# مکانیابی مناسب برای اجرای پروژه‌های بارورسازی ابرها (مطالعه موردی استان یزد)

**معصومه محمدی[۱]، علی فتح زاده[۲]، مهدی حیات زاده[۳]، سمانه پورمحمدی[۴]**

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه اردکان، *m.mohamadi9657@gmail.com*

۲- دانشیاردانشگاه اردکان گروه آبخیزداری، *fat@ardakan.ac.ir*

۳- استادیار دانشگاه اردکان گروه آبخیزداری، *mhayatzadeh@ardakan.ac.ir*

۴- کارشناس ارشد، مرکز ملی مطالعات و تحقیقات باروری ابرها *s.poormohammadi@yahoo.com*

**چکیده**

سرزمین ایران به لحاظ موقعیت جغرافیایی و ویژگی‌های خاص آب و هوایی، از سرزمین‌های خشک و نیمه خشک جهان بـه شـمار می رود. یکی از موانع پیشرفت توسعه کشور کمبود منابع آبی و همچنین محدودیت‌های کمی و کیفی منابع آب بوده است. با افزایش جمعیت نیاز مردم به این منبع حیات نیز با گذشت زمان افزایش پیدا کرده که این خود عاملی برای یافتن راه‌های بیش تر برای کسـب و بدست آوردن روش‌هایی برای حفظ و نگهداری از منابع آبی را مطرح کرده است.در دهه‌های اخیر پیشـرفت‌های فنـی و علمـی بشـر موجب گردیده تا روش‌ها و تکنیک‌های جدیدتری برای تامین منابع آب و پیش بینی بارش در یک منطقه جهت دسترسی به منابع آب به وجود آید که یکی از این روش‌ها جدید باروری ابرهاست(مرکز ملی تحقیقات و مطالعات باروری ابرها،۱۳۷۶،۳) در جنـد دهـه اخیـر مطالعات و آزمایشات زیادی در زمینه باروری ابره در کشورهای مختلف زیادی در اکثر نقاط جهان در حوضه‌های مختلف آبی به مرحله اجرا در آمده است (سازمان هواشناسی جهانی،۱۹۹۲) امروزه طرح‌های افزایش بارش و مطالعات مکان گزینی مربوط به آن‌ها جنبه بین المللی پیدا کرده و حتی برخی از آن‌ها زیر نظر سازمان هواشناسی جهانی در کشورهای مختلف اجرا می شود که تحت عنـوان مرحلـه مکانیابی ذکر می گردد(آستین،۱۹۸۲) در تحقیق حاضر که با هدف مکان یابی مناطق مستعد در زمینه بارورسازی ابرها در استان یزد انجام شد، ابتدا به پردازش داده‌های اقلیمی منطقه اعم از بارش،دما،رطوبت نسبی و... پرداخته شد. سپس اقـدام بـه وزن دهـی و فـازی سازی نقشه‌های حاصل از نتایج روش‌های درو نیابی شد. در نهایت نتایج حاصل از تلفیق این نقشه‌ها منجـر بـه منطقـه بنـدی منـاطق مساعد در سه سطح خیلی خوب ، متوسط،ضعیف گردید.به طوری که ۸۶/۷۴ درصد منطقه هدف درسطح خیلی خـوب،۸۳/۰۷ درصـد منطقه هدف متوسط و ۵۶/۴۳ درصد نامساعد تعیین شد.

**واژه‌های کلیدی:**

**بارورسازی ابر، درون یابی، منطق فازی، مکانیابی.**

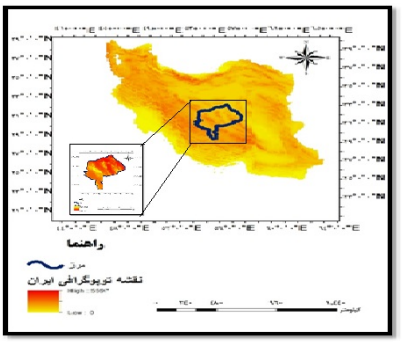
## مقدمه

کشور ایران علیرغم داشتن سابقه ی ۳۰ ساله در زمینه باروری ابرها، تا کنون نتوانسته در بین کشورهای جهان جایگاه شایسته خویش را بدست اورد. باتوجه به بحران آب در حال حاضر و تشدید آن در آینده و مسائل ففراروی ممدیریت ابرها ، نخستین هدف از اجرای پروژه‌های تعدیل آب و هوا و کسب دانش فنی مورد نیاز و جبران عقب افتادگی موجود می باشد. پروژه عملیاتی بارورسازی ابرها بسته به شرایط منطقه و وضعیت سیستم‌های جوی که مناطق مختلف را تحت تاثیر قرار می دهند و نیز امکانات موجود ببه دو طریق زمینی و هوایی انجام می شود که البته تاثیر روش هوایی بیش تر از زمینی می باشد. در هر دو روش مواد مختلفی به عنوان عامل ماده باروری مورد استفاده قرر میگیرد.به طور کلی برخی آمارها و تحقیقات نشان ممی دهد ککه در سال‌های اخییر درصد فراوانی وققوع خشکسالی و شدت آن در کشور بسیار بالابوده است که بیش ترین فراوانی متعلق به منطقه بنندرعباس و پپس از آن ببه ترتیب زابل، زاهدان ، یزد،ایرانشهر و کرمان بوده است به طوری که در سال ۸۶ میز خسارات وارده به محصولات کشاورزی در پنج ماه نخست سال زراعی گذشته دوازده هزار میلیارد ریال بوده است که ۶۰ درصد از این خسارات ناشی از وقوع خشکسالی ببوده است. مکانییابی ببرای بارورسازی ابرها به ما کمک می کند تا در اجرای پرژه‌های بارورسازی بیش ترین راندمان را در اجر و کاهش هزینه‌ها و ائتلاف منابع مالی و نیروی انسانی و هزینه‌ها داشته باشیم.(پورمحمدی و همکاران،۱۳۹۵)

## مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مطالعاتی

استان یزد با مساحت ۱۳۰۳۰۴ کیلومتر مربع می باشد.استان یزد در ارتفاع ۱۲۳۷ متری از سطح دریا واقع شده استان یزد به طور کلی به ۳۳ زیر حوضه تقسیم می شود. استان یزد در طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۵۸ درجه و ۱۶ دقیقه طول شرقی و بین عرض‌های ۲۹ درجه و ۵۲ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۱۰ دقیقه شمالی قرار دارد.




**شکل ۱ نقشه توپوگرافی منطقه**

**جدول ۱ مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک مستقر در استان یزد**

| نام ایستگاه | ارتفاع از سطح دریا(m) | طول جغرافیایی | عرض جغرافیایی | دوره آماری |
|---|---|---|---|---|
| ابرکوه | ۱۵۲۳ | ۵۳,۱۷ | ۳۱,۸ | ۲۰۱۷-۲۰۰۳ |
| بافق | ۹۹۱ | ۵۵,۲۶ | ۳۱,۳۶ | ۲۰۱۷-۱۹۹۸ |
| رباط پشت بادام | ۱۱۸۸ | ۵۵,۳۳ | ۳۳,۰۲ | ۲۰۱۷-۱۹۹۸ |
| عقدا | ۱۱۵۰ | ۵۳,۳۷ | ۳۲,۲۶ | ۲۰۱۷-۲۰۰۳ |
| گاریز | ۲۱۰۰ | ۵۴,۶ | ۳۱,۱۸ | ۲۰۱۷-۲۰۰۳ |
| مروست | ۱۵۴۶ | ۵۴,۱۵ | ۳۰,۳ | ۲۰۱۷-۱۹۹۸ |
| مهریز | ۱۵۲۰ | ۵۴,۲۶ | ۳۱,۳۵ | ۲۰۱۷-۲۰۰۳ |
| میبد | ۱۱۰۸ | ۵۳,۵۸ | ۳۲,۱۳ | ۲۰۱۷-۲۰۰۲ |
| یزد | ۱۲۳۷ | ۵۴,۱۷ | ۳۱,۵۴ | ۲۰۱۷-۱۹۹۸ |
| هرات | ۱۶۰۰ | ۵۴,۰۴ | ۳۰,۰۵ | ۲۰۱۷-۲۰۰۴ |

در محیط SPSS بعداز بازسازی داده‌ها در شیت جداگانه برای هر ایستگاه از هر ماه در بیست سال یک میانگین گرفتته شد بعد گرادیان بارش ، دما ، رطوبت نسبی گرفته شد و از معادلات بدست آمده در محیط GIS با استفاده از نقشه DEM استان یزد ببرای شش ماه منتخب برای هر پارامتر نقشه های همبارش ، هم دما ،رطوبت نسبی تهیه شد و بعد خروجی تمام نقشه‌ها گرفته شد . و بعد از آن خروجی نقشه‌های مورد نیاز از جمله نقشه ابرناکی ، رادار،توپوگرافی ،پوشش گیاهی ، کاربری اراضی ، نقشه پراکنش ایستگاهها ی سینوپتیک ،رودخانه‌های استان تهیه گردید.

در بحث مکان یابی با توجه به هدف مکان یابی از معیارهای متعددی استفاده می شود ،هر معیار واحد خاص خود را دارد،بنابراین برای ترکیب این معیارها باید آن‌ها را هم مقیاس کنیم ،برای این کار می توان از عملگر فازی استفاده نمود.استفاده از مدل منطق فازی در کارهای پهنه بندی زمین لغزش چون بر مبنای تحلیل‌های رستری ممی باشد بنابراین هر پیکسل در هر معییار ایده آل ارزش عضویتی از ۰ تا ۱ را به خود بگیرد.انواع توابع فازی به شرح زیر می باشد.

Gaussia: تابع عضویت را براساس توزیع نرمال یا گوسی و براساس یک نقطه میانی تعریف می کند.(عضویت ففازی نقططه میانی ۱ است)

Large: این تابع زمانی مورد استفاده قرار می گیرد که مقادیر بزرگ در نقشه ،عضویت نزدیک به ۱ داشته باشند. این تتابع نییز ببر اساس یک نقطه میانی تعریف شده توسط کاریر تعریف می شود. عضویت نقطه میانی ۰،۵ می باشد.

Linear: این تابع ،عضویت فازی را بر اساس یک حداکثر با عضویت فازی ۱ و یک حداقل با عضویت فازی صفر تعریف می کند.

MSSmall:این تابع عضویت فازی را براساس میانه و انحراف معیار تعریف می کند. مقادیر کوچک تتر عضویتی نزدییک ببه ۱ ممی گیرند.

Near: این تابع ، تابع عضویت را بر اساس یک مقدار خاص توسط یک نقطه میانی تعریف شده توسط کاربر مشخص می کند.(نقطه میانی عضویت یک می گیرد).

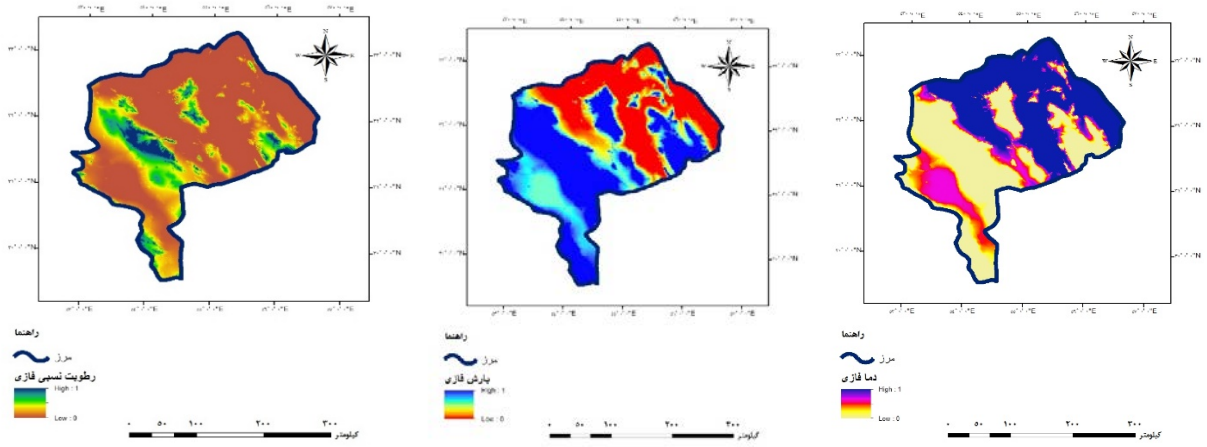
Small: این تابع وقتی استفاده می شود که مقادیر کوچک در نقشه ، عضویت نزدیک به ۱ داشته باشند. این تابع نیز براساس ییک نقطه میانی تعریف شده توسط کاریر تعریف می شود. عضویت نقطه میانی 0.5 می باشد.

Linear: این تابع ،عضویت فازی را بر اساس یک حداکثر با عضویت فازی ۱ و یک حداقل با عضویت فازی صفر تعریف می کند ایین تابع بین مقادیر حداقل و حداکثر تعریف شده توسط کاربر یک تابع خطی برقرار می کند. هر مقداری که زیر حداقل باشند صفر ممی گیرد اما هر مقداری که بالای ماکسیمم باشد ارزش یک می گیرد.شکل این تابع بستگی به مقادیر حداقل و حداکثر دارد. به این صورت که اگر حدقل بیشتراز حداکثر باشد. شکل تابع Z شکل خواهد بود درحالت عکس تابع S شکل خواهد بود.

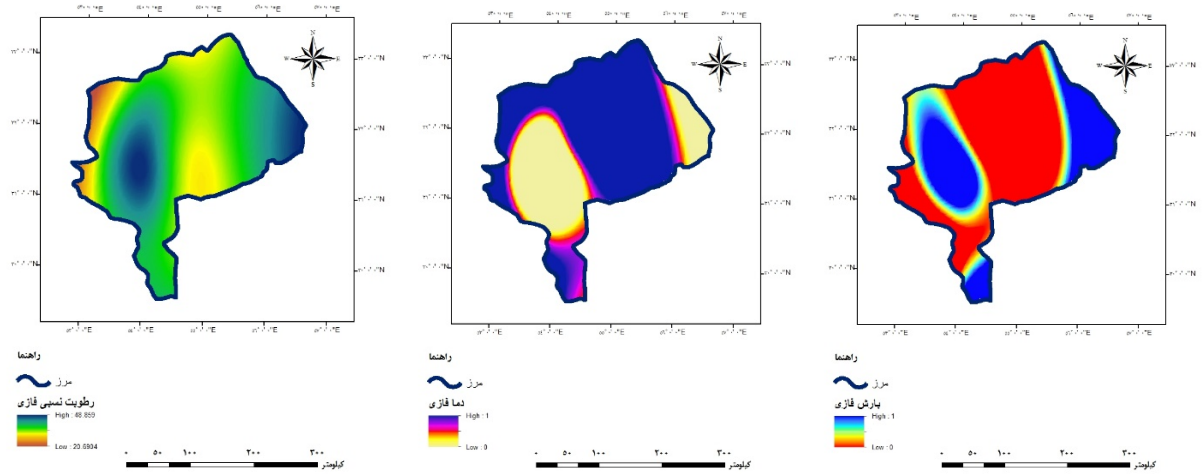
که در تحقیق حاضر برای فازی کردن لایه‌ها از دستور Linear در Arc Map استفاده شد که در اشکال (۲،۳،۴) مشاهده می شود.

**جدول ۲ تابع عضویت تعریف‌شده پارامترهای تعیین‌کننده مناطق مستعد باروی ابرها**

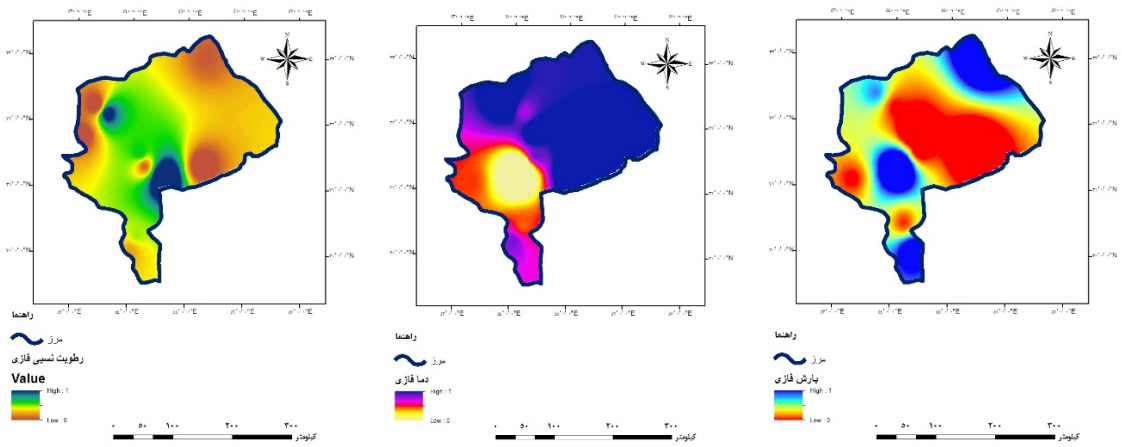
| ردیف | نام پارامتر | تابع عضویت تعریف‌شده | |
|---|---|---|---|
| ۱ | توپوگرافی برحسب ارتفاع متر از سطح دریا | ۲۰۰۰ توپوگرافی< | ۱ |
| | | ۱۴۰۰ توپوگرافی< | ۰ |
| | | ۱۴۰۰_۲۰۰۰ | ۰_۱ |
| ۲ | مقدار بارش برحسب میلی‌متر | ۸۳ بارش < | ۱ |
| | | ۶۳ بارش< | ۰ |
| | | ۶۳_۸۳ | ۰_۱ |
| ۳ | میانگین دما برحسب درجه سلسیوس | ۱۲دما< | ۱ |
| | | ۱۰دما> | ۰ |
| | | ۱۰_۱۲ | ۰_۱ |
| ۴ | میانگین رطوبت نسبی برحسب درصد | ۴۳ رطوبت نسبی< | ۱ |
| | | ۳۸ رطوبت نسبی> | ۰ |
| | | ۳۸_۴۳ | ۰_۱ |




شکل (۲) دما،رطوبت نسبی،بارش فازی شده در محیط GIS حاصل از درون‌یابی DEM




شکل (۳) دما،رطوبت نسبی،بارش فازی شده در محیط GIS حاصل از درون‌یابی Spiline




شکل (۴) دما،رطوبت نسبی،بارش فازی شده در محیط GIS حاصل از درون‌یابی IDW

## روش تهیه نقشه‌های اقلیمی

دو روش برای تهیه نقشه‌های اقلیمی وجود دارد:

۱- به روش IDW و Spline

۲- به روش رگرسیون از روی DEM

- درروش رگرسیون ابتدا باید معادله رگرسیون موردنظر بین پارامتر ارتفاع و عنصر اقلیمی موردنظر را به دست آورده ششود ببه همین منظور اگر نقاط ایستگاه‌های هواشناسی موجود باشد ابتدا این رابطه را به دست می‌آوریم. در ایستگاه‌های هواشناسی معمولاً پارامترهای اقلیمی ( بارش، دما و...) و ارتفاع موجود هست، به‌عنوان‌مثال بین یکی از این پارامترها مثلاً بارش و ارتفاع رگرسیون می‌گیریم.
- معادله‌ای به‌صورت $y = ax + b$ برای ما به دست خواهد آمد که a شیب‌خط است و نشان‌دهنده تغییرات ببارش (پپارامتر انتخابی) برحسب ارتفاع است.
- داده‌های موردنیاز برای روش رگرسیون گیری

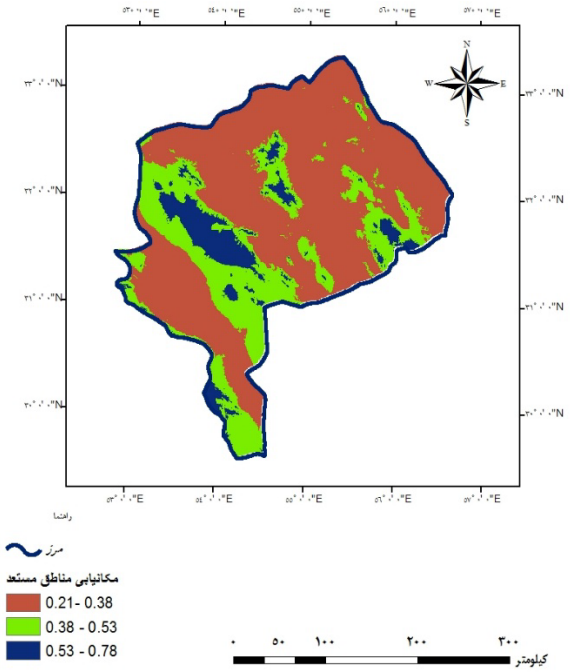
۱- ایستگاه‌های هواشناسی که دارای پارامترهای x,y ، ارتفاع و پارامترهای اقلیمی( بارش ، دما، رطوبت نسبی، و غییره ) باشند.

۲- DEM منطقه

پس از تهیه نقشه‌های توابع عضویت هر یک از پارامترهای بارش ، رطوبت، دما،و توپوگرافی، ببه هر ییک از لاییه‌های تهیه‌ششده از پارامترها طبق امتیازدهی گزارش جهانی هواشناسی (PEP)، وزنی داده شد که در جدول (۳) وزن پارامترهای مورداستفاده در تعییین مناطق مستعد باروری ابرها نشان داده‌شده است.

**جدول ۳ وزن پارامترهای مورداستفاده در تعیین مناطق مستعد بارورسازی ابرها**

| نام پارامتر | وزن پارامتر |
|---|---|
| میانگین بارش | ۰/۳۳ |
| توپوگرافی | ۰/۱۲ |
| میانگین دما | ۰/۲۲ |
| میانگین رطوبت نسبی | ۰/۳۳ |




**شکل (۵) نقشه مناطق مستعد بارورسازی ابرها**

**نتیجه‌گیری و پیشنهادها**

۱- بر اساس مطالعه انجام‌شده،پروژه بارورسازی ابرها در استان یزد،در منطقه عملیاتی تعریف‌شده قابل‌اجرا بوده و در ماه‌های نوامبر،دسامبر،ژانویه ،فوریه و مارس می‌تواند بازدهی مناسبی داشته باشد.

۲- اولویت انتخاب هریک از ماه ای نام‌برده به ترتیب عبارت است از ژانویه،دسامبر،فوریه و مارس به یک‌میزان و نوامبر

۳- ازلحاظ مکانی اولویت در اجرای پروازهای بارورسازی ابر بر روی ارتفاعات منطقه است که البته با توجه به پروازهای انجام‌شده توسط سازمان تحقیقات بارورسازی ابر باید در روزهایی که وزش باد شدید بوده عملیات بااحتیاط بیش‌تری انجام شود و ارتفاع پرواز هواپیما به‌اندازه کافی زیاد باشد.

۴- در مطالعه انجام‌شده ارتفاعات شیرکوه در اولویت اول ازنظر مکانی قرار می‌گیرد و سایر ارتفاعات استان در اولویت‌های بعدی جزو مناطق مستعد بارورسازی محسوب می‌شوند.

۵- از بین مکان‌یابی‌های انجام‌شده در سه روش نامبرده (DEM,IDW,Spline) روش درون‌یابی DEM نتایج بهتری طبق پارامترهای تأثیرگذار در انتخاب مکان مناسب برای اجرای پروژه‌های بارورسازی و منطقه هدف تهیه‌شده از سازمان ملی تحقیقات بارورسازی ابرها در استان یزد درنهایت نتایج حاصل از تلفیق این نقشه‌ها منجر به منطقه بندی مناطق مساعد در سه سطح خیلی خوب ، متوسط،ضعیف گردید.به‌طوری‌که ۸۶/۷۴ درصد منطقه هدف درسته خیلی خوب،۸۳/۰۷ درصد منطقه هدف متوسط و ۵۶/۴۳ درصد نامساعد تعیین شد.

**پیشنهادها:**

۱- در این مطالعه کلیه پارامترهایی که بررسی شدند،به‌صورت میانگین یک دوره چندین ساله بودند که همگی بیانگر میانگین شرایط حاکم بر منطقه هستند. اما ممکن است شرایط حاکم بر اجرای پروژه بارورسازی در یک دوره عملیاتی متفاوت از این شرایط باشد که تکمیل تحقیقات در این زمینه می‌تواند مفید باشد.

۲- تکمیل اطلاعات بیش‌تر در مورد پارامترهای مؤثر در اجرای پروژه بارورسازی با توجه واقعیت‌های موجود در منطقه می‌تواند برای اجرای پروژه موفق‌تر مؤثر باشد.

۳- تکمیل مطالعه انجام‌شده در این پروژه با استفاده از تجربیات قابل‌دستیابی در اجرای مراحل پروژه بارورسازی ابرها توصیه می‌شود.

**منابع**


- خطیبی سرابی. و.(۱۳۹۰). طرح پژوهشی با عنوان بازنگری و اصلاح روش‌های بهره‌گیری از فناوری باروری ابرها باهدف استحصال آب در ایران با کد WRE۱-۸۶۰۷۵
- طهماسبی، ر.(۱۳۷۸)، استحصال آب باران. ترجمه پایان‌نامه دوره دکترای آقای توماس بور (۱۹۹۴). در دست انتشار.
- غضبان. ف. ۱۳۷۵، زمین‌شناسی زیست‌محیطی، انتشارات دانشگاه تهران.
- پورمحمدی. س، خلیلی. م، ارزیابی اقتصادی استحصال آب باران به کمک فناوری باروری ابرها (مطالعه موردی: استان همدان). سامانه‌های سطوح آبگیر باران. دوره چهارم. جلد ۱۱. تابستان ۹۵
- طباطبائی بدروئی. س.ح، خطیبی سرابی. و ۱۳۹۵، تعیین مناطق هدف عملیات بارورسازی ابرهای کشور با استفاده از داده‌های پروازی با روش‌های تحلیلی GIS، ششمین اجلاس ملی مدیریت منابع آب ایران،۳-۱ اردیبهشت ۹۵
- جوانمرد.س.همکاران.(۲۰۱۶).فصل ششم طرح مطالعه و بررسی و امکان‌سنجی استفاده از فناوری بارورسازی ابرها برای استحصال آب در حوضه‌های آبریز ایران با کد L۳۴۰۸۹۰۶۰۱ ۰۰۱۸۱۳۲۹۸۹۶۲۱
- Mirante, F., Alves, C., Pio, C., Pindado, O., Perez, R., Revuelta, M.A. and Artiñano, B., 2013. Organic composition of size segregated atmospheric particulate matter, during summer and winter sampling campaigns at representative sites in Madrid, Spain. *Atmospheric Research*, *132*, pp.345-361.
- Axisa, D. and DeFelice, T.P., 2016. Modern and prospective technologies for weather modification activities: A look at integrating unmanned aircraft systems. *Atmospheric Research*, *178*, pp.114-124.
- Silverman, B.A., 2010. An evaluation of eleven operational cloud seeding programs in the watersheds of the Sierra Nevada Mountains. *Atmospheric Research*, *97*(4), pp.526-539.
- Siebert, H., Gerashchenko, S., Gylfason, A., Lehmann, K., Collins, L.R., Shaw, R.A. and Warhaft, Z., 2010. Towards understanding the role of turbulence on droplets in clouds: in situ and laboratory measurements.

*Atmospheric Research*, *97*(4), pp.426-437.

- Mirante, F., Alves, C., Pio, C., Pindado, O., Perez, R., Revuelta, M.A. and Artiñano, B., 2013. Organic composition of size segregated atmospheric particulate matter, during summer and winter sampling campaigns at representative sites in Madrid, Spain. *Atmospheric Research*, *132*, pp.345-361.
- Axisa, D. and DeFelice, T.P., 2016. Modern and prospective technologies for weather modification activities: A look at integrating unmanned aircraft systems. *Atmospheric Research*, *178*, pp.114-124.
- Silverman, B.A., 2010. An evaluation of eleven operational cloud seeding programs in the watersheds of the Sierra Nevada Mountains. *Atmospheric Research*, *97*(4), pp.526-539.