نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال بیست و چهارم، شماره ۷۳، تابستان ۱۴۰۳

بررسی سیل استان گلستان از دیدگاه همدیدی و آماری (مطالعه موردی: اسفند ۱۳۹۷)

دریافت مقاله: ۹۹/۴/۱۱ **پذیرش نهایی**: ۹۹/۹/۸

صفحات:۲۳۳ -۲۱۰

اکرم هدایتی دزفولی: مربی گروه پژوهشی هواشناسی همدیدی و دینامیکی، هواشناسی، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، تهران، ایران.[1]
Email: Akram_hedayati@yahoo.com

زهرا قصابی: استادیار گروه پژوهشی پیش‌آگاهی مخاطرات جوی، هواشناسی، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، تهران، ایران.
Email: z.ghassabi@gmail.com

چکیده

سیل یکی از مخرب‌ترین بلایای طبیعی به‌حساب می‌آید و همه‌ساله خسارات گسترده‌ای را به منابع مالی و انسانی کشور وارد می‌آورد. بخش‌های عمده‌ای از کشور ایران، همواره در معرض خطر وقوع سیل قرار دارند. در این بین، حوضه آبریز گرگان و اترک از اهمیت بیشتری برخوردار است، به‌طوری‌که در سال‌های اخیر چندین مورد سیل مخرب در استان گلستان رخ داده که موجب تلفات انسانی و خسارت اقتصادی فراوانی شده است. هدف از این مطالعه بررسی و آشکارسازی شرایط اقلیمی، همدیدی و ترمودینامیکی حاکم بر رخداد سیل اسفند ۱۳۹۷ در استان گلستان به‌منظور شناسایی سامانه‌هایی جوی است که منجر به سیل‌هایی نظیر سیل فوق بشود. این بررسی شامل تحلیل آماری ایستگاه‌های استان (گرگان، گنبدکاووس، بندرترکمن، علی‌آبادکتول، هاشم‌آباد، کلاله و مراوه تپه)، محاسبه دوره برگشت بارش‌ها طی دوره آماری موجود هر ایستگاه، تحلیل نقشه‌های همدیدی در روز رخداد سیل و نیز محاسبه شاخص‌های ناپایداری ایستگاه گرگان می‌باشد. نتایج آماری نشان داد که ایستگاه‌های گرگان و گنبدکاووس هرکدام با بیشترین بارش از نوع حدی در اسفند ۱۳۹۷، دارای دوره برگشت ۸۰۰ و ۴۰۰ سال بودند. همچنین در روز ۲۷ اسفند بالاترین میزان شاخص ناپایداری گرگان با مقادیر ۲۶ =K درجه سلسیوس، ۲/۰۷ =PWسانتی‌متر و ۴۸ =TT همراه با نم نسبی زیاد در سطح زمین (حدود ۸۰ درصد) به‌دست‌آمده است. تحلیل نقشه‌های همدیدی مبین افت شدید فشار سطح دریا و ارتفاع تراز میانی به همراه یک ناوه عمیق در منطقه موردمطالعه در اواخر اسفند ۹۷ بوده که در نهایت منجر به بارش‌های فرین و رخداد سیلاب در منطقه شده است.

واژگان کلیدی: سیل، دوره برگشت، نقشه‌های همدیدی، شاخص‌های ناپایداری، استان گلستان

مقدمه

[1] **نویسنده مسئول**: پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو،

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.180.3]
[DOI: 10.61186/jgs.24.73.210]

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.180.3]
[DOI: 10.61186/jgs.24.73.210]

سیل یکی از زیان‌بارترین بلایای طبیعی است که متأسفانه همیشه خسارت‌های اقتصادی و در برخی موارد با تلفات انسانی همراه می‌باشد. جوامع بشری سیل را به‌عنوان یک واقعه اجتناب‌ناپذیر پذیرفته‌اند؛ اما از آنجا که رویداد سیل خود ناشی از عوامل متعدد طبیعی و غیرطبیعی است، می‌توان با اعمال اقدامات مدیریتی و فنی از جمله پیش‌بینی سیلاب، احتمال بروز سیلاب و بخصوص خسارات و اثرات نامطلوب آن را کاهش داد. در کشور ما، بخش‌های عمده‌ای از استان‌های ایران، همواره در معرض خطر وقوع سیل قرار دارند. در این بین، حوضه آبریز گرگان و اترک نیز از حساسیت بیشتری برخوردار می‌باشد، به‌طوری‌که در سال‌های اخیر چندین مورد بارش‌های سنگین در استان گلستان در فصول سرد و گرم رخ داده که در اکثر موارد این بارش‌ها منجر به سیلاب‌های شدید و مخرب در شرق استان شده و موجب تلفات انسانی و خسارت اقتصادی فراوانی شده است. در استان گلستان به دلیل بالاتر بودن شیب متوسط نسبت به سایر حوضه‌های آبریز و تفاوت میزان بارش در نقاط مختلف این منطقه باعث می‌شود بخشی از نزولات جوی به‌صورت جریان‌های سطحی وارد رودخانه‌های اترک، گرگان و ... شده و از آنجا وارد دریای خزر گردد. سیل به وضعیتی گفته می‌شود که در آن دبی جریان رودخانه و سطح تراز آب به‌صورت غیرمنتظره افزایش پیدا کرده و باعث خسارات مالی و جانی گردد (علیزاده، ۱۳۹۴). سیل ممکن است در اثر بروز بارش شدید و یا مستمر و یا ذوب ناگهانی برف‌ها در یک حوضه آبخیز و یا در نتیجه شکسته شدن یک سد به وقوع بپیوندد. عواملی همچون کاهش مساحت جنگل‌ها و شیب مناسب منطقه نیز در تشدید رواناب در محل مؤثر بوده و باعث تشدید سیلاب خواهد شد (رحمن‌نیا، ۱۳۹۳). در سال‌های اخیر به دلیل تغییرات اقلیمی، رخداد بارش‌های شدید و ناگهانی باعث افزایش رخداد سیل‌های سنگین در مناطق مختلف جهان و همچنین در کشور شده است که هر ساله آسیب‌ها و خسارات زیادی اعم از مالی و جانی وارد می‌سازد. سیل متأثر از عواملی است که هم‌زمان بودن این عوامل در کنار هم باعث سهمگین شدن آن می‌شود (رخشانی،۱۳۹۴: ۵). وقوع سیل در استان گلستان نیازمند مطالعه درباره علل و عوامل بروز سیلاب‌های مخرب است (پژوهشکده هواشناسی، ۱۳۸۷). بارش‌های بسیار سنگین در اواخر اسفند ۱۳۹۷ و اوایل فروردین ۱۳۹۸ در استان گلستان رخ داده که بیشترین مقدار آن در روز ۲۷ اسفند ۱۳۹۷ مطابق با ۱۸ مارس ۲۰۱۹ منجر به سیلی گشت که بسیار مخرب و خانمان‌سوز بود و تبعات و مشکلات آن تا ماه‌ها گریبان‌گیر مردم استان بود. بر اساس گزارش مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی در سیلاب گلستان، بیشترین مقدار بارش از ۲۷ اسفند ۱۳۹۷ تا ۲ فروردین ۱۳۹۸ از ایستگاه هواشناسی توسکاچال مینودشت ۳۵۴ میلی‌متر گزارش شده است. این مقدار نسبت به میانگین سالانه منطقه مقدار بسیار چشمگیری است. بارش متوسط سالیانه حوضه گرگان‌رود و قره‌سو در درازمدت ۵۰ ساله، ۲۶۷ میلی‌متر در سال است؛ اما مقدار میانگین بارش سیل‌آسای استان گلستان در بازه زمانی مذکور ۱۷۸ میلی‌متر برای کل حوضه بوده است که در مقایسه با میانگین بازه زمانی ۵۰ ساله در حدود ۶۷٪ کل میانگین درازمدت سالیانه است (فرجامی و همکاران، ۱۳۹۸). همچنین بیشترین بارش روزانه ایستگاه گرگان ۱۲۴ میلی‌متر ثبت‌شده که در روز ۱۸ مارس ریزش کرده است (مرادی و رنجبر، ۱۳۹۸: ۷۱). با بررسی نقشه‌های همدیدی سطح زمین و ترازهای میانی و فوقانی جو، بسیاری از پدیده‌های سطح زمین همچون سیل بر مبنای آرایش مکانی منحنی‌های هم‌فشار یا هم‌ارتفاع و موقعیت الگوهای مستقر بر روی این نقشه‌ها، الگوی

شرایط جوی روزانه مناطق را می‌توان کنترل کرد و در نهایت منشأ بسیاری از این پدیده‌ها را مشخص نمود (سجادی، ۱۳۸۷ :۹۳) به همین علت لازم است تا با بررسی شرایط همدیدی و غالباً ترمودینامیکی حاکم بر زمان رخداد سیل‌های اخیر و آشکارسازی آن‌ها، سامانه‌هایی که منجر به سیل می‌شوند نیز شناسایی‌شده تا بتوان در آینده در زمان رخداد چنین بلایایی تمهیدات لازم را در نظر گرفت. (کومار[۲] و همکاران، ۲۰۰۸ :۱۸۹۷) در مطالعه‌ی موردی بارش سنگین ۲۶ ژوئیه ۲۰۰۵ در بمبئی نشان دادند که منبع رطوبت بارش موردنظر دریای عرب است. (کاسپار[۳] و مولر[۴] ، ۲۰۱۰ : ۴۷۷) تغییرات الگوهای همدیدی بارش‌های سنگین جمهوری چک را بررسی کردند. آن‌ها برای این کار ۷۸ رخداد بارش سنگین را طی دوره‌ی ۱۹۵۸ تا ۲۰۰۲ انتخاب کردند. چهار الگو شامل دو الگوی جبهه‌ای و دو الگوی چرخندی، بارش سنگین در الگوهای جبهه‌ای در قطاع گرم جبهه اتفاق افتاده بود و در الگوهای چرخندی بارش سنگین در بخش‌های عقبی قطاع سرد چرخند رخ داده است. (کاوالکانتی[۵]، ۲۰۱۲ : ۲۷) الگوهای همدیدی و بزرگ‌مقیاس مرتبط با بارش‌های سنگین امریکای جنوبی را طی دهه‌ی اول قرن بیست و یکم بررسی کرد. نتایج حاکی از آن بود که کمربند همگرایی حاره‌ای و اغتشاشات شرقی مهم‌ترین سامانه‌هایی هستند که بر روی منطقه‌ی شمال‌شرق منجر به بارش‌های سنگین می‌شوند. (تئوفل[۶] و همکاران، ۲۰۱۸ :۴۱۹۳) در تحقیق خود به بررسی سازوکار سیل مونترال که در ماه مه سال ۲۰۱۷ اتفاق افتاده بود، پرداختند. آن‌ها با توجه به دیدبانی‌ها و نتایج مدل اقلیمی منطقه‌ای کانادایی[۷] دریافتند که جریان بالادست (حوضه رودخانه اتاوا[۸]) در ۵۰ سال گذشته به بالاترین میزان خود رسیده است که از دلایل مهم آن بارش ماه آوریل بوده که باعث افزایش جریان آب بالادست رودخانه شده است، همچنین توده برف نیز سهم عمده‌ای را در جریانات بهاره در حوضه رودخانه اتاوا داشته است. (آن‌سا[۹] و همکاران، ۲۰۲۰ : ۱) در تحقیق خویش پیرامون سیل در کشور غنا دریافتند که اولین قسمت از سیلاب ناشی از بارش سنگینی بوده که در فصل بارش در سال ۲۰۱۸ در اکرا (شهری ساحلی) و کوماسی (شهری در ناحیه جنگل) در ۱۸ و ۲۸ ژوئن به ترتیب اتفاق افتاده است. این سیل عظیم ناشی از بارش‌های حدی بود که ۱۴ کشته، ۳۴۰۷۶ بیخانمان و هزاران دلار خسارات بر طبق گزارش سازمان مدیریت بلایای ملی بر جای گذاشته است. نتایج مدل (پیش‌بینی و تحقیقاتی وضع آب‌وهوا[۱۰]) برای بررسی دینامیک سیل و نیز بررسی نقشه‌های همدیدی نشان داد که در موقع رخداد سیل، کاهش فشار سطح زمین همراه با مقدار قابل‌توجهی رطوبت و نیز رخداد توفان تندری در دو شهر مذکور منجر به بارش ۹۰/۱ و ۱۱۴/۶ میلی‌متر به ترتیب در شهرهای اکرا و

2 - Kumar
3 - Kaspar
4 -Muller
5 -Cavalcanti
6 -Teufel
7 -Canadian Regional Climate Model(CRCM)
8-Ottawa River basin
9 -Ansah
10 -Weather Research and Forecasting(WRF)

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.180.3]
[DOI: 10.61186/jgs.24.73.210]

کوماسی شده است. (عزیزی و صمدی، ۱۳۸۶ :۶۱) در تحقیق خویش نشان دادند که وجود یک ناوه عمیق در شمال شرق اروپا و امتداد آن بر روی دریای خزر، موجب فرارفت هوای سرد قطبی از عرض‌های شمالی بر روی دریای خزر می‌گردد. (امیدوار،۱۳۸۶: ۸۱) رخداد بارش در منطقه شیرکوه یزد را ناشی از سه الگوی همدیدی می‌داند، ۱- استقرار کم‌فشار سودانی روی شبه‌جزیره عربستان ۲- ترکیب سامانه‌های سودانی- مدیترانه‌ای ۳- سامانه‌های مدیترانه‌ای که از رطوبت، ناپایداری و بارش کمتری برخوردارند. (لشکری و همکاران،۱۳۸۶ :۱۸۱) برای مطالعه بارش‌های سیل‌زا در جنوب‌شرق دریای خزر از نقشه‌های همدیدی روزانه سازمان هواشناسی در چهار تراز از سال ۲۰۰۳-۱۹۹۰ استفاده کردند. شرایط همدیدی لازم برای ایجاد بارش‌های سیل‌زا در فصل گرم سال در استان گلستان عبارت است: فرارفت هوای سرد روی دریای خزر به‌وسیله پرفشار مهاجر اروپایی و همرفت گرم و مرطوب از شرق و جنوب شرق به‌وسیله کم‌فشار موسمی در سطح زمین و ریزش هوای سرد در منطقه واگرایی ناوه شمال روسیه. نتایج تحلیل همدیدی بارش‌سنگین دوره‌ی ۷ تا ۱۴ مارس ۲۰۰۵ غرب ایران بیانگر استقرار یک کم‌فشار در دریای مدیترانه به همراه زبانه کم‌فشار سودانی است (عزیزی و همکاران ، ۱۳۸۸: ۱). (دارند، ۱۳۹۳: ۴۷) در تحقیق خود برای تحلیل همدیدی بارش‌های سیل‌آسا استان کردستان در دو فصل خشک و مرطوب از داده‌های روزانه بارش ۸ ایستگاه همدیدی استفاده کرده و نشان دادند که در فصل مرطوب دو الگوی همدیدی فشار تراز دریا در هنگام بارش سیل‌آسا وجود داشته است که منبع رطوبتی در ترازهای زیرین جو دریاهای عرب، سرخ، عمان، خلیج‌فارس و مدیترانه است. (مصطفایی و همکاران، ۱۳۹۴ :۶۵) در تحلیل همدیدی بارش‌های شدید و فراگیر غرب ایران دریافتند که همواره در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکالی یک ناوه در غرب از دریای مدیترانه تا ایران قرار دارد که جریان‌ها را به‌صورت نصف‌النهاری در می‌آورد. آن‌ها با جهت غربی و جنوب‌غربی به سمت ایران روانه می‌شود. همچنین در سطح زمین همواره یک مرکز کم‌فشار با زبانه‌ای از آن در منطقه تشکیل می‌شود که با هوای سرد عرض‌های شمالی تشکیل جبهه می‌دهد؛ بنابراین می‌توان گفت رخداد بارش‌های سنگین با سامانه‌های چرخندی همراه بوده است. (رسولی و همکاران، ۱۳۹۵ :۱۲۷) در تحقیقشان شرایط همدیدی و ترمودینامیکی مساعد برای وقوع توفان تندری از جمله کم‌فشار تراز دریا، ناوه تراز میانی، همگرایی رطوبت و وجود رطوبت در لایه‌های پایین جو را بررسی نمودند. (آرزومندی و همکاران، ۱۳۹۶: ۳۰۱) در تحلیل بارش حدی حوضه آبریز گرگانرود به این نتیجه رسیدند که در موقع بارش سنگین در نیمه غربی و بخش‌های جنوبی و مرکزی ایران الگوهای کم‌فشار بر سطح زمین حاکم بوده و همین‌طور کم‌ارتفاع‌هایی در ترازهای ۵۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکالی، از سوئی جهت جریانات از سمت دریای عدن، خلیج‌فارس و همچنین دریای سیاه و مدیترانه می‌باشند. (کردجزی و همکاران، ۱۳۹۸) به بررسی همدیدی سیلاب‌های استان گلستان در اسفند ۱۳۹۷ پرداختند. نتایج تحقیقشان نشان داد که در آن ایام فرارفت هوای سرد روی دریای خزر و استان گلستان مستقر بوده است همچنین محور ناوه کم‌ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال تا مرکز شبه‌جزیره عربستان گسترش داشته است. (جهان‌دیده و همکاران، ۱۳۹۸) در بررسی خود به شناسایی انواع سیلاب به‌عنوان یک بحران محیطی و نیز عوامل مؤثر در بروز آن پرداختند.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.180.3]
[DOI: 10.61186/jgs.24.73.210]

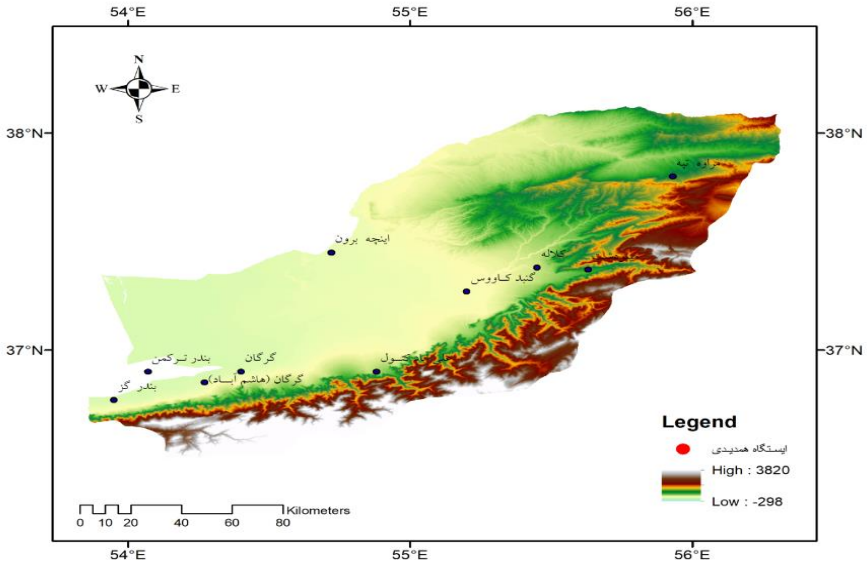
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.180.3]

[DOI: 10.61186/jgs.24.73.210]

روش تحقیق

استان گلستان در جنوب‌شرقی دریای خزر واقع شده است. مساحت این استان ۲۰۳۸۷ کیلومترمربع و در حدود ۱/۳ درصد از مساحت کل کشور را شامل می‌شود. بخش‌های جنوبی تحت تأثیر شرایط کوهستانی و بخش‌های شمالی تحت تأثیر شرایط خشک و بیابانی می‌باشد (پژوهشکده هواشناسی، ۱۳۹۲). وجود سامانه‌های متعدد و مؤثر بر اقلیم استان همچون پرفشار سیبری، کم‌فشار مدیترانه‌ای و کم‌فشار سودانی موجب پیچیدگی پیش‌بینی وضع هوا در این استان می‌گردد؛ زیرا که هرکدام از سامانه‌های فوق موجب بروز آب‌وهوای خاص خود بر روی این استان می‌باشند (پژوهشکده هواشناسی، ۱۳۹۶). از سوئی وجود دریای خزر، امتداد رشته‌کوه‌های البرز، پوشش متراکم جنگلی و متغیر بودن ارتفاع در قسمت‌های مختلف استان گلستان باعث شده است این استان دارای آب‌وهوای کاملاً متفاوت باشد. به همین دلیل رخدادهایی از قبیل بارش‌های سیل‌آسا، دمای نسبتاً بالا و حتی آتش‌سوزی جنگل‌ها دور از انتظار نیست. شکل (۱) ناهمواری‌های این استان و جدول (۱) نام و مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های موردمطالعه را نشان می‌دهد.



شکل (۱). سیمای طبیعی استان گلستان

جدول (۱). مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های استان گلستان

نام ایستگاه	عرض جغرافیایی (درجه)	طول جغرافیایی (درجه)	ارتفاع (متر)
علی‌آباد کتول	۳۶/۵۴	۵۴/۵۳	۱۸۴

بندرگز	۳۶/۴۶	۵۳/۵۷	-۱۴
بندر ترکمن	۳۶/۵۴	۵۴/۴	۰
گنبدکاووس	۳۷/۱۶	۵۵/۱۲	۳۷/۲
گرگان	۳۶/۵۴	۵۴/۲۴	۰
گرگان (هاشم‌آباد)	۳۶/۵۱	۵۴/۱۶	۱۳/۳
اینچه‌برون	۳۷/۲۷	۵۴/۴۳	۷
کلاله	۳۷/۲۳	۵۵/۲۷	۱۲۸/۸
مراوه تپه	۳۷/۳	۵۵/۵۶	۴۶۰
مینودشت	۳۷/۲۲	۵۵/۳۸	۲۲۳

در این تحقیق با استفاده از داده‌های بارش تجمعی ایستگاه‌های استان گلستان در دوره آماری مربوطه (از بدو تأسیس هر ایستگاه تا سال ۲۰۱۹) و نیز داده‌های ترازهای فوقانی و استفاده از نقشه‌های زمان واقعی همدیدی در ترازهای مختلف جو، چند شاخص منتخب ناپایداری و نیز دوره برگشت بارش‌های ۲۴ ساعته هر ایستگاه محاسبه می‌شود. از این‌رو با تحلیل شرایط ترمودینامیکی و همدیدی حاکم بر زمان رخداد سیل، می‌توان سامانه‌هایی را که منجر به سیل در این استان می‌شوند را شناسایی و آشکارسازی نمود. استنباط شرایطی که توفان‌های شدید و سیل‌های ناگهانی در آن رخ می‌دهد به تغییرات دما، رطوبت و باد از سطح زمین تا بالای وردسپهر ارتباط دارد. در ابتدا دوره برگشت بارش ایستگاه‌های استان در دوره آماری مربوطه با استفاده از داده‌های بارش تجمعی بانک اطلاعات سازمان هواشناسی کشور محاسبه شده است. سپس به بررسی شرایط همدیدی منجر به رخداد بارش شدید و سیل در اواخر اسفند ۱۳۹۷ در استان گلستان پرداخته می‌شود. این بررسی شامل تحلیل الگوهای همدیدی در لایه‌های مختلف از سطح زمین تا ترازهای فوقانی برای بررسی شرایط مناسب بسط و توسعه توفان‌های تندری است. در تحقیق حاضر از داده‌های بارش تجمعی ایستگاه‌های اداره کل هواشناسی استان گلستان و نیز نقشه‌های زمان واقعی همدیدی روز رخداد سیل استفاده شده است. به‌منظور تحلیل و بررسی الگوی شرایط همدیدی در زمان رخداد سیل، نقشه‌های سطح زمین و ترازهای فوقانی ۸۵۰، ۷۰۰، ۵۰۰ و ۲۵۰ هکتوپاسکالی در روزهای قبل و بعد از سیل مورد تحلیل قرار گرفتند. همچنین در بررسی اقلیمی، نابهنجاری فشار سطح دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و سرعت باد تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال مطالعه شد. به‌منظور مطالعه شرایط ترمودینامیکی و ناپایداری جو از داده‌های بازتحلیل ERA5 از مرکز اروپایی پیش‌بینی میان‌مدت[11] جوی با تفکیک افقی ۰/۲۵ درجه، شاخص‌های ناپایداری TT و KI و آب قابل بارش PW استخراج شد.

دوره برگشت

[11] - European Center for Medium- Range Weather Forecasts

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.180.3]
[DOI: 10.61186/jgs.24.73.210]

رویدادهای اقلیمی با الگو و بزرگی ثابت و مشابه و فاصله زمانی یکسان اتفاق نمی‌افتند. یکی از اهداف مطالعه احتمال وقوع، تحلیل دوره بازگشت رویدادهاست. دوره بازگشت، متوسط دوره زمانی است که بین وقوع دو حادثه مشابه وجود دارد. در اصل دوره بازگشت (T) در واقع عکس احتمال p است و به شکل رابطه (۱) بیان می‌شود:

$$T=\frac{1}{p}$$ رابطه (۱)

پرواضح است که پدیده‌هایی که احتمال وقوع آن‌ها کم است، دوره بازگشت آن‌ها زیاد است. معمولاً رویدادهای بزرگ (خشک‌سالی‌ها یا ترسالی‌های بزرگ) دوره بازگشت زیاد دارند، عکس این مطلب نیز صادق است (عساکره،۱۳۹۰). در این پژوهش محاسبه دوره برگشت بارش‌ها به روش زیر انجام شد. ابتدا داده‌های مقادیر بارش ۲۴ ساعته در دوره آماری هر ایستگاه از بدو تأسیس تا سال ۲۰۱۹ گردآوری‌شده و سپس مقدار بیشینه آن برای هرسال محاسبه شد. سپس به‌منظور انتخاب توزیع مناسب داده‌های بیشترین بارش ۲۴ ساعته با استفاده از نرم‌افزار ایزی فیت[12] توزیع‌های مختلف (نمایی، گامبل، وایبل، نرمال، لوگ‌نرمال، لوگ‌نرمال سه پارامتری، گاما، پیرسون نوع ۳، لوگ پیرسون نوع ۳) مورد ارزیابی قرار گرفت و بر اساس آزمون آندرسن-دارلینگ، توزیع مناسب در دوره آماری هر ایستگاه برازش داده شد. در نهایت با استفاده از نرم‌افزار هایفران پلاس[13] دوره برگشت بارش‌ها برحسب سال برای هر ایستگاه محاسبه شد.

نقشه‌های همدیدی

برای بررسی همدیدی نقشه‌ها در اصل از مقادیر واقعی کمیت‌های مختلف در ترازهای مختلف استفاده می‌شود تا حرکت و نیز بسط و توسعه سامانه‌های هواشناسی تحلیل شوند. در نقشه سطح زمین نقاط هم‌فشار، در ترازهای ۸۵۰، ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال هم مقدارهای دما و ارتفاع ژئوپتانسیلی، در ترازهای ۲۵۰ و ۳۰۰ هکتوپاسکال، میدان باد در این تحقیق بررسی شده است.

بررسی شاخص‌های ناپایداری با استفاده از نمودار ترمودینامیکی

شاخص (TT[14])

شاخصی است که برای به دست آوردن شدت توفان‌ها از آن استفاده می‌شود. این شاخص ترکیبی از تفاضل بین دمای تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال و ۵۰۰ هکتوپاسکال (V_T)[15] و تفاضل بین نقطه شبنم تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال و دما

[12] -Easy Fit
[13] -Hyfran Plus
[14] -Total Total Index
[15] -Vertical Total

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.180.3]
[DOI: 10.61186/jgs.24.73.210]

تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (C_T)[16] است رابطه (۲). این شاخص به‌صورت رابطه (۳) نیز نوشته می‌شود. جدول (۲) رابطه بین این شاخص و پایداری یا ناپایداری را نشان می‌دهد.

$$T\ T=(T_{850}-T_{500})+(T_{d850}-T_{500})$$ رابطه (۲)

$$T\ T=\text{Vertical Total}+\text{ Cross Total}= V_T+ C_T$$ رابطه (۳)

جدول (۲). رابطه بین مقادیر TT و پایداری یا ناپایداری در جو

TT	پایداری یا ناپایداری
<۴۴	احتمال همرفت نیست
44≤TT≤50	احتمال توفان تندری است
51≤TT≤52	توفان شدید محلی
53≤TT≤56	توفان شدید در منطقه‌های وسیع
>۵۶	توفان بسیار شدید و گسترده

شاخص آب قابل بارش (PW[17])

این شاخص پارامتری است که میزان رطوبت وردسپهر را نشان می‌دهد. برای محاسبه PW باید تمامی جرم بخارآب موجود در ستون جو را به دست آورد. ضخامت آن در سطح زمین مقدار PW را به ما می‌دهد جدول (۳). بالا بودن نقطه شبنم (نسبت آمیختگی اشباع)، نشان‌دهنده بالا بودن مقدار PW است، به‌ویژه هنگامی‌که در عمق زیادی گسترش یافته باشد (دستمالچی تبریزی، ۱۳۹۶).

جدول (۳). مقایسه مقادیر PW و رطوبت در جو

PW(cm)	رطوبت در جو
≤۱/۲۷	مقدار رطوبت بسیار کم
۱/۲۷<PW۲/۶	مقدار رطوبت کم
۲/۶<PW<۴/۴۵	مقدار رطوبت متوسط
۴/۴۵<PW<۵/۰۸	مقدار رطوبت زیاد
PW=>۵/۰۸	مقدار رطوبت بسیار زیاد

[16] -Cross Total
[17] -Precipitable Water

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.180.3]
[DOI: 10.61186/jgs.24.73.210]

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.180.3]

[DOI: 10.61186/jgs.24.73.210]

شاخص (K[18])

شاخص K شاخصی است که با استفاده از آن توان طوفان تندری بر اساس آهنگ کاهش قائم دما و میزان وسعت قائم رطوبت در سطوح پایین جو سنجیده می‌شود (بولشتاین، ۱۹۹۹). رابطه بین احتمال ناپایداری جو و مقدار شاخص در جدول (۴) آمده است.

نمودارهای ترمودینامیکی

پس از پیدایش دیده‌بانی‌های ایستگاه راوین سوند، نمودارهای ترمودینامیکی جهت ترسیم داده عمل کاوش و به‌منظور ارزیابی پایداری جو، مورداستفاده قرار گرفتند. به‌رغم پیشرفت‌های متعدد در تکنولوژی و روش‌های پیش‌بینی، نمودارهای ترمودینامیکی به‌عنوان یک ابزار لازم برای مفسر امروزی اوضاع جوی باقی مانده است. نمودارهای ترمودینامیکی شامل چند نمودار جهت تحلیل و پیش‌بینی آب‌وهوا بکار می‌روند که شامل نمودار (اسکیوتی/ لوگ‌پی)[19] می‌باشند. استفاده عمده این نمودار ترسیم سونداژ رادیو سوند می‌باشد که نیمرخ قائم دما و نقطه شبنم را در سرتاسر جو بالای یک نقطه مشخص بر روی زمین فراهم می‌آورد. از این نمودار همچنین در ارزیابی پایداری جو، دیدبانی عناصر آب‌وهوا در هر لایه جو، تعیین شدت پایداری، دمای همرفت، پیش‌بینی دما و خصوصیات آب‌وهواهای سخت می‌توان استفاده کرد.

جدول (۴). رابطه بین احتمال ناپایداری جو و مقدار شاخص K

احتمال ناپایداری جو	شاخص $K(C^0)$
صفر درصد	کمتر از ۱۵
کمتر از ۲۰ درصد	۲۰- ۱۵
بین ۲۰ تا ۴۰ درصد	۲۵- ۲۱
بین ۴۰ تا ۶۰ درصد	۳۰- ۲۶
بین ۶۰ تا ۸۰ درصد	۳۵- ۳۱
بین ۸۰ تا ۹۰ درصد	۴۰- ۳۶
نزدیک ۱۰۰ درصد	بیشتر از ۴۰

نتایج

دوره برگشت

مقادیر بارش ۲۴ ساعته در ایستگاه‌های استان گلستان در ۲۵ تا ۲۹ اسفند ۱۳۹۷ (۱۶ تا ۲۰ مارس ۲۰۱۹) در جدول (۵) آمده است.

[18] -K Index
[19] -Skew-T/Log-P

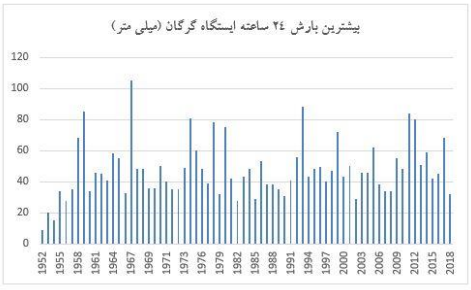
جدول (۵). بارش ۲۴ ساعته ۲۵ تا ۲۹ اسفند ۱۳۹۷ (۱۶ تا ۲۰ مارس ۲۰۱۹) در ایستگاه‌های استان گلستان

ایستگاه	۲۰۱۹/۰۳/۱۶	۲۰۱۹/۰۳/۱۷	۲۰۱۹/۰۳/۱۸	۲۰۱۹/۰۳/۱۹	۲۰۱۹/۰۳/۲۰
علی‌آباد کتول	۲/۴	۵	۹۹	۱۲/۰۱	۹/۹
بندر گز	۲	۲	۱۱۴	۱	۱۸/۳
بندر ترکمن	۲	۰/۷	۱۴۵	۳/۷	۱۲
گنبدکاووس	۰	۱	۱۱۵	۴۱	۳
گرگان	۱/۲	۳	۱۴۷	۵/۶	۱۴
گرگان (هاشم‌آباد)	۱/۴	۵	۸۰	۱۸	۱۵
اینچه برون	۰	۰/۳	۶۷	۱۵/۶	۰/۷
کلاله	۱/۴	۱	۱۶۶	۶۹	۵/۲
مراوه تپه	۰/۱	۰/۱	۶۵	۳۱/۷	۲/۵
مینودشت	۴/۷	۵	۱۶۲	۹۰	۶/۷

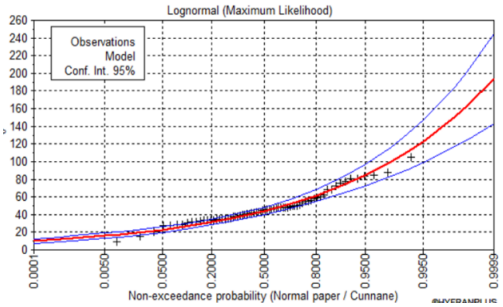
ایستگاه گرگان

بیشترین بارش ۲۴ ساعته گرگان در دوره آماری ۱۹۵۲-۲۰۱۸ در سال ۱۹۶۷ به مقدار ۱۰۵ میلی‌متر رخ داده است شکل (۲ الف). بر طبق جدول (۶) توزیع مناسب داده‌های بیشترین بارش ایستگاه گرگان (لوگ نرمال[۲۰]) انتخاب شد. شکل (۲ ب) برازش این تابع احتمال را برای بیشترین بارش نشان می‌دهد. شکل (۲ ج) تغییرات بارش این ایستگاه را در ماه مارس نشان می‌دهد. بیشترین بارش ۲۴ ساعته گرگان در ۱۸ مارس ۲۰۱۹ به مقدار ۱۴۷ میلی‌متر بود که دوره برگشت بیش از ۸۰۰ سال دارد جدول (۷).

الف)



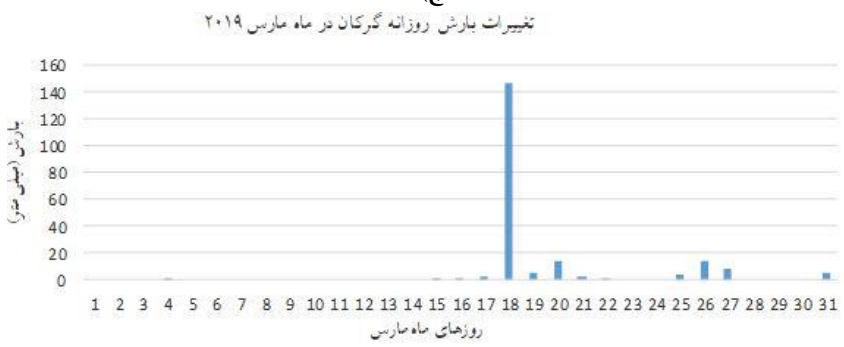
ب)



[20] Log-normal

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.180.3]
[DOI: 10.61186/jgs.24.73.210]

ج)



شکل (۲). الف) بیشترین بارش ۲۴ ساعته گرگان در دوره آماری ۱۹۵۲- ۲۰۱۸ بر حسب میلی‌متر، ب) برازش تابع احتمال lognormal بر بیشترین بارش ۲۴ ساعته گرگان در دوره آماری ۲۰۱۸-۲۰۰۷ و ج) تغییرات بارش روزانه ایستگاه گرگان در ماه مارس ۲۰۱۹ بر حسب میلی‌متر

جدول (۶). مقادیر شاخص چند تابع توزیع در دو ایستگاه استان گلستان

تابع توزیع	گرگان	گنبدکاووس
لوگ- نرمال	۰/۸۱۷	۰/۱۷۲
لوگ= نرمال ۳ پارامتری	۰/۹۲۳	۰/۱۶۵
لوگ- پیرسون ۳	۱/۶۱۸	۰/۱۷۵

جدول (۷). برآورد حداکثر بارش ۲۴ ساعته با دوره برگشت‌های مختلف و مقایسه آن با حداکثر بارش اسفند ۱۳۹۷ در ایستگاه‌های استان گلستان

دوره بازگشت	علی‌آباد کتول	کلاله	هاشم‌آباد	بندر ترکمن	مراوه تپه	گرگان	گنبدکاووس
۱۰۰۰	۱۵۸	۲۲۹	۱۷۵	۲۵۸	۱۳۱	۱۵۱	۱۲۸
۸۰۰	۱۵۴	۲۱۹	۱۶۹	۲۴۶	۱۲۷	۱۴۷	۱۲۵
۷۰۰	۱۵۱	۲۱۳	۱۶۶	۲۳۹	۱۲۴	۱۴۴	۱۲۳
۵۰۰	۱۴۵	۲۰۰	۱۵۸	۲۲۲	۱۱۸	۱۳۸	۱۱۷
۴۰۰	۱۳۶	۱۹۱	۱۵۳	۲۱۱	۱۱۴	۱۳۵	۱۱۴
۲۰۰	۱۲۹	۱۶۶	۱۳۷	۱۸۰	۱۰۱	۱۲۳	۱۰۳
۱۰۰	۱۱۸	۱۴۲	۱۲۲	۱۵۳	۸۹/۸	۱۱۱	۹۲/۴
۷۵	۱۱۳	۱۳۳	۱۱۶	۱۴۳	۸۵/۱	۱۰۶	۸۸/۲
۵۰	۱۰۶	۱۲۱	۱۰۸	۱۲۹	۷۸/۶	۹۹/۸	۸۲/۳
۳۰	۹۸	۱۰۷	۹۸/۷	۱۱۳	۷۰/۸	۹۱/۵	۷۵
۲۰	۹۱/۴	۹۶/۵	۹۱/۱	۱۰۲	۶۴/۷	۸۴/۸	۶۹/۳

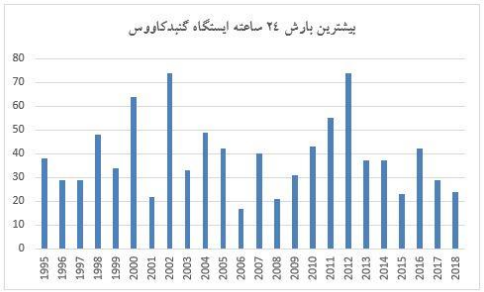
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.180.3]
[DOI: 10.61186/jgs.24.73.210]

۱۰	۸۰	۷۹/۳	۷۸/۶	۸۴/۱	۵۴/۶	۷۳/۴	۵۹/۶
۵	۶۸/۳	۶۳/۳	۶۶/۲	۶۸	۴۴/۶	۶۱/۶	۴۹/۸
۳	۵۹/۲	۵۲	۵۷	۵۷/۲	۳۷/۲	۵۲/۳	۴۲/۳
۲	۵۰/۸	۴۲/۴	۴۸/۸	۴۸/۳	۳۱	۴۴/۱	۳۵/۷
بیشترین بارش ۲۴ ساعته اسفند ۱۳۹۷(میلی‌متر)	**۹۹**	**۱۰۶/۲**	**۸۰**	**۱۴۵**	**۶۵**	**۱۴۷**	**۱۱۵**
دوره بازگشت توفان ۱۳۹۸	۳۰ سال	۳۰ سال	۱۰ سال	۷۵ سال	۲۰ سال	۸۰۰ سال	۴۰۰ سال

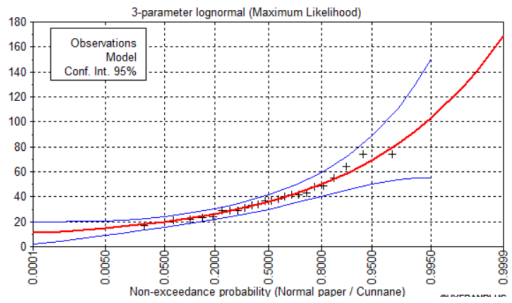
ایستگاه گنبدکاووس

بیشترین بارش ۲۴ ساعته آن در دوره آماری ۱۹۹۵-۲۰۱۸ در سال ۲۰۰۲ به مقدار ۷۴ میلی‌متر رخ داده است شکل (۳ الف). بر طبق جدول (۶) توزیع مناسب داده‌های بیشترین بارش ایستگاه گنبدکاووس (لوگ نرمال سه پارامتری[۲۱]) انتخاب شد. شکل (۳ ب) برازش این تابع احتمال را برای بیشترین بارش نشان می‌دهد. شکل (۳ ج) تغییرات بارش این ایستگاه را در ماه مارس نشان می‌دهد. بیشترین بارش ۲۴ ساعته گنبدکاووس در ۱۸ مارس ۲۰۱۹ به مقدار ۱۱۵ میلی‌متر بود که دوره برگشت بیش از ۴۰۰ سال دارد جدول (۷).

الف)



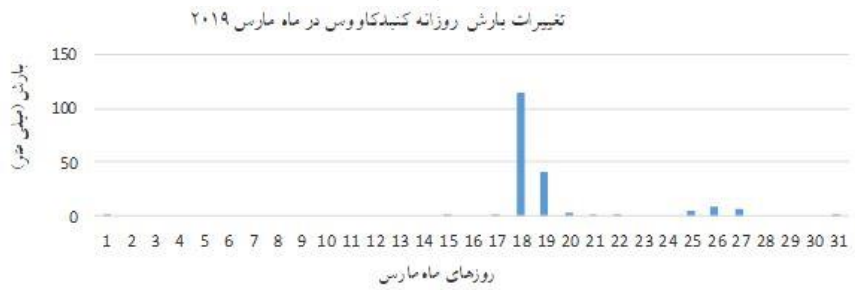
ب)



[21] Log-normal(3p)

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.180.3]
[DOI: 10.61186/jgs.24.73.210]

ج)

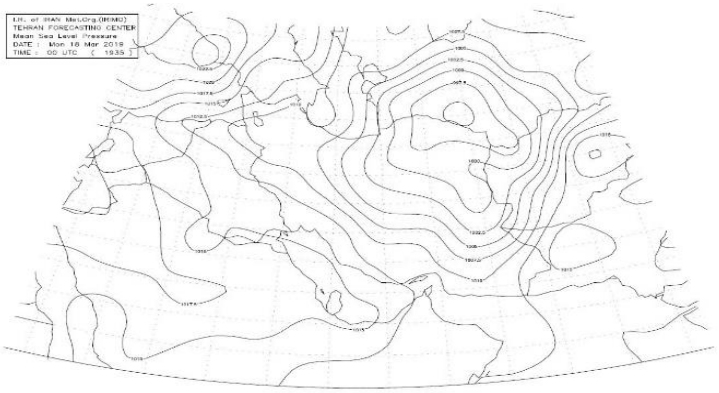


شکل (۳). الف) بیشترین بارش ۲۴ ساعته گنبدکاووس در دوره آماری ۱۹۹۵-۲۰۱۸ برحسب میلی‌متر، ب) برازش تابع احتمال (p3Lognormal) بر بیشترین بارش ۲۴ ساعته گنبدکاووس در دوره آماری ۲۰۱۸-۲۰۰۷ و ج) تغییرات بارش روزانه ایستگاه گنبدکاووس در ماه مارس ۲۰۱۹ بر حسب میلی‌متر

در میان ایستگاه‌های استان، ۳ ایستگاه بندرگز، اینچه برون و مینودشت به دلیل کوتاه بودن دوره آماری، فاقد داده کافی برای محاسبه دوره برگشت بودند.

تحلیل نقشه‌های زمان واقعی ترازهای مختلف جو

تحلیل شکل‌گیری و حرکت سامانه‌های مستقر در ترازهای مختلف جو نشان می‌دهد که روز ۲۷ اسفند یک مرکز کم‌فشار بسیار فعال در نقشه سطح زمین با مقدار ۹۹۷/۵ میلی بار روی شمال شرق ایران بسته شده است و زبانه-های بسیار عمیق و گسترده آن تا نواحی جنوبی و مرکزی ایران به چشم می‌خورد. شیو فشاری روی نواحی مرکزی و شرقی وجود دارد. ضمن حرکت شرق‌سوی کم‌فشار و استقرار مرکز آن بر روی کشور ترکمنستان، از سمت مناطق مرزی غرب کشور زبانه‌های پرفشار در حال گسترش است شکل (۴). جاری شدن شدید سیل در این روز اتفاق افتاده است.



شکل (۴). میدان فشار سطح متوسط دریا بر حسب هکتوپاسکال در ساعت ۰۰۰۰ گرینویچ روز ۲۷ اسفند ۱۳۹۷

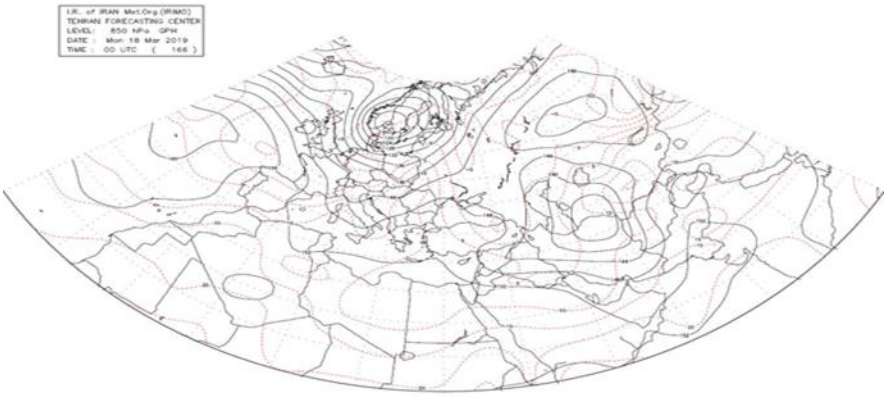
منبع: سازمان هواشناسی کشور

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.180.3]
[DOI: 10.61186/jgs.24.73.210]

در نقشه ۸۵۰ هکتوپاسکال، یک مرکز کم‌ارتفاع با مقدار ۱۳۶ ژئوپتانسیل‌متر در شمال‌شرق ایران مستقر شده است به‌طوری‌که امتداد آن تمامی نواحی شرق، جنوب‌شرق، مرکز کشور، جنوب و حتی غرب و شمال‌غرب را نیز در بر گرفته است. امواج ناپایدار همه این مناطق را فرا گرفته است شکل (۵ الف). از این شکل دیده می‌شود که فرارفت هوای گرم از جنوب‌شرق ایران آغاز و تا شمال خراسان شمالی امتداد یافته است و سپس با جریان چرخندی به‌سوی شرق دریای خزر و استان گلستان کشیده شده است. فرارفت هوای سرد از شرق دریای مدیترانه آغاز و تا جنوب خلیج‌فارس امتداد یافته است. در نقشه ۷۰۰ هکتوپاسکال، یک مرکز کم‌ارتفاع مطابق با الگوی ۸۵۰ هکتوپاسکال با مقدار ۲۹۶ ژئوپتانسیل‌متر در شمال‌شرق ایران وجود دارد. ناوه آن تا نواحی شرقی و مرکزی کشور دیده می‌شود. امواج ناپایدار تمامی نقاط کشور و به‌ویژه شرق کشور را در برگرفته است شکل (۵ ب).

در نقشه ۵۰۰ هکتوپاسکال، یک مرکز کم‌ارتفاع با مقدار ۵۴۸ ژئوپتانسیل‌متر در شمال‌شرق کشور مستقر می‌باشد که گسترش آن بر روی کشورهای آذربایجان، گرجستان، شرق ترکیه و عراق بوده و محور ناوه این مرکز از نواحی شمال تا قسمت‌های مرکزی و جنوبی را تحت تأثیر قرار داده است به‌طوری‌که در غرب آن نیز پر ارتفاع مستقر بوده که محور پشته از شرق آفریقا تا جنوب‌غرب دریای سیاه کشیده شده است. یک ناوه ارتفاع از شمال اروپا به‌سوی جنوب دریای مدیترانه امتداد یافته است. بخش شمالی آن با سرعت بیشتری حرکت می‌کند و بخش جنوبی آن سرعت کمتری داشته و در اثر ترکیب بخش شمال آن با ناوه ارتفاع شرق دریای مدیترانه، یک ناوه عمیق از شمال دریای سیاه تا جنوب دریای خزر امتداد می‌یابد و یک هسته کم‌ارتفاع در جنوب دریای خزر تشکیل می‌دهد که استان گلستان را نیز تحت تأثیر خود قرار می‌دهد شکل (۵ ج). در نقشه ۲۵۰ هکتوپاسکالی، ناوه غرب ایران در حال عبور از کشور بوده و تمامی نواحی کشور را در بر گرفته است شکل (۵ د).

الف)



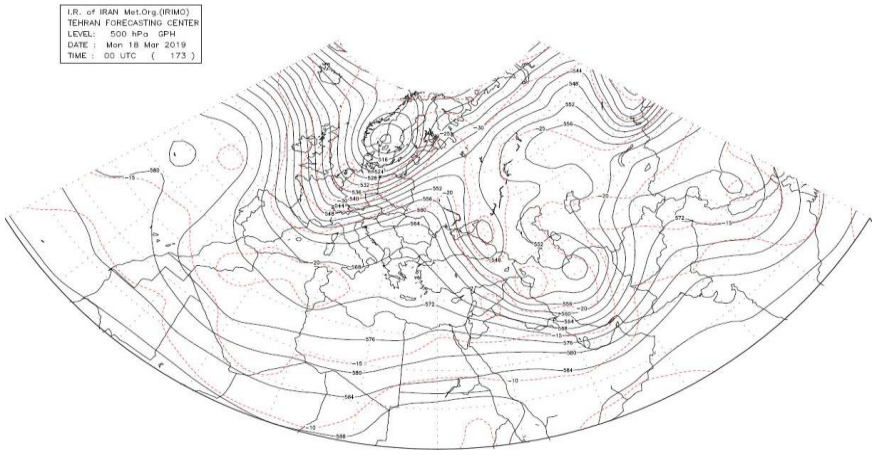
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.180.3]
[DOI: 10.61186/jgs.24.73.210]

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.180.3]

[DOI: 10.61186/jgs.24.73.210]

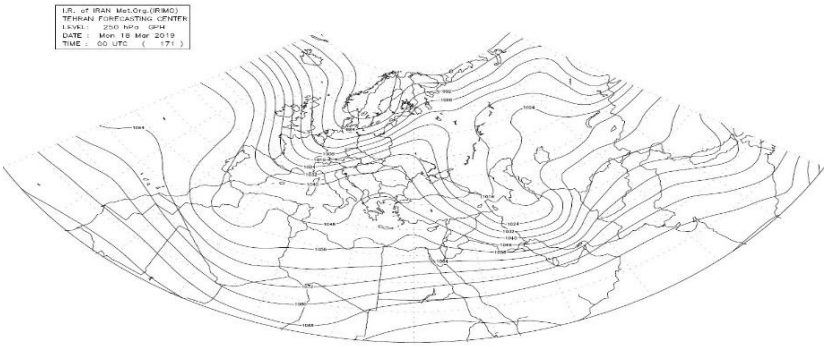
ب)



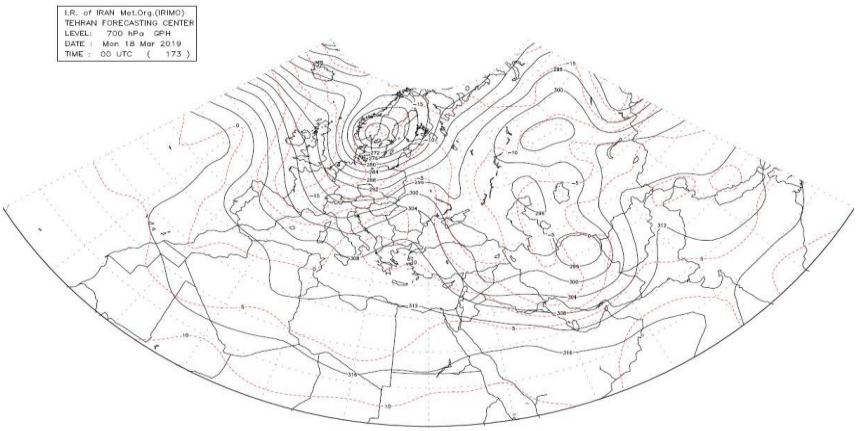
شکل (۵). پربندهای ارتفاع ژئوپتانسیل (برحسب ژئوپتانسیل متر) و دما (برحسب سلسیوس) در تراز الف) ۸۵۰ ب)۷۰۰

منبع: سازمان هواشناسی کشور

ج)



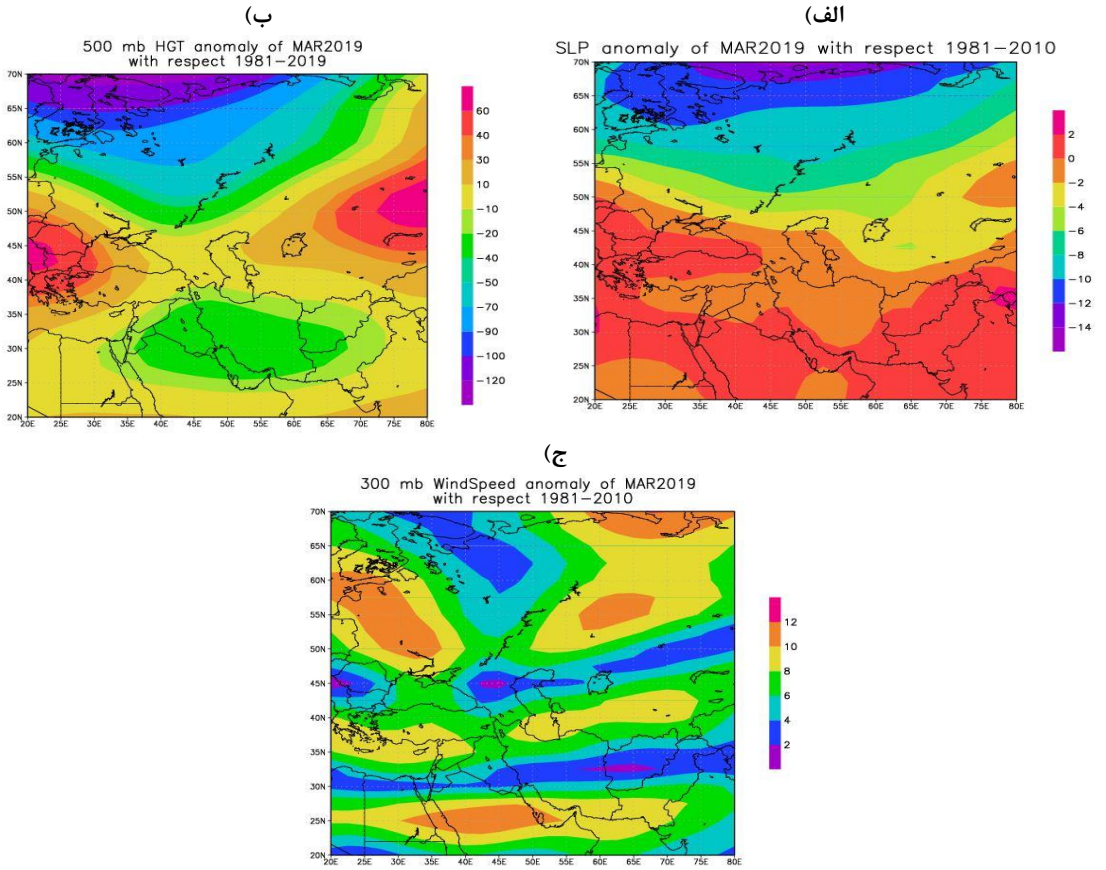
د)



ادامه شکل (۵) ج)۵۰۰ د)۲۵۰ هکتوپاسکال در ساعت ۰۰۰۰ گرینویچ روز ۲۷ اسفند ۱۳۹۷

اکنون به تحلیل ناهنجاری‌های فشار، ارتفاع و سرعت باد در ترازهای مختلف جو در ماه مارس ۲۰۱۹ نسبت به میانگین بلندمدت می‌پردازیم. شکل (۶ الف) ناهنجاری فشارسطح متوسط دریا را نشان می‌دهد. در این شکل دیده می‌شود که کمینه مقدار ناهنجاری منفی در شمال دریای خزر قرار گرفته است و ناوه آن اطراف مدار ۵۵ درجه شمالی را در برگرفته، بخش جنوبی این ناوه از روی دریای خزر عبور و تا غرب ایران گسترش یافته است. این شرایط نشان می‌دهد که در ماه مارس ۲۰۱۹ فراوانی عبور کم‌فشارها در شمال دریای خزر و روی ایران بیشتر از متوسط ماه مارس دوره بلندمدت است. شکل (۶ ب) ناهنجاری ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال را نشان می‌دهد. در این شکل دیده می‌شود که کمینه مقدار ناهنجاری منفی ارتفاع تراز میانی در شمال دریای خزر قرار گرفته است که ناوه آن به‌سوی جنوب امتداد یافته است. همچنین هسته ناهنجاری منفی در غرب ایران و به شکل مداری امتداد یافته است. این شرایط معرف ماندگاری یا عبور ناوه‌های ارتفاع یا کم‌ارتفاع در روی ایران است. شکل (۶ ج) ناهنجاری سرعت باد تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال را برحسب متر بر ثانیه نشان می‌دهد. در این شکل ناهنجاری مثبت بزرگی سرعت باد در موقعیت جت جنب‌حاره در اطراف مدار ۲۵ درجه شمالی قرار دارد که نشان می‌دهد، هسته جت جنب حاره نسبت به میانگین بلندمدت ۱۰ متر بر ثانیه افزایش سرعت دارد. همچنین در موقعیت جت جنب قطبی نیز ناهنجاری مثبت ۱۰ واحدی قرار گرفته است که بیانگر تقویت جریان‌های جتی در این ماه می‌باشد.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.180.3]
[DOI: 10.61186/jgs.24.73.210]

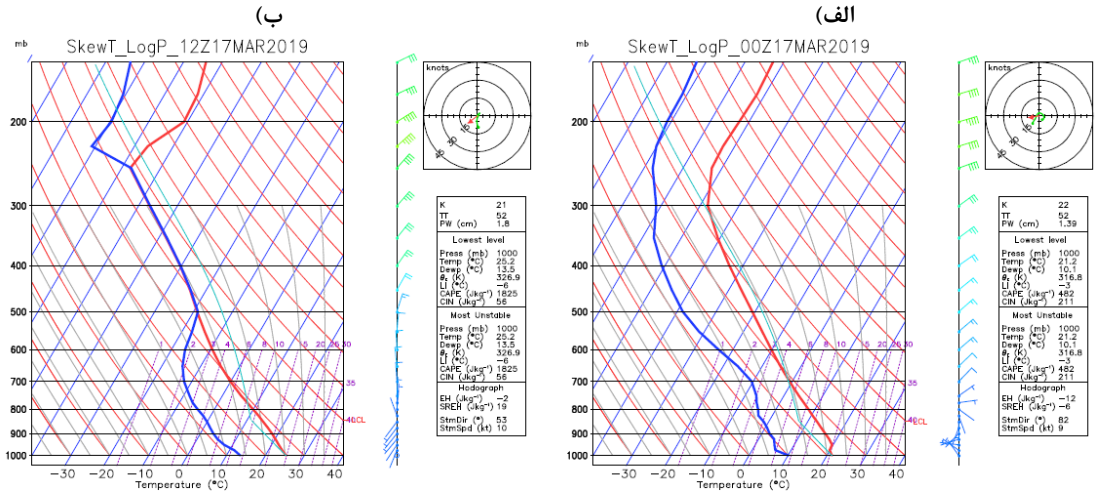


شکل (۶). ناهنجاری الف) فشارسطح متوسط دریا ب) ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ج) سرعت باد تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال ماه مارس ۲۰۱۹ نسبت به میانگین ۲۰۱۹-۱۹۸۱

بررسی شاخص‌های ناپایداری در نمودار ترمودینامیکی

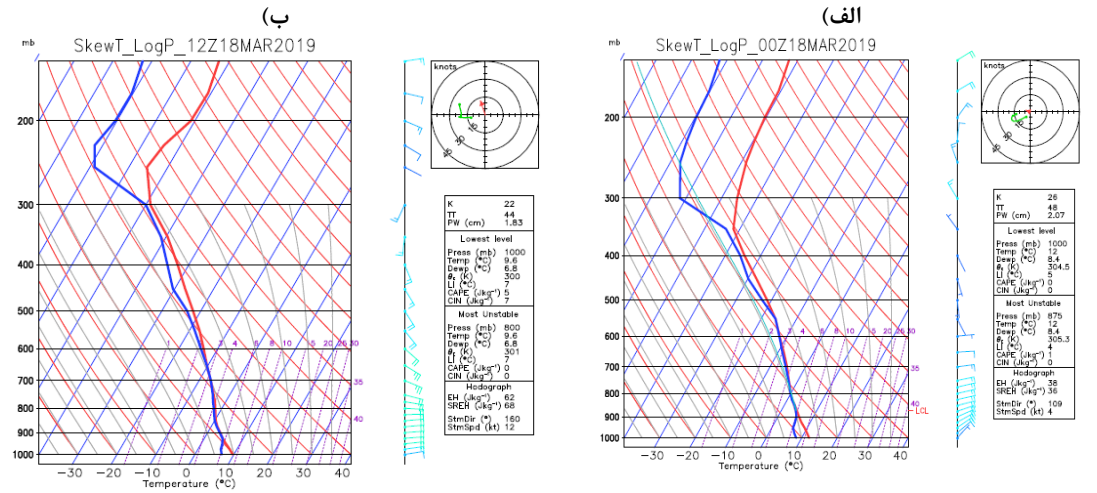
در ساعت ۰۰۰۰ گرینویچ روز ۲۶ اسفند شکل (۷ الف)، آب قابل بارش ۱/۳۹ سانتی‌متر، TT=52، K= 22 درجه سلسیوس نشان‌دهنده تقویت شرایط ناپایداری و نیز انتظار وقوع توفان شدید محلی می‌رود؛ اما هنوز دو نمودار دما و نقطه شبنم از هم فاصله داشته و رطوبت در محیط زیاد نمی‌باشد. نیمرخ عمودی باد در جهت پادساعتگرد، فرارفت هوای سرد (جبهه سرد) را نشان می‌دهد. در واقع شرایط در منطقه برای وجود ناپایداری از یک‌طرف و نزدیک شدن یک سیستم کم‌فشار و جبهه مطابق نقشه‌های همدیدی آماده می‌شود. در ساعت ۱۲۰۰ گرینویچ روز ۲۶ اسفند شکل (۷ ب)، آب قابل بارش ۱/۸ سانتی‌متر، TT=52 و K=21 درجه سلسیوس می‌باشند و شرایط همچنان ناپایدار توصیف می‌شود. هر دو نمودار در تراز ۵۰۰ میلی‌باری با هم تلاقی دارند و نیمرخ عمودی باد با ارتفاع ساعت‌گرد می‌باشد.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.180.3]
[DOI: 10.61186/jgs.24.73.210]



شکل (۷). الف) نمودارهای ترمودینامیکی ساعت ۰۰۰۰ وب) ۱۲۰۰ گرینویچ روز ۲۶ اسفند ۱۳۹۷ ایستگاه گرگان

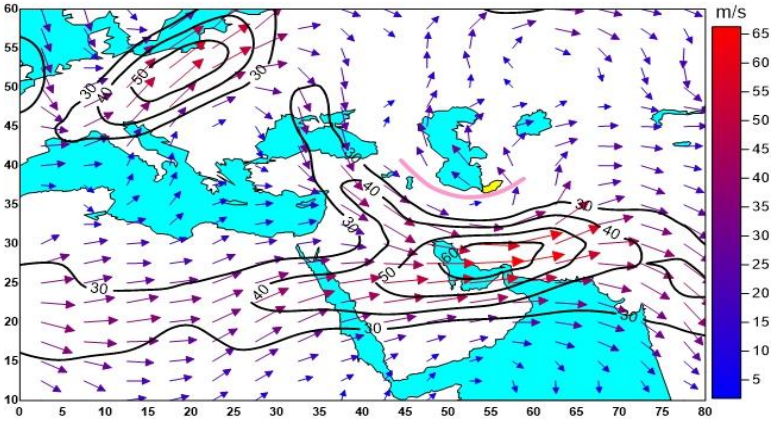
در ساعت ۰۰۰۰ گرینویچ روز ۲۷ اسفند شکل (۸ الف)، آب قابل بارش ۲/۰۷ سانتی‌متر، K=26،TT=48 درجه سلسیوس، نشان از افزایش آب قابل بارش در محیط می‌باشد. هر دو نمودار از ۹۰۰ میلی‌باری با هم کاملاً تلاقی پیدا کرده و این نشان‌دهنده وجود رطوبت اشباع در سطوح پایین‌تر است. جهت باد با ارتفاع ثابت و در حدود ۹۰ درجه شرقی است. ساعت ۱۲۰۰ گرینویچ همین روز شکل (۸ ب)، نمودارها کاملاً بر هم منطبق‌اند و محیط کاملاً اشباع از رطوبت است با آب قابل بارش ۱/۸۳ سانتی‌متر، TT=44، K=22 درجه سلسیوس و باد نیز شرقی و شرایط ناپایداری در محیط حکم‌فرماست.



شکل (۸). الف) نمودارهای ترمودینامیکی ساعت ۰۰۰۰ وب) ۱۲۰۰ گرینویچ روز ۲۷ اسفند ۱۳۹۷ ایستگاه گرگان

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.180.3]
[DOI: 10.61186/jgs.24.73.210]

همان‌طور که در شکل (۹) دیده می‌شود بررسی میدان باد در تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال مبین آن است که جت جنب‌حاره‌ای در حدود مدار ۲۲/۵ درجه شمالی قرار دارد و هسته آن با بیشینه سرعت ۶۰ متر بر ثانیه در جنوب ایران قرار گرفته است. از طرفی شاخه‌ای از جت جنب قطبی به‌سوی شمال دریای سیاه امتداد یافته که با عبور از آن، در غرب ایران با بخش شمالی جت جنب‌حاره‌ای ترکیب می‌شود. جریان‌های برگشتی در امتداد دریای خزر و به‌سوی شمال آن دریا دیده می‌شود. در واقع در جنوب دریای خزر یک خط ناوه عمیق و منطقه چرخندی قرار دارد. به دلیل وجود و تقویت منطقه چرخندی در منطقه موردمطالعه و انتقال رطوبت از دریای خزر، انتظار ریزش بارش‌های سیل‌آسا وجود دارد.

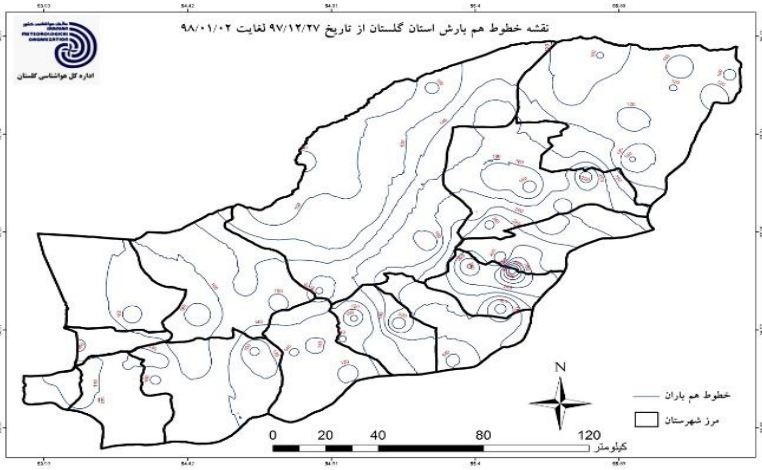


شکل (۹). میدان باد تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال (متر بر ثانیه) در ساعت ۰۰۰۰ گرینویچ روز ۱۸ مارس ۲۰۱۹

منبع: مرادی و رنجبر، ۱۳۹۸

با توجه به جدول (۵) و شکل (۱۰) بیشترین بارش مربوط به ایستگاه‌های مینودشت و کلاله بوده است که در جنوب شرق استان واقع شده‌اند. در طول فعالیت سامانه بارشی طی روزهای ۲۷ لغایت ۲۹ اسفند ۱۳۹۷ میانگین بارش‌های ثبت‌شده در حوضه آبریز گرگانرود، ۱۵۷/۵ میلی‌متر گزارش شده است که بیشترین میزان بارش طی این مدت در توسکاچال واقع در ارتفاعات مینودشت به میزان ۳۳۷ میلی‌متر رخ داده است.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.180.3]
[DOI: 10.61186/jgs.24.73.210]



شکل (۱۰). نقشه پربندهای هم بارش از تاریخ ۹۷/۱۲/۲۷ لغایت ۹۸/۱/۲ در استان گلستان

منبع: اداره کل هواشناسی استان گلستان

نتیجه‌گیری

در سال‌های اخیر تغییرات اقلیمی سبب وقوع پدیده‌های حدی و ناگهانی از جمله سیل‌های سنگین در مناطق مختلف جهان و نیز کشور ما شده است. استان گلستان یکی از مناطقی است که هر ساله با سیلاب‌های شدیدی مواجه شده است که اغلب با خسارت‌های فراوان اقتصادی و متأسفانه تلفات انسانی همراه بوده است. در این میان، پیش‌بینی رخداد بارش‌های سیل‌آسا به‌عنوان ابزاری برای مهار سیلاب و کاهش خسارات احتمالی مطرح است. تحلیل‌های آماری، همدیدی- دینامیکی، گسترش شبکه ایستگاه‌ها با استفاده از تجهیزات مدرن هواشناسی و استفاده از مدل‌های عددی هواشناسی می‌تواند در جهت اقدامات پیشگیرانه راهگشا باشد. از دلایل مهم بروز سیل در استان گلستان می‌توان به ویژگی‌های جغرافیایی استان، از بین بردن پوشش گیاهی توسط انسان و نیز شدت بارش اشاره کرد. کاهش سطوح سبز و نیز تخریب جنگل‌ها می‌تواند جذب آب ناشی از بارش‌های شدید را بسیار کم کند. در واقع با تغییر کاربری اراضی در مناطق جنگلی و نیز حتی تخریب جنگل‌ها در طی سالیان اخیر، این امر نقش اساسی در خسارت‌های ناشی از رخداد سیلاب‌های اخیر استان داشته است. همچنین، وقوع شیب در دامنه‌های جنوبی البرز یکی از عوامل تشدیدکننده سیل می‌باشد. در این حالت آب حاصل از بارش به پایین‌دست حوضه‌ها جاری‌شده و به‌راحتی نمی‌تواند جذب زمین شود. پرآب بودن اکثر سدهای استان و نیز بارش بالاتر از نرمال، ذوب برف و افزایش حجم آب رودخانه‌های منطقه سبب سرریز شدن سدها پس از بارش‌های سامانه‌های بارشی شدید شده است. سایر دلایل را می‌توان عدم لایروبی مسیر جریان حرکت سیلاب، انسداد مسیر رودخانه در روگذرها و هدایت جریان به سمت مناطق مسکونی، تعدی به حریم رودخانه‌ها، عدم آگاهی درست اهالی روستا و در نهایت برخورد ناصحیح مسئولین در مواجهه با حادثه شمرد. در این بررسی نتایج زیر را می‌توان از مهم‌ترین علل رخداد بارش سیل‌آسا در اواخر اسفند ۱۳۹۷ در استان گلستان نام برد. نتایج تحلیل نابهنجاری فشار، ارتفاع و

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.180.3]
[DOI: 10.61186/jgs.24.73.210]

سرعت باد در ترازهای مختلف جو در ماه مارس ۲۰۱۹ و مقایسه آن نسبت به میانگین بلندمدت نشان داد که نابهنجاری منفی فشار سطح دریا و ارتفاع تراز میانی جو در شمال‌غرب کشور و نیز روی دریای خزر و فراوانی عبور کم‌فشارها از این مناطق به همراه استقرار ناوه‌های کم‌ارتفاع در سطوح فوقانی همراه با نابهنجاری مثبت رطوبت نسبی در همین نواحی، همچنین نابهنجاری مثبت سرعت باد تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال که نشان‌دهنده افزایش چشمگیر و تقویت سرعت باد در دو جت جنب‌حاره و جت جنب‌قطبی نسبت به میانگین بلندمدت بوده، از دلایل مهمی است که سبب تقویت چرخند بسیار قوی همراه با یک ناوه عمیق در جنوب دریای خزر شده که در حرکت شرق‌سو به سمت شرق خزر و نیز انتقال رطوبت از دریای خزر، منجر به ریزش بارش‌های بسیار سنگین در استان گلستان شده است. نتایج تحلیل آماری نشان داد که ایستگاه‌های گرگان و گنبدکاووس هرکدام با بیشترین بارش از نوع حدی در اسفند ۱۳۹۷، دارای دوره برگشت به ترتیب ۸۰۰ و ۴۰۰ سال بودند. همچنین در روز ۲۷ اسفند بالاترین میزان شاخص ناپایداری گرگان با مقادیر K=۲۶ درجه سلسیوس، PW=۲/۰۷ سانتی‌متر و TT=۴۸ همراه با نم نسبی حدود ۸۰ درصد در سطح زمین به‌دست‌آمده است.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.180.3]
[DOI: 10.61186/jgs.24.73.210]

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.180.3]
[DOI: 10.61186/jgs.24.73.210]

منابع

آمار و اطلاعات سازمان هواشناسی کشور، اداره کل هواشناسی استان گلستان.

آرزومندی، لیلی، حجازی زاده، زهرا و ابراهیم فتاحی، (۱۳۹۶). **مقایسه عملکرد مدل آماری و دینامیکی در شبیه‌سازی بارش حدی، فصلنامه اکوهیدرولوژی**، ۴(۲): ۳۰۱-۳۱۳.

امیدوار، کمال، (۱۳۸۶)، **بررسی شرایط همدیدی و ترمودینامیکی رخداد بارش در منطقه شیرکوه**، پژوهش‌های جغرافیایی، (۵۹): ۸۱-۹۸.

پژوهشکده هواشناسی، (۱۳۸۷)، گزارش طرح **مطالعه و اجرای سامانه هشدار سیل حوضه‌های استان گلستان**.

پژوهشکده هواشناسی، (۱۳۹۲)، گزارش طرح **تحلیل بارش‌های شدید منجر به سیل در حوضه‌های جنوبی دریای خزر**.

پژوهشکده هواشناسی، (۱۳۹۶)، گزارش طرح **مدل‌سازی رگرسیونی دما با استفاده از مشخصات جغرافیایی در استان گلستان**.

جهان دیده، امید، اسدی نیلوان، امید، فرجی، ندا و مهشید ولیون کیوج، **شناسایی انواع سیلاب به‌عنوان یک بحران محیطی و عوامل مؤثر در بروز آن**، چهاردهمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه ارومیه، (۱۳۹۸).

دستمالچی تبریزی، شیرین، (۱۳۹۶)، **نمودار ترمودینامیکی SKEW-T و گزارش جو بالا**، انتشارات برازنده، چاپ دوم.

دارند، محمد، (۱۳۹۴)، **تحلیل همدید بارش‌های سیل‌آسای استان کردستان، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی**، ۱۵(۳۷): ۴۷-۷۰.

رسولی، علی‌اکبر، خورشید دوست، علی‌محمد و مجتبی فخاری واحد، (۱۳۹۵)، **بررسی شرایط سینوپتیکی و ترمودینامیکی توفان تندری منجر به سیل شدید ۲۸ تیرماه سال ۱۳۹۴ در البرز مرکزی**، جغرافیا و مخاطرات محیطی، (۱۸): ۱۲۷-۱۴۲.

رخشانی، مریم، **شبیه‌سازی زمان واقعی هیدروگراف سیل با مدل هیدرولوژیکی Wetspa به‌منظور کاربرد در سیستم‌های هشدار زودهنگام سیل**، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مرتع و آبخیزداری دانشگاه علوم انسانی و منابع طبیعی گرگان، (۱۳۹۴).

رحمن نیا، محمدرضا، کردجزی، محمد و سید محمدرضا رضوی، **بررسی سینوپتیکی بارش‌های منجر به سیل استان گلستان مطالعه موردی شهریورماه ۱۳۸۹**، دومین کنفرانس ملی مدیریت و مهندسی سیلاب با رویکرد سیلاب‌های شهری، تهران، (مهر ۱۳۹۳).

سجادی، سیده آمنه، (۱۳۸۷)، **تحلیل ترمودینامیکی و سینوپتیکی بارش‌های سیلاب‌ساز استان کرمانشاه**، فصل‌نامه جغرافیایی سرزمین، ۵(۱۹):۹۳-۱۰۴.

عساکره، حسین، (۱۳۹۰)، **مبانی اقلیم‌شناسی آماری**، زنجان، انتشارات دانشگاه زنجان، چاپ اول.

عزیزی، قاسم، نیری، معصومه و شیما رستمی جلیلیان، (۱۳۸۸)، **تحلیل سینوپتیک بارش‌های سنگین در غرب کشور**، جغرافیای طبیعی، تابستان ۱۳۸۸، ۱(۴):۱-۱۳.

عزیزی، قاسم، صمدی، زهرا، (۱۳۸۶)، **تحلیل همدیدی سیل ۲۸ مهرماه ۱۳۸۲ استان گیلان و مازندران**، پژوهش‌های جغرافیایی، (۶۰): ۶۱-۷۴.

علیزاده، امین. (۱۳۹۴)، **اصول هیدرولوژی کاربردی**. مشهد، انتشارات دانشگاه امام رضا (ع)، چاپ چهلم.

فرجامی، حسین، غفاریان، پروین و نفیسه پگاه فر، **بررسی دینامیک سامانه جوی حاکم در سیلاب ۲۸ اسفند ۱۳۹۷ استان گلستان**، هفتمین کنفرانس جامع مدیریت و مهندسی سیلاب، دانشگاه تهران، (مرداد ۱۳۹۸).

کردجزی، محمد، داداشی، نوربخش، رحمن نیا، محمدرضا، ملاحی، سمیه و اقدس جعفری، **تحلیل بارش‌های منجر به سیل در استان گلستان در اسفند ۱۳۹۷**، هفتمین کنفرانس جامع مدیریت و مهندسی سیلاب، دانشگاه تهران، (۱۳۹۸).

لشکری، حسن، اصغرپور، منیره و علی‌اکبر متکان، (۱۳۸۶)، **تحلیل سینوپتیکی عوامل ایجاد بارش‌های سیل زا در استان گلستان**، فصلنامه مدرس علوم انسانی، ۱۲(۲): ۱۸۱-۲۱۱.

مصطفایی، حسن، علیجانی، بهلول و محمد سلیقه، (۱۳۹۴)، **تحلیل سینوپتیکی بارش‌های شدید و فراگیر در ایران**، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۲(۴): ۶۵.

مرادی، محمد، رنجبر سعادت‌آبادی، عباس، (۱۳۹۸)، **بررسی موردی بارش‌های سیل‌آسا در ماه مارس ۲۰۱۹**، مجله علمی و ترویجی نیوار، (۱۰۴ و ۱۰۵): ۷۱-۸۵.

Anasah, S. O., Ahiataku, M. A., Yorke, C. K., Out-Larbi, F., Bashiru Yahaya, Lamptey, P. N. L., and M. Tanu (2020), **Meteorological Analysis of Floods in Ghana**, Advanced in Meteorology, V 2020, 1-14. https://doi.org/10.1155/2020/4230627

Bluestein, H. B., (1999): **A history of sever-storm-intercept field programs.** Weather Forecast. 14,558-577.

Cavalcanti, I.F.A. (2012). **Large scale and synoptic features associated with extreme precipitation over South America: A review and case studies for the first decade of the ۲۱st century, Atmospheric Research,** ۲۷-۴۰

Kaspar, M., Muller, M. (2010). **Variants of synoptic-scale patterns inducing heavy rains in the Czech Republic,** Physics and Chemistry of the Earth, 35:477-483.

Kumar, A., Dudhia, J., Rotunno, R., Niyogi, D., Mohanty, U. C. (2008**). Analysis of the 26 July 2005 heavy rain event over Mumbai, India using the Weather Research and Forecating (WRF) model. Q. J. R.** Meteorol. Soc, 134: 1897-1910.

Teufel, Bernardo, Sushama, L., Huziy, O. Diro, G.T., Jeong, D.I, Winger, K. Garnaud, C.,deli, R., Zwiers, F.W., Matthews, H.D., Nguyen, V.T.V. (2019). Investigation of the mechanisms leading to the 2017 Montreal flood. Climate Dynamics 52: 4193-4206 http://doi.org/10.1007/s00382-018-4375-0

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.180.3]
[DOI: 10.61186/jgs.24.73.210]