

# بررسی الگوهای همدید بارش‌های فوق‌سنگین غرب و جنوب غرب حوضه آب‌خیز دریاچه ارومیه

فاطمه طاهایی<sup>۱\*</sup>، هیوا سلکی<sup>۲</sup>، زهرا حجازی‌زاده<sup>۳</sup>

- ۱- کارشناسی ارشد، اقلیم‌شناسی در برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه پیام نور، ایران
- ۲- کارشناسی ارشد، اقلیم‌شناسی در برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
- ۳- استاد، اقلیم‌شناسی در برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه خوارزمی، کرج، ایران

پذیرش: ۹۴/۶/۸

دریافت: ۹۳/۷/۲۶

## چکیده

هدف از این تحقیق، شناسایی و طبقه‌بندی الگوهای همدید تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بارش‌های فوق‌سنگین منطقه غرب و جنوب غرب حوضه آب‌خیز دریاچه ارومیه طی دوره ۱۳۹۰-۱۳۶۶ است. پس از تعیین آستانه زمانی و مکانی بارش‌های فوق‌سنگین، ابتدا ۴۶ روز بارش فوق‌سنگین در سطح منطقه استخراج شد، سپس داده‌های ارتفاعی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال واقع در محدوده میان ۶۵-۵۰ درجه عرض جغرافیایی شمالی و ۶۵-۱۵ درجه طول شرقی به صورت ماتریس S-mode برای روزهای بارش فوق‌سنگین تنظیم شد. در ادامه با استفاده از تکنیک آماری تحلیل عاملی و خوشه‌بندی به روش وارد الگوهای همدید خوشه‌بندی و نقشه مرکب تراز میانی و پایین جو مربوط به هر خوشه تهیه و تحلیل همدید شد. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که به هنگام وقوع بارش‌های فوق‌سنگین، عمدتاً هشت الگوی همدید در قالب دو گروه عمده سردچال جوی و فرود موج کوتاه حاکم بوده است. به طوری که حرکات صعودی سمت جلو این سیستم‌های همدید به همراه رودباد جبهه قطبی سبب ایجاد جو ناپایدار باروکلینیک در منطقه و هدایت سیستم‌های کم‌فشار از سمت دریاچه‌های مدیترانه، سرخ و سیاه از غرب و جنوب غربی ایران به سمت منطقه مورد مطالعه شده و در افت فشار و بروز بارش‌های فوق‌سنگین تعیین‌کننده است.

واژه‌های کلیدی: بارش فوق‌سنگین، الگوی همدید، تحلیل عاملی، خوشه‌بندی، تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال.



## ۱- مقدمه

مخاطرات محیطی مانند سیل، زلزله، طوفان، خشک‌سالی، آتش‌سوزی و... همواره طی تاریخ حیات بشری، ابعاد مختلف زندگی را دست‌خوش تغییر و تهدید کرده است. براساس آمارهای موجود، طی ۴ دهه گذشته، سوانح طبیعی در جهان بیش از سه میلیون نفر را نابود و زندگی ۸۲۰ میلیون نفر دیگر را تهدید کرده است (پروین، ۲۶، ۱۳۸۶). براساس گزارش فائو<sup>۱</sup>، ایران از نظر استعداد و پتانسیل بروز بلایای طبیعی رتبه دهم را در جهان به خود اختصاص می‌دهد (شن<sup>۲</sup>، ۷، ۲۰۰۳).

رگبارهای شدید یکی از پدیده‌های خطرناک و خسارت‌بار محیط است که در بیشتر مکان‌ها، به‌ویژه در مناطق کم باران اتفاق می‌افتند و خسارات زیادی را سبب می‌شوند. شناسایی شرایط همدید به وجودآورنده این رگبارها می‌تواند در پیش‌بینی زمان وقوع و اجرای آمادگی لازم کمک کند (علیجانی، ۲۰۸، ۱۳۸۸). براساس معیار علیجانی برای رگبارهای شدید، ریزش بیشتر از ۵۰ میلی‌متر در مدت ۳-۲۴ ساعت است (همان).

هر روزی که بارندگی آن ۳۰ میلی‌متر یا بیشتر باشد، روز بارندگی سنگین تعریف شده است (علیجانی، ۱۱۸، ۱۳۸۷). بر این اساس در مطالعه پیش‌رو روزی که در سطح منطقه مورد مطالعه، بارش ۳۲ میلی‌متر یا بیشتر به ثبت رسیده بود به‌عنوان بارش فوق‌سنگین در نظر گرفته شد.

قدیمی‌ترین تحقیق در مورد بارش‌های سنگین، به‌وسیله کلاین<sup>۳</sup> (۴۴، ۱۹۴۸) انجام شده است، ایشان با مطالعه نقشه‌های سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال نشان داد، در جلو فرود در محدوده پیشروی چرخندگی مثبت شدت بارندگی بیشتر است. در حوضه اقلیم‌شناسی در جهان، تاکنون مطالعات فراوانی در ارتباط با مخاطرات محیطی صورت گرفته و بسیاری از اقلیم‌شناسان مانند (هایلاک<sup>۴</sup> و نیکولز<sup>۵</sup>، ۲۰۰۰: ۱۵۳۳) به‌وجود روند صعودی تعداد رخداد‌های محیطی، در مناطق مختلف نیم‌کره شمالی پی‌برده‌اند. هرشبوتک<sup>۶</sup> (۲۰، ۱۹۸۷) نقشه‌های ۲۱ طغیان شدید رودخانه‌های آمریکا را بررسی و الگوهای همدید سطح زمین و سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال هر یک از طغیان‌ها را مشخص کرد.

1. سازمان خواروبارجهانی (FAO)

2. Shen

3. Klein

4. Haylock

5. Nicholls

6. Hirschboeck

در بررسی منشأ توفان‌های همرفتی کوچک مقیاس شرق مدیترانه، نقش زبانه کم فشار دریای سرخ در ایجاد بارش‌های سیل‌آسا بین ۸۳/۵-۱۰۰ درصد به‌دست آمد که عموماً به‌صورت توفان‌های شدید و کوتاه مدت در فصل‌های پاییز و بهار مشاهده می‌شود (کیدرون و پیک<sup>۱</sup>، ۱۱۱، ۲۰۰۰).

لانا<sup>۲</sup> و همکاران (۸۵، ۲۰۰۷) الگوهای بارش‌های سنگین در جزایر بالریک را با روش آماری تحلیل خوشه‌ای مؤلفه‌های اصلی، داده‌های یک دوره ۹ ساله (۲۰۰۴-۱۹۹۵) در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال هشت الگوی گردشی به‌دست آوردند.

از بین مطالعات پژوهشی اخیر در ارتباط با بارش کارهای ارزشمند استبان و همکاران (۲۰۰۰)، بیندکس و جی. بیندکس<sup>۳</sup> (۲۰۰۶)، عساکره (۱۳۸۳)، فلاح‌قاله‌ری و همکاران (۱۳۸۷)، جهانپخش (۱۳۸۹)، تقوی و همکاران (۱۳۹۰)، غیور و همکاران (۱۳۹۰)، و ... قابل یاد است. حجازی‌زاده و پروین (۵۴، ۱۳۸۸) در تحقیق خود به بررسی تغییرات دما و بارش ایستگاه سینوپتیک تهران و مطالعه انحراف احتمالی آن از حالت نرمال پرداخته است. ایشان در بررسی سری‌های زمانی مربوط به عنصر بارش نتیجه‌گیری می‌کند که بیشتر تغییرات احتمالی از نوع نوسانات کوتاه مدت آب و هوایی و بدون روند معنی‌داری است.

شناسایی و بررسی سینوپتیکی حالت‌های فرین ویژگی‌های محیطی به‌ویژه بارش‌های فوق‌سنگین و گستردگی ابعاد خسارات آن‌ها پوشیده نیست و متأسفانه در ایران به لحاظ منطقه‌ای و در سطح حوضه بررسی علمی و جامعی صورت نگرفته است. موسوی (۱۳۸۷) در تحقیق خود نوسانات دما و بارش در منطقه شمال‌غرب ایران، رضائی‌بنفشه و همکاران (۱۳۸۹) به پیش‌بینی بارش پاییزه و زمستانه نیمه‌غربی ایران، غفاریان و همکاران (۱۳۸۹) در مورد تعیین ساختار الگوی همدیدی بارش فرین در شمال‌غرب ایران، یاراحمدی و مریانچی (۱۳۹۰) در تحلیلی که به الگوی دینامیکی و همدیدی بارش‌های سنگین در جنوب‌غرب خزر و غرب ایران پرداخته‌اند. با توجه به این‌که حوضه آب‌خیز دریاچه ارومیه از لحاظ کشاورزی و باغداری منطقه مستعد است، آشنایی کامل با مسائل و مشکلات متعدد ساکنان منطقه در ارتباط با پدیده‌های جوی غیرمعمول سبب شد تا در ارتباط با مخاطرات محیطی منطقه موضوع این تحقیق اختصاص

---

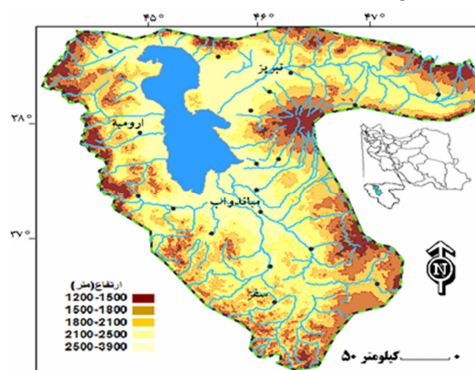
1. Kidron, G. and Plek  
2. Lana  
3. A. bendix and J. Bendix



داده شود. شناخت ابعاد مختلف بارش‌های فوق‌سنگین و اثرات آن بر سطح حوضه از دیدگاه اقلیم‌شناسی سینوپتیک در ترسیم راه‌حل‌های مقتضی در مواجهه با معضل یادشده بسیار اساسی و کارگشا خواهد بود. فرصت بیشتری را جهت برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری و اقدام پیشگیرانه فراهم می‌آورد. این تحقیق بر آن است که با استفاده از روش‌های تحلیل هم‌دید به بررسی وقوع بارش‌های فوق‌سنگین در حوضه آبخیز دریاچه ارومیه پرداخته و گامی در جهت شناخت الگوهای و کاهش خسارات ناشی از بارش‌های سیل‌آسا بردارد.

## ۲- منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز دریاچه ارومیه در شمال‌غربی ایران قرار گرفته و به‌وسیله بخش شمالی کوه‌های زاگرس و دامنه‌های کوه سبلان و نیز دامنه‌های شمالی، غربی و جنوبی کوه سهند احاطه شده است، شکل ۱. این حوضه بین مختصات جغرافیایی  $44^{\circ} 7'$  تا  $47^{\circ} 53'$  طول شرقی و  $35^{\circ} 40'$  تا  $30^{\circ} 30'$  عرض شمالی واقع شده، مساحت حوضه آبخیز دریاچه ارومیه  $51,866$  کیلومتر مربع است که حدود  $35,147$  کیلومتر آن را مناطق کوهستانی،  $9,569$  کیلومتر آن دشت و کوهپایه‌ها و  $7,150$  کیلومتر آن را دریاچه ارومیه تشکیل می‌دهد (شرکت مهندسی مشاور جاماب، ۲۱، ۱۳۷۷).



شکل ۱ نقشه موقعیت حوضه آبخیز دریاچه ارومیه در کشور

## ۳- مواد و روش‌ها

جهت بررسی و تعیین الگوهای هم‌دید تراز میانی جو مؤثر بر بارش‌های فوق‌سنگین غرب و

جنوب غرب حوضه آبخیز دریاچه ارومیه تعداد ۴ ایستگاه با مختصات و پراکندگی جدول ۱ انتخاب شدند. انتخاب ایستگاه‌های هواشناسی به گونه‌ای بوده که بتواند توزیع و پراکنش مناسبی را در سطح منطقه مورد نظر داشته و معرف مناسبی برای کل منطقه مورد مطالعه باشد. انتخاب ایستگاه‌های منتخب بر این اساس بوده که دارای میزان بارش مورد نظر بوده و همچنین از آمار بلند مدت برخوردار باشند. بر این اساس داده‌های بارش روزانه ایستگاه‌های منتخب از ایستگاه‌های همدید سازمان هواشناسی کشور با دوره طولانی مدت انتخاب شد.

جدول ۱ مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی همدید منطقه مورد مطالعه

نام ایستگاه	نوع ایستگاه	طول جغرافیایی E(درجه)	عرض جغرافیایی N(درجه)	ارتفاع از سطح دریا (متر)
ارومیه	سینوپتیک	۴۵/۰۵	۳۷/۵۲	۱۳۳۲
پیرانشهر	سینوپتیک	۴۵/۱۰	۳۷/۰۴	۱۸۴۰
سردشت	سینوپتیک	۴۵/۴۸	۳۷/۱۵	۱۴۸۰
مهاباد	سینوپتیک	۴۵/۷۴	۳۷/۷۶	۱۳۲۰

(منبع: اداره کل هواشناسی استان آذربایجان غربی)

#### ۴- مراحل تعیین الگوهای همدید

۴-۱- مهم‌ترین ابزار هر پژوهش جمع‌آوری و تنظیم داده‌ها و اطلاعات مناسب است. در این مطالعه برای تعیین روزهای بارش فوق‌سنگین منطقه، داده‌های روزانه بارش، به صورت فایل‌های متنی ایستگاه‌های مورد نظر، برای دوره آماری ۲۵ ساله از بخش خدمات ماشین سازمان هواشناسی تهیه شد؛ سپس جهت خلاصه‌سازی و استخراج داده‌های مورد نظر به محیط نرم افزار اکسل و SPSS انتقال داده شد.

۴-۲- داده‌های فشار سطح زمین و تراز ۵۰۰ هکتوباسکال برای روزهای بارش فوق‌سنگین از سایت [www.noaa.gov](http://www.noaa.gov) به صورت رقومی و با دقت ۲/۵ درجه استخراج شدند. محدوده مطالعه بین ۱۵- ۶۵ درجه عرض جغرافیایی شمالی و ۵- ۶۵ درجه طول جغرافیایی شرقی به صورت ماتریس ۲۵ ردیف در ۲۱ ستون تنظیم شده است.



۳-۴- پس از جمع‌آوری و تنظیم داده‌های مورد نیاز، روش آماری تحلیل عاملی<sup>۱</sup> و تکنیک خوشه‌بندی<sup>۲</sup> سلسله‌مراتبی<sup>۳</sup> وارد جهت طبقه‌بندی الگوهای همدید حاکم بر بارش‌های فوق‌سنگین سطح حوضه مورد استفاده قرار گرفت. هدف تحلیل عاملی توصیف مجموعه‌ای از  $P$  متغیر  $X_1, X_2, \dots, X_P$  با تعداد کمتری از شاخص‌ها یا عامل‌ها به منظور روشن کردن رابطه‌ای بین این متغیرهاست (فرشادفر، ۴۶۱، ۱۳۸۰). تجزیه و تحلیل عاملی تکنیکی آماری است که میان مجموعه‌ای فراوان از متغیرهایی به ظاهر بی‌ارتباط، رابطه‌ای خاص را تحت یک مدل فرضی برقرار می‌کند.

۴-۴- انتخاب تعداد خوشه‌ها؛ در این مرحله روزهای بارش فوق‌سنگین براساس نمرات عاملی و با استفاده از تکنیک خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی وارد در قالب نمودار درختی گروه‌بندی شدند. گونگ و ریچمن (۱۹۹۵) جهت بررسی و انتخاب مناسب‌ترین روش ترکیب خوشه‌ها در روش خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی با استفاده از ضریب همبستگی متغیر بارش تک‌تک ایستگاه‌های هر خوشه با میانگین همان خوشه نشان دادند که استفاده از روش وارد در اقلیم‌شناسی مناسب‌تر از سایر روش‌هاست. در نهایت با توجه به وجود تغییرات مکانی فشار در سطوح مختلف و تعداد مناسب تلاقی‌های شبکه داده‌های NCEP، روش درون‌یابی کریجینگ مناسب تشخیص داده شد. روش آماری کریجینگ برای مواقعی که تغییرات پارامتر مورد نظر از حیث مکانی زیاد باشد روش مناسبی است. البته در این روش به داده‌های به نسبت زیادی برای تهیه و ریوگرام‌ها نیاز است (مرادی و پروین، ۱۳۵، ۱۳۸۶). جهت بررسی و تحلیل الگوهای همدیدی حاکم بر روزهای بارش فوق‌سنگین نقشه مرکب ضخامت ۵۰۰ هکتوپاسکال، نقشه مرکب سرعت و جهت باد در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال و نقشه‌های فشار، رطوبت نسبی، نم و یژه و بارش سطح ۱۰۰۰ هکتوپاسکال اخذ و تحلیل همدیدی شدند.

## ۵- یافته‌های پژوهش

پس از اعمال تکنیک تجزیه عاملی بر ماتریس داده‌های تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال روزهای بارش فوق‌سنگین، سه عامل که در مجموع، ۹۲/۹ درصد از کل واریانس داده‌ها را تبیین می‌کردند، استخراج

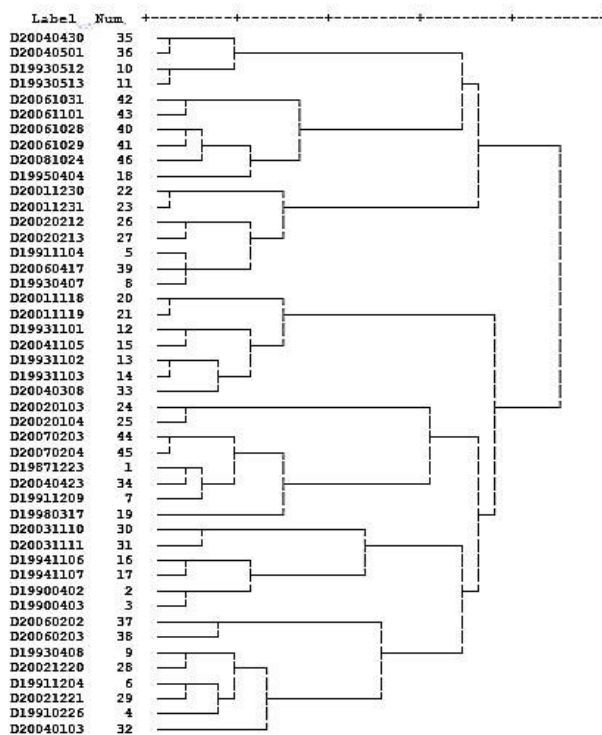
1. Component analysis
2. Factor analysis
3. Wards method

برنامه‌ریزی و آمایش فضا \_\_\_\_\_ دوره بیستم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۵

شدند. باقی عامل‌هایی را که ارزش ویژه آن‌ها کمتر از عدد یک بود و نتوانسته بودند بیشتر از یک درصد کل واریانس داده‌ها را تبیین کنند، کنار گذاشته شدند که براساس جدول ۲ محاسبه ماتریس کوواریانس به دست آمده برحسب اهمیت از بزرگ به کوچک را برای عامل‌ها نشان می‌دهد.

جدول ۲ محاسبه ماتریس کوواریانس

عامل	ارزش ویژه اولیه		
	کل واریانس	درصد واریانس	مقادیرتجمعی درصد واریانس
۱	۳۸/۶۰۶	۸۳/۹۲۷	۸۳/۹۲۷
۲	۲/۷۴۰	۵/۹۵۶	۸۹/۸۸۳
۳	۱/۳۹۰	۳/۰۲۲	۹۲/۹۰۶



شکل ۲ نمودار خوشه‌بندی براساس ۳ عامل و ۴۶ روز بارش فوق‌سنگین غرب و جنوب‌غرب حوضه آب‌خیز دریاچه ارومیه



بررسی اجمالی نقشه الگوهای به‌دست‌آمده حاکی از آن است که الگوهای یادشده را می‌توان در دو گروه اصلی زیر طبقه‌بندی کرد.

۱- تراف موج کوتاه

۲- سردچال جوی

تمامی اغتشاشات سطح بالای (الگوهای همدید) یادشده در داخل امواج بلند و کوتاه بادهای غربی شکل گرفته‌اند. توضیحات بیشتر هر کدام در ادامه به تفصیل آمده است.

## ۶- تحلیل الگوهای همدید

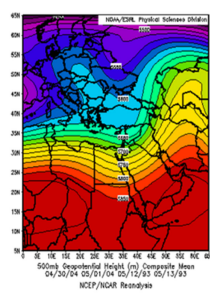
### ۶-۱- الگوی اول، فرود شرق مصر

براساس شکل ۳، از نقشه مرکب تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال پیداست، دو سامانه کم ارتفاع که نخستین و مؤثرترین سامانه تأثیرگذار بر بارش‌های فوق‌سنگین جنوب و جنوب‌غربی دریاچه ارومیه از شرق کشورهای اسکاندیناوی آغاز و تا نیمه شمالی کشور سودان ادامه دارد. محور سامانه مؤثر بر بارش‌های فوق‌سنگین منطقه به‌صورت خط عمود از عرض جغرافیای ۶۰ درجه شمالی تا ۱۸ درجه اطراف نصف‌النهار ۳۰ درجه طول شرقی گسترده شده است. کمینه و بیشینه ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال در این فرود، به ترتیب ۵,۵۵۰ و ۵,۸۰۰ متر و اختلاف ارتفاع آن به ۲۵۰ متر می‌رسد (شکل ۳-۱).

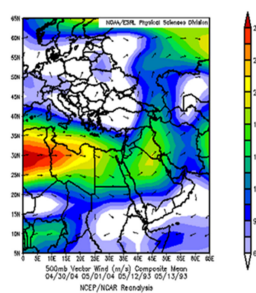
از نظر موقعیت جغرافیایی، منطقه غرب و جنوب‌غربی حوضه آب‌خیز دریاچه ارومیه در حد فاصل خطوط هم ارتفاع ۵,۶۵۰ تا ۵,۷۰۰ متر قرار گرفته است و در سمت راست فرود یادشده یعنی در قسمت وزش چرخندگی مثبت که سبب انبساط سطوح بالای جو و درنهایت صعود هوای نزدیک زمین قرار گرفته است. به‌طوری‌که بررسی بردار جهت و سرعت باد در سطوح میانی جو نشان می‌دهد که هسته رودباد جبهه قطبی بر جنوب کشور عراق واقع شده است. هسته مرکزی رودباد با سرعت ۲۱ متر بر ثانیه، از شمال دریای سرخ تا شمال غرب کشور با جهت جنوب‌غربی- شمال‌شرقی مستقر شده است. منطقه مورد مطالعه زیر قسمت خروجی رودباد، منطقه واگرایی جو بالا که به نوبه خود در سطح زمین هم‌گرایی و سیکلون‌زایی ایجاد می‌کند، قرار گرفته است. اثرات ناپایداری ناشی از چنین وضعیتی در سطح زمین به‌صورت صعود هوا و ایجاد بارش قابل مشاهده است، فرج‌زاده و همکاران (۱۳۸۴).



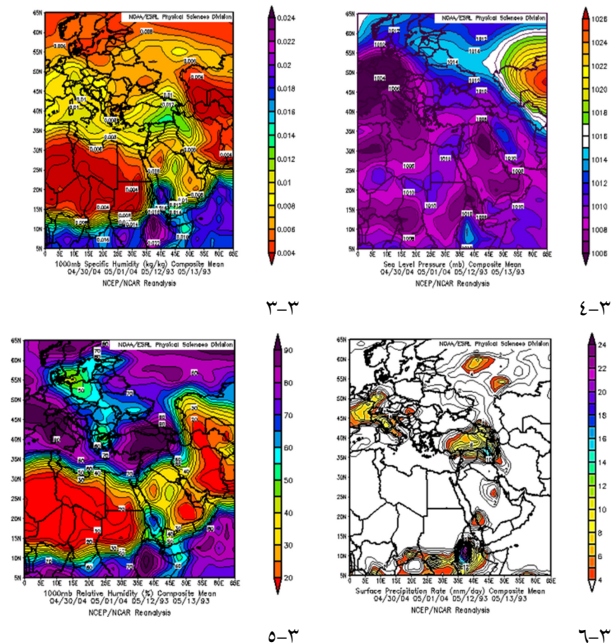
وزش بادهای غربی در شمال و شمال‌غرب جهت نصف‌النهاری به خود گرفته و جریان بادهای غربی در حد فاصل خطوط ارتفاع ۵,۷۰۰-۵,۶۵۰ متر هوای به نسبت سرد و مرطوب را از بالای دریای مدیترانه و تا حدودی دریای سرخ به منطقه مورد مطالعه پمپاژ می‌کند (شکل ۳-۳). با توجه به نقشه مرکب فشار سطح زمین (شکل ۳-۳) نحوه خاص آرایش استقرار سامانه پرفشاری با فشار مرکزی بیشتر از ۱,۰۲۶ میلی‌بار در شمال‌شرقی دریای خزر و یک سامانه کم‌فشار با فشار مرکزی کمتر از ۱۰۰۸ میلی‌بار بر کشور عراق، سبب ایجاد گرادیان شدید فشار شده و در هدایت رطوبت لایه‌های پایینی دریای مدیترانه به منطقه مورد مطالعه مساعدت کرده است. براساس بررسی نقشه مرکب رطوبت نسبی سطح زمین (شکل ۳-۴) یک هسته رطوبت نسبی در منطقه شمال‌غرب کشور قرار گرفته و با توجه به آن رطوبت نسبی منطقه به ۷۰-۹۰ درصد افزایش پیدا کرده، همچنین در نقشه مرکب نم ویژه سطح زمین میزان نم ویژه ۱۲/۰ کیلوگرم است (شکل ۳-۵). هم‌چنان که از نقشه مرکب بارش در سطح زمین (شکل ۳-۶) پیداست. یک هسته بیشینه بارش از جنوب‌شرق دریای سیاه تا شمال‌غربی دریای خزر گسترده شده است. بخش مرکزی این هسته با بارش متوسط بیش از ۱۴ میلی‌متر در شمال‌غربی ایران مستقر شده و کرانه غربی و شمال‌غربی را تحت تأثیر خود قرار داده است.



۱-۳



۲-۳



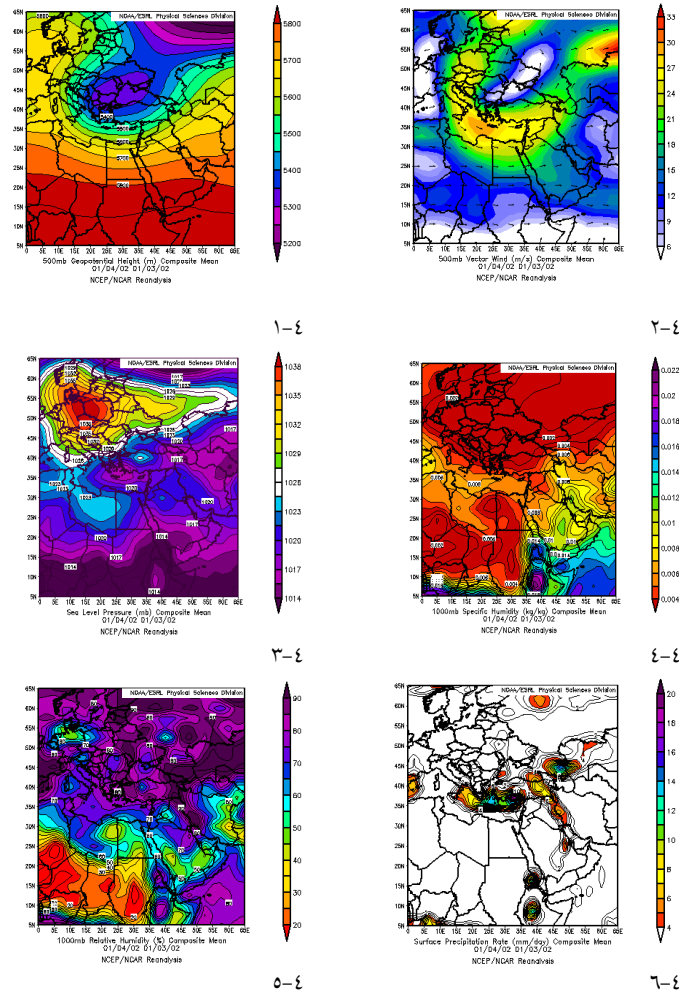
شکل ۳ نقشه مرکب الگوی اول، فراز موج کوتاه شمال دریاچه آرال

### ۲-۶- الگوی دوم، سردچال جوی دریای سیاه

با توجه به شکل ۴-۱، نقشه ارتفاع سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال الگوی دوم، یک بسته هوای سرد عرض‌های جغرافیایی بالایی، با عنوان سرد چال بالایی بر نیمه غربی دریای سیاه قرار گرفته است. در این الگو حاکمیت با سیستم همدید سردچال جوی است. این فرود بریده‌شده در اثر شدت وزش نصف‌النهاری بادهای غربی و عمیق‌تر شدن فرود موج کوتاه آن‌ها، در نهایت به صورت یک سلول کم ارتفاع با هسته مرکزی کمتر از ۵،۴۰۰ متر که امتداد آن از شمال دریای سیاه تا سواحل شمالی دریای مدیترانه، تبدیل شده است. از آنجا که ارتباط این فرود از جریان اصلی بادهای غربی مانند پیچان‌رود از رودخانه قطع شده است، در این حالت فرود عمیق بریده‌شده گردش سیکلونی پیدا کرده و به صورت گودالی از هوای سرد عرض جغرافیایی بالا درآمده و در داخل هوای گرم عرض پایین‌تر قرار گرفته است. در این صورت جریان اصلی بادهای غربی در شمال آن هم‌چنان به سوی شرق ادامه دارد، محور این فرود عمیق و کم ارتفاع

از عرض‌های بالای ۶۰ درجه تا سواحل شمال دریای مدیترانه گسترده شده، و مرکز این بسته هوای سرد عرض‌های جغرافیایی بالا در تلاقی ۴۰ درجه عرض شمالی و ۲۰ درجه طول شرقی است. کمینه و بیشینه ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در امتداد محور این فرود به ترتیب ۵,۷۵۰ و ۵,۴۰۰ متر و اختلاف ارتفاع آن ۳۵۰ متر است. این الگوی همدید در تراز بالا با حفظ گردش سیکلونی خود، سبب شده که در شرق خود جریان صعودی و در غرب آن جریان نزولی به وجود آید. از آنجا که غرب و جنوب غرب حوضه آب‌خیز دریاچه ارومیه در زیر نیمه راست منطقه تحت تأثیر قرار گرفته، سبب شده جریان صعودی هوای مرطوب دریای مدیترانه به منطقه کشیده و همراه آن بارش‌های خوبی در منطقه حاصل آمده است. منطقه مورد مطالعه در زیر خطوط هم ارتفاع ۵,۶۰۰ و ۵,۵۵۰ متر قرار گرفته است. با توجه به حاکمیت سردچال بالایی در زیر منطقه واگرایی بالایی، روزهای بارش در خوشه یادشده حاکی از الگوی فرود حرارتی دورشونده در منطقه مورد مطالعه است. در قسمت بالایی این فرود هوای سرد حاکم بوده است و در دامنه شرقی این الگو شکل‌گیری آنتی‌سیکلون و پایداری انتظار می‌رود. نقشه مرکب ۵۰۰ هکتوپاسکال باد نشان‌دهنده یک هسته رودباد با جهت شمال‌غربی - شمال‌شرقی که بر دریای مدیترانه، با هسته مرکزی سرعت بالای ۲۷ متر بر ثانیه مستقر است (شکل ۴-۲)، خطوط هم سرعت بالای ۲۰ متر بر ثانیه از روی منطقه مورد مطالعه می‌گذرد. از نظر موقعیت مکانی، منطقه مورد مطالعه در زیر منطقه واگرایی سطح بالا (نیمه راست خروجی) قرار دارد و اثرات ناپایداری ناشی از چنین موقعیتی به سطح زمین می‌رسد. براساس شکل ۴-۳ نقشه مرکب فشار سطح زمین، نحوه خاص آرایش سامانه پرفشار قوی بر جنوب کشورهای اسکانندیناوی، با هسته مرکزی ۱,۰۳۸ میلی‌بار و یک سامانه کم‌فشار وسیع با هسته مرکزی ۱,۰۱۵ میلی‌بار در شمال‌شرق ایران که خطوط هم‌فشار ۱,۰۲۰ میلی‌بار از روی منطقه مورد مطالعه می‌گذرد، سبب ایجاد گرادیان شدید فشار شده و در هدایت رطوبت لایه‌های پایینی دریای مدیترانه و دریای سرخ در راستای جهت شمال‌شرقی به منطقه مساعدت کرده است. در نقشه مرکب رطوبت نسبی سطح زمین (شکل ۴-۴) یک هسته رطوبت نسبی از سمت شمال و جنوب منطقه مورد مطالعه را تحت تأثیر قرار داده است. گستره عرض جغرافیایی آن از شمال کشور آذربایجان تا سواحل شمالی خلیج فارس که هسته مرکزی با رطوبت نسبی ۹۰ درصد امتداد یافته، و این مناطق را تحت تأثیر قرار داده است. براساس نقشه مرکب نم ویژه سطح زمین (شکل ۴-۵) میزان نم ویژه در منطقه به ۰/۰۰۷ کیلوگرم می‌رسد.

همچنان که از نقشه مرکب بارش (شکل ۴-۶) پیداست، یک هسته بیشینه بارش از شمال‌غرب تا جنوب‌غرب کشور قابل مشاهده است. بخش مرکزی این هسته، با بارش متوسط بیش از ۸ میلی‌متر در شمال‌غرب کشور مستقر شده و کرانه غربی و شمال‌غربی را تحت تأثیر خود قرار داده است.



شکل ۴ نقشه مرکب تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال روزهای بارش فوق‌سنگین واقع در الگوی دوم

## ۷- جمع‌بندی

با توجه به این‌که تغییرات زمانی و مکانی هوای روی زمین به‌طور مستقیم تحت تأثیر تغییرات فشار بوده الگوی فشار سبب تغییرات شرایط محیطی سطح زمین می‌شوند، داده‌های خام متوسط روزانه ارتفاع سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال وقوع بارش‌های فوق‌سنگین غرب و جنوب‌غرب حوضه آب‌خیز دریاچه ارومیه از سایت اینترنتی مرکز ملی پیش‌بینی محیطی و مرکز ملی تحقیقات هواشناسی (NCEP/NCAR) گردآوری شد.

براساس نتایج حاصل از انجام روش تحلیل عاملی ۵۲۵ متغیر مورد بررسی به ۳ عامل خلاصه و براساس عامل‌های به‌دست‌آمده، ۴۶ روز بارش فوق‌سنگین به ۸ الگوی هم‌دید در دو گروه اصلی زیر تقسیم شد.

سردچال جوی (در این الگو منطقه مورد مطالعه در زیر قسمت خروجی رودباد، یعنی منطقه واگرایی جو بالا که در سطح زمین هم‌گرایی و سیکلون‌زایی ایجاد می‌کند، قرار گرفته و اثرات ناپایداری ناشی از چنین وضعیتی در سطح زمین به‌صورت صعود هوا و ایجاد بارش قابل مشاهده است. فرود موج کوتاه، این الگوی هم‌دید در تراز بالا با حفظ گردش سیکلونی خود، سبب شده که در شرق خود جریان صعودی و در غرب آن جریان نزولی به وجود آید. از آن‌جا که غرب و جنوب‌غرب حوضه آب‌خیز دریاچه ارومیه در زیر نیمه راست منطقه تحت تأثیر قرار گرفته، جریان صعودی هوای مرطوب دریای مدیترانه به منطقه کشیده و همراه آن بارش‌های خوبی در منطقه حاصل شده، حاکم بوده است.

بررسی توزیع سالانه فراوانی بارش‌های فوق‌سنگین سطح حوضه طی دوره آماری ۱۳۹۰-۱۳۶۶ حاکی از آن است که بیشترین فراوانی نسبی وقوع بارش‌های فوق‌سنگین در اوایل دهه ۱۳۸۰ در منطقه ثبت شده است. به‌طوری‌که در این مقطع زمانی، تداوم و شدت فعالیت سیستم‌های هم‌دید در تمام منطقه بارش‌های فوق‌سنگین حاکم بوده است. با بررسی درخصوص نحوه توزیع فصلی بارش‌های فوق‌سنگین در سطح منطقه مورد مطالعه مشخص شد که بیشترین بارش‌های فوق‌سنگین در فصل پاییز (۴۱/۳ درصد) اتفاق افتاده است. این موضوع در مقایسه با توزیع فصلی بارش‌های منطقه مورد مطالعه قابل انتظار بود. پس از آن، فصل زمستان (۳۶/۹ درصد) در رتبه بعدی، فصل بهار با ۲۱/۸ درصد در رتبه سوم قرار دارد. در فصل تابستان



نیز هیچ‌گونه بارشی به ثبت نرسیده است. بررسی دیگر نشان می‌دهد که در دوره ۱۳۶۶-۱۳۹۰ منطقه مورد مطالعه در آبان‌ماه با فراوانی نسبی ۳۲/۶ درصد بیشترین بارش فوق‌سنگین را تجربه کرده و پس از آن به ترتیب بهمن‌ماه ۱۵/۲ درصد، دی‌ماه ۱۳/۰۵ درصد در رتبه بعدی قرار می‌گیرند. توزیع نسبی بارش‌های فوق‌سنگین منطقه مورد مطالعه را در مقیاس زمانی ماهانه نشان می‌دهد که دو ماه آبان و آذر به تنهایی ۴۱/۳ درصد از کل بارش‌های فوق‌سنگین را تجربه کرده و بیشترین ریسک بارش فوق‌سنگین را به خود اختصاص داده‌اند. به استثنای ماه‌های خشک خرداد، مهر و سه ماه فصل تابستان، ماه‌های آذر، اسفند و اردیبهشت کمترین ریسک بارش فوق‌سنگین را به خود اختصاص داده، بررسی تفصیلی فراوانی نسبی بارش‌های فوق‌سنگین در مقیاس زمانی کوتاه‌تر (۱۰ روزه) مشخص می‌کند که ۲۰/۸ درصد بارش فوق‌سنگین طی دو دهه دوم بهمن‌ماه و فروردین‌ماه اتفاق افتاده است. حدود ۲۹/۱ درصد تنها طی دهه اول و دوم آبان‌ماه رخ داده و طی دهه اول، دوم و سوم مهرماه، اول آذرماه، سوم دی‌ماه، اول بهمن‌ماه و اول فروردین‌ماه هیچ‌گونه بارش فوق‌سنگینی رخ نداده است. فصل پاییز به‌ویژه آبان‌ماه بالاترین درصد ریسک بارش فوق‌سنگین سطح منطقه مورد مطالعه را به خود اختصاص داده است.

به‌طور کلی نتیجه‌ای که از تحلیل الگوهای به‌دست‌آمده گرفته می‌شود، نشان می‌دهد سامانه‌هایی که سبب ریزش باران‌های سیل‌آسا در منطقه می‌شود، عمدتاً استقرار یک یا چند موج کوتاه در منطقه از شمال اروپا یا عرض‌های جغرافیایی بالا و حرکات صعودی سمت جلو این سیستم‌های همدید به همراه رودباد جبهه قطبی سبب ایجاد جو ناپایدار باروکلینیک در منطقه و هدایت سیستم‌های کم‌فشار از سمت دریا‌های مدیترانه، سرخ و سیاه از غرب و جنوب‌غربی ایران به سمت منطقه مورد مطالعه‌شده و در افت فشار و بروز بارش‌های فوق‌سنگین تعیین‌کننده است.

## ۸- منابع

- تقوی، فرحناز، محسن ناصری، بردیا بیات، سیدساجد متولیان و داود آزادی‌فرد، «تعیین الگوهای رفتار اقلیم در مناطق مختلف ایران براساس تحلیل طیفی و خوشه‌بندی مقادیر حدی بارش و دما»، نشریه پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، ش ۷۷، صص ۱۰۵-۱۲۰، ۱۳۹۰.

- حجازی‌زاده، زهرا، نادر پروین، «تحلیل سینوپتیکی دریاچه ارومیه»، رساله دکتری اقلیم‌شناسی، تهران، دانشگاه تربیت معلم، ۱۳۸۶.
- حجازی‌زاده، زهرا، نادر پروین، «بررسی تغییرات دما و بارش تهران طی نیم قرن اخیر»، فصل‌نامه جغرافیا و برنامه‌ریزی منطقه‌ای، پیش شماره اول، صص ۴۳-۵۶، ۱۳۸۸.
- جهانبخش، سعید و سیما ترابی، «بررسی و پیش‌بینی تغییرات دما و بارش در ایران»، فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی، ش ۷۴، صص ۱۰۲-۱۲۵، ۱۳۸۳.
- رضائی‌بنفشه، مجید؛ سعید جهانبخش، مریم بیاتی‌خطیبی و بتول زینالی، «پیش‌بینی بارش پاییزه و زمستانه نیمه‌غربی ایران»، نشریه پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، ش ۴، صص ۴۷-۶۲، ۱۳۸۹.
- شرکت آمار پردازان، «راهنمای کاربران SPSS 6.0 for Windows»، جلد دوم، تهران مرکز فرهنگی انتشاراتی حامی، ۵۳۳، ۱۳۷۷.
- طرح جامع آب کشور، «حوضه آب‌خیز دریاچه ارومیه»، شرکت مهندسین مشاور جاماب وابسته به وزارت نیرو، ۱۳۷۷.
- «طرح بررسی تهیه اطلس بلایای طبیعی استان آذربایجان غربی»، اداره تحقیقات هواشناسی کاربردی استان آذربایجان غربی، ۱۳۷۷.
- عساکره، حسین، «مدل سازی تغییرات مکانی عناصر اقلیمی»، فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی، شماره پیاپی ۷۴، صص ۲۱۳-۲۳۱، ۱۳۸۳.
- علیجانی، بهلول، «آب و هوای ایران»، انتشارات پیام نور، ۱۳۸۷.
- علیجانی، بهلول، «اقلیم‌شناسی سینوپتیک»، چاپ سوم، انتشارات سمت، ۱۳۸۸.
- غفاریان، حسنعلی و همکاران، «بررسی هم‌دید بارش در شمال‌غرب ایران»، نشریه پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، سال اول، ش ۳ و ۴، ۱۳۸۹.
- غیور، حسنعلی و همکاران، «تحلیل زمانی و مکانی رویدادهای بارش سواحل جنوبی خزر»، فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی، ش ۱۰۰، صص ۱۶۷۷۲-۱۶۸۰۲، ۱۳۹۰.
- فرج‌زاده‌اصل، منوچهر، حسن لشکری و اسداله خورانی، «تحلیل موقعیت رودباد در رابطه با سامانه های بارشی غرب کشور»، فصل‌نامه مدرس علوم انسانی ویژه جغرافیا، بهار ۱۳۸۶، صص ۲۳۹-۲۵۶، ۱۳۸۴.



- فلاح‌قاهری، غلامعباس، محمد موسوی‌بایگی، مجید حبیبی‌نوخندان، «پیش‌بینی بارش فصلی براساس الگوهای سینوپتیکی با استفاده از سیستم استنباط فازی-عصبی تطبیق (ANFIS)»، نشریه پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، ش ۶۶، صص ۱۲۱-۱۳۹، ۱۳۸۷.
- فرشادفر، عزت‌اله، «اصول و روش‌های آماری چند متغیره»، کرمانشاه، انتشارات طاق بستان، ۱۳۸۰، ۴۶۱.
- لشکری، حسن، «مسیریابی سامانه کم فشار سودانی ورودی به ایران»، مجله مدرس، ۱۳۸۱.
- مرادی، اسحق، نادر پروین، «پتانسیل‌سنجی انرژی خورشیدی و باد در استان قم»، طرح تحقیقات کاربردی سازمان مدیریت و برنامه ریزی استان قم، ۱۳۵، ۱۳۸۶.
- مرکز آمار ایران، ۱۳۸۵.
- یاراحمدی، داریوش، زهره مریانجی، «تحلیل الگوهای دینامیکی و همدید بارش‌های سنگین در جنوب‌غرب خزر و غرب ایران»، نشریه پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، ش ۷۶، صص ۱۲۰-۱۰۵، ۱۳۹۰.
- میرموسوی، سیدحسن، «مطالعه نوسانات دما و بارش سالانه در منطقه شمال‌غرب ایران»، نشریه پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، ش ۶۶، صص ۸۷-۱۰۰، ۱۳۸۷.
- Lana, A. & J. Campins, A. Genoves, & A. Jansa, "Atmospheric Patterns for Heavy Rain Events in the Balearic Island", *Advances in Geosciences*, 2007.
- Kdron, G. & K. Plek, "The Limited Role of Localized Convection Storms in Run off Production in the Western Negev Desert", *Journal of Hydrology*, Vol. 229, pp. 281-289, 2000.
- Klein, W. H., "Winter Precipitation as Related to 700 mb Circulation", *Bull. Amer. Met. S. and Alpert*, pp. 439-453, 1948.
- Haylock, M. & N. Nickolls, "Trends in Extreme Rainfall Indices for an Updated High Quality Data Set for Australia, 1910-1998", *International Journal of Climatology*, No. 20, pp. 133-1541, 2000.
- Gong, X. & M. B. Richman, "On the Application of Cluster Analysis to Growing Season Precipitation Data in North American East of the Rockies", *Journal of Climate*, No. 8, pp. 897-904, 1999.
- Hirschboeck, K. K., "Catastrophic Flooding and Atmospheric Circulation



- Anomalies”, in *L. Mayers and D. Nash (Eds), Catastrophic Flooding. The Birghamton Symposia in Geomorphology: International Series*, No. 18, London: Allen and Unwin, 1987.
- Bendix, A. & J. Bendix, “Heavy Rainfall Episodes in Ecuador during El Nino Events and Associated Regional”, *Atmospheric Circulation and SST Patterns, Advances in Geosciences*, 2006.
  - Shen, S., “Global Warming Science and Policy: Progress 2002-2003”, *Proceedings of 14th Global Warming International Conference and Expo*, pp. 7-18, 24-30 may, Boston. USA, 2003.
  - Esteban, P., F. D. Jones, J. Martin-Vide & M. Mases, “Atmospheric Circulation Patterns Related to Heavy Snowfall Days in Andora, Pyrenees”, *International Journal of Climatology*, No. 25, pp. 319-329, 2005.
  - NOAA.gov/psd/data/composites/day