ابتدا ایستگاه‌های اثرگذار در بالادست حوزه آبریز زاینده‌رود شناسایی گردیدند. بر اساس آمار بارش موجود و داده‌های حجم آب پشت سد زاینده‌رود، با فن تحلیل عاملی (پارامتر بارش و رطوبت نسبی) از مجموع ۱۰ ایستگاه اثرگذار هفت ایستگاه که اثرات بیش‌تری بر بارش منطقه داشتند انتخاب شد. سپس با هفت ستون بارش تجمعی همان روز و تا ۷ روز ماتریس ضرایب همبستگی در نرم‌افزار SPSS آنالیز و مورد بررسی قرار گرفت.

عملیات باروری ابرها: پروژه بارورسازی ابرها در سال آبی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ در استان چهارمحال و بختیاری، غرب استان اصفهان

و در محدوده حوضه آبریز زاینده‌رود باهدف افزایش آب ورودی به سد زاینده‌رود انجام شد.

با توجه به اینکه بارورسازی ابر صرفاً برای افزایش بارش در ابرهای مستعد دارای قابلیت است و نه ایجاد ابر و بارش، اجرای عملیات بارورسازی ابر در زمان‌هایی که احتمال رخداد بارش بود انجام شد و به افزایش بارش حوضه آبخیز زاینده‌رود کمک کرد. از آنجایی‌که محاسبه میزان افزایش بارش بر اثر باروری ابرها کاری پیچیده و زمان‌بر است، لذا در این تحقیق با تکیه بر سوابق و تجربیات اجرای پروژه افزایش بارش در کشور و همچنین تجربیات موفق خارج از کشور اقدام به برآورد تقریبی از میزان احتمالی بارش اضافی حاصل از عملیات بارورسازی ابرها در منطقه‌ای متمرکز در حوزه آبریز زاینده‌رود گردید. با این فرضیه بسته به شرایط اقلیمی و هواشناسی، افزایش بارش ناشی از اجرای پروژه‌های بارورسازی ابرها در محدوده عملیاتی، حدود ۱۵ درصد به‌صورت میانگین در نظر گرفته شد.

تحلیل خوشه‌ای

به منظور بررسی معنی دار بودن رابطه بین ایستگاه‌های باران‌سنج موجود در محدوده مطالعاتی از روش آنالیز خوشه‌ای استفاده شد تا ایستگاه‌هایی که کم‌ترین ارتباط را باهم دارند از محاسبات حذف شوند. ممکن است ایستگاه باران‌سنج با توجه به شرایط محلی و ویژگی‌های اوروگرافی و توپوگرافی تفاوت فاحشی با ایستگاه‌های اطراف خود داشته باشد که به طور مثال می‌تواند خطای زیادی در محاسبات رابطه بارش و حجم ورودی به سد ایجاد کند. بنابراین حذف این گونه ایستگاه‌ها دقت مدل کالیبره شده را افزایش می‌دهد.

ماتریس ضریب همبستگی

منظور از همبستگی بین دو متغیر، اندازه‌گیری میزان پیش‌بینی مقدارهای یکی بر اساس دیگری است. به این معنی که هر چه ضریب همبستگی بیش‌تر باشد، امکان پیش‌بینی مقدار یکی از متغیرها برحسب دیگری بیش‌تر است.

ضریب همبستگی پیرسون و اسپیرمن بین دو مقدار ۱ و ۱- قرار دارند. به این ترتیب اگر ضریب همبستگی، مقداری نزدیک یا برابر با ۱ باشد، رابطه شدید و هم‌جهت بین دو متغیر وجود دارد. در این حالت می‌توان گفت که جهت تغییرات هر دو متغیر شبیه یکدیگر است. به این معنی که با افزایش یکی، دیگری نیز افزایش می‌یابد. این ارتباط بر اساس کاهش نیز وجود دارد، یعنی اگر یکی از متغیرها کاهش یابد، دیگری نیز کاهش خواهد یافت. در این حالت می‌گویند بین دو متغیر رابطه مستقیم وجود دارد. برعکس اگر ضریب همبستگی، مقداری نزدیک یا برابر با ۱-

باشد، رابطه شدید ولی در جهت عکس بین متغیرها وجود دارد. بنابراین با افزایش یکی، دیگری کاهش خواهد یافت ولی هم‌چنان امکان پیش‌بینی وجود دارد. چنین حالتی را رابطه معکوس (Inverse) گویند. اگر ضریب همبستگی پیرسون، مقداری نزدیک صفر شود، مشخص می‌شود که رابطه خطی بین دو متغیر وجود ندارد. در مقابل اگر این ضریب مقداری نزدیک یا برابر با ۱ یا ۱- باشد، وجود رابطه شدید خطی بین دو متغیر تأیید خواهد شد. اگر محاسبه ضریب همبستگی بر اساس یک نمونه تصادفی صورت گیرد، بهتر است که برای ارزیابی نتیجه حاصل‌شده، از یک آزمون آماری استفاده کرد.

در ضریب همبستگی رتبه‌های اسپیرمن نیز مانند ضریب همبستگی خطی پیرسون، مقداری بین ۱ و ۱- دارد. به این ترتیب مقدار ۱ نشان‌دهنده انطباق کامل بین رتبه‌ها و مقدار ۱- نیز انطباق معکوس بین رتبه‌ها را نشان می‌دهد. در این تحقیق هم ماتریس همبستگی بین بارش تک‌تک ایستگاه‌ها و حجم آب ورودی به سد ایجاد شد و با توجه به ضریب تبیین به‌دست‌آمده بهترین رابطه بین بارش و حجم آب ورودی به سد تعیین گردید.

نتایج

در جدول ۲ ماتریس ضریب همبستگی (r) بین حجم رواناب ورودی به پشت سد و بارندگی روزانه ایستگاه‌های هواشناسی در حوزه زاینده‌رود نشان داده‌شده است. همان‌گونه که در جدول نشان داده‌شده است بالاترین رابطه ایجادشده بین بارش و حجم آب ورودی به سد زاینده‌رود، ۱۱ درصد می‌باشد که مربوط به ایستگاه مبارکه می‌باشد.

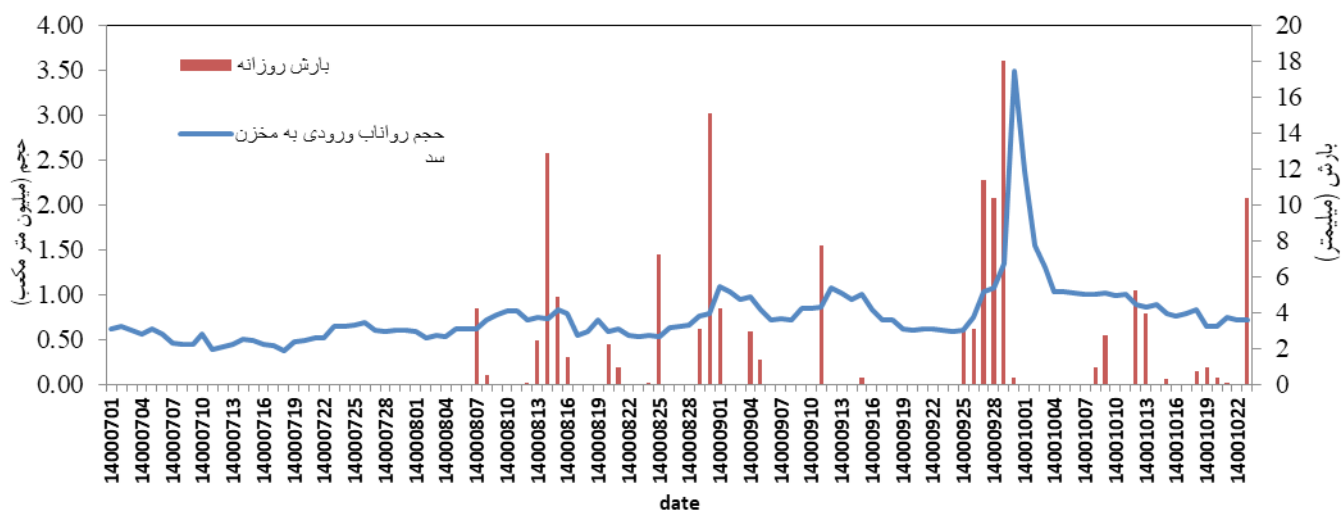
جدول ۲: ماتریس ضریب همبستگی (r) بین حجم رواناب ورودی به پشت سد و بارندگی روزانه ایستگاه‌های هواشناسی در حوزه زاینده‌رود

پارامتر	V_in	daran	zarrinsh	saman	fereydoo	koohrang	mobarake	najafaba	average
V_in	1	-0.02 ^{ns}	0.07 ^{ns}	0.07 ^{ns}	-0.02 ^{ns}	0.088 ^{ns}	0.112 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.055 ^{ns}
daran		1	0.706 ^{**}	0.721 ^{**}	0.632 ^{**}	0.270 [*]	0.569 ^{**}	0.454 ^{**}	0.741 ^{**}
zarrinsh			1	0.830 ^{**}	0.159 ^{ns}	0.325 ^{**}	0.908 ^{**}	0.741 ^{**}	0.671 ^{**}
saman				1	0.249 [*]	0.585 ^{**}	0.599 ^{**}	0.653 ^{**}	0.807 ^{**}
fereydoo					1	0.422 ^{**}	0.165 ^{ns}	0.064 ^{ns}	0.672 ^{**}
koohrang						1	0.248 [*]	0.270 [*]	0.825 ^{**}
mobarake							1	0.581 ^{**}	0.570 ^{**}
najafaba								1	0.509 ^{**}
average									1

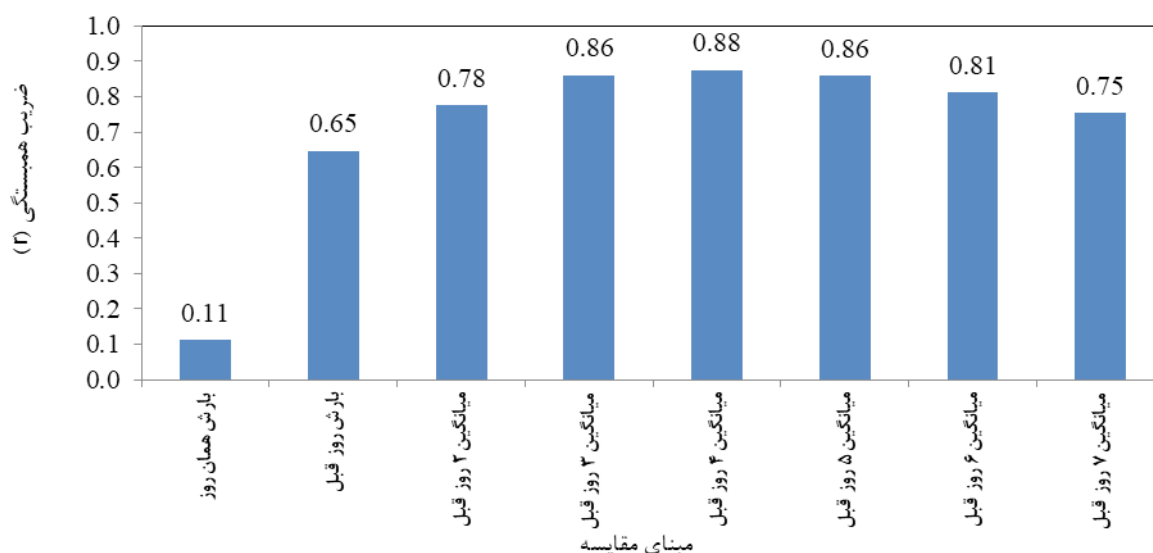
** معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد

* معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد

^{ns} غیر معنی‌دار بودن ضریب همبستگی



شکل ۳: تغییرات روزانه حجم رواناب ورودی به پشت مخزن سد (میلیون مترمکعب) و میانگین بارش در حوضه زاینده‌رود (میلی‌متر)



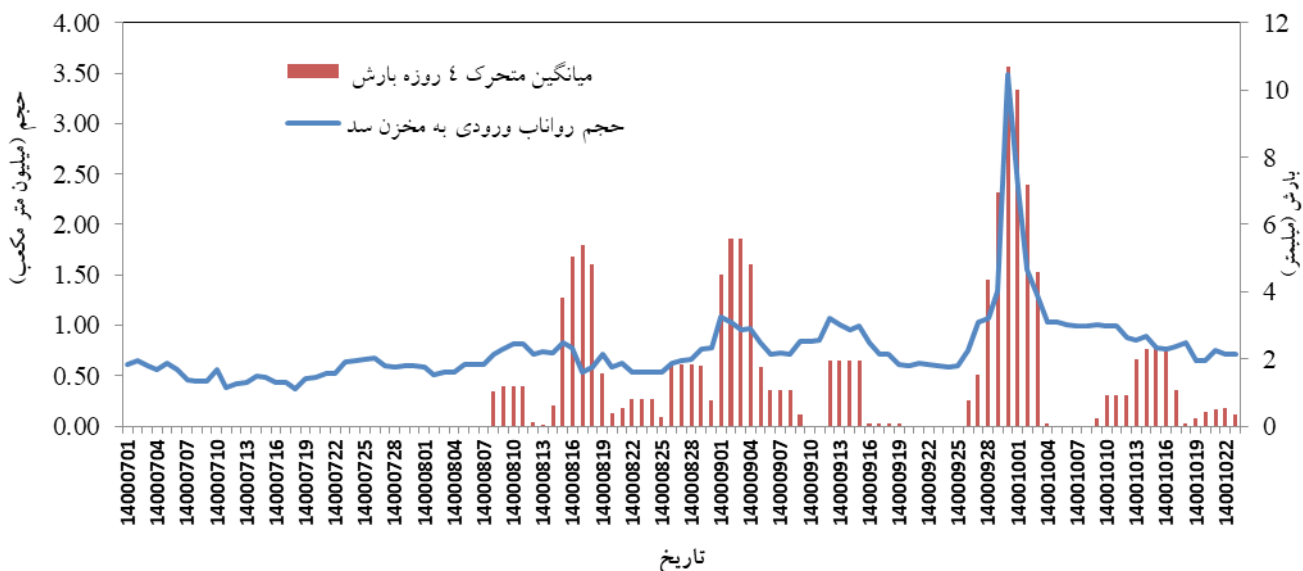
شکل ۴: تغییرات ضریب همبستگی (r) بین مقادیر حجم رواناب ورودی به پشت مخزن سد و میانگین متحرک وزنی بارندگی‌های حوضه زاینده‌رود

افزایش می‌دهد و بعد از آن به‌طور پلکانی این همبستگی کاهش می‌یابد. به‌طور وضوح در این نمودار مشخص است که میانگین بارش تجمعی ۴ روزه در بالادست حوضه ارتباط قابل‌قبول ۸۸ درصد با حجم آب پشت سد دارد.

در شکل ۵ تغییرات روزانه حجم رواناب ورودی به پشت مخزن سد (میلیون مترمکعب) و میانگین بارش متحرک ۴ روزه حوضه زاینده‌رود (میلی‌متر) نمایش داده‌شده است. انطباق پیک حجم ورودی به مخزن با بارش بالادست حوضه آبریز زاینده‌رود کاملاً مشهود می‌باشد و نشان می‌دهد حجم ورودی به سد تا ۴ روز می‌تواند تحت تأثیر بارش بالادست حوضه آبریز زاینده‌رود باشد.

در شکل ۳ تغییرات روزانه حجم رواناب ورودی به پشت مخزن سد (میلیون مترمکعب) و میانگین بارش در حوضه زاینده‌رود (میلی‌متر) در همان روز مشاهده می‌شود همان‌طور که در نمودار مشخص می‌باشد ورود آب به سد نسبت به فرایند بارش با تاخیراتی همراه می‌باشد که این تأخیر در دبی پیک ورودی به سد در این دوره که در تاریخ ۱ دی‌ماه اتفاق افتاده است به‌وضوح مشاهده می‌شود.

شکل ۴ تغییرات ضریب همبستگی (r) بین مقادیر حجم رواناب ورودی به پشت مخزن سد و میانگین متحرک وزنی بارندگی‌های حوضه زاینده‌رود را نمایش می‌دهد. جالب‌توجه اینکه بارش تجمعی تا ۴ روز به‌طور صعودی رابطه بارش و حجم آب پشت سد را



شکل ۵: تغییرات روزانه حجم رواناب ورودی به پشت مخزن سد (میلیون مترمکعب) و میانگین بارش متحرک ۴ روزه حوضه زایندهرود (میلی متر)

جدول ۳: معادلات به دست آمده برای شبیه سازی حجم رواناب ورودی به پشت مخزن سد (V_{in}) بر اساس میانگین متحرک وزنی بارش ها (R) در حوضه زایندهرود

مبنای مقایسه	معادله مربوطه	r	R^2
بارش همان روز	$V_{in} = 0.0021 \cdot R^2 - 0.0216 \cdot R + 0.8451$	0.11 ^{ns}	0.01 ^{ns}
بارش روز قبل	$V_{in} = 0.0091 \cdot R^2 - 0.0626 \cdot R + 0.8084$	0.65*	0.42*
میانگین ۲ روز قبل	$V_{in} = 0.0164 \cdot R^2 - 0.0795 \cdot R + 0.7892$	0.78**	0.60**
میانگین ۳ روز قبل	$V_{in} = 0.0202 \cdot R^2 - 0.0719 \cdot R + 0.7757$	0.86**	0.74**
میانگین ۴ روز قبل	$V_{in} = 0.0265 \cdot R^2 - 0.0788 \cdot R + 0.7682$	0.88**	0.77**
میانگین ۵ روز قبل	$V_{in} = 0.0331 \cdot R^2 - 0.0888 \cdot R + 0.7664$	0.86**	0.74**
میانگین ۶ روز قبل	$V_{in} = 0.0404 \cdot R^2 - 0.1032 \cdot R + 0.7688$	0.81**	0.66**
میانگین ۷ روز قبل	$V_{in} = 0.0466 \cdot R^2 - 0.1103 \cdot R + 0.768$	0.75**	0.57**

** معنی داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد

* معنی داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد

^{ns} غیر معنی دار بودن ضریب همبستگی

این مفهوم که میانگین متحرک ۴ روزه بارش ایستگاه های بالادست حوضه آبریز زایندهرود با حجم آب ورودی به سد بهترین رابطه را دارد.

شکل ۶ معادله رگرسیونی به دست آمده برای شبیه سازی حجم رواناب ورودی به پشت مخزن سد بر اساس میانگین متحرک ۴ روزه بارندگی در حوضه زایندهرود را نشان می دهد همان طور که مشخص است رابطه کاملاً غیرخطی می باشد.

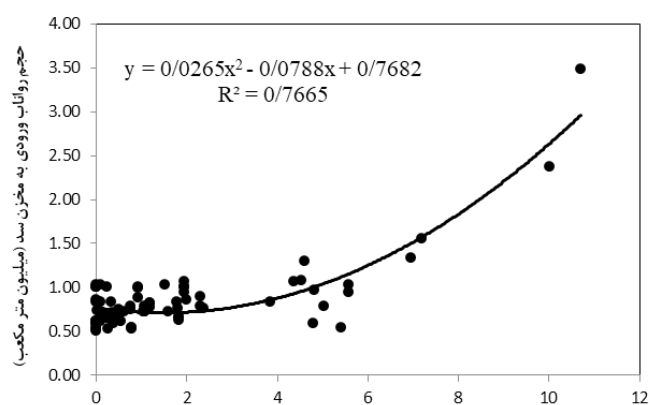
جدول ۳ معادلات به دست آمده برای شبیه سازی حجم رواناب ورودی به پشت مخزن سد (V_{in}) بر اساس میانگین متحرک وزنی بارش ها (R) در حوضه زایندهرود را نمایش می دهد. در جدول زیر معادلات مربوط به میانگین بارش متحرک از همان روز تا ۷ روز قبل به همراه ضریب تعیین و همبستگی مشاهده می شود. همان گونه که در جدول آورده شده است بیش ترین میزان همبستگی مربوط به میانگین متحرک روز چهارم است که ضریب R ، ۰/۸۸ می باشد. به

میانگین بارندگی (mm)	سهم بارندگی ناشی از باروری ابرها (mm)	کل حجم رواناب ورودی به مخزن سد (MCM)	سهم رواناب ناشی از باروری ابرها (MCM)	درصد رواناب ناشی از باروری ابرها (درصد)
۱۴۳	۱۴/۳	۶۹/۹	۲/۱	۳ درصد

به‌عنوان یکی از راهکارهای تأمین آب و تعدیل شرایط تغییر اقلیم و خشک‌سالی در سطح بین‌المللی استفاده می‌شود [۲، ۸ و ۱]. اخیراً کشورهای آسیایی به‌ویژه خاورمیانه با استفاده از این فناوری بخشی از آب موردنیاز خود را تأمین می‌کنند و همان‌طور که در این مقاله نیز اشاره شد این فناوری بر منابع آب سطحی و آب ورودی به سد مؤثر خواهد بود که در تحقیق که توسط پورمحمدی و گلکار و تحقیقات صورت گرفته در ایالت آیداهو و وایومینگ ایالات‌متحده صورت گرفته هم‌خوانی دارد [۶ و ۷]. نکته قابل‌توجه استفاده از این فناوری در شرایط مناسب و مساعد بارش در ماه‌ها و سال‌های ترسال می‌باشد که بر منابع آب سطحی و زیرزمینی حوضه بسیار مؤثرتر خواهد بود و برای اثربخشی پایدار نیاز به تداوم و اجرای آن طی سال‌های متمادی به‌ویژه در زمان‌های ترسالی دارد تا بتوان در زمان خشک‌سالی از آب استحصال‌شده در زمان ترسالی استفاده کرد. همان‌طور که نتایج این تحقیق هم نشان داد افزایش بارش ناشی از بارورسازی ابرها می‌تواند اثرات مثبتی بر رواناب حوضه‌های آبریز دارد؛ که با نتایج اثبات‌شده بین‌المللی مانند تحقیقات چالسانگ و همکاران [۲]، پورمحمدی و همکاران [۸] و بویو و همکاران [۱] هم‌خوانی دارد؛ اما این‌که در دوره آماری مطالعاتی، ۱۴ میلی‌متر افزایش بارش توانسته است تنها سه درصد بر منابع آب رودی به سد تأثیرگذار باشد از نتایج قابل‌توجه و علمی است که نیاز به تحقیقات بیش‌تری در این زمینه دارد چراکه ممکن است تداوم اجرای عملیات باروری ابرها در حوضه آبریز زاینده‌رود و استفاده از فرصت‌های بیش‌تر باروری ابرها بتواند راندمان اجرای پروژه را افزایش دهد. البته نتایج حاضر با توجه به ویژگی‌های هیدرولوژیکی و فیزیوگرافی حوضه، در هر حوضه آبریز نتایج متفاوتی را ایجاد نماید. درمجموع تحقیق حاضر رابطه بارش ایستگاه‌های بالادست و رواناب ورودی به سد زاینده‌رود را نشان داد که با توجه به پیچیدگی‌های طبیعی حوضه‌های آبخیز و دخالت‌های انسانی متعدد در بالادست سد، می‌تواند در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی و توسعه پایدار حوضه آبخیز سد مؤثر باشد. تمام این موارد عدم قطعیت‌هایی است که بایستی در ادامه تحقیقات مدنظر قرار گیرد و در حوضه‌های آبریز با شرایط متفاوت راستی آزمایی شود.

منابع

1. Bu-Yo, K., Wan Cha, J., A-Reum Ko. 2020. Woonseon Jung 1 and Jong-Chul Ha, Analysis of



میانگین متحرک بارندگی ۴ روزه در منطقه مطالعاتی (میلی‌متر)

شکل ۶: معادله رگرسیونی به‌دست‌آمده برای شبیه‌سازی حجم رواناب ورودی به پشت مخزن سد بر اساس میانگین متحرک ۴ روزه بارندگی در حوزه زاینده‌رود

با در نظر گرفتن رابطه بین بارش‌های ایستگاه‌های بالادست سد زاینده‌رود و حجم آب ورودی به سد، در دوره آماری موردنظر سهم اثر باروری ابرها بر حجم آب رودی به سد زاینده‌رود مورد تخمین زده شد. بر اساس نتایج حاصل‌شده سهم بارش ناشی از اجرای پروژه‌های باروری ابرها ۱۴/۳ میلی‌متر بوده است که حدود سه درصد یعنی معادل ۲/۱ میلیون مترمکعب آب به حجم آب ورودی به سد زاینده‌رود در این دوره آماری اضافه نموده است.

نتیجه‌گیری

به علت وسعت به نسبت زیاد حوضه آبریز زاینده‌رود، تأثیر از بارش ایستگاه‌های متعدد بالادست، می‌تواند تا ۴ روز باشد به این معنی که زمان ورود بارش در بالادست حوضه آبریز به سد زاینده‌رود با تأخیر چهار روزه همراه است به‌طوری‌که بارش تجمعی چهار روزه بهترین میزان همبستگی را با حجم آب ورودی به سد داده است. از سوی دیگر عملیات بارورسازی ابرها به‌عنوان یکی از راه‌های تعدیل وضع هوا و مدیریت منابع آب جوی می‌تواند حدود ۱۵ درصد بر بارش حوضه آبریز زاینده‌رود در طول دوره آماری و تا ۳ درصد به‌صورت خالص بر حجم آب ورودی به سد زاینده‌رود مؤثر باشد. لذا اجرای عملیات پیوسته تعدیل وضع هوا در حوضه آبریز زاینده‌رود تا حدی می‌تواند برافزایش منابع آب حوضه آبریز زاینده‌رود مؤثر باشد. استفاده از فناوری باروری ابرها

Watershed Science and Engineering, Department of Pasture and Watershed Engineering, (In persian).

10. Poormohammadi, S., Rasaei, F., Monfared, S., Fatemi, F., and Khosravi, M. 2021. Effects of implementing climate change projects on the water resources of Abris Khash basin using WEAP model for planning and evaluating water resources, Journal of Modeling and Management Water and soil, volume 1, number 2, summer 1400, 15-27 (In persian).

11. Poormohammadi, S., Falahii, A., and Golkar F. 2022. Weather modification, solution and innovation to reservoirs water sustainable management (case study: ZayandeRoud reservoir), E3S Web of Conferences 346, 03023 (2022), <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202234603023>

12. Poormohammadi, S., Rahimian, M.H., and Fatemi, M. 2021. feasibility study on exploitation of atmospheric water resources using cloud seeding in arid and semi arid parts of Iran, International Journal of Hydrology (In persian)

13. Solak, M., Griffith, E., and Yorty, P. 2009. Winter season of operational cloud seeding in UTAH, North American Weather Consultants, Inc., Sandy, Utah, April

14. Rezai, H., Zar, R., and Poormohammadi, S. 2021. forecasting the effect of cloud fertilization on the runoff of Behesht Abad watershed, using the IHACRES model, rangeland and watershed management. Journal of Natural Resources of Iran, 74(4):905-916.

15. Zahraie, B., Poursepahy, H., Nasser, and Taheri, S.M. 2021. Statistical Evaluation of Cloud Seeding Operations in Central Plateau of Iran in the 2015 Water Year. journal of earth and space physics, 74(1):187-203.

the Occurrence Frequency of Seedable Clouds on the Korean Peninsula for Precipitation Enhancement Experiments, Remote Sens. 2020, 12, 1487.

2. Chulsang, Yoo., Wooyoung, Na., Eunsam, Cho a., Ki-Ho, Chang b., Seong, Soo Yum C., and Woonseon, Jb. 2022. Evaluation of cloud seeding on the securement of additional water resources in the Boryeong Dam Basin, Korea Journal of Hydrology, 613 (2022): 128480

3. <https://owlcation.com/stem/The-Emerging-Industry-of-Cloud-Seeding>

4. <https://www.producer.com/crops/making-clouds-rain-with-electricity> Nov 25, 2021/,

5. <https://www.producer.com/crops/drones-electrify-desert-drought/> November 25, 2021

6. <https://www.insurancebusinessmag.com/ca/news/catastrophe/a-lesserknown-way-pandc-insurers-are-helping-albertans-fight-hail-291798.aspx> 20 Jul 2021

7. Poormohammadi, S., Javadianzadeh, M. 2013. Evaluation of the effect of cloud fertilization on the amount of precipitation in Iran's watersheds in the water year 89-88 (case study: Bakhtegan-Tashk and Gavkhoni watersheds), Research Quarterly International Water Resources and Development (In persian).

8. Poormohammadi, S., Javadianzadeh, M., and Golkar, F. 2013. Investigating the increase of water resources with the help of cloud seeding technology and its economic estimation in the Kohdasht and Rumishgan watersheds, International Research Quarterly on Water Resources and Development (In persian)

9. Poormohammadi, S. 2011. Cloud seeding, a new technique to reduce the effects of drought and climate change (case study of the watershed of the Govkhuni basin), Proceedings of the 7th National Conference on



Abstract

Water Resource Management With the Help of Weather Adjustment Methods and Its effects on the Runoff of the Zayandeh Roud River Catchment

S. Poormohammadi¹ and M. H Rahimian¹

Received: 2022/12/06 Accepted: 2023/01/25

Nowadays, the management of atmospheric water resources is one of the practical solutions to reduce the effects of drought and climate change. In fact, there is a significant source of potable water in the atmosphere, which is more than important due to the limited fresh water resources on the surface of the earth and on the other hand, long droughts. The purpose of this article is to investigate the effects of atmospheric water resources management on the runoff entering Zayandeh Rood Dam. For this purpose, the precipitation statistics of all stations affecting the Zayandeh Rood Dam and the volume of daily runoff entering the dam during the period of weather adjustment were obtained. Using the statistical method of factor analysis, firstly, the relationship of each station with the runoff entering the Zayandeh River Dam was investigated, and after determining the stations with greater influence, using SPSS software, the relationship between the rainfall on the same day and 7 days later in the form of a matrix with the runoff. The entrance to the Zayandeh Rood dam was investigated and finally the impact of the air conditioning operations in the Zayandeh Rood catchment area and the water entering the dam was estimated. The results showed that during the statistical period under review, 2.1 million cubic meters were added to the volume of water entering the Zayandeh Rood dam as a result of the weather adjustment operation.

Keywords: Water volume, Zayandeh roud dam, Hydrology, Comprehensive management of watershed

1. PhD in watershed engineering and technical research expert of Iran Water Resources and Power Development Company, faculty member of the academic staff of the National Research Center for Salinity,

*s.poormohammadi@gmail.com