



دانشگاه گواران، دانش پژوهش آب و خاک

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و ششم، شماره اول، ۱۳۹۸

<http://jwsc.gau.ac.ir>

۴۹-۶۹

## ارزیابی و پهنه‌بندی ریسک وقوع بارش‌های حدی در غرب ایران

عبدالله سلیمی مستعلی<sup>۱</sup>، \* یونس خوشخو<sup>۲</sup> و محمدحسین قلی‌زاده<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه آب و هواشناسی، دانشگاه کردستان، آستادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه کردستان،

آستادیار گروه آب و هواشناسی، دانشگاه کردستان

تاریخ دریافت: ۹۷/۷/۱۱؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۹/۲۷

### چکیده

**سابقه و هدف:** وقوع بارش‌های حدی به‌ویژه در مقیاس‌های زمانی کوتاه باعث خسارات سنگینی به جوامع انسانی و مناطق پرجمعیت شهری و اکوسیستم‌های طبیعی می‌شود و مطالعه و شناسایی دقیق آن‌ها از جنبه‌های مختلف کشاورزی و منابع طبیعی، هواشناسی و هیدرولوژی، مهندسی و محیط‌زیست لازم و ضروری است. شدت آسیب‌پذیری در برابر بارش‌های حدی در مناطق مختلف یکسان نبوده و لازم است خطرپذیری و ریسک وقوع چنین بارش‌های خطرآفرینی در مناطق با شرایط اقلیمی مختلف مورد بررسی قرار گیرد. بر این اساس، هدف از انجام پژوهش حاضر ارزیابی و پهنه‌بندی ریسک وقوع بارش‌های حدی در مقیاس‌های زمانی مختلف ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعته برای غرب ایران که از تنوع اقلیمی و توپوگرافی چشمگیری برخوردار است می‌باشد.

**مواد و روش‌ها:** برای انجام این پژوهش تعداد ۲۷ ایستگاه سینوپتیک واقع در ۵ استان کردستان، کرمانشاه، همدان، ایلام و لرستان انتخاب شدند و مقادیر حداکثر سالانه بارش‌های حدی در سه مقیاس زمانی ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعته در یک بازه زمانی ۲۵ ساله (۱۹۹۲-۲۰۱۶) استخراج شدند و با برازش توزیع‌های آماری مختلف بر هر کدام از این سری‌ها و با به‌کارگیری آزمون کای‌اسکوئر، برزیده‌ترین توزیع‌های آماری شناسایی شدند و از این توزیع‌های آماری شناسایی‌شده جهت تحلیل‌های احتمالاتی استفاده شد. جهت تعریف بارش‌های حدی سیل‌آسا در مقیاس‌های ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعته، به ترتیب از آستانه‌های ۳۰، ۴۰ و ۵۰ میلی‌متر استفاده شد و پس از محاسبه ریسک وقوع بارش‌های حدی سیل‌آسای مذکور در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه، اقدام به پهنه‌بندی ریسک وقوع بارش‌های حدی سیل‌آسا در کل منطقه با به‌کارگیری مدل‌های رگرسیون خطی چندگانه بین مقادیر ریسک و ویژگی‌های جغرافیایی (طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی و ارتفاع) گردید. به جهت افزایش دقت مدل‌ها در برخی موارد از متغیر کمکی میانگین درازمدت تعداد روزهای با بارش بیش از ۱ میلی‌متر در سال نیز در ساختار مدل‌های رگرسیونی استفاده شد و جهت دستیابی به دقت بالاتر مدل‌های رگرسیونی، منطقه مورد مطالعه به سه منطقه مجزا تفکیک شد.

\* مسئول مکاتبه: [y.khoshkho@uok.ac.ir](mailto:y.khoshkho@uok.ac.ir)

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد که از بین توزیع‌های آماری مختلف برازش داده‌شده به سری‌های زمانی بارش‌های حدی ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعته در منطقه مورد مطالعه، سه توزیع لوگ لجستیک، پیرسون و گاما به‌عنوان مناسب‌ترین توزیع‌های قابل برازش شناسایی شدند. به لحاظ دقت مدل‌های رگرسیون خطی چندگانه، نتایج بیانگر دقت بالای این مدل‌ها در هر سه منطقه تفکیک‌شده و در هر سه مقیاس زمانی ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعته بود. نتایج کلی پژوهش نشان داد که ریسک وقوع بارش‌های حدی سیل‌آسا در غرب ایران از تنوع چشمگیری برخوردار است به‌گونه‌ای که در بخش‌هایی از مرکز منطقه مورد مطالعه این ریسک بسیار پایین و در بخش‌هایی از غرب و جنوب منطقه مورد مطالعه بسیار بالاست.

**نتیجه‌گیری:** نتایج کلی این پژوهش نشان داد که الگوریتم کلی به‌کار رفته در این پژوهش جهت برآورد توزیع مکانی ریسک وقوع بارش‌های حدی سیل‌آسا منجر به حصول دقت مناسب و قابل قبول در برآورد منطقه‌ای و تعمیم نتایج حاصل از نقاط ایستگاهی به کل منطقه گردید. بنابراین لازم است در نقاطی که بارش‌های حدی خطرآفرینی بالاتری دارند با اهتمام بیشتر، تمهیدات مقتضی جهت مقابله با پیامدهای منفی وقوع این بارش‌ها در این نواحی اتخاذ گردد.

**واژه‌های کلیدی:** بارش حدی، پهنه‌بندی، ریسک، غرب ایران

#### مقدمه

دقیق آن‌ها به دلیل اهمیت شایانی که از جنبه‌های مختلف کشاورزی و منابع طبیعی، هواشناسی و هیدرولوژی، مهندسی، محیط‌زیست و ... دارند، لازم و ضروری است. از دیدگاه کشاورزی، بارش‌های حدی و سیل‌های ناشی از آن‌ها دارای اثرات منفی، تخریبی و خسارت‌زای چشمگیری هستند و علاوه بر تخریب فیزیکی لایه‌های خاک، باعث صدمه مکانیکی به خود گیاه نیز می‌شوند. همچنین رطوبت اضافی موجود در خاک در اثر ریزش بارش‌های سنگین، از لحاظ به تأخیر انداختن برنامه‌های عملیاتی کاشت، داشت، برداشت و دشوار نمودن عملیات کشاورزی دارای اهمیت است و باعث عدم حرکت آزادانه اکسیژن در اطراف ریشه گیاه شده و بستر مناسبی را برای شکل‌گیری ترکیبات سمی در اطراف ریشه‌ها به وجود می‌آورد و در مراحل گل‌دهی و گرده‌افشانی نیز مستقیماً سبب ایجاد خسارت به گیاهان می‌شوند (۱۰). از دیدگاه هیدرولوژی و مهندسی، تحلیل بارش‌های حدی در طرح‌های مختلفی مانند بهره‌برداری از منابع آب، کنترل سیلاب، سدسازی،

از نظر هیئت بین‌دولتی تغییر اقلیم (IPCC<sup>۱</sup>) رخدادهایی به‌عنوان وقایع حدی تلقی می‌شوند که فراوانی وقوع آن‌ها در یک مکان و زمان معین نادر باشد (۷). مخاطرات طبیعی غالباً از شرایط اقلیمی نشأت می‌گیرند به گونه‌ای که حدود ۶۲ درصد مخاطرات طبیعی از نوع اقلیمی هستند و با اضافه کردن مخاطرات هیدرولوژیکی، این نسبت به ۹۰ درصد هم می‌رسد (۴). یکی از عناصر اقلیمی مهم که شناخت آن از الزامات بنیادی در شناخت اقلیم است بارش و نوسان‌ها، حالات و شدت آن است. یکی از حالات نزولات جوی، بارش حدی است. بارش‌های حدی به بارش‌های نابهنجاری گفته می‌شود که میزان بارش در طی یک بازه زمانی از یک آستانه حدی مشخصی فراتر رود (۱۷). وقوع بارش حدی به‌ویژه در مقیاس‌های زمانی کوتاه باعث وارد آمدن خسارات سنگینی به جوامع انسانی و مناطق پرجمعیت شهری و اکوسیستم‌های طبیعی می‌شود و مطالعه و شناسایی

1- International Panel of Climate Change

مفهوم آستانه نسبی مبتنی بر صدک‌ها بهره گرفته‌اند (۱۸). اگرچه کشور ایران در بین ۵۳ کشور مورد مطالعه در پژوهش مذکور قرار نداشته است اما پژوهش‌های داخلی انجام‌شده در این ارتباط نشان می‌دهد که در ایران از هر دو رویکرد فوق بهره گرفته شده است. به‌طور کلی پژوهش‌های ملی و بین‌المللی متعدد و با اهداف گوناگونی پیرامون بارش‌های حدی به انجام رسیده است و پژوهشگران زیادی از دیدگاه‌ها و منظرهای متفاوت موضوع بارش را ارزیابی و تحلیل نموده‌اند. به‌عنوان نمونه، اسکان و همکاران (۲۰۱۴) قابلیت استفاده از داده‌های ماهواره‌ای را به‌منظور پهنه‌بندی خطر بارش‌های سیل‌آسا در نامیبیا ارزیابی کرده و نشان دادند که در مناطق فاقد اطلاعات زمینی می‌توان از این پهنه‌بندی بهره برد (۱۵). وروسمارتی و همکاران (۲۰۱۳) جهت بررسی ریسک بارش‌های سیل‌آسا در منطقه آمریکای جنوبی طی دوره ۲۰۰۰-۱۹۶۰ مؤلفه‌های اقتصادی- اجتماعی را با مقادیر بارهای حدی با یکدیگر تلفیق کردند (۱۷). کانچه و عبدو (۲۰۱۲) تأثیرات متقابل بارش‌های سیل‌آسا و محصول ذرت در منطقه شرق غنا مورد مطالعه قرار دادند و نتیجه گرفتند که وقوع بارش‌های سیل‌آسا در این مناطق باعث آسیب جدی و کاهش تولید محصول خواهد شد (۸). آناگنوستوپولول و تولیکا (۲۰۱۱) به مطالعه بارش حدی ۶۵ ایستگاه هواشناسی اروپا با استفاده از دو روش پارامتریک (براساس صدم‌های ۱۹۹م و ۱۹۵م) و ناپارامتریک (مقادیر حدی تعمیم‌یافته و توزیع پارتو تعمیم‌یافته) پرداختند و نتیجه گرفتند که روش‌های پارامتریک مناسب‌تر از روش‌های ناپارامتریک هستند و آستانه بارش روزانه ۳۰ میلی‌متر را به‌عنوان آستانه وقوع بارش‌های حدی پیشنهاد دادند (۲). علیجانی و همکاران (۲۰۰۸) با تحلیل بارش‌های روزانه ۹۰ ایستگاه ایران با استفاده از روش‌های

طراحی سدهای آبخیزداری، پل‌ها و پروژه‌های آبیاری و زهکشی دارای اهمیت شایانی است و ایمنی تأسیسات، جاده‌ها و سازه‌های آبی نیز وابسته به مطالعه دقیق آن‌هاست (۹ و ۱۲). مطالعه دقیق الگوی رگبارها و تحلیل بارش‌های حدی یکی از ملزومات مدل‌سازی و طراحی صحیح شبکه‌های جمع‌آوری و دفع‌کننده رواناب سطحی در سطح شهرهاست و به‌عنوان عامل اصلی تولیدکننده سیلاب، جهت بالا بردن ضریب دقت سامانه‌های هشداردهنده وقوع سیل امری ضروری است.

برای شناسایی بارش‌های حدی، در پژوهش‌های مختلف از دو رویکرد اصلی بهره گرفته شده است. رویکرد اول بر اساس لحاظ کردن یک آستانه نسبی مبتنی بر توزیع احتمالاتی بارش مانند صدک ۹۰م، ۹۵م و ۹۹م است (۱۶). در این رویکرد، رویداد بارش حدی رویدادی است که نادرتر از صدک موردنظر محاسبه‌شده براساس یک تابع توزیع احتمال قابل برازش بر سری داده‌ها باشد. در رویکرد دوم، فارغ از مقدار و دامنه تغییرات بارش مقدار بارش حدی با در نظر گرفتن یک آستانه مطلق تعریف می‌شود. به این معنی که به‌عنوان مثال برای بارش حدی در مقیاس زمانی ۲۴ ساعته، در حالتی که بارش در طی یک شبانه‌روز از یک آستانه مطلق تجاوز کند بارش آن شبانه‌روز تحت هر شرایط اقلیمی که رخ داده باشد به‌عنوان بارش حدی در نظر گرفته می‌شود. سازمان جهانی هواشناسی در مطالعه‌ای که در ارتباط با تعریف وقایع حدی بر روی ۵۳ کشور دنیا انجام داده است گزارش کرده است که برای بارش‌های حدی، ۳۲ کشور دارای تعریف مشخصی جهت شناسایی بارش‌های حدی بوده‌اند که ۲۳ کشور از مفهوم تعریف یک آستانه عددی مطلق جهت شناسایی بارش‌های حدی و تعداد ۹ کشور نیز از

و همکاران (۲۰۱۷) چند روش مختلف جهت انتخاب آستانه‌های بارش حدی در غرب ایران را مورد بررسی قرار دادند و روش توزیع مقادیر حدی تعمیم‌یافته اصلاح‌شده را به‌عنوان روش مناسب پیشنهاد و ارائه نمودند (۱۳). در زمره سایر پژوهش‌های داخلی انجام‌شده پیرامون موضوع این پژوهش می‌توان از پژوهش اژدری‌مقدم و هروی (۲۰۱۷) در ارتباط با استخراج منحنی‌های IDF براساس تلفیق تئوری فرکتال و توزیع مقادیر حدی تعمیم‌یافته در ایستگاه چناران و پژوهش صورت گرفته توسط نظری سامانی و عباسی جندانی (۲۰۱۶) در ارتباط با به‌کارگیری مولد اقلیمی کلیژن جهت تولید ۱۰ متغیر هواشناسی از جمله مدت و شدت بارش‌های رگباری در ایستگاه زیدشت استان البرز اشاره کرد (۳ و ۱۴).

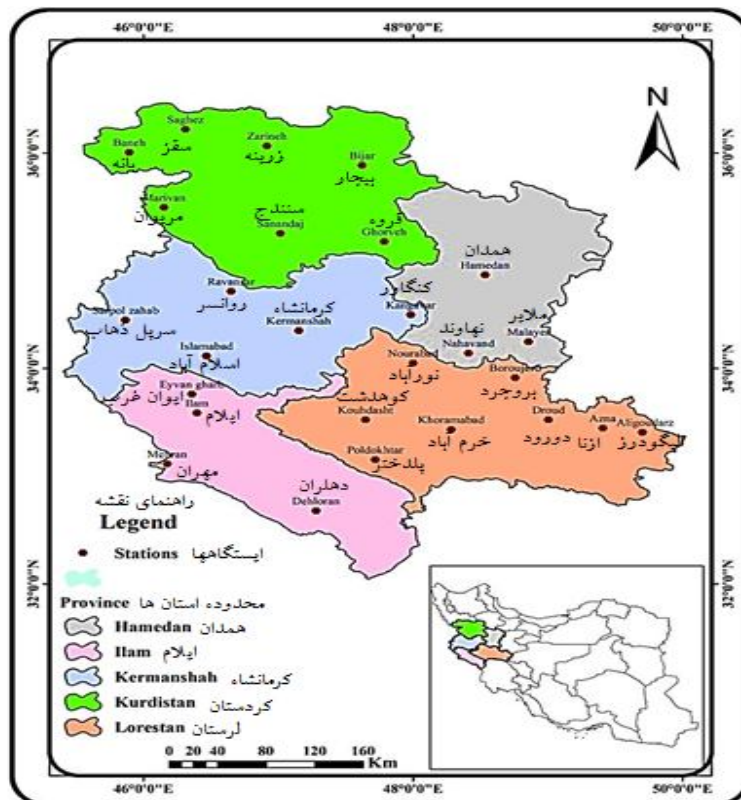
از آنجایی که شدت آسیب‌پذیری در برابر بارش‌های حدی در مناطق مختلف یکسان نبوده و از مکانی به مکانی دیگر متفاوت است و ایران نیز دارای تیپ‌های اقلیمی متنوع و با شرایط مختلفی به لحاظ وقوع بارش‌های حدی است بنابراین لازم است خطرپذیری و ریسک وقوع چنین بارش‌های خطرآفرینی در مناطق با شرایط اقلیمی مختلف مورد بررسی قرار گیرد. همچنین با نگاهی به پژوهش‌های داخلی قبلی در ایران در ارتباط با ریسک وقوع بارش‌های حدی مبتنی بر در نظر گرفتن یک آستانه مطلق جهت شناسایی آن‌ها، در هیچ پژوهشی به بررسی و تحلیل ریسک این بارش‌ها در مقیاس‌های زمانی کم‌تر از ۲۴ ساعته پرداخته نشده است. بر این اساس، در پژوهش حاضر برای نخستین بار ریسک وقوع بارش‌های حدی در مقیاس‌های زمانی مختلف ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعته با در نظر گرفتن یک آستانه مطلق جهت شناسایی آن‌ها برای غرب ایران که از تنوع اقلیمی و توپوگرافی چشمگیری برخوردار است مورد ارزیابی و پهنه‌بندی قرار گرفته است.

زمین‌آمار، تحلیل مکانی شدت و تمرکز بارش در ایران را انجام و نشان دادند که بیش از ۲۰ درصد کشور در معرض بارش‌های حدی قرار دارد به‌طوری‌که مناطق ساحلی شمال و جنوب از سایر مناطق کشور آسیب‌پذیرترند (۱). ستوده و علیجانی (۲۰۱۵) رابطه پراکنندگی فضایی بارش‌های حدی و الگوهای فشار در گیلان را بررسی و نتیجه گرفتند که بیش‌تر بارش‌های حدی در راستای شرقی- غربی ضریب تغییرپذیری مکانی بیش‌تری دارند (۱۶). برزو و عزیزی (۲۰۱۵) معیاری متکی بر شاخص‌های ماهانه را برای برآورد بارش سنگین پیشنهاد نموده و با استفاده از تحلیل خوشه‌ای ایران را به هفت منطقه تقسیم و برای هر کدام یک ضریب بارش منطقه‌ای ارائه کردند (۵). دارند (۲۰۱۵) بارش‌های سنگین و ابرسنگین ایران را بر پایه آستانه احتمال وقوع ۹۵٪ و ۹۹٪ به کمک نمایه کنترل کیفیت پراش درون گروهی در گستره ایران مورد بررسی قرار داد و ایران‌زمین را به ۵ ناحیه همگن بارش سنگین و ابرسنگین پهنه‌بندی کرد (۶). خلیلی (۲۰۱۵)، ایران را از نظر خسارت بارش‌های سیل‌آسا بر محیط‌های کشاورزی مورد پهنه‌بندی قرار داد و یک مدل کمی و کاربردی را برای ارزیابی ریسک وقوع بارش‌های سیل‌آسا همراه با یک سیستم طبقه‌بندی ریسک ارائه نمود (۱۰). خوشخو و عبدی (۲۰۱۶)، پتانسیل‌یابی خطر وقوع بارش‌های سیل‌آسا در چند ایستگاه منتخب در غرب و شمال‌غرب ایران را با برآزش تابع‌های چگالی احتمال مختلف بر داده‌های حداکثر سالانه بارش ۲۴ ساعته در یک دوره آماری ۵۰ ساله انجام دادند و احتمال وقوع حداکثر سالانه بارش ۲۴ ساعته بیش از ۳۰ و ۵۰ میلی‌متر را محاسبه نمودند و درجه خطر وقوع بارش‌های حدی سیل‌آسا را در ایستگاه‌های منتخب با به‌کارگیری یک سیستم طبقه‌بندی ریسک تعیین نمودند (۱۱). مظفری

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه: برای انجام این پژوهش منطقه غرب ایران شامل استان‌های کردستان، کرمانشاه، همدان، ایلام و لرستان به‌عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب شده است. این منطقه به‌طور تقریبی ۷/۵ درصد از مساحت کل کشور را به خود اختصاص داده است (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۰). با توجه به این‌که این پژوهش بر اساس مقادیر بارش در مقیاس‌های زمانی ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعته انجام شده است در محدوده مورد مطالعه، تعداد ۲۷ ایستگاه سینوپتیک به شرح جدول ۱ و شکل ۱ جهت انجام مراحل مختلف این پژوهش انتخاب شدند. با توجه به منطقه‌ای بودن این پژوهش، یک دوره آماری مشترک ۲۵ ساله (۱۹۹۲-۲۰۱۶) انتخاب شد و برای هر کدام از این ۲۷ ایستگاه مقادیر

حداکثر سالانه بارش ۶ ساعته، حداکثر سالانه بارش ۱۲ ساعته و حداکثر سالانه بارش ۲۴ ساعته برای تک‌تک سال‌های این دوره آماری مشترک به تفکیک استخراج شدند و مبنای انجام سایر محاسبات و تحلیل‌ها قرار گرفتند. برای ایستگاه‌های معدودی که در این دوره آماری مشترک واجد آمار کامل نبودند خلا‌های آماری آن‌ها بر اساس داده‌های سایر ایستگاه‌هایی که واجد آمار کامل و دارای ضریب همبستگی بالا با آن ایستگاه بودند بر اساس مدل رگرسیون خطی ساده بین سری‌های زمانی این دو ایستگاه در دوره‌ای که هر دو ایستگاه واجد آمار بودند و تعمیم آن به بقیه دوره برآورد شدند.



شکل ۱- موقعیت ۲۷ ایستگاه سینوپتیک منتخب در محدوده مورد مطالعه.

Figure 1. Position of the 27 selected synoptic stations in the study area.

جدول ۱- ویژگی‌های جغرافیایی و سال تأسیس ایستگاه‌های مورد مطالعه.

Table 1. Geographical properties and establishment year of the selected stations.

سال تأسیس Establishment Year	ارتفاع Elevation	عرض جغرافیایی Latitude	طول جغرافیایی Longitude	نام ایستگاه Station	استان Province
1986	1363	33.59	46.4	ایلام (Ilam)	
1999	1170	33.76	46.36	ایوان غرب (Eyvan Gharb)	ایلام
1987	232	32.68	47.28	دهلران (Dehloran)	Ilam
2004	150	33.11	46.18	مهران (Mehran)	
1986	2022	33.41	49.7	الیگودرز (Aliguodarz)	
1989	1629	33.91	48.76	بروجرد (Borujerd)	
1982	1148	33.43	48.28	خرم‌آباد (Khoramabad)	
1998	714	33.15	47.72	پلدختر (Poldokhtar)	لرستان
1997	1198	33.52	47.65	کوه‌دشت (Koohtasht)	Lorestan
2000	1859	34.05	48.0	نورآباد (Noorabad)	
2000	1871.8	33.45	49.41	ازنا (Azna)	
2000	1522.3	33.52	49.0	دورود (Doroud)	
1999	1600	36.01	45.89	بانه (Baneh)	
1987	1883	35.89	47.62	بیجار (Bijar)	
1989	2143	35.18	47.79	زرینه (Zarneh)	
1982	1523	36.22	46.31	سقز (Saghez)	کردستان
1982	1373	35.25	47.01	سنندج (Sanandaj)	Kurdistan
1989	1906	35.88	47.621	قروه (Ghorveh)	
1992	1287	35.49	46.15	مریوان (Marivan)	
1992	1778	34.25	48.86	ملایر (Malayer)	
1982	1742	34.87	48.53	همدان (Hamedan)	همدان
1996	1677.8	34.14	48.41	نھاوند (Nahavand)	Hamedan
1987	1348.8	34.12	46.47	اسلام‌آباد (Eslamabad)	
1988	1379.7	34.72	46.65	روانسر (Ravansar)	
1987	545	34.45	45.87	سرپل ذهاب (Sarpol Zahab)	کرمانشاه
1987	1319	34	47.15	کرمانشاه (Kermanshah)	Kermanshah
1987	1468.3	34.50	47.98	کنگاور (Kangavar)	

بارش حدی سیل آسا قلمداد خواهد شد. در گام بعدی، سری‌های زمانی استخراج شده حداکثر سالانه بارش‌های ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعته برای هر کدام از ایستگاه‌های منتخب در طول دوره آماری ۲۰۱۶-۱۹۹۲ بر توزیع‌های مختلف پیوسته آماری مانند لوگ نرمال، پیرسون، لجستیک و گاما برازش داده شدند و با معیار قرار دادن آماره آزمون کای اسکوئر، که مبتنی بر محاسبه تفاوت بین فراوانی‌های مشاهداتی در توزیع احتمال تجربی با فراوانی‌های قابل انتظار در توزیع احتمال نظری است، بهترین و برازیده‌ترین توزیع آماری بر این سری‌ها شناسایی شد. هر چقدر تفاوت بین فراوانی‌های مشاهده‌شده در توزیع احتمال حاصل از داده‌های تجربی با فراوانی‌های قابل انتظار در توزیع نظری بیشتر باشد امکان قابل برازش نبودن داده‌ها بر آن توزیع بیشتر می‌شود. آماره آزمون کای اسکوئر ( $\chi^2$ ) از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(f_i - e_i)^2}{e_i} \quad (1)$$

که در آن،  $f_i$  فراوانی طبقه  $i$ ام در جدول توزیع فراوانی تجربی،  $e_i$  فراوانی قابل انتظار طبقه  $i$ ام در توزیع نظری و  $k$  تعداد طبقات در جدول توزیع فراوانی است. شرط استفاده از این روش آن است که فراوانی‌های قابل انتظار در توزیع نظری برای تک تک طبقه‌ها مساوی یا بیش‌تر از پنج باشد. پس از محاسبه آماره آزمون کای اسکوئر از طریق رابطه فوق، با به‌کارگیری مقدار  $p$ -value حاصله می‌توان در مورد قابل برازش بودن یا نبودن سری داده‌های تجربی بر یک توزیع آماری نظری خاص تصمیم‌گیری کرد. از بین توزیع‌های نظری مختلف،

ارزیابی و پهنه‌بندی ریسک وقوع بارش‌های حدی سیل آسا: برای انجام پژوهش حاضر، جهت تعریف بارش‌های حدی از مفهوم تعریف یک آستانه عددی مطلق جهت شناسایی بارش‌های حدی سیل آسا در سه مقیاس زمانی ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعته بهره گرفته شد. در این راستا، مهم‌ترین و جامع‌ترین پژوهشی که در ایران در ارتباط با تعریف یک آستانه مطلق جهت شناسایی بارش‌های حدی سیل آسا انجام شده است توسط خلیلی (۱۳۹۴) انجام شده است که در آن برای شناسایی بارش‌های حدی سیل آسا در مقیاس زمانی ۲۴ ساعته برای گستره کشور از آستانه مطلق ۵۰ میلی‌متر استفاده شده است (۱۰). در پژوهش حاضر نیز از همین آستانه جهت شناسایی بارش‌های حدی سیل آسا در مقیاس زمانی ۲۴ ساعته استفاده شد. براساس این تعریف، مقدار بارشی که در هر نقطه دلخواه در طی یک شبانه‌روز از آستانه ۵۰ میلی‌متر تجاوز کند به‌عنوان بارش حدی سیل آسای ۲۴ ساعته لحاظ می‌شود. در ارتباط با در نظر گرفتن یک آستانه مطلق جهت بارش‌های حدی سیل آسا در مقیاس‌های زمانی ۶ و ۱۲ ساعته، تاکنون هیچ پژوهشی در ایران که مقادیری برای آستانه‌های مطلق تعریف کرده باشد انجام نشده است. در این پژوهش، با مروری بر آستانه‌های مطلق در نظر گرفته شده توسط کشورهای مختلف در گزارش سازمان جهانی هواشناسی (۲۰۱۶) در نهایت آستانه‌های ۳۰ میلی‌متر و ۴۰ میلی‌متر به‌ترتیب به‌عنوان آستانه‌های مطلق جهت شناسایی بارش‌های حدی سیل آسای ۶ ساعته و ۱۲ ساعته انتخاب شدند (۱۹). بر این اساس، در صورتی‌که در طی ۶ ساعت (یا ۱۲ ساعت) پیاپی، مجموع بارش در یک ایستگاه از ۳۰ میلی‌متر (یا ۴۰ میلی‌متر) فراتر رود آن بارش به‌عنوان یک

کل منطقه، با در دست داشتن طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی و ارتفاع هر نقطه دلخواه احتمال وقوع بارش‌های حدی سیل‌آسا در آن نقطه برآورد گردد. شایان‌ذکر است درجه اعتبار این برآورد کاملاً وابسته به میزان اعتبار مدل رگرسیون چندگانه خطی حاصله است که جهت سنجش درجه اعتبار مدل، از ضریب تعیین ( $R^2$ ) استفاده شده است. همچنین فرضیات موردنیاز جهت معتبر بودن مدل رگرسیونی شامل خودهمبسته نبودن مقادیر خطا، ثابت بودن واریانس آن‌ها و نرمال بودن توزیع خطاها نیز مورد بررسی قرار گرفت. بسته به مورد در برخی حالات نیز در کنار سه متغیر جغرافیایی فوق از برخی متغیرهای کمکی مثل تعداد روزهای بارش بیش از ۱ میلی‌متر نیز استفاده شد. از آنجایی که مناطق مختلف غرب ایران به لحاظ رژیم بارشی، الگوهای یکسان و مشابهی ندارد برای حصول به روابط رگرسیونی قوی‌تر، پس از شناسایی مناطق هم‌الگو، کل منطقه مورد مطالعه به سه منطقه مختلف تقسیم شد و این معادلات گرادیان برای هر منطقه به تفکیک استخراج شدند. در گام اول، مدل رقومی ارتفاع کل منطقه تهیه شد سپس در محیط ArcGIS ایستگاه‌های مورد مطالعه به این نقشه اضافه شدند و انجام تمامی عملیات مربوط به ترسیم میدان‌های عددی و تهیه نقشه بارش‌های حدی سیل‌آسا در مقیاس‌های زمانی ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعته، در محیط ArcGIS صورت گرفت.

### نتایج و بحث

ریسک وقوع بارش‌های حدی سیل‌آسا در مقیاس ایستگاهی: همان‌گونه که ذکر شد جهت شناسایی بارش‌های حدی سیل‌آسا در مقیاس‌های زمانی ۶، ۱۲

بهترین توزیع نظری قابل برآزش بر یک سری داده توزیعی خواهد بود که براساس مقدار آماره کای‌اسکوئر محاسبه‌شده از رابطه فوق، کم‌ترین مقدار  $p$ -value برای آن به دست آید. در ادامه براساس برآزیده‌ترین توزیع‌های شناسایی‌شده برای هر کدام از این سری‌های زمانی، احتمال وقوع این‌که حداکثر سالانه بارش در هر کدام از مقیاس‌های زمانی ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعته از آستانه‌های مطلق مذکور (مقیاس ۶ ساعته: ۳۰ میلی‌متر، مقیاس ۱۲ ساعته: ۴۰ میلی‌متر و مقیاس ۲۴ ساعته: ۵۰ میلی‌متر) تجاوز کند برای ۲۷ ایستگاه منتخب محاسبه گردید و این احتمالات به دست آمده به عنوان ریسک وقوع بارش‌های حدی سیل‌آسا در نظر گرفته شدند. در ادامه، مقادیر ریسک محاسبه‌شده در نقاط ایستگاهی مذکور با به‌کارگیری مدل‌های رگرسیونی خطی چندگانه برای نقاط بین ایستگاهی نیز درون‌یابی شدند و در نهایت ریسک وقوع بارش‌های حدی در سه مقیاس زمانی فوق برای کل منطقه مورد مطالعه در محیط GIS مورد پهنه‌بندی قرار گرفت. انجام این کار با جستجو و استخراج معادلات گرادیان بین ریسک وقوع بارش‌های حدی سیل‌آسا با متغیرهایی مانند طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی و ارتفاع در قالب مدل‌های رگرسیونی خطی چندگانه به انجام رسید. در صورتی که برای نقاط ایستگاهی، ارتباط بین این ویژگی‌های جغرافیایی با ریسک وقوع بارش‌های سیل‌آسا یک ارتباط معنی‌دار و دارای اعتبار کافی و قوت قابل قبول باشد این امکان وجود دارد که معادلات گرادیان سه‌بعدی بین این سه عامل جغرافیایی با ریسک وقوع بارش‌های سیل‌آسا در قالب مدل رگرسیونی چندگانه خطی براساس نقاط ایستگاهی ساخته شود و با تعمیم دادن این روابط به



موارد معدود مانند ایستگاه‌ها مانند دهلران و خرم‌آباد تفاوت‌های نسبتاً زیادی بین ریسک وقوع بارش‌های سیل‌آسا در این سه مقیاس زمانی به چشم می‌خورد. بر اساس نتایج حاصل از این جدول، به‌عنوان مثال برای ایستگاه سنندج که مقادیر ریسک وقوع بارش‌های حدی سیل‌آسا در سه مقیاس زمانی ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعته به ترتیب برابر با ۸/۲، ۱۵/۳ و ۱۶/۸ درصد بوده است این بدان معناست که در این ایستگاه با احتمال وقوع ۸/۲ (یا ۱۵/۳ و یا ۱۶/۸) درصد، مقدار حداکثر سالانه بارش ۶ (یا ۱۲ و یا ۲۴) ساعته از آستانه ۳۰ (یا ۴۰ و یا ۵۰) میلی‌متر تجاوز خواهد کرد. یا مثلاً برای ایستگاه مریوان که مقادیر ریسک وقوع بارش‌های حدی سیل‌آسا در سه مقیاس زمانی ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعته به ترتیب برابر با ۷۶/۵، ۸۹/۴ و ۹۰/۴ درصد بوده است بدان معناست که در این ایستگاه با احتمال وقوع ۷۶/۵ (یا ۸۹/۴ و یا ۹۰/۸) درصد، مقدار حداکثر سالانه بارش ۶ (یا ۱۲ و یا ۲۴) ساعته از آستانه ۳۰ (یا ۴۰ و یا ۵۰) میلی‌متر تجاوز خواهد کرد. بنابراین ریسک وقوع بارش‌های حدی سیل‌آسا در ایستگاه مریوان بسیار بالاتر از ایستگاه سنندج است. بر اساس این جدول، به‌طورکلی در استان ایلام ایستگاه ایوان غرب، در استان کردستان ایستگاه مریوان، در استان کرمانشاه ایستگاه‌های روانسر و اسلام‌آباد غرب، در استان لرستان ایستگاه دورود و در استان همدان ایستگاه نهاوند بالاترین ریسک وقوع بارش‌های حدی سیل‌آسا را داشته‌اند.

و ۲۴ ساعته به ترتیب از آستانه‌های مطلق ۳۰، ۴۰ و ۵۰ میلی‌متر استفاده شد و احتمال وقوع (ریسک وقوع) این‌که مقادیر حداکثر سالانه بارش‌های حدی در هر کدام از مقیاس‌های زمانی فوق از این آستانه‌های مطلق تجاوز کند با مبنا قرار دادن برآزیده‌ترین توزیع‌های آماری محاسبه شد. با برآزش توزیع‌های آماری مختلف بر سری‌های زمانی حداکثر سالانه بارش در مقیاس‌های زمانی مختلف در ۲۷ ایستگاه مورد مطالعه طی دوره آماری ۲۰۱۶-۱۹۹۲ مشخص گردید که در منطقه مورد مطالعه، توزیع‌های لوگ لجستیک، گاما و پیرسون به ترتیب بهترین برآزش را بر سری‌های زمانی حداکثر سالانه بارش در مقیاس‌های ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعته دارند. بنابراین از این توزیع‌ها جهت انجام ریسک وقوع بارش‌های حدی سیل‌آسا در منطقه مورد مطالعه استفاده شد. جدول ۲ ریسک وقوع بارش‌های حدی سیل‌آسای ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعته در ایستگاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. بر اساس این جدول دیده می‌شود که ایستگاه‌های مختلف رفتارهای مختلفی را به لحاظ ریسک وقوع بارش‌های سیل‌آسا از خود نشان داده‌اند به‌گونه‌ای که برای ایستگاه‌هایی مانند ایوان غرب و دورود این ریسک بسیار بالا و برای ایستگاه‌هایی مانند همدان و بیجار بسیار پایین بوده است. به لحاظ مقایسه ریسک وقوع بارش‌های سیل‌آسا در سه مقیاس زمانی مختلف نیز دیده می‌شود که در غالب موارد، برای یک ایستگاه مشخص ریسک وقوع بارش‌های سیل‌آسا در این سه مقیاس زمانی نزدیک به هم بوده است اما در برخی

جدول ۲- احتمال وقوع بارش‌های حدی سیل‌آسای ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعته در ایستگاه‌های مورد مطالعه.

Table 2. Probability occurrence of 6, 12 and 24 hours torrential extreme rainfalls in the studied stations.

احتمال تجاوز بارش ۲۴ ساعته از ۵۰ mm Propability of 24-hour precipitation >50mm	احتمال تجاوز بارش ۱۲ ساعته از ۴۰ mm Propability of 12-hour precipitation >40mm	احتمال تجاوز بارش ۶ ساعته از ۳۰ mm Propability of 6-hour precipitation >30mm	ایستگاه Station	استان Province
64.7	67.1	67.3	ایلام (Ilam)	
89.2	94.9	96.5	ایوان غرب (Eyvan Gharb)	ایلام
32.7	44.0	56.6	دهلران (Dehloran)	Ilam
21.5	28.2	30.0	مهران (Mehran)	
27.4	38.1	24.8	الیگودرز (Aliguodarz)	
45.1	50.9	42.3	بروجرد (Borjerd)	
64.0	45.6	34.6	خرم‌آباد (Khoramabad)	
43.3	55.1	69.9	پلدختر (Poldokhtar)	لرستان
31.8	47.2	55.2	کوه‌دشت (Koohdasht)	Lorestan
38.9	28.6	16.9	نورآباد (Noorabad)	
38.9	51.7	60.2	ازنا (Azna)	
91.7	96.8	97.8	دورود (Doroud)	
60.2	57.9	63.6	بانه (Baneh)	
10.3	13.8	12.9	بیجار (Bijar)	
22.1	22.8	18.1	زرینه (Zarneh)	
22.1	19.1	17.1	سقز (Saghez)	کردستان
16.8	15.3	8.2	سنندج (Sanandaj)	Kurdistan
16.2	21.0	18.5	قروه (Ghorveh)	
90.4	89.4	76.5	مریوان (Marivan)	
22.8	28.1	19.6	ملایر (Malayer)	
5.4	5.1	6.3	همدان (Hamedan)	همدان
28.7	41.3	45.1	نهایند (Nahavand)	Hamedan
39.3	45.5	36.6	اسلام‌آباد (Eslamabad)	
43.8	48.6	32.7	روانسر (Ravansar)	
29.7	38.7	37.6	سرپل ذهاب (Sarpol Zahab)	کرمانشاه
19.8	20.5	17.2	کرمانشاه (Kermanshah)	Kermanshah
14.3	20.2	13.1	کنگاور (Kangavar)	

توجه به وسعت زیاد منطقه مورد مطالعه و تنوع اقلیمی و توپوگرافی زیاد، طبیعی است که کل این منطقه وسیع تحت تأثیر رژیم‌های بارشی مشابهی قرار نمی‌گیرد و برخی از بخش‌ها الگوهای ناهمسانی در مقایسه با بخش‌های دیگر دارند. بر این اساس، در مرحله دوم با انجام فرایند آزمون و خطا سعی گردید که بخش‌هایی که دارای الگوی بارشی نسبتاً مشابهی هستند شناسایی گردند. حاصل این امر سبب تفکیک منطقه مورد مطالعه به سه ناحیه مجزا شامل ناحیه اول: ایستگاه‌های ایوان غرب، ایلام، بانه، مریوان، سرپل ذهاب، مهران، روانسر، اسلام‌آباد غرب؛ ناحیه دوم: ایستگاه‌های دهلران، پل‌دختر، خرم‌آباد، نورآباد، کوه‌دشت، سنندج، کرمانشاه، کنگاور؛ و ناحیه سوم: ایستگاه‌های بیجار، قروه، زرینه، سقز، همدان، ملایر، نهاوند، الیگودرز، ازنا، دورود، بروجرد گردید (شکل ۲).

ریسک وقوع بارش‌های حدی سیل‌آسا در مقیاس منطقه‌ای: جهت پهنه‌بندی و ترسیم میدان عددی ریسک وقوع بارش‌های حدی سیل‌آسا برای کل منطقه مورد مطالعه، در گام اول با مبنا قرار دادن مقادیر ریسک محاسبه شده در ۲۷ نقطه ایستگاهی، مدل رگرسیون خطی چندگانه بین ریسک وقوع بارش‌های حدی سیل‌آسا در هر کدام از این مقیاس‌های زمانی با طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی و ارتفاع برای هر سه مقیاس زمانی ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعته به تفکیک ساخته شد و براساس نتایج حاصله، ضریب تعیین حاصل از مدل رگرسیون خطی چندگانه برای سه مقیاس زمانی فوق به ترتیب برابر با ۳۳/۱، ۲۳/۹ و ۲۲/۳ درصد به دست آمد. نظر به پایین بودن مقادیر ضریب تعیین فوق و خطای بالای مدل، جهت بالا بردن دقت و اعتبار معادلات رگرسیونی، در گام دوم کل منطقه مورد مطالعه به سه ناحیه مجزا تقسیم گردید؛ زیرا با



شکل ۲- محدوده جغرافیایی ناحیه‌های تفکیک شده و ایستگاه‌های واقع شده در آن‌ها.

Figure 2. Geographic zone of the divided regions with their located stations.

جدول ۳، معادلات استخراج شده برای هر کدام از سه منطقه تفکیک شده برای هر سه مقیاس زمانی ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعته همراه با ضریب تعیین حاصله آورده شده است.

پس از تفکیک منطقه مورد مطالعه به سه ناحیه مذکور، معادلات گرادین بین ریسک وقوع بارش‌های حدی سیل‌آسا با طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی و ارتفاع به تفکیک برای این سه ناحیه ساخته شدند. در

جدول ۳- معادلات گرادیان سه‌بعدی بین ریسک وقوع بارش‌های حدی سیل‌آسای ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعته با طول جغرافیایی (X)، عرض جغرافیایی (Y) و ارتفاع (H) برای سه منطقه تفکیک شده.

**Table 3. Three-Dimensional gradient equations between the risk occurrence of the 6, 12 and 24 hours torrential extreme rainfalls with longitude (X), latitude (Y) and elevation (H) for three divided regions.**

ضریب تعیین Coefficient of determination	معادله گرادیان سه‌بعدی 3-dimentional gradient equation	مقیاس زمانی Time scale	
$R^2 = 36.4\%$	$PM_{Max-6h} = 3100.7 - 55.7717 X - 15.1307 Y + 0.0494178 H$	۶ ساعته 6-hour	
$R^2 = 30.9\%$	$PM_{Max-12h} = 1026.74 - 17.6226 X - 5.58077 Y + 0.0354514 H$	۱۲ ساعته 12-hour	منطقه ۱ Region 1
$R^2 = 37.1\%$	$PM_{Max-24h} = 1090.55 - 20.2272 C2 - 4.18101 C3 + 0.0395402 C4$	۲۴ ساعته 24-hour	
$R^2 = 89.6\%$	$PM_{Max-6h} = 273.296 + 5.15953 X - 13.7994 Y - 0.0127834 H$	۶ ساعته 6-hour	
$R^2 = 81.4\%$	$PM_{Max-12h} = 188.186 + 6.23428 X - 13.1524 Y - 0.00431368 Z$	۱۲ ساعته 12-hour	منطقه ۲ Region 2
$R^2 = 67.9\%$	$PM_{Max-24h} = -585.831 + 19.2535 X - 8.75504 Y - 0.00149042 Z$	۲۴ ساعته 24-hour	
$R^2 = 67.2\%$	$PM_{Max-6h} = 3163.19 - 32.9845 X - 43.7121 Y - 0.0141217 H$	۶ ساعته 6-hour	
$R^2 = 70.9\%$	$PM_{Max-12h} = 3431.96 - 35.248 X - 48.6697 Y - 0.00493403 H$	۱۲ ساعته 12-hour	منطقه ۳ Region 3
$R^2 = 61.4\%$	$PM_{Max-24h} = 3042.63 - 31.9689 X - 41.6006 Y - 0.0156192 H$	۲۴ ساعته 24-hour	

سیل‌آسا را برای هر سه مقیاس زمانی ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعته در هر نقطه دلخواه از این ناحیه با داشتن طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی و ارتفاع آن نقطه برآورد نمود. این جدول بیانگر آن است که برای ناحیه ۱، هر سه ضریب تعیین حاصله کم‌تر از ۴۰ درصد به‌دست آمده‌اند که ضرایب قابل‌قبولی نیستند. برای منطقه ۳ نیز اگرچه هر سه ضریب تعیین حاصله بالای ۵۰ درصد به‌دست آمده‌اند، اما این ضرایب چون خیلی بالا نیستند این امر می‌تواند سبب ایجاد خطای قابل‌توجهی در برآوردهای منطقه‌ای شود. بر این اساس، معادلات به‌دست آمده در جدول ۳، برای

با مقایسه ضرایب تعیین به‌دست آمده در این گام با ضرایب تعیین به‌دست آمده در گام اول چنین نتیجه‌گیری می‌شود که تفکیک کردن منطقه منجر به بالاتر رفتن ضرایب تعیین در هر سه مقیاس زمانی ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعته گردیده است. براساس ضرایب تعیین حاصله در جدول ۳ دیده می‌شود که بالاترین ضرایب تعیین برای منطقه ۲ به‌دست آمده است که برای هر سه سری زمانی ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعته مقادیری بالا و قابل‌قبول بوده است و بیانگر آن است که در ناحیه ۲ براساس این روابط رگرسیونی می‌توان با دقت مناسب، مقادیر ریسک وقوع بارش‌های حدی

این امر، با بررسی متغیرهای مختلف در نهایت متغیر میانگین درازمدت تعداد روزهای با بارش روزانه بیش از ۱ میلی‌متر در سال (P1) به‌عنوان متغیر کمکی انتخاب شد. جدول ۴ معادلات گرادیان سه‌بعدی بین این متغیر را با طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی و ارتفاع برای دو منطقه ۱ و ۳ به تفکیک همراه با ضرایب تعیین حاصله نشان می‌دهد و دیده می‌شود که ضریب تعیین حاصله در هر دو منطقه بالای ۸۵ درصد بوده است. بنابراین اول انتظار می‌رود که بر اساس این معادلات، توزیع مکانی (نقطه‌به‌نقطه) متغیر P1 برای هر دو منطقه ۱ و ۳ با دقت مناسب برآورد گردد.

منطقه ۲ اعمال شدند اما برای بالا بردن ضریب تعیین و برآورد دقیق‌تر ریسک وقوع بارش‌های حدی سیل‌آسا در ناحیه‌های ۱ و ۳، یک متغیر کمکی جدید به سه متغیر طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی و ارتفاع اضافه گردید. متغیر کمکی جدید باید این ویژگی اصلی را داشته باشد که در وهله اول رابطه قوی و معنی‌داری با طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی و ارتفاع داشته باشد (توزیع مکانی آن مشخص باشد) و در وهله دوم اضافه کردن آن به مدل رگرسیون خطی چندگانه در گام قبلی سبب افزایش معنی‌داری در ضریب تعیین مدل گردد. جهت انجام

جدول ۴- معادلات گرادیان سه‌بعدی بین متغیر کمکی P1 (میانگین درازمدت تعداد روزهای با بارش بیش از ۱ میلی‌متر در سال) با طول جغرافیایی (X)، عرض جغرافیایی (Y) و ارتفاع (H) برای ناحیه‌های ۱ و ۳ به تفکیک.

**Table 4. Three-dimensional gradient equations between the auxiliary variable of P1 (the long-term average of the number of days per year with precipitation greater than 1 mm) with longitude(X), latitude (Y) and elevation (H) for 1 and 3 regions.**

ضریب تعیین Coefficient of determination	معادله رگرسیونی Regression equation	منطقه Region
$R^2 = 89\%$	$P1 = -201.274 + 0.591175 X + 6.06688 Y + 0.0146341 H$	منطقه ۱ Region 1
$R^2 = 85.8\%$	$P1 = 634.244 - 8.56082 X - 5.07947 Y + 0.00224895 H$	منطقه ۳ Region 3

با دقت مناسبی به‌دست آمده‌اند که بیانگر آن است که اضافه کردن متغیر کمکی جدید P1 سبب بهبود قابل‌قبول دقت مدل‌های رگرسیون چندگانه خطی برای هر سه مقیاس زمانی و هر دو ناحیه ۱ و ۳ گردیده است. همچنین به جهت اعتبارسنجی فرضیات موردنیاز مدل‌های رگرسیونی مستخرج نهایی برای هر سه منطقه (برای منطقه ۲ جدول ۳ و برای منطقه‌های ۱ و ۳ جدول ۴)، برای فرض نرمال بودن مقادیر خطا و فرض ثابت بودن واریانس آن‌ها

در وهله دوم، با اضافه کردن متغیر P1 به سه متغیر قبلی، مدل رگرسیون خطی چندگانه بین ریسک وقوع بارش‌های حدی سیل‌آسای ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعته با قوی‌ترین حالت ترکیبی سه‌تایی از ۴ متغیر فوق به تفکیک برای هر سه مقیاس زمانی ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعته و برای هر دو ناحیه ۱ و ۳ ساخته شد که نتایج حاصله در جدول ۵ ارائه شده است. براساس ضرایب تعیین حاصله در این جدول دیده می‌شود که در تمامی حالات، ضرایب تعیین بالا و

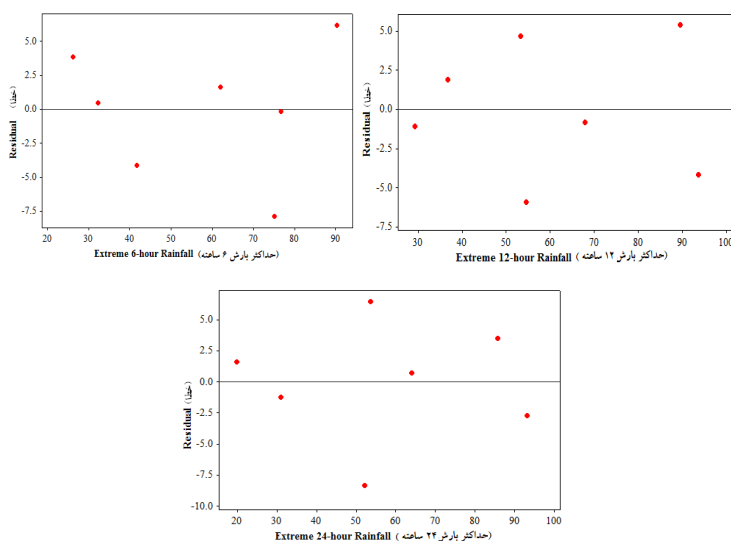
می‌شود که برای هر سه مقیاس زمانی مذکور، توزیع مقادیر خطاهای استاندارد شده کاملاً در راستای خط معیار ترسیم شده در توزیع نرمال بوده است که بیانگر تبعیت مقادیر خطا از توزیع نرمال است. به جهت آزمون فرض خودهمبسته نبودن مقادیر خطا نیز برای سه مقیاس ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعته، مقدار آماره آزمون دوربین- واتسون به ترتیب برابر با ۲/۸، ۲ و ۱/۷ به دست آمد که در هر سه موارد فوق، در سطح معنی‌دار ۱ درصد فرض خودهمبسته بودن مقادیر خطا رد گردید که بیانگر خودهمبسته نبودن مقادیر خطا هست. برای معادلات رگرسیونی مستخرج برای مناطق ۲ و ۳ نیز فرضیات فوق صادق بوده است.

از روش گرافیکی و برای فرض خودهمبسته نبودن مقادیر خطا از آزمون دوربین- واتسون در محیط نرم‌افزاری Minitab استفاده شد. نتایج حاصل از آزمون‌های گرافیکی مذکور به‌عنوان نمونه برای منطقه ۱ در شکل‌های ۳ و ۴ در هر سه مقیاس ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعته منعکس شده است. براساس شکل ۳ دیده می‌شود که در دامنه تغییرپذیری مقادیر حداکثرهای بارش در هر سه مقیاس زمانی فوق، واریانس مقادیر خطا نسبتاً ثابت و یکنواخت بوده است و مقادیر خطا بدون روندی خاص و به شکلی تصادفی توزیع شده‌اند و هیچ روند خاصی در آن‌ها قابل مشاهده نیست. براساس شکل ۴ نیز دیده

جدول ۵- معادلات رگرسیون خطی چندگانه بین ریسک وقوع بارش‌های حدی سیل‌آسای ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعته با طول جغرافیایی (X)، عرض جغرافیایی (Y)، ارتفاع (H) و میانگین درازمدت تعداد روزهای با بارش بیش از ۱ میلی‌متر در سال (P1) برای مناطق ۱ و ۳.

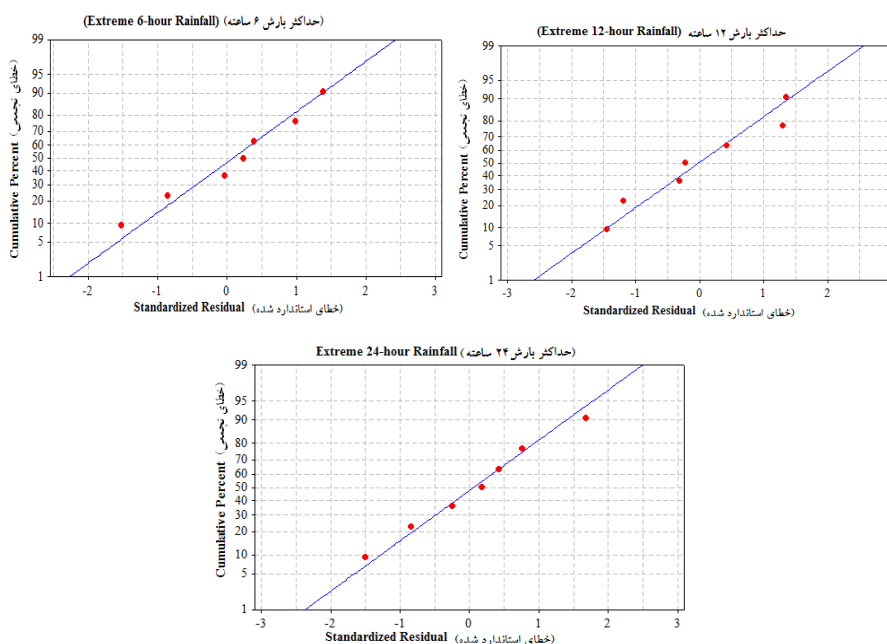
**Table 5. Multiple linear regression equations between the risk occurrence of the 6, 12 and 24 hours torrential extreme rainfalls with longitude (X), latitude (Y), elevation (H) and the long-term average of the number of days per year with precipitation greater than 1 mm (P1) for regions 1 and 3.**

ضریب تعیین Coefficient of determination	معادله گرادیان سه‌بعدی همراه با متغیر کمکی 3-dimentional gradient equation with auxiliary variable	مقیاس زمانی time scale	
$R^2 = 92.6\%$	$P_{Max-6h} = 4446.25 - 67.5862 X - 42.632 Y + 3.95737 P1$	۶ ساعته 6-hour	
$R^2 = 90.4\%$	$P_{Max-12h} = 2850.66 - 38.7587 X - 34.3544 Y + 3.58748 P1$	۱۲ ساعته 12-hour	منطقه ۱ Region 1
$R^2 = 91.8\%$	$P_{Max-24h} = 2904.24 - 40.5484 X - 33.9496 Y + 3.80894 P1$	۲۴ ساعته 24-hour	
$R^2 = 82.7\%$	$P_{Max-6h} = 750.72 - 26.1884 Y - 0.0188869 H + 4.52072 P1$	۶ ساعته 6-hour	
$R^2 = 82.6\%$	$P_{Max-12h} = 839.394 - 28.9909 Y - 0.0118406 H + 4.52029 P1$	۱۲ ساعته 12-hour	منطقه ۳ Region 3
$R^2 = 77.1\%$	$P_{Max-24h} = 707.787 - 24.836 Y - 0.0198194 H + 4.45314 P1$	۲۴ ساعته 24-hour	



شکل ۳- نمودار گرافیکی مقادیر حداکثر بارش‌های ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعته در مقابل مقادیر خطا برای منطقه ۱.

Figure 3. Graphically plot of the maximum rainfalls of 6, 12 and 24 hour versus the residuals for Region 1.



شکل ۴- نمودار گرافیکی آزمون نرمال بودن مقادیر خطای حاصل از به‌کارگیری مدل رگرسیونی جهت برآورد حداکثر بارش‌های ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعته برای منطقه ۱.

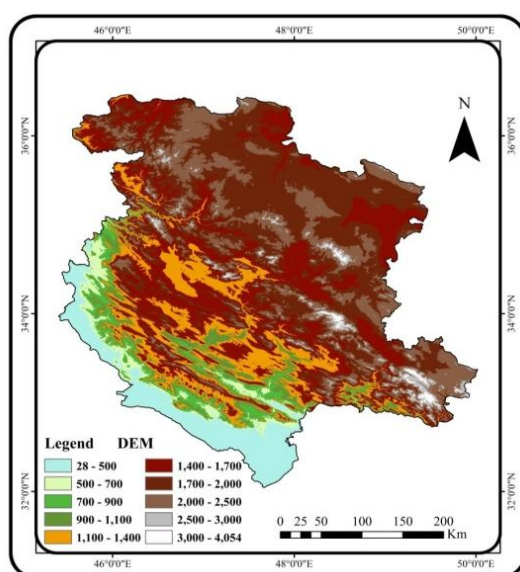
Figure 4. Graphically plot of the residual normality test obtained from the regression models to estimating maximum rainfalls of 6, 12 and 24 hour for Region 1.

مورد پهنه‌بندی قرار گیرد. با توجه به این‌که در ساختار معادلات رگرسیونی نهایی، چهار متغیر طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی، ارتفاع و میانگین درازمدت تعداد روزهای با بارش بیش از ۱ میلی‌متر

پس از استخراج روابط رگرسیونی با دقت مناسب، این امکان وجود دارد که توزیع مکانی (نقطه‌به‌نقطه) ریسک وقوع بارش‌های حدی سیل‌آسا برای هر سه منطقه و برای هر سه مقیاس زمانی ترسیم و

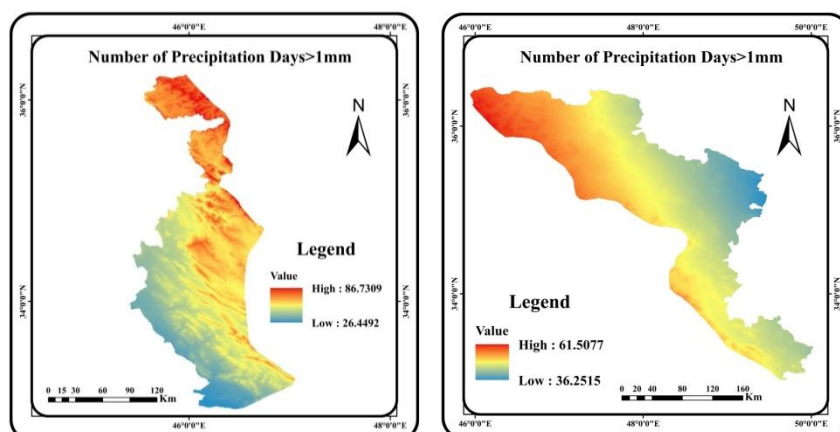
بیانگر آن است که در هر نقطه دلخواه از منطقه، ارتفاع چقدر است. با توجه به این‌که متغیر کمکی میانگین درازمدت تعداد روزهای بارش بیش از ۱ میلی‌متر تنها در ساختار معادلات منطقه ۱ و ۳ وجود دارد در شکل ۶، با اعمال معادلات استخراج‌شده در جدول ۴ برای این دو منطقه به تفکیک، توزیع مکانی میانگین درازمدت تعداد روزهای بارش بیش از ۱ میلی‌متر برای این دو منطقه تهیه و ارائه شده است.

وجود دارد، لازم است ابتدا توزیع مکانی این متغیرها تهیه شود. با تهیه نقشه منطقه، به‌طور خودکار متغیرهای طول جغرافیایی و عرض جغرافیایی برای هر نقطه دلخواه از منطقه معلوم هستند. در ارتباط با دو متغیر ارتفاع و میانگین درازمدت تعداد روزهای بارش بیش از ۱ میلی‌متر لازم است توزیع مکانی آن‌ها برای هر سه منطقه تهیه شود. شکل ۵ مدل رقومی ارتفاع برای کل منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد که



شکل ۵- نقشه مدل رقومی ارتفاع (DEM) کل منطقه مورد مطالعه.

Figure 5. Digital Elevation Model (DEM) map of the study area.



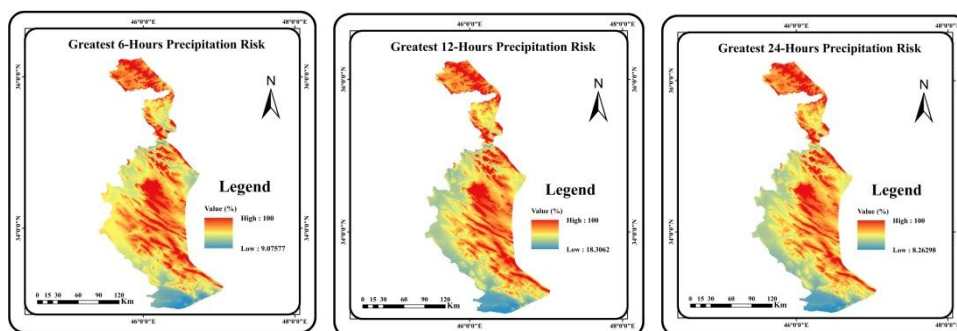
شکل ۶- نقشه توزیع مکانی میانگین درازمدت تعداد روزهای بارش بیش از ۱ میلی‌متر در سال (P1) برای ناحیه‌های ۱ (سمت چپ) و ۳ (سمت راست).

Figure 6. Spatial distribution of the the number of days per year with precipitation greater than 1 mm (P1) for regions 1 and 3.



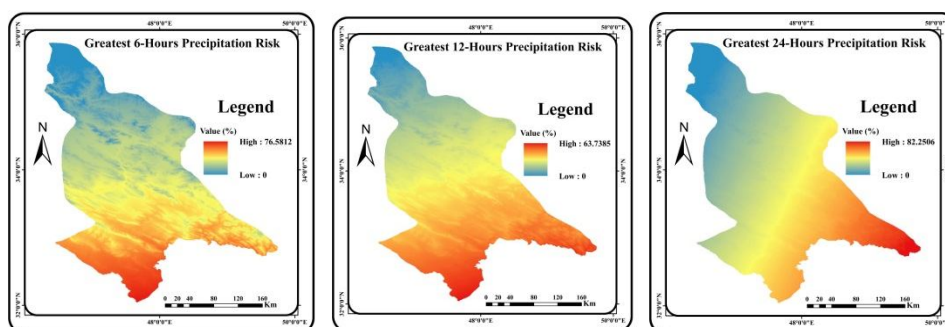
توزیع مکانی ریسک وقوع بارش‌های حدی سیل‌آسای ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعته برای هر سه ناحیه تهیه شد که نتایج حاصله در شکل‌های ۷ تا ۹ ارائه شده است.

حال با به‌کارگیری این نقشه‌ها و اعمال معادلات رگرسیونی نهایی به تفکیک برای هر یک از این سه ناحیه و برای هر سه مقیاس زمانی ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعته،



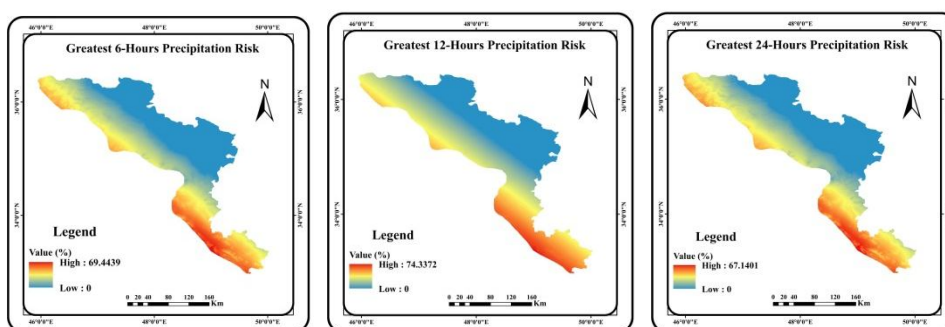
شکل ۷- نقشه پهنه‌بندی احتمال وقوع بارش‌های حدی سیل‌آسای ۶ (شکل سمت چپ)، ۱۲ (شکل وسط) و ۲۴ (شکل سمت راست) ساعته برای ناحیه ۱.

Figure 7. Probability occurrence of the 6, 12 and 24 hours torrential extreme rainfalls zoning map for region 1.



شکل ۸- نقشه پهنه‌بندی احتمال وقوع بارش‌های حدی سیل‌آسای ۶ (شکل سمت چپ)، ۱۲ (شکل وسط) و ۲۴ (شکل سمت راست) ساعته برای ناحیه ۲.

Figure 8. Probability occurrence of the 6, 12 and 24 hours torrential extreme rainfalls zoning map for region 2.



شکل ۹- نقشه پهنه‌بندی احتمال وقوع بارش‌های حدی سیل‌آسای ۶ (شکل سمت چپ)، ۱۲ (شکل وسط) و ۲۴ (شکل سمت راست) ساعته برای ناحیه ۳.

Figure 9. Probability occurrence of the 6, 12 and 24 hourly torrential extreme rainfalls zoning map for region 3.

توپوگرافی چشمگیر و تنوع اقلیمی و الگوهای مختلف بارشی در منطقه مورد مطالعه، ریسک وقوع بارش‌های حدی سیل‌آسا در بخش‌های مختلف منطقه مورد مطالعه تفاوت‌های چشمگیر و نمایانی دارد به‌گونه‌ای که این ریسک در بخش‌هایی از مرکز و شرق منطقه مورد مطالعه بسیار پایین و در بخش‌هایی از غرب و جنوب منطقه مورد مطالعه بسیار بالا است. به‌طور کلی الگوریتم کلی به‌کار گرفته شده در این پژوهش جهت برآورد توزیع مکانی ریسک وقوع بارش‌های حدی سیل‌آسا در سه مقیاس زمانی ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعته که به‌صورت سلسله‌مراتبی در سه مرحله کلی و مبتنی بر ساخت مدل‌های رگرسیون خطی چندگانه بین عوامل جغرافیایی (طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی و ارتفاع) همراه با در نظر گرفتن یک متغیر کمکی (میانگین درازمدت تعداد روزهای بارش بیش از ۱ میلی‌متر در سال) با مقادیر ریسک وقوع بارش‌های حدی سیل‌آسا در مقیاس‌های زمانی ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعته به انجام رسید منجر به حصول دقت مناسب و قابل قبول در برآورد منطقه‌ای و تعمیم نتایج حاصل از نقاط ایستگاهی به کل منطقه گردید. چنین پتانسیل‌یابی در زمینه میزان خطرآفرینی بارش‌های حدی سیل‌آسا در مناطق مختلف می‌تواند ابزاری کارا در دست مدیران پروژه‌های مختلف عمرانی و کشاورزی و ... باشد و زمینه به‌کارگیری مدیریت ریسک را به‌جای مدیریت بحران در زمینه مسائل مربوط به بارش‌های شدید فراهم نماید. بنابراین لازم است به لحاظ کاربردهایی که بارش‌های حدی در زمینه‌های مختلف دارند در نقاطی که بارش‌های حدی خطرآفرینی بالاتری دارند با تأکید و اهتمام بیشتر، تمهیدات مقتضی و درخور جهت مقابله با اثرات و پیامدهای منفی وقوع این بارش‌ها در این نواحی اتخاذ گردد.

براساس نقشه‌های حاصله دیده می‌شود که در بخش اعظم ناحیه اول (نوار غربی کل منطقه مورد مطالعه) به‌استثنای یک قسمت محدود از جنوب آن این ناحیه و نیز در قسمت جنوبی و جنوب‌شرقی ناحیه دوم (نوار جنوبی کل منطقه مورد مطالعه) ریسک وقوع بارش‌های حدی در هر سه مقیاس ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعته بسیار بالا بوده است و در بخش‌های شمالی و مرکز ناحیه دوم و نیز در محدوده نواری از شمال غرب تا جنوب شرق ناحیه سوم مقدار این ریسک بسیار پایین بوده است و در سایر مناطق در حالت‌های بینابینی قرار داشته است. به لحاظ مقایسه میزان ریسک وقوع بارش‌های حدی بین مقیاس‌های زمانی ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعته نیز در ناحیه‌های ۱ و ۳ تفاوت چندان چشمگیری بین این سه مقیاس به چشم نمی‌خورد و الگوی کلی ریسک وقوع بارش‌های حدی در این سه مقیاس در ناحیه‌های ۱ و ۳ به‌استثنای مواردی معدود تقریباً مشابه هم بوده است اما در ناحیه ۲، در بخش جنوبی آن مقادیر ریسک بین این سه مقیاس زمانی، دارای تفاوت‌های نسبتاً زیادی بوده است به‌گونه‌ای که در مجموع، در مقیاس ۲۴ ساعته ریسک وقوع تا حدودی کم‌تر از مقیاس‌های زمانی ۶ و ۱۲ ساعته بوده است.

### نتیجه‌گیری کلی

نتایج کلی انجام این پژوهش نشان داد که به لحاظ برآزش توزیع‌های آماری بر سری‌های زمانی حداکثر سالانه بارش‌های حدی، توزیع‌های لوگ لجستیک، پیرسون (پیرسون ۵، پیرسون ۶، لوگ پیرسون) و گاما (گامای سه‌پارامتره، لوگ گاما) به‌عنوان مناسب‌ترین و برآزیده‌ترین توزیع‌های توصیف‌کننده رفتار احتمالاتی غالب سری‌های زمانی بارش‌های حدی غرب ایران در سه مقیاس زمانی ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعته شناسایی شدند. نتایج همچنین نشان داد که به‌دلیل وجود تفاوت‌های

منابع

1. Alijani, B., Brien, J., and Yarnal, B. 2008. Spatial analysis of precipitation intensity and concentration in Iran. *Theor. Appl. Climatol.* 94: 1. 107-124.
2. Anagnostopouloul, Ch., and Tolika, K. 2011. Extreme precipitation in Europe: statistical threshold selection based on climatological criteria, *J. Theor. Appl. Climatol.* 15: 479-489.
3. Azhdary Moghaddam, M., and Heravi, Z. 2018. Evaluation of IDF curve production methods by relationship based on nature of combination of fractal of precipitation. *J. Water Soil Cons.* 24: 6. 271-282. (In Persian)
4. Below, R., Wirtz, A., and Sapir, D. 2009. Disaster Category Classification and Peril Terminology for Operational - Kanchebe, D.E. and Abudu, K.R. 2012. Vulnerability of crop production to heavy precipitation in north- eastern Ghana. *Int. J. Clim. Chang. Str. Manag.* 4: 1. 36-53.
5. Borzoi, F., and Azizi, Gh. 2015. Suggesting a Simple Criterion to Estimate Heavy Rainfall in Iran. *Natural Geographic Researches.* 47: 3. 347-365. (In Persian)
6. Darand, M. 2015. Recognition of homogeneous regions of heavy and super heavy precipitation in Iran by intergroup variance quality control indices. *J. Agric. Meteorol.* 3: 1. 40-57. (In Persian)
7. IPCC. 2007. *Climate Change. 2007. The Physical Science Basis, A Contribution of Working Groups. I, to the Forth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Solomon and the Core Writing Team (eds). Cambridge University press. Cambridge United Kingdom and New York, USA. 333p.*
8. Kanchebe, D.E., and Abudu, K.R. 2012. Vulnerability of crop production to heavy precipitation in north- eastern Ghana. *Int. J. Clim. Chang. Str. Manag.* 4: 1. 36-53.
9. Karamooz, M., and Araghinezhad, Sh. 2005. *Advanced Hydrology. Amirkabir University Press. 468p.* (In Persian)
10. Khalili, A. 2015. Quantifying the risk of heavy rainfall and its damage to agriculture in Iran. *J. Agric. Meteorol.* 3: 2. 24-33. (In Persian)
11. Khoshkhoo, Y., and Abdi, Ch. 2016. Risk potential of heavy rainfall occurrence at some selected stations at West and Northwest of Iran. 2<sup>st</sup> National Conference on Semi-Arid Hydrology. 19-20 October. Sanandaj. Iran. (In Persian)
12. Matinzadeh, M., Fattahi, R. Shayannejad, M., and Abdollahi, Kh. 2011. Reconstruction of Annual Maximum 24-h Rainfall Data using Fuzzy Regression in CH&B Province. *Journal of Water Research of Iran.* 8: 179-186. (In Persian)
13. Mozafari, Gh.A., Mazidi, A., and Shafie, Sh. 2017. Analysis and determining the threshold of extreme precipitation of Western Iran through using general extreme value distribution. *J. Water Soil Cons.* 24: 2. 107-25. (In Persian)
14. Nazari Samani, A.A., Abbasi Jondani, Sh. 2016. Evaluation of efficiency of Cligen Generator for producing of climate data for using in WEPP model (Case study: Zidasht station, Alborz province). *J. Water Soil Cons.* 23: 2. 43-62. (In Persian)
15. Skakun, S., Kussul, N., Shelestov, A. and Kussul, O. 2014. Flood hazard and flood risk assessment using a time series of satellite images: a case study in Namibia. *Risk Anal.* 34: 8. 1521-1537.
16. Sotoodeh, F., and Alijani, B. 2015. Relationship between spatial distribution of heavy precipitation and pressure patterns in Gilan. *J. Spatial Anal. Natur. Hazard.* 1: 63-73. (In Persian)
17. Vörösmarty, C.J., Guenni, L.B., Wollheim, W.M., Pellerin, B., Bjerklie, D., Cardoso, M., D'Almeida, C., Green, P., and Colon, L. 2013. Extreme rainfall, vulnerability and risk: a continental scale assessment for South America. *Philos. Trans. A Math. Phys. Eng. Sci.* 371: 1-17.
18. WMO. 2016. Commission for climatology: open programme panel on climate monitoring and assessment (opace-2). Task team on definitions of extreme weather and climate events (tt-dewce). Report item: 3.3 (3). 61.



## Evaluating and Zoning of the Extreme Rainfalls Occurrence Risk in West of Iran

A. Salimi Mastali<sup>1</sup>, \*Y. Khoshkhou<sup>2</sup> and M.H. Gholizadeh<sup>3</sup>

<sup>1</sup>M.Sc. Graduate, Dept. of Climatology, University of Kurdistan,

<sup>2</sup>Assistant Prof., Dept. of Water Science and Engineering, University of Kurdistan,

<sup>3</sup>Assistant Prof., Dept. of Climatology, University of Kurdistan,

Received: 10.03.2018; Accepted: 12.18.2018

### Abstract

**Background and Objectives:** Occurrence of extreme rainfalls specifically in short-time scales causes heavy damages to human communities, municipal crowd regions and natural ecosystems. The studying and precise identifying of extreme rainfalls is essential and crucial in different agriculture and natural resources, meteorology and hydrology, engineering and natural environment aspects. The intensity damage of extreme rainfalls does not equally act in different regions and it is essential to assess the risk extent of such hazardeous rainfalls in regions with different climatic conditions. Therefore, the aim of this study is to identify and zoning of extreme rainfall occurrence risk in different 6, 12 and 24-hour time scales for west parts of Iran, where has a noticeable diversity in terms of the climatic and topographic conditions.

**Materials and Methods:** To perform this research, about 27 synoptic stations located in five provinces including Kurdistan, Kermanshah, Hamedan, Ilam and Lorestan were selected, and the maximum annual values of extreme rainfalls in three time scales of 6, 12 and 24-hours in a 25 year time period (1992-2016) were extracted and by fitting different statistically distributions to each of these time series and by adopting the Chi-square test, the statistical distributions with best fit were regoized and were used to performing propabilitistic analyses. The 30, 40 and 50 mm thresholds were used to defining the torrential extreme rainfalls in 6, 12 and 24-hours time scales, respectively and after calculating the risk extents of the mentioned torrential extreme rainfalls for all of the studied stations, the risk zoning of torrential extreme rainfalls occurrence was performed by applying the multiple linear regression models between the risk extents and geographical properties (longitude, latitude and elevation) for all of the studied region. To enhancing the models accuracy, the long-term average of the number of days per year with precipitation greater than 1 mm was employed in the structure of the regression models as auxiliary variable in some cases and to achieve higher accuracy of regression models, the studied region was divided into three distinct regions.

**Results:** The results showed that among different fitted statistical distributions to the time series of extreme rainfalls of 6, 12 and 24-hours in the studied region, three distributions including Log-Logistic, Pearson and Gama were recognized as the best fit distributions. In terms of the accuracy of the multiple linear regression models, the results showed the high accuracy of these models for all of the three distinct regions and whole of three time scales of 6, 12 and 24-hours. The overall results of this research showed that the risk occurrence of the torrential extreme rainfalls in the west part of Iran has a notable diversity so that this risk is very low in some centarl parts and very high in some west and south parts of the studied region.

---

\* Corresponding Author; Email: [y.khoshkho@uok.ac.ir](mailto:y.khoshkho@uok.ac.ir)

**Conclusion:** The overall results of this research revealed that the general applied algorithm of this research to estimating spatial distribution of torrential extreme rainfalls occurrence risk led to obtain the appropriate and acceptable accuracy in regional estimation and to generalize the stational point results to the regional scale. Therefore, it is essential to adopt appropriate tasks and more attention in contrast to the negative consequences of the extreme rainfalls in the parts with high degree of probability occurrence.

**Keywords:** Extreme rainfall, Risk, West of Iran, Zonning

