فن‌آوری باروری ابر

نویسنده: A.Gagin

ترجمه و تلخیص: مریم احمدپور (کارشناس ارشد جغرافیای طبیعی)

۱ – مقدمه

علم و دانش کنونی ما در زمینهٔ افزایش بارش تعریفی به این مضمون دارد: **به کارگیری مواد باروری مناسب در زمان و مکان درست که باعث تغییراتی در ابرها می‌شود، بطوری که در اثر این تغییرات ابرها به صورتی متفاوت و به نحوی قابل پیش بینی رفتار کنند و نتایج مفیدی نیز حاصل شود.** تکنولوژی باروری ابر به منظور تأمین راهها و امکاناتی جهت دستیابی به این نوع دخالت در فرآیندهای ابری توسعه می‌یابد و در اجرای آن از ملاحظات علمی استفاده می‌کند. بر اساس دانش ما، طبیعت در شرایط ابری بسیار متنوع، از طریق دو فرآیند عمدهٔ متفاوت باران ایجاد می‌کند و اگر خواهان نتایج مفیدی هستیم تکنولوژی مذکور باید با علم دقیق به فرآیندهای واقعی و طبیعی به کار رود. از سوئی وضعیت علم فیزیک ابر طوری است که می‌تواند حداکثر برای اجرای تکنولوژی متناسب با شرایط مختلف ابری، رهنمودهای کیفی ارائه کند تا دستورالعمل‌های دقیق.

در مقایسه با بر خی‌ازرویکردهای‌موجودنسبت‌به‌اصلاح‌ابرها که‌مستلزم «مهندسی نمودن» است، این تلاش علمی به عنوان محور اصلی فعالیتهای پژوهشی جاری می‌باشد. بهتر است بپذیریم اصول تکنولوژی مورد بحث در سطرهای آتی، مبنای علمی نسبتاً محدودی دارند و اجرای آنها فقط در سایهٔ درک روشن از ابهاماتی که هنوز نیازمند توضیح هستند عملی می‌گردد.

تکنولوژی باروی ابر شامل دو مؤلفهٔ مهم می‌شود که عبارتند از :

۱) کاربرد استراتژیهای مناسب باروری ابر.

۲) تکنولوژی تولید مواد باروری .

۱ – کاربرد استراتژیهای مناسب باروری ابر

در حالی که اولین مؤلفه، این عوامل را در میکرو فیزیک و دینامیک ابر مؤثر بر خواص ابر و سیستمهای ابری مورد نظر در مقیاسهای‌متوسط‌وکلان مورد توجه قرار می‌دهد مؤلفهٔ بعدی در وهلهٔ اول متأثر از ملاحظاتی‌است‌که باانتقال‌هسته‌هاونحوهٔفعال‌سازی‌فر آیندهای‌ابر درمقیاس‌خردمرتبط‌می‌باشد.

به علاوه همانقدر که عدم شناخت مجموعهٔ کاملاً معین شرایط ابری ممکن است باعث شکست کامل پروژه گردد، اجرای تکنولوژی باروری نادرست نیز می‌تواند همین نتیجه را به دنبال داشته باشد.

۲ – استراتژیهای باروری ابر

در تعیین استراتژی باروری ابر به منظور افزایش باران (بارش به‌طور اعم) هر نوع تلاشی می‌باید ضمن توجه به رهنمودهای ذیل انجام پذیرد:

الف) شناسایی فرصتهایی که طی آن با دخالت مصنوعی در فرآیند طبیعی ابر، بتوان اثرات قابل پیش بینی مفیدی بر بارش گذاشت.

ب) متدولوژی کلی اجرائی باید بر اساس تعریف مشخصی از ابر و شرایط جوی که می‌تواند چنین فرصتی را ایجاد کند، انتخاب شود.

ج)تکنولوژی باروری ابر باید به هنگام انتخاب متدولوژی نمائی، ملاحظاتی نظیر تعیین هدف، انتقال و پخش مواد باروری، شیوه‌های رهاسازی و جنبه‌های تدارکاتی آنرا مدنظر قرار دهد.

د) انتخاب عامل مؤثر باروری و تولید کافی آن به منظور تأمین ملاحظات یاد شده در بالا و ملاحظات جنبه‌های کمی تکنیک باروری .

و) کنترل کیفی تکنیک باروری تعیین شده.

ـ شناسائی فرصتهای باروری به منظور افزایش بارش

در حال حاضر برای افرایش کلی بارش، دخالت در فرآیندهای ابر فقط از طریق تأثیر بر روی بعضی از شرایط کاملاً معین و ناپایداری که گاهی اوقات در طی حیات ابر و سیستم‌های ابری بوجود می‌آیند،صورت‌می‌گیرد.

محدود کردن تلاشهای فعلی به چنین چهارچوبی، از این حقیقت ناشی می‌شود که ملاحظات مربوط به انرژی، توانایی ما را برای ایجاد نتایج قابل تشخیص در شرایط پایدار و ناپایدار محدود می‌کند. دو نوع شرایط ناپایدار یا بالقوه ناپایداری وجود دارد که می‌توان با عمل باروری برای تأثیر بر فرآیندهای تشکیل باران آنرا بهبود بخشید.[1]

اولین و مهمترین شرط یادشده وجود آب فوق سرد است. ناپایداری مذکور به فرآیندهای میکروفیزیکی تشکیل یخ مربوط می‌شود که گاهی اوقات می‌توان با بارورکردن آب فوق سرد مایع، بر شرایطی که به لحاظ

دینامیکی ناپایدار هستند اثر گذاشت. بدین ترتیب تولید مصنوعی ذرات یخ بارورکنندهٔ ابر می‌تواند برای افزایش حجم هسته‌های بارش (اثرات میکروفیزیکی) یا افزایش اندازه و طول عمر هسته‌ها بر روی فرآیندهای تشکیل بارش، در راستای افزایش آن به کار رود.

مورد اخیر با استفاده از خاصیت شناوری ذرات ابر انجام می‌شود که در شرایط بالقوه ناپایدار، طی فرآیند رها شدن گرمای نهان تصعید آزاد شده، از انجماد کامل (اثرات دینامیکی) به حالت تعلیق در آمده‌اند. هر چند از نظر تعیین استراتژی، این دو روش اساساً ملاحظات علمی کاملاً متفاوتی می‌طلبند، با وجود این تئوری مذکور مورد بحث قرار می‌گیرد. بدین لحاظ مفید است به همراه تعیین زمان بارووری، با هر یک از دو روش یاد شده، برخی از دستور العمل‌ها را نیز ذکر کنیم.

ـ ایجاد اثرات میکروفیزیکی در اثر عمل بارووری

شناسائی فرصتها

با اعمال حداکثر دقت لازم به نظر می‌رسد حالتی مطمئن است که ابرها و سیستم‌های ابری دارای قابلیت بارووری، از کارائی بارش نسبتاً اندکی برخوردار باشند. نمونه‌ای از بروز چنین حالتی را می‌توان در ابرهائی که مراحل اولیهٔ حیات، میزان حجم رطوبت آنها بیشتر از میزان کاهش آن به وسیله بارش است، جستجو نمود. همچنین ابرهائی که به اندازهٔ کافی ضخیم هستند و بر نواحی جوی دارای آب مایع فوق سرد گسترش می‌یابند، بامقادیر نسبتاً زیاد آب مایع مشخص می‌شوند. از این‌رو برای دخالت مصنوعی به روش میکروفیزیکی، شرایط زیر باید محقق شود:

- طیف قطرات کوچک در کل ارتفاع ابر به صورتی باشد که فرآیندهای بهم پیوستگی و بهم چسبندگی فاقد کارائی باشد و ابداً عملی نباشد.
- ابتدا تولید ذرات یخ به هسته بندی همگن محدود می‌شود و سرعت افزایش یخ نباید خیلی کند باشد.
- همیشه حجم آب مایع فوق سرد بطور مداوم و شناور از حجم آب یخ بیشتر باشد.
- نسبت ضخامت ابر به ارتفاع قاعدهٔ ابر طوری باشد که ذرات ایجاد شده در ابر، همچنان که به قاعدهٔ ابر سقوط می‌کند، تبخیر قابل توجهی ایجادکند.
- زمان برای رشد ذرات بارش، جهت رشد و لایه‌ای شدن آن طی جریانهای رو به بالای موجود در ابرها کافی باشد.
- مناسبترین دامنهٔ دمایی در رأس ابر بین °۱۰- تا °۲۰- سانتی گراد است و احتمالاً ابرهای سردتر از °۲۵-سانتی‌گرادهمیشه جوابگوی بارووری نیستند.

ـ بارووری به طریق اثرات دینامیکی

شناسایی فرصتها

امکان به کارگیری تکنیک بارووری ابر - به روش ایجاد اثر دینامیکی - را می‌توان بر اساس آنالیزهایی تخمین زد که موجودی جو ناپایدار را مشخص می‌کند. در غیاب چنین حالتی، مدلهای ابری برای تعیین قابلیت بارووری دینامیکی ساخته می‌شوند. اگر تزریق بیشتر بخار به ابرهای بارورشده، برای محیط غیر ممکن گردد، پتانسیل بارووری نمی‌تواند بطور کامل مورد بهره برداری قرار گیرد و این تغییرات دینامیکی، سبب اثرات معکوس در ابرهای موجود در بلافصل آنها می‌شود. در بحث بالا، عمدتاً راهبردهای بسیار کلی برای شناسایی فرصتهای بارووری و شاید به عبارتی، تعیین کلی ماهیت تکنیک واقعی ابر، ارائه شده است.

دستورالعملهایی برای انتخاب متدولوژی رفتار ابر

چندین تکنیک بارووری به ترتیبی که در ذیل آمده است، مورد استفاده قرار می‌گیرند:

الف) استفاده از مولدهای واقع بر روی زمین.

ب) استفاده از مولدهای هوابرد در بالا دست ناحیه هدف یا زیر قاعدهٔ ابر.

ج) استفاده از مولدهای هوابرد که مستقیماً در قاعدهٔ ابر ویا در سطح °۵- سانتی گراد به کار می‌روند.

د) استفاده از مولدهای قطره ساز در بالا یا رأس تاجهای ابر به شکل موانع عمودی برای عمل کردن ابرهای منفرد یا سیستم‌های ابری.

حال در اینجا ضرر و زیان هر یک از روشهای یادشده در بالا، با توجه به ویژگی گروههای (سیستم‌های) ابر مورد بررسی و قضاوت قرار می‌گیرند. برخی از الگوهای مهم سیستم‌های ابری عبارتند از:

۱ - ابرهای لایه لایه‌ای با هسته‌های گل کلمی شکل یکپارچه یا بدون یکپارچگی که بخش اعظم ناحیهٔ هدف را پوشانده است.

۲ - توده هوای گل کلمی شکل جوششی که به صورت تکه‌تکه در کل ناحیهٔ هدف پخش شده است.

۳ - جبهه‌های سرد، محدوده‌های ابری، خطوط باد و بوران که از سراسر ناحیهٔ هدف می‌گذرند.

۴ - ابرهای کوهستانی لایه‌ای یا گل کلمی شکل که به حالت نیمه ساکن برروی خشکی مرتفع یا بادهای رو به دامنه درسطح تشکیل می‌شود.

انتخاب هر یک از تکنیک هایی که قبلاً ذکر شد، در ارتباط با ویژگیهای ابر، پوشش و ملاحظات مربوط به انتقال و پخش مواد بارووری محاسبه می‌گردد. بدین ترتیب اگر بارووری برای ایجاد اثر میکروفیزیکی باشد تمرکز کمتری مورد نیاز است، بطوری که مواد بارووری به صورت یکنواخت در سراسر نواحی فوق سرد پخش می‌گردد.

ابرهایی که برای اثرات دینامیکی بارور می‌شوند تمرکز زیاد هسته‌های عامل ابر را نیاز دارند. از اینرو به نظر می‌رسد که استفاده از تکنیکهای الف و ب برای اولی (اثرات میکرو فیزیکی) و تکنیکهای ج و د برای روش بعدی (اثرات دینامیکی) مناسب باشد. در حالی که در اطراف مولدها، توده‌های مواد بارووری تمایل دارند خوب مخلوط شوند و کمتر شوند، به همان میزان با افزایش فاصله، اثرات انتقالی باد و پخش اغتشاشی نتیجه می‌شود و تزریق مستقیم از طریق تکنیکهای د و ج سبب غلظت بیشتر مواد در ستونهای نسبتاً باریک ابر می‌شود. به علاوه تکنیکهای کنونی الف و ب معمولاً در سیستم‌های ابری بزرگ مقیاس کار برد دارند، جائی که نشانه گیری در آن به مانند بارووری دینامیک دقیق نیست. از اینرو محاسبهٔ میزان پخش مواد بارووری به اندازهٔ کافی دقیق نیست و تکنیکهای مذکور بیشتر برای ایجاد اثرات میکروفیزیکی بارووری مناسب هستند. ضمناً باید به این نکته توجه داشته باشیم، در شرایط مذکور بین ابرهای لایه‌ای وگل‌کلمی‌شکل تفاوتهایی وجود دارد. در ابرهای گل کلمی شکل سرعت بالا راندگی بسیار شدیدتر از ابرهای

لایه‌ای شکل است، از اینرو بدون تردید اختلاط عمودی سریع در ابرهای گل کلمی شکل یا هسته‌ای بسیار واضح و مشخص است. در این صورت در ابرهای توده‌ای که به منظور پیامدهای استاتیک بارور شده‌اند، اجتناب از تجمع زیادمحلی بسیارضروری‌است.بدین‌لحاظ موضوع‌مذکور سبب‌برتری تکنیکهایی می‌شود که در قاعدهٔابرعمل‌باروری راانجام می‌دهند. از سوئی برای باروری ابرهای لایه‌ای شکل به سبب سرعت کنداختلاط عمودی‌ایجاد موانع عمودی ذرات‌یخی، که‌به صورت افقی مخلوط می‌شوند،ضروری بنظر می‌رسد. (اگر این نوع ابرها در قاعده بارور شوند سرعت اختلاط افقی بیشتر است).با توجه به نکات مذکور، نتیجهٔ احتمالی چنین خواهد بود.

جدول شمارهٔ ۱: شیوهٔ رها سازی مواد باروری به روش اثرات میکروفیزیکی

شیوهٔ رهاسازی	نوع ابر
دو ۲-ج	۱
۱-ج	۲
۱-ج و ب	۳
الف	۴

۳ - جنبه‌های کیفی تکنولوژی باروری - نشانه‌گیری و پخش مواد باروری

در بحث جنبه‌های کیفی تکنولوژی باروری ابر می‌توانیم بین دو فرآیند مهم باروری تفاوت قائل شویم. فرآیند اول، شامل انتقال و پخش مواد باروری از مولدها به ابر و فرآیند دوم شامل هسته بندی ذرات یخ به طریق پخش ذرات عامل بارور کننده است. در فرآیند اول باید غلظت ذرات باروری و توزیع ویژهٔ جوی را تخمین بزنیم در فرآیند دوم باید تلاش کنیم تا تعداد ذرات یخی که از طریق هسته بندی شکل گرفته‌اند را تعیین کنیم. ذراتی که بوسیله مولدها رهامی‌شوند،بلافاصله‌پس‌ازرهاشدن‌متحمل‌فرآیند انعقاد می‌گردند. این حالت به ویژه برای گاز CO_2 نسبی است. از این رو در مجاورت مولدها CO_2 به حداکثر می‌رسد. تخمین پخش ویژه هسته هایی که بوسیله مولدها رها می‌شوند درارتباط‌باشیوهٔپخش‌ذرات‌محاسبه‌می‌گردد. به این منظور چند شیوهٔ پخش مورد استفاده قرار می‌گیردکه‌عبارتند از :

- منبع نقطه‌ای ثابت با پخش مداوم -که با مولدهای واقع بر روی زمین انجام می‌شود.
- منبع نقطه‌ای متحرک با پخش مداوم - همانند باروری با هواپیما که در امتداد خطوط بالا دست هدف یا در دوایری در نواحی بالارانگی زیر قاعدهٔ ابر یا از طریق پروتکنیکهای قطره ساز انجام می‌شود.

به دلیل اهداف PEP و با توجه به اثرات میکروفیزیکی باروری، دو نوع باروری عمومی مورد بحث قرار میگیرد:

- آرایش ژنراتورهای زمینی در بالادست ناحیهٔ هدف، اگر فرض کنیم اثر کلی آرایش مذکور همانند منبع نقطه‌ای منفرد و پیوسته است مورد یاد شده به راحتی قابل بحث است.
- باروری با هواپیما، در حالی که در بالا دست ناحیهٔ هدف و در زیر قاعدهٔ ابر، پرواز صورت گیرد. مورد یاد شده در مکانی که منبع نقطه‌ای متحرک، سرعتی بیشتر از سرعت متوسط باد دارد، از طریق فاکتور ۱۰ پاسکال انجام می‌شود. تحت چنین شرایط و یا مکانی (الف و ۱۹۶۲) می‌توان الگوی مذکور را به عنوان منبع خطی پیوسته تلقی کرد، هر چند به نظر می‌آید هواپیما در مسیری عمود بر جهت باد در حال حرکت است. بدین لحاظ منطقی است که مورد یاد شده را به مانند خطی در نظر گرفت که شامل منابع نقطه‌ای لحظه‌ای بی شماری است.

همانطور که اشاره شد بکارگیری سایر شیوه‌های رها سازی فقط به منظور اثرات دینامیکی و یا فقط به دیگر دلایل اقتصادی، غیر معقول می‌باشد (Corrin ،Cotton 1978).

برای چنین مسائلی می‌توان پیشنهاد جامع‌تری ارائه کرد از آن جمله استفاده از سه مدل متوسط مقیاس‌است‌که‌این‌سه‌به‌انضمام‌بعضی‌ازویژگیهای ترمودینامیکی ابرها و با انتقال و پخش هسته‌ها قادر به پیش بینی نواحی تشکیل ابر می‌باشند. اکنون مدلهایی نظیر LAVOLE (1972)، (1977) MAHRER، (1977) PIELK، KREITZBERYG، PERKEY وجود دارند اما تاکنون تلاشی برای تلفیق مطالعات صورت نگرفته است.

Cotton (1987) و Corrin تحقیق نسبتاً جامعی از اقدامات متنوع مدلسازی برای تخمین انتقال و پخش ماده باروری از مدلهای Puff، Plume و GAUSFAN ارائه دادند.

۴ - تولید و کارائی هسته‌های مورد استفاده

ذرات یخ یا ابرهای فوق سرد می‌تواند از طریق هسته‌بندی همگن فراهم شود که از سرد شدن آب موجود در ابر فوق سرد با دمای سردتر از ۴۰- درجه سانتی گراد حاصل می‌شودویااینکه‌ازطریق‌فرآیندهسته‌بندی‌ناهمگن بوجود می‌آید که شامل بکاربردن یخی می‌شود که تشکیل هسته داده است.

کارائی عامل باروری‌بر اساس‌ملاحظاتی‌که‌درپی‌می‌آیدارزیابی‌می‌گردد:

- دمای آستانه فعالیت هسته‌بندی.
- اندازه‌گیری تشکیل هسته از عامل باروری رها شده، به اصطلاح تعداد هسته‌ای که در هر واحد حجم عامل باروری ایجاد می‌شود.
- درجه قابلیت حل شدن (میزان انحلال) در آب و بقای آن در جو.
- قابلیت‌حمل‌عامل‌باروری‌که‌شامل‌مواردی‌چون‌تحرک‌هستهٔ‌باروری‌می‌شود.
- درجه سمیت.
- دلایل تولید و پخش عامل هسته‌ای.

مکانیزمهای فیزیکی و تکنیکهای تولید یخی که‌هسته‌راشکل‌می‌دهدبوسیله: Voloshchwk(1978) Sedunov (1978),Cotton Corrin(1978)و گزارش‌فنی‌شماره۵سال WM.(1978) به‌طور‌تفضیلی‌موردبحث‌قرارگرفته‌اند.

حال مناسب است فاکتورهایی را بیان کنیم که سرعت تشکیل و پراکنش یخ در ابرها بدان وابسته است. فاکتورهای مذکور عبارتند از:

- دمای ابر.
- ماهیت طیف منظرهٔ فوق سرد.
- عنصر زمان که با مراحل متنوع تحول میکرو ساختمان و حیات ابر مشخص می‌گردد.
- وجود یا عدم وجود فرآیندهای ثانوی تشکیل یخ.

در این رابطه غالباً اصطلاحاتی نظیر قابلیت باروری ابر در برخی از

پنجره‌های دمائی و زمانی ویژه به کار می‌رود. پنجره‌های مذکور، دامنهٔ دمایی ابر یا وقفهٔ زمانی را نشان می‌دهد که طی آن هواپیما می‌تواند اثرات مطلوبی در فرآیندهای ابر ایجاد نماید. چنین تعاریفی نیاز به دانش کاملی از میکروساختمان و دینامیک ابر به مانند بکارگیری یخ مصنوعی دارد که تشکیل دهندهٔ عامل باروری هستند. به علاوه برای انجماد ابر از طریق سرد کردن موضعی بطور مستقیم، شناخت کاملی از فرآیندهائی که در زیر می‌آید لازم است. (اینگونه یخ از طریق هسته بندی ناهمگن تشکیل شود):

– نشستن بخار آب روی هستهٔ یخ در حال تشکیل (نهشته شدن هسته).

– تراکم آبی که بوسیلهٔ انجماد قطرات نتیجه می‌شود (تراکم هسته در حال انجماد).

– هسته بندی از طریق تصادم که از برخورد مستقیم یخ در حال تشکیل با قطرات آب نتیجه می‌شود.

– گاهی اوقات انجماد شناور برای تعیین فرآیند انجماد بوسیله هسته به کار می‌رود که این هسته درسایر فرآیندهای تراکم به‌قطره‌آب‌الحاق‌شده‌است.

تنظیم مولدهای متنوع باروری ابر متناسب با تنوع حجم ابر، موضوع قابل بحث در این مرحله است.

Cotton و Corrin در سال ۱۹۷۸ تلاش کرده‌اند تا اثرات هسته بندی را به لحاظ اینکه کسر فعالیت هسته به شیوه مرسوم نتایج رضایت بخش نخواهد داشت، تمایز دهند. واقعیت مذکور گمانها و عدم اعتماد هایی در پی دارد که سبب می‌شود جنبه‌های کیفی باروری آزمایشی، مورد سئوال و تردید باشد. با وجود این برخی از مطالعات میدانی انجام شده در شرایط ابری کاملاً مشخص، دلایل قابل قبولی از توافق بین میزان تجمع واقعی یخ در ابرها و محاسبات انجام شده بر اساس تولید و بکارگیری هسته از خروجی مدرج شده، نشان می‌دهد (Davies 1974). حال مناسب است برخی از تردیدهای موجود مانند تنظیم مولد بر اساس حجم ابر را بیان کنیم که‌فقط‌به‌سبب‌تقلیددقیق‌ازمحیط‌های‌ابری‌هنوزیک‌مشکل‌محسوب‌می‌شود.

تولید هسته باروری به میزان زیادی، توزیع ترکیب و اندازهٔ آنها را مشخص می‌کند. تئوری Fletcher (1968) وابستگی اندازه ذرات تولید شده به آستانهٔ فعالیتشان را نشان می‌دهد. بدین ترتیب اگر فرض شود نهشته شدن به شیوهٔ همیشگی فعال شدن صورت گیرد ذرات بزرگتر Agi نسبت به هستهٔ کوچکتر، در دمای گرمتر بیشتر فعال می‌شوند. از این گذشته تئوری مذکور پیش بینی می‌کند که اگر بعضی از هسته‌ها بالقوه منجمد باشند (از طریق تجمع یا غوطه وری) قطرات را در دمای گرمتر از تصعید هستهٔ به همان‌میز ان‌منجمدمی‌کند.درعوض‌تشکیل‌هستهٔ‌تصادمی،به‌ذرات‌باندازه‌های کوچکتر متکی است. این پدیده نتیجه تحرک بیشتر ذرات کوچکتر است. اگر اثرات قابلیت حل در محاسبات آورده‌شود، حقیقت‌مذکور در پیچیدگی‌بیشتر وضعیت‌شرکت‌می‌کندکه‌درصورت‌کوچکتربودن‌هسته‌ازدمای‌فعال‌کاسته می‌شود. در این رابطه ترکیب هسته‌عامل‌مهم‌دیگری‌به‌شمارمی‌رود. به‌علاوه به‌سبب‌تنوع‌زیادترکیب‌هسته‌هانظیر یدورنقره‌ساده‌ومرکب، یدورسرب، سولفات‌مس، دی‌هیدروکسینفتالین،۱/۵ de Mdtal,ploroylucimd و استیلیستونالیت مس، در تشکیل هسته میکروسکپی یاهیدروفوبیک‌خالص، وضعیت فرق می‌کند. از سوئی انتخاب هسته معینی را می‌توان در ملاحظات استدلالی محاسبه‌ای اقتصادی گنجاند، گر چه‌نکته‌مهم، ویژگی‌علمی‌وعملی آنهاخواهد بود. خوشبختانه هنوز می‌توان بعضی از دستورالعمل‌های کلی را در ارتباط با تکنیک باروری بکاربرد. دراین رابطه می‌توان‌مطالعات Zax ,Lamb,Hallett(1978)را به‌عنوان‌نمونه‌ای‌ازنگرش‌صحیح‌درمطالعهٔ‌موردی و عمومی، به‌ویژه بر ای‌باروری‌دینامیک‌کافی‌دانست. شیوه‌های‌مختلف‌هسته بندی و انجماد و سرعت رها سازی گرمای نهان‌وانجماد‌به‌شرح‌زیر می‌باشد:

۱) هسته‌بندی تصادمی یا (Scavening) که اثرات مرتبط با هسته‌بندی از طریق مهاجرت ذرات به طرف قطرات آب بوسیله حرکت وزشی (Brewnian) یا سایر نیروهای فورتیک را بحث می‌کند.

۲) هسته بندی اسارتی یا (Capture) زمانی پدید می‌آید که قطرات فوق سرد نسبتاً زیادی سقوط کند و بلورهای یخ بسیار کوچکتر را که قبلاً از طریق هسته‌بندی شکل گرفته‌اند به اسارت درآورد.

۳) تشکیل بلورهای یخ از طریق نهشته شدن (Deposition)بخار و رشد پی در پی آنها در محیط اشباع شده از آب.

۴) به هم پیوستگی (Accretion) یا هسته‌بندی الحاقی زمانی اتفاق می‌افتد که قطرات آب فوق سرد نسبتاً کوچک، بطور دینامیکی از طریق ذرات برف دانه بطرف بالا جاروب می‌شوند. چنانچه از هسته بندی معمولی هستهٔ یخ انتظار می‌رود، در موارد عمومی تمرکز بلورهای یخ 10^{-2} lit^{-1} است و تصور می‌شود که بذرپاشی، تجمع‌های یخ بلوری 10^{3} lit^{-1} ایجاد کند. در این بررسی، نتیجه سریعی که با ملاحظهٔ تشکیل هسته بندی تصادمی بدست می‌آید این است که هسته بندی و انجماد وابستگی شدیدی به اندازهٔ قطره‌ای دارد که از نتایج ترکیب قطرات بزرگی که دارای بیشترین احتمال تصادف و رها سازی گرمای نهان بودند حاصل شده است. به علاوه باید توجه داشت تاکنون فرآیندهای طبیعی اولیه (هسته بندی) و افزایش متعاقب آن، سبب افزایش حجم یخ طبیعی ابر می‌شد که به شکل نفوذ گسترده هسته بندی اسارتی در دسته‌های بزرگ مشهود می‌شود. کارائی نسبی فرآیندهای مذکور را می‌توان با مقایسهٔ زمان صرف شده برای ایجاد و اثر مشابه روی حجم معینی از ابر دارای طیف قطره‌ای، مورد قضاوت قرار داد. در جدول شمارهٔ (۲) اثرات تلفیقی شیوه‌های متنوع انجماد، برحسب توزیع میزان حجم آب مایع و یخ داده شده است. مقادیر مندرج در این جدول اندازهٔ نسبی اثرات متنوعی را نشان می‌دهد که تعدادی از مهمترین نکات آن در ادامه می‌آید:

– انجماد در طی دورهٔ مناسب به روش فرآیند هسته بندی برخوردی یا تصادمی محض تقریباً غیر ممکن است. این فرآیند فوق العاده کند و بیشتر مشابه با طیف قاره‌ای ابر است.

– اگر قطرات فوق سرد زیادی با بلورهای یخ موجود باشد، هسته بندی اسارتی فرآیند فوق العاده با اهمیت خواهد بود.

– نهشته شدن به نهائی، به ندرت قادر به انجماد برای ایجاد نتایج دینامیکی است. حتی نتایج ترکیبی از هسته بندی برخوردی و نهشته‌ای برای انجماد قابل ارزیابی، مفید به نظر نمی‌رسد.

– ابرهای قاره‌ای دارای طیف بسیار کم قطره‌ای – که دارندهٔ مکانیزم غیر مؤثر افزایش یخ می‌باشند – به ندرت به باروری به روش هسته بندی همگن – که برای ایجاد اثرات دینامیکی بکار می‌رود – عکس العمل نشان می‌دهند. بنظر می‌رسد در چنین ابرهائی، یخ خشک یا دیگر هسته‌های غیر همگن نظیر پروپان مایع یا هوای مایع با تکنیکهای بسیار گسترده‌تر، کار آمدتر می‌باشند.

جدول شماره (۲): نتایج تلفیقی محاسبات مدل Lamb et - al , 1978

مکانیزم	$\frac{dT}{dt}$ (WM^{-3})	کسری از کل	$\frac{dT}{dt}$ $(C)^{-1}$	$T=0.5(\frac{dT}{dt})^{-1}$* (S)
۱ – هسته بندی تصادفی				
عادی	1.2×10^{-7}	3×10^{-9}	10^{-10}	5×10^{9}
بارور شده	1.2×10^{-2}	3×10^{-5}	10^{-5}	5×10^{4}
۲ – هسته بندی آسارتی				
عادی	38	0.82	0.04	13
بارور شده	380	0.97	0.38	1.3
۳–هسته‌بندی‌ازنوع‌به‌هم‌پیوستگی				
عادی	8.1	0.17	0.088	62
بارور شده	8.1	0.02	0.088	62
۴ – هسته بندی نهشته‌ای				
عادی	0.3	0.01	3×10^{-4}	1.7×10^{3}
بارور شده	0.6	2×10^{-3}	6×10^{-4}	800
مجموع				
عادی	46		0.05	10
بارور شده	390		0.39	1.3

* ثابت زمانی (T) نشاندهنده زمانی است که برای مکانیزم خاص افزایش دما به میزان $0.5\dot{C}$ نیاز می‌شود. البته با این فرض که برای تثبیت دمای تعیین شده میزان دما (dT/dt) بالا رود. در واقع کاهش تدریجی آب مایع از ابر سبب می‌شود (dT/dt) اساساً با زمان کاهش یابد و مقادیر نشان داده شده T اعداد ثابتی هستند که نسبت به زمان واقعی مورد نیاز برای انجماد، کمتر برآورد شده‌اند.

در انتخاب عامل باروری به منظور ایجاد اثرات غیر فیزیکی باید از ملاحظاتی که در ادامه می‌آید سود برد:

– در فرآیند افزایش یخ که تجمع‌های بلوری بسیاری را سبب می‌گردد ابداً نباید ابرهای معمولی با دمای ۵°– را مورد استفاده قرار داد.

– ماهیت طیف دمای یخ ابرهای فاقد مکانیزمهای مؤثر افزایش یخ، اشاره به این مسئله دارد که ابرها در دامنه ۵– تا ۲۰– درجه برای باروری جوابگو هستند.

– سرعت کند رشد بلورهای یخ در ابرهای گرمتر از ۱۰°– این چنین ابرها را نسبت به ابرهای دارای دامنهٔ دمائی ۲۰– تا ۱۰– درجه سانتی گراد کم جاذبه‌تر می‌سازد، احتمالاً ابرهای سردتر از این که فقط دارای یخ کافی برای موازنهٔ میزان رطوبت هستند جوابگوی باروری نمی‌باشند.

– احتمالاً ابرهای دارای ضخامت کافی با دمای گرمتر از $0\dot{C}$ هستهٔ Agi طبیعی نسبتاً خالص بیشتری نسبت به هستهٔ مرکب میکروسکپی نیاز خواهند داشت.

– برای باروری در بیشتر از محدودهٔ دمایی تعیین شده، نیاز به ذرات Agi در اندازهٔ ۰/۰۵ تا ۰/۵ خواهد بود.

نتیجتاً باید خاطر نشان کنیم پیشرفت پژوهش، مسائل مرتبط با جنبه‌های کیفی باروری را روشن‌تر می‌سازد. به علاوه با دانش موجود که در جستجوی راه‌حلهایی بر ای باروری ابر در وضعیت مختلف می‌باشد، بکارگیری آن ریسک خواهد بود. در وضعیت موجود انتخاب تکنیک باروری خاص بسیار مهم خواهد بود.

کنترل کیفی ابر

ظاهراً بهترین کنترل کیفی به مفهوم انتقال، هدف‌گیری و سطح تأثیر را می‌توان از طریق آنالیز اثرات باروری روی باران بدست آورد. هر چند به علت تنوع بارش در طی زمان و مکان، باید پژوهشهای اختصاصی بیشتری جهت کنترل تکنیک باروری انتخابی صورت گیرد.

استفاده از مواد ردیاب که بطور همزمان با بالونها رها می‌شوند و اندازه‌گیری بالونهای آزمایش برای تعیین بهتر سطح اثر روی بعضی موقعیتهای ویژه متئورولوژی پیشنهاد می‌شود. برای این منظور، اندازه‌گیری حجم نقره آب باران کاملاً مفید است.

از سوئی اثرات سمی احتمالی Agi در آزمایشاتی که جهت اثرات میکروفیزیکی پخش می‌گردد بعید نیست. اثرات معکوس چنین تکنیکهای باروری در u.s قطعی شمرده شده است (u.s خلاصه عبارت انجمن احیاء محیط (۱۹۷۷) می‌باشد). از سویی ملاحظه می‌شود که بی اثر ساز فتولتیک نقره اثر ناچیزی بر عوامل باروری دارد و پایداری مواد باروری و اثرات باد هنوز موضوع پژوهشهای گستردهٔ دیگری هستند.

گاهی اوقات احتمال آلودگی سیستماتیک نواحی تحت کنترل با مواد باروری که برای اثر گذاری روی نواحی هدف رها شده‌اند نیز وجود دارد. شرایط متئورولوژی و تغییرات شدید باد، جهت باد را بطور ناگهانی تغییر می‌دهد و غالباً به دام افتادن مواد باروری تحت تأثیر اینورژن و اثرات ناهمواری بر روی جهت باد می‌تواند وضعیت ناخواسته‌ای ببار آورد که نتایج آزمایش را تحت تأثیر قرار دهد. اندازه گیرهای مناسبی که برای نشان دادن چنین احتمالاتی انجام می‌گیرد باید بر پایه‌های منطقی و دلایلی استوار شود که این نوع کنترل کیفی بر روی انتقال مواد باروری را تدارک می‌بیند.

پاورقی

۱– در این نوشتار باروری ابر گرم مورد بحث نیست و خارج از حوزه فعالیتهای IPE است