١٠٢٦٨٤

دانشگاه زنجان

دانشکده علوم

گروه فیزیک

مطالعه عددی پارامترسازی خردفیزیکی در مدل یک بعدی ابر

نگارش: محمد رجائی ونی

اساتید راهنما: دکتریوسفعلی عابدینی

دکترسهیلا جوانمرد

۱۳۸۷ /۷/ ۲۲

اردیبهشت ماه ۱۳۸۷

۱۰۲۶۸۴

دانشگاه زنجان

صورتجلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

شماره: ۳۶۸۲-د

تاریخ: ۸۷/۲/۳۰

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی‌عصر (عج) جلسه دفاع از پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد

آقای **محمد رجائی ونی** رشته **فیزیک** گرایش **ذرات بنیادی**

تحت عنوان : **مطالعه عددی پارامترسازی خرد فیزیکی درمدل یک بعدی ابر**

در تاریخ ۸۷/۲/۳۰ با حضور هیأت محترم دوران در دانشگاه زنجان برگزارگردید و نظر هیأت داوران بشرح زیر می‌باشد:

قبول(با درجه :.....عالی..... امتیاز: .....۱۹.....) دفاع مجدد ☐ مردود ☐

۱- **عالی(۲۰-۱۸)**

۲- **بسیارخوب(۱۷/۹۹- ۱۶)**

۳- **خوب(۱۵/۹۹- ۱۴)**

۴- **قابل قبول(۱۳/۹۹- ۱۲)**

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنمای اول	**دکتر یوسفعلی عابدینی**	استادیار	
۲- استاد راهنمای دوم	**دکتر سهیلا جوانمرد**	استادیار	
۳- استاد ممتحن داخلی	**دکتر جمال داودی**	استادیار	
۴- استاد ممتحن خارجی	**دکتر جواد بداق جمالی**	استادیار	
۵- نماینده تحصیلات تکمیلی	**دکتر طیب کاکاوند**	استادیار	

دانشگاه زنجان
دکتر نعمت ا... اربسدی
مدیر تحصیلات تکمیلی دانشگاه
و
استعدادهای درخشان

دکتر محمدعلی اسم خانی
معاون آموزشی و تحصیلات تکمیلی
دانشکده علوم

۸۷/۳/۸

با تشکر از اساتیدم به خاطر مساعدتهایشان

پدر و مادرم به خاطر دلسوزیهایشان

و همسرم به خاطر صبوریهایش

چکیده

در این مقاله نتایج مطالعه عددی پارامترسازی خرد فیزیکی مدل یک بعدی ابرتندری ارائه شده است. از آنجا که درمدل ابر دو بعدی لین و همکاران(۱۹۸۳)، ۳۲فرایند خردفیزیکی با در نظر گرفتن شش حالت ماده آب از جمله بخار آب، قطرک ابر، ذرات یخ، باران، برف، و تگرگ(گراپل) پارامتر سازی شده است. از طرف دیگر در مدل یک بعدی ابر تندری بهبود یافته اگورا- تاکاهاشی (جوانمرد ۱۹۹۵)، ۹ فرایند خردفیزیکی با چهار حالت ماده آب شامل بخار آب، قطرک ابر، باران ، و تگرگ پارامترسازی شده است. لذا به منظور دستیابی به پیش بینی هر چه دقیق تر میزان شدت بارندگی و سایر پارامترهای خرد فیزیک ابر در مدلهای عددی ابر، در این مقاله ابتدا کد مربوط به پارامترسازی ۳۲ فرایند خرد فیزیکی لین و همکاران(۱۹۸۳) توسط زبان برنامه نویسی فرترن در مدل (جوانمرد۱۹۹۵) به جای ۹ فرایند خرد فیزیکی (جوانمرد ۱۹۹۵) با لحاظ یکسان بودن ساختار دینامیکی مدل وارد گردیده است. سپس خروجی های برنامه مدل جدید شامل کمیتهای پیشیابی خردفیزیکی ابر با خروجی های مدل جوانمرد(۱۹۹۵) مقایسه شده است . مقایسه یکی از خروجی ها نشان داده است که بیشینه شدت بارندگی در سطح زمین در مدل جدید به میزان۱۱٤میلیمتر بر ساعت و بارندگی در بازه زمانی ۵۰ دقیقه ای بوده است . در حالیکه بیشینه این کمیت در مدل قبل ۳٤ میلیمتر بر ساعت و در بازه زمانی ٦۵ دقیقه ای پیش بینی شده است. این مقدار در مقایسه با مشاهدات تجربی نظیرآنچه در مقاله مورین و همکاران (۲۰۰٦)که میانگین شدت بارندگی ۲۲۰ میلیمتر بر ساعت میباشد هماهنگی بیشتری نشان میدهد.

فهرست

صفحه
فصل اول- مقدمه ۱
۱-۱- تاریخچه ۲
۱-۲- مقدمه ای بر مدلهای عددی ابر ۵
فصل دوم- فیزیک ابر و مدلسازی عددی فرایندهای جوی ۹
۲-۱- مقدمه ۱۰
۲-۲-انواع ابرها ۱۰
۲-۲-۱-ابرهای سطح بالا ۱۱
۲-۲-۱-۱-سیروس (Ci) ۱۱
۲-۲-۱-۲-سیرو استراتوس (Cs) ۱۱
۲-۲-۱-۳-سیرو کومولوس(Cc) ۱۲
۲-۲-۲-ابرهای سطح میانی(متوسط) ۱۲
۲-۲-۲-۱-آلتواستراتوس(As) ۱۲
۲-۲-۲-۲-آلتو کومولوس (Ac) ۱۳
۲-۲-۳-ابرهای سطح پایین ۱۳
۲-۲-۳-۱-استراتوس(St) ۱۴
۲-۲-۳-۲- استراتوکومولوس(Sc) ۱۴
۲-۲-۳-۳-کومولوس(Cu) ۱۴
۲-۲-۳-۴-مه ۱۴
۲-۲-۴-ابرهای چند لایه ای ۱۴
۲-۲-۴-۱- نیمبو استراتوس (Ns) ۱۵
۲-۲-۴-۲- کومولونیموبوس (Cb) ۱۵
۲-۳-ترمودینامیک جو ۱۵
۲-۳-۱- قانون بویل و گیلوساک ۱۵
۲-۳-۲- قانون آواگادرو ۱۶
۲-۳-۳- معادلات حالت در جو زمین ۱۷
۲-۳-۴- انرژی داخلی ۱۷
۲-۳-۵- قانون اول ترمودینامیک ۱۸
۲-۳-۶- فشار بخار و اشباع ۱۸
۲-۳-۷- رطوبت مطلق ۱۸
۲-۳-۸- رطوبت ویژه ۱۹
۲-۳-۹- نسبت آمیختگی ۱۹

۲-۳-۱۰- رطوبت نسبی ۲۰
۲-۳-۱۱- دمای نقطه شبنم ۲۰
۲-۳-۱۲- دمای میعان – هم آنتروپی ۲۱
۲-۴- فرآیندهای خرد فیزیکی تشکیل بارش در ابر ۲۱
۲-۴-۱- تئوری هسته سازی در فرآیندهای میعان ۲۱
۲-۴-۲- فرآیند رشد توسط پخش ۲۶
۲-۴-۳- فرایند رشد قطرات باران توسط بهم آمیختگی و برخورد ۲۹
۲-۴-۴- سرعت حد قطرات باران ۳۲
۲-۵- فرآیند بارش در ابرهای سرد ۳۳
۲-۵-۱- تئوری هسته سازی ذرات یخ ۳۴
۲-۵-۲- برخورد و تراکم ذرات یخ در ابرها: تکثیر یخ ۳۶
۲-۵-۳- رشد ذرات یخ در ابرها ۳۷
۲-۵-۴- رشد ذرات یخ در فاز بخار ۳۸
۲-۵-۵- رشد ذرات یخ طی فرایند برفک ۴۱
۲-۵-۶- رشد ذرات یخ طی فرایند انبوهش ۴۳
۲-۵-۷- فرایند ویگنر-برژرون- فیندنسین(WBF) ۴۴
۲-۶- خصوصیات برف و تگرگ ۴۶
۲-۶-۱- خصوصیات برف ۴۶
۲-۶-۲- خصوصیات تگرگ ۴۶
فصل سوم- تئوری و روش کار: ۴۸
۳-۱-توسعه و بهبود مدل یک بعدی عددی اگورا - تاکاهاشی ۴۹
۳-۱-۱- فرایندهای خرد فیزیکی مدل توسعه یافته اگورا – تاکاهاشی(جوانمرد(۱۹۹۵)) ۵۰
۳-۱-۱-۱- میعان (P_1) ۵۱
۳-۱-۱-۲- تبدیل قطرکهای ابر به قطرات باران (P_2) ۵۲
۳-۱-۱-۳- انجماد قطرات باران به تگرگ (P_3) ۵۲
۳-۱-۱-۴- تشکیل دانه های تگرگ از بخار آب (P_4) ۵۳
۳-۱-۱-۵- ذوب دانه های تگرگ (P_5) ۵۴
۳-۱-۱-۶- تبخیر قطرکهای ابر (P_6) ۵۴
۳-۱-۱-۷- تبخیر قطرات باران (P_7) ۵۴
۳-۱-۱-۸- تبخیر دانه های تگرگ (P_8) ۵۵
۳-۱-۱-۹- تبخیر دانه های تگرگ در فرآیند ذوب (P_9) ۵۵
۳-۱-۲- معادلات دینامیکی و ترمودینامیکی ۵۶
۳-۲- پارامترسازی فرآیند های خرد فیزیکی در مدل ابر لین و همکاران(۱۹۸۳) ۵۹

۳-۲-۱- مقدمه ۵۹
۳-۲-۲-فرایندهای درگیر در آهنگ تولید برف ۶۴
۳-۲-۲-۱-فرایند انبوهش بلور یخ ۶۵
۳-۲-۲-۲- فرایندهای برافزایش ۶۶
۳-۲-۲-۳- فرایندهای نهشت(تصعید) ۷۱
۳-۲-۲-۴- فرایند ذوب ۷۲
۳-۲-۲-۵- فرایند برژرون ۷۲
۳-۲-۳- فرایندهای درگیر در آهنگ تولید تگرگ ۷۳
۳-۲-۳-۱- فرایند انبوهش بلور برف ۷۳
۳-۲-۳-۲- فرایندهای برافزایش ۷۴
۳-۲-۳-۳- فرایند انجماد ۷۶
۳-۲-۳-۴- فرایند تصعید ۷۷
۳-۲-۳-۵ - فرایند ذوب ۷۷
۳-۲-۴- فرایندهای درگیر در آهنگ تولید باران ۷۸
۳-۲-۴-۱- تبدیل خود به خود ۷۹
۳-۲-۴-۲- فرایندهای برافزایش ۷۹
۳-۲-۴-۳- فرایند انجماد (ذوب) ۸۰
۳-۲-۴-۴- فرایند تبخیر ۸۰
۳-۲-۵-روش انجام کار ۸۱
۳-۲-۶-روش محاسبات و الگوریتم برنامه اگورا تا کاهاشی(جوانمرد(۱۹۹۵)) ۸۲
فصل چهارم- نتایج کار ۹۰
۴-۱- مقایسه نتایج مدل توسعه یافته ابر تندری اگورا – تاکاهاشی(جوانمرد (۱۹۹۵)) و مدل توسعه یافته ابر تندری بر اساس خرد فیزیک مدل ابر لین و همکاران (۱۹۸۳) با توجه به منابع و چاهک ها ۹۱
۴-۱-۱-نسبت آمیزه آب باران (QRN) ۹۱
۴-۱-۲-نسبت آمیزه آب ابر (QCL) ۹۶
۴-۱-۳-نسبت آمیزه تگرگ در مدل لین و همکاران(QG) ۱۰۰
۴-۱-۴-نسبت آمیزه یخ ابر در مدل لین و همکاران(QIN) ۱۰۴
۴-۱-۵-نسبت آمیزه برف در مدل لین و همکاران (QS) ۱۰۷
۴-۱-۶- نسبت آمیزهٔ اشباع بر فراز آب(SIG) ۱۱۰
۴-۱-۷- نسبت آمیزهٔ اشباع بر فراز یخ(SIGI) ۱۱۲
۴-۱-۸- پروفایل عمودی دما و دمای نقطه شبنم(TT و TD) ۱۱۴
۴-۱-۹-شدت بارش در سطح زمین(.GPR) ۱۱۵

۴-۱-۱۰- شدت بارندگی(PR).....۱۱۷
۴-۱-۱۱- اکوی رادار(DBZ).....۱۱۹
۴-۱-۱۲-اختلاف دمای ابر و محیط(TT).....۱۲۱
۴-۱-۱۳-سرعت قائم(W).....۱۲۳
۴-۱-۱۴- نمودار های مجموع نسبت آمیزه باران،برف،تگرگ،قطرک ابر و ذرات یخ.....۱۲۵
فصل پنجم- نتیجه گیری.....۱۲۹
مراجع.....۱۳۳
پیوست ۱: طریقه بدست آمدن معادله نرخ رشد تگرگ.....۱۳۷
پیوست ۲: واژگان.....۱۴۷
پیوست ۳: جدول پارامترها.....۱۴۹

فصل اول :

مقدمه

۱-۱ - تاریخچه

به منظور پارامترسازی اثرات خردفیزیکی ابر تندری در فرآیند تشکیل بارندگی و ایجاد اصلاحات لازم و تطابق هر چه بیشتر مدل عددی با مشاهدات تجربی به عمل آمده، پارامترسازی فرآیند بارش در مدل ابر تندری اگورا و تاکاهاشی (O-T) بهبود یافته است[۱]. از آنجا که این مدل مشتمل بر دو قسمت، دینامیک و خرد فیزیک می باشد و با توجه به اینکه خرد فیزیک مدل O-T شامل ۹ پارامتر بوده لذا بر آن هستیم تا با ارتقاء دقت در پارامترسازی فرآیندهای خرد فیزیکی در ابرهای سرد و با توجه به ۳۲ پارامتر فرایندهای خرد فیزیک مدل لین و همکاران (linetal) [۲]و البته با استفاده از دینامیکی که در مدل O-T به کار رفته مدل عددی خود را به مشاهدات تجربی نزدیک تر سازیم.

در این تحقیق می خواهیم به دنبال این سوالها باشیم:

۱. چگونه می توان بصورت دقیق تر بارندگی را بصورت کمی پیش بینی کرد؟

۲. شروع و پایان نمودار (Profile) بارندگی در سطح زمین به چه صورت است؟

بارندگی سنگین همراه با رعد و برق از ابر تندری ناشی می‌شود. دلایل ایجاد چنین بارندگی سنگینی در یک مدل ابردر صورتی می‌تواند بررسی شود که فرایندهای خردفیزیکی به طور صحیح در نظر گرفته شوند. اگورا و تاکاهاشی اولین کسانی بودند که این مسئله را مطالعه کردند و موفق شدند تابسیاری از خصوصیات دینامیکی و ترمودینامیکی ابرهای تندری را شبیه‌سازی کنند و نیز دوره زندگی ابرهای تندری را توسط فرآیندهای خردفیزیک نشان دادند[۱]. بسیاری از دانشمندان اثرات خردفیزیکی را با استفاده از مدل ابر مطالعه کردند که به برخی از آنها اشاره می‌شود. دنیلسن و همکاران مدل ابری با جزئیات بیشتر خردفیزیک که در آن فاز آب و یخ همراه با توزیع اندازه ذرات آنها به طور صریح به کار رفته بود را ایجاد کردند[۳]. هم‌چنین موری و کونیگ مدل ابر دو بعدی را جهت تحقیق در مورد پارامترسازی فرآیندهای

خردفیزیکی در تحول ابر کومه‌ای به کار بردند. آنها یافتند که تبخیر یکی از فرآیندهای مهمی است که در رفتار ابر تاثیر می‌گذارد [۴]موری و کوئینگ به منظور تحقیق در مورد ایجاد یخ در ابرهای کومه‌ای و نقش یخ در کنترل خصوصیات ابر بویژه تحقیق در مورد تفاوتهایی که در محتوای یخ خصوصیات مربوط به ابرهای کومه‌ای کوچک وجود دارند، مدل ابر دو بعدی با پارامترسازی خردفیزیکی قطرات آب و ذرات یخ را ایجاد کردند. تاکاهاشی و کاوانو [۵] نیز با استفاده از مدل دو بعدی نوار باران اثر رفتارهای متفاوت خردفیزیکی را بر روی تحول باران و فرآیندهای بارندگی مطالعه نمودند. آنها یافتند که نه تنها تحول باران بلکه فعالیت سلول ابر و هم‌چنین نحوه آزاد شدن گرما به شدت به فرآیندهای فیزیکی که در مدل بکار رفته است وابسته می‌باشد [۶]. بسیاری از دانشمندان دیگر نیز تلاش کردند تا خصوصیات خردفیزیکی مدل‌های ابر را بهبود بدهند [۷، ۸، ۹]. پارامترسازی خردفیزیکی آنها مطالعه فیزیک ابر تندری را مشکل‌تر و پیچیده‌تر کرد.

اما مدل O-T، درک تصور فیزیکی اثرات متقابل بین خرد فیزیک و دینامیک را ساده نموده است و بعضی از دانشمندان از این مدلهای ابر برای مطالعه اثرات پارامترسازی خردفیزیکی در فرآیند بارندگی و پیش‌بینی میزان و شدت بارندگی قبل از انجام عملیات بارورسازی ابرها به عنوان یکی از ابزارهای امکان‌سنجی تعدیل آب و هوا به کار میبرند[۱۰] .

به منظور ایجاد اصلاحات لازم و تطابق هرچه بیشتر مدل عددی با مشاهدات تجربی به عمل آمده، ضروری است تا در مدل O-T از نقطه نظر دانش جدید خرد فیزیک، در برخی از فرایندهای خردفیزیکی بهبود و تغییرات لازم به عمل آید.

این پایان نامه مشتمل بر پنج فصل است:

فصل اول : مقدمه

فصل دوم: مباحث نظری و تعاریف که شامل دو قسمت می باشد، قسمت اول : ترمودینامیک جو، و قسمت دوم : فرایندهای خردفیزیکی که منجر به تشکیل بارش در ابر می شود.

فصل سوم: تئوری و روش کار. در این فصل فرایندهای خرد فیزیک موجود در مدل O-T و linetal شرح داده می شود. سپس به دینامیک مدل می پردازیم و در نهایت روش کار که شامل نوع زبان برنامه نویسی، خروجی ها و برنامه هایی که برای نشان دادن خروجی ها به کار می رود بیان می شود.

فصل چهارم : نتایج کار می باشد که شامل نتایج مدل O-T ، نتایج مدل linetal و مقایسه این دو با هم و با مشاهدات تجربی می باشد.

فصل پنجم : نتیجه گیری

۱-۲- مقدمه ای بر مدلهای عددی ابر

مدلهای ابر از نظر بعد فضایی صفر بعدی ($0D$)[۱]، یک بعدی ($1D$)[۲]، دو بعدی ($2D$)[۳] و سه بعدی ($3D$)[۴]، تقسیم می شوند. در مدلهای ($0D$) فرآیندهای پیچیده خرد فیزیک ابر به خوبی می توانند شبیه سازی شوند اما نقطه ضعف این مدلها آن است که فرض می شود که بسته هوا با محیط ابر فیدبکی ندارد. مدلهای ($1D$) یا پایا ($1DS$)[۵] و یا وابسته به زمان ($1DT$)[۶] می باشند. در مدلهای یک بعدی پارامترهای دینامیکی و ترمودینامیکی فقط به صورت تابعی از ارتفاع محاسبه می گردند. اگر وابستگی متغیرهای خرد فیزیکی به پارامترهای دینامیکی و ترمودینامیکی در نظر گرفته شده باشد، جفت شده[۷] هستند و اگر این وابستگی در نظر گرفته نشده باشد، جفت نشده[۸] می باشند. مدلهای $1DS$ دو نوع هستند، در یکی پارامترهای خرد فیزیکی به صورت کپه ای و در دیگری جزئیات خرد فیزیک (بیناب ذرات) در نظر گرفته می شود. مدل $1DS$ می تواند ارتفاع قله ابر، تغییر ضخامت ابر در حالات بارورسازی شده و نشده را پیش بینی نماید. نقطه ضعف مدلهای $1DS$ این است که توانایی شبیه سازی ابرهای پوششی را ندارند. فرآیند بارش را کاملا شبیه سازی نمی کنند. و پارامترهای ورودی به طور اختیاری تعیین می گردند.

اکثر مدلهای $2D$ خرد فیزیک کپه ای را به کار می برند و در تعداد کمی از این مدلها جزئیات خردفیزیک خیلی پیچیده استفاده شده است. توانایی های مدلهای $2D$ به ترتیب ذیل می باشند:

- شبیه سازی فرآیند بارندگی در چارچوب های جفت شده خردفیزیکی و دینامیکی،
- شبیه سازی بارندگی در جریان هوای بالاسو،

---

[۱] Zero – Dimensional
[۲] One - Dimensional
[۳] Two - Dimensional
[۴] Three - Dimensional
[۵] Steady - state
[۶] Time – dependent
[۷] Coupled
[۸] Uncoupled

- پیش بینی مقدار و مکان بارندگی ،

- طراحی و ارزیابی مکان و زمان بهینه پخش مواد بارورساز و محک آهنگ یخی شدن ابرها.

ضعف اصلی مدلهای $2DT$ این است که در شبیه سازی غیر کامل بوده و دینامیک و خرد فیزیک ساده تر را به کار می برند. مدلهای سه بعدی $(3D)$ پیچیده هستند محاسبه آنها زمان زیادی نیاز دارد. بنابراین، این مدلها با هدف عملیاتی برای مطالعه جزئیات خرد فیزیک مناسب نیستند. جدول (۱) مشخصات مدلهای ابر و جدول (۲) توانایی های این مدلها را نشان می دهد.

جدول ۱- مشخصات اجرایی مدلهای عددی ابر بر روی کامپیوتر CDC۶۶۰۰

مدلها	تعداد نقاط شبکه	میزان فضای ذخیره	زمان محاسبه کامپیوتر CDC۶۶۰۰	شبیه سازی واقعی
۰D	۱	10^3	10^2s	
۱DS	10^2	10^4	10^2s	
۱DT Bulk۲	10^2	$10^3 - 10^4$	6×10^2s − ۱۰min	۶۰ min
ابر گرم (det ailed)[۳]	10^2	10^5	6×10^3s − ۱۰۰min	۱۲۰ min
۲DT	10^4	$10^5 - 10^6$	6×10^3s − 10^4s(۳ − ۳۰h)	۶۰ min
۳DT Bulk	10^3	$10^6 - 10^7$	10^5s(۳۰ − ۳۰۰h) − 10^6s	۱۸۰ min

زمان برای کامپیوتر CRAY-۱ به ۳۰ تقسیم می شود. "Bulk" به خردفیزیک کپه ای منسوب است. "Detailed" به شبیه سازی تحول طیف ذره نسبت داده می شود. در حالت کلی، زمان محاسبه مدلهای با جزئیات خرد فیزیک۲۰ برابر زمان محاسبه مدلهای کپه ای چند بعدی می باشد.

جدول ۲- توانایی مدلهای ابر

مدلها	A_1	A_2	A_3	A_4	B	C
۰D	×	–	–	–	–	–
۱DS جفت نشده (جنبشی)	×	–	–	–	–	–
DS جفت شده	×	×	–	–	×	×
۱DT جفت شده	×	×	–	–	×	–
۲DT جفت نشده (جنبشی)	×	×	×	×	–	–
۲DT جفت شده	×	×	×	×	–	–
۳DT میان مقیاس	×	×	×	–	–	–
۳DT میان مقیاس	–	×	×	–	–	–

در جدول ۲، A_1 پیش بینی آغاز بارندگی ، A_2 پیش بینی تغییر بارندگی (با اثر باروری بدون اثر بارورسازی)، A_3 پیش بینی مقدار بارندگی، A_4 پیش بینی مکان بارندگی ،B کاربرد عملیاتی ، C ارزیابی و غیره می باشد.

این مدلها دینامیک ابر را به طور موقتی شبیه سازی کرده و در ارزیابی اثرات بارورسازی مفید هستند. در میان مدلها فقط مدلهایی که پایا، وابسته به زمان، یک بعدی، و جفت شده هستند برای کاربرد عملیات

میان مناسب می باشند. مقادیر دیده بانی مورد نیاز برای مدلها به طور کاربرد عملیاتی به ترتیب زیر می باشد :

- داده های جو بالا(برای آغازگری مدل)،

- اندازه گیری دما و ارتفاع قله ابر ،

- اندازه گیری هسته تراکم ابر (CCN) در کف ابر (اگر اندازه گیری تراکم قطرات و بلور انجام می گیرد، ترجیحا می تواند حذف شود) ،

- اندازه گیری CCN و هسته یخ (IN) یا قطرکهای ابر و ذرات یخ به طور روزانه لازم نمی باشد[۱۱].

فصل دوم:

تعاریف و مباحث نظری

۲-۱- مقدمه

از آنجا که جو در کل یک سیستم گازی است، و قوانین حاکم بر گازها برای جو«اتمسفر» نیز به کـار مـی رود، لذا در قسمت اول این فصل، بعضی قوانین حاکم بر گازها بیان شده، و در قـسمت دوم اشـاره ای بـر ترمودینامیک هوا کرده و برخی شاخص های رطوبت و فرآیندهای خردفیزیکی که منجر به بارش می شود را بیان می کنیم.

۲-۲- انواع ابرها

ابرها در سیستمی طبقه بندی می شوند که از کلمات لاتین برای توضیح شکل آنها که از روی زمین مشاهده می شود، استفاده می کند. جدول زیر خلاصه ای از ۴ جزء اصلی این سیستم طبقه بندی شده است .

ریشه لاتین	ترجمه	مثال
کومولوس	کومه ای	کومولوس آب و هوای آفتابی
استراتوس	لایه	آلتواستراتوس
سیروس	پیچش مو	سیروس
نیمبوس	باران	کومولونیمبوس

طبقه بندی ابرها از طریق ارتفاع پایه آنهاست . برای مثال : ابرهایی که نام آنها شامل پیشوند، « سیرو» است مانند سیروس در سطوح بالا قرار دارند. ابرهایی که همراه با پیشوند «آلتو» هستند. مانند ابرهای آلتوستراتوس در عرضهای میانی قرار دارند، و بقیه ابرهای پائین می باشند.

این مدل شامل چند گروه ابر می شود. بطور کلی ابرها بر اساس ویژگیهایی مثل ارتفاع ، شکل یا ناحیه ای که در آن قرار می گیرند، طبقه بندی می شوند. این طبقه بندی به صورت زیر است.

۱- ابرهای سطح بالا ۲- ابرهای میانی ۳- ابرهای سطح پایین ۴- ابرهای چند لایه ای

۲-۲-۱- ابرهای سطح بالا:

در ۲۰۰۰ پایی(۶۰۰۰ متر) شکل می گیرند. زمانیکه دما در ارتفاع های بالا بسیار پایین است، این ابرهای ترکیبی از کریستالهای یخ هستند. این ابرها معمولا نازک و سفید بنظر می رسند، اما هنگامیکه خورشید در پایین افق است بصورت رنگی دیده می شوند. تعدادی از این ابرها به شرح زیر هستند:

۲-۲-۱-۱- سیروس (Ci)

ابرهای سیروس مرتفعترین انواع ابرها هستند که معمولا در ارتفاع بالاتر از ۱۰۰۰۰ متری شکل می گیرند. این ابرها سفید، ظریف، و مجزا از هم بوده و در تمام فصول سال مشاهده می شوند. اغلب به شکل پر، رشته رشته و دم اسبی به نظر می رسند. به دلیل ارتفاع زیاد و نتیجه دمای پایین، ابرهای سیروس از بلورها یا ورقه های نازک یخ درست شده و قطرات آب در آنها دیده نمی شود.

۲-۲-۱-۲- سیرو استراتوس (Cs)

ابرهای سیرواستراتوس نیز ارتفاع زیاد دارند و نظیر ابرهای سیروس از بلورهای یخ تشکیل شده اند. ابرهای مذکور عموما به صورت تور یا ورقه های نازک بوده و قسمت اعظم آسمان را می پوشانند. ضخامت آنها