

مجله مخاطرات محیط طبیعی، دوره ششم، شماره ۱۴، زمستان ۱۳۹۶

تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۰۷/۱۸

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۶/۰۳/۰۶

صفحات: ۴۷-۶۲

تحلیل همدید منشاء بارش‌های بیش از ۲۰ میلی‌متر جهت اعلام هشدار وقوع سیلاب در استان سیستان و بلوچستان

محسن رضایی^{۱*}، مهدی اژدری مقدم^۲، غلامرضا عزیزیان^۳، محسن بستانی^۴

چکیده

بارش یکی از مهمترین پدیده‌های آب و هوایی و یکی از مهمترین عوامل ایجاد رواناب می باشد که نقش بارزی در برنامه ریزی و مدیریت منابع آب و مخاطرات ناشی از سیلاب دارد. بارشهای حدی پتانسیل ایجاد سیلاب را دارند. در این تحقیق با بررسی و شناخت استان به لحاظ بارش، فیزیوگرافی، توپوگرافی و ژئومورفولوژی آستانه حدی که توانایی ایجاد رخداد سیلاب داشته باشد انتخاب و سپس با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی، نرم افزارهای ArcMap و Excel و داده‌های روزانه بارش طی دوره آماری ۲۵ ساله از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۴ ایستگاههای سینوپتیک، اقلیم شناسی و باران سنجی استان سیستان و بلوچستان، تعداد ۷۲ رخداد بارش ۲۴ ساعته در آستانه حدی ۲۰ میلی‌متر و بالاتر (بیشینه بارش ۲۴ ساعته اتفاق افتاده در ایستگاه‌ها) پهنه‌بندی شد. بررسی نقشه پهنه‌بندی نشان می‌دهد که بیشترین تاثیر بارش در این آستانه حدی در نواحی ساحلی و جنوبی استان می‌باشد. نظر به اینکه ۸۰ درصد بارشهای ۲۰ میلی‌متر و بالاتر در پاییز و زمستان رخ داده است، به تحلیل کمی سامانه‌های فصول سرد سال (۳۷ رخداد) پرداخته شد. تحلیل سینوپتیک نقشه‌های همدید، وزش رطوبتی ترازهای ۵۰۰ و ۷۰۰ ه. پ. (هکتو پاسگال)، متوسط روزانه فشار سطح دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ ه. پ. و نقشه‌های امگا (صعود قائم هوا) در تراز دریا و ۵۰۰ ه. پ. انجام و الگوی کلی سامانه‌های غربی که منشاء بارش های حدی ۲۰ میلی‌متر و بالاتر در استان سیستان و بلوچستان در دوره سرد سال است، رسم شد. با توجه به اینکه بارشهای حدی زمینه ساز وقوع سیلاب می باشند، با بررسی عوامل ایجاد بارش های حدی می توان وقوع سیلاب را سریعتر پیش بینی نمود و با اعلام هشدار از ریسک سیلاب ها کاسته می‌شود.

واژگان کلیدی: بارش حدی، سامانه‌های بارش‌زا، تحلیل همدید، سیلاب، سیستان و بلوچستان

-
- ۱- مربی گروه عمران دانشگاه زابل و دانشجوی دکتری مهندسی عمران، دانشگاه سیستان و بلوچستان (نویسنده مسئول) Mohsen.rezaei@uoz.ac.ir
۲- دانشیار گروه عمران دانشگاه سیستان و بلوچستان mazhdary@eng.usb.ac.ir
۳- استادیار گروه عمران دانشگاه سیستان و بلوچستان g.azizyan@eng.usb.ac.ir
۴- کارشناس ارشد اقلیم شناسی اداره کل هواشناسی سیستان و بلوچستان Bostani1389@gmail.com

مقدمه

استان سیستان و بلوچستان در منتهی‌الیه جنوب شرقی ایران در عرض جغرافیایی ۲۵ تا ۳۱ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۵۷ تا ۶۳ درجه شرقی واقع شده است. این استان به دلیل نزدیکی به مدار راس السرطان و منطقه استوا و قرار گرفتن در منطقه تاثیر جریان‌ات موسمی اقیانوس هند در تابستان از قسمت جنوب شرقی، نفوذ زبانه های پر فشار سبیری از قسمت شمالی و نفوذ امواج بادهای غربی مواجه با پدیده‌های حدی آب و هوایی نظیر بارش های سیل آسا می‌باشد. ناحیه سیستان با ۸۱۱۷ کیلومتر مربع وسعت، در قسمت شمالی این استان قرار داشته و ناحیه بلوچستان به مساحت ۱۷۹۳۸۵ کیلومتر مربع، منطقه وسیع کوهستانی در جنوب این استان است که حد شمالی آن کویر لوت و حد جنوبی آن دریای عمان (مکران) است. بادهای غربی و موج های بلند و کوتاه آن ها از سیستم‌های موثر در میزان بارندگی ایران و استان سیستان و بلوچستان می‌باشند. این استان به دلیل واقع شدن در منتهی‌الیه شرقی ایران و عرض جغرافیایی پایین تر نسبت به سایر مناطق کشور مدت زمان کمتری تحت تاثیر این موج ها قرار می‌گیرد و بنابراین امواج بلند و کوتاه کمتری از آن عبور می‌کند. همچنین دوری نیمه شمالی استان از منابع رطوبتی و نبودن سایر مکانیسم های بارندگی نظیر مکانیسم صعود در نیمه جنوبی و سواحل باعث شده اند که استان سیستان و بلوچستان از خشک ترین استان های کشور و با میانگین بارش پایین باشد. سیستم مونسون در تابستانها در میزان بارش ایستگاه های جنوبی استان بویژه مناطق کوهستانی مکران موثر می‌باشد.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی استان سیستان و بلوچستان

تا دهه‌های گذشته تصور قریب به اتفاق هواشناسان و اقلیم شناسان کشور بر این بود که منطقه شمال شرق آفریقا و شبه جزیره عربستان، به جز بادهای گرم و خشک و ماسه و گرد و غبار چیز دیگری برای آب و هوای نواحی داخلی ایران و یا نواحی مجاور جنوبی به ارمغان نمی‌آورد. تصور اینکه سامانه ای بارش زا ضمن عبور از منطقه گرم و خشک و بیابانی عربستان مقادیر متناهی بارندگی با خود به همراه داشته باشد، سخت ناممکن و غیر قابل باور می‌نمود. اما در طی دهه‌های گذشته تحقیقات پراکنده برخی محققان، دلالت بر وجود سامانه ای فعال و بارش زا دارد که از عرض‌های جنوبی‌تر منشأ گرفته و به « کم فشار سودانی » معروف گردیده است. این سامانه در ایران به عنوان یک

سامانه فعال و مهم در اقلیم زمستانه نواحی جنوبی، جنوب غربی و داخلی ایران مورد توجه خاص قرار گرفته است (مفیدی، ۱۳۸۴). در پژوهشی نجار سلیقه به مکانیزم‌های بارش در جنوب شرق کشور پرداخته و مسیر نفوذ سیستم باران‌زا را به سه دسته تقسیم می‌کند: سیستم مدیترانه‌ای، سودانی و موسمی و نتیجه می‌گیرد قسمت اعظم بارندگی‌های ایران معلول ورود این عوامل است (نجار سلیقه، ۱۳۸۵).

یکی از سامانه‌های بارش‌زایی که بر مناطق جنوب شرق ایران به ویژه استان سیستان و بلوچستان تاثیر می‌گذارد سامانه‌های بارش‌زای جنوبی- جنوب غربی متاثر از کم فشار سودانی است. هنگامی که بادهای غربی منطقه معتدله عمق بیشتری پیدا می‌کنند، در منطقه غرب دریای سرخ سیکلون‌های جدیدی پدید می‌آیند که انرژی صعودی فراوانی با خود دارند. این سیکلون‌ها در روی دریای سرخ به جذب رطوبت پرداخته و با رسیدن به خلیج فارس و دریای عمان (مکران) بر مقدار رطوبت آنها افزوده می‌شود و چون در عرض‌های پایین جغرافیایی در حرکت هستند، دمای بیشتری داشته و لذا ظرفیت کافی برای جذب رطوبت را با خود دارند. در جنوب شرقی کشور، ارتفاعات بشاگرد جلوی رطوبت دریای عمان (مکران) را گرفته و لذا بارندگی در دامنه‌های جنوبی بشاگرد به ۱۵۰ میلی‌متر می‌رسد ولی به طرف چاله جازموریان از مقدار آن کاسته می‌شود. این جریان‌ها مرطوب هنگامی که از دریای عمان (مکران) وارد منطقه مورد مطالعه می‌شوند، با برخورد به ناهمواری‌ها صعود کرده و به طور نسبی ریزش‌های خوبی را از خود بجای می‌گذارند (نجار سلیقه، ۱۳۸۵). استان سیستان و بلوچستان علیرغم اینکه در سیستم‌های بزرگ اقلیمی بطور یکپارچه تحت تاثیر شرایط سینوپتیک خاص قرار می‌گیرد، اما عوامل اقلیمی موثر در آن باعث شده که از خرده اقلیم و نواحی نامتجانس اقلیمی برخوردار باشد. سلیقه و همکاران (۱۳۸۷) پهنه بندی اقلیمی استان را با استفاده از پنج عامل اقلیمی و تحلیل خوشه‌ای انجام داده و استان را به پنج ناحیه اقلیمی تقسیم نمودند. الف- خشک و گرم بیابانی، ایستگاه‌های باهوکلالت، نیکشهر و نصرت آباد، ب- نیمه خشک و معتدل گرم، ایستگاه‌های زاهدان و خاش، ج- خشک و گرم ساحلی ایستگاه چابهار، د- خشک و خیلی گرم بیابانی، ایستگاه‌های سرباز و سراوان، ح- خشک و گرم، ایستگاه‌های زابل و ایرانشهر.

علیچانی و همکاران (۱۳۸۹) به بررسی و شناخت عوامل ایجاد سنگین‌ترین بارش دوره آماری ۲۰ ساله از ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۸ میلادی در ایستگاه چابهار پرداختند. نتایج نشان داد رویداد ۶ ژانویه ۲۰۰۸ میلادی با وجود رطوبت زیاد در تراز پایین جو به ویژه تخلیه رطوبتی شدید از خلیج فارس، ناهنجاری شدید در ترازهای میانی جو و استقرار رود باد جنب حاره‌ای در غرب منطقه مرتبط است. همچنین خسروی و همکاران (۱۳۸۹) به مطالعه تاثیر دمای سطح آب دریا بر روی الگوهای رطوبت نسبی و خطوط جریان در سطح دریا به عنوان مکانیزم اصلی تغییر میزان بارندگی پرداختند و دریافتند اغلب در شرایط پر باران خطوط جریان بر روی دریا مسیر طولانی‌تری را طی نموده و میزان رطوبت آن افزایش می‌یابد. لیوآدا و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از داده‌های ۱۱۰ ایستگاه باران سنجی در بازه زمانی ۴۰ تا ۵۰ سال ویژگی‌های زمانی و مکانی بارش در یونان را بررسی و بیشینه بارش‌های حدی سالانه با دوره بازگشت‌های متفاوت را تحلیل زمانی- مکانی نمودند و با استفاده از روش تحلیل طیفی تغییرات درون سالی بسامد بارش بیشینه را تعیین کردند. رضیعی و عزیز (۱۳۸۸) با استفاده از تحلیل مولفه‌های اصلی و خوشه بندی، رژیم

بارشی غرب ایران را طبقه بندی نمودند. نتیجه کار آنها مشخص نمودن پنج ناحیه با بارش همگن برای منطقه مورد مطالعه بود. فدریکو و همکاران (۲۰۰۸) به بررسی الگوهای چرخش جوی وابسته به بارش های سنگین روزانه در کالابریای ایتالیای جنوبی در یک دوره ۸ ساله از ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۷ پرداختند. آنها با تحلیل خوشه ای پارامترهای جوی یازده الگوی چرخش جوی پیدا نمودند و همچنین نشان دادند بین این الگوها و الگوهای بارش حدی ارتباط معنی داری وجود دارد و این ارتباط را با فاصله از دریا، توپوگرافی منطقه و جریانات جوی در مقیاس همدید شرح دادند. دوستکامیان و میر موسوی (۱۳۹۴) به بررسی و تحلیل خوشه های آستانه بارش شدید ایران پرداختند. نتایج آنها ایران را به چهار منطقه مختلف تقسیم نمود که استان سیستان و بلوچستان در ناحیه با آستانه بارش سنگین بسیار کم و ضریب تغییرات بسیار زیاد قرار گرفت. اشرفی (۱۳۹۲) به پهنه بندی چرخه های معنادار بارش فوق سنگین سیستان و بلوچستان پرداخته و نتایج پژوهش او در جدول شماره ۱ خلاصه شده است.

جدول ۱: خلاصه نتایج پهنه بندی چرخه های معنادار بارش فوق سنگین سیستان و بلوچستان

مشخصات توصیفی گروه ها	گروه اول	گروه دوم	گروه سوم
درصد مساحت گروه از کل استان	۱۳/۴۶	۶۳/۰۶	۲۳/۴۸
میانگین مجموع سالانه بارش	۱۵۵/۴	۱۴۲/۴	۹۷/۸۵
میانگین بارش حاصل از صدک ۹۹	۲۷/۳	۲۱/۹	۱۳/۹
دوره بازگشت چرخه ها (سال)	۲ - ۸	۵ - ۱۱	۲ - ۵
روند مشاهده شده	افزایشی	افزایشی-کم	کاهشی-کم



اگر در هنگام بارش، شدت بارندگی از ظرفیت نفوذ آب به داخل خاک بیشتر باشد، بخشی از آب ناشی از بارندگی در سطح زمین باقی می ماند. این آب پس از پر کردن گودی های سطح زمین که به آن چالاب گفته می شود، در مسیر شیب زمین جریان می یابد و از طریق شبکه آبراهه و سپس رودخانه اصلی از حوضه خارج می شود. این بخش از بارندگی را می توان در رودخانه ها اندازه گیری کرد که به آن، رواناب سطحی می گویند (علیزاده، ۱۳۹۴). طبق تعریف فرهنگ آبخشاسی یونسکو سیل عبارت است از افزایش کوتاه مدت در سطح تراز آب یک رودخانه تا اوجی که سطح تراز آب از آن اوج با آهنگی آهسته تر عقب می نشیند. طبق تعریف دیگری سیل عبارت است از اضافه جریان آب نسبت به محدوده معمول رود یا حجمی از آب. سیل هر ساله خسارات فراوانی به زمین های کشاورزی، راه ها، پل ها و سد ها وارد نموده و در بعضی موارد باعث مرگ انسان ها و احشام شده که منجر به تخریب ساختار اجتماعی جوامع و زیان های جانی و مالی فراوان می شود. جاری شدن سیلاب واقعه ای طبیعی و تصادفی است که هر ساله موجب ضررهای مالی و جانی فراوانی در دنیا می گردد. در صورت عدم آمادگی، زیانهای ناشی از وقوع این حادثه خیلی بیشتر می گردد (تی کن و همکاران، ۲۰۰۷). در میان سیلاب های ثبت شده در ایستگاه های هیدرومتری کشور ایران تا سال ۱۳۸۱، ایستگاه های هیدرومتری استان سیستان و بلوچستان با ثبت حدود ۲۰ درصد (۹۵ مورد از ۴۶۷ مورد) از سیلاب های کل کشور ایران رتبه نخست را دارا می باشد. (کردوانی، ۱۳۸۱). نگارش و همکاران

(۱۳۹۲) برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی سیلاب در حوضه آبریز سرباز استان سیستان و بلوچستان از شبکه عصبی مصنوعی استفاده نمودند و نتایج نشان داد مدل شبکه عصبی نسبت به روش رگرسیونی عملکرد بهتری دارد و پیش‌بینی دقیق‌تری از سیلاب رودخانه سرباز ارائه می‌دهد. در وقوع سیلاب عوامل متعددی نقش دارند. اما یکی از مهمترین عوامل آن باران به ویژه بارش‌های حدی می‌باشد. استان سیستان و بلوچستان نیز در معرض وقوع سیلاب قرار دارد. در این تحقیق سعی شده شرایط همدید برای بارش‌های حدی که در نهایت منجر به وقوع سیلاب می‌شود بررسی شود تا با اعلام هشدار سریعتر سیلاب از خطرات ناشی از آن کاسته شود. لازم به ذکر است که در دو دهه اخیر کاربرد روش‌های غیر سازه‌ای مدیریت سیلاب و به خصوص پیش‌بینی و هشدار سیل برای کاهش ریسک سیلاب‌ها در کشورهای توسعه‌یافته روندی افزایشی داشته است.

داده‌ها و روش‌ها

در این پژوهش با توجه به شرایط توپوگرافی، وضعیت پوشش گیاهی به بررسی مقادیر ریزش‌های جوی استان پرداخته شد. با توجه به مکانیزم رواناب آستانه شروع رواناب به عواملی همچون مقادیر و شرایط ریزش‌های جوی شامل نوع، شدت و تداوم بارش و نیز توزیع مکانی و زمانی بارندگی، جهت حرکت سامانه بارشی و دیگر عوامل اقلیمی نظیر دما و تبخیر و تعرق و شرایط فیزیوگرافیکی و توپوگرافی حوضه‌های آبریز شامل مساحت، شکل، ارتفاع، شیب، شبکه زهکشی، جنس خاک، کاربری اراضی و وضعیت پوشش گیاهی بستگی دارد و بعضی از این عوامل در هر باران شرایط و مقادیر متفاوت دارد (به عنوان مثال خصوصیات بارش شامل شدت، مدت و نوع یا نفوذپذیری خاک با توجه به رطوبت قبلی متفاوت است) لذا تعیین دقیق آستانه تولید رواناب فقط برای یک باران خاص امکان‌پذیر است. از آنجا که هر چه بارش سنگین‌تر باشد احتمال ایجاد رخداد سیل بیشتر است با بررسی داده‌های ایستگاه‌های هیدرومتری و بارن‌سنجی و معیارهای شناختی منطقه مورد مطالعه آستانه حدی حد اقل ۲۰ میلی‌متر که توانایی ایجاد رخداد سیلاب داشته و کل استان را پوشش دهد انتخاب گردید. با استفاده از آمار و داده‌های روزانه بیشینه بارش ۲۴ ساعته، ایستگاه‌های سینوپتیک، اقلیم‌شناسی و باران‌سنجی استان سیستان و بلوچستان طی دوره آماری ۲۵ ساله بین سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۴ میلادی به پهنه بندی، تعداد ۷۲ عدد از رخداد‌های بیشینه بارش ۲۴ ساعته ۲۰ میلی‌متر و بیشتر با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی پرداخته شده است. داده‌های مورد نیاز از مرکز آمار هواشناسی استان سیستان و بلوچستان اخذ شده است.

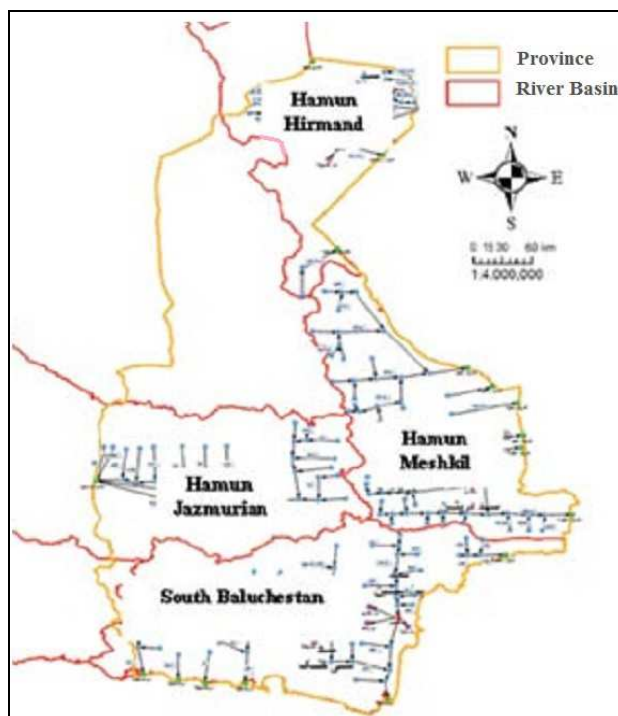
سپس با توجه به تحلیل زمان وقوع بارش‌های حدی ۲۰ میلی‌متر و بالاتر و با توجه به نسبت تعداد رخداد‌های حدی در هر فصل به کل تعداد رخداد‌های حدی در دوره آماری درصد وقوع بارندگی در هر فصل استخراج شد. در ادامه به بررسی منشاء بارش‌های حدی ۲۰ میلی‌متر و بالاتر (۳۷ رخداد) پرداخته و به منظور تحلیل کمی همدید سامانه‌های بارش زای فصل سرد سال که سبب ایجاد بارش‌های ۲۰ میلی‌متر و بالاتر می‌شود از نقشه‌های متوسط روزانه فشار سطح دریا و ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ ه. پ. (هکتو پاسکال)، نقشه‌های رطوبت نسبی ترازهای فشاری ۵۰۰ و ۷۰۰ ه. پ. نقشه‌های صعود قائم هوا در تراز دریا و ۵۰۰ ه. پ. استفاده شده است. این نقشه‌ها میانگین

روزانه بوده و گستره جغرافیایی ۱۰ تا ۶۰ درجه شمالی و ۳۰ تا ۸۰ درجه شرقی به گونه ای که منطقه مورد مطالعه را از لحاظ تحلیل همدید پوشش دهد انتخاب شده است.

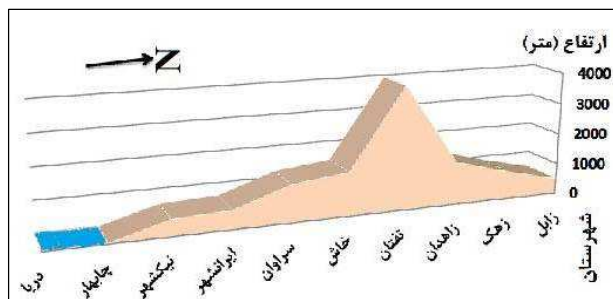
در پایان به بررسی زمان وقوع سامانه و زمان وقوع دبی های پیک رودخانه های استان پرداخته شد. همچنین تعداد ایستگاه هایی که دبی پیک سالیانه را در فاصله زمانی حداکثر ۵ روز بعد از رخداد بارش داشته مشخص شد. لازم به ذکر است آمار مربوط به دبی پیک (تعداد ۳۳ ایستگاه) از شرکت آب منطقه ای استان سیستان و بلوچستان گرفته شده است.

بحث و نتایج

استان استان سیستان و بلوچستان دارای چهارحوضه اصلی آبریز اصلی به نام های هامون هیرمند، مشکیل، جازموریان و بلوچستان جنوبی است. بررسی اقلیم و ژئومرفولوژی استان مشخص نمود اغلب نواحی این استان خشک و گرم می باشد و از پوشش ضعیف گیاهی برخوردار است که می تواند عاملی برای تشدید رواناب باشد. که این حوضه ها در شکل شماره ۲ نشان داده شده است. در شکل شماره ۳ نمای شماتیک شیب کلی استان آمده است و نشان می دهد ارتفاع از سطح دریا از کوه تفتان به طرف جنوب و شمال استان کاهش می یابد. همچنین شیب حوضه های آبریز در مناطق نزدیک به کوه تفتان بیشتر است.

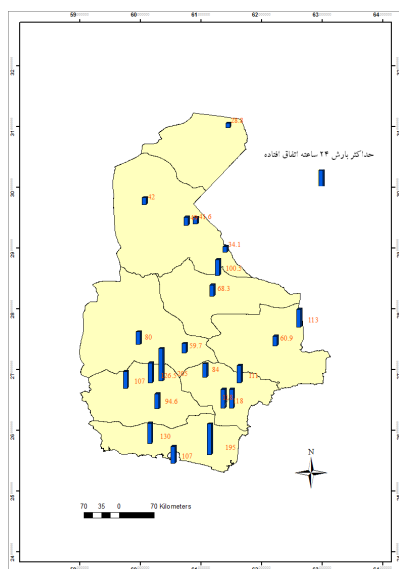


شکل ۲: حوضه های آبریز استان سیستان و بلوچستان

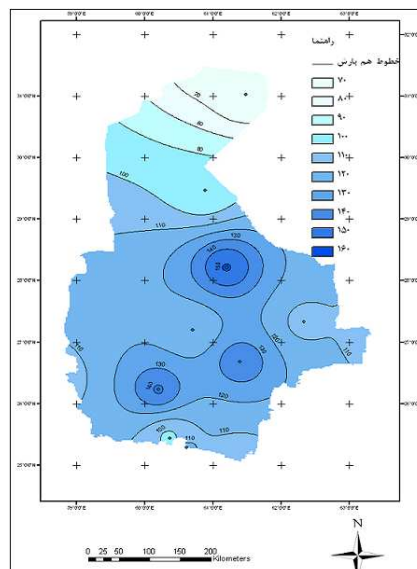


شکل ۳: نمای شماتیک توپوگرافی استان سیستان و بلوچستان

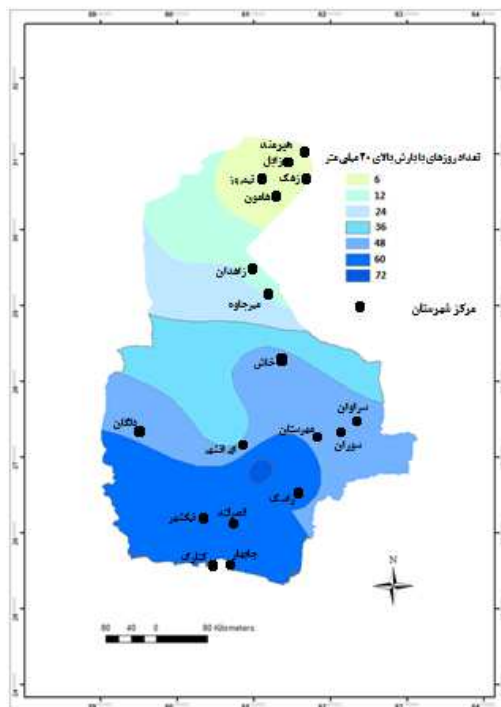
دوری نیمه شمالی استان از منابع رطوبتی و نبودن سایر مکانیسم‌های بارندگی نظیر مکانیسم صعود در نیمه جنوبی و سواحل باعث شده اند که استان سیستان و بلوچستان از خشک‌ترین استان‌های کشور و میانگین بارش استان پایین باشد. بررسی توزیع بارش در استان نشان می‌دهد که کمترین بارشها در منطقه سیستان (شمال استان) با متوسط سالیانه ۷۰ میلی‌متر و بیشترین بارش‌ها در محدوده ایستگاه‌های خاش با متوسط سالیانه ۱۶۰ میلی‌متر و راسک و نیکشهر با متوسط سالیانه ۱۵۰ میلی‌متر اتفاق افتاده است. بررسی آمار بارندگی طی دوره آماری نشان داد در این دوره باران‌های بالای ۵۰ میلی‌متر در شبانه روز حداکثر ۱۱ مورد وجود داشته که مربوط به ایستگاه‌های جنوب استان بوده و در شمال استان موردی ثبت نشده است. همچنین برای آمار ۳۰ میلی‌متر و بالاتر نیز حداکثر ۳۰ مورد وجود دارد و برای ایستگاه زابل هیچ موردی ثبت نشده است. حداکثر بارش رخ داده در این ایستگاه واقع در شمال استان ۲۸/۸ میلی‌متر است. سپس بررسی آمار ۲۰ میلی‌متر و بیشتر نشان داد در دوره آماری ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۴ تعداد ۷۲ رخداد بارش ۲۰ میلی‌متر و بیشتر ثبت شده و در این دوره در ایستگاه‌های شمال استان ۶ مورد باران ۲۴ ساعته و بیشتر ثبت شده است. با توجه به زمان وقوع بارش‌های حدی ۲۰ میلی‌متر و بررسی آمار ایستگاه‌های هیدرومتری و دبی پیک سالیانه رودخانه‌ها مشخص شد بارش‌های بیش از ۲۰ میلی‌متر توان ایجاد سیلاب را دارد. با دقت در نتایج میانگین بارش حاصل از صدک ۹۹ بارش‌های فوق‌سنگین استان که برای سه ناحیه از جنوب به شمال استان به ترتیب برابر ۲۷/۳، ۲۱/۹ و ۱۳/۹ بود. بنابراین آستانه ۲۰ میلی‌متر بارش ۲۴ ساعته که توان ایجاد سیلاب دارد و کل استان را پوشش می‌دهد، انتخاب گردید. نقشه توزیع میانگین بارش در سطح استان و نقشه حداکثر بارش ۲۴ ساعته در ایستگاه‌ها به ترتیب در شکل‌های شماره‌های ۴ و ۵ آمده است.



شکل ۵: نقشه حداکثر بارش ۲۴ ساعته در ایستگاه‌ها



شکل ۴: نقشه توزیع میانگین بارش در سطح استان س. و ب.



شکل ۶: نقشه پهنه بندی تعداد روزهای با بارش ۲۰ میلی متر و بالاتر طی دوره آماری (۱۹۹۰-۲۰۱۴)

سپس داده های مربوط به بیشینه بارش های ۲۴ ساعته به میزان ۲۰ میلیمتر و بیشتر، استان سیستان و بلوچستان پهنه بندی شد و در شکل شماره ۶ نشان داده شده است. بررسی شکل شماره ۶ نشان می دهد هر چه از قسمت های جنوبی استان به سمت قسمت های شمالی حرکت کنیم از تعداد روزهای بارش های حدی ۲۰ میلیمتر و بیشتر

کاسته می‌شود. تعداد روز‌های با بیشینه بارش ۲۰ میلی‌متر و بیشتر در مناطق جنوبی و ساحلی استان بیشتر و حدود ۶۰ مورد طی دوره مورد مطالعه است. که از دلایل آن نزدیکی به دریا و کوهستانی بودن منطقه به ویژه در منطقه راسک با ۷۲ مورد را می‌توان نام برد. قسمت شمالی استان، منطقه سیستان طی دوره آماری مورد مطالعه تنها ۶ مورد بارش ۲۰ میلی‌متر و بیشتر داشته است.

سپس به بررسی زمان وقوع بارش‌های ۲۰ میلی‌متر و بالاتر در استان طی دوره آماری پرداخته شد و با توجه به نسبت تعداد رخداد‌های حدی در هر فصل به کل تعداد رخداد‌های حدی در دوره آماری درصد وقوع بارندگی در هر فصل استخراج شد. که خلاصه نتایج در جدول شماره ۲، آمده است.

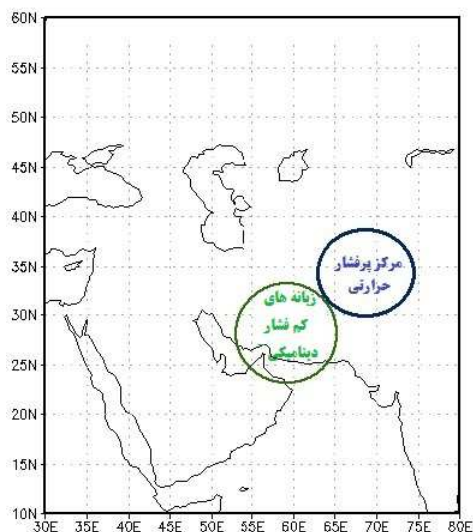
جدول ۲: رژیم بارش‌های ۲۰ میلی‌متر و بالاتر در استان طی دوره آماری

زمستان	پاییز	تابستان	بهار	درصد وقوع بارندگی حدی ۲۰ میلی‌متر و بالاتر در هر فصل
۵۵	۲۵	۵	۱۵	

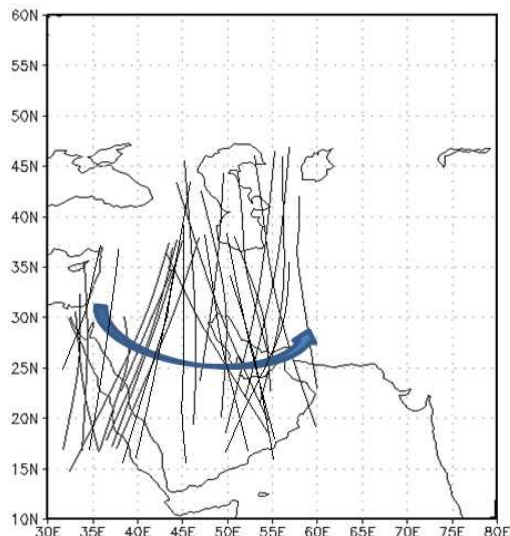
ملاحظه شد در دوره سرد سال (پاییز و زمستان) حدود ۸۰ درصد بارش‌های حدی ۲۰ میلی‌متر و بالاتر رخ می‌دهد و در دوره گرم سال (بهار و تابستان) حدود ۲۰ درصد بارش‌های حدی ۲۰ میلی‌متر و بالاتر رخ می‌دهد. نظر به اینکه برای ایجاد بارش‌های حدی فصل‌های گرم بیشتر مونسون و بارش‌های فصل‌های سرد بیشتر سامانه‌های غربی موثر است به بررسی عوامل و شرایط بارش‌های حدی در دوره سرد سال پرداخته شد.

در ادامه جهت بررسی منشاء بارش‌های ۲۴ ساعته ۲۰ میلی‌متر و بیشتر پس از انتخاب سامانه‌های بارش‌زا با توجه به این که بارندگی هر سامانه طی چند روز و بطور پراکنده در ایستگاه‌های مختلف تداوم داشته اولین روزی را که حداقل در یک ایستگاه ۲۰ میلی‌متر باران آمده است در نظر گرفته و بر اساس آن نقشه‌های مورد نیاز استخراج شده است. به منظور تحلیل کمی همدید سامانه‌های بارش‌زا در این پژوهش از نقشه‌های متوسط روزانه فشار سطح دریا و ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ ه. پ.، نقشه‌های رطوبت نسبی ترازهای فشاری ۵۰۰ و ۷۰۰ ه. پ.، نقشه‌های امگا (صعود قائم هوا) در تراز دریا و ۵۰۰ ه. پ. در گستره جغرافیایی ۱۰ تا ۶۰ درجه شمالی و ۳۰ تا ۸۰ درجه شرقی استفاده شده است. جهت تبیین اثر ترازهای بالایی جو در بارندگی‌ها نقشه‌های ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ ه. پ. (به عنوان نماینده ترازهای میانی جو) مورد مطالعه قرار گرفت و امواج ناشی از بادهای غربی در آن مشاهده شد. در ادامه فرود موجود در سامانه‌های غربی برای روز بارندگی و دو روز قبل از آن استخراج و در نقشه‌ای که با استفاده از نرم افزار سامانه اطلاعات جغرافیایی رسم شده در شکل شماره ۷، آورده شده است. بررسی شکل نشان می‌دهد که فرود بادهای غربی بسیار عمیق شده و به عرض‌های پایین‌تر تا ۱۵ و حتی ۱۰ درجه شمالی می‌رسد. این فرودها در طی دو روز قبل از بارندگی در استان سیستان و بلوچستان در مناطق سودان، دریای سرخ و غرب عربستان قرار گرفته‌اند. عمق فرودهای مذکور به طور متوسط حدود ۳۰ درجه با جهت‌گیری از عرض‌های جغرافیایی بالا به پایین است. مسیر حرکت فرودها به سمت استان سیستان و بلوچستان در شکل نشان داده شده است و نشان می‌دهد که

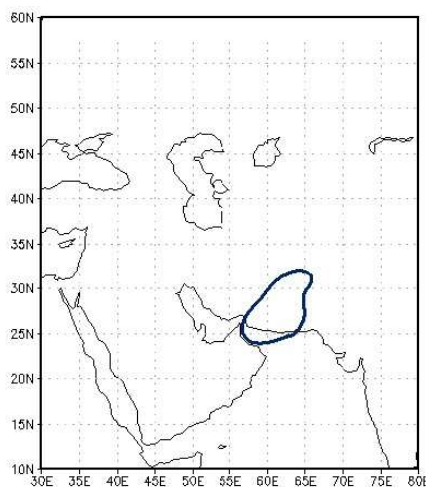
فرودها از سمت جنوبی خلیج فارس وارد و پس از عبور از این پهنه آبی از قسمت شرقی آن و بویژه تنگه هرمز وارد جنوب شرقی ایران و استان سیستان و بلوچستان می شود.



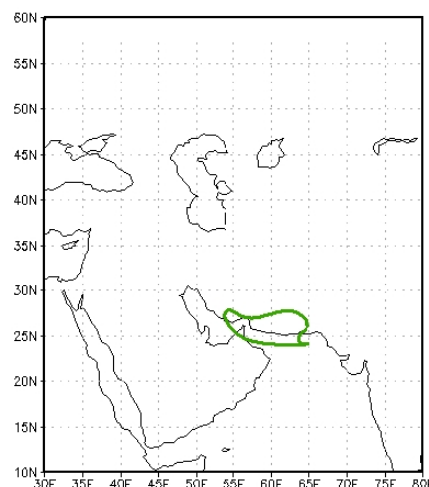
شکل ۸: موقعیت مکانی قرار گیری مراکز و رشته های فشار در نقشه های سطح دریا



شکل ۷: فرودهای موجود در سامانه های منتخب و مسیر حرکت فرودهای ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ ه. پ.



شکل ۱۰: موقعیت مکانی قرار گیری مناطقی که توده هوا قابلیت صعود دارد با استفاده از نقشه های امگا سطح ۵۰۰ ه. پ.

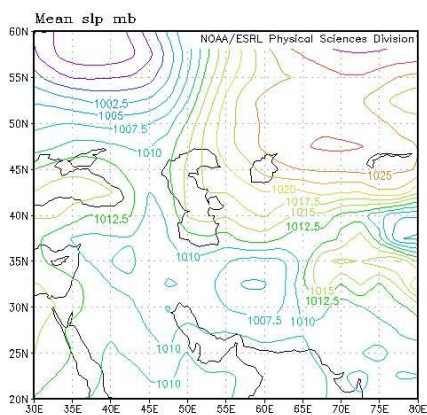


شکل ۹: موقعیت مکانی قرار گیری مناطقی که توده هوا، قابلیت صعود دارد با استفاده از نقشه های امگا سطح دریا

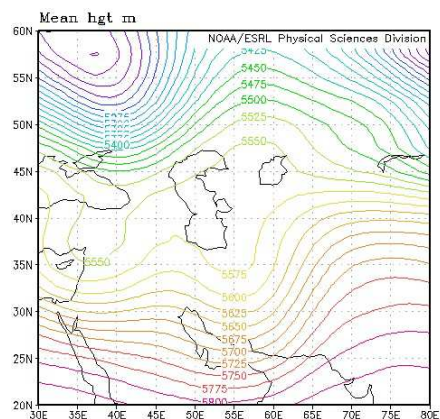
نقشه فرودها برای روز بارندگی نشان می دهد که در روزهای با بارندگی به میزان ۲۰ میلیمتر و بالاتر از سامانه های بارش زای فصل سرد محور فرودها بر روی خلیج فارس واقع شده و بنابراین امکان صعود توده هوای عبوری از خلیج

فارس که در این پهنه آبی تقویت رطوبتی شده وجود دارد. در ادامه جهت بررسی وضعیت الگوی فشار در سطح دریا برای اولین روزی که هر یک از سامانه‌های منتخب حداقل در یک ایستگاه از ایستگاه‌های مورد مطالعه ۲۰ میلیمتر و یا بیشتر بارندگی داشته‌اند نقشه فشار سطح دریا استخراج شد. بررسی این نقشه‌ها نشان می‌دهد که در روز بارندگی زبانه‌های کم فشار بر روی خلیج فارس حاکم است. بررسی زبانه کم فشار در سامانه‌های جوی منتخب نشان می‌دهد حداقل میزان فشار سطح دریا مشاهده شده ۱۰۰۹/۵ ه. پ. و حداکثر آن ۱۰۱۴ ه. پ. و بطور متوسط ۱۰۱۲ ه. پ. بوده است. بنابراین شرایط سطح دریا برای صعود هوای مرطوب از سطح خلیج فارس مهیا می‌باشد. همچنین مرکز پر فشار در قسمت شمال شرقی استان و قسمت‌های غربی افغانستان با میانگین فشار مرکزی ۱۰۲۶ ه. پ. قرار دارد که مانع حرکت شرق سوی سامانه بارشی می‌گردد. که در شکل شماره ۸ الگوی قرار گیری مکان مراکز فشار مذکور آورده شده است. برای نشان دادن قابلیت صعود از نقشه‌های امگا (صعود قائم هوا) در تراز دریا و ۵۰۰ ه. پ. برای اولین روز بارندگی هریک از سامانه‌های بارش‌زا استفاده شد. این نقشه‌ها نشان دهنده قابلیت صعود توده هوا می‌باشد و هرچه مقادیر آن منفی‌تر باشد سرعت صعود هوا بیشتر است. نقشه‌های مذکور نشان می‌دهد که بطور متوسط صعود قائم در سطح دریا به طور متوسط ۰/۱- پاسگال بر ثانیه می‌باشد. همچنین میانگین این مقدار برای تراز ۵۰۰ ه. پ. برابر ۰/۲۷- پاسگال بر ثانیه است. الگوی مکانی صعود قائم جو برای سطوح دریا و ۵۰۰ ه. پ. در شکل‌های شماره ۹ و ۱۰ آورده شده است. و در نهایت جهت نشان دادن میزان رطوبت گیری لایه‌های مختلف جو نقشه‌های میزان رطوبت نسبی ترازهای ۵۰۰ و ۷۰۰ ه. پ. برای روز بارندگی استخراج شد. نقشه‌های مذکور تایید کننده این موضوع است که توده هوای مرطوبی که به خلیج فارس و دریای عمان (مکران) می‌رسد تقویت شده و با توجه به صعود هوا در قسمت جلوی ترف این رطوبت به جو تزریق و بارندگی به میزان قابل ملاحظه در استان سیستان و بلوچستان ایجاد می‌کند.

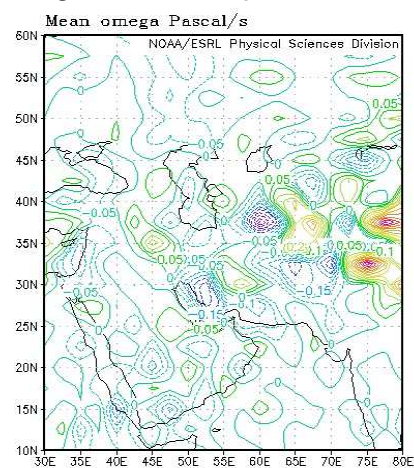
با توجه به اینکه سامانه‌های مورد بررسی در دوره سرد سال (پاییز و زمستان) بود و شرح همه ۳۷ سامانه امکان‌پذیر نمی‌باشد، به عنوان مثال سامانه روز ۳ مارس سال ۱۹۹۹ میلادی که بیشتر نشان دهنده الگوی بارش‌های تقویت شده می‌باشد و نمونه‌ای است که شرایط همدیدی آن به طور نسبی با شرایط همدیدی سایر نمونه‌ها مشابه است انتخاب و تحلیل کمی شد. شکل شماره ۱۱ نقشه سطح ۵۰۰ ه. پ. در این روز واقع شدن یک ترف عمیق را بر روی خلیج فارس نشان می‌دهد در قسمت جلوی ترف مذکور که بر روی سیستان و بلوچستان واقع شده است امکان صعود رطوبت و بارش وجود دارد. نقشه فشار سطح دریا در همان روز در شکل شماره ۱۲ کم فشار بسته به مقدار ۱۰۰۷,۵ هکتو پاسکال واقع شده است که نشان می‌دهد امکان صعود در استان وجود دارد همچنین زبانه‌های پرفشار در شمال شرقی استان مشاهده می‌شود که باعث کند شدن حرکت سامانه و تداوم بارش آن می‌شود. در شکل ۱۳ و ۱۴ نقشه‌های صعود قائم جو در تراز ۵۰۰ ه. پ. و دریا آورده شده است نقشه‌های فوق صعود قائم جو را نشان می‌دهد. در ادامه شکل‌های شماره ۱۵ و ۱۶ میزان رطوبت صعود یافته در سطح ۵۰۰ و ۷۰۰ ه. پ. را نشان می‌دهد.



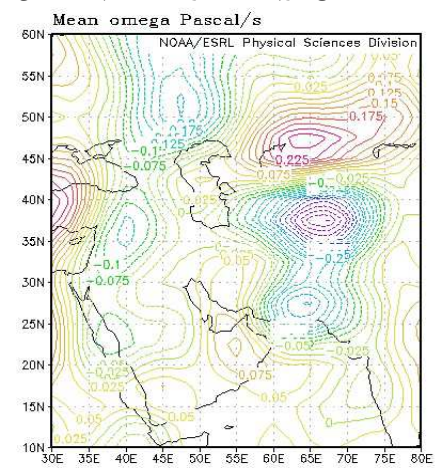
شکل ۱۲: نقشه فشار تراز دریا در روز ۳ مارس ۱۹۹۹



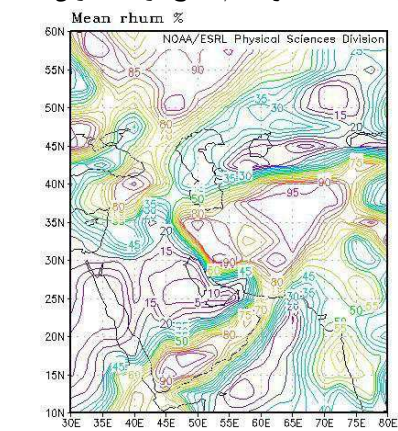
شکل ۱۱: نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ ه. پ. ۳ مارس ۱۹۹۹



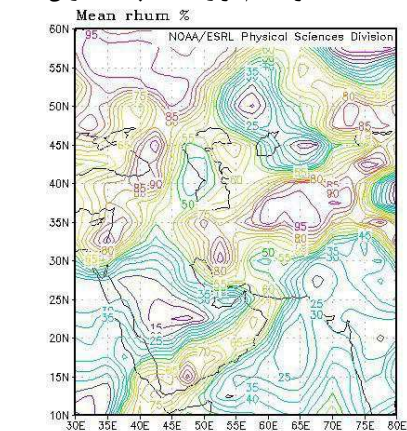
شکل ۱۴: نقشه صعود قائم سطح دریا ۳ مارس ۱۹۹۹



شکل ۱۳: نقشه صعود قائم تراز ۵۰۰ ه. پ. ۳ مارس ۱۹۹۹



شکل ۱۶: نقشه رطوبت نسبی سطح ۷۰۰ ه. پ. ۳ مارس ۱۹۹۹



شکل ۱۵: نقشه رطوبت نسبی سطح ۵۰۰ ه. پ. ۳ مارس ۱۹۹۹

در پایان به مقایسه زمان وقوع بارش و دبی اوج ثبت شده برای هر ایستگاه در زمانهای مختلف پرداخته شد. اغلب ایستگاه‌های هیدرومتری، دبی پیک سالیانه خود را در روز بارندگی حدی یا یک یا دو روز بعد از آن دارد. نتایج دلالت بر تبعیت دبی اوج از زمان وقوع باران‌های حدی ۲۰ میلی‌متر و بالاتر را دارد. در جدول شماره ۴، تعدادی از سامانه‌ها که حداقل در ۳ ایستگاه هیدرومتری دبی پیک داشته است به همراه تعداد دبی‌های پیک ثبت شده آمده است. این موضوع نشان می‌دهد سامانه‌های مذکور و الگوی مورد بررسی می‌تواند منجر به وقوع سیلاب گردد و با اعلام هشدار سیلاب در استان می‌توان از خطرات آن کاسته شود.

جدول ۴: تعداد دبی اوج ثبت شده برای باران‌های حدی ۲۰ میلی‌متر و بالاتر در ایستگاه‌های هیدرومتری

ردیف	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
تاریخ سامانه	10 February 1990	9 February 1991	15 March 1991	4 February 1992	9 December 1992	24 February 1994	24 February 1996	1 March 1998	3 March 1999	25 September 1999	22 February 2002	27 December 2004	1 March 2005	29 January 2006	5 January 2008	7 December 2009	5 February 2010	9 February 2011	17 December 2012
تعداد دبی اوج	10	3	6	4	3	3	5	7	3	3	4	11	4	3	13	3	13	12	4

نتیجه‌گیری

استان سیستان و بلوچستان با توجه به موقعیت خاص جغرافیایی و اقلیمی در معرض رخداد پدیده‌های حدی اقلیمی می‌باشد. با عنایت به این که استان سیستان و بلوچستان دارای اقلیمی گرم و خشک می‌باشد، بنابراین پوشش گیاهی فقیر خاک، کوهستانی بودن استان و شیب بالای حوضه‌های آبریز باعث می‌شود که بارش با مقادیر ۲۰ میلی‌متر و بالاتر ایجاد روان‌آب و سیلاب کند. در مناطق جنوبی استان پتانسیل و شرایط برای وقوع سیلاب فراهم‌تر می‌باشد. بی‌نظمی و عدم پخش مناسب بارندگی، شرایط خاک، پوشش گیاهی فقیر، کوهستانی بودن مناطق جنوب استان و قرار گرفتن مناطق مسکونی و فعالیتهای اقتصادی در کنار رودخانه‌ها و مسیل‌ها مخاطرات محیطی ناشی از سیلاب‌های شدید را در پی دارد.

بررسی الگوهای همدید نشان داد منشاء بارش ۲۴ ساعته ۲۰ میلی‌متر و بالاتر در دوره سرد سال ناشی از موج‌های باد‌های غربی است که در خلیج فارس و دریای عمان (مکران) توانایی جذب رطوبت را داشته، تغذیه رطوبتی و تقویت شده باشد. این سامانه‌ها بارشهای سنگین ایجاد و احتمال رخداد سیل می‌باشد که می‌توان با توجه به مسیر عبور سامانه و بررسی شرایط تغذیه رطوبتی در پهنه‌های آبی جنوب ایران قبل از وقوع بارش و سیلاب از احتمال رخداد آن آگاه و هشدارهای لازم به مردم و مسئولین اجرایی ارائه گردد تا از خطرات سیلاب کاسته شود. با توجه به وقوع بارش‌های بیشینه در منطقه ساحلی و ارتفاعات جنوبی استان لزوم مطالعات مربوط به سیل در این مناطق تحت عنوان مدیریت ریسک مشهود می‌باشد.

تقدیر و تشکر

از اداره کل هواشناسی استان س. و ب. و شرکت آب منطقه ای استان س. و ب. برای ارائه آمار سپاسگزاری می‌گردد.

منابع

- اشرفی سعیده؛ (۱۳۹۲). پهنه بندی چرخه های معنادار بارش فوق سنگین سیستان و بلوچستان، دو فصل نامه اندیشه جغرافیایی، دانشگاه زنجان، دوره ۷، شماره ۱۳، بهار و تابستان ۱۳۹۲، صص ۱-۳۳.
- خسروی، محمود؛ خوشحال جواد؛ نظری پور حمید (۱۳۸۸). شناسایی منشاء و مسیر رطوبت بارشهای فوق سنگین استان بوشهر، جغرافیا و توسعه، شماره ۱۶ صص ۷-۲۸.
- خسروی محمود؛ سلیقه محمد؛ صباغی بهروز (۱۳۸۹). تاثیر آنومالی های دمای سطح دریای عمان (مکران) بر بارندگی فصول پاییز و زمستان سواحل جنوب شرق ایران، نشریه جغرافیا و برنامه ریزی، دانشگاه تبریز، سال ۱۶، شماره ۳۷، پاییز ۱۳۹۰ صص ۵۹-۸۱.
- خسروی محمود؛ بستانی محسن؛ عزیزاقلی محمد علی؛ گودرزی فر، مصدق (۱۳۹۲). مقایسه پهنه های بارشی استان سیستان و بلوچستان با استفاده از داده های ماهواره ای و ایستگاههای زمینی، نشریه پژوهش های اقلیم شناسی، سال چهارم، شماره سیزدهم و چهاردهم، بهار و تابستان ۱۳۹۲، صص ۹۷-۱۱۰.
- دوستکامیان مهدی؛ میرموسوی سیدحسین (۱۳۹۴). بررسی و تحلیل خوشه های آستانه بارش شدید ایران، جغرافیا و توسعه شماره ۴۱، زمستان ۱۳۹۴، صص ۱۳۱-۱۴۶.
- رضیعی طیب؛ عزیزی قاسم (۱۳۸۶). منطقه بندی رژیم بارشی غرب ایران با استفاده از روشهای تحلیل مولفه های اصلی و خوشه بندی، تحقیقات منابع آب ایران پاییز ۱۳۸۶، شماره ۳، صص ۶۲-۶۵.
- سلیقه محمد؛ بریمانی فرامرز؛ اسمعیل نژاد مرتضی (۱۳۸۷). پهنه بندی اقلیمی استان سیستان و بلوچستان، جغرافیا و توسعه شماره ۱۲، پاییز و زمستان ۱۳۸۷، صص ۱۰۱-۱۱۶.
- شرکت آب منطقه ای استان سیستان و بلوچستان (۱۳۹۵).
- علیچانی بهلول؛ خسروی محمود؛ اسمعیل نژاد مرتضی (۱۳۸۹). تحلیل همدیدی بارش سنگین ششم ژانویه ۲۰۰۸ در جنوب شرق ایران، مجله پژوهش های اقلیم شناسی سال اول، شماره سوم و چهارم، پاییز و زمستان ۱۳۸۹، صص ۳-۱۴.
- علیزاده امین (۱۳۹۴). اصول هیدرولوژی کاربردی. انتشارات دانشگاه امام رضا (ع). ویرایش هفتم چاپ چهلیم، ۹۴۲ صفحه.
- فرج زاده اصل منوچهر؛ کریمی احمدآباد مصطفی؛ قائمی هوشنگ؛ مباحثی محمد رضا (۱۳۸۸). چگونگی انتقال رطوبت در بارش زمستانه غرب (مطالعه موردی بارش ۷-۳ ژانویه ۱۹۹۶)، مجله مدرس علوم انسانی، شماره ۶۰، صص ۲۱۷-۱۹۳.
- کردوانی پرویز (۱۳۸۱). منابع و مسائل آب در ایران جلد اول: آبهای سطحی و زیرزمینی و مسائل بهره برداری از آنها. انتشارات دانشگاه تهران. چاپ دهم، ۴۲۰ صفحه.
- لشکری حسن (۱۳۸۱). مسیریابی سامانه های کم فشار سودانی ورودی به ایران، مجله مدرس علوم انسانی، تابستان ۸۱ شماره ۲۵، صص ۱۵۶-۱۳۳.
- مرکز آمار اداره کل هواشناسی استان سیستان و بلوچستان (۱۳۹۴).
- مفیدی عباس؛ زرین آذر (۱۳۸۴). بررسی سینوپتیکی تاثیر سامانه های کم فشار سودانی در وقوع بارش های سیل زا در ایران، مجله تحقیقات جغرافیایی، تابستان ۱۳۸۴، شماره ۷۷، صص ۱۳۶-۱۱۳.
- نجار سلیقه محمد (۱۳۸۵). مکانیزم های بارش در جنوب شرق کشور، مجله پژوهش های جغرافیایی، بهار ۱۳۸۵، شماره ۵۵ صص ۱-۱۳.
- نظری پور حمید؛ خسروی محمود (۱۳۸۸). نقش شناسایی الگوهای موجد بارشهای فوق سنگین در کاهش خطرات سیل در استان بوشهر، همایش ملی کاهش اثرات بلایای جوی و اقلیمی، اردبیل، صص. ۱۱۲-۱۳۱.

نگارش حسین؛ اژدری مقدم مهدی؛ آرامش محسن (۱۳۹۲). کاربرد شبکه عصبی مصنوعی در شبیه‌سازی و پیش‌بینی سیلاب در حوضه‌ی آبریز سربراز، جغرافیا و توسعه، تابستان ۱۳۹۲، شماره ۳۱، صص ۱۵-۳۸.

Dimitrova, T., Mitzeva, R., Savtchenko, A., (2009), Environmental Conditions Responsible for the Type of Precipitation in Summer Convective Storms over Bulgaria, Atmospheric Research, pp: 30-38.

Federico, S., Aolio, E., Pasqualoni, L., and Bellecci, C., (2008), Atmospheric Patterns for Heavy Rain Events in Calabria, Natural Hazards and Earth System Sciences, Vol. 8, PP. 1173-1186

Hosseos, E., C., Lolis, J. and Bartzokas, A., (2008), Atmospheric Circulation Patterns Associated with Extreme Precipitation Amounts in Greece, Advances in Geosciences, Vol. 17, pp. 5-11.

Lana, X. and Burgueno, A., (2000), Statistical Distribution and Spectral Analysis of Rainfall Anomalies for Barcelona (NE Spain), Theoretical and Applied Climatology, Vol. 66, PP. 211-227.

Lima, K. C., Satyamurty, p., and Fernandez J. P. R., (2009), Large-Scale Atmospheric Conditions Associated with Heavy Rainfall Episodes in Southeast Brazil, Theoretical and Applied Climatology, Vol. 101, No. 1-2, PP. 121-135.

Livada, I., Charalambous, M. and Assimakopoulos, N., (2008), Spatial and Temporal Study of Precipitation Characteristics over Greece, Theoretical and Applied Climatology, Vol. 93, PP. 45-55.

Seibert, p., Frank, A. and Formayer, H. (2006). Synoptic and regional patterns of heavy precipitation in Austria, Theoretical and applied climatology, pp. 139-153.

Thieken, A. H., Kreibich, H., Muller, M., Merz, B. (2007), coping with floods: preparedness, response and recovery of flood affected residents in Germany in 2002, Hydrology Science Journal, 52(5): 1016-1037.

Tu, Kai and Yan, zhongwei, (2010), Dimatic Jumps in Precipitation and Extremes in Drying North China During 1954-2006, Journal of the Meteorological Society of Japan, NO. 1, PP. 29-42.

www.cdc.noaa.gov

Zhu, Y. and Toth, Z., (2001), Extreme Weather Events and Their Probabilistic Prediction by the NCEP Ensemble Forecast System, Proceedings of the Symposium on Precipitation Extremes: Prediction, Impact, and Responses, Albuquerque, USA

Synoptic analysis of extreme rainfall over 20 mm precipitation for flood warning in Sistan and Baluchestan

Mohsen Rezaei¹, Mehdi Azhdary Moghaddam², Gholamreza Azizyan³, Mohsen Bostani⁴

Received: 2016-10-09

Accepted: 2017-05-27

Abstract

Precipitation is one of the most important climatic phenomena. Understanding the spatial and time distribution of precipitation has a significant role in the planning and management of water resources and flood risks. In this study, daily precipitation data from synoptic, climatology and rain-gauge stations of Sistan and Baluchestan during 25 year period (1990 – 2014) are collected. The numbers of 24 hours precipitation with extreme rainfall of 20 millimeters or more at stations evaluated and by using of Statistical software are investigated. Then zoning map for extreme rainfall of 20 mm by GIS was obtained. Assessing of zoning map showed that the most effect of extreme rainfall has happened in coastal areas and southern province. Time distribution of extreme rainfall showed that 80 percent of extreme rainfalls have happened in cold seasons (autumn and winter). Hence, Synoptic conditions of western systems are assessed. Applying synoptic analysis of different maps such as humidity levels of 500 and 700 H.P., sea level pressure, 500 H.P. pressure and convective available potential energy maps, showed that enriching of precipitation systems by the Persian Gulf and Oman Sea in cold seasons are caused extreme rainfall of 20 mm in Sistan and Baluchestan Province.

Keywords: Extreme rain, Precipitation systems, Synoptic analysis, Sistan and Baluchestan Province.

¹*- Lecturer, Department of Civil Engineering, University of Zabol, Zabol, Iran & PhD. Student of Civil Engineering, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran
Email: Mohsen.rezaei@uoz.ac.ir

²- Associate Professor of Civil Engineering, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

³- Assistant Professor of Civil Engineering, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

⁴- M.Sc. Climatology of Meteorological Organization, Sistan and Baluchestan Province, Zahedan, Iran