پژوهش های جغرافیایی – شماره ۵۹، بهار ۱۳۸٦
صص ۸۱ – ۹۸

بررسی و تحلیل شرایط سینوپتیکی و ترمودینامیکی رخداد بارش در منطقه شیرکوه

کمال امیدوار*، استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه یزد
تاریخ دریافت مقاله : ۱۳۸۳/۱۱/۱۷ تایید نهایی : ۱۳۸۴/۹/۲۸

چکیده

برای استفاده بهتر از بارشهای یک منطقه، ابتدا لازم است تا شناخت کافی از شرایط سینوپتیکی و ترمودینامیکی رخداد بارش در آن ناحیه صورت بگیرد. پژوهش حاضر با استفاده از داده‌های بارش روزانه ۳۸ ایستگاه هواشناسی، نقشه‌های سینوپتیکی، داده‌های جو بالای ایستگاههای کرمان، اصفهان و بندرعباس در یک دوره آماری ۲۰ ساله در منطقه شیرکوه یزد انجام شده است.

نتایج تحقیق نشان می‌دهد که سه نوع سیستم سینوپتیکی منطقه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. الگوی نوع اول همراه با استقرار کم فشار سودانی روی شبه جزیره عربستان می‌باشد. الگوی نوع دوم سیستمهای ترکیبی سودانی- مدیترانه‌ای می‌باشند. این دو الگو به سبب تغذیه خوب رطوبت و دما از پهنه‌های آبی جنوب کشور و شرایط سینوپتیکی و ترمودینامیکی جوی مناسبتر، بارشهای زیادتری را در منطقه فراهم می‌آورند. الگوی نوع سوم سیستمهای مدیترانه‌ای می‌باشند که از رطوبت، ناپایداری و بارش کمتری برخوردارند.

ساختار قائم دما و رطوبت ایستگاههای جو بالای مطالعه شده، نشان می‌دهد که ۲ تا ۳ روز قبل از انتقال سیستمهای کم فشار به منطقه، جو این ایستگاهها به طور شدید خشک و پایدار بوده و بتدریج با انتقال سیستمهای مذکور به منطقه رطوبت کسب کرده و دما نیز افزایش پیدا می‌کند. در نتیجه ساختار دمایی و رطوبتی جو ایستگاههای مذکور بتدریج ناپایدار شده و شرایط را برای ریزشهای جوی فراهم می‌آورد.

کلید واژه‌ها: سینوپتیک، ترمودینامیک، شیرکوه، بارش.

مقدمه

سرزمین ایران به لحاظ موقعیت جغرافیایی و ویژگیهای خاص آب و هوایی، از سرزمینهای خشک و نیمه خشک جهان محسوب می‌شود. یکی از موانع عمده توسعه و پیشرفت کشور نیز از گذشته، محدودیتهای کمی و کیفی منابع آب بوده است.

با افزایش جمعیت و در نتیجه نیاز بیشتر مردم ایران به مواد غذایی و انواع انرژی، ارزش آب زیادتر شده است و این خود عاملی برای کاوش و یافتن روشهای جدید جهت استفاده بهینه و حفاظت از منابع آب فراهم شده است. مردم ایران در طول تاریخ کهن‌خود برای کاهش این معضل مهم اقدامات بزرگی از جمله احداث قنات، آب انبار، سد و بند و حفر کانال انجام دادند، ولی با افزایش جمعیت و تحولات سریع اقتصادی و اجتماعی در سالهای اخیر، نیاز به تأمین و به دست آوردن منابع آب جدید مطرح شده است.

* نویسنده مسئول: ۰۳۵۱ ۸۲۱۰۲۵۰
E-mail:komidvar@yazduni.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

در دهه‌های اخیر پیشرفتهای فنی و علمی بشر موجب گردیده شده است تا روشها و تکنیکهای جدیدتری برای تأمین منابع آب و پیش‌بینی بارش در یک منطقه جهت دسترسی به منابع آب به وجود آید که یکی از این روشهای جدید باروری ابرهاست (مرکز ملی تحقیقات و مطالعات باروری ابرها، ۱۳۷۶، ۳).

در چند دهه گذشته مطالعات و آزمایشهای باروری ابرها با روشهای مختلف در بسیاری از کشورهای جهان و در حوضه‌های مختلف آبی به مرحله اجرا درآمده است(سازمان هواشناسی جهانی، ۱۹۹۲، ۱ – ۲۰). امروزه طرحهای افزایش بارش و مطالعات مکان‌گزینی مربوط به آنها جنبه بین‌المللی نیز پیدا کرده و حتی برخی از آنها زیر نظر سازمان هواشناسی جهانی در کشورهای مختلف اجرا می‌شود (سازمان هواشناسی جهانی، ۱۹۸۷، ۱۳ – ۲۰) که تحت عنوان مرحله مکانیابی ذکر می‌گردد (آستین[1] ، ۱۹۸۲). در خاورمیانه، در کشورهایی چون سوریه (علی، ۱۹۹۹)، مراکش (بادور[2]، ۱۹۹۵، ۳۷ – ۴۰)، اردن (توبوب[3]، ۱۹۹۷، ۱۵ – ۲۰) و فلسطین اشغالی(دانیل[4]، ۱۹۹۵، ۴۳-۴۷) تحقیقات بسیاری به صورتهای اجرایی یا آزمایشی در جهت افزایش بارش در دست اجرا بوده است که گزارشهای منتشر شده موفقیت نسبی این طرحها را بیان می‌کند (مرکز ملی تحقیقات و مطالعات باروری ابرها، ۱۳۷۷، ۲۴).

در ایران به دنبال خشکسالیهای اخیر، طرحهای افزایش بارش در ارتفاعات مرکزی ایران (شیرکوه) و دامنه‌های شمالی و جنوبی البرز به مرحله اجرا درآمده است (مرکز ملی تحقیقات و مطالعات باروری ابرها، ۱۳۷۸، ۱ – ۴)، اما این طرحها بدون تحقیقات کافی و مطالعات علمی در این زمینه بوده است. با توجه به بحران منابع آب که در اکثر مناطق کشور و منطقه مورد نظر وجود دارد، وقت آن رسیده است تا موضوع تحقیقات و مطالعات پیرامون طرحهای افزایش بارش و استفاده هر چه بیشتر از توانهای کشور در مناطق مختلف و منطقه مطالعه شده به طور جدی مورد توجه قرار گیرد.

متوسط بارش سالیانه استان یزد در طول دوره آماری ۱۳۶۰– ۱۳۸۰ معادل ۱۴۵/۷۲ میلیمتر (امیدوار، ۱۳۸۳، ۴۳) و در ایستگاه سینوپتیک یزد حدود ۶۰ میلیمتر (اداره کل هواشناسی استان یزد، ۳۷۵، ۳۳) است. از طرفی کمبود بارش و نوسانهای شدید آن در این استان مشاهده می‌شود، اما ارتفاعات شیرکوه که در جنوب و جنوب غرب استان یزد در جهت شمال غرب- جنوب شرق قرار گرفته، مانند دیواری بلند در داخل استان قد برافراشته است و تنها عاملی است که دمای منطقه را تعدیل می‌کند. همچنین با نزولات جوی نسبتاً مناسب خود توانسته است تا حدودی از شدت تأثیر کویرهای داخل و اطراف استان یزد بکاهد و حداقل امکان حیات و زیستن را به این استان ارزانی دارد (قبادیان، ۱۳۶۱، ۲۶). با توجه به مطالعات سینوپتیکی انجام گرفته، مشخص شده است که اگر مرکز کم فشاری در نواحی جنوبی ایران و استان کرمان قرار گیرد و دما و رطوبت از آبهای جنوب کشور به درون این سیستم تغذیه شود، می‌تواند سبب بارشهای مناسبی در ارتفاعات جنوبی کرمان و شیبهای جنوبی ارتفاعات شیرکوه یزد بشود (امیدوار، ۱۳۸۳). همچنین مطالعاتی که در زمینه سینوپتیک و ارتباط آن با بارشهای کشور انجام گرفته، متعدد است. در اینجا و در ارتباط با موضوع این تحقیق می‌توان به الگوی سینوپتیکی بارشهای شدید جنوب غربی ایران اشاره کرد و اینکه بارشهای شدید جنوب غرب ایران تحت تأثیر سیستمهای مدیترانه‌ای نیست، بلکه ناشی از تأثیر دو مرکز کم فشار سودان و منطقه همگرایی دریای سرخ است (لشکری، ۱۳۷۵).

1- Austin
2 Baddour
3 Tohboub
4 Daniel

Archive of SID

www.SID.ir

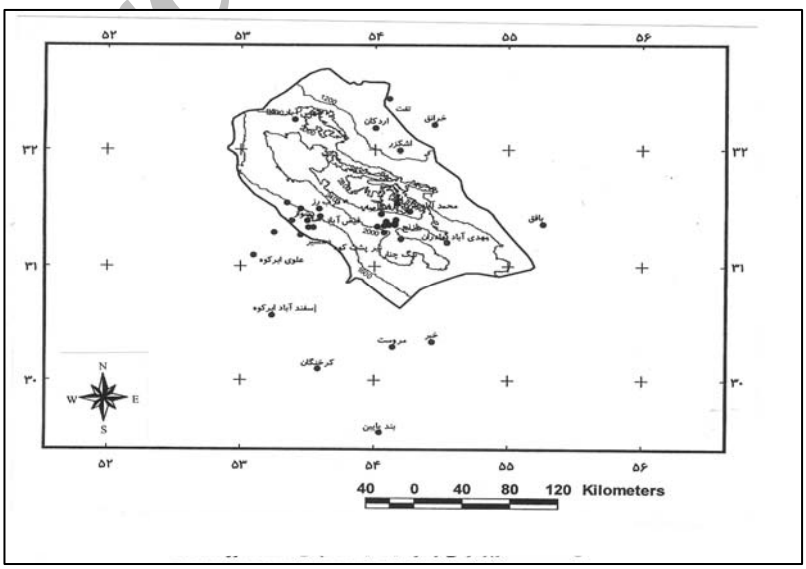
عامل مهمی که در انتخاب مکان مناسب برای بارورسازی ابرها، پیش‌بینی وضعیت بارش و استفاده از توانهای بارشی یک مکان جغرافیایی باید توجه شود، مطالعه و شناخت دقیق شرایط سینوپتیکی و ترمودینامیکی غالب برای وقوع ابرهای مستعد بارندگی است. پس از انتخاب دوره‌های بارشی نمونه، مسیریابی توده‌های هوا مطالعه می‌شود(سازمان هواشناسی جهانی ، ۱۹۷۸، ۹۷). بعد نحوه اثر سمت و تندی باد، شرایط و مواردی که دما و رطوبت در لایه‌های زیرین و میانی جو، ناپایداری مناسب را به وجود می‌آورد، مد نظر قرار می‌گیرد.

بنابراین هدف این تحقیق، مطالعه و شناخت مدلها، الگوهای سینوپتیکی و شرایط ترمودینامیکی (که موجب ناپایداریها و بارشهای این منطقه می‌شود) به منظور اجرای طرحهای افزایش بارش در ارتفاعات شیرکوه می‌باشد.

مواد و روشها

یکی از عوامل مهمی که در پیش‌بینی بارشها و انتخاب جایگاه مناسب برای باروری ابرها توجه طراحان این نوع پروژه‌ها قرار می‌گیرد، مطالعه و شناخت دقیق شرایط سینوپتیکی و دینامیکی غالب برای وقوع ابرهای مستعد بارش می‌باشد. ابتدا دوره‌های بارشی نمونه انتخاب می‌شود، بعد مسیریابی توده‌های هوا بررسی می‌شود. پس از مسیریابی و تعیین منابع رطوبتی سیستمهای چرخندی و واچرخندی مؤثر بر منطقه، نحوه اثر سمت و تندی باد و شرایط و مواردی که رطوبت و دما در لایه‌های زیرین و میانی جو، ناپایداری مناسب را فراهم می‌کند، بررسی می‌شود. بنابراین شناخت الگوها و مدلهای سینوپتیکی که در منطقه ایجاد ناپایداری و بارش می‌کند، ضروری می‌باشد.

به منظور رسیدن به اهداف تحقیق و با توجه به آمار و اطلاعات مورد نیاز، ۱۱ دوره بارشی نمونه در طول دوره آماری ۲۰ ساله (۱۳۶۰ – ۱۳۷۹) که هم از نظر کمیّت بارش و هم از نظر تعداد روزهای متوالی بارش متفاوت باشند، انتخاب شده است، به نحوی که در اکثر ایستگاههای منطقه مطالعه شده (شیرکوه)، بارش داشته و تقریباً یک بارش فراگیر باشد(شکل ۱). با توجه به کمبود نقشه‌های سینوپتیکی و داده‌های جو بالا، بارشهایی انتخاب شده که هم اطلاعات جو بالای آن در دسترس و هم نقشه‌های آن موجود می‌باشد (جدول ۱).



شکل ۱: نقشه توپوگرافی و موقعیت ایستگاههای منطقه مطالعه‌شده

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱: تاریخ دوره‌های بارشی نمونه انتخابی جهت مطالعه وضعیتهای سینوپتیکی و ترمودینامیکی در منطقه مطالعه شده.

ردیف	سال	ماه	روز	ردیف	سال	ماه	روز
۱	۱۳۶۳	اردیبهشت	۱۸-۲۳	۷	۱۳۷۱	آذر	۲۵ آذر – ۲ دی
۲	۱۳۶۶	بهمن	۲۳-۲۹	۸	۱۳۷۱	بهمن	۸- ۱۷
۳	۱۳۶۸	آذر	۲۱-۲۴	۹	۱۳۷۲	اسفند	۱۵ – ۲۳
۴	۱۳۶۹	دی	۲۸ دی – ۴ بهمن	۱۰	۱۳۷۵	دی	۲۵ دی – ۳ بهمن
۵	۱۳۷۰	آذر	۱۶-۲۶	۱۱	۱۳۷۶	بهمن	۱۷- ۲۴
۶	۱۳۷۰	دی	۷-۱۵	–	–	–	–

ماخذ : سازمان هواشناسی کشور، ۱۳۸۲.

برای شناسایی موقعیتهای وضع هوا و بررسی سیستمهای سینوپتیکی از نقشه‌های سطح زمین و ترازهای ۸۵۰، ۵۰۰ و ۳۰۰ هکتوپاسکال و در صورت نیاز از نقشه‌های ۷۰۰ هکتوپاسکال برای ساعتهای ۳ و ۳۰ دقیقه و ۱۵ و ۳۰ دقیقه به وقت محلی از دو روز قبل از وقوع بارش تا پایان بارش در هر نمونه بارشی استفاده شد.

برای مطالعه خصوصیات ترمودینامیکی هوایی که منطقه را مورد تهاجم قرار می‌دهد (از نظر پایداری و ناپایداری) و بررسی ویژگیهای دینامیکی از نظر امکان تقویت و تضعیف سیستمهای فشاری و جبهه‌ها در ناحیه، به سبب نبودن داده‌های جو بالای ایستگاه سینوپتیک یزد، از داده‌های جو بالای ایستگاههای بندرعباس، کرمان و اصفهان برای هر دوره بارشی استفاده شد. به این منظور از داده‌های فشار، ارتفاع، دما، نقطه شبنم، سمت و تندی باد از سطح زمین و سطوح قابل ملاحظه و سطوح استاندارد تا تراز ۱۰۰ هکتوپاسکال استخراج شد. سپس با کمک برنامه کامپیوتری کلیکام[1] نمودارهای ترمودینامیکی(اسکیوتی)[2] برای هر روز ترسیم شدند. همچنین سایر پارامترهای مورد نیاز دربررسیهای ترمودینامیکی از قبیل دما، نسبت آمیزه، دمای پتانسیل خشک و تر، نم نسبی، شاخصهای ناپایداری جو (Si و Ki) نیز محاسبه شدند. سپس با استفاده از مقادیر بارش روزانه در هر دوره بارشی نمونه با استفاده از نرم افزار آرک ویو[3] نقشه‌های پیشروی بارش برای تمام دوره‌های نمونه ترسیم شد تا مسیر ورود سیستمها و مناطقی را که بیشتر تحت تأثیر خود قرار می‌دهند، مشخص شوند. سرانجام با استفاده از روش مذکور به وضعیتهای سینوپتیکی (همدیدی) و ترمودینامیکی در زمانهای بارش پی برده شد.

یافته‌های تحقیق

به منظور بررسی وضعیتهای سینوپتیکی و ترمودینامیکی در دوره‌های بارشی از ۱۱ دوره بارشی نمونه در طول دوره آماری مورد نظر استفاده شد (جدول۱). سپس با مطالعه و بررسیهای انجام شده در طول دوره‌های بارشی نمونه، سه الگوی سینوپتیکی در منطقه استخراج شد. برای اختصار بعضی از این دوره‌های بارشی نمونه بررسی می‌شود.

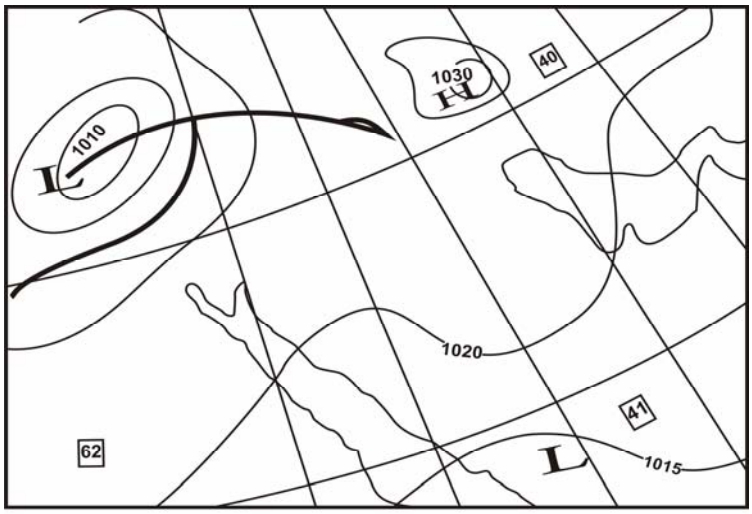
الگوی سیستمهای مدیترانه‌ای در نقشه‌های سطح زمین و ترازهای فوقانی جو در دوره بارشی نمونه ۷ – ۱۵ دی ۱۳۷۰ مشاهده می‌شود. در نقشه سطح زمین ساعت ۳ و ۳۰ دقیقه به وقت محلی روز ۸ دی ۱۳۷۰، مرکز کم فشاری (۱۰۱۰

1- Clicom
2- Skew-T
3 Arcview

Archive of SID

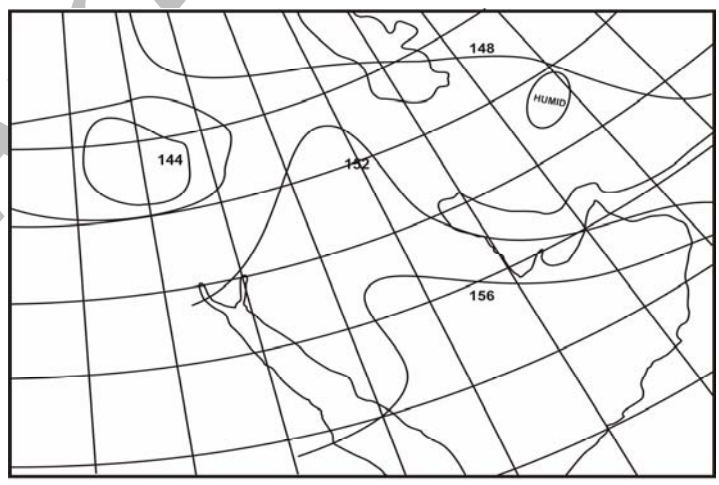
www.SID.ir

هکتوپاسکال) در نیمه شرقی دریای مدیترانه مستقر بوده کـه سراسـر منطقـه خاورمیانـه را در برگرفتـه و در غـرب، شـمال غرب و جنوب دریای مرکز پرفشار ۱۰۳۰هکتوپاسکال مستقر است (شکل ۲).



شکل ۲: نقشه سطح زمین در روز ۸ دی ۱۳۷۰، ساعت ۳ و ۳۰ دقیقه به وقت محلی

در نقشه تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال این روز و در همین ساعت، مرکز کم ارتفاع ۱۴۴ ژئوپتانسیل دکـامتر در شـرق دریـای مدیترانه مستقر بوده که از دامنه عمیقی برخوردار نیست و جریانهای ضلع جنوبی این ناوه به طور عمـده غربـی اسـت. در ضلع جنوب شرق شبه جزیره عربستان، مرکز پر ارتفاع ۱۵۶ ژئوپتانسیل دکامتر مستقر است. در این تـراز، منـاطق مرکـز و غرب ایران از رطوبت خوبی برخوردارند (شکل ۳). در روز بعـد نـاوه مـستقر در شـرق مدیترانـه بـه سـوی شـرق و ایـران حرکت کرده و مرکز کم ارتفاع بسته شده درون ناوه باز و ضعیف شده است، چون جریانهای مناسبی جهت تقویـت ایـن ناوه فراهم نبوده و بتدریج از عمق آن کاسته و اکثر جریانها غربی شده است.



شکل ۳: نقشه تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در روز ۸ دی هـش ۱۳۷۰، ساعت ۳ و ۳۰ دقیقه به وقت محلی

Archive of SID

www.SID.ir

ساختار قائم دما و رطوبت ایستگاههای جو بالای اصفهان، بندرعباس و کرمان در این دوره بارشی به شرح ذیل می‌باشد:

با مشاهده داده‌های جو بالای ایستگاه اصفهان دیده می‌شود که از روز ۹ دی، این ایستگاه بتدریج مورد تهاجم یک توده هوای بسیار سرد قرار گرفته است. دمای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در روز ۱۰ دی ۱۳۷۰ این ایستگاه، ۱۸/۱- درجه سلسیوس بوده که در روز ۱۴ دی به ۲۹/۷- درجه سلسیوس رسیده است. دمای سطح زمین این ایستگاه در روز ۱۰ دی ۱۳۷۰، ۳/۱- درجه سلسیوس، در روز ۱۱ دی، ۵ درجه سلسیوس و در روزهای بعد بتدریج کاهش پیدا کرده و در روز ۱۴ دی به ۴/۵- درجه سلسیوس رسیده است. در ابتدای این دوره توده هوای این ایستگاه پایدار بوده و در پایان دوره نسبتاً ناپایدار می‌شود. نسبت آمیزه در این ایستگاه کم بوده است. بنابراین میزان بارش در این دوره بارشی در ایستگاه اصفهان ناچیز است (۱۰ میلیمتر).

دمای پتانسیل خشک و تر در روز ۸ دی ۱۳۷۰ در ایستگاه بندر عباس بترتیب ۱۱/۸ و ۱۱/۲ درجه سلسیوس بوده که معرف توده هوای حاره‌ای دریایی (mT) است. جهت جریانهای جوی در سطح زمین ۱۹۰ درجه بوده که در تراز ۸۵۰ هکتو پاسکال به ۲۲۰ درجه می رسد (تقریباً جنوبی و جنوب غرب)، ولی تغییری در جهت باد در ترازهای میانی و بالایی جو مشاهده نمی‌شود و بادها جهت غربی دارند. جهت باد در تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال ۲۶۰ درجه بوده و سرعت آن به ۹۸ نات می رسد. این نکته نشان می‌دهد که فشار زیاد جنب حاره به عرضهای شمالی منتقل شده و در نتیجه هوای گرم و مرطوبی را از لایه‌های زیرین جو به همراه آورده است. تراز میعان همرفتی (C.C.L) [1] در ارتفاع ۷۹۶ ژئوپتانسیل دکامتر قرار دارد. منحنی بی‌دررو اشباعی که از آن رسم می‌شود، دمای محیط را قطع نمی‌کند و دیده می‌شود که جو این ایستگاه در این روز پایدار است.

در روز ۹ دی توده هوای این ایستگاه از نوع mT را نشان می دهد (جدول ۲). جهت جریانها در سطح زمین ۲۳۰ درجه و در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال به ۲۸۰ درجه می‌رسد. جهت باد در لایه‌های پایین جو، جنوب غربی و غربی بوده و در لایه‌های میانی و بالایی تغییر چندانی در جهت باد دیده نمی‌شود (شکل ۴).

جدول ۲: ویژگیهای توده هوای ایستگاه بندرعباس در روز ۹دی ۱۳۷۰.

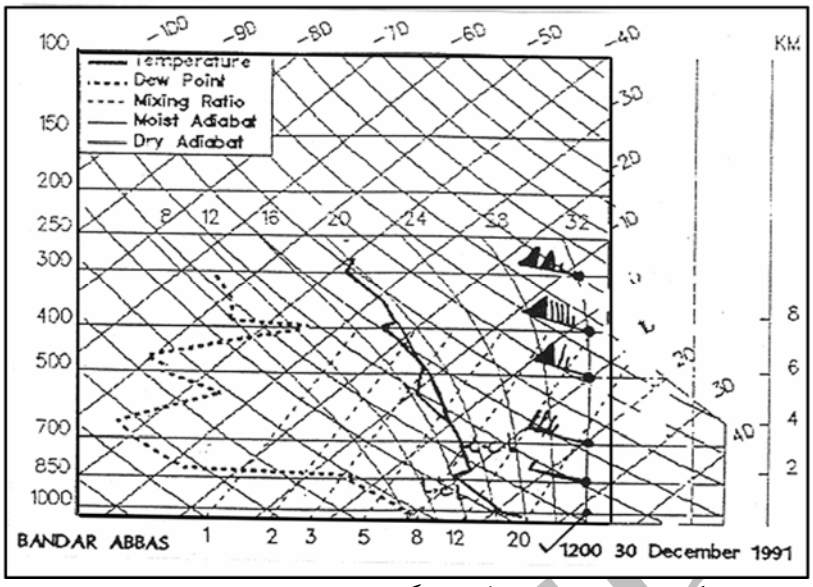
سطح	دما به درجه سلسیوس	نسبت آمیزه به گرم بر کیلوگرم	دمای پتانسیل خشک به درجه سلسیوس	دمای پتانسیل تر به درجه سلسیوس
سطح زمین	۲۴	۷/۴	۲۲/۷	۱۴/۷
تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال	۱۰/۱	۳/۱	۲۴	۷/۵
تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال	۱/۴	۰/۱	۲۳	۷
تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال	-۱۲/۲	۰/۱	۴۶	۱۵/۵

ماخذ : سازمان هواشناسی کشور، ۱۳۸۲.

1- C.C.L.:Convective Condensation Level

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۴: نمودار ترمودینامیکی ایستگاه بندرعباس در روز ۹ دی ۱۳۷۰

در ایستگاه کرمان در روز ۸ دی توده هوا، قطبی دریایی از نوع انتقالی را نشان می‌دهد (TmP). جهت باد در ترازهای مختلف جو، شمال غربی بوده و مشخص می‌کند که پشته‌ای بین ایران و عراق قرار دارد و هوای سرد مناطق شمالی‌تر را به عرضهای جنوبی و ایران منتقل می سازد و جو خشک و پایداری را در این ایستگاه به وجود می‌آورد.

در روز ۹ دی توده هوا در ایستگاه کرمان از نوع حاره‌ای قاره‌ای (cT) است. جهت جریانها در سطح زمین ۲۴۰ درجه و در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال به ۳۰۰ درجه می‌رسد و در ترازهای بالاتر تغییری نمی‌کند. جو این ایستگاه به علت بادهای شمال غربی و ریزش هوای سرد، پایدار (Si= ۱۴) است (جدول ۳). لازم به ذکر است که اگر شاخص شولتر (Si) بین ۳ و ۱ باشد، احتمال ناپایداری وجود دارد و اگر بین ۱ و ۳- باشد، احتمال ناپایداریها بیشتر می‌شود و اگر کمتر از ۳- باشد، شدت ناپایداریها افزایش می‌یابد (قائمی و عدل، ۱۳۷۱: ۱۰). مقدار بارش در این دوره بارشی در این ایستگاه ۱۸/۴ میلیمتر گزارش شده است.

بنابراین چون این سیستمهای کم فشار از دریای مدیترانه می‌آیند و عمده بارش آنها در شیبهای غربی زاگرس ریزش می‌کند، از رطوبت کمتری برخوردارند. همچنین از لایه زیرین جو رطوبت به درون آنها کمتر تغذیه می‌شود، در این صورت بارشهای کمتری داشته و بیشتر بارشهای آنها به صورت جبهه‌ای است که ممکن است یک ناپایداری موقت و کمی پس از عبور جبهه سرد در منطقه حادث شود که آن هم سبب بارشهای کم و پراکنده در منطقه می‌شود. در نتیجه، این سیستم مدیترانه‌ای چندان فعالیتی نداشته و بارشهای ضعیفی را در منطقه سبب شده است؛ چون از ناپایداری زیادی برخوردار نبوده و تغذیه رطوبت در زمان مناسب از طریق دریای عمان به درون این سیستم انجام نگرفته است

Archive of SID

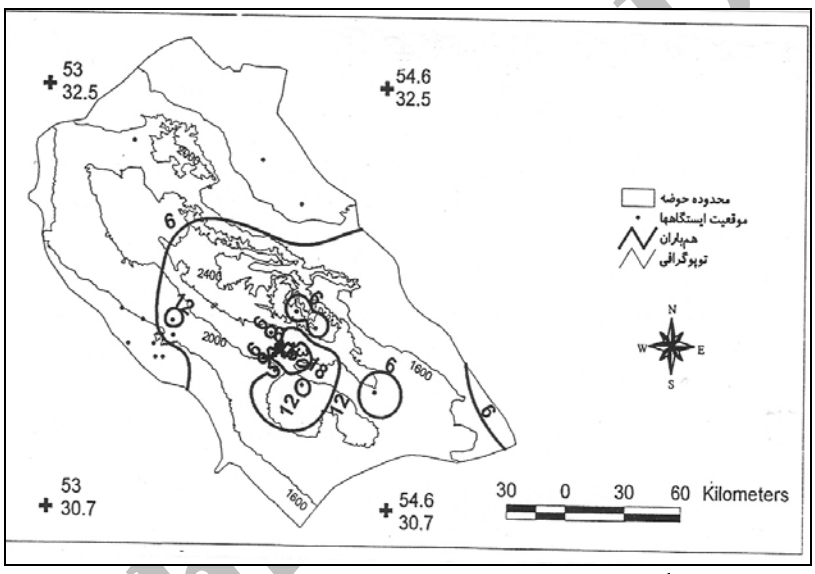
www.SID.ir

جدول ۳: ویژگیهای توده هوای ایستگاه کرمان در روز ۹ دی ۱۳۷۰.

سطح	دما به درجه سلسیوس	نسبت آمیزه به گرم بر کیلوگرم	دمای پتانسیل خشک به درجه سلسیوس	دمای پتانسیل تر به درجه سلسیوس
سطح زمین	-۳/۸	۲/۵	۱۱/۲	۵/۱
تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال	-۲/۸	۱/۱	۲۰	۷/۵
تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال	-۱۷/۵	۰/۱	۳۸	۱۲/۵

ماخذ : سازمان هواشناسی کشور، ۱۳۸۲ هـ.ش.

در این دوره بارشی در منطقه مطالعه شده در ایستگاههای اسلامیه ۳، فخرآباد ۳۴، نیر ۱۰، منشاد ۳۴، ده بالا ۲۲، طزرجان ۳۳/۵ و تنگ چنار ۱۰ میلیمتر بارندگی به ثبت رسیده است (شکل ۵).



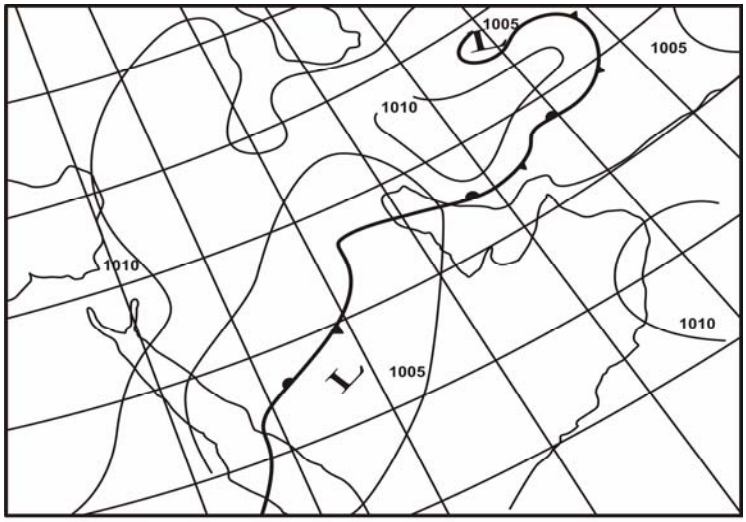
شکل ۵: نقشه همباران دوره بارشی ۷ – ۱۵ دی ۱۳۷۰ هـ.ش

الگوی سیستمهای سودانی در نقشه‌های سطح زمین و تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال روز ۱۹ اردیبهشت ۱۳۶۳ دیده می‌شود. در این روز مرکز کم فشاری (۱۰۰۰ هکتوپاسکال) روی شبه جزیره عربستان مستقر بوده که هم فشار ۱۰۰۵ هکتوپاسکال آن پس از عبور از شمال عربستان، جنوب، مرکز و شمال شرق ایران به افغانستان منتقل شده است. سلول پرفشار ضعیفی (۱۰۱۰ هکتوپاسکال) در جنوب شرقی ایران مشاهده می‌شود. وجود این مرکز پرفشار سبب تغذیه رطوبت و در نتیجه تقویت کم فشار مستقر روی شبه جزیره عربستان می شود (شکل ۶).

در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال، مرکز کم ارتفاعی (۱۴۴ ژئوپتانسیل دکامتر) در شرق مدیترانه، شبه جزیره عربستان و جنوب غرب ایران دیده می‌شود. در شمال تنگه هرمز، مرکز پر ارتفاع ۱۵۲ ژئوپتانسیل دکامتر در شرق این مرکز کم ارتفاع مستقر بوده و جریانهای جوی به نحوی است که از روی دریای عمان، هوای گرم و مرطوب را به سوی شبه جزیره عربستان و نواحی جنوبی و مرکزی ایران منتقل کرده و موجب فعال‌شدن این سیستم کم فشار شده و بارشهای مناسبی را بویژه در روزهای ۱۹ و ۲۰ اردیبهشت در منطقه ایجاد کرده است.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۶: نقشه سطح زمین در روز ۱۹ اردیبهشت ۱۳۶۳، ساعت ۳ و ۳۰ دقیقه به وقت محلی

ساختار قائم دما و رطوبت ایستگاه کرمان در روز ۱۹ اردیبهشت نشان می‌دهد که توده هوا از نوع mT است (جدول ۴).

جدول ۴: ویژگیهای توده هوای ایستگاه کرمان در روز ۱۹ اردیبهشت ۱۳۶۳

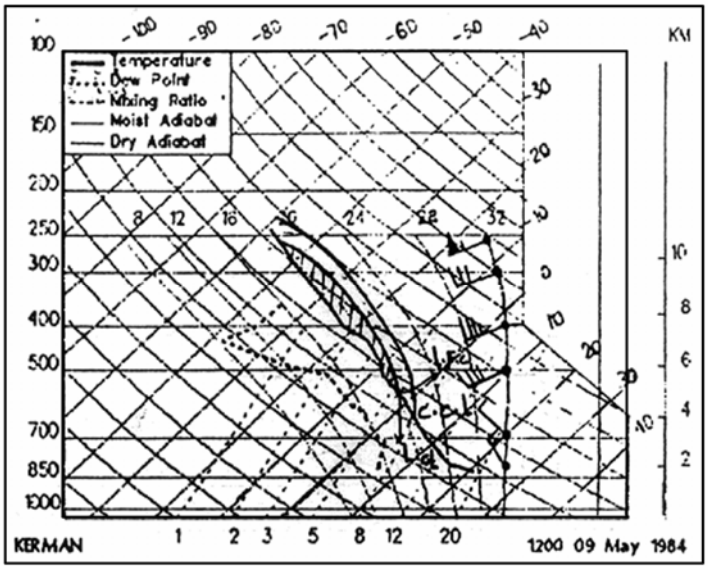
سطح	دما به درجه سلسیوس	نسبت آمیزه به گرم بر کیلوگرم	دمای پتانسیل خشک به درجه سلسیوس	دمای پتانسیل تر به درجه سلسیوس
سطح زمین	۲۰/۶	۷/۲	۱۸/۳	۱۳/۵
تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال	۸/۱	۶	۳۸	۱۸/۵
تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال	-۹	۱/۶	۴۹	۱۸

جهت جریانهای جوی در سطح زمین ۳۴۰ درجه، در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال ۳۲۰ و در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ۲۴۰ درجه است. جریانهای جوی از لایه زیرین به بالا مخالف عقربه‌های ساعت بوده و فرارفت هوای سرد را در این منطقه نشان می‌دهد؛ زیرا در لایه زیرین جو، پشته‌ای بین منطقه مرکزی و غرب ایران دیده می شود. تراز میعان همرفتی (C.C.L) در ارتفاع ۶۲۶ هکتوپاسکال واقع شده که اختلاف آن از سطح زمین (فشار سطح زمین ایستگاه کرمان در این روز ۸۲۴ هکتوپاسکال بوده است)، ۱۹۸ هکتوپاسکال است. کف ابرهای کومه‌ای ناشی از ناپایداری گرمایی از سطح زمین ۱۹۸۰ متر می باشد. منحنی بی‌دررو اشباعی که از C.C.L ترسیم شده، منحنی دمای محیط را در فشار بالای ۲۰۰ هکتوپاسکال قطع می‌کند و سطح وسیعی را به وجود می آورد، همچنین نشان می‌دهد که ضخامت ابر در این ایستگاه زیاد بوده است و انرژی زیادی جهت آزاد شدن ناپایداری وجود دارد (شکل ۷). در روز ۲۰ اردیبهشت شاخصهای ناپایداری(Si= -۴ و۳۶ =ki) هر دو ناپایداری شدیدی را در ایستگاه کرمان نشان می‌دهند.

Archive of SID

www.SID.ir

با توجه به آنچه که در وضعیتهای سینوپتیکی، ساختار رطوبتی و دمایی جو ایستگاه کرمان مشخص شد، نشان می‌دهد که در این نمونه بارشی، توده هوا از نوع mT و سیستم وارد به منطقه از نوع سودانی بوده ولی شرایط سینوپتیکی مناسبی جهت انتقال هوای گرم و مرطوب از دریای عمان روی منطقه صورت نگرفته است تا بتواند بارشهای شدیدی را در این دوره بارشی در منطقه مطالعه شده ایجاد کند.



شکل ۷ : نمودار ترمودینامیکی ایستگاه کرمان در ساعت ۱۵ و ۳۰ دقیقه به وقت محلی، روز ۱۹ اردیبهشت۱۳۶۳

الگوی سیستمهای ترکیبی مدیترانه‌ای- سودانی در نقشه سطح زمین و ترازهای فوقانی در دوره بارشی نمونه ۱۷ – ۲۴ بهمن ۱۳۷۶ دیده می‌شود.

در روز ۱۶ بهمن در نقشه سطح زمین دو سیستم کم فشار، یکی در شرق مدیترانه(۱۰۰۵ هکتوپاسکال) و دیگری درجنوب مصر و شمال شرق آفریقا (۱۰۱۵ هکتوپاسکال) دیده می‌شود. در نواحی غرب و شمال غرب ایران، پرفشار ۱۰۳۰ هکتوپاسکال مشاهده می‌شود. در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال مرکز کم ارتفاعی (۱۴۰ ژئوپتانسیل دکامتر) روی دریای مدیترانه و شمال شرق آفریقا مستقر بوده و در شمال شرق شبه جزیره عربستان و خلیج فارس پر ارتفاع ۱۵۶ ژئوپتانسیل دکامتر مشاهده می‌شود.

در روز ۱۷ بهمن جریانهای جوی به نحوی است که اولاً در سطح زمین، کم فشار شرق مدیترانه با کم فشار مستقر روی شبه جزیره عربستان (سودانی) به وسیله منحنی هم فشار ۱۰۱۰ هکتوپاسکال با هم ادغام شده‌اند. ثانیاً هوای گرم و مرطوبی که از نواحی جنوبی شبه جزیره عربستان و جنوب شرقی دریای عمان به سوی شمال غرب عربستان و غرب عراق منتقل می‌شود، در ترازهای ۸۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال دیده می‌شود. وجود مرکز کم ارتفاع بسیار قوی در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در شرق مدیترانه سبب شده است که تاوایی مثبت به طور کامل روی نواحی غربی شبه جزیره عربستان و شرق مدیترانه صورت گیرد و همراه با آن همگرایی وسیعی در این منطقه به وجود آید؛ زیرا جریانهای شمال غربی در پشت ناوه دیده می‌شود و هوای سرد عرضهای شمالی به سوی عرضهای جنوبی منتقل شده و ناوه را مجدداً تقویت می کند. وجود مرکز پر ارتفاع در شرق شبه جزیره عربستان و دریای عمان نیز عاملی مهم برای انتقال هوای گرم و مرطوب

Archive of SID

www.SID.ir

از نواحی جنوبی دریای عمان و جنوب شرقی شبه جزیره عربستان به سوی نواحی شمال غربی و شمالی عربستان می باشد که این خود می‌تواند یکی دیگر از عوامل تقویت کننده ناوه شرق مدیترانه باشد.

در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نیز در این روز ناوه‌ای با دامنه گسترده و عمیق در شرق مدیترانه دیده می شود. خط ناوه کاملاً مشخص بوده و مرکز پر ارتفاع ۵۸۴ ژئوپتانسیل دکامتر در نواحی شرقی شبه جزیره عربستان و غرب دریای عمان مشاهده می‌شود.

در روز ۱۸ بهمن سیستم کم فشاری که روی نیمه غربی شبه جزیره عربستان و عراق تا شرق مدیترانه در روز قبل مستقر بود، به سمت شرق حرکت کرده است و از جنوب شبه جزیره عربستان تا تمام نواحی شمالی ایران تحت تأثیر این کم فشار واقع شده و سبب ایجاد بارشهای مناسبی از روز ۱۸ بهمن به بعد در منطقه شده است. شدت بارش بویژه در نواحی غربی و جنوب غربی ایران بیشتر بوده و بتدریج به سوی مرکز و شمال شرق ایران انتقال پیدا می‌کند. وجود مرکز پرفشاری در سطح زمین، در نواحی شرق و شمال شرق عربستان و دریای عمان، عامل مهمی برای انتقال هوای گرم و مرطوب به درون سیستمهای کم فشار مذکور شده است.

در ترازهای ۸۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال نیز مراکز پرارتفاع مستقر در شرق شبه جزیره عربستان، دریای عمان و جنوب شرقی ایران با جریانهای واچرخندی، سبب انتقال هوای گرم و تغذیه رطوبت روی نواحی مرکزی، شمال شرقی و شمال عربستان و به درون سیستمهای کم فشار مزبور می‌شوند (شکل ۸). گستردگی این کم فشار و عمیق بودن ناوه‌ها در ترازهای ۸۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال سبب ریزش بارشهای زیاد و متناوبی روی ایران و منطقه مطالعه شده در روزهای بعد بویژه روزهای ۲۱ – ۲۳ بهمن شده است که این بارشهای زیاد در منطقه همراه با نزدیک شدن ناوه مزبور به سوی نواحی غربی منطقه می‌باشد.

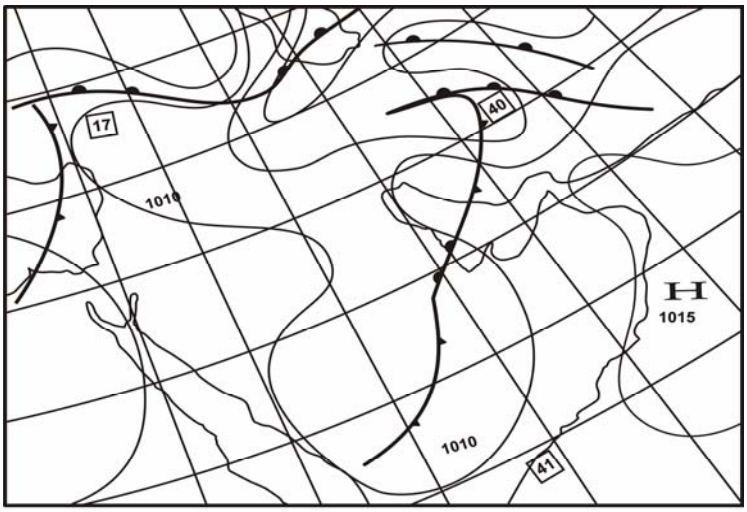
در نقشه تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال نیز در روزهای ۲۰ – ۲۳ بهمن دیده می‌شود که جهت کورانهای شدید (جت) در منطقه جنوب غربی- شمال شرقی بوده و مرکز جت روی خلیج فارس کشیده شده که تندی آن به ۱۵۰ نات نیز می‌رسد و ریزش هوای سرد از عرضهای شمالی به سوی عرضهای جنوبی را مشخص می‌کند.

برای بررسی ترمودینامیک جو در این دوره بارشی از داده‌های جو بالای ایستگاههای اصفهان و کرمان استفاده شده است.

در ایستگاه اصفهان پارامترهای دما و رطوبت نشان می‌دهند که این ایستگاه در طول این دوره بارشی از رطوبت بالایی برخوردار نیست. دمای پتانسیل خشک، وجود هوای نسبتاً سرد و دمای پتانسیل تر، ویژگیهای یک توده هوای یکسانی را از سطح زمین تا تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نشان می‌دهد. هوای نسبتاً سرد عرضهای میانی با رطوبت کم این ایستگاه را در بر گرفته است.از روز ۲۰ – ۲۲ بهمن این ایستگاه از جو ناپایداری برخوردار بوده، به طوری که بیشترین ناپایداری آن در روز ۲۱ بهمن (Si=۱/۹ و Ki=۳۰/۳) رخ داده است. مقدار بارش در این دوره بارشی نمونه در این ایستگاه ۴۶/۴ میلیمتر به ثبت رسیده است.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۸ : نقشه سطح زمین در روز ۱۹ بهمن ۱۳۷٦ هـش، ساعت ۱۵ و ۳۰ دقیقه به وقت محلی

دمای سطح زمین ایستگاه کرمان از روز ۱۹ بهمن تا پایان دوره بارشی، افزایش یافته که خود، معرف وجود هوای گرم تقریباً حاره‌ای تعدیل شده‌ای است که منطقه را فراگرفته است و این می‌تواند معرف انتقال سیستم کم فشاری از نواحی جنوب- جنوب غربی به کشور و منطقه باشد(جدول ۵). بیشترین ناپایداری در این ایستگاه در روز ۲۰ بهمن (Si=۳/۹ و Ki=۲۵) رخ داده است و تراز C.C.L در ارتفاع ۶۴۰ هکتو پاسکال قرار داشته که اختلاف آن از سطح زمین (فشار محلی ایستگاه کرمان در این روز ۸۲۶ هکتوپاسکال بوده است) ۱۸۶ هکتوپاسکال است.

جدول ۵: ویژگیهای توده هوای ایستگاه کرمان در روز ۱۹ بهمن ۱۳۷۶.

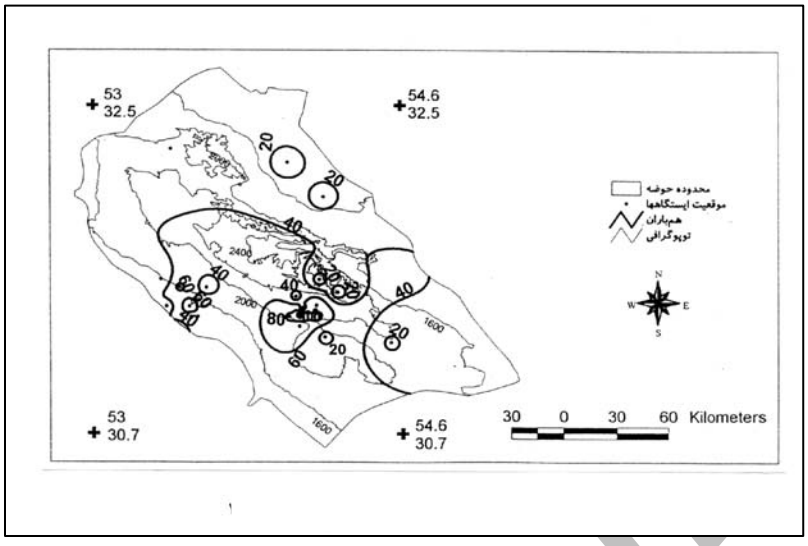
سطح	دما به درجه سلسیوس	نسبت آمیزه به گرم بر کیلوگرم	دمای پتانسیل خشک به درجه سلسیوس	دمای پتانسیل تر به درجه سلسیوس
سطح زمین	۱۰/۲	۵/۵	۲۴	۱۳
تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال	۳/۶	۵	۳۴	۱۶
تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال	-۱۵/۹	۱/۵	۴۱	۱۴

ماخذ : سازمان هواشناسی کشور، ۱۳۸۲.

بنابراین بارشهای زیادی که در این دوره بارشی نمونه در منطقه مطالعه شده ایجاد شده، به علت ترکیب سیستمهای مدیترانه‌ای و سودانی بوده است و نیز گستردگی این کم فشار و عمیق بودن ناوه‌ها در ترازهای ۸۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال و همراهی جت های شدید در تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال سبب ریزش بارشهای شدید بویژه در روزهای ۲۲- ۲۳ بهمن روی ایران و منطقه مورد مطالعه شده است. در این دوره بارشی نمونه در ایستگاههای منشاد ۱۲۳، علیقلی بردستان ۸۲/۵ ، باغستان ۶۱، خبر ۴۷، ده‌بالا ۱۱۵، طزرجان ۸۳، دامک ۷۷/۵، کرخنگان ۶۹، طزنج۶۸، بیداخوید ۶۵ و یزد ۹/۱ میلیمتر گزارش شده است (شکل ۹).

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۹ : نقشه همباران دوره بارشی ۱۷ – ۲۴ بهمن ۱۳۷۶

نتیجه گیری

با مطالعاتی که از ۱۱ دوره بارشی نمونه در منطقه انجام گرفت، سه الگوی سینوپتیکی استخراج شد. سیستمهای کم فشار مدیترانه‌ای چون از دریای مدیترانه می‌آیند، اکثر بارشهای آنها در شیبهای غربی زاگرس ریزش می‌کند و رطوبت کمتری از لایه زیرین جو به درون آنها تغذیه می‌شود، از بارشهای کمتری برخوردار و اکثر بارشهای آنها جبهه‌ای بوده و ممکن است بر اثر یک ناپایداری موقت و کمی پس از عبور جبهه سرد در منطقه ایجاد شده باشد.

سیستمهای کم فشار سودانی چه به صورت تفکیکی و چه به صورت ترکیبی با مدیترانه‌ای بیشترین بارشها را در منطقه شیرکوه ایجاد می‌کنند و اکثر بارشهای قابل توجه استان یزد نیز از طریق همین سیستمها تأمین می‌شود.

سیستمهای کم فشار سودانی به طور عمده می‌توانند از دو مسیر یکی از نواحی جنوب غربی (خوزستان) و دیگری از طریق بندر لنگه، بوشهر و بندرعباس به سوی شمال شرق حرکت کرده و منطقه مطالعه شده را مورد تهاجم خود قرار دهند و در بعضی مواقع با وضعیت خاص سینوپتیکی، رطوبت کافی از طریق دریای عمان، خلیج عدن و خلیج فارس کسب کرده و بارشهای مناسبی را در منطقه شیرکوه ایجاد کنند.

ساختار قائم رطوبت و دمای ایستگاههای جو بالای کرمان، بندرعباس و اصفهان نشان می‌دهد که ۲ – ۳ روز قبل از انتقال سیستمهای کم فشار به منطقه شیرکوه، جو ایستگاههای مذکور به شدت خشک و پایدار بوده و بتدریج با انتقال سیستمهای مذکور به منطقه، رطوبت کسب کرده و دما نیز افزایش پیدا می‌کند . در نتیجه ساختار رطوبتی و دمایی جو این ایستگاهها بتدریج ناپایدار شده و شرایط را برای ریزشهای جوی فراهم می‌آورد.

دما و فصل می‌تواند عامل موثری در فعالیت سیستمهای کم فشار سودانی داشته باشد؛ به طوری‌که اگر هوای لایه زیرین تا لایه میانی جو (۵۰۰ هکتوپاسکال) از یک دمای مناسبی برخوردار باشد، رطوبت کافی به درون این سیستمها تغذیه شده و بارشهای زیادی در منطقه ایجاد می‌کنند، ولی اگر به اندازه کافی رطوبت به درون آنها تغذیه نشود، از میزان بارش آنها به شدت کاسته خواهد شد.

Archive of SID

www.SID.ir

سیستمهایی که وارد منطقه می‌شوند، اگر دارای ساختار ترمودینامیکی مناسب باشند؛ یعنی ناپایداری آنها زیاد باشد، با داشتن رطوبت و گرمای مناسب بارشهای مناسبی را در منطقه ایجاد می‌کنند. عامل مهم در افزایش بارشهای سیستمهای وارد به منطقه، هماهنگی بین سیستمهای کم فشار و پرفشار در زمان معین است، به طوری که اگر همزمانی در انتقال دما و رطوبت از نواحی دریای عمان به سوی مرکز شبه جزیره عربستان صورت بگیرد و همزمان با آن کم فشارهای مناسب در مرکز شبه جزیره عربستان وجود داشته باشد، جریانهای کلی جو موجب می‌شود که با یک حرکت ملایم و شیب دار، دما و رطوبت به درون سیستمهای کم فشار و در لایه زیرین آنها تغذیه شود. عمده توده‌های هوایی که منطقه شیرکوه را تحت تأثیر قرار می‌دهند، در زمان اولیه از نوع CT بوده و بتدریج به mT تبدیل می‌شوند.

سیستمهای بارانزایی که از جنوب غرب وارد کشور شده، پس از عبور از شیبهای جنوبی شیرکوه وارد استان یزد می‌شوند و با توجه به اینکه شیب ارتفاعات شیرکوه از جنوب به شمال ملایم و مناسب است، این سیستمها پس از عبور از شیبهای جنوبی این ارتفاعات، حرکت صعودی آنها شدت پیدا کرده و می‌توانند مقدار بارشها را در منطقه افزایش دهند که این خود اثبات کننده وجود توان بالقوه بارشی و شرایط مناسبتر و مساعدتر ارتفاعات بلند شیرکوه بویژه شیبهای جنوبی آن، جهت دریافت بارش بیشتر، نسبت به دیگر مناطق استان یزد است.

منابع

۱- اداره کل هواشناسی استان یزد، طرح باروری ابرها در استان یزد، (۱۳۷۵).

۲- امیدوار ک. (۱۳۸۳)؛ مطالعه و ارزیابی رژیم بارش در استان یزد به منظور امکان سنجی اجرای پروژه‌های افزایش بارش؛ طرح پژوهشی، دانشگاه یزد.

۳- امیدوارک. (۱۳۸۳)؛ تحلیل سینوپتیکی و ترمودینامیکی رخداد بارش در شیرکوه؛ طرح پژوهشی، دانشگاه یزد.

۴- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، نقشه‌های توپوگرافی ۵۰۰۰۰۰: ۱ منطقه مورد مطالعه.

۵- سازمان هواشناسی کشور؛(۱۳۸۲)، اداره کل خدمات ماشینی، نقشه‌های سینوپتیکی سطح زمین و ترازهای فوقانی جو.

۶- سازمان هواشناسی کشور، (۱۳۸۲)، داده‌های جو بالای ایستگاههای کرمان، بندرعباس و اصفهان.

۷- قائمی، عدل (۱۳۷۱)؛ ناپایداری و طوفانهای رعد و برق؛ سازمان هواشناسی کشور.

۸- قبادیان ع. (۱۳۶۱)؛ سیمای طبیعی استان یزد در ارتباط با مسائل کویری؛ استانداری یزد.

۹- لشکری حسن، (۱۳۷۵)؛ الگوی سینوپتیکی بارشهای شدید جنوب غرب ایران؛ رساله دکتری، دانشگاه تربیت مدرس.

۱۰- مرکز ملی تحقیقات و مطالعات باروری ابرها، (۱۳۷۶)؛ باروری ابرها در ایران و جهان؛ گزارش شماره ۲.

۱۱- مرکز ملی تحقیقات و مطالعات باروری ابرها، (۱۳۷۷)؛ باروری ابرها در ایران و جهان؛ گزارش شماره۴.

۱۲- مرکز ملی تحقیقات و مطالعات باروری ابرها، (۱۳۷۸)؛ گزارش اجرای عملیات باروری ابرها در استانهای حاشیه دریای خزر؛ گزارش شماره ۸.

13- Ali A.;(1999) "Syrain rain enhancement projects" presented at 7 th W.M.O conference Thailand.

14- Austin G .;(1982)" Preliminary assessment report of the site selection" Report, No 28.

15- Boddour O.;(1995) "Morocco's precipitation enhancement projects" Workshop Australia.

16- Daniel R.; (1995) "Rain enhancement in Israel" ;Workshop Terrigal Australia .

17- Tohboub I.; (1997) "A study on 10 years period of cloud seeding over jordan".

18- W.M.O.; (1978) "Survey of the climatology and synoptic weather patterns at the proposed PEP site in Spain"; PEP Report, No 10.

19- W.M.O.; (1987) "Weather modification programme"; PEP, No 9.

20- W.M.O.; (1992) "Statement on the status of weather modification"; Approved July.

Archive of SID

www.SID.ir