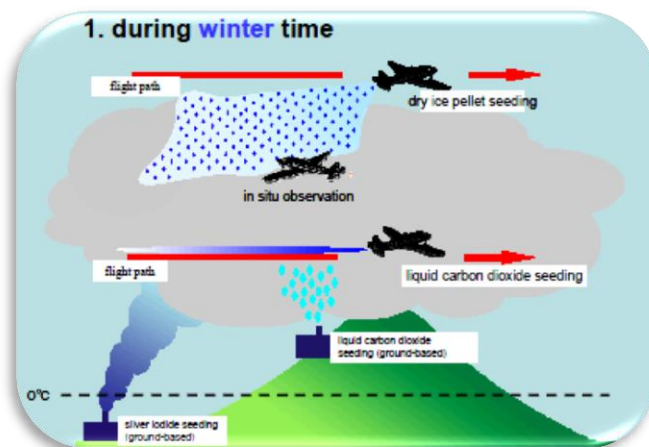
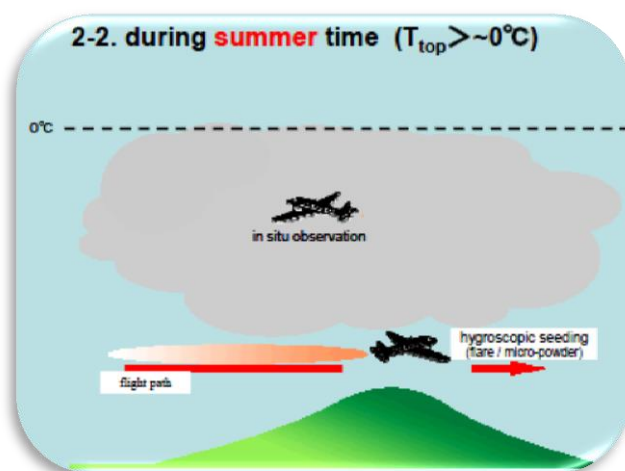


شکل‌های مختلف باروری در ابرهای سرد و گرم کدامند؟

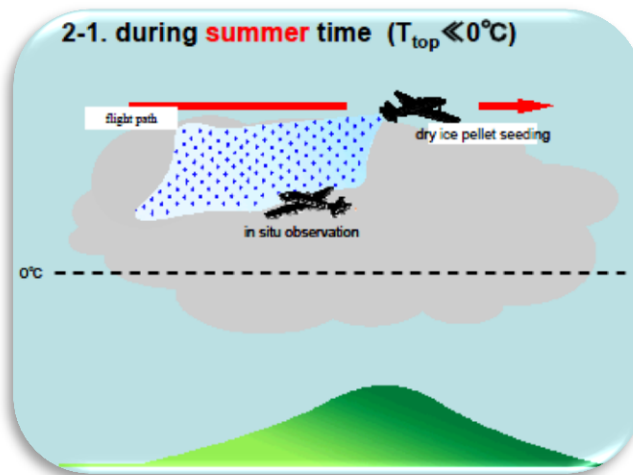
شکل‌های ۱ تا ۳ به ترتیب روش‌های باروری در ابرهای سرد زمستانه، ابرهای سرد تابستانه و ابرهای گرم را نشان می‌دهد.



شکل ۱: روش‌های باروری در ابرهای سرد زمستانه (Orikasa,PPT)



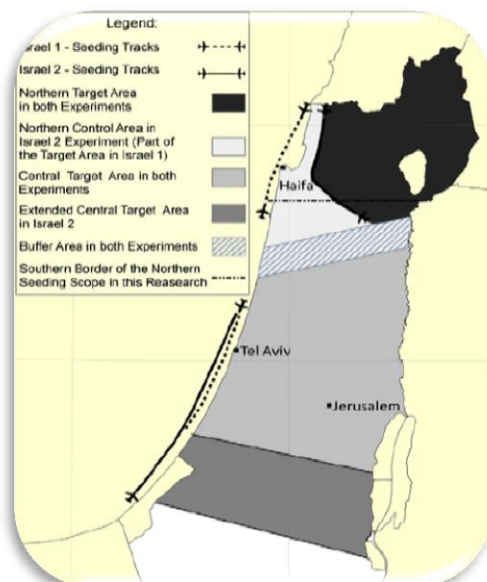
شکل ۲: روش‌های باروری در ابرهای گرم تابستانه (Orikasa,PPT)



شکل ۳: روش‌های باروری در ابرهای سرد تابستانه (Orikasa,PPT)

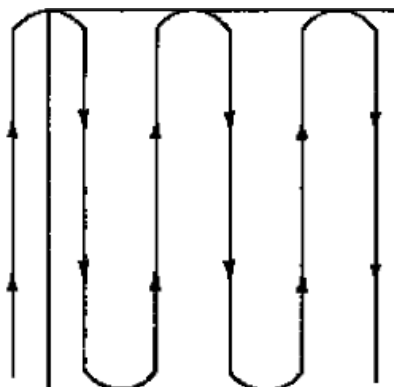
آیا به منظور افزایش بارش در یک منطقه هدف معین بایستی دقیقاً همان منطقه را بارور نمود؟

با توجه به اینکه مواد باروری رهاسده به‌طور مصنوعی در حدود نیم تا یک ساعت زمان نیاز دارند تا با شرکت در فرایند بارش باعث رشد قطرات به اندازه قطرات باران شوند لذا «خط باروری» باید ۳۰ دقیقه در بالادست مرز منطقه موردنظر برای افزایش بارش (منطقه هدف) با توجه به جهت باد انتخاب شود. برای مثال اگر سرعت باد حدود ۲۰ متر بر ثانیه باشد باروری باید حدود ۴۰ کیلومتر در بالادست مرز منطقه هدف انجام شود (Shivaji,2005). شکل ۴ موقعیت خط باروری نسبت به مناطق هدف در آزمایشات فلسطین اشغالی را نشان می‌دهد.



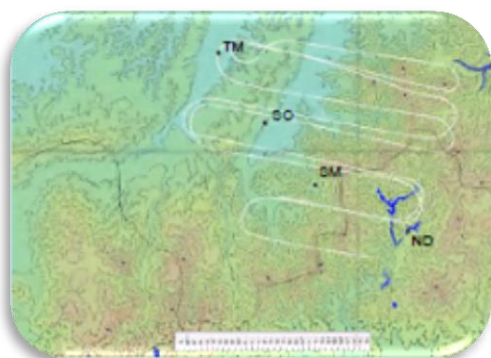
شکل ۴: طرحواره‌ای از موقعیت خط باروری نسبت به مناطق هدف در فلسطین اشغالی (Levin et al.,2010)

اگر منطقه هدف پروژه، تاحدی وسیع باشد مسیر باروری در بالادست منطقه هدف را به صورت رفت و برگشتی به گونه ای بارور می کنند که کل منطقه هدف تحت پوشش باروری قرار گیرد. شکل ۵ طرحواره روش باروری نم گیر در پونا هند و شکل ۶ مسیر باروری در یک عملیات باروری ابرها در کشور ژاپن را نشان می دهد.



شکل ۵: طرحواره مسیر باروری نم گیر در پونا هند

(Shivaji,2005)



شکل ۶: مسیر یک عملیات باروری در کشور ژاپن
(Orikasa et al.,PPT)

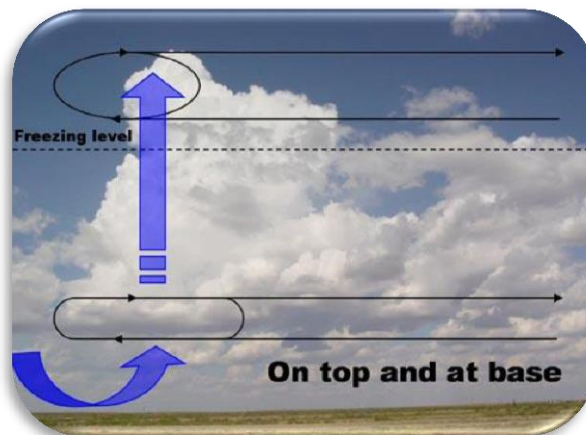
معیار انتخاب و روش اجرای باروری قله یا پایه ابر چگونه است؟ کدامیک دشوارتر است؟

انتخاب بارورسازی قله یا پایه ابر به ساختار قله ابر، میدان دید، ارتفاع پایه ابر، ارتفاع مجاز پرواز در منطقه مورد نظر و زمان موجود برای رسیدن به ارتفاع باروری بستگی دارد. باروری قله ابر بایستی قبل از یک سوم اول طول عمر ابر انجام شود در حالی که باروری پایه ابر در نیمه اول طول عمر ابر انجام می شود (Shivaji,2005).

در اجرای باروری قله ابر، هواپیما به ارتفاعی که دمای قله ابر بین 5°C تا 15°C می باشد هدایت شده و سپس با ورود به ابر، محل هایی که دارای آب ابر سرد کافی هستند را تشخیص می دهد. سپس با اندازه گیری «جریانات صعودی» و مطابقت آن با معیارهای باروری (برای مثال بالاتر از ۶۰ متر بر دقیقه) مواد باروری را با نرخ تعیین شده (توسط هواشناسان پروژه) به درون ابر رها می کند. در صورت پخش مناسب مواد باروری، ابر رشد نموده و بیانگر این است که ماده باروری به طور مؤثر عمل نموده است. وقتی هواپیما به درون ابر نفوذ می کند هم جریانات صعودی و هم نزولی روی آن تأثیر گذارده و بعضاً کنترل هواپیما را دشوار می سازند. اگر شدت جریانات نزولی بیش از ۶۰ متر بر دقیقه باشد، در صورتی که مواد باروری در مدت چند ثانیه پخش شود، هواپیما می تواند بدون خطر از ابر خارج شود اما اگر لازم باشد هواپیما به درون ابر نفوذ نماید بایستی از قبل

برنامه‌ای برای مسیر آن مشخص شود. در این وضعیت وجود یک هواشناس با تجربه ضروری است (Shivaji,2005).

در باروری پایه ابر، خلبان با دقت «جریان‌ات نزولی» و صعودی در مناطق توسعه همرفتی را کنترل می‌کند. چون هواپیما باید به محل جریان‌ات صعودی نزدیک شود و این منطقه برای ایمنی هواپیما خطرآفرین است لذا باید به‌طور مناسب تجهیز شده و قدرت پیش‌رفتن در پایه ابر با توجه به نوع هواپیما را داشته باشد. برای اطمینان از پخش مناسب ماده باروری، هواپیما بایستی در ارتفاع ۱۵۰ متر زیر پایه ابر قرار گیرد. وجود بارش از ابرها را می‌توان با مشاهده پرتوهای آبی تا تیره که از پایه ابر به طرف زمین کشیده شده است تشخیص داد. هر چه رنگ این پرتوها تیره‌تر باشد یعنی شدت بارش بیشتر است. بعد از تعیین محل پرتوهای بارندگی، هواشناسان که با استفاده از رادارهای هواشناسی مناطق جریان‌ات صعودی را تشخیص می‌دهند هواپیما را به آن مناطق هدایت می‌کنند. بعضی اوقات تعیین محل تقویت جریان‌ات صعودی دشوار است. هواپیما در زیر پایه ابر بایستی خارج از منطقه‌ای که بارندگی رخ می‌دهد قرار داشته باشد. معمولاً خلبان در هنگام پرواز جریان‌ات نزولی را در نزدیکی مکان‌های ریزش باران یا در میان باران تجربه می‌کند. خلبان با استفاده از شاخص سرعت عمودی، هواپیما را از فراز و فرود دور می‌نماید. تعیین مقدار مناسب مواد باروری برای هر ابر خاص برعهده هواشناسان می‌باشد. خلبانان و هواشناسان لازم است علاوه بر آموزش‌های منظم و دوره‌های تخصصی، دوره‌های آموزشی تعدیل آب و هوا و کارگاه‌های آموزشی مربوطه را نیز بگذرانند (Shivaji,2005). شکل ۷ محل‌های مناسب باروری قله و پایه یک ابر کومولونیمبوس را نشان می‌دهد.



شکل ۷: منطقه مورد باروری از یک ابر در روش قله و پایه ابر (Krishna,PPT)

روش «باروری هوایی» مؤثرتر است یا «زمینی»؟

کارایی روش‌های زمینی و هوایی بسته به شرایط متفاوت است. جدول ۱ مزایا و محدودیت‌های این دو نوع روش را با هم مقایسه می‌کند. برای مثال در بیشتر ایالت‌های آمریکا از هر دو روش زمینی و هوایی هم‌زمان استفاده می‌شود (خطیبی ۹۰; BR,2006; Super & Heimbach,2005; ASCE,2006).

جدول ۱: مزایا و محدودیت‌های باروری با دو روش زمینی و هوایی

نوع روش باروری	مزایا	محدودیت‌ها
هوایی	انعطاف در هدف‌گیری ماده باروری به داخل مناطق مناسب و معین ابر به‌جز در موارد محدودیت ناشی از عملکرد هواپیما، ارتفاع مجاز پرواز و عوارض زمین بویژه در باروری ابرهای سرد کوهستانی	وجود خطرات بالقوه پرواز از قبیل یخ‌زدگی، تلاطم‌های شدید و محدودیت‌های پرواز روی فرودگاه‌های اصلی، مناطق نظامی و ارتفاعات پایین‌تر از سقف مجاز پروازی
	توانایی تزریق ماده با مقادیر زیاد درون حجم معین ابر	بالا تر بودن هزینه آن‌ها نسبت به سامانه‌های زمینی
	توانایی باروری سامانه‌های پایدار جوی که در برخی مواقع امکان بارورسازی آن‌ها به‌طور زمینی وجود ندارد.	دشواری در پخش مؤثر مواد درون ابرهای هدف و در نتیجه نیاز به چندین هواپیما در عملیات طولانی‌مدت
		عدم قطعیت در انتقال و پخش مواد در سرتاسر منطقه هدف با توجه به پخش مواد باروری به‌صورت خطی
زمینی	رها سازی کم‌و بیش پیوسته مواد باروری از یک مکان ثابت و انتقال و پخش دود ناشی از باروری به‌طور پیوسته از طریق باد و جریانات هوا به مکان‌های بالادست	عدم امکان باروری موفق در دوره‌های پایداری جو به‌ویژه در صورت کاربرد ژنراتورهای ارتفاع پایین و در نتیجه از دست دادن برخی فرصت‌های باروری
	قابلیت به‌کارگیری آن در مناطق کوهستانی و بادگیر به‌ویژه در استفاده از ژنراتورهای کنترل از دور	محدود بودن امکان باروری مناطق مناسب با دمای کمتر از 4°C در مورد ابرهای بالا
	پایین بودن هزینه عملیات	احتمال غیرفعال شدن ماده باروری توسط نور خورشید
		عدم اطمینان از انتقال دود یدیدنقره به درون ابر به‌ویژه در نزدیکی و روی کوهستان‌ها یا محل جریانات همرفتی و نامعلوم بودن میزان تأثیر ژنراتورهای زمینی در تابستان
		دشواری در نسبتی پشتیبانی و سرویس‌دهی، نیاز احتمالی به انجام سفر با هلیکوپتر برای حفاظت از آن‌ها و نیاز به ایستگاه‌های متعدد جهت پوشش یک منطقه