

باروری ابرها

از باور تا واقعیت

باسم خدا آنچه می خواهید بدانید ...

گردآوری و تالیف: منصوره سید حسینی

وزارت نیرو

موسسه تحقیقات آب

مرکز ملی تحقیقات و مطالعات باروری ابرها

بهار ۱۳۹۱



وزارت نیرو

مؤسسه تحقیقات آب

مرکز ملی تحقیقات و مطالعات باروری ابرها

- عنوان: باروری ابرها، از باور تا واقعیت، پاسخ به آنچه می‌خواهید بدانید.
- تألیف: منصوره سیدحسینی
- طراح لوح فشرده: اکبر خوانساری
- طرح روی جلد: حمید رضا ذوالفقاری
- نویسنده: (۱۳۹۱)
- شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه
- ناشر: مرکز ملی تحقیقات و مطالعات باروری ابرها وابسته به مؤسسه تحقیقات آب وابسته به وزارت نیرو
- نشانی: تهران، فلکه چهارم تهرانپارس، مؤسسه تحقیقات آب، تلفن: ۷۷۳۱۰۴۷۲-۹
- یزد، بولوار دانشجو، مجتمع اداری استان، کوچه استاندارد، مرکز ملی تحقیقات و مطالعات باروری ابرها، تلفن: ۸۲۵۰۵۵۱-۲

سرشناسه: سیدحسینی، منصوره، ۱۳۵۳

عنوان و نام پدیدآور: باروری ابرها، از باور تا واقعیت، پاسخ به آنچه می‌خواهید بدانید/گردآوری و تألیف: منصوره سیدحسینی

مشخصات نشر: تهران، مرکز ملی تحقیقات و مطالعات باروری ابرها، ۱۳۹۱

مشخصات ظاهری: ۲۶۲ ص: مصور (رنگی)، نقشه (رنگی)، جدول (رنگی)، نمودار (رنگی) + یک دیسک فشرده

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۶۱۷۱-۱۳-۲

وضعیت فهرست‌نویسی: فیا

یادداشت: واژه نامه.

یادداشت: کتابنامه.

یادداشت: نمایه.

موضوع: باران‌زایی

موضوع: باران‌زایی - ایران

شناسه افزوده: مرکز ملی تحقیقات و مطالعات باروری ابرها

رده بندی کنگره: ۱۳۹۱ ۲ پ ۹ س/۹۲۸/۶ QC

رده بندی دیویی: ۵۵۱/۶۸

شماره کتابشناسی ملی: ۲۷۳۰۳۹۵



سبقت‌گویی

﴿وَأَنْزَلْنَا مِنَ السَّمَاءِ مَاءً بِقَدَرٍ فَأَلْكَأَ فِي الْأَرْضِ وَإِنَّا عَلَى ذَهَابٍ بِهِ لِقَادِرُونَ﴾

«و از آسمان، آبی به اندازه معین نازل کردیم و آن را در زمین ساکن نمودیم؛ و ما بر از بین بردن آن کاملاً قادریم»

(سوره المؤمنون آیه ۱۸)



توسعه منابع آب به عنوان زیرساخت توسعه سایر بخش‌ها و یکی از پایه‌های اصلی آمایش سرزمین می‌باشد. علاوه بر این آب به عنوان یکی از مؤلفه‌های مهم اکوسیستم، در تعادل و پایداری محیط زیست و به طور کلی در توسعه پایدار نقش تعیین کننده‌ای ایفا می‌نماید.

رشد روزافزون نیازها و تقاضاها برای آب با کیفیت مناسب، ارتقاء سطح زندگی، گسترش آلودگی منابع آب ناشی از توسعه فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی و شهری، افزایش چشمگیر هزینه‌های تأمین آب اضافی، ضرورت کنترل آلودگی منابع آب و لزوم حفاظت از منابع آب‌های زیرزمینی، مدیریت آب را با چالش جدی مواجه کرده است. با توجه به چالش‌ها و معضلات فراروی مدیریت بخش آب، ترسیم چشم‌انداز آینده مطلوب مبتنی بر آینده‌نگری و خلاقیت و نوآوری گامی اساسی و ضروری جهت عبور از چالش‌ها و بحران‌ها می‌باشد. آینده‌نگری ابزار

مناسب را برای ساختن آینده مطلوب موردنظر در اختیار برنامه‌ریزان آب قرار می‌دهد تا بتوانند مدیریت آب کشور را در حل و فصل مسائل و مشکلات باری رسانند. در راستای دستیابی به چشم‌انداز مطلوب، علاوه بر ادامه روش‌های سازه‌ای مرسوم تأمین آب، باید به روش‌های نوین استحصال آب و تقویت روش‌های غیرسازه‌ای نیز اهتمام جدی مبذول نمود. روش‌ها و اقدامات غیرسازه‌ای در مدیریت منابع، فراتر از ساخت‌وسازها در ابنیه آبی و محدودیت‌های فیزیکی سیستم‌های منابع آب، می‌باشد. بر این اساس بهره‌برداری از آب‌های غیرمتعارف در کشور با توجه به محدودیت منابع آب تجدیدشونده نه یک انتخاب، بلکه یک ضرورت است. یکی از اشکال بهره‌برداری آب‌های نامتعارف استفاده از باروری ابرها و مدیریت بارش می‌باشد.

فن‌آوری باروری ابرها ۶ دهه است که در بیش از ۴۰ کشور مختلف جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد. روش اصلی این فناوری در واقع تزریق هسته‌های انجماد و یا ذرات جاذب رطوبت هوا (هواویزها) درون ابرهای با رطوبت کافی و دارای شرایط مستعد می‌باشد. در این چندین دهه فناوری باروری ابرها توسعه قابل‌توجهی پیدا کرده است. امروزه چندین روش باروری ابرها مورد استفاده قرار می‌گیرد که از آن جمله عبارتند از:

- نصب شبکه ژنراتورهای زمینی در مناطق کوهستانی و در محل مناسب و استفاده از آن جهت تبدیل مواد باروری به ذرات بسیار ریز در حال میکرون و آزادسازی آن در هوا
- استفاده از تجهیزات پرتابی زمین به هوا مانند موشک‌های ویژه، گلوله‌های توپ و غیره که عمده کاربرد آن‌ها در جلوگیری از بارش تگرگ می‌باشد. ورود مواد بارورکننده توسط موشک‌ها در توفان‌های تندی از بارش تگرگ و باران‌های مخرب جلوگیری می‌کند.

- استفاده از هواپیما که خود شامل چند روش تزریق مواد باروری می‌باشد.

در انتخاب روش و مواد بارورکننده، عواملی نظیر نوع ابر، شرایط اقلیمی و جغرافیایی منطقه و نوع مواد باروری تعیین‌کننده می‌باشد.

در دهه اخیر روش دیگری جهت باران‌زایی تحت‌عنوان فناوری یونیزاسیون با برد کوتاه و بلند مورد استفاده قرار می‌گیرد. این فناوری که مستندات علمی آن هنوز در دسترس نمی‌باشد با ارسال امواج الکترومغناطیسی به لایه‌های جو، باعث یونیزه شدن ملکول‌های موجود در این لایه‌ها و در نهایت برخی تغییرات آب و هوایی می‌گردد.

باید به این نکته مهم نیز توجه داشت که هرگونه تغییر در چرخه آب سبب تغییرات زنجیره‌ای در بسیاری از فرآیندهای محیط‌زیستی می‌گردد. به همین دلیل باید در کنار توسعه دانش و فناوری اصلاح آب و هوا، به جنبه‌ها و آثار محیط‌زیستی آن نیز بذل توجه نمود. یکی از حساس‌ترین مراحل کار پروژه‌های باروری ابرها، ارزیابی و برآورد دقیق کارایی باروری ابرها و تعیین میزان بارش اضافی ناشی از اجرای این پروژه می‌باشد. لذا باید به این مهم در اجرای پروژه‌های باروری ابرها توجه جدی نمود و علاوه بر آن ارزیابی اقتصادی نتایج آن نیز مورد بررسی و تحلیل قرار گیرد.

در سال ۱۳۵۳ برای نخستین بار طرح باروری ابرها توسط وزارت نیرو به مدت چهار سال به منظور افزایش ذخیره آبی سدهای لیان و کرج با بهره‌گیری از امکانات اجرایی یک شرکت کانادایی و با استفاده از ۳۰ دستگاه ژنراتور زمینی، کار تصعید یخ‌بدنفره با یک فروند هواپیما به اجرا درآمد. این کار به‌طور متوسط ۱۳٪ افزایش بارندگی ایجاد نمود. در سال ۱۳۶۲، تجهیزات بجا مانده از طرح جاجرود کرج به یزد منتقل گردید و در سال ۱۳۶۹ و ۷۰ و ۷۳ و ۷۴ و ۷۵ عملیات باروری ابرها با استفاده از ژنراتورهای زمینی در ارتفاعات شیرکوه یزد اجرا گردید. در سال ۱۳۷۵ مرکز ملی تحقیقات و مطالعات باروری ابرها در یزد تأسیس و از سال ۱۳۷۶ رسماً آغاز به کار کرد و تا کنون منشاء خدمات ارزنده‌ای در زمینه باروری ابرها بوده است.

در حال حاضر مرکز ملی تحقیقات و مطالعات باروری ابرها توانسته است بر فراز بیش از ۱۲ استان کشور عملیات باروری انجام دهد که ماحصل این پروازها افزایش بارش نزدیک به ۱۶/۵ میلیارد مترمکعب بوده است. اکنون در مسیر توسعه بیش از پیش این فناوری، آنچه باید به‌عنوان محورهای توسعه مدنظر قرار گیرد، توسعه هرچه بیشتر این عملیات در نقاط مستعد کشور، خودکفایی،

فرهنگ‌سازی و ارتقاء کیفیت و دقت کار خواهد بود. با توجه به بحران آب در آینده و مسایل فراوری مدیریت ابرها، نیل به خودکفایی در جهت اجرای پروژه‌های تعدیل آب و هوا و کسب دانش فنی موردنیاز، به‌عنوان راهکارهای جبران عقب‌افتادگی موجود می‌باشد. فرهنگ‌سازی، نقش کلیدی در توسعه فناوری باروری ابرها در کشور ایفا می‌کند چرا که نبودن این فناوری باعث مطرح‌شدن سؤالات بسیاری در اذهان مردم و متخصصین کشور شده است. بدین منظور مرکز ملی باروری ابرها بر آن شد تا برای نخستین بار با انتشار کتب و نشریات، پاسخگوی این سؤالات باشد. هدف اصلی کتاب پیش‌روی، انتقال آسان و روان مفاهیم علمی و اجرایی مقوله باروری ابرها است. نگارش این کتاب به‌صورت پرسش و پاسخ بوده و تلاش گردیده بر مبنای مراجع معتبر، پاسخگوی تقریباً همه سؤالات و ابهامات مطروحه در این زمینه باشد. امید است مجموعه حاضر مورد توجه متخصصین، کارشناسان و همه مردم علاقمند کشور به فناوری‌های جدید قرار گیرد.

محمد رضا عطارزاده

معاون امور آب و آبفا

سخن نویسنده

این کتاب حاصل ۱۵ سال تجربه علمی و عملی در زمینه فناوری باروری ابرها و حضور در همایش‌ها و گردهمایی‌های باروری ابرها در دانشگاه‌ها، مراکز علمی و کارشناسی و مدیریتی استان‌های مختلف کشور و آشنایی با نیازهای علمی و فرهنگی موجود در این زمینه می‌باشد که نگارش آن یکسال به طول انجامیده است.

در این مجموعه تلاش گردیده تمام ابعاد فن‌آوری باروری ابرها به‌صورت موضوعی در فصول مختلف مطرح شود. به‌طوری‌که در فصل اول به اصول علمی باروری ابرها و فرآیندهای بارش طبیعی، در فصل دوم به مواد و تجهیزات بارورسازی ابرها در دنیا و در فصل سوم به نحوه بارورسازی ابرها پرداخته شده است. در فصل چهارم به سؤالات مطرح‌شده درخصوص ارزیابی کارآیی باروری ابرها و در فصل ششم به ابهامات و تردیدهای موجود درخصوص ابعاد جانبی باروری ابرها بویژه اثرات محیط‌زیستی آن پاسخ داده شده است. در فصل ششم آلودگی هوا و نقش آن در کاهش بارش و نیز کارآیی باروری ابرها و در فصل هفتم موضوعات قانونی و حقوقی باروری ابرها مطرح شده است. در بخش هشتم وضعیت جاری و آینده تعدیل آب و هوا در قالب سؤالات متناسب توضیح داده شده و در فصل نهم به وضعیت باروری ابرها در ایران پاسخ داده شده است. در پایان نیز ضمن لغت‌نامه ویژه تعدیل آب و هوا و کتابخانه کلمات شاخص و کلیدی تدوین شده است. به‌دلیل حجم زیاد مراجع مورداستفاده و نیز تعدد موضوعات موردبحث، منابع مورداستفاده جهت هر بخش در پایان آن آورده شده است. به این کتاب یک لوح فشرده حاوی فیلم‌های متنوع از بخش‌های مختلف مرتبط با تعدیل آب و هوا اعم از برخی آزمایشات مرتبط، صحنه‌هایی از عملیات باروری، برگزیده‌هایی از فیلم‌های باروری ابرها در ایران و چندین فیلم و انیمیشن از توضیح فرآیند بارش به صورت طبیعی و تحت اثر باروری ابرها برای کودکان پیوست شده است.

لازم می‌دانم از آقایان دکتر محمد ریاحی و دکتر سیدمسعود تقوایی رؤسای قبلی و فعلی مؤسسه تحقیقات آب، آقای محمد مهدی جوادیان‌زاده مدیر فعلی مرکز ملی تحقیقات و مطالعات باروری ابرها که با نظرات سازنده خود و از آن مهتر فراهم نمودن شرایط، امکانات تدوین این کتاب را فراهم نمودند، آقای دکتر علی‌اصغر سمساریزدی مؤسس و اولین مدیر مرکز ملی تحقیقات و مطالعات باروری ابرها که زحمت داوری این مجموعه را نیز متحمل شدند، آقای مهدی سلاری مدیر سابق مرکز ملی تحقیقات و مطالعات باروری ابرها که با اهتمام خود در زمینه فعالیت مستقل بارورسازی ابرها در کشور و از آن مهتر اجرای پروژه‌های باروری ابرها به صورت استانی زمینه ارتقاء دانش علمی و فنی کارکنان این مجموعه را فراهم نمودند، آقای وحید علومی که به نوعی ایده‌ساز تهیه این کتاب محسوب می‌شوند، آقای فرید گلکار که ضمن راهنمایی‌های ارزنده خود، زحمت ویراستاری این مجموعه را برعهده داشتند، آقای امیرحسین مه‌ل‌قا که با پشتیبانی مناسب انفورماتیک، شوق جدی اینجانب در تهیه به موقع این مجموعه بودند، آقای اکبر خوانساری که ضمن همکاری در تهیه لوح فشرده، با نظرات ارزشمند خود باعث ارتقاء کیفی ارائه مطالب بودند، خانم زهرا طالعات و آقای دکتر مجید میررکنی که با نظرات سازنده خود باعث ارتقاء کیفی ارائه مطالب شدند، آقای امیر ناصری و خانم سوسن علومی که با مطالعه دقیق پیش نویس اولیه کتاب، باعث بهبود ارائه متن و ارتقاء کیفی آن شدند و آقای حسام حامدی که در تهیه متون مرتبط با علوم اسلامی تلاش نمودند صمیمانه قدردانی و سپاسگزاری نمایم. در پایان ضمن امیدواری به فایده‌بخشی این مجموعه، از خوانندگان محترم تقاضا می‌کنم با ارائه نظرات خود، زمینه ارتقاء این مجموعه و یا تهیه مجموعه‌های دیگر در زمینه‌های مرتبط را فراهم آورند.

منصوره سیدحسینی

بهار ۱۳۹۱

فهرست مطالب

پیش گفتار از: معاونت محترم وزیر نیرو.....	۵
سخن نویسنده.....	۱۱

فصل اول: اصول علمی

۱.۱. تعدیل آب و هوا چیست و با چه اهدافی صورت می گیرد؟.....	۲۸
۱.۲. باروری ابرها چیست؟ و چه زمانی کشف شد؟.....	۲۸
۱.۳. ابر چیست؟.....	۲۹
۱.۴. ابرها به چند دسته تقسیم می شوند؟.....	۳۱
۱.۵. بارش کدام نوع از ابرها بیشتر است؟.....	۳۱
۱.۶. ابرها چه مدت در آسمان باقی می مانند؟.....	۳۲
۱.۷. منظور از ابرهای قاره‌ای و دریایی چیست؟.....	۳۳
۱.۸. ابرهای گرم و سرد چه تفاوتی با یکدیگر دارند؟.....	۳۴
۱.۹. فرآیند طبیعی بارش از ابرهای گرم چگونه است؟.....	۳۵
۱.۱۰. چگونه در حالت طبیعی از ابرهای سرد بارش تولید می شود؟.....	۳۶
۱.۱۱. چرا برخی ابرها بطور طبیعی نمی بارند؟.....	۳۹
۱.۱۲. آیا باروری ابرها برای ابرهای مختلف متفاوت است؟.....	۴۰
۱.۱۳. چگونه با انجام باروری می توان بارش از ابرهای سرد را افزایش داد؟.....	۴۰
۱.۱۴. چگونه باروری باعث افزایش بارش از ابرهای گرم می شود؟.....	۴۳
۱.۱۵. آیا می توان همه ابرها را بطور مؤثر بارور نمود؟.....	۴۴
۱.۱۶. آیا باروری ابرها می تواند باعث رفع خشکسالی شود؟.....	۴۴
۱.۱۷. آیا ممکن است باروری ابرها باعث کاهش بارش یا اثرات منفی دیگری از جمله تگرگ یا سیل شود؟.....	۴۵
۱.۱۸. شبهاتی که در مورد باروری ابرها مطرح می شود چیست؟.....	۴۶
۱.۱۹. آیا باروری ابرها نوعی دخالت در طبیعت نیست؟.....	۴۶
۱.۲۰. آیا باروری ابرها می تواند طبیعت دائمی آب و هوا را تغییر دهد؟.....	۴۶
۱.۲۱. آیا می توان سامانه ابری ایجاد کرد یا ابری را از یک منطقه به منطقه دیگری برد؟.....	۴۷
۱.۲۲. آیا هاریکن ها، تورنادوها و رعد و برق های خطرناک را می توان تعدیل نمود؟.....	۴۷
منابع.....	۴۷

فصل دوم: مواد و تجهیزات باروری

- ۲.۱. انتخاب روش باروری ابرها بر چه اساسی است؟ ۵۴
- ۲.۲. مهم‌ترین مواد مورد استفاده در بارورسازی ابرها کدامند؟ ۵۴
- ۲.۳. ویژگی‌های شاخص یدیدنقره به‌عنوان رایج‌ترین ماده باروری کدام است؟ ۵۴
- ۲.۴. مواد باروری ابرها به چه مقدار و با چه روش‌هایی به درون ابر تزریق می‌شوند؟ ۵۴
- ۲.۵. در روش باروری هوایی با چه تجهیزاتی یدیدنقره و مواد نم‌گیر را وارد ابر می‌کنند؟ ۵۶
- ۲.۶. رایج‌ترین روش‌های تزریق یدیدنقره و یا مواد نم‌گیر به درون ابر کدامند؟ ۶۱
- ۲.۷. روش تزریق یخ‌خشک و نیتروژن مایع به درون ابر چگونه است؟ ۶۵
- ۲.۸. از میان سیستم‌های تزریق هوایی و زمینی کدام ترجیح داده می‌شود؟ ۶۶
- ۲.۹. آیا می‌توان از هر هواپیمایی جهت باروری ابرها استفاده نمود؟ ۶۷
- ۲.۱۰. چه تجهیزاتی جهت تشخیص مناسب بودن خصوصیات فیزیکی و خردفیزیکی ابرها به کار می‌رود؟ ۶۹
- منابع ۷۳

فصل سوم: ملزومات پروژه و روش‌های اجرا

- ۳.۱. لازمه تصمیم‌گیری در خصوص اجرا یا عدم اجرای یک پروژه باروری ابرها چیست؟ ۷۸
- ۳.۲. اهداف و موضوعات مورد بررسی در مطالعه امکان‌سنجی باروری ابرها کدامند؟ ۷۸
- ۳.۳. آیا اجرای یک برنامه باروری ابرها همانند دیگر پروژه‌ها، نیاز به طرح عملیاتی دارد؟ ۷۹
- ۳.۴. اجرای پروژه باروری نیازمند چه اطلاعاتی است؟ ۷۹
- ۳.۵. مدیریت و راهبری اجرای عملیات چگونه صورت گیرد و چه گروه‌هایی در آن نقش دارند؟ ۸۱
- ۳.۶. آیا ممکن است دستور توقف اجرای یک عملیات یا یک پروژه داده شود؟ ۸۳
- ۳.۷. شکل‌های مختلف باروری در ابرهای سرد و گرم کدامند؟ ۸۴
- ۳.۸. آیا به‌منظور افزایش بارش در یک منطقه هدف معین بایستی دقیقاً همان منطقه را بارور نمود؟ ۸۶
- ۳.۹. معیار انتخاب و روش اجرای باروری قله یا پایه ابر چگونه است؟ کدامیک دشوارتر است؟ ۸۷
- ۳.۱۰. روش باروری هوایی مؤثرتر است یا زمینی؟ ۸۹
- ۳.۱۱. پنجره فرصت در اجرای باروری ابرها به چه معنی است؟ آیا باروری در هر نقطه ابر و یا در هر لحظه پس از ورود به ابر مؤثر واقع می‌شود؟ ۹۰
- ۳.۱۲. هر هواپیمای باروری چه مساحتی را به طور مؤثر می‌تواند بارور کند؟ ۹۱
- ۳.۱۳. نیازمندی‌ها و چالش‌های اصلی اجرای موفق یک عملیات باروری ابر چیست؟ ۹۱
- ۳.۱۴. آیا فعالیت در زمینه تعدیل آب و هوا برای هر فرد با هر تخصصی امکان‌پذیر است؟ ۹۲
- منابع ۹۲

فصل چهارم: کارایی باروری ابرها و ارزیابی آن

- ۴.۱. آیا باروری ابرها به منظور افزایش بارش واقعاً مؤثر است؟ دیدگاه علمی دانشمندان چیست؟..... ۹۸
- ۴.۲. درصد موفقیت برنامه باروری ابرها چقدر است؟ و چه میزان آب اضافی در اثر اجرای آن بدست می‌آید؟..... ۹۹
- ۴.۳. باروری ابرها به چه میزان می‌تواند در افزایش منابع آب مؤثر باشد؟..... ۱۰۰
- ۴.۴. تأثیر باروری ابرها از چه زمانی پس از باروری آغاز و تا چه مدت ادامه داشته و چه وضعی را تحت پوشش خود قرار می‌دهد؟..... ۱۰۰
- ۴.۵. آیا باروری ابرها در یک منطقه باعث کاهش بارش در مناطق پایین‌دست می‌شود؟..... ۱۰۲
- ۴.۶. باروری ابرها بر روی کدامیک از ابرهای دریایی، قاره‌ای و گرم و سرد مؤثرتر است؟..... ۱۰۴
- ۴.۷. ابرهایی که بیشترین تأثیر پذیری از باروری را دارند کدامند؟..... ۱۰۴
- ۴.۸. عملیات باروری بر روی ابرهایی که بارش سبک دارند مؤثرتر است یا ابرهایی که بارش سنگین دارند؟ آیا کارایی باروری ابرها با سن ابر مرتبط است؟..... ۱۰۵
- ۴.۹. ارزیابی پروژه‌های باروری ابرها به چه روش یا روش‌هایی صورت می‌گیرد؟..... ۱۰۶
- ۴.۱۰. بزرگ‌بودن منطقه هدف باروری ابرها چه محدودیتهایی ایجاد می‌کند؟..... ۱۰۸
- ۴.۱۱. مشکلات و چالش‌های ارزیابی پروژه‌های باروری ابرها چه هستند؟..... ۱۰۹
- ۴.۱۲. با چه ابزار و تدابیری می‌توان از اتفاقات بدون ابر اطلاع حاصل نمود؟..... ۱۰۹
- ۴.۱۳. چگونه می‌توان اثبات نمود افزایش بارش رخ داده در منطقه هدف ناشی از اجرای باروری ابرها است و نه به دلیل رویداد طبیعی بارش؟..... ۱۱۰
- ۴.۱۴. چرا یک برنامه باروری ابرها در یک منطقه موفق و در منطقه‌ای دیگر ناموفق است؟ آیا می‌توان نتایج و یافته‌های یک منطقه را برای مناطق دیگر تعمیم داد؟..... ۱۱۲
- ۴.۱۵. کدامیک از بازه‌های زمانی سالانه، ماهانه، فصلی و یا روزانه برای ارزیابی پروژه‌های باروری ابرها مناسب‌تر است؟..... ۱۱۳
- ۴.۱۶. چرا نتایج یک برنامه باروری می‌تواند از یک دوره تا دوره‌ای دیگر متفاوت باشد؟..... ۱۱۴
- ۴.۱۷. آیا می‌توان به آسانی نتایج ارزیابی اعلام‌شده را پذیرفت؟..... ۱۱۴
- ۴.۱۸. چه افراد یا گروه‌هایی صلاحیت ارزیابی پروژه‌های باروری ابرها را دارند؟..... ۱۱۵
- ۴.۱۹. آیا همه برنامه‌های باروری ابرها در دنیا مورد ارزیابی قرار می‌گیرند؟..... ۱۱۵
- ۴.۲۰. کدام روش یا روش‌ها برای ارزیابی مناسب پروژه‌های باروری ابرها پیشنهاد می‌شود؟..... ۱۱۵
- منابع..... ۱۱۶

فصل پنجم: اثرات اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی باروری ابرها

- ۵.۱. فن‌آوری باروری ابرها از دیدگاه بخش‌های مختلف جامعه چگونه است؟..... ۱۲۲
- ۵.۲. آیا تاکنون تحقیقاتی در بررسی ابعاد اجتماعی باروری ابرها صورت گرفته است؟..... ۱۲۲
- ۵.۳. برای آغاز یک برنامه باروری ابرها باید چه ملاحظات اجتماعی در نظر گرفته شود؟..... ۱۲۳
- ۵.۴. آیا تحلیل اقتصادی پروژه‌های باروری ابرها همانند پروژه‌های دیگر انجام می‌شود؟..... ۱۲۳
- ۵.۵. هزینه آب استحصالی و نسبت سود به هزینه پروژه‌های باروری ابرها در دنیا چقدر است؟..... ۱۲۳

- ۵.۶. چه نسبتی از سود به هزینه، اجرای یک برنامه باروری ابرها را توجیه می‌کند؟..... ۱۲۵
- ۵.۷. هزینه دیگر روش‌های استحصال آب نسبت به هزینه آب حاصل از باروری ابرها چقدر است؟..... ۱۲۵
- ۵.۸. منافع اجرای باروری ابرها برای استحصال آب جهت تولید نیروی برق آبی چقدر است؟..... ۱۲۷
- ۵.۹. آیا تاکنون اثرات اقتصادی باروری ابرها بر روی محصولات کشاورزی ارزیابی شده است؟..... ۱۲۷
- ۵.۱۰. اگر نسبت سود به هزینه در طرح اولیه مقرون به صرفه نباشد چه باید کرد؟..... ۱۲۹
- ۵.۱۱. چه جنبه‌هایی از اثرات محیط‌زیستی پروژه‌های باروری ابرها مورد بررسی قرار گرفته و خلاصه نتایج این تحقیقات چه بوده است؟..... ۱۳۰
- ۵.۱۲. آیا ممکن است برف یا باران اضافی حاصل از باروری ابرها تأثیر منفی بر محیط‌زیست داشته باشد؟..... ۱۳۱
- ۵.۱۳. آیا باروری ابرها با دیدنقره تأثیر منفی بر محیط‌زیست و سلامت انسان دارد؟..... ۱۳۱
- ۵.۱۴. چگونه می‌توان از عدم آلودگی باران یا برف بارور شده به نقره اطمینان حاصل نمود؟..... ۱۳۳
- ۵.۱۵. آیا لازم است برای هر پروژه، نمونه‌گیری و تحلیل محتوای نقره باران یا برف انجام شود؟..... ۱۳۵
- ۵.۱۶. اثرات محیط‌زیستی مواد باروری غیر از دیدنقره چیست؟..... ۱۳۵
- ۵.۱۷. آیا مزه و بوی باران و برف حاصل از یک ابر بارور شده با بارش طبیعی متفاوت است؟..... ۱۳۵
- ۵.۱۸. آیا باروری ابرها تأثیرات کدامند دارد؟..... ۱۳۶
- ۵.۱۹. آیا باروری ابرها با هدف جلوگیری از بارش تگرگ باعث کاهش بارندگی می‌شود؟..... ۱۳۶
- منابع..... ۱۳۶

فصل ششم: آلودگی هوا و تأثیر آن بر بارش و بارایی باروری ابرها

- ۶.۱. آب و هوای واقعی چیست؟..... ۱۴۴
- ۶.۲. تعدیل ناخواسته آب و هوا به چه معنی است و آیا فعالیت‌های بشر بر آب و هوا تأثیر دارد؟..... ۱۴۴
- ۶.۳. چگونه تغییر در کاربری زمین‌ها می‌تواند باعث تعدیل ناخواسته آب و هوا گردد؟..... ۱۴۵
- ۶.۴. آلودگی هوا چه تأثیری بر بارش داشته و بیشتر بر چه نوع ابرهایی مؤثر است؟..... ۱۴۵
- ۶.۵. چگونه آلودگی هوا می‌تواند بر ساختار ابرها و بارش تأثیر گذارد؟..... ۱۴۶
- ۶.۶. آیا تأثیر آلودگی هوا بر ابرهای قاره‌ای و دریایی متفاوت است؟..... ۱۴۷
- ۶.۷. انواع آلودگی‌های مؤثر بر ابرها و بارش کدامند؟..... ۱۴۷
- ۶.۸. آیا آلودگی هوا می‌تواند باعث پدیده‌های مخرب گردد؟..... ۱۴۸
- ۶.۹. آیا امکان دارد کاهش بارش در مناطق دارای آلودگی هوا ناشی از تغییر اقلیم باشد؟..... ۱۴۹
- ۶.۱۰. آیا امکان مشاهده چشمی تأثیر آلودگی هوا بر ابر و بارش وجود دارد؟..... ۱۵۱
- ۶.۱۱. مهمترین نیازمندی‌های تحقیقات آلودگی هوا و تعدیل ناخواسته آب و هوا کدامند؟..... ۱۵۳
- ۶.۱۲. آیا نتایج بدست‌آمده از تأثیر آلودگی هوا بر بارش معتبر است؟..... ۱۵۳
- ۶.۱۳. آیا باروری ابرها می‌تواند تأثیر آلودگی هوا بر روی بارش را کاهش دهد؟..... ۱۵۴
- ۶.۱۴. چه روشی از باروری برای کاهش یا حذف اثرات آلودگی هوا بر بارش مؤثر است؟..... ۱۵۵
- ۶.۱۵. آیا لازم است اثرات آلودگی هوا در ارزیابی پروژه‌های باروری ابرها منظور شود؟..... ۱۵۶
- منابع..... ۱۵۵

فصل هفتم: موضوعات قانونی و حقوقی باروری ابرها

- ۷.۱. بیشترین قوانین تعدیل آب و هوا متعلق به چه کشوری است؟ ۱۶۲
- ۷.۲. چه نهادهایی در آمریکا قوانین مربوط به تعدیل آب و هوا را تنظیم می‌کنند؟ ۱۶۲
- ۷.۳. وضع قوانین چگونه می‌تواند مردم را از پیامدهای مخرب احتمالی اجرای پروژه‌های باروری ابرها مطمئن سازد؟ ۱۶۳
- ۷.۴. مسائل مهم حقوقی که بعضاً پس از اتمام پروژه مطرح می‌شوند کدامند؟ ۱۶۳
- ۷.۵. جهت معالجت از ایجاد دعوای حقوقی بر سر مسائل محیط‌زیستی برنامه‌های باروری ابرها چه قوانینی وضع شده است؟ ۱۶۴
- ۷.۶. بارورکنندگان ابر چه قوانینی را در اجرای این برنامه‌ها بایستی رعایت کنند؟ ۱۶۴
- ۷.۷. آیا اخذ گواهینامه تخصصی برای بارورکنندگان ابر الزامی است؟ شرایط آن چیست؟ ۱۶۵
- ۷.۸. اهداف و شرایط اخذ مجوز برای اجرای یک پروژه باروری ابرها چیست؟ ۱۶۶
- ۷.۹. قوانین باروری ابرها در آمریکا بیشتر متوجه منافع شخصی است یا منافع جامعه؟ ۱۶۷
- ۷.۱۰. مهم‌ترین دعاوی قضایی بر علیه برنامه‌های باروری ابرها چه بوده‌اند؟ ۱۶۷
- ۷.۱۱. حقایق‌های جوی و سطحی حاصل از برنامه‌های باروری ابرها متعلق به کیست؟ ۱۶۸
- ۷.۱۲. آیا تاکنون از تعدیل آب و هوا جهت اهداف نظامی استفاده شده است؟ ۱۶۹
- ۷.۱۳. کنوانسیون ژنو (۱۹۷۷) چیست و آیا ایران نیز از امضاءکنندگان آن می‌باشد؟ ۱۶۹
- ۷.۱۴. آیا تاکنون منازعات بین‌المللی بر سر فعالیت‌های تعدیل آب و هوا روی داده است؟ ۱۷۰
- ۷.۱۵. آینده منازعات بین‌المللی درخصوص تعدیل آب و هوا چگونه پیش‌بینی می‌شود؟ ۱۷۱
- ۷.۱۶. آیا احکام اسلام با تعدیل آب و هوا مغایرت دارد؟ ۱۷۲
- منابع ۱۷۳

فصل هشتم: وضعیت جاری و چشم‌انداز آتی

- ۸.۱. در حال حاضر میزان علاقمندی و فعالیت در زمینه تعدیل آب و هوا در دنیا چگونه است؟ ۱۷۸
- ۸.۲. مدیریت علمی برنامه‌های باروری ابرها در دنیا بر عهده کیست و چه نقشی دارد؟ ۱۷۹
- ۸.۳. آیا تمام مراجع علمی و معتبر دنیا نظرات یکسانی درخصوص کارایی و ابعاد مختلف برنامه‌های تعدیل آب و هوا دارند؟ ۱۸۰
- ۸.۴. متقاضیان اجرای برنامه‌های باروری ابرها در دنیا چه کسانی هستند؟ ۱۸۲
- ۸.۵. اجراکنندگان باروری ابرها در دنیا بیشتر چه کسانی هستند؟ ۱۸۲
- ۸.۶. دلایل جذابیت باروری ابرها نسبت به روش‌های دیگر استحصال آب چیست؟ ۱۸۲
- ۸.۷. مشکلات اصلی دنیا در تعدیل آب و هوا چیست؟ ۱۸۳
- ۸.۸. چشم‌انداز آینده باروری ابرها چگونه است؟ ۱۸۴
- منابع ۱۸۵

فصل نهم: باروری ابرها در ایران

- ۹.۱. سابقه و اهداف باروری ابرها در ایران چه بوده و وضعیت کنونی آن چگونه است؟..... ۱۹۰
- ۹.۲. مدیریت علمی و اجرایی باروری ابرها برعهده کیست؟..... ۱۹۰
- ۹.۳. متقاضیان باروری ابرها چه کسانی بوده و نقش دولت در تعدیل آب‌وهوا چیست؟..... ۱۹۲
- ۹.۴. باروری ابرها در چه بخش‌هایی از کشور اجرا می‌شود و در چه مناطقی مؤثرتر است؟..... ۱۹۲
- ۹.۵. سازمان‌هایی که با اجرای پروژه‌های باروری ابرها درگیر هستند کدامند؟..... ۱۹۳
- ۹.۶. آیا تاکنون از باروری ابرها برای تولید نیروی برق آبی استفاده شده است؟..... ۱۹۴
- ۹.۷. سامانه‌های جوی که کشور را تحت تأثیر قرار می‌دهند از چه نوعی هستند؟ آیا از نظر مشخصات خردفیزیکی شرایط و معیارهای باروری را دارند؟..... ۱۹۴
- ۹.۸. آیا برای پروژه‌های عملیاتی باروری ابرها مطالعات امکان‌سنجی صورت می‌گیرد؟..... ۱۹۵
- ۹.۹. از چه مواد و تجهیزاتی برای باروری ابرها استفاده می‌شود؟..... ۱۹۵
- ۹.۱۰. روند اجرای پروژه‌های باروری ابرها چگونه است؟..... ۲۰۳
- ۹.۱۱. آیا امکان کاربرد انواع روش‌های زمینی از جمله ژئراتورهای زمینی، توپ و یا موشک و نیز دیگر مواد باروری همچون یخ خشک وجود دارد؟..... ۲۰۵
- ۹.۱۲. معیارهای اجرا و توقف باروری ابرها کدامند؟..... ۲۰۶
- ۹.۱۳. میزان تجهیزات فنی لازم بویژه هواپیما و رادار جهت باروری کل کشور چقدر است؟..... ۲۰۷
- ۹.۱۴. آیا افراد شرکت‌کننده در برنامه‌های باروری ابرها گواهینامه تخصصی دارند؟..... ۲۰۷
- ۹.۱۵. آیا در اجرای باروری ابرها پنجره‌های فرصت نیز در نظر گرفته می‌شود؟..... ۲۰۸
- ۹.۱۶. نیازمندی‌های اجرای مناسب باروری ابرها در ایران کدامند؟..... ۲۰۸
- ۹.۱۷. باروری ابرها چقدر در افزایش بارش و استحصال آب اضافی مؤثر بوده است؟..... ۲۰۹
- ۹.۱۸. سودهای اقتصادی و نسبت سود به هزینه در پروژه‌های باروری ابرها چقدر است؟..... ۲۰۹
- ۹.۱۹. ارزیابی پروژه‌های باروری ابرها با چه روشی و توسط چه کسانی صورت می‌گیرد؟..... ۲۰۹
- ۹.۲۰. نیازمندی‌های ارزیابی مناسب و مطمئن پروژه‌های باروری ابرها در ایران چیست؟..... ۲۱۲
- ۹.۲۱. آیا تأثیر آلودگی هوا بر بارش مورد بررسی قرار گرفته و آیا این تأثیر در ارزیابی پروژه‌های باروری ابرها لحاظ می‌شود؟..... ۲۱۳
- ۹.۲۲. آیا بکارگیری فناوری باروری ابرها می‌تواند به رفع آلودگی‌های هوا در کشور کمک نماید؟..... ۲۱۳
- ۹.۲۳. هزینه سالیانه اجرای پروژه‌های باروری ابرها در ایران چقدر است؟..... ۲۱۳
- ۹.۲۴. هزینه آب استحصالی از اجرای برنامه‌های باروری ابرها در مقایسه با دیگر پروژه‌های استحصال آب چقدر است؟..... ۲۱۴
- ۹.۲۵. آیا اثرات محیط‌زیستی پروژه‌های باروری ابرها مورد بررسی قرار گرفته است؟..... ۲۱۴
- ۹.۲۶. فناوری باروری ابرها از دیدگاه بخش‌های مختلف جامعه چگونه است؟..... ۲۱۴
- ۹.۲۷. آیا تاکنون ادعایی مبنی بر کاهش بارش پایین‌دست یا ایجاد پدیده‌های مخرب از جمله سیل و یا خسارت‌های دیگر ناشی از اجرای باروری ابرها مطرح شده است؟..... ۲۱۵

۹.۲۸	آیا هیچ قانونی در خصوص ابعاد مختلف تعدیل آب و هوا در ایران وجود دارد؟.....	۲۱۵
۹.۲۹	چه لزومی جهت تدوین قوانین حقوقی تعدیل آب و هوا وجود دارد؟ چه ملاحظاتی در تدوین آن لازم است؟.....	۲۱۵
۹.۳۰	آیا ایران عضو سازمان جهانی هواشناسی و یا انجمن‌های معتبر علمی در این زمینه می‌باشد؟.....	۲۱۶
۹.۳۱	چشم انداز آینده باروری ابرها در ایران چگونه است؟.....	۲۱۶
	منابع.....	۲۱۷

فصل دهم: پیوستها

پیوست ۱: معیارهای اجرا و توقف باروری ابرها.....	۲۲۲
۱.۱. معیارهای اجرای باروری ابرها.....	۲۲۲
۱.۲. معیارهای تعلیق یا توقف ابرهای سرد.....	۲۲۳
۱.۳. معیارهای تعلیق یا توقف ابرهای گرم.....	۲۲۴
پیوست ۲: نرخ تزریق هسته در باروری ابرهای سرد.....	۲۲۵
پیوست ۳: ویژگی‌های مواد باروری.....	۲۲۶
پیوست ۴: جزئیات روش‌های ارزیابی پروژه‌های باروری ابرها.....	۲۲۹
۴.۱. روش‌های آماری.....	۲۲۹
۴.۲. روش فیزیکی.....	۲۳۲
۴.۳. روش مدل‌سازی عددی.....	۲۳۴
منابع.....	۲۳۵
واژنامه.....	۲۳۵
نمایه‌ها.....	۲۴۹

فهرست اشکال

شکل ۱.۱: اولین تجارب آزمایشگاهی و میدانی باروری ابرها.....	۳۰
شکل ۲.۱: فرایند تشکیل ابر.....	۳۰
شکل ۳.۱: انواع اصلی ابر بر اساس ارتفاع از سطح زمین، و رشد عمودی آنها.....	۳۲
شکل ۴.۱: تراکم و اندازه قطره‌ها در ابرهای دریایی و قاره‌ای.....	۳۳
شکل ۵.۱: وضعیت یخ و آب در لایه‌های مختلف یک ابر کومولونیمبوس.....	۳۴
شکل ۵.۲: فرایند برخورد و هم‌آمیزی در ابرهای گرم.....	۳۵
شکل ۷.۱: نحوه رشد قطره‌های آب درون ابر تا رسیدن به اندازه باران در یک ابر گرم.....	۳۶
شکل ۸.۱: فرایند برزردون.....	۳۷
شکل ۹.۱: فرایندهایی که پس از تشکیل بلورهای بزرگ یخ تا تولید بارش صورت می‌گیرند.....	۳۸
شکل ۱۰.۱: بارش به صورت برف یا باران بسته به دمای سطح زمین.....	۳۸
شکل ۱۱.۱: اندازه نسبی قطره باران، قطره‌های ابر و هسته میعان.....	۳۹
شکل ۱۲.۱: تأثیر باروری بر ابرهای گرم و سرد یا مواد نم‌گیر و بدیدنقره.....	۴۱
شکل ۱۳.۱: باروری استاتیکی ابرهای سرد.....	۴۲
شکل ۱۴.۱: تأثیر باروری دینامیکی.....	۴۲
شکل ۱۵.۱: سیر زمانی فرایند توسعه ابر و افزایش بارش در باروری ابرهای سرد.....	۴۲
شکل ۱۶.۱: فرایند تولید بارش در اثر باروری پایه ابر گرم با ارتفاع ۲ تا ۳ کیلومتر.....	۴۳
شکل ۱۷.۱: محدوددهای از یک ابر که دمای شاسی جهت باروری یا بدیدنقره دارد.....	۴۴
شکل ۱۸.۱: پودر بدیدنقره در ترکیب با مواد شیمیایی دیگر.....	۵۵
شکل ۲۰.۲: روش‌های تزریق مواد بارورسازی ابرها.....	۵۶
شکل ۳.۲: نحوه جایگذاری فلرهای مشتعل درمحل بر روی بال هواپیما.....	۵۷
شکل ۴.۲: انجام باروری با فلرهای مشتعل درمحل حاوی مواد نم‌گیر در کوه‌ولای مکزیک.....	۵۷
شکل ۵.۲: مسیر قابل رؤیت قطره‌های آب پس از باروری هوایی با مواد نم‌گیر.....	۵۷
شکل ۶.۲: نحوه قراردگیری فلرهای پرتابی در زیر هواپیما.....	۵۸
شکل ۷.۲: باروری با فلرهای پرتابی از زیر هواپیما.....	۵۸
شکل ۸.۲: فلرهای پرتابی حاوی بدیدنقره و خشاب‌های محل جایگذاری آنها.....	۵۹
شکل ۹.۲: نحوه سوختن فلرهای پرتابی پس از شلیک از بدنه هواپیمای باروری در شب.....	۵۹
شکل ۱۰.۲: نمونه‌ای از ژئراتور محلول استن و بدیدنقره واقع در زیر بال هواپیما.....	۶۰
شکل ۱۱.۲: باروری پایه ابر با ژئراتور مشتعل درمحل در داکوتای شمالی.....	۶۰
شکل ۱۲.۲: نمونه ژئراتور زمینی از نوع دستی.....	۶۱
شکل ۱۳.۲: ژئراتور زمینی کنترل از راه دور بدیدنقره.....	۶۱
شکل ۱۴.۲: نمونه ژئراتور زمینی بدیدنقره در حال باروری.....	۶۲
شکل ۱۵.۲: دو نمونه فلرهای درختی خودکار.....	۶۲
شکل ۱۶.۲: محفظه دودکش دار حاوی فلرهای دودزای زمینی مورد استفاده در چین.....	۶۳
شکل ۱۷.۲: نمونه راکت‌ها و توپ‌های پرتابی حاوی مواد باروری مورد استفاده در کشور چین.....	۶۴
شکل ۱۸.۲: تجهیزات پرتاب راکت و تصویری از اجرای باروری با آن در چین.....	۶۴
شکل ۱۹.۲: دانه‌های یخ خشک.....	۶۵
شکل ۲۰.۲: نمونه دستگاه بخش یخ خشک درون هواپیما.....	۶۵
شکل ۲۱.۲: پخش یخ خشک از زیر بدنه هواپیما.....	۶۵
شکل ۲۲.۲: سبندر فینروژن مایع در هواپیما و خروجی نم‌بیه شده در بدنه هواپیما.....	۶۶
شکل ۲۳.۲: هواپیمای پایپر سنانی II.....	۶۸

شکل ۲۴.۲: هواپیمای سسای ۳۴۰	۶۸
شکل ۲۵.۲: هواپیمای پابرجینی II	۶۸
شکل ۲۶.۲: هواپیمای کینگ ایر C۹۰	۶۸
شکل ۲۷.۲: هواپیمای کینگ ایر ۱۰۰	۶۸
شکل ۲۸.۲: هواپیمای کینگ ایر ۲۰۰	۶۹
شکل ۲۹.۲: هواپیمای لیر ۳۵۸	۶۹
شکل ۳۰.۲: تصویری از ماهواره مودیس	۷۰
شکل ۳۱.۲: نمونه‌ای از گیرنده و سایت تجهیزات رادار هواشناسی در آفریقای جنوبی	۷۰
شکل ۳۲.۲: نمونه تصویر پردازش شده رادار هواشناسی متعلق به آفریقای جنوبی	۷۰
شکل ۳۳.۲: تصویری از رادومتر میکروموج	۷۱
شکل ۳۴.۲: تجهیزات اندازه‌گیری کمیت‌های هواشناسی به همراه پیروتکنیک‌های پرنایی در ایالت آیداهو	۷۱
شکل ۱.۲: رشد انفجاری ابر کومولوس در اثر باروری	۷۷
شکل ۲.۲: چگونگی ارتباط بین مجموعه‌های مختلف جهت اجرای عملیات باروری	۸۰
شکل ۳.۲: مدیر عملیات پروازی در حال اخذ اطلاعات از مرکز عملیاتی در چین	۸۱
شکل ۴.۲: مرکز دریات و پردازش تصاویر رادارهای هواشناسی و عملیات راهبردی در یونان	۸۱
شکل ۵.۲: مرکز عملیاتی در ایستگاه رادار	۸۲
شکل ۶.۲: روش‌های باروری در ابرهای سرد رستانه	۸۴
شکل ۷.۲: روش‌های باروری در ابرهای گرم رستانه	۸۵
شکل ۸.۲: روش‌های باروری در ابرهای سرد رستانه	۸۵
شکل ۹.۲: طرحواره‌ای از موقعیت خط باروری نسبت به مناطق هدف در فلسطین اشغالی	۸۶
شکل ۱۰.۲: طرحواره مسیر باروری نم‌گیر در یونانی هند	۸۷
شکل ۱۱.۲: مسیر یک عملیات باروری در کشور ژاپن	۸۷
شکل ۱۲.۲: منطقه مورد باروری از یک ابر در روش قله و پایه ابر	۸۸
شکل ۱۳.۲: پنجره فرصت دمایی در یک ابر کومولونیمبوس	۹۱
شکل ۱۴.۲: موقعیت مناطق هدف و کنترل و منطقه گسترش یافته هدف در پروژه مراکش	۱۰۱
شکل ۲.۴: طرحواره‌ای از سایه باران و نمونه واقعی آن در ایالت واشنگتن آمریکا	۱۰۳
شکل ۳.۴: طرحواره از ابرهای کوهستانی	۱۰۵
شکل ۴.۴: انواع روش‌های باروری ابرهای کوهستانی	۱۰۵
شکل ۵.۴: نحوه انتخاب منطقه کنترل نسبت به موقعیت منطقه هدف در روش هدف کنترل	۱۰۸
شکل ۶.۴: نحوه اندازه‌گیری کمیت‌های ابر قبل و بعد از باروری	۱۱۰
شکل ۷.۴: تغییر قابلیت بازتابش سامانه ابری قبل و بعد از باروری	۱۱۲
شکل ۱.۵: بازگشت سود ناخالصی سالیانه حاصل از اجرای پروژه‌های باروری ابرها در داکوتای شمالی	۱۲۹
شکل ۲.۵: ظرف نمونه‌برداری از برف	۱۳۲
شکل ۳.۵: فرود هلیکوپتر بر روی قله کوه جهت نمونه‌گیری برف	۱۳۲
شکل ۴.۵: چگونگی تهیه نمایه برف جهت آنالیز شیمیایی	۱۳۴
شکل ۵.۵: نمونه‌گیری برف در پروژه وایومینگ	۱۳۴
شکل ۶.۵: آنالیز نمونه‌های برف در آزمایشگاه جهت آشکارسازی مقدار نقره در برف	۱۳۴
شکل ۱.۶: ابری که در اثر آلودگی کارخانه کف‌سازی بر روی شهر تشکیل شده است	۱۴۲
شکل ۲.۶: تصویری از تشکیل ابر بر روی کارخانجات کف‌سازی	۱۴۶
شکل ۳.۶: تصاویری از منابع آلودگی شهری و صنعتی و آلودگی‌های حاصل از سوختن چاه‌های نفت	۱۴۸
شکل ۴.۶: تأثیر آلودگی‌های شهری در بارش ارتفاعات سریا نوادا در کالیفرنیا	۱۵۰

- شکل ۵.۶: مسیر کشتی‌ها در ابرهای لایه‌ای دریایی..... ۱۵۱
- شکل ۶.۶: رگه‌های قطرک‌های ریز مرئی ابرها روی منابع انتشار آلودگی در تصاویر ماهواره..... ۱۵۲
- شکل ۱.۸: وضعیت جاری اجرای برنامه‌های تعدیل آب و هوا در دنیا در سال ۲۰۰۹..... ۱۷۸
- شکل ۲.۸: وضعیت اجرای برنامه‌های تعدیل آب و هوا در ایالات متحده آمریکا در سال ۲۰۰۹..... ۱۷۹
- شکل ۳.۸: مدیریت منابع آب جوی در کنار مدیریت بخش‌های مختلف آب..... ۱۸۱
- شکل ۴.۸: گزارش چشم‌انداز جهانی در خصوص آب تازه..... ۱۸۴
- شکل ۱.۹: نمایی از ساختمان مرکز ملی تحقیقات و مطالعات باروری ابرها واقع در استان یزد..... ۱۹۰
- شکل ۲.۹: مناطق عملیاتی باروری ابرها از سال ۱۳۷۷..... ۱۹۱
- شکل ۳.۹: جهت و مقدار بارش و بادهای مؤثر بر کشور..... ۱۹۴
- شکل ۴.۹: دوفرون هواپیمای آنتونوف ویژه باروری ابرها مستقر در حرمگاه بین‌المللی یزد..... ۱۹۶
- شکل ۵.۹: نمای درونی هواپیمای باروری در ایران..... ۱۹۶
- شکل ۶.۹: نمای دیگر درونی هواپیمای باروری در ایران..... ۱۹۶
- شکل ۷.۹: مجموعه سنج‌های دما، رطوبت، سنج و اندازه‌گیر محتوی آب مایع ابر..... ۱۹۷
- شکل ۸.۹: آنتن سامانه ارتباط رادیویی..... ۱۹۷
- شکل ۹.۹: ارتفاع سنج رادیویی..... ۱۹۷
- شکل ۱۰.۹: فشارسنج..... ۱۹۷
- شکل ۱۱.۹: شیشه بلیستر..... ۱۹۷
- شکل ۱۲.۹: گلوله‌های حاوی پدیدنقره..... ۱۹۸
- شکل ۱۳.۹: محل جای‌گذاری گلوله‌های پرتابی درون خشاب‌های ویژه قابل نصب بر بردنه هواپیما..... ۱۹۸
- شکل ۱۴.۹: محل تهیه شده در بدنه هواپیما جهت جای‌گذاری خشاب‌های حاوی گلوله‌های پرتابی..... ۱۹۸
- شکل ۱۵.۹: دستگاه دستور پرتاب گلوله‌های پدیدنقره از درون هواپیما..... ۱۹۸
- شکل ۱۶.۹: کپسول‌های حاوی نیتروژن مایع مستقر در هواپیمای باروری..... ۱۹۹
- شکل ۱۷.۹: خروجی نیتروژن مایع از بدنه هواپیما..... ۱۹۹
- شکل ۱۸.۹: لوله‌های اتصال کپسول‌های حاوی نیتروژن مایع به خروجی..... ۱۹۹
- شکل ۱۹.۹: محدوده تحت پوشش رادارهای هواشناسی کل کشور..... ۲۰۰
- شکل ۲۰.۹: مناطق کور و محدوده دید رادارهای آکسوپری..... ۲۰۰
- شکل ۲۱.۹: تصویری از آنتن فرستنده و گیرنده امواج رادار و اتاقک محوری تجهیزات مربوطه..... ۲۰۱
- شکل ۲۲.۹: سایت رادار هواشناسی آکسوپری..... ۲۰۱
- شکل ۲۳.۹: نمایی از کامپیوتر و تجهیزات پردازشگر رادار واقع در اتاقک رادار..... ۲۰۱
- شکل ۲۴.۹: تجهیزات گیرنده و فرستنده..... ۲۰۱
- شکل ۲۵.۹: تصویری از سایت رادار هواشناسی امیرآباد مازندران..... ۲۰۱
- شکل ۲۶.۹: تصویر پردازش شده رادار آکسوپری از قابلیت بازتولید ابر..... ۲۰۲
- شکل ۲۷.۹: تصویر پردازش شده رادار آکسوپری از بارش تجمعی ۱۲ ساعته..... ۲۰۲
- شکل ۲۸.۹: تصویر نمایه قائم ابر از رادار آکسوپری..... ۲۰۲
- شکل ۲۹.۹: تصویر پردازش شده رادار دایر، تهران از قابلیت بازتابش ابرها..... ۲۰۲
- شکل ۳۰.۹: ارتباطات بین منابع اطلاعاتی و هواپیمای باروری ابرها در ایران..... ۲۰۴
- شکل ۳۱.۹: مراحل اجرای یک عملیات باروری ابرها در ایران به صورت تصویری..... ۲۰۴
- شکل ۳۲.۹: گروه عملیات پروازی باروری ابرها..... ۲۰۵
- شکل ۳۳.۹: اتاق پیش‌بینی و هدایت عملیات پروازهای باروری..... ۲۰۵
- شکل ۳۴.۹: حداقل تعداد مورد نیاز ناوگان هواپیمای باروری برای پوشش کل کشور جهت عملیات باروری ابرها..... ۲۰۷
- شکل ۳۵.۹: مراحل ارزیابی پروژه‌های باروری ابرها در ایران..... ۲۱۰

شکل ۳۶.۹: طرحواره منطقه هدف یک عملیات پروازی.....	۲۱۱
شکل ۳۷.۹: منطقه هدف با منطقه تحت تأثیر مواد باروری در ماه آوریل در سال آبی ۸۸-۸۹.....	۲۱۱
شکل ۳۸.۹: موقعیت منطقه و ایستگاههای هدف و ایستگاههای کنترل.....	۲۱۱
شکل ۱.۱۰: نحوه تعیین منطقه هدف و کنترل در روش معروف هدف-کنترل.....	۲۳۰

فهرست جداول

جدول ۱-۱: مشخصات انواع اصلی ابرها بر اساس ارتفاع.....	۳۱
جدول ۱-۲: ویژگیهای پدیدنقره به عنوان رایجترین ماده باروری.....	۵۵
جدول ۲-۲: خصوصیات و ویژگیهای انواع روشهای باروری ابرها.....	۷۲
جدول ۱-۳: مراحل بارورسازی ابرها از زمان برخاست تا بازگشت هواپیما.....	۸۳
جدول ۲-۳: مزایا و محدودیت های باروری با دو روش زمینی و هوایی.....	۸۹
جدول ۳-۳: انواع پدیدههای فرصت در باروری ابرها.....	۹۰
جدول ۱-۴: دلایل علمی رد ادعای کاهش بارش در مناطق پایین دست برنامههای باروری ابرها.....	۱۰۲
جدول ۲-۴: ویژگی سن ابرها در باروری ابرها.....	۱۰۶
جدول ۳-۴: چالشهای قراردادی ارزیابی پروژههای باروری ابرها در دنیا.....	۱۰۹
جدول ۴-۴: دلایل تفاوت نتایج و عدم امکان تعمیم و انتقال پروژههای باروری ابرها.....	۱۱۳
جدول ۵-۴: دلایل تفاوت نتایج ارزیابی از یک دوره به دوره ای دیگر.....	۱۱۴
جدول ۱-۵: هزینه آب استحصالی از اجرای پروژه باروری ابرها در دنیا.....	۱۲۴
جدول ۲-۵: نسبت سود به هزینه در پروژههای باروری ابرها در دنیا.....	۱۲۵
جدول ۳-۵: مقایسه هزینه آب استحصالی از باروری ابرها با روشهای دیگر استحصال آب.....	۱۲۶
جدول ۴-۵: سودهای اقتصادی حاصل از اجرای پروژه های باروری ابرها در داکوتای شمالی.....	۱۲۸
جدول ۵-۵: خلاصه نتایج بررسی پیامدهای محیط زیستی ناشی از اجرای برنامههای باروری ابرها.....	۱۳۱
جدول ۶-۵: نتایج تحقیقات اثرات محیط زیستی پدیدنقره مصرفی در باروری ابرها.....	۱۳۲
جدول ۱-۶: اطلاعات و تحقیقات لازم جهت بررسی اثرات تعدیل ناشی از آب و هوا.....	۱۵۳
جدول ۱-۷: الزامات قانونی جهت بارورکنندگان ابر قبل از آغاز و در طول اجرای پروژههای باروری ابرها.....	۱۶۵
جدول ۲-۷: معیارهای اصلی صدور مجوز در ایالات متحده آمریکا.....	۱۶۶
جدول ۳-۷: ویژگیهای دعاوی قضایی مطرح شده در خصوص برنامههای باروری ابرها.....	۱۶۷
جدول ۴-۷: دو نمونه ادعای مهم قضایی بر علیه بارورکنندگان ابرها و رأی صادره از دادگاهها.....	۱۶۸
جدول ۱-۸: مهم ترین فعالیتهای مدیریت علمی برنامههای تعدیل آب و هوا در دنیا.....	۱۸۰
جدول ۲-۸: گزیده ای از توصیه ها و نکته نظرات علمی مراجع معتبر دنیا.....	۱۸۱
جدول ۱-۹: قوانین کشور در خصوص واگذاری مدیریت استحصال و بهره برداری از منابع آبهای جوی.....	۱۹۱
جدول ۲-۹: روند اجرای یک عملیات باروری ابرها در ایران.....	۲۰۳
جدول ۳-۹: معیارهای اجرای عملیات و تزریق مواد باروری و منابع تأمین آنها.....	۲۰۶
جدول ۴-۹: نیازمندیهای اجرای مناسب برنامههای باروری ابرها در ایران.....	۲۰۸
جدول ۵-۹: داده های تاریخی حجم بارش منطقه هدف و ارتفاع بارش ایستگاههای کنترل.....	۲۱۲
جدول ۶-۹: ملزومات ارزیابی مناسب پروژههای باروری ابرها در ایران.....	۲۱۲
جدول ۷-۹: قانون مرتبط با تعدیل آب و هوا در کشور.....	۲۱۵
جدول ۱-۱۰: معیارهای اجرای باروری ابرها در دنیا.....	۲۲۲
جدول ۲-۱۰: معیارهای تعلیق و یا توقف ابرهای سرد.....	۲۲۳
جدول ۳-۱۰: معیارهای تعلیق یا توقف باروری ابرهای گرم.....	۲۲۴