واکاوی تأثیر سامانه کم فشار سودانی بر بارش‌های رگباری ناحیه کوه پایه‌ای داخلی ایران

محسن فنودی *
دانشجوی دکتری آب و هواشناسی دانشگاه یزد، یزد، ایران
کمال امیدوار
استاد گروه جغرافیای طبیعی (آب و هوا شناسی) دانشگاه یزد، یزد، ایران
احمد مزیدی
دانشیار گروه جغرافیای طبیعی (آب و هوا شناسی) دانشگاه یزد، یزد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۹/۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۳/۳۱

چکیده
سامانه‌های همدیدی گوناگونی از قبیل پرفشار سیبری، کم‌فشار مدیترانه، کم‌فشار سودانی و موسمی هندوستان اقلیم ایران را تحت تأثیر خود قرار می‌دهند. در این پژوهش تغییرات فشار هسته مرکزی سامانه کم‌فشار سودانی برای پاسخ به این پرسش که آیا در دوره آماری این سامانه بر بارش‌های رگباری ناحیه کوهپایه‌ای داخلی ایران تأثیری داشته، مورد مطالعه قرار گرفت. در این مطالعه طی دوره ۳۰ ساله آماری ۱۹۸۵ الی ۲۰۱۴، آمار رگبارهای ایستگاه‌های همدید منطقه که توسط کدهای دیده‌بانی ۸۰ الی ۹۹ در این ایستگاه‌ها ثبت و گزارش می‌گردند، استخراج و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند و همچنین داده‌های فشار سطح دریا از مرکز پیش‌بینی محیطی آمریکا اخذ و طول و عرض جغرافیایی کانون تشکیل سامانه کم‌فشار سودانی، مورد واکاوی و مطالعه قرار گرفت. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که در فصل زمستان میانگین تعداد و مقدار بارش‌های رگباری در ایستگاه‌های همدید منطقه، در طول دوره آماری کاهش یافته و همچنین فشار هسته مرکزی سامانه کم‌فشار سودانی نیز نشان می‌دهد که در فصل زمستان دارای تغییرات معنی‌دار در راستای تضعیف عملکرد بارش رگبارها بوده و از تعداد و بارش آن‌ها کاسته شده است و از لحاظ مکانی در طول جغرافیایی آن تغییر معنی‌داری رخ نداده ولی عرض جغرافیایی آن به عرض‌های پایین‌تر منتقل شده است که جابجایی جنوب سوی آن می‌تواند فرآیند ادغام آن با سامانه‌های مدیترانه‌ای و در نتیجه بارش‌ها را تضعیف نماید. تغییرات در فشار هسته مرکزی کم‌فشار سودانی در پائیز، در راستای افزایش میزان بارش رگبارها علی‌رغم ثابت بودن تعداد رگبارها در منطقه مورد مطالعه است. طول جغرافیایی محل تشکیل هسته مرکزی سامانه کم‌فشار سودانی در پائیز دارای تغییرات معنی‌داری بوده است. همچنین این سامانه از لحاظ عرض جغرافیایی در فصل پاییز تغییرات معنی‌دار نداشته ولی علامت مثبت نشان می‌دهد که به سمت عرض‌های بالاتر و شرق متمایل شده است که موجب افزایش تأثیرگذاری این سامانه در فصل پائیز بر روی ناحیه کوه پایه‌ای داخلی ایران شده است.

واژگان کلیدی: **کم‌فشار سودانی، آزمون من کندال، بارش رگباری، ناحیه کوه پایه‌ای داخلی، ایران.**

* نویسنده مسئول: ۰۹۱۵۳۱٤۳۷۷۱ E-mail: mohsenfanoodi@yahoo.com

مقدمه

وقایع آب و هوایی از دیرباز زندگی بشر را تحت تأثیر قرار داده است. در سال‌های اخیر تغییر اقلیم که ناشی از فعالیت‌های انسانی و برخی عوامل طبیعی است به موضوعی جالب توجه برای اکثر محافل علمی مرتبط با هوا و اقلیم تبدیل شده است. افزایش دمای کره زمین سبب تغییرات عمده در اقلیم‌های سطح کره زمین و تغییرات مکانی ـ زمانی بارش، دما و سایر پارامترهای هواشناسی شده است. یکی از روش‌هایی که می‌توان با استفاده از آن مقوله تغییر اقلیم را مورد ارزیابی قرار داد، مطالعه آن از دیدگاه همدیدی و سامانه‌های جوی منطقه‌ای و جهانی است که ارتباط مستقیمی با مطالعات خشک‌سالی و ترسالی و وقوع آن در مناطق دارد. یکی از این سامانه‌ها، سامانهٔ کم فشار سودانی است که از عناصر سازنده گردش عمومی جو در نواحی جنوب غربی دریای سرخ، بین سودان و اتیوپی است و در بیشتر ایام سال بر روی غرب اتیوپی و کشور سودان تشکیل می‌شود. فرود دریای سرخ زبانه‌ای کم فشار و طویل از جنوب تا شمال دریای سرخ به سمت شرق مدیترانه در ترازهای پایین جو است و می‌تواند بر آب و هوای مجاور خود و از جمله ایران تأثیرگذار باشد (قائدی، ۱۳۹۱، ۸). وجود این سامانه از اوایل اکتبر تا پایان می بر روی منطقه مزبور ثابت باقی می‌ماند و با جریان‌های شرقی به‌ویژه در لایه‌های پایین وردسپهر از روی خلیج عدن و یا از نواحی شرق سومالی، هوای گرم و مرطوب خلیج عدن و غرب اقیانوس هند را به‌سوی مرکز کم فشار سودانی انتقال می‌دهد. این کم فشار در طی ماه‌های مزبور دارای شرایط گرمایی بوده و به‌صورت زبانه کم‌فشاری بین پرفشار مستقر بر روی شمال افریقا و پرفشار مستقر بر روی شبه جزیره عربستان به وجود می‌آید. هر چقدر چرخند های ایجاد شده توسط این کم فشار به عرض ۳۰ درجه نزدیک شود، بیشتر در مسیر بادهای غربی قرار می‌گیرد (جوانمرد، بداق جمالی و آسیایی، ۱۳۸۲، ۱۳۶). فعال شدن این سامانه ارتباط مستقیمی با ناوه شرق مدیترانه داشته و با توجه به دامنه آن، کم فشار مزبور می‌تواند به‌صورت یک ناوه برگشتی از دریای سرخ و یا به‌صورت موج کم فشار دینامیکی درآمده و با یک حرکت مورب به‌سوی نواحی جنوب غربی تا جنوب شرقی ایران انتقال یابد؛ بنابراین با آنچه که در بالا شرح داده شد، فعال شدن این سامانه از حالت ترمودینامیک به دینامیک و حرکت آن به‌سوی نواحی شمال یا شمال شرقی و تغذیه مناسب رطوبت به درون این سامانه سبب ایجاد بارش در نواحی نیمه جنوبی ایران می‌شود (پرک، روشنی و علیجانی، ۱۳۹۴، ۷۵).

بارش‌های ناشی از این سامانه نه تنها در ایران، بلکه در نواحی شرقی مدیترانه و حتی ترکیه تأثیرگذار است و مطالعات متعددی در خارج و داخل کشور، بر روی این سامانه انجام شده است. در خارج از کشور (آلپرت، نیمن و شی ایل، ۱۹۹۰، ۱۴۷۸) [1] با بررسی انجام داده در شرق مدیترانه نشان دادند که ناوه وارونه دریای سرخ، هوای گرم و مرطوب خلیج عدن و نواحی غربی شبه جزیره عربستان را به‌سوی نواحی شرق مدیترانه انتقال داده و با فعال شدن و تقویت کم فشار شرق مدیترانه بارش‌های بسیار شدید و سنگینی را بر روی نواحی اردن، فلسطین و اسرائیل ایجاد می‌کند. (بیتان و

1- Alpert, Neeman & Shay

سارونی، ۱۹۹۲، ۷۳۳)[1] با بررسی بادهای شدید بر روی فلسطین نشان دادند که در طی زمستان وجود پرفشار لایه زیرین شرق عربستان فرآیند تقویت و حرکت ناوه شرق مدیترانه را سبب می‌شود. (کیدرون و پیک، ۲۸۱،۲۰۰۰)[2] با بررسی توفان‌های همرفتی در بیابان نقبه نشان دادند که ناوه وارونه دریای سرخ در ایجاد بارش‌های سنگین و سیل‌آسای این منطقه در فصل بهار و پاییز نقش عمدهای داشته و بین ۸۳ تا ۱۰۰ درصد بارش سالانه صحرای نقبه توسط این فرآیند تأمین می‌شود. (دایان و ابرامسکی،۲۰۰۱، ۱۱۳۳)[3] در واکاوی توفان‌های شدید پاییزی منطقه شرق مدیترانه به این نتیجه رسیدند که ژرف شدگی ناوه لایه میانی وردسپهر در شرق مدیترانه و گسترش آن به عرض‌های جنوبی‌تر سبب تقویت جت جنب حاره در شمال شرق افریقا شده و در نتیجه ناوه وارونه دریای سرخ تقویت می‌شود. (آلپرت، ۲۰۰۴، ۱۰۱۳)[4] سامانه سودانی را حتی گاهی مهم‌ترین ساز و کار بارش زا در برخی از مناطق شرق مدیترانه دانست. در داخل کشور (مفیدی و زرین، ۱۳۸۴، ۱۱۳) تاریخچه‌ای از بررسی‌های انجام شده بر روی کم فشار سودانی را بیان کرده و سپس با توجه به ۱۸ مورد بارش سنگین با منشأ سودانی، الگوهای همدیدی حاکم در زمان وقوع طوفان‌ها را استخراج کردند. (امیدوار، ۱۳۸۶، ۸۱) با استفاده از داده‌های بارش روزانه ایستگاه هواشناسی، نقشه‌های همدیدی و داده‌های جو بالایی در یک دوره آماری ۲۰ ساله در منطقه شیرکوه یزد نشان داد که سه نوع سامانه همدیدی منطقه را تحت تأثیر قرار می‌دهد، الگوی نوع اول همراه با استقرار کم فشار سودانی روی شبه جزیره عربستان است. الگوی نوع دوم سیستم‌های ترکیبی سودانی- مدیترانه‌ای می‌باشند. این دو الگو به سبب تغذیه خوب رطوبت و دما از پهنه‌های آبی جنوب کشور و شرایط سینوپتیکی و ترمودینامیکی جوی مناسب‌تر، بارش‌های زیادتری را در منطقه فراهم می‌آورند. الگوی نوع سوم سیستم‌های مدیترانه‌ای می‌باشند که از رطوبت، ناپایداری و بارش کمتری برخوردارند. (گندم‌کار، ۱۳۹۱، ۱۶۱) در پژوهشی نشان داد که عامل اصلی بروز بارش‌های شدید و سیل زا در شهر اصفهان، ورود سامانه کم فشار سودانی از جنوب غرب کشور به این منطقه است که البته اگر شرایط صعود محلی مانند گرمای زمین همراه باشد، شدیدترین بارش‌ها در شهر اصفهان رخ می‌دهد. (لشکری، پژوه و بیتار، ۱۳۹۴، ۸۳) در بررسی الگوهای جوی در تحلیل همدید بارش تگرگ فراگیر غرب ایران نشان دادند که این رخداد، نتیجه گسترش سامانه کم فشار واقع بر روی دریای سرخ و سودان است، به‌طوری که در روز بارش تگرگ، غرب ایران جلوی ناوه قرار داشته و سامانه واچرخند بر روی دریای عرب سبب انتقال هوای گرم و مرطوب، با راستای جنوبی شمالی به درون منطقه شده و ضمن تقویت سامانه کم فشار سودانی شرایط مناسبی برای ایجاد ناپایداری و ریزش تگرگ فراهم کرده به صورتی که جریانات بالاسوی قوی هوای گرم و مرطوب را صعود داده و زمینه ایجاد ناپایداری‌های شدید را فراهم کرده است. مطالعه انجام شده توسط (پرک، روشنی و علیجانی، ۱۳۹۴، ۷۵) نشان می‌دهد سامانه‌های سودانی در ترسالی و خشک‌سالی نیمه جنوبی ایران نقش مهمی را ایفا می‌کند. بررسی نابهنجاری گرته‌های همدیدی در ماه‌های خشک و تر نشانگر دوگرته متفاوت حاکم

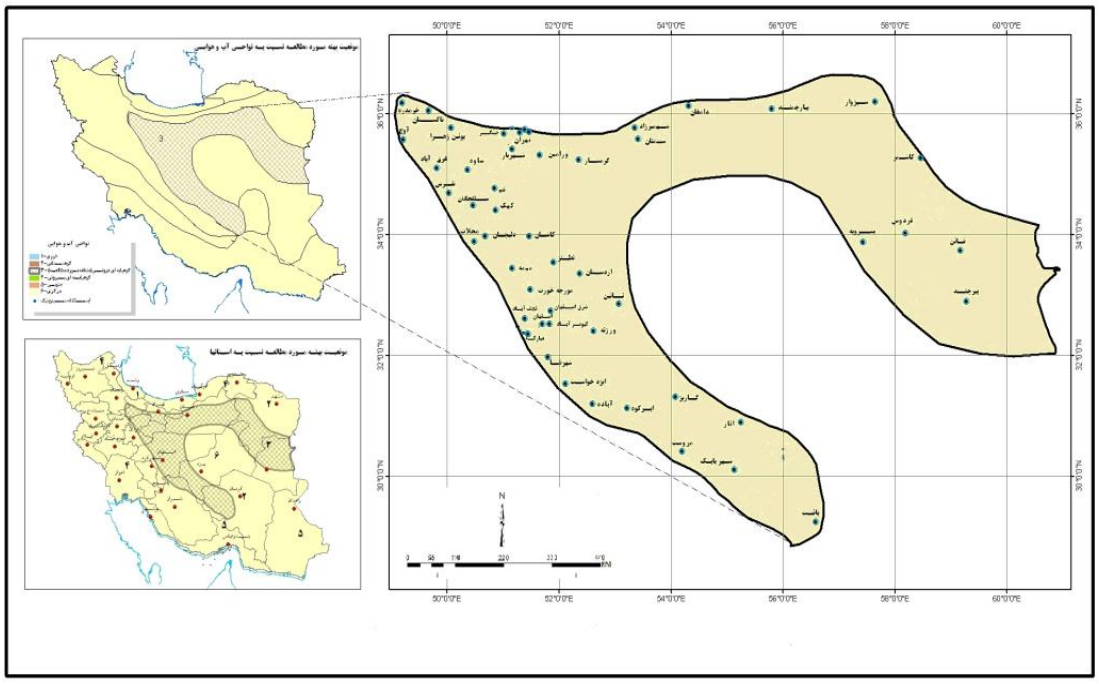
1- Bitan & Saaroni
2- Kidron & Pick
3- Dayan &Abramsky
4- Alpert

در منطقه است. در گرته ترسالی نشانگر عمیق بودن ناوه شرق مدیترانه و دینامیکی بودن سامانه‌های کم فشار سودانی است و حرکت شرق سوی سامانه سودانی سبب انتقال حجم وسیعی از شار رطوبت و شار گرمای نهان به نواحی جنوب و جنوب غرب ایران می‌شود که منجر به ریزش بارش‌های هم رفتی بسیار بالایی به میزان چهار برابر میانگین سالانه در جنوب و جنوب غرب ایران شده است. در گرته‌های خشک، سامانه سودانی چندان فعال نبوده و رطوبت به نحو شایسته‌ای از نواحی غرب اقیانوس هند به درون سامانه سودانی انتقال نمی‌یابد.

با توجه به آنچه که در مقدمه آمده است، به نظر می‌رسد که نقش سامانه باران‌زای سودانی در بارش‌های نیمه جنوبی و یا حتی نیمه شمالی ایران، مهم و قابل توجه است. ازاین‌رو که خشک‌سالی و ترسالی ایران متوجه این سامانه بوده و بررسی همدیدی آن، گرته‌های خشک‌سالی و ترسالی را مشخص می‌کند.

هدف این پژوهش، شناخت و آشکارسازی تغییرات مکانی و زمانی سامانه کم‌فشار سودان در ایران و بررسی تأثیر این سامانه بر بارش‌های رگباری ناحیه کوه پایه‌ای داخلی ایران می‌باشد.

محدوده مورد مطالعه شامل کوه پایه‌های داخلی سلسله جبال البرز و زاگرس در اطراف چاله‌های مرکزی است که به نام ناحیه کوه پایه‌ای داخلی ایران مشهور می‌باشد (علیجانی،۱۳۸۸، ۱۹۳). کوه‌پایه‌های داخلی ایران که جنوب رشته کوه‌های البرز و شرق رشته کوه‌های زاگرس را شامل می‌شود، به علت محصور شدن کوهستان‌های مرتفع البرز و زاگرس خشک‌تر و بری‌تر از سرزمین‌های کوهپایه‌ای بیرونی (شمال رشته کوه البرز و غرب رشته کوه زاگرس) هستند. بدین جهت علیرغم تشابه توپوگرافیک به دو ناحیه متمایز از همدیگر تقسیم شده‌اند. این ناحیه علاوه بر کوه‌پایه‌های زاگرس، کوه‌های منفرد مرکزی را نیز دربر می‌گیرد. مرز جنوبی آن به ارتفاعات کرمان که جزو ناحیه کوهستانی هستند، ختم می‌گردد. در کوهپایه‌های البرز نیز از تهران تا مرز افغانستان ادامه دارد. موقعیت منطقه مورد مطالعه در شکل (۱) نشان داده‌شده است.



شکل ۱: موقعیت محدوده مورد مطالعه در ایران و ایستگاه‌های همدید داخل آن محدوده منبع: نگارندگان

در داخل ایران منبع رطوبتی چشم‌گیری وجود ندارد. دریاچه‌ها و یا رودهای داخلی در حدی نیستند که بتوانند رطوبت بارش نواحی مجاور خود را تأمین کنند. این‌ها بیشتر به‌صورت محلی و در تغییر مقدار رطوبت نسبی و مطلق هوا تأثیر دارند در نتیجه رطوبت بارش‌های ایران بیشتر از منابع آبی مجاور مانند دریای خزر و آب‌های جنوبی و یا منابع آبی دور مانند دریای مدیترانه، اقیانوس هند، دریای عرب و دریای سرخ تأمین می‌شود. بخارآب این منابع به‌وسیله بادهای منطقه‌ای و غربی به ایران آورده می‌شود به‌طور کلی منابع عمده رطوبتی ایران عبارت‌اند از: دریای خزر، دریای مدیترانه، دریای سرخ، دریای سیاه، خلیج‌فارس، دریای عمان و خلیج بنگال که بخار آب آن‌ها از جهات مختلف توسط سامانه‌های گردش عمومی جوّ به ایران وارد می‌شود.

داده‌ها و روش‌ها

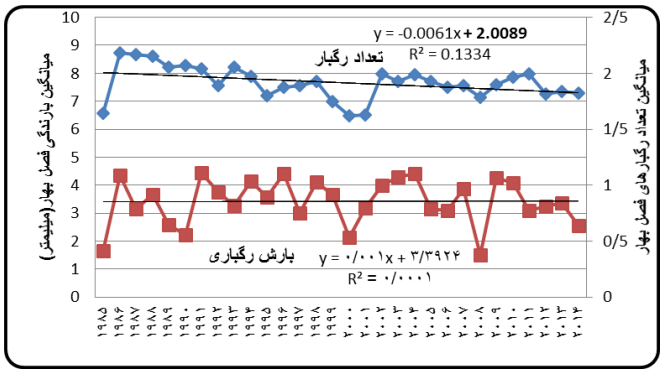
الگوهای گردش هوا بر اثر تکرار تغییرات پراکندگی فشار در طی زمان حاصل می‌شوند، بنابراین داده‌های اصلی آن فشار و جریان هوا و منبع اطلاعات، نقشه‌های هوا است. مطالعات اقلیم‌شناسی سینوپتیک به دو روش کمی و کیفی (دستی) انجام می‌شود. روش‌های کمی خود شامل چندین روش می‌باشند که عبارت‌اند از روش همبستگی، روش تحلیل بردار ویژه (شامل دو روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی[1] و روش تابع تجربی غیرهمبسته[2])، روش ترکیب، روش شاخص‌ها، روش فاصله‌ای (خوشه‌بندی) و روش تحلیل عاملی. در روش کیفی (دستی)، محقق نقشه‌های هوا را بررسی و اطلاعات مورد نیاز خود را از آن‌ها استخراج می‌کند و پردازش‌های بعدی مانند گروه‌بندی، میانگین‌گیری، ترسیم نقشه و نمودارها را

1- PCA (Principal Component Analysis)
2- EOF (Empirical Orthogonal Function)

انجام می‌دهد (علیجانی، ۱۳۹۲) منطقه مورد نظر در انجام این مطالعه محدوده بین خط استوا (صفر درجه) تا ۳۵ درجه شمالی و از ۲۵ درجه تا ۶۰ درجه شرقی بوده است. جهت واکاوی اثرات و ویژگی‌های مکانی- زمانی سامانه سودانی بر بارش‌های رگباری در منطقه مورد مطالعه، در این پژوهش از آمار رگبارهای ۵۰ ایستگاه همدید منطقه مورد مطالعه (دیده‌بانی کدهای ۸۰ الی ۹۹)، سری زمانی داده‌های فشار سطح زمین در طی سال‌های ۲۰۱۴-۱۹۸۵، همچنین نقشه‌های همدید سطح زمین و داده‌های فشار هسته مرکزی، مختصات جغرافیایی محل تشکیل آن‌ها استفاده گردید. بررسی تغییر و جابجایی این سامانه کمک بیشتری به تحلیل رگبارهای خواهد داشت، بنابراین با مراجعه به آرشیو مرکز پیش‌بینی محیطی امریکا (NCEP)[1] که یکی از مهم‌ترین پایگاه‌های داده‌های جوی تحت نظر مراکز اطلاع‌رسانی اداره جو و اقیانوس‌شناسی ملی آمریکا (NOAA)[2] است، نقشه‌های همدید فصل‌های مختلف دوره آماری مورد مطالعه از مرکز فوق دریافت شد. به‌منظور بررسی هر چه بهتر و دقیق‌تر مراکز الگوهای همدیدی تأثیرگذار بر بارش‌های رگباری منطقه مورد مطالعه برای هریک از الگوها، نقشه‌های سطح دریا جداگانه در محدوده جغرافیایی تشکیل آن در دوره آماری ۳۰ ساله ۱۹۸۵ الی ۲۰۱۴ میلادی و به تعداد فصل‌های مؤثر تهیه شد که بتواند با درصد بزرگ‌نمایی بالاتر نحوه تغییر سامانه‌ها را طی دوره آماری، مورد بررسی قرار دهد.

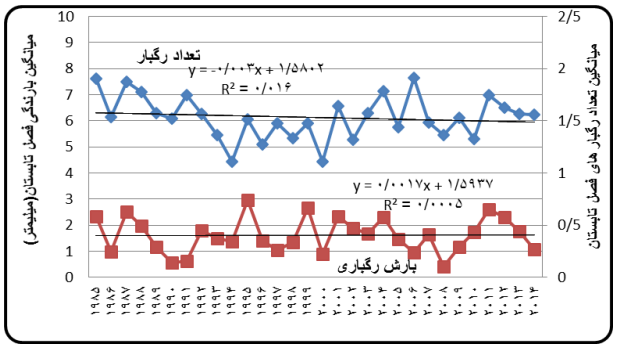
تعیین تعداد و مقدار بارش‌های رگباری در منطقه مورد مطالعه:

در منطقه مورد مطالعه (ناحیه کوه پایه‌ای داخلی ایران) از آمار و اطلاعات سازمان هواشناسی کشور، شامل دیده‌بانی‌ها در سطح ۵۰ ایستگاه همدید منطقه (کدهای ۸۰ تا ۹۹ که مربوط به رگبار و یا بارندگی‌های شدید همراه با رعد و برق است) در طول دوره آماری ۳۰ ساله ۱۹۸۵ الی ۲۰۱۴ استفاده گردید که در این دوره در سطح ۵۰ ایستگاه که در شکل (۱) موقعیت آن‌ها نشان داده‌شده است، تعداد ۱۹۳۳۲ رگبار گزارش شده است که میانگین تعداد رگبار و بارش حاصل از آن در ۳۰ سال دوره آماری به تفکیک فصول سال در اشکال (۲) تا (۵) نشان داده شده است.

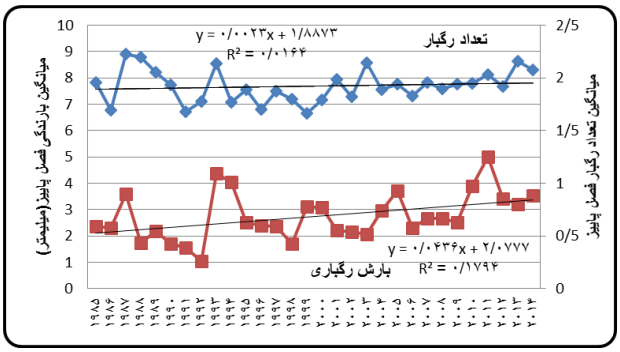


شکل ۲: نمودار میانگین تعداد رگبار و بارش آن در فصل بهار منطقه مورد مطالعه منبع: یافته‌های پژوهش

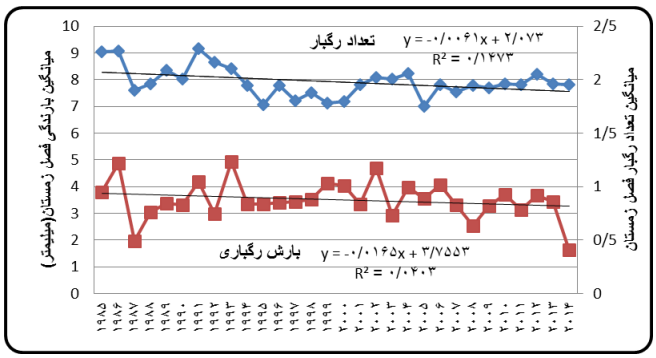
1 National Center for Environmental Prediction
2 National Oceanic and Atmospheric Administration



شکل ۳: نمودار میانگین تعداد رگبار و بارش آن در فصل تابستان منطقه مورد مطالعه منبع: یافته‌های پژوهش



شکل ۴: نمودار میانگین تعداد رگبار و بارش آن در فصل پاییز منطقه مورد مطالعه منبع: یافته‌های پژوهش



شکل ۵: نمودار میانگین تعداد رگبار و بارش آن در فصل زمستان منطقه مورد مطالعه منبع: یافته‌های پژوهش

آزمون تعیین روند من – کندال (MAN- Kendal Test)

آزمون نا پارامتری من– کندال که توسط من (۱۹۴۵) و کندال (۱۹۷۵) ارائه‌شده است بر پایه رتبه داده‌ها در یک سری زمانی استوار می‌باشد. این آزمون برای بررسی عدم وجود روند در مقابل وجود روند در سری‌های زمانی هیدرولوژیکی و هواشناسی مورد استفاده قرار می‌گیرد. مزیت این آزمون نسبت به سایر آزمون‌های تعیین روند، استفاده از رتبه داده‌ها در سری زمانی بدون در نظر داشتن مقدار متغیرهاست که به دلیل وجود چنین ویژگی می‌توان از این آزمون برای داده‌های دارای چولگی نیز استفاده کرد و داده‌ها نباید در قالب توزیع خاصی درآیند.

$$s = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^{n} \mathrm{sgn}(x_j - x_k) \quad (۱)$$

$$\mathrm{sgn}(x)=\begin{cases}+1 & if \quad (X_j - x_k) \succ 0\\ 0 & if \quad (X_j - x_k) = 0\\ -1 & if \quad (X_j - x_k) \prec 0\end{cases} \quad (۲)$$

در واقع در این آزمون هر داده با تمامی داده‌های پس از خود مقایسه می‌شود در این مرحله می‌توان بجای استفاده از مقادیر اصلی داده‌ها از مرتبه داده‌ها در مجموعه موردنظر (سری زمانی) استفاده کرد و مرتبه‌ها را به همین روش مقایسه نمود. با فرض این‌که داده‌ها مستقل بوده و توزیع یکنواخت دارند میانگین و واریانس از روابط ۳ و ۴ به دست می‌آید:

$$E(S)=0 \quad (۳)$$

$$\mathrm{var}(s)=\frac{n(n-1)(2n+5)-\sum_{i=1}^{m} t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad (۴)$$

در رابطه بالا: n تعداد داده‌ها، m تعداد گره‌ها و t تعداد داده در هر گره است.

منظور از گره این است که تعداد داده‌ها، بیشتر از یک یا بیشتر از تعداد داده فرض شده باشد. تعداد این مقادیر مساوی درگرو m ام، برابر t می‌باشد.

آماره این آزمون دارای توزیع نرمال بوده و از رابطه ۵ به دست می‌آید.

$$z=\begin{cases}\dfrac{s-1}{\sqrt{\mathrm{var}(s)}} & if \quad s \succ 0\\ 0 & if \quad s=0\\ \dfrac{s+1}{\sqrt{\mathrm{var}(s)}} & if \quad s \prec 0\end{cases} \quad (۵)$$

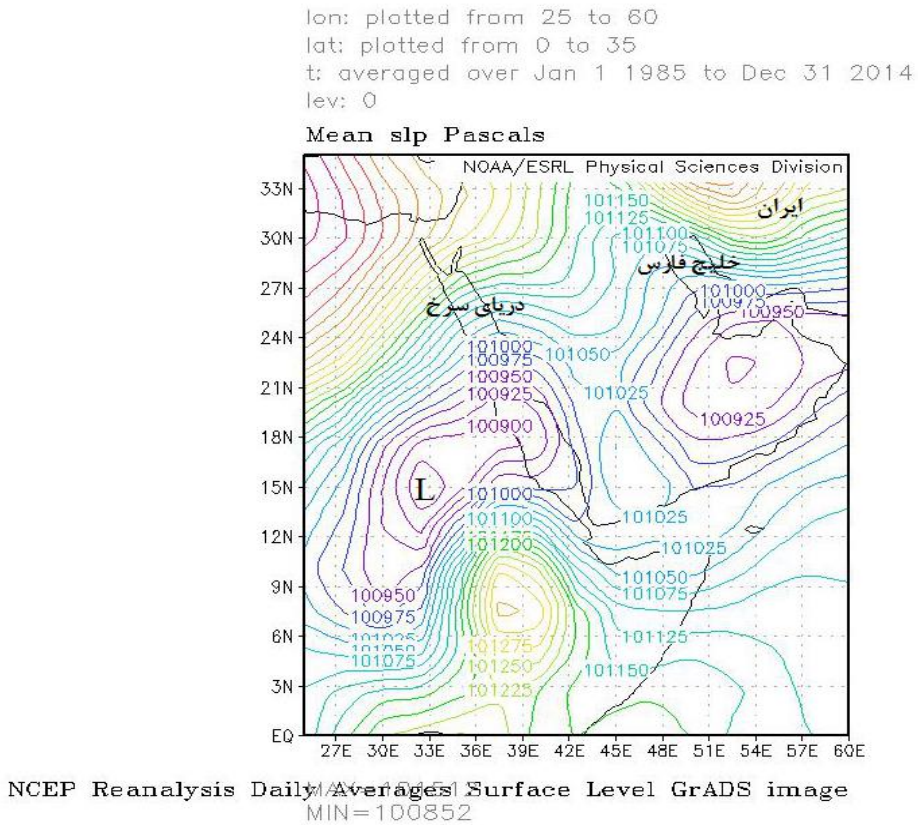
این آزمون، یک آزمون دوطرفه است بنابراین در صورتی که $|z| \le z_{\frac{\alpha}{2}}$ باشد در سطح اطمینان آلفا (α) فرض صفر پذیرفته می‌شود و در غیر این صورت فرض صفر رد خواهد شد. در حالت رد فرض صفر (وجود روند) در صورتی که $s>0$ سری زمانی دارای روند مثبت (صعودی) و در صورتی که $s<0$ سری زمانی دارای روند منفی (نزولی) خواهد بود. این بدین معنی است که در نتایج حاصله از اعمال آزمون من– کندال اعداد با علامت مثبت دارای روند افزایش و اعداد با علامت منفی روند کاهش و صفر نشان‌دهنده عدم وجود روند می‌باشد. لازم به یادآوری است که در این آزمون اعداد روند بین ۱/۹۶ ± معنی‌دار نیستند، اما اعداد خارج از بازه‌های ۱/۹۶ ± و ۲/۸۵ ± به ترتیب در سطح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد معنی‌دارند. در این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار طراحی شده این آزمون آماری که تحت برنامه اکسل قابل اجرا است به بررسی سامانه کم فشار سودانی و تأثیرگذاری آن بر ناحیه کوه پایه‌ای داخلی ایران طی دوره آماری ۳۰ ساله ۲۰۱۴–۱۹۸۵ پرداخته شد، بدین صورت که طول و عرض قرارگیری هسته مرکزی این سامانه در سال اول دوره مورد مطالعه تعیین و جابه‌جایی این هسته در سال‌های بعد نسبت به سال اول مقایسه گردید. به دلیل این‌که بررسی تغییرات مکانی و شدتی سامانه طی دوره مورد مطالعه، هدف اصلی این پژوهش بوده لذا داده‌های آماری مورد نیاز از نقشه‌های همدیدی دریافت شده از مرکز (NCEP) استخراج و با استفاده از نرم‌افزار این آزمون آماری، ضریب آماری تغییرات شدتی شامل ضریب تغییرات فشار هسته مرکزی سامانه و تغییرات مکانی شامل ضرایب تغییرات عرض جغرافیایی و طول جغرافیایی طی دوره آماری محاسبه شده است. بعد از به دست آوردن ضرایب آماری من–کندال، داده‌های به دست آمده

از نقشه‌ها به‌صورت نمودار تهیه و به بررسی تغییرات شدتی و مکانی سامانه کم‌فشار سودان در ناحیه کوه پایه‌ای داخلی ایران طی دوره آماری ۳۰ ساله (۲۰۱۴-۱۹۸۵) پرداخته شد.

یافته‌ها

از تجزیه و تحلیل آمار رگبار و بارش حاصل از دیده بانی ایستگاه‌های همدید منطقه که در شکل-های (۲) تا (۵) آمده است، ملاحظه می‌شود میانگین تعداد رگبارهای ۳۰ ساله در کلیه فصول سال ثابت و یا کاهش یافته است و همچنین مقدار بارش رگباری نیز در طی فصول سال (به استثنای پاییز)، ثابت و یا کاهش یافته است و تنها در فصل پاییز است که میانگین بارش رگبارها افزایش یافته است. در نتیجه در فصول سرد سال (پاییز و زمستان) است که تغییرات تعداد رگبار و بارش آن در ۳۰ ساله دوره آماری نسبت به سایر فصول قابل ملاحظه است.

در این پژوهش سامانه سودانی در دوره آماری ۲۰۱۴-۱۹۸۵ جابجایی هسته مرکزی کم‌فشار سودان، همچنین تغییرات فشار هسته مرکزی این سامانه در فصول پائیز و زمستان در سری زمانی ۳۰ ساله فوق که تأثیرگذاری بیشتری بر آب و هوای ایران دارد، مورد بررسی قرار گرفت. با دریافت نقشه‌های همدیدی سطح زمین از مرکز پیش‌بینی محیطی امریکا (NCEP) از لحاظ طول و عرض جغرافیایی محل تشکیل کانون هسته مرکزی آن در دوره آماری، مشخص شد که کم‌فشار سودانی در غرب منطقه مورد مطالعه دوره آماری ۱۹۸۵ الی ۲۰۱۴ تشکیل شده است (شکل ۶).



شکل ۶: محل تشکیل کانون کم‌فشار سامانه سودانی (منبع: www.esrl.noaa.gov)

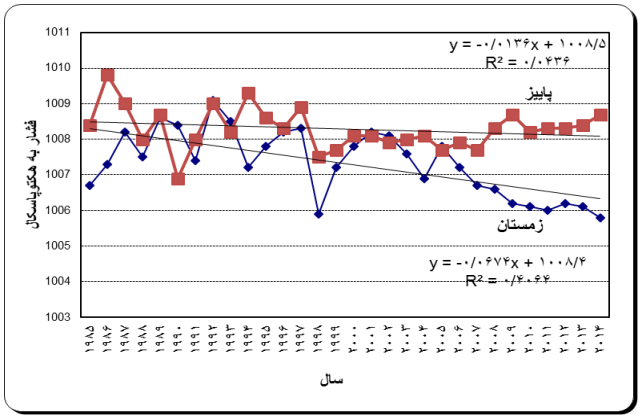
سامانه کم‌فشار سودانی در منطقه مطالعاتی در فصل تابستان به‌صورت حرارتی و در فصل‌های سرد سال (پائیز و زمستان) به‌صورت دینامیکی و در فصل بهار به هر دو صورت دینامیکی و حرارتی عمل می‌کند. سامانه مذکور به‌صورت یک منطقه همگرا به‌جانب غربی فلات اتیوپی و منطقه سودان ظاهر شده و پس از آن تحت تأثیر عوامل جوی، با عبور از روی دریای سرخ و شبه‌جزیره عربستان، ایران را تحت تأثیر قرار می‌دهد. با توجه به توضیحات فوق در این پژوهش، تغییرات مکانی و شدتی فشار در هسته مرکزی (کانون غربی) این سامانه در راستای طول و عرض جغرافیایی طی فصول پائیز و زمستان دوره آماری، مورد مطالعه و تحت بررسی قرار گرفت که نتایج آن در جدول (۱) آمده است.

جدول ۱: ضریب محاسبه شده من- کندال برای سامانه کم‌فشار سودانی طی دوره آماری ۱۹۸۵ الی ۲۰۱۴

ردیف	نام سامانه	فصل بیشترین تأثیرگذاری	ضریب من-کندال محاسبه شده برای فشار مرکزی	ضریب من-کندال محاسبه شده برای طول جغرافیایی	ضریب من-کندال محاسبه شده برای عرض جغرافیایی
۱	سودانی	پاییز	+۱/۲۱	+۲/۹۶	+۱/۵۶
۲	سودانی	زمستان	+۳/۹۲	+۰/۰۵۱	-۲/۳۵

منبع: یافته‌های پژوهش

در شکل (۷) تغییرات فشار هسته مرکزی این سامانه در فصول پائیز و زمستان در دوره آماری نشان داده شده است.

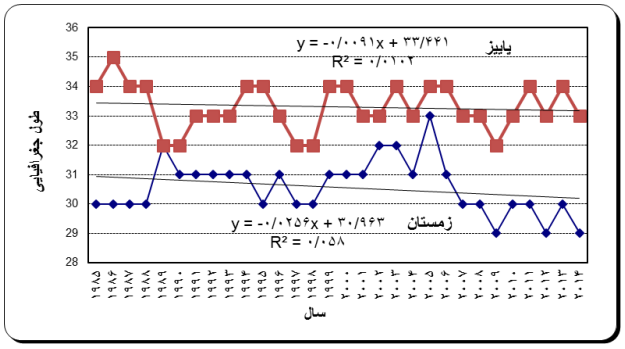


شکل ۷: تغییرات فشار هسته مرکزی کم‌فشار سودانی در فصول پاییز و زمستان ۱۹۸۵ الی ۲۰۱۴ منبع: یافته‌های پژوهش

در فصل پاییز این دوره آماری کمترین فشار هسته مرکزی سامانه کم‌فشار سودانی ۱۰۰۶/۹ هکتوپاسکال است که در سال ۱۹۹۰ میلادی اتفاق افتاده ولی بیشترین مقدار حدی فشار هسته مرکزی این سامانه در سری زمانی مورد مطالعه ۱۰۰۹/۸ هکتو پاسکال بوده است که در سال ۱۹۸۶ اتفاق افتاده است. هم‌چنین نکته حائز اهمیت در این بررسی تغییرات جزئی فشار در سال‌های آخر دوره آماری مورد مطالعه است، که فشار هسته مرکزی سامانه تغییرات چندانی نداشته است. بررسی انجام شده بر روی اطلاعات این سامانه به‌وسیله آماره من-کندال (جدول ۱) مشخص شد در فصل پائیز فشار هسته مرکزی تغییر معنی‌دار نداشته است ضریب عددی ۱/۲۱+ حاصل شده که در بازه تغییرات معنی‌دار قرار ندارد.

در فصل زمستان سری زمانی مورد مطالعه، فشار هوا در هسته مرکزی سامانه سودانی ضمن نوسانات متعدد روند کاهشی داشته است. (شکل ۷) فشار این هسته در سال ۲۰۱۴ کمترین مقدار خود را در دوره آماری داشته و به ۱۰۰۵/۸ هکتوپاسکال رسیده و بالاترین مقدار فشار نیز در سال ۱۹۹۲ مشاهده می‌شود. میانگین فشار هوا در هسته مرکزی این سامانه در زمستان سال مذکور به ۱۰۰۹/۱ هکتوپاسکال رسیده است. ضریب محاسبه شده آماره من- کندال برای تغییرات فشار هسته مرکزی جدول (۱) در فصول زمستان عدد ۳/۹۲+ را نشان می‌دهد، که تغییرات معنی‌دار با ضریب اطمینان ۹۹ درصد را نشان می‌دهد و حاکی از روند کاهشی فشار هسته مرکزی طی فصول زمستان دوره آماری مورد مطالعه است. فشار هسته مرکزی این سامانه در هر سال بر اساس این سری زمانی به اندازه ۰/۰۶ هکتوپاسکال کاهش داشته است. این کاهش فشار در هسته مرکزی سامانه کم‌فشار سودانی در فصل زمستان موجب تضعیف فعالیت جبهه‌زایی و گسیل سیکلون شده و در نتیجه اثرات بارشی آن بر روی منطقه مورد مطالعه کاهش یافته است.

بررسی تغییرات مکانی هسته مرکزی فشار این سامانه در سری زمانی در راستای طول و عرض جغرافیایی در فصول پاییز و زمستان در دوره ۳۰ ساله مورد مطالعه، در شکل‌های (۸) و (۹) نشان داده شده است.

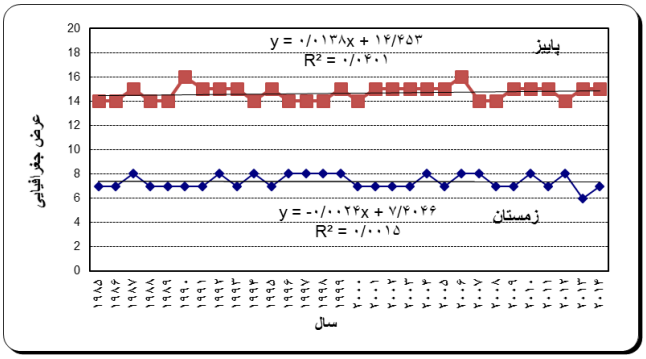


شکل ۸: تغییرات طول جغرافیایی هسته مرکزی کم‌فشار سودانی در فصول پائیز و زمستان ۱۹۸۵ الی ۲۰۱۴ منبع: یافته‌های پژوهش

در فصل پاییز مطابق شکل (۸)، این سامانه در سال‌های ۱۹۸۹، ۱۹۹۰، ۱۹۹۷، ۱۹۹۸ و ۲۰۰۹ در طول ۳۲ درجه شرقی واقع شده است که کمترین طول جغرافیایی محل استقرار کانون مرکزی این سامانه در دوره آماری مورد مطالعه بوده است اما بیشترین مقدار جابجایی طولی این سامانه ۳۵ درجه شرقی است که در سال ۱۹۸۶ اتفاق افتاده است. همچنین ضریب آماره من-کندال برای تغییرات طولی طبق جدول (۲) عدد ۲/۹۶+ می‌باشد که به سمت شرق جابجا شده و بیانگر این مطلب است که سامانه مذکور در دوره آماری مورد مطالعه با سطح اطمینان ۹۹ درصد به سمت شرق جابجا شده است.

در فصل زمستان بررسی تغییرات مکانی سامانه کم‌فشار سودان طی سری زمانی نشان می‌دهد این سامانه جوی در تغییرات طول جغرافیایی دچار جابجایی تقریباً یکنواخت بوده است. هسته مرکزی این سامانه در سال‌های ۲۰۰۹، ۲۰۱۲ و ۲۰۱۴ در کمترین طول جغرافیایی واقع شده و در سال مذکور محل استقرار هسته مرکزی سامانه ۲۹ درجه شرقی است و بالاترین طول جغرافیایی محل استقرار ۳۳ درجه شرقی بوده که در سال ۲۰۰۵ میلادی حادث شده است (شکل ۸).

ضریب آماره من-کندال برای جابجایی طولی سامانه عدد ۰/۰۵۱+ را طبق جدول (۱) نشان می‌دهد که گویای عدم تغییر معنی‌دار می‌باشد.



شکل ۹: تغییرات عرض جغرافیایی هسته مرکزی کم‌فشار سودان در فصول پائیز و زمستان ۱۹۸۵ الی ۲۰۱۴ منبع: یافته‌های پژوهش

در فصل پاییز از لحاظ جابجایی عرضی کمترین عرض جغرافیایی محل استقرار سامانه طبق شکل (۹) عرض ۱۴ درجه شمالی و بالاترین عرض جغرافیایی محل واقع شدن این سامانه ۱۶ درجه شمالی بوده است. ضریب آماره من-کندال برای تغییرات عرضی این سامانه طبق جدول (۱) عدد ۱/۵۶+ است. این سامانه از لحاظ عرض جغرافیایی تغییرات معنی‌دار نداشته ولی علامت مثبت نشان می‌دهد به سمت عرض‌های بالاتر متمایل شده هر چند که این حالت معنی‌دار نیست.

در فصل زمستان تغییرات عرض جغرافیایی این سامانه نیز در شکل (۹) مشخص شده است. تغییرات عرضی این سامانه بین سه درجه در نوسان بوده به‌طوری‌که بالاترین عرض جغرافیایی این سامانه در ۸ درجه شمالی واقع شده و کمترین عرض جغرافیایی ۶ درجه شمالی بوده که در سال‌های متمادی این عرض جغرافیایی تکرار شده است. اما ضریب آماره محاسبه شده برای تغییرات عرضی این سامانه طبق جدول (۱) عدد ۲/۳۵- را نشان می‌دهد که تغییر معنی‌داری را با سطح اطمینان ۹۵ درصد متحمل شده و علامت منفی ضریب نشان‌دهنده جابجایی این سامانه به سمت عرض‌های پایین‌تر است. این وضعیت موجب کاهش اثرگذاری این سامانه بارشی بر روی منطقه مورد مطالعه می‌گردد.

نتیجه‌گیری

از تجزیه و تحلیل آمار رگبار و بارش حاصل از دیده‌بانی ۵۰ ایستگاه همدید منطقه مورد مطالعه (ناحیه کوه پایه‌ای داخلی ایران) در فصول سرد (پاییز و زمستان) سری زمانی ۳۰ ساله ۱۹۸۵ الی ۲۰۱۴، ملاحظه می‌شود که میانگین تعداد رگبارهای ۳۰ ساله در فصل پاییز ثابت مانده و در فصل زمستان کاهش یافته است و همچنین مقدار بارش رگباری نیز در طی فصل زمستان کاهش یافته و فقط در فصل پاییز افزایش یافته است. نتیجه بررسی اثرگذاری سامانه کم‌فشار سودانی نشان می‌دهد که هسته سامانه کم‌فشار سودانی در فصل پائیز دوره آماری تضعیف‌شده و همچنین به سمت شرق و عرض‌های بالاتر نیز جابجا شده است که جابجایی آن به سمت عرض‌های بالاتر محل تشکیل اولیه، هر چند معنی‌داری

نیست اما با سطح اطمینان ۹۹ درصد به سمت شرق انتقال یافته است. همچنین جابجایی آن به سمت شرق و تمایل آن به عرض‌های بالاتر موجب افزایش تأثیرگذاری این سامانه در فصل پائیز بر روی ناحیه کوه پایه‌ای داخلی ایران شده است. اثر تأثیرگذاری سامانه سودانی در زمستان بر روی منطقه مورد مطالعه کاسته شده و فشار هسته مرکزی آن حدود ۱/۹ هکتوپاسکال طی ۳۰ سال افزایش داشته است. از لحاظ مکانی در طول جغرافیایی آن تغییر معنی‌داری رخ نداده ولی عرض جغرافیایی آن به عرض‌های پایین‌تر منتقل شده است. جابجایی جنوب سوی آن می‌تواند فرآیند ادغام آن با سامانه‌های مدیترانه‌ای را تضعیف نماید اما در هر حال مهم‌ترین عامل در فعالیت بارشی یک سامانه، فشار هسته مرکزی آن می‌باشد که در این سامانه تضعیف معنی‌داری را نشان می‌دهد. به‌طور خلاصه می‌توان گفت:

۱- با بررسی آمار رگبارهای ناحیه کوه پایه‌ای داخلی ایران که مطابقت خوبی با بررسی داده‌های فشار هسته مرکزی کم فشار سودانی دارد، می‌توان نتیجه گرفت که تضعیف کم فشار سودانی در کاهش بارش‌های دامنه‌ای سهم دارد؛

۲- جابجایی جنوب سوی سامانه کم‌فشار سودانی، فرآی‌ند تلف‌ی‌ق ای‌ن سامانه با کم‌فشار مدی‌ترانه را تضع‌ی‌ف نموده و منجر به کاهش بارش‌های رگباری این سامانه در ناحیه کوه پایه‌ای داخلی ایران شده است.

منابع

۱- اسمعیل نژاد، مرتضی (۱۳۹۲): پردازش داده‌های اقلیمی، چاپ اول، تهران، انتشارات فکر بکر

۲- امیدوار، کمال (۱۳۸۶): بررسی و تحلیل شرایط سینوپتیکی و ترمودینامیکی رخداد بارش در منطقه شیرکوه یزد، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۹، صص ۹۸-۸۱.

۳- امیدوار، کمال (۱۳۹۲): آب و هواشناسی همدیدی، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه یزد.

۴- پرک، فاطمه و روشنی، احمد و علیجانی، بهلول (۱۳۹۴): واکاوی همدیدی سامانه کم فشار سودانی در رخداد ترسالی‌ها و خشک‌سالی‌های نیمه جنوبی ایران، جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره پانزدهم، صص ۹۰-۷۵.

۵- جوانمرد، سهیلا و بداق جمالی، جواد و آسیایی، مهدی (۱۳۸۲): بررسی همبستگی تغییرات فشار قزاقستان-دریای عمان با نوسان‌های بارش ایران، فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۷۱، صص ۱۵۰-۱۳۶.

۶- جوانمرد، سهیلا و آسیایی، مهدی (۱۳۸۳): فرهنگ اصطلاحات هواشناسی و اقلیم‌شناسی، چاپ اول، مشهد، انتشارات سخن گستر.

۷- علیجانی بهلول (۱۳۸۸): آب و هوای ایران، چاپ نهم، تهران، انتشارات دانشگاه پیام نور.

۸- علیجانی بهلول (۱۳۹۲): اقلیم‌شناسی سینوپتیک، چاپ ششم، تهران، انتشارات سمت.

۹- قائدی، سهراب (۱۳۹۱): بررسی همدید فرود دریای سرخ و تأثیر آن بر بارش ایران، رساله دکتری اقلیم‌شناسی دانشگاه اصفهان، اساتید راهنما: موحدی، سعید و مسعودیان، ابوالفضل، ص ۸.

۱۰- قویدل رحیمی، یوسف (۱۳۸۹): نگاشت و تفسیر سینوپتیک اقلیم با استفاده از نرم‌افزار گردس، چاپ اول، تهران، انتشارات سها دانش

۱۱- کاویانی، محمد رضا و علیجانی، بهلول (۱۳۸۸): مبانی آب و هواشناسی، چاپ پانزدهم، تهران، انتشارات سمت.

۱۲- گندمکار، امیر (۱۳۹۱): مدیریت بحران وقوع سیل در شهر اصفهان با استفاده از سامانه‌های جوی، فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۷، شماره دوم، شماره پیاپی ۱۰۵، شماره مقاله ۸۶۰، صص ۱۸۱۷۵-۱۸۱۶۱.

۱۳- لشکری، حسن و پژوه، فرشاد و بیتا، محمد (۱۳۹۴): تحلیل همدید بارش تگرگ فراگیر در غرب ایران، فصل‌نامه علمی پژوهشی فضای جغرافیایی، شماره پانزدهم، صص ۸۵-۸۳.

۱۴- مفیدی، عباس و زرین، آذر (۱۳۸۴): بررسی سینوپتیکی تأثیر سامانه کم فشار سودانی در وقوع بارش‌های سیل زا در ایران، فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۷۷، صص ۱۳۶-۱۱۳.

15- Alpert, P., Neeman, B. U., & Shay-El, Y. (1990): Intermonthly Variability of Cyclone Tracks in the Mediterranean. Journal of Climate, 3, 1474–1478.

16- Alpert, P, Etal (2004): A New Season Definition Based on Classified Daily Synoptic System: An Example for the Eastern Mediterranean. Int. J.Climatol. Vol. 24, Pp.1013- 1021

17- Bitan, A., & Saaroni, H. (1992): The Horizontal and Vertical Extension of the Persian Gulf Pressure Trough. International Journal of Climatology, 12, 733-747.

18- Dayan, U., & Abramsky, R. (1983): Heavy Rain in the Middle East Related to Unusual Jet Stream Properties.Bulletin of the American Meteorological Society, 64(10), 1133-1140.

19- Kidron, G.J.,& Pick, K. (2000): The Limited Role of Localized Convective Storms in Runoff Production in the Western Negev Desert. Journal of Hydrology, 229, 281-289

20- Yarnal, B (1993): Synoptic Climatology in Environmental Analysis: a Primer. UK, London: Belhaven.