

## synoptic analysis of precipitation and Widespread spring thunderstorm in North - West Iran

Mohammad Saleh Gerami<sup>1</sup>, Mostafa Karimi<sup>2\*</sup>, Ghasem Azizi<sup>3</sup>, Somayeh Rafati Alashti<sup>4</sup>.

1- PhD student of Climatology, University of Tehran, Tehran, Iran

2- Assistant Professor Department of Physical Geography, University of Tehran, Tehran, Iran

3- Professor Department of Physical Geography, University of Tehran, Tehran, Iran

4- Assistant Professor Department of Geography, Seyed Jamaluddin Asadabadi University, Asadabad, Iran

Received: 27 December 2021

Accepted: 26 April 2022

### Extended Abstract

#### Introduction

Identifying pressure patterns during thunderstorms and Widespread precipitation is important. One of the methods of studying the climate of a region is the study of atmospheric phenomena in relation to the pressure pattern prevailing in that region. Classification of atmospheric patterns is a useful tool for managing a huge and unlimited continuity of atmospheric patterns. Classifications by identifying a number of representative patterns called moment patterns, simplify the physical reality of the atmosphere. One of the purposes of synoptic classifications is to help describe the effects of atmospheric circulation on the surface climate, which is the main task of synoptic climatology. In this paper, atmospheric pressure patterns are studied using factor analysis method. Then, by drawing synoptic maps of each pattern, the characteristics of the desired pattern were examined.

#### Methodology

The present study investigates the recognition of prevailing atmospheric patterns during precipitation and Widespread thunderstorms in northwestern Iran. To conduct this research, first rainfall and thunderstorm data were received daily from 18 synoptic stations with a common statistical period of 20 years (1993-1992) from the Meteorological Organization. Then, to determine the selected days, the days that were reported in 5 stations and more rain and thunderstorms were selected. Then 108 days were selected by principal component analysis (PCA). Six components out of the total components that explain more than 73% of the total variance were selected for the next analysis. Then, using Euclidean distance and ward's method, a cluster analysis on the matrix, Factor scores were performed. Then the clustering tree was drawn and the observations were divided into 5 clusters. To analyze the atmosphere in the obtained patterns, re-analyzed data were prepared with a resolution of 2.5 \* 2.5 degrees from the National Center for Environmental Prediction and Atmospheric Research, USA (NCEP / NCAR). Using these data, synoptic maps in each pattern were drawn and analyzed.

#### Results and discussion

Investigations showed no compression patterns with Widespread thunderstorms in March. Because this month has winter features, extensive local climbs are less common this month. Therefore, Widespread thunderstorms in this month and other cold months of the year are considered a random phenomenon. It can also be said that hot and cold fronts can not create Widespread thunderstorms

---

\* Corresponding Author (Email: Mostafakarimi.a@ut.ac.ir)

without local thermal rise. In other words, in summer due to lack of sufficient humidity and in cold seasons due to lack of surface heating we do not see the occurrence of Widespread thunderstorms.

At the time of the occurrence of rains and Widespread thunderstorms in northwestern Iran, It is often located at the 500 hpa level of Trough in central Iraq to the eastern Mediterranean. Differences in the location, depth and extent of this trough have caused the patterns to differ from each other, resulting in differences in the occurrence of atmospheric events in the study area. In this study, pattern three had the highest number of events compared to the 5 extracted patterns. Patterns that are limited to April and the cold days of May are more widespread. Also, patterns that occur limited to June and hot days in May are less widespread. In the Deep trough and minor Trough pattern, the precipitation is mostly influenced by local moisture sources and moisture sources close to the study area (such as the Caspian Sea). Also, in these patterns, the sources of moisture in the lower levels of the atmosphere play a greater role in the occurrence of precipitation. At the time of the Deep Trough and Minor Trough patterns, it is the combination of western systems with local ascent that creates Widespread precipitation. These patterns are limited to May and June. During these months, the ground receives the energy it needs to climb locally. The integration of the local ascent with the western system strengthens it and creates Widespread thunderstorms and rainstorms.

In patterns closed low, blocking , the Eastern Mediterranean Trough, the Red Sea and the Mediterranean Sea are the most important sources of moisture, respectively. In the mentioned patterns, moisture sources at the levels of 700 and 500 hPa play the most important role in creating Widespread precipitation. During the occurrence of closed low, blocking and trough patterns in the eastern Mediterranean, the surface temperature decreases and the role of western systems becomes more prominent. From pattern one to pattern five, the surface temperature decreases, respectively. In the Deep Trough and Minor Trough patterns, the study area experiences a temperature of 295 degrees Kelvin. In the closed low pattern, a temperature of 287 degrees Kelvin is observed in the northern half of the study area; But in the blocking pattern, the temperature of 287 is transferred to the more southern parts. In the Trough pattern of the eastern Mediterranean, the temperature of 283 degrees Kelvin is seen in the northern parts of the study area. In other words, from model one to five in the study area, the surface temperature decreases and from one model to another, the surface temperature decreases. As a result, with decreasing temperature, the effect of local ascent compared to the first and second patterns has decreased and it can be said that a significant part of thunderstorms in addition to local ascent, is affected by the front systems passing through northwestern Iran; But fronts alone cannot create widespread thunderstorms without integrating with local thermal rise.

## **Concl usi on**

The result was that the closed low pattern had the highest and the Deep trough pattern had the lowest repetition. Deep trough and minor trough patterns have less geographical extent than other patterns. When occur patterns closed low, blocking and trough eastern Mediterranean, the study area experiences a lower surface temperature. Also, precipitation is more extensive in these patterns and the maximum vertical air flow is observed at the level of 700 and 500 hPa. Widespread thunderstorms are more likely to occur in the spring. In winter, due to the lack of surface heating, we do not see Widespread storms. In hot seasons, too, Widespread thunderstorms cannot occur due to lack of moisture. In other words, Widespread thunderstorms in northwestern Iran occur when a local ascent is combined with a dynamic ascent resulting from the passage of a low-pressure system through the study area.

**Keywords:** Pressure pattern, Convective precipitation, Thunderstorm, Factor Analysis, Northwest of Iran.

## تحلیل هم‌دیدگی بارش‌های همراه با طوفان تندری فراگیر بهاره در شمال غرب ایران

محمد صالح گرامی - دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، دانشگاه تهران، تهران، ایران  
مصطفی کریمی<sup>۱</sup> - استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران  
قاسم عزیزی - استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران  
سمیه رفعتی آلاشتی - استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه سیدجمال‌الدین اسدآبادی، اسدآباد، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۰۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۰۶

### چکیده

به‌منظور شناسایی الگوی فشار در زمان رخداد بارش‌های همراه با طوفان تندری فراگیر، ۱۸ ایستگاه واقع در شمال غرب ایران طی دوره ۱۹۹۳-۲۰۱۲ بررسی شد. برای به‌دست‌آوردن روزهای منتخب شاخص‌هایی قرار داده شد. ۱۰۸ روزی که دارای شاخص‌های موردنظر بودند انتخاب شدند و برای تحلیل آماری داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال آن‌ها از سایت مرکز ملی پیش‌بینی محیطی (Ncep/Ncar) اخذ شد و با استفاده از تحلیل عاملی نمرات عامل‌ها مشخص شد و خوشه‌بندی داده‌ها با روش تحلیل سلسله‌مراتبی و ادغام Ward انجام شد. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که به‌هنگام وقوع بارش‌هایی همراه با طوفان تندری فراگیر پنج الگو منطقه‌مورد مطالعه را تحت تأثیر قرار می‌دهد و عامل گستردگی طوفان‌های تندری ترکیب الگوهای هم‌دیدگی با صعود محلی است. در این پژوهش الگوی کم‌ارتفاع بسته‌بیشترین و الگوی ناوه عمیق کمترین تکرار را داشتند. الگوی ناوه عمیق و ناوه ضعیف نسبت به سایر الگوها از گستردگی جغرافیایی کمتری برخوردارند و در زمان رخداد آن، منطقه‌مورد مطالعه دمای سطحی بیشتری را تجربه می‌کند. در این دو الگو بیشینه جریان قائم هوا در تراز زیرین قابل مشاهده است. همچنین، دریای خزر در تأمین رطوبت ترازهای زیرین نقش ایفا می‌کند. هنگام رخداد الگوهای کم‌ارتفاع بسته، بندال و ناوه شرق مدیترانه، منطقه‌مورد مطالعه دمای سطحی کمتری را تجربه می‌کند. همچنین، بیشینه جریان قائم هوا در تراز میانی مشاهده شده است. رطوبت در این الگوها بیشتر از منابع دریای سرخ و دریای مدیترانه تأمین می‌شود.

واژگان کلیدی: الگوی فشار، بارش بهاره، بارش هم‌رفتی، تحلیل عاملی، شمال غرب ایران، طوفان تندری.

### مقدمه

بارش مهم‌ترین پدیده جوی است که مطالعات گسترده‌ای درباره عوامل ایجاد آن انجام شده است. در هر مکانی، بارش زمانی اتفاق می‌افتد که رطوبت و عامل صعود فراهم باشد. هر دوی این شرایط به وسیله الگوهای گردشی فراهم می‌شوند (رضایی بنفشه و همکاران، ۲۰۱۵: ۱۳۵). محدوده شمال غرب ایران، با توجه به موقعیت جغرافیایی‌اش، جزو مناطقی است که تحت تأثیر انواع مختلفی از سامانه‌های جوی همچون کم‌فشار مدیترانه (علیجانی، ۱۹۹۸: ۲۱؛ ذوالفقاری، ۲۰۱۳: ۵۳)، چرخند سودانی (علیجانی، ۱۳۹۱: ۵۵)، و واچرخند مهاجر مستقر بر روی دریای سیاه است (گرامی، ۲۰۱۶: ۳۲). همچنین، به دلیل وجود ارتفاعات متعدد در این منطقه، علاوه بر سامانه‌های فشاری منطقه‌ای، ویژگی‌های محلی نیز در اقلیم منطقه اثرگذار است. طوفان‌های تندری از خصوصیات اقلیم بهاره منطقه شمال غرب ایران‌اند و از دلایل ایجاد آن می‌توان به گرم‌شدن سطح زمین و در نتیجه صعود سریع توده هوا اشاره کرد (عزیزی و همکاران، ۲۰۱۷: ۲۴۳). الگوهای گردش مقیاس همدیدی در هر منطقه جغرافیایی می‌تواند تحت تأثیر ویژگی‌های جغرافیایی مقیاس محلی قرار گیرد؛ به طوری که اگر ویژگی جغرافیایی با الگوهای گردش مقیاس همدیدی هماهنگی داشته باشند، تأثیر الگوهای مقیاس همدیدی تشدید می‌شود و در صورتی که این هماهنگی وجود نداشته باشد، اثر الگوهای همدیدی تضعیف می‌شود یا از بین می‌رود (گرامی، ۲۰۱۶: ۵۵). آن‌چنان که گفته شد، ترکیب الگوهای همدیدی با ویژگی‌های محلی در شمال غرب کشور موجب تشدید بارش و طوفان‌های تندری بهاره شده است. این ترکیب پُر قدرت هر ساله زیان‌های جبران‌ناپذیری به منافع انسان، از جمله باغات و زمین‌های کشاورزی و دام‌ها، می‌زند. شناخت شرایط همدیدی الگوهای فشار ایجادکننده بارش‌ها و طوفان‌های تندری فراگیر در شمال غرب کشور، همچنین بررسی فراوانی و شرایط تکوین آن‌ها در فصل بهار می‌تواند در پیش‌بینی و آمادگی جهت مواجهه با آن اثرگذار باشد. بنابراین، مطالعه الگوهای فشاری منطقه و طبقه‌بندی آن از اهمیت بالایی برخوردار است.

یکی از روش‌های مطالعه اقلیم یک منطقه مطالعه پدیده‌های جوی در ارتباط با الگوی فشاری حاکم بر آن منطقه است. طبقه‌بندی الگوهای گردش جوی (که به آن طبقه‌بندی‌های سینوپتیک نیز گفته می‌شود) ابزار مفیدی برای مدیریت یک تراوم عظیم و بی‌حد و حصر از الگوهای گردش جوی هستند (هوٹ و همکاران، ۲۰۱۶: ۲۷۱۰). طبقه‌بندی‌ها با شناسایی تعدادی از الگوهای نماینده، که الگوهای لحظه‌ای به آن‌ها اختصاص داده شده است، واقعیت فیزیکی را ساده می‌کنند (هوٹ و همکاران، ۲۰۰۸: ۱۰۵). یکی از اهداف طبقه‌بندی‌های سینوپتیک کمک به توصیف اثرات گردش جو بر آب‌وهوای سطحی است که وظیفه اصلی اقلیم‌شناسی سینوپتیک محسوب می‌شود (به‌عنوان مثال، یارنال، ۱۹۹۳: ۱۹۵؛ بری و کارلتون، ۲۰۱۳: ۷۵؛ یارنال و همکاران، ۲۰۰۱: ۱۹۲۳).

تاکنون مطالعات زیادی (در ایران و جهان) در خصوص طبقه‌بندی الگوهای فشار و ارتباط آن با بارش انجام گرفته است (رضیئی و همکاران، ۲۰۱۲: ۱۰۵۶؛ رفیعیایی و همکاران، ۲۰۱۴: ۳۵؛ جلالی و همکاران، ۲۰۱۹: ۳۷). با این حال، مطالعه الگوهای فشاری محدود به بارش نبوده و بلکه در ارتباط با رعدوبرق (پیندا و همکاران، ۲۰۱۵: ۴۶۹؛ راموس و همکاران، ۲۰۱۷: ۸۴)، طوفان باد شدید (کاسانو و همکاران، ۲۰۱۰: ۸۳؛ دونات و همکاران، ۲۰۱۵: ۱۲۸۹)، خشک‌سالی (فلگ و همکاران، ۲۰۱۶: ۵۰۷)، سیل (دایان و همکاران، ۲۰۱۲: ۶۸۱؛ حجازی‌زاده و همکاران، ۲۰۰۸: ۱۲۵؛ رضایی بنفشه و همکاران، ۲۰۱۵: ۱۳۵)، بارش برف و بهمن (بدنورز، ۲۰۰۸: ۳۹؛ گارسیا و همکاران، ۲۰۰۹: ۱۰۶؛ شکبیا و همکاران، ۲۰۱۶: ۸۷)، آلاینده‌های جوی و انتقال گردوغبار (لیکودیس و همکاران، ۲۰۱۴: ۵۳۰؛ گیتانی و همکاران، ۲۰۱۶: ۱۲۳؛ فتاحی و قناد، ۲۰۱۱: ۴۹؛ محمدپور و همکاران، ۲۰۲۱: ۱۰۵۶۸۲)، آتش‌سوزی جنگل‌ها (کاسومینوس، ۲۰۱۰: ۵۴۴؛ رازیلا و همکاران، ۲۰۱۰: ۵۵۳) و موارد دیگر نیز بوده است.

بارش‌های فراگیر تحت تأثیر سامانه‌های هم‌دیدگی هستند. اما طوفان‌های تندری آن‌چنان‌که وابسته به سامانه‌های هم‌دیدگی هستند به خصوصیات محلی نیز وابستگی دارند. تحقیقات نشان داده این طوفان‌ها تابعی از جریان‌های مقیاس بزرگ غالب در مناطق مختلف جهان‌اند (لریکوس و همکاران، ۲۰۰۲: ۸۳؛ چانگنون، ۲۰۰۱: ۴۸۹). به‌عنوان مثال، در فلوریدای مرکزی لوپز و هول (۱۹۹۹) دریافتند که طوفان‌های تندری ارتباط معناداری با جریان‌های سطح پایین‌جو دارند و لریکوس و همکاران نیز دریافتند برخی از الگوهای جریان بیشتر از سایر الگوها در وقوع طوفان‌های تندری مؤثرند. در اروپا هاگن و فینکه (۲۰۰۰) طوفان‌های تندری در آلمان را با الگوهای آب‌وهوایی بر اساس طبقه‌بندی جریان در سطوح پایین مرتبط دانسته‌اند. برخی نیز بر آن‌اند که فرایندهای هم‌رفتی نیز می‌توانند با سامانه‌های هم‌دیدگی همراه باشند و طوفان‌های تندری را تشدید کنند (توماس و همکاران، ۲۰۰۴: ۱۰۹).

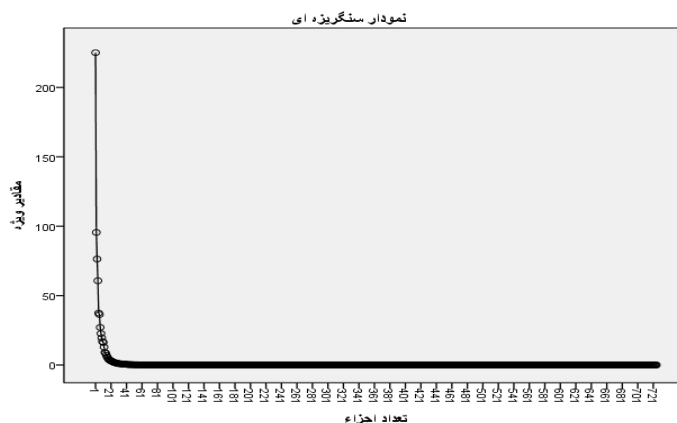
روند طوفان‌های تندری در ایران رو به افزایش است و می‌توان گفت شمال غرب ایران نیز از این قضیه مستثنا نیست (مجرد و همکاران، ۲۰۱۸: ۴۸). در شمال غرب ایران ناپایداری‌های بهاری از یک سو متأثر از شرایط محلی است و از سوی دیگر ناشی از سامانه‌های غربی است (جلالی و کمریان، ۲۰۱۸: ۴۱). در مطالعات صورت‌گرفته در شمال غرب نیز الگوهای ترکیبی از عوامل ایجاد بارش‌های فراگیر بهاره معرفی شده‌اند (گرامی و همکاران، ۲۰۱۶: ۲۸). همچنین، نواحی بیشینه طوفان‌های تندری نیز منطبق بر حاشیه جنوبی بادهای غربی عبوری بر روی شمال غرب ایران است و بیشتر منابع رطوبتی نیز توسط این بادهای تأمین می‌شود (عزیزی و همکاران، ۲۰۱۷: ۲۴۳). علت وجود بیشینه طوفان‌های تندری بهاره نسبت به فصول دیگر وجود بادهای غربی و امکان ورود رطوبت دریای مدیترانه و شرایط جغرافیایی و محلی منطقه مورد مطالعه است (علیجانی، ۱۳۹۱: ۸۲). بسیاری از طوفان‌های تندری بر بستر سامانه‌های هم‌دیدگی بوده و جبهه‌ها در رخداد آن اثر زیادی دارند (قویدل رحیمی، ۲۰۱۱: ۱۸۲).

شمال غرب ایران بیشترین طوفان‌های تندری سالانه ایران را دریافت می‌کند (عزیزی و همکاران، ۲۰۱۷: ۲۴۳). این طوفان‌ها گاهی به‌صورت محلی ایجاد شده و گاهی تحت تأثیر سامانه‌های غربی یا به‌صورت ترکیبی ایجاد می‌شود. با توجه به اینکه رخداد طوفان‌های تندری هر ساله موجب ایجاد خسارت‌های فراوانی در منطقه مورد مطالعه می‌شود، بررسی وضعیت فراگیر این پدیده ضروری به‌نظر می‌رسد. پژوهش‌های فوق‌نشان داد تعیین الگوی فشار در زمان بارش و طوفان تندری فراگیر در کمتر مطالعه‌ای بررسی شده است. بنابراین، هدف اصلی از این تحقیق شناسایی الگوهای فشاری است که موجب ایجاد طوفان‌های تندری فراگیر و در نتیجه ایجاد خسارت‌های مالی و جانی در منطقه شمال غرب ایران شده است.

## روش پژوهش

در مطالعه حاضر به بررسی شناخت الگوهای جوی حاکم در هنگام وقوع بارش و طوفان‌های تندری فراگیر شمال غرب کشور پرداخته شده است. به این منظور، از روش هم‌دیدگی محیطی به‌گرددش به‌عنوان رهیافت اولیه مطالعه استفاده شد (بارنال، ۱۹۹۳؛ علیجانی، ۱۳۸۱). نخست داده‌های بارش و طوفان تندری روزانه ۱۸ ایستگاه سینوپتیک، که طول دوره آماری مشترک بیست‌ساله داشتند (۱۹۹۳-۲۰۱۲)، از سازمان هواشناسی کشور دریافت شد (شکل ۱). در ادامه برای تعیین روزهای منتخب شاخص‌هایی تعیین و بدین ترتیب روزهای مطالعه از کل دوره آماری جدا شد. روزهای انتخابی دارای ویژگی‌های زیر است: الف) در بیش از پنج ایستگاه بارش (بیش از یک میلی‌متر) گزارش شده باشد. ب) حداقل سه ایستگاه دارای بارش رگباری باشد (کدهای پدیده ۸۰ تا ۸۲). ج) حداقل در پنج ایستگاه طوفان تندری گزارش شده باشد (کدهای پدیده ۹۵ تا ۹۹). برای به‌دست‌آوردن الگوهای جوی، از میان همه روزها، روزهایی که دارای شاخص‌های فوق بودند، تعداد ۱۰۸ روز انتخاب و برای تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) انتخاب شدند. این

روش آماری در سال ۱۹۵۰ توسط لورنز (۲۰۰۸) در پژوهش‌های اقلیمی وارد شد. تحلیل مؤلفه‌های اصلی یکی از انواع روش‌های تحلیل داده‌های چندمتغیره است که هدف اصلی آن تقلیل بُعد مسئله مطالعه است. با استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی می‌توان تعداد زیادی متغیر توضیحی (متغیر مستقل) همبسته را با تعداد محدودی متغیر توضیحی جدید، که مؤلفه اصلی نامیده می‌شوند و ناهمبسته‌اند، جای‌گزین کرد. به این ترتیب، نه تنها بُعد مسئله تقلیل می‌یابد، بلکه مشکل چند هم‌خطی پیش نمی‌آید (دوستان و میردربکوندی، ۲۰۱۵: ۱۰). در این کار مطالعاتی با به‌کارگیری و انجام‌دادن روش تحلیل مؤلفه اصلی با آرایه S که برای طبقه‌بندی الگوهای فشار مناسب‌تر است با استفاده از داده‌های فشار تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ماتریسی به ابعاد  $725 \times 108$  تهیه شد. در این حالت تعداد روزها، ردیف‌ها، و یاخته‌ها ستون‌های ماتریس را تشکیل می‌دهند. ابعاد این ماتریس  $725 \times 108$  بوده که عرض آن تعداد روزها و طول آن مقدار ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال را در ۷۲۵ یاخته نشان می‌دهد. برای کاهش پیچیدگی داده‌ها و استخراج حالت‌های عمده و اصلی با استفاده از آزمون غربالی (شکل ۱) مقادیر ارزش ویژه مؤلفه‌ها در برابر تعداد مؤلفه‌های روی نمودار برده شد. از روی خط تغییر شیب این نمودار می‌توان درباره تعداد مؤلفه‌هایی که باید بررسی کرد تصمیم گرفت (ویلیکس، ۲۰۱۱: ۴۳). شش مؤلفه از مجموع مؤلفه‌هایی که بیش از ۷۳ درصد از کل واریانس را توجیه می‌کنند برای تحلیل بعدی انتخاب شدند.

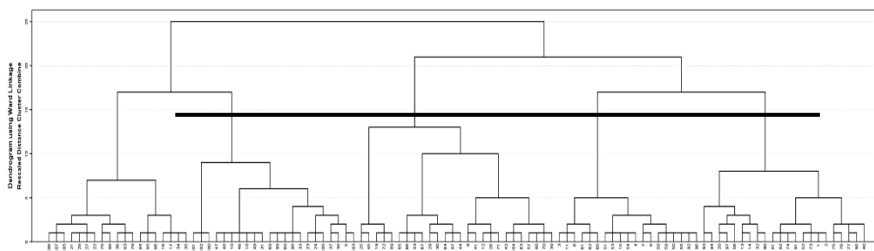


شکل شماره ۱. نمودار غربالی تحلیل مؤلفه‌های اصلی بر روی داده‌های تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

جدول شماره ۱. درصد واریانس توضیح داده‌شده برای مؤلفه‌های انتخابی

مؤلفه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	مجموع
واریانس	۳۱	۱۳،۱۶	۱۰،۵۳	۸،۳۷	۵،۱۶	۵	۷۳،۲۵
واریانس تجمعی	۳۱	۴۴،۲	۵۴،۷۳	۶۳،۱	۶۸،۲۶	۷۳،۲۵	۷۳،۲۵

سپس، با استفاده از فاصله اقلیدسی و روش ward's یک تحلیل خوشه‌ای بر روی ماتریس و نمرات عاملی (شش عامل) انجام شد. هدف اصلی از خوشه‌بندی کاهش واریانس درون‌گروهی و افزایش واریانس بین‌گروهی است. فرایند خوشه‌بندی همه مشاهدات را به تناسب اندازه فاصله آن‌ها گروه‌بندی می‌کند؛ بدین صورت که نخست مشاهدات نزدیک با هم ادغام و در مرحله بعد مشاهدات یا همان خوشه‌های نزدیک‌تر بعدی با هم ادغام می‌شوند (علیجانی، ۱۳۸۱:). در ادامه درخت خوشه‌بندی ترسیم شد و مشاهدات در پنج خوشه قرار گرفت. در این طرح‌واره ۱۰۸ متغیر به پنج عامل، که بیش از ۷۳ درصد از واریانس را تبیین می‌کنند، ادغام شدند. جدول ۱ تعداد و مقدار واریانس تبیین‌شده هر مؤلفه را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، مؤلفه اول با  $31/4$  درصد در بین سایر مؤلفه‌ها بیشترین مقدار تبیین را داشته است.

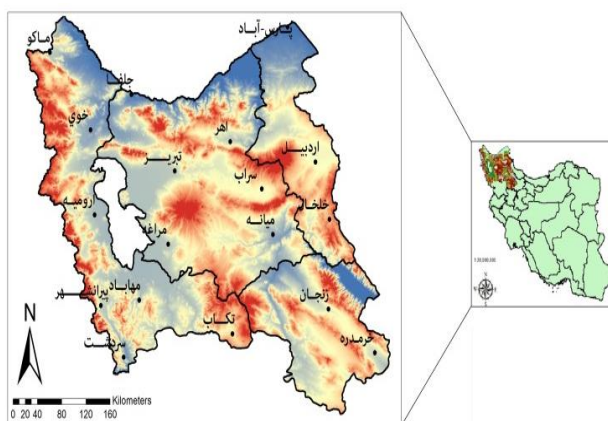


شکل شماره ۲. نمودار درختی و خوشه‌های به‌دست‌آمده از روزهای بارشی

برای بررسی وضعیت جو در روزهایی که طوفان تندری فراگیر در محدوده مورد مطالعه رخ داده است (۱۰۸ روز) داده‌های دوباره تحلیل شده با تفکیک  $2.5 \times 2.5$  درجه از مرکز ملی پیش‌بینی محیطی آمریکا (NCEP/NCAR) تهیه شد. داده‌ها شامل ارتفاع ژئوپتانسیل، دما، مؤلفه بادمداری (U) و باد نصف‌النهاری (V)، سرعت قائم هوا (omega) و نم و ویژه به‌صورت روزانه است. همچنین، از داده‌های مدل اروپایی ERA5 برای بررسی مقدار بارش در منطقه شمال غرب ایران استفاده شد. برای هر الگو شش نقشه آورده شد: ۱. دمای هوای تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال؛ ۲. ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ و تاوایی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال؛ ۳. نقشه ترکیبی رطوبت و ویژه به همراه جریان هوا تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال؛ ۴. جریان قائم هوا ترازهای ۱۰۰۰ تا ۲۵۰ هکتوپاسکال؛ ۵. وزش رطوبت به همراه بردارهای باد تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال؛ ۶. نقشه میانگین بارش. ذکر این نکته لازم است که در بررسی نقشه‌های وزش رطوبت، نم و ویژه، و جریان باد وضعیت ترازهای ۱۰۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال بررسی شد که به دلیل حجم بالای نقشه‌ها در مقاله حاضر آورده نشده است.

### محدوده مورد مطالعه

در این تحقیق شمال غرب ایران شامل استان‌های زنجان، اردبیل، و آذربایجان شرقی و غربی است که در محدوده جغرافیایی  $26^{\circ} 49'$  تا  $2^{\circ} 44'$  شرقی و  $39^{\circ} 46'$  تا  $35^{\circ} 32'$  قرار دارد. این محدوده  $118670$  کیلومترمربع مساحت داشته و ۷۲ درصد از مساحت کشور را به خود اختصاص داده است. شمال غرب از مناطق کوهستانی کشور محسوب می‌شود؛ به‌طوری‌که متوسط ارتفاع از سطح دریاهای آزاد در شمال غرب کشور  $1830$  متر است. این منطقه از نظر بیشینه بارش فصلی متمایز از دیگر نقاط ایران است. درحالی‌که بارش‌های بیشتر نقاط کشور در فصل بهار به‌حداقل می‌رسد، اما در این فصل در شمال غرب ایران بیشترین بارش سالانه رخ می‌دهد. شمال غرب ایران سالانه حدود  $50$  الی  $60$  روز بارشی را تجربه می‌کند که  $20$  الی  $25$  روز آن مربوط به فصل بهار است. همچنین، از نظر کمیت در مقدار بارش باید گفت که به‌صورت متوسط حدود  $400$  میلی‌متر در سال بارش دریافت می‌کند که متوسط بارش بهاره  $150$  میلی‌متر است (علیجانی، ۱۳۷۴: ۱۱۲).



شکل شماره ۳. منطقه مورد مطالعه و موقعیت ایستگاه‌ها

## بحث و یافته‌ها

در این پژوهش ماه مارس نیز به دلیل ویژگی بهاری مطالعه شده است. ذکر این نکته لازم است که در این ماه و در کل دوره بیست‌ساله هیچ رخداد پدیده طوفان تندری فراگیر (هم‌زمان پنج ایستگاه و بیشتر) مشاهده نشد. بیشترین میزان طوفان‌های تندری فراگیر مربوط به ماه مه (۵۸ مورد) بوده است. ماه آوریل با ۳۱ رخداد در رتبه دوم و ماه ژوئن با ۱۹ رخداد طوفان تندری فراگیر در رتبه سوم قرار دارد.

جدول شماره ۲. فراوانی وقوع الگوها در دوره مورد مطالعه

ماه	الگو	mar	apr	may	jun
ناوه عمیق	-	-	۱۳	۶	
ناوه ضعیف	-	-	۱۱	۱۱	
کم‌ارتفاع بسته	-	۱۴	۱۲	-	
الگو بندالی	-	۸	۹	۲	
ناوه شرق مدیترانه	-	۹	۱۳	-	
مجموع	-	۳۱	۵۸	۱۹	

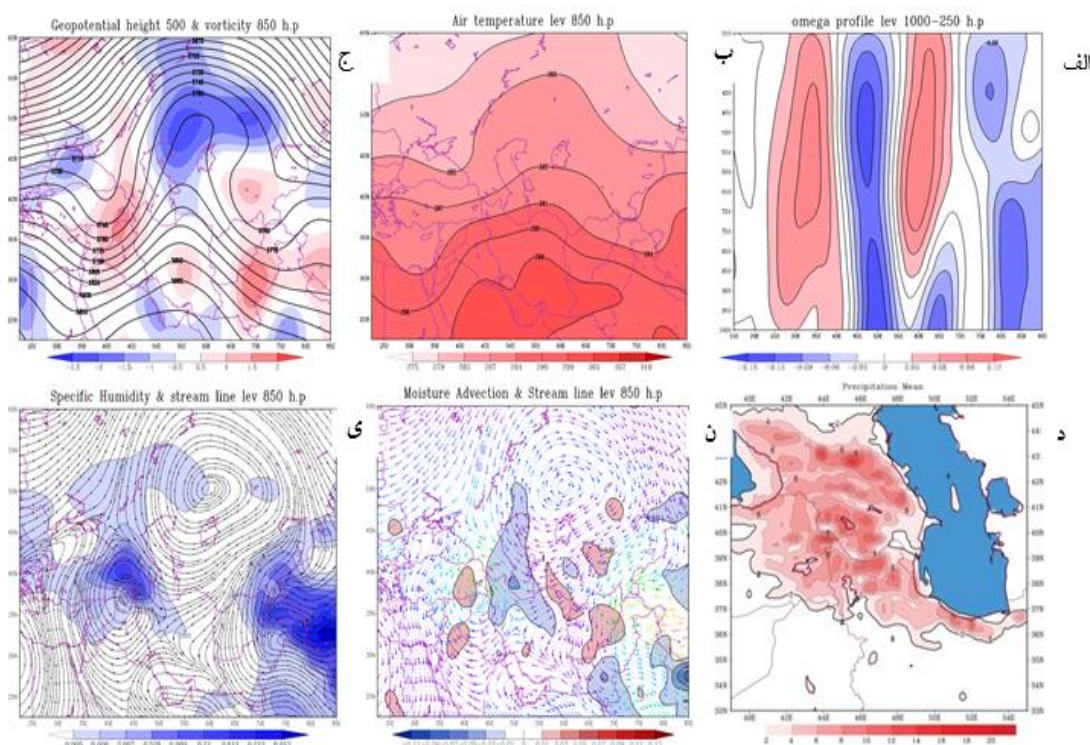
### ناوه عمیق

اولین الگوی بررسی شده الگوی ناهه عمیق است. این الگو در طول دوره آماری ۱۹ بار تکرار شده ۱۷/۵ درصد از کل روزهای مطالعه شده را تشکیل می‌دهد. فعالیت این الگو محدود به ماه‌های مه و ژوئن بوده و آن‌چنان که نقشه ۴-ب نشان می‌دهد، دمای هوای نزدیک به سطح نسبت به سایر الگوها بیشتر است و اثری از آن در ماه‌های دیگر مشاهده نمی‌شود. با توجه به شکل ۴-الف شاهد استقرار ناهه در غرب عراق و پشته‌ای روی ایران هستیم. محور پشته روی ایران از محدوده شرقی دریای خزر عبور می‌کند و تا شمال شرقی خزر ادامه دارد. در محدوده شمال شرقی خزر تاوایی منفی قوی وجود دارد که با استقرار و اچرخند در این محدوده موجب انتقال رطوبت به بخش‌های شرقی منطقه مورد مطالعه می‌شود. ناهه مستقر در غرب عراق دارای محوری جنوب غربی بوده و تا غرب کشور عربستان کشیده شده است. این ناهه محدوده کشورهای حوزه قفقاز و همچنین شمال غرب ایران و شرق ترکیه را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد. چرخندگی مثبت محدوده دریای سیاه تا نواحی غربی سواحل خزر را دربر می‌گیرد. مؤلفه تاوایی نسبی چرخش مثبت را در شرق ناهه ایجاد می‌کند و از نظر دینامیکی شرایط را برای ایجاد ناهنجاری و صعود در منطقه مورد مطالعه فراهم می‌کند. نقشه امگا (شکل ۴-ج) دو بیشینه صعود را در تراز جو نشان می‌دهد. بیشینه اول در تراز ۱۰۰۰ تا ۸۵۰ ه.پ قابل مشاهده است که می‌توان آن را متأثر از شرایط محلی و دمای نسبتاً بالای سطح در فصل بهار دانست. بیشینه دوم نیز در تراز ۵۰۰ ه.پ دیده می‌شود که تحت تأثیر سامانه غربی است. بدین ترتیب، نقش شرایط محلی و ترکیب آن با سامانه دینامیکی قابل توجه است.

نقشه ۴-د و ن وضعیت رطوبت در تراز ۸۵۰ ه.پ را نشان می‌دهد؛ اما برای تفسیر دقیق‌تر وضعیت نم ویژه و وزش رطوبت ترازهای ۱۰۰۰ تا ۵۰۰ ه.پ بررسی شده است. با توجه به نقشه ۴-د، بیشینه رطوبت در محدوده شمال غربی ایران و شرق ترکیه قرار دارد. آن‌چنان که خطوط جریان باد نشان می‌دهند، بخش قابل توجهی از رطوبت خزر به وسیله و اچرخند مستقر در شمال شرق دریای خزر به سمت منطقه مورد مطالعه هدایت می‌شود. وضعیت منابع رطوبت در تراز فوقانی جو نسبت به ترازهای زیرین متفاوت است. منابع اصلی رطوبت در تراز ۵۰۰ ه.پ خلیج فارس و دریای سرخ است؛ آن‌چنان که به صورت زبانه‌ای از شرق سودان تا نواحی شمالی ایران کشیده شده است. بررسی نقشه وزش رطوبت (شکل ۴-ن) جزئیات بیشتری را برای ما آشکار می‌کند. در این نقشه مناطق آبی‌رنگ مناطق برداشت رطوبت و مناطق



قرمز رنگ مناطق انباشت رطوبت‌اند. با توجه به نقشهٔ وزش رطوبت منابع اصلی رطوبت در ترازهای زیرین، دریای خزر، و محدودهٔ شمال غربی ایران است. محدودهٔ شمال غربی ایران به دلیل وجود رطوبت خاک ناشی از بارش‌های زمستانه خود منبع رطوبت محسوب می‌شود؛ اما در ترازهای فوقانی محدودهٔ شمالی عربستان و کل عراق و محدودهٔ غربی ایران را به‌عنوان منطقهٔ برداشت رطوبت نشان می‌دهد که به‌وسیلهٔ جریان باد به سمت شمال غرب ایران هدایت می‌شود. نقشهٔ ۴- ی میانگین بارش را در این الگو نشان می‌دهد. محدودهٔ بارش از منطقهٔ قفقاز تا محدودهٔ شمال غربی ایران و بخش‌های جنوب غربی خزر را دربر می‌گیرد.



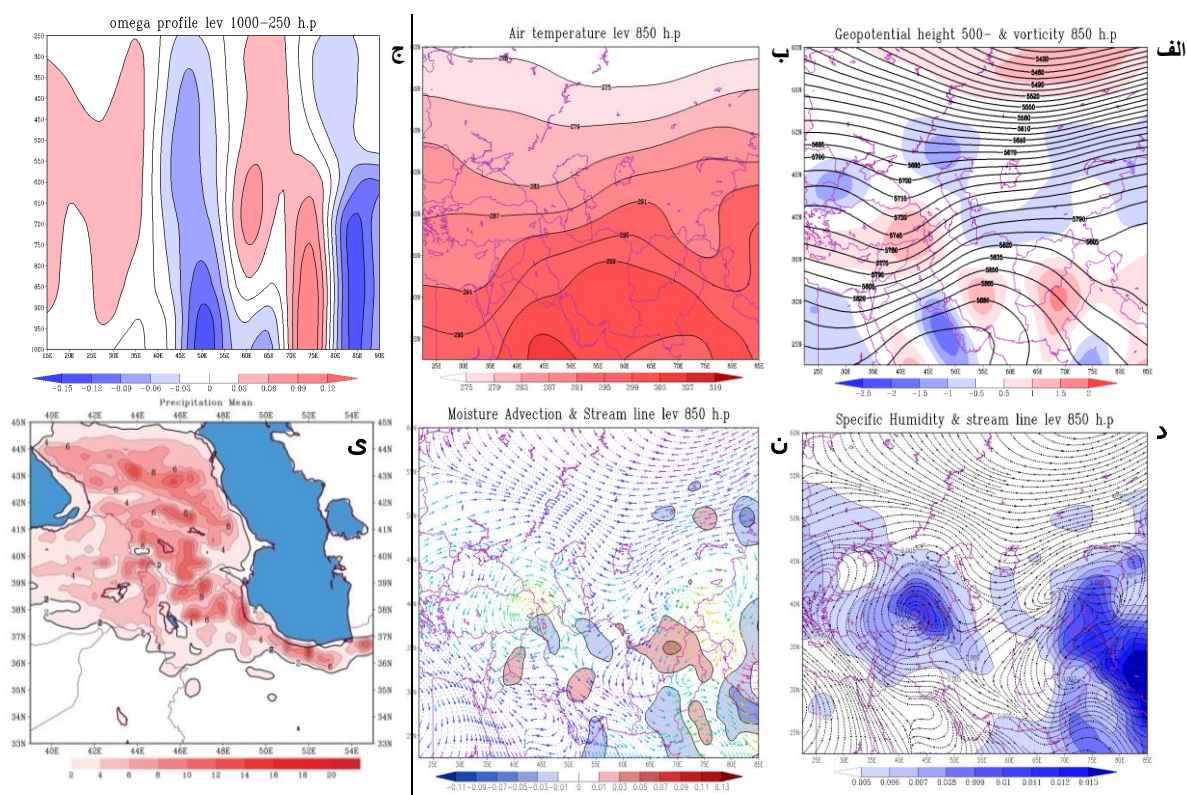
شکل ۴. الگو ناوهٔ عمیق: الف) نقشهٔ ترکیبی ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ ه.پ و تاوایی نسبی تراز ۸۵۰ ه.پ؛ ب) دمای هوا تراز ۸۵۰ ه.پ؛ ج) نیمرخ مؤلفهٔ امگا یا جریان قائم هوا در تراز ۱۰۰۰ تا ۲۵۰ ه.پ؛ د) رطوبت ویژه و خطوط جریان تراز ۸۵۰ ه.پ؛ ن) وزش رطوبت تراز ۸۵۰ ه.پ؛ ی) میانگین بارش

#### الگو ناوهٔ ضعیف<sup>۱</sup>

الگوی ناوهٔ ضعیف ۲۲ روز از کل دورهٔ آماری را به خود اختصاص داده است. رخداد این الگو محدود به ماه‌های مه و ژوئن است و در سایر ماه‌های مطالعه شده مشاهده نمی‌شود. این الگو ۲۰ درصد از کل دورهٔ مورد مطالعه را به خود اختصاص داده است. میزان دمای متوسط تراز ۸۵۰ ه.پ در محدودهٔ مطالعه حدود ۲۹۵ درجهٔ کلوین است که همانند الگوی قبل دمای بالایی است. با توجه به شکل ۵- الف در این الگو شاهد استقرار ناوهٔ ضعیفی هستیم. محور این ناوه جهت شمال شرقی به جنوب غربی داشته و از شمال تا محدودهٔ شرقی دریای سیاه و از جنوب تا شمال شرق مصر گسترش یافته است. این ناوه محدودهٔ شمال غرب ایران را تحت تأثیر قرار می‌دهد. همچنین، پشتهٔ ضعیفی نیز از شمال شرق تا جنوب غرب ایران مشاهده می‌شود. این پشته نیز محدودهٔ شمال شرق ایران تا بخش‌های شرقی خزر را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

1. Minor Trough

در نقشه ۵- الف مؤلفه‌ی تاوایی نسبی گردش چرخندی را در شمال عراق، شرق ترکیه، و شمال غرب ایران نشان می‌دهد. بیشینه تاوایی مثبت در شمال غرب ایران در کنار امگای قوی متأثر از دمای بالای سطح زمین شرایط را برای صعود توده هوا مهیا می‌کند. با توجه به نقشه امگا (شکل ۵- ج)، مرکز بیشینه صعود قائم هوا منطبق بر ترازهای پایینی جو بوده و با صعود به ترازهای فوقانی جو از میزان قدرت آن کاسته می‌شود. آنچه در این الگو مورد توجه است میزان تأثیر گرمایش سطح و در نتیجه ایجاد صعود حرارتی و ادغام صعود محلی با یک سامانه ضعیف دینامیکی است که ترکیب این دو موجب بروز بارش‌های فراگیر در شمال غرب ایران شده است. رطوبت بارش‌های فراگیر با توجه به نقشه ۵- د از منابع مختلف و در ترازهای مختلف متفاوت است. منبع اصلی نم ویژه در ترازهای زیرین مربوط به منابع رطوبتی نزدیک به محدوده مورد مطالعه است. با وجود این، منابع رطوبتی در ترازهای فوقانی از منابع رطوبتی دوردست به محدوده مورد مطالعه آورده می‌شود (شکل ۵- د). با توجه به نقشه وزش رطوبت بخش‌های جنوبی خزر و شمال غرب ایران در ترازهای زیرین دارای شرایط برداشت رطوبت است که جریانات باد آن را به محدوده مورد مطالعه هدایت می‌کند. همچنین، در ترازهای فوقانی محدوده غربی ایران، بخش‌های شمالی و غربی کشور عراق، و شمال عربستان نیز محدوده برداشت رطوبت است که جریان باد این رطوبت را به سمت شمال غرب ایران می‌آورد و موجب ایجاد بارش‌های فراگیر می‌شود. نقشه ۵- ی میانگین بارش محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد. با توجه به نقشه، در صورت رخداد الگوی حاضر، محدوده شمال غرب ایران و سواحل جنوبی خزر شاهد بارش خواهند بود.



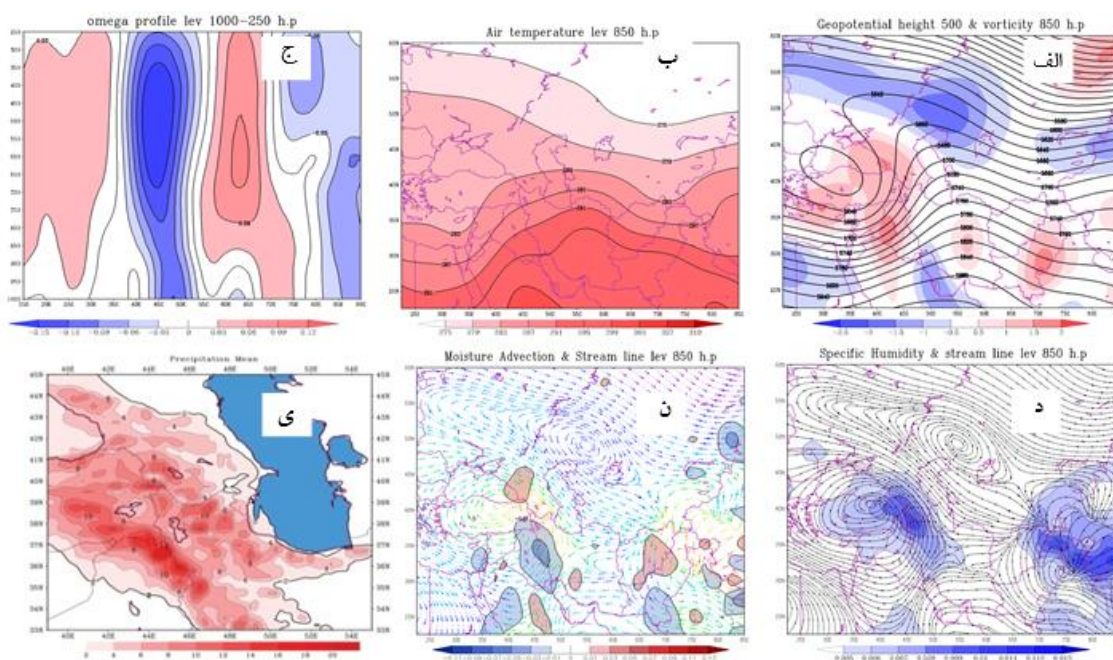
شکل شماره ۵. الگوی ناوه ضعیف: الف) نقشه ترکیبی ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ ه.پ و تاوایی نسبی تراز ۸۵۰ ه.پ؛ ب) دمای هوا تراز ۸۵۰ ه.پ؛ ج) نیمرخ مؤلفه امگا یا جریان قائم هوا در تراز ۱۰۰۰ تا ۲۵۰ ه.پ؛ د) رطوبت ویژه و خطوط جریان تراز ۸۵۰ ه.پ؛ ن) وزش رطوبت تراز ۸۵۰ ه.پ؛ ی) میانگین بارش

#### کم‌ارتفاع بسته

الگوی کم‌ارتفاع بسته با فراوانی ۲۴ درصد از کل دوره مطالعه بیشترین تکرار را در بین ۵ الگو داراست. این الگو ۲۶ روز

از کل دوره آماری را به خود اختصاص داده است. رخداد این الگو محدود به ماه‌های آوریل و مه است. در زمان رخداد این الگو وضعیت دمای سطح نسبت به دو الگوی قبل کاهش محسوسی را نشان داده و به ۲۸۷ درجه کلوین می‌رسد. با این حال، منطقه مورد مطالعه نسبت به الگوهای ۴ و ۵ همچنان دمای بالاتری را تجربه می‌کند. با توجه به شکل ۶- الف پشته‌ای در شرق ایران مشاهده می‌شود. محور این پشته از نواحی جنوب شرق ایران تا نواحی شمال شرقی خزر امتداد می‌یابد. همچنین، ناوه کم‌ارتفاع بسته‌ای در شمال غربی ترکیه مشاهده می‌شود. محور این ناوه از بخش‌های مرکزی ترکیه کشیده شده و تا نواحی مرکزی مصر امتداد دارد. بررسی مؤلفه تاوایی نیز در محدوده شمال غربی ایران، کشور عراق، و ترکیه وضعیت مثبت (چرخندی) را نشان می‌دهد. با توجه به نقشه ۶- الف حاکمیت جریان چرخندی در شمال غرب ایران شرایط را برای ناهنجاری متأثر از دینامیک جو و صعود آماده می‌کند. آن‌چنان‌که در نقشه ۶- ج مشاهده می‌شود، صعود قائم هوا در این الگو بیشتر تحت تأثیر سامانه غربی است و نقش صعود محلی نسبت به الگوهای گذشته تا حدی کم‌رنگ‌تر است. بیشینه مؤلفه امگا در این الگو در تراز ۵۰۰ ه.پ قرار دارد که در جهت ایجاد بارش‌های فراگیر بیشترین نقش را ایفا می‌کند.

با توجه به نقشه ۶- د منبع اصلی رطوبت جهت ایجاد بارش‌های فراگیر در تراز ۵۰۰ و ۷۰۰ ه.پ دریای سرخ است که به صورت زبانه‌ای تا شمال غرب ایران کشیده شده است. آن‌چنان‌که گفته شد، امتداد محور ناوه تا مصر کشیده شده است و جریانات شمالی ایجاد شده می‌تواند رطوبت دریای سرخ را تا بخش‌های شمال غربی ایران ارسال کند. نقشه ۶- ن نیز محدوده دریای سرخ، شمال عربستان، و کل کشور عراق تا غرب ایران را به عنوان منطقه برداشت رطوبت نشان می‌دهد. رطوبت برداشت شده در این محدوده با توجه به بردارهای جریان باد در نقشه ۶- د و ن به شمال غرب ایران هدایت می‌شود. در تراز ۸۵۰ ه.پ سواحل شرقی مدیترانه نیز محدوده برداشت رطوبت است که در ترازهای فوقانی قابل مشاهده نیست. بنابراین، دریای مدیترانه در ترازهای زیرین می‌تواند منبع ارسال رطوبت به شمال غرب ایران باشد. حاصل فعالیت الگوی کم‌ارتفاع بسته روی کشور ترکیه نقشه ۶- ی است. با توجه به نقشه، در این الگو بیشینه بارش در محدوده غرب ایران و شمال شرق عراق مشاهده می‌شود.

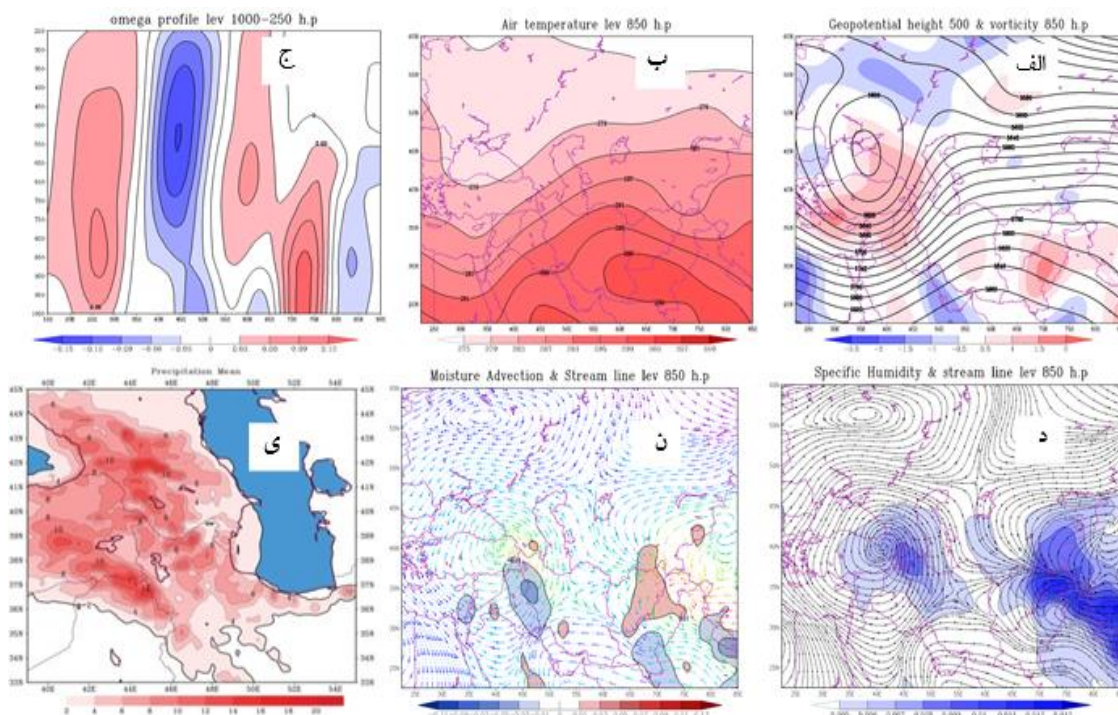


شکل شماره ۶. الگوی کم‌ارتفاع بسته (الف) نقشه ترکیبی ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ ه.پ و تاوایی نسبی تراز ۸۵۰ ه.پ (ب) دمای هوا تراز ۸۵۰ ه.پ (ج) نیمرخ مؤلفه امگا یا جریان قائم هوا در تراز ۱۰۰۰ تا ۲۵۰ ه.پ (د) رطوبت ویژه و خطوط جریان تراز ۸۵۰ ه.پ (ن) وزش رطوبت تراز ۸۵۰ ه.پ (ی) میانگین بارش

### الگوی همدید بندالی

این الگو تقریباً سردچال تشکیل شده در بازوی راست سامانه‌های بزرگ‌مقیاس‌تر بندال‌هاست و با نام الگوی مادر نام‌گذاری شده است. الگوی همدید بندالی در ۱۹ مورد از کل دوره آماری ایجاد و موجب ریزش بارش‌های فراگیر در منطقه مورد مطالعه شده است. این الگو ۱۷/۵ درصد از کل روزهای مطالعه را به خود اختصاص داده است. رخداد الگوی همدید بندالی در ماه‌های آوریل، مه، و ژوئن مشاهده شده است. در زمان رخداد این الگو خط هم‌دمای ۲۸۷ درجه کلوین از محدوده مطالعه می‌گذرد. این خط دمایی نسبت به الگوی قبل جنوبی‌تر می‌شود و نشان می‌دهد که دمای سطح در منطقه شمال غرب ایران نسبت به الگوهای گذشته با افت بیشتری همراه بوده است. با توجه به شکل ۷- الف شاهد استقرار بندال در سواحل شمالی دریای سیاه هستیم. پدیده بندال به دلیل استقرار طولانی‌مدت می‌تواند موجب ریزش بارش‌های شدید و فراگیر شود. بیشترین میزان ریزش بارش نیز در قسمت‌های شرقی این پدیده رخ می‌دهد. همان‌طور که نقشه ۷- الف نشان می‌دهد، تاوایی مثبت در بخش شرقی و جنوبی بندال شرایط را برای صعود فراهم کرده است. ناوه جنوبی این بندال تا شرق کشور مصر امتداد یافته و با ایجاد جریانات شمالی موجب انتقال رطوبت دریاهای جنوبی به سمت ایران می‌شود. مؤلفه امگا نیز بیشینه جریان قائم هوا را در تراز ۵۰۰ ه.پ نشان می‌دهد. وضعیت صعود در ترازهای پایینی نسبت به الگوهای قبل ضعیف‌تر است. کاهش دمای سطحی و در نتیجه کاهش صعود محلی از جمله دلایل آن می‌تواند باشد.

نقشه ۷- د وضعیت رطوبت ویژه در الگوی همدید بندالی را نشان می‌دهد. منبع رطوبت ترازهای زیرین دریای سیاه دریای مدیترانه است. در ترازهای فوقانی منبع رطوبت دریای سرخ و دریای مدیترانه است. نقشه وزش رطوبت (شکل ۷- ن) تراز ۸۵۰ ه.پ در محدوده غرب ایران و شرق مدیترانه وضعیت برداشت رطوبت را نشان می‌دهد. با توجه به خطوط جریان باد در ترازهای زیرین رطوبت مناطق برداشت رطوبت به سمت منطقه مورد مطالعه هدایت می‌شود. در ترازهای فوقانی نیز محدوده غربی ایران، بخش‌های شمالی و غربی عراق، همچنین شمال عربستان و دریای سرخ منطقه برداشت رطوبت‌اند که رطوبت آن به سمت ایران هدایت می‌شود. با توجه به نقشه ۷- ی در الگوی بندالی بیشترین بارش در محدوده شرقی دریای سیاه رخ می‌دهد. در این الگو بخش‌های غربی و شمالی ایران نیز بارش‌های زیادی دریافت می‌کنند.



شکل شماره ۷. الگوی هم‌مدید بندالی: الف) نقشه ترکیبی ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ ه.پ و تاوایی نسبی تراز ۸۵۰ ه.پ؛ ب) دمای هوای تراز ۸۵۰ ه.پ؛ ج) نیمرخ مؤلفه امگا یا جریان قائم هوا در تراز ۱۰۰۰ تا ۲۵۰ ه.پ؛ د) رطوبت ویژه و خطوط جریان تراز ۸۵۰ ه.پ؛ ن) وزش رطوبت تراز ۸۵۰ ه.پ؛ ی) میانگین بارش

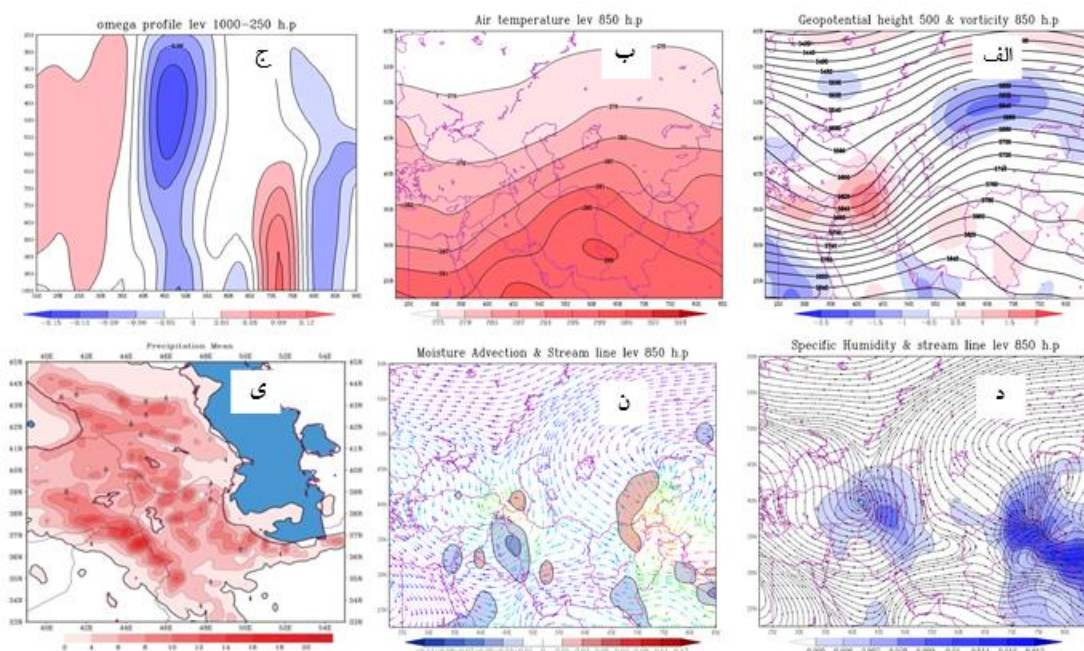
#### ناوه شرق مدیترانه

الگوی ناهه شرق مدیترانه ۲۲ روز از کل دوره آماری یعنی حدود ۲۰ درصد از کل دوره مطالعه را به خود اختصاص داده است. رخداد این الگو در ماه‌های آوریل و مه مشاهده می‌شود. میزان دمای متوسط منطقه شمال غرب ایران نسبت به سایر الگوها پایین‌تر است. منحنی هم‌دمای ۲۸۳ درجه کلون که در الگوهای گذشته در خارج از محدوده شمال غربی ایران مشاهده می‌شد در این الگو با گسترش به سمت جنوب از گوشه شمال غربی ایران گذر می‌کند. این الگو را می‌توان سردترین الگو در بین ۵ الگوی یادشده دانست.

با توجه به شکل ۸- الف، ناهه‌ای در شرق مدیترانه مشاهده می‌شود. محور این ناهه از محدوده شمال شرقی اروپا تا بخش‌های میانی دریای سرخ کشیده شده است. بیشینه فعالیت این ناهه در عرض ۳۷ درجه شمالی مستقر است. در محدوده شرقی ناهه تاوایی نسبی مثبت مشاهده می‌شود. منحنی بیشینه تاوایی مثبت مناطقی چون شمال عراق، جنوب شرقی ترکیه، و شمال غربی ایران را تحت تأثیر قرار می‌دهد. این محدوده به دلیل فعالیت چرخندی وضعیت باروکلینیک را تجربه می‌کند. ناهنجاری‌های ناشی از سامانه غربی موجب ریزش بارش‌های فراگیر در منطقه مورد مطالعه شده است. با توجه به نقشه امگا (شکل ۸- ج) بیشینه صعود قائم هوا در تراز ۵۰۰ ه.پ مشاهده می‌شود که تحت تأثیر سامانه مهاجر غربی است. وضعیت صعود در ترازهای زیرین جو نسبت به ترازهای فوقانی وضعیت ضعیفی را نشان می‌دهد. به عبارتی، می‌توان گفت صعود حرارتی و متکی به گرمایش سطحی در این الگو نسبت به الگوهای دیگر در وضعیت ضعیف‌تری قرار دارد.

منابع رطوبت در این الگو همانند الگوهای پیشین متعدد است. با توجه به نقشه ۸- د ریزش هوای سرد شمالی (در تراز ۸۵۰ ه.پ) بر فراز دریای سیاه و دریای مدیترانه مشاهده می‌شود که به وسیله جریان هوا به شمال غرب ایران انتقال می‌یابند. همچنین، منبع اصلی تأمین رطوبت در ترازهای فوقانی محدوده شمال آفریقا و دریای سرخ است. نقشه وزش

رطوبت در تراز ۸۵۰ ه.پ نیز علاوه بر دریای مدیترانه و دریای سیاه محدوده غربی ایران را به‌عنوان منطقه برداشت رطوبت نشان می‌دهد که می‌تواند بخشی از رطوبت بارش‌های شمال غرب ایران را تأمین نماید. همچنین، در ترازهای فوقانی محدوده دریای سرخ، کشور عربستان، و بخش‌های زیادی از عراق منطقه برداشت رطوبت نشان داده شده است که به‌وسیله جریان‌ات تراز ۷۰۰ و ۵۰۰ ه.پ به سمت ایران هدایت می‌شود. نقشه ۸-ی وضعیت میانگین بارش در الگوی پنجم را نشان می‌دهد. بیشینه بارش در این الگو در محدوده شرقی منطقه مورد مطالعه قرار دارد.



شکل شماره ۸. الگوی ناوه شرقی مدیترانه: الف) نقشه ترکیبی ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ ه.پ و تاوایی نسبی تراز ۸۵۰ ه.پ؛ ب) دمای هوا تراز ۸۵۰ ه.پ؛ ج) نیمرخ مؤلفه امگا یا جریان قائم هوا در تراز ۱۰۰۰ تا ۲۵۰ ه.پ؛ د) رطوبت ویژه و خطوط جریان تراز ۸۵۰ ه.پ؛ ن) وزش رطوبت تراز ۸۵۰ ه.پ؛ ی) میانگین بارش

### نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر الگوهای جوی مؤثر در طوفان‌های تندری فراگیر شمال غرب ایران طی ماه‌های مارس، آوریل، مه، و ژوئن در دوره آماری ۱۹۹۳-۲۰۱۲ بررسی شد. برای این منظور روزهایی که حداقل در پنج ایستگاه طوفان‌های تندری و بارش گزارش شده باشد انتخاب شدند. در انتها، ۱۰۸ روز بارشی منتخب طی فرایند خوشه‌بندی در پنج الگو طبقه‌بندی و تحلیل شدند.

نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد الگوهای فشاری همراه با طوفان‌های تندری فراگیر در ماه مارس رخ نداده است. دلیل آن می‌تواند ویژگی‌های زمستانی این ماه و عدم مشاهده صعودهای محلی گسترده باشد. بدین جهت، طوفان‌های تندری فراگیر نیز در این ماه و ماه‌های دیگر سرد سال یک پدیده اتفافی قلمداد می‌شوند. همچنین، می‌توان گفت جبهه‌های گرم و سرد کم‌فشارهای عبوری از منطقه مورد مطالعه بدون وجود صعود حرارتی محلی نمی‌توانند طوفان‌های تندری فراگیر ایجاد کنند. به‌عبارت‌دیگر، در تابستان به دلیل فقدان رطوبت کافی و در فصول سرد به دلیل فقدان گرمایش سطحی شاهد رخداد پدیده طوفان‌های تندری فراگیر نیستیم.

در زمان رخداد بارش و طوفان‌های تندری فراگیر در شمال غرب ایران، غالباً، در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ناوه‌ای در محدوده مرکزی عراق تا شرق مدیترانه وجود دارد. تفاوت در محل، عمق، و گسترش این ناوه‌ها باعث تفاوت الگوها از

یکدیگر و در نتیجه تفاوت در وقوع رخداد‌های جوی در محدوده مورد مطالعه شده است. الگوی سه، که کم‌ارتفاع بسته نام‌گذاری شده است، بیشترین رخداد را نسبت به ۵ الگوی مستخرج داشته است. الگوهایی که محدود به ماه آوریل و تا حدودی روزهای سرد ماه مه هستند از گستردگی بیشتری برخوردارند. همچنین، الگوهایی که محدود به ماه ژوئن و تا حدودی در روزهای گرم ماه مه رخ می‌دهند از گستردگی کمتری برخوردارند. در الگوی ناوه عمیق و ناوه ضعیف بارش‌های ایجاد شده بیشتر تحت تأثیر منابع رطوبت محلی و منابع رطوبت نزدیک به محدوده مورد مطالعه (مانند دریای خزر) است. همچنین، در این الگوها منابع رطوبت ترازهای زیرین جو در رخداد بارش‌های فراگیر نقش بیشتری ایفا می‌کنند. در زمان رخداد الگوهای ناوه عمیق و ناوه ضعیف ترکیب سامانه‌های غربی با صعود محلی است که موجب ایجاد بارش‌های فراگیر می‌شود. این الگوها محدود به ماه مه و ژوئن هستند. در این ماه‌ها سطح زمین انرژی لازم را برای صعود محلی دریافت می‌کند. ادغام صعود محلی با سامانه غربی موجب تقویت آن می‌شود و بارش و طوفان‌های تندری فراگیر را ایجاد می‌کند.

در الگوهای کم‌ارتفاع بسته، بندال و ناوه شرق مدیترانه به ترتیب دریای سرخ و دریای مدیترانه مهم‌ترین منابع رطوبتی‌اند. این یافته‌ها با نتایج حاصل از تحقیق گرامی (۲۰۱۶) مطابقت دارد. در الگوهای یاد شده منابع رطوبتی در ترازهای ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال بیشترین نقش را در ایجاد بارش‌های فراگیر ایفا می‌کنند. ذکر این نکته لازم است که علیجانی (۱۳۹۱) مهم‌ترین منبع رطوبت بارش‌های بهاره شمال غرب ایران را دریای مدیترانه می‌داند که توسط بادهای غربی منتقل می‌شود. در زمان رخداد الگوهای کم‌ارتفاع بسته بندال و ناوه شرق مدیترانه از حرارت سطح کاسته می‌شود و نقش سامانه‌های غربی پررنگ‌تر می‌شود. از الگوی یک تا الگوی پنج از میزان دمای سطح به ترتیب کم می‌شود. به طوری که در الگوی ناوه عمیق و ناوه ضعیف منطقه مطالعه دمای ۲۹۵ درجه کلون را تجربه می‌کند. در الگوی کم‌ارتفاع بسته دمای ۲۸۷ درجه کلون در نیمه شمالی منطقه مورد مطالعه مشاهده شده است؛ اما در الگوی بندالی دمای ۲۸۷ به بخش‌های جنوبی‌تر منتقل می‌شود. در الگوی ناوه شرق مدیترانه نیز دمای ۲۸۳ درجه کلون در بخش‌های شمالی منطقه مورد مطالعه دیده می‌شود. به عبارتی، از الگوی یک تا پنج دمای سطح کاهشی است و از الگویی به الگوی دیگر دمای سطح کمتر می‌شود. در نتیجه، با کاهش دما تأثیر صعود محلی نسبت به الگوهای اول و دوم کاهش یافته و می‌توان گفت بخش قابل توجهی از طوفان‌های تندری، علاوه بر صعود محلی، تحت تأثیر جبهه سامانه‌های عبوری از شمال غرب ایران است.

## تقدیر و تشکر

بنا به اظهار نویسنده مسئول، این مقاله حامی مالی نداشته است.

## منابع

- جلالی، م.؛ دوستکامیان، م.؛ شیری کریم وندی، امین. (۱۳۹۷). بررسی و تحلیل هم‌دیدگی سازه‌های بارش فراگیر زمستانه ایران، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال ۱۹، شماره ۵۵، صص ۳۷-۵۵.
- جلالی، م.؛ کمربان، و. (۱۳۹۷). تحلیل الگوهای فضایی توفان‌های تندری در شمال غرب ایران، فصلنامه علمی پژوهشی فضای جغرافیایی، سال ۱۸، شماره ۶۱، صص ۸۱-۶۳.
- حجازی زاده، ز.؛ جعفرپور، ز.؛ پروین، ن. (۱۳۸۶). بررسی و شناسایی الگوهای سینوپتیکی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال مولد سیلاب‌های مخرب و فراگیر سطح حوضه آبریز دریاچه ارومیه. تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی (علوم جغرافیایی). سال ۷، شماره ۱۰، صص ۱۲۵-۱۵۵.
- دوستان، ر.؛ میردردی‌کوندی، م. (۱۳۹۲). تحلیل سینوپتیکی بارندگی‌های سنگین و فراگیر غرب ایران، دو مین کنفرانس بین‌المللی مخاطرات محیطی، صص ۱۷-۱۰.

- (۵) ذوالفقاری، ح.؛ معصوم پور سماکوش، ج.؛ جلیلیان، آ.؛ فتح نیا، ا. (۱۳۹۲). تعیین الگوهای سینوپتیک و توده‌های هوای مؤثر بر فصول اقلیمی غرب ایران، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، سال ۴۵، شماره ۱، صص ۵۳-۷۰.
- (۶) رضایی بنفشه، م.؛ حسین‌علی‌پور گزی، ف.؛ جعفری شندی، ف.؛ علی محمدی، م. (۱۳۹۴). تحلیل هم‌دید بارش‌های سنگین پهنه شمال غرب ایران (با تأکید بر الگوهای ضخامت جو). نشریه علمی جغرافیا و برنا مهریزی، سال ۱۹، شماره ۵۳، صص ۱۱۷-۱۳۵.
- (۷) رفیعیایی، ا.؛ علیجانی، ب.؛ یزدانی، م. (۱۳۹۳). تحلیل هم‌دید آغاز بارش‌های فراگیر زودرس دوره سرد سال در ایران. مجله ژئوفیزیک ایران، سال ۸، شماره ۳، صص ۳۵-۵۵.
- (۸) شکیبا، ا.؛ صادقی، س.؛ دوستان، ر. (۱۳۹۴). مراکز فعالیت و الگوهای سینوپتیک بارش برف سنگین در شمال غرب ایران. جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال ۴، شماره ۴، صص ۸۷-۱۰۴.
- (۹) عزیزی، ق.، گرامی، م.، ص.؛ شریفی، ل. (۱۳۹۶). تحلیل فضایی توفان‌های تندری در گستره کشور ایران، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال ۱۷، شماره ۴۷، صص ۲۴۳-۲۵۹.
- (۱۰) علیجانی، ب. (۱۳۷۶). تعیین فصول طبیعی در ایران، مجله پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۳۵، صفحه ۲۱-۳۳.
- (۱۱) علیجانی، ب. (۱۳۹۱). آب و هواشناسی ایران، چاپ یازدهم، انتشارات دانشگاه پیام نور، تهران.
- (۱۲) علیجانی، ب. (۱۳۸۱). اقلیم‌شناسی سینوپتیک، انتشارات سمت، تهران.
- (۱۳) فتاحی، ا.؛ قناده، ه. (۱۳۹۰). تحلیل الگوهای سینوپتیک توفان‌های گردوخاک در منطقه جنوب غرب ایران، فصلنامه علمی پژوهشی جغرافیا، سال ۴، شماره ۱۲، صص ۴۹-۶۲.
- (۱۴) گرامی، م. ص. (۱۳۹۴). بررسی سازوکار وقوع بارش‌های بهاره در شمال غرب ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، استاد راهنما، عباس مفیدی، صفحه ۳۲.
- (۱۵) گرامی، م. ص.؛ مفیدی، ع.؛ زرین، آ. (۱۳۹۴). تحلیل فضایی ارتباط بین وقوع بارش‌های بهاره در شمال غرب ایران و مؤلفه‌های مقیاس منطقه‌ای گردش جو، کنفرانس ملی آبیاری و زهکشی ایران، همایش آب و هواشناسی، ۲۳-۲۴ اردیبهشت، دانشگاه فردوسی مشهد.
- 16) Alijani, B.; O'Brien, J. and Yarnal, B. (2008). Spatial analysis of precipitation intensity and concentration in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, Vol. 94, No. 1, PP. 107-124.
- 17) Alijani, B. (2003). *Synoptic Climatology*, Fifth Edition, Samt Publications, Tehran.
- 18) Alijani, B. (1998). Determining the natural seasons of Iran, *Geographical Research Quarterly*, Vol. 34, No. 1, PP. 21-33.
- 19) Alijani, B. (2013). *Iranian Meteorological Book*, Eleventh edition, Payame Noor University Press.
- 20) Azizi, G.; Gerami, M. S. and Sharifi, L. (2017). Spatial Analysis of thunder storm in Iran. *Researches in Geographical Sciences*, Vol. 17, No. 47, PP. 241-257.
- 21) Barry, R. G. and Carleton, A.M. (2013). *Synoptic and dynamic climatology*. Routledge.
- 22) Bednorz, E. (2008). Synoptic conditions of snow occurrence in Budapest, *Meteorologische Zeitschrift*, Vol. 17, No. 1, PP. 39-46.
- 23) Cassano, E. N.; Lynch, A. H.; Cassano, J. J. and Koslow, M. R. (2010). Classification of synoptic patterns in the western Arctic associated with extreme events at Barrow, Alaska, USA. *Climate Research*, Vol. 30, No. 2, PP. 83-97.
- 24) Changnon, S. A. and Changnon, D. (2001). Long-term fluctuations in thunderstorm activity in the United States. *Climatic Change*, Vol. 50, No. 4, PP. 489-503.
- 25) Dayan, U.; Tubi, A. and Levy, I. (2012). On the importance of synoptic classification methods with respect to environmental phenomena. *International Journal of Climatology*, Vol. 32, No. 5, PP. 681-694.
- 26) Donat, M. G.; Leckebusch, G. C.; Pinto, J. G. and Ulbrich, U. (2015). Examination of wind storms over Central Europe with respect to circulation weather types and NAO phases. *International Journal of Climatology*, Vol. 30, No. 9, PP. 1289-1300.
- 27) Doostan, R. and Mirdirikvand, M. (2015). Synoptic analysis of heavy and pervasive rainfall in western Iran, Published at the *Second International Conference on Environmental Hazards*, <https://civilica.com/doc/307368>.



- 28) Fattahi, E. and GHannad, H. (2011). Analysis of synoptic patterns of dust storms in the southwestern region of Iran, *Geography*, Vol. 4, No. 12, PP. 49-62.
- 29) Fleig, A. K.; Tallaksen, L. M.; Hisdal, H.; Stahl, K. and Hannah, D. M. (2016). Inter-comparison of weather and circulation type classifications for hydrological drought development. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, Vol. 35, No. 9-12, PP. 507-515.
- 30) Gaetani, M.; Pohl, B.; Douville, H. and Fontaine, B. (2016). West African Monsoon influence on the summer Euro-Atlantic circulation. *Geophysical Research Letters*, Vol. 38, No. 9, PP. 123-145.
- 31) García, C.; Martí, G.; Oller, P.; Moner, I.; Gavalda, J.; Martínez, P. and Peña, J. C. (2009). Major avalanches occurrence at regional scale and related atmospheric circulation patterns in the Eastern Pyrenees. *Cold Regions Science and Technology*, Vol. 59, No. 2-3, PP. 106-118.
- 32) Ghavidel Rahimi, Y. (2011). The use of atmospheric instability indices for the detection and dynamic analysis thunderstorms 5 may 2011 in Tabriz, *Quarterly geographical space*, Vol. 9, No. 34, PP. 182-208.
- 33) Gerami, M.S. (2016). *Investigation of the mechanism of occurrence of spring precipitation in northwestern Iran*, Master Thesis of Ferdowsi University of Mashhad, Supervisor Abbas Mofid.
- 34) Gerami, M.S.; Mofidi, A. and Zarrin, A. (2016). Spatial analysis of the relationship between the occurrence of spring precipitation in northwestern Iran and the components of the Atmospheric Regions Scale, *Iranian National Conference on Irrigation and Drainage, Meteorological Conference*, Mashhad Ferdowsi University.
- 35) Hagen, M. and Finke, U. (2000). Motion characteristics of thunderstorms in southern Germany, *Meteorological Applications*, Vol. 6, PP. 227-239.
- 36) Hejazizadeh, Z.; Jafarpoor, Z. and Parvin, N. (2008). Investigation and identification of synoptic patterns at the level of 500 hectopascals of destructive and pervasive floods in the catchment area of Lake Urmia, *Researches in Geographical Sciences*, Vol. 7, No. 5, PP. 125-155.
- 37) Huth, R.; Beck, C. and Kučerová, M. (2016). Synoptic-climatological evaluation of the classifications of atmospheric circulation patterns over Europe. *International Journal of Climatology*, Vol. 36, No. 7, PP. 2710-2726.
- 38) Huth, R.; Beck, C.; Philipp, A.; Demuzere, M.; Ustrnul, Z.; Cahynová, M. ... and Tveito, O. E. (2008). Classifications of atmospheric circulation patterns: recent advances and applications. *Annals of the New York Academy of Sciences*, Vol. 1146, No. 1, PP. 105-152.
- 39) Jalali, M.; Doustkamian, M. and Shiri karim vandi, A. (2019). The studying and synoptic analysis of mechanical in mechanism of widespread winter precipitation of Iran, *Researches in Geographical Sciences*, Vol. 19, No. 55, PP. 37-55.
- 40) Jalali, M. and Kamarian, V. (2018). The Analysis of Spatial Patterns of Thunderstorms in the North West of Iran, *Geographical space*, Vol. 18, No. 61, PP. 41-62.
- 41) Kassomenos, P. (2010). Synoptic circulation control on wild fire occurrence. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, Vol. 35, No. 9-12, PP. 544-552.
- 42) Lericos, T.P.; Fuelberg, H.E.; Watson, A.I. and Holle, R.L. (2002). Warm season lightning distributions over the Florida Peninsula as related to synoptic patterns, *Weather and Forecasting*, Vol.17, PP. 83-98.
- 43) López, R. E. and Holle, R. L. (1999). The distribution of lightning as a function of low-level wind flow in central Florida. NOAA Tech. Memo. ERL ESG-28, *National Severe Storms Laboratory*, Norman, OK, 43 pp.
- 44) Lykoudis, S. P.; Kostopoulou, E. and Argiriou, A. A. (2014). Stable isotopic signature of precipitation under various synoptic classifications. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, Vol. 35, No. 9-12, PP. 530-535.
- 45) Martin-Vide, J.; Sanchez-Lorenzo, A.; Lopez-Bustins, A. J.; Cordobilla, M.; J. GarciaManuel, A. and Raso, J. M. (2008). Torrential rainfall in northeast of the Iberian Peninsula: *synoptic patterns and WeMO influence Advances in Science and Research*, Vol. 2, PP.99-105.

- 46) Mohammadpour, K.; Sciortino, M. and Kaskaoutis, D. G. (2021). Classification of weather clusters over the Middle East associated with high atmospheric dust-AODs in West Iran. *Atmospheric Research*, Vol. 259, PP. 105682.
- 47) Mojarrad, F.; Koshki, S.; Masompour, J. and Miri, M. (2018). Analysis of Thunderstorm Instability Indexes in Iran using Reanalysis Data. *jsaeh*. Vol. 4, No. 4, PP.33-48.
- 48) Pineda, N.; Esteban, P.; Trapero, L.; Soler, X. and Beck, C. (2015). Circulation types related to lightning activity over Catalonia and the Principality of Andorra. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, Vol. 35, No. 9-12, PP. 469-476.
- 49) Rafiaei, A.; Alijani, B. and Yazdani, M. (2014). Synoptic analysis of the onset of the earliest widespread winter precipitation in Iran (except the Caspian Sea coastal region). *Iranian Journal of Geophysics*, Vol. 8, No. 3, pp. 36-48.
- 50) Ramos, A. M.; Ramos, R.; Sousa, P.; Trigo, R. M.; Janeira, M. and Prior, V. (2017). Cloud to ground lightning activity over Portugal and its association with circulation weather types. *Atmospheric Research*, Vol. 101, No. 1-2, PP. 84-101.
- 51) Rasilla, D. F.; García-Codron, J. C.; Carracedo, V. and Diego, C. (2010). Circulation patterns, wildfire risk and wildfire occurrence at continental Spain. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, Vol. 35, No. 9-12, PP. 553-560.
- 52) Raziie, T.; Bordi, I.; Pereira, L. S.; Corte-Real, J. and Santos, J. A. (2012). Relationship between daily atmospheric circulation types and winter dry/wet spells in western Iran. *International Journal of Climatology*, Vol. 32, No.7, PP. 1056-1068.
- 53) Rezaee Banafshe, M.; Hossein Alipour Ghazi, H.; Jaffari Shendi, F. and Alimohammadi, M. (2015). Synoptic Analysis of Heavy Rainfall in Northwest of Iran (With an Emphasis on Patterns of Atmospheric Thickness). *Geography and Planning*, Vol. 19, No. 53, PP. 117-135.
- 54) Shakiba, A.; Sadeghib, S. and Doostan, R. (2016). The Synoptic Activity Centers and Pressure Patterns of Heavy Snowfall in Northwest of Iran, *Journal of Geography and Environmental Hazards*, Vol.4, No. 4, PP. 87-104.
- 55) Tomás, C.; De Pablo, F. and Rivas Soriano, L. (2004). Circulation weather types and cloud-to-ground flash density over the Iberian Peninsula. *International Journal of Climatology*, Vol. 24, No.1, PP. 109-123.
- 56) Wilks, D.S. (2011). *Statistical methods in the atmospheric sciences* (Vol. 100). Academic press.
- 57) Yarnal, B. (1993). *Synoptic Climatology in Environmental Analysis*. A Primer. Belhaven Press: London.
- 58) Yarnal, B.; Comrie, A. C.; Frakes, B. and Brown, D. P. (2001). Developments and prospects in synoptic climatology. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, Vol. 21, No. 15, PP. 1923-1950.
- 59) Zolfaghari, H.; Masoompour Samakosh, J.; Jalilian, A. and Fathnia, A. (2013). Studying and Determining of Synoptic Patterns of Climatic Seasons in the West of Iran. *Physical Geography Research Quarterly*, Vol. 45, No. 1, PP. 53-70.