

## تحلیل و بررسی الگوهای همدیدی مؤثر بر بارش سنگین و سیلابی ۷ مرداد ۱۴۰۱ در رفسنجان

کمال امیدوار<sup>۱\*</sup>، فروغ محمدی راوری<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> استاد اقلیم شناسی و عضو هیات علمی دانشگاه یزد، یزد، ایران.

<sup>۲</sup> دانشجوی دکتری تخصصی اقلیم شناسی دانشگاه یزد، یزد، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۱۷، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۱۳

### چکیده

این پژوهش به تحلیل بارش سنگین و سیلابی رخ داده در بازه ۶ و ۷ مرداد ۱۴۰۱ (۲۸ و ۲۹ ژوئیه ۲۰۲۲) در شهر رفسنجان می‌پردازد. برای بررسی این پدیده، از داده‌های بارش، نقشه‌های همدیدی روزانه در ترازهای مختلف (سطح زمین، ۵۰۰ هکتوپاسکال، و ۸۵۰ هکتوپاسکال)، نقشه‌های امگا، تاوایی، فرارفت رطوبتی، و هم‌چنین، داده‌های جو بالای ایستگاه بندرعباس استفاده شد. نتایج نشان داد، که طی این دوره، دو مرکز کم فشار پاکستان و دریای سرخ به صورت هم‌زمان بر روی ایران گسترش یافته‌اند. در تراز ۵۰۰، شکل‌گیری ناوه عمیق در شرق سامانه بندالی روسیه منجر به تقویت جریان‌های موسمی شده است. نقشه‌های فرارفت رطوبتی (نم ویژه) نشان‌دهنده تزریق رطوبت به سمت شرق، جنوب شرق، و مرکز ایران بوده‌اند. نقشه‌های امگا شاخص‌های منفی و حرکت‌های صعودی جریان هوا را بر روی پاکستان و مرکز کم فشار سطح زمین تأیید کرده‌اند. هم‌چنین، نقشه‌های چرخندگی، چرخندگی مثبت و ناپایداری جوی را در مرکز و شمال غرب ایران نشان داده‌اند. شاخص ناپایداری (KI) با مقدار ۳۹.۹۰ و شاخص (SI) با مقدار ۲۸.۵- وقوع ناپایداری شدید را تأیید کرده‌اند. به طوری که در روز ۷ مرداد ۱۴۰۱، ایستگاه رفسنجان بارش سنگین ۲۸.۵ میلی‌متر را ثبت کرد که منجر به خسارات گسترده به زیرساخت‌های شهری و روستایی، آسیب به ۱۰ هزار هکتار از باغ‌های پسته و وسایل نقلیه شد.

کلمات کلیدی: تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال، جنوب شرق، شاخص کا، کم فشار پاکستان.

فصول مرطوب در دریای جاوا به این نتیجه رسیدند، که همرفت بین نسیم دریا و خشکی و بازتابش امواج از سطح خشکی علت بارش‌های سنگین است. ییان<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی و تحلیل حساسیت همادی بارش سنگین وابسته به سه سامانه همرفتی میان مقیاس همزمان، در جنوب چین پرداختند. نتایج نشان داد، که مهم‌ترین 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 بارش‌های سنگین در شمال چین به این نتیجه رسیدند، که مهم‌ترین عامل بارش سنگین، وجود جت سطح فوقانی جو و کوهساریکوهساری سطح زمین است، بعد از این عامل همگرایی ترازهای بالا و پایین جو نقش اساسی در رخداد بارش منطقه را ایفا می‌کند. یانژن<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۲۰) ضمن بررسی آماری و سینوپتیکی رخداد بارش‌های سنگین در شمال چین به این نتیجه رسیدند، که مهم‌ترین عامل بارش سنگین، وجود جت سطح فوقانی جو و کوهساری سطح زمین است، بعد از این عامل همگرایی ترازهای بالا و پایین جو نقش اساسی در رخداد بارش منطقه را ایفا می‌کند. توفیق الاسلام و همکاران (۲۰۲۱) نیز به مدل‌سازی حساسیت در برابر سیل با استفاده از مدل‌های پیشرفته یادگیری ماشین گروه برای مدل‌سازی نقشه‌های حساسیت به سیل در حوضه رودخانه Teesta، در منطقه شمالی بنگلادش پرداختند. نتایج نشان داد، برای مدل حساسیت به سیل، مدل Dagging از بقیه مدل‌های کار شده برتر عمل می‌کند، پس از آن مدل‌های ANN، RF، SVM و RS کاربردی می‌باشند.

رویدادهای حدی، رویدادهای شدید و تصادفی هستند که به ندرت رخ می‌دهند و در دنباله‌ی توزیع فراوانی، همواره دورتر از نقطه تمرکز توزیع قرار می‌گیرند (مرادی، ۱۳۹۷). بارش سنگین و سیلاب مهم‌ترین مخاطرات در سطح جهان هستند، که موجب خسارات زیادی به بخش کشاورزی، شیلات، مسکن و زیرساخت‌ها می‌شوند و به شدت بر روی فعالیت‌های اقتصادی و اجتماعی تأثیر می‌گذارند چانگ<sup>۱</sup> و همکاران، (۲۰۰۸). طوری که، سیلاب حدود ۴۰ درصد از آمار مرگ-ومیرهای ناشی از بلایای طبیعی را در بر می‌گیرد و فقط در آخرین دهه قرن بیستم، مرگ حدود ۱۰۰ هزار نفر را رقم زد و زندگی حدود ۱.۴ میلیارد نفر را تحت تأثیر قرار داد (ازمونی و امری<sup>۲</sup>، ۲۰۱۲). مونسون<sup>۳</sup> برگرفته از واژه موسم از زبان عربی به معنای فصل است. تعریف سنتی مونسون تابستانه هند به بارش ماه‌های ژوئن، جولای، آگوست و سپتامبر گفته می‌شود. علت اصلی پدیده مونسون در ایران، اقیانوس هند است، که به دلیل اختلاف زیاد دمایی بین خشکی و اقیانوس اتفاق می‌افتد. آب و هوای ایران در تابستان گرم و خشک است اما در صورت شرایط مساعد از سمت اقیانوس هند رطوبت وارد ایران شده و در مواجهه با توده هوای گرم، باران‌های سیل‌آسایی را در این فصل رقم می‌زند؛ که، به آن پدیده مونسون می‌گویند. خدام و همکاران، (۲۰۱۵). از این رو مطالعه همدید سامانه‌های مولد آن می‌تواند نقش مهمی در تشخیص به موقع و کنترل سیلاب، آبرگرفتنی‌های شهری و آبخیزداری و کاهش ضایعات و تخریب داشته باشد. مطالعات متعددی در این زمینه در داخل و خارج از کشور انجام پذیرفته است. طوری که، هدایت<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۱۶) در بررسی علل رخداد بارش‌های سنگین در

<sup>4</sup>-Hidayat

<sup>5</sup>-Yian

<sup>6</sup>-Yanzhen

<sup>1</sup>-Chang

<sup>2</sup>-Ezemonye and Emeribe

<sup>3</sup> Monsoon

در ایران نیز یاراحمدی و همکاران (۱۳۹۰) در مطالعه ای به بررسی بارش‌های سنگین در جنوب غرب خزر و غرب ایران پرداختند و به این نتیجه رسیدند، که در روز بارش وجود سامانه کم‌فشار در سطح زمین و شکل‌گیری ناوه در ترازهای میانی جو مشاهده شده است، همچنین تاوایی مثبت و تشدید سرعت قائم موجب تشدید ناپایداری کژفشاری و افزایش جریا نهایی فشاری شده است. هم‌چنین، نوظافتی نوین و خوش ولد (۱۳۹۵) در مطالعه‌ای به بررسی ویژگی‌های سیلاب‌های شهری بالخلوچای اردبیل با دوره‌های بازگشت مختلف پرداختند. نتایج نشان داد، که سیلاب‌های حتی با دوره برگشت ۱۰ ساله می‌تواند در بخش‌های زیادی از اردبیل، باعث بروز خسارت شود. هم‌چنین، با استفاده از نتایج این تحقیق می‌توان مدیریت سیلاب را در نقاط پرخطر این مسیل اعمال نمود. در مطالعه‌ای دیگر حسینی صدر و همکاران (۱۳۹۸) به بررسی تحلیل ساز و کار همدیدی بارش سنگین خسارت‌بار در شمال غرب ایران پرداختند. نتایج نشان داد، در روز وقوع بارش سنگین منطقه چرخندی ناوه مدیترانه به همراه جریان هسته رود باد قطبی شرایط مساعدی برای صعود هوا در شمال غرب کشور فراهم کرده است و نقشه‌های رطوبتی نیز حاکی انتقال رطوبت قابل ملاحظه از مسیر دریای سرخ به سمت شمال غرب ایران می‌باشد. بنابراین، تبدیل سریع رطوبت جو به بارش در منطقه چرخندی ناوه عامل اصلی وقوع بارش سنگین در این روز بوده است. مزیدی و محمدی (۱۴۰۴)، در آشکارسازی رخداد بارش سنگین اردیبهشت ماه ۱۴۰۳ با استفاده نقشه‌های روزانه ترازهای سطح زمین، ۵۰۰ هکتوپاسکال، امگا، چرخندگی و وزش رطوبتی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال و تصاویر ماهواره سنتینل ۱ در استان خراسان رضوی به این نتیجه رسیدند، که سامانه کم‌فشار در جنوب شرقی ایران و شمال غرب پاکستان هوای مرطوب را از مناطق جنوبی به شمال شرق

ایران هدایت کرده‌است؛ که، باعث افزایش رطوبت و دمای بالاتر در شمال شرق ایران شده و منجر به بارش شدید در این منطقه گردیده است. هم‌چنین، تصاویر ماهواره‌ای سنتینل افزایش بارش ناشی از ناپایداری‌های جوی و حرکت سامانه‌های کم‌فشار را در مناطق مختلف استان نشان داده و مساحت سیلاب ۶۸۲۲/۹ کیلومتر مربع برآورد شده که تأثیرات زیادی بر هیدرولوژی، کشاورزی و زیرساخت‌های خراسان رضوی داشته است. لازم به ذکر است، که افراد متعدد دیگری به صورت موردی عوامل سینوتیک سیل را مطالعه کرده و وضعیت لایه‌های بالای جو و سطح زمین را در رابطه با وقوع بارش بررسی و تحلیل نموده اند. از جمله مطالعات مذکور، مقالات عزیزی (۱۳۸۸)، امیدوار (۱۳۹۳) و لشکری و همکاران (۱۳۹۶) قابل ذکر است. در این راستا هر بارش سنگین منشا و سامانه‌های فشاری به‌وجود آورنده خاص خود را دارد و بررسی و شناسایی آن‌ها به‌منظور انجام پیش‌بینی و ارائه هشدارهای لازم برای جلوگیری و کاستن از خسارات جانی و مالی حائز اهمیت می‌باشد. در تحقیق حاضر با استفاده از تحلیل همدیدی به بررسی سازوکارهای جوی ایجاد کننده بارش سنگین منجر به سیل ۷ مرداد ۱۴۰۱ در شهرستان رفسنجان پرداخته است.

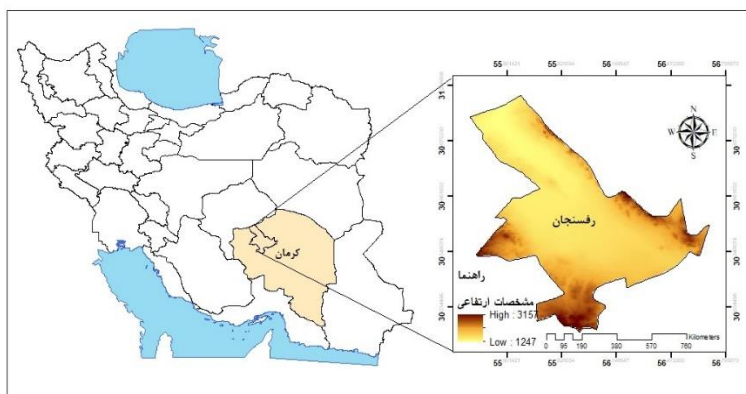
### مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی رفسنجان با وسعت ۱۲۵۱۴ کیلومتر مربع بین طول‌های جغرافیایی ۵۴ درجه و ۵۲ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۳۴ دقیقه و عرض‌های جغرافیایی ۲۹ درجه و ۵۱ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۳۱ دقیقه در ارتفاع ۱۵۲۸ متری از سطح زمین قرار دارد و از شمال به زرنند، از غرب به شهر بابک، از جنوب غربی به سیرجان، از جنوب به بردسیر و از شرق به کرمان محدود می‌شود. فاصله رفسنجان تا کرمان برابر با ۱۱۰ کیلومتر است. در ۵۵ کیلومتری جنوب رفسنجان، مجموعه کارخانه‌های مس

خسارت به وسایل نقلیه وارد شد که متأسفانه این سیلاب موجب فوت چندین نفر نیز شد.

سرچشمه قرار دارد که یکی از بزرگ‌ترین معادن مس ایران است (قادری نسب گروهی، ۱۴۰۲) (شکل ۱). در تاریخ ۷ مرداد ۱۴۰۱ در این شهرستان بر اثر بارندگی‌های شدید و سیلابی خسارات زیادی به زیرساخت‌های شهری و روستایی، خسارت به ۱۰ هزار هکتار از باغات پسته و



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه به همراه مشخصات ارتفاعی

سنگین بررسی شود. ترسیم نقشه‌ها در نرم افزار GRADS و تحلیل نقشه‌های همدیدی از ۲۸ ژوئیه تا روز ۲۹ ژوئیه ۲۰۲۲ (اوج بارش) صورت گرفته است.

شاخص ناپایداری KI7 (روش ویتینگ): این شاخص ساده را جرج در سال ۱۹۶۰ پیشنهاد کرده است که از سه تراز مشخص ۸۵۰، ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال برای محاسبه و تشخیص شدت ناپایداری استفاده می‌گردد. شاخص KI امکان توفان تندی را بر پایه آهنگ کاهش دما، محتوای رطوبتی جو پایین و گسترش قائم لایه مرطوب اندازه‌گیری می‌کند (امیدوار، ۱۳۹۶). مقدار شاخص KI با استفاده از رابطه (۱) زیر به دست می‌آید:

$$KI = (T850 - T500) + Td850 - (T700 - Td700) \quad (1)$$

مواد و روش پژوهش

مطالعه بارش‌های سنگین و سیلابی بر پایه داده‌های روزانه بارش از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این بارش‌ها در دوره‌های ۲۴ ساعته و کمتر از آن رخ می‌دهند. در این پژوهش به منظور تحلیل بارش سنگین و سیلابی مرتبط با مونسون ۷ مرداد ۱۴۰۱ در شهرستان رفسنجان داده‌های بارش از اداره منابع آب شهرستان رفسنجان تهیه و تحلیل شده است. به منظور تحلیل همدیدی سامانه مرتبط با بارش یادشده و چگونگی ورود سامانه‌های همدیدی به منطقه از نقشه‌های روزانه ترازهای سطح زمین، ارتفاع ژئوپتانسیلی ۵۰۰ هکتوپاسکال، امگا، تاوایی و نقشه‌های فرافت رطوبت در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال از وبگاه [www.cdc.noaa.gov](http://www.cdc.noaa.gov) و داده‌های جو بالای ایستگاه بندرعباس شامل شاخص‌های ناپایداری جوی مانند KI و SI از سایت دانشگاه ایومینگ دریافت و محاسبه شدند تا شدت ناپایداری جو و ارتباط آن با بارش

<sup>1</sup> K Index.

کومولونیمبوس و هم‌چنین، بر مبنای مفهوم ناپایداری پتانسیلی پایه گذاری شده است. اساس این شاخص بر رابطه بین دمای خشک و دمای نقطه شبنم تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال و دمای خشک تراز ۵۰۰ هکتوپاسکالی قرار داشته و با استفاده از رابطه های (۲) و (۳) محاسبه می شود:

$$SI = T_{500} - T^1 \quad (2)$$

$$SI = T_{500} - T^1_{500} \quad (3)$$

در رابطه های ۲ و ۳، SI شاخص ناپایداری شوالتر،

$T_{500}$  دمای بسته هوا در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال و

$T^1$  یا  $T^1_{500}$  مقدار دما در محل تلاقی خط (منحنی)

رسم شده از  $LCL^9$  (تراز معیان بالا بر) ۸۵۰ هکتوپاسکالی

به موازات منحنی بی دررو اشباع با تراز ۵۰۰

هکتوپاسکالی است. شاخص ناپایداری شوالتر، پایداری

کلی را برای توده های هوا بیان می کند و امکان ناپایداری

را بین ترازهای ۸۵۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکالی اندازه گیری

می کند. اگر مقدار شاخص SI بیشتر از ۴ باشد با ساختار

کومه ای باران شکل نمی گیرد اما اگر مقدار SI از ۴ کمتر

باشد رگبار ها و توفان های تندی بیشتری روی می دهد.

هم چنین، مقدار منفی SI نشان دهنده ی ناپایداری و

همرفت بیشتر است (امیدوار، ۱۳۹۶).

### بحث و نتایج

به منظور بررسی سیلاب مرداد ماه ۱۴۰۱ شهر

رفسنجان، بارش مونسون رخ داده دهه اول مرداد ماه

جدول شدت، مدت و فراوانی رگبار با دوره بازگشت-

های مختلف با بارش رخ داده در دوره مورد مطالعه

مقایسه شده است. جدول ۲ وضعیت بارش ۷ مرداد ۱۴۰۱

در رابطه بالا، T دما و Td دمای نقطه شبنم بر حسب درجه سلسیوس است. تفاوت دما بین ترازهای ۸۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال نشان دهنده نرخ افت دما در حرکت بالارو و کاهش قائم دماست. دمای نقطه شبنم در ۸۵۰ هکتوپاسکالی رطوبت اولیه جو را نشان می دهد و تفاوت دما و دمای نقطه شبنم در سطح ۷۰۰ هکتوپاسکال اختلاف بین دمای واقعی و دمای نقطه شبنم تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال است و تخمینی برای محتوای رطوبتی هواست. بنابراین، شاخص KI برای محاسبه و آشکارسازی ناپایداری در سطوح فوقانی جو به شرح جدول ۱ می باشد.

جدول (۱). رابطه احتمال وقوع توفان رعد و برق و شاخص KI

ارزش KI	احتمال وقوع توفان رعد و برق به درصد
کمتر از ۱۵	صفر
۱۵-۲۰	۲۰
۲۱-۲۵	۲۰-۴۰
۲۶-۳۰	۶۰-۴۰
۳۱-۳۵	۸۰-۶۰
۳۶-۴۰	۹۰-۸۰
بیشتر از ۴۰	نزدیک به ۱۰۰

از معادله های مربوط به شاخص KI می توان به این رابطه مهم ترمودینامیک پی برد که هر اندازه کاهش دما در حرکت بالا و رطوبت آغازین بیشتر باشند و کمبود اشباع  $(T_{700} - Td_{700})$  در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال کمتر باشد، بر شدت ناپایداری افزوده می شود.

شاخص شوالتر (SI)<sup>۱</sup>: این شاخص یکی از قدیمی ترین شاخص های ناپایداری است، که توسط آلبرت شوالتر در سال ۱۹۵۳ معرفی شده است. شاخص شوالتر بر اساس ضرایب مختلف موجود در تغییرات ابر

<sup>1</sup> Showalter Index.

<sup>2</sup> Liftong Condensation Level.

و جدول ۳ مقادیر شدت، مدت و فراوانی رگبارهای کوتاه مدت شهر رفسنجان نشان داده شده است.

جدول ۲. مشخصات ایستگاه رفسنجان و بارش ۶ ساعته ثبت شده در ایستگاه (منبع: اداره منابع آب رفسنجان)

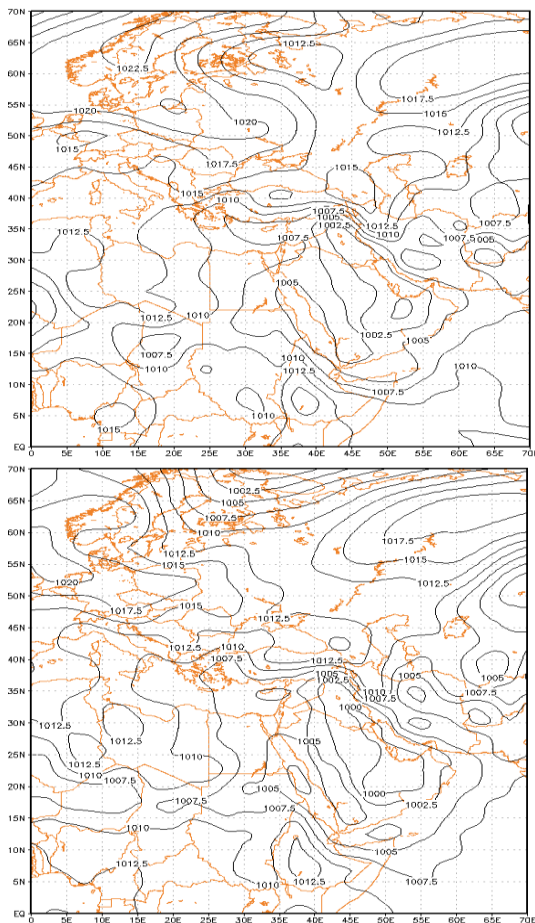
نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	بارش تجمعی (۰۶:۳۰) الی (۱۸:۳۰) (mm)
رفسنجان	۵۴° ۵۲'	۲۹° ۵۱'	۲۸.۵

از مقایسه آمار و ارقام در جدول‌های ۲ و ۳ مشخص می‌شود که بارش رخداد داده در دوره مورد مطالعه، قطعاً بارش با دوره بازگشت بیش از ۱۰۰ سال است. لذا توجه به اینکه رودخانه‌های عبوری از داخل شهر رفسنجان ظرفیت عبور چنین جریانی را ندارند (با توجه به اینکه حریم و بستر رودخانه‌های رفسنجان بر اساس سیل با دوره بازگشت ۲۵ سال طراحی شده‌اند) باید انتظار داشت شهر دچار آبگرفتگی و خسارات مالی فراوان شود. (قادری نسب و همکاران، ۱۴۰۲).

جدول ۳. مقادیر مدت و فراوانی رگبارهای کوتاه مدت (میلی‌متر در ساعت) (منبع: شرکت مهندسی مشاور ایده پردازان توسعه، ۱۴۰۰)

ارتفاع رگبار	زمان (میلی‌متر)					
	دوره بازگشت	۲	۵	۱۰	۲۵	۵۰
۱۵	۲.۴	۳.۹	۴.۸	۵.۷	۶.۸	۷.۶
۳۰	۳.۵	۵.۱	۶	۶.۹	۸	۸.۸
۴۵	۴.۴	۶.۳	۷.۵	۸.۵	۹.۸	۱۰.۷
۶۰	۵.۲	۷.۴	۸.۸	۱۰	۱۱	۱۲
۹۰	۶.۵	۹.۳	۱۰	۱۲	۱۴	۱۵
۱۲۰	۷.۷	۱۰	۱۲	۱۴	۱۶	۱۸
۱۸۰	۹.۶	۱۴	۱۶	۱۹	۲۲	۲۴
۲۴	۱۱	۱۶	۲۰	۲۳	۲۷	۳۰
۳۰۰	۱۲	۱۹	۲۳	۲۶	۳۱	۳۴
۳۶	۱۳	۲۱	۲۶	۳۰	۳۶	۴۰

در ایستگاه رفسنجان به ثبت رسیده است. این میزان بارش در دوره مورد مطالعه به احتمال زیاد با دوره بازگشت بیش از ۱۰۰ سال بوده و بیانگر یک رخداد نادر جوی است. به‌ویژه با توجه به اینکه رودخانه‌های عبوری از داخل شهر رفسنجان بر اساس سیل با دوره بازگشت ۲۵ سال طراحی شده‌اند، ظرفیت عبور چنین جریانی را ندارند. بنابراین، این رخداد باعث آبگرفتگی شدید و خسارات مالی فراوان در شهر شده است. این مسئله نشان‌دهنده ضرورت بازنگری در طراحی زیرساخت‌های شهری، به‌ویژه سامانه‌های زهکشی و رودخانه‌های عبوری است، زیرا در صورت تکرار چنین رخدادهایی، احتمالاً شهر رفسنجان با خطرات جدی تری مواجه خواهد شد.

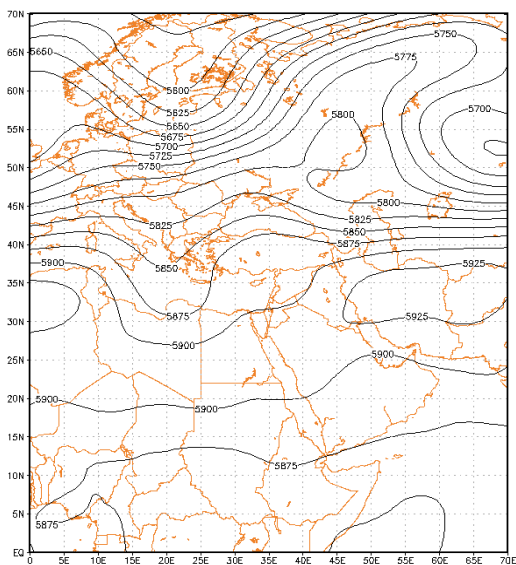
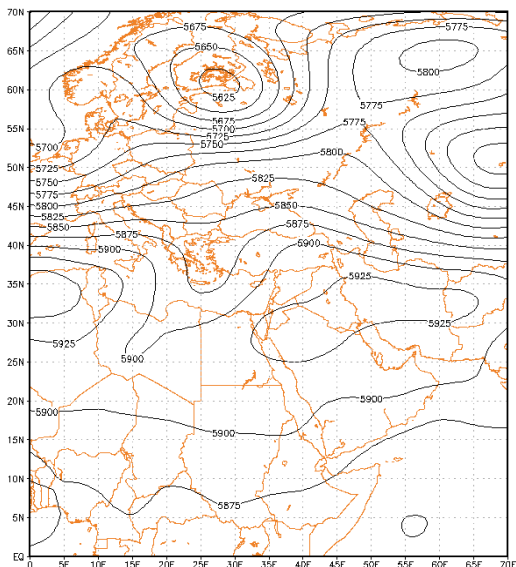


شکل ۲. نقشه سطح زمین ۲۸ ژوئیه ۲۰۲۲ (الف) و نقشه سطح زمین

۲۹ ژوئیه ۲۰۲۲ (ب)

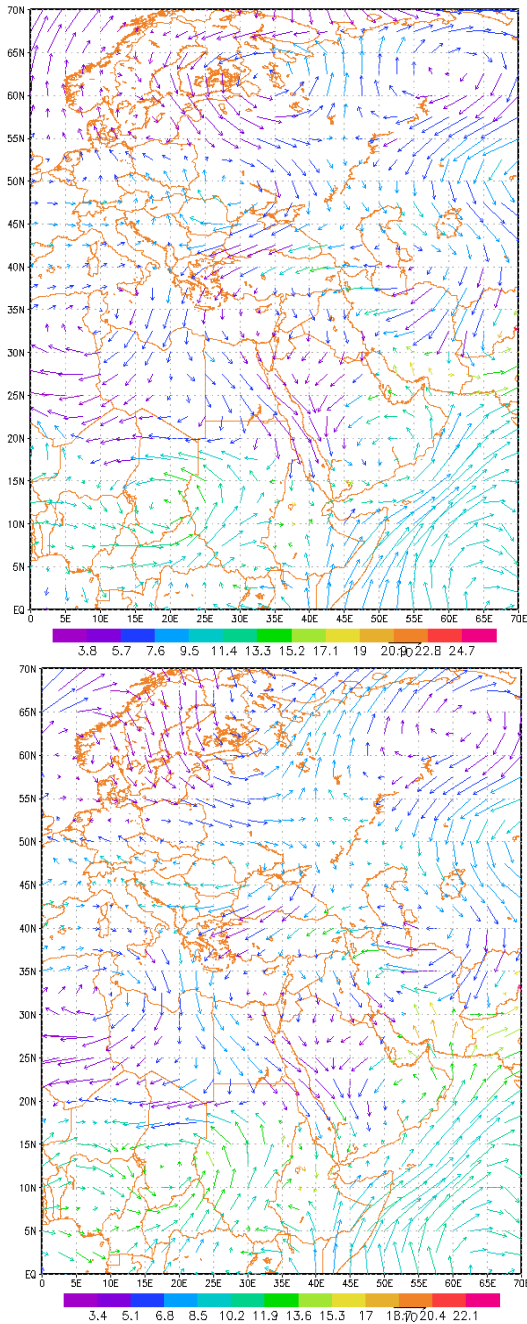
تحلیل نقشه‌های هوا  
جریان‌های جوی حاکم بر منطقه در روزهای ۶ و ۷ مرداد ۱۴۰۱ (۲۸ و ۲۹ ژوئیه ۲۰۲۲)؛ نقشه‌های سطح زمین: نقشه فشار سطح زمین در تاریخ ۲۸ ژوئیه ۲۰۲۲ (۶ مرداد ۱۴۰۱)، وجود یک سامانه کم‌فشار با فشار مرکزی ۱۰۰۰ هکتوپاسکال را بر روی شبه‌جزیره عربستان نشان می‌دهد. این سامانه کم‌فشار در حال گسترش به سمت عرض‌های بالاتر است و با قرار گرفتن در مجاورت دریاهای عرب، سرخ، و خلیج فارس، از این دریاها تغذیه رطوبتی کرده و همراه با حرکات صعودی تقویت می‌شود. این سامانه کم‌فشار با تغذیه رطوبت، قابلیت گسترش تا عرض‌های بالاتر را داشته و می‌تواند ناپایداری‌های جوی را در مناطق وسیع‌تری ایجاد کند. علاوه بر این، در همان روز، سامانه پرفشاری با فشار مرکزی ۱۰۱۲ هکتوپاسکال بر روی فلات تبت گسترش یافته است که به ایجاد یک شیب فشاری کمک کرده و تأثیر قابل توجهی بر وضعیت جوی منطقه دارد (شکل ۲ الف). در روز ۲۹ ژوئیه ۲۰۲۲ (۷ مرداد ۱۴۰۱)، نقشه‌های سطح زمین نشان‌دهنده گسترش دو سامانه کم‌فشار هستند؛ یکی بر روی پاکستان و دریای عمان و دیگری بر روی دریای سرخ با فشار ۱۰۰۵ هکتوپاسکال. این دو سامانه کم‌فشار به یکدیگر پیوسته‌اند و تأثیر آنها علاوه بر مرکز ایران، تا نواحی غرب و شمال‌غرب کشور نیز گسترش یافته است. سامانه پرفشار فلات تبت نیز با فشار مرکزی ۱۰۱۲ هکتوپاسکال تقویت شده و با ایجاد شیب فشاری به سمت غرب، باعث گسترش و تقویت کم‌فشار پاکستان شده است. این کم‌فشار، با تغذیه رطوبت از جریان‌های گرم و مرطوب هند، سبب بارش‌های شدید در جنوب و جنوب شرق ایران شده است (شکل ۲ ب). به‌طور خاص، در روز ۲۹ ژوئیه ۲۰۲۲ (۷ مرداد ۱۴۰۱)، بارشی بی‌سابقه در طی ۱۲ ساعت به میزان ۲۸.۵ میلی‌متر

رخ دهد. همچنین، ترکیب سامانه‌های بندالی و پراتفاح‌های مرکزی، به ویژه با تعمیق ناوه‌های شرقی و حرکت سامانه‌های پراتفاح به غرب، شرایط را برای وقوع بارش‌های شدید و ناپایداری‌های جوی در این منطقه فراهم کرده است.



شکل ۳. الگوی ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بر حسب متر در روز ۲۸ ژوئیه ۲۰۲۲ (الف) و ۲۹ ژوئیه ۲۰۲۲ (ب)

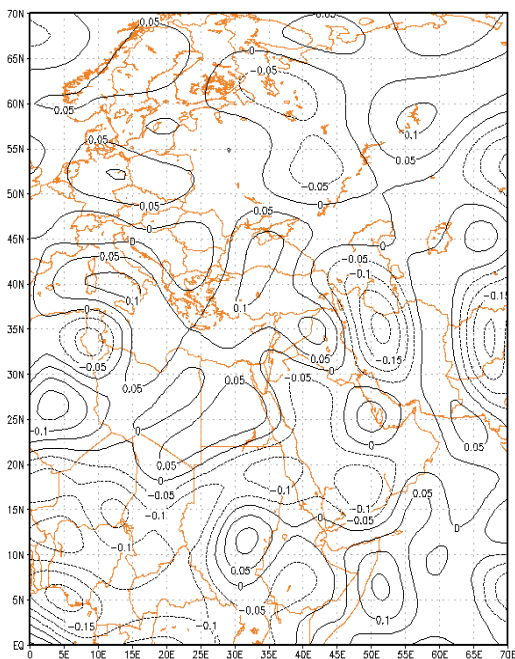
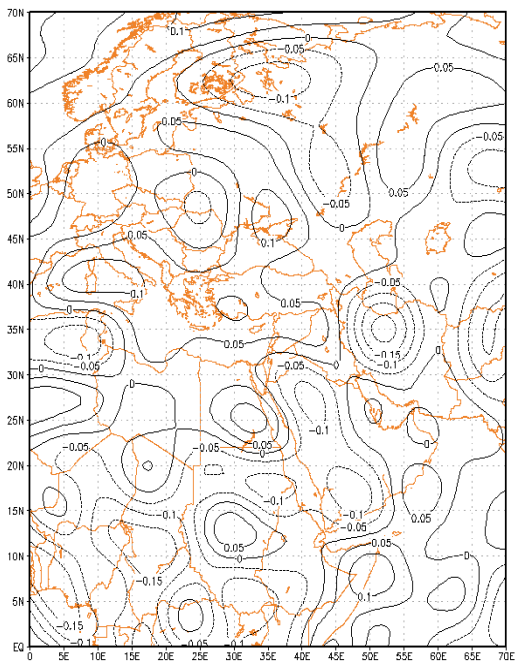
نقشه‌های تراز میانی وردسپهر (۵۰۰ هکتوپاسکال):  
 نقشه ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال در تاریخ ۲۸ ژوئیه ۲۰۲۲ (۶ مرداد ۱۴۰۱) نشان‌دهنده وجود یک مرکز فشار کم عمیق در جنوب صحرائ آفریقا و یک ناوه گسترده همراه است. این ناوه، با گرادیان فشار قوی، از شمال آفریقا به سمت شرق گسترش یافته و بر روی مناطق جنوب شرق ایران تأثیر مستقیم دارد. وجود این ناوه، نشان‌دهنده پتانسیل بالای ناپایداری جوی و احتمال بارندگی در این مناطق است. علاوه بر این، چرخش پادساعتگرد هوا در اطراف مرکز فشار کم، به همراه همگرایی و صعود هوا در ناحیه ناوه، شرایط را برای تشکیل ابر و بارندگی مساعد می‌سازد. (شکل ۳ الف). در تاریخ ۲۹ ژوئیه ۲۰۲۲ (۷ مرداد ۱۴۰۱)، نقشه ۵۰۰ هکتوپاسکال شکل‌گیری یک سامانه بندالی به شکل امگا بر روی روسیه را نشان می‌دهد. این سامانه دارای ارتفاع مرکزی ۵۸۰۰ متر است و در شرق و غرب آن دو سامانه کم‌ارتفاع شکل گرفته‌اند که ناوه شرقی در حال تعمیق است و همین امر باعث تقویت جریان‌های موسمی شده است (شکل ۳ ب). تعمیق این ناوه شرقی به معنای افزایش ناپایداری‌های جوی و تشدید بارش‌های موسمی در نواحی جنوب و جنوب شرق ایران است. این سامانه‌های بندالی به دلیل ساختار امگای خود، پایداری نسبی دارند و می‌توانند برای مدتی طولانی در یک منطقه باقی بمانند و تأثیرات جوی عمیقی ایجاد کنند. علاوه بر این، مرکز پراتفاح مستقر بر روی ایران نیز با حرکت تدریجی به سمت غرب، سبب تشدید و تقویت اثرات جریان‌های موسمی در ایران می‌شود. این حرکت پراتفاح نه تنها به افزایش رطوبت و ناپایداری‌های جوی در بخش‌های مرکزی و غربی ایران کمک می‌کند، بلکه موجب افزایش شدت بارش‌های موسمی در مناطق تحت تأثیر نیز می‌شود. حرکت این سامانه به غرب و ایجاد فضایی برای صعود توده‌های هوای مرطوب و سبب تقویت اثرات موسمی در ایران می‌شود و بارش‌های سنگینی به‌ویژه در نواحی جنوبی و مرکزی



شکل ۴. الگوی فرارفت رطوبت تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در روز ۲۸ ژوئیه ۲۰۲۲ (الف) و ۲۹ ژوئیه ۲۰۲۲ (ب)

نقشه امگا (تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال) و (تاوایی): بررسی نقشه امگا در روز ۲۸ ژوئیه ۲۰۲۲ (۶ مرداد ۱۴۰۱) نشان می‌دهد، که مقادیر منفی بر روی پاکستان و نواحی غرب و شمال غرب ایران حاکی از وجود حرکات صعودی جریان هوا و تشکیل سامانه‌های کم فشار در سطح زمین است (شکل ۵ الف). این مقادیر منفی با

فرارفت رطوبت تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال: نقشه فرارفت رطوبتی در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در تاریخ ۲۸ ژوئیه ۲۰۲۲ (۶ مرداد ۱۴۰۱) نشان می‌دهد، که میزان رطوبت در نواحی دریای عمان، خلیج فارس، هند و پاکستان به طور قابل توجهی بالا بوده و حدود ۲۰/۴ گرم بر کیلوگرم است. این میزان رطوبت بالا در مناطق یادشده، زمینه‌ساز وقوع ناپایداری‌های جوی و بارش‌های سنگین می‌شود. هم‌چنین، وزش باد در این نواحی به گونه‌ای است، که سامانه کم فشار پاکستان و هند با تغذیه مداوم رطوبت از منابع آبی اطراف و حرکت سیکلونی، رطوبت را به سمت شرق، جنوب شرق، و مرکز ایران هدایت می‌کند. از طرفی در این روز، همگرایی میدان باد در شمال سیستان و استان کرمان مشهود است. در این مناطق، برخورد بادهای شمالی خشک با بادهای جنوبی مرطوب منجر به تشکیل شرایط ناپایدار و تقویت فرایندهای همرفتی شده است. این پدیده نیز یکی از عوامل مهم در وقوع بارش‌های سنگین منطقه است (شکل ۴ الف). در نقشه فرارفت رطوبت روز ۲۹ ژوئیه ۲۰۲۲ (۷ مرداد ۱۴۰۱)، مشاهده می‌شود، که میزان رطوبت در نواحی پاکستان، شرق، جنوب شرق و جنوب ایران افزایش یافته است. جریان باد نیز همچنان به انتقال رطوبت از نواحی دریای عمان، خلیج فارس و هند به سمت شرق، جنوب شرق، جنوب و مرکز ایران ادامه می‌دهد (شکل ۴ ب). این انتقال رطوبت، به ویژه در ترکیب با حرکات صعودی و سامانه‌های جوی ناپایدار، سبب تشدید بارش‌ها در این مناطق شده است. به ویژه، در نواحی جنوب و جنوب شرق ایران، که تحت تأثیر مستقیم این جریان‌های رطوبتی قرار دارند، بارش‌های شدیدی به وقوع پیوسته است.



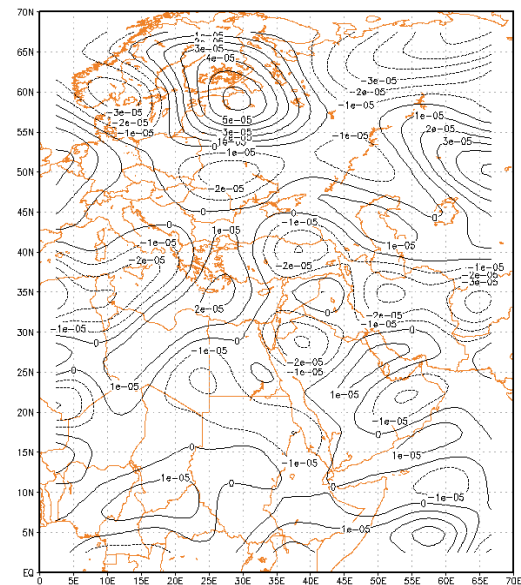
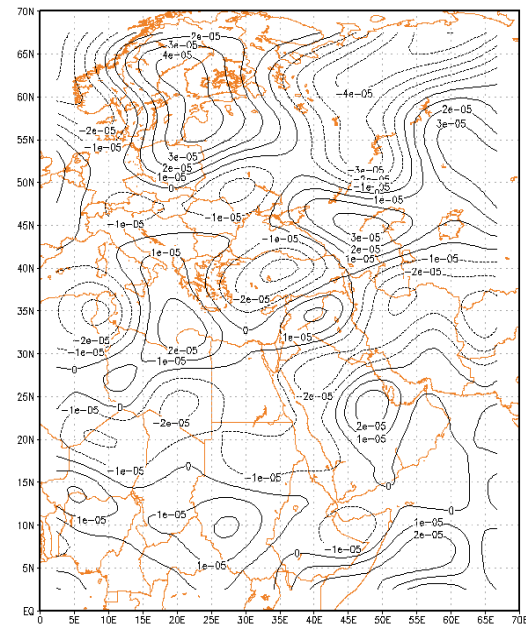
شکل ۵. نقشه امگا در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال ۲۸ ژوئیه ۲۰۲۲ (الف) و ۲۹ ژوئیه ۲۰۲۲ (ب)

تشدید جریان‌های صعودی، منجر به ناپایداری‌های جوی در این مناطق شده است. در روز ۲۹ ژوئیه ۲۰۲۲ (۷ مرداد ۱۴۰۱)، این هسته صعودی و شاخص منفی به نواحی مرکزی، شمال، غرب و شمال‌غرب ایران گسترش یافته است (شکل ۵ ب) که این گسترش باعث تقویت جریان‌های صعودی و افزایش احتمال وقوع بارش‌های شدید در این مناطق شده است. همچنین، بررسی نقشه چرخندگی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در روز ۲۸ ژوئیه ۲۰۲۲ (۶ مرداد ۱۴۰۱) نشان‌دهنده وجود تاوایی مثبت در مرکز و شمال‌غرب کشور است که به واسطه چرخندگی مثبت، موجب ناپایداری جو شده و شرایط برای وقوع بارش‌های شدید مهیا شده است (شکل ۶ الف). در روز ۲۹ ژوئیه ۲۰۲۲ (۷ مرداد ۱۴۰۱)، نقشه تاوایی مثبت نشان می‌دهد که این تاوایی به شرق، مرکز و بخش‌هایی از غرب ایران گسترش یافته است (شکل ۶ ب). گسترش تاوایی مثبت در این مناطق، منجر به تشدید ناپایداری جوی و تقویت همرفت شده است که در نتیجه، بارش‌های شدید و بعضاً رگبارهای سنگین در این نواحی رخ داده است. چنین الگوهای چرخشی به‌ویژه در ترکیب با شاخص‌های منفی امگا و تقویت جریان‌های صعودی، شرایط مساعدی را برای تشکیل سامانه‌های بارش همرفتی فراهم کرده است. این تغییرات در شاخص‌های امگا و تاوایی در طول این دو روز، به وضوح نشان‌دهنده روند افزایشی ناپایداری جو و گسترش دامنه بارش‌ها در نواحی مختلف کشور به ویژه منطقه مورد مطالعه است.

جدول ۴. مقادیر شاخص وقوع ناپایداری هوا

ردیف	ایستگاه	تاریخ	Si	Ki
۱	بندرعباس	۱۴۰۱/۰۵/۰۶	-۱/۸۳	۳۴/۱۰
۲	بندرعباس	۱۴۰۱/۰۵/۰۷	-۲/۸۵	۳۹/۹۰

با ورود سامانه جوی و افزایش میزان رطوبت، نیم‌رخ‌های دما و رطوبت به یکدیگر نزدیک شده‌اند که نشان‌دهنده افزایش ناپایداری جو و احتمال وقوع بارش‌های سنگین است. این همگرایی نیم‌رخ‌های دما و رطوبت، به‌ویژه در مناطق گرم و مرطوب، مانند، بندرعباس، باعث تشدید فعالیت‌های جوی ناپایدار می‌شود. بررسی شاخص شوالتر (SI) در ایستگاه بندرعباس در تاریخ‌های ۲۸ و ۲۹ ژوئیه (۶ و ۷ مرداد ۱۴۰۱) در ساعت صفر به وقت گرینویچ، با مقادیر ۱۸۳- و ۲۸۵- نشان می‌دهد، که در این ایستگاه، جو به شدت ناپایدار بوده است. هم‌چنین، مقادیر منفی SI معمولاً نشان‌دهنده افزایش فعالیت‌های همرفتی و وقوع طوفان‌های محلی یا بارش‌های شدید می‌باشند. علاوه بر این، مقدار شاخص K (KI) نیز وقوع بارش‌های سنگین را در این بازه زمانی تأیید می‌کند. شاخص KI به‌ویژه در مناطقی با رطوبت بالا، شاخص مهمی برای پیش‌بینی ناپایداری جو و احتمال بارش است. نتایج این تحلیل‌ها نشان می‌دهد، که در روزهای مورد بررسی، شرایط جوی کاملاً مستعد برای وقوع بارش‌های شدید و حتی رگبارهای ناگهانی بوده است. هم‌چنین، با توجه به تغییرات دمایی روزانه و تاثیر تابش خورشید در افزایش ناپایداری، انتظار می‌رود شاخص KI در ساعات بعدازظهر افزایش یابد. این افزایش به دلیل تشدید همرفت و صعود هوای مرطوب در اثر گرم شدن سطح زمین است، که موجب بروز بارش‌های سنگین و حتی پدیده‌های جوی، مانند، رعد و برق می‌شود. در مجموع، تحلیل شاخص‌های ناپایداری جو از جمله SI و KI، تأیید

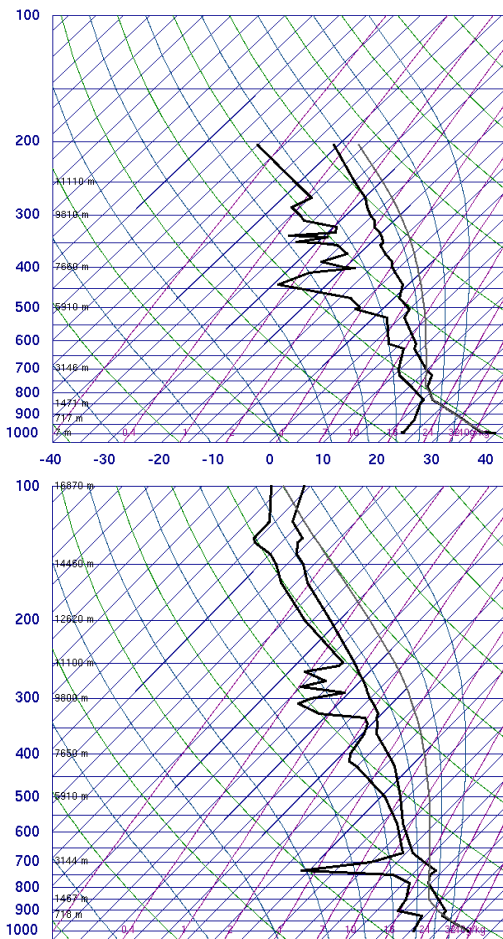


شکل ۶. نقشه توابوی ۲۸ ژوئیه ۲۰۲۲ (الف) و ۲۹ ژوئیه ۲۰۲۲ (ب)

داده‌های جو بالا (نمودار اسکویوتی): نمودارهای ترمودینامیکی جهت ترسیم داده عمل کاوش (سوندینگ) و به‌منظور ارزیابی پایداری جو، مورد استفاده قرار می‌گیرند. با استفاده از این نمودار می‌توان پایداری جو را ارزیابی کرد. به دلیل نبود داده‌های جو بالای دیگر ایستگاه‌ها از ایستگاه بندرعباس استفاده شد. جدول (۴) نتایج حاصل محاسبه شاخص شوالتر (SI) و شاخص K (KI) ایستگاه بندرعباس آورده شده است.

همدیدی مربوط به روزهای ۲۸ و ۲۹ ژوئیه ۲۰۲۲ (۶ و ۷ مرداد ۱۴۰۱)، الگوهای جوی و دینامیک سامانه‌سامانه‌های همدیدی مؤثر بر این بارش سنگین مورد بررسی قرار گرفت. از داده‌های تراز سطح زمین، ۵۰۰ هکتوپاسکال، امگا، تاوایی و نقشه‌های فرارفت رطوبتی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال و نمودار اسکیتی بندرعباس استفاده شد. نتایج تحلیل‌های سینوپتیک نشان‌دهنده گسترش دو سامانه کم‌فشار، یکی در پاکستان و دریای عمان و دیگری در دریای سرخ است که ادغام آن‌ها و تأثیر بر مرکز ایران باعث تقویت ناپایداری‌های جوی و افزایش بارش‌ها در این منطقه شده است. هم‌چنین، سامانه پرفشار فلات تبت با فشار ۱۰۱۲ هکتوپاسکال تأثیر قابل توجهی بر شرایط جوی منطقه و تشدید بارش‌های سنگین داشته است. شکل‌گیری ناهه شرقی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و تقویت جریان‌های موسمی، حرکت رطوبت از دریا‌های سرخ و عمان به سمت ایران را تسهیل کرده و بارش‌های قابل توجهی در جنوب شرق و مرکز کشور به دنبال داشته است. تحلیل نقشه‌های فرارفت رطوبتی و امگا نیز تأثیر گسترش کم‌فشار پاکستان و حرکت رطوبت به سمت ایران را تأیید کرده و هم‌راستا با مطالعات مشابه، بر ارتباط میان ناپایداری‌های جوی و بارش‌های سنگین تأکید دارند. نتایج تحلیل‌های ترمودینامیکی، از جمله شاخص‌های ناپایداری KI و SI، به‌وضوح بر ناپایداری‌های جوی و پیش‌بینی بارش‌های شدید تأکید دارند. به‌طور کلی، این تحقیق نشان می‌دهد، که عامل اصلی بارش‌های سنگین، ورود توده هوای موسمی مرطوب از شرق و جنوب شرقی ایران است. در فصل فعالیت موسمی هند، کم‌فشار باریک شرقی-غربی در جنوب کوه‌های هیمالیا شکل گرفته و رطوبت خلیج بنگال را به سمت غرب هدایت کرده است. هم‌چنین، رطوبت دریای عمان نیز از طریق سواحل جنوبی وارد کشور شده است. در سال‌هایی که پراارتفاع جنب حاره‌ای در لایه‌های بالای جو ایران حاکم است، به‌دلیل ضخامت

می‌کند، که شرایط جوی در ایستگاه بندرعباس در روزهای مورد بررسی، به‌شدت ناپایدار بوده و احتمال وقوع بارش‌های سنگین و شدید در این ایستگاه بسیار بالا بوده است (شکل ۷).



شکل ۷. نمودار اسکیتی ایستگاه بندرعباس ۲۸ ژوئیه ۲۰۲۲ (الف) و ۲۹ ژوئیه ۲۰۲۲ (ب)

### نتیجه گیری

بارش‌های سنگین، در قالب یکی از عوامل مخاطره‌آمیز طبیعی، نقشی کلیدی در وقوع سیلاب و خسارات مرتبط با آن دارند. مطالعه سامانه‌های همدیدی مولد این بارش‌ها می‌تواند به شناسایی و پیش‌بینی به‌موقع این رخدادها کمک کند و از خسارات وارده به زیرساخت‌های شهری، روستایی و منابع طبیعی بکاهد. در این پژوهش، با تحلیل داده‌های بارش و نقشه‌های

کم این سامانه، صعود هوای مرطوب محدود بوده و بارش‌ها عمدتاً به جنوب شرقی کشور محدود می‌شود. اما در سال‌هایی که کف پرفشار جنب حاره‌ای به ارتفاعات بالاتر صعود کند، فضای کافی برای صعود توده‌های مرطوب فراهم می‌شود. این فرآیند، همراه با تابش شدید خورشید و فعالیت‌های همرفتی، منجر به بارش‌های سنگین می‌شود. نتایج تحقیق حاضر با پژوهش ناظم‌السادات (۱۴۰۱) در زمینه تحلیل همدیدی بارش‌های موسمی تابستان ۱۴۰۱ استان فارس هم‌راستا است و بر وجود الگوهای مشابه تأکید می‌کند.

### منابع

۱. امیدوار، ک. (۱۳۸۵). بررسی و تحلیل سینوپتیکی طوفان‌های ماسه در دشت یزد - اردکان. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۸۱، صص ۴۴-۵۸. <https://sid.ir/paper/30073/fa>
۲. امیدوار، ک. فلاحی زرنندی، و. پروین، ح. (۱۳۹۳). تحلیل همدیدی بارش سنگین ۱۷ نوامبر ۲۰۰۹ سندیج، دانشکده جغرافیا. اولین همایش علوم جغرافیایی ایران. <https://civilica.com/doc/317185>
۳. امیدوار، ک. (۱۳۹۶). مخاطرات طبیعی، انتشارات دانشگاه یزد.
۴. اداره منابع آب رفسنجان، اطلاعات بارش ۲۸ و ۲۹ ژوئیه (۲۰۲۱). ایستگاه رفسنجان.
۵. حسینی صدر، ع. محمدی، غ. عبدالعلی زاده، ف. خجسته غلامی، و. (۱۳۹۸). تحلیل ساز و کار همدیدی بارش سنگین خسارت بار در شمال غرب ایران ۱۴ آوریل ۲۰۱۷. فصلنامه جغرافیا و برنامه ریزی، سال بیست و سوم، شماره هفتاد، صص ۷۹-۱۰۰. [https://geoplanning.tabrizu.ac.ir/article\\_10096.htm](https://geoplanning.tabrizu.ac.ir/article_10096.htm)
۶. طاهری بهبهانی، م. بزرگ‌زاده، م. (۱۳۷۵). سیلاب‌های شهری. انتشارات مرکز مطالعات و تحقیقات شهرسازی و معماری ایران، صص ۳۳۰.
۷. عزیززی، ق. نیری، م. رستمی جلیلیان، ش. (۱۳۸۸). تحلیل همدید بارش‌های سنگین غرب کشور (مطالعه موردی بارش‌های دوره ۷-۱۴ مارس ۲۰۰۵، ۱۶-۲۶ اسفند ۱۳۸۵). فصلنامه جغرافیای طبیعی، دوره ۴، شماره ۱، صص ۱۳-۱. <https://sid.ir/paper/185039/fa>
۸. قادری نسب گروهی، ف. احمدی، م. (۱۴۰۲). کارایی مسیریاب AlpineQuest به عنوان جایگزین GPS در بازدید‌های میدانی
- مهندسی رودخانه (مطالعه موردی سیلاب مرداد ۱۴۰۱ شهر رفسنجان). مجله راهبرد های فنی در سامانه‌های آبی، دوره یک، شماره یک، تابستان ۱۴۰۲. <https://civilica.com/doc/1955424>
۹. لشکری، ح.، زارعی، ی.، مرادی، م. (۱۳۹۶). تحلیل همدیدی-ترمودینامیکی مکانیسم ابر در منطقه آذربایجان. نشریه علمی-پژوهشی جغرافیا و برنامه ریزی، دوره ۲۱، شماره ۵۹، صص ۲۸۱-۳۰۱. <https://sid.ir/paper/494733/fa>
۱۰. مرادی، م. (۱۳۹۷). بررسی دوره برگشت سریع‌ترین باد سالانه در ایستگاه بوشهر. مجله پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، شماره ۳۶، صص ۳۱-۴۲. [https://clima.irimo.ir/article\\_91788.html](https://clima.irimo.ir/article_91788.html)
۱۱. مزیدی، ا.، محمدی راوری، ف. (۱۴۰۴). آشکارسازی رخداد بارش سنگین اردیبهشت ماه ۱۴۰۳ با استفاده از تصاویر ماهواره سنتینل ۱ (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی). نشریه علمی پژوهشی نیوار، شماره ۱۲۹-۱۲۸، صص ۹۸-۸۰. [https://nivar.irimo.ir/article\\_210145.html](https://nivar.irimo.ir/article_210145.html)
۱۲. نظافتی‌نمین، ف.، خوش‌ولد، ن. (۱۳۹۵). آنالیز ویژگی‌های سیلاب‌های شهری بالخلوچای اردبیل با دوره‌های بازگشت مختلف. دومین کنفرانس بین‌المللی یافته‌های نوین علوم و تکنولوژی قم: مرکز مطالعات و تحقیقات اسلامی سروش حکمت مرتضوی. <https://civilica.com/doc/507351>
۱۳. ناظم‌السادات، م.، اسمعیل زاده، ف. (۱۴۰۱). تحلیل همدیدی بارش‌های موسمی تابستان ۱۴۰۱ استان فارس. اولین همایش بین‌المللی و دومین همایش ملی مدل‌سازی و فناوری‌های جدید در مدیریت آب، ۲ و ۳ اسفند ماه، دانشگاه بیرجند، صص ۱-۱۰. <https://civilica.com/doc/1737035>
14. Chang, L. F., Lin, C. H., & Su, M. D. (2008). Application of geographic weighted regression to establish flood-damage functions reflecting spatial variation. *Water Sa*, 34(2), 209-216. <https://doi.org/10.4314/wsa.v34i2.183641>
15. Ezeonye, M. N., & Emeribe, C. N. (2011). Flood characteristics and management adaptations in parts of the Imo river system. *Ethiopian Journal of Environmental studies and management*, 4(3), 56-64. <https://doi.org/10.4314/ejesm.v4i3.8>
16. Nuryanto, D. E., Pawitan, H., Hidayat, R., & Aldrian, E. (2016). Heavy rainfall distributions over Java Sea in wet season. *Procedia Environmental Sciences*, 33, 178-186. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.03.068>
17. Islam, A. R. M. T., Talukdar, S., Mahato, S., Kundu, S., Eibek, K. U., Pham, Q. B., ... & Linh, N. T. T. (2021). Flood susceptibility modelling using advanced ensemble machine learning models. *Geoscience Frontiers*, 12(3), 101075. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2020.09.006>
18. Khoddam, N., Irannejad, P., & Ahmadi-Givi, F. (2015). A study of the impact of Indian Monsoon on summer climate of Iran. *Iranian Journal of*

21. Shen, Y., Du, Y., & Chen, G. (2020). Ensemble sensitivity analysis of heavy rainfall associated with three MCSs coexisting over southern China. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 125(2), e2019JD031266. <https://doi.org/10.1029/2019JD031266>
22. ([www.weather.uwyo.edu](http://www.weather.uwyo.edu))
23. (<https://www.psl.noaa.gov/>)
- Geophysics, 9(2). <https://doi.org/10.1029/2008JG001139>
19. Yarahmadi, D., & Mryanji, Z. (2011). The analysis of dynamic and synoptic patterns of heavy rainfall in the south west of Caspian Sea and west of Iran (case study: rainfall on 04/11/2004). *Physical Geography Research*, 43(76), 105-120. [https://jphgr.ut.ac.ir/article\\_23073.html?lang=en](https://jphgr.ut.ac.ir/article_23073.html?lang=en)
20. Kang, Y., Peng, X., Wang, S., Dong, C., Shang, K., & Zhao, Y. (2020). Statistical characteristics and synoptic situations of long-duration heavy rainfall events over North China. *Earth and Space Science*, 7(5), e2019EA000923. <https://doi.org/10.1029/2019EA000923>

# Synoptic Analysis of the Atmospheric Patterns Responsible for the Heavy Rainfall and Flood Event on July 29, 2022, in Rafsanjan

Kamal Omidvar\*<sup>1</sup>, Forough Mohammadi Ravari<sup>2</sup>

<sup>1</sup> professor of climatology and faculty member of the Department of Geography, Yazd University, Yazd, Iran.

<sup>2</sup> Ph.D. student of Climatology, Yazd University, Yazd, Iran.

\*Corresponding Author Email: [Komidvar@yazd.ac.ir](mailto:Komidvar@yazd.ac.ir)

Received: 07 December 2024, Accepted: 03 June 2025

## ABSTRACT

This study investigates the synoptic conditions associated with the heavy rainfall and flash flood event that affected Rafsanjan, Iran, on July 28–29, 2022. Multiple meteorological datasets were analyzed, including surface and upper-level synoptic charts (at 850 hPa and 500 hPa), omega and potential vorticity fields, moisture advection (specific humidity), and upper-air sounding data from Bandar Abbas station. The analysis revealed the simultaneous expansion of two low-pressure systems centered over Pakistan and the Red Sea across Iranian territory. At 500 hPa, the presence of a deep trough associated with the eastern flank of a Russian blocking pattern contributed to the intensification of the Indian monsoon flow. Moisture flux maps demonstrated substantial moisture transport toward eastern, southeastern, and central regions of Iran. Negative omega values confirmed strong upward vertical motion, particularly over Pakistan and the associated surface low-pressure center. Positive vorticity advection and instability signals were detected over central and northwestern Iran. Instability indices, including a K-Index of 39.90 and a Showalter Index of –2.85, indicated pronounced atmospheric instability. On July 29, Rafsanjan recorded 28.5 mm of precipitation, leading to significant damage to infrastructure in both urban and rural areas, including impacts on over 10,000 hectares of pistachio orchards and numerous vehicles.

**Keywords:** 850 hPa level, Southeast Iran, K-Index, Pakistan low-pressure system.

## HOW TO CITE THIS ARTICLE

Omidvar, K. , Mohammadi Ravari, F. (2025). Synoptic Analysis of the Atmospheric Patterns Responsible for the Heavy Rainfall and Flood Event on July 29, 2022, in Rafsanjan. *Journal of Meteorology and Atmospheric Science.*, 7(1): 60-74. Doi: 10.22034/jmas.2025.492725.1236

## COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the JMAS Journal. This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

