محاسبه میزان افزایش بارندگی در مناطق کوهستانی اطراف مشهد با استفاده از یك مدل کامپیوتری

محمد موسوی بایگی[1]

تاریخ دریافت: ۸۳/۱۰/۲۷

چکیده

یکی از مشکلات مهندسین هواشناسی و هیدرولوژی، بر آورد و اندازه گیری پارامتر های هواشناسی در مناطقی است که فاقد ایستگاه هواشناسی بوده و یا به لحاظ سختی مسیر و ارتفاع زیاد پستی و بلندی ها، امکان دیده بانی موثر و اندازه گیری مرتب پارامتر های جوی در آن وجود ندارد. با پیشرفت فناوری و علوم و استفاده از مدل های کامپیوتری، تا حد بسیار زیادی این مشکل حل شده و روز به روز بهتر می شود. مدل سه بعدی رین استار[2] یکی از مدل های مناسب برای محاسبه میزان افزایش بارندگی در ارتفاعاتی است که ارتفاع آن ها، حداکثر ۲۵۰۰ متر بیش از دشت های اطرافشان می باشد. این مدل با دریافت داده های جوی از قبیل سمت و سرعت باد، رطوبت نسبی، میزان بارندگی در دشت، ارتفاع پایه ابر، تعداد قطرك های ابر در واحد حجم و ...، مقدار بارندگی و میزان نهشت یون های مختلف موجود در باران را در ارتفاعات مختلف از دشت تا قله کوه محاسبه می کند. این مدل ضمن شبکه بندی سه بعدی محیط به بررسی حرکت قطره باران در درون ابر قله ای، تحت تأثیر نیروی ثقل و نیروی باد می پردازد. همچنین با بررسی اثرپدیده سیدر- فیدر[3] در نهایت چگونگی رشد قطره باران را بیان می کند. در این مقاله ضمن معرفی این مدل، نتایج حاصل از اجرای آن در منطقه مشهد (ارتفاعات جاده کلات) با نتایج آزمایش میدانی مقایسه شده که نشان می دهد مدل با تقریب بسیار خوبی قادر به برآورد میزان بارندگی ارتفاعات می باشد.

واژه های کلیدی: ابر قله‌ای، پدیده سیدر - فیدر، مدل رین استار

مقدمه

یکی از پدیده های متداولی که معمولاً همه افراد آن را مشاهده نموده‌اند، وجود ابرهای قله ای بر فراز کوههای با ارتفاع متوسط است که همچون کلاهی برسر قله کوه قرار می گیرد. در فرهنگ عمومی هواشناسی به این ابرها، ابرهای قله ای[4] گفته می شود. ابرهای قله ای هنگامی بوجود می آیند که هوای مرطوب دشت روی شیب دامنه کوه صعود کرده و سرد می شود و با توجه به میزان رطوبت و نیز افتاهنگ دما در ارتفاعات بالا دمای آن به زیر دمای نقطه شبنم خود رسیده، اشباع می شوند و قطرك های ابر شکل می گیرند.

ابرهای قله ای اگرچه در خانواده ابرها جای می گیرند ولی به لحاظ خصوصیات فیزیکی، ازجمله چگالی ذرات تشکیل دهنده و نیز بزرگی قطر قطرکهای آن از انواع ابرهای فرارفتی متمایز هستند. حداکثر تعداد قطرك ها در واحد حجم در این نوع ابرها در حدود ۲۰۰ تا ۲۵۰ است (پروپگر-کلت ۱۹۹۶). از طرف دیگر، آزمایشات متعددی نشان داده است که بزرگی قطر این قطرك ها به طور متوسط در حدود ۱۰ میکرو متر است (چولارتون و همکاران۱۹۸۶). با توجه به اینکه بارندگی در اثر رشد قطرك های ابر در اثر یکی از پدیده های پخش[5]، ادغام یا در هم آمیزی[6] قطرك ها در یکدیگر و نیز پدیده برژرون اتفاق می افتد، به لحاظ خصوصیات فیزیکی، این ابر ها قابلیت ایجاد بارندگی به خودی خود را نداشته و بنابراین هرگز بارشی از این نوع ابرها مشاهده نشده است. اما مطلب اخیر به هیچ وجه به این معنا نیست که ابرهای قله ای در میزان بارندگی بی تأثیر هستند. بلکه علت اصلی افزایش بارندگی در ارتفاعات همین ابرهای قله ای می باشند. تحقیقات نشان داده است که به دلیل حضور ابرهای

۱- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

2) RAINSTAR 3) Seeder-Feeder 4) Cap Cloud 5) Diffusion 6) Covalance

قله ای میزان بارندگی در ارتفاعات بیش از صد درصد افزایش داشته است (چولارتون، ۱۹۷۴) . چولارتون خاطر نشان کرده است که وقتی قطرات باران خروجی از ابر های ارتفاعات دربالا[1] از داخل ابر قله ای[2] عبور می کنند، در اثر برخورد قطرك های ابر قله ای و قطرات باران و ادغام آنها در یکدیگر، قطره های باران بزرگ تر می شوند و بنابر این قطرات باران خروجی از زیر ابر قله ای به مراتب بزرگتر از قطراتی است که در دشت به سطح زمین می رسند. از آن پس این پدیده به نام پدیده سیدر - فیدر شناخته شد. همچنین در سال های بعد اثر دینامیک جو بر روی پدیده سیدر- فیدر مورد بررسی قرار گرفت (چولارتون ۱۹۸۳). در سال ۱۹۹۰ مدلی با همین نام طراحی شد که میزان رشد قطرات باران را در حضور ابرهای قله ای نسبت به بارندگی دشت (بارندگی ابر بالا) محاسبه می کرد. این مدل یک افزایش ۲۰۰ درصدی بارندگی را نشان داد که در مقایسه با داده های میدانی، نتایج حاصل از مدل تا حد بسیار قابل قبولی تایید گردید (تونی دور، ۱۹۹۰). محققین دیگری برای منظورهای خاص سالهای متمادی از مدل فوق استفاده نمودند اما به دلیل محدودیت توان رایانه ای که تونی دور در سال ۱۹۹۰ با آن مواجه بود، این مدل از ضعف هایی برخوردار بود که پاسخگوی نیاز محققین در دهه اخیر نبود. با این وجود تونی دور مدل خود را به منظور بررسی غلظت اسید موجود در باران بهبود بخشید و توانست تخمین مناسبی از میزان نهشت مرطوب اسیدی را برآورد کند. (تونی دور ۲۰۰۰). با رشد توان رایانه ای و امکان استفاده از مدل های کمکی ، شکل اصلاح شده مدل فوق به نام مدل رین استار برای برآورد افزایش بارندگی در اثر پدیده سیدر- فیدر ارائه شد(محمد موسوی بایگی ، ۲۰۰۱). مدل اخیر به دلیل استفاده از داده های ورودی بیشتر، قادر به محاسبه بارندگی در ارتفاعات، تعیین غلظت یون های مختلف اسیدی در باران و نیز محاسبه میزان نهشت مرطوب در واحد سطح منطقه مورد مطالعه می باشد. بر اساس نتایج این مدل، ابر های قله ای نه تنها قادرند بارندگی را تا سه برابر بارندگی دشت افزایش دهند، بلکه بارش ناشی از این ابر ها از لحاظ آلودگی به یون های مختلف به شدت از آلودگی بیشتری نسبت به باران های دشت برخوردارند.

اجرای مدل نیازمند مشخص بودن میدان باد در روی منطقه مورد مطالعه است. برای انجام این کار از یک مدل کمکی جریان هوا به نام فلو استار[3] (کرادر، ۱۹۸۹) برای تعیین مؤلفه های سرعت باد منطقه و خطوط جریان در بالای منطقه مورد نظر استفاده می شود. با در دست داشتن میدان باد و سایر پارامتر های فیزیکی مربوط به وضع هوا ، مدل رین استار قابل اجرا خواهد بود. در واقع این مدل خروجی های مدل فلو استار را به فرمت مناسب تبدیل کرده و به عنوان بخشی از ورودی های خود مورد استفاده قرار می دهد.

مواد و روشها

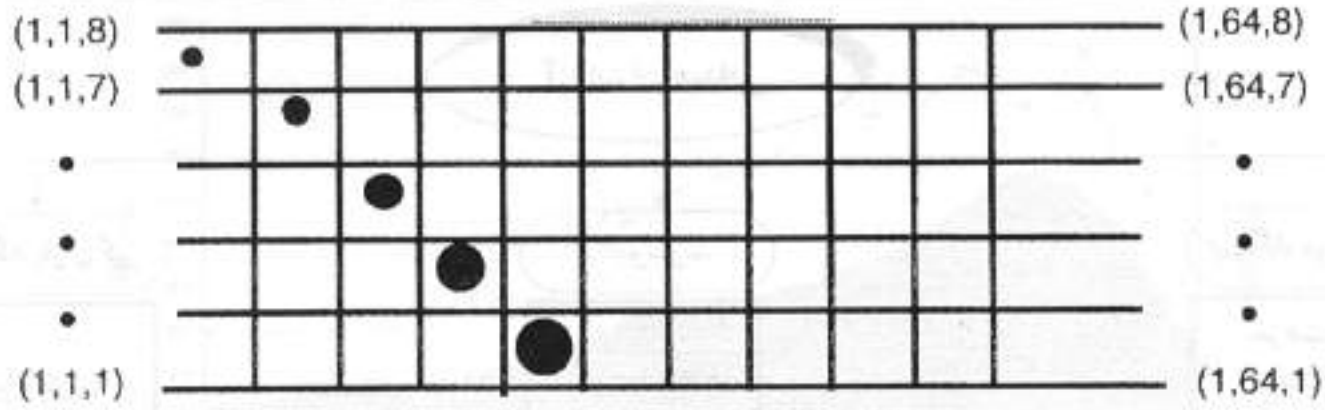
معرفی مدل: مدل رین استار یک برنامه کامپیوتری به زبان فرترن با مجموعه ای از حلقه های تو در تو است که برای محاسبه میزان افزایش بارندگی در نتیجه اثر پدیده سیدر- فیدر روی مناطق کوهستانی طراحی شده است. برای محاسبه بارندگی، سطح منطقه مورد مطالعه (که مقدار بهینه آن ۶۲۵ کیلومتر مربع است ولی می تواند کمتر یا بیشتر باشد) را به صورت شبکه ای با $x = ۶۴ \times y = ۶۴$ قسمت و ارتفاع $z = ۴$ کیلومتری بالای این سطح را به ۸ لایه تقسیم می کند. فاصله هر دو نقطه در سطح افق تقریباً ۴۰۰ متر و فاصله بین دو لایه ۵۰۰ متر می باشد.

نحوه عمل مدل به این شکل است که قطره باران ورودی در قله ابر را در مختصات($z = ۸$ ، $y = ۱$ ، $x = ۱$) در نظر گرفته و با توجه به نیروی گرانش و سرعت باد مسیر قطره را در داخل هر سلول از شبکه تعیین می کند و با توجه به تعداد قطرك های واحد حجم ابر و نیز ضریب تجمیع[4] و آب محتوای ابر میزان رشد قطره را در نقطه انتهایی سلول مشخص کرده و به سلول بعدی منتقل می نماید. این عمل در سلول های بعدی تا ($z = ۸$ ، $y = ۶۴$، $x = ۱$) تکرار شده و برای محدوده $x = ۲$ تا $x = ۸۶$ نیز ادامه می یابد. سپس به لایه بعدی یعنی $z = ۷$ می رود. این محاسبات برای تمامی لایه ها صورت می گیرد. . قطره باران در مسیر خود در درون ابر قله ای با عبور از هر خانه شبکه دچار افزایش قطر و افزایش جرم می شود (شکل۱).

ورودی های مدل

۱- میزان بارندگی در دشت (برای محاسبه توزیع اندازه قطرات

1) Seeder Cloud
2) Feeder Cloud
3) FLOWSTAR
4) Collection efficiency



شکل(۱) چگونگی رشد قطره باران در شبکه مدل

اولیه باران)، ۲- ارتفاع لایه ها (متر)، ۳- ارتفاع پایه ابر (متر)، ۴ - ضخامت ابر (متر)، ۵ - نسبت اختلاط (گرم در کیلو گرم)، ۶- نسبت اختلاط اشباع (گرم در کیلو گرم)، ۷ - فشار در سطح (میلی بار)، ۸ - نیمرخ قائم دما (کلوین) و ۹- مقدار تراکم قطرات ابر (تعداد در سانتیمتر مکعب)

در واقع دانستن سرعت و جهت باد برای این است که در مسیر قطره باران به سمت پایین تنها نیروی ثقل مؤثر نمی باشد. بلکه وجود باد یک مولفه افقی نیز به قطره باران وارد می کند که سرعت و مسیر حرکت قطره را تحت تاثیر قرار می دهد. چون حرکت قطره باران در درون ابر فیدر (قله ای) بر حسب اینکه سرعت باد چه باشد، مسیرهای مختلفی را طی می کند و قطر نهایی قطره بستگی به طول مسیر حرکت در ابر دارد، بنابراین در اثر جابجایی ناشی از اثر باد قطر قطره افزایش می یابد. به این ترتیب هر چه سرعت باد بیشتر باشد مسیر افقی حرکت قطره در درون ابر طولانی تر خواهد بود و بنابر این امکان جذب قطرك های بیشتری را دارد و رشد آن بیشتر خواهد بود. در پایان خروجی های مدل که عبارت از مختصات نقاط شبکه، میزان بارش در هر نقطه، غلظت یون های مختلف اسیدی و میزان نهشت مرطوب می باشند، به صورت فایل های مجزا و با فرمت اکسل ذخیره می شوند. طرح شماتیک مراحل مختلف پردازش از برداشت تا خروجی مدل در شکل۲ آمده است.

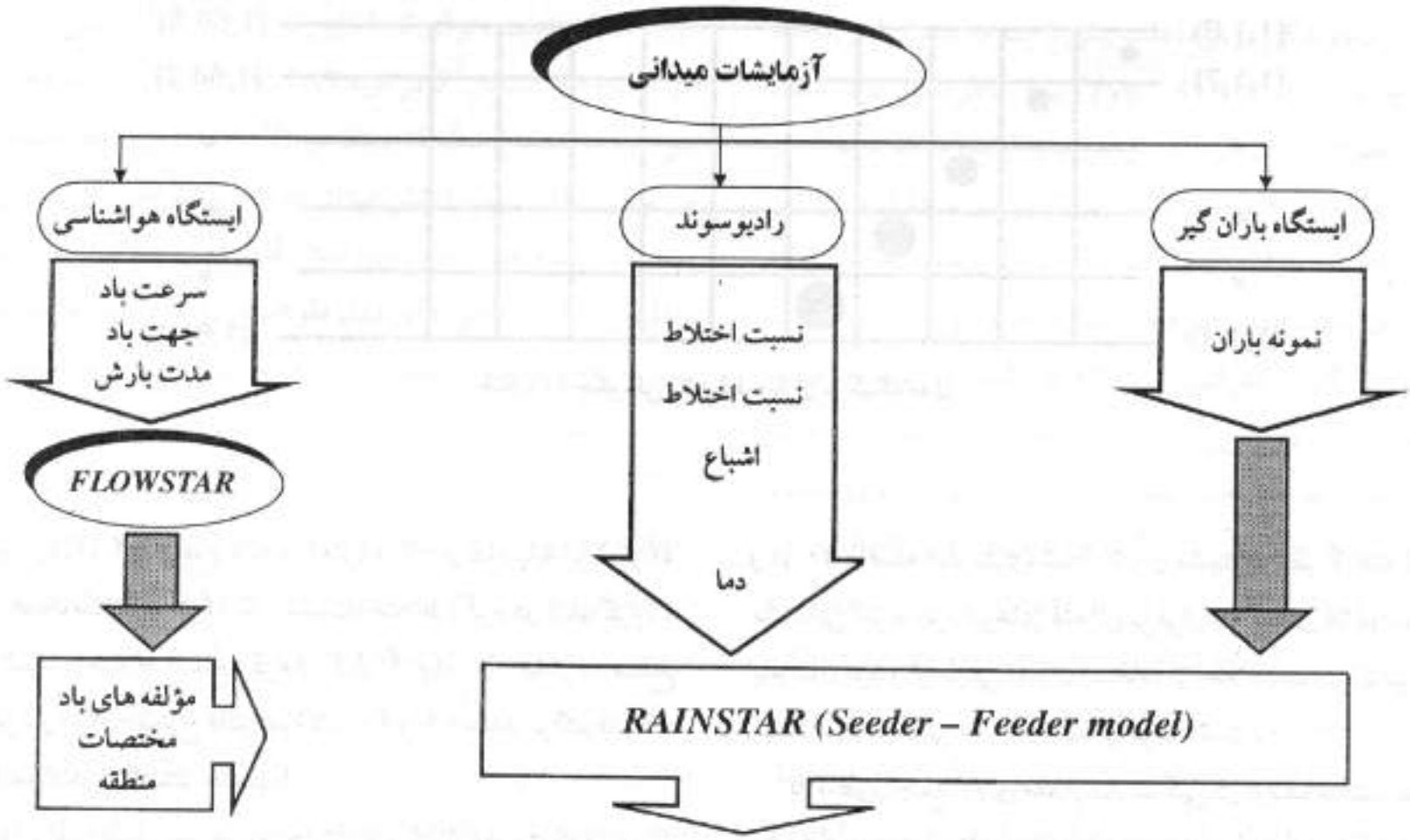
نتایج و بحث

کار میدانی: به منظور ارزیابی نتایج مدل رین استار، ابتدا یک آزمایش میدانی طراحی و اجرا گردید. در این راستا شیب جنوب غربی ارتفاعات منطقه جاده کلات در نزدیکی روستای گوجگی و در ۵۰ فاصله کیلومتری شمال شرق مشهد در نظر گرفته شد. علت این امر وجود ابرهای قله ای بر فراز این بلندی ها در بیشتر ایام سال بود و از طرفی امکان استفاده از اطلاعات مورد نیاز از ایستگاه هواشناسی دشت مشهد وجود داشت.

به منظور جمع آوری مقدار بارندگی در ارتفاعات، باران سنج های تجمعی مناسبی تهیه شد. این وسیله شامل یک جعبه فلزی کوچک است که قیفی با قطر دهانه معین در بالای آن قرار می گیرد و آب باران را جمع آوری کرده و به مخزنی که در داخل جعبه تعبیه شده است، منتقل می نماید. روی تیغه جنوب غربی بلند ترین ارتفاع منطقه (۲۰۵۰ متر بلند تر از سطح دریا) ۶ ایستگاه طوری قرار گرفت که اختلاف ارتفاع هر دو ایستگاه متوالی ۸۰ متر بود. به این ترتیب کلیه ایستگاه ها در معرض باد غالب منطقه قرار می گرفتند.

پس از هر بارندگی مقدار بارندگی هر ایستگاه ثبت می شد. در ثبت بارندگی ها، دقت لازم صورت می گرفت که بارندگی ثبت شده با بارندگی قبلی یا بعدی همپوشانی نداشته باشد. مقایسه اطلاعات مربوط به بارندگی و وضع هوا در مرکز هواشناسی مشهد با اندازه گیریها، میزان افزایش بارندگی در ایستگاه ها از پایین به بالای قله مشهود بود. اطلاعات مربوط به ایستگاه مشهد به مدل داده شد و نتایج اجرای مدل نیز استخراج گردید. در جدول شماره ۱ نام و شماره ایستگاه ها، ارتفاع آن ها از سطح دریا و نیز مقدار باران جمع آوری شده در داخل هر یک از جمع کننده های باران نشان داده شده است.

جدول های ۲ و ۳ به ترتیب نشان دهنده اطلاعات ورودی به مدل و خروجی مدل می باشند. البته لازم به ذکر است که اطلاعات دینامیکی جو در مدل حاصل از اجرای مدل میدان باد در این منطقه



شکل(۲) طرح شماتیک مراحل مختلف پردازش اطلاعات از برداشت تا خروجی مدل

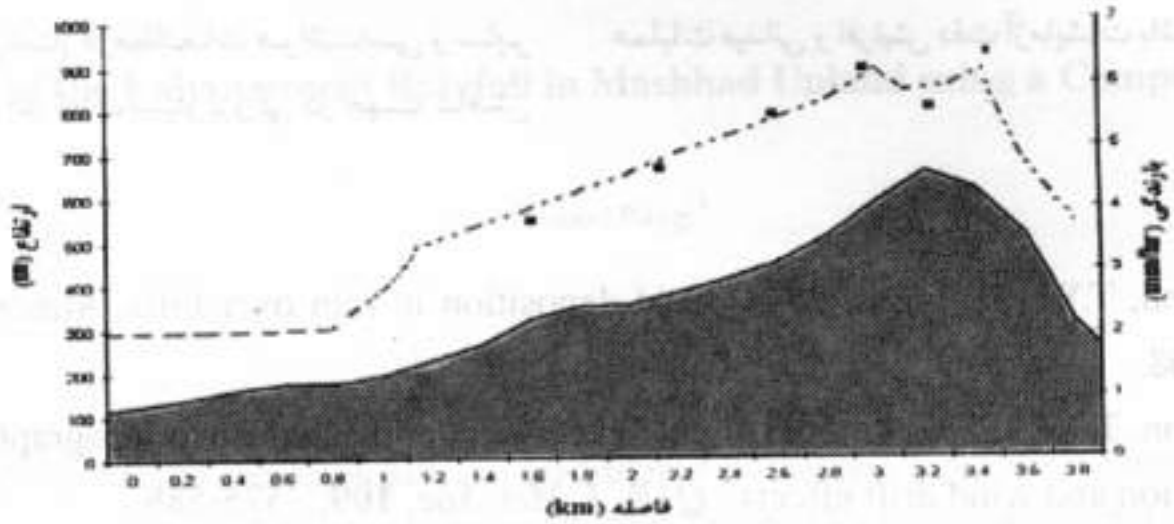
جدول(۱) بارندگی هر یک از ایستگاه ها و ارتفاع آن از سطح دریا

نام یا شماره ایستگاه	دشت مشهد	۱	۲	۳	۴	۵	۶
ارتفاع از سطح دریا(m)	۱۰۰۰	۱۷۳۰	۱۸۱۰	۱۸۹۰	۱۹۷۰	۲۰۵۰	۲۰۳۰
بارندگی اندازه گیری شده(mm/hr)	۱/۸	۳/۲	۴	۵/۱	۶	۵/۵	۶/۵

مورد استفاده قرار گرفته است.

سرانجام نتایج حاصل از اجرای مدل با اندازه گیری های میدانی مقایسه گردید. این مقایسه در شکل ۳ نمایش داده شده است و نشانگر همخوانی قابل قبولی بین داده های میدانی و خروجی های مدل در غالب ایستگاه ها می باشد. اختلاف جزئی در ایستگاه نوك قله مشاهده می شود که ناشی از سرعت بیش از حد باد در این ایستگاه می باشد و موجب رانش قطره های باران از روی جمع کننده به ناحیه پشت قله می باشد. البته اختلاف معکوس داده های میدانی و مدل در ایستگاهی که تقریبا در پشت قله واقع شده است این نکته را تأیید می کند.

در شکل ۳ که شکل تقریبی کوه رسم شده است، خط چین نشان دهنده نتایج مدل و نقاط بیانگر نتایج حاصل از آزمایش می باشد. با توجه به مقایسه داده های استخراجی از آزمایش میدانی و اجرای مدل نکات زیر قابل توجه است:



شکل(۲) مقایسه خروجی مدل با داده های میدانی

جدول(۲) داده های ورودی به مدل

میزان بارندگی در ایستگاه دشت	۱/۸ میلی متر در ساعت
ارتفاع پایه ابر بالا	۲۶۰۰متر از سطح دریا
ضخامت تقریبی ابر	۱۲۰۰ متر
سرعت باد	۰/۵ متر در ثانیه
جهت باد غالب در طی بارش	۱۹۵درجه
سرعت باد اصطکاکی u^*	۰/۵ متر بر ثانیه
ضخامت لایه زبری	۰/۰۵ متر
وضعیت پایداری جو	خنثی در زیر و ثابت در بالای لایه اینورژن
لایه اینورژن	۱۶۰۰ متر
گام های دمای پتانسیل در اینورژن	۱/۰ درجه
دمای پتانسیل در اینورژن	۲۸۱ درجه کلوین
عدد فرود	۰/۴۷۸

۱- در ابتدا ایستگاهها در ارتفاعات مختلف با فاصله زیاد نصب گردیدند. به طوری که هر ایستگاه با داشتن اختلاف ارتفاع حدوداً ۱۵۰ متر نسبت به دیگری روی تپه ای مجزا قرار گرفت. اما مشاهدات روند منطقی را نشان نمی داد. به طوریکه میزان بارندگی درایستگاه اول بیش از مقدار آن در ایستگاه های بعدی بود. در بررسی های صورت گرفته مشخص شد که وجود ارتفاعات در جلو هر ایستگاه با عث کاهش رطوبت جبهه باران زا شده و باران به تدریج کاهش می یابد.

۲- مقدار بارندگی در نوك قله، از مقدار آن در ایستگاه های مجاور کمتر بود. علت این امر وزش باد شدید در قله است. در واقع قطرات باران در اثر شدت وزش باد، بیشتر در راستای وزش باد حرکت کرده و قطرات کمتری بر سطح قیف فرود می آید.

۳- مقدار بارندگی به فاصله کمی بعد از قله به حد اکثر خود می رسد. دلیل این امراین است که، قطره باران به دلیل وزش شدید باد در بالا ترین نقاط مسیر طولانی تری را در درون ابر قله ای طی می کند، و بنا بر این امکان رشد بیشتری برای این قطرات فراهم است.

۴- اندازه گیری ها و اجرای مدل در مورد چند بارندگی دیگر نیز نتایج فوق را کم و بیش تأیید نمود.

جدول(۳) بارندگی برآورد شده توسط مدل

نام و شماره ایستگاه	دشت مشهد	۱	۲	۳	۴	۵	۶
ارتفاع از سطح دریا	۱۰۰۰	۱۷۳۰	۱۸۱۰	۱۸۹۰	۱۹۷۰	۲۰۵۰	۲۰۳۰
بارندگی تخمینی توسط مدل(mm/hr)	۱/۸	۳/۱	۴	۵/۱	۵/۹	۵/۶	۶/۵

استفاده از مدل رین استار درمطالعات هواشناسی و سایر مطالعات مربوطه می تواند کمک بسیار بزرگی در جهت کاهش عملیات میدانی و افزایش دقت آزمایشات باشد.

منابع

1. Choularton, T.W., D. Inglis. 1974. Acid deposition in rain over hills. Atmos & Environ. **18**, 1905-1908.
2. Choularton, T. W. 1983. A model of the Seeder-Feeder mechanism of orographic rain including stratification and wind drift effects., *Q. R. J. Met. Soc*, **109**, 575-588.
3. Carruthers, D. J. 1989. Airflow and dispersion over complex terrain. *Atmos & Environ*. **18**, 1905-1908.
4. Cholarton, T. W. and Perry, S. J. 1986. A model of the orographic enhancement of snowfall by the seeder-feeeder mechanism,*Q. J. R. Met. Soc*., **112**, pp.335-345.
5. Dore , A. T, Sobik, M and Migala, K. 1990: Pattern of precipitation an pollution in the western Sudete mountains, Poland. *Atmospheric Envirnment*. **33**, 3301-3312
6. Dore, A. J., Choularton, T,W, 2000: Monitoring studies of precipitation and cap cloud chemistry at Holme Moss in the Southern Pennines, Journal of Water , air and Soil pollution., *Atmospheric Environment* , **36**, 3718-3735
7. Pruppacher, H. R., Klett, J. D.1980. Microphysics of Clouds and Precipitation, D. Reidel Publishing Company. PP 385.
8. Mousavi-Baygi , Mohammad. 2001. PhD Thesis. The modeling and measurement of enhancement rainfall and wet-deposition in complex terrain, Uiversity of Manchester Institute Science and Technology(UMIST). pp. 26.

Calculation of the Enhancement Rainfall in Mashhad Upland using a Computer model

M. Mousavi Baygi[1]

Abstract

One of the difficulties of meteorologist and Hydrologist in the area lacks the weather station is estimating and measuring of the meteorological data. The problem becomes harder when these areas are mountainous. In the last decades that information technology and computer programming have a remarkable progress, the situation is going to be better. Mountainous terrain is commonly associated with high annual precipitation due to the forced ascent of air resulting in cloud formation and precipitation.. Water in the hill clouds can be washed out by rain or snow falling from above via a process commonly known as the "seeder-feeder effect". Various process models have been developed to investigate the seeder-feeder effect numerically. The three-dimensional model RAINSTAR is designed to calculate the orographic enhancement of rainfall over complex terrain with the maximum height of 2500 m. It is used to model individual rainfall events. The model is able to produce rainfall rates and concentrations and deposition rates of ions over a region of complex terrain. The terrain is generally of the order of 25km(25km and divided into a 64(64 horizontal grid, but the first and the last grid squares in each direction are not used, so the final mesh is a 62(62 grid. The airspace above the terrain is usually divided into eight vertical layers, although this number can be varied. An experiment was carry out in Mashhad's upland near Gujgi village and the model also was run over the terrain of this area. The result shows that the seeder-feeder model of RAINSTAR is able to estimate the amount of rainfall over the hills.

Keywords: Seeder-Feeder, RAINSTAR, Cap cloud

1- Contribution from College of Agriculture University of Mashhad, Iran.