



## واکاوی میزان اثرگذاری عوامل مؤثر بر سیل خیزی استان همدان با استفاده از مدل آنتروپی شانون و سیستم اطلاعات جغرافیایی

زهره مریانجی<sup>۱\*</sup>، ابوذر رضانی<sup>۲</sup>

۱- استادیار، گروه جغرافیا، دانشگاه سیدجمال‌الدین اسدآبادی، اسدآباد، ایران

۲- استادیار، گروه جغرافیا، دانشگاه سیدجمال‌الدین اسدآبادی، اسدآباد، ایران

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۹/۰۶/۱۳

وصول مقاله: ۱۳۹۹/۰۵/۰۷

### چکیده

سیل به‌عنوان یک مخاطره‌ی طبیعی از عوامل مختلف طبیعی و انسانی ناشی می‌گردد. بدون شک میزان تأثیرگذاری این عوامل بر بروز سیل یکسان نیست و شناسایی میزان اثرگذاری و وزن هر یک از پارامترهای تأثیرگذار بر سیل از ضروریات است. این تحقیق میزان اثرگذاری عوامل طبیعی ایجاد سیلاب از جمله اقلیم (شدت، مدت و احتمال وقوع بارش و مانند آن) و دیگر پارامترهای هیدرولوژیکی مؤثر بر آن را شناسایی کرده و به تشخیص مناطق پرخطر و سیل‌خیز در سطح استان همدان پرداخته است. مدل انتخابی برای این تحقیق مدل آنتروپی شانون (روش ترکیبی داده‌ای-کارشناسی) است که بر اساس داده‌های اقلیمی، هیدرولوژی و توپوگرافی توأم با نظریات کارشناسی اقدام به وزن‌دهی به عوامل طبیعی مؤثر در بروز سیلاب شده است. بر این اساس بیشترین وزن را حداکثر ۲۴ ساعته بارش داشته است. نتایج نشان می‌دهد این پارامتر مؤثرترین عامل طبیعی ایجادکننده‌ی سیل در استان همدان است. عوامل پوشش گیاهی، زمان ذوب برف، شیب حوضه، جنس زمین و ضریب گراولوس به ترتیب بیشترین اوزان را به خود اختصاص داده‌اند. بر اساس اوزان نهایی نقشه خطر با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی ترسیم شد که نشان می‌دهد مناطق با خطرپذیری بسیار زیاد در مناطق مرکزی و جنوبی استان واقع شده است. بیشتر شهرستان‌های استان در مناطق با خطرپذیری زیاد قرار گرفته‌اند. بر این اساس در شهرستان‌ها مناطق آسیب‌پذیر بیشتر در حریم سیلابی رودخانه‌ها واقع شده است. با استفاده از نتایج این تحقیق می‌توان با پیش‌بینی عوامل مؤثر در ایجاد سیل، زمان تقریبی رخداد سیل و مناطق مستعد، حساس و سیل‌خیز را در استان همدان شناسایی کرد و تا حدودی از خطرات ناشی از این مخاطره جلوگیری نمود.

**کلمات کلیدی:** آنتروپی شانون، سیستم اطلاعات جغرافیایی، اثرگذاری، سیل، استان همدان، غرب ایران

## مقدمه

سیل به عنوان یکی از خطرناک ترین مخاطرات طبیعی همواره خسارات فراوانی به جامعه بشری وارد نموده است و وقوع آن در حال افزایش و خسارات ناشی از آن روز به روز بیشتر می شود. به واسطه رشد تصاعدی جمعیت، سیل با تلفات قابل توجه حتی در کشورهای در حال توسعه روبه رو است (پریشان، ۱۳۹۰: ۳۱۸) و (پورطاهری و همکاران، ۱۳۸۹: ۲۹). این مخاطره در بسیاری از موارد تأثیرات مخربی بر جوامع انسانی اعم از شهری و روستایی می نهد (پورطاهری و همکاران، ۱۳۹۰: ۳۱). به منظور کاهش خسارت سیل، نخستین گام، اجرای دقیق طرح های کنترل سیلاب، شناسایی و اولویت بندی مناطق سیل خیز موجود در حوضه آبریز، است (EEA, 2016). مهم ترین راه برای رسیدن به موفقیت و مدیریت سیلاب مشارکت جامعه محلی است (اولد و همکاران، ۲۰۱۹: ۳۲۷). در این راستا مطالعات بسیار صورت گرفته است: ورکریوس و همکاران (۲۰۱۹) با مطالعه سیل نیوکاسل تین (انگلستان) و تجزیه و تحلیل سلول های بارندگی مکانی پرداختند. مقصودی و همکاران (۲۰۱۹) تأثیر تغییرات آب و هوایی در فرکانس سیل و منبع سیل در مقیاس حوضه را بررسی نمودند. راهمن و همکاران (۲۰۱۹) به مطالعه سیل در دو منطقه دره برهماپوترا فوقانی و منطقه عسام به منظور ارزیابی مشخصات اقتصادی - اجتماعی، کشاورزان تحت تأثیر سیل، وضعیت اشتغال و درک آن ها از تأثیر سیلاب پرداختند. فودی و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۰۴) جهت تعیین نقاط سیل خیز حوضه ای در صحرای شرقی کشور مصر از داده های ماهواره لندست جهت تعیین کاربری اراضی حوضه استفاده کردند. استفان (Stephan, 1991: 15)، پهنه بندی سیل های رودخانه یلستون علیا، در ایالت مونتانا آمریکا را مورد مطالعه قرار داده است. اندری و وود (Endreny, 2001: 2228) و همچنین ملیس و همکاران (Melesse, 2003: 20)، پاپنبرگر<sup>۲</sup> (۲۰۱۵)، بنی حبیب و عربی (۲۰۱۶)، گودرزی و همکاران (۲۰۱۹)، چیت ساز و بنی حبیب (۲۰۱۵)، باریندوس و همکاران

1- Fudey et al.,

2- Pappenberger et al.,

(۲۰۱۹)، اسپنس و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۹)، بنجامین و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۱۹)، هونگ و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۱۸)، نگارش و یاری (۱۳۹۲)، صادق‌لو و قیداری (۱۳۹۳)، نسرین‌نژاد و همکاران (۱۳۹۳)، سلحشوری و وفایی‌نژاد (۱۳۹۱)، رضایی‌مقدم و همکاران (۱۳۹۸)، احمدی و همکاران (۲۰۱۶)، رستمی‌خلج (۲۰۲۰) و محمدنژاد و همکاران (۲۰۲۰) سیلاب را مدلسازی نمودند.

استان همدان که در غرب ایران و در منطقه‌ی کوهستانی زاگرس واقع شده است، در طی سال‌های گذشته بارها شاهد وقوع سیلاب‌های مختلفی بوده است. پارامترهای مؤثر در وقوع سیلاب در استان همدان متنوع بوده و شامل: وضعیت بارش، توپوگرافی، پوشش گیاهی و میزان نفوذپذیری خاک، شیب، جهت شیب، و همچنین عوامل انسانی نظیر تجاوز به حریم بستر سیلابی رودخانه، نابودی مراتع، فرسایش خاک و مانند آن است. این منطقه بارها از دیدگاه سیل‌خیزی مورد بررسی قرار گرفته است: مریانجی و معروفی (۲۰۰۵) با استفاده از روش SCS و GIS روناب حوضه‌ی آبریز قره‌چای همدان را به هفت کلاس تقسیم نموده‌اند. مریانجی (۱۳۸۲) به بررسی سیل در استان همدان پرداخت و مناطق سیل‌خیز استان همدان را شناسایی نمود بر اساس یافته‌های ایشان پرخطرترین مناطق دشت کبودرآهنگ و جنوب غرب است، مناطقی از نهبوند است. گل‌محمدی و همکاران (۲۰۰۹) بر اساس روش‌های مختلف زمین‌آماری، نشان داد که روش کوکریجینگ با مدل دایره‌ای، مناسب‌ترین تحلیل مکانی ضریب رواناب را در استان همدان دارا است.

شادمانی و همکاران (۱۳۹۰) به مدل‌سازی منطقه‌ای دبی سیلابی در استان همدان با استفاده از شبکه‌ی عصبی مصنوعی پرداختند. نوذری و همکاران (۱۳۹۳) به شناسایی واحدهای هیدرولوژیکی مؤثر بر دبی اوج سیلاب در حوضه‌ی همدان (بهار) پرداختند نتایج آنها نشان داد که زیرحوضه‌هایی که مساحت یا رواناب بیشتری دارند، لزوماً تأثیر بیشتری بر اوج سیل خروجی حوضه ندارند. مریانجی (۱۳۹۵) با بررسی حداکثر بارش روزانه

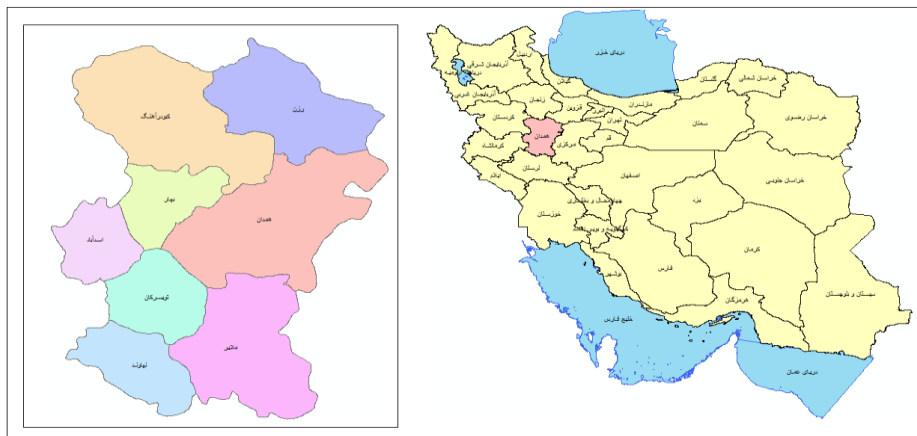
1- Spenece et al.,  
2- Benjamin et al.,  
3- Hong et al.,

پهنه‌های سیل‌خیزی استان همدان را برای دوره برگشت‌های متفاوت مشخص نمود. در این مطالعه مناطق آسیب‌پذیر در مقابل سیلاب با تعیین تأثیر هر یک از پارامترهای طبیعی مؤثر در سیل با استفاده از مدل آنتروپی شانون شناسایی و میزان نقش هر یک مشخص می‌گردد.

## ۱- مواد و روش‌ها

### ۱-۱- منطقه‌ی مورد بررسی

استان همدان با مساحت ۱۹۴۹۳ کیلومترمربع، ۱/۲ درصد از کل مساحت کشور را در برمی‌گیرد. این استان بین مدارهای ۳۳ درجه و ۵۹ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۴۹ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۳۶ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار گرفته است. استان همدان جزء استان‌های غربی ایران و در منطقه کوهستانی زاگرس قرار دارد. بلندترین نقطه‌ی استان همدان، قله‌ی الوند با ارتفاع ۳۵۷۴ متر، و پست‌ترین مکان این استان اراضی عمرآباد در کنار رود قره‌چای است. شکل (۱) موقعیت استان همدان در جهان و ایران را نشان می‌دهد.



شکل (۱): موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه

Fig (1): The study area

## ۲-۱- تهیه داده‌ها ولایه‌های مورد نیاز

تهیه و جمع‌آوری آمار از ایستگاه‌های سینوپتیک، کلیماتولوژی، باران‌سنجی و هیدرومتری صورت گرفته است. دوره‌ی آماری مورد مطالعه ۳۰ سال یعنی از ۱۳۶۹ لغایت ۱۳۹۸ است. لایه‌های شیب منطقه از نقشه‌های با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ در محیط GIS ترسیم گردید. نقشه‌ی گروه‌های هیدرولوژیک خاک و کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست TM، تهیه شد. نقشه‌ی پوشش گیاهی نیز که توسط سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان همدان تهیه شده مورد استفاده قرار گرفت. بر اساس این نقشه استان همدان به علت برخورداری از وضعیت متفاوت توپوگرافی و همچنین تنوع زیستگاه‌ها، دارای رویشگاه‌های مختلفی است. حدود ۲۵۰ هزار هکتار از عرصه استان همدان را مراتع مخلوط و دیم‌زارها تشکیل می‌دهد. مراتع استان از لحاظ درجه‌بندی وضعیت به ترتیب زیر تقسیم می‌شوند: ۱- مراتع متوسط ۵/۶ درصد - مراتع متوسط تا فقیر ۴/۰ درصد ۳- مراتع فقیر ۵۶/۶ درصد ۴- مراتع بسیار فقیر ۳۳/۸ درصد، مجموع مساحت مراتع منطقه مورد مطالعه ۶۵۶۲۵۹ هکتار محاسبه شده است. مراتع خوب و عالی در منطقه وجود ندارد و این نشان‌دهنده‌ی سیر فقهقراپی و تخریب بیش‌ازحد و بهره‌برداری نامطلوب از منابع است. ادامه روند کنونی برداشت از منابع طبیعی تجدیدشونده در آینده نه‌چندان دور سبب خواهد شد همه‌ی مراتع استان همدان به‌صورت غیر استفاده درآید.

با مقایسه‌ی روش‌های فراوانی و هیدرو اقلیمی در برآورد دبی حداکثر سیل مشخص شده که داده‌های بارش باعث برآورد بهتر در فراوانی دبی می‌گردد. (بشیر گنبد و همکاران، ۱۳۹۷: ۵۹۵) در این مطالعه به منظور بررسی رواناب و دبی سیلابی میزان بارش برف در فصل سرد سال مورد توجه قرار گرفته است، چرا که با توجه به اقلیم منطقه‌ی بارش برف در فصل سرد سال چشمگیر بوده است. بدین منظور از داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک استفاده گردیده است.

### ۲-۳- محاسبه‌ی میزان تأثیر هر یک از پارامترها در وقوع سیلاب

الف- روش آنتروپی شانون برای وزن دهی شاخص‌ها (معیارها): در مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره و بخصوص مسائل تصمیم‌گیری چند شاخصه، داشتن و دانستن اوزان نسبی شاخص‌های موجود، گام مؤثری در فرایند حل مسئله بوده است. وزن هر شاخص، اهمیت نسبی آن را نسبت به شاخص‌های دیگر بیان می‌کند. انتخاب آگاهانه و صحیح وزن‌ها کمک بزرگی در جهت رسیدن به هدف موردنظر می‌نماید. روش آنتروپی (Entropy) یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برای محاسبه وزن معیارها است. شانون نشان داد که وقایع با احتمال وقوع زیاد اطلاعات کمتری در اختیار می‌گذارند و برعکس هرچه قدر احتمال وقوع یک رخداد کمتر باشد، اطلاعات حاصل از آن بیشتر است. گام‌های روش آنتروپی شانون: (وانگ و همکاران، ۲۰۰۸: ۱۹۲۹)

گام اول: ابتدا ماتریس تصمیم تشکیل می‌شود در این روش، ماتریس  $x \times m$  که دارای  $m$  گزینه و  $x$  شاخص است مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در شکل زیر که ماتریس تصمیم است ستون‌ها معیار و سطرها گزینه‌ها هستند. به‌عنوان مثال درایه  $x12$  امتیاز گزینه اول نسبت به معیار دوم است.

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & a_{2n} \\ a_{31} & a_{32} & a_{3n} \\ \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & a_{m3} \end{bmatrix} \quad \text{رابطه‌ی (۱)}$$

ماتریس تصمیم یا همان ماتریس امتیازدهی گزینه‌ها بر اساس معیارها تشکیل می‌شود.

گام دوم: نرمال‌سازی داده‌ها مرحله بعدی نرمال‌سازی ماتریس تصمیم‌گیری است که از فرمول زیر استفاده می‌شود (رابطه‌ی ۱) و ماتریس (۲) و (۳):

$$n_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m X_{ij}} \quad \text{رابطه‌ی (۲)}$$

$$n_{ij} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & x_{2n} \\ x_{31} & x_{32} & x_{3n} \\ \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & x_{m3} \end{bmatrix} \quad \text{رابطه‌ی (۳)}$$

گام سوم: محاسبه‌ی آنتروپی هر شاخص: آنتروپی  $E_j$  به صورت زیر محاسبه می‌گردد و  $k$  به عنوان مقدار ثابت مقدار  $E_j$  را بین ۰ و ۱ نگه می‌دارد. رابطه‌ی (۴)

$$E_j = -k \sum_{i=1}^m P_{ij} \times \ln p_{ij} \quad i=1,2,\dots,m \quad \text{رابطه‌ی (۴)}$$

که در آن  $p(x)$  توزیع احتمال متغیر تصادفی  $X$  است. افزایش در آنتروپی شانون باعث افزایش عدم اطمینان و کاهش اطلاعات در مورد دانش متغیر تصادفی می‌شود. جنبه‌ی جالب دیگر آنتروپی شانون ویژگی حداکثر آنتروپی آن برای توزیع یکنواخت است.

گام چهارم: در ادامه‌ی مقدار  $d_j$  (درجه انحراف) محاسبه می‌شود که بیان می‌کند شاخص مربوطه ( $d_j$ ) چه میزان اطلاعات مفید برای تصمیم‌گیری در اختیار تصمیم‌گیرنده قرار می‌دهد (رابطه‌ی ۵).

$$d_j = 1 - E_j \quad \text{رابطه‌ی (۵)}$$

گام پنجم: سپس مقدار وزن  $W_j$  محاسبه می‌گردد. در واقع وزن معیار برابر با هر  $d_j$  تقسیم بر مجموع  $d_j$ ها است. رابطه‌ی (۶) بیانگر چگونگی عملیات است. (وانگ و همکاران، ۲۰۰۸: ۱۹۲۹)

$$w_j = d_j / \sum d_j \quad \text{رابطه‌ی (۶)}$$

$$W_j = \begin{bmatrix} w_1 x_{11} & w_2 x_{12} & w_n x_{1n} \\ w_2 x_{21} & w_2 x_{22} & w_n x_{2n} \\ w_3 x_{31} & w_3 x_{32} & w_n x_{3n} \\ \dots & \dots & \dots \\ w_m x_{m1} & w_m x_{m2} & w_m x_{mn} \end{bmatrix}$$

در استفاده از روش شانون می توان از دانش کارشناسی، دانش داده ای و یا از دانش کارشناسی و داده ای به صورت توأم (ترکیبی) استفاده کرد.

### ب- محاسبه ی میزان تأثیر هر یک از پارامترها در وقوع سیلاب

پس از بررسی های به عمل آمده در مطالعات و اسناد داخلی و خارجی مرتبط با سیلاب، شاخص هایی که تکرارپذیری بیشتر و حاصل چند عامل (ترکیبی) بودند انتخاب شدند. امتیازات اولیه هر شاخص ماحصل نتایج پرسشنامه و تطبیق با دانش داده ای متکی بر اطلاعات موجود در مورد جواب مسئله است. جامعه ی هدف پرسشنامه کارشناسان و متخصصان مرتبط با سیلاب هستند که بر این اساس حجم نمونه ۳۵ نفر است. پس از جمع آوری داده های پرسشنامه و ملاحظات ناشی از جغرافیای منطقه ی مورد مطالعه امتیازات تعدیل شد. در ادامه امتیازات روش داده ای آمده است.

### ۳- بحث و نتایج

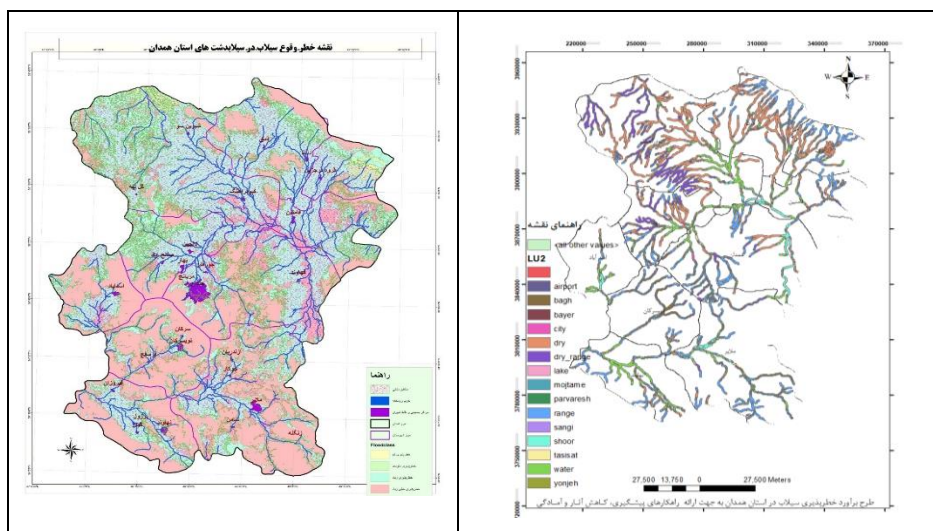
بر اساس نتایج بدست آمده انواع مختلف سیل در استان همدان شامل موارد زیر است:

الف- سیل های ایجاد شده در دشت های سیلابی: این گونه سیل با بارش های طولانی و تکراری و اشباع شدن خاک همراه است. که پس از چند روز بارش در مناطق کم ارتفاع که توسط کوه ها احاطه شدند به وجود می آید چگونگی تشکیل این گونه سیلاب ها غالباً نسبت به سیل های رودخانه های که در حریم بستر رودخانه ایجاد می شود، متفاوت است. بر اساس شکل (۲) بیشتر این دشت های سیلابی در مناطق شمالی است (دشت رزن و کبودرآهنگ) واقع شده است.

ب- سیل رودخانه های (حریم سیلابی رودخانه های استان و کاربری اراضی در این حریم ها): سیل کوتاه مدتی است که معمولاً با بالا آمدن سریع سطح آب و جریان نسبتاً زیاد همراه بوده و معمولاً از یک رگبار شدید روی منطقه ای کوچک به وجود می آید. این سیل با زمان هشدار کم و گاهی بدون هشدار رخ می دهد و در عرض چند دقیقه به نقطه ی اوج می رسد (به این دلیل به آن سیل برق آسا نیز گفته می شود). برخی سیلاب ها به طور فصلی مثلاً با



بارندگی‌های بهاره یا زمستانه توأم با ذوب برف‌ها اتفاق می‌افتد که در این مواقع بستر رودخانه‌ها به تدریج پرآب می‌شود و زمین‌های مجاور را زیر آب می‌برد. که بیشتر در نواحی جنوب غرب استان در شهرستان نهاوند دیده می‌شود. (شکل ۲)



شکل (۲): پهنه‌بندی خطر در سیلاب‌دشت‌ها و حریم سیلابی رودخانه‌های استان همدان

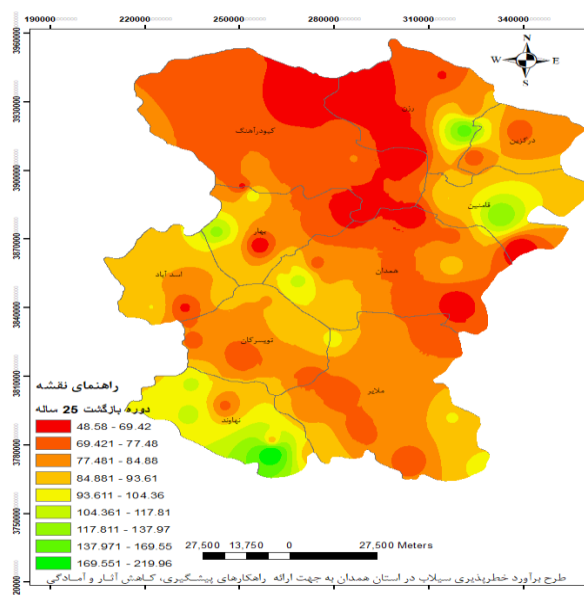
Fig (2): Hazard zoning in floodplains and floodplains of rivers in Hamadan province

به‌طور کلی پارامترهای طبیعی وقوع انواع سیلاب در استان همدان شامل عوامل زیر

است:

الف - مشخصه‌های بارش (ریزش باران‌های شدید، حداکثر ۲۴ ساعته بارش): با مطالعه‌ی وقوع بیشینه بارش روزانه در ایستگاه‌های هواشناسی استان همدان چنین استنباط می‌گردد که غالباً این حداکثرها در ماه‌های اسفند و فروردین بیشترین فراوانی را داشته که در شهرستان‌های همدان و نهاوند فروردین، در نوژه اسفند و فروردین و در رزن اسفند بیشترین فراوانی را داشته است. چنانچه بیشترین جمع متوسط بیشینه بارش روزانه در این دو ماه مربوط به ایستگاه عباس‌آباد (۶۴/۱۲ میلی‌متر) و کمترین آن مربوط به ایستگاه

کوریجان (۲۷/۹۷ میلی‌متر) است با توجه به آمار مورد مطالعه بیشترین مقدار آن نیز در جنوب و جنوب غرب و غرب استان اتفاق افتاده است. شکل (۳) حداکثر ۲۴ ساعته بارش سالانه استان همدان در دوره‌ی مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



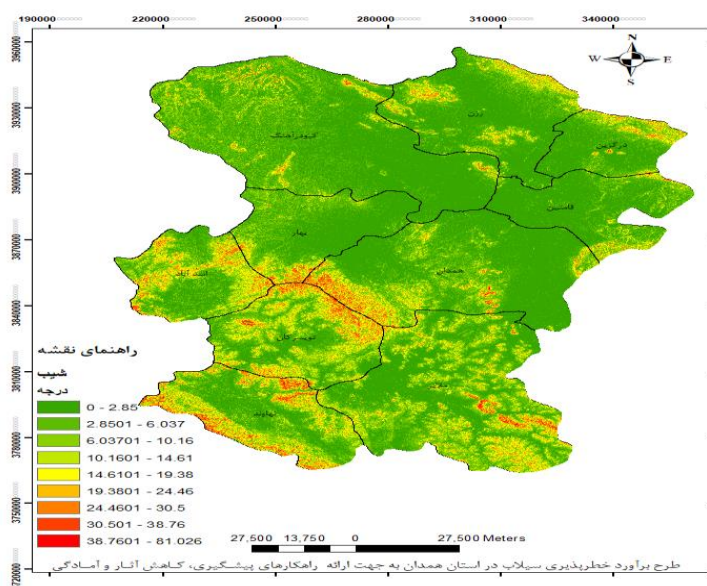
شکل (۳): حداکثر ۲۴ ساعته بارش سالانه استان همدان در دوره‌ی مورد مطالعه

Fig (3): Maximum 24 hours raining of Hamadan province in study period

ب - ذوب برف: به منظور بررسی برف از داده‌های بارش برف در ایستگاه‌های سینوپتیک استان همدان (همدان فرودگاه، نوژه، نهاوند، ملایر، تویسرکان، اسدآباد، بهار، رزن، درجزین، قهاوند و فامنین) استفاده شده است. ذوب برف در جلگه‌ها و فلات‌هایی که دارای آب‌وهوای قاره‌ای هستند سیل‌های واقعی را به بار می‌آورند درست است که نزولات آسمانی زمستان، در این مناطق زیاد نیست ولی به علت سرمای زیاد ماه‌ها برف روی هم انباشته می‌شود و در اثر عدم ارتفاع زیاد، در فصل بهار با افزایش سریع درجه حرارت ذوب شدید برف شروع

شده و منطقه‌ی وسیعی را چند روز در برمی‌گیرد. با توجه به نتایج بدست آمده بیشترین ضریب برفی مربوط به ایستگاه نوژه (۲۵ درصد) و کمترین آن مربوط به ایستگاه ملایر (۱۰ درصد) می‌باشد.

ج - شیب: شیب در ایجاد سیلاب از عوامل مهم محسوب می‌شود هر چه شیب زمین بیشتر باشد قدرت تخریب آب بیشتر می‌شود زیرا موجب افزایش سرعت آب می‌گردد و جلوی نفوذ آن به داخل زمین را می‌گیرد در بعضی مناطق شیب زیاد باعث بروز سیلاب می‌گردد اما در بعضی دیگر شیب کم باعث این حادثه می‌گردد و آن موقعی است که دشت در مجاورت با کوهستان قرار می‌گیرد. (دشت‌های سیلابی) شکل (۴) نقشه‌ی شیب استان همدان و جدول (۱) شیب متوسط هریک از حوضه‌ها را نشان می‌دهد.



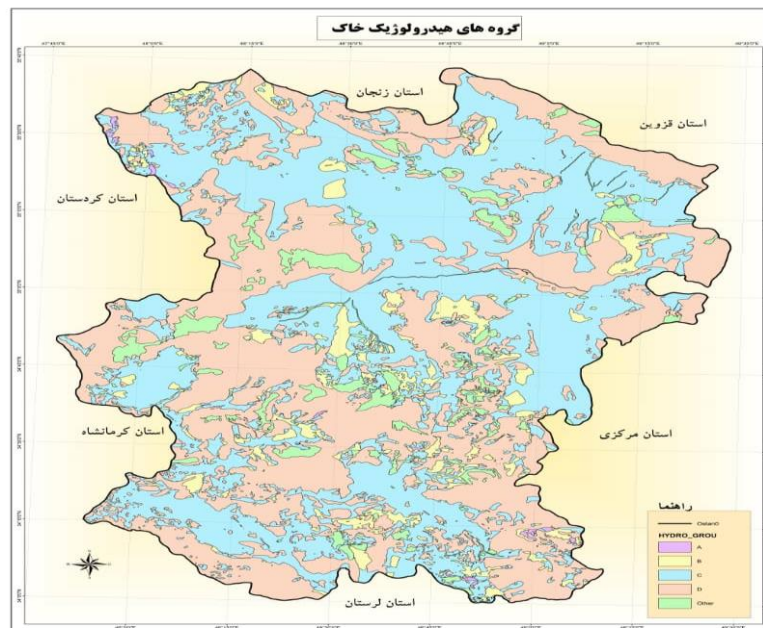
شکل(۴): نقشه‌ی شیب استان همدان (ماخذ: طرح جامع سیل استان همدان )

Fig (4): The slop map of Hamadan province

جدول (۱): شیب متوسط هر یک از حوزه‌های استان همدان  
Table (1): Medium slope of each domain of Hamadan province

نام حوزه‌ی آبخیز	شیب متوسط وزنی (درصد)	نام حوزه‌ی آبخیز	شیب متوسط وزنی (درصد)
تویسرکان	۱۶/۲	مرزی	۱۳/۸
ملایر	۱۲/۶	همدان	۱۰/۱
شهرستانه	۱۸/۳	قهورد	۷/۸
نهادند	۱۴/۶	کیودرآهنگ	۴/۳
رزن	۶/۱	دمق	۴/۹
قهاوند	۵/۵	سفیدرود	۸/۶
اسداباد	۱۳/۸	گل تپه	۶/۱
کل استان		۹/۲	

د - جنس زمین (کلاس نفوذپذیری خاک): نقشه‌ی گروه‌های هیدرولوژیک خاک و کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست (سال ۲۰۱۸) تهیه شده است (شکل ۵). سپس از انقطاع دو نقشه‌ی کاربری اراضی و گروه‌های هیدرولوژیک خاک در محیط نرم‌افزار Arc GIS، نقشه‌ی CN منطقه تهیه گردید؛ و بر اساس توانایی خاک‌های مختلف برای نفوذ، خاک به ۴ گروه خاک‌های هیدرولوژیکی تقسیم شد: گروه‌های خاک هیدرولوژیکی نوع A (پتانسیل رواناب کم)، گروه‌های خاک هیدرولوژیکی نوع B خاک‌هایی با سرعت نفوذ متوسط، گروه خاک‌های هیدرولوژیکی نوع C خاک با سرعت نفوذ کند، گروه خاک‌های هیدرولوژیکی نوع D (پتانسیل رواناب بالا): خاک‌ها با نرخ نفوذ خیلی کند.



شکل (۵): نقشه‌ی گروه‌های هیدرولوژیکی خاک در استان همدان  
 Fig (5): Map of soil hydrologic groups in Hamadan province

با توجه به نقشه‌ی فوق اکثر مناطق استان از لحاظ نفوذپذیری خاک در کلاس هیدرولوژیکی C و D قرار دارد. در شهرستان‌های کبودرآهنگ، رزن، کرفس و قهاوند بیشترین درصد مربوط به کلاس C است که از نظر نفوذپذیری این خاک‌ها عمدتاً شامل خاک‌ها با یک لایه که مانع از حرکت رو به پایین آب و یا خاک با بافت متوسط خوب تا خاک با بافت خوب هستند. این خاک‌ها یک نرخ انتقال آب کند دارند. حال آنکه شهرستان‌های ملایر نهاوند همدان اسدآباد و تویسرکان عمده کلاس نفوذپذیری خاک D است که بافت این کلاس سنگین و عمدتاً رسی است و سرعت نفوذ در آن‌ها بسیار پایین است. این مناطق می‌توانند با یک‌دو یا چند بارندگی به حد اشباع برسند. کلاس A و B بیشتر در مناطق مرکزی استان پراکنده است هرچند مساحت آن زیاد نیست. این کلاس از لحاظ نفوذپذیری بالا و بافت آن‌ها درشت‌دانه است.

ط- ضریب گراولیوس: جدول (۲) ضرایب شکل حوضه یا ضریب گراولیوس را به تفکیک حوضه‌ها در استان همدان نشان می‌دهد که با استفاده از GIS و به تفکیک زیرحوضه و کل حوضه ترسیم شده است.

جدول (۲): تعیین ضرایب شکل هر یک از واحدهای حوضه‌ی استان همدان  
Table (2): Shape coefficient of each domain of Hamadan province

ردیف	نام حوضه‌ی آبخیز	محیط	مساحت	ضریب شکل گراولیوس c
۱	تویسرکان	۱۶۴	۸۹۳۰۱	۱/۵
۲	ملایر	۲۸۳	۲۸۲۳۷۹	۱/۵
۳	شهرستانه	۱۲۳	۴۳۶۶۷	۱/۶
۴	نهایند	۲۶۱	۱۴۶۲۸۲	۱/۹
۵	رزن	۲۹۸	۲۷۶۲۹۴	۱/۶
۶	قهاوند	۳۲۱	۲۳۴۲۴۵	۱/۹
۷	اسدآباد	۱۶۳	۹۲۲۸۳	۱/۵
۸	مرزی	۶۱	۱۲۶۸۴	۱/۵
۹	همدان	۲۶۰	۲۴۶۲۸۲	۱/۵
۱۰	قهورد	۲۶۶	۶۹۰۱۰	۲/۸
۱۱	کبودرآهنگ	۲۴۷	۱۹۹۸۰۷	۱/۵
۱۲	دمق	۱۹۹	۹۶۱۱۹	۱/۸
۱۳	سفیدرود	۱۴۹	۳۳۳۹۴	۲/۳
۱۴	گل‌تپه	۲۰۲	۱۲۳۵۱۸	۱/۶

و- پوشش گیاهی: تمامی پوشش گیاهی در مقابل جلوگیری از سیل عمل یکنواختی ندارد به این معنی که پوشش‌های جنگلی و مرتعی زراعتی یکسان عمل نمی‌کنند حتی درجه تراکم آن نیز در این عمل مؤثر است. به‌طورکلی می‌توان گفت که معمولاً پوشش گیاهی جنگلی بهتر از مرتعی و مرتعی بهتر از زراعی است.

### ۳-۱- برآورد میزان تأثیر هر یک از پارامترها در وقوع سیلاب بر اساس روش آنتروپی شانون و نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر سیل در استان همدان

این مدل با ارائه دید کلی از سیل خیزی استان همدان می‌تواند به صورت جزئی‌تر برای شهرستان‌ها و زیرحوضه‌های استان مورد بررسی قرار گیرد. در این راستا میزان تأثیر هر یک از پارامترها در وقوع سیلاب بر اساس روش داده‌ای - کارشناسی در جداول (۳) و (۴) آورده شده است. از آنجایی که شش عامل بررسی شده در این مطالعات از تأثیر یکسانی بر کاهش و یا افزایش سیلاب و سیل‌خیزی حوضه‌ها برخوردار نیستند برای این عامل به ترتیب اهمیت‌شان ضریبی مستقل در نظر گرفته شده است. در ادامه ابتدا ماتریس  $A_{ij}$  بر اساس روش ترکیبی تکمیل و پس از نرمال‌سازی داده‌ها، وزن هر شاخص با استفاده از روش آنتروپی شانون مشخص شد. وزن‌های به‌دست‌آمده برای هر شاخص با روش آنتروپی شانون در جدول (۳) قابل مشاهده است.

جدول (۳): اوزان نهایی شاخص‌های مؤثر در وقوع سیلاب  
Table (3): Final weights of effective parameter on flood occurrence

شاخص	حداکثر بارش ۲۴ ساعته	میزان برف	شیب حوزه	ضریب گراولیوس	جنس زمین	پوشش گیاهی
Ws DM	۰/۲	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۲	۰/۳
$\lambda_j W_j$	۰/۰۷۷۹	۰/۰۱۹۰	۰/۰۱۷۸	۰/۰۰۱۶	۰/۰۱۴۲	۰/۰۴۶۴
W <sub>j</sub>	۰/۴۴۰۱	۰/۱۰۷۵	۰/۱۰۰۸	۰/۰۰۹۱	۰/۰۸۰۴	۰/۲۶۲۱
RAXK	۱	۳	۴	۶	۵	۲

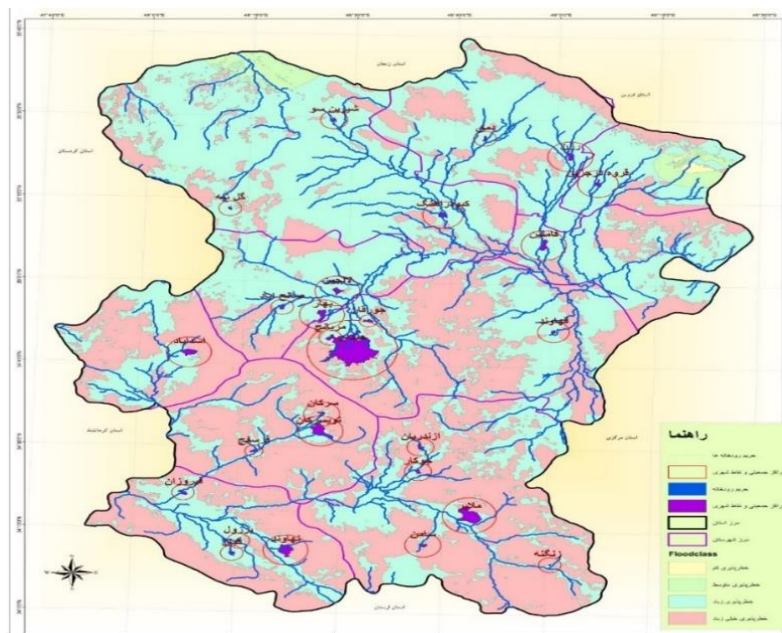
با مشخص شدن وزن کلی هر شاخص، جهت تعیین وزن هر زیر شاخص، ضریب به‌دست‌آمده در امتیاز هر کلاس (بین ۱ تا ۴) ضرب شده تا وزن هر زیر شاخص محاسبه شود (جدول ۴).

سپس با توجه به وزن هر یک از عوامل با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی نقشه خطر ترسیم گردید. شکل (۶) و مساحت میزان خطرپذیری در هر یک از شهرستان‌های استان مشخص شد (جدول ۵).

جدول (۴): اوزان نهایی زیر شاخص‌های مؤثر در وقوع سیلاب بر اساس مدل آنتروپی شانون (روش تلفیقی داده‌ای - کارشناسی)

**Table (4):** Final weights of effective parameter on flood occurrence based on Shannon entropy

شاخص	حداکثر بارش ۲۴ ساعته	میزان برف	شیب حوزه	ضریب گراولپوس	جنس زمین	پوشش گیاهی
W <sub>j</sub>	۰/۴۴۰۱	۰/۱۰۷۵	۰/۱۰۰۸	۰/۰۰۹۱	۰/۰۸۰۴	۰/۲۶۲۱
امتیاز ۴	۱/۷۶۰۳۳	۰/۴۳۰۱۲	۰/۴۰۳۰۸	۰/۳۶۴۶	۰/۳۲۱۶۳	۱/۰۴۸۳۸
امتیاز ۳	۱/۳۲۰۲۵	۰/۳۲۲۵۹	۰/۳۰۲۳۱	۰/۰۲۷۳۵	۰/۲۴۱۲۲	۰/۷۸۶۲۸
امتیاز ۲	۰/۸۸۰۱۶	۰/۲۱۵۰۶	۰/۲۰۱۵۴	۰/۰۱۸۲۳	۰/۱۶۰۸۱	۰/۵۲۴۱۹
امتیاز ۱	۰/۴۴۰۱	۰/۱۰۷۵	۰/۱۰۰۸	۰/۰۰۹۱	۰/۰۸۰۴	۰/۲۶۲۱



شکل (۶): نقشه مناطق پرخطر وقوع سیل در استان همدان بر اساس عوامل طبیعی  
**Fig (6):** Map of flood risk areas in Hamadan province based on natural factors



جدول (۵): توزیع مساحت (متر مربع) خطرپذیری سیلاب در شهرستان‌ها و کل استان همدان

Table (5): Flood risk area distribution in cities and province of Hamadan

شهرستان	خطرپذیری خیلی زیاد	خطرپذیری زیاد	خطرپذیری کم	خطرپذیری متوسط	مجموع
اسدآباد	۷۰۰۵۷	۴۹۰۶۸			۱۱۹۱۲۵
بهار	۳۴۳۳۶	۹۹۱۷۰			۱۳۳۵۰۶
تویسرکان	۱۲۰۹۴۹	۳۴۹۱۱		۸	۱۵۵۶۰۸
درگزین	۱۷۶۵۱	۵۱۶۸۷	۲۵۶۳	۱۲۰۰۱	۸۳۹۰۵
رزن	۵۲۰۳۹	۱۳۵۹۱۵			۱۸۷۹۴۶
فامنین	۴۵۴۰۷	۸۲۵۰۹			۱۲۷۹۱۶
کبودرآهنگ	۶۴۹۸۹	۳۰۰۳۳۴		۱۷۷۹۷	۳۸۳۱۲۰
ملایر	۲۰۴۲۰۹	۱۱۴۹۰۵		۶۱۱	۳۱۹۷۲۶
نهادوند	۹۴۷۱۸	۵۸۲۸۴			۱۵۳۰۰۲
همدان	۱۴۹۷۷۹	۱۳۱۹۳۰			۲۸۱۷۲۹
کل استان	۸۵۴۱۵۰	۱۰۵۸۷۱۶	۲۵۶۳	۳۰۴۱۹	۱۹۴۵۸۵۰

#### ۴- نتیجه‌گیری

یکی از روش‌های مدیریتی مواجهه با سیل، پهنه‌بندی سیل است. نقشه‌های پهنه‌بندی سیل، اطلاعات ارزشمندی را در مورد طبیعت سیلاب‌ها، اثرات آن بر اراضی دشت سیلاب‌ها و تعیین حریم رودخانه‌ها ارائه می‌دهد. در پهنه‌بندی سیل به منظور کنترل سیلاب در کاربری و توسعه اراضی، مناطق سیل‌خیز به قسمت‌هایی با خطرپذیری‌های متفاوت تقسیم می‌شوند. با تعیین مناطقی که ریسک بالای سیل دارند، می‌توان از توسعه در این مناطق جلوگیری کرد و یا در صورت نیاز به توسعه در این مناطق، از ابتدا راهکارهای مدیریتی برای ساخت‌وساز در این بخش‌ها لحاظ شود.

استان همدان از استان‌های سیل‌خیز کشور محسوب می‌شود و علت‌های آن فقر پوشش گیاهی، ریزش بارش‌های شدید، شیب حوضه، زمان ذوب برف و مانند آن است که بر اساس امتیازدهی به این عوامل برحسب شدت تأثیرگذاری آن‌ها در پدیده سیل، نقاط

سیل خیز استان شناسایی شده است. بر اساس مدل ترکیبی داده‌ای و کارشناسی آنتروپی شانون بیشترین وزن دهی به حداکثر ۲۴ ساعته بارش تعلق گرفت. یافته‌های مدل نشان داد که این پارامتر مؤثرترین عامل طبیعی ایجادکننده سیل در استان همدان است. عوامل پوشش گیاهی، زمان ذوب برف، شیب حوضه، جنس زمین و ضریب گراولپوس به ترتیب مؤثرترین عوامل طبیعی در ایجاد سیل در استان همدان شناخته شدند و بیشترین وزن‌ها را به خود اختصاص داده‌اند. بر اساس اوزان نهایی عوامل طبیعی ایجادکننده سیل نقشه خطر با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی ترسیم شد. شکل (۶) نقشه‌ی مناطق پرخطر را در استان همدان نشان می‌دهد. طبق این مدل در تمامی شهرستان‌های استان مناطق پرخطر وجود دارد. مناطق با خطرپذیری بسیار زیاد در مناطق مرکزی و جنوبی استان واقع شده است. مناطق شمالی شامل شهرستان‌های رزن، کبودرآهنگ و درگزین در مناطق با خطرپذیری زیاد قرار گرفته‌اند. بر این اساس در شهرستان‌ها مناطق آسیب‌پذیر بیشتر در حریم سیلابی رودخانه‌ها واقع شده است.

با استفاده از نتایج این تحقیق می‌توان زمان تقریبی رخداد سیل و مناطق مستعد و حساس و سیل خیز را در استان همدان شناسایی کرد و تا حدودی از خطرات ناشی از این مخاطره جلوگیری نمود. در راستای تکمیل و توسعه این پژوهش در بازه‌ی زمانی مناسب، در فازهای متفاوت و به جهت استفاده بهتر و کاربردی کردن نتایج آن موارد زیر پیشنهاد می‌گردد:

۱. روش‌های مورد استفاده در این تحقیق را می‌توان برای داده‌های پیش‌بینی شده مدل‌های گردش عمومی جو استفاده نمود و تغییرات مشخصه‌های بارش و عوامل مؤثر بر ایجاد سیل را بر اساس روش به کار گرفته پیش‌بینی کرد.
۲. پیشنهاد می‌گردد، تغییر رژیم بارش با روش‌های مختلف بررسی و نتایج تحقیقات با یکدیگر مقایسه گردد تا میزان نوسانات و تغییرات مشخص شود.

۳. در بررسی فصل بارش با تعیین دوره‌های خشک و بارانی می‌توان از شاخص‌های بیشتری استفاده نمود و نتایج را با یکدیگر مقایسه نمود.

۴. استفاده از مدل‌های تکمیلی تحلیل فضایی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌تواند بسیار سودمند باشد.

۵. روش مورد استفاده در این مقاله برای مساحت‌های کوچک‌تر مناسب‌تر است لذا پیشنهاد می‌گردد از این روش برای مطالعه‌ی سیل‌خیزی در مقیاس محلی (شهرستان، بخش) استفاده گردد.

#### تشکر و قدرانی

\* در پایان از حمایت مالی استانداری همدان در این تحقیق (در قالب طرح پژوهشی) تقدیر می‌گردد.

### منابع

- Ahmadi, A., Mohammad Nia, A., & Golshani, N. (2016). Sensitivity Analysis of Geomorphological Variables Affecting Floods Using HEC-HMS Model (Case Study: Zar Cheshmeh Hunjan - Isfahan Province), *Journal of Hydrogeomorphology*, 3, 21-42., In Persian.
- Banihabib, M., Arabi, A., (2016). The impact of catchment management on emergency management of flash-flood. *International Journal of Emergency Management*, 12: 185-195, In Persian.
- Barriendos, M., Gil-Guirado, S., Pino, D., Tuset, J., Pérez-Morales, A., Alberola, A., & Ruiz-Bellet, J. L. (2019). *Climatic and social factors behind the Spanish Mediterranean flood event chronologies from documentary sources (14th–20th centuries)*. *Global and Planetary Change*, 182, 102997
- Bashir Gonbad, M, Moghadamnia, A, Sigaroudi, S., & Mahdavi, M, (2018). A *Comparative Study of Frequency and Hydro-Climatic Analysis Methods for Estimating Maximum Flood Flow*, *Journal of Natural Resources*, Volume 71, Number 3, pp.595 – 612, In Persian.
- Benjamin, B., Patrick, H., Zhengyu, Z., & Damian, B. (2019). *The multimedia satellite task at mediaeval 2019: Emergency response for flooding events*.
- Chitsaz, N., Banihabib, M.E. (2015). Comparison of different multi criteria decision-making models in prioritizing flood management alternatives. *Water Resources Management*, 29: 2503-2525.
- Endreny T. A. and Wood, E. F. (2001). *Representing elevation uncertainty in runoff modelling and flowpath mapping*. *Hydrol. Process.*, 15: 2223-2236.
- European Environment Agency (EEA). (2016). *Floodplain management: reducing flood risks and restoring healthy ecosystems, available at <https://www.eea.europa.eu/highlights/floodplain-management-reducing-flood-risks>*.
- Fudey and Schepers.j. (2004). *Application of remote sensing in site- specific Adamchuk.V,Perk.R management.Institute of agriculture and natural resources*. University of Nebraska Cooperative Extension Precision Agriculture EC

- Goodarzi, L., Banihabib, M.E., Roozbahani, A., Dietrich, J. (2019). *Bayesian network model for flood forecasting based on atmospheric ensemble forecasts*. Hazards Earth Syst. Sci. Discuss.
- Hong, H., Panahi, M., Shirzadi, A., Ma, T., Liu, J., Zhu, A. X.,... & Kazakis, N. (2018). Flood susceptibility assessment in Hengfeng area coupling adaptive neuro-fuzzy inference system with genetic algorithm and differential evolution. *Science of The Total Environment*, 621, 1124-1141.
- Maghsood, F. F., Moradi, H., Bavani, M., Reza, A., Panahi, M., Berndtsson, R., & Hashemi, H. (2019). Climate Change Impact on Flood Frequency and Source Area in Northern Iran under CMIP5 Scenarios. *Water*, 11(2), 273
- Marofi, S., Golmohammadi, G., Mohammadi, K. and Zare, Abyaneh H. (2010). *Evaluation of Geostatistical Methods for Estimating Spatial Distribution of Annual Rainfall in Hamedan Province, Iran in GIS Media*. J. Agri. Sci, 501-514, In Persian.
- Maryanaji, Z. (2003). *Comprehensive flood plan in Hamadan province, Hamadan Management and Planning Organization*, pp. 205, In Persian.
- Maryanaji, Z., and Marofi, S. (2005). *Investigation of maximum daily rainfall's runoff in the Gharachay catchment using GIS and application of SCS model*. J.A gri. Res. 5:3.71-83., In Persian.
- Maryanji, Z, Abbasi, H. (2016). Zoning the probability of maximum daily rainfall in Hamadan province, *Sepehr Geographical Information Quarterly*, Volume 25, pp. 89-96, In Persian.
- Melesse, A. M., Graham, W. D. and Jordan, J. D. (2003). Spatially distributed watershed mapping and modeling: GIS-Based storm runoff response and hydrograph analysis: Part 2, *Journal of Spatial Hydrology*, 3(2): 1-28.
- Mohammadnejad, M, Mokhtari, L., & Behniafar, A. (2020). Flood risk zoning in Kalat river basin (sub-basin leading to Kalat city). *Quantitative Geomorphological Research*, 8 (3), pp.203-221, In Persian.
- Nasrinnejad, N, Rangzan, K, Kalantari, N., & Saberi, A. (2014). Flood potential zoning of Baghan catchment using fuzzy hierarchical analysis (FAHP), *Remote sensing and GIS in natural resources*, 5 (4), 15-34, In Persian.

- Negaresh, H., & Yari, Yasman. (2013). Risk and Crisis Management Analysis of Environmental and Environmental Risks in Lorestan Province. *Geography and Environmental Hazards*, 2 (5), 107-126, In Persian.
- Nozari, H, Razavian, S, Nabavi Hamedani, S. (2014). Identification of hydrological units affecting the peak flood discharge in the Hamedan-Bahar basin. *Journal of Watershed Engineering and Management*, Vol. 6, pp. 201-210, In Persian.
- Old, J., McKnight, D., Bennett, R., & Grzybek, R. (2019). A catchment partnership approach to delivering natural flood management in the Evenlode, UK. *In Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Engineering Sustainability* (172(7), 327-334). Thomas Telford Ltd.
- Pappenberger, F., Cloke, H. L., Parker, D. J., Wetterhall, F., Richardson, D. S., Thielen, J. (2015). The monetary benefit of early flood warnings in Europe, *Environmental Science and Policy*, 51: 278–291.
- Parishan, M. (2011). *Reducing Vulnerability to Natural Hazards (Earthquake) Using Risk Management Approach (Case Study: Rural Areas of Qazvin Province)*. PhD Thesis in Geography and Rural Planning, Tarbiat Modares University, pp. 318,612, In Persian.
- Poor Taheri, M, Einali, J., & Rokn al-Din Eftekhari, A. (2010). The role of capacity building in reducing the effects of natural hazards (earthquake) in rural areas with emphasis on quantitative methods (Case study: earthquake-prone areas of Khodabandeh city). *Human Geography Research*, 42 (74) pp. 23-39, In Persian.
- Poor Taheri, M, Sajasi, H., & Sadeghlou, T. (2011). Comparative evaluation of natural hazard rating methods in rural areas (Case study: Zanjan province). *Rural Research*, 2 (7) pp. 31-54, In Persian.
- Rahman, A., & Barman, S. (2019). Perception on Flood Impact and Source of Employment of Farmers in Flood Affected Areas of Assam. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci*, 8(7), 645-651.
- Rezaei Moghaddam, M., Hejazi, M., Behbuodi, A. (2019). A Calibration and Dvaluation of IHACRES Model in Runoff Simulation the Lanbaran Sub-basin, Ahar Chay , *Journal of Hydrogeomorphology*, 20, 187-204., In Persian.

- Rostami Khalaj, M., Hesami, D., Salmani, H., & Teymourian, T. (2020). Zoning of urban flood risk using multivariate decision making method (Case study: Imam Ali town, Mashhad city). *Journal of Environmental Science and Technology*, 21 (11), 173-185, In Persian.
- Sadeghloo, T., Sajasi Gheidari, H. (2014). Flood Risk Management Strategies in Rural Areas with SWOC-TOPSIS Model (Case Study of Qarachai Ramyan Watershed). *Geography and Environmental Hazards*, 12, PP 105-128, In Persian.
- Salahshouri, P., & Vafainejad, Alireza, (2012). Monitoring the flood changes of Karkheh river plains due to the construction of Karkheh reservoir dam using remote sensing and GIS. *Remote Sensing and GIS in Natural Resources*, 3 (3) 85-97, In Persian.
- Shadmani, M., Maroofi, S., Mohammadi, Kouros, & Sabzi Parvar, A. (2011). Modeling of flood discharge areas in Hamadan province using artificial neural network, *Journal of Soil and Water Conservation*, Vol. 18, pp 21-42, In Persian.
- Stephen, J. C. (1991). Integrating multi-criteria evaluation with geographical information systems. *International Journal of Geographical Information System* 5(3), 321-339.
- Vercruyse, K., Dawson, D. A., Glenis, V., Bertsch, R., Wright, N., & Kilsby, C. (2019). Developing spatial prioritization criteria for integrated urban flood management based on a source-to-impact flood analysis. *Journal of Hydrology*, pp.578, 124038
- Wang, X.D., Zhong, X.H., Liu, S.Z., Wang, Z.Y., Li, M. H. (2008). Regional assessment of environmental vulnerability in the Tibetan Plateau: Development and application of a new method, *Journal of Arid Environment*. 72(10), 1929-1939.