

تحلیل الگوهای سینوپتیکی و شاخص های ناپایداری منجر به وقوع بارش های نیمه سنگین و سنگین در استان لرستان

زینب اکبری، فرناز نصیری، مجتبی سیاه منصور

چکیده:

به منظور بررسی الگوهای همدیدی بارش های نیمه سنگین و سنگین در استان لرستان روزهای همراه با بارش بیش از ۲۰ میلیمتر در نظر گرفته شد. در این شرایط میزان بارندگی در حداقل نیمی از ایستگاههای سینوپتیک مستقر در سطح استان به این مقدار رسیده است. برای رسیدن به این منظور با استفاده از آماربارش روزانه ۱۰ سال گذشته ایستگاههای سینوپتیک استان (خرم آباد، بروجرد، الیگودرز، کوهدشت، پلدختر، دورود، الشتر، نورآباد، ازنا) روزهایی را که میزان بارندگی در آنها به بیش از ۲۰ میلیمتر رسیده بود استخراج گردید در صورتی که روزهای مورد بررسی ۵۰ درصد ایستگاههای مورد مطالعه را شامل می شد به عنوان یک کیس ورودی در مراحل بعدی در نظر گرفته شد. برای تعیین ناپایداری ها از شاخص ناپایدار ki و شولتر ایستگاه جو بالا کرمانشاه استفاده شد. سپس داده ها در نرم افزار SPSS به روش تحلیل مولفه های اصلی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته شد. نتایج نشان داد که دو الگوی سینوپتیکی غالب که منجر به وقوع بارش های سنگین و نیمه سنگین میشوند، شناسایی شد. سپس کمیت های فشار سطح متوسط دریا، ارتفاع ژئوپتاسیلی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال برای این دو الگو بررسی و تجزیه و تحلیل شده است. با توجه به مسیر حرکت این دو الگو و نحوه فرارگیری محور ناوه ها و کم فشار سطح زمین و نیز میزان رطوبت نسبی در سطوح مختلف، مهمترین منبع ایجاد بارشهای سنگین و نیمه سنگین در استان ادغام الگوهای کم فشار سودانی و مدیترانه ای شرق دریای مدیترانه است که با کسب رطوبت کافی و مناسب از سمت دریای سرخ و نیز دریاهاى جنوب به سمت نوار غرب و جنوب غرب کشور حرکت می کنند. شاخص های ناپایداری

کلمات کلیدی: لرستان، بارش سنگین، تحلیل عاملی، الگوهای همدید، شاخص k شاخص si

مقدمه:

بارندگی یک عنصر بسیار مهم و تاثیرگذار بر جوامع و فعالیت های انسانی می باشد. بطوریکه امروزه رکن اصلی مطالعات در کلیه برنامه ریزی های محیطی و اقتصادی به شمار می آید. بارش های سنگین به عنوان یک عامل مخاطره انگیز در بروز حوادث طبیعی مثل سیل مطرح می باشد. این بارش ها محصول وجود هسته های تراکمی رطوبت در جو هستند. برای تشکیل هسته های تراکم بارش وجود جریان های بادی و رطوبت که طی فرایندهای خاص دینامیک و

سینماتیک منجر به وقوع همگرایی جریان رطوبت جو در مناطق خاصی شده و رطوبت بارش های سنگین را تامین می کند، ضروری است. در بررسی های اولیه مشخص شده است غرب ایران با توجه به دارا بودن کوهستانها و نیز در معرض قرار گرفتن در مسیر سیستم های بارانزای غربی و نیز وجود رشته کوه زاگرس ناحیه مناسبی برای تقویت و گسترش بارندگی می باشد که گاه شدت و مقدار بارش ها منجر به جاری شدن سیل در اکثر استانهای واقع در این ناحیه می باشد. در سالهای اخیر، مطالعات آب و هواشناسی همدید در ایران مورد توجه خاصی قرار گرفته است. قاسم عزیزی و همکاران در پژوهشی با موضوع تحلیل سینوپتیک بارش های سنگین در غرب ایران به بررسی موردی بارش سنگین دوره آماری ۷-۱۴ مارس ۲۰۰۵ نتیجه می گیرد که با قرار گیری منطقه غرب کشور در زیر شرق محور ناوه تشدید بارش ها و صعود هوای مرطوب را سبب شده است. لشگری و همکاران در پژوهشی به بررسی الگوهای بارش شدید در اصفهان پرداخته اند که ادغام الگوی سودانی و مدیترانه ای را دلیل اصلی ایجاد بارش های شدید در منطقه اصفهان دانسته اند که این الگو همراه افت شدید فشار در مرکز ایران و فرارفت تاوایی مثبت و حداکثر سرعت قائم منفی در نیمه غربی ایران است که بارش های شدید را در شرق و مرکز استان سامانه های سودانی ایجاد می کند که از روی خوزستان و بوشهر وارد ایران میشوند. گرویس من و همکاران در یک مطالعه ی گسترده تغییرات بارش های سنگین را به عنوان یکی از مهمترین شاخص های نشان دهنده ی تغییر اقلیم جهانی در ۸ کشور کانادا، ایالات متحده، روسیه، چین، استرالیا، نروژ و لهستان بررسی کردند. آنها معتقدند که بارش های سنگین سهم کوچکی از رویدادهای بارش برون حاره ای را شامل میشوند. (گرویس من و همکاران ۱۹۹۹). علیجانی و همکاران نیز معتقدند که بارش های سنگین سهم کمتری از تعداد روزهای بارشی کشور را شامل میشوند. با این حال، این رویدادها منبع اصلی تامین آب کشور هستند (علیجانی و همکاران ۲۰۰۷). هلستروم شرایط جو را در زمان رخداد بارش های سنگین و غیر سنگین در سوئد مطالعه کرد. وی تفاوت های میانگین شرایط جوی در زمان رویداد بارش های سنگین تابستانی (ژوئن تا آگوست) و غیر سنگین در سوئد را بر اساس تیپ های هوای لامب (چرخندی، واچرخندیو جهت دار) تحلیل نمود. وی بارش های بیش از ۴۰ میلیمتر را سنگین و بارش های کمتر از ۴۰ میلیمتر را غیر سنگین تعریف کرده است. قشقایی اثر پرفشار سبیری را روی بارش های پاییزه سواحل جنوبی خزر مطالعه کرد. وی معتقد است که ۴۵ درصد بارش ها از فرابار سبیری، ۲۸ درصد از آنتی چرخندهای مهاجر و ۲۷ درصد در اثر سیستم های کم فشار حاصل میشود. که البته بارش های سنگین سواحل جنوبی خزر توسط آنتی چرخندهای مهاجر تولید میشود و تنها زمانی پرفشار سبیری می تواند بارش های سنگین ایجاد کند که یک هسته ی فشار ۱۰۳۵ هکتوپاسکالی در شمال دریای خزر بسته شده باشد و در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال نیز یک تراف عمیق روی این ناحیه قرار گرفته باشد (قشقایی ۱۳۷۵). بارش های سنگین و سیل آسا در جنوب غرب ایران نتیجه تقویت و تشدید فعالیت مرکز کم فشار مونسونی سودان و منطقه همگرایی دریای سرخ و تبدیل آن ها به سامانه دینامیکی و ترمودینامیکی است. (لشگری ۱۳۷۵). مفیدی و زرین (۱۳۸۴) با بررسی الگوهای گردش ترازهای سطوح فوقانی و سطح زمین، الگوهای همدید ۱۸ توفان با منشاء سودانی را بررسی کرده

داده ها و روش کار:

در این پژوهش از داده های روزانه بارش ایستگاههای سینوپتیک مستقر در سطح استان، جهت ایجاد پایگاه اطلاعاتی استفاده گردید. برای مطالعه منطقه مورد نظر ۲۲ نقطه در یک شبکه $2/5 \times 2/5$ از $80 - 0$ درجه شرقی و $60 - 20$ درجه شمالی در نظر گرفته شد. با استفاده از داده های هواشناسی به بررسی روزهای همراه با بارش بالای 20 میلیمتر که به عنوان روز همراه با بارش سنگین و نیمه سنگین بود، طی دوره آماری 10 ساله ($2011-2022$) پرداخته شد. با توجه به اینکه هدف بررسی روزهایی بود که بارش در آن روزها به 20 یا بالای 20 میلیمتر رسیده باشد، بر طبق بررسی های صورت گرفته 54 روز در این دوره آماری انتخاب گردید. با استفاده از سپس ماتریسی با ابعاد $32 * 54$ بدست آمد (عدد 32 داده های تراز 500 هکتوپاسکال نقاط موجود در شبکه مورد بررسی و 54 معرف روزهای نمونه ای می باشد). در نهایت با استفاده از روش مولفه های مبنا از ابعاد ماتریس کاسته شد. و سپس به استخراج عوامل و الگوهای غالب مولد بارش های سنگین و نیمه سنگین پرداخته شد. برای بررسی شاخص های ناپایداری شولتر و ki از داده های ایستگاه جو بالا کرمانشاه که اطلاعات آن در دسترس بود استفاده شد. در زیر به بررسی وضعیت این دو شاخص پرداخته شده است.

شاخص k

شاخص k که برپایه تغییرات قائم دما، محتوای رطوبت لایه های زیرین و توسعه عمودی لایه مرطوب استوار است، معرف فعالیت همرفتی و توانش توفان تندری است که بر حسب درجه سلسیوس بیان می شود و به صورت زیر بدست می آید (جورجی، ۱۹۶۰):

$$k = (T_{850} - T_{500}) + T_{d850} - (T_{700} - T_{d700}) \quad \text{رابطه شماره ۱}$$

جملات دست راست اینرابطه به ترتیب، افت دما، رطوبت و خشکی هوا را نشان می دهند که در ایجاد ناپایداری باید جمله اول بزرگ، جمله دوم زیاد و جمله سوم کوچک باشد. T_{850} ، T_{700} و T_{500} به ترتیب در ترازهای 850 ، 700 و 500 هکتوپاسکال و T_{d850} و T_{d700} دمای نقطه شبنم تراز 850 و 700 هکتوپاسکال بر حسب درجه سلسیوس می باشند. هرچه این شاخص بیشتر باشد بر شدت ناپایداری افزوده می شود.

جدول شماره مقادیر این شاخص و رابطه آن را با ناپایداری جو نشان می دهد. شایان ذکر است که در توفانهای تندری همراه با بارش سنگین، این شاخص 30 بزرگتر بوده است.

شاخص K	احتمال توفان تندی
کمتر از ۱۵	۰ درصد
۱۵-۲۰	کمتر از ۲۰ درصد
۲۱-۲۵	۲۰-۴۰ درصد
۲۶-۳۰	۴۰-۶۰ درصد
۳۱-۳۵	۶۰-۸۰ درصد
۳۶-۴۰	۸۰-۹۰ درصد
بیشتر از ۴۰	نزدیک ۱۰۰ درصد

جدول شماره ۱: رابطه بین شاخص k_i و ناپایداری جو.

شاخص شولتر (SI)

شاخص S که بر پایه ویژگیهای ترازهای ۸۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال استوار است و معرف ناپایداری در لایه پایینی جو می باشد، بر حسب درجه سلسیوس بیان می شود و بر اساس رابطه زیر به دست می آید (شولتر ۱۹۵۳):

$$S = T_{500} - T' \quad \text{رابطه شماره ۲}$$

که در آن T' دمای فرازش بسته هوا به صورت بی در رو اشباع از تراز فشاری $L.C.L_{850}$ می باشد. $L.C.L_{850}$ تراز میعان فرازش سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال است. جدول شماره

رابطه بین این شاخص و شدت ناپایداری را نشان میدهد. دیده می شود که هر چه این شاخص منفی تر باشد، بر شدت ناپایداری جو افزوده می شود. هنگامی که رطوبت ترازهای زیرین تا تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال گسترش نداشته باشد، این شاخص ناپایداری را نشان نمی دهد به علاوه وجود وارونگی دما میتواند عامل موثری در کاهش شدید رطوبت و در نتیجه کاهش این شاخص باشد.

بنا به تعریف واژه نامه فنی هواشناسی (*The glossary of meteorology*) اگر (SI) بیشتر از (+۴) باشد ابرهایی با ساختار کومه ای شکل نمی گیرند اما اگر مقدار (SI) از (+۴) کمتر باشد رگبارها و طوفان تندی بیشتری روی می دهد. مقدار منفی (SI) نشان دهنده این واقعیت است که لایه مرزی جو (PBL) نسبت به گشت سپهر میانی ناپایدارتر و محیطی است که در آن همرفت می تواند رخ دهد. به عبارت دیگر (SI) ناپایداری قویتر و در نتیجه شناوری بیشتر را نشان می دهد که باعث می شود بسته از (PBL) به سمت بالا حرکت کند.

ناپایداری	شاخص شولتر
جو پایدار	بزرگتر از ۳
احتمال رگبار و رعد و برق منفرد	بین ۱ تا ۳
احتمال رعد و برق	بین ۲ تا ۱
احتمال رعد و برق شدید	بین ۶ تا ۲-
احتمال پیچند	کوچکتر از ۶-

جدول شماره ۲: رابطه بین شاخص شولتر و ناپایداری جو

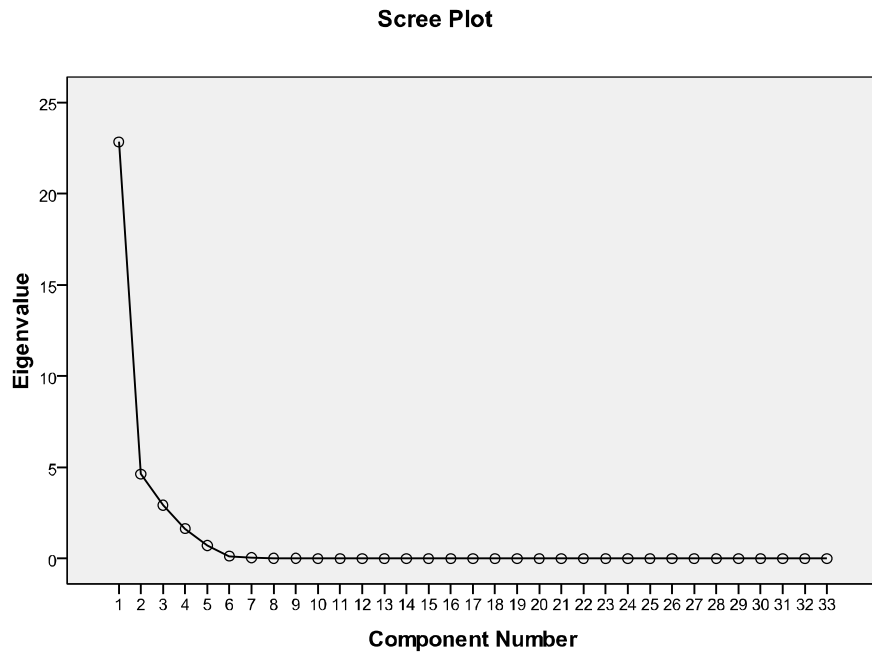
تجزیه و تحلیل داده ها:

استخراج عوامل

همانطور که بیان گردید، به منظور کاهش ابعاد ماتریس داده های اولیه از ارزش آنالیز مولفه های اصلی استفاده شد. بطور کلی متغیرهای اقلیمی در بین خود از همبستگی به نسبت بالایی برخوردارند، این ویژگی امکان کاهش ابعاد ماتریس داده های اولیه را با اجرای آنالیز مولفه های اصلی مقدور می کند. همچنین به منظور تفسیر بهتر عاملها از روش واری ماکس استفاده گردید. تکنیک مولفه های مبنا سبب شد که ماتریس، بعد از انجام تحلیل و دوران عاملها به ۳ عامل با مقادیر بیشتر از یک تقلیل یابد در مجموع این ۳ عامل ۹۲ درصد واریانس داده ها را تبیین می کنند (جدول شماره ۱). که ۲ عامل آنها با توجه به نمره عاملها و میزان واریانس در خوشه بندی برای منطقه مورد مطالعه نقش شاخص تری را نشان می دادند. درصد واریانس هر یک از عوامل به ترتیب عبارتند از ۶۹/۲ ۱۴/۰۳ درصد باقی مانده از واریانس کل سهم عوامل بعدی بود که به دلیل تاثیر و نقش بسیار ضعیفی که داشتند به عنوان عوامل تاثیر گذار ذکر نشده اند. به منظور اطمینان از تعداد عوامل استخراجی از نمودار صخره ای نیز استفاده شد. شکل (۱). این شکل نشان میدهد که عامل اول نسبت به عامل دوم بیشترین شیب را دارد و سپس شیب کمتر شده و از عامل چهارم به بعد تقریباً نمودار حالت افقی به خود می گیرد. اما با توجه به اینکه ۳ عامل اولیه بیشترین تاثیر را دارند برای تجزیه و تحلیل های بعدی

استفاده شدند. این ماتریس با ۳ عامل و ۵۴ ردیف به عنوان ماتریس امتیازات عاملی شناخته شده که الگوهای مکانی عوامل را در سطح منطقه نشان می‌دهد. از این ماتریس جهت ترسیم نقشه های عاملها و همچنین به عنوان داده های اولیه جهت آنالیز خوشه ای استفاده شد. از ماتریس امتیازات عاملی به عنوان ورودی برای ترسیم نقشه در محیط NCEPNCAR استفاده گردید بدین صورت که با استفاده از تاریخ های دسته عاملها نقشه های تراز ۱۰۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکالی برای منطقه مورد مطالعه با مشخصات بالا ترسیم شد و در مرحله بعد به بررسی سینوپتیکی الگوهای بدست آمده پرداخته شد.

شکل شماره ۱: نمودار صخره ای عوامل در منطقه مورد مطالعه



Total Variance Explained

Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
۱	۲۲.۸۴۰	۶۹.۲۱۱	۶۹.۲۱۱	۲۲.۸۴۰	۶۹.۲۱۱	۶۹.۲۱۱	۹.۹۷۲	۳۰.۲۱۹	۳۰.۲۱۹
۲	۴.۶۳۲	۱۴.۰۳۶	۸۳.۲۴۸	۴.۶۳۲	۱۴.۰۳۶	۸۳.۲۴۸	۹.۵۲۸	۲۸.۸۷۳	۵۹.۰۹۲
۳	۲.۹۳۴	۸.۸۹۰	۹۲.۱۳۸	۲.۹۳۴	۸.۸۹۰	۹۲.۱۳۸	۷.۱۰۷	۲۱.۵۳۶	۸۰.۶۲۸

جدول شماره ۳: ماتریس بار عاملی

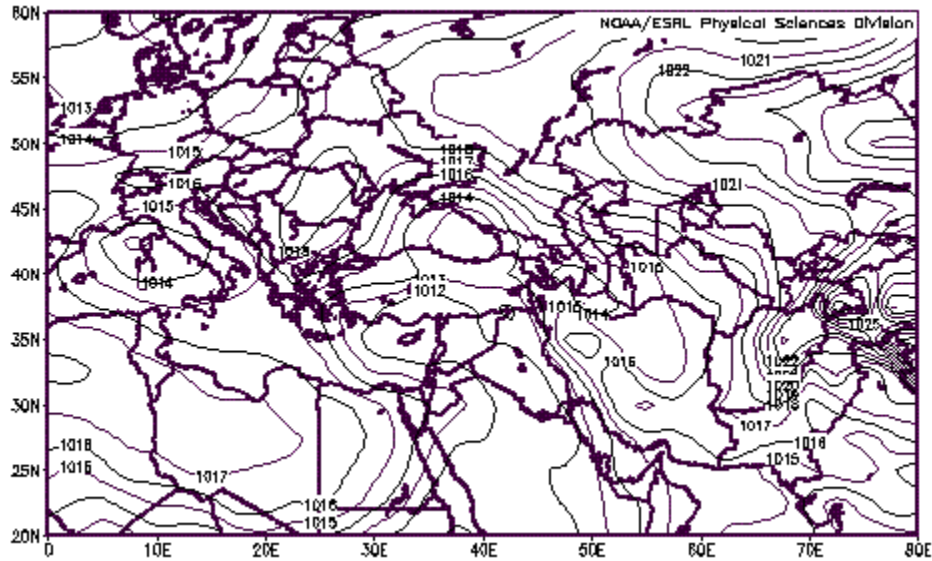
تجزیه و تحلیل الگوهای بدست آمده:

تراز سطح دریا و ۵۰۰ هکتو پاسکال در الگوی شماره ۱ و ۲:

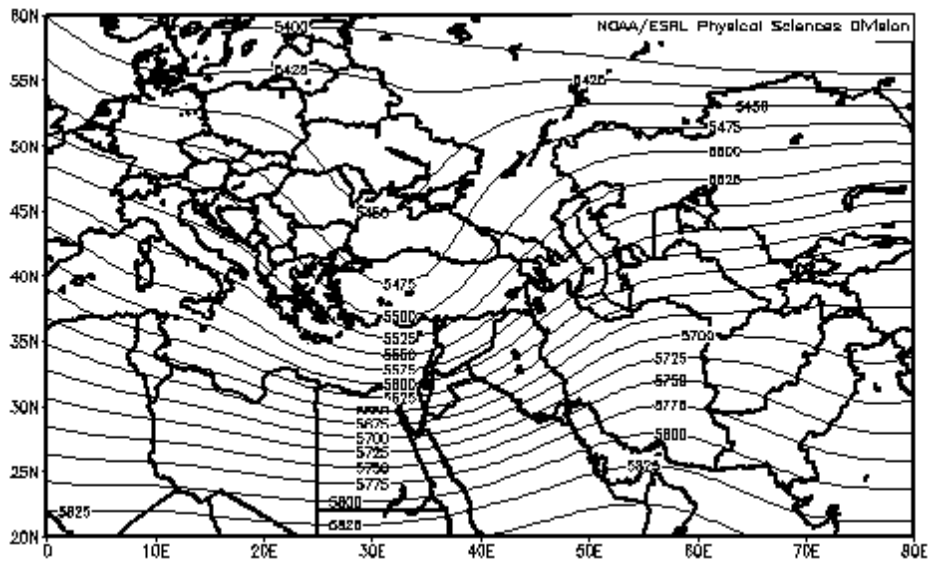
با توجه به بررسی اولیه که بر روی ترازهای مختلف الگوهای بدست آمده انجام دادیم در مرحله اول مشخص شد که هر دو الگو بسیار بهم شباهت دارند لذا برای فهم بهتر تفسیر هر دو الگو را با هم انجام دادیم.

از سمت شمال شرق کشور شاهد نفوذ زبانه هایی از هوای سرد به قسمتهای از کشور هستیم که بندایی از این پرفشار با جهت شمالغرب به جنوب شرق قسمتهای غرب و جنوب غرب کشور را تحت تاثیر قرار داده است. در این الگو سامانه ی کم فشار سودانی از روی سودان بطرف شمال شرق کشیده شده است و در جلوی محور اصلی ناوه تراز ۵۰۰ ضمن حرکت شرق سو به طرف عرضهای بالاتر حرکت کرده و همزمان یا سیستم مدیترانه ای وارد نواحی غرب و جنوب غرب کشور شده است. در این الگو به خوبی مشخص است که کم فشارهای ۱۰۱۲ و ۱۰۰۸ تا غرب کشور گسترش پیدا کرده اند، و بعد از ادغام با کم فشار مدیترانه ای خود کم فشار سودانی تقویت شده و رطوبت بسیار مناسبی برای رخداد این نوع بارش ها بوجود آورده و منجر به بارش های متناوب در استانهای این ناحیه شده اند. در تحلیل این تراز به خوبی میتوان روند پیشروی و نفوذ بادهای غربی به نوار غرب کشور را مشاهده کرد. در روزهایی که بارش های سنگین و نیمه سنگین در غرب کشور و از جمله استان لرستان اتفاق افتاده میتوان گفت که با قرار گیری یک مرکز کم فشار در بستر بادهای غربی و ایجاد یک ناوه نسبتا عمیق و با محور مناسب در شرق مدیترانه، شبه جزیره عربستان و نیز در مجاورت دریای سرخ و تا حدی دریای سیاه، که ضمن حرکت شرق سوی محور ناوه و نیز تغذیه رطوبتی مناسبی که از سوی دریاهای سرخ و خلیج فارس برای این کم ارتفاع ها بوجود آمده برای اکثر ایستگاههای واقع در نوار غرب کشور گزارش بارندگی را داشته ایم. با نزدیکتر شدن مرکز کم فشار و نیز قرار گیری محور ناوه در جهت شمالشرق به

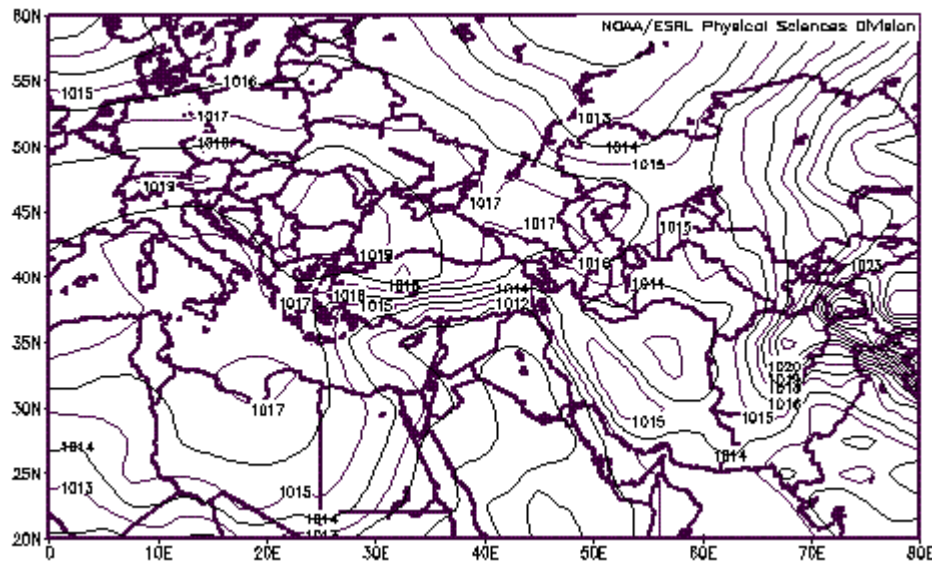
جنوب غرب بر شدت بارش ها در منطقه افزوده میشود. نم ویژه در این الگو به خوبی وجود رطوبت کافی در تراز پایین تر را برای ایجاد همرفت و ایجاد بارش های سنگین در منطقه مورد مطالعه را نشان میدهد.



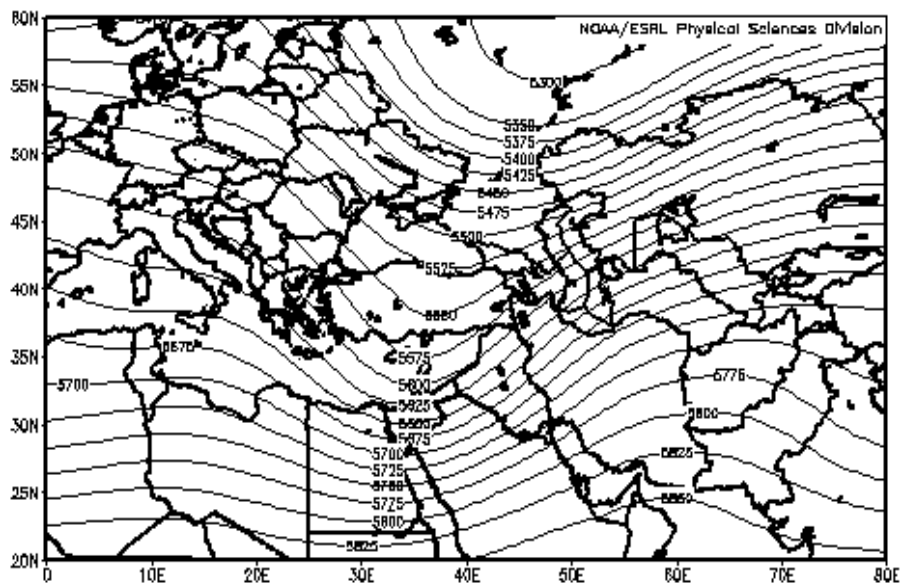
الگوی سینوپتیکی تراز سطح دریا مربوط به الگوی شماره ۱



الگوی سینوپتیکی تراز ۵۰۰-پ مربوط به الگوی شماره ۱



الگوی سینوپتیکی تراز سطح دریا مربوط به الگوی شماره ۲



الگوی سینوپتیکی تراز ۵۰۰-پ مربوط به الگوی شماره ۲

بررسی شاخص های ناپایداری با استفاده از ایستگاه جو بالا:

با توجه به اینکه در ایستگاه هواشناسی خرم اباد ایستگاه جو بالا نصب نبود از ایستگاه نصب شده در منطقه کرمانشاه استفاده شد همانطور که میدانیم هر ایستگاه جو بالا حدود ۳۰۰ کیلومتر هوایی را پوشش میدهد و با توجه به اینکه فاصله هوایی ایستگاه جو بالا کرمانشاه تا ایستگاه خرم اباد حدود ۱۵۰ کیلومتر هوایی است بنابراین از اطلاعات این ایستگاه در این دوره زمانی استفاده شده است. برای تعیین و بررسی شاخص های ناپایداری، بطور نمونه از داده های بارش

ایستگاه خرم آباد استفاده کرده ایم. در مرحله بعد با استفاده از تاریخ وقوع بارنگی ها ی ۱۰ روزانتخابی به بررسی شاخص ها پرداخته ایم.

شاخص شولتر	شاخص k_i	میزان بارش ایستگاه خرم آباد	تاریخ وقوع
-۰.۵	۳۲.۳۳	۴۱.۸	۱۹/۴/۲۰۰۲
۲.۶	۲۶.۳	۲۴.۷	۲۷/۱۲/۲۰۰۳
۱.۷۷	۲۹	۲۲.۲	۳/۴/۲۰۰۴
۱.۳۸	۲۸.۹	۲۶.۹	۱۷/۱۲/۲۰۰۵
-۰.۳۶	۳۴.۱	۲۹.۷	۱۵/۱۰/۲۰۰۶
-۱.۶۷	۳۴.۷	۲۰.۴	۲۴/۴/۲۰۰۷
۲.۱۱	۳۲.۳	۳۷.۱	۲۵/۱۰/۲۰۰۸
۰.۹۷	۳۳	۲۳.۷	۱۷/۱۱/۲۰۰۹
-۱.۰۶	۳۴.۱	۲۲.۱	۲۲/۴/۲۰۱۰
-۰.۳۴	۳۳.۹	۲۶	۶/۱۱/۲۰۱۱

جدول شماره ۴: شاخص های ناپایداری در روزهای نمونه

هرچه شاخص شولتر منفی باشد ناپایداری بیشتر است، زیرا بیان کننده این است که در سطح ۵۰۰ میلی باری دمای بسته هوا از محیط اطرافش بیشتر است. یعنی بسته از محیط اطرافش گرمتر است و هر چه این اعداد منفی تر باشد نشان دهنده این است که شناوری مثبت تا ارتفاع بیشتری میتواند ادامه داشته باشد و باعث صعود بسته هوا در ابر شود. که در بین روزهای انتخابی در نیمی از موارد این شاخص منفی است که نشان دهنده ناپایداری بیشتر است. با توجه به رابطه شماره ۱ هر چه جمله اول (افت دما در حرکت بالارو) و جمله دوم (رطوبت اولیه) بزرگ تر باشد و جمله سوم که به نوعی نشان دهنده کمبود اشباع هوا در تراز ۷۰۰ میلی باری است (تفاوت دما و دمای نقطه شبنم بیان کننده کمبود اشباع است) کوچکتر باشد ناپایداری افزایش می یابد. همانطور که انتظار می رود هر چه k بزرگتر باشد یعنی رطوبت و افت دما بیشتر باشد، میزان بارش در ایستگاههای زمینی افزایش می یابد. با استفاده از داده های k_i بدست آمده واضح است که در روزهایی که این شاخص بالاست مقدار بارش در ایستگاه خرم آباد نیز از مقدار قابل توجهی برخوردار است.

نتیجه گیری:

- ۱- ورود سیستم های باران زا مدیترانه ای با یک ناوه بسیار عمیق و رخنه به نوار غرب و جنوب غرب کشور از دلایل اصلی وقوع بارش های سنگین و نیمه سنگین در استان می باشد.
- ۲- سیستم های کم فشار از جانب سودان و دریای سرخ که اغلب از سمت جنوب غرب وارد ایران میشوند با تغذیه رطوبت کافی و مناسب از سمت دریاها و سرخ و خلیج فارس باعث ایجاد بارش های سنگین در لرستان میشوند.
- ۳- ادغام کم فشار سودان و مدیترانه ای با هم موجب تقویت کم فشار سودانی میشود.
- ۴- با توجه به موقعیت استان لرستان و قرارگیری در میان سلسله جبال زاگرس و شرایط برای صعود میتوان عوامل اقلیمی محل و توپوگرافی را باز هم به عنوان یکی از دلایل رخداد بارش های سنگین در این منطقه دانست.
- ۵- در روزهای همراه با بارش سنگین شاخص های ناپایداری نیز از مقادیر قابل ملاحظه ای بر طبق جداول مذکور برخوردار است و بطور کلی در روزهای نمونه ایستگاه خرم آباد شاخص k همواره بالای ۳۰ یعنی ۶۰ درصد شرایط برای رخداد توفان تندی مهیا بوده و شاخص شولتر نیز در اغلب موارد زیر صفر و منفی (یعنی احتمال رعدوبرق و ناپایداری زیاد) بوده است.

منابع:

- عزیزی، قاسم، نیری، معصومه، رستمی جلیلیان، شیما. (۱۳۸۸). تحلیل سینوپتیکی بارش های سنگین در غرب کشور. فصلنامه جغرافیای طبیعی، سال اول، شماره ۴.
- محمدی، بختیار، مسعودیان، ابوالفضل. (۱۳۸۹). تحلیل همدید بارش های سنگین ایران. مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۱۹.
- قویدل رحیمی، یوسف. (۱۳۹۰). نگاشت و تحلیل همگرایی جریان رطوبت جو طی بارش فوق سنگین ناشی از طوفان حاره ای فت در سواحل چابهار.
- امیدوار، کمال، ترکی، مسلم. (۱۳۹۱). شناسایی الگوهای ریزش بارش های سنگین در استان چهارمحال بختیاری.
- صادقی حسینی، سید علیرضا، رضائیان، مهتاب. (۱۳۸۵). بررسی تعدادی از شاخص های ناپایداری و پتانسیل بارورسازی ابرهای همرفتی منطقه اصفهان. مجله فیزیک زمین و فضا. شماره ۲، صفحه ۸۳-۹۸.