

## Detecting the heavy rain event in May 1403 using Sentinel 1 satellite images (case study: Razavi Khorasan province)

Mazidi, A.<sup>1</sup>  | Mohammadi Ravari, F.<sup>2</sup> 

1. Associate Professor of Climatology, Department of Geography, Yazd University, Yazd, Iran.
2. PhD student of Climatology, Yazd University, Yazd, Iran.

**Corresponding Author E-mail:** [Mazidi@yazd.ac.ir](mailto:Mazidi@yazd.ac.ir)

(Received: 05 Oct 2024, Revised: 07 Nov 2024, Accepted: 25 Nov 2024, Published online: 09 Apr 2025)

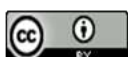
### Abstract

One of the issues that has been observed especially in recent years in the West Asian region is the simultaneous occurrence of snow or rain along with dust storm. On May 5-10, 2024, the presence of atmospheric fronts associated with low-pressure systems over the West Asia region caused heavy rainfall in some areas and dust storms in other areas at the same time. The aim of this study is to comprehensively investigate these simultaneous atmospheric events. For this purpose, a set of satellite data and products and reanalysis data were used. Since it is difficult to forecast these phenomena, the output of the WRF-Chem model was examined in order to qualitatively evaluate the dust and rain forecast in the region. On May 5, 2024, the Occluded front, associated with the low-pressure system, covered Turkey from the east to the center of the country. On this day, from the east of the Black Sea to the north of the Red Sea, cold and warm fronts followed each other. The warm front extended from the east of the Black Sea to the north of the Caspian Sea. There was a cold front in the northwest of Iran and cold and warm fronts in the north of Saudi Arabia and the border areas of this country with Iraq and Syria. Further, with the movement of low-pressure systems to the east and northeast, their fronts were also moved. During this period, on the one hand, strong winds caused by cold fronts over Iraq, Syria, Northern Saudi Arabia, Turkmenistan and southwest and center of Iran and on the other hand, the presence of thermal low-pressure systems over Saudi Arabia and the southern half of Pakistan caused dust emission in the region. The relative humidity (RH) and streamlines maps at 700hPa level show the transfer of moisture from the east of the Mediterranean Sea, the Black Sea and the Caspian Sea at higher latitudes and from the Red Sea, the Arabian Sea, the Persian Gulf, the Oman Sea and the northern Indian Ocean at lower latitudes in the presence of atmospheric fronts and ascending movements due to instability, caused rain over parts of the region. The severe gradient of RH over the region caused simultaneous occurrence of rain along with dust during this time interval. The output of the WRF-Chem model showed that this model was able to forecast the simultaneous occurrence of dust and precipitation in its 48-hour forecast. The pattern of precipitation and dust in the output of the WRF-Chem model is very similar to the satellite products.

**Keywords:** West Asia, precipitation, dust, atmospheric fronts, WRF-Chem model

**Cite this article:** Mazidi, A., & Mohammadi Ravari, F. (2025). Detecting the heavy rain event in May 1403 using Sentinel 1 satellite images (case study: Razavi Khorasan province). *Journal of the Nivar*, 49(128-129), 80-98. DOI: <https://doi.org/10.30467/nivar.2024.482006.1310>

**E-mail:** (2) [F.mohammadi.5016@gmail.com](mailto:F.mohammadi.5016@gmail.com)



## آشکارسازی رخداد بارش سنگین اردیبهشت ماه ۱۴۰۳ با استفاده از تصاویر ماهواره سنتینل ۱ (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی)

احمد مزیدی<sup>۱</sup> | فروغ محمدی راوری<sup>۲</sup>

۱. دانشیار اقلیم شناسی گروه جغرافیا دانشگاه یزد، یزد، ایران.

۲. دانشجوی دکتری تخصصی اقلیم شناسی دانشگاه یزد، یزد، ایران.

رایانامه نویسنده مسئول: [Mazidi@yazd.ac.ir](mailto:Mazidi@yazd.ac.ir)

(دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۱۴، بازنگری: ۱۴۰۳/۰۸/۱۷، پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۰۵، انتشار آنلاین: ۱۴۰۴/۰۱/۲۰)

### چکیده

هدف از تحقیق حاضر بررسی بارش سنگین و سیلاب رخ داده در اردیبهشت ماه ۱۴۰۳ خراسان رضوی می‌باشد. در این مطالعه با بررسی داده های بارش اردیبهشت ماه خراسان رضوی مشاهده شد که اوج بارش شدید در روز ۲۷، ۲۸ و ۲۹ اردیبهشت ماه بوده است، سپس این دوره برای مطالعه در نظر گرفته شد. جهت تحلیل همدیدی این بارش سنگین از نقشه های روزانه تراز های سطح زمین، ۵۰۰ هکتوپاسکال، امگا، چرخندگی و وزش رطوبتی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال استفاده شد. داده های مربوط به تعیین مناطق دارای سیل نیز با استفاده از تصاویر ماهواره سنتینل در محیط گوگل ارث انجین تهیه و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که سامانه کم فشار در جنوب شرقی ایران و شمال غرب پاکستان با حرکت خود هوای گرم و مرطوب را از مناطق جنوبی به شمال شرق ایران هدایت می کند. این سامانه در ۲۹ اردیبهشت ۱۴۰۳ هوای مرطوب را به سمت شمال شرق ایران هدایت کرده، و باعث افزایش رطوبت در این منطقه شده است که این افزایش رطوبت در ترکیب با دماهای بالاتر، باعث افزایش دمای بیشتر و افزایش بارش شدید در این منطقه شده است. نقشه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نیز شکل گیری ناوهای عمیق در غرب ایران و فرود ضعیف در شمال شرق ایران را نشان می دهد که به تدریج فرود موجود در شمال شرق ایران قوی تر شده و خطوط هم ارتفاع به هم نزدیک شدند و ناپایداری ایجاد کرده است همچنین مسیر حرکت رطوبت غربی شرقی بوده و از طریق دریای خزر به سمت شمال شرق ایران حرکت کرده است. همچنین تصاویر ماهواره ای سنتینل نشان دهنده ی افزایش بارش ناشی از ناپایداری های جوی و حرکت سامانه های کم فشار؛ به ویژه در مناطق مرکزی، شرق و جنوبی استان می باشد. مساحت محاسبه شده ی سیلاب ۶۸۲۲.۹ کیلومتر مربع برآورد شده است که تأثیر قابل توجهی بر هیدرولوژی و جغرافیای منطقه داشته است و می تواند پیامدهای مهمی برای کشاورزی، زیرساخت ها و اکوسیستم های خراسان رضوی در پی داشته باشد.

**کلیدواژه ها:** استان خراسان رضوی، بارش سنگین، سنتینل ۱، ماهواره

### ۱. مقدمه

جعفری، (۱۳۹۹)؛ همانطور که بارش های شدید و سیل آسا از پیچیدگی رفتاری بارزتری برخوردار است کشور ایران نیز متأثر از رفتار بی قاعده و ناهنجار آن است سلامتی (هرمزی و همکاران، ۱۳۹۹). رویدادهای بارش شدید در تعدادی از مناطق کره زمین به دلیل تغییرات اقلیمی در حال افزایش

بارش های شدید و سیل آسا از شاخه های مهم علم آب- و هواشناسی همدید می باشد (احمدی و جعفری، ۱۳۹۵) که وقوع آن با شدت زیاد در صورتی که مقدار آن از ظرفیت نفوذ خاک بیشتر باشد باعث تشکیل رواناب می شود (پژوه و

**استناد:** مزیدی، احمد؛ و محمدی راوری، فروغ. (۱۴۰۴). آشکارسازی رخداد بارش سنگین اردیبهشت ماه ۱۴۰۳ با استفاده از تصاویر ماهواره سنتینل ۱ (مطالعه موردی: استان

خراسان رضوی). مجله نیوار، ۴۹ (۱۲۹-۱۲۸)، ۸۰-۹۸. DOI: <https://doi.org/10.30467/nivar.2024.482006.1310>

رایانامه: (۲) [F.mohammadi.5016@gmail.com](mailto:F.mohammadi.5016@gmail.com)



فراوانی و شدت هستند (IPCC, 2021). سیلاب و بارش سنگین از جمله پدیده‌های طبیعی هستند که می‌توانند تأثیرات گسترده و ویرانگری بر جوامع انسانی و محیط زیست داشته باشند. این پدیده‌ها، که ناشی از بارندگی‌های شدید و طولانی‌مدت هستند، می‌توانند به وقوع حوادثی مانند آب‌گرفتگی معابر، تخریب زیرساخت‌ها، و حتی تلفات انسانی منجر شوند. در دهه‌های اخیر، تغییرات اقلیمی و افزایش گرمایش جهانی به تشدید فراوانی و شدت این بارش‌ها و سیلاب‌ها کمک کرده‌اند. افزایش دمای زمین منجر به تبخیر بیشتر آب از سطح دریاها و اقیانوس‌ها شده و در نتیجه، میزان بخار آب در جو افزایش یافته است. این افزایش بخار آب، وقتی که به صورت بارندگی فرو می‌ریزد، می‌تواند به بارش‌های شدید و ناگهانی منجر شود که سیستم‌های زهکشی شهری و روستایی قادر به مدیریت آن‌ها نیستند (IPCC, 2014). سیلاب‌ها نه تنها تأثیرات مستقیم مانند تخریب زیرساخت‌ها و منازل مسکونی را به همراه دارند، بلکه عواقب غیرمستقیمی همچون آلودگی منابع آب، شیوع بیماری‌ها و اختلال در خدمات عمومی مانند برق و حمل و نقل را نیز به دنبال دارند. به عنوان مثال، در سال ۲۰۱۰، سیلاب‌های گسترده در پاکستان باعث تخریب میلیون‌ها هکتار زمین کشاورزی و آواره شدن میلیون‌ها نفر شد، که این خود منجر به بحران انسانی و اقتصادی بزرگی شد (World Bank, 2010). خسارت‌های ناشی از رخداد سیل در ایران و دیگر نقاط جهان در سال‌های اخیر نشان از آن دارد که برای مقابله با پیامدهای و مسائل همراه سیل، فعالیت‌های گسترده‌ای باید صورت گیرد. به همین دلیل مطالعه و بررسی این رخداد و گسترش شیوه‌های موثر بر کاهش خسارات ناشی از وقوع آن در جهان اهمیت فراوانی یافته است (Saghafi and Rezaei Moghaddam, 2012).

فراوانی و شدت هستند (IPCC, 2021). سیلاب و بارش سنگین از جمله پدیده‌های طبیعی هستند که می‌توانند تأثیرات گسترده و ویرانگری بر جوامع انسانی و محیط زیست داشته باشند. این پدیده‌ها، که ناشی از بارندگی‌های شدید و طولانی‌مدت هستند، می‌توانند به وقوع حوادثی مانند آب‌گرفتگی معابر، تخریب زیرساخت‌ها، و حتی تلفات انسانی منجر شوند. در دهه‌های اخیر، تغییرات اقلیمی و افزایش گرمایش جهانی به تشدید فراوانی و شدت این بارش‌ها و سیلاب‌ها کمک کرده‌اند. افزایش دمای زمین منجر به تبخیر بیشتر آب از سطح دریاها و اقیانوس‌ها شده و در نتیجه، میزان بخار آب در جو افزایش یافته است. این افزایش بخار آب، وقتی که به صورت بارندگی فرو می‌ریزد، می‌تواند به بارش‌های شدید و ناگهانی منجر شود که سیستم‌های زهکشی شهری و روستایی قادر به مدیریت آن‌ها نیستند (IPCC, 2014). سیلاب‌ها نه تنها تأثیرات مستقیم مانند تخریب زیرساخت‌ها و منازل مسکونی را به همراه دارند، بلکه عواقب غیرمستقیمی همچون آلودگی منابع آب، شیوع بیماری‌ها و اختلال در خدمات عمومی مانند برق و حمل و نقل را نیز به دنبال دارند. به عنوان مثال، در سال ۲۰۱۰، سیلاب‌های گسترده در پاکستان باعث تخریب میلیون‌ها هکتار زمین کشاورزی و آواره شدن میلیون‌ها نفر شد، که این خود منجر به بحران انسانی و اقتصادی بزرگی شد (World Bank, 2010). خسارت‌های ناشی از رخداد سیل در ایران و دیگر نقاط جهان در سال‌های اخیر نشان از آن دارد که برای مقابله با پیامدهای و مسائل همراه سیل، فعالیت‌های گسترده‌ای باید صورت گیرد. به همین دلیل مطالعه و بررسی این رخداد و گسترش شیوه‌های موثر بر کاهش خسارات ناشی از وقوع آن در جهان اهمیت فراوانی یافته است (Saghafi and Rezaei Moghaddam, 2012).

مواردی از آن اشاره خواهد شد.  
(چن<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۸)، بارش شدید باران ۱۲-۱۱ ژوئن ۲۰۱۲ در شمال تایوان را بررسی و به این نتیجه رسیدند که بارش سنگین ۴۳۵ میلی‌متری شمال‌غرب سواحل تایوان و ۴۷۷ میلی‌متری منطقه تایپه که از ساعت ۲۰۰۰ گرینویچ روز ۱۱ ژوئن تا ساعت ۰۰:۸۰ گرینویچ روز ۱۲ ژوئن ثبت شده است، در اثر وجود یک جبهه سرد ناشی از یک سامانه امگا شکل زیرش کرده است. همچنین این محققان با انتخاب چهار دامنه با بعد افقی ۲۷، ۹، ۳ و یک کیلومتر، نحوه فعالیت جبهه سرد سامانه فوق را با استفاده از مدل WRF شبیه‌سازی کردند و با حذف اثر عوارض زمین و ارتفاعات از مدل، نشان دادند که جبهه سرد و منطقه فعالیت بارشی آن به سوی جنوب جابه‌جا می‌شود. (بی‌یان<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۹) به بررسی و تحلیل حساسیت همادی بارش سنگین وابسته به سه سامانه

<sup>2</sup>-Yian

<sup>1</sup>-Chen

در مناطق شهری الصاف<sup>۶</sup> و عتفیه<sup>۷</sup> نیازمند اقدامات فوری برای کاهش سیل است. در ایران نیز (عابدینی و فتحی، ۱۳۹۵) در پهنه بندی خطر وقوع سیل در حوضه آبریز کرگانرود به این نتیجه رسیدند که بیش از ۵۵ درصد از سطح حوضه را طبقه خطر زیاد و نسبتاً زیاد در بر می گیرد و به دلیل برخورداری از متوسط بارندگی سالانه ۱۰۵۸ میلی متر، شیب زیاد، سازندهای نفوذناپذیر و داشتن شکلی دیواره وار از قابلیت سیل خیزی نسبتاً زیادی برخوردار است. (برنا، ۱۳۹۶)، به شناسایی الگوهای همیدید بارش های سنگین در حوضه مارون پرداخت و نتایج تحقیق ایشان نشان داد این بارش متاثر از حضور فرود دریای سرخ و کم فشار سودانی منطبق بر خواستگاه فضایی دریاهای سرخ، خلیج فارس و جنوب غربی ایران بوده است و غالباً منشأ سودانی داشته است. فرشاد سلیمانی (ساردو و همکاران، ۱۴۰۰) در پژوهشی برای برآورد میزان خسارت سیلاب از تصاویر راداری سنتینل ۱ در فروردین سال ۱۳۹۹ در شهر کرمان با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی استفاده کردند. با کسر کردن تصاویر قبل و بعد سیل، منطقه سیل زده مشخص گردید. نتایج حاصله بیانگر صحت بالای روش جنگل تصادفی نسبت به سایر روش ها می باشد. بر طبق نتایج حاصل از این تحقیق اراضی بایر ۹.۲۷، مسکونی ۱۶ و مرتع ۱۲ درصد دارای بیشترین درصد آبگرفتگی بودند. (امیدوار و محمدی، ۱۴۰۱)، به تحلیل همیدید بارش سنگین و سیلابی آبان ماه ۱۴۰۰ در استان گیلان با استفاده از نقشه های روزانه سطح زمین و سطوح ۸۵۰، ۵۰۰ و ۳۰۰ هکتوپاسکال و نمودارهای اسکیوتی تهران و کرمانشاه پرداختند. نتایج نشان داد که وجود یک سامانه کم فشار در سطح زمین بر روی شمال کشور و همچنین یک سامانه پرفشار قوی با فشار مرکزی ۱۰۳۵ هکتوپاسکال باعث ریزش هوای سرد از عرض های بالا بر روی دریای خزر شده است که با حرکت و اچرخندی خود باعث تغذیه رطوبت از آب های دریای خزر شده و پس از برخورد با ارتفاعات منطقه از جمله البرز و تالش

همرفتی میان مقیاس همزمان، در جنوب چین پرداختند. نتایج نشان داد که مهم ترین علت رخداد بارش سنگین، وجود جت تراز پایین جو در امتداد جنوب شرقی- جنوب غربی و چرخندگی ناشی از آن در ترازهای ضمن بررسی آماری و سینوپتیکی رخداد بارش های سنگین در شمال چین به این نتیجه رسیدند که مهم ترین عامل بارش سنگین، وجود جت سطح فوقانی جو و توپوگرافی سطح زمین می باشد، بعد از این عامل همگرایی ترازهای بالا و پایین جو نقش اساسی در رخداد بارش منطقه را ایفا می کند. در پژوهشی دیگر (یان ژن<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۲۰) ضمن بررسی آماری و سینوپتیکی رخداد بارش های سنگین در شمال چین به این نتیجه رسیدند که مهم ترین عامل بارش سنگین، وجود جت سطح فوقانی جو و توپوگرافی سطح زمین است، بعد از این عامل همگرایی ترازهای بالا و پایین جو نقش اساسی در رخداد بارش منطقه را ایفا می کند. (هرماس<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۲۱)، مطالعه ای تحت عنوان کاربرد سنجش از دور و GIS برای ارزیابی و پیشنهاد اقدامات کاهش سیل در منطقه شهری مصر انجام دادند. آن ها در این مطالعه تاثیر سیل های ناگهانی اکتبر ۲۰۱۶ در منطقه شهری واقع در حوزه های امتداد دره نیل و دریای سرخ را بررسی کردند. در این مطالعه تصاویر ماهواره ای نوری و راداری که پیش و پس از وقوع سیل به دست آمده اند برای شناسایی و ترسیم کانال های موثر فعال مناطق شهری دارای مانع و پاسخ به افت و خیزهای طبیعی و مناطق ذخیره سازی و انتقال کانال ها به سیل، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و همچنین پارامترهای سیل های ناگهانی نظیر کل عمق بارش، نواحی مقطع عرضی کانال فعال و وسعت فضایی نواحی ذخیره سازی آب سیل تجمع یافته اندازه گیری شده است. نتایجی که از این مطالعه حاصل شده است نشان دهنده این است که سیل های ناگهانی اکتبر ۲۰۱۶ در منطقه راس<sup>۳</sup> نسبت به بقیه مناطق دارای شدت بیشتر و ویرانگر بوده و همچنین در مناطق شهری جدید آل مینیا<sup>۴</sup> و نیوغنا<sup>۵</sup> مدیریت شده است و

<sup>5</sup>-Qena

<sup>6</sup>-Al saaf

<sup>7</sup>-Atfih

<sup>1</sup>-Yanzhen

<sup>2</sup>-Hremas

<sup>3</sup>-Ras

<sup>4</sup>-El minya

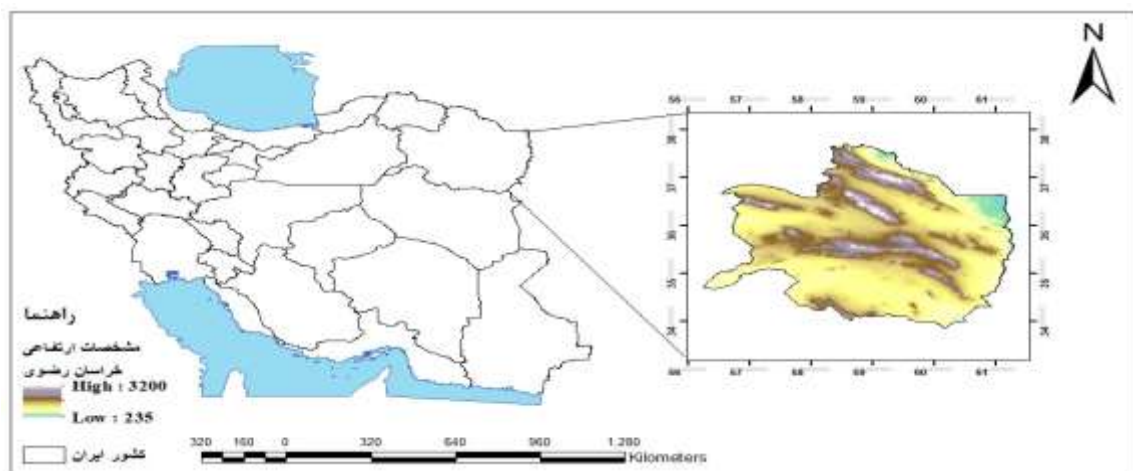
اریهشت ماه ۱۴۰۳ در استان خراسان رضوی پرداخته شده است.

## ۲. مواد و روش ها

### ۱-۲. معرفی منطقه مورد مطالعه

استان خراسان رضوی دارای وسعتی بیش از ۱۲۷۰۰۰ کیلومتر مربع هست که بین مدار جغرافیایی ۳۳ درجه و ۵۲ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۴۲ دقیقه عرض شمالی از خط استوا و ۵۶ درجه و ۱۹ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۱۶ دقیقه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ قرار دارد. استان خراسان رضوی از شمال و شمال شرقی به طول حدود ۵۳۱.۶ کیلومتر دارای مرز مشترک با جمهوری ترکمنستان و از شرق به طول حدود ۳۰۲ کیلومتر دارای مرز مشترک با کشور افغانستان بوده و از لحاظ مرزهای داخلی از شمال غربی با استان خراسان شمالی، از جنوب با استان خراسان جنوبی و از غرب و نیمه شمال غربی به استان های یزد و سمنان محدود می گردد. (شیرانی رانکی، ۱۳۹۸) (شکل ۱). در تاریخ ۲۷ تا ۲۹ اردیبهشت ماه ۱۴۰۳ در این استان بر اثر بارندگی های شدید و سیلابی خسارات زیادی به زیرساخت های شهری و روستایی، باغات پسته و محصولات کشاورزی و خسارت به وسایل نقلیه وارد شد که متاسفانه این سیلاب موجب فوت چندین نفر نیز شد (شکل ۲).

باعث بارندگی های شدید و رگباری در استان گیلان شده است. به طوری که در دوره مذکور، در روز ۱۱ نوامبر ایستگاه تالش با بارش ۷۰ میلی متر و روز ۱۲ نوامبر ایستگاه رضوان شهر با بارش ۱۳۵ میلی متر بیشترین بارش های سنگین را در استان گیلان تجربه کرده اند. با توجه به افزایش وقوع این حوادث، اهمیت مطالعه و مدیریت صحیح آن ها بیشتر از پیش احساس می شود. همچنین (محمودی و کریم زاده، ۱۴۰۲)، در تحقیقی به تحلیل های مکانی و پردازش تصویر برای شناسایی گستره سیل با استفاده از تصاویر ماهواره سنتینل ۲ا برای ژانویه ۲۰۲۰ پرداختند و به این نتیجه رسیدند که الگوریتم های شیء گرا و سامانه گوگل ارث انجین ابزاری بسیار مفید برای شناسایی مناطق سیل زده است و می تواند برنامه ریزان را در مدیریت مخاطرات طبیعی در منطقه مورد مطالعه یاری رساند. برای مقابله با اثرات مخرب سیلاب ها و بارش های سنگین، باید به دو جنبه اصلی توجه کرد: پیشگیری و واکنش به بحران. در زمینه پیشگیری، ایجاد زیرساخت های مقاوم در برابر سیلاب، مانند سدها و سیستم های زهکشی پیشرفته، و همچنین بهره گیری از فناوری های نوین برای پیش بینی و هشدار به موقع، می تواند نقش بسزایی ایفا کند. از طرفی، در زمان وقوع بحران، واکنش سریع و هماهنگ از سوی نهادهای مسئول و جامعه می تواند به کاهش تلفات و خسارات کمک کند. در تحقیق حاضر به آشکارسازی و تحلیل همدید رخداد بارش سنگین و سیلابی ۲۷ تا ۲۹



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه به همراه مشخصات ارتفاعی



شکل ۲. تصاویری از سیلاب و خسارات وارد شده ۲۷ تا ۲۹ اردیبهشت ماه ۱۴۰۳ خراسان رضوی

## ۲-۲. روش تحقیق

مطالعه بارش های سنگین و سیلابی بر پایه داده های روزانه بارندگی از اهمیت ویژه ای برخوردار است. این بارش ها در دوره های ۲۴ ساعته، هفتگی و کمتر از آن رخ می دهند. به منظور تحلیل بارش سنگین و سیلابی ۲۷ تا ۲۹ اردیبهشت ماه ۱۴۰۳ در استان خراسان رضوی آمار بارندگی از سازمان هواشناسی این استان تهیه و مورد تحلیل قرار گرفته است. به منظور تحلیل همدید بارش مذکور و چگونگی ورود سیستم های همدید به منطقه از نقشه های روزانه ترازهای سطح زمین، ۵۰۰ هکتوپاسکال، امگا، چرخندگی و نقشه های وزش رطوبتی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال از سایت [www.cdc.noaa.gov](http://www.cdc.noaa.gov) استفاده شده است. ترسیم نقشه ها در نرم افزار GRADS و تحلیل نقشه های سینوپتیک از ۲۷ اردیبهشت تا روز ۲۹ اردیبهشت ماه ۱۴۰۳ (۱۶ تا ۱۸ می ۲۰۲۴) صورت گرفته است. همچنین ماهواره سنتینل ۱ ترکیبی از دو ماهواره به نام های سنتینل A1 و B1 می باشد که به ترتیب در سال های ۲۰۱۴ و ۲۰۱۶ توسط آژانس فضایی اروپا به فضا پرتاب شده است. این ماهواره ها در باند C با

پولاریزاسیون VH و VV تصویر تهیه می کنند. به منظور تعیین پهنه های سیلابی در خراسان رضوی از تصاویر راداری این ماهواره از سامانه گوگل ارث انجین استفاده و مورد تجزیه و تحلیل قرار داده شد. برای اندازه گیری صحت طبقه بندی از ضریب کاپا استفاده شد. مقدار ضریب کاپا بین صفر و یک است. اگر مقدار کاپا برابر یک باشد به معنای طبقه بندی کاملاً صحیح است، اگر مقدار آن صفر باشد به معنای طبقه بندی کاملاً تصادفی است و اگر مقدار کاپا منفی باشد به معنای ضعف طبقه بندی می باشد (فیضی زاده و همکاران، ۱۳۸۹). ضریب کاپا طبق معادله ۱ محاسبه می شود.

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^k n_i + n + i}{N^2 - \sum_{i=1}^k n_i + n + i} \quad (1)$$

## ۳-۱. بارش ۶ ساعته

در دوره مورد مطالعه (۱۶ تا ۱۸ می ۲۰۲۴)، استان خراسان رضوی بارش سنگین و سیلابی را تجربه کرده است. جدول ۱ تا ۳ وضعیت بارش ۶ ساعته ثبت شده در ۱۸ ایستگاه این استان را نشان می دهد. با توجه به جداول مشاهده می شود در طی دوره مورد مطالعه، بیشترین بارش ها به ترتیب در ایستگاه های مشهد (۶۴.۷ میلی متر)، گلکمان (۵۵ میلی متر)، نیشابور (۳۵.۷

میلی متر)، قوچان (۲۸.۳ میلی متر)، درگز (۱۸.۳ میلی متر)، و فریمان (۱۷.۵ میلی متر)، بردسکن (۱۵.۲ میلی متر) و باخرز (۱۵.۱ میلی متر) بوده است. همچنین ایستگاه های تایباد و کلات نادر با میزان بارش ۱ و ۳.۷ میلی متر کمترین بارش هارا در طی دوره مذکور تجربه کرده اند.

جدول ۱. بارش ۶ ساعته ایستگاه های خراسان رضوی در روز ۱۶ می ۲۰۲۴ (۲۷ اردیبهشت ماه ۱۴۰۳)

| ردیف | ایستگاه         | 06-12 | 12-18 | 18-00 | 00-06 | مجموع |
|------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1    | باخرز           | 0.1   | -     | -     | -     | 0.1   |
| 2    | بردسکن          | -     | -     | -     | TR    | 0     |
| 3    | تایباد          | -     | -     | -     | TR    | 0     |
| 4    | ترت جام         | -     | -     | -     | TR    | 1     |
| 5    | ترت حیدریه      | -     | -     | -     | TR    | 0     |
| 6    | جغتای           | -     | -     | -     | 0.4   | 0.4   |
| 7    | خواف            | 5     | -     | -     | -     | 5     |
| 8    | درگز            | 0.8   | -     | -     | 5     | 5.8   |
| 9    | رشتخوار         | -     | -     | -     | TR    | 0     |
| 10   | سبزوار          | 2     | -     | -     | TR    | 2     |
| 11   | سبزوار_فرودگاهی | 3     | -     | -     | -     | 3     |
| 12   | فریمان          | 0.9   | -     | -     | 7     | 7.9   |
| 13   | قوچان           | 0.1   | 4     | -     | 4     | 8.1   |
| 14   | کاشمر           | -     | -     | -     | TR    | 0     |
| 15   | کلات نادر       | 1     | -     | -     | 0.1   | 1.1   |
| 16   | مشهد            | 29    | 4     | 0.7   | -     | 33.7  |
| 17   | نیشابور         | 29    | -     | 0.1   | -     | 29.1  |
| 18   | گلمکان          | 19    | -     | -     | 19    | 38    |

جدول ۲. بارش ۶ ساعته ایستگاه های خراسان رضوی در روز ۱۷ می ۲۰۲۴ (۲۸ اردیبهشت ماه ۱۴۰۳)

| ردیف | ایستگاه         | 06-12 | 12-18 | 18-00 | 00-06 | مجموع |
|------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1    | باخرز           | -     | 2     | -     | 4     | 6     |
| 2    | بردسکن          | -     | -     | -     | 6     | 6     |
| 3    | تایباد          | -     | -     | -     | 0.6   | 0.6   |
| 4    | ترت جام         | -     | 2     | -     | 3     | 5     |
| 5    | ترت حیدریه      | -     | -     | -     | 4     | 4     |
| 6    | جغتای           | -     | 4     | -     | 0.1   | 4.1   |
| 7    | خواف            | -     | -     | -     | TR    | 0     |
| 8    | درگز            | -     | 4     | -     | 1.5   | 5.5   |
| 9    | رشتخوار         | 3     | -     | -     | 1     | 4     |
| 10   | سبزوار          | -     | 0.3   | -     | -     | 0.3   |
| 11   | سبزوار_فرودگاهی | -     | -     | -     | TR    | 0     |
| 12   | فریمان          | 0.9   | -     | -     | 5     | 5.9   |
| 13   | قوچان           | TR    | 11    | 0.1   | -     | 11.1  |

|     |     |     |    |    |           |    |
|-----|-----|-----|----|----|-----------|----|
| 9   | 9   | -   | -  | -  | کاشمر     | 14 |
| 2   | -   | -   | -  | 2  | کلات نادر | 15 |
| 6   | 2   | 4   | TR | TR | مشهد      | 16 |
| 2.6 | 0.5 | 0.1 | 2  | -  | نیشابور   | 17 |
| 9   | 9   | -   | -  | -  | گلمکان    | 18 |

جدول ۳. بارش ۶ ساعته ایستگاه های خراسان رضوی در روز ۱۸ می ۲۰۲۴ (۲۹ اردیبهشت ماه ۱۴۰۳)

| ردیف | ایستگاه         | 06-12 | 12-18 | 18-00 | 00-06 | مجموع |
|------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1    | باخرز           | 2     | 7     | -     | -     | 9     |
| 2    | بردسکن          | 9     | 0.2   | -     | -     | 9.2   |
| 3    | تایباد          | -     | -     | -     | 0.4   | 0.4   |
| 4    | ترت جام         | 3     | 3     | -     | -     | 6     |
| 5    | ترت حیدریه      | 4     | -     | -     | -     | 4     |
| 6    | جغتای           | 0.6   | 8     | -     | -     | 8.6   |
| 7    | خواف            | -     | -     | -     | -     | 0     |
| 8    | درگز            | 7     | -     | -     | -     | 7     |
| 9    | رشتخوار         | 2     | -     | -     | 0.2   | 2.2   |
| 10   | سبزوار          | 10    | -     | -     | -     | 10    |
| 11   | سبزوار_فرودگاهی | 6     | -     | -     | -     | 6     |
| 12   | فریمان          | 3     | -     | -     | 0.7   | 3.7   |
| 13   | قوچان           | 7     | 2     | -     | 0.1   | 9.1   |
| 14   | کاشمر           | 5     | -     | -     | -     | 5     |
| 15   | کلات نادر       | 0.6   | -     | -     | -     | 0.6   |
| 16   | مشهد            | 25    | -     | -     | -     | 25    |
| 17   | نیشابور         | 4     | -     | -     | -     | 4     |
| 18   | گلمکان          | 8     | -     | -     | -     | 8     |

### ۲-۳. جریان های جوی حاکم بر منطقه در روز

های ۱۶ تا ۱۸ می ۲۰۲۴ (۲۷ تا ۲۹ اردیبهشت

۱۴۰۳)

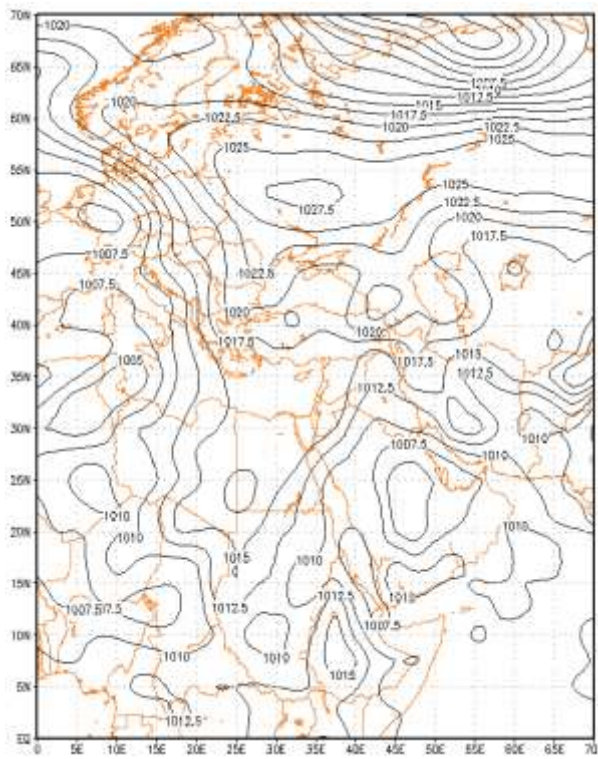
#### ۱-۲-۳. نقشه های سطح زمین

نقشه فشار سطح زمین در روز ۱۶ می ۲۰۲۴، نشان دهنده ی سیستم پرفشاری در شمال ایران و در حوالی دریای خزر قرار دارد. فشار این سامانه حدود ۱۰۲۰ میلی بار است. این سامانه باعث جریان هوای سرد و خشک از سمت شمال به سمت ایران می شود که می تواند موجب کاهش دما و خشکی هوا در این منطقه شود. سامانه پرفشار دیگری در شمال غرب ایران و شرق ترکیه قرار دارد که فشار آن حدود ۱۰۲۲.۵

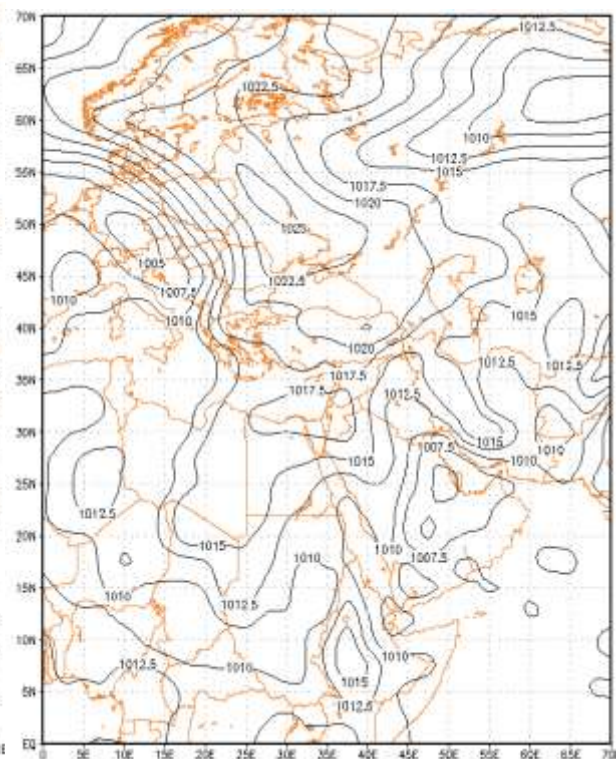
میلی بار است. این سامانه نیز می تواند جریان هوای سرد و خشک را از سمت شمال و شمال غرب به سمت شمال شرق ایران هدایت کند. در شرق و جنوب شرق ایران، سامانه های کم فشاری وجود دارند که فشار آن ها حدود ۱۰۰۷.۵ میلی بار است. این سامانه ها می توانند هوای گرم و مرطوب را از سمت خلیج فارس و جنوب شرقی به سمت شمال شرق ایران هدایت کنند (شکل ۳). در روز ۱۷ می ۲۰۲۴ در شمال شرق ایران و در نزدیکی مرزهای ترکمنستان و افغانستان، سامانه ای با فشار حدود ۱۰۲۰ میلی بار مشاهده می شود. این سامانه پرفشار می تواند هوای سردتر و خشک تر را به این منطقه هدایت کند. همچنین یک سامانه کم فشار با فشار حدود ۱۰۰۷.۵ میلی بار در جنوب شرقی ایران و شمال غرب پاکستان مشاهده می شود

رطوبت در ترکیب با دماهای بالاتر، باعث احساس گرمای بیشتر و افزایش بارش شدید در این منطقه شده است. به طوری که در این روز در ایستگاه مشهد طی ۳۰ دقیقه بارش قابل توجهی (۲۵ میلی متر) در ایستگاه باران سنجی این منطقه به ثبت رسیده است. همچنین در این روز سیلابی شدن معابر موجب مسدود شدن مسیرهای اصلی در این شهر شد و این مسیرها در روز ۱۸ می (۲۹ اردیبهشت) دچار محدودیت شدید ترافیکی گردید (شکل ۵).

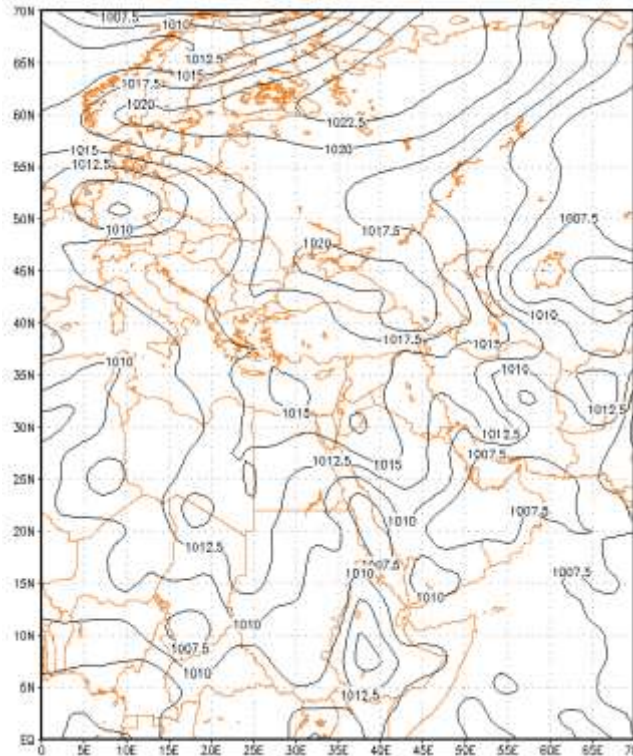
که این سامانه هوای گرم و مرطوب را از مناطق جنوبی به شمال شرق ایران هدایت کند. با توجه به تغییرات سامانه ها نسبت به روز قبل، می توان نتیجه گرفت که همچنان ناپایداری های جوی و تغییرات دمایی در شمال شرق ایران به ویژه در مشهد ادامه داشته است که این شرایط موجب افزایش فعالیت های بارشی و بادی در این منطقه شده است (شکل ۴). در ۱۸ می ۲۰۲۴ نیز سامانه کم فشار در جنوب شرق هوای مرطوب را به سمت شمال شرق ایران هدایت کرده، و باعث افزایش رطوبت در این منطقه شده است که این افزایش



شکل ۳. نقشه سطح زمین ۱۶ می ۲۰۲۴



شکل ۴. نقشه سطح زمین ۱۷ می ۲۰۲۴

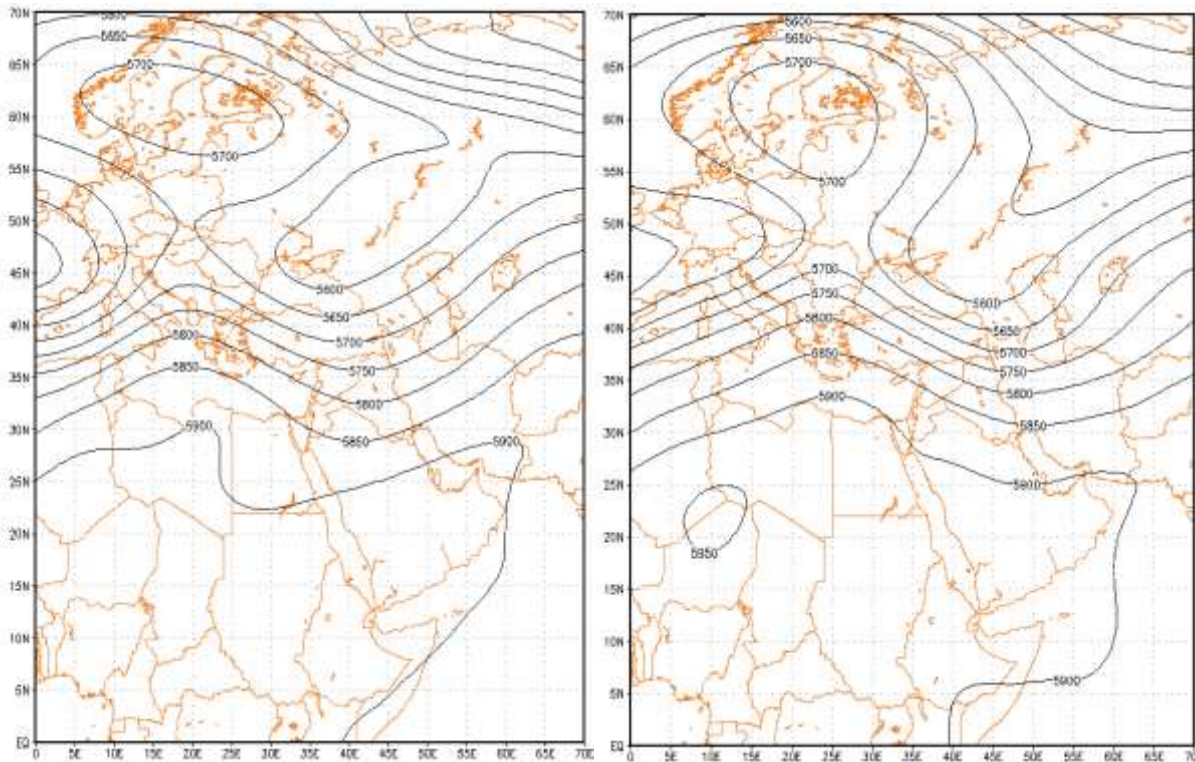


شکل ۵. نقشه سطح زمین ۱۸ می ۲۰۲۴

در این منطقه است. این وضعیت احتمال بارش‌های شدیدتر و وقوع طوفان‌های همرفتی را افزایش می‌دهد (شکل ۷). نقشه ۱۸ می ۲۰۲۴ نشان می‌دهد که ناوه غربی به سمت شرق ایران حرکت کرده و اکنون بخش‌های مرکزی و شرقی ایران تحت تأثیر آن قرار دارند. همچنین شمال شرق ایران همچنان تحت تأثیر فرود قرار دارد، فرود موجود در روزهای گذشته به تدریج به سمت شرق ایران و خارج از مرزهای ایران در حال حرکت می‌باشد (شکل ۸). همچنان بارش در شمال شرق ایران به ویژه در ایستگاه مشهد به ثبت رسیده است. به طوری که بررسی‌ها نشان می‌دهد در پی بارش شدید باران و تگرگ در خراسان رضوی، نهرهای بسیاری طغیان کردند و سیلاب شدیدی در مشهد به راه افتاد و در مسیر سیل خسارات فراوان جانی و مالی ایجاد شد.

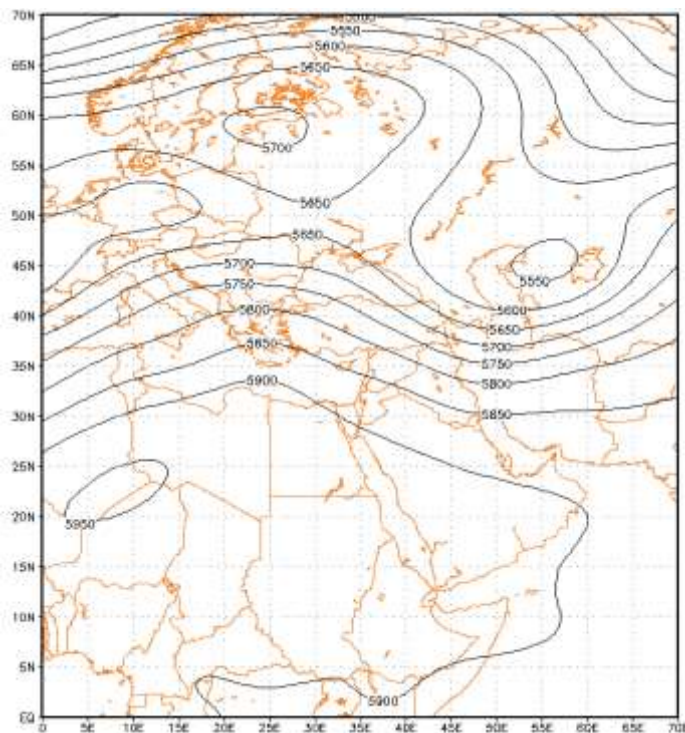
### ۳-۲-۲. نقشه‌های تراز میانی جو (۵۰۰ هکتوپاسکال)

نقشه ۱۶ می ۲۰۲۴ در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال نشان می‌دهد در غرب ایران، یک ناوه عمیق وجود دارد که نشان‌دهنده یک سامانه کم ارتفاع است، شمال شرق ایران تحت تأثیر یک فرود ضعیف قرار دارد که همراه با خطوط هم ارتفاع نسبتاً نزدیک به هم است. وجود این فرود نشان‌دهنده افزایش ناپایداری و احتمال بارش در این منطقه است (شکل ۶). در ۱۷ می ۲۰۲۴ ناوه غربی به سمت مرکز ایران حرکت کرده و شمال غرب و غرب کشور تحت تأثیر آن قرار گرفته‌اند. همچنین فرود موجود در شمال شرق ایران قوی‌تر شده و خطوط هم ارتفاع نزدیک به هم نشان‌دهنده ناپایداری بیشتر



شکل ۶. نقشه تراز میانی جو ۱۶ می ۲۰۲۴

شکل ۷. نقشه تراز میانی جو ۱۷ می ۲۰۲۴



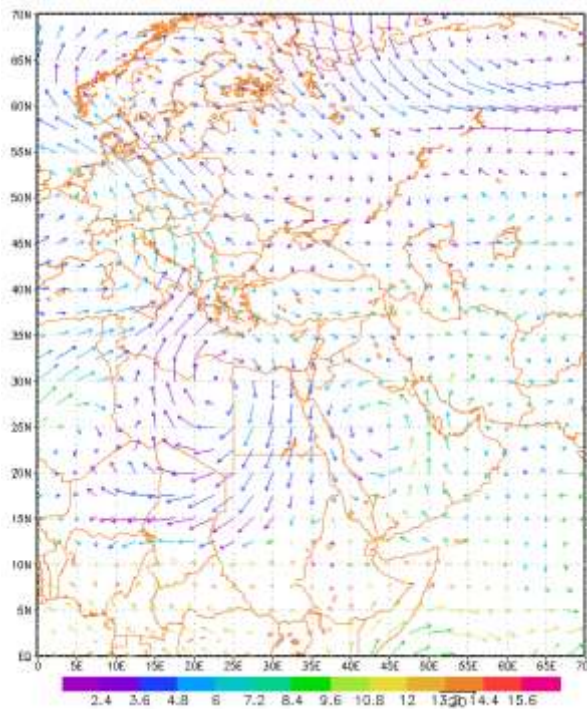
شکل ۸. نقشه تراز میانی جو ۱۸ می ۲۰۲۴

شده است تا جریان‌های شمالی به سمت جنوب حرکت کنند. در شرق ایران، یک سامانه کم‌فشار دیده می‌شود که جریان‌های شرقی و جنوبی را به سمت شمال و شمال غربی

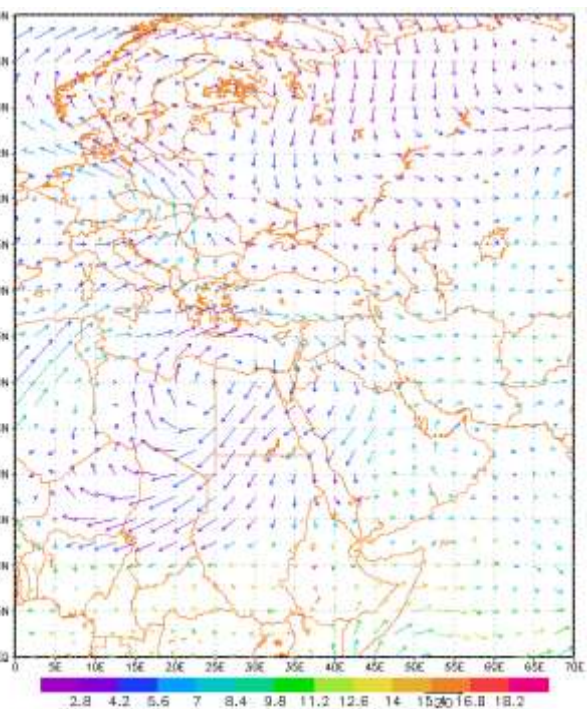
**۳-۲-۳. نقشه وزش رطوبتی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال**  
 نقشه وزش رطوبتی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در ۱۶ می ۲۰۲۴ نشان می‌دهد که وجود سیستم پرفشار در غرب ایران سبب

باعث افزایش رطوبت در این ناحیه می‌شود (شکل ۱۰). همچنین نقشه ۱۸ می ۲۰۲۴ نشان می‌دهد که سیستم پرفشار در غرب ایران تقریباً به مرکز ایران رسیده و تأثیرات آن کاهش یافته است. سامانه کم‌فشار در شرق ایران به سمت شمال شرق حرکت کرده و به شدت خود افزوده است. وزش رطوبتی از سمت دریای خزر و همچنین از سمت جنوب شرقی به شمال شرق ایران افزایش یافته که نشان‌دهنده ورود رطوبت بیشتر به این ناحیه است (شکل ۱۱).

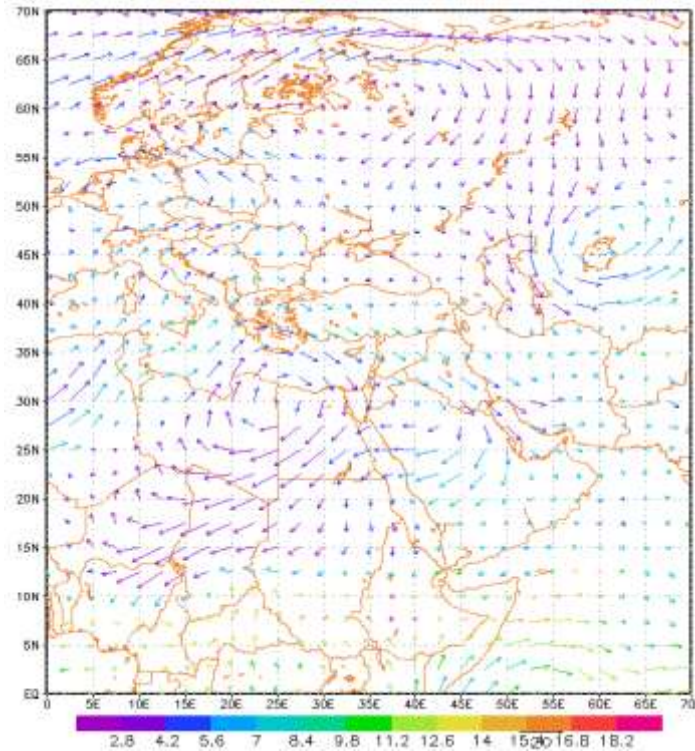
هدایت می‌کند. بر روی شمال شرق ایران، ترکیب جریان‌های شمالی و شرقی سبب افزایش وزش رطوبت از سمت دریای خزر به این ناحیه شده است (شکل ۹). در ۱۷ می ۲۰۲۴ نیز سیستم پرفشار در غرب ایران کمی ضعیف‌تر شده و به سمت شرق حرکت کرده است. سامانه کم‌فشار در شرق ایران همچنان فعال است و جریان‌های شرقی و جنوبی را به سمت شمال شرق ایران هدایت می‌کند. وزش رطوبتی از سمت دریای خزر به شمال شرق ایران همچنان ادامه دارد و



شکل ۹. نقشه وزش رطوبتی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال ۱۶ می ۲۰۲۴



شکل ۱۰. نقشه وزش رطوبتی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال ۱۷ می ۲۰۲۴



شکل ۱۱. نقشه وزش رطوبتی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال ۱۸ می ۲۰۲۴

### ۳-۲-۴. نقشه امگا (تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال) و

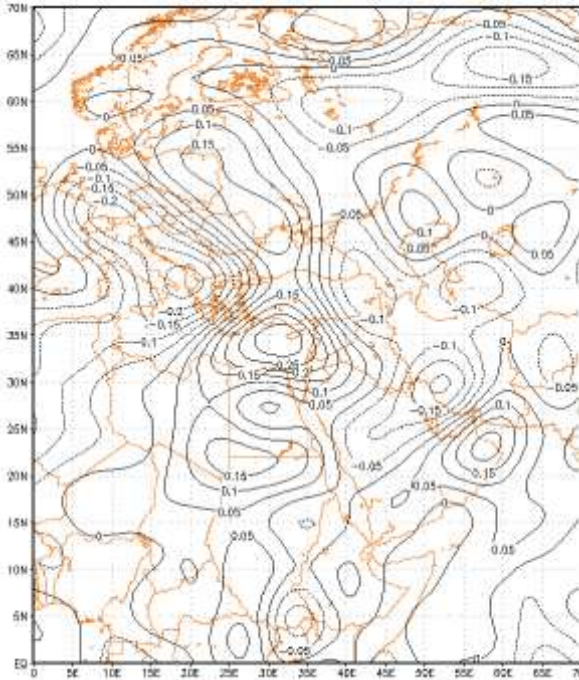
#### چرخندگی (تاوایی)

با بررسی نقشه امگا تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در روز ۱۶ می ۲۰۲۴، الگوی فرارفت دمایی و نقش آن در ناپایداری جوی بر روی مرکز و شمال شرق ایران مشهود است. شاخص‌های امگا منفی در این مناطق نشان‌دهنده تأثیر فرارفت سرد و امکان انتقال انرژی به سمت لایه‌های بالاتر است که به شکل غیرمستقیم می‌تواند به ایجاد ناپایداری و احتمال وقوع بارش کمک کند. در شمال شرق ایران، مقدار امگا منفی به ۰.۱۵- و ۰.۲- می‌رسد که نشان‌دهنده فرارفت سرد و شرایط ناپایدار جوی نسبتاً قوی است که می‌تواند باعث افزایش احتمال بارش‌های نسبتاً شدید در این منطقه شود (شکل ۱۲). در تاریخ ۱۷ می ۲۰۲۴، این وضعیت همچنان در شمال شرق ایران برقرار است و شاخص‌های امگا منفی همچنان در این منطقه مشاهده می‌شوند که تداوم فرارفت سرد را نشان می‌دهد. در مقابل، برخی مناطق مرکزی و غربی ایران دارای شاخص‌های امگا مثبت هستند که نشان‌دهنده فرارفت گرم و کاهش ناپایداری جوی در این مناطق است (شکل ۱۳). همچنین در

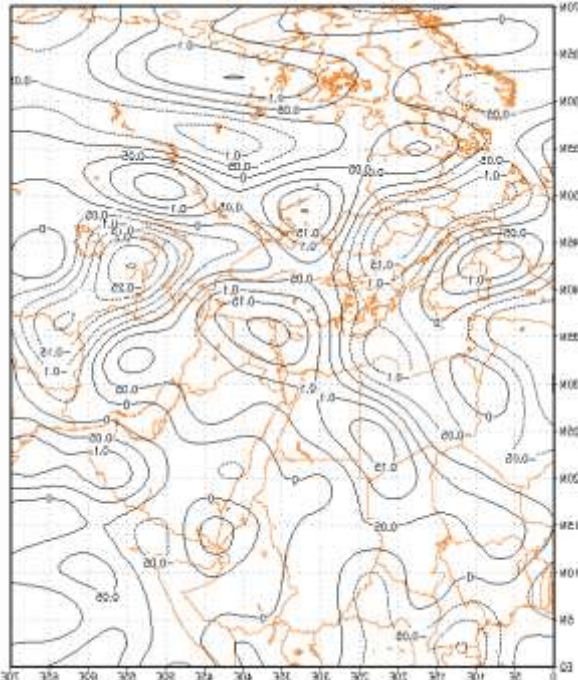
۱۸ می ۲۰۲۴، نقشه امگا نشان‌دهنده ادامه فرارفت سرد در شمال شرق ایران است و شاخص‌های امگا منفی با مقادیر ۰.۱۵- تا ۰.۲۵- در این منطقه مشاهده می‌شود که حاکی از تداوم شرایط ناپایدار جوی و احتمال بارش است. از سوی دیگر، در مناطقی که شاخص‌های امگا مثبت هستند، فرارفت گرم منجر به پایداری نسبی جو و کاهش احتمال بارش شده است (شکل ۱۴). نقشه چرخندگی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در روز ۱۶ می ۲۰۲۴ نشان می‌دهد که در بخش‌های شمال غربی ایران چرخندگی منفی قابل توجهی وجود دارد که به طور مستقیم بر شمال شرق ایران تأثیری ندارد. در شمال شرق ایران، چرخندگی منفی ملایمی دیده می‌شود (شکل ۱۵). در نقشه چرخندگی ۱۷ می ۲۰۲۴ نیز دیده می‌شود که چرخندگی منفی در شمال غرب ایران به سمت شرق در حال حرکت است. چرخندگی مثبت قابل توجهی در بخش مرکزی و شرق ایران مشاهده می‌شود که به سمت شمال شرق ایران گسترش یافته است (شکل ۱۶). همچنین چرخندگی منفی ملایم (۰.۵- تا ۰.۲-) در ۱۸ می ۲۰۲۴ در ناحیه شمال شرق ایران مشاهده شده است که نشان‌دهنده وجود ناپایداری

احتمالاً این ناپایداری‌ها در حال حرکت به سمت شرق و شمال شرق هستند (شکل ۱۷).

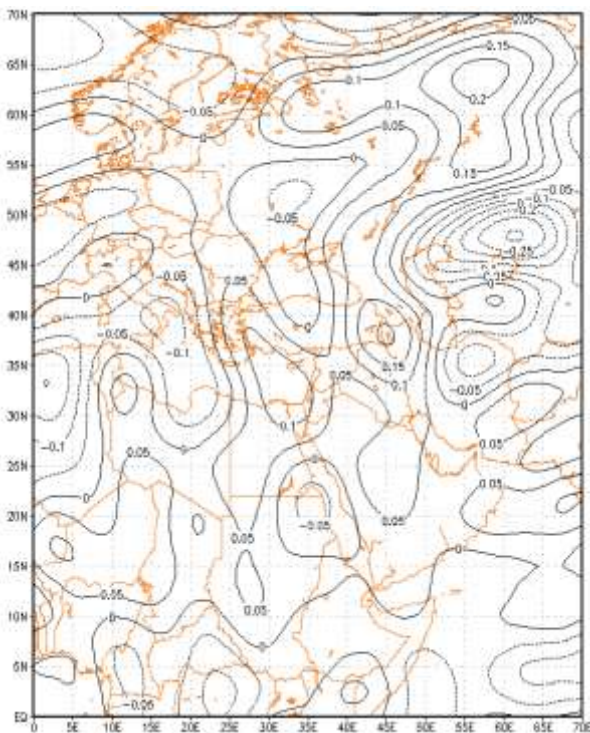
جوی است. این شرایط ممکن است منجر به تشکیل ابرهای همرفتی و احتمال بارش‌های رگباری پراکنده شود. با توجه به چرخندگی‌های مثبت در بخش‌های مرکزی و شرق ایران،



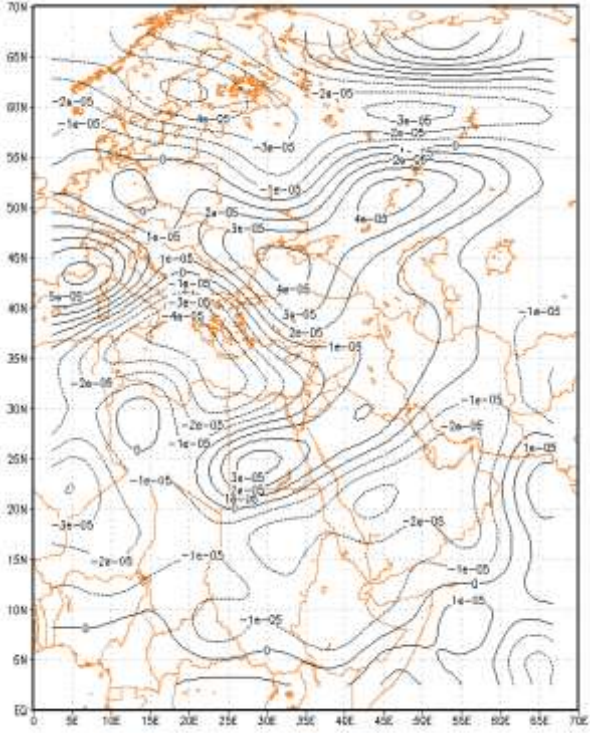
شکل ۱۲. نقشه امگا تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال ۱۶ می ۲۰۲۴



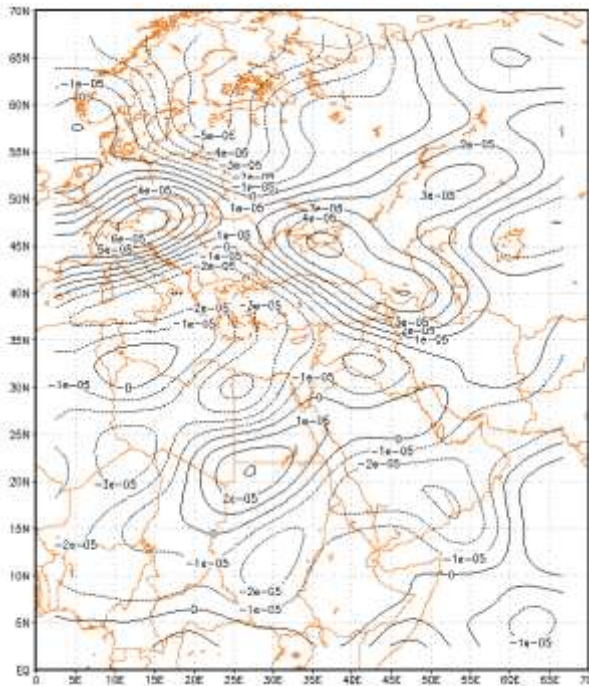
شکل ۱۳. نقشه امگا تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال ۱۷ می ۲۰۲۴



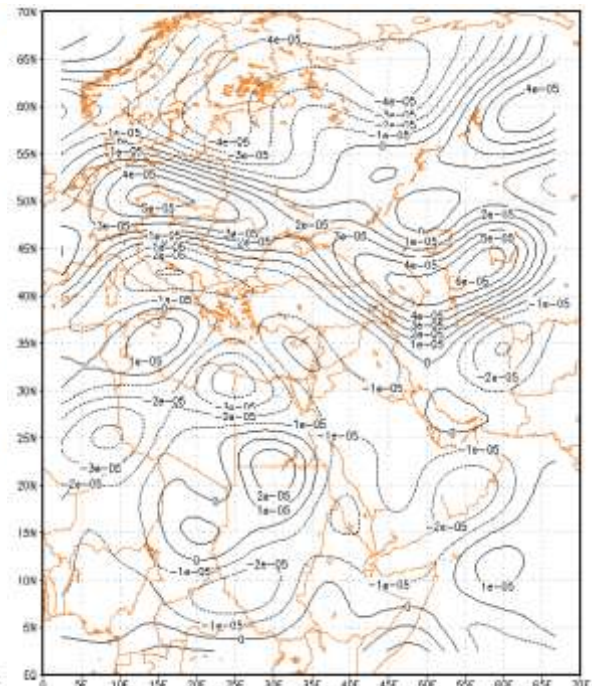
شکل ۱۴. نقشه امگا تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال ۱۸ می ۲۰۲۴



شکل ۱۵. نقشه چرخندگی (تاوایی) ۱۶ می ۲۰۲۴



شکل ۱۶. نقشه چرخندگی (تاوایی) ۱۷ جولای ۲۰۲۴

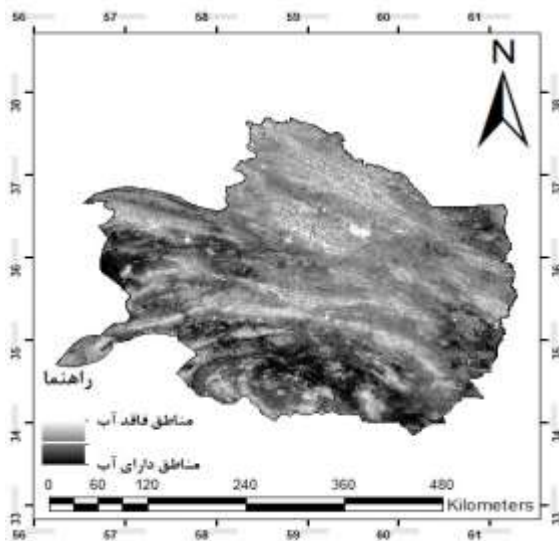


شکل ۱۷. نقشه چرخندگی (تاوایی) ۱۸ جولای ۲۰۲۴

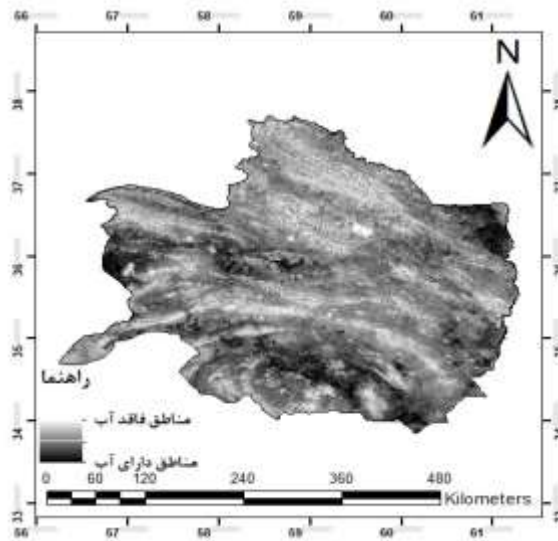
دارای آب نسبت به زمان قبل از سیل مشخص گردیده و بر اساس شکل ۱۷ پهنه‌هایی که گرفتار سیل شده‌اند با رنگ تیره‌تر در بخش‌های مختلف استان مشخص گردیده است. بخش‌های وسیع‌تری از استان در ۱۵ روز دوم اردیبهشت ماه به رنگ تیره‌تر دیده می‌شوند که نشان‌دهنده افزایش رطوبت و آب در سطح زمین است. این افزایش به‌ویژه در مناطق مرکزی، شرق و جنوبی استان مشهود است. همچنین خطوط و الگوهای جریان آب در تصویر بعد از سیلاب واضح‌تر و پررنگ‌تر شده‌اند که نشان می‌دهد سیلاب مسیرهای جدیدی برای جریان آب ایجاد کرده است. به طور کلی نیز مناطقی که به رنگ سیاه یا خاکستری بسیار تیره نشان داده شده‌اند، وسعت بیشتری پیدا کرده‌اند که نشان‌دهنده گسترش پهنه‌های آبی موجود یا ایجاد پهنه‌های آبی جدید است. این تغییرات نشان می‌دهد که سیلاب تأثیر قابل توجهی بر هیدرولوژی و جغرافیای منطقه داشته است و می‌تواند پیامدهای مهمی برای کشاورزی، زیرساخت‌ها و اکوسیستم‌های خراسان رضوی در پی داشته باشد.

### ۳-۳. تصاویر راداری سنتینل ۱

برای آشکار سازی مناطق سیل زده و همچنین تعیین وسعت سیلاب از سری داده‌های راداری ماهواره سنتینل ۱ در محیط گوگل ارث انجین تصاویر قبل و بعد از سیلاب برای اردیبهشت ماه ۱۴۰۳ تولید و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. ارزیابی دقت و صحت پردازش‌های انجام‌شده نشان داد که روش کاپا از اعتبار بالایی برخوردار بوده است به نحوی که نتایج صحت‌سنجی نشان می‌دهد که الگوریتم طبقه‌بندی ضریب کاپا ۰.۸۶ و پردازش‌های صورت گرفته در سامانه گوگل ارث انجین دارای ضریب کاپا ۰.۸۴ است. از جمله دلایل دستیابی به صحت زیاد طبقه‌بندی در این پژوهش می‌توان به استفاده از شاخص‌های مختلف استخراج آب، میانگین حداکثر اختلاف باندها، انحراف معیار باندها، درجه روشنایی و ... اشاره کرد و از طرفی به اعمال آستانه‌های دلخواه بر اساس پدیده مورد مطالعه است که این عوامل دقت روند پردازش را بسیار مفید کرده است. با توجه به شکل‌های ۱۶ و ۱۷ مناطق



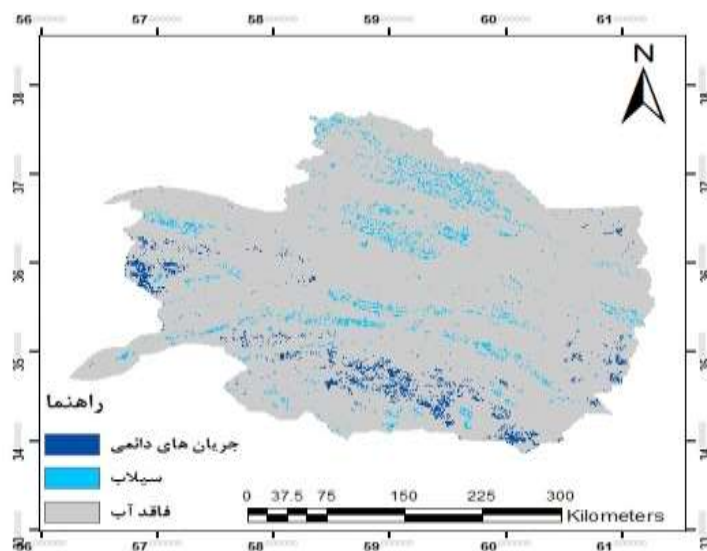
شکل ۱۶. تصویر راداری قبل از سیلاب (۱۵- اردیبهشت)



شکل ۱۷. تصویر راداری بعد از سیلاب (۱۵ تا ۳۰ اردیبهشت)

است. همچنین خسارات در بخش کشاورزی نیز سهمگین بوده است. چنانچه در بررسی‌های اولیه کارشناسان جهاد کشاورزی استان خراسان رضوی تقریباً ۱۲۰۰ میلیارد ریال به باغات و ۶۷۰ میلیارد ریال به زراعت و ۵۰ میلیارد ریال به قنوات خسارت به کشاورزان و باغداران وارد شده است. خسارات صددرصدی به برخی باغات و مزارع و صیفی‌کاری‌ها و همچنین فرونشست زمین، آب‌افتادگی معابر و منازل، تخریب و ریزش قنوات و... از دیگر آسیب‌های این سیلاب اعلام شده است.

لایه ماسک شده سیلاب اردیبهشت ماه ۱۴۰۳، جهت محاسبه‌ی مساحت مناطق سیلاب نشان می‌دهد که با وجود منابع آبی دائمی، سایر پوشش‌ها و رطوبت موجود در مناطق اطراف، خطای جزئی در مقدار محاسبه مساحت قابل انتظار است. اما به طور کلی نتیجه مورد انتظار از پهنه‌های سیل زده بارز گردیده است که مساحت محاسبه شده‌ی سیلاب ۶۸۲۲.۹ کیلومتر مربع برآورد شده است که طبق اعلام مدیر دفتر بحران و پدافند غیرعامل آبقای خراسان رضوی در پی این سیلاب، خسارت ۳۴۸ میلیارد ریالی به تأسیسات آب شرب شهرها و روستاهای استان خراسان رضوی وارد شده



شکل ۱۸: لایه‌ی ماسک شده جهت تعیین مساحت مناطق سیل زده استان خراسان رضوی اردیبهشت ۱۴۰۳

#### ۴. نتیجه گیری

حرکت کرده و این سامانه در محور چرخندی با افت ارتفاع فشار و گرادیان خطوط هم ارتفاع به همراه تلاویی مثبت در این لایه با کنتور ارتفاعی ۵۸۰ دکامتری با تلاویی مثبت استان خراسان رضوی را تحت تاثیر قرار داده و موجب ناپایداری متوسط تا شدید طی روزهای ۲۷ تا ۲۹ اردیبهشت ۱۴۰۳ گردید. نقشه‌های امگا نشان‌دهنده شاخص منفی در مرکز و شمال شرق ایران هستند که این شاخص به‌طور غیرمستقیم به فرارفت سرد از لایه‌های پایین جو و انتقال انرژی از سطح زمین به لایه‌های بالاتر می‌انجامد. و نقشه‌های چرخندگی، چرخندگی منفی (۰۵-۲۵) و ناپایداری‌ها را در مرکز و شمال شرق کشور نشان می‌دهند که این چرخندگی موجب ناپایداری می‌شود. با مقایسه تصاویر ماهواره‌ای قبل و بعد از سیلاب ملاحظه می‌گردد که ناپایداری‌های جوی و سامانه‌های کم‌فشار باعث افزایش بارش شدید و در نتیجه وقوع سیلاب در مناطق مختلف خراسان رضوی شده‌اند. همچنین بارش در نیمه دوم اردیبهشت ماه افزایش چشمگیری داشته است که این افزایش به‌ویژه در مناطق مرکزی، شرق و جنوبی استان مشهود است. مساحت محاسبه شده‌ی سیلاب ۶۸۲۲.۹ کیلومتر مربع برآورد شده است. این افزایش بارش و سیلاب ناشی از ناپایداری‌های جوی و حرکت سامانه‌های کم‌فشار تأثیر قابل توجهی بر هیدرولوژی و جغرافیای منطقه داشته است و می‌تواند پیامدهای مهمی برای کشاورزی، زیرساخت‌ها و اکوسیستم‌های خراسان رضوی در پی داشته باشد.

#### ۵. منابع

۱. احمدی، محمود؛ جعفری، فرزانه؛ (۱۳۹۵)، تحلیل همدیدی سیل ویرانگر تیرماه سیل ۱۳۹۴ شمال ایران، فصلنامه جغرافیای طبیعی، شماره ۳۴، ۸۳-۱۰۴. [https://jopg.larestan.iau.ir/article\\_531683.html](https://jopg.larestan.iau.ir/article_531683.html). 104-83
۲. امیدوار، کمال و محمدی راوری، فروغ؛ (۱۴۰۱)، تحلیل همدید بارش سنگین و سیلابی آبان ماه ۱۴۰۰ استان گیلان، ششمین کنگره بین‌المللی توسعه کشاورزی، منابع

بارش‌های سنگین به عنوان عاملی مخاطره‌انگیز در بروز حوادث طبیعی مثل سیل مطرح می‌باشند. از این رو مطالعه همدید سیستم‌های مولد آن می‌تواند نقش مهمی در تشخیص به موقع و کنترل سیلاب، آبرگفتگی‌های شهری و آبخیزداری و کاهش ضایعات و تخریب داشته باشد. در این راستا، شناخت چگونگی تکوین، تقویت، مکانیسم فعالیت، قانونمندی حاکم بر حرکت الگوهای همدیدی منجر به بارش‌های سنگین و سیل‌زا، زمینه لازم برای پیش‌بینی چنین طوفان‌هایی را فراهم می‌کند. در تحقیق حاضر برای بررسی بارش سنگین و سیلابی رخ داده در تاریخ ۲۷ تا ۲۹ اردیبهشت ماه ۱۴۰۳، از داده‌های بارش روزانه و نقشه‌های روزانه ترازهای سطح زمین، ۵۰۰ هکتوپاسکال، امگا، چرخندگی و وزش رطوبتی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال روزهای وقوع بارش و اوج بارش برای پارامترهای مختلف، استفاده و مورد تحلیل قرار گرفت. همچنین داده‌ها مربوط به تعیین مناطق دارای سیلاب نیز با استفاده از تصاویر ماهواره سنتینل از محیط گوگل ارث انجین دریافت و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد با بررسی بارش ۱۸ ایستگاه از خراسان رضوی، بیشترین بارش‌ها طی دوره مذکور مربوط به ایستگاه مشهد با ۶۴.۷ میلی‌متر و کمترین بارش‌ها مربوط به ایستگاه تایباد با میزان ۱ میلی‌متر بوده است. نتایج تحلیل سینوپتیک فشار سطح زمین بیانگر این بود که سامانه کم‌فشاری با فشار حدود ۱۰۰۷.۵ میلی‌بار در جنوب شرقی ایران و شمال غرب پاکستان با حرکت خود هوای گرم و مرطوب را از مناطق جنوبی به شمال شرق ایران هدایت می‌کند. این سامانه در ۱۸ می ۲۰۲۴ هوای مرطوب را به سمت شمال شرق ایران هدایت کرده، و باعث افزایش رطوبت در این منطقه شده است که این افزایش رطوبت در ترکیب با دماهای بالاتر، باعث افزایش دما و افزایش بارش شدید در این منطقه شده است. بررسی نقشه زمان واقعی (Actaul) سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال نیز نشان می‌دهد سامانه کم‌ارتفاع (به مرکزیت ۵۶۰ دکامتر) مستقر روی شرق اروپا (از دریای سیاه تا دریای مدیترانه)، در راستای زمینگرد خود بطرف شرق با حرکت چرخشی

۹. عابدینی، موسی؛ فتحی جوکدان، رقیه؛ (۱۳۹۵)، پهنه بندی خطر وقوع سیل در حوضه آبریز کرگانرود با استفاده از ARC GIS، هیدروژئومورفولوژی ۷ : ۱۷-۱. 20.1001.1.23833254.1395.3.7.1.7
۱۰. فیضی زاده، بختیار، هلالی، حسین؛ (۱۳۸۹)، مقایسه روش های پیکسل پایه، شیء گرا و پارامترهای تاثیرگذار در طبقه بندی پوشش/کاربری اراضی استان آذربایجان غربی، پژوهش های جغرافیای طبیعی، دوره ۴۲، شماره ۷۱، صص ۸۴-۷۳. <https://www.sid.ir/paper/138891>
۱۱. محمودی شیبا، کریمزاده صدرا؛ (۱۴۰۲)، کاربرد تحلیل های مکانی و پردازش تصویر برای شناسایی گستره سیل با استفاده از تصاویر ماهواره سنتینل ۱، نشریه علوم و فنون نقشه برداری، دوره ۱۲، شماره ۴، صص ۳۶-۲۱. <http://jgst.issgeac.ir/article-1-1125-fa.html>
12. Ajmar, A.; Boccardo, P.; Broglia, M.; Kucera, J.; Giulio-Tonolo, F.; Wania, A. Flood Damage Survey and Assessment: New Insights from Research and Practice. In Response to flood events: the role of satellite-based emergency mapping and the experience of the Copernicus Emergency Management Service; Daniela Molinari, F.B., Scira Menoni, Ed.; John Wiley & Sons, Inc., 2017; Vol. 228, pp. 213–228 ISBN 978-1-119-21792-3.
13. Chen, Y.L., Ghu, Y.J., Chen, C.S., Tu, C.C., Teng, J.H. and Lin, P.L., 2018. Analysis and Simulations of a Heavy Rainfall Event over Northern Taiwan during 11–12 June 2012. Monthly Weather Review. 146:2715–2697.
14. Feyisa GL, Meilby H, Fensholt R, Proud SR (2014) Automated water extraction index: a new technique for surface water mapping using Landsat imagery. Remote Sens Environ 140:23–35.
15. Gorelick N et al (2017) Google Earth Engine: planetary-scale geospatial analysis for everyone. Remote Sens Environ 202:18–27.
16. Han BP (2010) Reservoir ecology and limnology in China: a retrospective comment. J Lake Sci 22(2):151–160.
17. Hermas, E., Gaber, A., & El Bastawesy, M. (2021). Application of remote sensing and GIS for assessing and proposing mitigation
- طبیعی، محیط زیست و گردشگری ایران. <https://civilica.com/doc/1622796>
۳. برنا، رضا؛ (۱۳۹۶)، شناسای الگوهای همید بارش های سنگین در حوضه مارون (مطالعه موردی: بارش ۲۹ آبان ۱۳۹۲)، فصلنامه جغرافیای طبیعی، سال دهم، شماره ۳۶، صص ۴۷-۶۰. <https://sanad.iau.ir/Journal/jopg/Article/983034/FullText>
۴. پژوه، فرشاد؛ جعفری، فرزانه؛ (۱۳۹۹)، واکاوی همیددی بارش های سیل آسا و مخاطره ای غرب و جنوب غرب ایران در دهه اول فروردین ۱۳۹۸، فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی، شماره ۱۱۴، صص ۱۶۵-۱۸۴. [http://www.sepehr.org/article\\_44600.htm](http://www.sepehr.org/article_44600.htm)
۵. ثقفی مهدی، رضایی مقدم محمد حسین. ارزیابی کاربرد روش ژئومورفولوژی جهت طبقه بندی ریسک مخاطرات سیل با استفاده از منطق فازی (مطالعه موردی: حوضه آبریز اوجان چای). پژوهش های فرسایش محیطی. ۱۳۹۱؛ ۲(۱) : ۲۸-۱۳. <http://magazine.hormozgan.ac.ir/article-1-84-fa.html>
۶. سلامتی هرمزی، وحید؛ امیدوار، کمال؛ کاوسی، رضا؛ حمزه نژاد، مجتبی؛ (۱۳۹۶)، شناسایی و تحلیل همیددی - دینامیکی الگوهای جوی سیلاب آبان ۱۳۹۴ در استان های ایلام و لرستان، مجله علمی و ترویجی نیوار، شماره ۹۷-۹۶، صص ۲۷-۹. <https://www.magiran.com/paper/>
۷. سلیمانی ساردو، فرشاد، رفیعی ساردویی، الهام، مصباح زاده، طیب، و آذره، علی؛ (۱۴۰۰)، استفاده از تصاویر سنتینل ۱ جهت پایش خسارت سیلاب فروردین ۱۳۹۹، جنوب استان کرمان براساس الگوریتم جنگل تصادفی. مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۱۵(۵۳)، ۲۳-۳۲. <https://sid.ir/paper/393773/fa>
۸. شیرانی رانکی، سیما، (۱۳۹۸)، مقایسه و ارزیابی مدل LARS-WG و SDSM در شبیه سازی بارش های فرین خراسان رضوی، پایان نامه کارشناسی ارشد رشته آب و هواشناسی گرایش کاربردی، دانشگاه سیستان و بلوچستان.

- Floods: Causes, Types, and Prevention. Available at: NOAA Website.
23. United Nations Environment Programme (2023). "How climate change is making record-breaking floods the new normal." Retrieved from UNEP.
  24. World Bank. (2010). Pakistan Floods 2010: Preliminary Damage and Needs Assessment. Available at: World Bank Website
  25. Yanzhen, K. Xindong, O. Shigong, W. Chunqing, D. Kezheng, S. And Yang, Z. (2020): Statistical Characteristics And Synoptic Situations Of Long-Duration Heavy Rainfall Events Over North China. *Earth And Space Science*. Pp. 1-18.
  26. Yian, S.Yu, D. And Guixing, C. (2019): Ensemble Sensitivity Analysis Of Heavy Rainfall Associated With Three Mccs Coexisting Over Southern China. *Journal Of Geophysical Research: Atmospheres*. Pp. 1-27.
  27. Zhang YF, Ai HB, Du QY, Zhang L (2014) Application of water extraction algorithm based on pyramid image segmentation in automatic aerial triangulation for island and reef. *Bull Surv Map* 12:70-73.
  - measures in flood-affected urban areas, Egypt. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 24(1), 119-130.
  18. Huang Q et al (2018) Discharge estimation in high-mountain regions with improved methods using multisource remote sensing: a case study of the Upper Brahmaputra River. *Remote Sens Environ* 219:115-134.
  19. IPCC (2014). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
  20. IPCC Climate Change 2021: The Physical Basis Available online: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/> (accessed on 1 August 2022).
  21. Lin QQ, Han BP (2001) Reservoir limnology and its application in water quality management: an overview. *Acta Ecol Sin* 21(06):1034-1040.
  22. NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). (2020). *Understanding*