

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و یکم، شماره دوازدهم، اسفند ماه ۹۸

## واکاوی همدیدی بارش‌های تندری مخرب مشهد

فرامرز خوش‌اخلاق<sup>۱</sup>

محمدحسن ماهوتچی<sup>۲\*</sup>

[mhmahoutchi@ut.ac.ir](mailto:mhmahoutchi@ut.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۱/۰۴

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۷/۲۲

### چکیده

**زمینه و هدف:** توفان‌های تندری جزو پدیده‌های مخرب آب و هوایی محسوب می‌شوند که شناخت سازوکار، تکوین و توسعه‌ی توفان‌های یادشده می‌تواند کمک ویژه‌ای را در جهت مقابله و کاهش خسارات ایفا کند.

**روش بررسی:** در پژوهش حاضر به بررسی توفان‌های تندری با بارش بیش از ۱۰ میلی‌متر ایستگاه سینوپتیک مشهد در یک دوره آماری ۶۱ ساله (۲۰۱۰-۱۹۵۱) پرداخته شده است. بدین ترتیب ابتدا کدهای مربوط به رخداد پدیده توفان تندری و سپس بارش‌های بیش‌تر از ۱۰ میلی‌متر مربوط به این پدیده استخراج و در ادامه داده‌های روزانه‌ی میانگین فشار تراز دریا از سری داده‌های بازکاوی شده‌ی NCEP/NCAR در ۱۲ روز مورد نظر برداشت شد. در نهایت با روش تحلیل مؤلفه‌ی مبنا (PCA) و تحلیل خوشه‌ای، الگوهای گردشی تراز دریا که در ایجاد بارش‌های تندری نقش ایفا می‌کردند، طبقه‌بندی گردیدند.

**یافته‌ها:** با بررسی‌های صورت گرفته مشخص گردید که بارش‌های تندری مشهد از دو الگوی کلی پیروی کرده است. الگوی اول، در فشار تراز دریا، هسته‌ای از سامانه‌ی کم‌فشاری بر فراز کشور ایران شکل گرفته که با حرکت چرخندی رطوبت موردنیاز بارش تندری را از منابع رطوبتی جنوب کشور تأمین و در ترازهای فوقانی (۸۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکالی) نیز قرارگیری جلوی ناوه بادهای غربی بر فراز منطقه مورد پژوهش موجب رخداد بارش تندری گردیده است. الگوی دوم، سامانه‌ی سودانی در جهت جنوب‌غربی - شمال‌شرقی گسترش یافته و با عبور از فراز دریای عمان و خلیج فارس موجب فرارفت رطوبت به سمت منطقه مورد مطالعه شده و در تراز ۸۵۰ و به ویژه ۵۰۰ میلی باری قرارگیری جلوی ناوه بادهای غربی بر فراز منطقه مورد مطالعه عامل دینامیکی صعود را فراهم و تشدید و در پی آن به بارش تندری منجر گردیده است.

**بحث و نتیجه‌گیری:** رخداد توفان‌های تندری و به ویژه بارش‌های تندری شدید و مخرب به وجود هوای مرطوب در مجاورت سطح زمین (مثلاً نم ویژه ۱۰ گرم بر کیلوگرم و بیش‌تر)، و وجود ناپایداری در لایه‌های میانی وردسپهر بستگی دارد، مطالعه و مقایسه‌های انجام گرفته در

۱- دانشیار آب و هواشناسی دانشکده جغرافیا دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۲- دکتری آب و هواشناسی سینوپتیک، دانشگاه تهران، تهران، ایران \* (مسئول مکاتبات).

رابطه با الگوهای متفاوت نشان داد که عوامل یادشده در الگوهای موجود نقش اصلی را ایفا می‌کنند. بررسی نقشه‌های وزش رطوبتی و نم‌ویژه‌ی الگوهای متفاوت در ترازهای مختلف جوی نشان می‌دهد که منابع رطوبتی بارش‌های تندری صورت گرفته در منطقه پژوهش دریای عرب، دریای سرخ، خلیج فارس و دریای عمان است.

**واژه‌های کلیدی:** واکاوی همدیدی، بارش تندری، تحلیل مؤلفه‌ی مینا، مشهد..

# Synoptic Analysis of Mashhad Severe Thunderstorms

Faramarz Khoshakhlagh<sup>1</sup>  
Mohammad hasan Mahoutchi<sup>2\*</sup>  
[mhmahoutchi@ut.ac.ir](mailto:mhmahoutchi@ut.ac.ir)

Accepted: 2018.01.24

Received: 2017.10.14

## Abstract

**Introduction:** Thunderstorms are one of the most destructive weather phenomena, and knowing the mechanism, development, and development of such storms can be of particular help in counteracting and mitigating the damage.

**Methodology:** In the present study, thunderstorms with rainfall of more than 10 mm of Mashhad synoptic station in a 61-year statistical period (2010-1901) have been investigated. Thus, first the codes related to the occurrence of the thunderstorm phenomenon and then the precipitation of more than 10 mm related to the mentioned phenomenon were extracted and then the daily data of the average sea level pressure from the series of retrieved data series. NCEP / NCAR were harvested within 12 days. Finally, with the method of basic component analysis (PCA) and cluster analysis, sea level rotation patterns that played a role in the formation of thunderstorms were classified.

**Results and Discussion:** The study showed that thunderstorms of the Mashhad region, has been created by two general patterns. The first pattern, in the SLP, formed the cell of the monsoon system over the country advocated hot and humid air needed for thunderstorm by motion of cyclonic and at the upper levels (850 and 500 hpa) the trough of westerly winds is located over the studied area that led to the thunderstorms occurrence. In The second pattern, the Sudan system expanded from southwest toward northeast and then passed over the Persian Gulf and the Sea of Oman, that led the humid advection into the study area and at the upper levels (850 and 500 hpa) trough of westerly winds is located over the studied area that provided dynamic rise and consequently led to thunderstorms. In both precipitation pattern, main source of moisture was the South Seas and the major factor of uplifting was the western trough.

**Keywords:** Synoptic analysis, thunderstorms, principle component analysis, Mashhad.

---

1- Associate Professor of Climatology., Faculty of Geography, Tehran University, Tehran, Iran

2- Ph.D Candidate of Synoptic Climatology., Faculty of Geography, Tehran University, Tehran, Iran  
(Corresponding Author)

## مقدمه

(۱۰). بیشترین فراوانی رخداد توفان های تندری در کشور طی دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۶۰ در ماه های آوریل، می، ژوئن و اکتبر (فصول بهار و پاییز) به وقوع می پیوندد. همچنین روند رخداد توفان های تندری در ایستگاه های منتخب در کل دوره آماری افزایشی بوده است (۱۱). تمرکز اصلی رخداد توفان های تندری بهاره کشور در شمال غرب و غرب کشور می باشد (۱۲). در بررسی توفان های تندری غرب کشور و مقایسه آن با توفان های تندری شمال غرب مشخص گردید که بیش تر توفان های تندری در نیمه غربی در فصل سرد سال رخ می دهد و برعکس اغلب توفان های تندری در شمال غربی کشور در فصل بهار و تابستان و طی ساعات بعد از ظهر و اوایل شب اتفاق می افتد (۱۳، ۱۴). این در حالی است که وقوع توفان های تندری در کلیه ماه های فصل بهار برای اردبیل حتمی و عمدتاً توفان تندری با تگرگ، بارش سنگین و رعد و برق همراه است (۱۵). عامل اصلی بارش های تندری شمال غرب، تاثیر مشترک سامانه های جوی سینوپتیک و عوامل فیزیوگرافیک می باشد (۱۶).

بررسی توفان های تندری شیراز طی یک دوره ۲۵ ساله (۱۹۸۴-۲۰۰۸) نشان می دهد که سامانه های حرارتی از قبیل جریانات و اچرخندی واقع در شرق کشور و سامانه سودان، در ترازهای زیرین جو نقش اصلی تامین رطوبت و ایجاد گرادبان حرارتی را بر روی منطقه ایجاد و در ترازهای ۸۵۰ و ۵۰۰ میلی باری، محور ناوه بادهای غربی، نقش اصلی را در تشدید ناپایداری منطقه فراهم کرده اند (۱۷). مطالعه ای توفان های تندری سیلاب ساز استان کرمانشاه نشان می دهد که منبع اصلی تامین رطوبت این توفان ها دریای عرب می باشد (۱۸). تحلیل همدیدی توفان های تندری مخرب اهواز نیز بیان گر نقش ویژه الگوهای سودانی و اچرخندی در رخداد پدیده مذکور است. همچنین منبع اصلی تامین رطوبت، دریا های گرم جنوبی و عامل عمده صعود از طریق ناوه های غربی فراهم گردیده است (۱۹). از آن جایی که پدیده توفان تندری جزء سامانه های همرفتی متوسط مقیاس و خطرناک

توفان های تندری از مهم ترین پدیده های مخرب آب و هوایی محسوب می شوند که همه ساله خسارات فراوانی را از طریق رخداد تگرگ، بارش های سیل آسا و آذرخش به تأسیسات، منازل، مزارع و باغات وارد می کنند. با وجود ویژگی های توفان های تندری که بیش تر در مقیاس محلی عمل می کنند، توفان های تندری شدید مرتبط با حوادث حدی از قبیل بارش های سنگین، تگرگ، تندباد یا گردبادها هستند که موجب ایجاد خسارت های شایان توجهی به امکانات کشاورزی، ساختمان ها یا زیرساخت ها می شوند (۱ و ۲). بارش های ناشی از توفان های مذکور عمدتاً شدید و سیل آسا هستند که زمین فرصت جذب آب های حاصله را نخواهد داشت و به تبع رخداد سیلاب در پی دارد (۳). عوامل زیادی بر وقوع توفان های تندری اثرگذارند که در این میان، مهم ترین آن ها شامل: وضعیت ترمودینامیکی جو، توپوگرافی، پوشش سطح زمین، پیکربندی سواحل و جریان های اتمسفری می باشد (۴). در رابطه با واکاوی، طبقه بندی و اثرگذاری توفان های تندری پژوهش های متعددی به انجام رسیده است: ارتباط بین پدیده های تندری با عوامل محلی به ویژه شکل ناهمواری بیان گر نقش مهم آن در تکامل، شدت و سازماندهی فضایی فعالیت های همرفتی است و در واقع در مناطقی هم چون آلپ می توان کوهساری را به عنوان مهم ترین عامل در ایجاد توفان تندری بیان کرد (۵، ۶ و ۷). به علاوه ارتفاعات در توزیع فراوانی روزهای همراه با تگرگ و بدون تگرگ در تابستان حائز اهمیت هستند (۸). در همین حال ارتباط بین رخداد پدیده های تندری و مقدار هواویزهای موجود در جو نیز بیان گر این است که افزایش هواویزها در جو مانع گرم شدن سطح زمین و در واقع مانع اثرات تابشی در سطح زمین می گردد که در پی آن بارش های تندری کاهش چشمگیری خواهد یافت (۹). شبیه سازی مدل اقلیمی نشان می دهد که در آینده، انرژی پتانسیل همرفتی در دسترس، افزایش و چینش باد کاهش می یابد. در واقع افزایش انرژی پتانسیل همرفتی در دسترس، محیط مناسبی را برای افزایش توفان تندری شدید فراهم می کند

رخ می‌دهند که با پژوهش‌های مختلف توفان تندری (۱۳، ۲۸، ۲۹ و ۳۰)، در ایران هم‌خوانی دارد. در ادامه به منظور تبیین الگوهای گردشی این روزها، مقادیر روزانه میانگین فشار تراز دریا به کمک داده‌های بازکاوی شده‌ی NCEP/NCAR در محدوده ۱۰ تا ۱۰۰ درجه طول شرقی و ۰ تا ۵۵ درجه عرض شمالی محاسبه و ماتریسی به ابعاد  $۱۲ \times ۸۵۱$  سلول با ۱۲ روز و ۸۵۱ نقطه‌ی  $۲/۵$  درجه شکل گرفت. در مرحله دوم، برای کاهش حجم داده‌های تراز دریا و به دست آوردن تیپ الگوهای گردشی، از تحلیل مؤلفه‌های اصلی استفاده گردید. به منظور طبقه‌بندی الگوهای نقشه‌ای پراکندگی فشار در ماتریس با آرایش  $S$ ، از ماتریس همبستگی استفاده می‌شود (۳۱). بنابراین به منظور تحلیل مؤلفه‌ی مینا (PCA)، از تحلیل ماتریس همبستگی استفاده گردید. سپس برای تعیین تعداد عامل‌ها، مقادیر ویژه‌ی بزرگ‌تر از یک انتخاب شدند (۳۲). میزان دقت و تبیین پراش (واریانس) عامل‌های هر یک از ماتریس‌ها در جدول ۲ نشان داده شده است. بعد از ایجاد عامل‌ها، مهم‌ترین مرحله‌ی تعیین‌کننده، دوران و نوع دوران است، از آنجا که در طبقه‌بندی الگوهای نقشه‌ای باید خروجی مؤلفه‌ی مینا را وارد تحلیل خوشه‌ای کرد، استفاده از دوران متعامد گزینه‌ی بهتری است (۲۵). بنابراین داده‌ها با دوران متعامد واریماکس چرخش داده شده و در نهایت با ضرب ماتریس ضرایب عامل‌ها، در ماتریس استاندارد شده‌ی داده‌های اصلی، ماتریس  $n \times p$  نمرات عاملی ( $n$  تعداد روزها و  $p$  تعداد عامل‌ها) به دست آمد. برای انتخاب عامل‌های اصلی، تبیین پراش بیشتر از یک درصد مقدار بردارهای ویژه انتخاب شده است. بر این اساس بردارهای ویژه‌ای که کمتر از یک درصد پراش کل را نشان می‌دادند، حذف شدند. نتایج به دست آمده در جدول ۲ نشان داده شده است. بنابراین برای به دست آوردن تیپ الگوهای گردشی، تحلیل خوشه‌ای با محاسبه‌ی فواصل اقلیدسی (رابطه ۱) و روش ادغام (گروه‌بندی) وارد (رابطه ۲) روی مؤلفه‌های اصلی ماتریس  $n \times p$  به عمل آمد (۳۳).

است، بررسی دقیق‌تر آن نیاز به درک مسایل هم‌دیدنی دارد (۲۰، ۲۱). به همین منظور با به کارگیری نقشه‌های ترازهای مختلف جو، داده‌های رادیوسوند، تصاویر ماهواره‌ای و رادار داپلر می‌توان به مطالعه‌ی ماهیت ابرها، شناخت نوع رگبار، بارش‌های تندری و پیش‌بینی و واکاوی هم‌دیدنی توفان تندری پرداخت. به عنوان نمونه می‌توان به پژوهش‌های (۵، ۲۰، ۲۲ و ۲۳) و ... اشاره کرد. با توجه به اهمیت پژوهش پیرامون توفان تندری و با توجه به این که علم آب‌وهواشناسی هم‌دیدنی به تبیین سامانه‌های فضایی اقلیم روی زمین بر اساس الگوهای غالب حرکت‌های اتمسفری (۲۵) می‌پردازد، به منظور کاهش خسارات وارد شده به جان و مال (محصولات کشاورزی، باغ‌ها و ...) انسان‌ها ضروری است تا الگوهای رخداد بارش تندری مشهد مورد شناسایی قرار گیرد.

### روش‌ها

دو رویکرد عمده مطالعات آب‌وهواشناسی هم‌دیدنی، رویکردهای گردشی به محیطی و محیطی به گردشی هستند که به منظور استخراج الگوهای رخداد بارش تندری مشهد از رویکرد محیطی به گردشی استفاده می‌گردد (۲۵) در پژوهش حاضر به بررسی بارش‌های تندری بیش‌تر از ۱۰ میلی‌متر مشهد پرداخته شده است. اگر همراه توفان تندری هرگونه بارش اعم از تگرگ، باران و یا برف نازل شود اصطلاحاً به آن بارش تندری گفته می‌شود (۲۶). بنابراین، با توجه به این که هدف اصلی پژوهش حاضر واکاوی هم‌دیدنی بارش‌های تندری است از کدهای ۹۱ تا ۹۹ که گویای رعد و برق همراه با بارش هستند (۲۷)، استفاده گردیده است. بدین ترتیب ابتدا کدهای ۹۱ تا ۹۹ (کدهای مربوط به بارش‌های تندری) ایستگاه مشهد در یک دوره آماری ۶۱ ساله (۲۰۱۰ - ۱۹۵۱) و سپس بارش‌های بیش‌تر از ۱۰ میلی‌متر مربوط به کدهای فوق استخراج گردید (جدول ۱) که بر این اساس فراوانی رخداد بارش تندری در پژوهش حاضر، بیان‌گر این است که بارش‌های تندری مشهد عمده‌تاً در فصل بهار و در ماه‌های آوریل تا می (۷۵ درصد) و در بازه‌ی ساعتی بین ساعت ۱۲ تا ۲۱ محلی

چرخه‌زدایی شده) روی ماتریس فشار تراز دریا در روزهای بارش تندی دیده می‌شود، ماتریس اولیه مورد استفاده ماتریسی ۱۲\*۸۵۱ بود که ۱۱ مقدار ویژه بیشتر از ۱ به عنوان عامل اصلی به دست آمد و این عامل‌ها در کل ۹۹٪ پراش کل داده‌ها را تبیین می‌کنند. از بین این ۱۱ عامل، ۷ عامل بیش از ۱ درصد پراش کل داده‌ها را تبیین کرده و ۹۳٪ درصد پراش داده‌ها را نشان می‌دهند که به منزله‌ی عوامل نهایی انتخاب شدند. در نهایت ماتریس بار نمرات عاملی به صورت ماتریسی با ابعاد ۷ × ۱۲ حاصل شد. در مرحله‌ی بعد، اجرای تحلیل خوشه‌ای بر روی ماتریس مورد نظر نشان داد که داده‌ها دارای دو خوشه اصلی در تراز دریا می‌باشند. بنابراین دو الگوی اصلی در فشار تراز دریا برای بارش‌های تندی مشهد شناسایی گردید (شکل ۱). هر دو الگو در فشار تراز دریا به همراه جریان‌ات تراز ۸۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال به تفصیل مورد بررسی قرار می‌گیرد.

$$d_{i,j} = \left[ \sum_{k=1}^k w_k (x_{i,k} - x_{j,k})^2 \right] \quad (1)$$

که در آن،  $d_{i,j}$  فاصله‌ی اقلیدسی دو بردار  $x_{i,k}$  و  $x_{j,k}$  با مشخصه‌ی سطر و ستون  $k$  ام و  $w_k$  ضریب وزنی متناسب با هر سطر و ستون است.

$$w = \sum_{g=1}^G \sum_{i=1}^{ng} \|x_i - \bar{x}_g\| = \sum_{g=1}^G \sum_{i=1}^{ng} \sum_{k=1}^k (x_{i,k} - \bar{x}_{g,k})^2 \quad (2)$$

در این رابطه،  $w$  کمینه واریانس وارد،  $g$  مشخصه گروه است،  $ng$  بیان‌گر تعداد گروه و  $x_i$  بیان‌گر  $i$  امین متغیر و  $\bar{x}_g$  بیان‌گر میانگین متغیرهای گروه است.

#### یافته‌های تحقیق

همان‌طور که در جدول ۲ (نتایج تحلیل مؤلفه‌ مبنا-ماتریس

جدول ۱- مقادیر بارش‌های بیش‌تر از ۱۰ میلی‌متر ایستگاه مشهد طی دوره آماری ۱۹۵۱ – ۲۰۱۰ منبع: نگارندگان

**Table 1- Rainfall values of greater than 10 mm in Mashhad Station during the period of 1951-2010 (Source: Authors)**

ردیف	روز	ماه	سال	بارش بر حسب میلی	کد	ساعت وقوع
۱	۲۱	مارس	۱۹۵۳	۲۷	۹۷	۱۸
۲	۲۲	مارس	۱۹۵۳	۴۲	۹۶	۰۳
۳	۱۴	آوریل	۱۹۵۶	۱۲/۵	۹۶	۱۸
۴	۱۹	آوریل	۱۹۵۶	۱۲/۵	۹۵	۰۰
۵	۲۷	آوریل	۱۹۵۶	۱۹/۵	۹۵	۱۵
۶	۱	می	۱۹۷۳	۱۶	۹۵	۰۰
۷	۶	جون	۱۹۹۲	۲۲	۹۷	۰۳
۸	۲۹	می	۱۹۹۳	۲۵	۹۵	۱۲
۹	۵	آوریل	۱۹۹۸	۱۲	۹۵	۲۱
۱۰	۶	آوریل	۱۹۹۸	۵۲	۹۵	۰۳
۱۱	۱۵	می	۲۰۰۷	۱۷	۹۵	۱۵
۱۲	۱۳	آوریل	۲۰۰۸	۱۴/۴	۹۵	۰۳

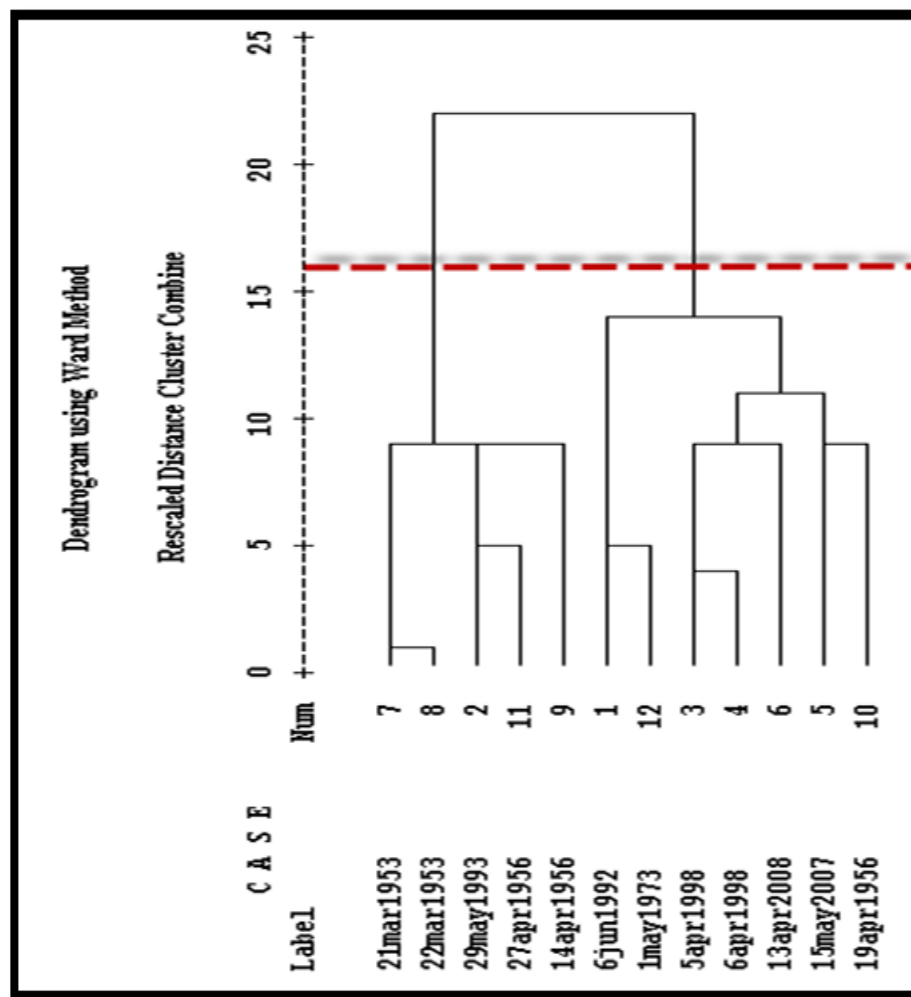
جدول ۲- مشخصات به دست آمده از تحلیل مؤلفه اصلی (مبنا) منبع: نگارندگان

Table 2- Specifications obtained from principal component analysis (Source: authors)

ماتریس اولیه	مقادیر ویژه بزرگ‌تر از یک	درصد تبیین پراش کل	مقادیر ویژه بیش از یک درصد تبیین	درصد تبیین پراش کل	نمرات
۱۲*۸۵۱	۱۱	۰/۹۳	۷	۰/۹۹	۱۲*۷

شکل ۱- دارنمای خوشه‌های فشار تراز دریا در بارش‌های تندری مشهد منبع: نگارندگان

Figure 1- Sea level pressure clusters in Mashhad Thunderstorm (Source: Authors)



## الگوی یک (بارش تندری ۶ آوریل ۱۹۹۸)

شکل ۲ (الف) فشار تراز دریا و امگا<sup>۱</sup> (سرعت قائم<sup>۲</sup>) روز ۶ آوریل ۱۹۹۸ را به تصویر می‌کشد. همان گونه که ملاحظه می‌شود سامانه‌ی کم‌فشاری با هسته‌ی مرکزی ۱۰۰۴ هکتوپاسکال بر نیمه‌ی شرقی ایران خودنمایی می‌کند. سامانه‌ی مورد اشاره به صورت زبانه‌ای کم‌فشاری از سامانه‌ی موسمی از سه روز قبل به سمت ایران و به ویژه شمال‌شرق حرکت و در نهایت روز ۶ آوریل هسته‌ای از زبانه‌ی مذکور در ایران ایجاد گردیده که منطقه مورد پژوهش بین پربندهای ۱۰۰۸ تا ۱۰۱۰ هکتوپاسکالی واقع شده است. با توجه به حرکت چرخندی سامانه، شرایط مناسب ناپایداری چه از نظر تشدید صعود و چه از نظر تأمین رطوبت به ویژه از منابع رطوبتی جنوب کشور فراهم گردیده است. نقشه امگا نیز بیان‌گر شرایط ناپایداری در تراز دریا بر فراز مشهد می‌باشد. که میزان امگا بین ۰ تا ۱- پاسکال بر ثانیه است.

شکل ۲(ب) جریان باد و نم‌ویژه تراز دریا روز ۶ آوریل ۱۹۹۸ را نمایش می‌دهد. با توجه به نقشه وزش باد، جهت جریانات بر فراز کشور ایران به دلیل وجود هسته‌ای از سامانه‌ی چرخندی موسمی (شکل ۲ الف)، پادساعتگرد است که این امر موجب فرارفت رطوبت از منابع رطوبتی جنوب کشور شامل دریای عرب، عمان و خلیج فارس به سمت شمال‌شرق ایران به ویژه منطقه مورد مطالعه گردیده است. نقشه نم‌ویژه بیان‌گر این است که در تراز دریا میزان نم بر فراز منطقه مورد مطالعه به ۱۰ تا ۱۲ گرم در کیلوگرم می‌رسد. که حقیقتاً این میزان نم به منظور رخداد بارش تندری بسیار مناسب خواهد بود.

در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکالی (شکل ۲ پ) سامانه‌ی کم‌ارتفاعی با پربند مرکزی ۱۴۵۰ ژئوپتانسیل متر در غرب سامانه‌ی کم‌فشار تراز دریا مشاهده می‌شود. سامانه مذکور با توجه به حرکت پادساعتگرد، موجب ریزش هوای سرد در عقب خود که عمیق‌تر شدن ناوه غربی و سامانه را در پی خواهد داشت. همچنین حرکت

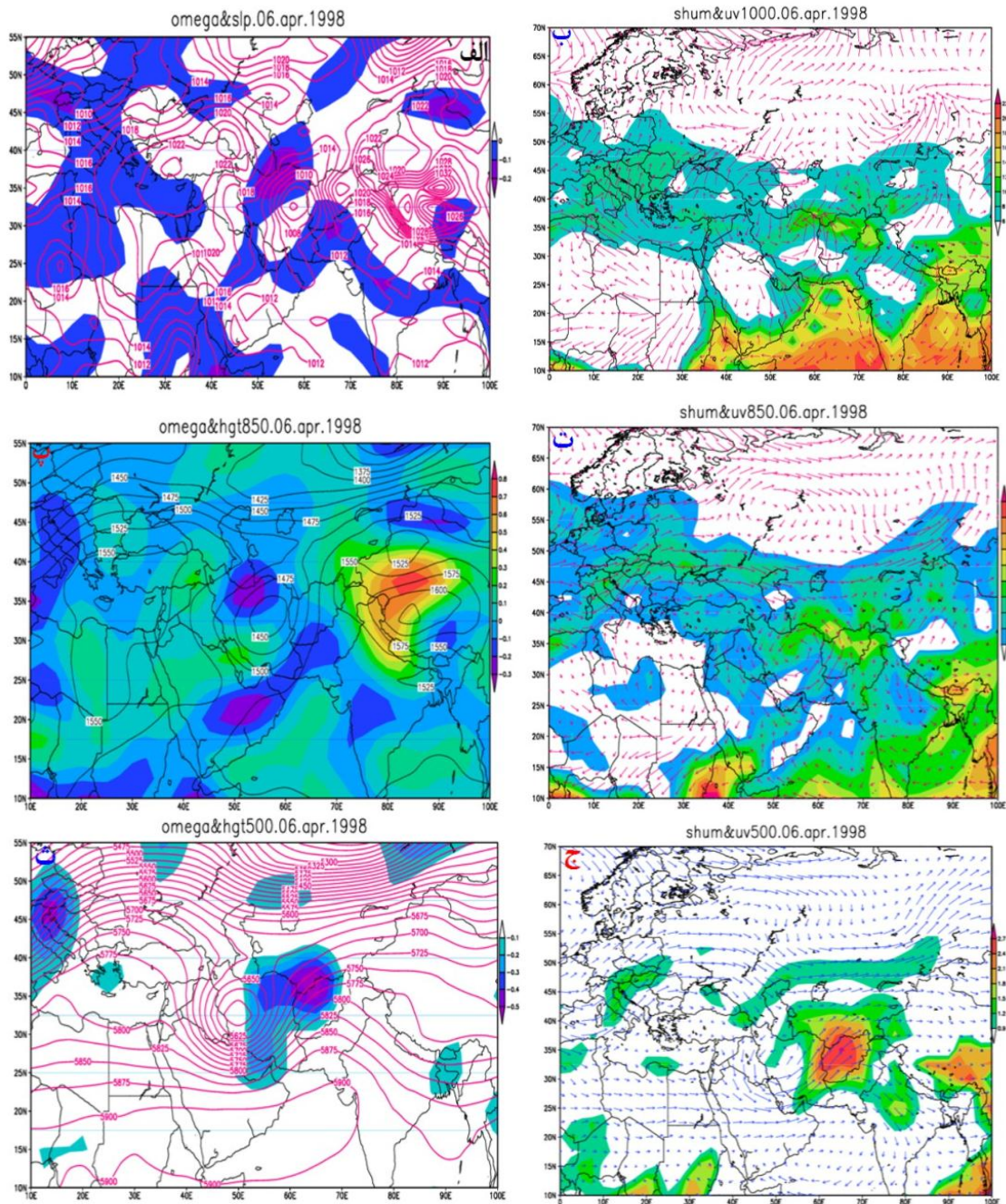
چرخندی موجب تزریق هوای گرم و مرطوب در جلوی سامانه و تشدید شرایط ناپایداری بر فراز منطقه مورد پژوهش می‌شود. میزان امگا بر فراز مشهد به ۱- پاسکال بر ثانیه می‌رسد که شرایط را برای رخداد بارش با توجه به تزریق رطوبت فراهم می‌کند. شکل ۲(ت) وزش باد و نم‌ویژه تراز ۸۵۰ هکتوپاسکالی روز ۶ آوریل ۱۹۹۸ را به تصویر کشیده است. نقشه وزش باد نشان می‌دهد جهت جریانات بر فراز ایران چرخندی است که ناشی از قرارگیری سامانه کم‌ارتفاع در تراز مذکور می‌باشد. به این ترتیب شرایط برای تزریق رطوبت از نواحی رطوبتی جنوب کشور به منطقه مورد پژوهش مهیا می‌باشد. میزان نم‌ویژه در منطقه به ۶ تا ۸ گرم در کیلوگرم می‌رسد.

شکل ۲(ث) ارتفاع ژئوپتانسیل و امگا تراز ۵۰۰ هکتوپاسکالی روز ۶ آوریل ۱۹۹۸ را نشان می‌دهد. با توجه به نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل مشاهده می‌گردد که سامانه‌ی کم‌ارتفاعی با سلول مرکزی ۵۶۰۰ ژئوپتانسیل متر بر فراز غرب ایران و غرب سامانه کم‌ارتفاع تراز ۸۵۰ هکتوپاسکالی تشکیل گردیده است. به دلیل قرارگیری جلوی سامانه‌ی کم‌ارتفاع بر فراز منطقه‌ی مورد پژوهش زمینه‌ی بسیار مناسبی برای تقویت صعود و تشدید ناپایداری در منطقه فراهم گردیده به گونه‌ای که با توجه به نقشه امگا میزان صعود بر فراز منطقه مورد مطالعه به ۳- تا ۴- پاسکال بر ثانیه نیز رسیده است و این موضوع از عوامل اصلی شکل‌گیری و تشدید بارش تندری در منطقه بوده است. شکل ۲(ج) وزش باد و نم‌ویژه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکالی روز ۶ آوریل ۱۹۹۸ را نمایش می‌دهد. با توجه به قرارگیری سامانه‌ی کم‌ارتفاع در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکالی بر فراز ایران (شکل ۲(ث)) جهت جریانات در تراز مذکور چرخندی و بدین ترتیب واضح است که رطوبت از منابع رطوبتی جنوب کشور از جمله خلیج فارس به سمت منطقه مورد مطالعه شارش و میزان نم در منطقه به ۱/۸ تا ۲/۱ گرم در کیلوگرم رسیده است.

1- Omega

2- Vertical Velocity





شکل ۲- الف: فشار و امگا (پاسکال بر ثانیه) تراز دریا؛ ب: جریان باد (متر بر ثانیه) و نمویزه تراز (گرم بر کیلوگرم) دریا؛ پ: ارتفاع ژئوپتانسیل و امگا تراز ۸۵۰؛ ت: جریان باد و نمویزه تراز ۸۵۰؛ ث: ارتفاع ژئوپتانسیل و امگا تراز ۵۰۰، جریان باد و نمویزه تراز ۵۰۰. منبع: نگارندگان

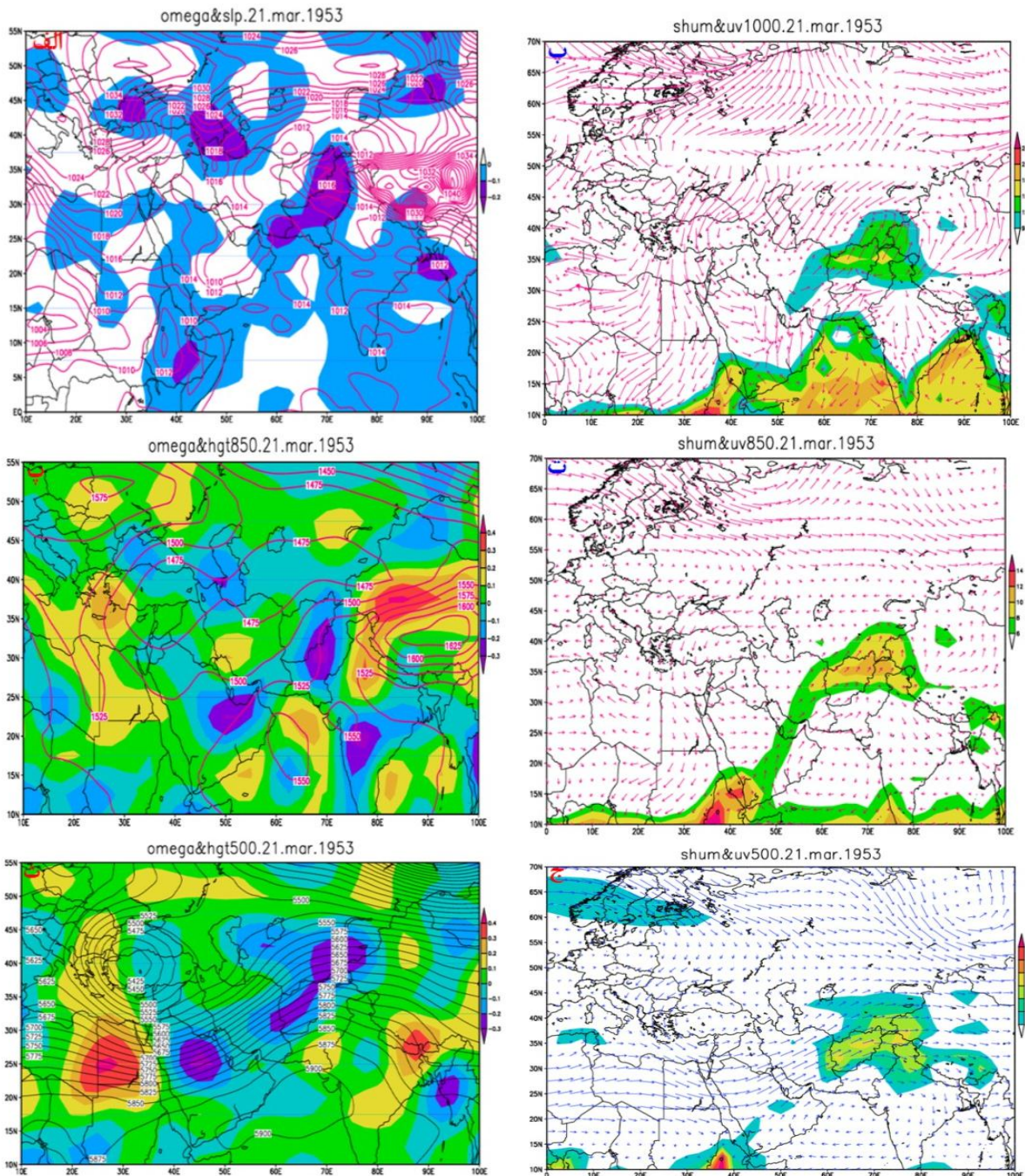
**Figure 2. a: Sea level Pressure and omega (Pa/s); b: sea level Streamlines (m/s) and specific humidity (g/kg); c: 850-hpa Geopotential height and omega; d: 850-hpa Streamlines and specific humidity; e: 500-hpa Geopotential height and omega; f: 500-hpa Streamlines and specific humidity ( Source: Authors).**

## الگوی سودانی (۲۱ مارس ۱۹۵۳)

شکل ۳(الف) نقشه فشار تراز دریا و امگا روز ۲۱ مارس ۱۹۵۳ را نشان می‌دهد. با توجه به نقشه فشار تراز دریا سامانه‌ی کم‌فشاری ناشی از سامانه‌ی سودانی در جهت جنوب‌غربی - شمال‌شرقی حرکت و به تدریج با دو هسته‌ی مرکزی ۱۰۱۰ هکتوپاسکال بر فراز خلیج فارس و نیمه‌ی جنوبی عربستان و دیگری در جنوب - شرق تاجیکستان بسته شده و منحنی بیرونی این سامانه (۱۰۱۲ هکتوپاسکالی) از عربستان تا شمال‌شرق ایران در جهت جنوب - غربی - شمال‌شرقی کشیده شده است. به دلیل حرکت چرخندی سامانه‌ی کم‌فشاری و عبور منحنی ۱۰۱۲ هکتوپاسکالی از منطقه مورد پژوهش امکان تزریق رطوبت از منابع رطوبتی جنوب کشور به منطقه فراهم گردیده است. نقشه امگا در تراز دریا در روز مورد بحث بیان‌گر شرایط نسبتاً پایدار بر فراز منطقه مورد مطالعه می‌باشد. شکل ۳(ب) وزش باد و نم‌ویژه تراز دریا در روز ۲۱ مارس ۱۹۵۳ را نمایش می‌دهد. با توجه به اینکه در روز مذکور سامانه کم‌فشاری ایران را در بر گرفته لذا جهت جریانات بر فراز کشور در تراز دریا چرخندی است و مشاهده می‌گردد که جریانات به سمت منطقه پژوهش جنوب‌غربی - شمال‌شرقی است. همچنین میزان نم‌ویژه با توجه به فرافت رطوبت توسط جریان‌های چرخندی در منطقه مورد پژوهش به ۹ تا ۱۲ گرم در کیلوگرم می‌رسد که این میزان رطوبت در تراز دریا برای شکل‌گیری بارش تندی مناسب می‌باشد.

ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۸۵۰ (شکل ۳(پ)) بیان‌گر وجود یک ناوه - ی نسبتاً مداری بر فراز مدیترانه‌ی شرقی است. هسته‌ی سامانه‌ی مورد اشاره با پربند ۱۴۷۵ ژئوپتانسیل متر به صورت مداری از طول جغرافیایی ۳۳ درجه‌ی شرقی تا ۸۳ درجه‌ی شرقی و ۳۲ درجه عرض شمالی تا ۴۳ درجه‌ی عرض شمالی قرار گرفته که پربند مذکور از فراز منطقه مورد پژوهش نیز عبور کرده است. اگر

به پربندهای ۱۴۷۵ و ۱۵۰۰ ژئوپتانسیل متر دقت شود بر فراز ایران یک ناوه با محور شمال‌شرقی - جنوب‌غربی شکل گرفته که می‌تواند در تسهیل حرکت سامانه‌ی کم‌فشاری تراز دریا به سمت شمال شرق ایران مؤثر باشد. در روز روز مورد اشاره در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکالی میزان امگا مثبت و بین ۰ تا ۱+ می‌باشد که شرایط پایدار را به تصویر می‌کشد. شکل ۳(ت) جریان باد و نم - ویژه تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال روز ۲۱ مارس ۱۹۵۳ را نمایش می‌دهد. با توجه به اینکه در این روز یک سامانه کم‌ارتفاع بر فراز ایران قرار دارد لذا جریان وزش پادساعت‌گرد بوده که این امر موجب شارش رطوبت از منابع رطوبتی مانند دریای سرخ و خلیج فارس به سمت منطقه مورد پژوهش گردیده است. میزان نم در منطقه بین ۶ تا ۸ گرم در کیلوگرم متغیر است. شکل ۳(ث) ارتفاع ژئوپتانسیل و امگا تراز ۵۰۰ هکتوپاسکالی روز ۲۱ مارس ۱۹۵۳ را به تصویر کشیده است. همان‌گونه که در تصویر مشاهده می‌شود سامانه‌ی کم‌ارتفاعی با هسته‌ی مرکزی ۵۴۲۵ ژئوپتانسیل متر بر فراز ترکیه شکل گرفته است. باید توجه داشت که سامانه مذکور در واقع بخشی از یک بندال امگایی شکل است که بر فراز اروپا تشکیل گردیده است. با توجه به عبور پربندهای سامانه‌ی کم‌ارتفاع و ناوه‌ی غربی از فراز دریای سرخ و سپس خلیج فارس، شرایط برای تزریق رطوبت به منطقه مورد پژوهش فراهم گردیده و از همه‌ی این‌ها مهم‌تر قرارگیری جلوی ناوه بر فراز مشهد می‌باشد که شرایط را برای تقویت ناپایداری و صعود به میزان ۱- پاسکال بر ثانیه فراهم کرده است. شکل ۳(ج) وزش باد و نم‌ویژه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکالی را نشان می‌دهد. با توجه به نقشه جریان باد جهت وزش جنوب‌غربی - شمالی شرقی است و این امر در تزریق رطوبت و همچنین تشدید ناپایداری بر فراز منطقه مورد مطالعه بسیار مؤثر بوده است. میزان نم‌ویژه در تراز مذکور به ۱/۵ تا ۲ گرم در کیلوگرم رسیده است.



شکل ۳- الف: فشار و امگا (پاسکال بر ثانیه) تراز دریا؛ ب: جریان باد (متر بر ثانیه) و نهویژه تراز (گرم بر کیلوگرم) دریا؛ پ: ارتفاع ژئوپتانسیل و امگا تراز ۸۵۰؛ ت: جریان باد و نهویژه تراز ۸۵۰؛ ث: ارتفاع ژئوپتانسیل و امگا تراز ۵۰۰، جریان باد و نهویژه تراز ۵۰۰. منبع: نگارندگان

**Figure 3. a: Sea level Pressure and omega (Pa/s); b: sea level Streamlines (m/s) and specific humidity (g/kg); c: 850-hpa Geopotential height and omega; d: 850-hpa Streamlines and specific humidity; e: 500-hpa Geopotential height and omega; f: 500-hpa Streamlines and specific humidity ( Source: Authors).**

## نتیجه‌گیری

به منظور نیل به هدف اصلی پژوهش یعنی شناسایی الگوهای همدیدی‌ای که سبب رخداد نوعی از مخاطره‌های جوی (بارش‌های تندی) در مشهد می‌شوند، نقشه‌های همدیدی ترازهای متفاوت جو در ساعت‌های مختلف بررسی که در نهایت الگوهای مربوط به رخداد بارش تندی در مشهد استخراج گردیدند (شکل ۲ و ۳). از آن جا که احتمال رخداد توفان‌های تندی و به ویژه بارش‌های تندی شدید و مخرب به وجود هوای مرطوب در مجاورت سطح زمین (مثلاً نم ویژه ۱۰ گرم بر کیلوگرم و بیش تر)، و وجود ناپایداری در لایه‌های میانی وردسپهر (۳۵) بستگی دارد، مطالعه و مقایسه‌های انجام گرفته در رابطه با الگوهای متفاوت نشان داد که عوامل یادشده در الگوهای موجود نقش اصلی را ایفا می‌کنند. در واقع زمانی که رطوبت به سامانه تزریق و شرایط دینامیکی، صعود سامانه را تقویت کند، بارش تندی شدید رخ خواهد داد (۷). بررسی نقشه‌های وزش رطوبتی و نم‌ویژه‌ی الگوهای متفاوت در ترازهای مختلف جوی نشان می‌دهد که منابع رطوبتی بارش‌های تندی صورت گرفته در منطقه پژوهش دریای عرب، دریای سرخ، خلیج فارس و دریای عمان است.

## منابع

1. Kunz, M., Sander, J. and Kottmeier, Ch. 2009. "Recent trends of thunderstorm and hailstorm frequency and their relation to atmospheric characteristics in southwest Germany". international journal of climatology int. j. climatol. 29. pp. 2283–2297.
2. Mohammadi, Hossein 2008. Atmospheric hazards, Tehran: Tehran University Press (In Persian)
3. Adelekan, I.O. 1998. "spatio – temporal variations in thunderstorm rainfall". international journal of climatology int. j.climatol. 18. pp. 1273–1284.
4. Czernecki, B., Taszarek, M., Kolendowicz, L. and Szyga-Pluta, K. 2015. "Atmospheric conditions of thunderstorms in the European part of the Arctic derived from sounding and reanalysis data". Atmospheric Research. 154. pp. 60–72.
5. M. V. Sioutas., H. A. Flocas., 2003, Hailstorms in Northern Greece: synoptic patterns and thermodynamic environment, Theor. Appl. Climatol. No. 75, PP. 189–202.
6. Siedlecki, M., 2009. Selected Instability Indices in Europe, Journal of Theoretical Applied Climatology, Vol. 96, pp. 85–94.
7. U. Dayan., B. Zi., A. Margalit., E. Morin., D. Sharon., 2001. A severe autumn storm over the middle-east: synoptic and mesoscale convection analysis, Theor. Appl. Climatol, No. 69, PP. 103-122.
8. Etkin, D., Brun, S.E., 1999. Canadas Hail climatology, International Journal of Climatology, Vol. 19, Issue 12, PP. 1357–1373.
9. H.E. Brooks., Severe thunderstorms and climate change, 2013. Atmospheric Research, Vol. 123, PP. 129–138.
10. Kunz, M., Sander, J. and Kottmeier, Ch. 2009. "Recent trends of thunderstorm and hailstorm frequency and their relation to atmospheric characteristics in southwest Germany". international journal of climatology int. j. climatol. 29. pp. 2283–2297.
11. Xin Yang., Zhanyu Yao., Zhanqing Li., Tianyi Fan., 2013. Heavy air pollution suppresses summer thunderstorms in

2011. Synoptic analysis of the flood maker thundertorms in Kermanshah province, *Journal of Geographical landscape*, No. 13, 41-21, (In Persian).
19. Mahdi Modiri; Mahdi Khazaei and Mohammad Hasan Mahoutchi 2013. Synoptic- Thermodynamic Analysis of Shiraz Thunerstorms. *Quarterly Journal of Geographic Information "Sepehr"* Volume 22, Issue 85, Pages 4227.
  20. Mohammadi, Hossein; Khazae, Mahdi; Mahoutchi, Mohammad Hassan and esmail Abbasi 2016. Synoptic analysis of Mashhad severe thunderstorms. *Knowledge of Hazarda*, Volume 3, Issue 2, Summer, 170-155, (In Persian).
  21. J.B.,Cohuet, Romero, R., Homar, V., Ducrocq, V. and Ramis, C. 2011. "Initiation of a severe thunderstorm over the Mediterranean Sea". *Atmospheric Research*. 100. pp. 603–620.
  22. E. García-Ortega., A. Merino., L. López., J.L. Sánchez., 2012. Role of mesoscale factors at the onset of deep convection on hailstorm days and their relation to the synoptic patterns, *Atmospheric Research*, Vol. 114–115, No. 91–106.
  23. Nicolau Pineda., Tomeu Rigo., Joan Bech., Xavier Soler., 2007, Lightning and precipitation relationship in summer thunderstorms: Case studies in the North Western Mediterranean region, *Atmospheric Research*, Vol. 85, No. 159–170.
  24. E. García-Ortega., L. López., J.L. Sánchez., 2011, Atmospheric patterns associated with hailstorm days in the central China, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, Vol. 95–96 , PP. 28–40.
  12. Ghavidel Rahimi, Yousef; Baghbanian, Parastoo; and Manouchehr Farajzadeh Asl 2015. Changes in Temporal trend of Thunderstorms in Iran. *Journal of Spatial Planning*, Volume 19, Issue 2, Summer, Pages 209-185, (In Persian).
  13. Yosef Ghavidel Rahimi, Parasto Baghebanan, Manouchehr Farajzadeh 2014. The Spatial Analysis of Hazard of Spring Thunderstorms in Iran. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazarts*. 1(3): 59-70, (In Persian).
  14. Jalali, Oraj 2006. The temporal and spatial analysis of Thunderstorms in the Northwest, PhD dissertation with guidance of Ali Akbar Rasouli, Physical geography Department, Tabriz University, (In Persian).
  15. Hejazizadeh, Zahra 2000. Synoptic study of rainfall and storm with thunderstorms in the west of the country. *Journal of Faculty of Literature and Humanities (Kharazmi University)* No. 28 and 29, pp. 26-5, (In Persian).
  16. Boroumand Salahi 2010. Statistical and Synoptic Analysis of Characteristics of Thunderstorms in Ardabil Provinc. *Physical Geography Reasearch Qurterly*. Volume 42, Issue 72, 129-141, (In Persian).
  17. A. Rasouli, J. Bodaghjamali, and Oraj, Jalali 2006. Temporam Distribution of Thunderstorms in the Northwest of Iran, *Research Journal of Isfahan University*, Vol. 22, No. 1, 155-170, (In Persian).
  18. Khaledi, Shahriar, Faramarz, KhoshAkhlagh and Mehdi, Khazaei

33. Richard G.V., V. 2007. Applied Multivariate Statistical Analysis, translated by Hossein Ali Nirmomand, Mashhad, Astan Quds Publications.
34. Ghasem Azizi; Teimour Alizadeh 2014. The Relationship between Circulation Pattern Types in Sea Level Pressure and Precipitation in Iran. Physical Geography Research Quarterly. Volume 46, Issue 3, Autumn, 261-405, (In Persian).
35. Linacre Edward and geerts, Bart , 2003. climates and weather, explained London and New York. Munzara, J., Franco, M., 2003, Winter thunderstorms in central Europe in the past and the present, Atmospheric Research, Vol. 67– 68 , PP. 501– 515.
- Ebro Valley, Spain, Atmospheric Research, Vol. 100, PP. 401–427.
25. Alijani, Bohlul 1995. The science of climatology. Quarterly Journal of Geographical Researches, No. 45, pp. 55-40, (In Persian).
26. Brent, Jr. 1993. Contemporary Climate and its Application in Environmental Studies, translated by Seyyed Abolfazl Masoudian, Isfahan University Press, (In Persian).
27. Changnon, A.S., 2001. Thunderstorm Rainfall in the Conterminous United States, Bulletin of the American Meteorological Society, Vol. 82, No. 9, PP. 1925- 1940.
28. Technical and operational deputy of the General Directorate of the Network 2008. Codes descriptions and land survey methods (SINOP), National Meteorological Organization, (In Persian).
29. Haghghat Kashani, Khosrou 1991. Frequency of thunderstorms in Iran, master's thesis, supervisor Ardakani, Hossein and Parviz Irannejad, Institute of Geophysics, University of Tehran, (In Persian).
30. Ezatyan, Victoria 2003. The role of physical processes in the intensify of atmospheric instability, Iran Geophysical Conference, (In Persian).
31. Manuchehr Farajzadeh Taher Mostafapoor 2012. Temporal and Spatial Analysis of Hail in Iran. Volume 10, Issue 28, Winte, 55-66, (In Persian).
32. Alijani, Bahlul 2009. Synoptic Climatology, Samt Press. Tehran, Iran, (In Persian).