Archive of SID

برخی ویژگیهای اقلیم‌شناسی ابر در ارتفاعات جنوبی کرمان به منظور ارزیابی امکان اجرای پروژه‌های افزایش بارش

کمال امیدوار

استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه یزد

چکیده

یکی از راههای نوین تأمین استحصال منابع آب در مناطق کم آب جهان، افزایش بارش از طریق بارورسازی ابرهاست. از طریق شناسایی مکانهای مناسب باروری ومطالعات وسیعی که دراین زمینه از جمله اقلیم‌شناسی ابر انجام می‌گیرد، می‌توان به این مقصود رسید. تحقیق حاضر در ارتفاعات جنوبی کرمان با استفاده از داده‌های ابر ایستگاههای بم، بافت، میانده، کهنوج، سیرجان، میناب و نیز ایستگاه جو بالای کرمان صورت گرفته است.

نتایج مطالعه نشان می‌دهد که بیشترین فراوانی رخداد ابرهای پایین و آسمان تمام ابری در ماههای بارشی و سرد سال (از آذر تا فروردین بویژه اسفند) در منطقه دیده می‌شود. بیشترین درصد فراوانی (۶۰-۹۴ درصد) ارتفاع پایه ابرهای با توسعه قائم درایستگاههای کرمان، بافت و سیرجان بین (۲۷۶۰-۳۷۶۰ متری)از سطح دریا قرار می‌گیرند. از آذر تا اسفند تراز یخبندان به پایینترین سطح خود (۲۹۹۸-۳۴۷۳ متری) می‌رسد و به ارتفاع پایه ابرهای پایین نزدیکتر می‌شود. به علاوه ارتفاع متوسط پایه بیش از ۹۰ درصد از ابرهای پایین در بالای تراز یخبندان واقع می‌گردد.

بنابراین از آذر تا فروردین، ارتفاعاتی که بیشترین درصد وقوع تراز یخبندان و حداکثر ارتفاع پایه ابرهای پایین در آنها واقع می‌شوند، شرایط مناسب‌تری را جهت اجرای طرحهای افزایش بارش در منطقه فراهم می‌کنند.

کلید واژه‌ها: ابر، بارورسازی ابرها، افزایش بارش، مکانیابی، بارش، کرمان

۱- مقدمه

ایران سرزمینی نسبتاً خشک است و مقدار بارش در آن کمتر از یک سوم متوسط بارش در سطح دنیاست.زمان ریزش نزولات جوی و مکان ریزش آن با نیازهای کشاورزی که در حقیقت مصرف کننده عمده آب می‌باشد مطابقت ندارد. تأثیر شگرف خشکی و مقابله انسان با

www.SID.ir

Archive of SID

آن در این سرزمین، به حدی است که حتی در نواحی مرطوب کشور نیز کمبود منابع آب به عنوان یکی از مهمترین موانع دستیابی به اهداف برنامه‌های توسعه پایدار به شمار می‌رود.

با توجه به بحران منابع آب و کسری بیلان آبی که تقریباً در همه مناطق کشور مطرح است، فرصتی مناسب فرا رسیده تا موضوع مطالعات و تحقیقات پیرامون افزایش بارش از طریق بارورسازی ابرها به عنوان یکی از راهکارهای نوین جهت تأمین استحصال منابع آب مطرح شود. افزایش بارش از طریق باروری ابرها در واقع بخشی از برنامه‌های علمی و تحقیقات وسیعتری است که در کشورهای مختلف دنیا تحت عنوان برنامه تعدیل وضعیت هوا[1] پیگیری می‌شود. این طرحها علاوه بر افزایش بارش، اهداف دیگری چون پراکنده ساختن مه، نابودی تگرگ و... را نیز دنبال می‌کند [۱، صص. ۱۳-۲۰]. علم و فن افزایش بارش را می‌توان تأثیر گذاری بر فرایند تحول و تکامل ابرها و ایجاد بارش در زمان و مکان مناسب به نحوی که تغییرات مفیدی در بر داشته باشد، تعریف کرد [۲، ص. ۳۰].

به دنبال خشکسالیهای متعدد، پروژه‌های افزایش بارش از دو دهه اخیر تاکنون در مناطق مختلف کشور از جمله دامنه‌های شمالی و جنوبی البرز و ارتفاعات مرکزی (شیرکوه) به مرحله اجرا گذاشته شده‌اند [۳]. تا به حال گزارش تأیید شده‌ای توسط مرکز ملی تحقیقات و مطالعات باروری ابرها درباره میزان تأثیر و موفقیت این طرحها انتشار نیافته، ولی در پروژه افزایش بارش که بین سالهای ۱۳۵۳-۱۳۵۷ در حوضه‌های آبریز رودخانه کرج و جاجرود توسط وزارت نیرو به مدت ۴ سال ادامه‌یافت، میانگین افزایش بارش حاصل از انجام این عملیات ۱۳/۶۴درصد گزارش شده است [۴، ص. ۱۷۷]. از طریق اجرای عملیات بارورسازی ابرها، انسان می‌تواند از لحاظ تعداد و نوع هسته‌های تشکیل بارش به طبیعت کمک نماید. نمونه‌ای از ذرات بارورکننده ابر، هسته‌های یخ ساز[2] مصنوعی داخل شده در قطرکهای ابر فوق سرد به منظور تحریک و تسریع در انجماد آنهاست [۵، ص. ۷].

پایه علمی برای باروری ابرها که سبب افزایش بارش می‌شود بر این فرض استوار است که یا کارایی بارش ابر طبیعی را افزایش دهد (باروری ایستا)[3] یا این که موجب گسترش ابرها شده، ابرهای بیشتر و پربارتر ایجاد نماید (باروری حرکتی)[4].

1. Weather Modefication Programme (W.M.P)

2. Ising Nuclei (IN)

3. Static Seeding

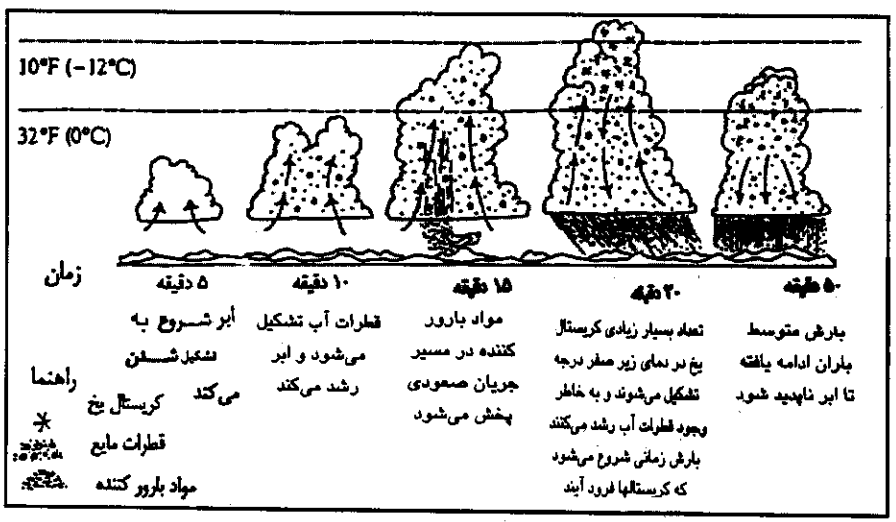
4. Dynamic Seeding

www.SID.ir

Archive of SID

هدف از باروری ایستا (میکروفیزیکی)، افزایش کارایی بارش به وسیله ازدیاد تعداد بلورهای یخ می‌باشد. اندازه ابر بیشتر به وسیله مقدار رطوبت موجود، ساختار دمای جوی و صعود موانع کوهستانی برای ابرهای کوهساری یا شناوری[1] برای ابرهای همرفتی[2] کنترل می‌شود.

باروری حرکتی (دینامیک) به منظور ایجاد ابرهای گسترده و فعال به طور طبیعی عمدتاً محدود به ابرهای نوع همرفتی (کومولوس) می‌باشد (شکلهای ۱و۲). اگرچه نتایج مدل سازی ابر در دهه ۱۹۸۰، امکان تحریک تشکیل ابرهای همرفتی را در ابرهای پوشنی[3] به وجود می‌آورد، زمان مناسب برای افزایش گسترش ابر با نتایج باروری، از زمانهایی است که با افزایش مختصر در دمای ابر با توجه به محیط ابر و درنتیجه شناوری رخ می‌دهد. هنگامیکه دمای ابر کومولوس، چند دهم درجه سلسیوس افزایش پیدا می‌کند، می‌تواند منجر به افزایش رشد ابر شود [۶، صص. ۷۳-۷۵].



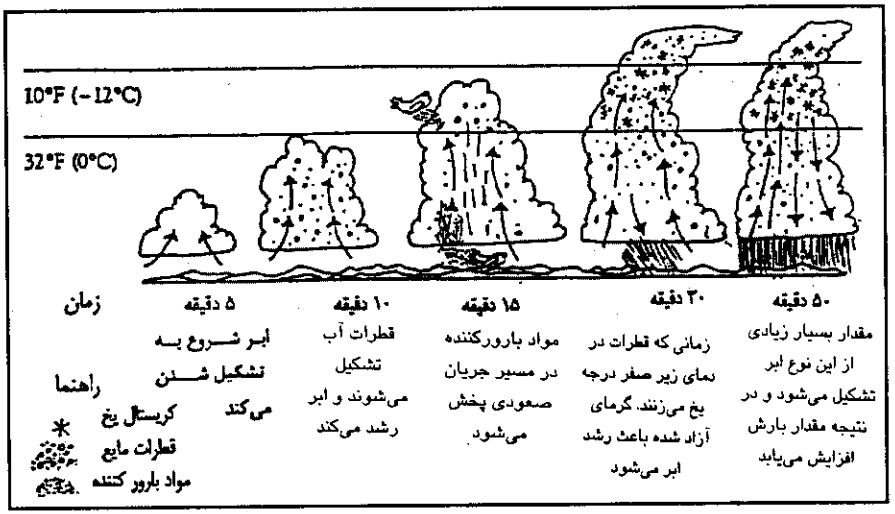
شکل ۱ مراحل مختلف بارش از یک ابر کومولوس بارور شده [۱۵، صص. ۲۱-۲۲].

روش استفاده زمانی است که سرعت صعود ابر کمتر از ۳۰ متر در ثانیه بوده، شرایط برای تحریک و رشد به وسیله روند دینامیکی مطلوب نمی‌باشد.

1. Buoyancy
2. Convective
3. Stratiform

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲ مراحل مختلف بارش از یک ابر کومولوس بارور شده [۱۵، صص. ۲۱-۲۲].
روش استفاده زمانی است که سرعت صعود ابر بالا بوده، شرایط برای تحریک و رشد به وسیله روند دینامیکی مطلوب است.

متوسط بارش در استان کرمان حدود ۱۴۵ میلی‌متر است [۷، ص. ۱] و این استان در محل تلاقی کوههای پراکنده مرکزی و رشته‌هایی از زاگرس در فلات مرکزی ایران قرار دارد [۸، ص. ۳۷]. با وجود داشتن ارتفاعات بلند و برخورداری از سیستمهای مناسب جوی [۹]، مطالعه‌ای در ارتباط با اجرای پروژه‌های افزایش بارش[1] انجام نشده است. هدف این مطالعه، اقلیم‌شناسی ابر در ارتفاعات جنوبی کرمان جهت اجرای طرحهای باروری ابرهاست.

منطقه مورد مطالعه بین طولهای ۵۵ درجه و ۴۹ دقیقه و ۵۸ درجه و ۱۵ دقیقه شرقی و عرضهای ۲۷ درجه و ۵۱ دقیقه و ۳۰ درجه و ۲۳ دقیقه شمالی قرار گرفته است و ارتفاعات مهم آن را هزار، لاله‌زار و بارز تشکیل می‌دهد.

1. Precipitation Enhancement Projects (PEP)

www.SID.ir

Archive of SID

۲- روش مطالعه

یکی از مهمترین پدیده‌های جوی، ابر است که از ابتدای خلقت، توجه بشر را به خود معطوف داشته است و در قرآن مجید به عنوان مظهری از عظمت خداوند یاد شده است (ذاریات، ۲). در برنامه‌های تعدیل وضعیت هوا، اقلیم‌شناسی ابر در واقع بخشی از مطالعات کلی و زیرساختاری وسیعتری است که تحت عنوان مرحله مکانیابی[1] ذکر می‌شود [۱۰].

در این مطالعات، توزیع مکانی و زمانی بارش، نوع و ارتفاع ابر و... شناخته شده و مورد ارزیابی قرارمی‌گیرد [۱۱، صص. ۱۱-۱۸]. در انتخاب مکان باروری باید نوع، مقدار، ارتفاع قله و پایه ابرها، توزیع قطرات، نیروی‌دینامیکی، مقدار آب مایع موجود، بیلان آبی - یخی و نیروی دینامیکی ابرها مطالعه شود [۱۲، صص. ۱۰۱-۱۰۳].

ابرهایی قابل باروری می‌باشند که فاقد بلورهای یخ طبیعی‌اند، دارای مقدار زیادی آب فوق سردند، گسترده و ضخیم هستند و کف آنها به حد کافی به سطح زمین نزدیک است تا باران قبل از رسیدن به‌زمین تبخیر نشود [۱۳، ص. ۱۸].

برای مطالعه وضعیت ابر در منطقه مورد مطالعه از داده‌های ایستگاههای کرمان، بم، بافت، میانده، کهنوج، سیرجان و میناب در دو زمان شب[2] (18, 21, 00, 03 UTC) و روز (06, 09, 12, 15 UTC) استفاده گردیده است. چون آمار بعضی ایستگاهها با دوره آماری تحقیق (۱۳۵۵-۱۳۷۴) مطابقت نداشت (موجود نیست)، برای ایستگاههای کرمان و بم آمار بیست ساله مشترک و برای تمام ایستگاهها آمار هفت ساله مشترک ابر (۱۳۶۸-۱۳۷۴) تهیه شد.

ابتدا فراوانی رخداد ابرهای پایین و متوسط مورد مطالعه قرار گرفت و سپس فراوانی ابرهای با توسعه قائم، فراوانی روزهای با آسمان ابری، نیمه ابری و تمام ابری بررسی شد. بعد ارتفاع تراز یخبندان و تغییرات زمانی و مکانی آن در ایستگاه جوّ بالای کرمان و ارتباط بین تراز یخبندان ایستگاه کرمان و پایه ابرهای پایین در دیگر ایستگاهها مورد مطالعه قرار گرفت و جداول و نمودارهای لازم تهیه گردید. این جداول و نمودارها، اطلاعات مفیدی را جهت اجرای طرحهای باروری ابرها در منطقه فراهم می‌نمایند.

1. Site Selection Phase (SSP)
2. Universal Time Coordinate (UTC)

www.SID.ir

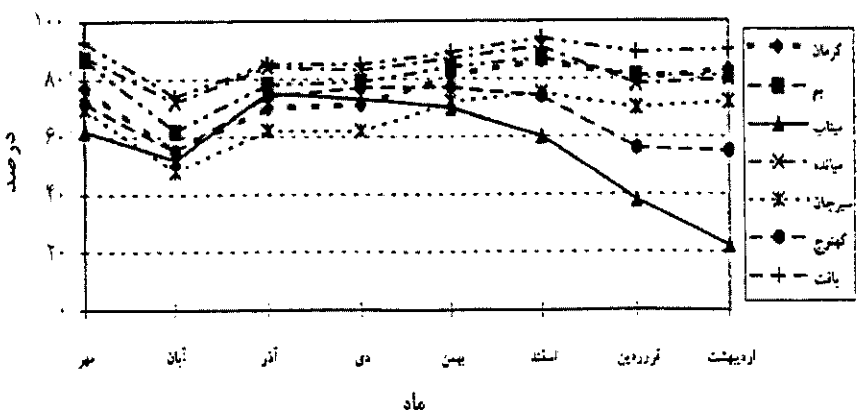
Archive of SID

۳- یافته‌های تحقیق

۳-۱- فراوانی رخداد ابرهای پایین و متوسط

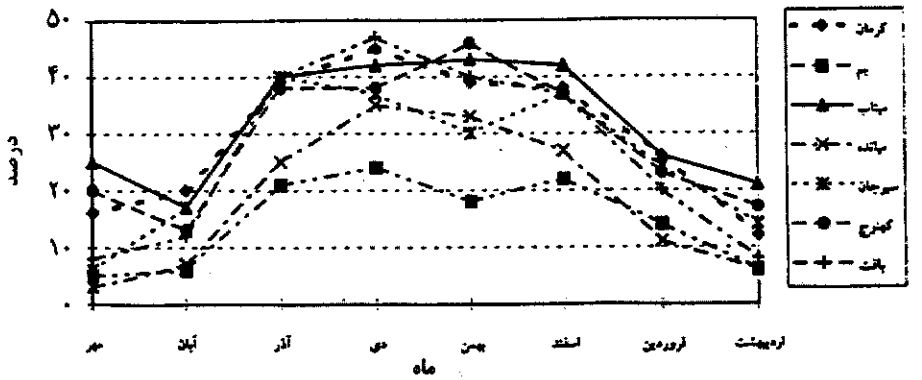
ابرها را علاوه بر نوع یا دیگر ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی، بر اساس معیار ارتفاع کف یا قله ابر از سطح زمین نیز می‌توان تقسیم بندی کرد. در رابطه با طراحی و اجرای طرحهای افزایش بارش عمدتاً توجه زیادتری به ابرهای پایین و متوسط می‌شود [۱۴، ص. ۳۰]. در این تحقیق، فراوانی رخداد ابرهای پایین که در ماههای بارشی سال مورد بررسی قرار گرفته است، بیشتر از فراوانی ابرهای متوسط می‌باشد. در اکثر ماههای سال، فراوانی ابرهای پایین در ساعات روز بیشتر از شب است که این موضوع به سبب شرایط تابشی مساعد برای ایجاد ناپایداری و همرفتیهای محلی در روز بویژه در ساعات بعدازظهر می‌باشد.

بیشترین فراوانی رخداد این نوع ابرها در ماههای سرد و بارانی یعنی از آذر تا فروردین دیده می‌شود و در آبان در تمام ایستگاهها به کمترین مقدار خود می‌رسد (سیرجان ۴۸/۲ درصد و بافت ۷۴/۵ درصد در روز) اما از آذر سیر صعودی خود را آغاز کرده در اسفند به حداکثر خود می‌رسد (بافت ۹۵ درصد ومیانده ۹۱ درصد) (شکل ۳) و از فروردین از مقدار آن کاسته می‌گردد. بیشترین درصد فراوانی ابرهای متوسط نیز متعلق به ماههای آذر تا اسفند است، گرچه از نظر مقدار بسیار کمتر از ابرهای پایین هستند (شکل ۴). درصدهای مذکور میانگین رخداد ابرهای پایین و متوسط نسبت به مجموع دیده‌بانیهایی است که در ایستگاههای مورد مطالعه و در طول دوره آماری مورد نظر در ۸ نوبت دیده‌بانی در شبانه روز محاسبه شده‌اند.



www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۴ نمودار درصد فراوانی رخداد ابرهای متوسط در ایستگاههای منطقه

۳-۲- فراوانی ابرهای با توسعه قائم

در مطالعات مکان گزینی و اجرای طرحهای باروری به فراوانی رخداد، ارتفاع پایه، شرایط تشکیل ابرهای پایینی که قابلیت بسط و گسترش قائم را دارند توجه ویژه‌ای می‌شود. تشکیل این ابرها که دردفترهای سینوپتیک با کدهای CL=۹, CL=۳, CL=۲ مشخص می‌شوند، خود گویای شرایط ناپایداری و همرفتی در جو می‌باشند. بویژه زمانی که توسعه قائم این ابرها در قبل و یا بعد از عملیات تلقیح به ترازهای بالاتر از یخبندان برسد (باروری دینامیک) ، یکی از پارامترهای مثبت جهت ارزیابی توان یک مکان برای اجرای طرحهای بارورسازی ابرهاست. در جدول ۱ میانگین درصد ارتفاع پایه ابرهای پایین در ایستگاههای منطقه مقایسه شده است. در ایستگاههای کرمان ۶۰-۹۴ درصد ارتفاع پایه ابرهای پایین بین ۲۷۶۰-۳۷۶۰ متری، در بم بیش از ۵۰ درصد بین ۲۲۶۰-۲۷۶۰ متری، در میانده بیش از ۸۰ درصد بین ۱۷۶۰-۲۲۶۰ متری، در بافت بیش از ۸۰ درصد بین ۳۲۶۰-۳۷۶۰ متری، در سیرجان بیش از ۹۰ درصد بین ۲۷۶۰-۳۲۶۰ متری و در کهنوج بیش از ۸۰ درصد بین ۱۳۶۰-۱۷۶۰ متری از سطح دریا قرار می‌گیرد. بنابراین ارتفاعاتی که حداکثر ارتفاع پایه ابرهای پایین در آن قرار می‌گیرند، برای اجرای طرحهای باروری مناسبترند.

www.SID.ir

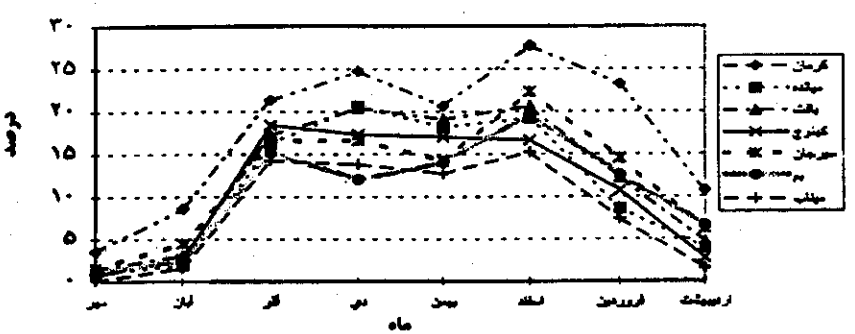
Archive of SID

جدول ۱ مقایسه میانگین درصد ارتفاع پایه ابرهای پایین در ایستگاههای منطقه (۱۳۶۸-۱۳۷۴)

ایستگاه	ارتفاع پایه ابرهای پایین از سطح دریا به متر	درصد	ایستگاه	ارتفاع پایه ابرهای پایین از سطح دریا به متر	درصد
کرمان	۳۷۶۰-۲۷۶۰	۹۴-۶۰	بافت	۳۲۶۰-۲۷۶۰	>۸۰
بم	۲۷۶۰-۲۲۶۰	>۵۰	سیرجان	۲۷۶۰-۲۲۶۰	>۹۰
میانده	۲۲۶۰-۱۷۶۰	>۸۰	کهنوج	۱۷۶۰-۱۳۶۰	>۸۰

۳-۳- بررسی فراوانی رخداد روزهای با آسمان کمی ابری، نیمه ابری و تمام ابری

یکی از معیارهای مهمی که می‌تواند به عنوان شاخصی برای ابرناکی و پتانسیل باران‌زایی در یک‌منطقه مورد مطالعه قرار گیرد، میزان ابرناکی و مقادیر ابر در آن ناحیه است که به صورت رخداد آسمان کمی ابری[1] ($\frac{۲}{۸}-۱$)، نیمه ابری[2] ($\frac{۶}{۸}-۳$) و تمام ابری[3] ($\frac{۸}{۸}-۷$) از طرف سازمان هواشناسی جهانی بیان می‌شود. در این رابطه، درصد فراوانی آسمان تمام ابری، از اهمیت بیشتری برخوردار است و یک معیار مطمئن در اجرای موفق عملیات باروری به شمار می‌رود، چون امکان وجود ابرهای مناسب در این شرایط بیشتر وجود دارد که در ماههای مورد مطالعه حداکثر آن از آذر تا فروردین (۷-۲۷ درصد) و حداقل آن در مهر، آبان و اردیبهشت (۱- ۱۰ درصد) و بیشترین درصد آن متعلق به اسفند می‌باشد (شکل ۵).



شکل ۵ نمودار میانگین درصد فراوانی آسمان تمام ابری (۷-۸/۸) در ایستگاههای منطقه

1. Clear
2. Cloudy
3. Overcast

www.SID.ir

Archive of SID

۳-۴- مطالعه تراز یخبندان[1]

یکی از پارامترهای مهمی که در مطالعات طرحهای تعدیل هوا مورد بررسی قرار می‌گیرد، ارتفاع تراز یخبندان و تغییرات زمانی و مکانی آن می‌باشد که این موضوع حتی در طول مدت اجرای این طرحها یکی از موارد مهم وضعیت و موقعیت مناسب برای شروع عملیات باروری است. همچنین ارتفاع پایه ابرها از سطح زمین، چگالی قطرکهای آب مایع، چگالی و تعداد هستکها و بلورهای یخی، میزان آب قابل بارش و... همه در ارتباط با ارتفاع تراز یخبندان مورد بررسی قرار می‌گیرند [۱۴، ص. ۳۷].

برای مطالعه ارتفاع تراز یخبندان از سطح دریا از داده‌های جو بالای ایستگاه کرمان در مدت ۲۰ سال (۱۳۵۵-۱۳۷۴) استفاده گردیده است. روند نزولی ارتفاع تراز یخبندان در کرمان از مهر (۴۲۸۹ متر) شروع می‌شود و به تدریج در آبان و آذر (به ترتیب ۳۸۶۱ متر و ۳۴۷۳ متر) از ارتفاع آن کاسته می‌گردد و در دی، بهمن و اسفند به پایین‌ترین سطح خود می‌رسد (به ترتیب ۲۹۸۸ متر، ۳۰۳۶ متر و ۳۲۹۳ متر).در این ماهها، تراز یخبندان به ارتفاع پایه ابرها بسیار نزدیک می‌شود و همین عامل سبب می‌شود تا شرایط مناسب‌تری را برای تشکیل ابرهای سرد و آب فوق سرد در ناحیه مورد مطالعه فراهم شود. سپس از اسفند، فروردین و اردیبهشت ارتفاع آن به ترتیب به ۴۰۰۷ متر و ۴۵۵۸ متر افزایش پیدا کند (شکل۶).

شکل ۶ نمودار میانگین ارتفاع ابر و تراز یخبندان ایستگاه کرمان

1. Freezing Leavel (FL)

www.SID.ir

Archive of SID

پس ارتفاع تراز یخبندان در ماههای سرد سال پایین‌تر از ماههای گرم است، زیرا در ماههای گرم ، هوای مجاور زمین گرم می‌شود و انبساط پیدا می‌کند (جدول ۲).

جدول ۲ میانگین ارتفاع تراز یخبندان ایستگاه کرمان از سطح دریا به متر (۱۳۵۵-۱۳۷۴)

مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت
۴۲۸۹	۳۷۶۱	۳۴۷۳	۲۹۹۸	۳۰۳۶	۳۲۹۳	۴۰۰۷	۴۵۵۸

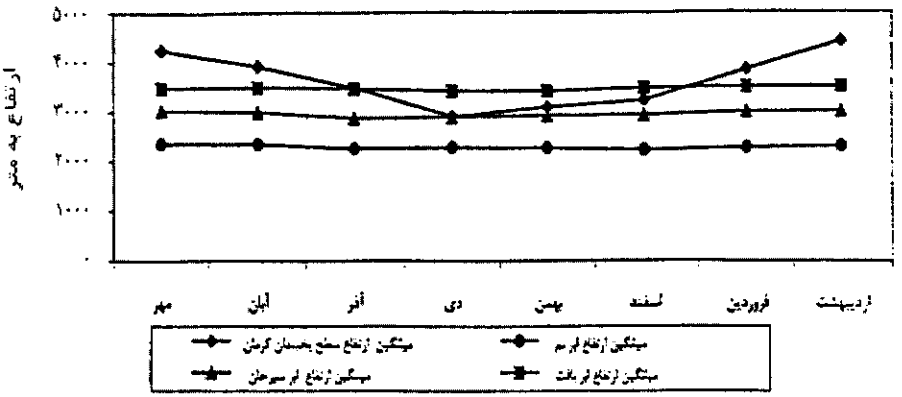
۳-۵- بررسی ارتباط بین تراز یخبندان و پایه ابرهای پایین

از پارامترهای دیگری که در تعیین و تشخیص فاصله مکانی ـ زمانی مناسب یک منطقه برای اجرای طرحهای افزایش بارش مورد مطالعه و ارزیابی قرار می‌گیرد، ارتفاع تراز یخبندان و یا موقعیت مکانی استقرار آن در ارتباط با ارتفاع پایه ابرهاست. در اجرای عملیات باروری در کشورهای عرض میانه، توجه زیادی به محدوده فوق سرد ابرها در دامنه دمایی ۱۰- تا ۲۰- درجه سلسیوس می‌شود؛ چون در این فاصله دمایی، تأثیر هسته‌های یخ ساز مصنوعی، بیش از هسته‌های طبیعی است و در تأثیرگذاری بر فرایند تشکیل بارش دارای اهمیت بیشتری هستند. بنابراین ماههایی که در آنها تمام یا بخشی از ضخامت ابرها در بالای تراز یخبندان قرار می‌گیرند، زمان مناسبتری را برای اجرای طرحهای باروری فراهم می‌کنند. با مشاهده شکل ۷ می‌بینیم که ارتفاع متوسط ابر ایستگاههای بافت و سیرجان از آذر تا اسفند در بالای تراز یخبندان ایستگاه کرمان قرار می‌گیرد.

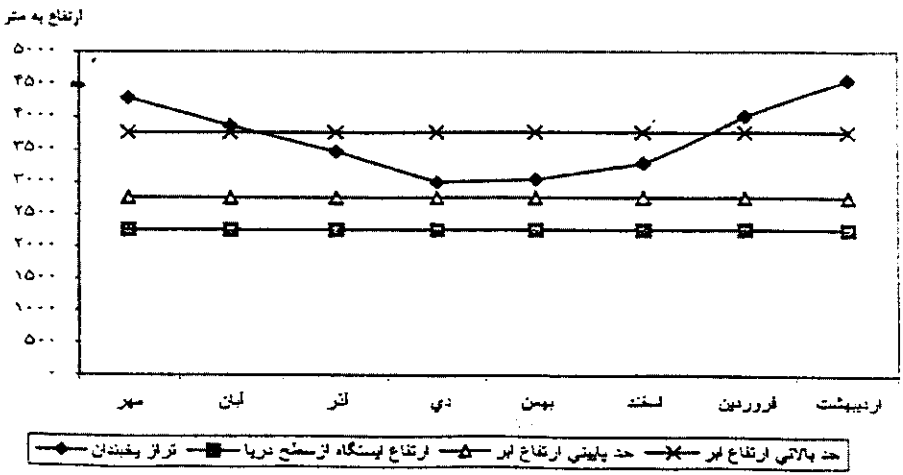
اگر محدوده بالایی و پایینی دامنه میانگین رخداد بیش از ۹۰ درصد ارتفاع پایه ابرهای پایین را با تراز یخبندان کرمان مقایسه کنیم می‌بینیم که تقریباً از آذر تا اسفند، تراز یخبندان در محدوده ارتفاعی قرار می‌گیرد که ارتفاع متوسط پایه بیش از ۹۰ درصد از ابرهای پایین در آن واقع می‌شود. در ایستگاههای کرمان و سیرجان این محدوده بین ۲۲۶۰-۳۲۶۰ متری، در ایستگاه بم بین ۱۷۶۰-۲۷۶۰ متری و در ایستگاه بافت بین ۲۷۶۰-۳۷۶۰ متری از سطح دریا قرار گرفته است (شکل ۸). لازم به تذکر است که به دلیل کمبود اطلاعات جو بالا برای تشخیص مکانی تراز یخبندان از ایستگاه کرمان استفاده شده و نتایج آن به کل منطقه تعمیم داده شده است ولی در ارتفاعات بلند منطقه در ماههای سرد سال، ارتفاع تراز یخبندان نسبت به دشتها به سطح زمین نزدیکتر می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۷ نمودار مقایسه ارتفاع متوسط تراز یخبندان ایستگاه کرمان با ارتفاع ابر ایستگاههای بم، سیرجان و بافت



شکل ۸ نمودار مقایسه ارتفاع متوسط تراز یخبندان ایستگاه کرمان با محدوده ارتفاعی تشکیل بیش از ۹۰ درصد ابرهای پایین در ایستگاه بافت

www.SID.ir

Archive of SID

۴- نتیجه‌گیری

بیشترین درصد فراوانی ابرهای پایین و متوسط که در اجرای طرحهای افزایش بارش به آنها توجه ویژه‌ای مبذول می‌دارند، در ماههای بارانی و سرد سال (آذر تا فروردین) در منطقه دیده می‌شوند و در اسفند به حداکثر خود می‌رسند.

ارتفاعاتی که حداکثر ارتفاع پایه ابرهای پایین در آنها قرار می‌گیرند و برای اجرای عملیات باروری این ارتفاعات مناسبترند، در ایستگاههای کرمان بین ۲۷۶۰-۳۷۶۰ متری (۶۰-۹۴ درصد)، در بم بین ۲۲۶۰-۲۷۶۰ متری (بیش از ۵۰ درصد)، در میانده بین ۱۷۶۰-۳۲۶۰ متری (بیش از ۸۰ درصد)، در بافت بین ۳۲۶۰-۳۷۶۰ متری (بیش از ۸۰ درصد) و در سیرجان بین ۲۲۶۰-۳۷۶۰ متری (بیش از ۹۰ درصد) از سطح دریا قرار می‌گیرند.

بیشترین درصد فراوانی آسمان تمام ابری از آذر تا فروردین و حداکثر آن در اسفند دیده می‌شود. از آذر تا اسفند، تراز یخبندان در محدوده ارتفاعی واقع می‌گردد که ارتفاع متوسط پایه بیش از ۹۰ درصد از ابرهای پایین در آن قرار می‌گیرد. این فاصله ارتفاعی در ایستگاه بافت بین ۲۷۶۰ تا ۳۷۶۰ متری، در ایستگاه بم بین ۱۷۶۰-۲۷۶۰ متری و در ایستگاههای کرمان و سیرجان بین ۲۲۶۰-۳۲۶۰ متری از سطح دریا قرار می‌گیرند.

ارتفاع تراز یخبندان در ماههای سرد سال (آذر تا اسفند) به پایینترین سطح خود می‌رسد و به سطح زمین و به ارتفاع پایه ابرهای پایین نزدیکتر می‌شود. در همین ماههاست که تمام ضخامت ابر یا بخشی از آن در بالای تراز یخبندان واقع می‌گردد و نیز در ارتفاعات بلند منطقه، تراز یخبندان در ارتفاع پایینتری قرار می‌گیرد. بنابراین از آذر تا فروردین، ارتفاعاتی که بیشترین درصد وقوع تراز یخبندان و حداکثر ارتفاع پایه ابرهای پایین در آن واقع می‌شوند، شرایط بهتری را برای اجرای عملیات باروری در منطقه فراهم می‌نمایند.

با توجه به محدودیت شدید منابع آب و کوهستانی بودن منطقه و اینکه ابرهای مناسب باروری در ماههای سرد سال در این منطقه تشکیل می‌گردند و نیز در ارتفاعات بلند آن، پایه ابرها به زمین نزدیکتر می‌شود، می‌توان در عملیات باروری علاوه بر هواپیما از ژنراتورهای زمینی نیز استفاده کرد، تا هم هزینه عملیات باروری هوایی کاهش یابد و هم فرصتهای باروری از دست نرود.

۵- منابع

[1] W.M.O., "Weather Modification Programme", *PEP Design Document,*

www.SID.ir

Archive of SID

Report No. 9, 1987.

[2] Gagin.A, "Cloud Seeding Technology", *PEP Design Document, Report* No.34, 1985.

[۳] مرکز ملی تحقیقات و مطالعات باروری ابرها، *گزارش شماره ۲*، ۱۳۷۷.

[۴] سرداری، محمدعلی، «بررسی آمار به دست آمده از عملیات باران زایی مصنوعی درحوضه‌های آبریز رودخانه‌های کرج و جاجرود»، *پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران*، ۱۳۷۴.

[5] Dennis. A.S, "Weather Modification by cloud Seeding", *Academic Press*, INC, Newyork, 1980.

[6] Kahan. A.M, Guidelines for Cloud Seeding to Augment Precipitation, American Society of Civil Engineers, 1995.

[۷] شرکت سهامی آب منطقه‌ای کرمان، سیمای آب استان، ۱۳۷۷.

[۸] قبادیان، عطاء الله، سیمای طبیعی استان کرمان در ارتباط با مسائل کویری، ۱۳۶۴.

[۹] امیدوار، کمال ، «امکان سنجی باروری ابرها در ارتفاعات جنوبی کرمان»، *رساله دکترای اقلیم‌شناسی، دانشگاه تربیت مدرس*، ۱۳۸۰.

[10] Austin.G and Massambani, "Priliminary Assessment Report of the Site Selection Phase-3 of PEP", *Report* No.28, 1982.

[11] Warner.J, "The Planning of Weather Modification Experiments" W.M.O, *Weather Modification Program*, No. 29, 1980.

[12] W.M.O, "Training Workshop Weather Modification for Meteorologists-Lecture Notes", *WMP. PEP.*, No. 13, 1979.

[13] W.M.O, "Report of the Second Session of the Interim Precipitation Enhancement Project Board", *WMP. PEP.*, No. 8, 1978.

[14] W.M.O, "Survey of the Climatology and Synoptic Weather Patterns" PEP *Report* No.10, 1978.

[۱۵] مرکز ملی تحقیقات و مطالعات باروری ابرها، *گزارش شماره ۴*، ۱۳۷۸.

www.SID.ir