تحلیل دینامیکی سامانه‌های سودانی و رخداد بارش‌های سنگین در جنوب غرب ایران

دریافت مقاله:۹۰/۱۱/۲۴ پذیرش نهایی: ۹۱/۲/۲۴
صفحات:۲۴-۷

حسین محمدی: استاد اقلیم شناسی گروه جغرافیای طبیعی دانشگاه تهران
Email: hmmohammadi@yahoo.com
ابراهیم فتاحی: استادیار جغرافیای طبیعی پژوهشکده هواشناسی
Email:ebfat2002@yahoo.com
علی اکبر شمسی پور: استادیار اقلیم شناسی گروه جغرافیای طبیعی دانشگاه تهران
Email: shamsipr@ut.ac.ir
مهری اکبری: دانشجوی دکتری اقلیم شناسی دانشگاه تهران[1]
Email: mehryakbary@ut.ac.ir

چکیده

سامانه سودانی، به کم فشارهای حرارتی اطلاق می‌گردد که محل تکوین آنها مناطق اطراف دریای سرخ بوده و خطوط کم فشار آنها جنوب دریای سرخ، سودان و اتیوپی را در بر گرفته و در ادامه مسیرشان از جنوب غرب ایران عبور کرده و سبب بارش‌های شدید می‌شوند. ویژگی مشترک همه این سامانه‌های بارانزا، کم فشارهای سطح زمین یا کم ارتفاع‌های سطوح بالاست. برای مطالعه دینامیکی و بررسی مکانیسم رخداد بارش‌های سیل‌آسای ناشی از سامانه سودانی در جنوب غرب ایران، از داده‌های JRA25 استفاده شد. داده‌ها برای ۱۱ توفان انتخاب و کمیتهای دینامیکی تاوایی نسبی و مطلق، تاوایی پتانسیل، فرارفت تاوایی، همگرایی و واگرایی، سرعت قائم در سیستم ارتفاعی و کمیتهای ترمودینامیکی نم ویژه، همگرایی نم ویژه، دمای پتانسیل، دمای پتانسیل معادل و دمای پتانسیل تر، در محیط فورترن تعریف شدند. بررسی‌ها نشان می‌دهند که در توفان‌های منتخب، دو مرکز بیشینه تاوایی نسبی تراز میانی، یکی در شرق دریای مدیترانه و دیگری در غرب دریای سرخ، روی کشور سودان شکل گرفته‌اند. زبانه بیشینه مستقر بر روی دریای سرخ همراه با پیشروی شرق سوی ناوه، به صورت نوار باریکی به ایران کشیده شده و مقادیر تاوایی نسبی

[1]. نویسنده مسئول: تهران- خیابان وصال- کوچه آذین- دانشکده علوم جغرافیایی- گروه اقلیم شناسی

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

بتدریج در جنوب غرب ایران افزایش یافته است. بررسی کمیت‌های همگرایی و واگرایی هم انطباق زمانی و جابجایی این کمیت‌ها را در سطوح زیرین، با ناوه تراز میانی بخوبی آشکار می‌سازد. همراهی جریان باد با هسته‌های بیشینه نم ویژه مستقر در دریای سرخ، هم رطوبت لازم برای توفان‌ها را تامین نموده تا با فراهم بودن عوامل دینامیک و رطوبت لازم، بارش‌های فراگیر در منطقه نازل شوند.

کلید واژگان: بارش سنگین، کم فشار سودانی، دینامیکی، تاوایی، فرارفت.

مقدمه

در آب و هواشناسی پویشی یا دینامیکی به توجیه و تفسیر ساختار حرکات اتمسفری با استفاده از قوانین فیزیک حاکم بر حرکت، پرداخته می‌شود. تغییر در اندازه نیروهای گرادیان فشار، گرانش و تنشی منجر به تشکیل سامانه‌های همدیدی متفاوت و در نتیجه رخداد پدیده‌ها، بی‌نظمی[1] و بی‌هنجاریهای اقلیمی می‌گردد.

مطالعه بارش‌های سیل‌آسا در جنوب غرب ایران بویژه حوضه کارون بزرگ به عنوان یکی از مهمترین حوضه‌های آبریز کشور از لحاظ تامین و تولید نیرو (انرژی) و وجود سدهای متعدد در مراحل مختلف مطالعاتی، اجرا و بهره برداری در این حوضه، حائز اهمیت ویژه‌ای است. از آنجا که ناپایداری جوی و رخداد بارش در جنوب غرب ایران، عموماً متاثر از سامانه‌های سودانی می-باشد، لذا مطالعه پویشی تکوین، تکامل و زوال این سامانه، پیش بینی و پیش آگاهی از وضعیت بارش و برنامه ریزی برای بهره برداری از این بارشها به عنوان ذخایر مخازن سدهای منطقه، می‌تواند در امر مدیریت و برنامه ریزی منابع آب موثر و کارامد باشد.

در سطح ایران و جهان مطالعات متعددی با نگرش‌ها و اهداف مختلف در ارتباط با تحلیل دینامیکی بارشهای سیل آسا انجام شده که اهمیت پژوهشی و کاربردهای آن را نشان می‌دهد. که از جمله آنها می‌توان به موارد زیر اشاره نمود.

لشکری (۱۳۸۲) به بررسی کم فشار سودانی و نقش آن در بارشهای جنوب و جنوب غرب ایران پرداخته است. وی سامانه کم فشار سودانی را به عنوان یکی از عناصر سازنده گردش عمومی جو در شمال آفریقا معرفی می‌کند که در بیشتر ایام سال بر روی غرب اتیوپی و کشور سودان تشکیل می‌شود و چهار الگوی کلی ناشی از نحوه آرایش سامانه های سیبری، واچرخند

[1].Entropy (آنتروپی)

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

شمال آفریقا و شبه جزیره عربستان و ناوه شمال آفریقا و کم فشار سودان در سطح‌های زیرین و میانی جو، منجر به رخداد بارشهای سنگین در جنوب و جنوب غرب ایران می‌شوند. آزادی و همکاران (۱۳۸۲) به پیش بینی عددی بارش سامانه های زمستانی روی ایران پرداخته‌اند. بر اساس پژوهش آنها، کم فشار دینامیکی مدیترانه‌ای حین حرکت به سوی شرق و جنوب شرق، از طریق تزریق هوای سرد به کم فشار منطقه سودان، باعث دینامیکی شدن این کم فشار شده و سامانه‌ی ترکیبی موسوم به مدیترانه‌ای–سودانی تشکیل می‌شود که نمونه‌ای از برهم کنش توده هوای قطبی با توده هوای حاره‌ای است و بارشهای نسبتا قابل توجهی در ایران به همراه دارند. مشکواتی و مرادی (۱۳۸۳) به بررسی ناوه فشاری دریای سرخ از دیدگاه دینامیکی پرداختند. بر اساس پژوهش آنها چنانچه فرارفت تاوائی نسبی مثبت در شرق دریای مدیترانه یا شمال دریای سرخ صورت گیرد، ناوه فشاری دریای سرخ به سوی شرق دریای مدیترانه حرکت می‌کند و سامانه آب و هوایی که شکل می گیرد غرب و شمال غرب ایران را متاثر می‌نماید و چنانچه فرارفت تاوائی نسبی مثبت درشمال شرق دریای سرخ صورت گیرد، سلولهای کم فشارکوچکی از ناوه فشاری دریای سرخ جدا شده و به سوی شمال شرق حرکت می کند، غرب، جنوب غرب و جنوب ایران را تحت تاثیر قرار می‌دهند. مفیدی (۱۳۸۳) به مطالعه همدیدی بارش‌های سیل‌زا در خاورمیانه که ناشی از منطقه دریای سرخ بوده‌اند پرداخته و کم فشارهای سودانی را به عنوان کم فشارهائی که در آغاز به صورت یک منطقه همگرائی بر جانب غربی فلات اتیوپی ظاهر شده و سپس تحت تاثیر عوامل توپوگرافی دریای سرخ و شرایط ترمو دینامیکی و دینامیکی حاکم بر جو مناطق اطراف، به سوی ایران یا مدیترانه شرقی منتقل شده‌اند، معرفی نمود. همچنین مفیدی و زرین (۱۳۸۴)، به بررسی همدیدی اثر سامانه‌های کم فشار سودانی در وقوع بارشهای سیل زا در ایران، پرداخته‌اند.

احمدی گیوی و همکاران (۱۳۸۲) به مطالعه موردی دینامیک سامانه‌های چرخندی روی ایران از دیدگاه تاوایی پتانسیلی در ماه آذر ۸۲ پرداختند و همچنین احمدی گیوی و میرزایی (۱۳۸۶) به بررسی جبهه‌زایی سطوح میانی و زبرین از دیدگاه تاوایی پتانسیلی بر روی خاورمیانه و ایران با استفاده از مدل میان مقیاس MM5[1] پرداخته‌اند. در سه سامانه چرخندی مورد مطالعه، با استفاده از خروجی مدل MM۵ نقشه‌های کمیت‌هایی همچون تاوائی پتانسیلی، رطوبت نسبی، دمای پتانسیل و همچنین نقشه‌های سطح مقطع قائم تاوائی پتانسیل و سرعت قائم در مراحل مختلف تحول جبهه‌زایی تهیه و مورد تحلیل قرار گرفته است. بر اساس نتایج

[1] 5th-Generation Penn State/NCAR Mesoscale Model

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

این پژوهش با تاشدگی وردایست[1]، هوای سرد و خشک و پایدار پوش‌سپهر[2] با تاوایی پتانسیلی زیاد، با حرکات پایین روی بسیار قوی، به تروپوسفر میانی و زیرین نفوذ یا در حقیقت ریزش نموده و باعث ایجاد گرادیان دمایی و تشکیل جبهه در سطوح میانی و بالایی شده است. البته در سه سامانه مورد مطالعه در این پژوهش، عمق تاشدگی تروپوپاوز و موقعیت قرارگیری جبهه در ارتباط با ناوه دمایی متفاوت بوده است. بررسی نقشه‌های مقاطع قائم تاوایی پتانسیلی، وجود گرادیان شدید تاوایی پتانسیل در راستای طولی جبهه در سطوح میانی و بالایی جو را نشان داده است. محمدی و تقوی (۱۳۸۶) هم به بررسی رفتار و پیش بینی دوره بازگشت رویدادهای اقلیمی حدی مانند خشکسالی و سیل و تجزیه وتحلیل شاخص‌های حدی دربستهٔ نرم‌افزاری به نام شاخص‌های اقلیمی حدی ECIS پرداختند.

حبیبی (۱۳۸۶) به تحلیل سینوپتیکی دینامیکی چرخندرایی روی مدیترانه بعنوان منطقه بیشینه چرخندزایی در دنیا پرداخته و گردشهای چرخندی که قادرند در سطوح وسیع، انرژی جنبشی تراز پائین جو را افزایش دهند، مورد مطالعه قرار داده است. بر اساس نتایج پژوهش وی موقعیت جغرافیایی منطقه مدیترانه و سرازیر شدن توده‌های هوا از بین شکاف کوهها و از فراز کوهها بر روی سطح دریا، باعث مرطوب شدن بخش زیرین توده‌های هوا و تعدیل توده‌های هوایی به توده هوایی مدیترانه می‌گردد. در اواخر تابستان و طی پاییز معمولاً لایه فوقانی توده هوای مدیترانه‌ای خنک و خشک‌تر از لایه زیرین بوده و باعث ایجاد گرادیان منفی در دمای پتانسیل هم ارز شده و شرایط را برای برقراری ناپایداری همرفتی فراهم می‌نماید و اغلب منجر به بارشهای سیل آسا می‌گردد. از اواخر تابستان تا بهار با آزاد شدن گرمای نهان، فرآیندهای چرخندزایی تقویت و حفظ می‌شوند. بر اساس نتایج پژوهش حبیبی، وجود پشته ناپایدار دینامیکی در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال، می‌تواند به فرایابی و پیش بینی چرخندزایی سطحی در مدیترانه کمک نماید. چرخندزایی شدید در سطح دریای مدیترانه نتیجه ترکیب شارش انرژی جنبشی پیچکی با کم فشاری محلی است که در آن انتقال انرژی جنبشی به شکل جت استریم قوی در جلوی ناوه رخ می‌دهد.

عزیزی و همکاران (۱۳۸۸) با استفاده از آمار ۲۱ ایستگاه منتخب در ایران، به تحلیل همدیدی ناهنجاری و سرمای شدید دی ماه ۱۳۸۶ پرداختند و تحلیل و بررسی داده‌های دما،

---

1. تروپوپاوز.
2. استراتوسفر.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

فشار، ارتفاع ژئوپتانسیلی و باد استخراج شده از پایگاه NCAR-NCEP، سامانه بندالی زوجی شکل را به عنوان مسبب ناهنجاری دمایی ایران در زمستان ۱۳۸۶، معرفی نمودند.

اردکانی و همکاران (۱۳۸۷) به مطالعه همدیدی و دینامیکی بیشترین بارش بر روی خراسان پرداختند و رخداد بارشهای سنگین در خراسان را به سه الگوی اصلی همدیدی سیستم‌های پر فشاری عرضهای بالا، سیستم‌های کم فشاری مدیترانه‌ای و الگوی ترکیبی این دو الگو، طبقه بندی نموده‌اند. بیشترین بارش ۲۴ ساعته در مشهد (۲۱ بهمن ۱۳۷۶) دارای الگوی نوع سوم (واچرخندهای سرد در عرض‌های جغرافیایی بالا که در حال حرکت با مراکز چرخند عبوری از روی دریای مدیترانه و یا دریای سرخ باهم برخورد کرده‌اند) بوده و تاوایی نسبی و فرارفت آن در مقایسه با دو الگوی دیگر بیشتر بوده و بترتیب دارای مقادیر m^{-1} ۱×۱۰$^{-۴}$ و S^{-2} ۲٫۵×۱۰$^{-۹}$ می‌باشند.

مرادی و همکاران (۱۳۸۷)، به بررسی نقش تاوایی پتانسیلی هم ارز و تر در مسیریابی سامانه‌های سودانی پرداخته‌اند. در این پژوهش استفاده از تاوایی پتانسیلی را بدلیل عدم انعکاس کمیت نم ویژه در تعیین مسیر حرکت سامانه‌هایی که با مرکز بیشینه نم ویژه همراهند؛ همچون سامانه‌های سودانی، نامناسب معرفی شده است. لذا کمیتهای تاوایی پتانسیلی هم ارز و تر که به ترتیب از طریق دمای پتانسیل هم ارز و تر به نم ویژه ارتباط دارند، مورد بررسی قرار گرفته‌اند. بر اساس نتایج این پژوهش مقادیر منفی و کوچک تاوایی پتانسیل هم ارز و تر، مکان و مسیر تقویت سامانه‌های سودانی را بخوبی نشان می‌دهند و تاوایی پتانسیلی به دلیل عدم وابستگی به نم ویژه نمی‌تواند نقش مناسبی را در پیش بینی این سامانه‌ها داشته باشد.

نصیری (۱۳۷۸) در رساله دکتری خود الگوی همدیدی و دینامیکی بارش‌ها در حوضه‌های کرخه و دز را تحلیل نمود و اختلاف مقادیر و شدت بارش‌ها و سیلاب در این دو حوضه مجاور را ناشی از وضعیت خاص و متفاوت عملکرد دینامیکی و ترمودینامیکی سامانه‌های ورودی دو حوضه معرفی کرد. بطوریکه حوضه دز از سامانه چرخندی سودانی برخوردار بوده، در صورتیکه حوضه کرخه بطور عمده تحت‌تاثیر سامانه‌های چرخندی مدیترانه‌ای و یا ادغام هوای گرم حاره‌ای به درون سامانه مزبور قرار دارد.

مولر و همکاران (۲۰۰۹) با استفاده از شاخص‌های دینامیک و ترمودینامیک منتخب در دوره ۴۴ ساله (۲۰۰۲-۱۹۵۸) شامل: شار نصف‌النهاری رطوبت[1]، شار مداری رطوبت[2]، تاوائی

[1]. Meridional flux of moisture
[2]. Zonal flux of moisture

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

پتانسیلی[۱]، ارتفاع ژئوپتانسیلی[۲]، سرعت قائم در دستگاه فشاری[۳] و همگرائی رطوبت[۴] به بررسی متغیرهای هواشناسی بعنوان شاخص‌های تعیین کننده رخداد بارش‌های سنگین در جمهوری چک پرداختند. شاخص FQV[۵] (شار نصف‌النهاری رطوبت) بعنوان یک شاخص مناسب که همزمان گرادیان فشار، شرایط دما و شرایط رطوبت را منعکس می‌نماید، معرفی شد. بطوریکه مقادیر بالا و پائین FQV به ترتیب یک جریان رطوبتی را از جنوب و از شمال نشان می‌دهد. بر اساس نتایج این پژوهش، مقادیر کوچکتر EM بیانگر شرایط حدی‌تر[۶] همدید در شاخص‌های منتخب است. بطوریکه مقادیر کمینه EM با اولین روزهای رخداد بارش سنگین در جمهوری چک متناظر است، هر دو مورد سیلاب تابستانه (ژوئیه ۱۹۹۷ و آگوست ۲۰۰۲) با مقادیر بسیار پائین EM نشان داده شده‌اند و از سوی دیگر تمام رخدادهای سیلاب مورد مطالعه، در ۶ درصد پائین مقادیر EM قرار می‌گیرند.

کلابنیتزر و همکاران (۲۰۰۹)، با هدف ارزیابی آماری پیش‌بینی‌های بارش با پارامترهای دینامیک به معرفی شاخص وضعیت پویایی DSI[7] پرداختند. شاخص DSI بطور نظری تغییرات جریان‌های جوی را به عنوان مشتقات معادلات بسیط بی دررو ایستا[۸] تشریح می‌کند. بر اساس این پژوهش، در میانگین‌های فصلی DSI همبستگی بالا و آشکاری بین پیش‌بینی‌های بارش توسط مدل COSMO-DE وجود دارد. از سوی دیگر، همبستگی بین DSI و بارش مدلسازی شده، در مقایسه با بارش مدلسازی شده و بارش مشاهده شده به عنوان یک تابع از زمان پیش‌بینی با تفکیک متفاوت هم ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهند که پس از ۱۲ ساعت همبستگی بین مقادیر پیش‌بینی شده با شاخص DSI به ۲/۳ مقدار اولیه می‌رسد.

کاسپر و همکاران (۲۰۰۹)، با استفاده از شاخص‌های دینامیک و ترمودینامیک مشتمل بر فرارفت تاوائی مطلق[۹]، همگرائی رطوبت[۱۰]، سرعت افقی باد[۱۱]، شار حرارتی نصف النهاری[۱۲]،

1. Potential vorticity
2. Geopotential height
3. Vertical velocity in p-system
4. Convergence of moisture
5. Meridional flux of moisture
6. Extreme
7. Dynamic State Index
8. Stationary
9. Advection of absolute voricity
10. Moisture convergence
11. Horizontal wind speed
12. Meridional heat flux

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

گرادیان نصف النهاری دما[1]، فرارفت حرارتی[2]، سرعت قائم باد در سیستم فشاری[3]. چرخندزایی ۱۸ تا ۲۱ ژولای ۲۰۰۱ را با فرض ارتباط بارش‌های سنگین ناشی از سامانه‌های همدید منطقه مدیترانه با بی‌هنجاری‌های همدید-دینامیک مورد مطالعه قرار دادند. مطالعه با استفاده از داده-های بازسازی شده ECMWF بی‌هنجاری‌های همدید-دینامیک از طریق تابع توزیع تجمعی در ماه‌های ژولای-آگوست در دوره آماری ۱۹۵۸-۲۰۰۲ مورد بررسی قرار گرفت. در طول چرخند-زائی، بی‌هنجاری‌های چشمگیری که با فرآیندهای مکمل جفت[4] شدن قائم بین منطقه جبهه پائینی و چرخندگی حداکثر بالائی توام هستند، شناخته شده‌اند. چرخندزائی در منطقه مورد مطالعه، بر اساس طبقه بندی پترسن[5] از نوع B تشخیص داده شد و در تمام طول چرخندزائی مشاهده گردید که بی‌هنجاری‌ها با فرآیندهایی همراه بودند که مکمل جفت شدن قائم بین منطقه جبهه‌ای پائینی و تاوائی حداکثر بالائی هستند که عموماً شامل: بی‌هنجاری بالائی در فرارفت تاوائی چرخندی در منطقه جبهه‌ای، بی‌هنجاری عمیق قائم در فرارفت سرد در منطقه جبهه‌ای، بی‌هنجاری در گرادیان نصف النهاری دما در منطقه جبهه‌ای و بی‌هنجاری بالائی در سرعت افقی باد در پیشانی ناوه بالائی هستند.

وبر و همکاران (۲۰۰۷) به مطالعه رشد سیکلون و رخداد توفان با استفاده از مفهوم نظری شاخص DSI پرداخته‌اند و بر اساس نتایج پژوهش آنها تغییرات اندازه DSI همزمان با توسعه و زوال تاوه‌ها امکان تشخیص زود هنگام توفانها را فراهم می‌سازد و می‌تواند بعنوان یک شاخص تشخیصی مورد استفاده قرار بگیرد. همچنین این شاخص قابلیت تعقیب[6] توفانها و بصری نمودن شدت و ضعف آنها را دارد.

باناکاس و همکاران (۲۰۰۵) به مطالعه استفاده از همگرایی جریان رطوبت برای پیش بینی و پیش یابی بارشهای همرفتی پرداخته‌اند. بر اساس نتایج این پژوهش همگرایی جریان رطوبت سطحی مستقیماً به میدان همگرایی افقی جرم توده هوا مرتبط بوده و امکان تاثیر گسترده همگرایی جریان رطوبت بر لایه‌های مرزی میان مقیاس بین توده‌های مختلف هوا در نزدیکی سطح زمین را فراهم نموده و می‌تواند از طریق داده‌های سطحی و فضای شبکه‌ای مناسب در تحلیلهای شبکه‌ای و مدلهای عددی نشان داده شود. اگرچه تاثیر لایه‌های مرزی در ایجاد

1. Meridional temperature gradient
2. Thermal advection
3. Vertical wind speed in p-system
4. Couple
5. Petterssen
6. Track

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

همرفت عمیق رطوبت توسط عوامل زیادی همچون عمق چرخش قائم و حضور انرژی پتانسیل در دسترس (cape) و مانع همرفتی (CIN) متاثر می‌شود. علاوه بر آن جت‌های سطح بالا و پایین تروپوسفر، جبهه زایی و برخی مکانیسمهای forcing ممکن است همگرایی افقی توده هوا را در بالای سطح زمین ایجاد کنند که قادر است صعود لازم برای بالا آوردن بسته‌های هوا را به سطح همرفت آزادشان برساند بی‌آنکه به لایه مرزی ارتباط داشته باشد.

نیمان و همکاران (۲۰۰۹) به بررسی جریان بخار آب به عنوان ابزاری برای پیش بینی بارش پرداخته‌اند. در این پژوهش به ادغام داده‌های باد مشاهده شده و مقادیر بخار آب به منظور برآورد مقدار انتقال بخار آب پرداخته شده است. بر اساس نتایج این پژوهش بین مولفه افقی باد و مقدار بارشهای کوهستانی و بین ارتفاع جت سطح پایین و افزایش انتقال بخار آب در پیشانی یک جبهه سرد سیکلون همبستگی وجود دارد.

مواد و روش ها

به منظور تحلیل دینامیکی و بررسی مکانیسم رخداد بارش‌های سیل آسا ناشی از سامانه سودانی در حوضه کارون، از داده‌های دوباره پردازش شده JRA25[1] استفاده شده است. داده‌ها برای تعداد ۱۱ مورد توفان در بازه زمانی (۱۹۵۸-۲۰۰۸) که با استفاده از اطلاعات ایستگاههای سینوپتیک جنوب غرب ایران انتخاب گردیدند، استخراج و مورد بررسی قرار گرفته‌اند. آمار بارش تعدادی از ایستگاه‌های منتخب در هنگام توفان‌های مورد مطالعه در جدول شماره ۱ ارائه شده است. داده‌ها در چهار ساعت متداول ۰۰، ۰۶، ۱۲ و ۱۸، و برای ۸ سطوح ارتفاعی ۱۰۰۰ تا ۳۰۰ هکتوپاسکال استخراج گردیده است. هر شبکه شامل داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیلی،دمای هوا، نم ویژه، مولفه‌های مداری و نصف النهاری باد، افت دمای شبنم[2] و . . . بوده و از ژانویه ۱۹۷۹ تا حال حاضر دسترسی به داده‌ها امکان پذیر است.

پس از استخراج داده‌های اولیه ازپایگاه JRA25 در گام نخست در محیط سیستم عامل لینوکس، فرمت داده‌ها از Grib[3] به فایل دودویی[4] تغییر داده شد. برای بررسی تغییرات ترمودینامیکی و دینامیکی سامانه مورد مطالعه و تحلیل نحوه تشکیل، چگونگی تقویت و تضعیف آنها، شبکه‌ای به مختصات ۱۰-۶۰ درجه شمالی و ۱۰-۶۰ درجه شرقی که مناطق

1. **J**apanese **R**e**A**nlysis **25**-Year (JRA25)
2. Dew point depression
3. **G**eneral **R**egularly distributed **I**nformation in **B**inary form (GRIB)
4. Binary

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

دریای سیاه، دریایی مدیترانه، دریای سرخ، کشورهای سودان و اتیوپی و البته کشور ایران را در بر دارد، انتخاب شده است.

سپس کمیت های دینامیکی تاوایی، تاوایی پتانسیل، تاوایی نسبی، فرارفت تاوایی، همگرایی و واگرایی، سرعت قائم در سیستم ارتفاعی و کمیتهای ترمودینامیکی نم ویژه، همگرایی نم ویژه، دمای پتانسیل، دمای پتانسیل معادل و دمای پتانسیل تر، در محیط برنامه نویسی فورترن ۷۷ نوشته و تعریف شدند. برای بررسی تغییرات زمانی داده‌ها بصورت گرافیکی از نرم افزار Grads استفاده شده است.

بحث و یافته‌های تحقیق

در این پژوهش، سامانه سودانی، به کم فشارهای حرارتی اطلاق می‌گردد که منشا آنها مناطق اطراف دریای سرخ بوده و خطوط کم فشار آنها جنوب دریای سرخ، منطقه سودان و اتیوپی را در بر می‌گیرد. این سامانه‌ها اغلب در فصل سرد از اتیوپی، سودان و دریای سرخ عبور کرده و در ادامه مسیر خود از شمال غرب، غرب، جنوب و جنوب غرب ایران نیز عبور کرده و سبب رخداد بارش‌های شدید در این مناطق می شوند. ویژگی مشترک همه این سامانه‌های همدیدی دینامیکی بارانزا، در کم فشارهای سطح زمین یا کم ارتفاع‌های سطوح بالا است.

بررسی‌های همدید نشان می‌دهند که در روزهای پیش از رخداد بارش در منطقه، یک ناوه عمیق در روی دریای مدیترانه شکل گرفته و از لحاظ موقعیت مکانی، دریای سرخ و غرب ایران در محور پشته این ناوه قرار گرفته‌اند. در ساعات بعد این ناوه به سمت شرق و عرضهای پایین‌تر پیشروی نموده است. همانطور که اشاره گردید، با تزریق هوای نسبتاً سرد عرضهای بالایی، به نیمه غربی کم فشار شبه ساکن روی منطقه سودان، این کم فشار حرارتی، دینامیکی شده و به این ترتیب سامانه‌ای ترکیبی موسوم به سامانه مدیترانه‌ای- سودانی تشکیل شده است. هنگام شروع و تداوم رخداد بارش، خطوط ژئوپتانسیلی در غرب ایران فشرده تر شده و محور ناوه بر روی دریای سرخ قرار گرفته است. جنوب غرب ایران که در موقعیت شرق ناوه قرار گرفته، شرایط بیشینه ناپایداری و دریافت بارشهای سنگین را تجربه می‌نماید. به تدریج و با تخلیه محتوای رطوبتی، سامانه بسیار تضعیف شده و با حرکت شرق سو، به تدریج از شرق و جنوب شرق ایران خارج شده است. نقشه‌های ۱ الف تا ب، مکان گزینی و تغییر موقعیت این ناوه را از زمان تکوین بر روی مدیترانه، حرکت شرق سوی آن و شکل‌گیری سامانه ترکیبی مدیترانه‌ای- سودانی را از پیش از رخداد توفان در منطقه، در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال نشان می‌دهد. همانطور که از شکل ۱ (الف)، مشخص است در ساعت ۰۰ utc روز چهارم فوریه ۱۹۹۵، ناوه

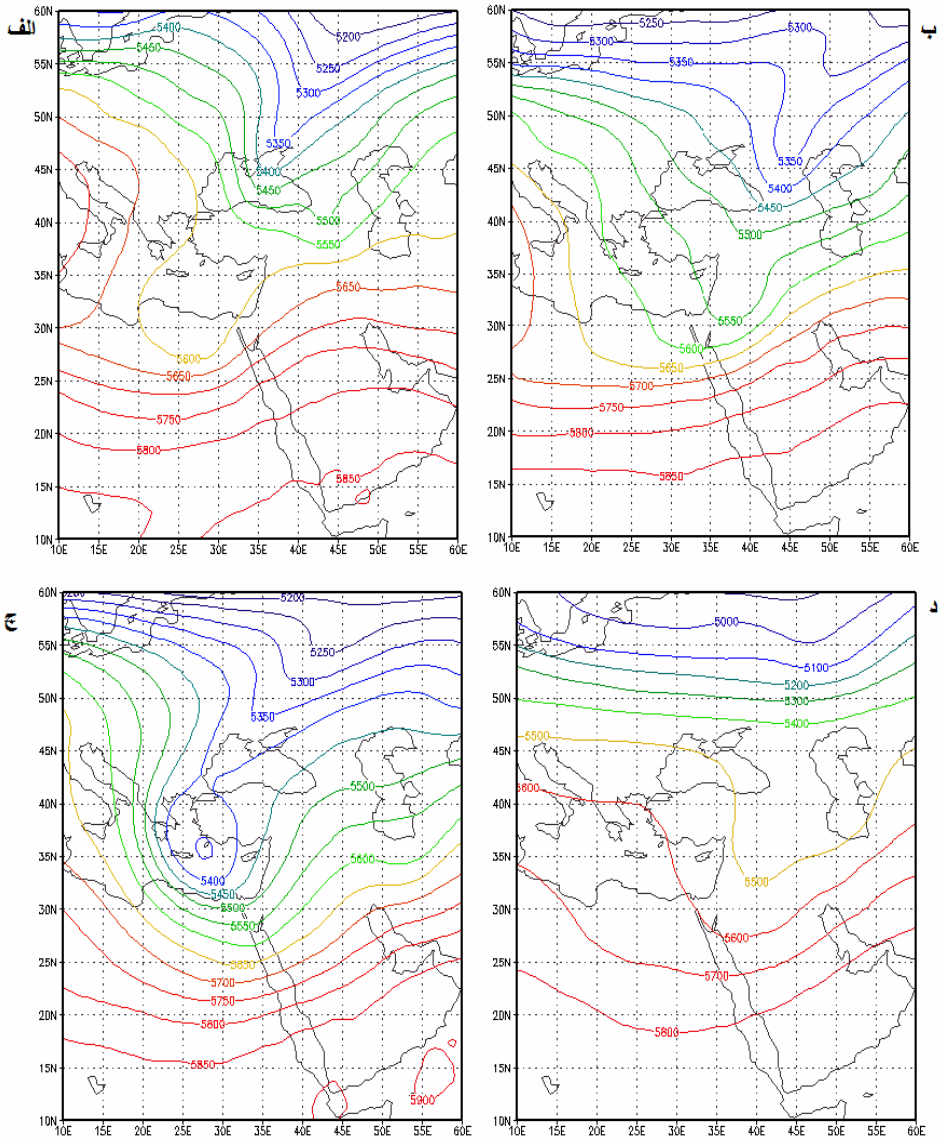
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

عمیقی بر روی مدیترانه و دریای سرخ شکل گرفته است و جنوب غرب ایران هنوز از این ناوه عمیق متاثر نشده و در منطقه پشته این ناوه قرار داشته و شرایط پایداری جوی و بدون بارندگی، در ایستگاههای منطقه ثبت شده است. در پایان همین روز (شکل ۱، ب) محور ناوه عمیق به عرضهای پایین‌تر کشیده شده و بر روی دریای سرخ مستقر شده است که با آغاز بارندگی در جنوب غرب ایران، بویژه ایستگاههای غربی‌تر همچون بستان و ایلام (برای مثال در ساعت ۶ utc روز پنجم فوریه، ۱۹۹۵، ۴۸ میلیمتر بارش در ایستگاه بارن سنج ثبات ایلام، ثبت شده است.) بوده است. محور این ناوه برای مدت حدوداً چهار روز بر روی دریای سرخ، استقرار یافته و از آنجا که غرب و جنوب غرب ایران، در شرق ناوه، قرار گرفته‌اند، بارش‌های قابل توجهی را دریافت کرده‌اند.

جدول (۱) آمار بارش ایستگاه‌های بارانسنج ثبات منطقه در توفان‌های مورد مطالعه

ایستگاه	اهواز	شوشتر	صفی آباد	بستان	دزفول	مسجد سلیمان	ایلام	دهلران	شهرکرد	کوهرنگ	خرم آباد	پل دختر	الیگودرز
مقدار بارش	9.1	7	⊗⊗⊗	1.6	7	9	38	8	18	81	30	16	۴۶
روز (مارس ۲۰۰۰)	24	25	⊗⊗⊗	23	24	24	24	23	25	24	24	24	۲۴
مقدار بارش	24	58	۳۳.۵	28	38	64	79	31.1	49	177	48	41	۴۳
روز (مارس ۲۰۰۵)	12	12	۱۲	12	11	12	11	11	12	12	12	11	۱۱
مقدار بارش(mm)	1.6	10	۲۸	24	31	24	59	5	40	102	52	⊗⊗⊗	۵۴
روز (مارس ۱۹۹۸)	29	29	۳۰	29	29	30	29	29	30	29	29	⊗⊗⊗	۲۹
مقدار بارش	1	7	۷.۲	4	9.4	13.4	23.4	0	5.4	39.1	12.7	3	۲۳
روز (آوریل ۲۰۰۸)	8	8	۸	8	8	8	9	⊗⊗⊗	9	9	8	9	9
مقدار بارش	37	71	۸۸	53	52	61	162	45	20.3	83	44	48	۵۷.۱
روز (فوریه ۲۰۰۶)	4	4	۴	4	4	4	3	3	4	4	4	4	۴
مقدار بارش	25	13	۲۳.۶	20	23.2	26	33	20	4	18.5	12.2	12	۸.۵
روز (ژانویه ۲۰۰۸)	11	11	۱۱	11	11	11	11	11	12	11	11	11	۱۱
مقدار بارش	24	20	۳۲	25	⊗⊗⊗	55	18	38	20	78	61	⊗⊗⊗	۲۰.۴
روز(دسامبر ۲۰۰۷)	7	8	۷	7	⊗⊗⊗	7	7	7	8	7	7	⊗⊗⊗	۷
مقدار بارش	36	38.5	۴۴	4	⊗⊗⊗	14.4	18.3	14	18	47	46	⊗⊗⊗	۲۳
روز (آوریل ۲۰۰۷)	12	12	۱۴	14	⊗⊗⊗	11	15	14	14	11	14	⊗⊗⊗	14
مقدار بارش	2.3	11	۱۷	8.2	16	8.4	48	32	20	51	21	⊗⊗⊗	12
روز (فوریه ۱۹۹۵)	5	5	۵	5	۵	5	5	5	5	5	5	⊗⊗⊗	5
مقدار بارش	24.6	30	۲۸	11.4	65	63	21.3	15	36	86	15	22	50
روز (ژانویه ۲۰۰۲)	7	7	۷	7	7	7	6	7	8	7	7	7	7
مقدار بارش	24.5	⊗⊗⊗	⊗⊗⊗	⊗⊗⊗	81	76	⊗⊗⊗	⊗⊗⊗	41	⊗⊗⊗	۶۰	⊗⊗⊗	⊗⊗⊗
روز (دسامبر ۱۹۸۵)	18	⊗⊗⊗	⊗⊗⊗	⊗⊗⊗	18	19	⊗⊗⊗	⊗⊗⊗	19	⊗⊗⊗	۱۸	⊗⊗⊗	⊗⊗⊗

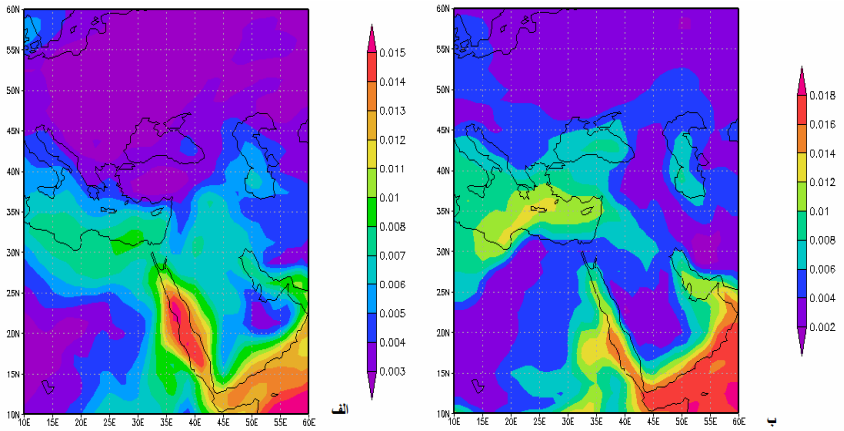
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]



شکل (۱) مکان گزینی ناوه سامانه ترکیبی مدیترانه‌ای- سودانی در ساعات مختلف تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، (الف) ساعت utc 00 روز 4 فوریه ۱۹۹۵ (ب) ساعت utc ۱۸ روز ۴ فوریه ۱۹۹۵ (ج) ساعت utc ۱۸ روز ۶ فوریه ۱۹۹۵ (ب) ساعت utc ۱۸ روز ۸ فوریه ۱۹۹۵

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

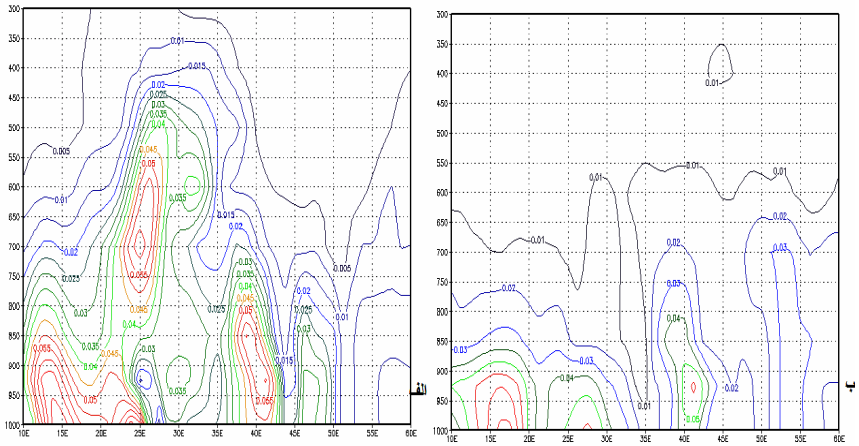
از آنجا که نم ویژه با افزایش ارتفاع، به شدت کاهش می‌یابد، از این رو بررسی این کمیت در ترازهای بالاتر از ۵۰۰ هکتوپاسکالی ضرورتی ندارد و در این پژوهش هم به بررسی مقادیر نم ویژه در سطوح ۷۰۰ هکتوپاسکال و پائین‌تر و در ارتباط با موقعیت سامانه پرداخته شده است. بررسی نقشه‌های نم ویژه تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال نشان می‌دهد که بیشینه نم ویژه بر روی دریای سرخ قرار داشته و در حقیقت منبع اصلی تامین کننده محتوای رطوبتی توفانهای جنوب غرب ایران، دریای سرخ بوده است. این مرکز بیشینه بتدریج با جابجائی شرق سوی محور ناوه، به شرق گسترده شده و از نظر موقعیت سطح زمین بر دریای عرب، خلیج عدن و خلیج فارس کشیده شده و همزمان با رخداد توفان، نوار باریکی از بیشینه نم ویژه در جنوب غرب ایران قرار می‌گیرد. (شکل ۲، الف و ب)



شکل (۲) مقادیر نم ویژه تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال (الف) ساعت ۰۰ utc روز ۴ فوریه ۱۹۹۵ و (ب) ساعت ۰۶ utc روز ۵ دسامبر ۲۰۰۷

به منظور بررسی اثر متقابل مقادیر بیشینه رطوبت و بزرگی باد، نقشه‌های فرارفت افقی نم ویژه بصورت نیمرخ قائم از تراز ۱۰۰۰ تا ۳۰۰ هکتوپاسکالی، در عرض جغرافیایی ۳۲ درجه شمالی و در زمان نزول بارش در منطقه تهیه شده است. مقادیر بیشینه فرارفت رطوبت در منطقه (بین طولهای جغرافیایی ۴۰ تا ۴۵ درجه شرقی) همزمان با بارندگی، مشهود است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

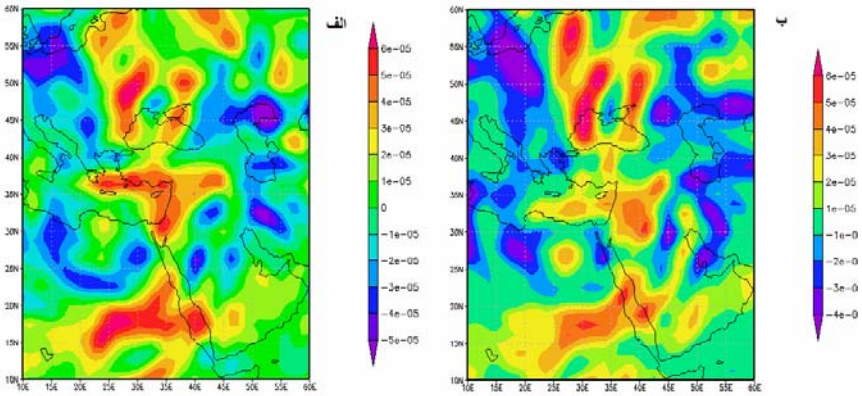


شکل (۳) مقاطع قائم فرارفت افقی نم ویژه (الف) ساعت ۰۰ utc روز ۴ فوریه ۱۹۹۵ و (ب) ساعت ۰۶ utc روز ۵ دسامبر ۲۰۰۷

تاوایی پتانسیلی در همه عرضهای جغرافیایی به تاوایی نسبی و مطلق وابسته است ولی از آنجا که در محاسبات این کمیت، مقادیر نم ویژه مورد توجه و محاسبه قرار نمی‌گیرد، لذا بنظر می‌رسد که استفاده از تاوایی پتانسیلی برای تعیین مسیر حرکت سامانه‌هایی همچون سامانه سودانی که با مرکز بیشینه نم ویژه همراه هستند، مناسب نباشد (مرادی و همکاران، ۱۳۸۷). بهمین دلیل در این پژوهش از روزهای پیش از شروع بارندگی تا زمان خاتمه بارش، به بررسی نقشه-های تاوایی نسبی در سطوح میانی جو، پرداخته شده است. بررسی نقشه‌های تاوایی نسبی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکالی نشان می‌دهد که موقعیت قرارگیری محور ناوه بر روی دریای سرخ و مقادیر کمیت تاوایی نسبی با یکدیگر منطبق‌اند بطوریکه همواره مقادیر بیشینه تاوایی نسبی ترازهای میانی با بخش شرقی ناوه این تراز که بر روی دریای سرخ و شرق مدیترانه قرار گرفته است، انطباق دارند. پیش از شروع بارندگی در جنوب غرب ایران و همانطور که اشاره شد در موقعیت محور پشته واقع بوده است، مقادیر کمینه تاوایی نسبی در شرق دریای سرخ و مناطق غربی و جنوب غربی کشور قابل ملاحظه است (شکل ۳-الف). در حالیکه با پیشروی شرق سوی ناوه دریای سرخ، مقدار تاوایی نسبی هم در شرق دریا و جنوب غرب ایران بطور محسوسی افزایش یافته و در روز رخداد بارش به بیشینه مقدار خود در جنوب غرب ایران افزایش یافته است. با عبور محور ناوه از منطقه و برقراری شرایط پایداری، مجدداً مقادیر تاوایی نسبی کاهش

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

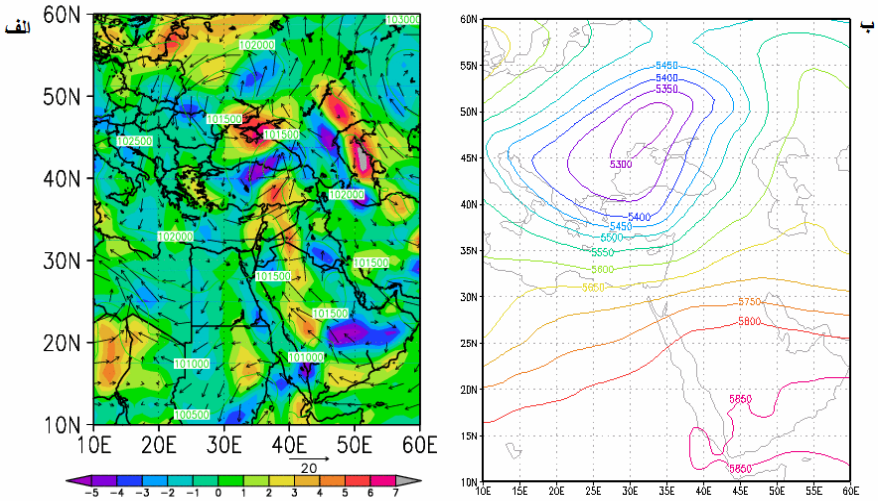
یافته است. همانطور که از شکل ۴ آشکار است، همزمان با رخداد بارش، مقدار تاوایی نسبی در مرکز منطقه مورد مطالعه به بالاترین مقدار خود (۴×۱۰^{-۵}) رسیده است.



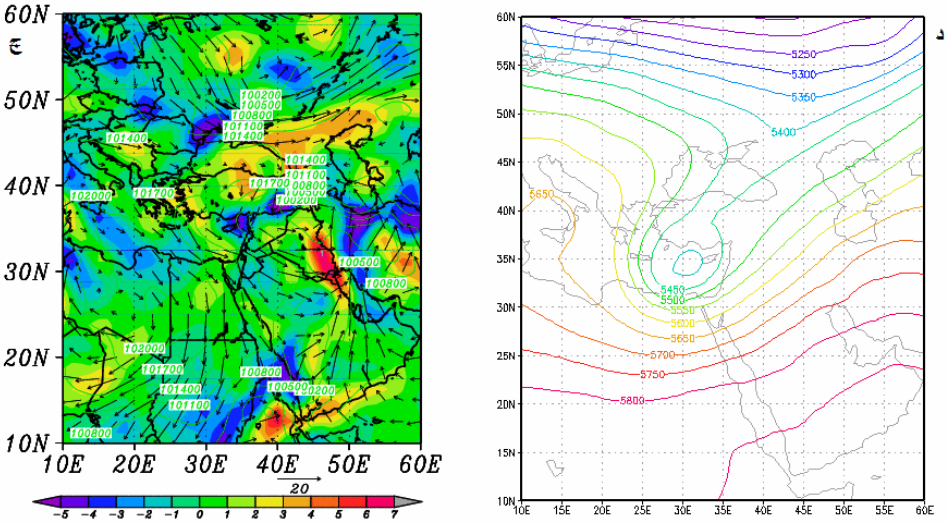
شکل (۴) تاوایی نسبی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال پیش از رخداد بارش (الف) ساعت 12 utc روز 17 دسامبر ۱۹۸۵ و هنگام رخداد بارش (ب) ساعت ۱۸ روز 17 دسامبر ۱۹۸۵.

بررسی همگرایی و واگرایی سطح زیرین (تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکالی) در منطقه، نشان می‌دهد که در روزهای پیش از شروع بارش در جنوب‌غرب ایران، بدلیل قرار گرفتن در محل پشته، واگرایی و در طول‌های جغرافیایی غربی‌تر همگرایی نسبتاً شدیدی مشاهده می‌شود که با گذر زمان و حرکت شرق‌سوی ناوه، همگرایی بیشینه (۶×۱۰^{-۵}) سطح ۱۰۰۰ هکتوپاسکالی در منطقه مورد مطالعه مشاهده می‌گردد. با بررسی نقشه‌های (ج، د) شکل ۵، می‌توان فهمید که که منطقه همگرایی از غرب دریای سرخ تا جنوب غرب ایران، با موقعیت شرق ناوه منطبق است. در حالیکه همانطور که از نقشه‌های (الف، ب) شکل ۵ پیداست، پیش از شروع بارش در ایران و قرار گیری منطقه مورد مطالعه در موقعیت پشته، در جنوب‌غرب ایران و منطقه دریای سرخ، واگرایی سطح زیرین (-۴×۱۰^{-۵}) قابل مشاهده است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]



شکل (۵) (الف) واگرایی سطح زیرین (۱۰۰۰ هکتوپاسکال) و جهت وزش باد دو روز پیش از شروع بارش در ایران در ساعت ۰۰ utc روز ۲۰ مارس ۲۰۰۰ (ب) موقعیت همزمان ناوه و پشته



شکل (۶) (ج) همگرایی سطح زیرین (۱۰۰۰ هکتوپاسکال) و جهت وزش باد هنگام شروع بارش در ایران در ساعت ۱۲ utc روز ۲۳ مارس ۲۰۰۰ (د) موقعیت همزمان ناوه و پشته

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

بحث و نتیجه گیری

همانطور که اشاره گردید ویژگی مشترک همه سامانه‌های همدیدی-دینامیکی بارانزی سودانی، در کم فشارهای سطح زمین یا کم ارتفاع‌های سطوح بالا است. بنابراین در تمام توفان-های مورد مطالعه، افت محسوس ارتفاع ژئوپتانسیلی، در همه سطوح قابل ملاحظه است. بررسی تاوایی نسبی تراز میانی در توفان‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که پیش از رخداد توفان دو مرکز بیشینه این کمیت با هسته‌های مرکزی (۵×۱۰^{-۵})، یکی در شرق دریای مدیترانه و دیگری در غرب دریای سرخ، روی کشور سودان قرار گرفته‌اند. در این زمان، مرکز کمینه تاوایی نسبی بر روی ایران مستقر بوده است. زبانه بیشینه مستقر بر روی دریای سرخ همراه با پیشروی شرق سوی ناوه، به صورت نوار باریکی به تدریج به ایران کشیده شده و مقادیر تاوایی نسبی بتدریج در جنوب غرب ایران افزایش یافته و در هنگام رخداد بارش به مقدار متوسط ($۲٫۵\times۱۰^{-۵}$) رسیده است. مجدداً با خاتمه بارش و استقرار شرایط پایدار جوی، مقادیر کمینه تاوایی نسبی در منطقه مورد مطالعه جایگزین شده‌اند. بررسی کمیت‌های همگرایی و واگرایی انطباق مکانی- زمانی و جابجایی این کمیت‌ها را در سطوح زیرین، با ناوه تراز میانی بخوبی نشان می‌دهد. همراه شدن جریان‌های باد با هسته‌های بیشینه نم ویژه در دریای سرخ، هم رطوبت لازم برای توفان‌های مورد مطالعه را تامین نموده تا با فراهم بودن همزمان عوامل دینامیک و رطوبت مورد نیاز، بارش‌های فراگیر در منطقه نازل شوند.

منابع و ماخذ

۱. آزادی، مجید، رضازاده، وکیلی (۱۳۸۲) **پیش‌بینی عددی سیستمهای زمستانی روی ایران: مطالعه مقایسه‌ای پارامترسازی‌های فیزیکی**، هشتمین کنفرانس دینامیک شاره ها، دانشگاه تبریز.

۲. احمدی گیوی، فرهنگ، محب‌الحجه، علیرضا، قرایلو، مریم (۱۳۸۲) **مطالعه دینامیک سامانه‌های چرخندی روی ایران از دیدگاه تاوایی پتانسیلی- مطالعه موردی آذر ۸۲** ، مجله فیزیک زمین و فضا، جلد ۳۲، شماره ۱، صص ۱-۱۳.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

۳. احمدی گیوی، فرهنگ و میرزایی محمد (۱۳۸۶) بررسی **جبهه‌زایی سطوح زبرین از دیدگاه تاوایی پتانسیلی بر روی خاورمیانه و ایران**، مجله نیوار، بهار و تابستان ۸۶، صص ۷۵-۵۹.

۴. اردکانی، حسین، زمانیان، محمدتقی، هاشمی‌دوین، مهری (۱۳۸۷) **مطالعه همدیدی و دینامیکی بیشترین بارش بر روی منطقه خراسان**، مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۳۴، شماره ۲، ۱۳۸۷، صص ۱۰۷-۱۲۳.

۵. حبیبی، فریده (۱۳۸۶) **آنالیز سینوپتیکی و دینامیک چرخندزائی روی مدیترانه**، نیوار، شماره ۶۳ و ۶۴، صص۷۶-۹۱.

۶. عزیزی، قاسم، اکبری ازیرانی، طیبه، داودی، محمود و اکبری، مهری (۱۳۸۸) **تحلیل همدیدی سرمای شدید دی ماه ۱۳۸۶**، فصلنامه پژوهشهای جغرافیای طبیعی، شماره ۷۰، زمستان ۸۸، صص ۱-۲۰.

۷. لشکری، حسن (۱۳۸۲) **الگوی سینوپتیکی بارشهای شدید در جنوب غرب ایران**، رساله دکتری جغرافیای طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس.

۸. محمدی، حسین، تقوی، فرحناز (۱۳۸۶) **روند شاخص های حدی دما و بارش در تهران**، مجله پژوهشهای جغرافیایی، دوره ۳۷، شماره ۱.

۹. مرادی، محمد، مشکواتی، امیرحسین، آزادی، مجید، علی اکبری بیدختی، عباسعلی (۱۳۸۷) **نقش تاوایی پتانسیلی هم ارز و تر در مسیریابی سامانه‌های سودانی** ، نیوار، بهار و تابستان ۱۳۸۷، صص ۳۳-۵۲.

۱۰. مشکواتی، امیرحسین، مرادی، محمد (۱۳۸۳) **بررسی ناوه فشاری دریای سرخ از دیدگاه دینامیکی**، مجله نیوار، شماره های ۵۲ و۵۳، صص ۵۳-۷۴.

۱۱. مشکواتی، امیرحسین، مرادی، محمد، مبارک حسن، الهام، غفاریان، پروین (۱۳۸۸) **تعیین ساختار الگوهای جوی و سامانه‌های آب و هوایی موثر بر شرایط آب و هوایی غرب ایران**، پژوهشکده هواشناسی، سازمان هواشناسی کشور.

۱۲. مفیدی، عباس (۱۳۸۳) **اقلیم شناسی سینوپتیکی بارش های سیل زا با منشا منطقه دریای سرخ در خاورمیانه**، فصلنامه تحقیقات جغرافیائی، ۷۵، ۷۱-۹۳.

۱۳. مفیدی، عباس و زرین، آذر (۱۳۸۴) **بررسی سینوپتیکی تاثیر سامانه‌های کم فشار سودانی در وقوع بارشهای سیل زا در ایران**، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

۱۴. نصیری، بهروز (۱۳۷۸) **تحلیل الگوی سینوپتیکی و دینامیکی بارش‌ها در حوضه-های کرخه و دز**، رساله دکتری جغرافیای طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس.

Banacos,Peter; Schultz, David, 2005, ***The use of moisture flux convergence in forecasting convective initiation: Historical & Operational Perspectives***, Forecaster's Forum, page 351.

Claußnitzer, A, et al, 2009, ***Analysis of quantitative precipitation forecasts using Dynamic State Index***, Atmospheric Research 94 (2009), 694-703.

Claußnitzer, A, et al, 2008, ***Scale-dependent analyses of precipitation forecasts and cloud properties using the Dynamic State Index***, Meteorologische Zeitschrift, Vol. 17, No. 6, 813-825.

Kaspar, M, et al, 2009, ***Cyclogenesis in the Mediterranean basin: a diagnosis using synoptic-dynamic anomalies***, Natural Hazards and earth system sciences 9 (2009), 957-965.

Kaspar, M, et al, 2010, ***Variants of synoptic-scale patterns inducing heavy rains in the Czech Republic***, Physics and chemistry of the earth 35 (2010), 477-483.

Muller, M, et al, 2009, ***Extremeness of meteorological variables as an indicator of extreme precipitation events***, Atmospheric Research 92 (2009), 308-317.

Muller, M, et al, 2009, ***Heavy rains and extreme rainfall-runoff events in Central Europe from 1951 to 2002***, Natural Hazards and earth system sciences 9 (2009), 441-450.

Neiman, P.J., White, A. B., Ralph, F. M., Gottas, D.J., Gutman, S. I., 2009, ***A water vapour flux tool for precipitation forecasting***, NOAA Research.

Weber, T, et al, 2007, ***Storm tracks and cyclone development using the theoretical concept of the Dynamic State Index (DSI),*** Tellus (2008), 60A, 1–10.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]