

Research Paper



**Introduction and Study of Meteorological Features of  
Caspian Clouds  
(Case Study from July 20 to 31, 2013)**



Shahnaz Rashedi<sup>1</sup>, Saeed Jahanbakhsh Asl<sup>2\*</sup>, Ali Mohammad Khorshiddoust<sup>2</sup>, Gholam Hasan Mohammadi<sup>3</sup>



This paper is an open access and licenced under the CC BY NC licence.



DOI: 10.22034/GP.2023.14431

**Reference to this article:** Rashedi, S., Jahanbakhsh, S., Khorshiddoust, A., Mohammadi, G. (2023). Introduction and study of Caspian Clouds (Case study from July 20 to 31, 2013). *Geography and Planning*, 27(84), 71-79.

**Keywords**

Caspian clouds, South Caspian coast, HYSPLIT model, MODIS satellite images

Received: 2021/12/28

Accepted: 2022/03/26

Available: 2023/09/16

**A B S T R A C T**

Caspian clouds that are formed in the distance between the southern shores of the Caspian Sea and the Alborz Mountains were identified and studied in this paper. In this study, July 20 to 31, 2013, were selected as the study sample during which the clouds were formed. For this purpose, data on the type, amount, and height of different cloud layers and daily precipitation of 36 synoptic stations located on the southern coast of the Caspian Sea were received from the Meteorological Organization. MODIS images were used to investigate the relationship between precipitation and cloud microphysical parameters (CTT, CTH, COT, CER, CWP). ERA5 and NCEP/NCAR data were also used to identify synoptic patterns leading to cloud formation. Finally, HYSPLIT model and regression method were used to identify the path of moisture flow. The results of observational data showed that Caspian clouds were observed in the form of low Stratus clouds and middle clouds of Altocumulus type in the region. So that among the low clouds, the heights of 750 and 900 meters and among the middle clouds, the heights of 2700 meters had the highest frequency. The results of Caspian clouds rainfall showed that in most areas, 1 to 5 mm of precipitation has occurred. Correlation results showed that precipitation was positively correlated with CTH, COT, CER and CWP, and negatively correlated with CTT. Multivariate regression predicted 17% of precipitation by cloud parameters. The results of the study of synoptic maps showed that with the establishment of a 1012 hPa high pressure core in the north of the Caspian Sea, the north-south wind flow along with the transfer of sea moisture to the south shore of the Caspian Sea, ascending the air mass and the formation of clouds and limited rainfall in the region. Vertical profiles showed maximum specific humidity in the lower levels of the atmosphere (1000 to 900 hPa). The results of HYSPLIT model moisture flow path showed that the main source of regional moisture was the Caspian Sea.

\* **Corresponding Author:** Saeed Jahanbakhsh Asl

**E-mail:** s\_jahan@tabrizu.ac.ir

1. PhD student Climatology, University of Tabriz, Faculty of Planning and Environmental Sciences, Tabriz, Iran.
2. Professor of Climatology, University of Tabriz, Faculty of Planning and Environmental Sciences, Tabriz, Iran.
3. PhD in Climatology, East Azerbaijan Meteorological Organization, Iran.

## **Extended Abstract**

### **Introduction**

The cloud is a special phenomenon that is caused by dynamic and thermodynamic changes in the general circulation of the atmosphere and covers about 68% of the world (Bonnie et al., 2015 262). Caspian clouds are clouds that are spatially distributed between the coast of the Caspian Sea to the Alborz Mountains and under the environmental conditions of the region formed throughout or part of the Caspian region, while in adjacent areas similar clouds do not exist. Therefore, the main purpose of this study will be to study the climatology of Caspian clouds using observational data, satellite images and reviewed data. In this study, July 2013 (days 20 to 31) were selected as a sample.

### **Data and Method**

Observational data of clouds, which are in three separate groups of low and middle clouds, rainfall were received from the Meteorological Organization of Iran with a time scale of 8 SYNOP (00, 03,06, 09, 12, 15, 18, 21 UTC). Frequency percentage of type, amount and height of low and middle clouds was calculated for selected samples. The relationship between precipitation and cloud parameters was investigated using Pearson correlation and multivariate regression. These parameters (CTT, CTH, COT, CER, CWP) were received from MODIS level 2, MOD06 TERRA and MYD06 Aqua. Identification of synoptic patterns leading to the formation of Caspian clouds. Humidity source was identified using HYSPLIT.

### **Results and Discussion**

Examination of observational data showed that Caspian clouds are often of the lower (Stratus) and middle (Alto cumululus) clouds. The height of the lower clouds was 900 and 750 meters and the middle clouds were 2700 meters. Pearson correlation showed that precipitation has a positive relationship with CTH, COT CER, and CWP and a negative relationship with CTT. Multivariate regression predicted the effect of cloud parameters on precipitation by 17%. Caspian Clouds precipitation is often 1 to 5 mm in most areas. Precipitation of more than 11 mm occurred in a very limited part of the southern part of the study area. Synoptic analysis of high-pressure settlement in the north of the Caspian Sea and moisture transfer and the orthographic ascent of air mass has caused the formation of clouds in the region. The results of tracing the moisture-carrying winds, which was performed using the HYSPLIT model, revealed that the main source of moisture in the region was the Caspian Sea.

### **Conclusion**

The results showed that Caspian clouds are mainly formed as low and middle clouds in the region. Pearson correlation showed that precipitation has a positive relationship with CTH, COT, CER, and CWP and a negative relationship with CTT. Multivariate regression predicted the effect of cloud parameters on precipitation by 17%. Synoptic analysis of high pressure settlement in the north of the Caspian Sea and moisture transfer and orthographic ascent of air mass has caused the formation of clouds in the region. Unstable cells have caused precipitation to a limited extent. The results of tracing the moisture-carrying winds, which was performed using the HYSPLIT model, revealed that the main source of moisture in the region was the Caspian Sea.

### **References**

- Bony, S., Stevens, B., Frierson, D. M., Jakob, C., Kageyama, M., Pincus, R., Watanabe, M. (2015), Clouds, circulation and climate sensitivity. *NatureGeoscience*, 8(4), 261- 268.
- Javanmard, S., Tajbakhsh, S., bodagh jamali J. (2018),Climatology of low level clouds occurrence over Iran (1981-2010), *Journal of Climate Research*, vol 8, No 33, PP 15-32. (in persan).

## مقاله پژوهشی



## معرفی و مطالعه‌ی ابرهای خزری (مطالعه موردی روزهای ۲۰ تا ۳۱ ماه جولای سال ۲۰۱۳)



شهناز راشدی<sup>۱</sup>، سعید جهانبخش اصل<sup>۲\*</sup>، علی محمد خورشید دوست<sup>۳</sup>، غلام حسن محمدی<sup>۳</sup>



این مقاله به صورت دسترسی باز و با لایسنس CC BY NC کپی‌رایت کاملاً قابل استفاده است.



**ارجاع به این مقاله:** راشدی، شهناز؛ جهانبخش اصل، سعید؛ خورشید دوست، علی محمد؛ محمدی، غلام حسن. (۱۴۰۲). معرفی و مطالعه‌ی ابرهای خزری (مطالعه موردی روزهای ۲۰ تا ۳۱ ماه جولای سال ۲۰۱۳). *نشریه علمی جغرافیا و برنامه‌ریزی*. ۲۷ (۸۴): ۷۱-۷۹.

DOI: 10.22034/GP.2023.14431



## چکیده

در پژوهش حاضر به شناسایی و مطالعه ابرهای خزری که در حد فاصل بین سواحل جنوبی دریای خزر و رشته کوه‌های البرز شکل می‌گیرند، پرداخته شد. در این پژوهش روزهای ۲۰ تا ۳۱ جولای سال ۲۰۱۳ به عنوان نمونه مورد مطالعه انتخاب گردیدند. به این منظور داده‌های روزهای منتخب که مربوط به نوع، مقدار، ارتفاع لایه‌های مختلف ابر و بارش روزانه ۳۶ ایستگاه سینوپتیک واقع در سواحل جنوبی دریای خزر بودند، از سازمان هواشناسی کشور دریافت شدند. به منظور بررسی ارتباط بارش ابرهای خزری با پارامترهای میکروفیزیک ابر، اطلاعات پارامترهای ابر (دمای قله ابر، ارتفاع قله ابر، اندازه قطر ذرات ابر، ضخامت نوری ابر و محتوای آب و یخ ابر) از سنجنده مودیس دریافت شدند. همچنین جهت شناسایی الگوهای سینوپتیکی منجر به شکل‌گیری ابرهای مذکور، از داده‌های بازکاوی شده ERA5 و NCEP/NCAR و برای شناسایی مسیر جریان رطوبت از مدل HYSPLIT و روش عقبگرد استفاده شد. نتایج بررسی داده‌های مشاهداتی نشان داد که ابرهای خزری در قالب ابرهای پایین از نوع استراتوس و ابرهای میانی از نوع آلتوکومولوس در منطقه مشاهده شدند. به طوری که در بین ابرهای پایین ارتفاع‌های ۷۵۰ و ۹۰۰ متر و در بین ابرهای میانی ارتفاع ۲۷۰۰ متر بیشترین درصد فراوانی را داشتند. نتایج بررسی مقدار بارش ابرهای خزری نشان داد که در بیشتر منطقه، بارش‌های ۱ تا ۵ میلی‌متر رخ داده است. همچنین همبستگی پارامترهای ابر با بارش ابرهای خزری نشان داد که بارش با پارامترهای ارتفاع ابر، ضخامت نوری ابر، اندازه ذرات ابر و محتوای آب و یخ ابر رابطه مثبت و با دما قله ابر رابطه منفی داشته است. نتایج اعمال مدل رگرسیون چند متغیره نشان داد که پنج پارامتر ابر حدود ۱۷ درصد تغییرات بارش ابرهای مذکور را پیش‌بینی کردند. مطالعه سازکارهای هم‌مدیدی نشان داد عامل اصلی شکل‌گیری ابرهای خزری صعود اورگرافی توده هوای پایدار بوده است. به این صورت که با استقرار هسته پرفشار ۱۰۱۲ میلی‌بار در شمال دریای خزر باعث انتقال شمال به جنوب جریان باد همراه با انتقال رطوبت دریا به ساحل جنوبی دریای خزر، صعود اورگرافی توده هوا و تشکیل ابرهای خزری در منطقه شده است. نتایج ردیابی مسیر جریان رطوبت مدل HYSPLIT نشان داد که منشأ اصلی رطوبت منطقه از دریای خزر بوده است.

## کلیدواژه‌ها

ابرهای خزری، سواحل جنوبی دریای خزر، مدل HYSPLIT، تصاویر ماهواره‌ای مودیس

دریافت شده: ۱۴۰۰/۱۰/۰۷

پذیرفته شده: ۱۴۰۱/۰۱/۰۶

منتشر شده: ۱۴۰۲/۰۶/۲۵

\* نویسنده مسئول: سعید جهانبخش اصل

رایانامه: [s\\_jahan@tabrizu.ac.ir](mailto:s_jahan@tabrizu.ac.ir)

۱. دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

۲. استاد گروه اقلیم‌شناسی دانشگاه تبریز، بلوار ۲۹ بهمن دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

۳. دکتری اقلیم‌شناسی، سازمان هواشناسی کشور، اداره کل هواشناسی استان آذربایجان شرقی، ایران.

مقدمه

ابر پدیده ویژه‌ای است که در اثر دگرگونی‌های دینامیکی و ترمودینامیکی گردش عمومی جو به وجود می‌آید و حدود ۶۸ درصد از سطح آسمان را در مقیاس جهانی پوشش می‌دهد (بونی و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۱۵: ۲۶۲). ابرها به شکل‌های گوناگون و در ارتفاعات مختلف جو دیده می‌شوند. نوع، ضخامت و ریزساختارهای فیزیکی ابر به شرایط هواشناختی از جمله دما، رطوبت، سازوکار سردشدن و وجود هسته‌های تراکم بستگی دارد (جوانمرد و همکاران، ۱۳۹۷: ۱۶). در طبقه بندی ابرها ۱۰ نوع ابر در ۴ گروه عمده تقسیم می‌شوند که هر گروه به وسیله ارتفاع پایه ابر از سطح زمین شناخته می‌شود که شامل ابرهای بالا، میانی، پایین و ابرهای با توسعه قائم هستند. از جمله مطالعاتی که درباره اقلیم شناسی ابر در ایران و خارج از کشور وجود دارند، می‌توان به پژوهش‌هایی از جمله رحمدل (۱۳۹۵: ۳۴) اشاره کرد. نامبرده به مطالعه ابرناکی دشت مشهد پرداخت و نشان داد که بیشترین ابرناکی در فصول سرد و بارانی زمستان و اوایل فصل بهار تشکیل می‌گردد. نوریان و همکاران (۱۳۹۷: ۱۳۱)، به منظور آشکار سازی انواع ابرها در ایران از داده‌های ماهواره NOAA و ISCCP استفاده کردند. نتایج نشان داد که بیشینه درصد فراوانی ابرهای کومولوس در مناطق ساحلی جنوب شرق و مناطق جنوبی ایران قرار گرفته است. بیشینه فراوانی ابر آلتواستراتوس در همه ماه‌ها از ۸۰ درصد فراتر رفته در حالی که ابر استراتوکومولوس در ماه‌های سرد پراکندگی یکسانی داشته و درصد فراوانی ابر سیرواستراتوس در ماه‌های مختلف دارای تفاوت زیادی بوده است. احمدی و همکاران (۱۳۹۹: ۷)، به بررسی تغییرات زمانی و مکانی ابرهای مایع (LWCOT<sup>2</sup>) فصلی ایران پرداختند. نامبردگان نشان دادند که از شمال به جنوب و از غرب به شرق از فراوانی این ابرها کاسته می‌شود و بیشینه فراوانی ابرهای مایع در فصول سرد سال و عمدتاً در عرض‌های جغرافیایی بالا قرار دارند. لو و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۱۰: ۱-۶)، از طریق مدل شبیه سازی هیدرودینامیکی یک بعدی DYRESM-CAEDYM و با استفاده از پارامترهای تابش طول موج کوتاه و درجه ابرناکی، کل پوشش ابر دریاچه Rotorua نیوزیلند را در بازه زمانی ۲۰۰۹-۱۹۹۱ تخمین زدند. نتایج نشان داد که مدل مذکور در تخمین پوشش ابر از دقت معقولی برخوردار می‌باشد. ژانگ و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۱۵: ۱۲۰-۱۲۴)، نشان دادند که در شمال چین بین افزایش ذرات معلق در هوا و پوشش ابر رابطه خطی مستقیم وجود دارد. اندیس و همکاران<sup>۵</sup> (۲۰۱۷: ۱-۱۱)، در منطقه مدیترانه، کالیمریس و فوندا<sup>۶</sup> (۲۰۱۸: ۴۶۶۷-۴۶۸۶)، در آتن، کبیو و همکاران<sup>۷</sup> (۲۰۱۹: ۳۰۶-۳۱۵)، در مقیاس جهانی، تغییرات پوشش ابر را بررسی کردند. لی و همکاران<sup>۸</sup> (۲۰۲۰: ۲۹۴۱-۲۹۵۷)، با مقایسه داده‌های ری آنالیز ERA5 و ERA-Interim و محصولات ماهواره‌ای Himawari-8 و الگوریتم تشخیص نوع ابر پروژه بین المللی ماهواره‌های اقلیم شناسی ابر (ISCCP)، به مطالعه پوشش ابر بر روی فلات تبت و شرق چین پرداختند. نشان دادند که شباهت زیادی بین نتایج حاصل از پوشش ابر

- 1 - Bony et al.
- 2 - Liquid Water Cloud Optical Thickness.
- 3 - Luo et al.
- 4 - Zhang et al.

- 5 -Ioannidi et al.
- 6 - Kalimeris and Founda
- 7 - Kebiao et al.
- 8- Lei et al.

بین داده‌های ERA5 و Himawari-8 وجود دارد. از بررسی پیشینه تحقیق چنین بر می‌آید که در بیشتر تحقیقات به روند و تغییرات پوشش ابر و یا مقایسه تصاویر و محصولات ماهواره‌ای درباره پوشش ابرناکی آسمان پرداخته شده است. با توجه به نو و بدیع بودن موضوع تحقیق تاکنون مطالعه-ای درباره‌ی ابرهای خزری و سازکارهای همدیدی موثر در شکل گیری ابرهای مذکور انجام نشده است.

در پژوهش حاضر به معرفی و مطالعه ابرهای خزری پرداخته شد. منظور از ابرهای خزری، ابرهایی هستند که از نظر توزیع مکانی در حد فاصل بین ساحل دریای خزر تا رشته کوه‌های البرز و تحت شرایط محیطی آن منطقه در سراسر یا بخشی از منطقه‌ی خزری شکل می‌گیرند در حالی که در مناطق مجاور ابری مشابه آن وجود ندارد. با توجه به محیط منحصر به فرد سواحل جنوبی دریای خزر، ابرهای خزری در همه فصل‌ها به ویژه در فصل تابستان شکل می‌گیرند. با توجه به اینکه این ابرها در شرایط خاص محیطی و تنها در سواحل جنوبی دریای خزر می‌تواند برقرار گردد؛ لذا می‌توان آن‌ها را «ابرهای خزری» نامید. لازم به ذکر است که ابرهای مذکور از نظر نوع ابرهای شناخته شده و معمولی هیچ تفاوتی را ندارند و در واقع همان ابرهای شناخته شده هستند. بنابراین با توجه به ویژگی منحصر به فرد ابرهای خزری، پژوهش حاضر با استفاده از داده‌های مشاهداتی، تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های بازکوی شده، به معرفی و مطالعه ابرهای خزری پرداخته است.

روش

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه (شکل ۲)، شامل سواحل جنوبی دریای خزر کشور ایران می‌باشد که بین عرض جغرافیایی ۳۶ تا ۳۸ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۴۸/۵ تا ۵۶ درجه شرقی قرار دارد (خوشحال دستجردی، ۱۳۷۶: ۳۰). بخش جنوبی دریای خزر مرزهای سواحل شمالی ایران را تشکیل می‌دهد. در منطقه مورد مطالعه اختلاف دمای بسیار ناچیز است و مقدار بارش سالانه این ناحیه از همه نواحی دیگر ایران بیشتر است (علیچانی، ۱۳۸۷: ۱۶۵).



محتوای ذرات آب و یخ در ابر به مقدار ذرات آب و یخ در ستونی با سطح مقطع مربع به طول واحد از پایه تا قله ابر اشاره دارد که بر حسب گرم بر متر مربع یا میلی گرم بر سانتی متر مربع بیان می‌گردد. پارامتر محتوای آب و یخ ابر مطابق رابطه (۱) به دست می‌آید (استفانز و کامرو<sup>۸</sup>، ۲۰۰۷، ۳۷۴۲):

(۱)

$$WP = \frac{2}{3} \tau r_e \rho_l$$

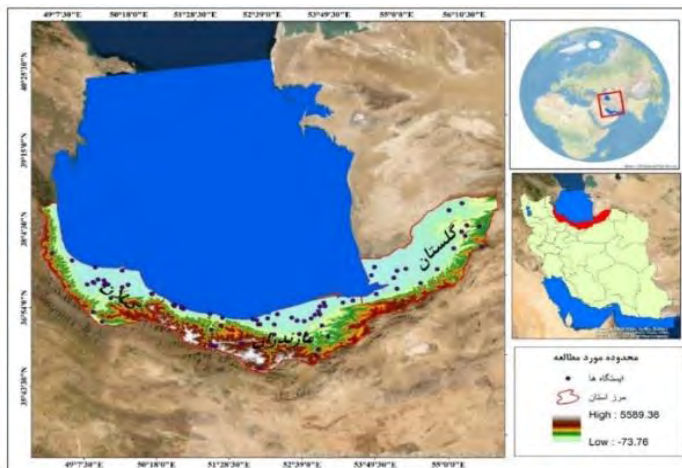
در رابطه فوق  $\tau$  عمق نوری ابر،  $r_e$  مقدار تابش موثر ذرات آب (یخ) و  $\rho_l$  چگالی آب مایع (یخ) است. مقدار ذرات یخ نیز با همین مدل به دست می‌آید، ولی به جای مقدار تابش موثر ذرات آب، از مقدر تابش موثر کریستال یخ استفاده می‌شود مقدار ذرات آب و یخ ابر از جمع مقدار ذرات آب و یخ در ابر بدست می‌آید.

محصولات حاضر از سطح ۲ MOD06 TERRA و MYD06 Aqua و سنجنده مودیس استخراج شدند و سپس اطلاعات موجود در محیط نرم افزارهای ENVI و ARC GIS رمزگشایی شدند. به منظور مشخص کردن مقدار بارندگی حاصل از ابرهای خزری، جمع بارش روزهای منتخب محاسبه شدند و نقشه توزیع مکانی بارش ابرهای خزری در محیط ARC GIS با استفاده از روش کریجینگ ترسیم شد. سپس به منظور تجزیه و تحلیل ارتباط پارامترهای ابر با بارش ابرهای خزری از همبستگی پیرسون و رگرسیون چند متغیره استفاده شد. در مدل رگرسیون چندگانه ابتدا بارش به صورت جداگانه به عنوان متغیر وابسته و پارامترهای ابر به عنوان متغیرهای مستقل وارد مدل رگرسیون شدند. برای تعیین متغیرهای مستقل تاثیر گذار بر تغییرات بارش از مدل رگرسیون همزمان<sup>۹</sup> بهره گرفته شد. معادله رگرسیون چندگانه به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$Y_i = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n$$

در رابطه فوق  $Y_i$  بر متغیر وابسته،  $\alpha$  مقدار ثابت و فاصله از مبدا می‌باشد.  $\beta_1$  تا  $\beta_n$  ضرایب رگرسیونی و  $X$  ها بر متغیرهای مستقل دلالت دارند (فهودی، ۱۳۸۵).

برای شناسایی الگوهای همبندی موثر بر شکل‌گیری ابرهای خزری، داده‌های ساعتی بازکای شده ERA5 مرکز اروپایی پیش بینی میان مدت جو ECMWF، که داده‌های سطوح فوقانی جو شامل مولفه‌های ارتفاع ژئوپتانسیل، باد مداری، باد نصف النهاری، جمع رطوبت ویژه و امگا ترازهای ۹۲۵ و ۵۰۰ هکتوپاسکال با قدرت تفکیک ۰/۲۵×۰/۲۵ اخذ گردید. همچنین داده‌های فشار سطح دریا (SLP)، باد مداری و باد نصف النهاری ۱۰ متری سطح زمین از پایگاه داده‌های NCEP/NCAR سازمان ملی جو و اقیانوس شناسی ایالات متحده آمریکا استخراج گردید و نقشه‌های ترکیبی سطوح فوقانی و سطح زمین به کمک نرم افزار GRADS برای طول جغرافیایی ۴۰ تا ۶۰ درجه و عرض جغرافیایی ۳۲ تا ۴۲ درجه ترسیم شدند. در مرحله بعد



شکل ۲: موقعیت جغرافیای منطقه و ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه.

در این پژوهش با توجه به پراکندگی مکانی ابرهای خزری در سواحل جنوبی دریای خزر، تصاویر سنجنده مودیس ماه جولای سال ۲۰۱۳، به دقت بررسی شدند. ۱۲ روز متوالی (روزهای ۲۰ تا ۳۱ ماه جولای) که ابرهای خزری شکل گرفته بودند به عنوان نمونه مطالعاتی انتخاب شدند. ابتدا داده‌های آماری روزهای منتخب که شامل کدهای نوع، مقدار و ارتفاع ابرهای پایین، متوسط و بالایی ۳ سینوپ (۰۶، ۰۹، ۱۲ و ۱۵ UTC) و داده‌های بارش روزانه، برای ۳۶ ایستگاه سینوپتیک موجود در منطقه‌ای مورد مطالعه از سازمان هواشناسی کشور دریافت شد. به منظور بررسی ارتباط بارندگی حاصل از ابرهای خزری با پارامترهای ابر، از محصولات میکروفیزیکی ابر سنجنده مودیس استفاده شد. سنجنده مودیس برای تعیین ویژگی‌های فیزیکی و تابشی ابرها، از تکنیک‌های مادون قرمز و مرئی<sup>۱</sup> استفاده می‌کند (منزل و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۱۵: ۲۰). محصولات میکروفیزیکی ابرها با قدرت تفکیک ۱×۱ درجه به صورت روزانه تولید می‌شوند و شامل دمای قله ابر (CTT<sup>۳</sup>)، ارتفاع قله ابر (CTH<sup>۴</sup>)، شعاع موثر قطر ذرات ابر (CER<sup>۵</sup>)، ضخامت نوری ابر (COT<sup>۶</sup>) و محتوای آب و یخ ابر (CWIP<sup>۷</sup>) می‌باشند. پارامترهای ابر براساس تعریف منزل و همکاران (۲۰۱۵) به شرح زیر است:

دمای قله ابر بیان کننده دمای جو در قله ابر می‌باشد و برحسب درجه کلونین بیان می‌شود.

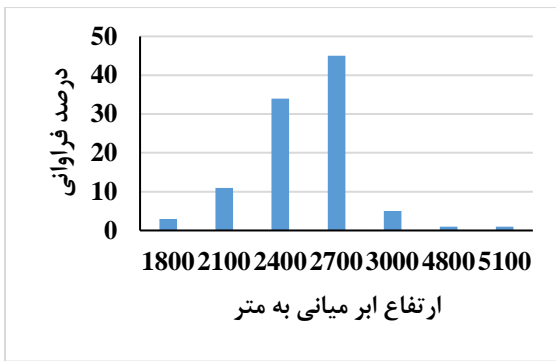
ارتفاع قله ابر بیان کننده بالاترین ارتفاع ابر برحسب هکتوپاسکال می‌باشد و برای بیان آن از فشار قله ابر استفاده می‌کنند.

شعاع موثر قطر ذرات ابر بیان کننده اندازه قطر ذرات در تاج ابر و در مقیاس میکرون می‌باشد. دامنه قطر ذرات ابر بین ۰ تا ۴۰ میکرون است.

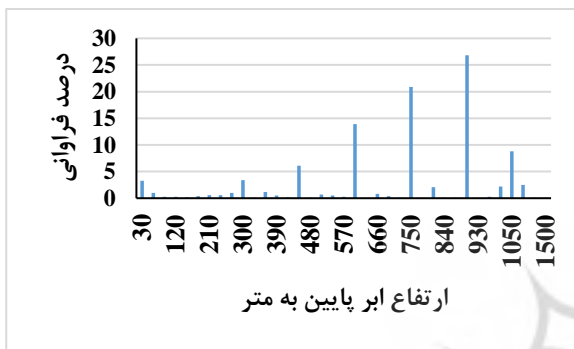
ضخامت نوری ابر مربوط به ژرفای نوری ابر است. این مشخصه ابر بدون بعد بوده و دامنه‌های بین ۰ تا ۱۰۰ را دارا می‌باشد. ژرفای نوری ابر تابعی از چگالی مایع در ابر و ضخامت آن است.

6 - Cloud Optical Thickness  
7 - Cloud Water and Ice Path  
8 - Stephens and Kummerow  
9 - Entre

1 - infrared and visible  
2 - Menzel et al.  
3 - Cloud Top Temperature  
4 - Cloud Top Height  
5 - Cloud Effective Radius



(الف)



(ب)

شکل ۲: درصد فراوانی ارتفاع ابرهای پایین (الف) و ابرهای میانی (ب) کل روزهای منتخب ماه جولای ۲۰۱۳.

به منظور واکاوی تحولات همدیدی در عمق اتمسفر و تغییرات زمانی شرایط عمودی جو به صورت پروفیل عمودی جو از تراز ۱۰۰۰ تا ۵۰۰ میلی بار نمودارهای هوف مولر ترسیم شدند. به این صورت که تغییرات زمانی فراسنجه‌ها در عرض ثابت ۳۷ درجه جغرافیایی و طول ثابت ۴۸ تا ۵۶ درجه جغرافیایی برای زمان‌های ۰۳ Z، ۲۱ جولای و زمان ۱۶ Z، ۲۸ جولای ۲۰۱۳، ترسیم شدند. در نهایت جهت ردیابی مسیر جریان رطوبت از مدل HYSPLIT و روش عقب گرد (Backward)، با حداقل ۴۸ ساعت در تاریخ ۹ صبح روزهای ۲۶، ۳۰ و ۳۱ جولای ۲۰۱۳ برای سه سطوح ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ متر، ترسیم شدند. داده‌های هواشناسی مدل نیز از داده‌های تحلیل شده GDAS<sup>1</sup> یک درجه به دست آمدند.

### یافته‌ها

به منظور شناسایی ابرهای خزری در ابتدا درصد مقادیر لایه‌های ابرهای پایین، میانی و بالایی استخراج شدند (جدول ۱). نتایج نشان داد که ابرهای خزری اغلب در قالب ابرهای پایین با ۹۶/۵ درصد و ابرهای میانی با ۷۵/۸ درصد مشاهده شد. با توجه به اینکه ابرهای بالای مقدار بسیار محدودی (۰/۶ درصد) داشتند، بنابراین در این پژوهش از تحلیل ابرهای لایه بالایی صرف نظر شده است.

جدول ۱: درصد لایه‌های ابر در دوره‌های مورد مطالعه‌ی.

دوره مطالعاتی	ابرهای بالایی	ابرهای میانی	ابرهای پایینی
روزهای ۲۰ تا ۳۱ ماه جولای سال ۲۰۱۳	۰/۶	۷۵/۸	۹۶/۵

به منظور شناسایی ارتفاع و نوع ابرهای خزری، درصد فراوانی ارتفاع و نوع ابرهای پایین و میانی در طی ۱۲ روز متوالی (روزهای ۲۰ تا ۳۱) ماه جولای سال ۲۰۱۳ محاسبه شدند (شکل ۲ الف، ب) و جدول ۲). نتایج نشان داد که در بین ارتفاع‌های ابرهای پایین، ارتفاع‌های ۹۰۰ متر (۲۶/۸ درصد)، ۷۵۰ متر (۲۰/۹ درصد) و ۶۰۰ متر (۱۳/۹ درصد) و در بین ارتفاع‌های ابرهای میانی، ارتفاع ۲۷۰۰ متر (۴۵ درصد) و ۲۴۰۰ متر (۳۴ درصد) بیشترین درصد فراوانی را داشتند (شکل ۲ الف، ب). نوع ابرهای خزری در بین نوع ابرهای پایین، ابرهای استراتوس (۵۶/۵ درصد) و ابرهای کومولوس (۱۵/۵ درصد) به ترتیب با بیشترین و کمترین درصد فراوانی مشاهده شدند. در بین نوع ابرهای لایه میانی، ابر آلتوکومولوس (۱۰۰ درصد) بیشترین درصد فراوانی داشته است.

جدول ۲: درصد فراوانی نوع ابر لایه پایین و میانی

کل روزهای ۲۰ تا ۳۱ ماه جولای سال ۲۰۱۳	لایه پایین		کومولونیمبوس
	کومولوس	استراتوس	
	۱۵/۱۵	۲۸/۰	۲۸/۰
	۵۶/۱۵		۵۶/۱۵
	لایه میانی		
	آلتوکومولوس		۱۰۰/۰

### توزیع مکانی جمع بارش ابرهای خزری

همانطور که در شکل ۳ نشان داده شده است؛ بارش حاصل از ابرهای خزری در طی نمونه منتخب عمدتاً بین ۱ الی ۵ میلی متر بوده است. مقدار بارش-های بیشتر از ۱۱ میلی متر بسیار ناچیز در منطقه رخ داده است. توزیع مکانی بارش‌های ۱ الی ۵ میلی متر در بیشتر قسمت‌های شرق، جنوب شرق و جنوب منطقه مورد مطالعه قابل مشاهده است. در مقابل پراکندگی مکانی

\* سطح معنی‌داری ۵ درصد.

مقدار بارش‌های بیشتر از ۱۱ میلی متر در قسمت‌های بسیار محدود غرب دریای خزر رخ داده است.

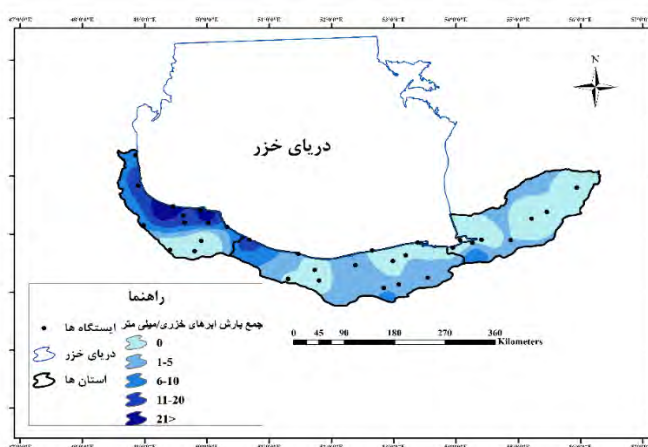
جدول ۴: نتایج مدل رگرسیون چند متغیره بین بارش و پارامترهای ابر

دوره‌های مورد مطالعه.

R	R Square	Durbin-Watson	F	P-value(F)
۰/۴۱	۰/۱۷	۲	۱/۴	۰/۴

### تحلیل سینوپتیکی سازکارهای همدیدی منجر به شکل‌گیری ابرهای خزری

در پژوهش حاضر به منظور تحلیل سینوپتیکی سازکارهای همدیدی منجر به شکل‌گیری ابرهای خزری ابتدا الگوی سینوپتیکی در دوره منتخب شناسایی شد. سپس نقشه فشار سطح دریا روز ۲۰ ساعت ۱۲ Z، تراز ۹۲۵ هکتوپاسکال روز ۲۰ ساعت ۲۰ و تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال روز ۲۰ ساعت ۲۰ به عنوان روزهای نماینده برای تحلیل در کل دوره انتخاب شدند. شکل ۴ (الف)، شرایط سینوپتیکی حاکم در فشار سطح دریا برای روز بیستم (نمونه منتخب) را نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود بسته پرفشاری به مرکزیت ۱۰۱۲ میلی بار در قسمت فوقانی شمال غرب دریای خزر تشکیل شده است. زبانه‌های این مرکز با فشار ۱۰۱۰، ۱۰۰۷، ۱۰۰۵، ۱۰۰۲ میلی بار با جهت شمالی - جنوبی رطوبت دریای خزر را به سمت سواحل جنوبی این دریا هدایت می‌کند. این شرایط باعث جریان شمال به جنوب در امتداد دریای خزر در لایه‌های نزدیک سطح زمین شد است به طوری که این جریان در نقشه تراز ۹۲۵ هکتوپاسکال (شکل ۴ ب) قابل تشخیص است. جریان هوای مذکور منجر به شارش رطوبت دریا به سمت سواحل جنوبی آن شده است به طوری که مقدار جمع رطوبت ویژه به بیش از ۱۳۱ گرم در کیلوگرم رسیده است. شکل ۴ (ج)، نقشه جریان‌های صعودی و نزولی تراز میانی جو (۵۰۰ هکتوپاسکال) را نشان می‌دهد. در تراز مذکور استقرار پربند پرتافت ۵۷۶ ژئوپتانسیل متر در منطقه، حکایت از شرایط پایداری و نزول هوا در بیشتر منطقه را دارد. براساس مقادیر امگا، بیشینه حرکت‌های نزولی ۰/۱ تا ۰/۴ پاسکال در ثانیه رسیده است. قسمت‌های محدودی از غرب و جنوب غرب، سواحل جنوبی خزر مقدار حرکت‌های قائم جو ۰/۱ - تا ۰/۶ پاسکال در ثانیه رسیده که نشان دهنده ناپایداری جریان هوا می‌باشد. بررسی الگوی سینوپتیکی در منطقه، با استقرار هسته پرفشار در دریای خزر و امتداد زبانه‌های حاصل از این هسته تا سواحل جنوبی دریای خزر، باعث تغییر جهت جریان باد از شمال به جنوب ساحل شده به طوری که جریان مذکور رطوبت دریا را به منطقه مطالعاتی به خوبی هدایت کرده است. از سوی دیگر با توجه به شرایط محیطی ویژه منطقه و وجود رشته کوه‌های البرز، توده هوا همراه با رطوبت دریای خزر با برخورد به کوهستان البرز مجبور به صعود اورگرافیگی شده است. همزمان با آغاز صعود اورگرافیگی توده هوا، دما و گنجایش رطوبتی آن کاهش پیدا کرده و در نتیجه فرایند تراکم و شکل‌گیری ابرهای خزری در منطقه اتفاق افتاده است. از آنجایی که در صعود اورگرافیگی، توده هوا از نظر ارتفاع زیاد گسترش پیدا نکرده (کاوایی و علیجانی، ۱۳۸۷: ۲۴۸)



شکل ۳: توزیع مکانی جمع بارش روزانه ابرهای خزری کل روزهای ۲۰ تا ۳۱ ماه جولای سال ۲۰۱۳.

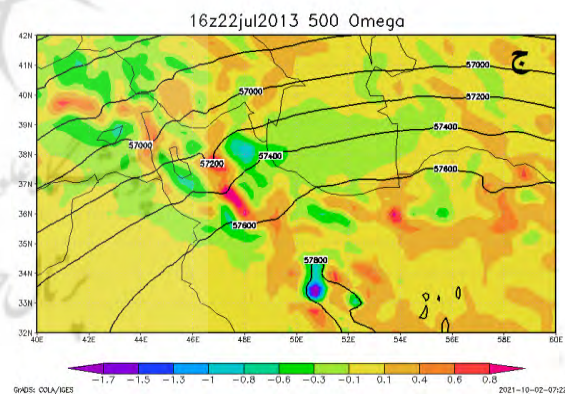
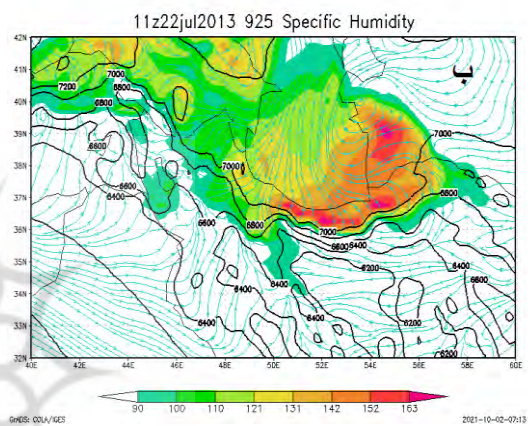
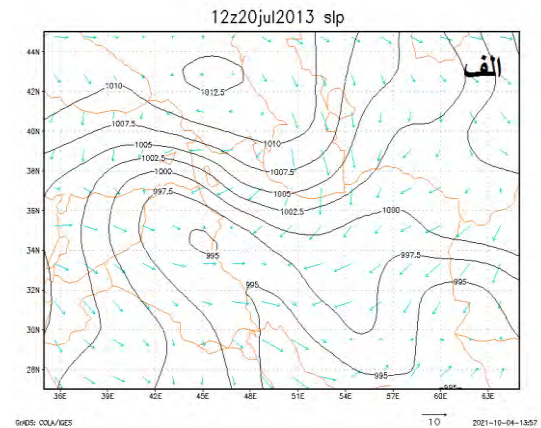
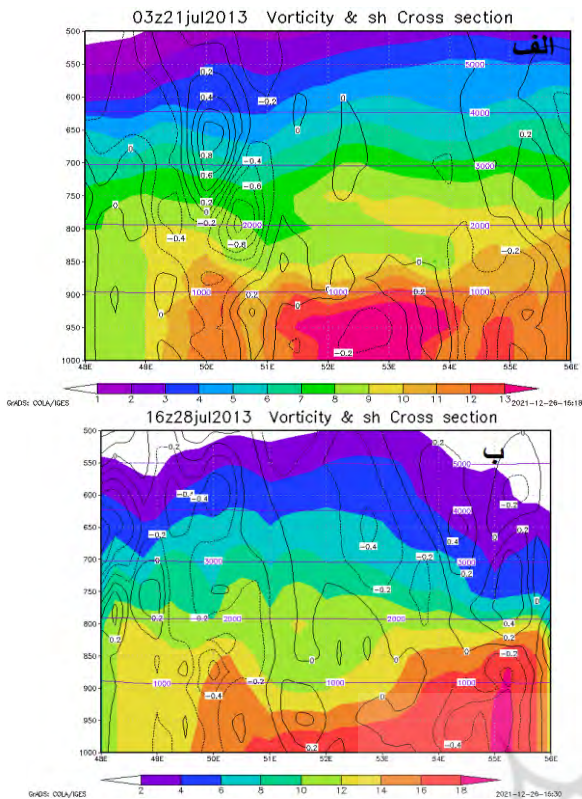
در مرحله بعد با استفاده از همبستگی پیرسون ارتباط بین بارش حاصل از ابرهای خزری با پارامترهای ابر مستخرج از سنجنده مودیس، بررسی شدند (جدول ۳). همانطور که نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد، بارش با دمای قله ابر (CTT) رابطه غیر مستقیم و با شعاع موثر اندازه قطر ذرات ابر (CER)، ارتفاع ابر (CTH)، ضخامت نوری ابر (COT) و محتوای آب و یخ ابر (CWP) رابطه مستقیم دارد. به عبارت دیگر با کاهش دما ابر و افزایش مقدار ضخامت نوری ابر، اندازه ذرات ابر و محتوای آب و یخ ابر، مقدار بارش نیز افزایش می‌یابد. به منظور بدست آوردن اثر مشترک پارامترهای ابر بر بارش ابرهای مذکور دوره مورد مطالعه، از رگرسیون چند متغیره استفاده شد تا مشخص شود پارامترهای ابر به صورت مشترک چند درصد از تغییرات بارش ابرهای خزری را توجیه می‌کند. نتایج حاصل از اعمال مدل رگرسیون چند متغیره برای دوره مورد مطالعه در جدول (۴) ارائه شده است. مقدار ضریب تعیین (R Square) معادل ۱۷ درصد است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که ۱۷ درصد از تغییرات بارش را به وسیله پنج پارامتر مورد مطالعه پیش بینی نمود. ضریب همبستگی پیرسون (R) با مقدار ۰/۴۱ نشان دهنده‌ای تاثیر مثبت و کم تمامی پارامترهای ابر بر بارش ابرهای خزری می‌باشد. آماره مربوط به Durbin-Watson ۲ است که نشان از مستقل بودن باقی‌مانده‌ها است. مقدار F تاثیر محدود پارامترها و ضریب (F) P-value عدم معنی‌داری را نشان می‌دهد. باید توجه داشت که علاوه بر پارامترهای ابر عوامل بسیاری در بارش ابرهای مورد مطالعه موثر می‌باشند که می‌توان به شرایط محیطی منطقه، دمای محیط، فصل سال و نقش هواویزها به عنوان هسته تراکم در تشکیل ابر و بارش توجه داشت.

جدول ۳: ضرایب همبستگی بین مقدار بارش با پارامترهای ابر در دوره مورد مطالعه.

CTT	CTH	COT	CER	CWP
-۰/۱۱	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۳۰*	۰/۰۷



و فقط در قسمت‌های محدود منطقه و با توجه به شرایط ویژه در نهایت منجر به شکل‌گیری ابرهای خزری شده است.



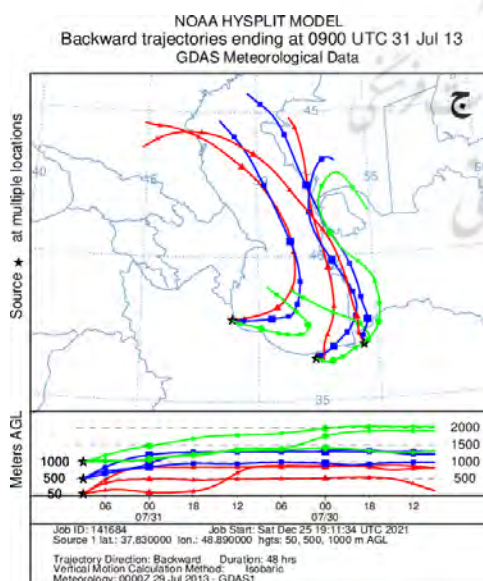
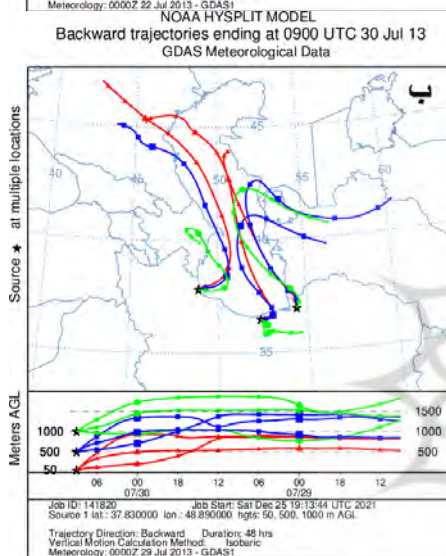
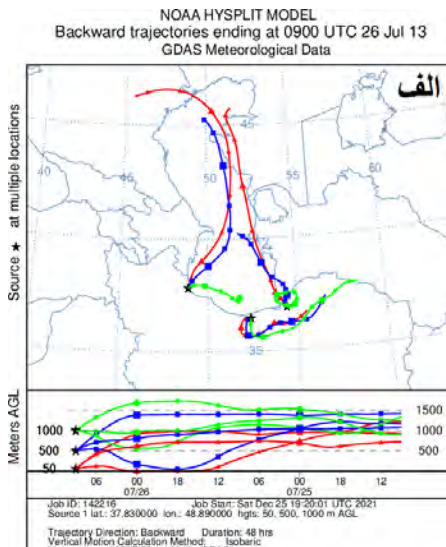
شکل ۵: نمودارهای هوف مولر به منظور تشریح تغییرات فراسنج‌های رطوبت ویژه (سایه رنگ‌ها بر حسب گرم بر کیلوگرم)، امگا (خطوط ممتد سیاه رنگ مقادیر امگای مثبت و خط چین‌های سیاه رنگ نشانه‌ی مقادیر امگای منفی (پاسکال در ثانیه)). ارتفاع ژئوپتانسیل (خطوط ممتد بنفش رنگ به موازات ترازهای جوی) در امتداد طول جغرافیایی ۴۸ تا ۵۶ درجه شرقی و عرض ثابت جغرافیایی ۳۷ درجه شمالی برای زمان‌های الف ساعت Z ۰۳ روز ۲۱ جولای، ب ساعت Z ۱۶ روز ۲۸ جولای سال ۲۰۱۳.

نیم رخ عمودی نمودار هوف مولر (شکل ۵ الف)، ساعت Z ۰۳ روز ۲۱ جولای ۲۰۱۳ نشان می‌دهد که در آن بیشینه رطوبت ویژه در ترازهای پایینی جو (۱۰۰۰ تا ۹۰۰ هکتوپاسکال) با مقدار بیش از ۱۰ گرم بر کیلوگرم در طول جغرافیایی ۵۰ تا ۵۶ درجه شرقی و تا ارتفاع ۱۰۰۰ متری قابل ملاحظه است. منحنی‌های مربوط به جریان‌های صعودی جو در تراز ۷۵۰ هکتوپاسکال به مرکزیت ۰/۸- پاسکال بر ثانیه بسته شده و زبانه‌های این مرکز با مقدار ۰/۴- و ۰/۲- پاسکال بر ثانیه تا تراز پایینی سطح زمین تداوم پیدا کرده است؛ که حکایت از فعالیت هسته‌های ناپایداری در برخی از قسمت‌های منطقه می‌باشد. بیشینه مقدار جریان نزولی هوا با منحنی بسته ۰/۸ در ترازهای فوقانی (۷۰۰ هکتوپاسکال) و کمینه آن زیر تراز ۹۰۰ با مقدار ۰/۲ پاسکال بر ثانیه بسته شده است. نیم رخ عمودی (شکل ۵ ب)، تغییرات زمانی پارامترهای رطوبت ویژه و حرکت‌های صعودی و نزولی جریان هوا را برای طول جغرافیایی متغیر و عرض ثابت ۳۷ درجه شمالی ساعت Z ۱۶ روز ۲۸ جولای سال ۲۰۱۳ نشان می‌دهد. نیم رخ عمودی رطوبت ویژه از تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال شروع و تا تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال با مقدار ۱۲ گرم بر کیلوگرم تداوم داشته است. حال آن که بیشینه رطوبت ویژه در ترازهای پایینی جو (۱۰۰۰ تا ۹۰۰

شکل ۴: الف) نقشه ترکیبی فشار سطح زمین روز ۲۰ جولای ساعت ۱۲، ب) نقشه ترکیبی همدیدی تراز ۹۲۵ روز ۲۲ جولای ساعت ۱۱، ج) نقشه ترکیبی همدیدی امگا تراز میانی جو روز ۲۲ جولای سال ۲۰۱۳ ساعت ۱۶.

برای درک بهتر ساختار جو در زمان رخداد ابرهای خزری نمودارهای هوف مولر ترسیم شدند. به منظور نشان دادن تغییرات زمانی فراسنج‌های امگا و رطوبت ویژه در امتداد طول جغرافیایی ۴۸ تا ۵۶ درجه شرقی و عرض ثابت جغرافیایی ۳۷ درجه شمالی برای ساعت‌ها و ترازهای مختلف جو برای دوره مورد مطالعه ترسیم شدند.





شکل ۶: رهگیری جریان رطوبت حاصل از نتایج مدل HYSPLIT. الف

روز ۲۶، ب روز ۳۰، ج روز ۳۱ جولای ۲۰۱۳.

هکتوپاسکال) در طول جغرافیایی ۵۰ تا ۵۶ درجه شرقی با مقدار بیش از ۱۴ گرم بر کیلو گرم مشاهده می‌شود. بیشینه حرکت‌های صعودی جریان هوا (ارقام منفی) با مقدار  $-0/4$  پاسکال بر ثانیه در سطوح فوقانی و پایینی جو به صورت پراکنده و خفیف مشاهده می‌شوند. حرکت‌های نزولی (ارقام مثبت) نیز با منحنی‌های هم مقدار  $0/2$  و  $0/4$  پاسکال بر ثانیه در ترازهای پایینی و فوقانی جو بیشتر قابل ملاحظه هستند.

### خروجی مدل HYSPLIT

برای شناسایی منبع رطوبت ابرهای خزری از مدل HYSPLIT استفاده شد. به این منظور با استفاده از مدل رهگیری جریان رطوبت و روش خط سیر عقبگرد، رهگیری جریان رطوبت برای روزهای ۲۶، ۳۰ و ۳۱ (به عنوان روزهای نماینده) جولای ۲۰۱۳ انجام شد. رهگیری جریان از ایستگاه‌های رشت، ساری و گرگان از ساعت ۹ صبح شروع و با عقب رفتن در زمان به مدت ۴۸ ساعت ادامه یافت. در روزهای منتخب کل منطقه مورد مطالعه تحت پوشش جریان رطوبت حاصل از دریای خزر قرار گرفته است. بررسی - های مسیر انتقال جریان رطوبت بیانگر آن است که رطوبت در ارتفاعات مختلف مسیرهای تقریباً مشابهی را از شمال دریای خزر تا منطقه‌ی مورد مطالعه پیموده‌اند. در نتیجه مدل، منبع رطوبت ابرهای خزری را دریای خزر نشان داد. لازم به ذکر است که جریان هوای حامل رطوبت دریای خزر در هر سه ارتفاع (۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰) مورد مطالعه، ترازهای نزدیک به سطح زمین هستند (شکل ۶).



## بحث و نتیجه گیری

در پژوهش حاضر به منظور شناسایی ابرهای خزری از داده‌های مشاهداتی و تصاویر ماهواره‌ای استفاده شد. همچنین برای مشخص کردن الگوهای جوی منجر به رخداد ابرهای مذکور از داده‌های بازکاوی شده Era5، و ردیابی مسیر جریان رطوبت از مدل HYSPLIT استفاده شد. نتایج حاصل از داده‌های مشاهداتی نشان داد که در کل روزهای منتخب ماه جولای ۲۰۱۳ در بین لایه‌های مختلف ابرها، ابرهای خزری در قالب ابرهای پایین و میانی مشاهده شدند. به طوری که در بین ارتفاع و نوع ابرهای پایین، ارتفاع‌های ۹۰۰، ۷۵۰ متر و ابر استراتوس و در بین ارتفاع و نوع ابرهای میانی، ارتفاع ۲۷۰۰ متر و ابر آلتوکومولوس بیشترین درصد فراوانی را داشتند. نتایج مقدار بارش حاصل از ابرهای خزری نشان داد که در بیشتر منطقه بارش‌های ناچیزی رخ داده است و مقدار آن عمدتاً ۱ الی ۵ میلی متر بوده است. رابطه‌ی بین بارش ابرهای خزری با همه پارامترهای مورد مطالعه ابرها، به جزء دمای قله ابر مثبت مشاهده شد. نتایج اعمال مدل رگرسیون چند متغیره ۱۷ درصد تاثیر مشترک پنج پارامتر ابر بر بارش را نشان داد. سازکارهای هم‌دیدگی موثر بر رخداد ابرهای خزری نشان داد که با استقرار هسته مرکزی پرفشار ۱۰۱۲ میلی بار در شمال دریای خزر و به تبع آن ایجاد گرادیان فشاری در جهت شمال به جنوب و در امتداد دریای خزر باعث وزش جریان باد و انتقال رطوبت از سطح دریای خزر به سمت سواحل جنوبی خزر شده است. بررسی مقادیر امگا در تراز میانی جو (۵۰۰ هکتوپاسکال) بیشینه حرکت‌های نزولی جو بین ۰/۱ تا ۰/۴ و حرکت‌های صعودی جو مابین ۰/۱- تا ۰/۶- پاسکال در ثانیه در منطقه نشان داد. با توجه به شرایط محیطی ویژه منطقه، جریان هوا با برخورد به کوهستان البرز ضمن صعود اجباری دمای توده هوا و گنجایش رطوبت کاهش یافته و با آغاز فرایند تراکم، منجر به تشکیل ابرهای خزری و بارندگی در منطقه مطالعاتی شده است. همچنین به دلیل حرکت‌های محدود صعودی جریان هوا، پراکندگی مکانی بارش‌های بیش از ۱۱ میلی متر در قسمت‌های بسیار محدود در منطقه رخ داده است. نتایج نیم رخ عمودی نشان داد که حداکثر رطوبت ویژه در ترازهای پایینی جو (۱۰۰۰ تا ۹۰۰ هکتوپاسکال) متمرکز بوده. نتایج ردیابی مسیر جریان رطوبت که با استفاده از مدل HYSPLIT انجام گرفت، تایید کرد که منشأ اصلی رطوبت ابری خزری از دریای خزر بوده است. نکته مهمی که لازم است به آن توجه کرد با شناسایی و بررسی دقیق تعداد زیادی از نمونه‌های ابر خزری، برای دستیابی به کلیماتولوژی این ابرها ضروریست.

## منابع

- احمدی، محمود، داداشی رودباری، عباسعلی، نصیری خوزانی، بهناز، اکبری ازیرانی، طیبی، (۱۳۹۹)، وردایی فصلی ابرهای مایع در گستره ایران مبتنی بر داده‌های سنجنده MODIS ماهواره Terra، فصلنامه علمی پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، دوره ۲۹، شماره ۱۱۳، صص ۱۹-۸.
- جوانمرد، سهیلا، تاجبخش، سحر، بذاق جمالی، جواد (۱۳۹۷)، اقلیم شناسی رخداد پوشش ابرهای پایین در ایران (۱۹۸۱-۲۰۱۰)، نشریه پژوهش‌های اقلیم شناسی، سال ۹، شماره ۳۳ و ۳۴، صص ۲۲-۱۶.

خوشحال دستجردی، جواد (۱۳۷۶)، الگوی سینوپتیک - کلیماتولوژی برای بارش‌های بیش از صد میلی‌متر در سواحل جنوبی دریای خزر، رساله دکتری جغرافیای طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس.

رحمدل، محسن، (۱۳۹۵)، امکان‌سنجی بارورسازی ابرها با بررسی شرایط ابرناکی و برخی شاخص‌های ناپایداری در دشت مشهد، مجله سامانه‌های سطوح آبگیر باران، سال پنجم شماره ۱، صص ۶۰-۵۱.

علیجانی، بهلول (۱۳۸۷)، آب و هوای ایران، چاپ هشتم، انتشارات دانشگاه پیام نور. کویانی، محمدرضا، علیجانی، بهلول (۱۳۸۸)، مبانی آب و هواشناسی، انتشارات سازمان سمت. فرهودی، رحمت‌الله (۱۳۸۵)، فنون پیش‌بینی در برنامه ریزی شهری و منطقه‌ای، جزوه‌ای درسی، دانشکده جغرافیا دانشگاه تهران.

نوربان، علی محمد، جوانمرد، سهیلا، تاجبخش، سحر، بذاق جمالی، جواد، (۱۳۹۷)، آشکار سازی انواع ابرها با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای بر اساس الگوریتم ISCCP در ایران، نشریه هواشناسی و علوم جو، دوره ۱، شماره ۲، صص ۱۴۵-۱۳۰.

- Bony, S., Stevens, B., Frierson, D. M., Jakob, C., Kageyama, M., Pincus, R., Watanabe, M. (2015), Clouds, circulation and climate sensitivity. *NatureGeoscience*, 8(4), 261- 268.
- Ioannidis, E., Lolis, C.J., Papadimas, C.D., Hatzianastassiou, N., Bartzokas, A. (2017), On the intra-annual variation of cloudiness over the Mediterranean region, *Atmospheric Research*, doi. 10.1016/j.atmosres.2017.08.021, 1-11.
- Kalimeris, A., Founda, D. (2018), Inter-annual and inter-decadal variability modes of the Athens total cloud cover, *International Journal of Climatology*, [doi.org/10.1002/joc.5687](https://doi.org/10.1002/joc.5687), V 38, PP 4667-4686.
- Kebiao, M., Zijin, Y., Zhiyuan, Z., Tongren, X., Xinyi, Sh., Chunyu, G., (2019), Changes in Global Cloud Cover Based on Remote Sensing Data from 2003 to 2012, *Chinese Geographical Science*, DOI: 10.1007/s11769-019-1030-6, pp. 306–315.
- Lei, Y., Letu, H., Shang, H., Shi, J., (2020), Cloud cover over the Tibetan Plateau and eastern China: a comparison of ERA5 and ERA Interim with satellite observations, *Climate Dynamics*, doi.org/10.1007/s00382-020-05149-x, pp 2941-2957.
- Luo, L., Hamilton, D., Han, B., (2010), Estimation of total cloud cover from solar radiation observations at Lake Rotorua, New Zealand, *Solar Energy*, doi: 10.1016/j.solener.2010.01.012, pp 1-6.
- Menzel, P. W, Frey, R. A, Baum, B. A. (2015) Cloud Top Properties and cloud phase algorithm Theoretical Basis Document, Version 11.
- Rosenfeld, D., Woodley, W. L. (2000), Deep convective clouds with sustained supercooled liquid water down to  $-35.5^{\circ}\text{C}$ , *Nature* Vol 405, pp 440-442. DOI:10.1038/35013030.
- Stephens, G. L., & Kummerow, C. D. (2007), The remote sensing of clouds and precipitation from space: A review *Journal of the Atmospheric Sciences*, 64(11), 3742-3765.
- Zhang, Y., Lu, H., Shen, S., Cai, J., (2015), Comment on “Do aerosols impact ground observation of total cloud cover over the North China Plain?”, *Global and Planetary Change*, DOI: 10.1016/j.gloplacha.2015.08.008, pp 120-124.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی  
پرتال جامع علوم انسانی